

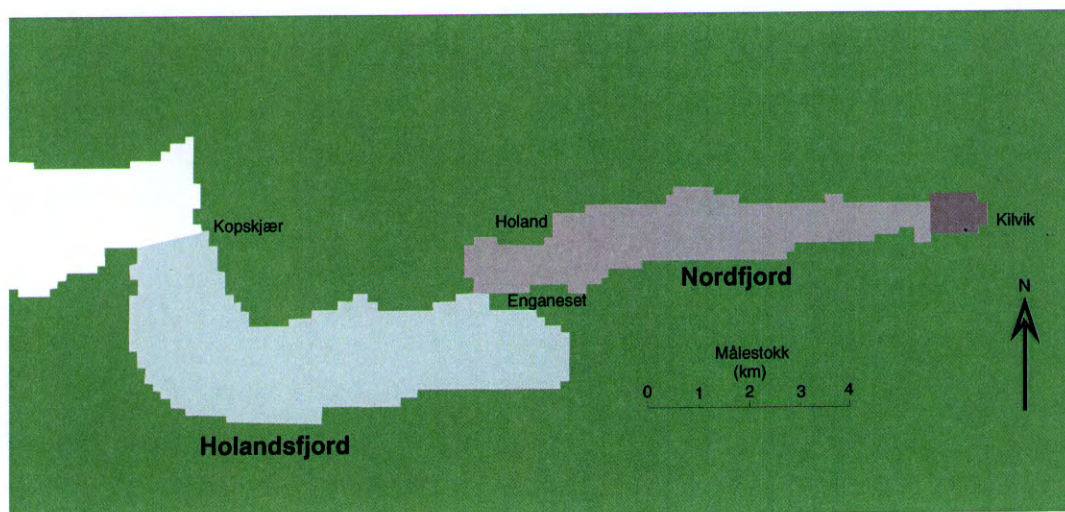
NIVA



RAPPORT LNR 3945-98

Utslipp av breslam til Holandsfjorden fra Svartisen kraftverk

Spredning og mulige effekter av partikkeltilførselen



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 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 A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

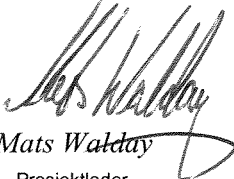
Tittel Utslipp av breslam til Holandsfjorden fra Svartisen kraftverk. Spredning og mulige effekter av partikkeltilførselen.	Løpenr. (for bestilling) 3945-98	Dato 1998-11-03
	Prosjektnr. Undernr. O-98151	Sider Pris 28
Forfatter(e) Walday, Mats; Helland, Aud; Johnsen, Torbjørn; Lømsland, Evy; Molvær, Jarle; Nygaard, Einar	Fagområde Vassdragsregulering	Distribusjon
	Geografisk område Nordland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statkraft SF	Oppdragsreferanse Best. Nr. 98-10497
----------------------------------	---

Sammendrag

Etter at Svartisen kraftverk kom i drift i 1993 er det i perioder blitt observert brunlig vann i store deler av Nordfjord/Holandsfjord. Hovedårsaken har vært en høy tilførsel av partikler til fjorden gjennom kraftverket. Det siste års målinger av suspendert materiale (SPM) i kraftverksvannet viser en markant reduksjon i tilførselen av partikler til fjorden gjennom kraftverket, og bedringene er blitt bekreftet av SPM- og siktedypsmålinger i fjorden. Det er anslått at ca. 30% av den leire og silt som slippes ut gjennom kraftverket transporteres forbi Enganeset, hvor den raskt fortynnes og konsentrasjonen av SPM vil komme ned på "bakgrunnsnivå". Sandfraksjonen vil i hovedsak sedimentere rett utenfor utslippet innerst i Nordfjord. Beregninger foretatt med utgangspunkt i dagens-, og den antatt fremtidige situasjon, indikerer liten negativ påvirkning på livet i fjorden. Lokalt, og i korte perioder, vil påvirkningen kunne være større. For å fortsatt kunne følge utviklingen i fjorden i tiden fremover foreslås at pågående undersøkelser/målinger, med enkelte tillegg og justeringer, videreføres frem til år 2001-02 da en større etterundersøkelse er planlagt.

Fire norske emneord 1. Holandsfjorden 2. Partikler 3. Spredning 4. Effekter	Fire engelske emneord 1. Holandsfjord 2. Particles 3. Dispersion 4. Effects
---	---


Mats Walday
Prosjektleder

ISBN 82-577-3536-1


Bjørn Braaten
Forskningsjef

O-98151
**Utslipp av breslam til Holandsfjorden
fra Svartisen kraftverk**

Spredning og mulige effekter av partikkeltilførselen

Forord

Foreliggende rapport er utarbeidet av Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) på oppdrag fra Statkraft i henhold til deres bestilling nummer 98-10497 og brev av 2 september 1998. Kontaktperson på Statkraft har vært Olav Brunvatne.

Rapporten er basert på bruk av eksisterende data fra Holandsfjordområdet, relevante publikasjoner fra andre områder, og en stor grad av faglig skjønn.

På NIVA har Jarle Molvær, Aud Helland og Einar Nygaard hovedsakelig arbeidet med den delen som omfatter spredning og sedimentasjon av partikler i Holandsfjorden, mens Evy Lømsland, Torbjørn Johnsen og Mats Walday har arbeidet med effektdelen.

Mats Walday har vært prosjektleder.

Jan-Petter Magnell fra Statkraft Engineering samt Jim Bogen og Hans Christian Olsen fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har under arbeidets gang bidratt med nyttig informasjon

Svein-Arne Normann fra Statkraft har tatt prøver for analyse av suspendert materiale i vann fra Holandsfjorden

Oslo, 9. november 1998

Mats Walday

Innhold

Sammendrag	7
1. Innledning	9
1.1 Problemstillinger	9
1.2 Beskrivelse av fjordområdet	9
2. Datagrunnlag	13
3. Spredning og sedimentasjon av partikler i Holandsfjorden	14
3.1 Vannmasser og vannutskiftning ved drift av Svartisen kraftverk	14
3.2 Spredning og sedimentasjon av partikler	16
3.2.1 Tilførsler	16
3.2.2 Spredning i brakkvannslaget	17
3.2.3 Sedimentasjon i dypvannet	19
4. Effekter av partikler	22
4.1 De frie vannmasser - Pelagialen	22
4.1.1 Effekter på plankton	22
4.1.2 Effekter på fisk	23
4.2 Bunnområdene – Benthalen	24
5. Forslag til videre undersøkelser	26
6. Litteratur	27

Sammendrag

Etter at Svartisen kraftverk kom i drift i 1993 er det i perioder blitt observert brunlig vann i store deler av Nordfjord/Holandsfjord. Hovedårsaken til dette har vært en høy tilførsel av partikler til fjorden gjennom kraftverket. Det er målt meget høye verdier av suspendert materiale (SPM) i både kraftverksvannet og i prøver fra fjorden. Det antas at disse forhold til en stor grad skyldes irregulære driftsforhold, bl.a. første gangs nedtapping med lav vannstand i kraftverksmagasinet (Storglomvatn) og anleggsarbeid i området rundt Storglomvatn.

Det siste års målinger av suspendert materiale i kraftverksvannet viser en markant reduksjon i tilførselen av partikler til fjorden gjennom kraftverket. Medianen av SPM i kraftverksvannet for januar august 1998 er 5,5 mg/l som er ca. 4mg/l over vanlige konsentrasjoner i kystvannet. Disse bedringer er blitt bekreftet av SPM- og siktedypmålinger i fjorden i den senere tid. Siktedypet i Nordfjord indikerer nå en tilstand som kan klassifiseres som 'mindre god' til 'god' (Molvær *et al.* 1997). I Holandsfjord er tilstanden stort sett god.

I perioder kan en fortsatt registrere en høy partikkeltilførsel til fjorden. Dette er for det meste knyttet til oppstart av kraftverket etter en tids driftstopp, og ved rensing/vedlikeholdsarbeid av vannoverføringene i fjellsidene langs Nordfjord. Tilførselen av partikler vil også kunne variere med varierende driftsforhold. Ved bruk av driftsvann fra nord-syd overføringene under smelteperioder vil partikkeltilførselen sannsynligvis være høyere enn ved bruk av vann fra Storglomvatn.

Det er anslått at ca. 30% av leire og silt som slippes ut transporteres forbi Enganeset. Her vil den raskt fortynnes og konsentrasjonen av suspendert materiale vil komme ned på "bakgrunnsnivå". Sandfraksjonen vil i hovedsak sedimentere rett utenfor utslippet innerst i Nordfjord

En økt tilførsel av partikler til vannmassene i en fjord, og derav økt sedimentering av bunnområdene, vil være negativ for biologien i en slik fjord. Det er gjort rede for en rekke eksempler på hvordan flora og fauna vil reagere under slike forhold. Utfra de beregninger som er foretatt med utgangspunkt i dagens-, og den antatt fremtidige situasjon mht. partikkeltilførsler til fjorden, ser det imidlertid ut til at den estimerte tilførselen generelt sett vil ha liten negativ påvirkning på livet i fjorden. De siste målingene av SPM og siktedyp tyder på tilnærmet normale forhold i vannmassene i store deler av fjordsystemet.

Innerst i Nordfjord, like ved utslippet fra kraftverket, kan en tidvis forvente stor sedimentasjon av de groveste partiklene som slippes ut. Det er sannsynlig at dette lokalt vil påvirke bløtbunnsfaunaen i en negativ retning. Etter driftsstans, og ved vedlikeholdsarbeider i overføringene langs fjordsiden, vil en få pulser av forhøyet partikkeltilførsel til fjorden som også vil være negativt for flora og fauna på bunnen, og i de frie vannmasser. Tilførselen av partikler vil også kunne variere med varierende driftsforhold, i denne sammenheng andelen driftsvann fra nord-syd overføringene i forhold til andelen vann fra Storglomvatn.

