

Tunnel på RV 13 mellom Ivarsflaten og Djupevik

Konsekvenser av utfylling av sprengstein langs Suldalsvatnet



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Tunnel på RV 13 mellom Ivarsflaten og Djupevik. Konsekvenser av utfylling av sprengstein langs Suldalsvatnet.	Løpenr. (for bestilling)	Dato
	4420-2001	31. august 2001
Forfatter(e) Vilhelm Bjerknes	Prosjektnr. Undernr.	Sider Pris
	O-21167	23
	Fagområde	Distribusjon
	Utredninger	
	Geografisk område	Trykket
	Rogaland	NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens Vegvesen Rogaland	Oppdragsreferanse Øivind Kommedal
---	--------------------------------------

Sammendrag

Fra den prosjekterte vegtunnelen mellom Ivarsflaten og Djupevik ved Suldalsvatnet skal det deponeres 70.000 m³ sprengstein i fylling ved Djupevik. 30.000 m³ skal legges ved Kolbeinstveit for utbedring av RV 13. En mindre del av utfyllingen vil skje under vannspeilet i Suldalsvatnet. Konsekvensene for laksen i Suldalslågen vurderes som minimale, og slitasjeføringen på aggregatene i Hylene kraftverk antas å bli liten. Nitrogeninnholdet i inntaksvatnet til kraftverket kan komme til å overskride Folkehelsas grenser for drikkevann. Det foreslås et enkelt overvåkingsprogram for vannkvalitet i forbindelse med anleggsarbeidet.

Fire norske emneord 1. Vegtunnel 2. Sprengstein 3. Kraftverk 4. Laks	Fire engelske emneord 1. Road tunnel 2. Blasted rocks 3. Power plant 4. Atlantic salmon
--	---


 Vilhelm Bjerknes
 Prosjektleder


 Nils Roar Sæthun
 Forskningsjef

Tunnel på RV 13 mellom Ivarsflaten og Djupevik

Konsekvenser av utfylling av sprengstein

langs Suldalsvatnet

Forord

Statens Vegvesen Rogaland har bedt NIVA om å utarbeide konsekvensanalyse for utfylling av sprengstein langs Suldalsvatnet i forbindelse med en prosjektert tunnel fra Ivarsflaten til Djupevik. Konsekvensanalysen beskriver mulige forbigående endringer i vannkvaliteten i nærområdene til fyllingene, og de konsekvenser dette kan tenkes å få for dyrelivet i vassdraget og for driften av Hylene kraftverk.

Analysen er basert på opplysninger innhentet under befaring av deponeringsområdene sammen med representanter for Vegvesenet, Statkraft, Suldal Elveeigarlag og Suldal kommune. Befaringen ble foretatt 6. juli 2001. I tillegg er det nyttet erfaringsmateriale fra tilsvarende prosjekter.

Konsekvensanalysen er utført av Vilhelm Bjercknes ved NIVA Vestlandsavdelingen. Vegvesenets kontaktperson er Øivind Kommedal.

Bergen, 31. august 2001

Vilhelm Bjercknes

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Effekter av sprengstein	7
2.1 Effekter suspendert stoff	7
2.1.1 Biologiske effekter	7
2.2 Nitrogen	8
2.3 Andre effekter av sprengstein	9
3. Sprengsteinsmasser i Suldal	9
3.1 Karakterisering av massene	9
3.2 Tilførsler og spredning og sedimentasjon av partikler	11
3.3 Andre effekter på vannkvalitet	12
4. Konsekvenser av sprengstein	13
5. Forebyggende tiltak	14
5.1 Tunnelavløp	14
5.2 Partikkelspredning	17
5.3 Telekabel ved Djupevik	17
5.4 Pågående undersøkelser av sedimenttransport	20
6. Overvåking	20
7. Referanser.	21

Sammendrag

Statens Vegvesen Rogaland prosjekterer ny vegtunnel på RV 13 langs Suldalsvatnet fra Ivarsflaten til Djupevik. Av 100.000 m³ utsprengt masse skal 70.000 m³ deponeres langs Suldalsvatnet ved Djupevik og 30.000 m³ ved Kolbeinstveit. Arbeidet antas å ville pågå i vinterhalvåret 2002-2003.

Suldalsvassdraget er et viktig laksevassdrag, men bestanden er truet av vassdragsregulering og sur nedbør. Hensynet til fisk og fiske og til driften av Hysten kraftverk utgjør de viktigste momentene i denne konsekvensanalysen. Inntaket til Hysten kraftverk ligger i nærområdet til den planlagte fyllingen ved Djupevik. Djupevik og Kolbeinstveit ligger ved Suldalsvatnet henholdsvis 8 og 3 km fra Suldalsosen.

Suldalsvatnet er regulert med en høydeforskjell på 1,5 m mellom HRV og LRV. Høyeste flomvannstand (HFV) er 2,1 m over LRV. Ved HFV vil terskelen på lukeåpningen til kraftverkstunnelen ligge 19,35 m under vannspeilet.

Fyllingene vil medføre forbigående effekter på vannkvaliteten i nærområdene, først og fremst knyttet til suspenderte partikler og nitrat og nitratderivater fra sprengstein. Løsning av kolloider forventes å få en positiv målbar effekt relatert til forsuring.

Vurderingene som er gjort her konkluderer med at effektene på dyrelivet i vassdraget, herunder laksen i Suldalslågen vil bli minimale. Det er gjort beregninger av slitasje på kraftverksaggregatene i Hysten basert på ulike scenarier m.h.t. suspendert partikulært materiale. Dersom mindre enn 10% av det suspenderte materialet fra sprengsteinen når Suldalsvatnet og trekkes inn i tunnelen, antas slitasjeføringen å ligge innenfor det normale, basert på en antatt bakgrunnsverdi på 0,3 mg suspendert stoff/L. Det forutsettes at man gjennomfører tiltak for sedimentasjon og infiltrasjon av avløpsvannet fra tunnelen, og at det legges lenser utstyrt med "skjørt" omkring fyllingsområdene mens deponeringen av masser pågår.

