



# Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer

*Atle Harby, SINTEF Energi AS (red.)*

*Jim Bogen, Norges vassdrags- og energidirektorat (red.)*

1  
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. Ressurspersoner fra nasjonale og regionale myndigheter bistår med fagkompetanse. Den daglige ledelsen av programmet er knyttet til Skred- og vassdragsavdelingen i NVE.

# **Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer**

## Rapport nr. 1 - 2012

### Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktører:** Atle Harby og Jim Bogen

**Forfattere:** Jo Vegar Arnekleiv, Tor Haakon Bakken, Jim Bogen,  
Truls Erik Bønsnes, Margrethe Elster, Atle Harby,  
Yulia Kutznetsova, Svein Jakob Saltveit, Julian Sauterleute,  
Morten Stickler, Håkon Sundt, Torulv Tjomsland og Ola Ugedal

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**ISSN:** 1502-234X

**ISBN:** 978-82-410-0768-2

**Forsidefoto:** Julian Sauterleute (SINTEF), Lundesokna

**Sammendrag:** Rapporten oppsummerer kunnskapsstatus omkring miljøvirkninger av effektkjøring og raske vannstandsendringer og beskriver mulige avbøtende tiltak. Rapporten vurderer miljøvirkninger av mulig økt effektinstallasjon i Mauranger og Tonstad kraftverk, basert på eksisterende data og kunnskap. For Straumsmo kraftverk i Barduelva er det samlet inn noen fysiske data og miljøvirkninger av eksisterende effektkjøring er vurdert.

**Emneord:** Raske vannstandsendringer, miljøvirkninger, avbøtende tiltak.

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

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

Februar 2012

# Innhold

Forord .....	5
Forfatterens forord .....	6
Abstract .....	7
Sammendrag .....	11
1. Mål .....	14
2. Bakgrunn .....	15
3. Kunnskapsstatus .....	16
3.1 Kraftverk, vannforekomster og datagrunnlag .....	21
3.2 Mauranger kraftverk og Austrepollen i Maurangsfjorden .....	21
3.2.1 Vannføring .....	23
3.2.2 Sedimenttransport og erosjon .....	24
3.3 Tonstad kraftverk og Sirdalsvatn / Lundevann .....	33
3.3.1 Vannføring og vannstand .....	34
3.3.2 Sedimenttransport og erosjon .....	37
3.4 Straumsmo kraftverk / Barduelva .....	40
3.4.1 Vannføring, vannstand og vanndekket areal .....	41
3.4.2 Mesohabitat .....	47
3.4.3 Vanntemperatur .....	50
3.4.4 Sedimenttransport og erosjon .....	51
4. Metode for vurdering av miljøvirkning .....	56
4.1 Miljøvirkninger av raske vannstandsendringer .....	56
5. Vurdering av miljøvirkninger .....	57
5.1 Mauranger kraftverk / Mysevatn / Maurangsfjorden .....	57
5.2 Tonstad kraftverk / Sirdalsvatn / Lundevann .....	59
5.3 Straumsmo kraftverk / Barduelva .....	61
6. Avbøtende tiltak .....	64
6.1 Driftsmessige tilpasninger .....	64
6.2 Fysiske tiltak .....	65

6.2.1	Beplantning og vegetasjon .....	66
6.2.2	Restaurering og refuger .....	66
6.2.3	Utjevning av strandingsutsatte områder .....	67
6.2.4	Fordrøyningsbasseng .....	68
6.2.5	Endring av kraftverksutløp.....	68
6.3	Forslag til avbøtende tiltak i eksempelkraftverk .....	69
7.	Diskusjon og konklusjon .....	71
7.1	Isforhold.....	71
7.2	Vanntemperatur.....	72
7.3	Erosjon.....	73
7.4	Lokalklima.....	73
7.5	Vannkvalitet .....	74
7.6	Fisk .....	75
7.7	Næringsdyr .....	76
7.8	Biologisk mangfold.....	76
7.9	Verneinteresser .....	77
7.10	Landskap og friluftsliv .....	77
7.11	Konkrete konklusjoner for eksempelvasdrag .....	78
8.	Referanser .....	80


# Forord


Det forventes en mer fleksibel drift og økt bruk av effektkjøring av norske vannkraftverk i framtida. Dette fører til et økt behov for kunnskap knyttet til driftsmessige og miljømessige konsekvenser.

Denne rapporten bidrar til å øke og tilgjengeliggjøre kunnskapen om virkningene av ulike kjøremønstre og kritiske faktorer som gir uheldige miljøvirkninger. Relevante avbøtende tiltak blir vurdert og typer av kraftverk som er godt egnet for effektkjøring med hensyn til miljø blir identifisert.

Rapporten er et resultat av to prosjekter. Atle Harby, SINTEF Energi AS har vært prosjektleder for prosjektet ”Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer”, mens Jim Bogen, NVE har vært prosjektleder for prosjektet ”Virkningen av effektregulering på erosjon og sedimentasjon i vannkraftmagasiner og elveløp”.

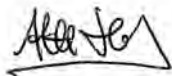
Prosjektene er samfinansiert av Norges vassdrags- og energidirektorat og Energi Norge, med bidrag også fra Statkraft og CEDREN (Centre for Environmental Design of Renewable Energy).

  
Steinar Schanche  
leder styringsgruppe

  
Anne Haugum  
programleder

# Forfatterens forord

De fleste av forfatterne i denne rapporten jobber også innenfor prosjektet "Environmental impacts of hydropeaking" (EnviPEAK) i forskningscenteret CEDREN (Centre for Environmental Design of Renewable Energy, [www.cedren.no](http://www.cedren.no)). EnviPEAK har som målsetting å studere miljøvirkninger av effektkjøring og raske endringer i vannstand i regulerte elver. Prosjektet skal også beskrive hvordan, når og hvor effektkjøring og raske reguleringsendringer kan aksepteres. EnviPEAK berører mange problemstillinger i dybden, men skal også demonstrere og anvende resultater i utvalgte vassdrag. EnviPEAK ble startet i 2009 og vil i hvert fall pågå til 2013. Denne rapporten er også delfinansiert av EnviPEAK og CEDREN og danner et viktig grunnlag for oppsummering av kunnskap og videre forskning i CEDREN.



Atle Harby  
leder av CEDREN



# Abstract

Flexible operation and peak regulation of hydropower plants (hydropeaking) leads to rapid changes in water levels and water discharge. Due to an increasing share of intermittent energy sources as wind and solar energy in Norway and Europe, we expect to see more flexible operation and increased use of hydropeaking in Norwegian hydropower plants. Environmental impacts will vary depending on local conditions and hydro operations. Some of the environmental impacts of hydropeaking and rapid changes in water level and discharge are well known, where stranding of fish has been most studied, both nationally and internationally. However, there are large knowledge gaps, and there are very few studies of rivers, lakes, reservoirs and fjords downstream of peaking hydropower plants.

This report summarizes the knowledge status and presents results from three Norwegian studies with different physical conditions and hydro operations. Not all previous studies have given clear and unambiguous results, but generally we can summarize as follows:

- Peaking hydropower plants discharging into rivers have considerable higher potential to cause negative effects on physical and biological conditions compared to hydropower plants discharging into reservoirs, lakes and fjords.
- If it is technically possible to implement slow changes in hydropower production, it will reduce the negative effects on the entire ecosystem. Reducing the rate of change in water level to less than 13 cm per hour gives a significantly reduced risk for stranding of salmonid fish. As far as we know there are not similarly definite guidelines for increasing water level, or for other fish species than salmonids.
- Fish are more vulnerable to rapid changes in water level during winter than other seasons in Norway due to the fact that low water temperatures directly and indirectly lead to lower mobility in fish.
- Hydropeaking and flexible operation not leading to significant changes in wetted area will generally not have greater physical and biological effects than typical known impacts of traditional hydropower operation.
- Physical mitigation such as restoration of side channels, constructing natural refugia, leveling of areas prone to fish stranding, weirs, and other interventions which will moderate the rate of change in water levels should be considered for each case, and where benefit is compared to cost. A combination of physical mitigation and operational changes will often give the best results and minimize negative impacts.
- Erosion will take place along the banks of lakes and reservoirs with rapid rise and fall in water levels and is among other things dependent on the height of regulation, soil and sediment properties, and the groundwater levels. Variations in flow outside flood periods can give increased erosion at some locations

downstream of the hydropower outlet. The remaining discharge at low flow plays an important role in reducing the risk of erosion along river banks.

**Mauranger** hydropower plant utilizes Mysevatn as reservoir and has an outlet into a short canal flowing out into Maurangsfjorden. Mauranger power plant has considerable hydropeaking today and the conditions are favorable for additional power expansion. We have not found any significant environmental impacts of increased hydropeaking provided that the water level of Mysevatn and Svartdalsvatn are kept at higher levels than the previously unregulated water level. Considerable sediment transport may occur from the hydropower plant, mainly due to supply from the catchment during flooding. When the water level is drawn down below previously normal levels, large amounts of sediment become available and are exposed to erosion. This will come in addition to the natural sediment supply. Erosion protection works may be considered in the reservoir.

**Tonstad** hydropower plant has Ousdalsvatn and Homstølsvatn as reservoirs and its outlet runs directly into Sirdalsvatnet. Tonstad hydropower plant is operated with hydropeaking to a small degree today, but plans have been made to build a pumped-storage hydropower plant parallel to the current installation. It is also possible to consider a further expansion in the form of both pumped-storage and increased hydropeaking capacity. The environmental impacts of increased hydropeaking at Tonstad seem to be small, but it will be difficult to hold the water levels in Sirdalsvatn within the current regulation zone of 2 m. If the pumped-storage facility is built, there will be a risk of introducing exotic species from Sirdalsvatn to the Kvina watercourse, in the case that the fauna is not identical in the two areas. Due to the fact that Homstølsvatn is relatively small, there can be large variations in water levels through pumping which again can lead to unsafe ice conditions and increased erosion, and affect the fish population through the risk of stranding as well as other effects. During periods with high hydropower production and considerable local runoff, there can be a risk that the water levels in Sirdalsvatn will exceed the highest regulation level. A possible mitigation method can be physical alteration of the outlet of Sirdalsvatn in order to increase the flow capacity out of the lake.

The outlet of **Straumsmo** hydropower plant flows directly into Barduelva. Straumsmo power plant receives water from Veslevatn where Innset hydropower plant has its outlet. Innset power plant has Altevann as its reservoir. In the period from April/May to November, hydropeaking and flexible operation of Straumsmo hydropower plant are common. Rapid and large amplitude variations in water levels cause groundwater erosion and slumping of the floodplain sediments and in erosion slopes of the glaciofluvial terraces. In one incident, large areas of the flood plain collapsed because of hydropeaking during melting of frozen soil.

There is a risk of stranding of young fish of brown trout and Arctic char at several locations in Barduelva along a 2 km reach from the outlet of the hydropower plant down to the confluence with Sjørdalselva. Spawning grounds may also be dewatered during the spawning season and will therefore deteriorate, although the high flow

during winter will probably cover most of the spawning grounds with water. The species richness of invertebrates is high, but the number of species is low probably due to large changes in habitat conditions, from high to very low current velocity. One area in the reach from the outlet of the hydropower plant to the confluence with Sjørdalselva is defined as very important for plants, fish and wildlife, but no direct impacts from hydropeaking have been shown for this area. The relatively large variations in water discharge can affect sports fishing during the spring and fall.

The most obvious mitigation of hydropeaking in **Barduelva** is to introduce limitations in the drawdown rate of Straumsmo power plant. All physical mitigation reducing rapid changes in water level downstream the outlet of Straumsmo power plant can be of interest. Detailed planning of such mitigation with consideration of positive and negative effects is needed. If cost-benefit analysis shows disproportionately high costs for mitigation measures downstream of Straumsmo power plant, it is important to note that variations in water levels decrease significantly 2 km further downstream at the confluence with Sjørdalselva if this river does not have a very low flow. The conditions are additionally improved approximately 8 km further downstream at the confluence with Tverrelva. A relevant mitigation can then be to avoid rapid changes in production from Straumsmo power plant when the local runoff is under a certain threshold in Sjørdalselva and Tverrelva.

The environmental impacts of hydropeaking are often less adverse for hydropower plants with outlet to fjords and large lakes or reservoirs compared to outlets directly into rivers. In water courses with a large supply of sediments such as in glacial catchments, the immediate environmental effects will be dependant on the regulation practice and local conditions. It is probably possible to mitigate some of the negative effects of hydropeaking through physical mitigation and adjustments in the operation. The benefits must be balanced against the costs. Mitigation measures must always be adjusted to the local conditions and what is technically possible, but it is clearly a large potential in Norway to mitigate hydropeaking, especially if the power plant has the outlet to a river. If the operation is adjusted and physical mitigation carried out adapted to the local conditions, there are probably many locations where hydropeaking may be practiced with only small environmental impacts.



# Sammendrag

Variabel drift og effektkjøring av vannkraftverk fører til hurtige endringer i vannstand og vannføring. I takt med økende mengde ikke-regulerbar kraft i Norge og Europa forventer vi mer fleksibel drift og økt bruk av effektkjøring i norske vannkraftverk. Konsekvensene for miljø er avhengig av lokale forhold og driftsmønster. Noen miljøkonsekvenser av effektkjøring og hurtige vannstandsendringer er godt kjent, der stranding av fisk er mest studert både nasjonalt og internasjonalt. Det er ellers store mangler i kunnskapsgrunnlaget, og det finnes svært få konkrete undersøkelser i elver, innsjøer, magasin og fjorder som er utsatt for hurtige endringer i vannstand og vannføring.

Denne rapporten oppsummerer kunnskapsstatus og viser fram noen resultater fra undersøkelser i tre norske vassdrag med ulike fysiske forhold og kraftverksdrift.

Det er ikke alle tidligere studier som gir entydige resultater, men generelt kan vi sammenfatte kunnskapen:

- Effektkjørte kraftverk som har utløp til elv har betydelig større risiko for å gi negative effekter på fysiske og biologiske forhold sammenliknet med kraftverk som har utløp til magasiner, innsjøer og fjorder.
- Dersom det er teknisk mulig å gjennomføre langsomme endringer i kraftproduksjonen, vil det redusere negative effekter på hele økosystemet. For laksefisk er det vist at senkingshastigheter for vannstand under 13 cm/t gir betydelig redusert strandingsrisiko. Det finnes så vidt vi kjenner til ikke like konkrete råd for økning av vannstanden, eller for andre arter enn laksefisk.
- Det er større risiko forbundet med hurtige endringer i vannstand om vinteren enn om sommeren i Norge ettersom lave vanntemperaturer direkte og indirekte fører til lavere mobilitet hos fisk.
- Effektkjøring og variabel drift som ikke medfører store endringer i vanddekket areal, vil som regel ikke ha store fysiske og biologiske effekter utover typiske regulerings effekter som er kjent gjennom tradisjonell kraftverksdrift.
- Fysiske tiltak som restaurering av sideløp, bygging av refuger, utjevning av strandingsutsatte områder, fordrøyningsbasseng, terskler og andre inngrep som vil dempe vannstands endringer eller redusere konsekvensene av disse, må vurderes i hvert enkelt vassdrag der nytte veies opp mot kostnader. Ofte kan en kombinasjon av fysiske tiltak og driftsmessige endringer være det beste avbøtende tiltaket.
- Erosjon vil oppstå langs breddene av innsjøen/magasinet ved rask opp- og nedsenkning av vannivået og er blant annet avhengig av regulerings høyde, grunnforhold og nivået på grunnvannspeilet. Vannføringsvariasjoner utenom flomperioder kan gi økt erosjon på utvalgte lokaliteter nedstrøms kraftverksutløpet. Restvannføring spiller en viktig rolle i demping av faren for erosjon langs elvebreddene.

**Mauranger** kraftverk har Mysevavn som magasin og utløp til en kort kanal som munner ut i Maurangsfjorden. Mauranger kraftverk har betydelig effektkjøring i dag både med hensyn til hyppighet og variasjon i vannføring. Forholdene ligger også til rette for ytterligere effektutvidelse. Vi har ikke funnet noen store miljøvirkninger av en mulig effektutvidelse forutsatt at manøvreringen av Mysevavn og Svartdalsvavn foregår på nivåer som er høyere enn uregulert normalvannstand. Det er til tider stor sedimenttransport fra kraftverket, noe som i stor grad skyldes tilførsel fra nedbørsfeltet under flomepisoder. Ved nedtapping under den tidligere normalvannstanden er det tilgjengelig store mengder sedimenter som kan eroderes hvis den framtidige reguleringspraksis skal innebære effektregeringer på disse nivåene. Dette vil komme i tillegg til den naturlige sedimenttilførselen. Et mulig tiltak kan da være erosjonsforbygninger i magasinene.

**Tonstad** kraftverk har Ousdalsvavn og Homstølvavn som magasin og utløp direkte i Sirdalsvavnnet. Tonstad kraftverk har liten grad av effektkjøring i dag, men det er laget planer om å bygge et pumpekraftverk i parallell med dagens installasjon. Det er også mulig å tenke seg en ytterligere utvidelse i form av både pumpekraft og økt effektinstallasjon. Miljøvirkningene av økt effektinstallasjon i Tonstad kraftverk synes å bli små, men det kan være vanskelig å holde vannstanden i Sirdalsvavn innenfor dagens reguleringszone på 2 m. Dersom det skal bygges pumpekraftverk i Tonstad, vil det være fare for å overføre fremmede arter fra Sirdalsvavn til Kvinavassdraget, dersom faunaen ikke er identisk i de to vassdragene. Ettersom Homstølvavn er relativt lite, kan det bli store variasjoner i vannstand ved pumping som igjen kan føre til usikker is, økt erosjon og påvirke fiskebestanden gjennom strandingsfare og andre effekter. I perioder med stor produksjon i kraftverket og betydelig lokaltilslig kan det være fare for at vannstanden i Sirdalsvavn overstiger HRV. Et mulig avbøtende tiltak kan være fysiske tiltak ved utløpet av Sirdalsvavn for å øke kapasiteten ut av vannet.

**Straumsmo** kraftverk har utløp direkte i Barduelva og henter vann fra Veslevavn der Innset kraftverk har utløp. Innset kraftverk har Altevavn som magasin. I perioden april/mai til november er det ofte effektkjøring og variabel drift av Straumsmo kraftverk. Raske vannstandsvariasjoner med stor amplitude forårsaker grunnvanns-erosjon og utrasninger i elveslettesedimenter og i erosjonsskrånninger i terrasser med glasifluvialt materiale. I et tilfelle kollapset større deler av elvesletta ved effektkjøring under teleløsningen.

Det er fare for stranding av ungfisk av ørret og røye på flere lokaliteter i Barduelva på en 2 km strekning fra kraftverksutløpet ned til samløpet med Sjørdalselva. Det kan også antas at gyteområder kan tørrlegges under effektkjøring i gyteperioden og dermed redusere gytemulighetene, men den høye vannføringen vinterstid vil dekke de fleste gyteområder med vann. Artsantallet av næringsdyr er høyt, men individantallet lavt. Årsaken er store endringer i habitat, fra sterkt strømmende til stillestående vann. Et område i tilknytning til strekningen fra kraftverksutløpet ned til samløpet med Sjørdalselva er definert som svært viktig for planter, fugl og vilt. Det er ikke påvist noen direkte påvirkning på grunn av effektkjøring på det aktuelle området. De relativt store vannføringssendringene kan påvirke sportsfisket på våren og høsten.

Det mest opplagte tiltaket for å redusere hurtige vannstandsendringer i **Barduelva** er å innføre begrensninger i hvor raskt Straumsmo kraftverk kan regulere opp og ned. Alle fysiske tiltak som vil dempe og utjevne raske endringer i vannføringen nedstrøms kraftverket kan være aktuelle. Det vil være behov for detaljplanlegging av slike tiltak og en grundig vurdering av positive og negative virkninger. Dersom en kost-/nyttevurdering viser at det blir uforholdsmessig kostbart med avbøtende tiltak nedstrøms Straumsmo kraftverk, er det viktig å merke seg at vannstandsvariasjonen blir betydelig dempet 2 km lenger nedstrøms samløp Sjørdalselva dersom denne ikke har veldig lav vannføring. Forholdene blir ytterligere forbedret ca. 8 km lenger nedstrøms ved samløp Tverrelva. Et aktuelt tiltak kan da være å unngå raske endringer i produksjonen fra Straumsmo kraftverk, dersom lokaltilsiget er under et visst nivå i Sjørdalselva og Tverrelva.

Miljøvirkningene av effektkjøring kan være mindre dramatiske i kraftverk som har utløp til fjord og store innsjøer eller magasin sammenliknet med utløp direkte til elv. I vassdrag med stor tilgang på sedimenter som f. eks brevassdrag, vil imidlertid miljøvirkningene avhenge av reguleringspraksis og lokale forhold. Det er trolig mulig å avbøte en del av de negative virkningene av effektkjøring gjennom fysiske tiltak og tilpasninger i driften, og gevinsten må veies opp mot kostnadene. Avbøtende tiltak må alltid tilpasses de lokale forholdene og hva som er teknisk mulig, men det er helt klart et større potensial i Norge for å benytte avbøtende tiltak, spesielt i kraftverk med variabel drift som har utløp til elv. Det er også mange lokaliteter der effektkjøring kan gjøres med små miljøvirkninger, spesielt dersom man tilpasser driftsmønster og avbøtende tiltak til de lokale forholdene.

# 1. Mål

Prosjektet skal øke kunnskapen om virkningene av ulike kjøremønstre og kritiske faktorer for hva som gir uheldige miljøvirkninger av raske vannstandsendringer. Denne kunnskapen skal gjøres lettere tilgjengelig. Ulike avbøtende tiltak skal vurderes.

Hovedmålsettingen er brutt ned i tre delmål:

1. Kvantifisere miljøkonsekvensene på utvalgte miljøindikator(er) i berørte vannforekomster som følge av effektkjøring som ikke tar spesielle miljøhensyn.
2. Kvantifisere potensialet med avbøtende tiltak i berørte vannforekomster som følge av effektkjøring som tar ulik grad av miljøhensyn.
3. Skille potensielle miljøforbedringer av effektkjøring ved avbøtende tiltak som påvirker kraftproduksjon (driftstilpasninger) i forhold til andre fysiske tiltak (fordrøyningsbasseng, oppvekstkanaler og andre fysiske tiltak).





## 2. Bakgrunn

Miljøkonsekvenser av effektkjøring er studert i noen land som har betydelig vannkraftproduksjon, f.eks. Frankrike, Østerrike, Sveits, Canada, USA og Norge. Det er imidlertid ikke veldig mange studier som knytter seg direkte til effektkjøring og virkninger av raske vannstandsendringer, og det er fortsatt behov for både grunnleggende og anvendt forskning innenfor dette.

Regulerbar kraft uten klimagassutslipp har fått økende oppmerksomhet i den senere tid, samtidig er myndighetene oppmerksomme på at det må gjennomføres tiltak for å dempe de negative virkningene lokalt. Energiproduksjonen i Europa skal utvikles i retning av mer fornybar energi, og det finnes planer for storstilt utbygging av offshore vindkraft i Nordsjøen. Dette vil kreve en viss mengde regulerbar kraft for balansering, og norsk vannkraft kan tenkes å fungere som balansekraft mot Europa og offshore vind. Det vil i så fall gi et økt behov for korttidsregulering og effektkjøring i et helt annet omfang enn vi har i dag.

Harby et al. (2004) gir råd for hvordan innledende undersøkelser i et vassdrag som vurderes effektregulert bør gjennomføres:

- En oppsummering av eksisterende datagrunnlag og analyser som vurderer status for vassdraget med tanke på fysiske, kjemiske og biologiske forhold. I regulerte vassdrag foreligger det som regel mange undersøkelser i forbindelse med utbygging og konsesjonssøknader, men mange av disse kan være lite oppdatert. Undersøkelser i nabovassdrag og andre relevante undersøkelser kan også inngå.
- Oversikt over planlagt effektkjøringsmønster og hvordan vannføring og vanntemperatur vil bli nedstrøms effektregulerte kraftverk i vassdraget. Produksjonsplanleggingsverktøy kan brukes til dette. Som regel vil en teknisk-økonomisk analyse der også vannføring beregnes, allerede være utført i vassdraget.
- Viktige områder, perioder og arter bør kunne identifiseres ut fra informasjonen i punktene over og en innledende befaring. På bakgrunn av generell kunnskap om virkningen av effektkjøring, lokal informasjon og befaring bør det kunne gis en vurdering av hvorvidt det vil være mulig å komme fram til en effektregulering som ikke påfører miljøet for stor skade.

Denne rapporten tar utgangspunkt i disse rådene.

### 3. Kunnskapsstatus

Kunnskap om virkninger og avbøtende tiltak på miljø ved effektkjøring er relativt stor i Norge. To store prosjekter ble gjennomført i EFFEKT-programmet til Norges forskningsråd. "Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak" fokuserte mest på virkninger i magasiner. De utførende institusjonene i dette prosjektet var Universitetene i Bergen og Oslo, NIVA, NVE og daværende DNMI og Statkraft Grøner. Resultatene fra prosjektet ble oppsummert i 20 rapporter, som dekket fagområdene is- og vanntemperatur, erosjon, erosjonssikring, lokalklima, biologi og optimalisering med hensyn til teknikk, miljø og økonomi, se Førde og Brodtkorb (2001).

Det ble påvist i prosjektet at miljøvirkninger kan begrenses hvis det settes krav til reguleringspraksis og gjennomføres tiltak. For eksempel anses stranding av fisk ikke som problematisk hvis nedtappingen skjer skånsomt. Omfanget av erosjon med påfølgende blakking av vannet i magasiner ble påvist å være avhengig av nedtappingshastighet, magasinets dybde og volum, og forekomst og type av løsmasser som omgir magasinet. Rask nedtapping i magasiner og elver i kontakt med løsmasser med ugunstig hydraulisk ledningsevne kan gi omfattende erosjon (Bogen og Bønsnes 2001), Løvoll m.fl. (1999). Den siste rapporten drøfter også faktorer av betydning for stabilitet og erosjon i elveskråninger ved hjelp av analyser med grunnvannsmodellen SEEP og stabilitetsmodellen SLOPE. Modellene beregner poretrykk i mettet og umettet sone, kapillære effekter, effekten av vegetasjon og retning og størrelse på en grunnvannsstrøm som varierer med tiden. Størrelsen på den naturlige sedimenttransporten i vannkraftsystemet kan også ha betydning for virkningen av effektregulering på magasiner. For eksempel vil forholdene i mindre grad stabiliseres med tiden i vassdrag med stort breittsig.

Pedersen og Sollibråten (2001) drøftet hvilke erosjonspåkjenninger som kan forventes ved overgang fra tradisjonell regulering til effektregulering i elver og magasiner og vurderte ulike erosjonssikringsmetoder. Materialvalg og utforming av anleggene må tilpasses omgivelsene og påkjenningene de utsettes for. Det har vært reist spørsmål om vegetasjon kan kombineres med tradisjonelle sikringsmetoder (Fergus 1998). Vegetasjonen er lett å observere i felt og kan øke stabiliteten betydelig (Frivold 1991). Det er imidlertid behov for å utføre videre undersøkelser for å kvantifisere vegetasjonens egnethet under forhold som er aktuelle i Norge.

Larsen og Fiksen (1998) og Asplin og Larsen (1999) undersøkte konsekvenser av effektregulering på fysiske og biologiske forhold i fjorder. De konkluderte med at dersom ferskvannet som slippes ut fra et effektregulert kraftverk har høyere turbiditet enn et sesongregulert kraftverk, vil dette påvirke lysgjennomtrengeligheten i fjordvannet og medføre endringer i algeproduksjonen. Økologiske endringer i kystområdene som følge av høy turbiditet i kombinasjon med klimaendringer er også dokumentert av KLIF (2009).

I all hovedsak ble det påvist relativt beskjedne miljøproblemer i magasiner, og normalt skjer nedtappinger i magasiner så skånsomt at stranding for eksempel ikke anses som problematisk (Førde og Brodtkorb 2001). Virkningene er sterkt avhengig av magasinets utforming og hastigheten på endringene. Erosjon vet vi kan være en utfordring i magasiner, spesielt ved stor effektinstallasjon.

Prosjektet "Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann" ble ledet av SINTEF i samarbeid med LFI Oslo, LFI Trondheim, NINA, NIVA, NTNU, Universitetet i Oslo og flere utenlandske fagmiljøer. Sluttrapporten (Harby et al., 2004, Harby and Halleraker 2001) om biologiske konsekvenser av raske vannstands- endringer inneholder flere konkrete råd for mer miljøtilpasset drift av effektkjorte kraftverk, og en del er i daglig bruk i noen norske kraftverk. Basert på feltforsøk i innhegninger i Nidelva og Daleelva og laboratorieundersøkelser, ble det utarbeidet ulike strategier som kan redusere stranding av ungfisk betraktelig (Saltveit et al. 2001, Halleraker et al. 2003). Strandingsrisikoen for laksunger er betydelig større i dagslys enn i mørke om vinteren. I sommerhalvåret er risikoen for stranding mindre enn om vinteren og omtrent like stor dag og natt. Stranding avtar med økende fiskelengde, og raske vannstands- endringer bør unngås spesielt i tider av året når årsyngelen er minst mobil.