De målingene som i dag utføres på kraftverksvannet og i fjorden bør fortsette med samme frekvens frem til de ordinære etterundersøkelsene, som er planlagt til år 2001-02. I tillegg er det viktig å få bedre kjennskap til kornfordelingen av det materiale som tilføres fjorden og fra sjøvannsprøver fra ulike sted og dyp i fjorden.

1. Innledning

1.1 Problemstillinger

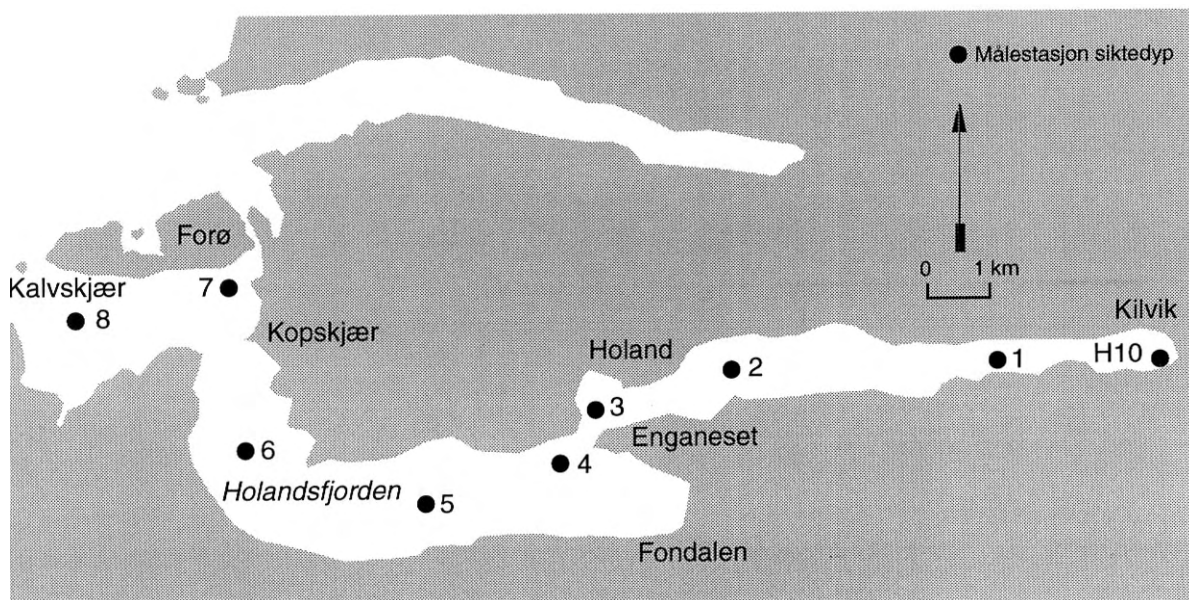
Problemstillingen for foreliggende rapport er knyttet til følgende punkter:

- Hva er den geografiske spredning og sedimentering av det partikulære materiale som tilføres Nordfjord/Holandsfjord via utslippet fra Svartisen kraftverk?
- Hvilken påvirkning dagens situasjon har på flora og fauna i fjorden, og hvilken utvikling en kan forvente seg med hensyn til dette? Det må i denne sammenheng understrekes at driften av kraftverket har vært uregelmessig frem til nå. Normal driftssituasjon forventes fra og med 1999.
- Hvilke undersøkelser bør foretas for å følge miljøtilstanden i fjorden i tiden frem til de ordinære etterundersøkelsene i år 2001-02?

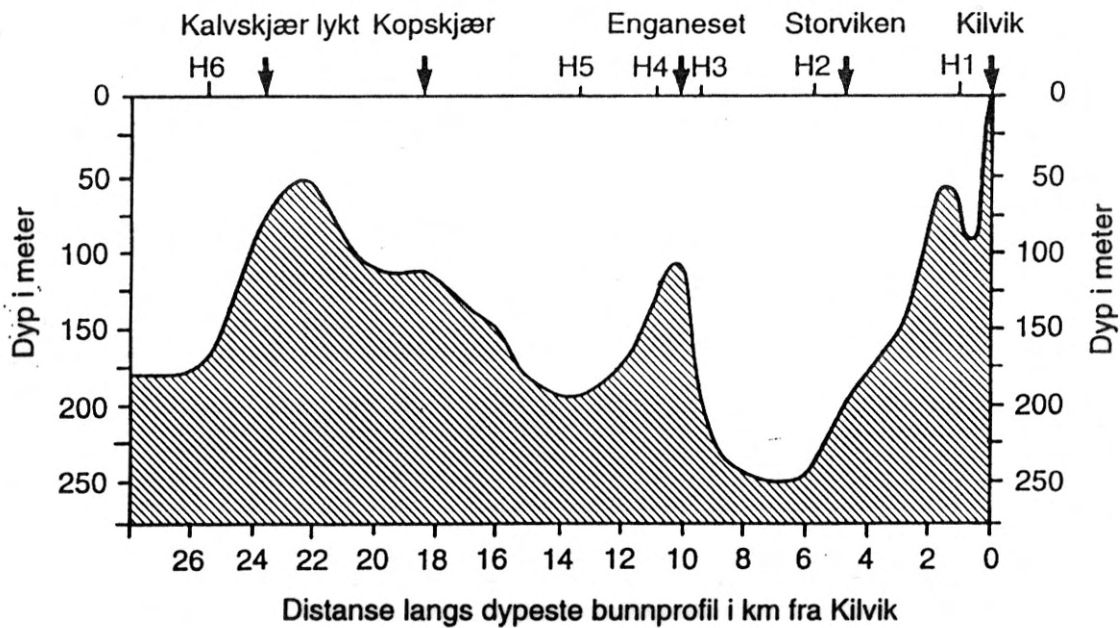
1.2 Beskrivelse av fjordområdet

Topografi

Figur 1 gir en oversikt over fjordområdet. Innsnevringen ved Enganeset inndeler Holandsfjord i to basseng, hvorav det innerste er dypest. I noen sammenheng brukes navnet Nordfjord på denne innerste del av fjorden. Tabell 1 viser de viktigste topografiske data for indre og ytre del. Figur 2 viser Holandsfjordens bunnprofil målt langs dypålen. Holandsfjord har en terskel på ca. 45 m i ytre del og største dyp på ca. 250 m i indre del. Ved Enganeset er bunndypet ca. 100 m og denne deler dermed fjorden i to basseng. For hele fjorden gjelder at vannmassen under ca. 45 m dyp ikke har fri forbindelse med kystvannet.



Figur 1. Holandsfjorden med målestasjoner (Nordfjord er området innenfor Enganeset)



Figur 2. Langsgående bunnprofil for Holandsfjorden (fra Stigebrandt & Molvær 1994)

Tabell 1. Topografiske data for Holandsfjorden.

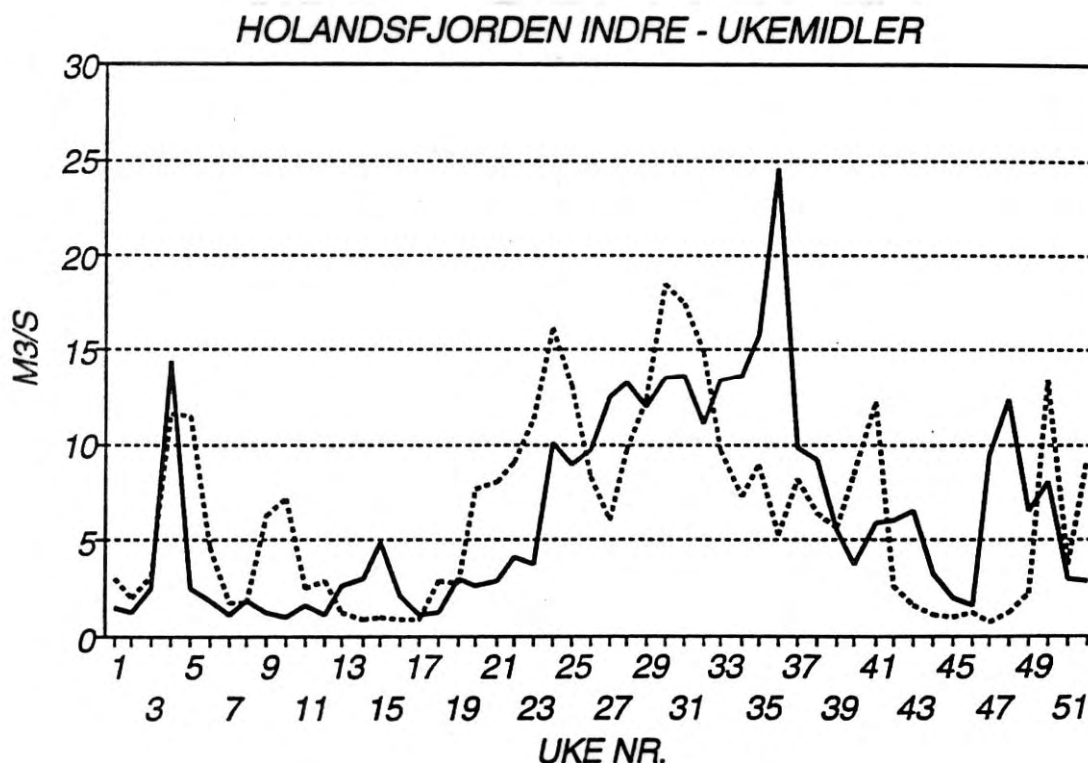
Område	Lengde	Bredde	Overflateareal
Indre Holandsfjord (Nordfjord)	10 km	0.5-1 km	8.9 km ²
Ytre Holandsfjord	12 km	1-2 km	23.2 km ²

Ferskvannstilførsel

Ferskvannstilrenningen til Holandsfjord før reguleringen ble beregnet av Statkraft (Magnell 1993), og Figur 3 viser ukemidler for indre del i 1991 - 92. Variasjonene med tiden er store. For fjorden samlet varierte ukemidlene mellom ca. 2 m³/s og 70 m³/s, med en liten overvekt til ytre del.