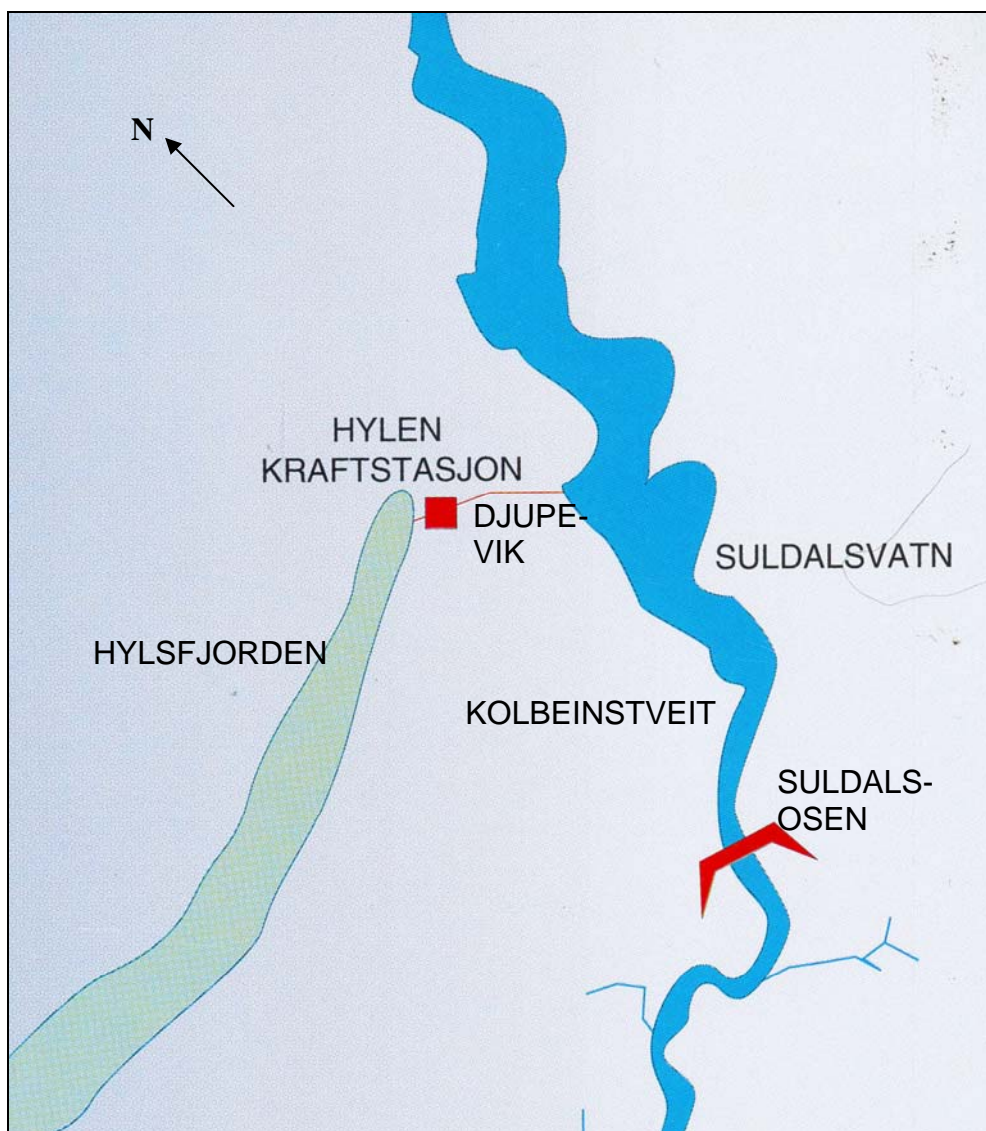
Nitrogeninnholdet kan komme til å overskride Folkehelsas normer (<2,5 mg NO₃-N) under anleggsperioden.

Utfyllingen ved Djupevik må ta hensyn til telekabelen som passerer fyllingsområdet. Videre anbefales det at oppstarting av fyllingsarbeidet skjer etter høstflom 2002 for å unngå forstyrrelser av de pågående undersøkelsene av sedimenttransporten i Suldalsvassdraget.

Det anbefales et enkelt overvåkingsprogram for vannkvalitet knyttet til nærområdene for fyllingene. Dersom det blir aktuelt å foreta sprenging i fyllingsfoten ved Djupevik anbefales i tillegg et enkelt overvåkingsprogram for fisk i nærområdet til fyllingen.

1. Innledning

Statens Vegvesen Rogaland prosjekterer ny vegtunnel på RV 13 langs Suldalsvatnet fra Ivarsflaten til Djupevik. Det vil bli produsert 100.000 m³ utsprenget masse. Av dette er det planlagt at ca. 70.000 m³ deponeres langs Suldalsvatnet ved Djupevik (Figur 1 og 3-6) på en strekning ca. 100-200 m fra tunnelåpningen til Hylen kraftverk, ca. 8 km fra Suldalsosen. De resterende 30.000 m³ sprengstein skal nyttes til utbedring av veien langs Suldalsvatnet ved Kolbeinstveit, ca. 3 km fra Suldalsosen (Figur 1). Det pågår reguleringsplanarbeid for anlegget ved Kolbeinstveit. Massefyllingen er planlagt i perioden fra høsten 2002 til våren 2003.



Figur 1. Suldalsvatnet.

NIVA er bedt av Vegvesenet om å utarbeide konsekvensanalyse for prosjektet. Konsekvensanalysen tar for seg forbigående og evt. varige effekter av anleggsvirksomhet og fyllinger for brukerinteresser i vassdraget. Tiltak for å minimalisere ugunstige effekter blir beskrevet.

Suldalslågen er en viktig lakseelv og det knytter seg store interesser til laksefisket. Det er foretatt grundige undersøkelser av laksen i Suldalslågen (Kaasa *et al.* 1998), og bestanden anses som truet, bl.a. som følge av vassdragsregulering. Fra 1. april 1998 er det iverksatt prøvereglement for Suldalslågen for å høste erfaringer med ulike vannføringsregimer (Kgl. res. 20. mars 1998). En av begrunnelsene for dette er å undersøke effektene av vannføring på sedimentasjon av finstoff i Suldalslågen, og det er etablert et prosjekt for å overvåke vannkvaliteten i forbindelse med prøvereglementet (J. Bogen, NVE, pers. komm.). Vassdraget er og påvirket av sur nedbør. Fra januar 1998 er Suldalslågen fullkalket.

De viktigste brukerinteressene som kan tenkes å bli berørt er knyttet til driften av Hylen kraftverk (Statkraft) og til fiskeinteressene i Suldalsvatnet og Suldalslågen. Andre interesser som kan bli berørt er drikkevann, jordbruksvanning m.m.

Tunneldrivingen blir gjennomført konvensjonelt (tradisjonell boring og sprenging). Sprengstoffet inneholder nitrat (NO₃) eller nitratderivater. En del nitratrester blir liggende igjen i steinmaterialet etter sprenging. I tillegg til selve tippmassene vil drens- og driftsvann fra tunnelen vil inneholde store konsentrasjoner av nitrogen og finpartikulært stoff, og bør renses i sedimentasjonsanlegg, og evt. søkes infiltrert i stedege masser.

Kalkingen av Suldalslågen gjør at tilførsler av nitrat fra sprengstein neppe vil ha forsurende effekt. Finpartikulært materiale i høye konsentrasjoner (>100 mg/L) kan ha ugunstige effekter på fisk og fiske. Sedimentasjon vil virke ugunstig inn på bunndyr og på gytegroper for laksefisk, og kan dessuten medføre økt begroing av moser.

Erosjonseffekter av suspenderte sprengsteinpartikler på kraftverksturbiner er velkjent, men lite dokumentert med hensyn til skadelige partikkeltyper og konsentrasjoner.

Konsekvensanalysen antyder mulige konsentrasjoner og effekter av tørrstoff og nitrogen i nærområdene omkring deponeringsplassene for sprengstein og foreslår forebyggende tiltak under anleggsarbeidet av hensyn til Hylen kraftverk og laksen i Suldalslågen. Vanntilførselen til kraftverket nyttes også som drikkevann i Hylen. Det foreslås et program for overvåking av vannkvalitet og bunndyr under og etter tunneldriving og deponering.

2. Effekter av sprengstein

2.1 Effekter suspendert stoff

2.1.1 Biologiske effekter

Suspenderte mineralske partikler forekommer naturlig i en rekke norske vassdrag, til dels i høye konsentrasjoner (Bogen 1986). Ulike former for menneskelig virksomhet kan føre til økte partikkelkonsentrasjoner over kortere eller lengre tid.