Når leveforholdene (habitatet) blir mindre gunstige som følge av en endring i vannføringen, vil fisken som regel flytte seg raskt til et område med bedre habitat. Når vannstanden igjen stiger raskt, vil området som settes under vann kunne brukes av ungfisk umiddelbart. Dette gjelder spesielt i sommerhalvåret når fisken aktivt søker næring. Telemetrieforsøk fant imidlertid ingen påviselig tendens til at ungfisk av laks vandrer mer ved hurtige og hyppige endringer i vannføring enn under stabile forhold (Scruton et al. 2003).

Ungfisk av ørret venner seg raskt til betydelige døgnvariasjoner i vannføringen så lenge ikke elvesenga tørrlegges. Fysiologiske undersøkelser av stresshormonet kortisol i blodet til ettårig ørret viste at allerede etter det tredje døgnet med vannstandsfluktuasjoner var nivået gått tilbake tilsvarende ustresset fisk. Ørreten synes derfor å kunne tilpasse seg jevnlig variasjoner i det fysiske leveområdet i løpet av kort tid (Flodmark et al. 2004).

Artsmangfoldet i bunndyrsamfunnet ble negativt påvirket av effektkjøring, mens stabil vannføring over flere måneder delvis gjenopprettet arts- mangfoldet på utsatte områder. Pålagt minstevannføring sikret et rikt artsutvalg i ikke utsatte deler av elva under effektkjøring.

Prosjektet genererte også kunnskap med overføringsverdi til andre vassdrag med raske vannstands- endringer (f.eks. Halleraker et al. 2005). På bakgrunn av resultater fra dette prosjektet ble det utarbeidet en første generasjons strandingsmodell, som er tilpasset Surna. Basert på en storskala hydraulisk modell og stedegne undersøkelser av gyteområder og habitatbruk hos fisk, er det mulig å kvantifisere konsekvensene for fiskeproduksjon av ulike scenarioer med effektkjøring i Surna (Halleraker et al. 2005, Forseth et al. 2009).

På starten av 1990-tallet ble det gjort en del forsøk med effektkjøring i Altaelva om vinteren, og det ble gjennomført et enkelt strandingsforsøk i april 1992 (Jensen et al. 1992). I dette forsøket ble det funnet en gjennomsnittlig stranding på 1,5 fisk per m<sup>2</sup>. I Altaelva ble planene om døgnregulering av kraftverket skrinlagt. Fra reguleringen i Altaelva ble satt i drift i 1987 og utover på 1990-tallet var det imidlertid flere episoder med raske vannstandsendringer som følge av utfall av aggregater i kraftverket (Forseth et al. 1996, Ugedal et al. 2002). Forseth et al. (1996) gjennomførte simuleringer for å undersøke mulige effekter av slike utfall for ungfiskbestanden i området nedenfor kraftverksutløpet. Hensikten med simuleringene var å vurdere om det var behov for en ny forbitappingsventil i Alta kraftverk. Simuleringene tydet på at utfallene av aggregater i kraftverket de første årene etter regulering potensielt førte til en betydelig stranding av fiskeunger i områdene nedenfor kraftverksutløpet. Det ble konkludert med at dødelighet som følge av stranding sannsynligvis var en viktig årsak til redusert ungfisktetthet i dette området de første årene etter regulering.

Heggenes (1988) studerte hvordan hurtige vannføringsendringer i Abbortjernbekken i Oslo påvirket habitatbruk og utspyling av ørretunger. På grunn av det grove substratet som ga gode skjulmuligheter under høy vannføring, fant Heggenes (1988) ingen effekter på habitatbruk. Han fant også bare en liten økning i emigrasjon hos ørret som følge av hurtige vannføringsendringer, spesielt om natten.

I Suldalslågen var det lave tettheter av laks og store variasjoner i tetthet på 1980-tallet. Årsaken var trolig at minstevannføringen fram til 1986 ble målt nederst i elva ved Tjelmane, mens den ble sluppet øverst. Dette medførte hurtige reduksjoner i vannføring når vannføringen ved Tjelmane ble endret om høsten som angitt i reglementet, men også i periodene når minsteslipp fra dammen skulle tilpasses tilsiget fra det nedenforliggende restfeltet, som til tider kunne gi pålagt minstevannføring. Konsekvensene for fisk var økt dødelighet som følge av tørrlegging (stranding). De hurtige reduksjonene var mest framtreddende øverst i vassdraget, og det var også her virkningene på fisketetthet var størst (Saltveit 1996). Tettheten av årsunger og eldre laksunger var også svært lave i 1989. Årsaken var trolig stor dødelighet i 1989 forårsaket av stranding som følge av en uforutsett stengning av dammen ved Suldalsvatn. Stengningen medførte hurtig tørrlegging av oppvekstområdene (Saltveit 1989, 2000). Død fisk ble observert.

Svorka kraftverk har sitt utløp til elva Bævra i Møre og Romsdal, og driftstans i kraftverket gir rask senking av vannstanden i Bævra. Fiskebestanden i Bævra følges gjennom overvåking, og fra årsrapporten for 2009 (Johnsen et al. 2010) heter det: "De svært lave ungfisktetthetene i elva nedenfor kraftverket i 2006 og 2007 har sannsynligvis sammenheng med raske vannstandsreduksjoner ved driften av kraftverket. I alle årene i perioden 2005–2009 ble det registrert mange driftstanser ved kraftverket. I de fleste av disse situasjonene ble kraftverket avstengt fra vannføringsnivåer på 4–6 m<sup>3</sup>/s over et to-timers intervall. Høyere tettheter i 2008 og 2009 kan muligens tilskrives et trinnvis, utvidet nedtappingsregime med hensyn til tidsbruk ved nedkjøring av kraftverket (siste gang utvidet i juli 2007)."

Konklusjonen fra dagens kunnskap om biologiske effekter av raske vannstands- endringer i Norge er at driftsmessige tilpasninger kan dempe de negative konsekvensene betydelig. Flere av Statkraft sine kraftverk har satt selvpålagte restriksjoner for å tilpasse seg til myke overganger i henhold til langsommere senking av vannstanden enn 10–15 cm/t. Dagens kunnskapsgrunnlag om miljøvirkning av raske vannstandsendringer er ganske god for enkelte miljøindikatorer, men potensialet med avbøtende tiltak er likevel i begrenset grad anvendt i norsk vannkraftindustri. Det knytter seg også stor usikkerhet til langtidsvirkningene av hyppige og hurtige vannstandsendringer, noe som er viktige tema innenfor EnviPEAK-prosjektet i CEDREN ([www.cedren.no](http://www.cedren.no)).

Internasjonalt har det vært jobbet relativt lite med virkninger av raske vannstands- endringer, men noen gode studier har gitt verdifulle og forhåpentligvis overførbare resultater. Mange av disse er oppsummert av Bain (2007) og Clarke et al. (2008).

Bain (2007) har gått gjennom 43 feltstudier der miljøkonsekvenser av effektkjøring er dokumentert. Feltstudiene var hovedsaklig fra Nord-Amerika og Europa, deriblant fem fra Sverige, tre fra Finland og en fra Norge (Berland et al. 2004). Mange av studiene omhandler bare én eller få arter, men Bain (2007) har likevel forsøkt å vurdere virkningene på økosystem-nivå. Studiene er klassifisert til seks ulike klasser av virkninger, fra ingen (klasse 1) til alvorlige endringer i det biologiske samfunnet med store tap av økosystem-funksjonalitet (klasse 6). Bain (2007) har videre sammenstilt disse virkningene med to parametre som beskriver effektkjøringen: "flow ratio" og total endring i vannstanden. Med "flow ratio" menes forholdstallet mellom driftsvannføring under effektkjøring og lavvannføring ved stans i effektkjøring. De studiene som hadde forårsaket ingen eller små endringer på økosystemet (klasse 1–3), hadde en gjennomsnittlig vannstandsendring på 87 cm, med et gjennomsnittlig forholdstall mellom høy og lav vannføring på 10 (mange hadde forholdstall under 4). For studier med moderate til alvorlige endringer på økosystemet (klasse 4–6) var gjennomsnittlig vannstandsendring på 188 cm, med et gjennomsnittlig forholdstall mellom høy og lav vannføring på 166. Gjennomgangen til Bain (2007) viser altså at virkningene av effektkjøring med 10-dobling av vannføringen og i underkant 1 m vannstandsvariasjoner stort sett ikke har gitt alvorlige effekter på økosystemet. Vi er skeptiske til å overføre disse resultatene direkte til relativt bratte norske elver, der en 10-dobling av vannføringen og nærmere 1 m vannstandsvariasjon vil gi svært kraftige endringer i det fysiske miljøet. Likevel er dette en indikasjon på tilpasningsevnen til arter som lever i elver der det også naturlig forekommer store endringer i det fysiske miljøet. Bain (2007) har imidlertid ikke studert f.eks. tidspunkt på døgnnet og årstid som tidligere studier (Harby et al. 2004) har påpekt er spesielt viktig for norske forhold.

Clarke et al. (2008) tar for seg konsekvenser av endringer i vannføring og oppsummerer resultater fra mange studier inkludert virkninger av effektkjøring. Svært mange studier omhandler laksefisk, men det er få langtidsstudier knyttet til effekter av ulike vannføringsendringer og -regimer. Clarke et al. (2008) viser at vannførings- endringer virker direkte inn på en rekke faktorer som er viktig for fisk:

- Totalt gasstrykk
- Tilgang til habitater i elvens lengderetning, på tvers og i bunnen
- Stranding
- Bio-energetiske effekter som vekst, fødeopptak, metabolisme, atferd, svømme-  
evne, konkurranseforhold og interaksjoner mellom disse
- Vanntemperatur
- Næringsstoffer og næringstilgang
- Erosjon og sedimenttransport

I forhold til strandingsfare for fisk foreslår Clarke et al. (2008) tre viktige avbøtende tiltak:

- Sørge for en tilstrekkelig høy minstevannføring når effektkjøring ikke finner  
sted
- Størrelsen på vannstandsøkningen bør likne på naturlige økninger i vannføring  
i forbindelse med små flommer
- Tidspunkt for opp- og nedkjøring av effektkraftverk bør avpasses til artenes  
atferd til ulike tider av døgnet

Rådene fra Clarke et al. (2008) stemmer godt overens med tidligere råd for norske forhold (Harby et al. 2004) og kan overføres til Norge.

Smokorowski et al. (2010) sammenliknet mange biologiske faktorer i et naturlig vassdrag og et effektkjørt vassdrag med restriksjoner på hvor hurtig opp- og nedkjøring kunne gjøres. Konklusjonene viser at sammensetning og mengde bunndyr, biomasse av fisk, kondisjonsfaktor hos fisk og næringskjedenes lengde var lik eller større i det effektkjorte vassdraget sammenliknet med referansen. Det er imidlertid uklart om dette skyldes ”myk” effektkjøring eller en relativt høy minstevannføring, forhold det jobbes videre med i Canada.

### **3.1 Kraftverk, vannforekomster og datagrunnlag**

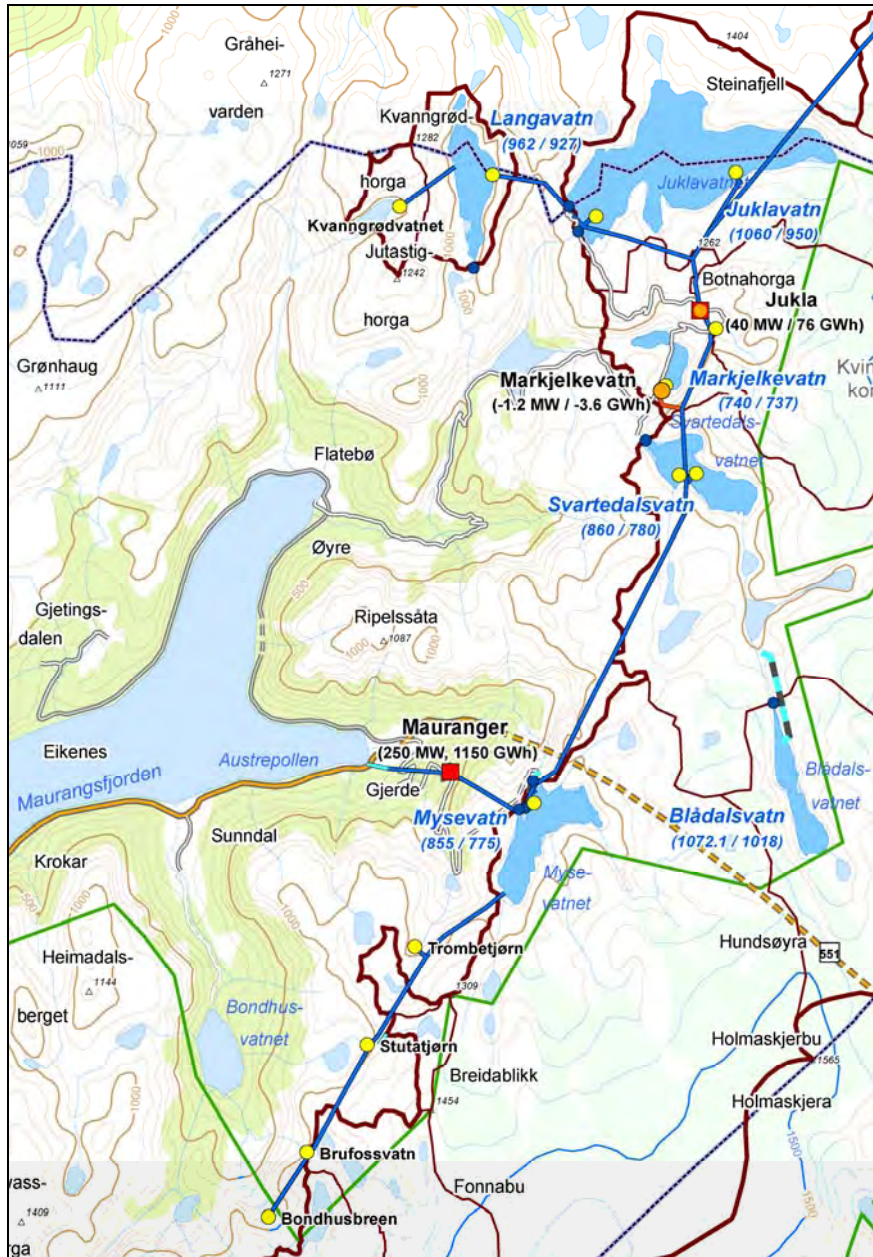
Vi har vurdert hvordan en mulig effektutvidelse med økt effektkjøring i Tonstad kraftverk i Sirdal kommune og Mauranger kraftverk i Kvinnherad kommune kan påvirke miljøet. For disse to kraftverkene gjelder det forholdene i Austrepollen i Maurangerfjorden og Sirdalsvatn og Lundevann nedstrøms Tonstad kraftverk. Vi har også vurdert hvordan dagens kjøremønster med effektkjøring påvirker miljøforholdene nedstrøms Straumsmo kraftverk i Barduelva i Bardu kommune. De samme vannforekomstene er også spesielt vurdert i forhold til sedimenttransport og erosjon. For tilfellet Tonstad er imidlertid forhold rundt sedimenttransport og erosjon vurdert ut fra Sira-Kvina kraftselskaps omsøkte forslag til å bygge Tonstad III pumpekraftverk. Dette kapitlet beskriver vassdragene og en del viktige fysiske forhold.

Det har vært en forutsetning at vi skal ta utgangspunkt i eksisterende datagrunnlag og prosjektdeltakernes kjennskap til generelle og spesielle forhold for vurderinger av miljøvirkninger. Det har likevel blitt gjennomført en viss datainnsamling i felt for sedimenttransport og erosjon i Mauranger og Barduelva. Det er også gjennomført feltstudier av vannstandsendringer, vanddekket areal og habitatkartlegging i Barduelva.

### **3.2 Mauranger kraftverk og Austrepollen i Maurangsfjorden**

Mauranger kraftverk eies av Statkraft og regulerer Mysevatn magasin på 775–855 moh. Kraftverket har sitt utløp i Maurangsfjorden ved Austrepollen. Kapasiteten i kraftverket er 250 MW fordelt på to turbiner og effektkjøres gjennom store deler av året. Maksimal vannføring gjennom kraftverket er ca. 38 m<sup>3</sup>/s, og vannet går i en åpen kanal de siste 1,3 km før utløpet til fjorden. Det er ikke planer om endringer av produksjonen.

Figur 1 viser reguleringsystemet. Det er flere bekkeinntak som overfører vann til Mysevatn, og området har flere kraftverksmagasin.



Figur 1 – Oversikt over Mauranger-reguleringen (kilde: Statkraft).

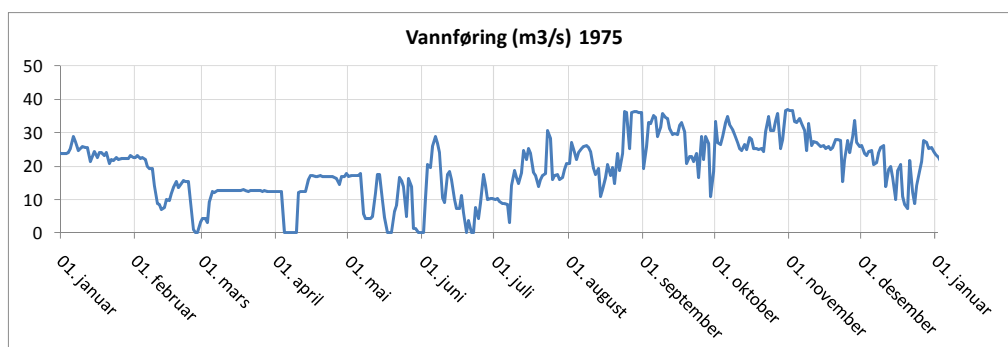
Tabell 1 – Fakta om Mauranger-reguleringen.

Sted	Hordaland
Potensiell utvidelse	Ingen (utløp til fjord)
Eier	Statkraft
Resipient kraftverksutløp	Maurangsfjorden
Tilleggsregulering	Mysevatn, Jukla kraftverk o.a.
Dagens effekt og produksjon	250 MW (1150 GWh/år), 850 m fallhøyde
Slukeevne kraftverk	Ca. 38 m <sup>3</sup> /s
LRV / HRV	755 / 855 moh.

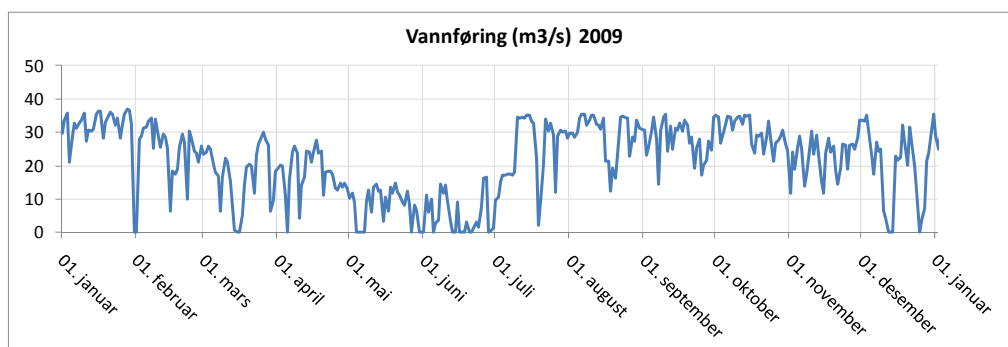


### 3.2.1 Vannføring

Mauranger kraftverk har effektkjøring i lengre perioder gjennom året. Figur 2 og Figur 3 viser to eksempler på produksjonsmønstre, henholdsvis i årene 1975 og 2009.

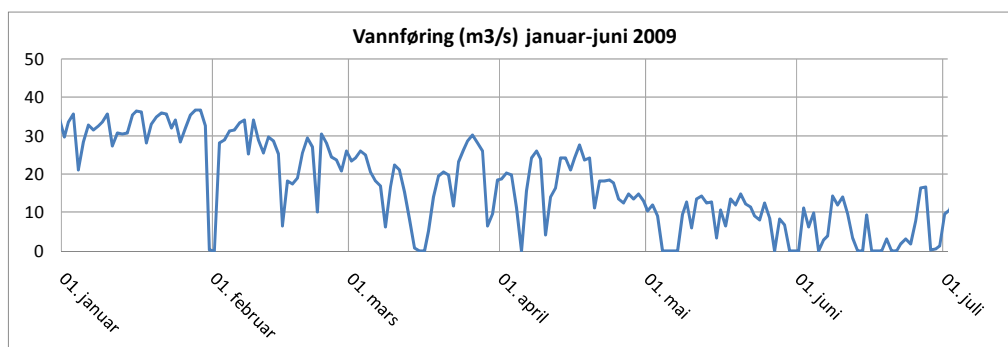


Figur 2 – Vannføring gjennom Mauranger kraftverk i 1975.



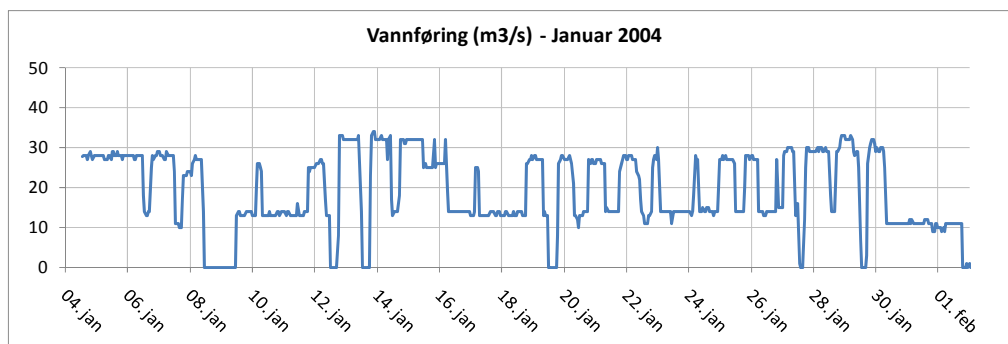
Figur 3 – Vannføring gjennom Mauranger kraftverk i 2009.

Figur 4 viser første del av produksjonen i 2009. Vannføringen gjennom kraftverket varierer fra maksimal produksjon på ca. 38 m<sup>3</sup>/s til full stans, med en gradvis redusering i maksimal produksjon utover mot sommermånedene.

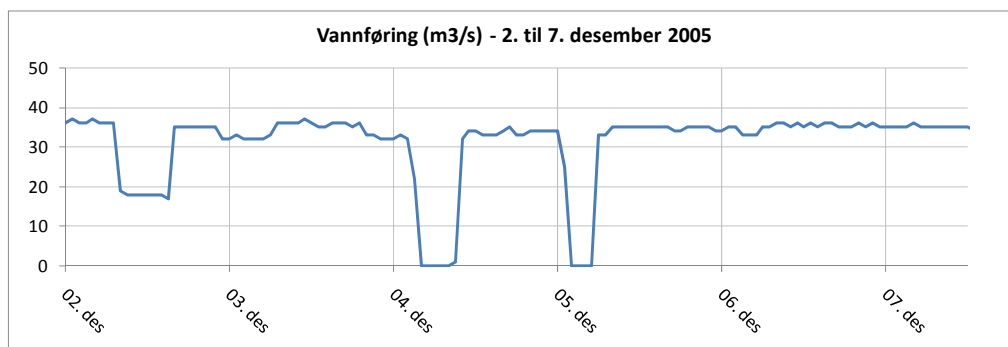


Figur 4 – Vannføring gjennom Mauranger kraftverk fra januar til juni 2009.

Figur 5 og Figur 6 viser eksempler på produksjon gjennom kraftverket i januar 2004 og starten av desember 2005. Rask nedtapping fra full produksjon (ca. 38 m<sup>3</sup>/s) til enten halv eller ingen produksjon skjer innen en time i flere tilfeller. Tilsvarende øker ofte produksjonen fra ingen til full produksjon innenfor en time. Det er ikke kjent at kraftverket har retningslinjer for gradvis nedtapping.



Figur 5 – Vannføring gjennom Mauranger kraftverk januar 2004.



Figur 6 – Vannføring gjennom Mauranger kraftverk i starten av desember 2005.

### 3.2.2 Sedimenttransport og erosjon

Fra 2002 til utgangen av 2006 er det målt suspensjonskonsentrasjon i driftsvannet i Mauranger kraftstasjon. Prøveprogrammet var basert på automatisk vannprøvetaking med inntil to prøver pr. døgn i perioder med drift i kraftstasjonen. Måleprogrammet ble etablert for å klarlegge om kraftverksdriften fører til endringer i sedimenttransporten. I samme periode er det også tatt prøver av kornfordelingen i suspensjonsmaterialet med inntil to prøver hver måned.

Mauranger kraftstasjon er preget av et varierende driftsmønster med raske endringer i driftsvannføringen. I perioder er det svært hyppige stans i driften. Sedimentkonsentrasjonene som ble målt i kraftstasjonen (2005) er plottet mot driftsvannføring i Figur 7. Årlig middelkonsentrasjon for hele måleperioden (2002–2006) var på mellom 10 mg/l og 25 mg/l. Sedimentene kommer i pulser og varierer mye med tiden. Det er imidlertid ingen store sesongmessige variasjoner eller noen markert maksimum i perioden med mye bresmelting. Enkeltprøver med relativt høy konsentrasjon kan forekomme ved alle årstider. I 2002 var maksimumskonsentrasjonen opp mot

25 mg/l, og i 2003 ble det målt konsentrasjoner på over 80 mg/l. I 2004 ble den høyeste konsentrasjonen på ca. 200 mg/l registrert i august. Maksimumskonsentrasjonen i 2005 var på 106 mg/l. I 2006 inntraff årets høyeste konsentrasjon på 38 mg/l i januar.

Høye enkeltkonsentrasjoner har sannsynligvis sammenheng med flomforhold i området. De høyeste konsentrasjonene i hele måleperioden ble registrert i slutten av august og midt i september 2004. Dette sammenfaller med episoder med høy vannføring i Bondhuselva/Fønnerdalsvatn, se Figur 14. Andre episoder med flomvannføringer samme år gir imidlertid ikke utslag på konsentrasjonen i Mauranger kraftstasjon. Den høye konsentrasjonen på 106 mg/l i september 2005 inntreffer samtidig med flomvannføringer i omkringliggende elver. Høyere konsentrasjoner i januar 2006 kan også ha sammenheng med nedbørsepisoder på denne tiden.

Suspensjonskonsentrasjonen i driftsvannet i Mauranger kraftstasjon gjenspeiler konsentrasjonsforholdene i inntaksmagasinet. Det er foretatt en analyse av hvorvidt vannstandsvariasjonene i Mysevatn innvirker på konsentrasjonsvariasjonene i kraftstasjonen, se Figur 8. Analyseresultatene viser at det ikke er noen klar sammenheng mellom vannstandsendringer i Mysevatn og konsentrasjonen i driftsvannet i Mauranger kraftstasjon. Det er heller ingen klar sammenheng mellom vannstandsendringer i Svartedalsvatn og Juklevatn og konsentrasjonsforhold i Mauranger kraftstasjon.

Det har vært til dels store og raske vannstandsendringer i Mysevatn i løpet av måleperioden, se Figur 12. Figur 13 viser døgnlig endring i vannstand i perioden fra 1973 til 2010. Vannstandsendringene er i de fleste tilfeller mindre enn 2 meter. I september 2005 ble det registrert en vannstandsøkning på opp mot 6 m på et døgn. Flom i restfeltet og lav produksjon ved Mauranger kraftverk ( $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) er forhold som førte til rask oppfylling av magasinet i denne situasjonen. Under naturlige forhold ville det vært overløp i en slik situasjon. Det forekommer også raske senkninger av vannstanden, spesielt i forbindelse med vintervedtapping på lave vannstander og lite tilsig.

Reguleringspraksis viser at manøvreringen vanligvis foregår på nivåer som ligger høyere enn uregulert normalvannstand i Mysevatn og Svartedalsvatn. Begge disse magasinene utgjøres av to vann ved naturlig vannstands nivå. Nedtapping under tidligere normalvannstand har vanligvis inntruffet sent på vinteren, dvs. fra februar/mars og fram til smeltesesongen begynner i slutten av mai. Fra midten av 90-tallet og fram til i dag kan det se ut til at det har blitt flere og raskere vannstandsendringer også på andre tider av året enn det var tidligere, se Figur 12. Vannstandsendringene i Mysevatn og Svartedalsvatn går vanligvis parallelt og har rask respons på driftsmønster og tilsigsforhold.

