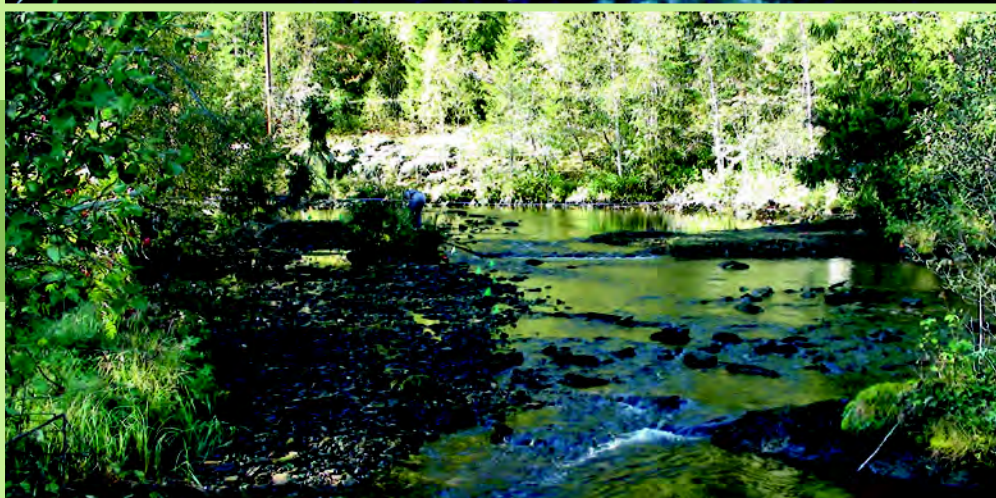
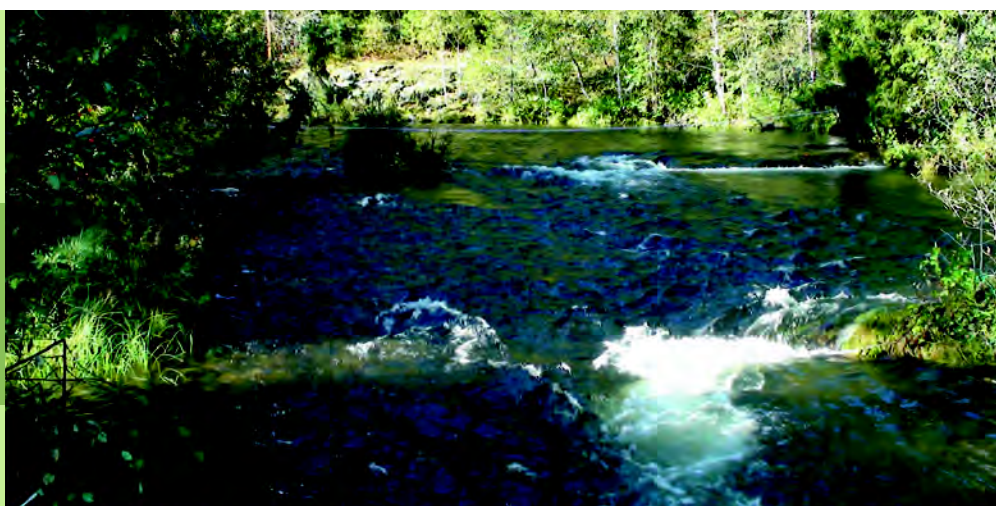




Kriterier for bruk av omløpsventil i små kraftverk

Lars Størset, Sweco Norge AS (red.)

2
2012



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring skal styrke det faglige grunnlaget for god forvaltning av regulerte vassdrag. Det skal bidra til at miljøhensyn blir ivaretatt på en balansert og åpen måte med spesiell fokus på fastsettelse av minstevannføring og andre avbøtende tiltak.

Miljøkunnskap er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner, miljøtilsyn og oppfølging av vannressursloven og EUs vanndirektiv. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet, og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase II har en tidsramme på fem år (2007-2011). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE, Direktoratet for naturforvaltning og energibransjen. Ressurserpersoner fra nasjonale og regionale myndigheter bistår med fagkompetanse. Den daglige ledelsen av programmet er knyttet til Skred- og vassdragsavdelingen i NVE.

Kriterier for bruk av omløpsventil i små kraftverk

Rapport nr. 2 - 2012

Kriterier for bruk av omløpsventil i små kraftverk

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Lars Størset, Sweco Norge AS

Forfattere: Lars Størset, Priska Helene Hiller, Geir Brænd, Per Ivar Bergan, Åsta E. Gurandsrud Hestad, Kjetil Arne Vaskinn og Hans Mack Berger, alle fra Sweco Norge AS

Trykk: NVEs hustrykkeri

ISSN: 1502-234X

ISBN: 978-82-410-0781-1

Forsidefoto: Bilde fra forsøk i elva Vigda. Foto: Sweco Norge AS

Sammendrag: Ved bygging av små kraftverk i vassdrag med bestander av laks og sjørørret eller storørrestammer, vil det ofte være behov for en omløpsventil som slipper vann direkte i elva dersom kraftstasjonen stopper brått. I rapporten er det anbefalt kriterier som skal gjøre det lettere å designe, bygge og drive en omløpsventil, slik at skadene på fisk blir minst mulig. Rapporten gir kun råd om omløpsventil i små kraftverk. Det gis innledningsvis en innføring i viktige prinsipper ved bruk av omløpsventil. Det er utviklet et sett av kriterier som gir anbefalninger knyttet til når det bør bygges omløpsventil, kapasitet på omløpsventilen (hvor stor vannmengde som skal slippes gjennom), funksjonalitet og driftsrutiner. Kriteriene er basert på fiskeøkologi, erfaring fra eksisterende anlegg, testing av sammenhenger mellom vannføring og vanndekt areal og teoretisk simulering av sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal.

Emneord: Omløpsventil, forbislippping, småkraftverk, vanndekt areal, laks, sjørørret, elveprofil.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Januar 2012

Innhold

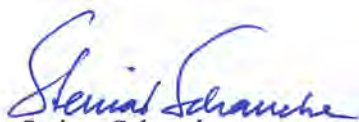
Forord	5
Forfatterens forord	6
Sammendrag	7
1. Bakgrunn og formål	9
1.1 Definisjoner	9
1.2 Bakgrunn	9
1.3 Formål	9
1.4 Forutsetninger	10
2. Innledning, teori	11
2.1 Prinsipper for bruk av omløpsventil	11
2.2 Dagens praksis	14
2.3 Erfaringer fra bruk av omløpsventil i Norge	14
3. Teoretisk grunnlag	17
3.1 Litteraturstudier – erfaringer med brå vannstandssenking	17
3.2 Fiskens habitatbruk i elveprofilen	19
3.3 Vannføring, vannstand og tørrfall ved ulike elveprofiler	21
3.4 Testing av ulike profiler med HEC-RAS	24
3.5 Transporttid på vannet fra dammen til kraftverksutløpet	27
3.6 Substratets betydning for vannstander og tørrfall	28
3.7 Hvor raskt faller vannstanden naturlig i ulike elveprofiler?	28
3.8 Konklusjon knyttet til elveprofil	28
4. Feltundersøkelser og erfaringer fra konkrete saker	29
4.1 Feltstudium – Vigda i Skaun kommune	29
4.2 Erfaring fra vurdering av kapasitet og vannstandsvariasjon	38
4.3 Konklusjon omkring elveprofil og tørrfall	44
5. Anbefalt kriteriesett for omløpsventil	46
5.1 Når er det behov for omløpsventil?	46
5.2 Hvilken kapasitet bør en omløpsventil ha?	47
5.3 Hvordan bør omløpsventilen fungere?	48
6. Behov for videre undersøkelser	50
7. Referanser	51
7.1 Muntlige kilder	51
7.2 Litteratur	51
Vedlegg	53

Forord

Formålet med prosjektet har vært å gi utbyggere, rådgivere og myndigheter et bedre faglig grunnlag for å vurdere omløpsventil som avbøtende tiltak ved bygging av små kraftverk. Rapporten belyser erfaringer med bruk av omløpsventil, og det er foreslått et sett med kriterier for når det er behov for omløpsventil, hvilken kapasitet ventilen bør ha og hvordan den bør fungere.

Prosjektet er utført av Sweco Norge AS. Prosjektet er gjennomført i et samarbeid mellom biologer, hydrolog/hydrauliker og maskiningeniør. Salvesen & Thams AS har stilt Sagbergfossen kraftverk med driftspersonell til disposisjon i forbindelse med forsøk i elva Vigda.

Vi håper rapporten vil bidra til å utøve godt skjønn ved bruk av omløpsventil som avbøtende tiltak ved bygging av små kraftverk.



Steinar Schanche
leder styringsgruppe



Anne Haugum
programleder

Forfatterens forord

Prosjektet er gjennomført av Sweco Norge AS i et samarbeid mellom biologer, hydrologer/hydraulikere og maskiningeniør.

Rapporten må ikke oppfattes som en fasit på hvordan omløpsventiler skal utformes og driftes. Vi har forsøkt å skissere kriterier for når det er behov for omløpsventil, hvilken kapasitet den i så fall bør ha og hvordan den bør fungere for å oppfylle hensikten, nemlig å unngå skade på fiskebestander. Det er foreløpig ikke bygd mange omløpsventiler i småkraftverk i Norge. Vi tror forslagene til kriterier og den erfaring som etter hvert opparbeides vil gi en økende forståelse for omløpsventilers spesifikasjoner og funksjonalitet.

Oppdraget har i hovedsak vært finansiert av NVE, men med delfinansiering fra HelgelandsKraft AS og Sweco Norge AS. Vi takker NVE og HelgelandsKraft for at vi kunne gjennomføre dette interessante oppdraget.

Takk til Salvesen & Thams AS for bruk av Sagbergfossen kraftverk og driftspersonell i forbindelse med forsøkene i elva Vigda, og takk til alle som har gitt kommentarer og diskutert problemstillinger i forbindelse med arbeidet.



Lars Størset

Sammendrag

I forbindelse med planlegging og bygging av små kraftverk har spørsmålet om omløpsventil vært oppe til vurdering og blitt pålagt som del av konsesjonsvilkårene. Når skal det stilles krav om omløpsventil, hvor stor skal kapasiteten på omløpsventilen eventuelt være og hvordan skal den fungere? Det er viktig at de krav som NVE stiller omkring omløpsventil er faglig godt forankret, og at kravene oppfattes som "rimelig" for utbygger. Denne rapporten forsøker å gi veiledning om hvordan dette kan oppnås.

I denne rapporten er det gitt en innføring i bakgrunnen for bruk av omløpsventiler i små kraftverk. Hva er dagens praksis, hva er utfordringene knyttet til bruken, hvilke muligheter og begrensninger ligger i teknologien, og hvilke miljøfaglige kriterier bør tas hensyn til. Det er også vurdert om det er forskjell på hvilken kapasitet en omløpsventil bør ha med tanke på elveprofil.

Det ble gjennomført en feltundersøkelse i elva Vigda i Sør-Trøndelag for å studere sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal ved ulike elveprofiler. Det er ett kraftverk i elva, og dette ble stoppet helt. Det ble registrert vannføring og vanndekt areal/tørrfall kontinuerlig på tre stasjoner med ulik elveprofil. Resultatet viser at vannstanden synker raskt når vannføringen reduseres brått. Reduksjonen i vanndekt areal (tørrfall) blir av vesentlig størrelse først når vannføringen er redusert til ca. 25 % av middelvannføringen i elva. Det tok 30 minutter før vannstandsreduksjonen var merkbar ved den nederste stasjonen, ca. 1 km nedenfor kraftstasjonen.

Konkrete undersøkelser i elvene Skauga og Osaelva viser at vanndekt areal sannsynligvis er tilstrekkelig for å unngå skade på fisk ved en vannføring i elva på 50 % av middelvannføringen. I Skauga viser undersøkelsene av vannstandssenkingen etter et brått avslag i kraftstasjonen er på et akseptabelt nivå ca. 5 km nedenfor kraftstasjonsutløpet.

Teoretiske simuleringer viser at de to elveprofilene som utgjør ytterpunktene i form av hhv. mye tørrfall og lite tørrfall ved raske reduksjoner i vannføring, er V- og U-profil. I rene V-profiler reduseres vanndekt areal nærmest lineært med avtakende vannføring. I U-profiler reduseres vanndekt areal svært lite ned til en gitt grenseverdi, der det plutselig skjer en betydelig reduksjon. Mellom disse to ytterpunktene er det en gradvis overgang.

Omløpsventil anbefales som avbøtende tiltak ved bygging av små kraftverk i elver med bestander av laks og sjørret eller i elver med storørrebestand. Kapasiteten på omløpsventilen må være tilstrekkelig til at det opprettholdes et betydelig vanndekt areal i elvesenga. Våre resultater tyder på at det i de fleste tilfeller er kun en liten reduksjon i vanndekt areal når vannføringen er på omtrent 50 % av middelvannføringen i elva. Dette kan derfor benyttes som et utgangspunkt for vurderinger knyttet til hver enkelt elvs topografi.

Kapasiteten på omløpsventilen må tilpasses den til enhver tid gjeldende vannføring gjennom turbinen og ikke være høyere enn det tilsiget som til enhver til renner inn i inntaksdammen. Dette for å unngå at inntaksbassenget tømmes for vann. Omløpsventilen bør stenges først når vann som renner over inntaksdammen har kommet ned til kraftstasjonsutløpet, og da gradvis stenges helt ned. Tiden for gradvis nedstenging må tilpasses avstanden mellom inntaksdammen og kraftstasjonsutløpet.

Vanndekt areal ved aktuell minstevannføring eller ved betydelig vanntilførsel fra restfeltet kan i enkelte tilfeller gjøre det aktuelt å stenge omløpsventilen tidligere, men dette krever at det er skaffet til veie informasjon om vanndekt areal ved ulike vannføringer.

Kapasiteten i omløpsventilen må andelsmessig utgjøre en større vannmengde som andel av vannføringen gjennom kraftstasjonen, jo lavere driftsvannføringa er. Når det går lite vann gjennom kraftstasjonen, vil vannstanden i elva være lav i utgangspunktet, og en brå stopp kan gi en betydelig reduksjon i vanndekt areal.

For å få verifisert at omløpsventilen fungerer som tiltenkt ved brå stopp i kraftstasjonen, må det gjennomføres testing ved ulike situasjoner. Dette innebærer testing til ulik årstid og kontroll av hvor lang tid det tar før vann fra inntaksdammen kommer ned via elveløpet til kraftstasjonsutløpet.

1. Bakgrunn og formål

1.1 Definisjoner

En omløpsventil er en komponent i et kraftverksarrangement. Omløpsventilen skal åpne seg automatisk og umiddelbart slippe vann ut i elva når det skjer uforutsette stopp i aggregatet i en kraftstasjon. Dette skal bidra til at vannstanden synker ned til et miljømessig akseptabelt nivå og holdes på dette nivået inntil situasjonen i kraftstasjonen eller i elva er normalisert.

1.2 Bakgrunn

I mange vassdrag pålegges installering av omløpsventil/forbislippingsventil (heretter kalt omløpsventil) som et avbøtende tiltak ved bygging av kraftverk. Dette skal sikre nedenforliggende strekninger med fisk mot tørlegging ved et eventuelt avslag eller hurtig stans av kraftstasjonen. Det er relativt få erfaringer fra vassdrag der det er installert omløpsventiler i kraftverkene. Det nærmeste er resultatene fra Effektprogrammet¹, som omhandlet konsekvenser av start- og stoppkjøring i kraftverk, såkalt effektkjøring.

Hvilken kapasitet den pålagte omløpsventilen bør ha i forhold til kraftverkets maksimale slukeevne blir som regel en skjønnsmessig vurdering. Det er i dag vanlig å pålegge omløpsventiler med ca. 50 % kapasitet av kraftverkets maksimale slukeevne. I vilkårene sies det ofte samtidig at kapasiteten skal være stor nok til å begrense strandingsrisikoen i tilstrekkelig grad, uansett driftsvannføring. I tillegg angis det ofte at kraftverket skal kjøres så jevnt som mulig, med myke overganger, og at typisk start/stopp kjøring eller effektkjøring over døgnet ikke skal forekomme. Hva som menes med myke overganger er normalt ikke beskrevet i konsesjonen, og må derfor vurderes spesielt ved hver enkelt utbygging.

Økt kunnskap og erfaring med bruk av omløpsventil med hensyn til konsekvenser for fisk, har betydning både for å gi forvaltningen et bedre grunnlag for å vurdere når omløpsventil bør pålegges, og eventuelt hvilken kapasitet en slik omløpsventil bør ha.

1.3 Formål

Prosjektet skal klargjøre betydningen og nytten av omløpsventil som et avbøtende tiltak.

¹ Forskningsprogram som vurderte muligheter for og konsekvenser av å øke effekten i kraftsystemet. Den mest relevante forskningen som ble gjort i sammenheng med omløpsventil, var forsøk med stenging av vassdrag for å kartlegge stranding av fisk, og som SINTEF gjennomførte. Forskningsprogrammet ble finansiert av Norges forskningsråd, EnFo (nå Energi Norge), NVE, Statkraft m.fl.).

Gjennom teoretiske vurderinger og praktiske forsøk knyttet til hydrologi, hydraulikk og topografi vil vi forsøke å utarbeide kriterier for når det bør bygges omløpsventil i små kraftverk, og i så tilfelle hvilken kapasitet ventilen bør ha. Hvilken kapasitet er tilstrekkelig i ulike typer elver til å redusere strandingsrisikoen i tilstrekkelig grad uansett driftsvannføring når hendelsen skjer.

For små kraftverk kan det være en betydelig investering å installere omløpsventil i kraftverket. Vanlig kostnad for et slikt tiltak inklusive bygningsmessige endringer er typisk i størrelsesorden 0,3 - 2 mill. kroner avhengig av trykk og vannføring. I bransjen har det vært en viss frustrasjon knyttet til hvorvidt kravet om omløpsventil er godt nok fundert, i hvilken grad tiltaket er nødvendig og om kravet til kapasitet er riktig. I tillegg til kostnader knyttet til selve arrangementet, er det også knyttet en del utfordringer til driftssikkerheten og funksjonaliteten til en omløpsventil.

Erfaringer fra anlegg i drift både internasjonalt og i Norge, erfaringer fra forskning og egne undersøkelser vil gjøre det lettere for søker å foreslå en riktig kapasitet på en omløpsventil. Et kriteriesett vil gjøre det lettere for utbyggere, rådgivere og myndigheter å foreslå når og hvordan omløpsventiler bør bygges i småkraftverk.

1.4 Forutsetninger

I denne rapporten er bruk av omløpsventil i hovedsak vurdert i tilknytning til elver med anadrom laksefisk og storørrebestander. Mange av de samme kriteriene som gjelder for disse artene vil sannsynligvis også være relevante for andre fiskearter og ikke minst for bunndyr/invertebrater.

2. Innledning, teori

I NVE-rapport nr. 5/2008 "Forbislipping ved små vannkraftverk" beskrives krav til forbislipping forbi kraftverket, og mulige løsninger på hvordan en slik forbislipping kan utføres. Rapporten fokuserer på teknisk utforming, praktisk bruk av forbislippingsanordninger og forløp i typiske utfallssituasjoner og gir et godt teoretisk grunnlag for videre vurderinger.