Suspendert partikulært materiale er et lite entydig begrep, og partiklers virkning på dyrelivet i vassdrag er både variable og omstridte. Partiklenes opphav eller "type" kan være et nyttig utgangspunkt for studier av virkning på fisk. Ulike fiskearter og stadier påvirkes i ulik grad. Erfaringsmessig er følgende forhold av betydning:

- Partiklenes opphav
- Konsentrasjon og eksponeringstid
- Størrelsesfordeling
- Form (morfologi)

Ved studier av biologiske effekter er eksponeringstid og variasjon i partikkelkonsentrasjon viktig. Partiklenes opphav vil gjerne være bestemmende for morfologien. Her kan det være nyttig å skille mellom naturlige erosjonsprosesser, erosjonsprosesser igangsatt av menneskelige inngrep, f.eks. graving eller magasinerings av vann, og produksjon av nydannede partikler ved sprengingsarbeid, fullprofilboring av tunneler og utfylling av sprengstein langs- og i vassdrag. I motsetning til glasifluviale partikler som har en avslipt og jevn overflate, vil nydannede partikler ha en kantet overflate, noe som er av betydning for virkningene i kontakt med levende vev. Bergarten vil være bestemmende for partiklenes form og spissitet.

EIFAC (Alabaster & Lloyd 1982) oppsummerer en rekke studier av hva fisk tåler av ulike konsentrasjoner av ulike typer partikler (leire, silt fra grusutvinning, havsedimenter, trefiber osv.), og foreslår generelle vannkvalitetskriterier (grenseverdier) for kjemisk stabile suspenderte partiklers virkning på fiske i vannkvaliteter som ellers er egnet for ferskvannsfisk. Disse kriteriene er mye benyttet, også i norske undersøkelser, og gjengis her:

- <25 mg/l: Ingen skadelige effekter
- 25-80 mg/l: Godt til middels godt fiske
- 80-400 mg/l: Betydelig redusert avkastning
- >400 mg/l: Meget dårlig fiske

Fluvial erosjon ved nedtapping av reguleringsmagasiner har forårsaket økt partikkeltransport og refordeling av sedimenter i en rekke regulerte norske vassdrag, noe som har ført til redusert fiskeavkastning (bl.a. Borgstrøm 1973, Andersen 1979, Aass 1979). I de senere år er det rapportert om mange tilfeller av partikkelforurensning fra anleggsarbeid der partikler har ført til skader på villfiskbestander i vassdrag og på oppdrettsfisk i fiskeanlegg (bl.a. Jacobsen *et al.* 1987, Hessen *et al.* 1989, Bjerknes *et al.* 1994, Bjerknes & Liabø 1995, Poppe *et al.* 1995). I settefiskanlegg som utsettes for partikkelforurensning er det observert sterkt nedsatt foropptak hos fisken, med redusert tilvekst som resultat (Bjerknes & Liabø *op. cit.*).

Partikler i vann kan påvirke fisk i vassdrag på en rekke ulike måter, både akutt og mer langsiktig:

1. Direkte påvirkning av fisk (gjeller, slimhinner)
2. Påvirkning av rogn og yngel (sedimentasjon)
3. Påvirkning av atferd (f. eks. næringsopptak)
4. Påvirkning av fiskens næringstilbud

En rekke undersøkelser tyder på at det skal relativt høye konsentrasjoner til over lang tid for å spore klare effekter av suspendert partikulært materiale på gjellene til eksponert fisk. Ved eksponering av regnbueaure for koalin (0, 36, 171, 1017 og 4887 mg/l) ble det bare funnet partikler i gjelleepitelet ved de høyeste konsentrasjonene (Goldes *et al.* 1986). Ved eksponering av pukkellaks-yngel (pink salmon) i 96 timer for 1600 og 4300 mg suspendert elved sediment/l ble det funnet partikler i gjelleepitelet bare ved høyeste konsentrasjon (Martens & Sevizi 1993).

2.2 Nitrogen

Den biologiske betydningen av nitrogenforbindelser i vann ligger først og fremst i at nitrat er et næringssalt som primærprodusentene nytter i fotosyntesen. I Suldalsvatnet som i de fleste andre

norske ferskvannsføremøster er det fosfor som begrenser primærproduksjonen, og en økning av nitrogenkonsentrasjonen i vannet vil derfor ikke ha noen vesentlig betydning for produksjonsforholdene. Vurdert fra helsemessig synspunkt har Folkehelse krav om at drikkevann ikke skal inneholde mer enn 2,5 mg NO₃-N/L.

2.3 Andre effekter av sprengstein

Sprengstein påvirker en rekke vannkvalitetsparametre. Målinger foretatt i avrenningsvann fra sprengstein i Løyningssåa i Otravassdraget (Lande 1986) viste forhøyede verdier for en rekke målte parametre i en 5-årsperiode etter deponering. Ledningsevnen økte til 50-80 ganger bakgrunnsverdiene, og det ble registrert forhøyede verdier av de fleste kationer og anioner, deriblant høye jern- og fosforkonsentrasjoner, og en fordobling av kalsiumkonsentrasjonen.

Overvåking av vannkvaliteten i forbindelse med igangkjøring av Hekni kraftverk i Otra viste tilsvarende forbigående effekter, med en klar forbedring av vannkvaliteten i forhold til forureningsparametre. I forbindelse med utspyling av kraftverkstunnelen ble det registrert en økning av kalsium og pH, og reduksjon i labilt aluminium i vassdraget nedstrøms tunnelen som følge av tunnel slam (Bjerknes *et al.* 1996). Endringene har trolig sammenheng med avgivelse av kalsiumioner fra kolloide fraksjoner av granittisk feltspat og adsorpsjon av aluminium til overflatene av nydannede granittpartikler. Kontrollerte forsøk med eksponering av fisk (Byglandsfjordbleke) i slike vannkvaliteter ga redusert omfang av gjelleforandringer sammenliknet med "ubehandlet" Otra-vann (Grande *et al.* 1995).

3. Sprengsteinsmasser i Suldal

3.1 Karakterisering av massene

Fjellet i tunnelområdet består vesentlig av granittisk gneis. Statens Vegvesen Rogaland har opplyst at tunneldrivingen vil bli gjennomført konvensjonelt (tradisjonell boring og sprenging). I det nedenstående har vi tatt utgangspunkt i anolitt som en hovedbestanddel i det sprengstoffet som blir nyttet. Ved et annet vegtunnel-prosjekt (Tyssedal ved Odda i Hordaland; Per Fredriksen pers. komm.) ble det nyttet sprengstoff med følgende sammensetning:

-ANFO	60%
-RØRLADNING	20%
-DYNAMIT	15%
-GLYNIT	5%

Det gikk med 1.8 kg sprengstoff for sprenging av 1 m³ fast masse. Ved sprenging i dagen regner en med 0.4 kg sprengstoff pr m³ fast fjell. Ekspansjonen gir en volumøkning på omtrent 1/3 fra fast fjell til utsprengt masse.

Felles for alle sprengstofftypene er at de inneholder nitrat (NO₃) eller nitratderivater. Ved sprenging blir nitrogenet omdannet til nitrose gasser. En del nitrat-rester blir liggende igjen i steinmaterialet etter sprenging, og kan bli årsak til høyt nitrogeninnhold i avrenningsvannet. I avrenningsvann fra sprengstein er det målt nitrogenkonsentrasjoner på mellom 5 og 10 mg N/L (Lande 1986). I forbindelse med Lærdalstunnelen (E16) ble det opprettet et sprengsteindeponi i Tynjadalen, nær Kuvella som er en sideelv til Lærdalselva. I perioder med lav vannføring og liten fortykning steg

konsentrasjonene av total nitrogen i elven fra < 0,2 mg/L til omkr. 2 mg/L, dvs. en konsentrasjonsøkning på 10 ganger bakgrunnsverdien (Bjerknes og Raddum 2001).

100.000 m³ utsprengt masse, svarer til 70.000 m³ fast fjell, og et sprengstoff-forbruk på omkring 130 tonn. Midlere innhold av N i sprengstoff kan en regne til 30%, hvorav 1/3 vil følge med sprengsteinen (Bjerknes m. fl. 1988), dvs. 12 tonn nitrogen, hovedsakelig nitrat.