Diagrammet i Figur 14 viser hvordan enkelte høye pulser med partikkelkonsentrasjon målt i Mauranger kraftverk inntreffer samtidig med enkeltepisoder med høy vannføring i restfeltet. Dette illustreres ved at suspensjonskonsentrasjonen i Mauranger kraftstasjon er plottet sammen med samtidige vannføringer i fra Fønnerdalsvatn i

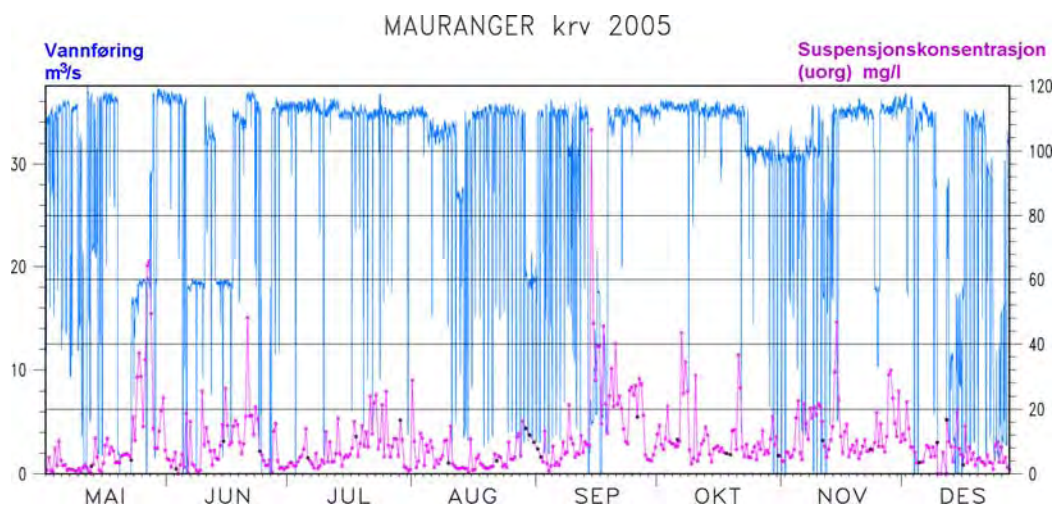
Bondhuselva. Dette kan bety at lokaltilsiget til Mysevatn under flomforhold/ høy vannføring kan gi episoder med høye partikkelkonsentrasjoner som kan registreres i driftsvannet i Mauranger kraftstasjon.

I store deler av året når tilsigsforholdene tilsier det, foregår manøvreringen av Mysevatn ved vannstander høyere enn normalvannstand. Høyfjellsområdene omkring magasinene vest for Folgefonna er preget av bart fjell og stedvis tynt morenedekke, se Figur 15. Det er derfor begrenset med tilgjengelig løsmateriale i den øvre delen av reguleringssonen. Tidvis er vannstanden også lavere enn opprinnelig normalvannstand. Dette er vanligvis i perioder sent på vinteren når isdekket vanligvis er godt utviklet. Mektigheten av sedimentavsetningene på nivåer lavere enn normalvannstand er ikke like godt kartlagt. I selve bassenget er det stedvis svært bratte sidekanter uten eller med svært lite sedimenter. Deltaområdene ved de største innløpselvene har til dels mektige avsetninger. Mysevatn ble første gang tappet ned i perioden 1971–1972 i forbindelse med anleggsfasen i Folgefonnutbyggingen. Dette førte til kraftig erosjon på deltaavsetningen i sydenden av vannet (se Figur 16). Det var sannsynligvis erosjon flere steder i nedtappingssonen i denne perioden.

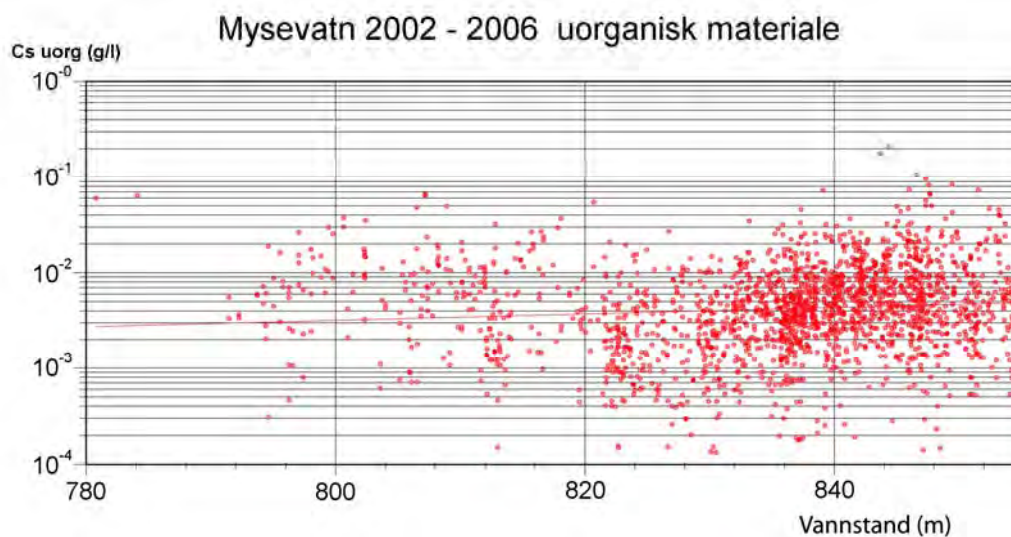
Kornfordelingen på suspensjonsmaterialet (årsmiddel) er vist i Tabell 2, Figur 9, Figur 10 og Figur 11. Variasjonen i kornfordelingene viser heller ingen klar sammenheng med magasinmanøvreringen, se Figur 8.

**Tabell 2 – Årvisse middel av kornfordelingsprøver i Mauranger kraftstasjon i perioden 2002 til 2006.**

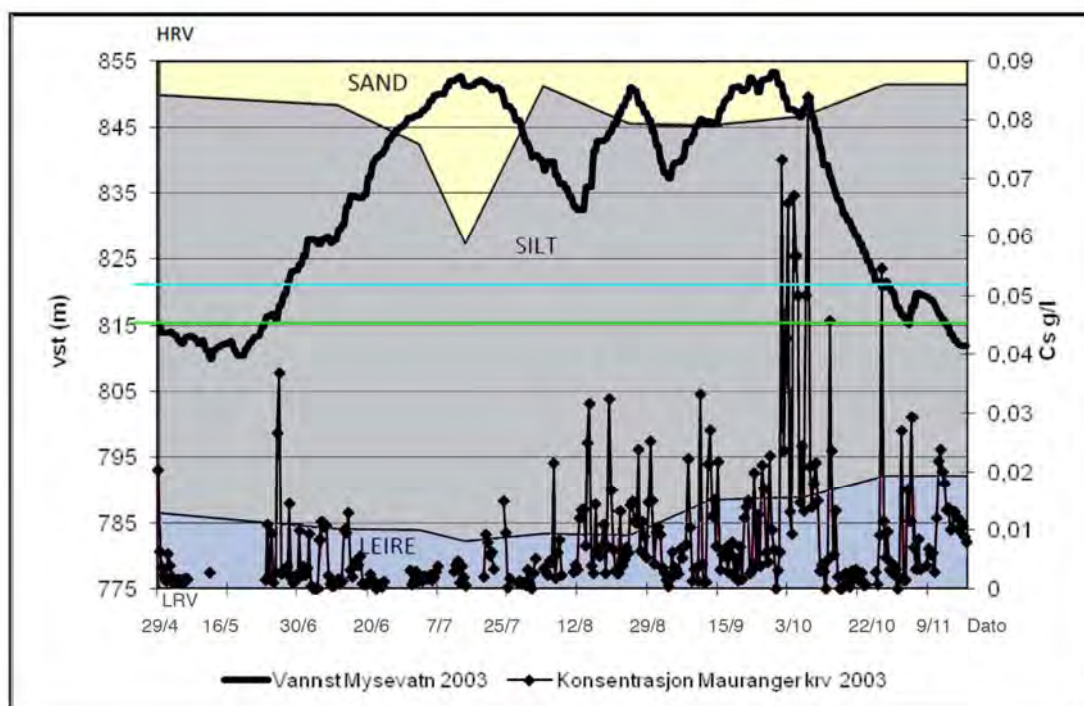
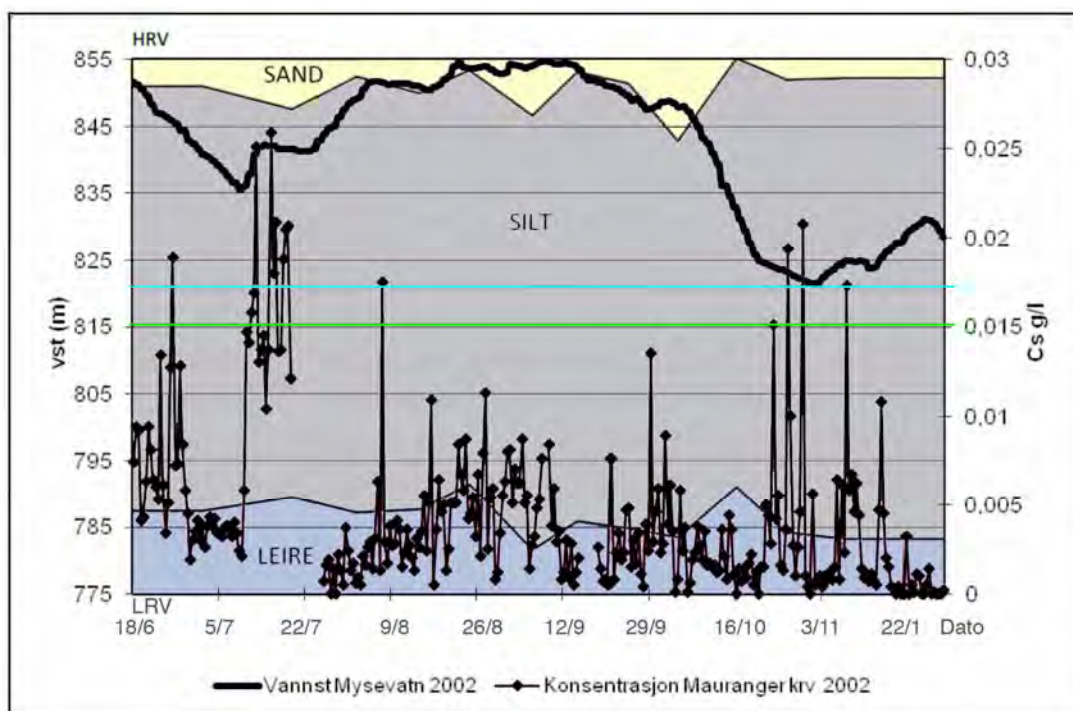
År	% leire	% silt	% sand
2002	14.7	79.5	5.8
2003	13.9	73.9	12.2
2004	13	76.1	10
2005	15.5	66.5	18
2006	14.9	83.1	2



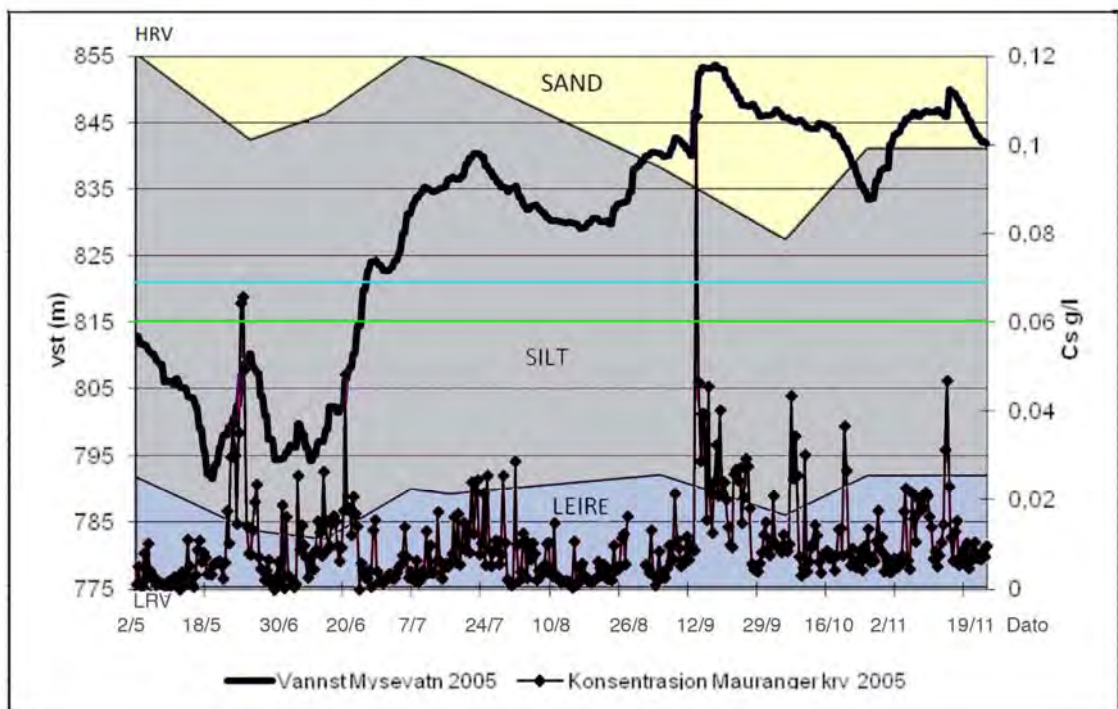
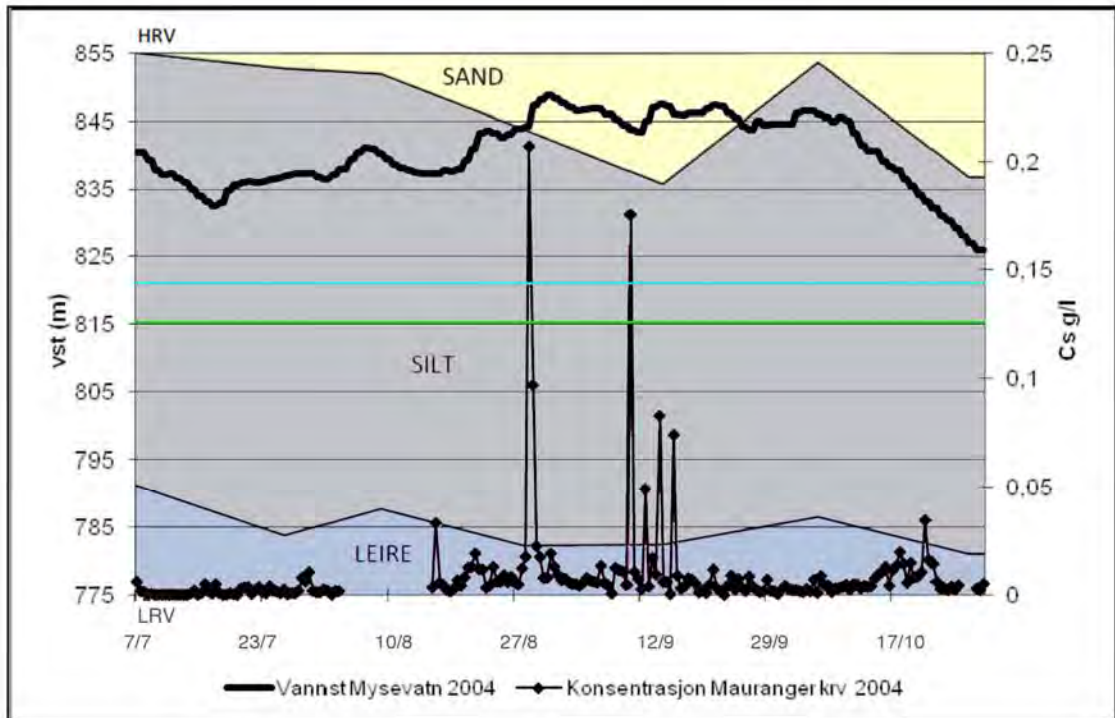
Figur 7 – Uorganisk suspensjonskonsentrasjon og transport i Mauranger kraftstasjon i 2005. Svarte symboler er simulerte verdier.



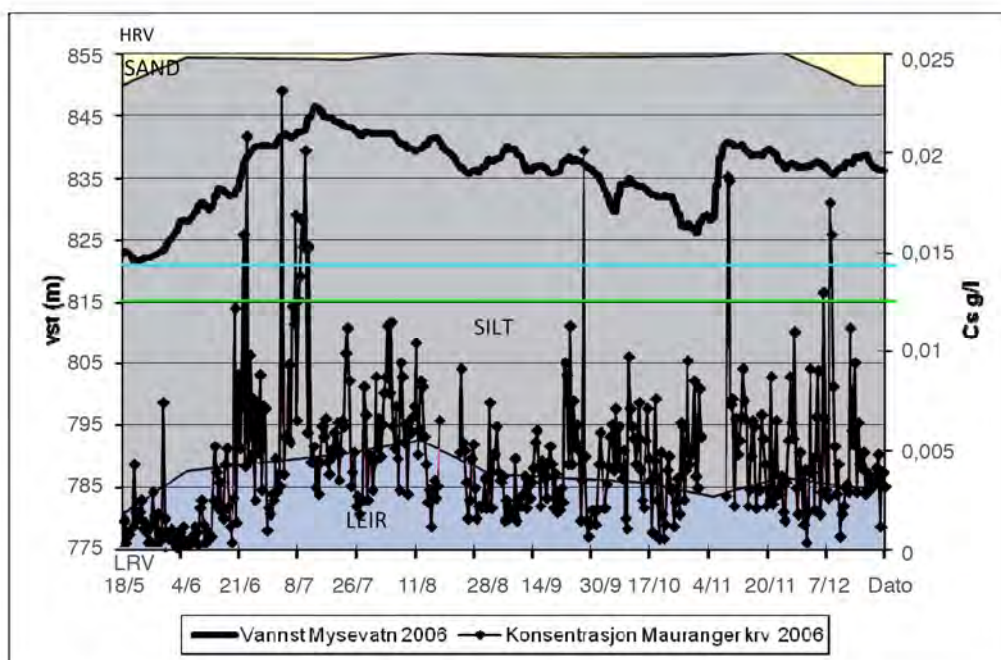
Figur 8 – Sammenhengen mellom uorganisk suspensjonskonsentrasjon i Mauranger kraftstasjon og vannstandsvariasjonen i Mysevatn for perioden 2002–2006.



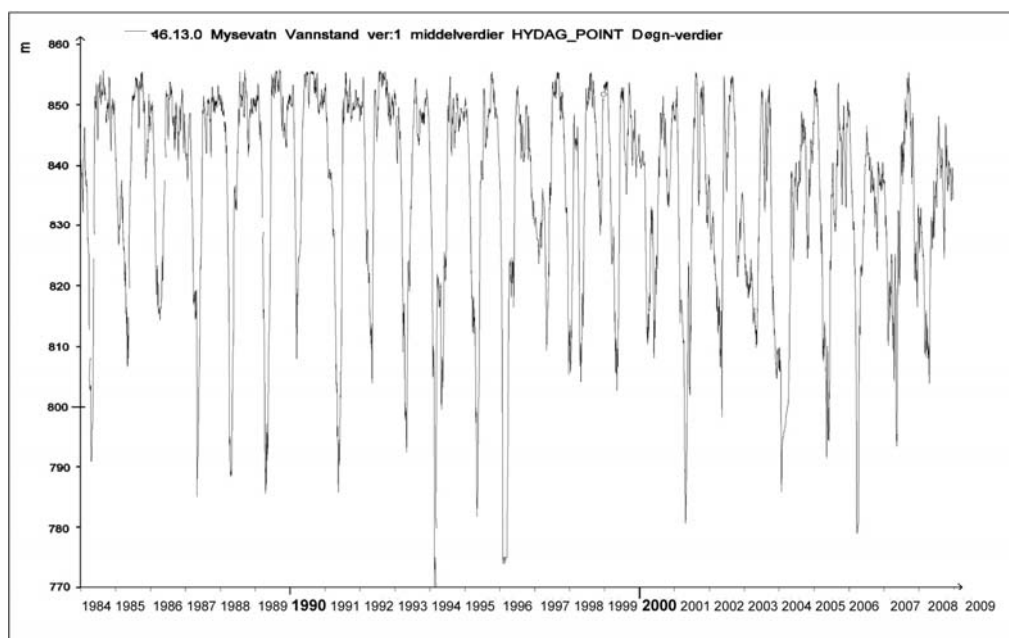
Figur 9 – Suspensjonskonsentrasjon i Mauranger kraftstasjon (mørke linjer med markerte prøvepunkter) og vannstandsvariasjonen i Mysevatn i 2002 og 2003 (heltrukket svart linje). Grønn og blå linje er henholdsvis normalvannstand i Mysevatn og Urdabottvatn. Bakgrunnsfargene indikerer materialsammensetningen gjennom perioden.



Figur 10 – Suspensjonskonsentrasjon i Mauranger kraftstasjon (mørke linjer med markerte prøvepunkter) og vannstandvariasjonen i Mysevatn i 2004 og 2005 (heltrukket svart linje). Grønn og blå linje er henholdsvis normalvannstand i Mysevatn og Urdabottvatn. Bakgrunnsfargene indikerer materialsammensetningen gjennom perioden.

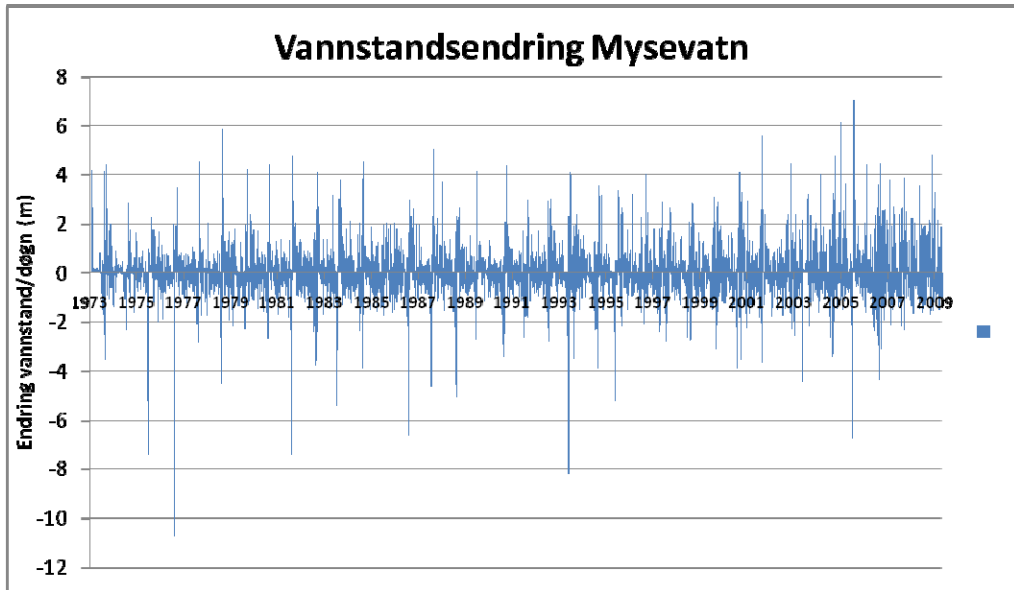


Figur 11 – Suspensjonskonsentrasjon i Mauranger kraftstasjon (mørke linjer med markerte prøvepunkter) og vannstandsvariasjonen i Mysevatn i 2006 (heltrukken svart linje). Grønn og blå linje er henholdsvis normalvannstand i Mysevatn og Urdabottvatn. Bakgrunnsfargene indikerer material-sammensetningen gjennom perioden.

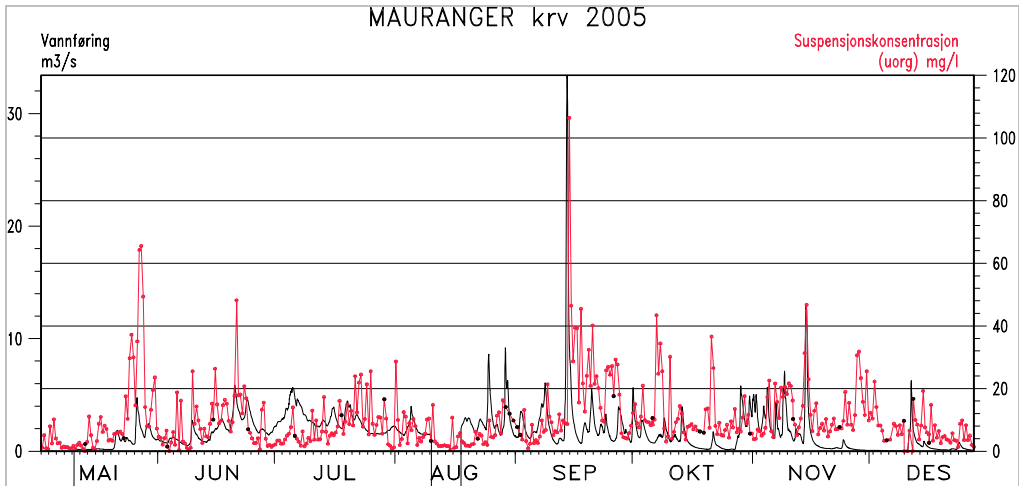


Figur 12 – Fra midten av 90-tallet og fram til i dag kan det se ut til at det har blitt flere vannstands- endringer enn det var tidligere, også på andre tider av året.

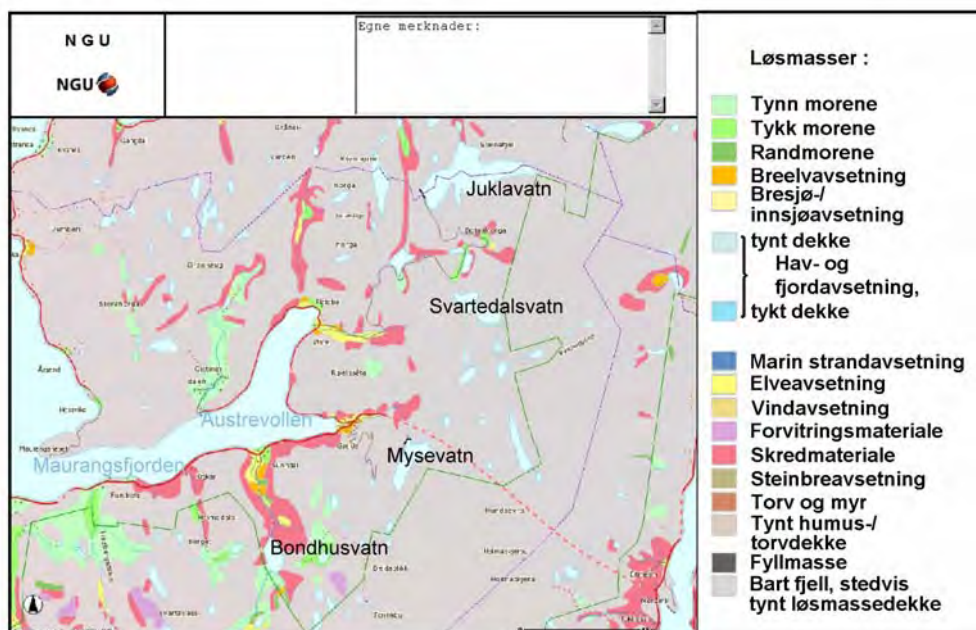




Figur 13 – Døgnlig endring i vannstand i perioden fra 1973 til 2010.



Figur 14 – Vannføring fra Fønnerdalsvatn og suspensjonskonsentrasjon fra Mauranger kraftstasjon. Diagrammet viser hvordan enkelte høye pulser med partikkelkonsentrasjon inntreffer samtidig med enkelte episoder med høy vannføring i restfeltet.



Figur 15 – Høyfjellsområdene omkring magasinene vest for Folgefonna er preget av bart fjell og stedvis tynt morenedekke.



Figur 16 – Kraftig erosjon på deltaavsetningen i Mysevatn ved første gangs nedtapping i perioden 1971–1972 i forbindelse med anleggsfasen i Folgefonnutbyggingen (foto: Statkraft v/ Arve Tvede).

### 3.3 Tonstad kraftverk og Sirdalsvatn / Lundevann

Tonstad kraftverk eies av Sira-Kvina kraftselskap og regulerer Homstølvatn magasin (471–497 moh.). Kraftverket har sitt utløp i Sirdalsvatn som drenerer ut i Lundevann gjennom en kanal i nedstrøms ende. Maksimal produksjon gjennom kraftverket er 940 MW, som tilsvarer 250 m<sup>3</sup>/s. Kraftverket har fem turbiner og er Norges største målt i årlig produksjon, og nest størst målt i installert effekt.