I denne rapporten tas det utgangspunkt i elvas utforming (substrat, fallgradient, tverrprofil, naturlig variasjon i hydrologi) og krav for å opprettholde fiskebestander. Vårt utgangspunkt er at slike faktorer er vesentlige ved fastsettelse av krav i enkelt-saker. Behovet for omløpsventil, nødvendig kapasitet og riktig styring av en eventuell omløpsventil kan variere mye fra lokalitet til lokalitet.

2.1 Prinsipper for bruk av omløpsventil

Ved ikke planlagte stans i et kraftverk, for eksempel som følge av strømutfall, vil aggregatet gå til hurtig stopp. Det vil ikke lenger gå vann gjennom turbinen, og det vil bli en rask reduksjon i vannføring nedstrøms utløpet av kraftverket. Situasjonen vil vedvare inntil vann som renner over dammen i inntaksmagasinet når fram via elveløpet til strekningen nedstrøms kraftstasjonen, eller til kraftstasjonen kan settes i drift igjen. Slike situasjoner gir uheldige miljøeffekter, spesielt i forhold til bunndyr og fisk. Når vannstanden faller brått, kan fisk og bunndyr få problemer med å finne vanndekt elveareal. Dersom situasjonen vedvarer, kan dette føre til at fisk og bunndyr dør. Ved tørrfall og stranding har de ulike artene ulik overlevelsessevne. Enkelte bunndyrarter kan overleve i fuktig elvegrus i mange timer, mens andre bunndyrarter og laksefisk kun tåler minutter uten vann. Det er lite eksakt kunnskap om hvor lenge ulike arter kan overleve under slike betingelser.

Det er vesentlig hvor mye minstevannføring som slippes fra inntaksdammen, og hvor stor andel av elvesenga som er vanndekt dersom det kun renner minstevannføring på strekningen. På samme måte er det forskjeller på elver med lite og stort restfelt mellom inntaket og utløpet av kraftstasjonen. I elver med stort restfelt er sannsynligheten større for at vanndekt areal opprettholdes i større grad i forbindelse med stopp i kraftstasjonen. Målet med omløpsventilen er at vanndekt areal i elvesenga ikke skal reduseres i for stor grad, og at vannstandssenkningen skal skje sakte nok dersom vanndekt areal reduseres i betydelig grad.

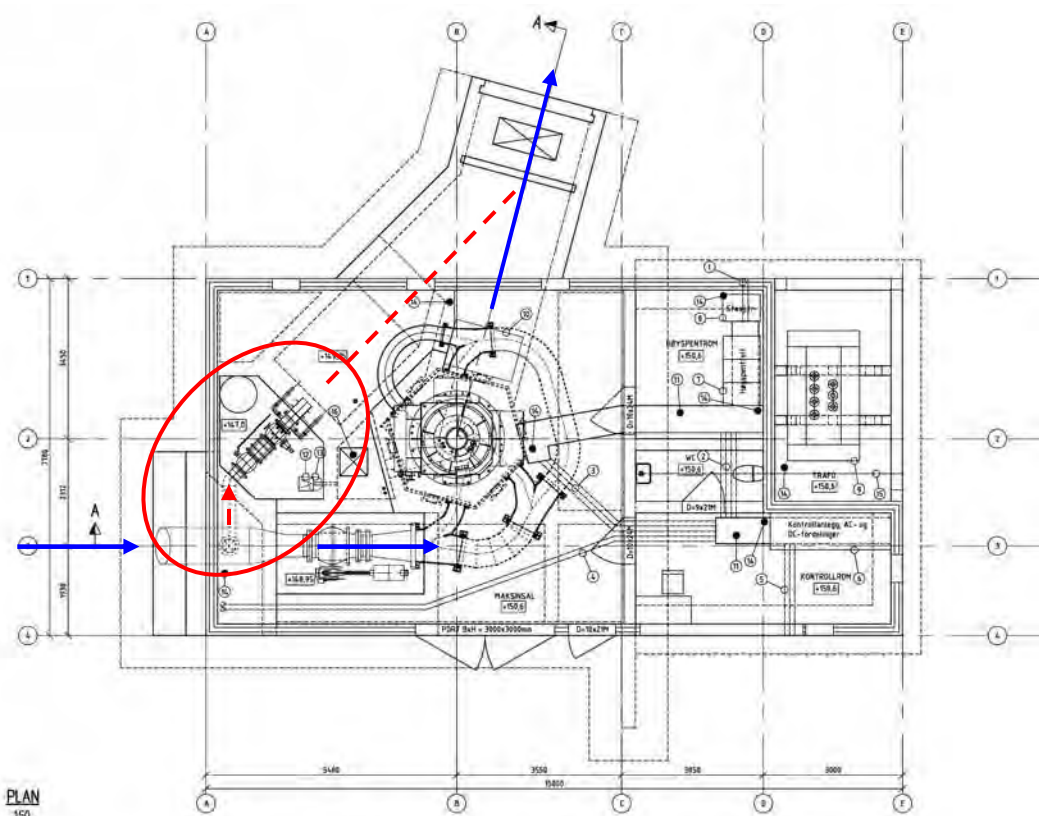


Figur 1 Strandet ørret.

En omløpsventil er laget slik at det i avslagssituasjoner eller ved hurtig nedkjøring av aggregatet, automatisk åpner seg en ventil til et forbislippingsrør med en på forhånd bestemt kapasitet, og slipper en definert vannføring ut i elvesenga. Omløpsventilen eller selve forbislippingsrøret må være utstyrt med nødvendig energidreping, slik at utstyret eller omgivelsene ikke skades av det høye vanntrykket. Vannstanden i elva opprettholdes på denne måten til et visst nivå.

Et eksempel på et enkelt arrangement for en omløpsventil er vist i figur 2. I normal driftssituasjon går vannet gjennom turbinen, og omløpsventilen holdes stengt med oljetrykk. Ved utfall i stasjonen, eller annen hurtig stans av aggregatet, vil omløpsventilen åpne og slippe forbi en bestemt vannføring. De fleste småkraftverk bygges etter hvilestrømprinsippet, og det må derfor etableres sikre metoder for å sikre at omløpsventilen åpner ved for eksempel utfall og strømløs kraftstasjon. En vanlig måte er å benytte ventiler med fall-lodd som åpner ventilen ved strømløs stasjon. Alternativt benyttes det oljetrykk, og akkumulator med tilstrekkelig kapasitet til å åpne ventilen ved strømløs stasjon.. Løsninger med likestrøm og tilstrekkelig stor batterikapasitet kan også benyttes, men er mer sjelden. Alle disse løsningene ivaretar at omløpsventilen åpner, selv ved strømbrytning eller bortfall av styrestrøm, kontrollanlegg ute av drift etc.

For alle omløpsventiler og forbislippingsystem er det meget viktig å ha tilstrekkelig energidreping for å unngå skader på utstyret. Restenergien etter forbislippingen må ikke være så stor at det oppstår skader på omkringliggende områder som betong, eller at det oppstår graving i elva. Omløpsventilen i figur 2 har en kapasitet på $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ ved 360 m trykk, tilsvarende 2300 kW i effekt som må dempes. Som en illustrasjon på energien vil vanntrykk på 360 m tilsvare en hastighet på ca. 300 km/t uten energidreping.



Figur 2 Skisse av et kraftstasjonsarrangement med en vanlig brukt omløpsventil inne i den røde ellipsen (Brandåa kraftverk i Rindal kommune, Svorka Energi AS). De blå pilene viser vannets vei i en driftssituasjon og de røde viser situasjonen ved omløp.

I sin enkleste utgave bygges omløpsventilene slik at de enten er 100 % åpne og gir full vannføring, eller lukket og ingen vannføring, og har dermed ingen mengde-regulering. Dette krever enklere ventiler, og det vil også være enklere å dimensjonere en energidreping som fungerer.

Det benyttes også omløpsventiler og systemer med mengderegulering, slik at ventilen først åpner til full vanngjennomstrømning for deretter å gradvis redusere vannføringen ned til null. Dette gir en gradvis reduksjon i vannføringen og vil ivareta eventuell konsesjonskrav om myke overganger. En videreføring av dette prinsippet er en mer differensiert vannføring gjennom ventilen. Det vil si at ventilen er styrt til å åpne og slippe gjennom det som til enhver tid er driftsvannføringen gjennom kraftstasjonen, for deretter gradvis å redusere denne ned til null vannføring. Slike anlegg er imidlertid mer avhengig av permanent strømforsyning for å fungere tilfredsstillende, og dermed ikke like driftssikre. Uavhengig av hvilket prinsipp som velges, vil omløpsventilen åpne umiddelbart ved stans eller utfall av kraftstasjonen og levere vann før aggregatet har gått til full stans.

Det er et viktig poeng, spesielt med inntak med små volum, at den vannmengden som slippes gjennom omløpsventilen ikke er større enn tilsiget til inntaksbassenget og minstevannføringen. I motsatt fall kan vannstanden i inntaksbassenget synke. Dette

kan etter hvert føre til at det ikke blir mulig å opprettholde minstevannføring i elva. Etter hvert kan vannstanden bli så lav at det suges inn luft i vannveien, med oksygenovermetning som resultat. Dersom omløpsventilens kapasitet ikke kan justeres i forhold til vannstanden i inntaksbassenget, må det være rutiner som sikrer at ventilen lukkes når vann som renner over dammen har nådd elvestrekningen nedenfor kraftstasjonsutløpet. Alternativt må omløpsventilen lukkes gradvis ned for å unngå senking av vannstanden i inntaksbassenget. Det kan derfor framheves som et vesentlig poeng at en lav, men tilpasset vannføring gjennom omløpsventilen vil stabilisere situasjonen i elva raskere enn ved en høy vannføring. Målet blir derfor å finne den lavest mulige kapasiteten i omløpsventilen som i størst mulig grad opprettholder vanndekt areal og sikrer skjul for fisk og andre ferskvannsorganismer i den perioden kraftstasjonen står. Lavere kapasitet i omløpsventilen vil raskere gi overløp over inntaksdammen, og dermed vil det gå kortere tid fram til ventilen kan stenges gradvis. Det er flere fordeler med dette, blant annet at det blir lettere å gjøre nødvendig arbeid i kraftstasjonen. Det er også kostnadmessige fordeler med å ha en lavere kapasitet i omløpsventilen.

Nytten av disse faktorene må vurderes opp imot kostnaden ved mulige konsekvenser for fisk på strekningen i den tiden kraftstasjonen er ut av funksjon.

2.2 Dagens praksis

I konsesjoner som er gitt de siste årene er det vanlig å pålegge omløpsventil når anadrom fisk eller spesielt verdifulle bestander av innlandsfisk berøres. NVE pålegger bygging av omløpsventiler i forbindelse med konsesjonsvedtaket.

Det er vanlig å bli pålagt å bygge omløpsventil med en kapasitet på 50 % av maksimal driftsvannføring gjennom kraftstasjonen. Ved en slukeevne på 200 % av middelvannføringen (vanlig slukeevne) tilsvarer dette at kapasiteten på ventilen blir lik middelvannføringen i elva. Utover dette stilles det sjelden krav til funksjonaliteten i omløpsventilen, dvs. driftsrutiner, spesifikasjoner for funksjonalitet osv. Dette blir opp til utbygger, utbyggers rådgiver og leverandør av omløpsventil å finne ut av. Kravet om bygging av omløpsventil er en naturlig del av konsesjonsvilkårene, men enkelte ganger er det kun omtalt i ”Bakgrunn for vedtak” fra NVE, tilknyttet hver enkelt konsesjon.

I vassdrag der det er vannforsyningsinteresser kan det også være aktuelt å montere omløpsventil, men i slike tilfeller kan det være like greit å kople på uttak til vannforsyningsanlegg direkte på driftsvannveien.

2.3 Erfaringer fra bruk av omløpsventil i Norge

Vi har vært i kontakt med flere småkraftutbyggere som har anlegg med omløpsventiler, for å få driftserfaringer og betraktninger omkring problematikken, og vi har

diskutert problemstillingene med leverandører av slike anlegg. Kap. 2.3.1 og 2.3.2 er en oppsummering av egne og andres erfaringer.

2.3.1 Aggregattyper, store anlegg og små anlegg

Det er i prinsippet små forskjeller mellom en omløpsventil for en Francis-, Kaplan- eller Peltonturbin. Ventilen er i alle tilfeller montert på driftsvannveien før vannet når turbinen og er dermed uavhengig av turbintype.

Det vil imidlertid være en vesentlig forskjell på ventiler beregnet for høye trykk og små vannføringer kontra en ventil for lave trykk, men med desto større vannføring. Generelt lager omløpsventiler mye støy, som regel vesentlig mer støy enn fra selve aggregatet når dette er i drift. Enkelte ganger velges det derfor både av støymessige årsaker, men også pga. sikkerhet og store fysiske dimensjoner ved store vannføringer, å installere omløpsventilen i et separat rom.

Det er enkelte ganger foreslått å velge Peltonturbin med deflektorer som alternativ til omløpsventil. Slike turbiner kan ved hjelp av deflektorene slippe vannet gjennom turbinen ved utfall og ved kortere tids stillstand. Normalt er deflektorene konstruert for å slippe vannet forbi eller utenom løpehjulet for kun kortere perioder i forbindelse med større endringer i vannføringen, eller ved hurtig stans av aggregatet. En slik løsning er ikke beregnet for lengre perioder (flere timer) med kontinuerlig vannslipping. Langvarig vannslipping med deflektorer kan skade omkringliggende betong eller utstyr hvis aggregatet ikke er designet for dette. Kontinuerlig vannslipping med deflektorer vil også føre til at turbin/generatoraksel vil rotere sakte rundt. Spesielt glidelager kan ta skade av dette, og det må i hvert enkelt tilfelle vurderes å montere kraftig brems for å unngå rotasjon. Kontrollanlegg, nødstyring, akkumulatorer etc. må også bygges slik at en fortsatt har styring med deflektorene og vannslipping selv om det er feil på aggregatet, kontrollanlegg eller at kraftstasjonen er strømløs. Automatisk lukking av innløpsventilen med fall-lodd ved feil i kontrollanlegg eller i kraftstasjon, må med dette prinsippet utgå for å opprettholde vannslippingen. En av de viktigste sikkerhetsfunksjonene på anlegget er dermed fjernet.

Generelt anses en omløpsventil som en mer sikker løsning enn en løsning med vannslipping over deflektorer.

2.3.2 Driftserfaringer

Det er forholdsvis få små kraftverk som er bygget og idriftsatt med omløpsventiler, og det er dermed begrenset med driftserfaringer. Imidlertid er det gitt en rekke konsesjoner på ikke igangsatte anlegg der det pålegges installering av omløpsventiler.

Anleggene i drift varierer fra de enkleste med liten kapasitet og uten noen form for mengderegulering på omløpsventilen, dvs. enten full åpen eller stengt ventil, til mer kompliserte anlegg. For anlegg med noe større kapasitet, dvs. vannføring over 3-500 l/s, er det mer vanlig med omløpsventiler med justerbar kapasitet. Generelt ønsker kraftverkseier å tilfredsstille de krav som er gitt i konsesjonen, men er ofte

usikre på hva som må til for å ivareta dette. Rent teknisk fungerer omløpsventilene bra, bortsett fra noen utfordringer med grus og småstein som legger seg i energidreper og påvirker funksjonen. Et generelt problem er at en med små inntaksvolum lett tømmer inntaket for vann dersom omløpsventilen har for stor kapasitet og/eller det er mangelfull styring. Spesielt ved feil i kontrollanlegg, strømløs stasjon etc. kan omløpsventilen bli stående i full åpen posisjon og dermed tømme inntaket. Dette er i tillegg til de miljømessige konsekvensene også et problem vinterstid. Hvis slike situasjoner inntreffer ofte, kan inntaket fylles opp med is, noe som kan gi store driftsproblemer.

Noen av kraftverkene har innført en styring som gradvis stenger ned omløpsventilen inntil de får overløp over dammen. Når dette vannet kommer ned til kraftstasjonsområdet, fortsetter gradvis nedstenging av omløpsventilen til fullstendig stengt ventil. Tiden det tar for vannet å passere fra inntaket til kraftstasjonsområdet benyttes som en reguleringsparameter. Tiden vil variere en god del fra vinter- til sommerforhold og kan også være påvirket av tørre/våte perioder, og det kreves derfor en lengre innjusteringsperiode og noe mer oppfølging.

Flere av de utbyggerne vi har vært i kontakt med betrakter det vanlige kravet om å slippe 50 % av maksimal driftsvannføring i omløpsventilen ved utfall som unødvendig høyt.

2.3.3 Hvor hyppig skjer utfall i småkraftverk

Hyppigheten av utfall i småkraftverk er i stor grad avhengig av kvaliteten på linjenettet i det aktuelle området. I områder med sterke nett eller kabel er det i de fleste tilfeller mindre enn 5 utfall pr. år. I områder med svake nett, mye skog og i værutsatte områder kan det i perioder være opp til flere utfall i måneden. Utfall på mer enn 10-15 ganger pr. år anses som mye.

3. Teoretisk grunnlag

3.1 Litteraturstudier – erfaringer med brå vannstandssenking

Det er lite relevant litteratur å finne angående omløpsventil for småkraftverk. På samme måte som i Norge, eksisterer det noe litteratur om start-/ stoppkjøring (effektkjøring) og påvirkningen av elva på grunn av dette. Effektkjøring skjer vanligvis i større elver enn de som blir vurdert til småkraftutbygging.

Rapporten "Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes – Ergebnisse einer Litteraturstudie" (Baumann og Klaus 2003, på tysk) (ferskvannøkologiske påvirkninger av effektkjøring – resultater av en litteraturstudie) gir en oversikt over eksisterende litteratur med hovedfokus på Alpene, men det er også henvist til rapporter fra Norge og USA.

Hovedkonklusjonen i den sveitsiske rapporten er at det fortsatt er behov for forskning og rapportering av de utbygde kraftverk som allerede driver med effektkjøring. I den undersøkte litteraturen er det angitt ulike grenseverdier som det bør tas hensyn til for å unngå større økologiske skader i den påvirkede elva. Et utvalg er:

- Ved et forhold mellom vannføringen før og etter stopp av kraftverket på 4 til 1 kan det forventes at det ikke blir relevante økologiske påvirkninger i fjell elver. I Østerrike viser erfaringer et maksimalt forhold på 3 til 1 mellom vannføringen før og etter stopp av kraftverket for at det ikke skal bli vesentlig skade.
- I elva Inn (Sveits) konkluderes det med at det vanndekte arealet maksimalt bør forandres med 1 m/min i bredderetningen, slik at fisk får tilstrekkelig tid til å flytte på seg.
- Påvirkningen i elva er mindre skadelig hvis det er en naturlig variasjon i elveprofilene. De skadelige virkninger er størst på elvestrekninger med homogen profil, ofte forårsaket av tidligere elvekanaliseringer og forbygninger.
- Observasjoner fra Norge viser at senkingshastigheten på vannspeilet i elva bør ligge under 0,2 cm/min, eller 13 cm/time for å unngå stranding av fisk (Harby m.fl. 2004).