Såkalt slurry-sprengstoff avgir mindre giftig gass (NO_x), og mindre vannløselig nitrat enn anfo-sprengstoff (J. Vestre, Dyno, pers. komm). I forbindelse med Oslofjordtunnelen ble nitratkonsentrasjonen i avrenningsvann undersøkt fra 3 salver der det ble benyttet anfo, og sammenliknet med avrenningsvann fra 3 salver med slurry-sprengstoff. Avrenningsvannet fra anfo-salvene inneholdt 100% mer NO₃ enn avrenningsvannet fra slurry-salvene. Ut fra dette vil slurry være å anbefale fremfor anfo-sprengstoff ved sprenging og deponering av sprengstein i- eller i nærheten av følsomme vannforekomster.

Med egenvekt 2.6 tonn/m³ vil 70.000 m³ fjell utgjøre totalt omtrent 182.000 tonn. Kornfordeling av de utsprengte massene i Suldal kan sammenliknes med en analyse av masser fra prøvesprenging i tilsvarende bergarter (granittisk gneis) utført av NGI i forbindelse med Vetlefjordutbyggingen i Sogn og Fjordane (Strømme 1986), se Tabell 1.

Av praktiske årsaker er det vanlig å skille mellom løste og partikulære fraksjoner ved en størrelse på 0.45 µ (0,00045 mm). Dvs. at 0.45 µ kan settes som nedre grense for størrelse av suspenderte partikler. Molekylkomplekser i størrelsesorden 0.01-0.45 µ i den løste fraksjonen blir gjerne definert som kolloider, men dette er til dels en kunstig inndeling (Hessen 1988).

Tabell 1. Antatt kornfordeling av 100.000 m³ (182.000 tonn) utsprengte masser av granitt i Suldal basert på Strømme (1986).

Kornstørrelse (mm)	Vektprosent	Vekt (tonn)
< 1,18	4,5	8.100
< 2,36	7,4	13.350
< 4,75	9,8	17.700
< 8	10,9	19.650
< 16	15,2	27.300
< 30	20,8	37.500
< 60	29,7	53.400
< 150	60,3	108.600
< 250	78,3	141.000

Det suspenderbare materialet vil i hovedsak være identisk med den minste størrelsesgruppen av partikler ovenfor (< 1.18 mm). Det er denne fraksjonen (sand, silt, leir) som er av interesse her. Som Tabell 1 viser vil denne fraksjonen utgjøre omkr. 8.100 tonn, hvorav 5.700 tonn vil inngå i deponiet ved Djupevik og 2.400 tonn ved Kolbeinstveit. Tabell 2 viser en kornfordelingsanalyse av en tilnærmet tilsvarende fraksjon (sand) i tunnel-subb fra Hekni kraftverk (Bjerknes *et al.* 1995).

Tabell 2. Antatt kornfordeling av 8.100 tonn sand fra utsprenge masser av granitt fra Suldal basert på Bjercknes *et al.*(1995).

Kornstørrelse (mm)	Vektprosent	Vekt (tonn)
<0,063	28	2.300
<0,125	45	3.700
<0,25	63	5.103
<0,5	85	6.900
<1,0	100	8.100

Fraksjonen består av sand, silt og leir (se Tabell 3).

Tabell 3. Fraksjonsinndeling sand-leir (NGI 1975).

Fraksjoner		Kornstørrelse (mm)
Grovinnndeling	Fininnndeling	
Sand	Grovsand	2-0,6
	Mellomsand	0,6-0,2
Silt	Finsand	0,2-0,06
	Grovsilt	0,06-0,02
	Mellomsilt	0,02-0,006
Leir	Finsilt	0,006-0,002
	-	<0,002

Tabell 4 viser sedimentasjonshastigheter for finsand, silt og finere partikler som funksjon av partikkelstørrelse hentet fra en transport- og sedimentasjonsmodell (T. Tjomsland pers. komm.).

Tabell 4. Synkehastighet som funksjon av partikkelstørrelse.

Inndeling	Kornstørrelse (mm)	Synkehastighet (m/time)
Finsand	0,063-0,125	18
Grovsilt	0,031-0,063	4
Mellomsilt	0,016-0,031	1,5
Finsilt	0,002-0,016	0,2
Leire	0,001-0,002	0,02
	< 0,001	0

3.2 Tilførsler og spredning og sedimentasjon av partikler

De største tilførslene vil finne sted i forbindelse med dumping av masser under vannspeilet i Suldalsvatn, og ved tilførsel av drifts- og dreinsvatn fra tunnelen. Senere vil det skje mindre tilførsler i forbindelse med regnvær og snøsmelting, vannstandsheving og bølgeslag.

Det er først og fremst partikler fra mellomsilt og mindre som lar seg transportere over større strekninger (se Tabell 4 ovenfor). Større partikler vil raskt sedimentere. Vi kan sammenlikne arbeidet i Suldal med et vegfyllingsarbeid på RV 13 langs Vangsvatnet i Voss i Hordaland i 1989 (Bjercknes og Aanes 1990), der spredningsforløpet i selve Vangsvatnet ble beregnet ved hjelp av en enkel spredningsmodell (Tjomsland 1983). Det ble i alt brukt 183.000 m³ masse, hvorav 130.000 m³ var sprengstein. Fyllingshastigheten varierte mellom ca. 1000 m³ og 5000 m³ pr uke i 37 uker.

Forutsatt jevn dosering og at halvparten av finpartiklene i fyllmassene (< 0,03 mm) ble suspendert, viste modellberegningene en suspendert tørrstoffmengde på opp til 5 mg/L 500 m fra doseringsstedet. I praksis viste det seg at tørrstoffmengden ved utløpet av Vangsvatnet varierte fra 0,3 til 6,0 mg/L, med en middelvei på 1,7 mg/L mens fyllingsarbeidet pågikk. Bakgrunnsverdien for tørrstoff i vassdraget var 0,3 mg/L.

Prosjektet i Vangsvatnet og Vosso kan ikke sammenliknes direkte med prosjektet i Suldalsvatnet, selv om de totale massene av sprengstein var relativt like. Fyllingen i Vangsvatnet ligger nærmere utløpet til Vosso, og en større del av utfyllingen skjedde under vannflaten. Det ble foretatt sprengning i fyllingsfoten. Konsentrasjonene av tørrstoff i Vosso kom likevel ikke opp i konsentrasjoner som kan antas å være skadelige for fisk, men det ble påvist (forbigående) endringer i bunndyrfaunaen i Vosso.

Sprengning i fyllingsfoten kan bli aktuelt for stabilisering av fyllingen ved Djupevik (Ø. Kommedal, Statens Vegvesen, pers. komm.). Alternativt kan det tenkes å dumpe en del av massene på dypere vann ved hjelp av lektere. Strandsonen ved Djupevik består vesentlig av stein fra nåværende steinfylling, og sprengning vil medføre en økning av mengden suspendert stoff. Dumping av sprengstein fra lektere vil trolig også føre til en økt suspensjon av partikulært materiale, og til spredning over et større område.

Sprengning i fyllingsfoten vil skape trykkbølger som kan tenkes å medføre skader på fisk som befinner seg i nærheten. I Vangsvatnet ble det imidlertid ble det ikke observert død eller skadet fisk i etter sprengning. Sprengningen vil ikke skape ulemper for Suldalslågen.

Større avstand mellom fyllingsstedene i Suldalsvatn og Suldalsosen, sammen med at en større del av massene vil bli deponert over vannspeilet, gjør at en må anta at prosjektet vil medføre mindre effekter på vannkvaliteten i Suldalsvatnet og Suldalslågen sammenliknet med Vangsvatnet og Vosso.