Figur 17 viser Sirdalsvatn med Tonstad-reguleringen. Tonstad kraftverk er lokalisert i nordøstlig ende av reguleringsmagasinet. Homstølvatn er ikke synlig på figuren. I den sørlige enden av Sirdalsvatn skimtes den åpne kanalen ned til Lundevann, som også påvirkes av reguleringen av Sirdalsvatn.

Sirdalsvatn har med dagens produksjon en reguleringshøyde på 2 m og reguleres mellom 47,5 og 49,5 moh. Det er planlagt en utvidelse av anlegget med et pumpekraftverk ("Tonstad III") på 960 MW som foreløpig er lagt på is i påvente av en del avklaringer rundt politiske, finansielle og forvaltningsmessige spørsmål.

I vår studie har vi sett på et tenkt tilfelle med en kraftig økning i installert effekt i Tonstad til 3000 eller 5000 MW. Miljøvirkningene er vurdert ut fra et mulig effekt-kraftverk uten pumping, og vi ser derfor bare på nedstrøms virkninger. For sediment-transport og erosjon har vi bare vurdert virkningene av det omsøkte Tonstad III pumpekraftverk.

Tabell 3 – Fakta om Tonstad-reguleringen.

Sted	Sirdal kommune i Vest-Agder
Potensiell utvidelse – studie av miljøforhold	Økt produksjon fra ca. 1000 MW til henholdsvis 3000 og 5000 MW. Tilsvarer ca. 810 og 1350 m <sup>3</sup> /s. Mulighet for bygging av tilleggsinstallasjon med pumping (til/fra Homstølvatn, 12,5 km tunnel)
Potensiell utvidelse – studie av sediment-transport og erosjon	Bygging av Tonstad III pumpekraftverk med kapasitet på 960 MW pumping fra Sirdalsvatn til Homstølvatn
Eier	Sira-Kvina kraftselskap
Resipient kraftverksutløp	Sirdalsvatn
Tilleggsregulering	Reguleres med inntak fra Homstølvatn og Ousdalsvatn. Påvirker også Lundevann gjennom kanal utløp Sirdal (sørlig del)
Dagens produksjon	Midlere produksjon ca. 40–160 m <sup>3</sup> /s. 100 MW = 27 m <sup>3</sup> /s
Slukeevne kraftverk	254 m <sup>3</sup> /s / ca. 940 MW
LRV / HRV Sirdalsvatn	47,5 / 49,5 moh.

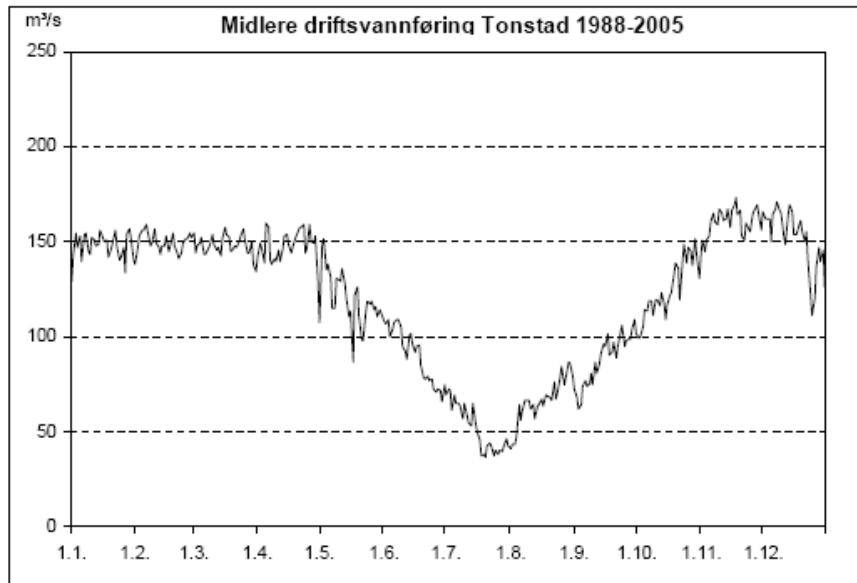


Figur 17 – Tonstad-reguleringen, Vest-Agder. Lundevatn ses nede til venstre. Tonstad kraftverk er lokalisert i øvre østre ende av Sirdalsvatn.

### 3.3.1 Vannføring og vannstand

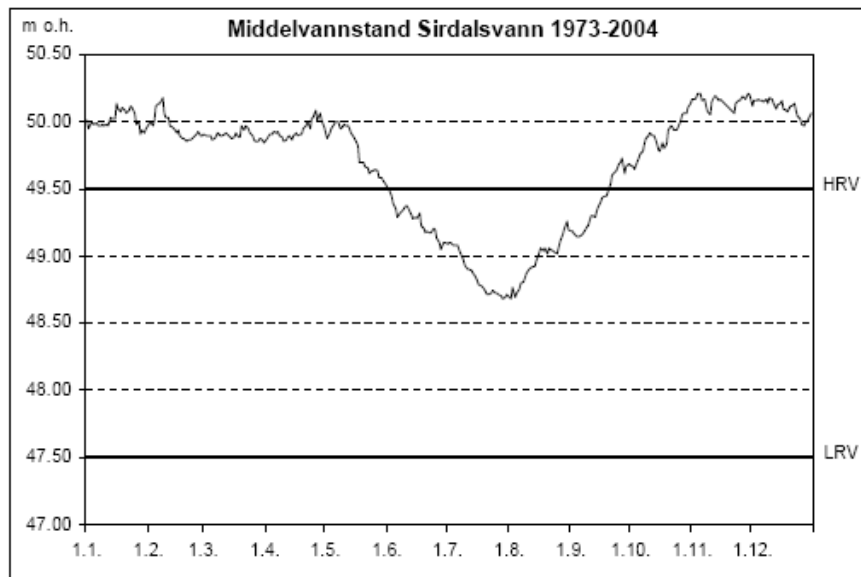
Figur 18 og Figur 19 viser henholdsvis årlig gjennomsnittlig driftsvannføring gjennom Tonstad kraftverk og årlig middelvannstand i Sirdalsvatn for utvalgte år.

Figur 18 viser gjennomsnittsverdier for mange år og gir ikke et klart bilde på effekt-kjøringsmønster, men gir indikasjoner på høyere midlere produksjon vinter, vår og høst ( $160 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og lavere produksjon på sommeren ( $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



**Figur 18 – Årlig gjennomsnittlig driftsvannføring i m<sup>3</sup>/s gjennom Tonstad kraftverk i årene 1988–2005.**

Figur 19 viser at gjennomsnittlig vannstand på vinter, vår og høst ligger over HRV (49,5 moh.). Gjennomsnittlig vannstand på sommeren når et minimumsnivå på ca. 48,7 moh.

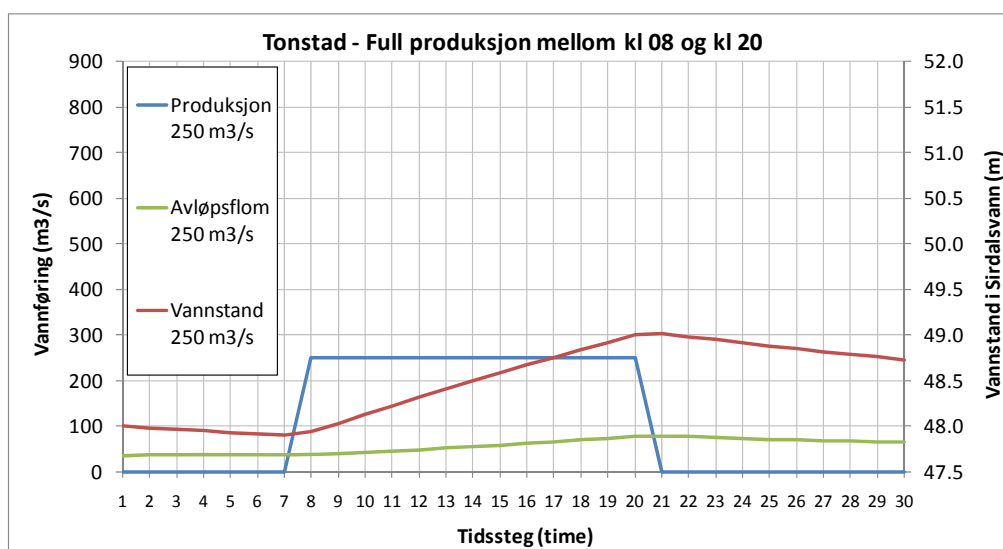


**Figur 19 – Årlig middelvannstand i moh. i resipienten Sirdalsvatn i årene 1973–2004.**

For å vurdere effekten av ulike tappestrategier fra Tonstad kraftverk på vannstand i og vannføring ut av Sirdalsvatn er det satt opp en enkel routing-modell for Sirdalsvatn. Denne baserer seg på en enkel massebalanse (Level Pool, Killingtveit & Sælthun,

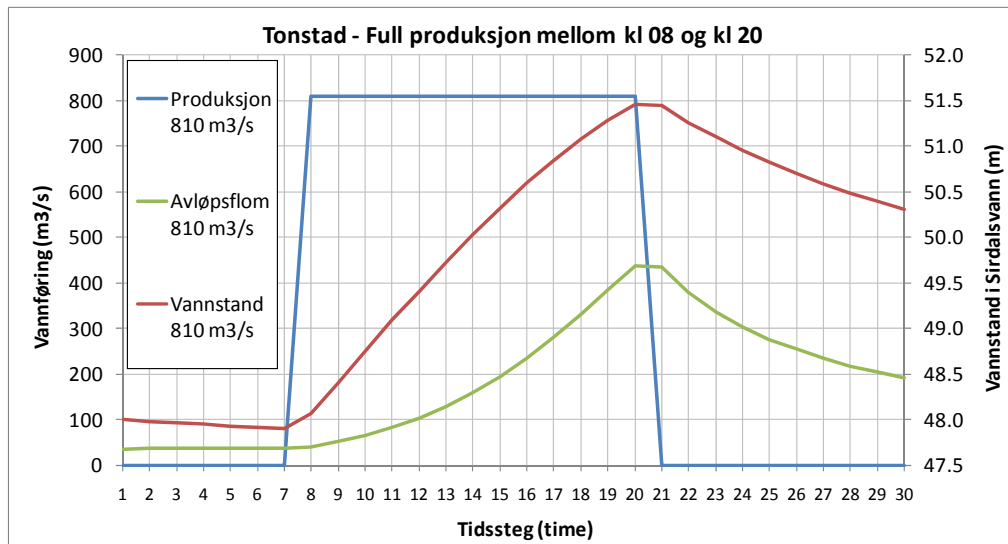
1995) siden datagrunnlaget ikke er godt nok for mer avanserte dynamiske metoder. Det kan diskuteres om dette er nødvendig med tanke på vannføringen inn og volum på magasinet. Modellen er kjørt med fast vannstand i Lundevann i og med at vi ikke har magasinkurve eller utløpskarakteristikk for Lundevann for å oppdatere vannstanden i denne. Det vil være en enkel jobb å utvide modellen slik at den tar hensyn til varierende vannstand i Lundevann i framtiden hvis tilstrekkelig med data blir gjort tilgjengelig. Magasinkurve for Sirdalsvatn er laget med bakgrunn i en tidsserie med vannstand og volum. Det er brukt en utløpskarakteristikk for Sirdalsvatn, der vannstand i Lundevann er sett lik 48 meter over havet.

Nøyaktig form på hydrogrammet inn i magasinet var ikke kjent, så to ulike scenarier er kjørt i eksemplet. Begge forutsetter en produksjon gjennom Tonstad kraftverk mellom kl. 8 og kl. 20. Det første eksemplet har en vannføring på 250 m<sup>3</sup>/s og det andre eksemplet har en vannføring på 800 m<sup>3</sup>/s. Figur 20 og Figur 21 viser resultatene av routing-modellene for henholdsvis 250 m<sup>3</sup>/s og 800 m<sup>3</sup>/s produksjon gjennom Tonstad kraftverk. I begge figurene er vannføring inn i Sirdalsvatn angitt med blå linje og vannføring ut av Sirdalsvatn (inn i Lundevann) angitt med grønn linje.



Figur 20 – Vannstandsscenario for Sirdalsvatn med 250 m<sup>3</sup>/s produksjon gjennom Tonstad kraftverk fra kl. 8 til kl. 20.

Figur 20 viser hvordan vannføring inn i Sirdalsvatn (angitt som blå linje) gir tilsvarende vannføring ut av Sirdalsvatn og inn i Lundevann nedstrøms (angitt som grønn linje). Rød linje angir hvordan vannstanden vil endres i løpet av dagen med den angitte produksjonen mellom kl. 8 og kl. 20. Laveste vannstand er ved oppstart av produksjon kl. 08 og ligger på 47,90 moh. Høyeste vannstand oppstår ved stans av kraftverket kl. 20 og ligger på 49,05 moh. Resultatet fra routing-modellen gir en klar demping av vannføring mellom inn- og utløpet i Sirdalsvatn.



Figur 21 – Vannstandsscenario for Sirdalsvatn med 810 m<sup>3</sup>/s produksjon gjennom Tonstad kraftverk fra kl. 8 til kl. 20.

Figur 21 viser hvordan vannføring inn i Sirdalsvatn (angitt som blå linje) gir tilsvarende vannføring ut av Sirdalsvatn og inn i Lundevann nedstrøms (angitt som grønn linje). Rød linje angir hvordan vannstanden vil endres i løpet av dagen med den angitte produksjonen mellom kl. 8 og kl. 20. Laveste vannstand er ved oppstart av produksjon kl. 8 og ligger på 47,9 moh. Høyeste vannstand oppstår ved stans av kraftverket kl. 20 og ligger på 51,5 moh., noe som er 2 m over HRV. I praksis vil dette neppe bli gjort slik ettersom det ikke er tillatt å overstige HRV. Resultatet fra routing-modellen gir en redusert demping av vannføring mellom inn- og utløpet i Sirdalsvatn, sammenliknet med forrige scenario med 250 m<sup>3</sup>/s produksjon (Figur 20).

Metodikken som er brukt i eksemplet vil gi informasjon om hvordan ulike driftsstrategier påvirker vannstand i Sirdalsvatn. Noen forbedringer som var utenfor rammen av eksempelprosjektet bør gjøres:

- Magasinkurven er laget med grunnlag av en ganske kort serie med data. Denne bør kontrolleres.
- Magasinkurve for Lundevann må innhentes og beregningen må utvides til å ta hensyn til variabel vannstand i Lundevann, spesielt når en har høy vannføring inn i Sirdalsvatn.
- Hvis vannføring/hastighet i kanalen mellom Sirdalsvatn og Lundevann er ønskelig, må det brukes en hydraulisk modell, og det må hentes inn tverrprofil.

### 3.3.2 Sedimenttransport og erosjon

I forhold til sedimenttransport og erosjon har vi vurdert forslag om bygging av pumpekraftverket Tonstad III i henhold til planer og søknad fra Sira-Kvina kraftselskap. Vi antar videre at Tonstad III skal brukes til produksjon på dagtid og pumping om natten, med Homstølsvatnet i Kvinavassdraget som øvre magasin og

Sirdalsvatn i Siravassdraget som undervann, parallelt med eksisterende anlegg i Tonstad kraftverk. Det utvidete kraftverket med pumpemulighet vil kunne forårsake raskere vannstandsvariasjoner i magasinene. Dette kan gi en økt erosjon i Sirdalsvatn, Homstølvann og Ousdalsvann i forhold til dagens normalkjøring.

Det er hovedsakelig to former for erosjon som opptrer i innsjøer: bølgeerosjon og grunnvannserosjon. Bølgeerosjonen er drevet av vind og vil være væravhengig. Det er de grunneste områdene (strandsonene) hvor bølgeerosjonen har størst påvirkning, men også dypere områder blir påvirket ned til ca. 7 m (Bogen og Bønsnes, 2001). Grunnvannserosjon skjer pga. hurtig fall i vannstand som fører til en trykkgradient langs strandsonen (der vannet lå tidligere) fordi trykket ikke blir kompensert av mottrykk fra magasinet. Grunnvannserosjon er mer utbredt i finere materiale enn i grovkornet materiale (Jensen 2007).

Vannstanden i Sirdalsvatn har normalt pendlet fra ca. 48 moh. til ca. 51 moh. Det vil si at vannstanden normalt har pendlet i en sone på 3 m. Ved innføring av pumping, vil også vannstandene bli liggende innenfor det samme intervallet som tidligere. Generelt vil vannstandene kunne variere mer og raskere i løpet av et døgn enn de gjør under dagens situasjon. Vannstandsendingene gjennom en uke vil også være noe høyere enn under dagens situasjon. Vannstandsendingene i Sirdalsvatn ved pumping blir derfor trolig beskjedne, slik at det sannsynligvis ikke vil bli økt erosjon langs strandsonene.

Pumpingen vil ikke føre til endring i nivået på vannstanden i magasinet sammenliknet med dagens regulering. Bølgeerosjonen langs strandsonen i magasinet vil sannsynligvis ikke endres i forhold til dagens situasjon.

Grunnvannserosjon er mer utbredt i finere materiale enn det som finnes langs Sirdalsvatn. Det er dermed sannsynlig at det ikke er grunnvannserosjon av betydning i magasinet, med unntak av enkelte lokale små elvedeltaer. Hyppigere vannstandsendinger kan øke grunnvannserosjonen i områder med finere løsmateriale, men det er i tilfelle bare noen få lokale steder dette vil kunne foregå.

Vannstanden i Homstølvatn har pendlet normalt fra ca. 485 moh. til ca. 497 moh., altså normalt i en sone på 12 m. Ved innføring av pumping vil dette generelt føre til at lavere vannstand opptrer oftere enn ved dagens regulering.

Generelt vil vannstanden kunne variere mer og raskere i løpet av både en uke og et døgn enn med dagens regulering. Vannstanden vil med dagens regulering maksimalt ha en endring over en uke på ca. 4 m. Den største vannstandsendingen som er simulert i løpet av et døgn er på maksimalt 7 m og ca. 15 m i løpet av en uke.

Dersom vannstanden hyppigere blir liggende lavere med pumping, fører dette til at finere materiale oftere vil bli eksponert for både grunnvannserosjon og bølgeerosjon enn under dagens regulering. Det er imidlertid kun en liten strandsoner rundt magasinet, da magasinet er brådypt de fleste steder. Det vil derfor bare være enkelte lokale områder som vil være utsatt for erosjon av betydning. I enkelte grunne vikar og i innløpsområdet til magasinet kan det ventes at det kan bli en økt bølgeerosjon og



grunnvannserosjon. Området vest for dammen er mer langgrunt og det er en del finere materiale som lett kan eroderes både ved bølge- og grunnvannserosjon. Ved lave vannstander økes områdene med finere løsmasser, og det kan forventes en økt erosjon i magasinet som følge av pumping. De fineste materialene vil imidlertid vaskes ut i de nyere eksponerte områdene, slik at det over tid blir mindre og mindre materiale tilgjengelig for erosjon også ved lave vannstander. Det kan dermed forventes en noe økt erosjon i den første tiden med pumping, men etter en viss tid vil denne erosjonen normalt avta gradvis. Et par meter under pumperegimet vil det ved ca. 478 m o.h. blottlegges en del humus som vil være eksponert for erosjon. Det er også mulig at vannstanden generelt blir høyere enn før med pumping, og erosjonsfaren vil reduseres.

Vannstanden i Ousdalsvatn har pendlet fra ca. 490 moh. til ca. 497 moh., altså normalt i en sone på 7 m. Ved innføring av pumpe vil dette generelt føre til høyere vannstand om vinteren og lavere på våren og høsten. Intervallet på vannstandsvariasjonene vil bli noe større sammenliknet med dagens intervall. De laveste vannstandene vil opptre oftere. Vannstandsendingen gjennom døgnet er i dag betydelig større enn for de andre magasinene.

Generelt vil vannstandene kunne variere mer og raskere i løpet av både en uke og et døgn enn under dagens regulering. Den største tappingen av magasinet er simulert til ca. 10 m over en uke og ca. 3 m i løpet av et døgn.

Ousdalsvatn er det magasinet hvor det kan forventes størst økning i erosjonen som følge av pumping. Magasinet er mer langgrunt, og det blottlegges større områder med finere materiale enn i Sirdalsvatn og Homstølvatn. Både grunnvanns- og bølgeerosjon kan forekomme.

Over tid vil erosjonen, tilsvarende som i Homstølvatn, også forventes å avta. Det er bare i ett område det er observert erosjon i dag, og det er i Myrstøltjønn ved Midtstøl.

Ved høye vannstander fra ca. 496 moh. observeres det noe erosjon i myrområdene rundt tjernet. Dette kan ventes å øke sommerstid med vannstander rundt 496 moh. Det kan dermed forventes en økt tilførsel av finere materiale inn til Ousdalsvatn/Lomtjønn hvor dette avsettes og blir eksponert for videre erosjon ved lavere vannstander. Ved Lomtjønn er det utsatte områder med finere materiale hvor det kan ventes en økt erosjon som følge av pumping.

Det kan forventes en økning i erosjonen i Ousdalsvatn og spesielt i områdene der det i dag observeres erosjon ved Myrstøltjønn og Lomtjønn. Den største erosjonen vil foregå når vannstandspendlingen ligger ved høye vannstander. Det er vanskelig å si om denne erosjonen vil avta over tid med pumping, da det er mye løsmateriale som er utsatt for erosjon i myrområdene.

Vi har forutsatt noen typiske pumpescenarier basert på Sira-Kvina kraftselskap sine vurderinger. Våre simuleringer bygger på disse scenarioer som er gjengitt under. Ønske om å pumpe i en gitt situasjon vil være en funksjon av:

- Prisforskjell mellom ulike perioder, for eksempel dag og natt eller eventuelt lengre perioder med balansering. Tilstrekkelig forskjell vil gi økonomi til pumping.
- Tilførsler fra oppstrøms magasin og tilsig til inntaksmagasinet til Tonstad kraftverk. Stor tilførsel til inntaksmagasinet vil gjøre pumping mindre interessant, lave tilsig vil gjøre det mer interessant å pumpe.
- Ledig plass i inntaksmagasin.

Ut fra disse momentene er følgende mulige pumpescenarier oppgitt:

"Vinterpumping": I dette scenarioet skal det kjøres mye på Tjørhom og Solhom for å få ut årlig energimengde fra Sira-Kvina systemet.

"Sommerpumping": I dette scenarioet har en større lokaltilsig til inntak Tonstad enn i vinteralternativet, men kjøringen av Solhom (og evt. Tjørhom) er begrenset til lokaltilsiget til disse. Sommertilsiget til Solhom (Nesjen + Øyarvann utgjør ca. 300 mill. m<sup>3</sup> i perioden 1. juli–31. oktober). Sommertilsiget til Tjørhom (Gravann + Hunnevatn utgjør ca. 320 mill. m<sup>3</sup>). Dersom en ser for seg at en i sommerperiodene (1. juli–1. oktober) pumper ca. 300 mill. m<sup>3</sup> fra Gravann til Svartevann vil det være lokaltilsiget til Nesjen + Øyarvann + inntak Tonstad som må håndteres i Tonstad kraftverk. Dette vil typisk utgjøre ca. 200 MW.

"Vår-/høstflom pumping": I dette scenarioet er kjøring fra Tjørhom trolig uaktuelt (pumping Duge), men en har store lokaltilsig til Tonstad og Solhom. Pumping i dette scenarioet kan være relevant, da en ved stor utbygging av småkraft vil kunne få svært lave nattpriser i typiske flomperioder.

Det er antatt tre forskjellige vinterscenarier, to sommerscenarier og et vår-/høstflomscenario. I et typisk år vil en trolig gjennomgående kjøre en kombinasjon av de forskjellige alternativene.

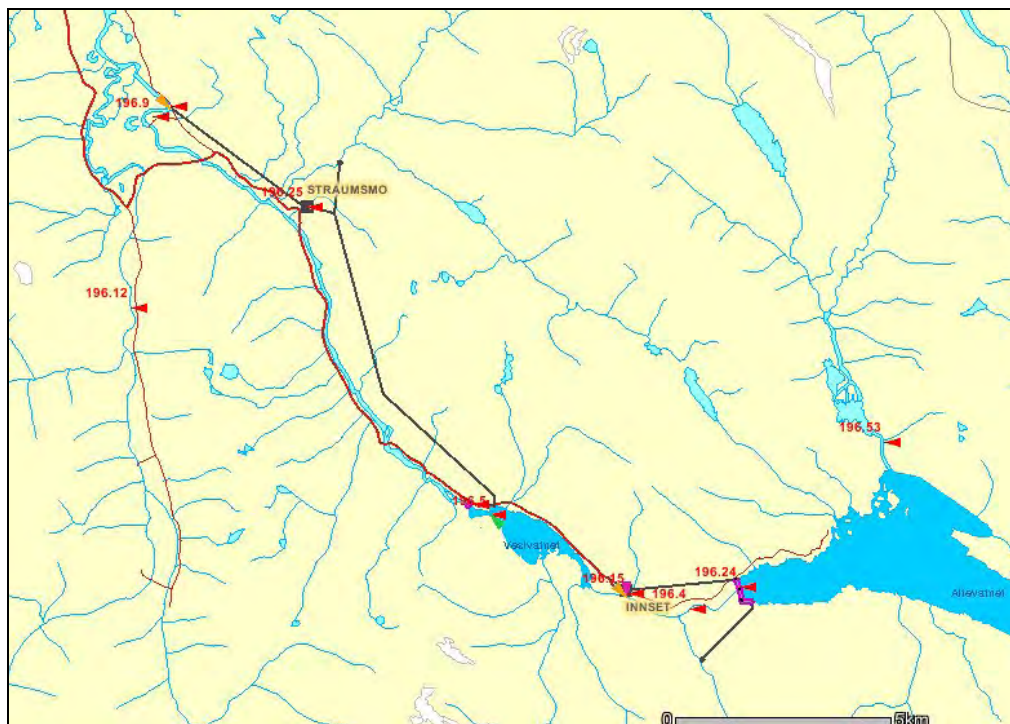
Av driftstekniske årsaker vil det være en åpen forbindelse mellom eksisterende tilløpstunnel til Tonstad kraftverk og den nye tunnelen mellom Sirdalsvatn og Homstølvatn. Dette fører til at vann vil kunne gå mellom den nye tunnelen og den gamle i en driftssituasjon og medføre at for eksempel noe av vannet også vil bli pumpet opp i Ousdalsvatn under pumping.

### **3.4 Straumsmo kraftverk / Barduelva**

Straumsmo kraftverk eies av Statkraft og regulerer Veslevatn magasin (298–301 moh.). Innset kraftverk (Statkraft) har sitt utløp i Veslevatn og regulerer Altevatn (473–489 moh.). Straumsmo kraftverk har to turbiner og maksimal installert effekt er 130 MW som tilsvarer 65 m<sup>3</sup>/s.

Kraftverket har sitt utløp i Barduelva. En rekke større sideelver har samløp med Barduelva nedstrøms kraftverksutløpet.

Det er ikke planlagt utvidelse av anlegget. Figur 22 viser Straumsmo-reguleringen med kraftverket i nordvestlig del og de to magasinene Veslvatn og Altevann i sørøstlig ende.



Figur 22 – Straumsmo-reguleringen i Barduelva, Troms.

Tabell 4 – Fakta om Straumsmo-reguleringen.

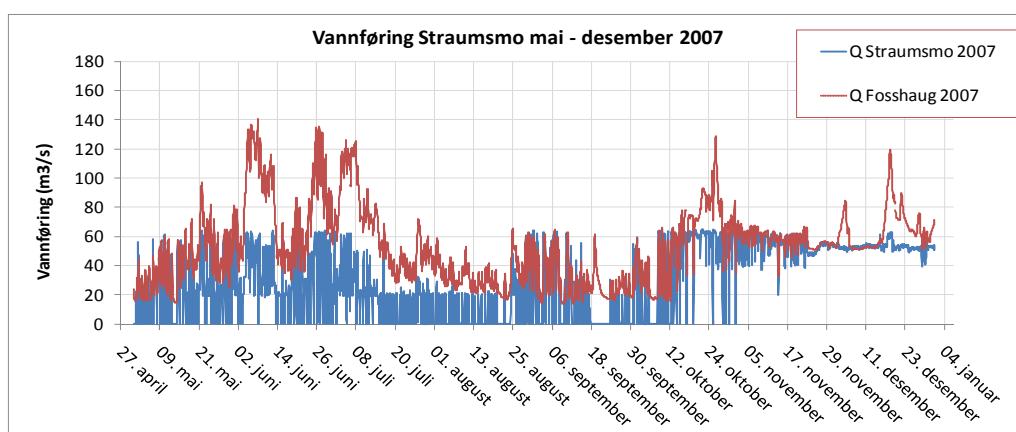
Sted	Bardu kommune i Troms
Eier	Statkraft
Resipient kraftverksutløp	Barduelva
Tilleggsregulering	Reguleres i sammenheng med Veslvatnet og Altevann, det siste gjennom Innset kraftverk inn i Veslvatnet
Dagens produksjon	Maks produksjon 130 MW, tilsvarer ca. 65 m <sup>3</sup> /s på to turbiner. Kjører ofte enten 0, 1 eller 2 turbiner, tilsvarende 0, ca. 30 og 65 m <sup>3</sup> /s
Slukeevne kraftverk	65 m <sup>3</sup> /s / 130 MW
LRV / HRV Veslvatnet	298 / 301 moh.
LRV / HRV Altevann	473 / 489 moh.