Det konkluderes med at det ikke kan avledes et økologisk tolerant forhold mellom vannføringen før og etter stopp i kraftverket, og at ulike elver og tilknyttet flora og fauna reagerer helt ulikt på effektkjøring. Dette betyr at hver elvestrekning med planlagt effektkjøring bør undersøkes. Men i mange tilfeller kan en enkel vurdering være tilstrekkelig. Som indikatorer og mulige observasjonsmetoder nevnes blant annet å måle den periodisk tørrfallende andelen av elvebredden. Innsatsen kan begrenses for små og middels store elver med å måle opp noen representative tverrprofiler i elva. Ved tørrfall kan påvirkningen av avslaget i kraftverket beskrives kvalitativt med en befaring langs den påvirkede elvestrekningen. Strandet fisk og plutselig avsnørte kulper i hovedelva kan da observeres. Men denne metoden er bare

anvendelig i allerede regulerte elver. Dersom den skal benyttes i planleggingsfasen av nye kraftverk, må undersøkelsestidspunktet legges til perioder med lav vannføring.

Som tiltak for å redusere effekten av start-/ stoppkjøring nevnes (REF) to ulike grunntyper:

- Modifiseringer av elvekarakteristikken, slik at plutselig vannstandsforandring får mindre effekt.
- Endret praksis for start-/ stoppkjøringen.

Det er foreslått konkrete tiltak. Det som også kan være meningsfylt i sammenheng med plutselig stopp i småkraftverk er:

- Separat utløp for driftsvannet. Driftsvannet føres tilbake til elva på et sted der det ikke fører til et plutselig fall i vannspeilet ved stopp i kraftverket (f. eks. utløp i en større elv eller et vann).
- Forhold mellom vannspeil ved drift av kraftverket og worst case-situasjonen ved utfall reduseres ved å ha høyere minstevannføring forbi kraftverket.
- Etablering av utjevningsbasseng ved utløpet fra kraftverket. Dersom det er en utett dam med en betydelig vannmengde rett nedstrøms utløpskanalen, så vil denne gradvis slippe gjennom vann i etterkant av at kraftstasjonen stopper. Dette vil dempe vannstandsforandringen i elva nedstrøms.
- Tiltakene over kan gjennomføres differensiert gjennom året, slik at forstyrrelser unngås ved sårbare tidspunkt for fisk eller andre interesser.
- Areal som blir tørrlagt minimeres med hjelp av hydraulisk optimalisering av vassdraget eller ved å bygge terskler.

De nevnte grenseverdier for å begrense økologiske skader i vassdraget er nok bedre egnet for større kraftverk, men kan likevel brukes som nyttige parametre i småkraftsaker. De beskrevne tiltakene kan vurderes i sammenheng med kapasitet på en omløpsventil, eller som alternativer. Det er ikke funnet noen eksakte verdier på hvor lang elvestrekning nedstrøms kraftverket som blir påvirket av tørrfall, men det er i alle tilfeller kun snakk om tid, såfremt det ikke kommer inn større elver fra restfeltet eller overløp fra inntaksdammen.

SINTEF-miljøet i Trondheim har undersøkt påvirkning av effektkjøring i Trollheim kraftverk i elva Surna i en årrekke, og det foreligger mange publikasjoner fra dette arbeidet (bl.a. Halleraker m.fl. 2007). Det er målt opp og kartlagt til sammen 62 tverrprofiler med topografi og substratforhold. Vannstand ved en kjent vannføring er bestemt for alle profiler. Resultatene fra arbeidet har en viss overføringsverdi, men et såpass stort anlegg som Trollheim kraftverk medfører mange flere og mer komplekse konsekvenser enn det som skjer i forbindelse med småkraftverk.

I Effektprogrammet ble det også gjennomført undersøkelser av effektkjøringens påvirkning av fiskebestandene i Nidelva i Trondheim og Mandalselva. Begge elvene er store, og vannføringsendringene ved stopp i kraftstasjonen er betydelig større enn i et utfall i småkraftverk i mindre vassdrag.

3.2 Fiskens habitatbruk i elveprofilen

For å kunne forutsi i hvilken grad tørrfall skal kunne aksepteres i en elv, er det viktig å ha kunnskap om fiskens habitatkrav. Det er nedenfor beskrevet hvilke arealer i elva som benyttes av hvilke arter og aldersklasser i aktuelle situasjoner. I denne sammenheng beskrives kun habitatene til anadrom laksefisk og ørret.

Habitatkravene er forskjellig i de ulike livsstadiene for fisk. Det er også forskjeller mellom laks og ørret. Vi kan dele inn livsløpet i ulike faser: Gyting – eggstadiet – klekkefasen – swim-up – yngelstadiet – ungfiskstadiet – smoltstadiet – sjøfasen – voksefasen i elv (oppvandring og nedvandring).

Alle fasene i fiskens livssyklus er viktige for å oppfylle fullendt livssyklus. De ulike fasene er knyttet til ulike leveområder som alle er påvirket av endringer i vannføring (med unntak av sjøfasen). De viktigste faktorene for laks og sjøørret er tilstrekkelig oksygenrikt vann og tilgang på næring og skjul.

3.2.1 Gyting – egg og klekking

Laks og ørret gyter om høsten (okt.–nov.), oftest i relativt grunne strykpartier ($< 0,2\text{--}0,6$ m) med moderat vannhastighet ($0,2\text{--}1,0$ m/s) og i områder med grus og småstein (partikkelstørrelse fra $2\text{--}16$ cm). Ørret gyter i roligere partier enn laks, og ofte i noe dypere områder og med finere substrat (partikkelstørrelse $2\text{--}7$ cm).

Foretrukket partikkelstørrelse på gytesubstratet øker med fiskestørrelsen. Gytingen foregår gjerne på høyere vannstand enn ved "lavvannføring", og gyteplassene er dermed utsatt for tørrlegging og innfrysing. Eggene har krav til vannoverdekning og tilførsel av oksygenrikt vann i hele klekkefasen og den første perioden etter at yngelen er kommet opp av grusen (fra april til juli). Gyteplassene for både laks og ørret er derfor viktige leveområder og må tas hensyn til ved dimensjonering av omløpsventil.

3.2.2 Plommesekestadiet og "swim-up"

Fiskelarvene av ørret og laks klekker og kommer opp av grusen i perioden fra april til juli. Tidspunkt for klekking og "swim-up" varierer med vanntemperatur. Den første tiden etter klekking lever fisken av plommesekken, og etter "swim-up" i nærområdet til gytegrøpa. Ettersom gropene ligger på relativt grunne områder ($0,2\text{--}0,6$ m) med grus og småstein, vil de være utsatt for tørrlegging. Fiskelarvene har dårligere svømmeevne den første perioden og liten mulighet for egen forflytning ved brå vannstandsending.

3.2.3 Yngel, ungfiskfase og smoltfase - oppvekstområdene

Fisken holder seg i stor grad rundt gyteområdene den første sommeren. I løpet av første leveåret blir kravet til næringsarealer og bedre skjul større, og fisken forflytter seg til nye habitat. Som ungfisk fra andre leveår foretrekkes moderate strykpartier

med varierende substrat og med økende innslag av stein og storstein. Laks- og sjørøttunge lever som oftest 2–4 år i elva før de smoltifiserer og vandrer ut i sjøen. Der laks og ørret opptrer sammen som ungfisk har de overlappende habitat, men laksungene er bedre tilpasset strømssterke partier og inntar gjerne partiene nær hovedstrømmen i elva. Ørret inntar de sakteflytende områdene nær land eller går opp i sidebekker (Bremset 1999, 2000; Saltveit og Heggenes 1991). I storsteinete elver benytter begge artene hele elveprofilen i større grad. Der ørret opptrer alene utnytter den alle habitat, med unntak av de aller strieste partiene. I perioder med lavvannføring blir tilgangen til tilgjengelige habitat mindre, og konkurransen om skjul og næring blir større. Vinteren er generelt sett en flaskehals for ungfisk av laksefisk i elver, og behovet for egnet skjul, enten i form av grovt substrat eller dyp, vil være stort. En mulig årsak til lavere overlevelse av laks- og ørretunger kan være begrenset tilbud av egnet vinterhabitat (Heggenes m.fl. 1993).

Smoltfasen skiller seg lite fra ungfiskfasen, bortsett fra at individene vokser, og sannsynligheten for at de finner skjul i en utfallssituasjon øker. På våren og forsommeren, når smolt skal gå ut av elva, vil vannstandssenkning kunne forsinke utvandringa og gi større predasjon.

Laks- og sjørøttbestandene er tilpasset naturlige vannstandsvariasjoner gjennom naturlig seleksjon. Ved vannstandssenkning i elva vil fisken søke mot dypere områder. Ved langvarig uttørring og brå vannstandssenkning vil fisk imidlertid kunne stenges inne i mindre dammer, som i verste fall tørregges. Dødeligheten avhenger av hvor lenge uttørringen varer. I strandnære områder med grovt substrat, vil fisk kunne fanges i hulrom og få problemer med å komme seg ut i elva og i verste fall dø. Dette avhenger av hvor raskt vannstanden synker, tilgang til vannlommer og lengde på uttørringsepisoden. I en utfallssituasjon vil vannstandssenkningen kunne skje mange ganger raskere enn naturlig, fisken rekker ikke å svømme unna.

I elver med bare laks eller bare ørret vil fare for stranding ved brå vannstandssenkning være kritisk for begge arter. I elver med både laks og ørret vil ørret være mer utsatt enn laks, etter som den ofte er fortrent til strandnære habitat. Dette gjelder i langt større grad for ungfisk enn voksen fisk.

3.2.4 Oppvandring

Laks vandrer opp i elvene som voksen fisk ett til tre år etter utvandring som smolt, og enkeltindivider vandrer opp for å gyte på nytt senere år. Oppvandring skjer i større vassdrag allerede fra tidlig på våren, selv om gyting ikke skjer før langt ut på høsten. I mindre vassdrag skjer oppvandring ofte i perioder med høy vannføring, og ofte oppsøker fisken en større kulp og oppholder seg der fram til nær gytetida. Slike kulper kan ligge ovenfor eller nedenfor gyteområdet, som ofte er nær plassen der fisken selv vokste opp. I andre mindre vassdrag (flomvassdrag) med færre større kulper (standplasser) kan oppvandring skje relativt nær opp til gytetidspunkt på høsten. Det siste gjelder ofte for sjørøtt, som primært gyter i mindre elver og bekker, og ofte sideelver i tilknytning til større vassdrag.

Gytefisk på oppvandring er mer robust enn egg, yngel, ungfisk og smolt og kan tåle større vannstandsendringer. Dersom vannstandssenkningen varer over lengre tid, kan imidlertid fisken forhindres eller forstyrres under oppvandring.

3.2.5 Nedvandring

Etter gyteperioden er både laks og ørret tappet for energi og krefter, og dermed mer sårbar for stressfaktorer som bl.a. en brå vannstandssenkning vil være. Men mange individer dør uansett naturlig etter gyting. Sterk vannstandssenkning etter gyting vil påvirke nedvandringsmuligheten i grunne elver. Fisken vil også være mer utsatt for predasjon (fra bl.a. oter og ørn).

3.2.6 Spesielle faktorer knyttet til ørret

Innlandsørret og sjøørret er samme art og har i stor grad samme krav til habitat. Innlandsørret er imidlertid ofte mindre av vekst og gyter på noe finere substrat. Den kan i likhet med sjøørret foreta lange vandringer til og fra gyteplasser, enten internt i elveavsnitt eller fra innsjøer og oppover eller nedover i vassdraget. Stasjonær ørret foretrekker områder med større stein og moderat vannhastighet framfor strie partier med f.eks. stor stein og blokk. På sakteflytende områder foretrekkes dypere partier fremfor grunne. Ørret foretrekker også områder med overheng av torv eller utoverhengende busker framfor åpne partier uten skjul.

I motsetning til laks gyter innlandsørret som hovedregel hvert år etter første gangs gyting, og har derfor årlig behov for tilfredsstillende habitat for å kunne gjennomføre vandring og reproduksjon. Kravene til ørretbestander er de samme som for anadrome bestander. Forvaltningsmessig er det spesielt viktig å ivareta gyte- og oppvekstmulighetene for storørrestammene tilknyttet de store innsjøene og elvesystemene.

3.2.7 Oppsummering

Som en kort oppsummering kan det konkluderes med at de mest kritiske livsfasene for fisk er fra stadiet når yngelen kommer opp av grusen som plommesekk yngel til og med første leveår, da de i hovedsak lever på grunt vann nært land. Dette gjelder både ørret og laks. I elver der laks og ørret opptre sammen, er ørret mer utsatt enn laks, fordi ørret gjerne er trengt inn på grunne områder med lav strømhastighet.

3.3 Vannføring, vannstand og tørrfall ved ulike elveprofiler

3.3.1 U-profil

I elver med ren U-profil (figur 3) har elvesenga jevnt dyp, mens elvebunnen kan bestå av mange slags substrat. I slike profiler vil en brå vannstandsreduksjon kunne medføre et svært begrenset tørrfall ned til et visst nivå. Dersom vannstanden synker

lavere enn dette nivået, vil store arealer kunne tørrellegges i løpet av kun en liten ekstra vannstandssenking.

Elvestrekninger med U-profil kan fungere som leveområder for flere årsklasser av fisk.



Figur 3 U-profil med finsubstrat og flat elveseng.

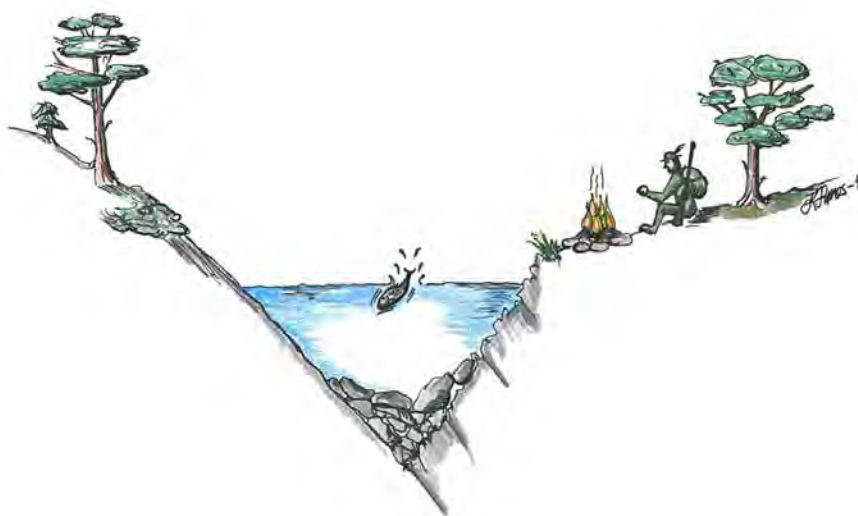


Figur 4 U-profil med mye stor stein.

3.3.2 V-profil

I elver med typisk V-profil øker dypet lineært ned til et maksimalt dyp midt i elva (figur 5 og figur 6). I slike profiler er det også en nærmest lineær sammenheng mellom tørrfall og redusert vannføring. Jo flatere/slakere vinkel på elvebreddene - jo mer tørrfall ved vannstandssenking. Men forskjellene er sannsynligvis små mellom slake og bratte V-profiler, fordi forholdet mellom elvesengas bredde og vannstandens bredde endrer seg tilnærmet proporsjonalt uavhengig av gradienten i V-profilen.

I rene V-profiler er det sannsynlig at fisk søker i retning av dypere vann ved en vannstandsreduksjon, og sannsynligheten for dette øker med økende sidegradient i profilet (bratte kanter).



Figur 5 Elveprofil med dyp V-profil.

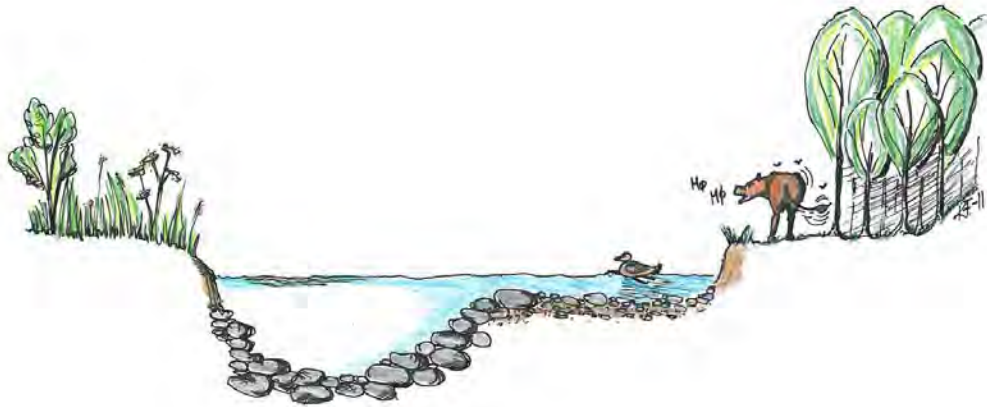


Figur 6 Elveprofil med slak V-profil.

3.3.3 Varianter

Ingen elver er rene V- eller U-profiler, men varianter (figur 7). Det er derfor essensielt i denne sammenheng å gjøre en grov kartlegging av profiler og substrat på en strekning nedenfor utløp av kraftstasjonen, for å vurdere hvilke profiler som dominerer.

Substratet er også en svært viktig parameter. En V-profil med bart fjell er for eksempel betydelig mindre utsatt for stranding av fisk enn ved substrat av stor stein, men samtidig er profiler med bart fjell mindre viktig for fisk enn elvebunn med steinsubstrat.



Figur 7 Tverrprofil av elv med flere nivå eller terrasser.

3.3.4 Minstevannføring og kulper

Dersom det er pålagt minstevannføring, vil vannstanden i elva ved denne vannføringen være en viktig basis. I enkelte tilfeller vil vanndekt areal ved pålagt minstevannføring være stort, og tilstrekkelig for overlevelse av fisk.

Tilstedeværelse av/andel av kulper på strekningen nedstrøms utløpet er en annen viktig parameter. Dersom det er mange og store kulper på strekningen, er det lettere for fisk å finne skjul når vannstanden synker.

3.4 Testing av ulike profiler med HEC-RAS

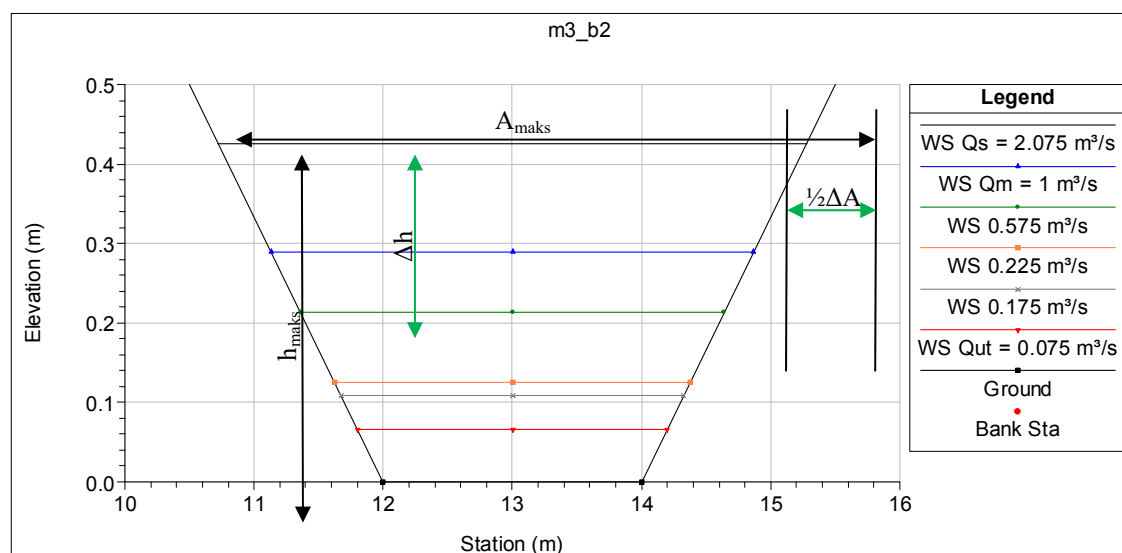
Med utgangspunkt i teorien om at tørrfall i ulike elveprofiler følger ulike forløp ved et utfall i en kraftstasjon, ble det gjennomført en teoretisk simulering. På denne måten er det mulig å vurdere om det er grunnlag for å differensiere kapasiteten i omløpsventilen avhengig av elveprofil.