Avstanden fra fyllingen ved Djupevik til inntakstunnelen for Hylen kraftverk er på omkr. 100-200 m og lukeåpningen på inntaket ligger mellom kote 61 og 51,25 (Magne Bratland pers. komm.). HRV=68,50 og LRV=67,00 HFV (høyeste flomvannstand er 70,60, dvs. at dypeste punkt for tunnelåpningen vil ligge mellom 19,35 og 15,75 m under vannspeilet. Ved vind og høye strømhastigheter (0,5-1,0 m/s) vil transporttiden fra fyllingen til tyunnelåpningen være fra 1 til 3 minutter, og forutsatt fri bane vil det meste av fraksjonen <0,125 mm (finsand og nedover) følge med (se Tabell 4).

3.3 Andre effekter på vannkvalitet

Under fyllingsarbeidet langs Vangsvatnet (Bjerknes og Aanes 1990) økte verdiene av nitrogen (TOT-N) nedenfor Vangsvatnet til det dobbelte av bakgrunnsverdiene (fra 132 til 278 µg N/L), mens det refererte prosjektet i Lærdal (Bjerknes og Raddum 2001) medførte en tidobling av nitrogenverdiene nedstrøms deponiet ved Kuvella i Tynjadalen. Den korte avstanden mellom fyllingen ved Djupevik og inntaket til Hylen kraftverk gjør SIFF's krav til drikkevannskvalitet (< 2,5 mg NO₃-N/L) kan bli overskredet i forbindelse med tunneldriften. Bruk av slurry-sprengstoff vil redusere konsentrasjonen av NO₃ og minske risikoen for nedsatt drikkevannskvalitet..

Tørrstoffkonsentrasjonene ved utløpet av Vangsvatn var på samme nivå som i de nevnte undersøkelsene ved Hekni kraftverk i Otra (Bjerknes *et al.* 1996), der sprengsteinstilførslene fungerte som et vannkvalitetsforbedrende tiltak i forhold til forurening (se kap. 2.3 ovenfor). Ser vi bort fra nærområdet til fyllingene, må vi regne med at en tilsvarende forbigående vannkvalitetsforbedrende effekt i Suldalsvatnet. Effekten vil avta med økende avstand fra fyllingene.

4. Konsekvenser av sprengstein

Ut fra det som er sagt ovenfor antas de biologiske effektene av sprengsteinsdeponeringen ved Djupevik og Kolbeinstveit å bli små. Sedimentasjon i nærområdene vil påvirke bunndyrproduksjonen lokalt, mens effektene på fisk og fiske i Suldalsvatnet og Suldalslågen vil bli minimale.

Nærheten mellom fyllingen ved Djupevik og inntaket til Hysten kraftverk kan tenkes å medføre uheldige effekter med hensyn til økt turbinslitasje. Turbinslitasje øker med mengde suspenderte partikler. Kornstørrelse og mineralogi er også av betydning. Problemet med turbinslitasje fra partikler i kraftverk er et velkjent, men dessverre lite dokumentert problem. Bogen (1989) vurderte slitasjeproblemer på kraftverket Breheimen-Stryn med utgangspunkt i sedimentbelastning fra ulike kraftverksinntak fra brefelt basert på Bouvet's formel (Bouvet 1958):

$$(1) \quad S = G_S r q d$$

der S er et mål for slambelastningens slipekapasitet, G_S er årlig suspendert belastning i tonn, r er kornform klassifisert etter en skala fra 1 (avrundet) til 5 (skarpkantet), q står for andelen av kvarts i størrelsesområdet 0,063-0,125 mm, d er andelen av sand i størrelse 0,063-0,5 mm uttrykt i vektprosent av totalt suspendert materiale.

I tillegg til mengde vil altså kornstørrelse, kantethet, hardhet og konsentrasjon av partikler være avgjørende for graden av slitasje. I vårt tilfelle snakker vi om en produksjon av i alt 8.100 tonn materiale av partikler < 1,18 mm (se Tabell 1), hvorav 70%, dvs. 5.700 tonn vil bli deponert ved Djupevik.

Tabell 5 nedenfor viser noen kalkyler der Bouvet's formel er brukt på ulike scenarier m.h.t. hvor stor andel sand i størrelse 0,063-0,5 mm som når kraftverksinntaket. Ettersom hovedandelen av masse blir plassert over vannspeilet, vil det være en relativt liten del som går i suspensjon i forbindelse med selve deponeringsarbeidet. En del vil følge med drens- og driftsvann fra tunnelen, mens en del vil renne av senere i forbindelse med vannstandsheving, bølgeslag, isskuring og nedbør. Størstedelen av dette vil sedimentere i nærområdet til fyllingen, mens perioder med ugunstige vind- og strømforhold kan gi en relativt stor transport av partikler til tunnelinntaket.

Hysten kraftverk har 2 aggregater, hver med slukeevne 130 m³/s. Normal driftstid for kraftverket er 2000 timer/år, hvorav vi kan anta at det halve tiden kjøres med begge aggregatene, dvs. 130 m³/s i 3000 timer/år. ¾ av kjøringen (2250 timer) skjer i vinterhalvåret, oktober-mars (Mikkel Havrevold, Statkraft, pers. komm.). Dvs. at omtrent 1 mrd. m³ vann passerer kraftverket på denne tiden. Hoveddelen av utfyllingen i Djupevik vil finne sted i denne perioden i 2002-2003.

Vi har valgt å presentere 5 scenarier (se Tabell 5) for beregning av slipekapasitet i inntaksvannet, basert på at ulike andeler av sand av fraksjonen 0,063-0,5 mm, som i alt utgjør 5.700 tonn, trekkes inn i tunnelen og føres gjennom Hysten kraftverk i vinterhalvåret 2002-2003:

50%: $G_S = 5.700 \times 0,50 = 2850$ tonn, tilsv. et gjennomsnitt på 3 mg suspenderbar masse/L
 25%: $G_S = 5.700 \times 0,25 = 1425$ tonn, tilsv. et gjennomsnitt på 1,4 mg suspenderbar masse/L
 10%: $G = 5.700 \times 0,10 = 570$ tonn, tilsv. et gjennomsnitt på 0,6 mg suspenderbar masse/L
 5%: $G_S = 5.700 \times 0,05 = 285$ tonn, tilsv. et gjennomsnitt på 0,3 mg suspenderbar masse/L
 1%: $G_S = 5.700 \times 0,01 = 57$ tonn, tilsv. et gjennomsnitt på 0,06 mg suspenderbar masse/L

I beregningene har vi valgt å sette:

$r=5$ (skarpkantete partikler)

$q=0,5$ (andel av kvarts i 0,063-0,125-fraksjonen)

$d=0,57$ (0,063-0,5 mm fraksjonens andel av de suspenderte partiklene, se Tabell 2)

Tabell 5. Middel konsentrasjon av suspenderbart stoff basert på 2250 driftstimer for Hylen kraftverk. Slitasjegrad basert på Bouvet's formel dersom henholdsvis 25, 10, 5 eller 1 % av suspenderbar masse passerer kraftverket.

Suspendert %	50	25	10	5	1
mg/L	3,0	1,4	0,6	0,3	0,06
Slipefaktor (S)	4.060	2.030	812	406	81

Dersom <10% av suspenderbar masse føres gjennom kraftverket vil middelkonsentrasjonen av suspenderbart stoff ligge nær bakgrunnsverdien for vassdraget (jfr. verdiene fra Vangsvatnet/Vosso, kap. 3.2). Vi holder et slikt scenario som det mest sannsynlige.