### 3.4.1 Vannføring, vannstand og vanddekket areal

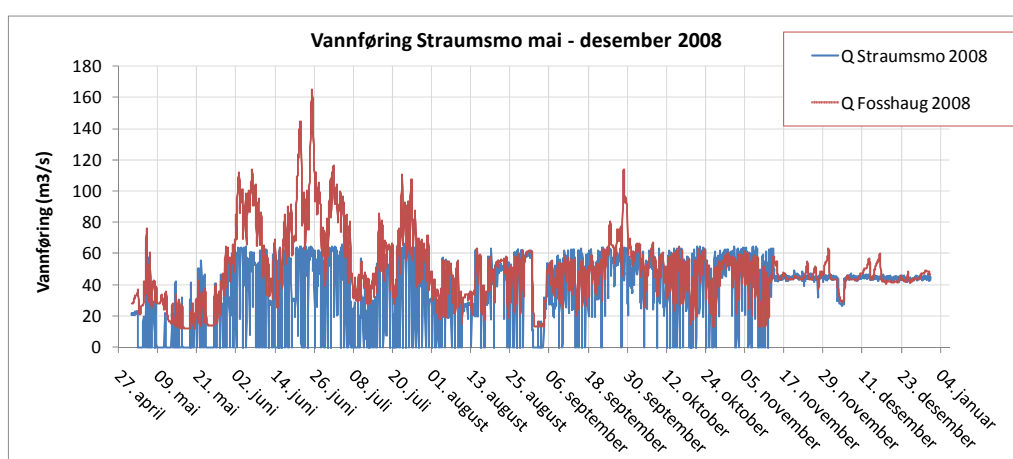
Straumsmo kraftverk har effektkjøring i deler av året. Økt variasjon i produksjon i kraftverket starter vanligvis på våren, i april–mai, og avsluttes i november. Figur 23 og Figur 24 viser eksempler på hvordan et typisk produksjonsmønster kan utvikle seg (blå linjer).

2 km nedstrøms kraftverksutløpet i Barduelva kommer Sjørdalselva inn som den største sideelven i systemet, se Figur 25. Sjørdalselva har en årlig syklus med lav vannføring fra november til april og høy vannføring fra april til november, noe som delvis sammenfaller med perioden med effektkjøring i Straumsmo kraftverk. 8 km nedstrøms utløpet fra Straumsmo kraftverk kommer Tverrelva inn som en vesentlig sideelv, se Figur 26. Tverrelva har samme hydrologiske syklus som Sjørdalselva.

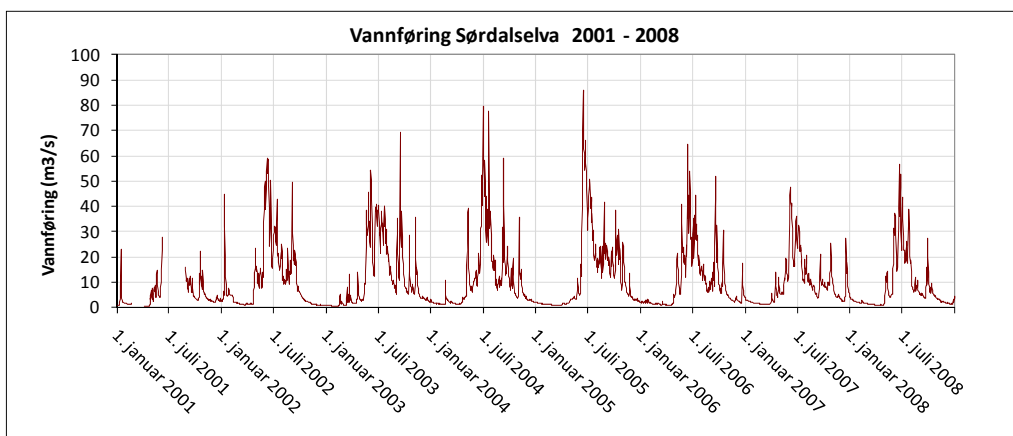
Figur 23 og Figur 24 viser i tillegg vannføringen ved Fosshaug bru 12 km nedstrøms kraftverksutløpet. På dette punktet i elva har Sjørdalselva, Tverrelva og andre sideelver bidratt med vannføring til Barduelva, noe som ses av vannføringskurvene for 2007 og 2008 (rød linjer). Dette innebærer at effekten av hurtig nedtapping gjennom Straumsmo kraftverk har redusert virkning på fysiske forhold nedstrøms samløpet med Sjørdalselva, og ytterligere mindre virkning desto lenger nedstrøms man kommer. Vannføringen ved Fosshaug bru reduseres sjelden til mindre enn 20 m<sup>3</sup>/s i sommer- og høstperioden.



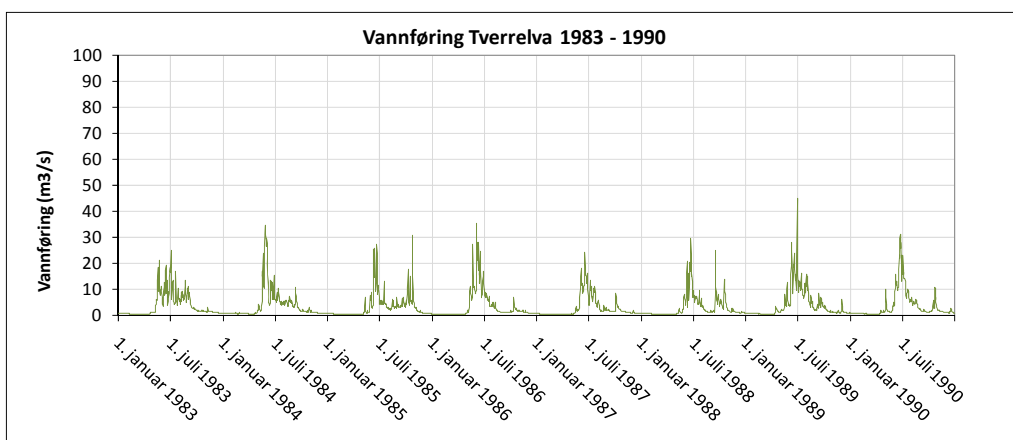
Figur 23 – Vannføring (m<sup>3</sup>/s) ved utløp Straumsmo kraftverk (produksjon) og vannføring ved Fosshaug bru (12 km nedstrøms) fra mai til desember 2007.



Figur 24 – Vannføring (m<sup>3</sup>/s) ved utløp Straumsmo kraftverk (produksjon) og vannføring ved Fosshaug bru (12 km nedstrøms) fra mai til desember 2008.



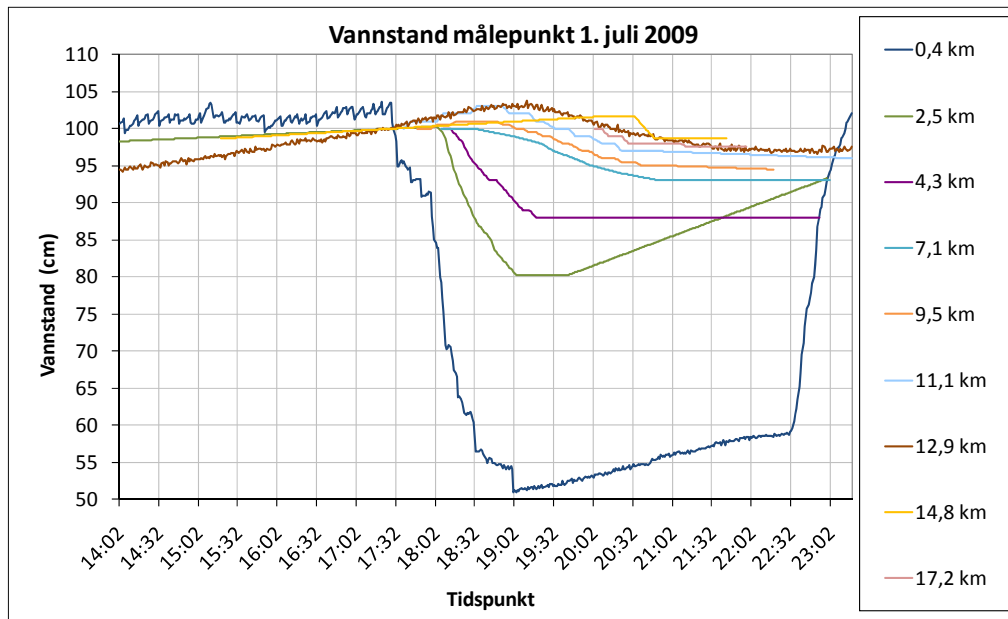
Figur 25 – Vannføring i sideelven Sjørdalselva som løper sammen med Barduelva 2 km nedstrøms utløpet fra Straumsmo kraftverk 2001–2008.



Figur 26 – Vannføring i sideelven Tverrelva som løper sammen med Barduelva 8 km nedstrøms utløpet fra Straumsmo kraftverk 1983–1990.

Straumsmo kraftverk har to turbiner som kjøres fullt eller avstengt. Dette innebærer at produksjon og slipp av vann har tre nivåer, full produksjon (ca.  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ), halv produksjon (ca.  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og null produksjon (kun restvannføring ved utløpet). Av Figur 23 og Figur 24 ser man de ulike nivåene for 2007 og 2008 (blå linje). Kraftverket kan i visse tilfeller gå fra full til null produksjon ved stans av begge turbiner samtidig, men vanligvis skjer nedregulering i to trinn via produksjon fra bare en turbin.

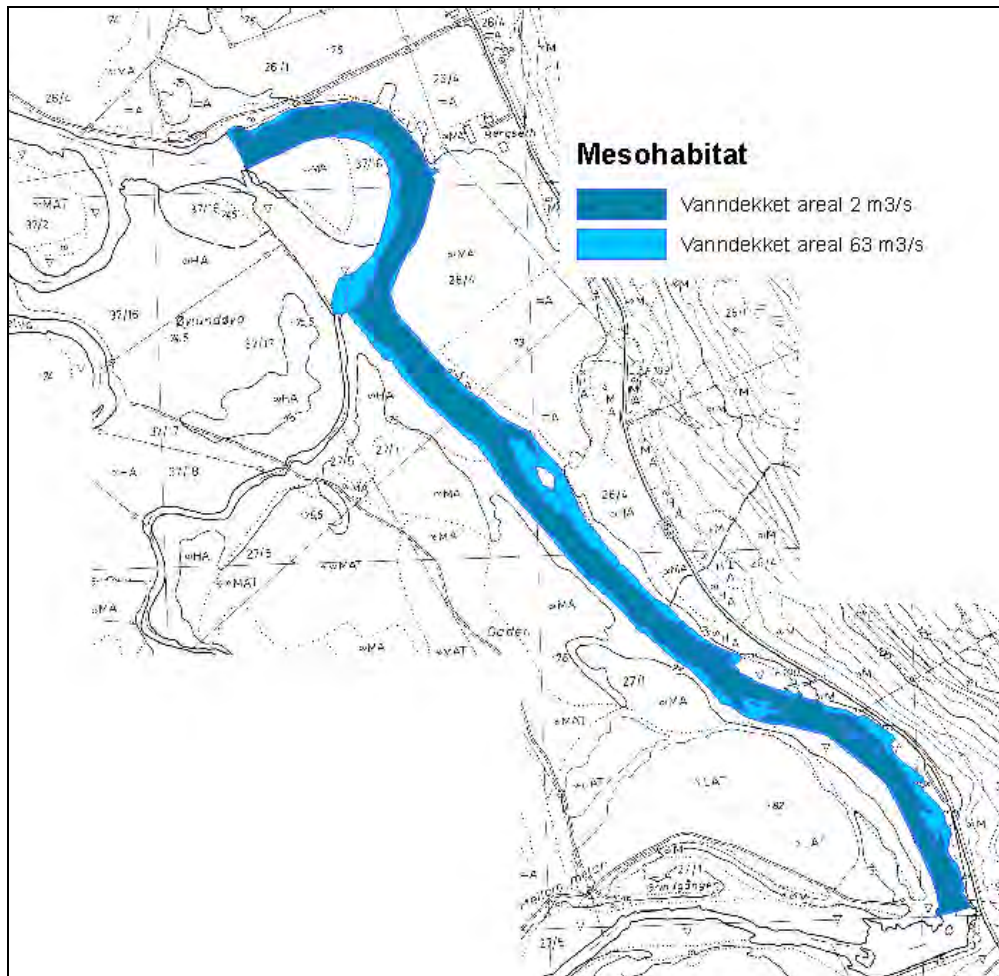
Figur 27 viser hvordan effekten av stans i kraftverket på vannstanden vil avta nedstrøms. Straumsmo kraftverk ble kjørt fra full produksjon ( $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ) til halv produksjon ( $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Målinger gjennomført 2,5 km nedstrøms, etter samløp med Sjørdalselva, viser en utflating av vannstandsendingen. Sjørdalselva hadde en vannføring på  $44 \text{ m}^3/\text{s}$  og bidro slik til en dobling av vannføringsmengden nedstrøms samløpet med Barduelva. Fosshaug bru ligger 12 km nedstrøms kraftverksutløpet og her vil senkningshastigheten endres på grunn av vannomrøring og slik sørge for en omdistribusjon av vannmengden. Vannstandsloggeren ved 12,9 km viser at en stans i kraftverksproduksjonen her får liten effekt på vannstanden.



Figur 27 – Vannstandsendringer på ulike punkt nedstrøms kraftverksutløpet 1. juli 2009 ved stans av produksjon kl. 17:20.

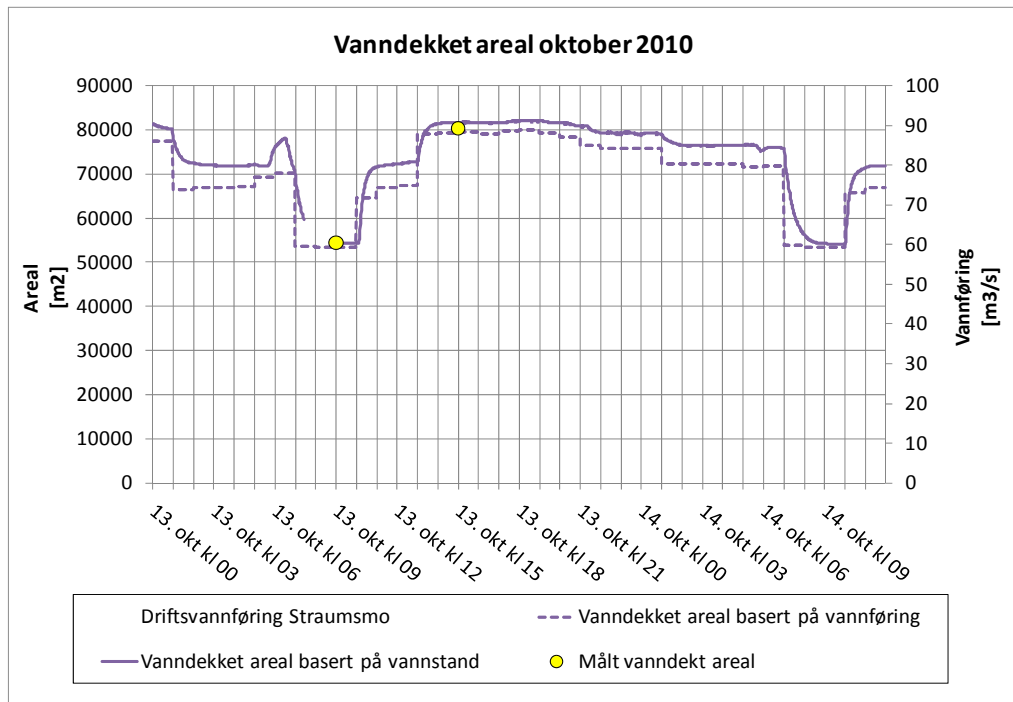
I oktober 2010 ble to vannstandsloggere plassert ut på strekningen mellom utløpet fra Straumsmo kraftverk og samløpet med Sjørdalselva. Vanndekket areal ble innmålt på hele strekningen før og etter stans i kraftverksproduksjonen ved bruk av differensiell GPS. Dette innebærer høy nøyaktighet i målingene. Restvannføringen oppstrøms kraftverksutløpet var ved innledende målinger  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  og holdt seg jevnt på dette nivået gjennom måleperioden. Målinger ble utført ved full produksjon og null produksjon. I tillegg ble mesohabitat kartlagt etter en metode beskrevet av Borsányi et al. (2004).

Figur 28 viser differansen i vanndekket areal på  $63 \text{ m}^3/\text{s}$  (lys blå) og  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  (mørk blå) på den aktuelle strekningen. På denne strekningen blir vanndekket areal redusert fra  $80\,000 \text{ m}^2$  til  $54\,000 \text{ m}^2$ , dvs. 32 prosent reduksjon. Som man ser vil enkelte områder bli tørrlagt under en slik reduksjon i produksjon med lav restvannføring. To områder skiller seg ut som potensielle strandingsområder for ungfisk; midt på strekningen på høyre bredd ved øy i elva og lenger nedstrøms på venstre bredd før sving. Områder like nedstrøms kraftverksutløpet er dominert av finkornet substrat, og fiskeunger er da mindre utsatt for stranding ettersom det er lite skjul i substratet.

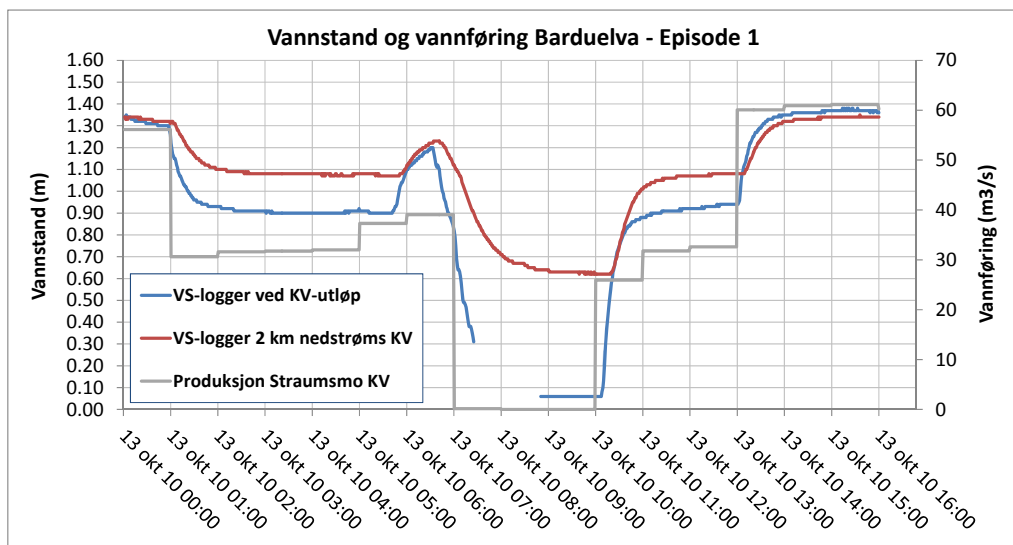


Figur 28 – Vanndekket areal på høy (63 m<sup>3</sup>/s) og lav (2 m<sup>3</sup>/s) vannføring oktober 2010 på strekning fra utløp Straumsmo kraftverk til samløp med Sjørdalselva.

Ved å anta at endring i vannstand har en lineær sammenheng med endring i vanndekket areal, kan grafer for relativ endring i vanndekket areal på den aktuelle strekningen som følge av stans i produksjon framstilles (Figur 29). Drifts- og restvannføring er gitt som grå søyler med visning av vannføringsmengde på høyre stående akse. Vanndekket areal er gitt basert på henholdsvis vannføring (stiplet linje) og vannstand ved utløpet (hel linje). Vannføringsverdier er gitt på høyre stående akse.

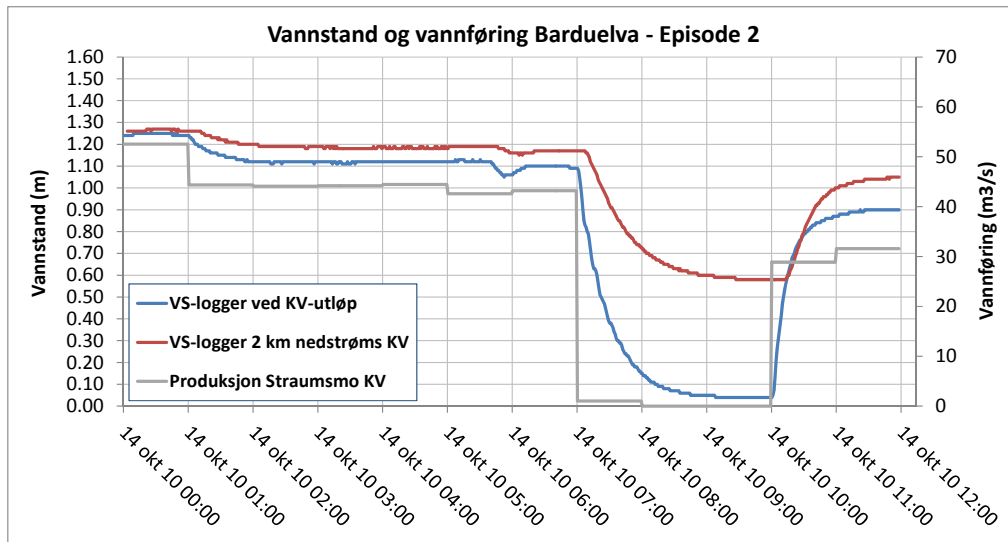


Figur 29 – Vanndekket areal og vannføring på strekning fra utløp Straumsmo kraftverk til samløp med Sjørdalselva 13. og 14. oktober 2010.



Figur 30 – Eksempel på endring i vannstand på to lokaliteter i Barduelva 13. oktober 2010 - ved kraftverksutløpet og 2 km nedstrøms, like oppstrøms samløp med Sjørdalselva.





Figur 31 – Eksempel på endring i vannstand på to lokaliteter i Barduelva 14. oktober 2010 - ved kraftverksutløpet og 2 km nedstrøms, like oppstrøms samløp med Sjørdalselva.

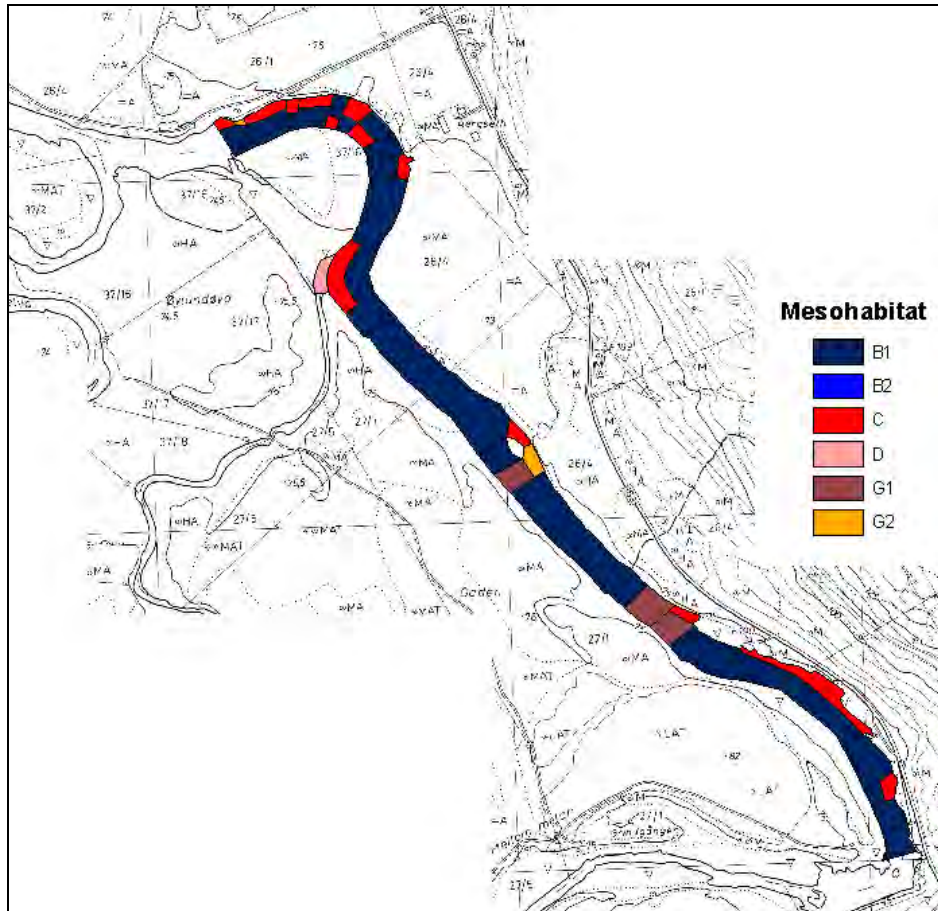
Vi har funnet at endringen i vanddekket areal beregnes mest riktig ut fra observasjoner og beregninger av vannstand. Tørrelgging av områder i elva vil flate ut ved en invers bølge, og dette vil forsterkes jo lenger nedstrøms man kommer (Figur 30 og 31). I tillegg er en viktig faktor utformingen av det aktuelle tverrsnittet hvor vannstands-loggerne ble plassert i like til en viss grad. Faktorer som påvirker differansen i utformingen av en invers bølge er blant annet gjennomsnittlig vannhastighet i tverrsnittet, horisontal dybdefordeling og total bredde.

### 3.4.2 Mesohabitat

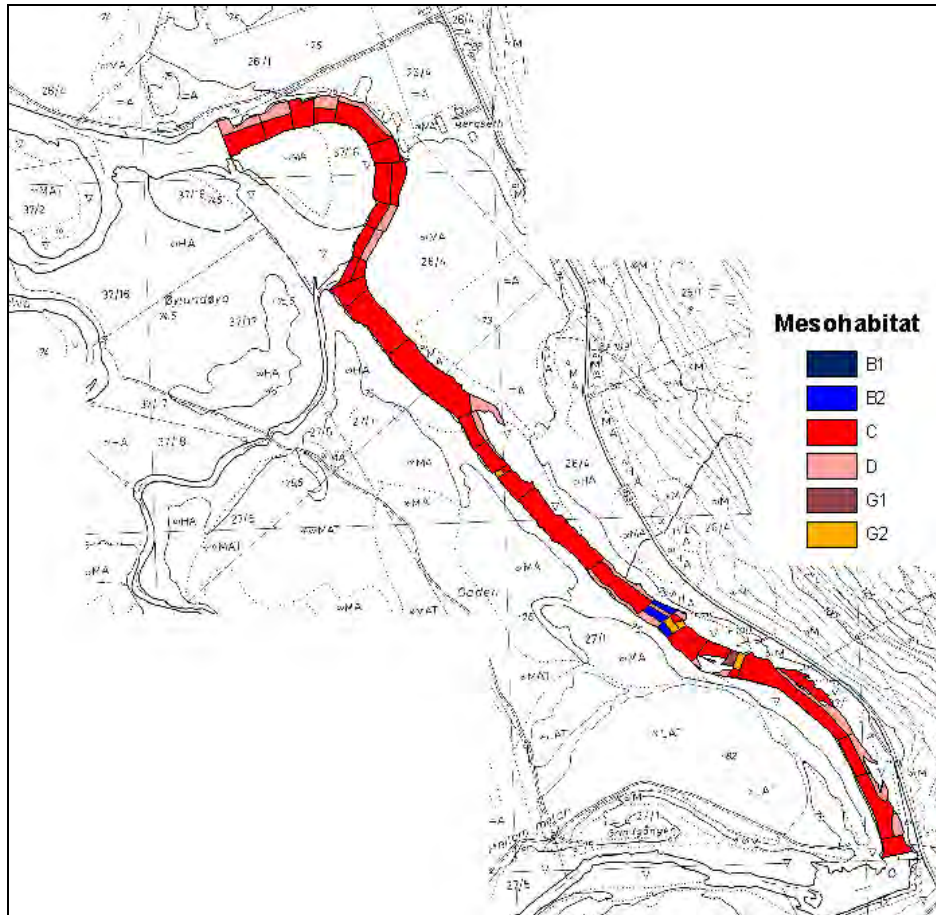
Det ble gjennomført mesohabitatkartlegging (Borsányi et al. 2004) på strekningen fra kraftverksutløpet ned til samløpet med Sjørdalselva 2 km nedstrøms. Figur 32 og Figur 33 viser resultatet av mesohabitatkartleggingen på henholdsvis 63 og 2 m<sup>3</sup>/s.