Betydningen av elvas utforming ble undersøkt med enkle numeriske simuleringer med programmet HEC-RAS. Ulike elveprofiler ble testet ved faste parametre for vannføring og ulike kapasiteter på omløpsventilen. De faste parametrene ble valgt slik at de representerer et typisk småkraftprosjekt. Tabell 1 viser verdiene som ble brukt i simuleringene. Hydraulisk forutsettes normalstrømning i elveprofilet.

Tabell 1 Parametre og variabler for simulering i HEC-RAS. Q_m = middelvannføringen i elva.

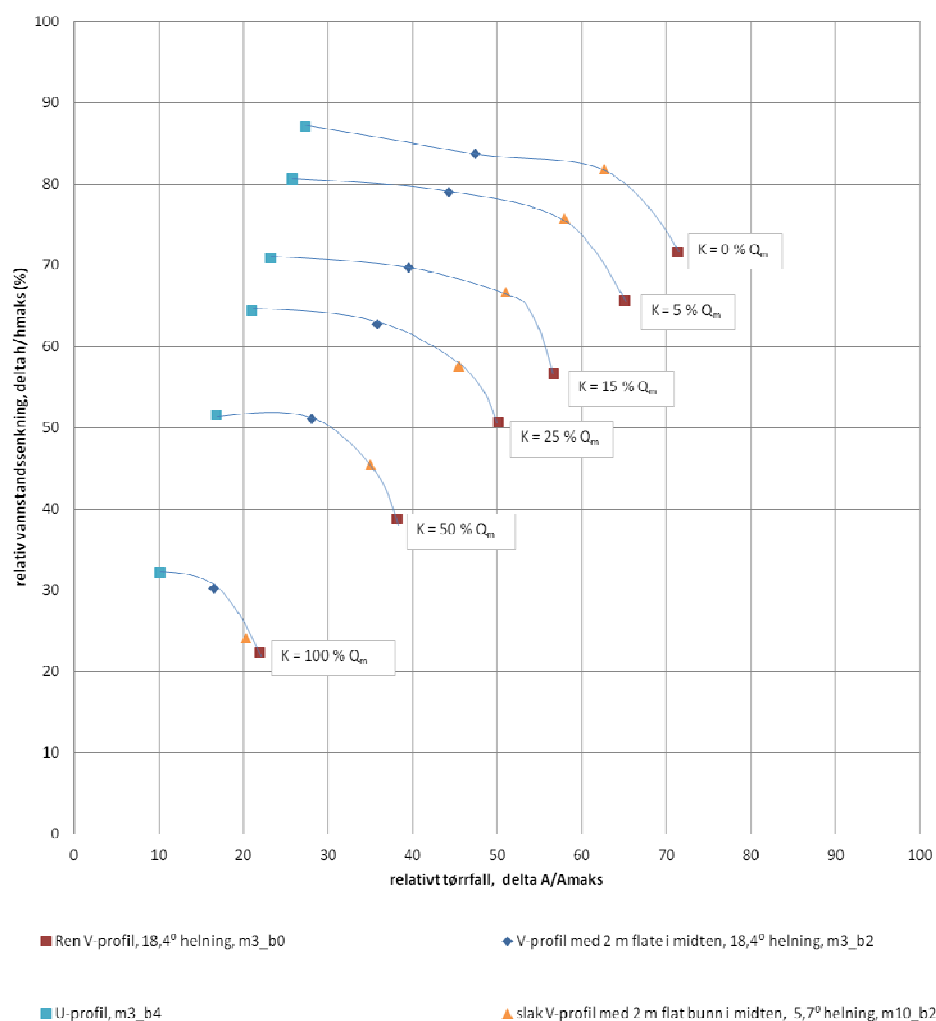
Vannføring		
Middelvannføring, Q_m	1,00 m ³ /s	100 % av Q_m
Maks. driftsvannføring i kraftverket (slukeevne)	2,00 m ³ /s	200 % av Q_m
Minstevannføring	0,05 m ³ /s	5 % av Q_m
Avrenning fra restfeltet	0,025 m ³ /s	2,5 % av Q_m
Kapasitet på omløpsventil		
	0,05 m ³ /s	5 % av Q_m
	0,10 m ³ /s	10 % av Q_m
	0,15 m ³ /s	15 % av Q_m
	0,20 m ³ /s	20 % av Q_m
	0,25 m ³ /s	25 % av Q_m
	0,50 m ³ /s	50 % av Q_m
	1,00 m ³ /s	100 % av Q_m
Elva		
Ruhet (Mannings tall)	33 m ^{1/3} /s	
Helning	10 ‰	

De elveprofilene som det er gjennomført simulering av, er vist i vedlegget. Det ble gjennomført simulering av trapes- og V-profiler. Trapesprofiler med bratte sider representerer U-profiler. Resultatet er data om vannstand og vanddekt bredde ved ulike vannføringer. Dermed kan reduksjon i vannstand og tørrlagt bredde, representativt for tørrlagt areal (m²/m elv), beregnes teoretisk. I figur 8 vises det et eksempel.



Figur 8 Resultat fra HEC-RAS-simulering for en trapesprofil med sidehelning 1:3 (tilsvare 18,4°) og 2 m bred bunn. Forskjell i vannstand og vanddekt areal er tegnet inn for en situasjon der kraftverket stopper ved maksimal drift. Den blå linjen viser vannstanden i elva ved middelvannføring og den røde viser vannstanden ved restvannføring (minstevannføring og vannføring fra restfeltet). Grønn, oransje og grå linjer representerer vannstander ved ulike kapasiteter på omløpsventilen.

For å sammenlikne de ulike profilene er vannstand og tørrlagt areal angitt i % av tilsvarende variable ved maksimal vannføring og vist i figur 9.



Figur 9 Resultater fra HEC-RAS simulering av et forløp ved valg av ulik kapasitet (K) i omløpsventilen (fra 0 til 100 % av Q_{middel}). Figuren viser sammenhengen mellom vannstandssenkning og endring av tørrlagt areal. I serienavnet er det angitt om det er en trapes (U)- eller en V-profil. Resultat fra simulering av flere figurer og illustrasjon av profilene er vist i figur i vedlegg 1.

Det er to tydelige ytterpunkt i profiltypene. Det ene representert ved de typiske V-profilene, der endring av tørrlagt areal er en lineær funksjon av vannstandsreduksjonen med en økning på 1:1. Den andre er for rektangulære profiler. Her oppstår det kun en reduksjon i vanndybde ved synkende vannføring. På grunn av at sidene er vertikale blir det ikke tørrlagt areal. Alle andre teoretiske profiler ligger mellom disse to ytterpunktene. Jo brattere sidene er og jo bredere bunnen er, desto mindre blir reduksjonen i vanndekt areal, og desto større blir reduksjonen i vandedybde før det er kritisk. I figur 9 er det en overgang fra rektangulære profiler via U-profiler til V-profiler fra venstre mot høyre.

Naturlige profiler lar seg ikke så enkelt innordne i en av de teoretiserte profilgruppene. De kan også likne for eksempel en V-profil ved lave vannføringer og mer en U-profil ved høye. Det er også vanlig i naturen at det finnes små sideløp eller terrasser som blir tørrlagt når vannføringen synker under en viss verdi. Slike vannføringer er grenseverdier som har sammenheng med effekten av en plutselig stopp i kraftverket på vassdraget nedstrøms. Dersom denne vannføringen ligger på den kritiske grenseverdien mellom vannføring i elva ved drift av kraftverket og restvannføringen som er i elva etter en stopp (minstevannføring, avrenning fra restfeltet og vannføring gjennom en mulig omløpsventil), kan det føre til store skader for fisk. Dersom omløpsventilen er dimensjonert slik at vannføringen er litt høyere enn denne grenseverdien, unngås tørrlegging av større elvearealer, og miljøet for fisk ivaretas.

3.5 Transporttid på vannet fra dammen til kraftverksutløpet

Transporttiden på vannet fra inntaket til utløpet av kraftstasjonen er vesentlig med tanke på tidspunkt for drift i omløpsventilen. ”Worst case”-situasjoner er perioder der det har vært tørke, og den tørrlagte elvebunnen ”suger opp” vannet som slippes over dammen. I motsatte situasjoner er det bart fjell, lite løsmasser og rask hastighet på vannet, eller i beste fall vann i elva som overløpet fra dammen kan ”flyte” på. Dette er svært ulike utgangspunkt som gir ulike resultat.

Transporttid på vannet kan beregnes teoretisk, men det er stor usikkerhet når man antar parametre. Det enkleste er å måle transporttiden i elva for eksempel med hjelp av farge- eller saltmåling. Det må tas hensyn til at transporttid er avhengig av vannføring, og derfor er variabel. I tillegg vil fyllingsbølgen i elvesenga bevege seg på det eksisterende vannspeilet og derfor være raskere enn den vanlige strømnings-hastigheten i elva.

Vannstanden i inntaksdammen påvirker også transporttiden. Hvis magasinet bak inntaksdammen må fylles opp før vannet renner over dammen, tar det tid (avhengig av størrelsen på magasinet) før den egentlige transporttida starter. I de aller fleste småkraftverk er det imidlertid nesten alltid fullt i inntaksdammen, og ved utfall tar det da kun kort tid før vannet renner over dammen og transporteres ned mot kraftstasjonsutløpet. Omløpsventilens funksjonalitet må imidlertid tilpasses et ”worst-case”-scenario, noe som i dette tilfellet betyr den laveste vannstanden som kan opptre i inntaksdammen i normalsituasjoner, kombinert med en situasjon der elveleiet er tilfrosset med is eller i etterkant av en langvarig tørkeperiode.

3.6 Substratets betydning for vannstander og tørrfall

Dersom det er mye stor stein i elva, vil en gitt vannmengde gi en høyere vannstand i elva relativt til det volum som de store steinene utgjør i elvesenga. Det betyr at det i storsteinete elver kan være behov for lavere kapasitet i omløpsventilen.

Samtidig er det kjent fra studier av effekter av start og stopp i kraftstasjoner at det i storsteinede substrat er mange lommer som fisken kan gjemme seg i, og som de ikke kommer seg ut av ved tørrlegging av arealer (Harby m.fl. 2004).

3.7 Hvor raskt faller vannstanden naturlig i ulike elveprofiler?

Den store forskjellen på en utfallssituasjon og naturlige fall i vannstanden er hastigheten på forløpet. Naturlige fall i vannstander overstiger sjelden 5 cm/time (Harby m.fl. 2004), mens fallet i en utfallssituasjon kan komme opp i det mangedobbelte. Dette er den kanskje største årsaken til at omløpsventiler er så viktige. Naturen er ikke tilpasset så raske fall i vannstand som det som skjer i en utfallssituasjon.

3.8 Konklusjon knyttet til elveprofil

De elveprofiler som vil få mest tørrlagt areal, er profiler som har terrasser på ulike høydenivå i elvesenga. I slike elveprofiler vil det være vannstandsnivå der betydelige arealer kan bli tørrlagt ved bare en liten ekstra vannføringsendring og påfølgende vannstandssenkning.

I samtlige elveprofiler er det naturlig nok mer kritisk jo lenger ned vannstanden går. Jo smalere elveprofilet blir, jo mindre ekstra vannføringsreduksjon skal til for å utløse tørrlagt areal i mer kritiske deler av elvesenga. Ved vannstandssenking fra maksimal driftsvannføring i kraftverket medfører en gitt vannstandssenkning relativt sett svært mye mindre tørrlagt areal enn en tilsvarende vannstandssenkning fra f.eks. middel-vannføring eller lavere.

Undersøkelsene viser at tørrfallet er minst i rene U-profiler og størst i rene V-profiler, med en glidende overgang mellom de to ytterpunktene.

4. Feltundersøkelser og erfaringer fra konkrete saker

4.1 Feltstudium – Vigda i Skaun kommune

4.1.1 Studieområdet

Vigda ble valgt som forsøksområde på grunn av nær beliggenhet til Trondheim (på grensa mellom Skaun og Melhus kommune i Sør-Trøndelag), og muligheten for å kontrollere vannføringen i elva ved å regulere driften i eksisterende Sagbergfossen kraftverk. Med en middelvannføring på $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ er Vigda i en størrelsesorden som gir elva overføringsverdi til et typisk småkraftverk.

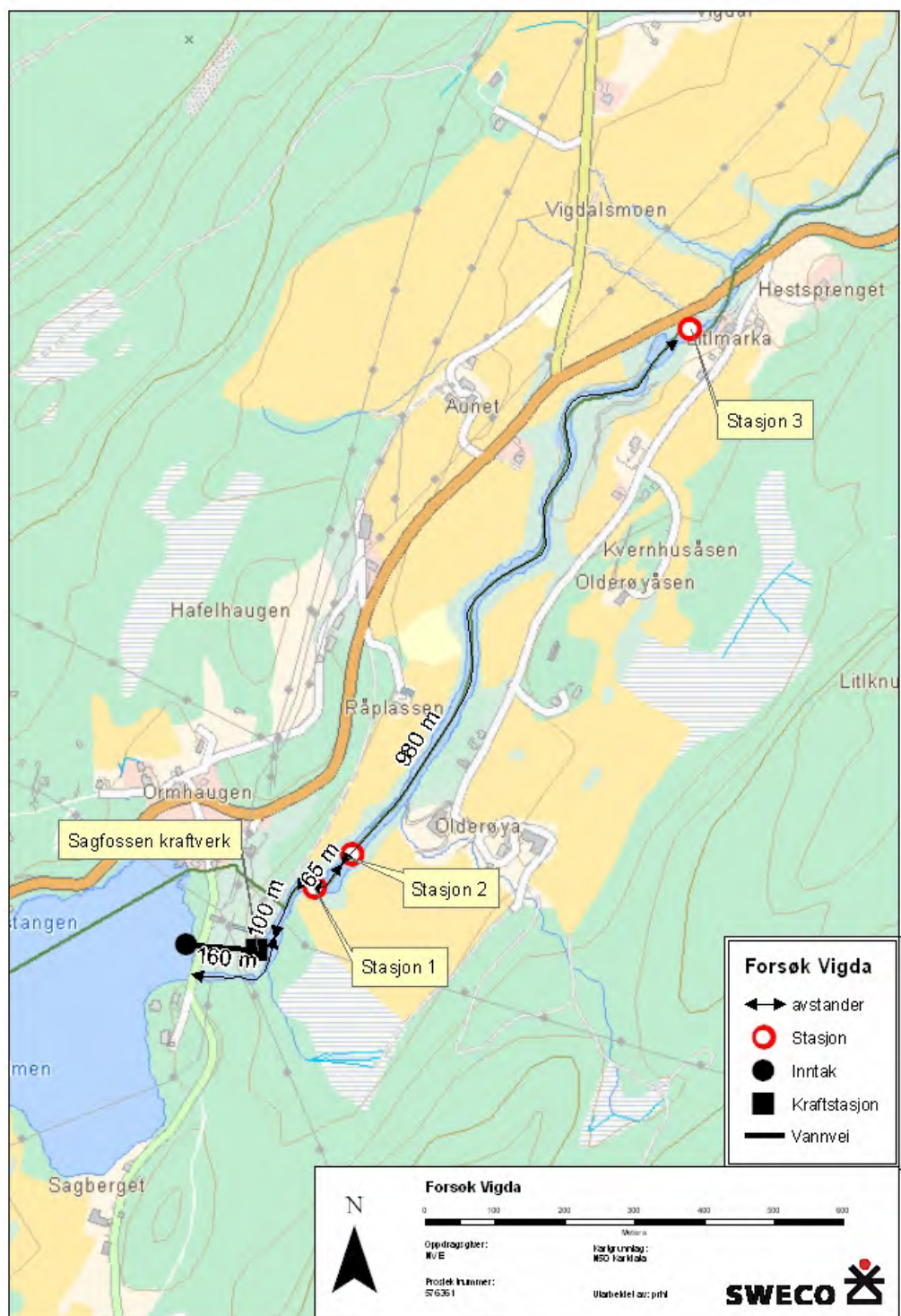
Elveløpet nedstrøms utløpet fra Sagbergfossen kraftverk er forholdsvis flatt med en helling på ca. 9 ‰. Forsøksområdet er vist i kartet i Figur 10.

4.1.2 Metode

28. september 2010 ble det gjennomført et stenge- og åpneforsøk i Vigda for å studere grad av tørrfall og hastighet på vannstandsreduksjonen i ulike elveprofiler.

Det ble satt opp tre stasjoner, hver utstyrt med en vannstandslogger, et automatisk kamera som tok et bilde av vassdraget hvert minutt og et målebånd som ble spent over elva. Ved stasjon 1 ble det i tillegg tatt bilder med et kamera med et annet perspektiv av området. I tillegg er det en permanent vannstandslogger i denne delen av Vigda, og for denne er det etablert en vannføringskurve. Dette betyr at de vannstandsverdier som ble målt i meter kan overføres til vannføring i m^3/s .

Avstander mellom de ulike stasjoner og kraftverket er tegnet inn på kartet (figur 10).