For sammenlikning kan det nevnes at Bogen (1989) beregnet slipefaktor for 16 ulike kraftverksinntak fra ulike brefelt i Breheimen-Stryn kraftverk. Slitasjefaktoren (S) varierte fra 4 og opp til 10.296 for de ulike inntakene. Et scenario med en middelværdi for tørrstoff på 0,6 mg/L, dvs. en suspensjonsprosent på 10, vil gi en slipefaktor på 812 (Tabell 5), som må anses som moderat.

5. Forebyggende tiltak

5.1 Tunnelavløp

Avløp fra tunnelen vil i første rekke omfatte grunnvann fra sprekker i berggrunnen (lekkasjevann) og spylevann fra anleggsdriften. Grunnvann fra fjell er i utgangspunktet nærmest fritt for forurensninger, men vil bli oppblandet med finstoff og sprengstoffrester med nitrat og nitratderivater. Spylevann benyttes for å dempe støvplagen etter sprenging og ved opplasting i tunnelen.

Samlet vil trolig tunnelavløpet utgjøre en vesentlig forurensningskilde (partikulært materiale og nitrat) under anleggsperioden. Det forventes at de største partiklene blir frafiltrert, mens de finere partiklene (silt, leire) fremdeles vil være løst i vannfasen. Nitrat bindes ikke i løsmasser, og det vil derfor bli et forhøyet innhold av nitrat i avrenningsvannet fra tunnelen.

Tunnelløpet heller i begge retninger, og avrenningsvann bør enten pumpes ut i den ene enden, eller behandles i sedimentasjonsbassenger ved begge tunnelutløp for å redusere partikkelinnholdet (i hovedsak sand, silt og leire). De minste partiklene (leire og middels- til finkornig silt) vil imidlertid fortsatt holde seg flytende, og bassengene bør derfor kun benyttes som forbehandlingsenhet. For å fjerne finkornige partikler vil det være aktuelt å infiltrere tunnelvannet etter at det har passer ett eller flere sedimentasjonsbasseng. Det finnes store flater med eldre fyllmasser i området ved Djupevik, og infiltrasjonsegenskapene til disse massene bør undersøkes nærmere. Det kan også tenkes å etablere infiltrasjonsbassenger i deponimassene etterhvert som disse fylles ut. For å holde tilbake mest mulig av partikkelinnholdet bør filtreringen skje gjennom et sandfilter bygd opp av tilkjørt filtersand som legges i bunnen av infiltrasjonsbassengene.

Erfaring med infiltrasjon av denne typen avløpsvann i Norge og Sverige tilsier at dette er en metode som kan benyttes også i vinterhalvåret uten frostproblemer, noe som bl.a. henger sammen med grunnvannets temperatur (6-8°C).

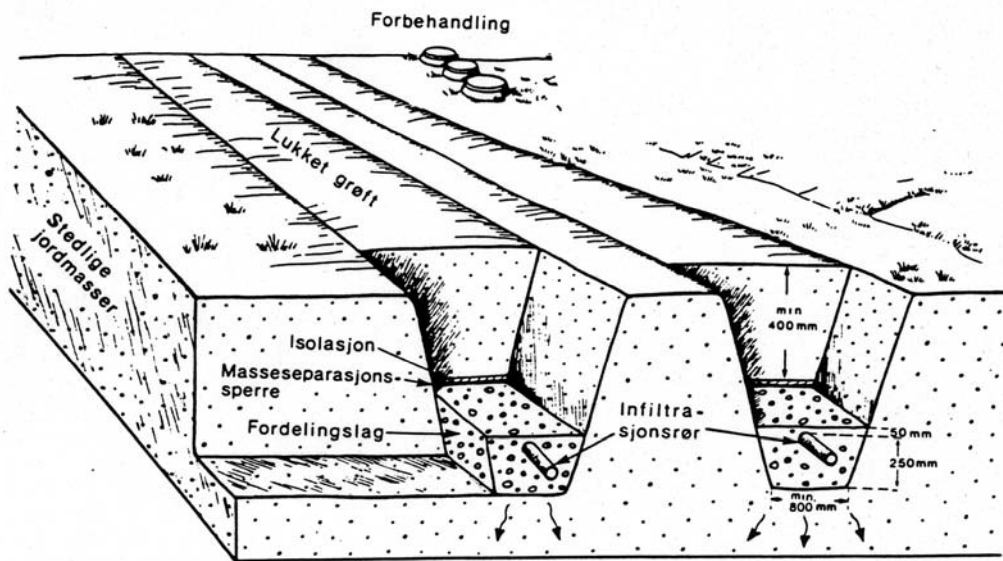
En sedimenteringsdam bør være stor nok til at vannet får en oppholdstid på et par døgn. Et tunnelavløp på 500 L/min gir 720 m³ vann/døgn. Et 2 m dypt basseng må ha et overflateareal på 720 m² for å gi nødvendig oppholdstid (2 døgn). Tilsvarende vil et tunnelavløp på 200 L/min kreve et damareal på 288 m² for å oppnå 2 døgns oppholdstid.

Kvalitetsmål for avløpsvannet vil være en tredje dimensjonerende faktor, som ennå ikke er fastsatt. Vannmengde og forurensningsgrad vil trolig kunne variere en god del i løpet av prosjektet, mens et evt. kvalitetskrav til avløpsvann trolig vil være konstant.

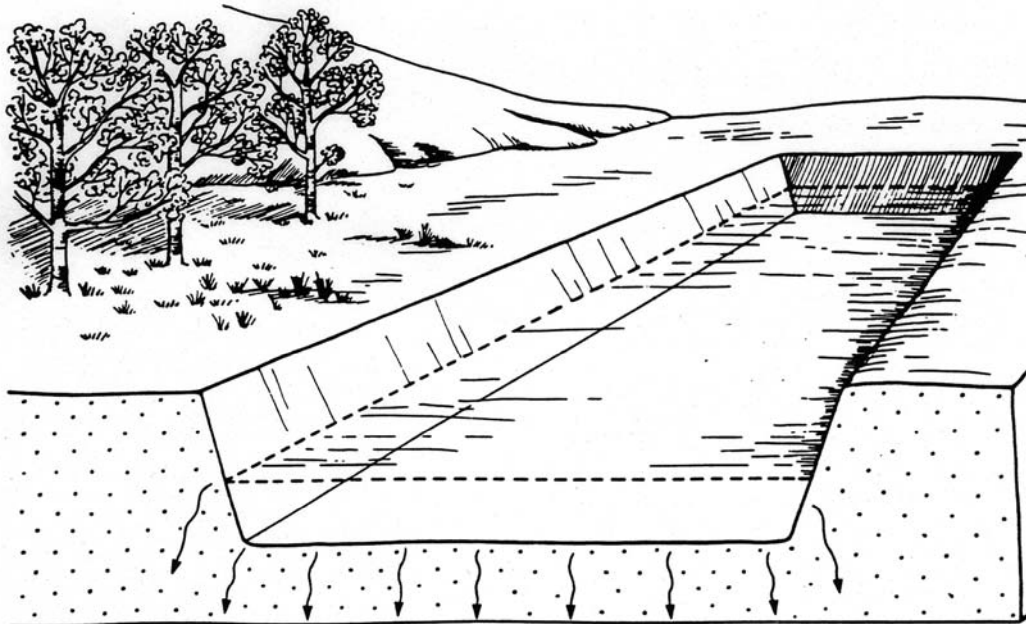
En sedimenteringsdam må ha et stabilt overløp. I en fyllingsdam vil det enkleste være å sette en kum inne i dammen, med avløpsrør fra bunnen av kummen. Vannet ut fra dammen infiltreres i de stedlige løsmassene. Prinsippkisser av infiltrasjonsanlegg er vist i Figur 2.