Resultatet av mesohabitatkartleggingen viser at elvestrekningen fra kraftverksutløpet ned til samløpet av Sjørdalselva på høy vannføring domineres av hurtigstrømmende (> 0,5 m/s), dype (> 0,7 m) områder, med innslag av dype kulper (> 0,7 m) med lave vannhastigheter (< 0,5 m/s). På lav vannføring domineres det samme området i elva av kulper med lave vannhastigheter (< 0,5 m/s) og større dybde (> 0,7 m), med innslag av grunne kulper (< 0,7 m) med lave vannhastigheter (< 0,5 m/s) (figur 32 og 33).

Mesohabitatkartleggingen på de to ulike vannføringene som tilsvarer maksimal produksjon og full stans i Straumsmo kraftverk, gir et bilde av hvordan variasjon i produksjonen gir store differanser i utvalget av leveområder for fisk.



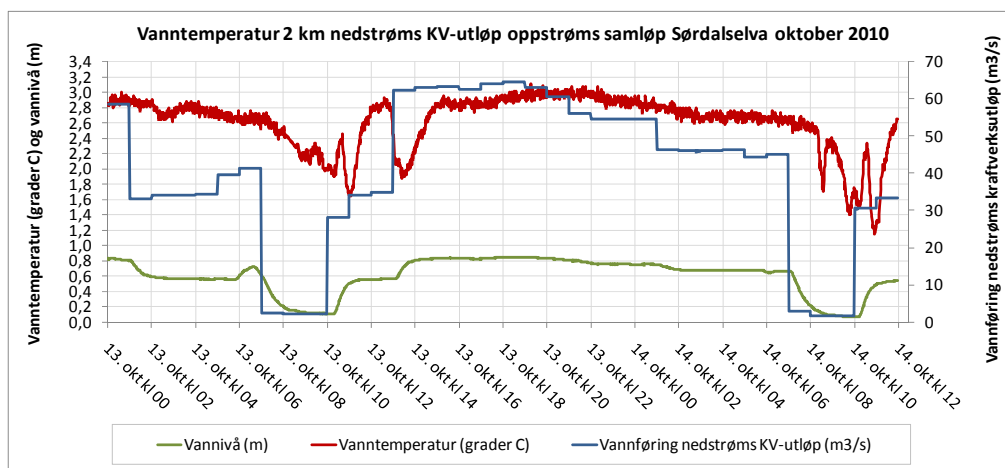
Figur 32 – Mesohabitatkartlegging på 63 m<sup>3</sup>/s oktober 2010 på strekning fra utløp Straumsmo kraftverk til samløp med Sjørdalselva. Type mesohabitat er: B1 – dyp og rask strøm uten overflatebølger; B2 – grunn og rask strøm uten overflatebølger; C – dyp og sakte strøm uten overflatebølger; D – grunn og sakte strøm uten overflatebølger; G1 – dyp og rask strøm med overflatebølger; G2 – grunn og rask strøm med overflatebølger.



Figur 33 – Mesohabitatkartlegging på 2 m<sup>3</sup>/s oktober 2010 på strekning fra utløp Straumsmo kraftverk til samløp med Sjørdalselva. Type mesohabitat er: B1 – dyp og rask strøm uten overflatebølger; B2 – grunn og rask strøm uten overflatebølger; C – dyp og sakte strøm uten overflatebølger; D – grunn og sakte strøm uten overflatebølger; G1 – dyp og rask strøm med overflatebølger; G2 – grunn og rask strøm med overflatebølger.

### 3.4.3 Vanntemperatur

Vanntemperaturen i elva på vinterstid styres av vanntemperaturen i magasinene Veslvatnet og Altevatn i tillegg til et elveinntak. Vanntemperaturen (angitt med rød strek i Figur 34) på et gitt punkt i elva viser at stans i produksjonen 13. oktober 2010 kan gi senkninger i vanntemperatur i elva på over 1 °C, avhengig av mengden restvannføring fra strekningen med fraført vann.

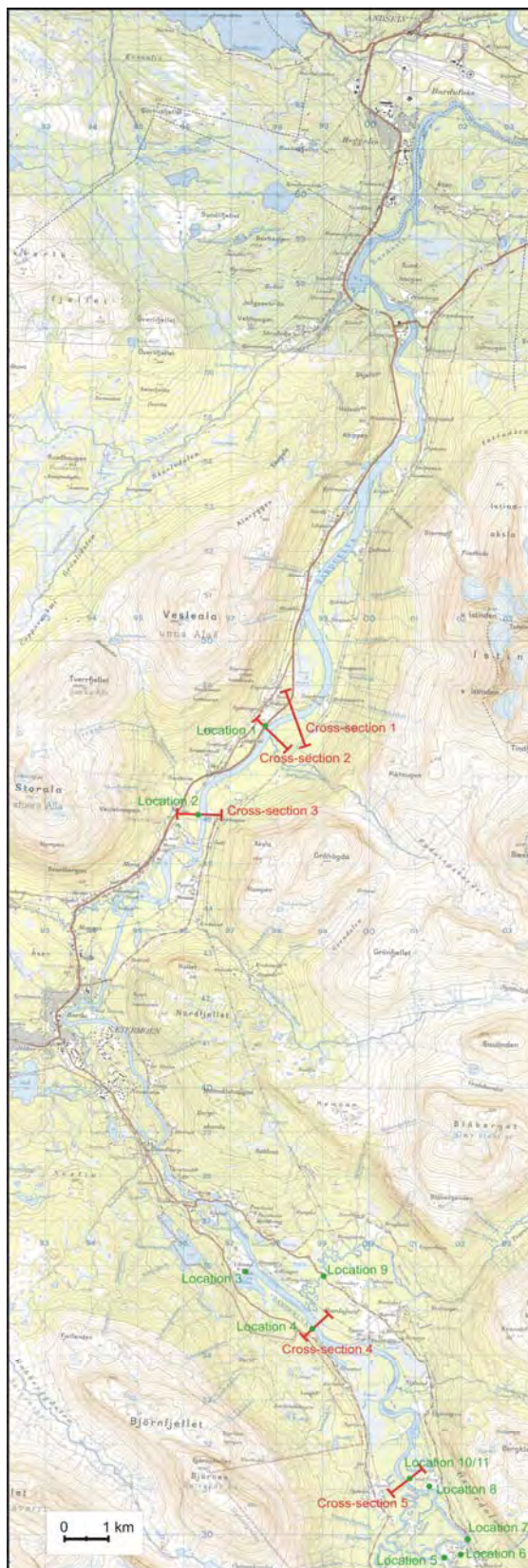


Figur 34 – Vanntemperatur 2 km nedstrøms kraftverksutløp og vannføring (produksjon og oppstrøms tilførsel).

### 3.4.4 Sedimenttransport og erosjon

Det ble gjennomført en befaring 16.–17. oktober 2008 av NVE med en undersøkelse av forskjellige erosjonslokaliteter på strekningen mellom Bardufoss flyplass og utløpet av Straumsmo kraftverk. På strekningen mellom Fosshaug og utløpet av kraftverket er det elvesletter som er bygd opp av flomsedimenter fra elva i postglasial tid. Nedenfor Fosshaug ligger elva også i kontakt med glasifluviale avsetninger. Aktiv erosjon og aktive skråningsprosesser ble iaktatt på mange lokaliteter. Noen lokaliteter er beskrevet her. De anses for å være representative typelokaliteter som viser prosessene. Se Figur 35 for beliggenheten av de enkelte lokalitetene.

Ved tverrprofil 1 ble det observert aktiv erosjon ved undergraving av sideskråning i en meandersving. Skråningen er utformet i en terrasse i glasifluvialt materiale, se Figur 36.



Figur 35 – Beliggenheten av de enkelte lokalitetene.



**Figur 36 – Aktiv erosjon i sideskråning på venstre side av Barduelva ved tverrprofil 1.**

Ved tverrprofil 2 forekom en større utrasning og høyre elvebredd ble forbygd for å beskytte en rasteplass langs veien, se Figur 37.



**Figur 37 – Erosjonsforbygning ved tverrprofil 2.**

I dette området ble det også observert en ravine som var utformet i de glasifluviale sedimentene. Ravinering tyder på intens erosjon, men den er nå stabil og tilgrodd med vegetasjon.

Ved tverrprofil 3 forekommer det også aktiv erosjon i en skråning av glasifluvialt materiale, se Figur 38. Elvesletted sedimentene i samme område er også påvirket av aktiv erosjon, Figur 39.



**Figur 38 – Erosjon i glasifluviale sedimenter ved tverrprofil 3.**



**Figur 39 – Erosjon i glasifluviale sedimenter ved tverrprofil 3.**

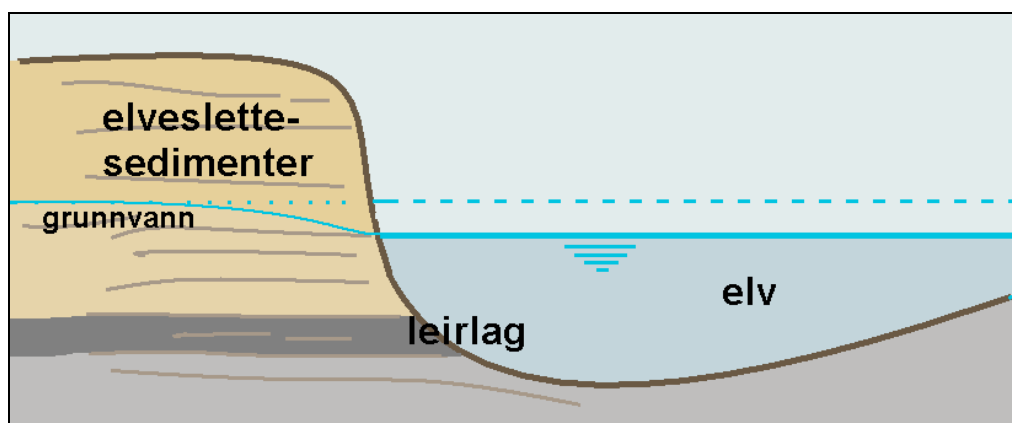
Ovenfor Fosshaug ligger ikke terrassene i kontakt med elveløpet. Det er først og fremst elveslettene som utsettes for erosjon i dette området. Erosjonsprosessene er imidlertid svært aktive. Et område ved tverrprofil 4 er valgt ut til å vise prosessene på denne strekningen, se Figur 40.

Elvebredden raser ut og trærne faller inn mot elva. Erosjonsprosessen er et samspill mellom grunnvannserosjon i den steiltstående elvekanten og elvens undergraving. Skråningsstabiliteten i elveskråninger med grunnvannsig kan reduseres ved raske vannstandssvingninger som er generert av effektregulering. Elvesletted sedimentene ved profil 4 består av silt og sand. Finkornede masser har en lav hydraulisk ledningsevne sammenliknet med grovere materiale. Dette kan føre til en forholdsvis høy grunnvannsgradient i skråningen og dermed fare for erosjon og utrasing. Elveslettene langs norske vassdrag er dannet av materiale som er sedimentert under flommer i postglasial tid. Disse flomsedimentene består ofte av ukonsolidert sandig silt. I slike avsetninger kan grunnvannsgradienten ut mot elven bli høy og elvebreddene blir

derfor spesielt utsatt for erosjon. Steile skråninger holdes oppe av kapillærkrefter og vegetasjonens bindende virkning. Elveslettemateriale kan derfor være sensitivt for ytre påkjenninger. Grunnvannserosjon kan i kombinasjon med skjærpåvirkningen fra vannets bevegelse føre til mer omfattende erosjon enn normal sesongregulering. Overtrykket i grunnvannet som dannes når grunnvannsgradienten er høy, vil øke med amplituden i vannstandsvariasjonene.



Figur 40 – Erosjonsprosesser ved tverrprofil 4.

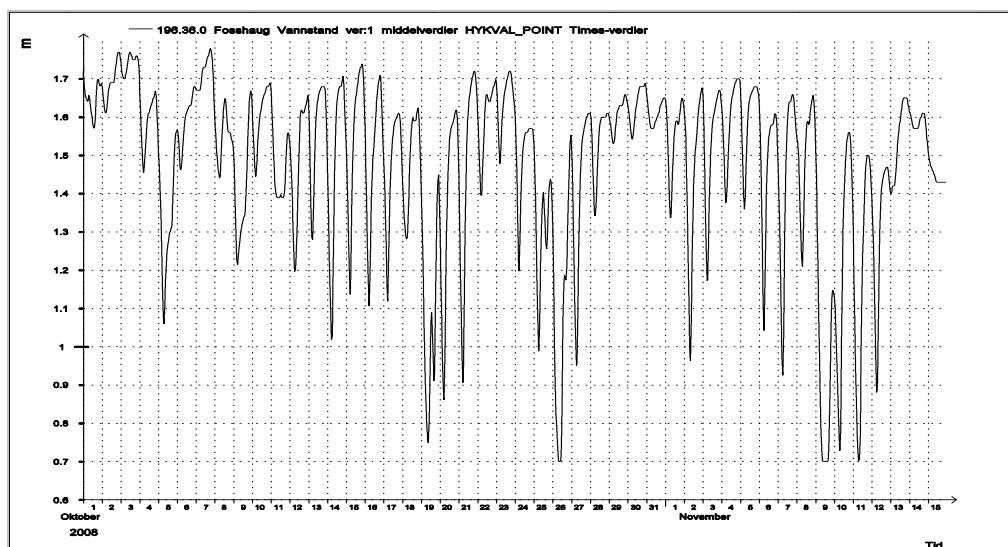


Figur 41 – Illustrasjon av hvordan pulseringer i vannstanden i Barduelva fører til fall i grunnvannsgradienten. Leirlaget er sannsynligvis avsatt når havnivået sto høyere i slutten av siste istid.

Forholdene ved tverrprofil 4 er illustrert i en skisse i Figur 41. Leirlaget er impermeabelt og fører dermed til at grunnvannet bare kan strømme i retning av elven i nærheten av dette laget. Det konsentrerer dermed grunnvannstrømmen og fører antakelig til en forsterkning av erosjonen i dette området. Toppen av elveslettesedimentene ved profil 4 ligger ca. 3 m over leirlaget.



Vannstandsvariasjonene ved Fosshaug i oktober og november 2008 er vist i Figur 42. Maksimal døgnamplitude er 1 m.



Figur 42 – Vannstandsvariasjonene ved Fosshaug i oktober og november 2008.

De fleste utrasningene som er forårsaket av effektreguleringen omfatter forholdsvis små volum på noen få kvadratmeter. Ved Karlstadfloe (i nærheten av et naturreservat) forteller imidlertid den lokale grunneieren G.H. Nilsen om en større utrasning på 100–150 m<sup>2</sup> i 2006. Dette området var en større bit av elvesletta som kollapset momentant. Utrasningen skjedde om våren og i tilknytning til at frosten gikk ut av jorda.

Vannstandsendingene i denne perioden viser ikke noen ekstraordinære situasjoner som kunne tenkes å medføre en slik utrasning. Antakelig har utrasningen sammenheng med at frosten kan danne islinser i jorda om høsten. Når isen smelter om våren, blir vanninnholdet ekstremt høyt og skjærstyrken dermed lav slik at de kreftene som settes opp av en ordinær effektkjøringssituasjon kan medføre at massene blir instabile. Dette forholdet er beskrevet for liknende typer masser langs elveløpet i Øyerens delta (Bogen og Bønsnes 2000).

En slik utrasning kan inntreffe også som et resultat av en ordinær sesongregulering, men effektkjøringen fører til mer langvarige påkjenninger som oftere medfører erosjon og utrasninger. Sideskråningene i de glasifluviale terrassene er påvirket av de samme prosessene som illustrert i Figur 41, men når elven undergraver skråningsfoten vil materiale fra hele skråningen kunne styrte i elven og føres nedstrøms hvis vannhastigheten er tilstrekkelig høy.

## 4. Metode for vurdering av miljøvirkning

### 4.1 Miljøvirkninger av raske vannstands- endringer

En av forutsetningene for gjennomføring av prosjektet var at det ikke skulle brukes store ressurser på innhenting av nye data. Vi har derfor brukt eksisterende data for Tonstad og Mauranger kraftverk og tilhørende vannforekomster, mens vi har brukt eksisterende data sammen med noe ny datainnsamling for utvikling av vannstands-  
endringer, vanndekket areal og erosjonsforhold for Straumsmo kraftverk og Barduelva.

Fra 2002 til utgangen av 2006 er det målt suspensjonskonsentrasjon i driftsvannet i Mauranger kraftstasjon. Prøveprogrammet var basert på automatisk vannprøvetaking med inntil to prøver pr. døgn i perioder med drift i kraftstasjonen. I samme periode er det også tatt prøver av kornfordelingen i suspensjonsmaterialet med inntil to prøver hver måned.

Metodisk har vi forsøkt å gi en ekspertvurdering av mulige miljøvirkninger. Ekspertgruppa gjennomførte sine vurderinger i et arbeidsmøte etter at tilgjengelig informasjon og dokumentasjon var sirkulert på forhånd og presentert i plenum under møtet. Ekspertgruppa har bestått av:

- Jo Vegar Arnekleiv, LFI Trondheim/Vitenskapsmuseet NTNU
- Atle Harby, SINTEF Energi
- Svein Jakob Saltveit, LFI Oslo/Naturhistorisk museum UiO
- Håkon Sundt, SINTEF Energi
- Torulv Tjomsland, NIVA
- Ola Ugedal, NINA

I tillegg har flere av deltakerne diskutert problemstillingene med sine kolleger i de respektive institusjonene. For tema erosjon og sedimenttransport har Jim Bogen (NVE) med kolleger gitt sine ekspertvurderinger.

For å vurdere miljøvirkninger har vi tatt utgangspunkt i et sett med miljøforhold eller miljøindikatorer i berørte vannforekomster som følger: Isforhold, vanntemperatur, erosjon, lokalklima, vannkvalitet, fisk, næringsdyr, biologisk mangfold, verneinteresser, landskap og friluftsliv.

Med utgangspunkt i miljøforholdene over har vi også skissert hvilke avbøtende tiltak som kan være aktuelle.

## 5. Vurdering av miljøvirkninger

Resultatene presenteres etter følgende målsetting i prosjektet:

1. Kvantifisere miljøkonsekvensene på utvalgte miljøindikator(er) i berørte vannforekomster som følge av effektkjøring som ikke tar spesielle miljøhensyn.
2. Kvantifisere potensialet med avbøtende tiltak i berørte vannforekomster som følge av effektkjøring som tar ulik grad av miljøhensyn.
3. Skille potensiell miljøforbedringer av effektkjøring ved avbøtende tiltak som påvirker kraftproduksjon (driftstilpasninger) i forhold til andre fysiske tiltak (fordrøyningsbasseng, oppvekstkanaler og andre fysiske tiltak).

### 5.1 Mauranger kraftverk / Mysevatn / Maurangsfjorden

#### *Oppsummering Mauranger kraftverk:*

Mauranger kraftverk drives i dag av Statkraft. Med dagens kjøring varierer vannføringen gjennom turbinene fra ca. 38 m<sup>3</sup>/s på full produksjon til null. Endringene skjer relativt raskt. Kraftverkets magasin ligger ca. 800 m over havet og det er bunn-tapping. Vannet føres gjennom kraftverksturbinene rett ut i Maurangsfjorden med en 1,3 km lang åpen kanal i siste del. Fiske er mulig i den åpne delen av utløpskanalen.

#### **Isforhold**

Mauranger kraftverk har utløp til Maurangerfjorden. Det er ikke kjent om fjorden islegges på vinterstid. De relativt små vannmengdene ut fra kraftverket påvirker mest sannsynlig ikke islegging i større grad. Flere elver/bekker med utløp i Maurangerfjorden overføres til Mysevatn magasin. Disse elvene vil i mindre grad enn tidligere påvirke isdannelse. Det kan derimot bli mindre sikker is på Mysevatn som følge av perioder med økt effektkjøring og senking av Mysevatn.

#### **Vanntemperatur**

Vannet gjennom kraftverket kommer fra dypere lag i Mysevatn magasin og kan antas å ha en vanntemperatur på ca. 4 °C gjennom året, med unntak av perioder med omrøring i magasinet. Relativt små vannmengder ut i fjorden gir liten sannsynlighet for endringer i vanntemperaturer i selve fjorden. Badeplasser nær utløpskanalen kan imidlertid påvirkes negativt av lave vanntemperaturer på sommeren.

#### **Erosjon**

Sedimentene i vannveiene til Mauranger kraftverk er tilført fra inntaksmagasinet Mysevatn og fra overføringer fra andre magasin, fra en rekke bekkeinntak og fra erosjon i bunnsedimentene. Bunnsedimentene er akkumulert av materiale som er tilført fra breene i postglasial tid. Vannet som tilføres kraftverket bærer også med seg en betydelig mengde sedimenter under de nåværende forhold.

Analysen av sedimentmålingene i Mauranger kraftverk viser at det ikke er noen klar sammenheng mellom vannstandsendringer i Mysevatn, Svartedalsvatn og Juklevatn og konsentrasjonen i driftsvannet i Mauranger kraftstasjon.

Partikkelkonsentrasjonen i magasinene er først og fremst en konsekvens av hva som tilføres fra nedbørsfeltet og via overføringene, særlig under flomepisoder. Manøvreringen av magasinene fører også til erosjon og utvasking av sedimenter i reguleringssonen. Raske endringer i magasin vannstanden kan også medføre grunnvannserosjon. Partikkelkonsentrasjonene som har sitt opphav i erosjon i magasinene synes imidlertid å være langt lavere enn de som tilføres fra nedbørsfeltet under flomepisoder. Erosjonen i perioder der vannstanden ligger lavere enn uregulert normalvannstand, er i liten grad representert i måleperioden og bør undersøkes bedre.

### **Lokalklima**

Det er ingen indikasjoner på at de relativt små vannmengdene med tilhørende vanntemperaturer påvirker lokalklimaet i fjorden.

### **Vannkvalitet**

Magasinet (Mysevatn) ble ferdigstilt i 1974. Det kan antas at alderen på magasinet gjør at den første regulerings effekten har avtatt og at forholdene i magasinet tilsvarer en vanlig innsjø på sammenliknbar høyde over havet. Vannkvalitet er derfor ikke et vesentlig problem. Det må nevnes at kraftverket tilfører ferskvann til fjorden, men i samme grad som en elv. Vannmassene blandes kun i korte perioder da temperaturen i fjorden tilsvarer temperaturen i vannet fra kraftverket. Det er ikke antatt at reduksjoner i vannføring til fjorden fra overførte elver har noen vesentlig virkning på vannkvaliteten i fjorden.

### **Fisk**

Variierende vannføringer vil i perioder trekke til seg anadrom fisk som søker ferskvannskilder ved vandring i sjøen. Det selges fiskekort til den åpne delen av utløpskanalen. Austrepollelva har utløp ved siden av kanalutløpet, og det kan antas en viss del feilvandring inn i utløpskanalen ved høyere vannføringer her.

### **Næringsdyr**

Vi antar at næringsdyrproduksjonen i utløpskanalen fra kraftverket har lav verdi.

### **Biologisk mangfold**

Det er ikke antatt at vannføringsvariasjonene gjennom kraftverket har noen direkte innvirkning på biologisk mangfold, med unntak av fisk.

### **Verneinteresser**

Det er ikke antatt at det er verneinteresser knyttet opp mot produksjon i kraftverket.

### **Landskap og friluftsliv**

Bading i nærliggende områder i fjorden vil påvirkes i perioder da det er full produksjon med tilsvarende lav vanntemperatur fra Mysevatn magasin. Vannføringsvariasjoner antas ikke å ha større negativ innvirkning på friluftsliv i nærområdet.

## 5.2 Tonstad kraftverk / Sirdalsvatn / Lundevann

### *Oppsummering Tonstad kraftverk:*

Tonstad kraftverk drives i dag av Sira-Kvina kraftselskap. Midlere produksjon gjennom kraftverket er 40–160 m<sup>3</sup>/s, og maksimal produksjon er 940 MW som tilsvarer en vannføring på 254 m<sup>3</sup>/s. Vi har tatt utgangspunkt i en tenkt økning i produksjonen til henholdsvis 3000 og 5000 MW, som tilsvarer ca. 810 og 1350 m<sup>3</sup>/s. Vannet er da tenkt hentet fra Homstølvatn gjennom en eller flere tunneler som vil gå parallelt med dagens anlegg. Det er også mulig å bygge noen av disse om til pumpekraftverk.

Tonstad kraftverk har sitt utløp i oppstrøms del av Sirdalsvatn. Kraftverket reguleres med inntak fra Homstølvatn (HRV/LRV=497,6/471,0 moh.) og Ousdalsvatn. Sirdalsvatn har vannstandsvariasjoner mellom 47,5 og 49,5 moh. Reguleringen påvirker også Lundevann gjennom kanal i utløpet av sørlig del av Sirdalsvatn. Lundevann har samme LRV (47,5 moh.) som Sirdalsvatn.

### **Isforhold**

Sirdalsvatn islegges, og dagens regulering påvirker isgang på våren på grunn av høyere vanntemperaturer i produksjonsvannet enn i resipienten. Ved økning i produksjon fra 940 MW til 3000/5000 MW vil isgangen kunne påvirkes ytterligere i form av tidligere dannelse av større råk. I tillegg vil de økte vannførings- og vannstandsvariasjonene påvirke stabiliteten til islaget i negativ retning, spesielt nær breddene i form av usikker is. Ved framtidig potensiell pumping av vann fra Sirdalsvatn til Homstølvatn kan vanntemperaturdifferanser mellom de to vannforekomstene påvirke isforhold i oppstrøms resipient. Det er ikke antatt at endringer i isforhold i Sirdalsvatn påvirker tilsvarende forhold i Lundevann via kanalen mellom de to vannforekomstene.

### **Vanntemperatur**

Dagens regulering påvirker vanntemperaturen i oppstrøms ende av Sirdalsvatn, men kun i mindre grad. Størrelsen på Sirdalsvatn reduserer påvirkningskraften av vannet fra Tonstad kraftverk. Vanntemperaturen vil på vinterstid påvirke isforhold (se *Isforhold*). Økning i produksjon vil innebære større vanntemperaturpåvirkning og kan indirekte få konsekvenser for strømningsbildet i oppstrøms del av Sirdalsvatn. Framtidig potensiell pumping av vann fra Sirdalsvatn til Homstølvatn kan føre til endringer i vanntemperaturregimet i oppstrøms resipient. Vanntemperaturer i vannet fra Tonstad kraftverk er ikke antatt å påvirke vanntemperaturforhold i Lundevann på grunn av stabilisering av vannmassene langs Sirdalsvatns lengde.

### **Erosjon**

Dagens reguleringshøyde på 2 m i Sirdalsvatn kan gi erosjon i strandsonen til en viss grad, men det er antatt at endringene i vannstand foregår over lengre tid og slik vil gi mindre påvirkning sammenliknet med andre, mindre vannkraftmagasin. Erosjon kan oppstå som følge av bølger eller hyppige endringer i grunnvannsspeil. En økning av produksjon og tilsvarende økning i vannførings- og vannstandsvariasjoner vil gi økt

fare for erosjon langs breddene av Sirdalsvatn. Pumping av vann fra Sirdalsvatn til Homstølvatn vil kunne gi ytterligere vannstandsendringer i begge vannforekomstene, avhengig av graden av pumping.

Et utvidet Tonstad kraftverk vil gi raskere vannstandsvariasjoner i Ousdalsvatn, Homstølvatn og Sirdalsvatn. Spesielt under pumping vil strømningsbildet i vannene bli endret. Dette kan gi økt erosjon i Sirdalsvatn, Homstølvatn og Ousdalsvatn i forhold til dagens kjøring. Ousdalsvatn er det magasinet hvor det kan forventes størst erosjonsøkning. Ved høye vannstander, over ca. 496 moh., observeres det i dag noe erosjon i myrområdene rundt Myrstøltjønn ved Midtstøl. Denne kan ventes å øke sommerstid ved vannstander rundt 496 moh. Det kan dermed forventes en økt tilførsel av finere materiale inn til Ousdalsvatn/Lomtjønn hvor dette avsettes og blir eksponert for videre erosjon ved lavere vannstander. Over tid vil sannsynligvis erosjonen avta, ettersom strandsonen vaskes ut.