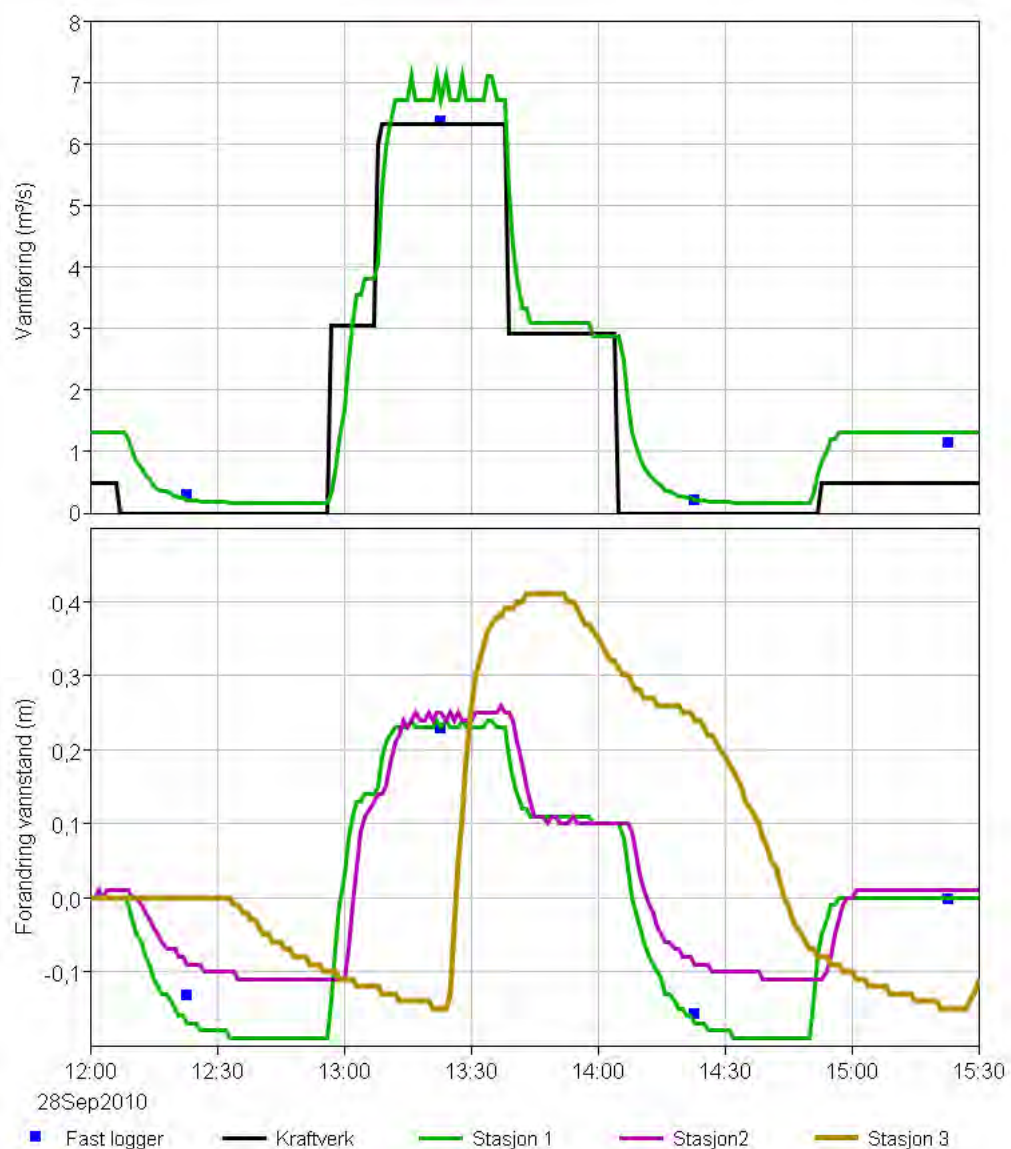
4.1.3 Resultat

Målt vannføring og vannstander ved stasjonene under forsøket er vist i figur 11. Øverste del av figuren viser vannføringen ut av kraftstasjonen (svart linje) og i elva (grønn linje) over tid. De blå punktene er måleresultatet fra vannstandsloggeren som måler vannstanden i elva. Da kraftstasjonen ble stoppet kl. 12.10 var vannføringen i

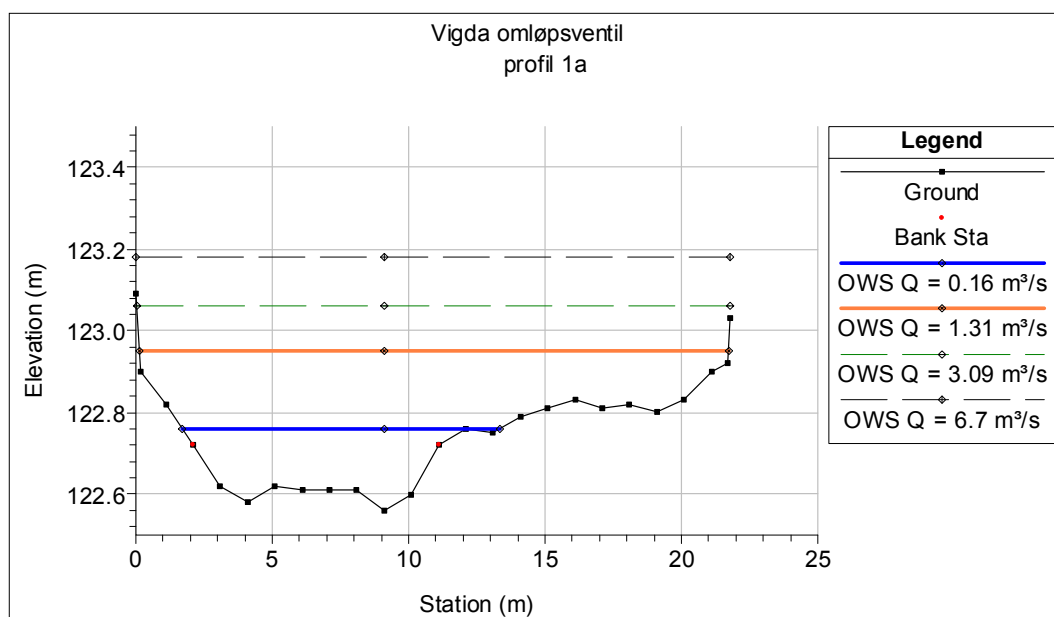
elva 1,4 m³/s og sank deretter til 0,16 m³/s. Etter ca. 30 minutter ble kraftstasjonen satt i drift med en vannføring på 3 m³/s. Vannføringen ble holdt på dette nivået i ca. 10 minutter før vannføringen ble ført til maksimum på 6,7 m³/s. Etter 30 minutter ble drifta redusert til 3,1 m³/s før stasjonen ble stoppet helt.

Den nederste del av figuren viser forandring i vannstand i løpet av forsøket på de tre stasjonene der det var montert vannstandslogger. Figuren viser at vannstanden forandrer seg relativt sett mer med endring i vannføring der elveprofilen har brattere elvekanter og V-liknende profil (stasjon 3). På stasjon 2 er elveprofilen U-formet, og her er vannstandsendringen minst relatert til endret vannføring.

I figur 12, figur 14 og figur 16 er profilene på de tre stasjonene tegnet opp. Bilder av de tre stasjonene er vist i figur 13, figur 15 og figur 17.



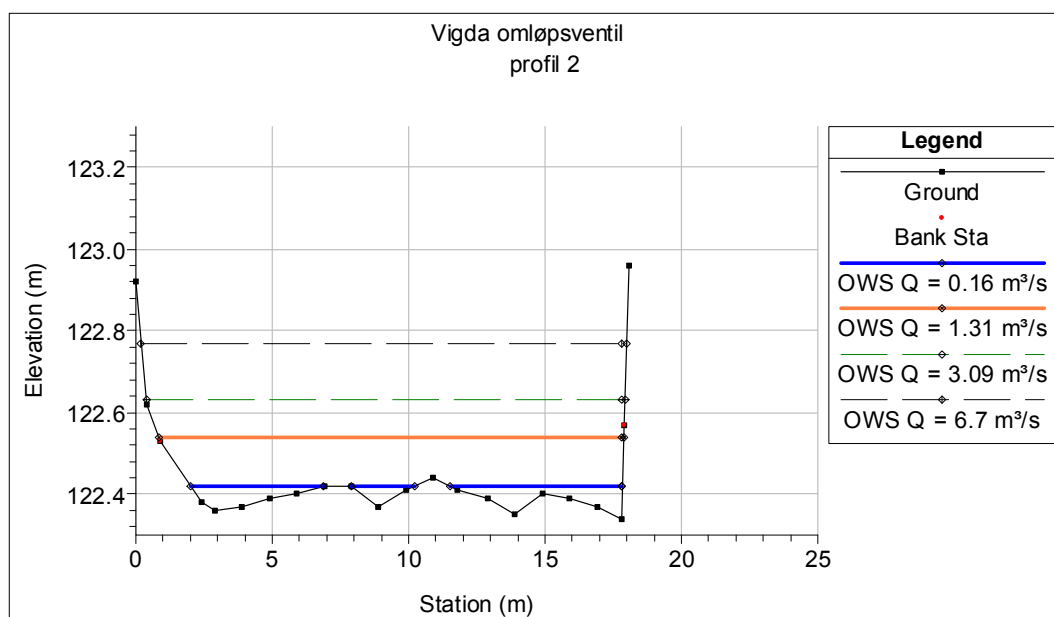
Figur 11 Forsøksresultater fra Vigda, 28. september 2010: Vannføringsdata og forandring i vannstand på de ulike stasjonene.



Figur 12 Profil 1a med observert vannstand ved fire ulike vannføringer.



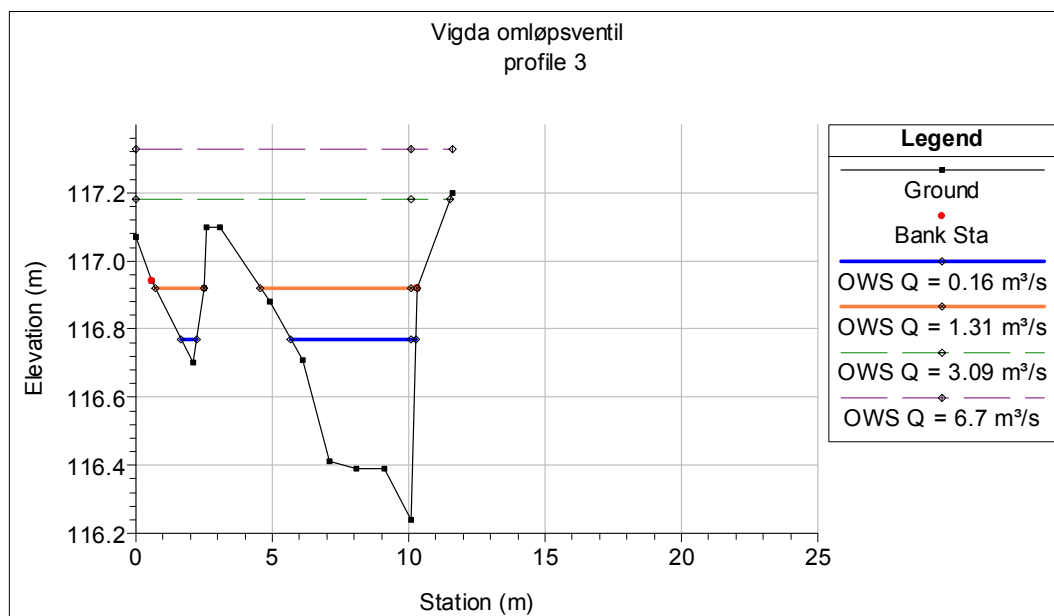
Figur 13 Stasjon 1a på laveste vannføring/vannstand.



Figur 14 Profil 2 med observert vannstand ved fire ulike vannføringer.



Figur 15 Stasjon 2 på laveste vannføring/vannstand.

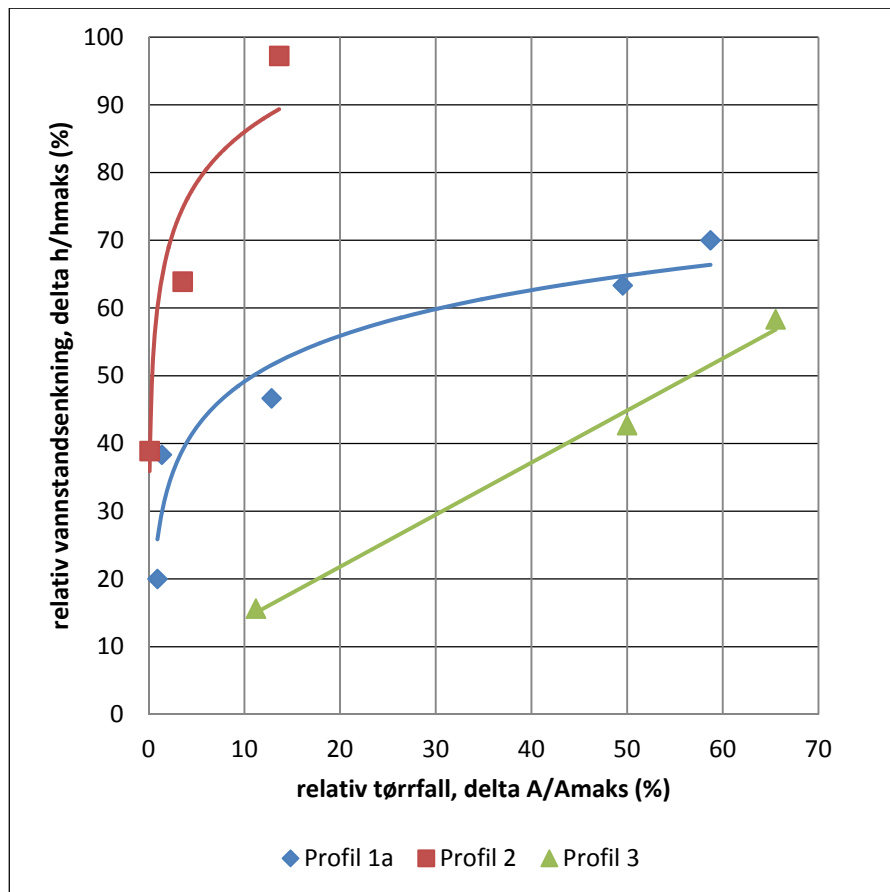


Figur 16 Profil 3 med observert vannstand ved fire ulike vannføringer.



Figur 17 Stasjon 3 på middels vannstand.

Figur 18 viser sammenheng mellom tørrlagt areal og vannstand for tre vannføringer, en lav, en rundt 50 % av middelvannføring og en nært middelvannføring. Figuren viser at profil 2 er minst kritisk. Utformingen til profil 1a fører til at det er et sprang i kurven når vannstanden synker under kote 122,9 moh. Kurven til profil 3 er nesten lineær.



Figur 18 Sammenheng mellom vannstandssenkning og tørrlagt areal relatert til verdiene som tilsvarer den maksimale vannføringen på 6,07 m³/s. Punktene viser data ved vannføringene 0,16 m³/s = 6 % Q_m (øverst), 1,31 m³/s = 45 % Q_m (i midten) og 3,09 m³/s = 107 % Q_m (nederst). Det er lagt inn noen flere punkter fra profil 1a.

Elver med V-profil

Profil 3 i Vigda er den observerte profilen som likner mest på en V-profil. Karakteristisk er at vannstandsendringen er stor, men at det blir tørrlagt lite areal på tross av dette. På grunn av en ca. 3 m brei bunn synker ikke vannstanden så mye ved lave vannføringer som den ville ha gjort dersom profilen munnet ut i en spiss, og tørrfallet blir derfor ikke så stort. Mellom kote 116,4 og 116,7 likner profilet en U-profil i småskala.

Vannstanden ble redusert med en observert hastighet på maks. 41 cm/time.

Vannstanden synker jevnt med redusert vannføring, og det blir ikke plutselig avdekking av tørrlagt areal på større flater. Det ble ikke observert stranding av fisk. Siden profilet går på fjellsubstrat, vil potensielt strandende fisk antakelig ikke strande, men heller naturlig føres med profilet langs berget og ned mot større dyp i profilet.

Elver med U-profil

Profil 2 i Vigda representerer en U-profil. Karakteristisk er at vanndekt areal endrer seg forholdsvis lite så lenge den breie og flate elvesenga er vanndekt.

Den maksimale vannstandssenkingen foregår med et gjennomsnitt på ca. 53 cm/time. I en kort periode sank vannstanden 14 cm på bare 8 minutter. På grunn av U-utformingen ble likevel lite areal tørrlagt.

Det ble tørrlagt et lite areal i forhold til reduksjonen i vannstanden. Den minste observerte vannføringen på ca. 0,16 m³/s er akkurat på grensen for hva som er akseptabelt. Med enda lavere vannstand ville svært mye areal bli tørrlagt. Det ble ikke observert fisk som strandet under forsøket.

Elver med "terrasse"-profil

Profil 1a i Vigda er verken en ren V-profil eller en ren U-profil. Spesielt er "terrassen" på østre bredd mellom kote 122,8 og 122,9 utsatt for tørrlegging ved vannstandsreduksjon. Når vannstanden synker 10 cm fra kote 122,9 til 122,8, vil et stort areal i profilet bli tørrlagt.

Den maksimale hastigheten på vannstandssenkingen er på rundt 64 cm/time med en topp på 12 cm i løpet av 6 minutter.

Mye areal blir tørrlagt når vannstanden sank fra kote 122,9 til 122,8 m, eller da vannføringen var lavere enn 0,9 m³/s (ca. 30 % av Q_{middel}). Årsaken er tørrlegging av den beskrevne "terrassen" på østre elvebredd i profilen. På denne terrassen ble det observert mange fisk som strandet. Noen prøvde å skjule seg i små pytter som ble kuttet av vannforsyningen og etter hvert tørrlagt gjennom avrenning gjennom grusen.

Vannhastighet

Det var ikke mulig å teste ut responstid på overløp av vann i stengesituasjonen i Vigda. Vannhastigheten kan måles, men hastigheten på "flodbølgen" kan ikke måles fordi Ånøya er et stort magasin. Derfor går ikke vann over dammen umiddelbart etter stopp i kraftverket.

Det ble imidlertid registrert hvor lang tid det tok fra Sagbergfossen kraftverk ble hhv. stengt og igangsatt til vannstandssenking og "flodbølgen" ble observert og målt på stasjon 3, ca. 1 km lenger ned i elva (figur 11). Det tok ca. 30 minutter før endringer i vannet fra kraftstasjonen nådde fram til stasjon 3. Overføres dette eksempelet til en småkraftsak, betyr det at overløpet fra inntaket bruker ca. 30 minutter pr. kilometer elvestrekning før det når fram til området nedstrøms kraftstasjonen.

Dette er en nedre grense, da vannkraftverk alltid bygges der elva er brattest. Vannføerings- og vannstandsendringer forplanter seg dermed fortere mellom inntak og utløp fra kraftverk enn nedstrøms kraftstasjonen.

4.1.4 Diskusjon

Kapasitet

En omløpsventil med kapasitet på 50 % av den maksimale slukeevnen (utgjør en vannføring på 3,3 m³/s i elva), som eksempel på dagens praksis, ville ivareta miljøet på alle de tre stasjonene. Forsøket viser samtidig at en omløpsventil med kapasitet på 13 % av den maksimale slukeevnen, eller 30 % av middelvannføring (tilsvarende 0,9 m³/s), også ville sørge for tilstrekkelig vanndekt areal på alle de tre undersøkte stasjoner. Faren for stranding er knyttet til to faktorer: Hastigheten på vannstandsreduksjonen og elveprofilens utforming. I flate elveprofiler er det ikke kritisk med en vannstandssenkning som overskrider anbefalingen i litteraturen om en maksimal senkningshastighet på ca. 13 cm/time. Det er vannstanden i elva på det tidspunktet kraftstasjonen stopper som avgjør hvor mye vannstanden synker, og i hvilken grad tørrlagt areal vil opptre i elveprofilen. I de forsøkene vi gjennomførte i Vigda var vannstanden i elva tilstrekkelig til å opprettholde et betydelig og tilstrekkelig vanndekt areal for å unngå stranding ved vannføringer helt ned mot 30 % av middelvannføringen. Hastigheten på vannstandssenkningen vil fortsatt overskride de anbefalte 13 cm/time, men på grunn av elvas utforming og opprettholdelse av et betydelig vanndekt areal ved den aktuelle vannføringen, unngås stranding på de aktuelle stasjonene. Det er imidlertid usikkert om denne vannstanden vil være tilstrekkelig til å unngå stranding og innfrysing i vintersituasjonen.