Ved infiltrasjon kan det forventes at sand- og siltpartikler vil bli holdt tilbake før vannet når Suldalsvatnet. Leirpartikler vil i mindre grad bli holdt tilbake, og vil følge vannfasen ned til Suldalsvatnet.

Nitrat bindes dårlig i jord, og en må regne med at 90-95% av nitraten i tunnelvannet før eller siden vil havne i Suldalsvatnet. Infiltrasjon vil imidlertid medføre at avløpsvannet får en viss oppholdstid i løsmassene, samt at det oppnås en vesentlig fortyningseffekt med grunnvann. Bruk av slurrysprengstoff vil redusere mengden løselig nitrat i avrenningsvannet.



Prinsippskisse av et tradisjonelt lukket infiltrasjonsanlegg.



Prinsippskisse av et åpent infiltrasjonsbasseng.

Figur 2. Prinsippskisser av lukket og åpent infiltrasjonsanlegg (fra Bjerknes *et al.* 1994).

5.2 Partikkelspredning

For å redusere partikkelspredningen i forbindelse med utfylling under vannspeilet vil forebyggende tiltak som spyling av sprengstein og utplassering av lenser utstyrt med ”skjørt” rundt dumpstedet være aktuelle. Sistnevnte tiltak vil sikre økt sedimentasjon av grovere partikler innen et avgrenset område, og redusere influensområdet betraktelig. Tiltaket vil særlig være aktuelt ved Djupevik, med sikte på å redusere tilførslene av partikulært materiale til Hylen kraftverk. Sprenging i fyllingsfoten for å stabilisere fyllingen, vil aktualisere et slikt tiltak for å begrense spredningen av finpartikulært materiale. Dersom man alternativt velger å dumpe deler av sprengsteinen fra lektere på dypt vann, mister man denne kontrollen, men sikrer samtidig en større spredning og fortynning av partikkelskyen.

5.3 Telekabel ved Djupevik

Det går en telekabel gjennom det aktuelle tippområdet ved Djupevik (Figur 3 –6). I tillegg til Statkraft sitt samband inneholder kabela også linjer for Telenor, bl.a. til abonnenter i Hylen. Ved fyllingsarbeidet må det tas forholdsregler for å unngå skader på kabela.



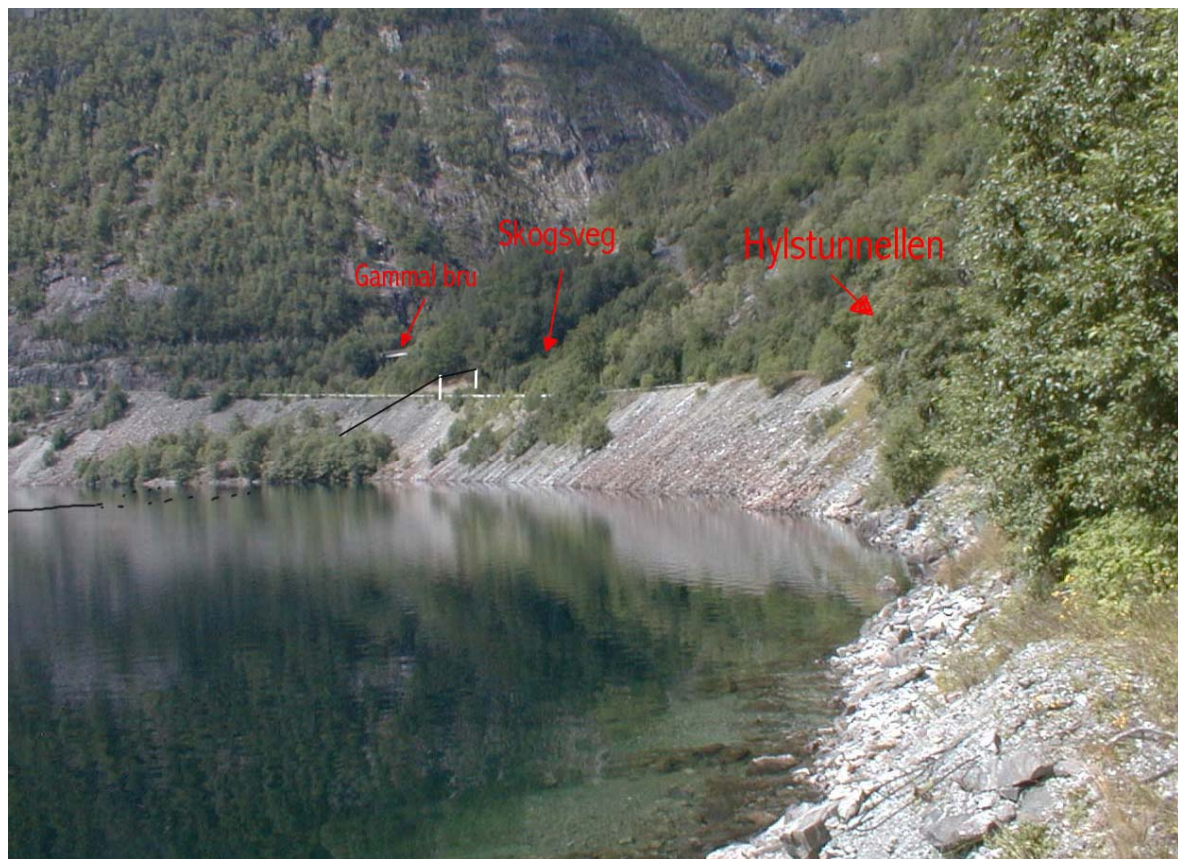
Figur 3. Fyllingsområdet ved Djupevik sett mot nord. Trasé for telekabel er antydnet ved veien til venstre på bildet (Foto: Magne Bratland).



Figur 4. Telekabel ved Djupevik. Traséen for kryssing av Suldalsvatnet er antydnet. (Foto: Magne Bratland).



Figur 5. Fyllingsområdet ved Djupevik sett mot nord-øst. Hylstunnelen og inntakstunnelen til Hylen kraftverk til høyre, stolpe for telekabel til venstre på bildet. (Foto: Magne Bratland).



Figur 6. Fyllingsområdet ved Djupevik sett mot sør-vest. Trasé for telekabel er antydnet. (Foto: Magne Bratland).

5.4 Pågående undersøkelser av sedimenttransport

Reduserte spyleflommer etter Ulla-Førre-utbyggingen fører til økt sedimentasjon av partikler, som igjen fører til økt mosebegroing med biologiske konsekvenser. For å høste erfaring med ulike vannføringsregimer ble det i 1998 (Kgl. res 20. mars 1998) gitt et prøvereglement (Kaasa *et al.* 1998), og det pågår undersøkelser av sedimenttransporten i Suldalslågen i samband med dette (J. Bogen, NVE, pers. komm.). Prosjektet skal vurdere transport og sedimentasjon med tanke på framtidig manøvreringsreglement. Høstflommer skal vurderes i oktober 2001 og oktober 2002. For å unngå interferens, anbefales at starten av fyllingsarbeidet finner sted etter høstflom 2002.

6. Overvåking

Sedimentprosjektet (se kap. 5.4) har opprettet 2 målestasjoner i Suldalslågen, ved Ritland og Suldalsfossen, som tar vannprøver 2 g. pr døgn. Disse stasjonene vil ikke fange opp problemene fra tunnelfyllingen, som skjer i selve Suldalsvatnet. Fylling ved Kolbeinstveit, 3 km fra Suldalsosen vil kanskje gjøre at fraksjon på 4-8 μ føres ut i Suldalslågen.