### **Lokalklima**

Det er påvist at differanser i vanntemperatur mellom produksjonsvann og resipient kan gi økt mulighet for innslag av frostrøyk i regulerte elver. Det er usikkert om dette er tilfelle i Sirdalsvatn. Økt produksjon kan gi økt mulighet for frostrøykdannelse, avhengig av om perioden med isdekke reduseres. Det kan likevel antas at vannmengdene gjennom Tonstad kraftverk i liten grad påvirker Sirdalsvatn sammenliknet med påvirkningen fra lufttemperaturen.

### **Vannkvalitet**

Omliggende vassdrag er påvirket av sur nedbør. Det er usikkert om forsuringen av enkelte vassdrag vil påvirkes av den planlagte omfordelingen av vann ved en eventuell utvidelse (økning i produksjon/pumping). Sannsynligvis vil det være forskjeller i pH mellom vann fra ulike delfelt i visse perioder, og nærmere studier kan avdekke behov for driftsmessige tilpasninger.

### **Fisk**

Kjente fiskearter i Sirdalsvatn er aure, røye, bekkerøye og ål. Homstølvatn har en aurebestand. Det er i dag kun små bestander av de ulike fiskeartene. Økte vannstands- endringer kan føre til hyppig tørrlegging av soner ved breddene, men det er ikke antatt at framtidig utvidelse vil påvirke fiskebestanden i Sirdalsvatn i betydelig grad ved økt effektinstallasjon. I Homstølvatn viser foreløpige beregninger at vannstanden kan synke med 7 m i løpet av et døgn, noe som tilsvarer en midlere senknings- hastighet på 29 cm/time. Dette kan innebære stor fare for stranding av fisk som oppholder seg på grunne områder nært land (Jensen 2007).

### **Næringsdyr**

Sirdalsvatn og Homstølvatn har lave tettheter av bunndyr. Det skyldes delvis dagens regulering. Det er antatt at en utvidelse ikke vil påvirke dagens tilstand for bunndyr i stor grad.

### **Biologisk mangfold**

Pumping av vann fra Sirdalsvatn til Homstølvatn kan føre til overføring av arter som naturlig hører til Siravassdraget til Kvinavassdraget. Det er ikke kjent om det finnes arter i Siravassdraget som er fremmede for Kvinavassdraget, men dette bør undersøkes. Det er ikke antatt at vannstands- og vannføringsendringer i Sirdalsvatn og Homstølvatn har direkte innvirkning av betydning på biologisk mangfold.

### **Verneinteresser**

Det er ingen kjente verneinteresser i forbindelse med dagens regulering.

### **Landskap og friluftsliv**

Dagens regulerings høyde i Sirdalsvatn er 2 m og forventes å øke med utvidelse av Tonstad kraftverk. En økning i regulerings høyde kan øke erosjonstrykket langs breddene av vannet (se *Erosjon*). Visuelt vil økt vannstandsregulering kunne føre til mer synlig regulerings sone i periodene uten isdekke. Under perioden med isdekke vil det kunne oppstå usikker is langs breddene i større grad enn tidligere, slik at ferdsel over vannet kan forringes til en viss grad. Med stor installert effekt i Tonstad vil også endringene i Homstølvatn være tilsvarende, med økt mulighet for innslag av erosjon langs breddene i reguleringssonen. Økt erosjon vil ofte oppfattes som negativt for utøvere av friluftsliv. Det vil også trolig bli mer komplisert å utøve friluftsliv som bading, fiske og båtbruk i et miljø der vannstanden varierer ofte og uten at det er mulig å forutsi.

### **Vannfordeling**

Sirdalsvatn har samme LRV som resipienten Lundevann nedstrøms. Et endret vannførings- og vannstandsregime i Sirdalsvatn vil påvirke Lundevann gjennom vann overført via kanalen mellom de to vannforekomstene. Ved pumping fra Sirdalsvatn til Homstølvatn vil sistnevnte få adskillig hyppigere endringer i vannstand.

## **5.3 Straumsmo kraftverk / Barduelva**

### ***Oppsummering Straumsmo kraftverk / Barduelva:***

Barduelva reguleres oppstrøms Bardufossen av Statkraft. Elva reguleres i sammenheng fra Altevatt gjennom Innset kraftverk til Veslvatnet og videre gjennom Straumsmo kraftverk. Maksimal produksjon gjennom Straumsmo kraftverk er 130 MW som tilsvarer 65 m<sup>3</sup>/s. Kraftverket har to turbiner og kjører enten 0, 1 eller 2 turbiner som tilsvarende henholdsvis 0, ca. 30 og 65 m<sup>3</sup>/s. Veslvatnet reguleres mellom 298 (LRV) og 301 (HRV) moh. En viss mengde restvannføring kommer fra strekningen oppstrøms kraftverksutløpet, men store deler av nedbørsfeltet oppstrøms Straumsmo kraftverk tas inn i de to magasinene.

### **Isforhold**

Straumsmo kraftverk kjører ofte med full produksjon på vinteren. Dette tilsvarer ca. 60 m<sup>3</sup>/s og gir breddfull elv fra kraftverksutløpet. Resultatet er økt sarr- og bunnisproduksjon og manglende islegging på vannoverflaten. Ved stans av kraftverket på

vinterstid kan det oppstå isdannelse og isoppstuvning på vannoverflaten, og oppstart av produksjon kan da føre til isgang og oversvømmelser (Asvall 2007).

### **Vanntemperatur**

Vanntemperaturen i elva på vinterstid styres av temperaturen i magasinene Veslvatnet og Altevatn i tillegg til et elveinntak. Avhengig av tappesystem i Veslvatnet vil vanntemperaturen mest sannsynlig være høyere i Barduelva nedstrøms kraftverket enn ved kun naturlig tilsig vinterstid. Dette gir i kombinasjon med den høye vannføringen mindre sannsynlighet for isdekke på vannoverflaten (se *Isforhold*). Det foregår imidlertid ikke effektkjøring om vinteren og det forventes ingen endringer i virkning på vanntemperatur om vinteren som følge av effektkjøring. Utenfor vinterperioden blir det trolig hyppigere og større endringer i vanntemperatur som følge av effektkjøring.

### **Erosjon**

I Barduelv forårsaker raske vannstandsvariasjoner med stor amplitude grunnvannserosjon og utrasninger i elveslettededimenter og i erosjonsskråninger i terrasser med glasifluvialt materiale.

De finkornede løsmassene langs elveløpet har lav hydraulisk ledningsevne. Dette fører til en forholdsvis høy grunnvannsgradient i skråningen under nedtapping, noe som øker omfanget av erosjon og utrasninger. Et leirlag i sedimentene har betydning for grunnvannstrømmen og er sannsynligvis en medvirkende årsak til den forholdsvis intense erosjonen langs vassdraget. En større kollaps av et område på rundt 100–150 m<sup>2</sup> har sannsynligvis sammenheng med at frostpåvirkning har svekket jordstrukturen og gjort elveskråningene mer instabile, slik at de lettere påvirkes av vannstandsendingene.

### **Lokalklima**

Dagens effektkjøring foregår ikke om vinteren. I kalde perioder på høsten, mens det fortsatt foregår effektkjøring, kan det bli dannet mer frostrøyk.

### **Vannkvalitet**

Det er trolig små endringer i vannkvalitet som følge av effektkjøring.

### **Fisk**

Barduelva er ikke lakseførende på strekningen fra utløp Straumsmo kraftverk til Bardufoss sentrum. Strekningen har ørret, røye og lake. Ørret og røye kan tenkes å benytte breddene i større grad enn lake, som mest holder til på dypere vann. Det er fare for stranding av ungfisk av ørret og røye på flere lokaliteter på en 2 km strekning fra kraftverksutløpet ned til samløpet med Sjørdalselva. Området antas ikke å være avgjørende for voksten fisk da det er få skjulmuligheter og homogene bunnforhold, men enkelte lokaliteter kan benyttes til gyting. Det kan også antas at gyteområder kan tørrlegges under effektkjøring i gyteperioden og slik forringes, mens den høye vannføringen vinterstid vil dekke de fleste gyteområder med vann. Strekningen nedstrøms



samløpet med Sjørdalselva kan være utsatt med hensyn til stranding av ungfisk (årsyngel) ved lavt resttilsig og effektkjøring i november.

### **Næringsdyr**

Forholdet mellom artene og gruppene i elva tyder på at økosystemet er i ubalanse (Bongard 2008, pers. komm.). Artsantallet er høyt, men individantallet lavt. Årsaken er store endringer i habitat, fra sterkt strømmende til stillestående vann. Det antas at områdene som tørrlegges på lav vannføring i utgangspunktet ikke var spesielt produktive med tanke på bunndyr før effektkjøring. Vi regner med at effektkjøring vil påvirke næringsstilgangen til fisk ytterligere i negativ retning.

### **Biologisk mangfold**

Områdene rundt elva nedstrøms kraftverksutløpet benyttes av en rekke plante- og fuglearter, og flere områder er definert som viktige naturtyper. Et område i tilknytning til strekningen fra kraftverksutløpet ned til samløpet med Sjørdalselva er definert som svært viktig for planter, fugl og vilt, men ligger kun i indirekte tilknytning til Barduelva (Strann 2005). Det er ikke påvist noen direkte påvirkning på grunn av effektkjøring på det aktuelle området. Det kan antas at manglende isdekke på elva nedstrøms kraftverksutløpet kan hindre vandring av hjortevilt på vinterstid.

### **Verneinteresser**

Barduevas Venner jobber for å bedre forholdene for fisk i elva.

### **Landskap og friluftsliv**

Oversvømmelser i forbindelse med isproblematikk kan påvirke omliggende landskap i tilknytning til Barduelva, og de relativt store vannføringsendringene kan påvirke sportsfisket på våren og høsten.

## 6. Avbøtende tiltak

Tiltak for å unngå eller redusere negative konsekvenser av effektkjøring kan deles i to kategorier: Driftsmessige tilpasninger og fysiske tiltak. I mange tilfeller kan en kombinasjon av de to formene være det mest kostnadseffektive tiltaket. Konsekvenser av effektkjøring kommer som regel i tillegg til virkninger av regulering og kraftverksdrift generelt, og det er viktig å se mulighetene for avbøtende tiltak i sammenheng med dette.

### 6.1 Driftsmessige tilpasninger

Driftsmessige tilpasninger er ofte begrenset av tekniske muligheter for start og stopp av kraftverk. Det beste tiltaket vil som regel være å trappe opp og senke ned vannføringen gradvis og i en takt som ikke vil føre til stranding av organismer eller andre store negative konsekvenser. Det kan også være viktig å starte effektkjøring med en forsiktig opptrapping av vannføringen for på den måten å ”varsle” naturen om at en endring er på vei. Tilsvarende kan også gjøres under nedtrapping.

Harby et al. (2004) gir en del driftsmessige råd som gjengis her:

- En tendens til større strandingsfare etter en lengre periode med stabil høy vannføring og høyt stressnivå til fisk som overlever vannstandsfluktuasjoner, tilsier at særskilt skånsomme vannføringsendringer bør utføres i starten av en periode med effektkjøring.
- Senkning av vannstanden i mørke er å foretrekke for å redusere stranding. Dette gjelder spesielt om vinteren.
- Variasjoner i vannføringer innenfor breddfull elv (dvs. uten nevneverdig reduksjon i vanndekt areal), har trolig svært liten effekt på livet i elva.
- Vanntemperatur i kombinasjon med lys er styrende faktorer for atferd og således stranding av laksefisk. Størst stranding av yngel og parr av laksefisk skjer ved raske vannstandssenkninger større enn 60 cm pr. time om dagen på steder med grovt bunnmateriale og kaldt vann med temperatur lavere enn 4,5 °C.
- Senkning av vannstanden langsommere enn 13 cm pr. time reduserer risikoen for stranding av yngel, men forsøk har vist at stranding av årsyngel likevel skjer på utsatte steder med høye vannhastigheter, grovt materiale dominert av stein med mye hulrom og slak sidehelning på lavere enn 5 prosent. For å unngå stranding på strandingsutsatte lokaliteter, bør ekstra langsomme nedtappinger, langsommere enn 6 cm pr. time utføres, men det er ikke alltid mulig å eliminere strandingsfaren fullstendig.
- I perioder med hyppige vannstandsendringer i vinterhalvåret anbefales at vannstandsøkninger som øker vanndekt areal betydelig, fortrinnsvis skjer på dagtid. Fisk er da mindre aktiv og vil i mindre grad følge vannkanten og forflytte seg innover på strandingsutsatte områder.

- Strandet fisk er ikke alltid synonymt med død fisk. Grunnvann og fuktighet gjør at strandet fisk og bunndyr noen ganger kan overleve flere timer nede i substratet med tilsynelatende tørrlagt elv. Dette vil imidlertid variere mye avhengig av værforhold og lokale bunnforhold.
- Man kan forvente en utarming av bunndyrfauna i området som vekselvis tørrlegges og settes under vann. For å opprettholde en bunndyrfauna er det viktig å bevare et område med minstevannføring som er tilstrekkelig til å gi et mangfoldig og ønsket bunndyrsamfunn.
- Begroingen vil bli mer spesialisert og vil for enkelte elementer kunne øke noe i mengde i vassdrag som effektreguleres jevnlig. En større mengde løsrevet biomasse av begroing forventes, og tiltak for å begrense uønsket driv av begroing bør vurderes.

Harby et al. (2004) legger også til følgende råd fra litteraturen:

- Perioden fra klekking av laks og ørret til de som yngel svømmer opp fra grusen er en særlig kritisk fase, fordi det i regulerte elver normalt sammenfaller med lave vanntemperaturer. Effektregulering bør derfor gjøres svært skånsomt i denne perioden.

Fisk gyter som regel på høsten, og eggene har da behov for å forbli vanndekket med tilgang på oksygen gjennom vinteren. Det er derfor viktig at fisk ikke gyter på områder som seinere blir tørrlagt. Dette kan unngås med restriksjoner i gytetida. Vannføringen i gytetida bør ikke være større enn den vil være gjennom vinteren fram til klekking av rogn, slik at tørrlegging av gytetroper unngås.

De viktigste faktorene som har betydning for virkningen av kortvarige vannstands- endringer på erosjon og sedimentasjon i elveløp og magasiner er:

- Vannstandens senkningshastighet og den døgnlige amplituden
- Løsmassenes sammensetning og deres hydrauliske ledningsevne

Den aktuelle virkningen er avhengig av lokale forhold på hvert enkelt sted. De mest erosjonsutsatte i denne sammenhengen er postglasielt avsatte elveslettesedimenter og glasifluviale sand- og siltsedimenter, slik som i Barduelva. Begrensninger i hvor raskt kraftverkene kan regulere vannføringen opp og ned vil være det mest nærliggende driftsmessige tiltak for å redusere grunnvannserosjon i løsmasser langs elvebreddene. Mengden sedimenter som eksponeres for erosjon kan variere med vannstanden i magasinet eller i elveløpene. Manøvreringen bør ta hensyn til dette ved at det ikke effektkjøres på kritiske vannstandsnivåer.

## 6.2 Fysiske tiltak

Fysiske tiltak som skal avbøte negative virkninger av regulering, er vanlig i mange vassdrag, og mange av disse vil også til en viss grad kunne avbøte negative virkninger av effektkjøring. Dette kan gjelde f.eks. terskler, buner og andre konstruksjoner som

er med på å forsinke vannets vei eller å skape et mer variert strømningsmønster. Alle tiltak som begrenser direkte kanalisering av vannet, vil medføre demping av variasjoner i vannstand, vannhastighet og vannføring og vil dermed også redusere raske endringer som følge av effektkjøring. Tiltak som kanaliserer vannet og retter ut elveløpet, vil på tilsvarende vis virke forsterkende på de negative konsekvensene av effektkjøring.

### **6.2.1 Beplantning og vegetasjon**

Elvekantvegetasjon kan være viktig for å opprettholde stabiliteten langs elvebreddene. Vegetasjonen virker erosjonsdempende på flere måter; røttene binder jorda, demper påkjenningen fra elvas strømming og fra bølger og minsker vanninnholdet i jorda ved vannopptak og fordamping. Vegetasjon har også en bindende effekt på løsmaterialet og stabiliserer elvebreddene slik at de er mindre utsatt for erosjon. Vannressursloven § 11 pålegger en vegetasjonsstripe langs elveløpene. Slike vegetasjonssoner reduserer også forurensninger ved at partikkelbundne stoffer fanges opp. Langs regulerte vassdrag er det viktig at vegetasjonssonene vedlikeholdes og at trevegetasjonen opprettholdes. Ikke alle tresorter er like egnet som erosjonsvern. Frivold (1991) har i samarbeid med NVE utarbeidet en rapport om trær som stabiliserende element i leirskrånninger. Mange av vurderingene i denne rapporten er også gyldige for andre forhold. Levende vegetasjon kan brukes som erosjonssikring og oppfattes oftest som et mer miljøvennlig alternativ enn sprengstein (Fergus 1998). Slik erosjonssikring er kanskje spesielt viktig i vassdrag som effektreguleres.

### **6.2.2 Restaurering og refuger**

På grunn av økende press på arealbruk til for eksempel landbruksformål, er mange vassdrag rettet ut og gamle sideløp og flomsletter tatt i bruk. Dette er inngrep som kanskje har foregått i flere hundre år uavhengig av vassdragsreguleringer. I de siste tiårene har mange prosjekter fokusert på å restaurere slike vassdrag, også i kanaliserte regulerte vassdrag. Gamle sideløp og flomsletter settes igjen i kontakt med hovedelva og disse nye biotopene kan være viktig for visse bunndyrarter, enkelte stadier av livs-syklusen til fisk og andre deler av økosystemet. Dette er også i tråd med Vann-direktivet. I sammenheng med effektkjøring vil slike sideløp kunne bli ekstra viktig som refuger når vannstand og vannføring øker brått. De vil også virke dempende på hurtige reduksjoner i vannføring og trolig fungere som et avbøtende tiltak mot effektkjøring også. Det er da viktig at sideløp og flomsletter ikke tørrlegges helt under stans i effektkjøring. Et eksempel på dette fra Østerrike er vist i Figur 43.



Figur 43 – Restaurering av den effektregulerte elva Drau i Østerrike gir refuger og forsinker forplantning av vannføringsendringer etter restaurering (til høyre) sammenliknet med den mer kanaliserte elva til venstre. (<http://www.life-drau.at>)

### 6.2.3 Utjevning av strandingsutsatte områder

Vassdrag er dynamiske, og det vil hele tiden finnes områder som tørrlegges på lave vannføringer. For å unngå tørrlegging av enkelte områder kan det være aktuelt å sørge for at disse områdene enten ligger under eller over vann mer eller mindre permanent. Dette kan gjøres ved flytting av masser for å heve en grusør eller for å tette igjen små dammer, pytter og forsenkninger langs elvebredden eller i sideløp. Det kan også være aktuelt å bruke terskler og strømvriderer (buner). Dette må vurderes i forhold til andre tiltak og brukerinteresser i vassdraget. Slike tiltak vil kreve vedlikehold, da erosjon og sedimenttransport foregår kontinuerlig og vil påvirke de fysiske forholdene.

Elven Dordogne i Frankrike har mange dammer og kraftverk som effektreguleres. På en strekning var de viktigste gyteområder for laksefisk langs breddene, der en stor del av gytegroppene ble tørrlagt under stans i effektkjøring. På denne strekningen gjorde man tiltak for å heve vannspeilet gjennom terskelliknende konstruksjoner lenger nedstrøms. Dette sikret at gytegroppene ikke ble tørrlagt, se Figur 44 (Cazeneuve et al. 2009).



Figur 44 – Gyteområdet “Lycée d’Argentat” i Dordogne før (til venstre) og etter (til høyre) tiltak for å sikre vanndekket gyteområde ved 32 m<sup>3</sup>/s (etter Cazeneuve et al. 2009).

På en annen strekning av Dordogne oppsto det kulper og pytter med vann uten forbindelse med hovedelva under nedtrapping av vannføring etter effektkjøring. Undersøkelser viste at et betydelig antall ungfisk ble fanget i disse avsondrede kulpene og vannpyttene med store konsekvenser for dødelighet. Her jevnet man ut områdene med kulper og pytter og laget en gradvis skrånende elvebredd, se Figur 45 (Cazeneuve et al. 2009).



Figur 45 – Området “Chambon” i Dordogne før (til venstre) og etter (til høyre) tiltak for å sikre en jevnt skrånende elvebredd for å unngå ”pool trapping” (etter Cazeneuve et al. 2009).

#### 6.2.4 Fordrøyningsbasseng

Effektkjørte kraftverk brukes mange steder i Alpene for dag-/nattregulering. Noen steder er det også bygget en kompensasjonsdam nedstrøms utløpet av kraftverket som effektkjøres. Figur 46 viser bygget og planlagte eksempler på dette.



Figur 46 – Til venstre vises et fordrøyningsbasseng nedstrøms kraftverket Alberschwende i elva Bregenzerach i Østerrike (fra Schmutz). Til høyre vises planer for et tilsvarende anlegg i Sveits (Hasilaare), der mikroturbiner vil utnytte fallet mellom kompensasjonsmagasinet og elva (Schweitzer 2009).

Studier av det planlagte anlegget i Hasilaare i Sveits viste at hastigheten på vannføringsendringen i vassdraget nedstrøms fordrøyningsbassenget kunne halveres.

#### 6.2.5 Endring av kraftverksutløp

I mange tilfeller vil det være veldig liten plass til å bygge en kompensasjonsdemning nedstrøms utløpet av et effektkjørt kraftverk. Det kan i stedet være aktuelt å forlenge utløpet slik at det munner ut i sjøen eller en innsjø. Dette vil imidlertid kreve en restvannføring i elvestrekningen.

## 6.3 Forslag til avbøtende tiltak i eksempelkraftverk

Det har ikke vært innenfor dette prosjektets rammer å foreslå detaljert og presise avbøtende tiltak i de tre eksempelkraftverkene. Vi vil her kort skissere noen mulige avbøtende tiltak.

### **Mauranger**

Under den nåværende reguleringspraksis virker det som det er så små eller ubetydelige miljøvirkninger nedstrøms Mauranger kraftverk at det ikke er behov for verken driftsmessige tilpasninger eller fysiske tiltak. Det kan i korte perioder være fare for å tiltrekke seg anadrom fisk som kan feilvandre inn i utløpskanalen til kraftverket. Et mulig tiltak kan være å stenge eller redusere produksjonen i gitte tidsrom. Med dagens teknologi er det mulig å installere optiske eller akustiske overvåkningskamera eller andre sensorer i utløpskanalen som kan varsle dersom anadrom fisk vandrer inn. Dette kan da brukes til å stenge eller redusere produksjonen.

Det er til tider stor sedimenttransport fra kraftverket, noe som i stor grad skyldes tilførsel fra restfeltet under flomepisoder. Bidraget fra erosjon som følge av vannstandsendringer i magasinet er underordnet i denne sammenhengen. Hvis manøvreringen av Mysevatn og Svartdalsvatn foregår på nivåer som er høyere enn uregulert normalvannstand, vil en effektutvidelse ikke medføre stor økning i erosjon og sedimenttransport. Ved nedtapping av disse magasinene under den tidligere normalvannstanden er det tilgjengelig store mengder sedimenter som kan eroderes. Dette vil komme i tillegg til den naturlige sedimenttilførselen. Et mulig tiltak kan da være erosjonsforbygninger i magasinene.

### **Tonstad**

I perioder med stor produksjon i kraftverket og betydelig lokaltilsig kan det være fare for at vannstanden i Sirdalsvatn overstiger HRV. Et mulig avbøtende tiltak kan være fysiske tiltak ved utløpet av Sirdalsvatn for å øke kapasiteten ut av vannet. Det må i så fall ses i sammenheng med tiltak videre nedstrøms i vassdraget, slik at ikke problemet med økt vannstand og vannføring forflyttes nedstrøms og eventuelt forsterkes. Dette må undersøkes i detalj og bør behandles med stor forsiktighet. Det kan også være aktuelt å redusere driften eller unngå effektkjøring i perioder med fare for økt vannstand i Sirdalsvatn.

I tillegg til nevnte tiltak i Sirdalsvatn vil en effektkjøring uansett pumping eller ikke, kunne medføre økt erosjonsbelastning i tilførselsmagasinene, i første rekke Homstølvatn. Dette er et relativt lite magasin. Hyppigere vannstandsendringer kan medføre en akselerering i utvaskingen av reguleringssonen. Dette kan til en viss grad reduseres ved at man setter begrensninger på senkningshastigheten.

## **Straumsmo**

Straumsmo kraftverk gir i perioder relativt store virkninger på miljøforholdene nedstrøms kraftverket, og mulige tiltak innebærer både driftsmessige tilpasninger og fysiske tiltak.

Det mest opplagte tiltaket for å redusere hurtige vannstandsendringer er å innføre begrensninger i hvor raskt Straumsmo kraftverk kan reguleres opp og ned. Det er imidlertid ikke kjent for oss om det er mulig i forhold til tekniske begrensninger.

Alle fysiske tiltak som vil dempe og utjevne raske endringer i vannføringen nedstrøms kraftverket, kan være aktuelle. Bygging av terskler, fordrøyningsbasseng og justering av elveprofilet kan bidra til å dempe de hurtige endringene. Terskler og fordrøyningsbasseng bør i så fall bygges så nært kraftverksutløpet som mulig. Endringer i elveprofilet vil være spesielt aktuelt på de områdene som er mest utsatt for tørlegging på lav vannføring som vist på figur 28. Dette må veies opp mot de eventuelle negative effektene forbundet med fare for habitatdegradering og endringer i fysisk miljø som vil følge av fysiske tiltak. Det vil være behov for detaljplanlegging av slike tiltak og en grundig vurdering av positive og negative virkninger.

For å redusere reguleringenens innvirkning på grunnvannserosjon og utrasninger i elvesletteder og i erosjonsskråninger med glasifluvialt materiale, vil det hjelpe med alle tiltak som kan redusere vannstandsvariasjonens hastighet og amplitude. Erosjonsforbygninger kan innebære store naturinngrep og forbedrer i liten grad forholdene for fisk og bunndyr, da de ikke påvirker vannstandsvekslingene. Forbygninger kan imidlertid være aktuelle for å bremse erosjonen på visse utvalgte strekninger som de glasifluviale rasskråningene i vassdragets nedre del.

Det er også mulig å utnytte at vannstandsvariasjoner blir betydelig dempet 2 km nedstrøms kraftverksutløpet dersom vannføringen i Sjørdalselva ikke er svært lav. Forholdene blir ytterligere forbedret ca. 8 km lenger nedstrøms ved samløp Tverrelva. Et aktuelt tiltak kan da være å unngå raske endringer i produksjonen fra Straumsmo kraftverk dersom lokaltilsiget er under et visst nivå i Sjørdalselva og Tverrelva.

Det bør også vurderes hvorvidt det er mulig å bruke Innset kraftverk til effektregulering i stedet for Straumsmo kraftverk. Innset kraftverk har utløp i det lille magasinet Veslvatn som vil utjevne vannføringsendringene på en helt annen måte enn Straumsmo kraftverk kan med sitt utløp direkte til Barduelv.



## 7. Diskusjon og konklusjon

Vi gir først noen generelle diskusjoner og konklusjoner om hvordan ulike miljøindikatorer påvirkes i ulike typer av reguleringer. Til sist i kapitlet konkluderer vi også konkret i de tre aktuelle vassdragene.

### 7.1 Isforhold

#### Utløp til fjord

Enkelte norske fjorder islegges på vinterstid. Vanntemperaturer i overflaten nærmer seg ofte frysepunktet, spesielt ved innblanding av ferskvann fra tilrennende elver med lave vintervanntemperaturer. Ved kraftverksutløp til fjord (via utløpskanal eller direkte avløp) vil produksjonsvannet ofte ha vanntemperaturer rundt 4 grader ved bunntapping fra ovenforliggende kraftverksmagasin. Dette er som regel varmere enn naturlig avrenning som ligger nærmere frysepunktet, og vil føre til redusert isdekke på fjorden. Dette er imidlertid et generelt problem som følge av regulering, ikke spesifikt til effektregulering.

Avhengig av mengde vann produsert via kraftverket, vil hyppige vannføringsvariasjoner kunne føre til usikker is i og rundt utløpet, forutsatt at fjorden islegges. Vannføringsvariasjoner kan også føre til tidligere isgang på grunn av råkdannelse rundt utløpspunktet.

Tilførselen av ferskvann kan føre til tidligere islegging ved utløpspunktet, avhengig av mengden vann som tilføres gjennom kraftverket og strømningsbildet i resipienten.

#### Utløp til vann/magasin

Innsjøer og magasin islegges i en periode av vinteren. Grunnvannsspeilet rundt innsjøer kan synke i løpet av vinteren og slik bidra til usikker is rundt breddene av vannforekomsten. Vannkraftmagasin reguleres vinterstid og kan føre til stor nedtapping av vannstand avhengig av reguleringshøyde. Ved slike tilfeller vil isdekket rundt breddene av magasinet være ustabil. Tilsvarende vil økning i vannivå under perioden med isdekke kunne gi ytterligere ustabile forhold på magasinet.