Det blir en del tørrlagt areal ved profil 3, men fordi substratet i profilen er fjell, vil fisk både passivt og aktivt følge vannlinja og gå i retning djupere vann etter hvert som vannstanden synker. I en noe slakere V-profil med stein- og grussubstrat ville fisken sannsynligvis gå ned i grusen og søke skjul etter hvert som vannet forsvinner, og det ville ha vært en mer kritisk situasjon.

Sammenlikning med teoretiske simuleringer

De observerte resultatene fra feltforsøket i Vigda samsvarer med de teoretiske simuleringene (kap. 3.4). Selvfølgelig er det mer variasjon i naturlige profiler, og de kan sjelden klassifiseres som enten U- eller V-profil.

Profil 3 i Vigda viser samme karakteristikk som de teoretisk simulerte V-profilene. Profil 2 er derimot en typisk U-profil med relativ stor variasjon i vannstand. Likevel blir lite areal tørrlagt. Profil 1a er ujevnt utformet og tilsvarer dermed ingen av de teoretiske profilene. Ved høye vannføringer blir lite areal tørrlagt, inntil en grenseverdi, der en betydelig del av profilen blir tørrlagt ved bare en liten ekstra reduksjon i vannstanden.

Andel kulper på elvestrekningen

I de undersøkte stasjonene i Vigda var det få store kulper. Det ble derfor ikke studert i dette forsøket hvorvidt forekomst av kulper påvirker stranding.

Substrat

Forsøket bekrefter at substrat er en av kjerneparametrene for forløpet i ei elv som er utsatt for brå vannstandssenkninger. I tillegg er substrat svært viktig for fiskens utbredelse i elver generelt.

I elver dominert av stor stein vil en gitt vannmengde i elva gi en høyere vannstand enn med samme vannmengde i ei elv med fint substrat. I tillegg vil det være større tilgang på gjemmesteder rundt steinene, som ikke så raskt tørrelegges ved utfall.

I elver med fjell vil fisken ledes langs substratet til dypere områder. I elver der det er forsenkninger i fjellsubstratet kan det forekomme at fisk blir stående i grunne kulper, men i disse vil vannstanden gjerne holde seg stabil, og fisk sannsynligvis overleve.

I elver med finere substrat av småstein og grus er elvesengas utforming ekstra kritisk. Fisk kan lett bli liggende igjen på tørrlagte områder på de høyeste platåene i elvesenga uten å finne skjul. I elver med identisk dyp i hele elvesenga vil det være grenseverdier for når vannstanden er senket så lavt at det skjer stranding.

Vannhastighet mellom inntak og kraftstasjon

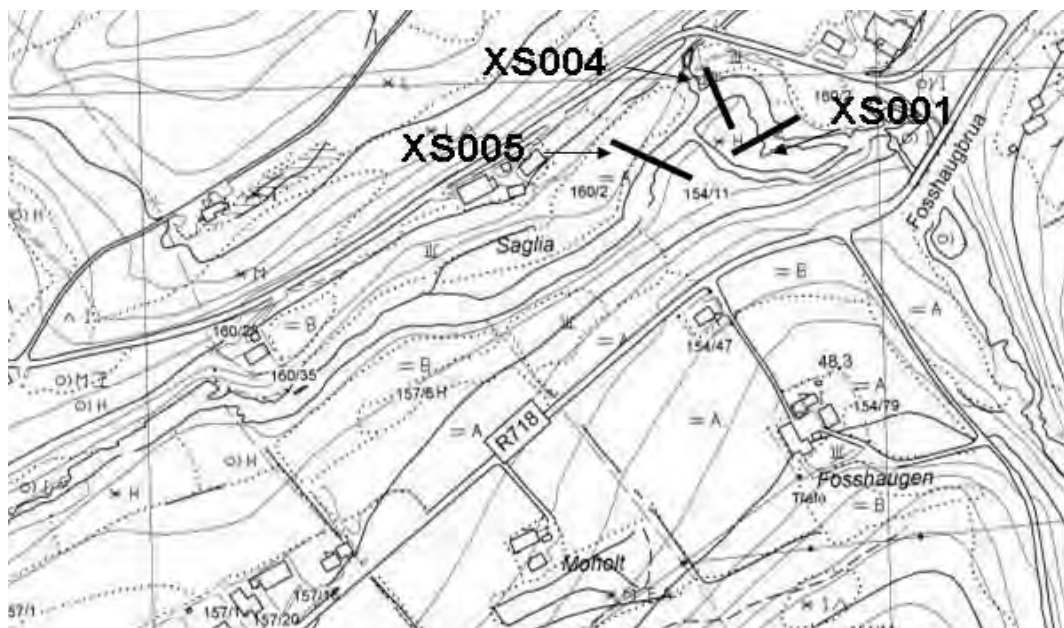
Helningsgraden i de aller fleste småkraftverk er betydelig brattere enn 9 ‰. Dette betyr at vannets hastighet på en elvestrekning med redusert vannføring nok vil være betydelig raskere enn i Vigda, og at hastigheten på vannet vil være raskere enn 2 km/time i en sommersituasjon med en viss restvannføring i elva (Mannings formel forutsatt at hydraulisk radius $R = \text{vanndybden}$).

4.2 Erfaring fra vurdering av kapasitet og vannstandsvariasjon

4.2.1 Osaelva

Osaelva ligger i Rissa kommune i Sør-Trøndelag. Middelvannføringen i Osaelva er 3,1 m³/s, og helningen nedenfor kraftverksutløpet er på ca. 9 ‰. Trønderenergi er i en søknadsprosess for kraftverket, og konsesjonssøknad er til sluttbehandling i NVE (pr. 15.11.2011). Osaelva har bestander av laks og sjørøret, og det ble derfor gjennomført undersøkelser i 2008 med tanke på fastsettelse av kapasitet i en eventuell omløpsventil. Oversiktskart og bilder av to profiler er vist i figur 19 og figur 20.

Det ble målt vanndekt areal ved fire profiler i Osaelva samtidig som det ble målt vannføring. Profilene ble valgt ved kritiske/viktige steder i elva nedstrøms utløpet av kraftverket (Sweco 2010, konsesjonssøknad for Osaelva kraftverk).



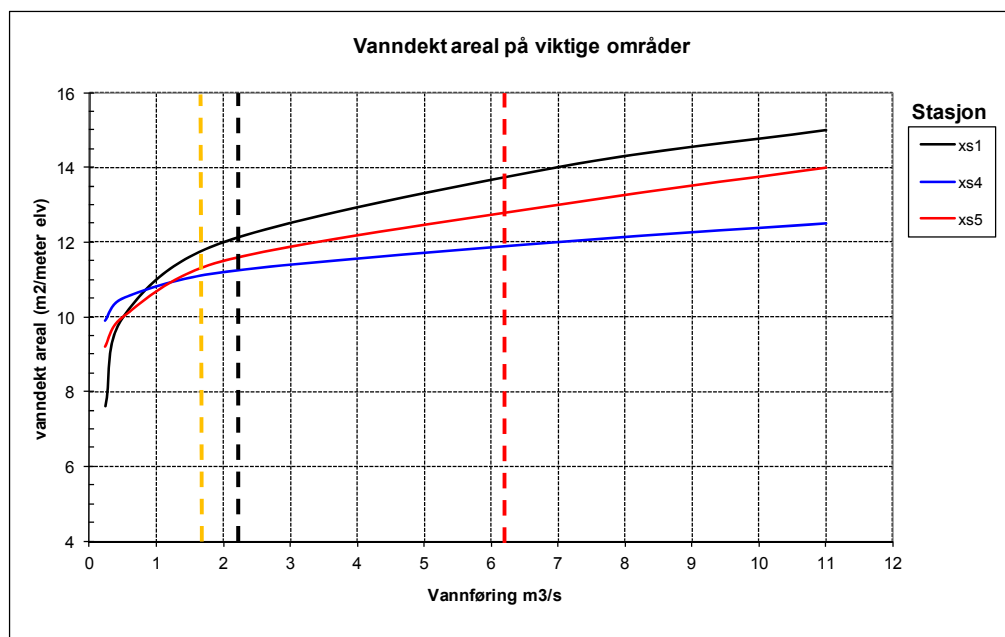
Figur 19 Oversiktskart Osaelva. De undersøkte stasjonene er tegnet inn.



Figur 20 Bilder av stasjonene XS001 til venstre og av XS004 til høyre.

Sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal er vist i figur 21, og reduksjonen i vanndekt areal er gitt i tabell 2. Kurvene i figur 21 viser at effekten av en omløpsventil er markant i vannføringsstørrelser opp til ca. $1,5\text{--}2,0\text{ m}^3/\text{s}$, og at reduksjonen i vanndekt areal varierer mye fra stasjon til stasjon. Når vannføringen er større enn $2\text{ m}^3/\text{s}$, flater kurvene ut for alle stasjoner, og utslaget i form av økt vanndekt areal er liten.

På bakgrunn av undersøkelsen ble det anbefalt å installere omløpsventil med en kapasitet på $1,5\text{ m}^3/\text{s}$. Dette tilsvarer 25 % av maksimal slukeevne i kraftverket. Det er derved tatt hensyn til stasjon XS001, som får mest tørrfall/reduksjon i vanndekt areal, og antatt at stranding av fisk på denne stasjonen i stor grad unngås ved en reduksjon i vanndekt areal på 16 %.



Figur 21 Resultatet fra en undersøkelse om kapasitet på en omløpsventil i Osaelva. Sammenhengen mellom vannføring i elva og vanndekt areal er illustrert for fire profiler. Rød vertikal strek er maksimal driftsvannføring i kraftstasjonen pluss minstevannføring, svart vertikal strek er situasjonen ved forbislipping tilsvarende 2 m³/s og oransje linje er situasjonen ved forbislipping tilsvarende 1,5 m³/s.

Tabell 2 Reduksjon i vanndekt areal ved stopp i kraftverket (maks. driftsvannføring på 6 m³/s) ned til tre ulike vannføringer ved tre kritiske profiler.

	Vannføring	Vanndekt areal, m ² /m elv		
	m ³ /s	St. XS1	St. XS4	St. XS5
Maksimal vannføring i kraftstasjonen	6,0	13,8	11,9	12,8
Uten omløpsventil, kun minstevannføring	0,2	8,0	9,8	8,9
Endring i vanndekt areal, m ² /m		-5,8	-2,1	-3,9
Reduksjon i vanndekt areal, %		42	18	30
Omløpsventil 2 m ³ /s + minstevannføring	2,2	12,1	11,3	11,6
Endring i vanndekt areal, m ² /m		-1,7	-0,6	-1,2
Reduksjon i vanndekt areal, %		12	5	9
Omløpsventil 1,5 m ³ /s + minstevannføring	1,7	11,7	11,1	11,4
Endring i vanndekt areal, m ² /m		-2,1	-0,8	-1,4
Reduksjon i vanndekt areal, %		15	7	13

Undersøkelsen viste at en omløpsventil med kapasitet på 1,5 m³/s reduserer tørrlagt areal med over 50 % sammenliknet med en situasjon uten ventil. En reduksjon av ventilkapasiteten fra 2 m³/s til 1,5 m³/s fører derimot bare til ytterligere reduksjon av tørrlagt areal på 4 % eller mindre på de undersøkte stasjonene. Konklusjonen er at en

ventilkapasitet på 1,5 m³/s er mest hensiktsmessig i dette tilfellet. En reduksjon i vanndekt areal på 15 % på stasjon 1 i Osaelva ble vurdert som akseptabelt for fisk, og dette ble derfor anbefalt.

En omløpsventil med kapasitet tilsvarende middelvannføringen (3 m³/s) ville i følge figur 21 gitt en reduksjon i vanndekt areal på 9 % sammenliknet med ved full driftsvannføring. Forskjellen mellom dette og vanndekt areal ved den anbefalte kapasiteten på 1,5 m³/s utgjør 6 %, noe som ble vurdert som akseptabelt i Osaelva.

4.2.2 Skauga

I elva Skauga i Rissa kommune i Sør-Trøndelag er et delnedbørfelt utnyttet til kraftproduksjon. I sideelva Svartelva fra Storvatnet er det et kraftverk med maks. slukeevne på 17,5 m³/s. Middelvannføringa i Skauga ved utløpet av Svartelva (kraftstasjonsutløpet) er 11,9 m³/s. Det er ingen konsesjonspålagte krav om hvordan drifta i kraftverket foregår, men det foreligger en frivillig avtale mellom Trønderenergi og elveeierlaget om en praktisering. Avtalen går ut på at kraftstasjonen er i drift i helgene i sommerhalvåret, dvs. i laksesesongen. Typisk vannføring ut i Svartelva er på 4 m³/s. Tanken bak ordningen er at fisk skal bli lokket opp i elva, og at elva skal bli attraktiv for fiske. Ordningen er i realiteten en organisert effektkjøring. I resten av uka kjører Trønderenergi kraftverket etter de vanlige prinsipper for kraftverksdrift, der markedspris er den viktigste faktoren.

I 2004 ble det gjennomført en undersøkelse i Skauga der formålet var å se på endringer i vannstander og vanndekt areal i sammenheng med avslag i kraftstasjonen etter den avtalte helgekjøringa (Vaskinn og Bergan 2004). Det ble lagt ut loggere på flere steder i elva som registrerte forandring i temperatur, vannstand (vanntrykk) og vanndekt areal i sammenheng over en tidsperiode.

Avstander mellom Svartelva kraftverk og de observerte profiler er gitt i tabell 3. Skauga har på lange strekninger en U-formet elveprofil som holder et høyt vanndekt areal inntil en grenseverdi, der tørrfallet brått synker kritisk og medfører fare for stranding (figur 22 og figur 23).

Tabell 3 Avstander i Skauga fra Svartelva til utvalgte profiler.

Profil	Avstand fra Svartelva (m)
Einbakken	-2610
Svartelva	0
Seter bru	1935
Foss	5805
Breigjerdet	9535
Dørndal	11078
Vangsfalten	13074

Figur 24 viser vannstandssenking i Skauga ved stopp i Svartelva kraftverk. Vannstandssenkingen foregår raskere jo nærmere kraftverket profilen ligger. Som følge av redusert vannstand reduseres også vanndekt areal. Det ble observert at ved typisk avslag av kraftverket fra 4 m³/s, reduseres vannstanden raskere enn det som er anbefalt for å unngå stranding av fisk.

Det er vanskelig å sammenlikne situasjonen i Skauga med en typisk situasjon nedenfor kraftstasjonsutløpet i et typisk småkraftverk. I profilene ved Seter og Foss reduseres vanndekt areal betraktelig når vannføring synker under 2 m³/s. Dette er de to mest kritiske profilene av de som ble undersøkt. Dersom vannføringen i elva i normalsituasjonen legges til grunn, ville anbefalningen om omløpsventil ligge på 11,5 % av maksimal slukeevne i kraftstasjonen. Dersom størrelsen på lokkeflommen legges til grunn, ville anbefalningen om omløpsventil ligge på 50 % av lokkeflommens størrelse (også 11,5 % av maksimal slukeevne i kraftstasjonen).



Figur 22 Skauga ved Foss bru.

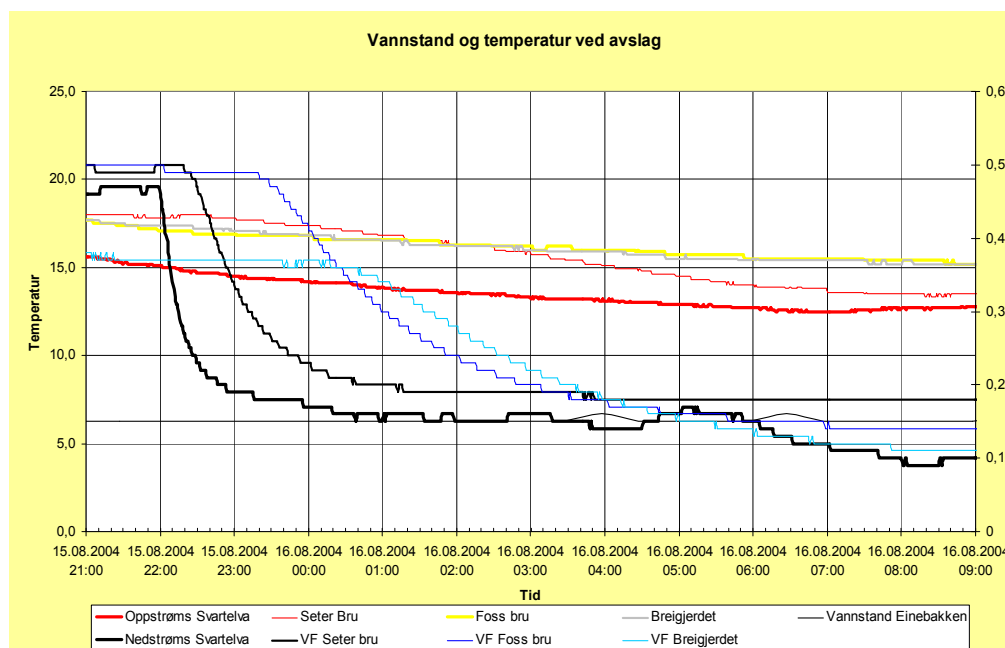


Figur 23 Skauga nedstrøms Foss bru.

Data fra Skauga gir nyttig informasjon om hvor lang elvestrekning nedenfor kraftstasjonen som må vurderes med tanke på konsekvenser for fisk og omløpsventil. Kurven i figur 24 viser at hastigheten på vannstandssenkningen er akseptabel ca. 5 km nedstrøms utløpet av Svartelva (ved Foss bru), der det er en maksimal senkningshastighet på ca. 13 cm/time.

Når det skal vurderes om det skal bygges omløpsventil, og hvordan en slik ventil i så fall skal utformes, kan det legges til grunn at en strekning på 5 km i elva nedenfor kraftstasjonen kan få sterkt redusert vannstand, tørrlagt areal og stranding. I Vigda sank vannstanden med hele 43 cm/time ca. 1 km nedenfor kraftstasjonsutløpet ved stenging, og dette er derfor opplagt en for kort strekning. Det er mye usikkerhet knyttet til hvordan forløpet vil bli i ei gitt elv, da tida vannet bruker fra utløpet og videre nedover vassdraget avhenger av substrat, fallgradient, kulper og bidrag fra restfeltet.

En strekning på ca. 5 km kan derfor kun benyttes som utgangspunkt for skjønnsbaserte vurderinger og eventuelt undersøkelser knyttet til den aktuelle situasjonen.



Figur 24 Forandring av temperatur (°C) og vannstand (m) i Skauga ved stopp i Svartelva kraftverk.