Utbyggingen av Svartisen kraftverk har ført til at:

- Fjordens indre del har fått økt sin ferskvannstilførsel ved at kraftverket slipper ut 55-70 m³/s innerst i fjorden. Med kraftverket i drift vil ferskvannstilførselen variere relativt lite, men stans i kraftverket og ferskvannsutslippet vil medføre momentane og svært store endringer i ferskvannstilførselen.
- Fjordens ytre del har fått vesentlig redusert sin ferskvannstilførsel



Figur 3. Ferskvannstilførsel til Holandsfjord innenfor Enganeset i 1991 - 92
(— = 1991, ---- = 1992).

Vannmasser

Fjordenes vannmasser over terskeldyp er godt beskrevet gjennom de målinger av temperatur og saltholdighet som Statkraft har gjennomført i tidsrommet 1977 - 98 (delvis publisert i Kvambekk 1997), av den undersøkelsen som her rapporteres og fra NIVAs undersøkelser av Holandsfjord i 1991-92. Generelt kan vannmassene inndeles i tre lag:

- brakkvannslaget.
- mellomliggende lag: mellom brakkvannslagets nedre del og terskeldypet (45 m for Holandsfjorden som helhet og ca. 100 m dyp for fjorden innenfor Enganeset).
- bassengvann: fra terskeldypet til bassengenes største dyp.

Vassdragsreguleringen vil i første rekke endre de hydrofysiske forholdene (temperatur, saltholdighet, egenvekt, vertikal sjiktning, strømforhold mm.) i overflatelaget og i den øvre delen av det mellomliggende vannlaget. For en beskrivelse av tilstanden før reguleringen henvises til Holte *et al.* (1994) og Stigebrandt & Molvær (1994). Tilstanden etter at Svartisen kraftverk har kommet i drift omtales i kapittel 3.1.

Sedimentasjon

Sedimentasjon målt som fluks av partikulært materiale (partikler som er på vei mot bunnen), ble målt på to stasjoner i Holandsfjorden i 1991 og 1992. Det var stor variasjon over tid og sted. De tidsmessige variasjonene var i stor grad nedbørrelaterte, men også anleggsuhell var av betydning. De stedsmessige variasjonene viste at det tilførte materiale hadde en rask utsynking og dette ga en høy årlig fluks av partikulært materiale på stasjonen innerst i fjorden (ca. 5 - 8 kg/m²). Lengre ut i fjorden var mengdene ca. 1/10 av dette. Det sedimenterende materialet var i hovedsak uorganisk, men besto under vår/ tidlig sommer av opptil 47% organisk karbon, hvilket trolig har sammenheng med våroppblomstringen av plankton.

Biologi

Etter de biologiske undersøkelsene i 1991/92 ble konklusjonen at de mest karakteristiske trekkene ved hardbunnsamfunnene i Holandsfjorden var den kraftige algebeitingen fra kråkeboller, og den høye tilførselen av uorganisk materiale som medførte en kraftig nedslamming av bunnen (Holte *et al.* 1994). Tilsvarende nedbeiting av alger er observert fra mange andre områder langs vår kyst, blant annet den nærliggende Glomfjord. Nedslammingen var sannsynligvis et resultat av både naturlige og menneskeskapte forhold:

- Holandsfjorden var resipient for brevann fra Svartisen og dette vannet transporterte betraktelige mengder med breslam. Breslammet medvirket med største sannsynlighet til den observerte nedslamming. Det var den gang ca. 70 elver/bekker av varierende størrelse som rant ut i fjordsystemet og majoriteten av disse førte med seg brevann fra Svartisen.
- Samtidig med undersøkelsene i Holandsfjorden var det et omfattende anleggsarbeid i området. Under slikt arbeid blir løsmasser blottlagt for erosjon og, spesielt i nedbørsperioder, betydde dette en økt partikkeltransport til fjorden.

Resultatene fra bløtbunnsundersøkelsene antydte en økende miljøpåvirkning innover i fjordsystemet. Faunasamfunnet på den innerste stasjonen syntes å være forholdsvis sterkt påvirket av ytre miljøfaktorer, trolig slamavsetting, mens samfunnet på den ytterste stasjonen syntes upåvirket. Artsmangfoldet var økende fra indre til ytre del, mens individantallet var avtagende. I indre del av fjordsystemet ble det ikke registrert bløtdyr (f.eks. muslinger og snegl) i 1992, og relativt få i 1991. Faunaforskjellene mellom stasjonene i fjordsystemet var generelt uttrykt ved økende innslag av bløtdyr og avtagende relativ forekomst av børstemark og krepsdyr utover i fjordsystemet. Ved undersøkelsene i 1994 ble det konstatert en økning i andelen leire/silt i bunnsedimentene på den innerste stasjonen i Nordfjord med en tilsvarende nedgang i sandfraksjonen (Holte 1994). Lenger ut i Nordfjord var det en forskyvning fra silt til leire. Det ble ikke observert vesentlige strukturelle faunaforandringer sammenlignet med 1991-92.

Siden undersøkelsene i 1991-92 ble foretatt parallelt med anleggsarbeidene er det vanskelig å avgjøre hvor stor ekstrabelastning anleggsarbeidet medførte for de biologiske samfunnene på bløt- og hardbunn.

Analyser av næringssalter og algebiomasse viste at Holandsfjord i 1991-92 var et lite belastet fjordområde med god vannkvalitet. Vannmassene i den eufotiske sonen hadde om sommeren et relativt høyt forhold mellom nitrogen og fosfor (>10 (vektbasert)) som tydet på et overskudd av nitrogen. Dette er ofte forekommende i fjorder og kystnære områder.

2. Datagrunnlag

Nedenfor er det gitt en kort oversikt over det materiale som i hovedsak er benyttet ved arbeidet med den foreliggende rapport.

Tidligere arbeider i Holandsfjorden

Datagrunnlaget for utarbeidelsen av foreliggende rapport er i hovedsak hentet fra ulike undersøkelser utført i Holandsfjorden i perioden fra 1991 og frem til nå. NIVAs forundersøkelse fra 1991-92 omfattet vannkjemi, biologi, sedimentasjon (Holte *et al.* 1994) og modellsimulering av endret ferskvannstilførsel til Holandsfjorden (Stigebrandt & Molvær 1994). I forbindelse med oppstartingen av kraftverket i 1994 utførte NIVA vannkjemiske og hydrofysiske undersøkelser av vannmassene i fjorden (Molvær *et al.* 1994; Molvær & Sørensen 1994). I samme periode foretok Akvaplan-niva AS faunaundersøkelser i bløtbunn på 2 stasjoner og resultatene fra disse er gitt i brev form (Holte 1994). Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har også utført en rekke undersøkelser i Storglomvatn og tilhørende vannsystemer; primært med hensyn til sedimenttransport og erosjonsproblematikk. I tillegg måler NVE jevnlig partikkelmengde og kornfordeling i det vann som strømmer ut av kraftverket og inn i Holandsfjorden. En grundig dokumentasjon av is-, salt- og temperaturforhold i fjorden før igangsetting av kraftverket er gitt av Kvambekk (1997)

Utslippstall

Statkraft måler de vannmengder som til enhver tid går gjennom kraftverket

Temperatur-, salt- og siktedypmålinger

Målinger av salt og temperatur har siden 1976 vært utført månedlig på 7 stasjoner, med avbrudd i årene 1990-92. P.t. måles siktedyp og salt/temperatur hver 14. dag på 9 stasjoner fra innerst i fjorden og ut til syd for Forøya.

Kornfordeling

I tillegg til tall for den samlede partikkelmengden er størrelsesfordelingen en nødvendig opplysning når man skal bedømme hvordan partiklene spres og sedimenterer. NVE har jevnlig bestemt partikkelfraksjoner i vannet fra Svartisen kraftverk og leire har utgjort hoveddelen av det suspenderte materialet i kraftverksvannet.

Nye målinger

Fra og med 4. september d.å. blir det parallelt med siktedypmålingene også tatt vannprøver som analyseres for totalt suspendert materiale (SPM).

3. Spredning og sedimentasjon av partikler i Holandsfjorden

3.1 Vannmasser og vannutskifting ved drift av Svartisen kraftverk

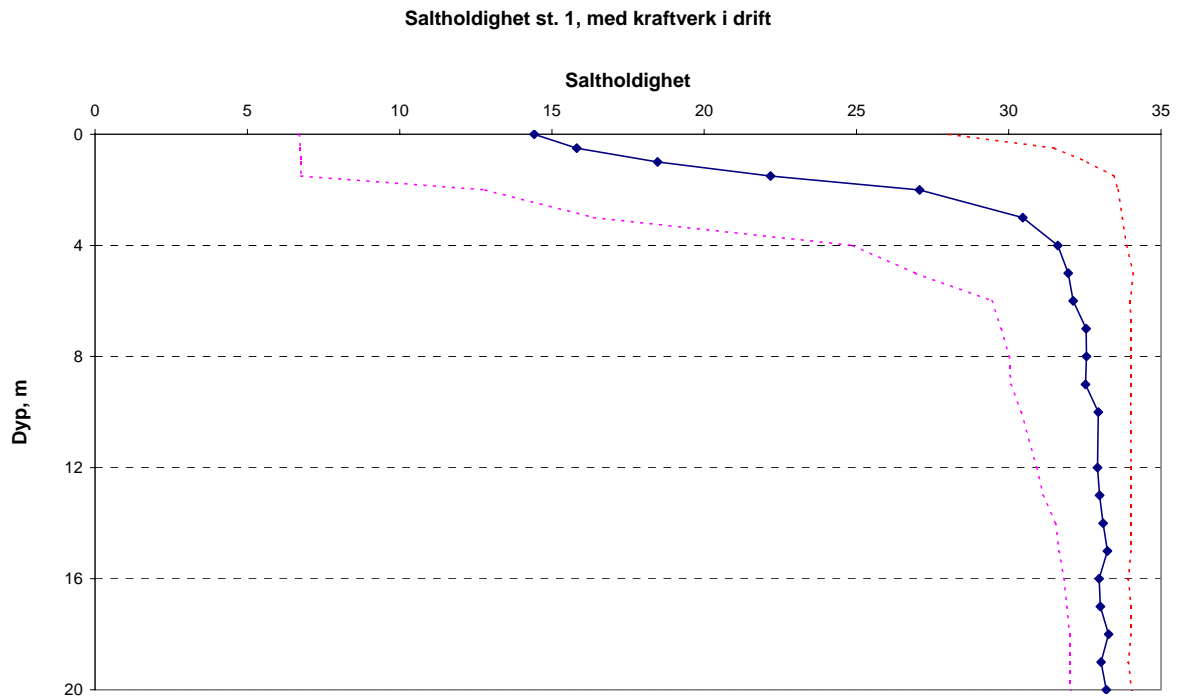
Fjordenes vannmasser over terskeldyp er godt beskrevet gjennom de målinger av temperatur og saltholdighet som Statkraft har gjennomført i tidsrommet 1977 - 98 (upubliserte data), av den undersøkelsen som her rapporteres og fra NIVAs undersøkelser av Holandsfjord i 1991-92. Generelt kan vannmassene inndeles i tre lag:

- brakkvannslaget.
- mellomliggende lag: sjøvannet mellom brakkvannslagets nedre del og terskeldypet (45 m for Holandsfjorden som helhet og ca. 100 m dyp for fjorden innenfor Enganeset).
- bassengvann: sjøvannet fra terskeldypet til bassengenes største dyp.

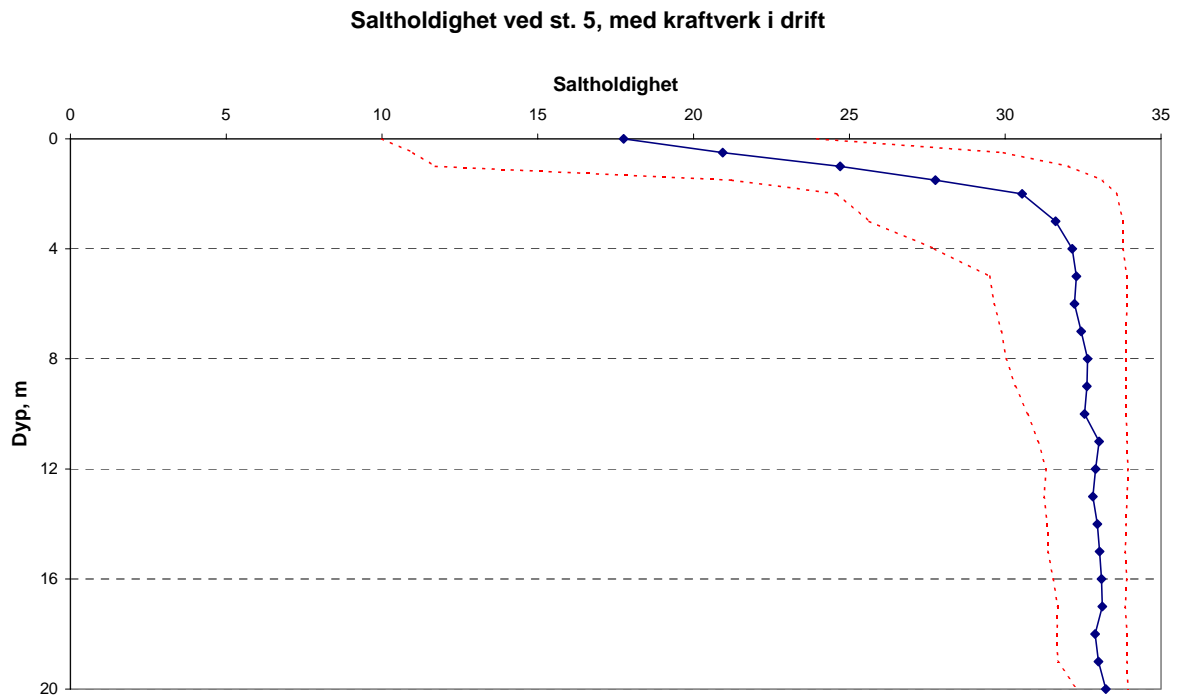
Figur 4 og Figur 5 viser vertikalprofiler (beregnet) for minimum, gjennomsnittlig og maksimum saltholdighet for hvert måledyp på st. 1 i Nordfjord og st. 5 i selve Holandsfjord mens kraftverket er i drift. Beregningene er gjort på data fra tidsrommet 1994-1997, i alt 20-40 tall for hvert måledyp.

Som ventelig viser resultatene store variasjoner, men hovedbildet når kraftverket er i drift blir:

- Ved stasjon 1 i Nordfjord er oftest brakkvannslaget 2-4 m tykt, mot grovt sett 2-3 m ved stasjon 5 utenfor Enganeset.
- Allerede ved stasjon 1 er saltholdighet i brakkvannslaget oftest omkring 14-20, dvs. at sjøvann da utgjør omkring halvparten av vannmassen
- Saltholdigheten i brakkvannslaget øker med 4-5 enheter fra stasjon 1 til stasjon 5, dvs. en ytterligere innblanding av sjøvann. Mye av denne økningen skjer ved selve Enganeset, dvs. mellom stasjon 3 og stasjon 4.



Figur 4. Minimum, gjennomsnittlig og maksimum saltholdighet fra overflata og til 20 m dyp på stasjon 1 i Nordfjord når Svartisen kraftverk er i drift.



Figur 5. Minimum, gjennomsnittlig og maksimum saltholdighet fra overflata og til 20 m dyp på stasjon 5 i selve Holandsfjord når Svartisen kraftverk er i drift.

Oppholdstiden for brakkvannslaget i Nordfjord vil være endret som følge av endret ferskvannstilførsel. I oktober 1994 viste siktedypmålinger at partikler fra kraftverksutslippet befant seg utenfor Enganeset allerede om formiddagen dagen etter at kraftverket startet på nytt etter en lengre driftsstans (Molvær & Sørensen 1994). Dette kan tyde på at oppholdstiden for brakkvannslaget da var omkring 30 timer.

En gjennomsnittlig oppholdstid kan også beregnes teoretisk. Fjordarealet innenfor Enganeset er ca. 8.9 km². Målingene av saltholdighet når kraftverket er i drift tyder på at en typisk tykkelse av brakkvannslaget er ca. 3 m, med en gjennomsnittlig saltholdighet omkring 22. Saltholdigheten i det underliggende sjøvannet som blandes opp i overflatelaget er ca. 32 (se Figur 4). Volumet av brakkvannslaget er da ca. 27*10⁶ m³ og ferskvannsmengden ca. 8*10⁶ m³. Ved stasjonære forhold og utslipp av 65 m³/s fra kraftverket tar det ca. 34 timer å tilføre denne ferskvannsmengden. Varierende vindretning, vindstyrke og lufttrykk vil påvirke oppholdstiden som dermed antas å variere mellom 20 timer og 40 timer.

3.2 Spredning og sedimentasjon av partikler

3.2.1 Tilførsler

NVE har beregnet tilførselen av partikler til Holandsfjorden fra Svartisen kraftverk for årene 1995-98 (Tabell 2). Målingene viser avtagende mengder med tiden.

Tabell 2. Transport av partikulært materiale gjennom Svartisen kraftverk 1995 t.o.m. august 1998 (data fra NVE).

ÅR	DRIFTS DØGN	AVLØP		UORGANISK SEDIMENTTRANSPORT			ORGANISK SEDIMENTTRANSPORT		
		TOT mill m ³	PR. DRIFTS DØGN mill m ³	TOT tonn	PR DRIFTS DØGN tonn	KONS mg/l	TOT tonn	PR DRIFTS DØGN tonn	KONS mg/l
1995	228	1204.50	5.28	30890	135.48	25.7	1719.33	7.54	1.43
1996	248	1336.30	5.38	29045	117.12	21.7	1209.62	4.87	0.91
1997	128	583.53	4.56	5239	40.92	9.0	342.44	2.67	0.59
1998	122	583.64	4.78	3055	25.04	5.3			

Størrelsen av partiklene som vannet fra kraftverket førte ut i Nordfjord i 1995 er beskrevet av Bogen *et al.* (1996), og sammenfattet i Tabell 3. Leirfraksjonen dominerte, men variasjonene var store. Sand utgjorde normalt en liten del av den totale partikkeltilførsel. Hvordan størrelsesfordelingen blir når Storglomvatn er fylt opp, og kraftverket er i vanlig drift, er uvisst. Hvis fordelingen endres vil vi imidlertid anta at dette skjer ved en forskyvning mot mindre partikkelstørrelser.

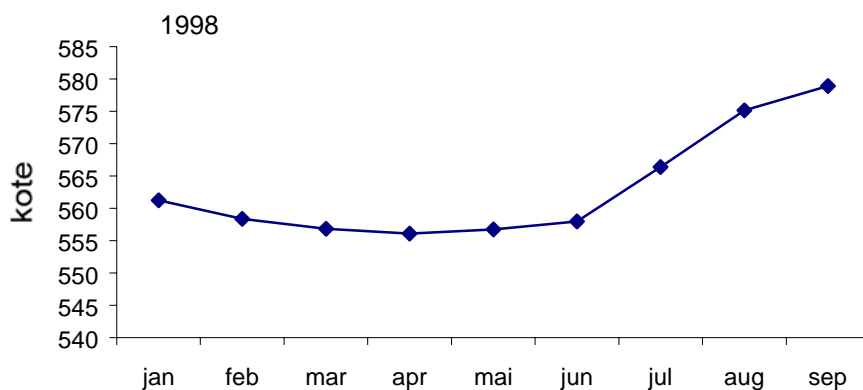
Tabell 3. Innhold av fraksjonene leire, silt og sand i vannet fra Svartisen kraftverk i 1995.