I tillegg har NIVA to overvåkingsstasjoner for kontinuerlig pH-overvåking i Suldalslågen, den ene ved Suldalsosen, den andre i Suldalslågen nær utløpet i sjøen ved Sand. Vi vil anbefale at stasjonen ved

Suldalsosen vil kunne suppleres med et måleinstrument for turbiditet for å fange opp evt. endringer i turbiditeten i samband med fyllingsarbeidene.

Data fra NVE's og NIVA's undersøkelser kan stilles til disposisjon, men er neppe tilstrekkelig som overvåkingsgrunnlag. Egne målestasjoner bør opprettes for å overvåke vannkvaliteten i forbindelse med fyllingsprosjektet.

Vannkvaliteten i vassdraget er godt dokumentert. Et overvåkingsprogram for vannkvalitetseffektene av dette fyllingsprosjektet bør konsentreres om nærområdene til fyllingene, i tillegg til Hylen kraftverk og Suldalsosen, og det anbefales utplassert automatiske vannprøvetakere på disse stedene. Dette vil muliggjøre rutinemessige analyser av et nærmere bestemt utvalg av prøver, og vil i tillegg muliggjøre tettere oppfølging dersom det oppstår kritiske episoder. Resultatene bør vurderes på bakgrunn av selve fyllingsvirksomheten, meteorologiske observasjoner og målinger av vannstand i Suldalsvatnet.

Vannkvalitesovervåkingen kan eventuelt suppleres med et enkelt biologisk overvåkingsprogram basert på forundersøkelse og oppfølgende undersøkelser av bunndyr i nærområdene til fyllingene. Nærheten til Suldalsosen gjør av fyllingsområdet ved Kolbeinstveit bør prioriteres i denne sammenheng.

Dersom det blir aktuelt å foreta stabiliserende sprenging i fyllingsfoten ved Djupevik kan det være aktuelt å plassere fisk i bur i ulike avstander fra fyllingsområdet. Det bør gjøres jevnlig undersøkelser av eventuell dødelighet og fysiske skader på denne fisken.

7. Referanser.

- Alabaster, J. S. & Lloyd, R. 1982. Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, London.
- Andersen, C. 1979. Reguleringer og utvaskinger i Målselvvassdraget. I: Gunnerød, T. & Mellquist, P. (red.), s. 116-136. Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Symp. 1978. NVE-DVF, 1978. 294 s.
- Bjerknes, V., Aanes, K. J. og Tjomsland, T. 1988. Miljøvirkninger av slam fra veifylling langs Vangsvatnet, RV 13 ved Bulken, Voss kommune. NIVA notat O-88029. 26 s.
- Bjerknes, V. og Aanes, K. J. 1990. Anleggsarbeid på RV 13 ved Bulken i Voss kommune. Effekter på vannkvalitet og bunndyr. NIVA-rapport nr. 2428. 56 s.
- Bjerknes, V., Røhr, P. K., Åstebøl, S. O., Robertsen, K. R. og Rognerud, B. 1994. E16. Tunnel Aurland-Lærdal. Konsekvensanalyse av tunneldrift og massedeponi i Tynjadalen i Lærdal. NIVA-rapport nr. 2999. 44 s.
- Bjerknes, V. og Liabø, L. 1995. Slamføring i Høvikelva under anleggsarbeid. Konsekvenser for Høvik Fiskeanlegg. NIVA-rapport nr. 3194.
- Bjerknes, V., Tjomsland, T. og Rye, N. 1995. Igangkjøring av Hekni kraftverk. I. Konsekvensanalyse av partikkelforurensning. NIVA-rapport nr. 3228. 29 s.
- Bjerknes, V., Kvellestad, A. og Berntssen, M. 1996. Igangkjøring av Hekni kraftverk. III: Undersøkelser av partikkelforurensning på vannkjemi, Bygandsfjordbleke og vassdragsøkologi. NIVA-rapport nr. 3519-96. 37 s.

- Bjerknes, V. og Raddum, G. G. 2001. E 16. Tunnel Aurland-Lærdal. Registrering og overvaking av vasskvalitet, botndyr og fisk i Lærdalselva og Kuvella frå 1994 til 2000. Samlerapport. NIVA-rapport nr. 4409-2001. 41 s.
- Bogen, J. 1989. Glacial sediment production and development of hydro-electric power in glacierized areas. *Annals of Glaciology*, 13: 6-11.
- Borgstrøm, R. 1973. The effect of increased water level fluctuation upon brown trout population in Mårvann, a norwegian reservoir. *Norw. J. Zool.* 21: 101-112.
- Bouvet, T. 1958. Contribution á l'étude du phénomène d'érosion par frottement dans la domaine des turbines hydrauliques. *Bull. Tech. Suisse Romande*, 84 (3).
- Goldes, S. A., Ferguson, H. W., Daoust, P. Y. & Moccia, R. D. 1986. Phagocytosis of the inert suspended clay koalin by gills of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Diseases*, 9: 147-151.
- Grande, M., Andersen, S., Bjerknes, V. og Kvellestad, A. 1995. Igangkjøring av Hekni kraftverk. II: Eksponering av bleke for partikulært materiale fra kraftverkstunnelen. NIVA-rapport nr. 3369. 20 s.
- Hessen, D. O. 1988. Biologiske effekter av partikler i vann. *Limnos* 3/88.
- Hessen, D. O., Bjerknes, V., Bækken, T. og Aanes, K. J. 1989. Økt slamføring i Vetlefjordelva som følge av anleggsarbeid. Effekter på fisk og bunndyr. NIVA-rapport nr. 2226. 36 s.
- Jacobsen, P., Grande, M., Aanes, K. J., Kristiansen, H. og Andersen, S. 1987. Vurdering av årsaker til fiskedød ved G. P. Jægtvik A.S., Langstein. NIVA-rapport nr. 2038. 38 s.
- Kaasa, H., Eie, J. A., Erlandsen, A. H., Faugli, P. E., L'Abée-Lund, J. H., Sandøy, S. og Moe, B. 1998. Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalslågen. Sluttrapport 1990-1997. Resultater og konklusjoner.. Rapport nr. 49. 82 s.
- Lande, A. 1986. Nitrogenavrenning fra sprengstein i Øvre Otra. Vurdering av vannkvalitetsendringer i forbindelse med anleggsvirksomheten. NIVA rapport nr. 1905. 37 s.
- Martens, D. W., & Servizi, J. A. 1993. Suspended Sediment Particles Inside Gills and Spleens of Juvenile Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 586-590.
- NGI 1975. Retningslinjer for presentasjon av geotekniske undersøkelser. Norges geotekniske institutt, Oslo. 16 s.
- Poppe, T. T., Bjerknes, V., Holtet, L. og Lydersen, E. 1995. Kalsiumutfelling i nyrene hos regnbueørret i sjøvannsoppdrett. *Norsk Veterinærtidsskrift* 107, 2: 131-137.
- Strømme 1986. Vetlefjordutbyggingen - Mel kraftverk. Massetransport i Vetlefjordelvi med og uten deponering av tippmasser nedenfor Nedre Svartevassvatnet. Rapport Strømme Rådgivende Ingeniører MRIF. 19 s.
- Tjomsland, T. 1983. Longitudinal dispersion in a stream calculated by a one dimensional numerical model. *Nordic Hydrology*. 14: 41-46.

Aass, P. 1979. Tilslammingen av Hallingdalselva 1966-67. Fisket i Ustedalsfjord og Strandafjord. I: Gunnerød, T. & Mellquist, P. (red.), s. 93-115. Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Symp. 1978. NVE-DVF, 1978. 294 s.