4.3 Konklusjon omkring elveprofil og tørrfall

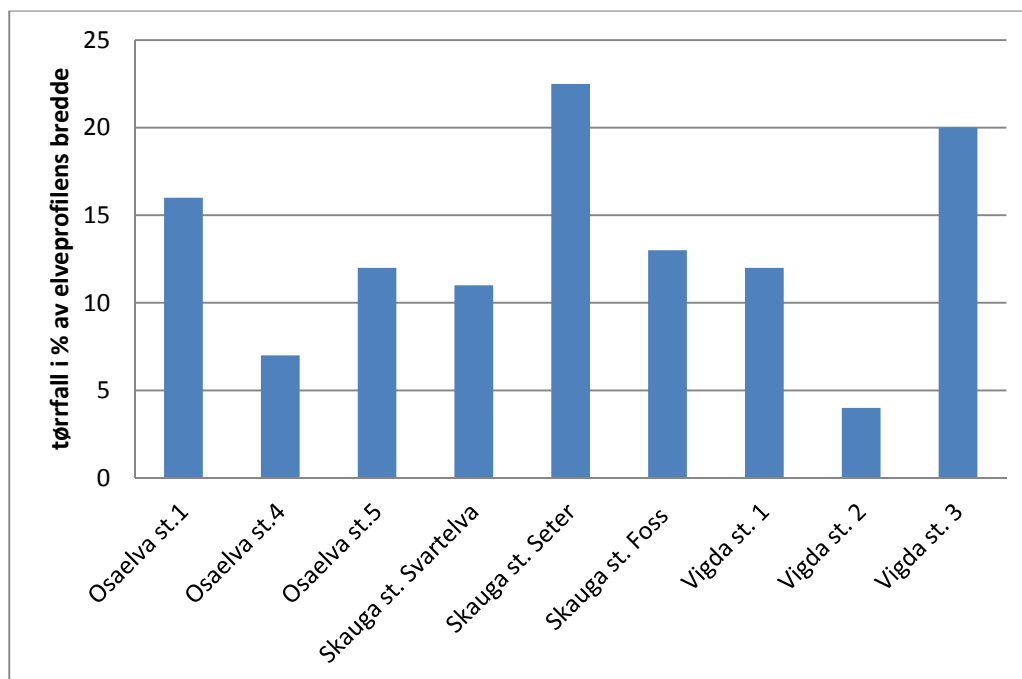
Resultatene fra undersøkelser i Vigda, Osaelva og Skauga viser at tørrfallet blir lite ved senkning av vannstanden fra maks driftsvannføring i kraftstasjonen ned til 50 % av middelvannføringen (figur 25). Tørrfallet vurderes som så begrenset at det antas å påføre lite skade på fisk og andre ferskvannsorganismer.

Vannstanden ved middelvannføringen viser seg å være ganske identisk med full elveprofil i de elvene som er undersøkt. Dette varierer sannsynligvis mer mellom ulike elver enn det som kommer fram i denne rapporten. I vår undersøkelse betyr denne sammenhengen mellom middelvannføring og fullt elveprofil at det blir et lite tørrfall på den første reduksjonen av vannstand med utgangspunkt i middelvannføringen i elva. Samtidig betyr det at den relative vannstandssenkningen videre nedover i tverrprofilet vil øke med synkende dyp i elveprofilet.

I konkrete saker anbefales det at 50 % av middelvannføringen som kapasitet i omløpsventilen benyttes som et utgangspunkt for grundigere vurderinger i hver enkelt sak. Dette foreslås som vannføringen gjennom omløpsventilen ved maks slukeevne i kraftstasjonen. I situasjoner der kraftstasjonen produserer på mindre vannføring, foreslår vi at det slippes relativt sett mer vann gjennom omløpsventilen (se vedlegg 2). Bakgrunnen for dette er at vannmengden som slippes gjennom omløpsventilen aldri må være større enn tilsiget, og helst så mye lavere enn tilsiget at det går raskt å få overløp over inntaksdammen.

Samtidig er det ved lave vannføringer at fisken i elva er mest sårbar for brå vannstandsendringer, og derfor er det viktig å slippe relativt sett mer enn 50 % av den gjeldende vannføringen i omløp. På denne måten unngås store tørrfall i situasjoner

der vannføringen i elva i utgangspunktet er lav, og faren for tørlegging av elveareal dermed er større. Kontrollsystemet i kraftstasjonen kan utstyres med et styringssystem som håndterer dette.



Figur 25 Tørfall i prosent av arealet i hele elveprofilens bredde i de elvene som er undersøkt i prosjektet ved en vannføring på 50 % av middelvannføringen.

Dersom berørt elvestrekning er dominert av U-formet tverrprofil, kan det være aktuelt å redusere kapasiteten på omløpsventilen til ned mot 25–30 % av middelvannføringen. Dersom det er blokk og stor stein i elveprofilet, vil behovet kunne være enda mindre, da vannmengden vil gi høyere vannspeil enn ved et fint substrat.

Ved substrat bestående av knyttnevestort eller finere substrat, er det færre skjulesteder for fisk, og disse partiene er viktige pga. egnethet for gyting. På elvepartier med denne typen substrat er det viktig å definere den grenseverdien for vannføring der elvesenga fortsatt er tilnærmet vanndekt, slik at omløpsventilen får en kapasitet som unngår tørlegging av gyteområder. Det må her bemerkes at både laks og sjørret er tilpasset betydelige vannføringsvariasjoner i vassdraget over tid, og at gyting i liten grad vil forekomme på arealer som ofte tørlegges i naturlig tilstand.

På elvestrekninger med lengre parti med djupåler og terrasserte grunnere partier i elvesenga vil det være naturlig å vurdere større kapasitet på omløpsventilen, for å unngå tørlegging og stranding på viktige gyteområder og leveområder for årsyngel.

5. Anbefalt kriteriesett for omløpsventil

Her er det foreslått et sett av kriterier som bør legges til grunn ved vurdering av omløpsventil. Når er det behov for omløpsventil, hvor stor kapasitet bør omløpsventilen ha, og hvordan bør ventilen fungere for at formålet skal være oppfylt?

Det er ikke skilt mellom nasjonale vassdrag, vernede vassdrag og ”ordinære” vassdrag. I nasjonale laksevassdrag må det normalt gjøres grundige undersøkelser som grunnlag for krav til omløpsventilen. I forbindelse med småkraftverk er det i første rekke sideelver som er relevante i denne sammenheng. I nasjonale laksevassdrag er det en mindre aksept for inngrep som gir negativ påvirkning av laksen. Det viktige i slike saker er derfor å finne ut om en omløpsventil vil bidra til en bedre beskyttelse av laksestammen. Det vil sannsynligvis være mer vanlig å benytte ”føre var”-prinsippet i nasjonale laksevassdrag, noe som kan bety at det blir stilt krav om omløpsventil med større kapasitet, eller eventuelt at det stilles krav om grundige undersøkelser omkring sammenhengene mellom vannføring og vanndekt areal.

I vernede vassdrag skal det ikke gis konsesjon til kraftverk med installasjon større enn 1 MW, samtidig som det kun aksepteres at en liten andel av vannet i elva utnyttes til kraftproduksjon. Det vil derfor sjelden være aktuelt å vurdere omløpsventil som avbøtende tiltak i vernede vassdrag.

5.1 Når er det behov for omløpsventil?

Kriterier

1. Dersom det er kjent at elvestrekningen nedenfor utløpet av kraftstasjonen har egen/ egne bestand(er) av laks og/eller sjørret, eller dersom elvestrekningen ligger i en sideelv som er leveområde for slik(e) bestand(er), må det stilles krav om omløpsventil.
2. Dersom det er kjent at elvestrekningen nedenfor kraftstasjonen er gyte- og oppvekstområde for en bestand av storørret, må det stilles krav om omløpsventil.
3. En strekning på ca. 5 km nedenfor kraftstasjonsutløpet må vurderes med tanke på verdi og mulige konsekvenser for laks og ørret, såfremt det ikke er samløp med større elv eller utløp i sjø eller innsjø innenfor denne elvelengden. Denne verdien benyttes kun som et utgangspunkt for mer detaljerte vurderinger.
4. Dersom det er usikkerhet om hvorvidt elvestrekningen nedenfor utløpet av kraftstasjonen er leveområde for bestander nevnt under punkt 1 og 2, må det gjennomføres et enkelt prøvefiske for å kartlegge artsforekomst og kartlegge om det er årvisse gyting i vassdraget.

Slike vurderinger gjøres typisk på korte elvestrekninger (< 500 m) ovenfor ei elv sitt utløp i en fjord eller innsjø, eller dersom tiltaket berører korte strekninger i sideelver ovenfor samløp med hovedelva.

Unntak

Dersom elva ikke har egne bestander av laks og/eller sjørret, eller liten verdi for andre bestander, vurderes det om behovet for omløpsventil er til stede.

Dersom det er et stort restfelt mellom inntaket og kraftstasjonen, vil behovet for omløpsventil være mindre, og kapasiteten på en eventuell ventil kan settes lavere.

Dersom det er pålagt høy minstevannføring som opprettholder et tilstrekkelig vanddekt areal, vil behovet for omløpsventil være mindre.

Dersom slukeevnen i kraftstasjonen er liten (<50 % av middelvannføringen) (eks. vernede vassdrag), vil det sjelden være behov for omløpsventil.

5.2 Hvilken kapasitet bør en omløpsventil ha?

1. Teoretiske beregninger vha. modeller og praktiske forsøk i tre vassdrag med ulike profiler tyder på at 50 % av middelvannføringen i et vassdrag (tilsvarer normalt 25 % av maksimal slukeevne i kraftstasjonen) er tilstrekkelig vannmengde for å unngå tørrfall i de aller fleste elveprofiler (se figur 25).

50 % av middelvannføringen bør benyttes som et utgangspunkt for mer grundige vurderinger i hver enkelt sak.

2. På elvestrekninger dominert av U-formet tverrprofil er det aktuelt å redusere kapasiteten på omløpsventilen til ned mot 25–30 % av middelvannføringen. Dersom det er blokk og stor stein i elveprofilet, vil behovet kunne være enda mindre, da vannmengden vil gi høyere vannspeil enn ved et fint substrat.

3. På elvestrekninger med lengre parti med djupåler og terrasserte grunnere partier i elvesenga er det aktuelt å vurdere større kapasitet på omløpsventilen for å unngå tørrlegging og stranding på viktige gyteområder og leveområder for årsyngel.

4. Dersom fallgradienten på strekningen nedstrøms kraftstasjonen er ca. 1 %, benyttes de ovenfor nevnte kriteriene. Dersom fallgradienten dobles, vil vannstanden i elveprofilet reduseres med 20 %, og elva vil tømmes raskere. Dette må hensynstas, slik at kapasiteten på omløpsventilen økes med 25 % ved dobling av fallgradienten.

5. Kapasiteten på omløpsventilen må tilpasses den til enhver tid gjeldende vannføring gjennom turbinen.

- Dersom det skjer utfall ved full drift i kraftstasjonen, slippes maks kapasitet i omløpsventilen, typisk 50 % av middelvannføringen.
- Dersom det skjer utfall ved minimum driftsvannføring gjennom kraftstasjonen, slippes 90 % av gjeldende driftsvannføring i omløp.

Mellom disse ytterpunktene bør det være en gradvis overgang i andel av gjeldende driftsvannføring som slippes i omløp (se forslag til sammenhenger mellom driftsvannføring og kapasitet i figur i vedlegg 2). Målene er å få fylt opp inntaksbassenget raskest mulig og få overløp, vannføring i elva og etter hvert mulighet til å kunne stenge omløpsventilen helt ned. I tillegg er faren for betydelig redusert vanndekt areal større jo lavere driftsvannføringen er når utfallet skjer, og det bør derfor slippes andelsmessig mer vann i omløp ved lave driftsvannføringer.

6. Dersom vassdraget har svært permeabel elvebunn, kan det være aktuelt å etablere kulper på strekningen nedstrøms kraftstasjonen for å skape gjemmelplasser i utfalls-situasjoner. Kulper vil i tillegg bidra til å forsinke vannet på vei nedover elva, og på denne måten forsinke tørrfallet.

7. Noen ganger er det nødvendig med grundige undersøkelser for å fastsette kapasiteten på ventilen. Grundige undersøkelser betyr kvantitative fiskeundersøkelser på strekningen, oppmåling av tverrprofiler og beregning av tørrfall ved ulike vannføringer. Dette er spesielt aktuelt i meanderende elver med stor variasjon i substrat og tverrprofiler på berørt strekning. Det er aktuelt å måle vannføring for å framskaffe data om sammenhengen mellom vannføring og vannstand i den konkrete saken.

5.3 Hvordan bør omløpsventilen fungere?

1. Kapasiteten på omløpsventilen bør ikke overstige det til enhver tid gjeldende tilsig til inntaksdammen, jf. gjeldende vannføring gjennom turbinen.

2. Jf. punkt 5 i kap. 5.2. Kapasiteten på omløpsventilen må tilpasses den til enhver tid gjeldende vannføring gjennom turbinen. Kontrollanlegget i kraftstasjonen må styre omløpsventilens lukking slik at den til enhver tid gjeldende vannføring gjennom turbinen er retningsgivende for den vannføringen som slippes gjennom omløpsventilen. Vannmengden som slippes gjennom omløpsventilen må representere en høyere andel av den til enhver tid gjeldende vannføring gjennom turbinen jo lavere driftsvannføringen er (se figur og foreslått formel i vedlegg 2).

3. Omløpsventilen må åpne seg umiddelbart etter at turbinen har stanset.

4. Omløpsventilen bør ikke stenges før det er kommet vann fra inntaksdammen ned til strekningen nedstrøms kraftstasjonen. Vannets tidsbruk fra inntaksdammen må baseres på praktisk utprøving i sommer- og vintersituasjoner og må ta høyde for at vannstanden i inntaksdammen typisk kan være inntil 25 cm lavere enn damkrona, og dermed må fylles opp før det renner vann i elva.

5. Dersom det er høy minstevannføring i elva som opprettholder et stort vanndekt areal på strekningen nedenfor kraftstasjonen, kan omløpsventilen stenges ned gradvis uten at det er kommet vann ned fra inntaksdammen. Dersom dette skal praktiseres bør det verifiseres hvor stor andel av elvesenga som er vanndekt ved minstevannføring i hhv. sommer- og vintersituasjon.

6. Dersom restfeltet bidrar med en betydelig vannmengde, gjelder samme kriterier som i punkt 5.
7. Omløpsventilen må stenges ned gradvis over en periode på minimum 30 minutter for unngå fare for nye strandingssituasjoner. Nedstengingsperioden må tilpasses hvert enkelt anlegg.
8. Det må sørges for tilstrekkelig nødstrøm som gir mulighet til styring av omløpsventilen ved utfall av strømmettet.
9. Utstyret må innreguleres etter at kraftstasjonene er satt i drift for å sikre optimal funksjonalitet og tilpasses de lokale forholdene i elva.
10. Det bør stilles krav om dokumentasjon på at utstyret fungerer som tiltenkt i ulike situasjoner i form av resultater fra testing.
11. Peltonturbin med deflektorer brukt for vannslipping anbefales normalt ikke som erstatning for omløpsventil der hvor det stilles store krav til sikker vannføring og over noe lengre tid.
12. I kraftverk med reguleringsmagasin må omløpsventilen holdes i drift til kraftstasjonen settes i drift, med unntak av i følgende situasjoner:
- Dersom utfallet varer lenge kan ventilen stenges ned svært gradvis.
 - Dersom det kan åpnes bunntappeluker i dammen, kan omløpsventilen stenges etter at disse er åpnet, og vannet er kommet fram til berørt elvestrekning.
 - Dersom magasinet er fullt og det er overløp over damkrona, kan omløpsventilen stenges når vannet har kommet ned til berørt elvestrekning.
 - Dersom situasjonen er som beskrevet i punkt 5 og 6.

6. Behov for videre undersøkelser

- Konkrete undersøkelser og erfaringer fra innjustering av en omløpsventil i et typisk småkraftverk kunne gitt nytte og overføringsverdi til andre prosjekter.
- Gjennomføring av anbefalt metodikk i et prosjekt i tidlig fase. Er sjekklista og kriteriene mulige å forstå og følge i praksis?
- Hastigheten på vannstandssenkingen ved ulike avstander nedstrøms et kraftstasjonsutløp er fortsatt dårlig kjent og bør undersøkes for å kunne vurdere hvor lang elvestrekning det skal tas hensyn til i vurderingen.
- Styring av omløpsventiler i praksis. Utprøving og utarbeidelse av rutiner for god og sikker drift i ulike situasjoner. Samarbeid med leverandører?

7. Referanser

7.1 Muntlige kilder

Kraftverkseiere og leverandører:

Elvekraft AS, Norsk Grønnkraft AS, Fjellkraft AS, Småkraft AS, Rainpower Norway AS, Tussa Kraft AS, Svorka Energi AS, Andritz Hydro AS.

Atle Harby, seniorforsker, CEDREN og SINTEF Energi AS.

7.2 Litteratur

Baumann, P. og I. Klaus. 2003. Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes – Ergebnisse einer Literaturstudie. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL. Bern, 2003.

Bremset, G. 1999. Young Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) inhabiting the deep pool habitat, with special reference to their habitat use, habitat preferences and competitive interactions. Dr. scient. avhandling, Zoologisk institutt, NTNU, Trondheim, 112 sider.

Bremset, G. 2000. Seasonal and diel changes in behaviour, microhabitat use and preferences by young pool-dwelling atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*. Environmental Biology of Fishes 59, 163–179.

Frilund, G.E. og K.A. Vaskinn. 2010. Konsesjonssøknad for Osaelva kraftverk i Rissa kommune. Oppdrag for TrønderEnergi. Saken er på høring pr. 15.11.2011.

Halleraker, J.H., Sundt, H., Alfredsen, K.T. og G. Dangelmaier. 2007. Application of multiscale environmental flow methodologies as tools for optimized management of a Norwegian regulated national salmon watercourse. River Res. Applic. 23: 493–510 (2007).

Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S. og S.J. Saltveit. 2004. Raske vannstandsendringer i elver – virkninger på fisk, bunndyr og begroing. Sluttrapport fra forskningsprosjektet ”Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann”. EFFEKT-programmet.

Heggenes, J., O.M.W. Krog, O.R. Lindas, J.G. Dokk og T. Bremnes 1993. Homeostatic behavioral-responses in a changing environment - Brown Trout (*Salmo trutta*) become nocturnal during winter. Journal of Animal Ecology 62 (2): 295–308.