Fraksjon og diameter		Andel (%)
Leire	<2 µm	45.4-99.85
Silt	2-63 µm	0-48.8
Sand	63-2000 µm	0-41.8

NVE har oversendt data for partikkelmengden i avløpsvannet fra kraftverket i tidsrommet januar-august 1998. Konsentrasjonene varierte mellom 1,9 mg/l og 109,35 mg/l SPM (sum organisk og uorganisk), med en median på 5,5 mg/l. NVE har påpekt at datasettet ikke er helt komplett, men sett i forhold til konsentrasjonene i 1994, 1995 og 1996 tyder tallene på en betydelig nedgang i konsentrasjonen av suspendert materiale i avløpsvannet fra kraftverket. Til sammenligning kan vi nevne at medianen bare er i størrelsesorden 4 mg/l over vanlige konsentrasjoner i kystvannet. I en fjord vil imidlertid variasjonsbredden være svært stor, men vi nevner at f.eks. saltholdighet på 15-16 i brakkvannslaget i Holandsfjordens indre del tilsvarer ca. 50% sjøvann og dermed en reduksjon av SPM-konsentrasjonen fra typisk 5-6 mg/l i avløpsvannet (median januar-august 1998) til 3-4 mg/l etter fortynning i brakkvannet.

Vi antar at den reduserte anleggsvirksomheten rundt Storglomvatn og den høye vannstanden i magasinet er bidragende årsaker til den reduserte mengden av suspendert materiale i kraftverksvannet. Vannstanden i Storglomvatn i 1998 er vist i Figur 6. Ved normal drift av kraftverket med et aggregat vil vannstanden sannsynligvis variere mellom kote 550 og kote 585. Det var først i august 1997 at vannstanden passerte kote 550.

Utfra tilgjengelige data av SPM i kraftverksvannet, og tidligere observasjoner i fjorden, kan en se at en ved igangsetting av kraftverket etter en tids driftsstopp vil få en puls av forhøyet partikkeltilførsel til fjorden. Det ser ut som om denne puls vil være kraftigere om sommeren enn om vinteren. Tilførselen av partikler vil også kunne variere med varierende driftsforhold. Ved bruk av driftsvann fra nord-syd overføringene går vannet direkte til kraftverket. Andelen av de grovere partikler, som ellers ville ha sedimentert ut i Storglomvatn, vil da sannsynligvis være større i vannet som kommer ut av kraftverket og inn i fjorden.



Figur 6. Vannstand i Storglomvatn i 1998. Månedsgjennomsnitt basert på daglige målinger

3.2.2 Spredning i brakkvannslaget

Resultatene fra de seneste målingene av siktedyp og suspendert materiale på de ni stasjonene i fjorden er presentert i Tabell 4. Under prøvetakingen var kraftverket i drift. I Figur 7 er resultatene for suspendert materiale fremstilt og en kan se at verdiene var lave og avtakende utover i fjorden, men

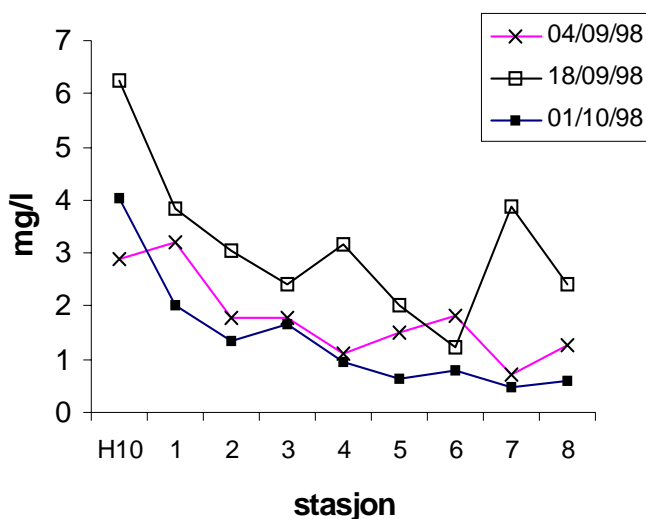
med stort sett høyere verdier den 18. september enn de to øvrige datoene. Førstnevnte dato ble det foretatt spyling på bekkeinntakene langs Nordfjord og dette er sannsynligvis årsaken til en noe høyere tilførsel av partikler til fjorden denne dagen. SPM-målinger av kraftverksvannet vil sannsynligvis ikke påvise denne forhøyede partikkeltilførsel siden en stor del av partiklene vil transporteres i de gamle bekke- og elveleiene langs Nordfjord og direkte ut i fjorden.

Partikkelmengden på stasjon 4, rett utenfor Enganeset, var bortsett fra 18. september, ca 1/4 - 1/3 av mengden innerst i Nordfjord (st H10). Dette er omtrent det samme forhold som ble registrert ved tilsvarende målinger i 1994 (se kap. 3.2.3.)

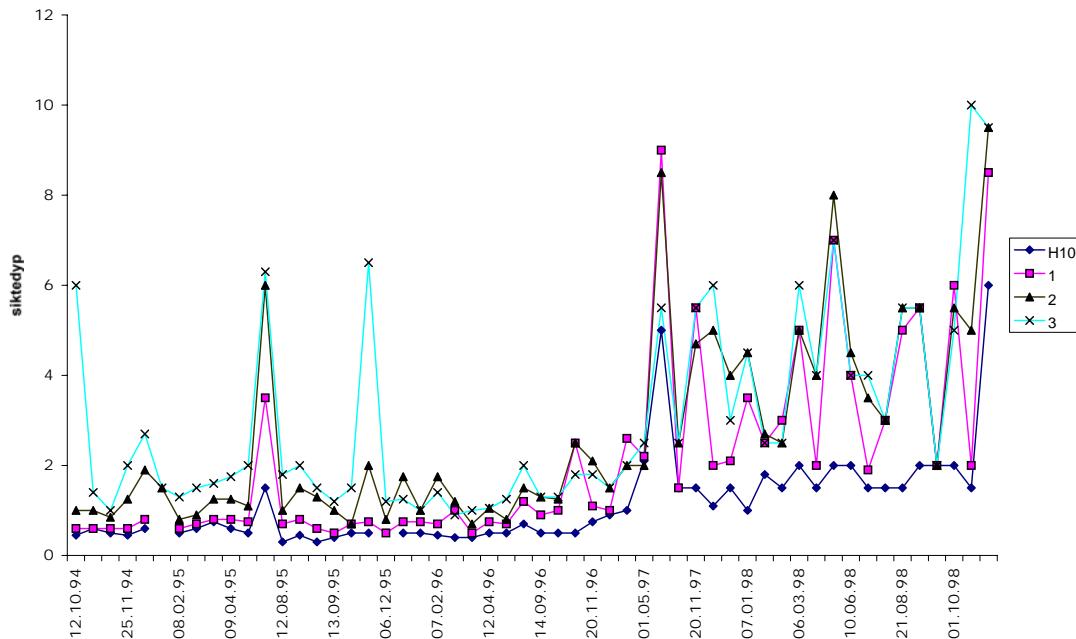
Tabell 4. Totalt suspendert materiale (SPM, mg/l) i overflatelaget og siktedyp på ni stasjoner i Nord-/Holandsfjord ved tre anledninger med kraftverket i drift. 18/9 ble det foretatt spyling på bekkeinntakene langs Nordfjord.

Stasjon	4/9 1998		18/9 1998		1/10 1998	
	SPM	Siktedyp	SPM	Siktedyp	SPM	Siktedyp
H10	2,89	2	6,23	2	4,04	2
1	3,2	5,5	3,84	2	2,02	6
2	1,77	5,5	3,05	2	1,36	5,5
3	1,76	5,5	2,4	2	1,68	5
4	1,1	7	3,16	3,5	0,94	9
5	1,5	6,5	2,02	4	0,64	8
6	1,81	7,5	1,21	6,5	0,78	9
7	0,71	6,5	3,87	4,5	0,46	7
8	1,27	8,5	2,4	12	0,59	11

Siktedypsmålinger i fjorden vil i stor grad avspeile mengden suspendert materiale i vannet. Ut fra Figur 8, som viser siktedyp på de fire stasjonene i Nordfjord, kan en se at forholdene har bedret seg i det siste år. Denne utvikling er i tråd med den nedgang i transport av suspendert materiale gjennom kraftverket som NVE har registrert i de senere år. Siktedypet i store deler av Nordfjord indikerer nå en tilstand som kan klassifiseres som 'mindre god' til 'god' (Molvær *et al.* 1997). I Holandsfjord er tilstanden stort sett god.



Figur 7. Totalt suspendert materiale (SPM, mg/l) fra brakkvannslaget på ni stasjoner i Nord-/Holandsfjord ved tre anledninger høsten 1998 med kraftverket i drift.



Figur 8. Siktedyp (m) på fire stasjoner i Holandsfjord (innenfor Enganeset) 1994-1998 med kraftverket i drift. Data fra Statkraft.

3.2.3 Sedimentasjon i dypvannet

Partikler faller gjennom vannmassen med forskjellig hastigheter avhengig av deres fysiske egenskaper. Dette er den faktoren som har størst betydning for klastiske sedimentavsetninger i et hvilket som helst akvatisk miljø (Kranck 1980).