Ved hyppige vannstandendringer vinterstid og stadig tilførsel av bunntappet vann fra oppstrøms magasin, vil resipienten kunne få framskyndet tidspunktet for isgang på grunn av større mulighet for råkdannelse ved utløpspunktet.

#### Utløp til elv

Regulerte elver har ofte ikke islegging på strekningen nedstrøms kraftverksløpet. Dette skyldes kombinasjonen av vanntemperatur og vannføring. Vanntemperaturen i produksjonsvannet ved bunntapping i oppstrøms magasin vil ofte ligge på ca. 4 °C på vinterstid. I tillegg vil en jevn, høy vannføring bidra til større vannhastigheter nedstrøms kraftverksutløpet, og på den måten gi ustabile hydrauliske forhold som gjør det vanskelig å danne is på vannoverflaten.

Ved stans i kraftverksproduksjon på vinteren vil elva kunne bli islagt dersom restvannføringen er lav. Ved slike tilfeller vil elva kunne islegges, og det kan oppstå isgang ved neste igangsetting av produksjon. Varierende vannføring fra kraftverksproduksjonen gjennom vinteren vil mest sannsynlig føre til at elva er åpen det meste av tiden. Det kan ved lengre perioder med lav produksjon oppstå problem i forbindelse med islegging på gitter og rist i kraftverksutløpet. Dette kan skape problemer ved oppstart av produksjon. Ved jevnt lave vannføringer kan isdammer bli etablert i deler av elva, noe som ved økning av produksjon kan føre til isgang, isoppstuvning og oversvømmelser.

## 7.2 Vanntemperatur

### Utløp til fjord

Relativt små vannmengder ut i fjorden gir liten sannsynlighet for endringer i vanntemperaturer i selve fjorden. Påvirkningsgrad fra produksjonsvannet er avhengig av utløpspunkt, strømningsforhold og vanntemperaturfordeling i fjorden. Badeplasser nær utløpskanalen kan påvirkes negativt i form av lave vanntemperaturer på sommeren.

### Utløp til vann/magasin

Ved utløp til innsjø eller magasin varierer påvirkningsgraden fra produksjonsvannet avhengig av størrelse, strømningsforhold og vanntemperaturfordeling i resipienten. De to sistnevnte parametrene er også avhengig av sesong, slik at grad av påvirkning kan variere gjennom året. Større innsjøer og magasin vil i mindre grad påvirkes av produksjonsvannet, men det avhenger av hvor mye vann som går gjennom kraftverket. Mindre innsjøer og magasin er mer utsatt for endrede vanntemperaturer ved tilførsel av produksjonsvann. Ved bunn tapping fra oppstrøms magasin vil vanntemperaturer gjennom kraftverket gjennom større deler av året være nærmere 4°C grader. Ved topptapping vil vanntemperaturer ofte være tilsvarende de i utløpspunktet i resipienten.

Pumping av vann fra resipienten vil kunne endre vanntemperaturregimet i oppstrøms magasin, avhengig av inntak for pumpevann.

### Utløp til elv

Vanntemperaturen i elva nedstrøms utløp fra vannkraftverk er ofte ulik vanntemperaturen oppstrøms utløpet, avhengig av restvannføring og lengde på strekningen med fraført vann. Variasjoner i vannføring vil gi variasjoner i vanntemperatur nedstrøms kraftverksutløpet på grunn av ulike blandingsforhold med restvannføringen som kommer fra strekningen med fraført vann. Hyppige endringer i vanntemperatur kan påvirke biologien i elva i ulik grad.

Grunnvannstilsig vil virke inn på vanntemperaturen i elva og kunne redusere virkningen av produksjonsvannet. Grunnvannsforhold avhenger av bunnforholdene i elva. På vinterstid vil vanntemperaturen påvirke isforhold i elva nedstrøms kraftverksutløpet (se *Isforhold*).

## 7.3 Erosjon

### Utløp til fjord

Erosjonsforholdene ved utløp til fjord avhenger av utformingen på utløpspunkt/-strekning og dybdefordeling og grunnforhold i fjorden. Ved grunne fjorder kan strømningsforhold bli påvirket av vannføringen ut fra kraftverket.

### Utløp til vann/magasin

Ved varierende produksjon gjennom kraftverket vil nedstrøms innsjø eller magasin påvirkes ved hyppige vannstandsvariasjoner. Ved utløp til reguleringsmagasin vil effekten kunne forsterkes ved varierende produksjon i nedstrøms kraftverk. Erosjon vil oppstå langs breddene av innsjøen/magasinet ved rask opp- og nedsenkning av vannivået og er blant annet avhengig av reguleringshøyde, grunnforhold og nivået på grunnvannsspeilet. Bølgeforplantning i forbindelse med varierende vannføring ut av kraftverket vil også kunne føre til erosjon i områder nært utløpspunktet. Dette er avhengig av konstruksjonen på utløpet fra kraftverket.

Pumping av vann ut av en innsjø eller et magasin kan forsterke effekten av nedtapping og skape ytterligere fare for erosjon, både i nedstrøms og oppstrøms vannforekomst.

Delta som utvikles foran elve- og bekkeløp i innsjøer og magasiner, vil være viktige biotoper for fisk, bunndyr og vannvegetasjon. Hyppige vannstandsvariasjoner vil påvirke sedimentasjonsforholdene på deltaene og kan redusere deres egnethet (Bogen og Bønsnes 2001).

### Utløp til elv

Vannføringsvariasjoner utenom flomperioder kan gi økt erosjon på utvalgte lokaliteter nedstrøms kraftverksutløpet. Flomreduksjoner på grunn av overføring til magasinene gir motsatt resultat og dermed mindre erosjon enn det som er vanlig under flomsituasjoner. Restvannføring spiller en viktig rolle i demping av faren for erosjon langs elvebreddene.

Omfanget av erosjon ved utløp til elv er avhengig av elveløpenes sedimentologiske og morfologiske karaktertrekk. Typiske alluviale elveløp der bunnmaterialet er sand og/eller grus og elvebreddene er bygget opp av flomsedimenter av silt/sand, er mest utsatt for erosjon ved raske vannstandsvariasjoner. Hvis det er mye bunntransport av grus og stein, blir løpene ofte brede og grunne og ikke erosjonsutsatt. Elveløp i morene eller fast fjell vil bare i liten grad være erosjonsutsatt.

## 7.4 Lokalklima

### Utløp til fjord

Det antas at vannkraftproduksjon med utløp til fjord ikke påvirker lokalklima i stor grad. En faktor som kan berøres til en viss grad er frostrøyk ved større vanntemperaturforskjeller mellom produksjonsvann og resipient. I tillegg vil fjorder som

islegges kunne påvirkes ved et endret isregime. Ved tidligere isgang kan lokale lufttemperaturer påvirkes av åpne vannoverflater.

#### **Utløp til vann/magasin**

Det er påvist at differanser i vanntemperatur mellom produksjonsvann og resipient kan gi økt mulighet for innslag av frostrøyk i regulerte elver. Det antas at vannføringsvariasjoner inn i innsjø/magasin i liten grad påvirker lokalklima. Mulige faktorer som påvirkes kan være lufttemperatur ved framskyndet isgang. Dette avhenger av størrelsen og lokaliteten til resipienten.

#### **Utløp til elv**

Jevn vannføring på vinteren med høyere vanntemperaturer enn vanlig kan føre til tilløp til frostrøyk i enkelte perioder, avhengig av restvannføring. Lufttemperaturen langs elva nedstrøms kraftverksutløpet kan påvirkes ved manglende isdekke på vannoverflaten.

## **7.5 Vannkvalitet**

#### **Utløp til fjord**

Vannkraftverk med utløp til fjorden vil tilføre ferskvann til sjøen. Dette kan føre til redusert saltprosent i vannmassene rundt utløpspunktet. Vannkvaliteten på ferskvannstilførselen avhenger blant annet av alderen på oppstrøms magasin. Nyetablerte magasin kan være ustabile i form av høyere konsentrasjon av sedimenter og karboninnhold i vannmassene. Eldre magasin er mer stabile med tanke på sedimentinnhold, da mye av sedimentene i vannmassene har lagt seg på bunnen.

Surhet (pH-nivå) i oppstrøms magasin kan påvirke forholdene i sjø eller fjord. Det er usikkert i hvor stor grad dette er aktuelt. Vannmengde gjennom kraftverket vil avgjøre graden av påvirkning.

Overføring av vann fra elver med utløp i fjorden til oppstrøms magasin kan bidra til at mindre ferskvann blandes i fjord eller sjø, sammenliknet med forhold før regulering. Dette er avhengig av vannmengdene som overføres. Ved flom vil størstedelen av vannmengdene i berørte elver gå i fjorden.

#### **Utløp til vann/magasin**

Vannkvaliteten i resipienten vil påvirkes av vannkvaliteten i oppstrøms magasin. Vannføringsmengde gjennom kraftverket i forhold til blant annet størrelsen på resipienten vil avgjøre i hvor stor grad påvirkning skjer. Varierende vannføring og bølgeeffekter kan gi økt erosjon. Erosjon vil kunne tilføre organisk materiale og sedimenter til resipienten og slik kunne påvirke vannkvaliteten i vannmassene.

#### **Utløp til elv**

Vannkvaliteten i elva nedstrøms kraftverket vil påvirkes av vannkvaliteten i oppstrøms magasin. På grunn av overføring av elver til magasin i nedbørsfeltet

oppstrøms kraftverket, vil restvannføringen på strekningen med fraført vann være mer sårbar for utslipp fra tiliggende sideelver og landskap.

Restvannføring kan bidra til demping av vannkvalitetsdifferanser mellom oppstrøms magasin og resipient. Vannkvaliteten på nedstrøms elvestrekning vil kunne variere med varierende produksjon gjennom kraftverket i kombinasjon med mengde vann fra restfeltet.

## **7.6 Fisk**

### **Utløp til fjord**

Varierende vannføringer vil i perioder kunne trekke til seg anadrom fisk som søker ferskvannskilder ved vandring i sjøen. Utløpspunkt lokalisert nært et naturlig elveos vil kunne påvirke fiskevandring til en viss grad, avhengig av produksjon gjennom kraftverket.

### **Utløp til vann/magasin**

Vannkraftmagasin har fiskebestander avhengig av arealbruk i magasinområdet før etablering av dam. Oppdemte (tidligere) elvedaler kan ha tilførsel av fisk fra oppstrøms elveos. Magasin etablert i innsjøer har fiskebestander basert på tilstanden i den opprinnelige innsjøen.

Økte vannstandsendringer kan føre til hyppig tørrlegging av soner ved breddene. Dette kan innebære økt fare for stranding av fisk som oppholder seg på grunne områder nært land. Tørrlegging og stranding er avhengig av reguleringshøyde, bunntopografi og fiskesammensetning. Økte vannstandsendringer i strandsona kan også gi redusert næringstilbud av bunndyr for fisk.

### **Utløp til elv**

Variasjon i vannføring gjennom kraftverket kan føre til stranding av fisk på strekningen nedstrøms kraftverksutløpet. Strandingspotensialet er blant annet avhengig av relativ vannføringsendring, restvannføring fra strekning med fraført vann, elvetopografi, bunnforhold og sedimentsammensetning, og fiskeart og -alder (Harby et al. 2001, 2004).

Vannføringsvariasjoner i elv vil påvirke fisk ulikt avhengig av fiskeart, årsklasse og sesong. Ved høy vannføring under gyting vil fisk kunne gyte på områder nær breddene, slik at områder med etablerte gytegroper, ved hyppige vannføringsendringer på høsten og vinteren, kan tørrlegges. Vannføringsvariasjoner under gyting kan føre til økt konkurranse om gytelokaliteter, noe som kan gi redusert overlevelse fra egg til yngel.

Ungfisk av laks og ørret benytter ulike områder i elva, blant annet i forhold til dybder, sedimentsammensetning og strømningsforhold, og vil påvirkes ulikt av ulike produksjonsmønstre.

Manglende isdekke under vinteren kan føre til økt dødelighet av ungfisk på grunn av økt aktivitet og økt predasjon fra rovdyr og fugl.

Det er uvisst hvordan hyppig varierende vanntemperaturer fra kraftverksutløpet og nedstrøms vil påvirke fiskebestanden i elva.

## **7.7 Næringsdyr**

### **Utløp til fjord**

Det er uvisst hvordan vannføringsvariasjoner ved utløp til fjord påvirker næringsdyromsetningen i resipienten.

### **Utløp til vann/magasin**

Sammensetningen av næringsdyr i innsjøer/magasin avhenger blant annet av vannkvalitet og bunnforhold. Det er usikkert hvordan vannføringsvariasjoner direkte vil påvirke omsetningen av næringsdyr i resipienten. Indirekte vil påvirkning av vannkvalitet og bunnforhold (erosjon) kunne påvirke næringsdyrinnehold (se kapittel 7.2 Vanntemperatur).

### **Utløp til elv**

Tilgangen på næringsdyr i elv er blant annet avhengig av vannkvalitet, bunnforhold (sedimentsammensetning), elvetopografi og grunnvannsforhold. Hyppige vannførings- og vannstandsvariasjoner som fører til tørrlegging av deler av elva nedstrøms kraftverket, kan påvirke næringsdyrtilgang og -sammensetning. Grunnvannstilsig kan tilføre vann til sedimentlag på tørrlagte områder og bidra til å dempe effekten på næringsdyr. Bunnforhold (bl.a. porøsitet) bestemmer graden av vann tilgjengelig for næringsdyr i sedimentlagene.

Isgang under vinteren som følge av effektkjøring, kan føre til endringer i bunnforhold som indirekte kan påvirke næringsdyr som lever i sedimentene langs bunnen.

Effektkjøring kan føre til at flere næringsdyr kommer i driv, og det øker både frivillig og ufrivillig mobilitet hos næringsdyrene.

## **7.8 Biologisk mangfold**

### **Utløp til fjord**

Det er ikke antatt at vannføringsvariasjoner gjennom kraftverk med utløp til fjord har noen direkte innvirkning på biologisk mangfold (for fisk, se kapittel 7.6 Fisk).

### **Utløp til vann/magasin**

Det er ikke antatt at vannstands- og vannføringsendringer innenfor reguleringsgrensene i magasin har innvirkning av betydning på biologisk mangfold utover reguleringsvirkningen. I nærheten av utløps- og innløpsområdet kan imidlertid store fysiske virkninger også gi virkninger på biologisk mangfold. Dette gjelder spesielt i magasin med deltaområder som både er ekstra utsatt for virkninger av effekt-

regulering og ofte er nøkkelbiotop for noen arter (se kapittel 7.3 Erosjon). Effektkjøring med utløp til uregulerte vann vil kunne medføre større svingninger i vannstand og mange av de samme effektene som effektkjøring med utløp til magasin. Ettersom uregulerte vann naturlig nok ikke tidligere er påvirket i samme grad som regulerte vann, kan konsekvensene av effektkjøring med utløp til vann bli større.

#### **Utløp til elv**

Ved hyppige vannføringsendringer på vinterstid kan vandrende vilt hindres i å krysse elva. I tillegg vil rovdyr og fugl kunne utnytte det manglende isdekket til å jakte på fisk i elva under vinteren.

## **7.9 Verneinteresser**

#### **Utløp til fjord**

Det knytter seg verneinteresser til noen fjorder som også har kraftverksutløp. Dersom verneinteressene knytter seg til selve utløpsområdet vil det trolig kunne påvirkes av varierende vannføring. Det er liten grunn til å tro at effektregulering i seg selv kan påvirke et helt fjordsystem i betydelig grad.

#### **Utløp til vann/magasin**

Det knytter seg verneinteresser til flere vann og kraftverksmagasin som er tilknyttet vannkraft. Det er imidlertid grunn til å tro at virkninger av regulering generelt har langt større betydning enn eventuell effektregulering, så fremt den foregår innenfor dagens reguleringsbestemmelser. Det kan likevel være aktuelt med restriksjoner i mulig effektkjøring under sensitive perioder dersom det har betydning for verneinteressene, f.eks. i tilknytning til deltaområder.

#### **Utløp til elv**

Verneinteresser knyttes ofte til vannføringsvariasjoner i fiskesesongen og i tilknytning til minstevannføring.

## **7.10 Landskap og friluftsliv**

#### **Utløp til fjord**

Badeplasser i nærheten av utløpspunkt fra kraftverk vil kunne få reduserte vann-temperaturer periodevis. Hyppige variasjoner i vannføring kan føre til lokale endringer i strømningsforhold knyttet til utløpspunktet, noe som kan påvirke muligheten for bading og fiske lokalt.

#### **Utløp til vann/magasin**

Reguleringshøyde i regulerte innsjøer og magasin kan være skjemmende visuelt for folk som oppholder seg i området eller har hytte i tilknytning til vannforekomsten. Effektregulering kan både gi større og mindre variasjon i vannstanden enn slik det er regulert i dag.

Under perioden med isdekke vil det kunne oppstå mer usikker is under effektkjøring, avhengig av graden av effektkjøring. Ferdsløp på is vinterstid kan forringes.

### **Utløp til elv**

Variasjoner i vannføring gjennom kraftverket vil påvirke forhold for fiskeutførelse og andre fritidsaktiviteter i og rundt elva. Forringelse av fiskebestand (se kap. 7 *Fisk*) vil kunne gi dårligere fangst under fiskesesongen. Avhengig av relativ økning i vannføring og vannstand nedstrøms kraftverksutløpet, kan det til tider innebære fare å bevege seg innenfor elveleiet.

Tilsvarende vil det under vinteren kunne være farlig å bevege seg i elveleiet i områder med isdammer og isdekke ved lave vannføringer før og under oppkjøring av produksjon. Oversvømmelser og isskuring i tilknytning til isdammer og isgang kan føre til skader på omliggende terreng.

## **7.11 Konkrete konklusjoner for eksempel- vassdrag**

For alle vassdragene må mulige gevinster ved avbøtende tiltak veies opp mot nytteverdien av dem og kostnadene forbundet ved gjennomføring av tiltakene. Dette vil bli spesielt interessant og krevende i framtida. Vi forventer en økning i interessen for å drive kraftverk mer fleksibelt for å møte krav om hurtig balansering av nettet som følge av økt andel ikke-regulerbar kraft og økte forbindelser til utlandet.

### **Mauranger**

Det virker som det er så små eller ubetydelige miljøvirkninger nedstrøms Mauranger kraftverk at det ikke er behov for verken driftsmessige tilpasninger eller fysiske tiltak.

### **Tonstad**

I perioder med stor produksjon i kraftverket og betydelig lokaltilsig kan det være fare for at vannstanden i Sirdalsvatn overstiger HRV. Et mulig avbøtende tiltak kan være fysiske tiltak ved utløpet av Sirdalsvatn for å øke kapasiteten ut av vannet, eventuelt må produksjonen reduseres.

### **Straumsmo**

Straumsmo kraftverk gir i perioder relativt store virkninger på miljøforholdene nedstrøms kraftverket. Det mest opplagte tiltaket for å redusere hurtige vannstands- endringer er å innføre begrensninger i hvor raskt Straumsmo kraftverk kan reguleres opp og ned. Alle fysiske tiltak som vil dempe og utjevne raske endringer i vannføringen nedstrøms kraftverket kan være aktuelle. Det vil være behov for detalj- planlegging av slike tiltak og en grundig vurdering av positive og negative virkninger.

Dersom en kost-/nyttevurdering viser at det blir uforholdsmessig kostbart med avbøtende tiltak nedstrøms Straumsmo kraftverk, er det viktig å merke seg at vannstandsvariasjonen blir betydelig dempet 2 km lenger nedstrøms samløp Sjørdalselva når denne ikke har veldig lav vannføring. Forholdene blir ytterligere forbedret ca. 8



km lenger nedstrøms ved samløp Tverrelva. Et aktuelt tiltak kan da være å unngå raske endringer i produksjonen fra Straumsmo kraftverk dersom lokaltilsiget er under et visst nivå i Sjørdalselva og Tverrelva.

# Referanser

- Asvall, R. Pytte. 2007. *Isproblemer i Barduelva* - NVE Oppdragsrapport 4, 2007.
- Asplin, L., Larsen, A. 1999. *Effektregulering - ferskvannsblanding i fjorder og algevekst. Rapport*. Statkraft Engineering AS. ISBN: 82-91904-08-1.
- Bain, M.B. 2007. *Hydropower operations and environmental conservation: St. Marys River, Ontario and Michigan* - Report to the International Lake Superior Board of Control/Conseil international du lac Supérieur, International Joint Commission, Washington DC and Ottawa, Canada.
- Berland, G., Nickelsen, T., Heggnes, J., Økland, F., Thorstad, E.B. and Halleraker, J.H. 2004. *Movements of wild Atlantic salmon parr in relation to peaking flows below a power station*. Journal of Rivers Research and Applications 20: 957–966.
- Bogen, J., Bønsnes, T.E. 2001. *Virkninger av effektregulering på erosjon og sedimentasjon i vannkraftmagasiner. Effektregulering - miljøvirkninger og konflikt-reducerende tiltak* - Rapport nr. 16, Statkraft Grøner, 66 s.
- Bogen, J., Bønsnes, T.E. 2000. *Miljøfaglige undersøkelser i Øyeren 1994–2000* - Hovedrapport for Akershus Fylkeskommune.
- Borsányi, P., Alfredsen, K., Harby, A., Ugedal, O. & Kraxner, C. 2004. *A Meso-scale Habitat Classification Method for Production Modelling of Atlantic Salmon in Norway* - Hydroécol. Appl. (2004) Tome 14, pp. 119–138. DOI: 10.1051/hydro:2004008.
- Cazeneuve L., T. Lagarrigue, J.M Lascaux, 2009. Etude de l'impact écologique des éclusées sur la rivière Dordogne. ECOGEA. Rapport final de la phase 2, 50 pp.
- Clarke, K.D., Pratt, T.C., Randall, R.G., Scruton, D.A., Smokorowski, K.E. 2008. *Validation of the Flow Management Pathway: Effects of Altered Flow on Fish Habitat and Fishes Downstream from a Hydropower Dam*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2784: vi + 111 p.
- Fergus, T. 1998. Alternativ erosjonssikring – metoder og litteratur. Dokument nr. 9/98. 16 s. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Flodmark, L.E.W., Vøllestad, L.A. & Forseth, T. 2004. *Performance of juvenile brown trout exposed to fluctuating water level and temperature*. Journal of Fish Biology **65** (2): 460–470.
- Forseth, T., Stickler, M., Ugedal, O., Sundt, H., Bremset, G., Linnansaari, T., Hvidsten, N.A., Harby, A., Bongard, T. & Alfredsen, K. 2009. *Utfall av Trollheim Kraftverk i juli 2008. Effekter på fiskebestandene i Surna*. - NINA-rapport 435. 35 s.
- Forseth, T., Næsje, T.F., Jensen, A.J., Saksgård, L. & Hvidsten, N.A. 1996. *Ny forbitappingsventil i Alta kraftverk: Betydning for laksebestanden*. - NINA Oppdragsmelding 392. 26 s.

Frivold, L.H. 1991. Trær som stabiliserende element i leirskråninger. Med spesiell relevans til Romerike. Delrapport i prosjektet "Forurensning som følge av leirerosjon og betydningen av erosjonsforebyggende tiltak. (Utgitt av NVE og Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole, Ås). 45 s.

Førde, E., Brodtkorb, E. 2001. *Sluttrapport for FoU-prosjektet "Effektregulering - Miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak.* Rapport nr. 20, Statkraft Grøner.

Halleraker, J., Johnsen, B.O., Lund, R.A., Sundt, H., Forseth, T. & Harby, A. 2005. *Vurdering av stranding av ungfisk i Surna ved utfall av Trollheim kraftverk i august 2005* - SINTEF TR A6220. 35 s.

Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P. and Kohler, B. 2003. *Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (salmo trutta) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream.* Journal of Rivers Research and Application **19**: 589–603.

Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S. and Saltveit, S.J. 2004. *Raske vannstandsendringer i elver. Virkninger på fisk, bunndyr og begroing* - SINTEF-rapport TR A5932.

Harby, A. & Halleraker, J.H. 2001. *Ecological impacts of hydro peaking in rivers* - Journal of Hydropower and Dams, issue four, 2001.

Heggenes, J. 1988. *Effects of short-term flow fluctuations on displacement of, and habitat use by, brown trout in a small stream.* Transactions of the American Fisheries Society **117**: 336–344.

Jensen, C., Gravem, F.R. 2007. *Tilleggsinstallasjon med mulighet for pumping i Tonstad kraftverk - Konsekvenser for fisk og vannkvalitet* - Sweco-rapport for Sira-Kvina kraftselskap.

Jensen, J.W., Koksvik, J.I. & Karlsen, L. 1992. *Rapport fra forsøk med korttidsregulering av Altaelva.* Stensil, 5 s.

Johnsen, B.O., Bremset, G. & Hvidsten, N.A. 2010. *Fiskebiologiske undersøkelser i Bævra, Møre og Romsdal. Årsrapport 2009.* - NINA Rapport 591: 1–54.

Killingtveit, Å. & Sælthun, N.R. 1995. *Hydrology. Hydropower Development Series, volum 7* - Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. ISBN 82-7598-026-7.

KLIF, 2009. *Vurdering av tiltak mot bortfall av sukkertare.* Arbeidsgruppen for sukkertare. Rapport TA2585, Klima- og forurensningsdirektoratet, 96 s.

Larsen, A. og Fiksen, Ø. 1998. *Effektregulering - turbiditetsøkning og biologiske virkninger i sjø.* Rapport nr. 4 i serien "Effektregulering - Miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak, NVE: ISBN 82- 91904-03-0, 29 s.

Løvoll, A., Fritsvold, H.K., Bogen, J., Beheim, E., Tuttle, K.J. 1999. *Effektregulering og grunnvannserosjon: analyser og tiltak* - Bok. Statkraft Engineering. ISBN: 82-91904-13-8.

Pedersen, T.B. og Sollibråten, T. 2001. *Effektregulering, Erosjonsprosesser og sikringsmetoder*. Rapport nr. 17 i prosjektet "Effektregulering - Miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak, NVE: ISBN 82-9104-18-9, 29 s.

Reiser, D.W. & White, R.G. 1983. *Effects of complete redd dewatering on Salmonid egg-hatching success and development of juveniles*. Transactions of the American Fisheries Society **112**: 532–540.

Saltveit, S.J. 1989. *Fiskeribiologiske undersøkelser i Suldalslågen, Rogaland. II. Lengdefordeling, vekst og tetthet av laks- og ørretunger i 1986, 1987 og 1988*. Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo, 113, 35 s.

Saltveit, S.J. 1996. *Skjønn Ulla-Førre. Fiskeribiologisk uttalelse. Begroing og ungfisk*. Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo, 162, 48 s.

Saltveit, S.J. 2000. *Alderssammensetning, tetthet og vekst av ungfisk av laks og ørret i Suldalslågen i perioden 1976 til 1999*. Suldalslågen - Miljørapport, 7, 29 s.

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

Scruton, D.A., Ollerhead, L.M.N., Clarke, K.D., Pennel, C., Alfredsen, K., Harby, A. and Perry, D. 2003. *The behavioural response of juvenile Atlantic salmon (*salmo salar*) and brook trout (*salvelinus fontinalis*) to experimental hydropеaking on a Newfoundland (Canada) river*. Journal of River research and applications **19**: 577–587.

Smokorowski, K.E., Metcalfe, R.A., Finucan, S.D., Jones, N., Marty, J., Power, M., Pyrcе, R.S. and Steele, R. 2010. *Ecosystem level assessment of environmentally based flow restrictions for maintaining ecosystem integrity: A comparison of a modified peaking versus unaltered river*. Ecohydrology, DOI: 10.1002/eco.167.

Strann, K.-B., Frivoll, V., Iversen, M., Tømmervik, H., Johnsen, T. 2005. *Biologisk mangfold. Bardu kommune - NINA-rapport 58*. 165 s.

Ugedal, O., Forseth, T., Jensen, A.J., Koksvik, J.I., Næsje, T.F., Reinertsen, H., Saksgård, L. & Thorstad, E.B. 2002. *Effekter av kraftutbyggingen på laksebestanden i Altaelva: undersøkelser i perioden 1981–2001*. - Altaelva-rapport nr. 22. Statkraft Grøner. 166 s.

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 tilsigsstyrt 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, Henning Pavels (34 s.)
- Nr. 3-11 Fossekall og småkraftverk: Bjørn Walseng, Kurt Jerstad (35 s.)
- Nr. 1-12 Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. Atle Harby, Jim Bogen (82 s.)







Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