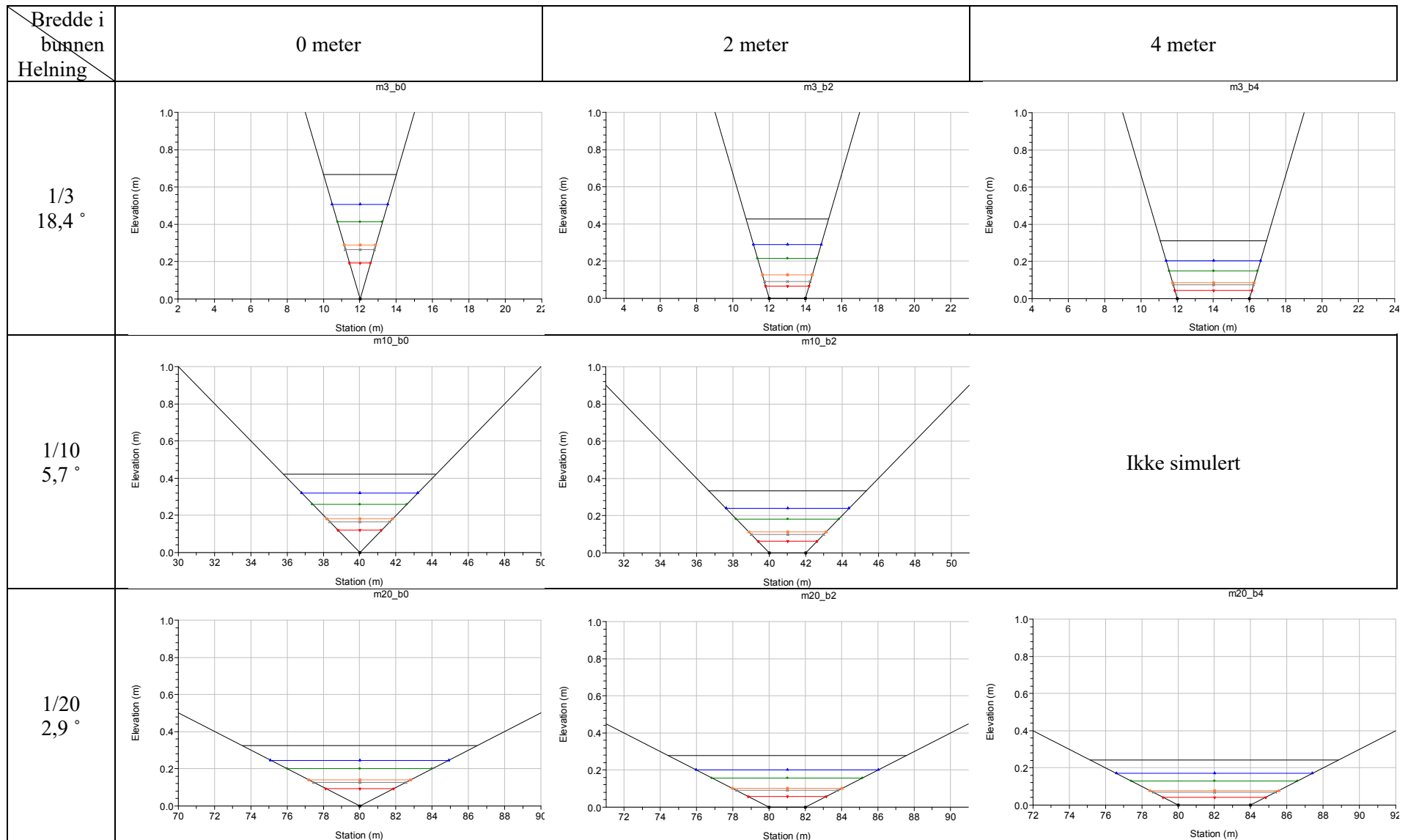
Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. og A. Harby. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. Regulated Rivers 17: 609–622.

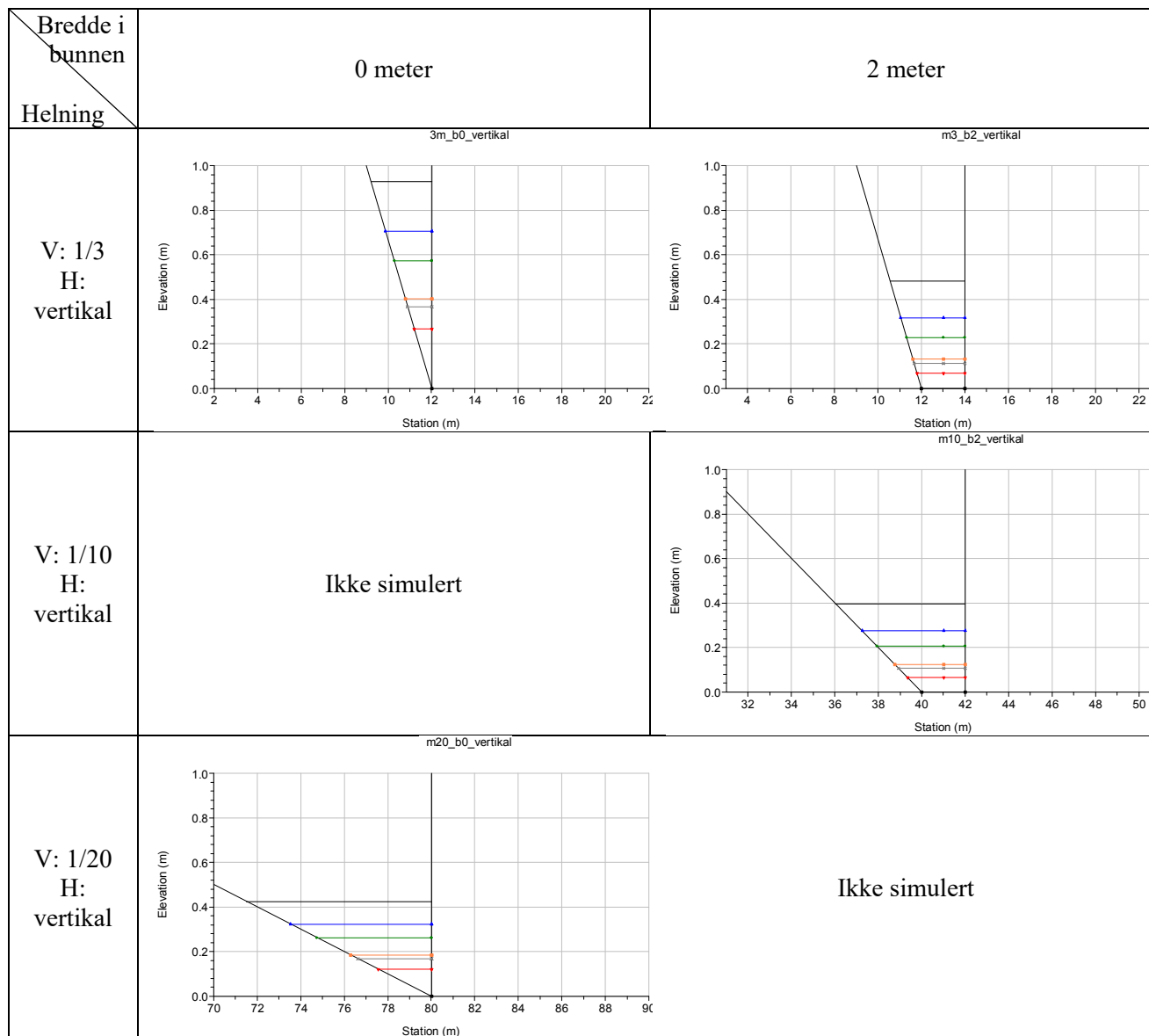
Saltveit, S.J. og J. Heggenes. 1991. En konsekvensvurdering av reguleringsvirkninger på laks og ørret i Gjengedalsvassdraget, Sogn og Fjordane. II. Lengdefordeling, vekst, tetthet og habitatvalg hos laks og ørretunger. LFI-rapport på oppdrag for Sogn og Fjordane E-verk.

Vaskinn, K.A. og P.I. Bergan. 2004. Undersøkelser av vanndekt areal relatert til vannføring i elva Skauga i Rissa kommune. Oppdrag for TrønderEnergi.

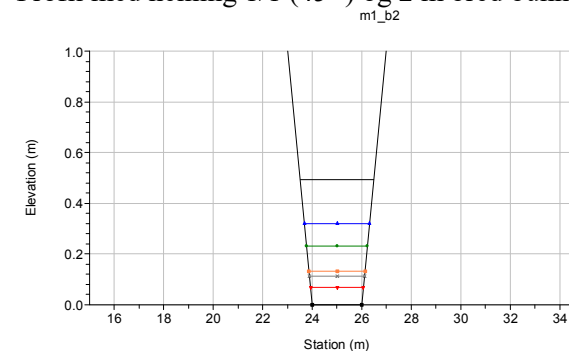
Vedlegg 1. Resultater og profiler fra HEC-RAS simuleringen

PS! Skalaen på X- og Y-aksene er ulike.





Profil med helning 1/1 (45 °) og 2 m bred bunn



Tegnforklaring

WS Qs = 2.075 m³/s

WS Qm = 1 m³/s

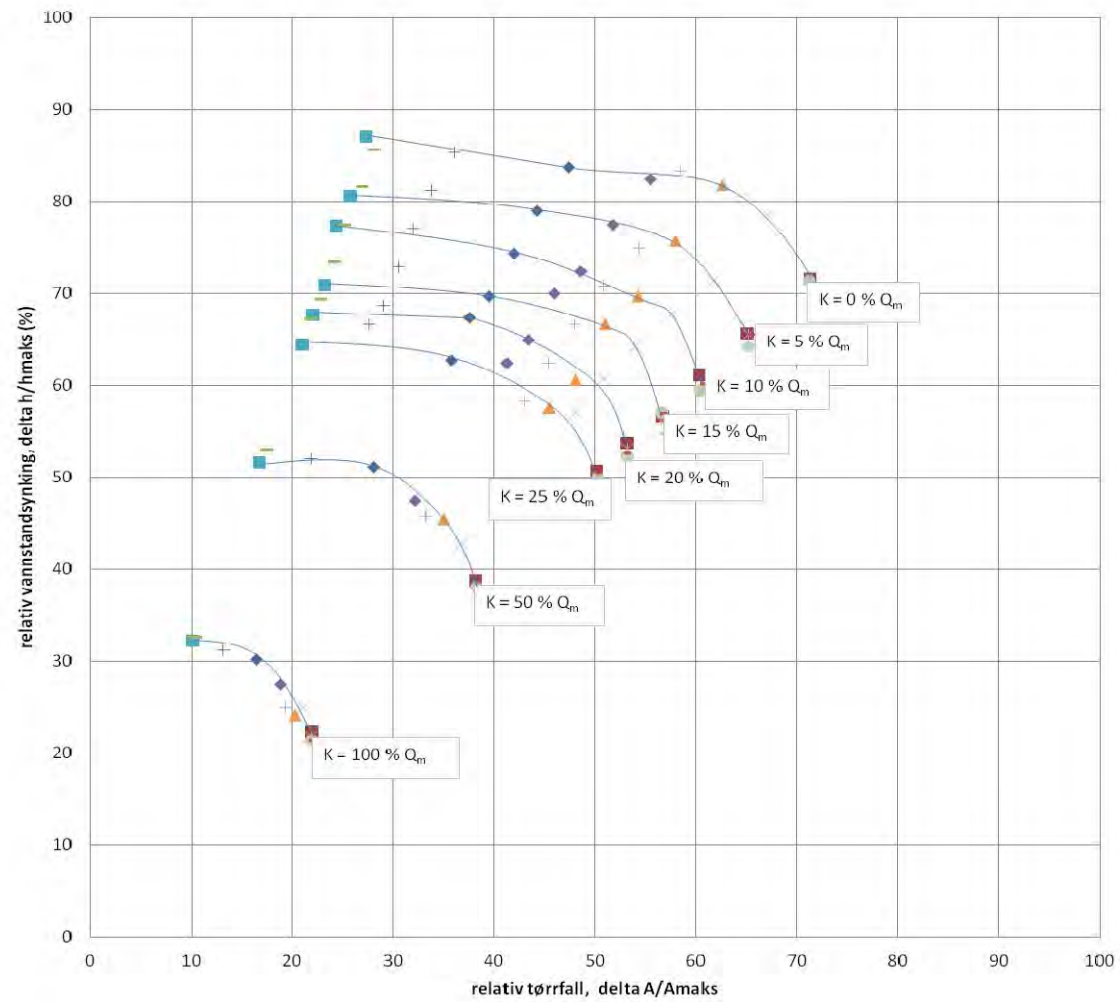
WS 0.575 m³/s

WS 0.225 m³/s

WS 0.175 m³/s

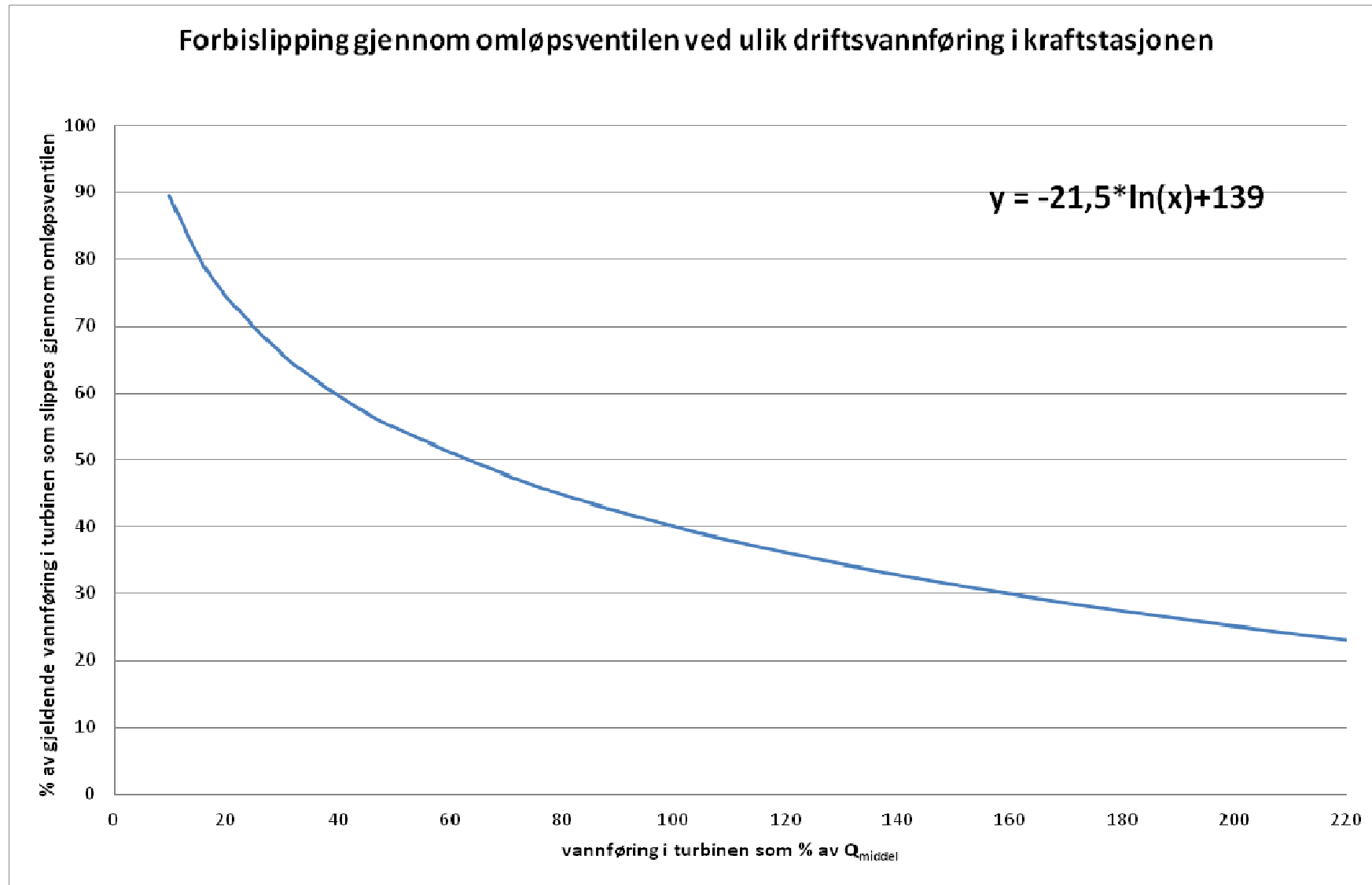
WS Qut = 0.075 m³/s

Inntegnet vannstand ved gitt vannføring



Vedlegg 2. Forslag til vannslipping gjennom omløpsventilen

Kurven viser hvor stor andel av vannmengden som bør slippes gjennom omløpsventilen ved ulik drift i kraftstasjonen.



Vedlegg 3. Sjekkliste for vurdering av omløpsventil, viktige parametre

Data	parameter
Arealet på inntaksbassenget	m ²
Høydeforskjell fra damkrone ned til laveste vannstand i inntaksdam i driftssituasjon	m
Hvor lang tid tar det å fylle opp inntaksbassenget til damkrone ved laveste praktiserte vannstand og ulikt tilsig? Basert på overflateareal på inntaksbassenget og tilsig?	minutter/timer
Hvor lang er transporttiden på vannet fra inntaksdammen til utløpet fra kraftstasjonen? Bruk av farge eller salt kan benyttes for å få eksakte data	minutter/timer
Hva er fallgradienten på elvestrekningen nedenfor utløpet av kraftstasjonen?	‰
Hvor lang er elvestrekningen fra inntaksdammen til utløpet fra kraftstasjonen?	m
Maksimal slukeevne i kraftverket – i m ³ /s og i % av Q _{middel}	m ³ /s og % av Q _{middel}
Avstand mellom utløp av kraftstasjonen og elvas utløp i en fjord, innsjø eller større elv	m
Skjønnsmessig vurdering av elveprofiler på berørt strekning – beskrivelse iht. de profiler som er skissert i rapporten	U, V eller miks - spesifiseres
Oppmåling av tverrprofiler kan være aktuelt – må i så fall relateres til vannhastighet	Tverrprofiler, måling av strømhastighet, helst på lav vannføring
Vurdering av substrat i elva. Egnethet for fisk	Prosentandel blokk, stor stein, middels stor stein, små stein, grus, sand og leire
Måling av vannføring i vassdraget	Anbefales for å få tilstrekkelig datagrunnlag
Vanndekt areal nedenfor utløp av kraftstasjonen ved minstevannføring	m ² /m

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

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring, fase II

- Nr. 1-09 Evaluering av ordningen med prøvereglement. Brian Glover, John Brittain, Svein Jakob Saltveit (49 s.)
- Nr. 2-09 Pilotstudie tilsigstyrt minstevassføring. Knut Alfredsen, Tommi Linnansaari, Atle Harby, Ola Ugedal (41 s.)
- Nr. 3-09 Miljøvirkninger av vannkraft - forslag til undersøkelsesmetodikk. Lars Størset (51 s.)
- Nr. 4-09 Hvor viktig er vatn og vassføring for friluftsliv? Brukerstudier om aktiviteter, opplevelser, holdninger, kraftutbygging og konsesjonsvilkår. Odd Inge Vistad, Joar Vittersø, Oddgeir Andersen, Hogne Øian, Tore Bjerke (84 s.)
- Nr. 5-09 Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft. Atle Harby (red.) (51 s.)
- Nr. 1-10 Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging - en kunnskapsoppsummering. Eva B. Thorstad (red.) (135 s.)
- Nr. 2-10 Etterundersøkelser ved små kraftverk. Sumvirkninger på landskap. Botaniske verdier og småkraft, Bunndyr og småkraft, Konsesjonsfrie mikro- og minikraftverk. Gunn E. Frilund (red.) (113 s.)
- Nr. 3-10 Temperaturforhold i elver og innsjøer. Tiltak for regulering av temperatur. Simuleringsmodeller. Kjetil Vaskinn (89 s.)
- Nr. 1-11 Vassdrag, vannføring og landskap. Trond Simensen, Priska Helene Hiller, Kjetil Vaskinn (55 s.)
- Nr. 2-11 Blodsugende knott og vassdragsreguleringer: Kan masseforekomst predikeres? Åge Brabrand, Trond Bremnes og Henning Pavels (34 s.)
- Nr. 3-11 Fossefall og småkraftverk: Bjørn Walseng, NINA. Kurt Jerstad, Jerstad viltforvaltning (35 s.)
- Nr. 1-12 Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer Atle Harby og Jim Bogen (red.) (81 s.)
- Nr. 2-12 Kriterier for bruk av omløpsventil i små kraftverk. Lars Størset, Sweco (red.) (57 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