Sedimenteringshastigheten vil i stor grad variere med partikkelstørrelsen. Partiklens teoretiske synkehastighet kan beregnes ved Stokes' lov:

$$v = \frac{2}{9\eta} * g * R^2 * \Delta\rho \quad (1)$$

der: v = synkehastigheten

η = sjøvannets viskositet (her satt til 0,014 kg/ms, for sjøvann ved 10°C)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

R = partikkelens radius

$\Delta\rho$ = tetthetsforskjell mellom partikkelen og sjøvannet

Formelen er meningsfull for finkornet sfæriske partikler av bestemt / konstant størrelse og tetthet i stillestående vann med konstant viskositet og tetthet. Dette er langt fra tilfelle i Holandsfjorden, og bruk av denne formelen på små partikler vil gi en grov tilnærming av de virkelige synkehastighetene i området. Følgende forutsetninger er bl.a. ikke oppfylt:

- a) Vannmassene i Holandsfjorden er ikke stillestående, noe som trolig spiller mindre rolle for de største partiklene, men turbulens kan redusere synkehastigheten for de minste partiklene. Med økende turbulens oppstår et såkalt Oseens drag på partiklene. Dette draget influeres av to bidrag, ett som er avhengig av diameteren på partikkelen, strømhastighet og viskositeten i vannmassene og et annet bidrag som er trykket som oppstår på motstrøms side av partikkelen (Weisenborn & Tenbosch 1995).

- b) Viskositeten vil variere med temperatur og salinitet, spesielt i de øvre 5 m.
- c) Partiklene er ikke "kulerunde", men har en irregulær form med større overflate enn en kule. Dette gjør seg særlig gjeldene med avtagende partikkelstørrelse, noe som vil bidra til å redusere synkehastigheten.
- d) Av størst betydning er flokkulering. En stor andel av partiklene som innblandes i sjøvannet vil ikke sedimentere som enkeltkorn, men som fnokker eller aggregater av flere "sammenklistrede" enkeltkorn. Flokkulering av leirmineraler starter ved lave saltholdigheter og er for de fleste fullstendig ved en saltholdighet på ca. 4 (Whitehouse *et al.* 1960). Organiske hinner av forskjellige slag er ofte bindemidlet i slike aggregater, noe som øker både størrelse og styrke på aggregatene.

Eksperimentelle forsøk har vist at sedimentasjon av partikler skjer i to hovedtrinn (Kranck 1986):

1. Større partikler som silt og sand vil kunne sedimentere som enkeltkorn. I dette tilfelle gir Stokes beregning av fallhastigheten en bra tilnærming
2. I tillegg skjer en utsynking av aggregerte partikler (fnokker). Dette er sammenkittede partikler av alle størrelser.

For Holandsfjorden kan man gjøre følgende tilnærming for å bedømme hvor sand og siltfraksjonen sedimenterer. Den innerste terskelen ligger 1 km ut i fjorden, terskeldypet er 60 m og bassengdypet er ca. 75 m. Våre beregninger viser at brakkvannslaget innenfor Enganeset har en typisk oppholdstid på ca. 1-1.5 døgn, dvs. en gjennomsnittlig strømhastighet på 7-10 cm/s utover fjorden. Det vil i så fall ta vannet 2-3 timer å nå ut til første terskel. Vi forutsetter så at sandpartikler og større siltfraksjoner kan beregnes etter Stokes formel:

-Sandfraksjonen med en diameter på ca. 2000 μm vil kunne synke til 75 m etter 10 minutter. Denne vil altså sedimentere innenfor første terskel innerst i Nordfjord.

-Sandpartikler mellom 63-2000 μm . Her vil selv de minste partiklene kunne nå ca. 100 m vanddyp etter omkring 24 timer. Vi kan derfor regne med at partikler helt ned til denne størrelsen sedimenterer så raskt at de vil havne innenfor Enganeset.

-Partikler ned til 20-30 μm (grovere siltpartikler og aggregater av mindre partikkelfraksjoner) vil teoretisk synke med en hastighet >1 m/5 timer og faller dermed oftest gjennom brakkvannslaget og ned i det langsomtflytende sjøvannslaget i løpet av 15-30 timer. Partiklene kan dermed sedimentere både innenfor og utenfor Enganeset. Umiddelbart under brakkvannslaget vil det finnes en (i gjennomsnitt) innadgående strøm som erstatter det sjøvannet som fjernes fra fjorden gjennom det utstrømmende brakkvannslaget. Denne mekanismen kan fange opp langsomt synkende partikler langt ute i fjorden og bringe dem innover igjen mens de synker videre. Det lar seg ikke gjøre å beskrive denne situasjonen kvantitativt, men sannsynligvis bidrar dette sirkulasjonsmønsteret til å øke andelen av partikler som sedimenterer innenfor Enganeset.

-Enkeltpartikler $< 20 \mu\text{m}$ (leire, finere siltfraksjoner, mindre aggregater av partikler) vil kunne transporteres til dels langt forbi Enganeset før sedimentasjon. Som nevnt over vil siltpartikler også inngå i fnokker, som øker synkehastigheten. Vi kan ikke si noe sikkert om dannelse og utsynking av flokkulert materiale i fjorden. Flokkdannelse er avhengig av et stort antall faktorer som organisk / uorganisk sammensetning, kornstørrelse, tetthet, saltholdighet, turbulens, pH og mineralogien på enkeltkornene (Kranck 1986). Disse er det lite kjennskap til i Holandsfjorden.

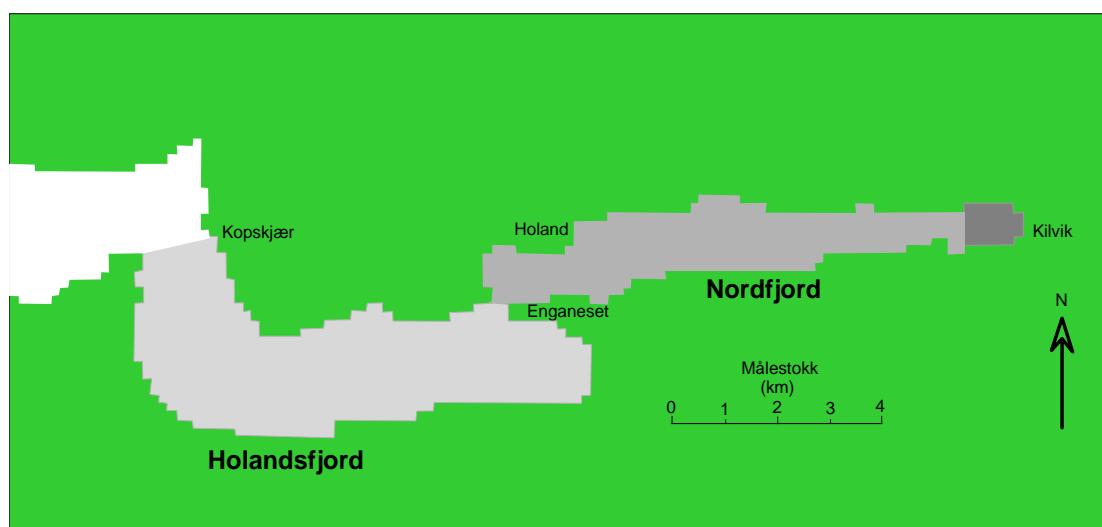
Vi kan imidlertid gjøre en annen tilnærming ved å se på observerte endringer i konsentrasjonen av suspendert materiale (SPM) i en gradient ut fjorden (Molvær & Sørensen 1994). Den 12.10.94 ble det målt ca. 20 mg SPM / l vann i overflatelaget utenfor kraftverksutslippet i innerste del av fjorden, sannsynligvis i alt vesentlig som silt og leire. Omkring 6-7 kilometer lenger ut i fjorden var konsentrasjonen halvert, og like utenfor Enganeset var konsentrasjonen i overflatelaget redusert til

ca. 5 mg SPM / l sjøvann, en reduksjon på 75 %. Vanlig konsentrasjon av SPM i sjøvann er 1 – 2 mg / l. Dette kan tyde på at 25-30 % av det suspenderte partikulære materialet den gang ble transportert forbi terskelen ved Enganeset.

Tilsvarende målinger utført den 26.10.94 viste en konsentrasjon på ca. 15 mg SPM / l i brakkvannslaget utenfor kraftverksutløpet, og på nytt omkring den halve konsentrasjonen på stasjonen 6-7 km lenger ute i fjorden. Rett utenfor Enganeset var konsentrasjonen ca. 5 mg SPM / l, som tyder på at i størrelsesorden 30 % av det suspenderte partikulære materialet også den gang ble transportert forbi terskelen ved Enganeset.

Vi har ikke data som viser tilførselene til fjorden i disse to dagene, men ut fra saltholdigheten i brakkvannslaget på den innerste stasjonen (ca. 3 den første datoen og ca. 13 den andre datoen) kan vi anslå en fortykning som tilsvarer en opprinnelig konsentrasjon på 25-35 mg/l av silt-/leire fraksjonen i avløpsvannet. Det er vanskeligere å beregne sandfraksjonen på denne måten siden denne raskt synker ut når den kommer ut i fjorden. En kan også forvente at andelen av denne fraksjon vil avta ved normal drift av kraftverket (avsluttet anleggsvirksomhet og kote 550-585 i magasinet). Sommerstid vil andelen av sandfraksjonen variere med innslag av vann fra nord-sør overføringene.

Leirefraksjonen i det tilførte materialet varierer som tidligere nevnt, fra ca. 50 til 100%, men hvis vi tar utgangspunkt i en relativ fordeling mellom sand:silt:leire i avløpsvannet tilsvarende 5:10:85, så kan man antyde hvordan de sedimenterer (Figur 9). Sand vil i hovedsak sedimentere innerst i Nordfjord, relativt store partikler av silt og fnokker av silt og leire havner innenfor Enganeset, mens leire og finere siltpartikler kan bli transportert ut i de ytterste deler av Holandsfjord.



Figur 9. Kart som skisserer hvor hovedmengden av sand, silt og leire antas å sedimentere i Holandsfjord/Nordfjord. Sand = mørkt grå skravering, relativt store partikler av silt og fnokker av silt og leire = mellomgrå skravering, leire og fine siltpartikler = lys grå skravering.

4. Effekter av partikler

I det følgende kapittel vil mulige biologiske effekter av partikkelforurensing bli diskutert og vurdert i forhold til den tilstand som er registrert i Nordfjord/Holandsfjord, og den tilstand vi forventer for fremtiden. Det er til nå ikke blitt målt eventuelle biologiske effekter av partikkeltilførselen til fjorden, og av denne grunn blir diskusjonen basert på en kombinasjon av faglig skjønn og referanser til tidligere utførte arbeider fra relevante områder.

4.1 De frie vannmasser - Pelagialen

4.1.1 Effekter på plankton

Ferskvannstilførselen til Holandsfjorden var før omlegging noe høyere i den ytre- enn i den indre del. Dette kom av at en rekke mindre elver og bekker drenerte langs store deler av fjordens nord- og sydsida. I dag er denne situasjon endret; ferskvannstilførselen er på årsbasis tredoblet, og det meste av ferskvannet slippes ut via kraftverket innerst i fjorden. Kaartvedt & Aksnes (1992) antok at høy zooplanktonfødelighet i Sandsfjordene (Ryfylke) skyldtes den store ferskvannstilførselen fra kraftverket innerst i Hylsfjorden. Planktonet ble transportert innover i fjorden med kompensasjonsstrømmen og i den turbulente blandingssonen ved utslippet ble de ført inn i vannmasser med lavere saltholdighet. Dette førte til osmotisk stress med påfølgende høy dødelighet. Kaartvedt & Svendsen (1995) mener at hele plankton dynamikken i Hylsfjorden har blitt endret etter reguleringen av ferskvannstilførselen. I Holandsfjorden har det ikke vært utført tilsvarende undersøkelser, men en effekt på pelagialen fra partikler kan være vanskelig å skille fra en som er et resultat av ferskvannsomleggingen. En negativ påvirkning av organismer lavt i næringskjeden (f.eks. planteplankton) slår ofte uheldig ut høyere opp siden produksjonen hele veien oppover i næringskjeden vil bli redusert.

Følgende biologiske effekter i pelagialen er tenkelige ved en økt partikkelkonsentrasjon i vannmassene:

1. Effekter av lysvekning som funksjon av partikkelmengde.
 - Redusert eufotisk sone – lavere produksjon
 - Redusert primærproduksjon - redusert total karbonfiksering
 - Redusert fødetilgang til dyreplankton
 - Redusert total planktonproduksjon i Holandsfjorden
 - Redusert lystilgang kan påvirke den vertikale fordelingen av dyreplankton.
2. Direkte effekter av partikler på organismer.
 - Suspenderte partikler kan danne aggregater med alger. Dette kan gjøre algene mindre tilgjengelige for beiter og øke sedimentasjonshastigheten.
 - Partikler kan skade filteringsapparatet til enkelte arter av dyreplankton. Det er imidlertid, så vidt oss bekjent, ikke gjort undersøkelser på dette for marine arter.
 - For filterende dyreplankton, som ikke filterer selektivt, kan stort inntak av uorganiske partikler endre egenvekten.
 - Eventuelt stress på plante- og dyreplankton som følge av høy partikkelkonsentrasjon.

Fotosyntetiserende planktonalger skaffer seg energi til fotosyntesen fra innstrålt lys. I en vannsøyle absorberer vannmolekylene selv lys, og i tillegg vil partikler i vannet (organiske og uorganiske) absorbere og spre lyset - noe som resulterer i at mengden innstrålt lys avtar nedover i vannsøylen. Som en generell betraktning antas at algene har en netto primærproduksjon i den delen av vannsøylen

hvor lyset overstiger 1% av lyset ved overflaten (eufotisk sone). Dersom partikkelmengden øker i denne delen av vannsøylen, vil gjennomskinneligheten i vannet og dybden av den eufotiske sonen reduseres. Økt partikkelmengde resulterer dermed i at en mindre del av vannsøylen vil bidra til algenes nettoproduksjon. Konsekvensen av dette vil være at primærproduksjonen pr. arealenhet reduseres i forhold produksjonen ved normale lysforhold.

Økt partikkelmengde i vannmassene kan med andre ord føre til en redusert produksjon av planktonalger i hele det området som er partikkelpåvirket. Denne reduksjonen i tilgjengelig algebiomasse vil kunne føre til redusert fødetilgang for algespisende dyreplankton. Resultatet vil bli en redusert planktonproduksjon i influensområdet.

En forsterkende negativ effekt av økt partikkelkonsentrasjon er at suspenderte partikler kan danne aggregater med alger som gjør algene mindre tilgjengelige for beiter og fører til økt sedimenteringshastighet. For filtrerende dyreplankton kan også inntaket av store mengder tunge uorganiske partikler føre til økt egenvekt slik at dyrene må forbruke mer energi enn normalt for å holde riktig posisjon i vannsøylen (Hessen 1992).

Et annet forhold som synes lite undersøkt spesielt i fjordområder, er i hvilken grad partikler i seg selv virker stressende på plante- og dyreplankton.

For flere av de karnivore artene (plankton og fisk) som beiter på mindre arter, betyr en reduksjon av vannets gjennomskinnelighet at de må høyere opp i vannsøylen for å kunne se sitt byttedyr. Det vil si at den vertikale fordelingen av arter kan endres som følge av økt partikkeltetthet i den øvre del av vannsøylen.

Totalt sett vil økt partikkelbelastning i et fjordområde kunne bety en betydelig reduksjon i planktonproduksjonen. Dermed vil næringsgrunnlaget for den totale pelagiske produksjonen avta - noe som kan resultere i endringer i den etablerte næringskjeden i fjorden. Forandret vertikalfordeling hos de karnivore artene som følge av dårligere sikt i vannmassene, kan med andre ord endre fjordens produksjonsforhold.

Som tidligere nevnt er det i de siste år registrert en markant nedgang i tilførselen av partikler til fjorden via kraftverket. Både siktedyp- og SPM-målinger har indikert at forholdene i vannmassene ikke ligger langt unna det en normalt vil finne i kystvann. Det er anledning til å tro at disse bedringer vil vare, og vi anser derfor at påvirkningen fra partikler på plankton vil være liten, muligens med unntak for de innerste deler av Nordfjord.

4.1.2 Effekter på fisk

Fjorder kan være viktige gyte- og oppvekstområder for f.eks. sild, lodde og brisling. En endring av planktondynamikken i en fjord kan slå uheldig ut på næringstilgangen for disse artene. Torsk, kolje og sei er eksempler på økonomisk viktige arter av mer endemisk slag som ofte forekommer i fjorder. Det er publisert sparsomt med studier av hvordan fisk påvirkes av uorganiske partikler i suspensjon. For ferskvannsfisk har den europeiske innlandsfiskekommisjonen (EIFAC 1965) foreslått grenseverdier for eksponering av suspenderte partikler (Alabaster & Lloyd 1982):

- <25 mg/l Ingen skadelige effekter
- 25-80 mg/l Noe redusert avkastning
- 80-400 mg/l Betydelig reduksjon i avkastning
- >400 mg/l Meget dårlig fiske

I Holandsfjorden er det ikke blitt registrert partikkelkonsentrasjoner >25mg/l i de vannprøver hvor en har analysert på suspendert materiale. Den høyeste SPM-verdien i kraftverksvannet var i 1998 110

mg/l og dette vil med en umiddelbar 50%- innblanding av sjøvann tilsvare en konsentrasjon på 55 mg/l helt innerst i fjorden. Denne høye tilførsel ble kun registrert i én dag og vil neppe ha betydning for fiskeriene i fjorden.

4.2 Bunnområdene – Benthalen

Holandsfjorden har vært resipient for breslam over meget lang tid. De biologiske samfunn i fjorden har derfor hatt mulighet å tilpasse seg disse forhold. Et karakteristisk trekk ved brefjorder er den periodevis høye tilførselen av slam som til stor grad består av uorganisk materiale. Vanligvis er dette mest fremtredende i de indre deler av fjorden hvor en normalt har den største tilførselen av vann. I de indre deler av Holandsfjorden er det målt mellom 7 og 9 mg/g av totalt organisk karbon (TOC) i toppsedimentene (0-2cm), mens det i den ytre delen av fjorden ble målt 21,5 mg/g TOC (Holte & Gulliksen 1998). Ved undersøkelsene i 1991-92 ble det observert en kraftig nedslamming av hardbunnsfaunaen i Holandsfjord, særlig på de indre stasjoner. En slik nedslamming vil over tid være fatal for mange organismer. Observasjonene ble understøttet av de samtidige sedimentfelleundersøkelsene som viste en meget høy sedimentasjon i den samme tidsperiode. Det tilførte slammet sedimenterte raskt og må derfor ha bestått av forholdsvis grove partikler. Det er sannsynlig at dette var en ekstraordinær situasjon med opphav i store nedbørsmengder kombinert med omfattende blottlegging av løsmasser på land under anleggsarbeidet. Før anleggsarbeidet startet opp var sannsynligvis andelen grove partikler-, og total mengde tilført slam mindre. Fra denne periode finnes det imidlertid ingen undersøkelser som kan bekrefte dette. I 1994, etter at det meste av anleggsarbeidet var avsluttet, ble det imidlertid registrert en høyere andel finpartikulært materiale i bløtbunnsområdene enn det ble gjort i 1991-92 (Holte 1994). Etter at kraftverket kom i drift slippes alt vann, og dermed majoriteten av slammet, ut innerst i fjorden. I perioder vil imidlertid vann slippes ut fra overløp på de s.k. takrennene som går langs fjellsidene, en kan i starten av disse perioder forvente en puls av kraftig partikkeltilførsel til fjorden.

Partikkeltilførselen til fjorden har etter at kraftverket startet periodevis vært meget stor, men årsakene til dette ligger nok til en stor grad i den kraftige nedtapping Storglomvatn har vært utsatt for. Ved en fremtidig "normal" drift vil en antageligvis unngå slik høy tilførsel av breslam til fjorden og det er dette en har kunnet registrere i de siste års målinger i fjorden. Det er særlig de større partikler en kan forvente en mindre tilførsel av siden disse sannsynligvis vil sedimentere ut i Storglomvatn. Sommerstid vil andelen av sandfraksjonen variere med innslag av vann fra nord-sør overføringene.

Resultatene fra bløtbunnsundersøkelsene i 1991-92 antydte en økende miljøpåvirkning på fauna innover i fjordsystemet med den innerste stasjonen forholdsvis sterkt påvirket av ytre miljøfaktorer, trolig slamavsetting, mens den ytterste stasjonen syntes upåvirket. Artsmangfoldet var økende fra indre til ytre del, mens individantallet var avtagende. I indre del av fjordsystemet ble det ikke registrert bløtdyr (f.eks. muslinger og snegl) i 1992, og relativt få i 1991. Faunaforskjellene mellom stasjonene i fjordsystemet var generelt uttrykt ved økende innslag av bløtdyr og avtagende relativ forekomst av børstemark og krepsdyr utover i fjordsystemet. Ved undersøkelsene i 1994 var tilstanden i det vesentlige uforandret (Holte 1994).

Sedimentering og akkumulering av grove uorganiske partikler nær utslippet kan lede til instabile sedimentmasser og ras, med resuspensjon av partikler som resultat. Dette er tidligere blitt registrert innerst i Ranfjorden (Tesaker 1978) og det er sannsynlig at resultatene av slike ras vil være negative for bløtbunnsfaunaen. Utenfor Canada ble det undersøkt effekter på bløtbunnsamfunn etter dumping av mudrede sedimenter (Harvey *et al.* 1998). Resultatene viste at samfunn og sedimenter trengte mer enn 2 år for å reetablere en struktur som var lik den i referanseområdene.

I 1991-92 økte antallet fastsittende alger utover i fjorden, mens det for dyrene ikke kunne registreres en tilsvarende endring. En tidligere undersøkelse av Farrow *et al.* (1983) viste at mengde og mangfold av fauna på bratte fjellvegger avtok med en økt sedimentering av breslam innover i en fjord. Nedslamming av bunnen fra sedimenter og ekstrem turbiditet i vannet ved Abra de Bilbao i nordlige Spania forårsaket tilnærmet utryddelse av flora, mens enkelte evertebrater virket favorisert av forholdene (Gorostiaga & Díez 1996).

En større spredning av partikler utover i fjorden kan bety et redusert siktedyp i store deler av fjorden. Dårligere lysforhold nedover i vannmassene vil sannsynligvis over tid redusere vekstpotensialet for den bentiske algebiomassen i fjorden (reduisert nedre voksegrense). Hos alger kan en også forvente en direkte redusert fotosynteseaktivitet fordi nedslammingen av bladene reduserer den effektive overflaten. Det er blitt registrert at ferskvannslaget i gjennomsnitt er blitt ca. 1m tykkere etter ferskvannsomleggingen (når kraftverket er i drift). Dette vil sannsynligvis redusere den vertikale utbredelsen av tangsamfunn oppover i fjæra, noe som kan forsterkes av den økte faren for isskuring utover i fjordsystemet. En kan da få oppleve at tangsamfunnene erstattes av ettårige hurtigvoksende algetyper. Algeforekomstene i Holandsfjorden er fra før av sterkt regulert av kråkebollebeiting (Holte *et al.* 1994).

Høy partikkeltilførsel er en belastning for mange organismer, og man vet med sikkerhet at filterspisere, - og da i særlig grad filtrerende dyr som muslinger, svamp, sekkedyr samt også noen krepsdyrarter, tar skade av en økt partikkelbelastning (Moore 1977). Det er i hovedsak tre måter et høyt uorganisk partikkelinnhold kan innvirke negativt på akvatiske organismer:

1. Mekanisk skuring.
2. Sedimentering, som helt eller delvis kan dekke over organismer.
3. Økt energibehov ved næringsopptak hos filtrerende dyr.

Av de mer alvorlige effekter dette kan medføre for bunndyr, nevner Moore (1977):

- Økt mortalitet og/eller nedsatt vekst (eks. sekkedyr).
- Forstyrret utvikling av egg og larver.
- Reduksjon av oksygen- og næringsopptak.
- Blokkering av ekskresjonssystemer.
- Ødeleggelse av potensielt substrat for larver (eks. posthornmark)

En høy partikkelmengde, kombinert med bevegelse i vannmassene, vil også kunne medføre en "skuringseffekt" som kan forstyrre den viktige nedslåingsprosessen til de bentiske organismenes larvestadier. Rekruttering og spredning av bentiske arter med planktonisk larvestadie kan også påvirkes av den endrede hydrodynamikken i fjorden.

Det er stor sannsynlighet for at både bløtbunns- og hardbunnsamfunnen har vært påvirket av den høye partikkeltilførselen en hadde i de første årene etter oppstart av kraftverket, og under det forutgående anleggsarbeidet. Med den reduksjon vi nå har observert i tilførsler er det gode muligheter for at tilstanden igjen kan bedre seg, men en må regne med en reetableringstid på 2-3 år. De grovere partiklene i tilførslene vil sedimentere ut i den indre delen av Nordfjord og her vil en få en påvirkning som kan være av lokal betydning. Ved spyling av bekkeinntakene langs fjorden vil grovere partikler spres i et større område av fjorden enn under normal drift. Det er vanskelig å kvantifisere partikkelmengden som da vil tilføres fjorden, men biologiske samfunn som lever i brefjorder som Holandsfjorden er naturlig tilpasset økte partikkeltilførsler i smelteperioder.

5. Forslag til videre undersøkelser

Pågående undersøkelser som er relevante for problemstillingen:

- Vannstand i Storglomvatn; noteres daglig av Statkraft.
- Driftsdata for kraftverket; driften av kraftverket styrer i praksis ferskvannstilførselen til fjorden og er derfor en nødvendig bakgrunnsparameter. I driftsdataene bør det fremkomme, mengde vann, representative målinger som angir mengde suspendert partikulært materiale og sammensetning av det partikulære materialet (kornfordeling).
- Temperatur, salt og siktedyp i Holandsfjorden. Måles hver 14. dag
- Isforhold i Holandsfjorden, observeres kontinuerlig. Dette er en viktig bakgrunnsparameter for de biologiske gruntvannsregistreringer
- Meteorologiske forhold i Holandsfjorden, registreres kontinuerlig.
- Sedimenttransport ut i Engabrevatn, pluss vannføring i Engabrevatn.

Forslag til tilleggsundersøkelser:

Hovedhensikten med de foreslåtte undersøkelser er å opparbeide et godt sett med data rundt de støtteparametre som vil være til god hjelp ved de ordinære etterundersøkelsene. Vi forutsetter at ovenstående undersøkelser fortsetter i samme omfang frem til etterundersøkelsene og vi vil i særlig grad fremheve betydningen av SPM- og kornfordelingsanalysene i det vann som går fra kraftverket og ut i fjorden. Vi anser det ikke nødvendig med noen undersøkelser av eventuelle biologiske effekter før etterundersøkelsene gjennomføres.

Følgende tilleggsundersøkelser foreslås:

- Totalt suspendert materiale i Holandsfjorden, måles hver 14. dag i ferskvannslaget, og på 10m dyp på et utvalg av stasjonene. Første prøvetaking var 4. september d.å.
- Kornfordeling og karakteristikk av partikler i sjøvannsprøver fra Holandsfjorden, vertikalt og horisontalt. Gjentatte målinger under ulike forhold. Vil gi kunnskap om hvor de ulike partikkelfraksjoner sedimenterer ut i fjorden.
- Eventuelt sedimentfeller, kan vurderes etter at ovenstående punkt er gjennomført
- SPM-målinger i det vann som går fra Engabrevatn og ut i fjorden. Disse målinger bør utføres av NVE siden de innehar den nødvendige kompetanse.
- Det bør foretas en befaring i området av en fagperson fra NIVA. Fortrinnsvis i samband med de rutinemessige undersøkelsene i fjorden, og i en periode når kraftverket er i drift.

Ordinære etterundersøkelser:

De ordinære etterundersøkelser, som er planlagt til år 2001-02, vil være en oppfølging av de undersøkelser som ble utført i Holandsfjorden i 1991-92 (se Holte *et al.* 1994). Det anses ikke være nødvendig å forsere gjennomføringen av disse.

6. Litteratur

- Alabaster J.S. & R. Lloyd. 1982. *Water quality criteria for freshwater fish*. Butterwords publ., London.
- Bogen J., Bønsnes T.E., Elster M. & H.C. Olsen. 1996 *Erosjon i Storglomvatn –magasinet, Svartisen kraftverk*. NVE rapport 37 1996. 75s.
- ECGL 1995: *SMS Surface Water Modeling System*. Reference Manual, 1995. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 369 B CB, Provo, Utah 84602, USA.
- EIFAC 1965. *Working party on water quality criteria for European freshwater fish*. Report on finely divided soils and inland fisheries. (EIFAC technical paper no. 1). *Air and Water Pollution*. 9: 151-168.
- Farrow G.E., Syvitski J.P.M. & V. Tunnicliffe. 1983. *Suspended particulate loading on the macrobenthos in a highly turbid fjord: Knight Inlet, British Columbia*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 (suppl. 1): 273-288.
- Gorostiaga J.M. & I. Díez. 1996. *Changes in the sublittoral benthic marine macroalgae in the polluted area of Abra de Bilbao and proximal coast (Northern Spain)*. *Mar Ecol Prog Ser.* 130: 157-167.
- Harvey M., Gauthier D. & J. Munro. 1998. *Temporal changes in the composition and abundance of the macro-benthic invertebrate communities at dredged material disposal sites in the Anse à Beaufils, Baie des Chaleurs, Eastern Canada*. *Mar. Poll. Bull.* 36: no. 1, pp.41-55.
- Hessen D. 1992. *Uorganiske partikler i vann; effekter på fisk og dyreplankton*. NIVA-rapport 2787. 42 s.
- Holte B. 1994. *Bløtbunnsfauna i Holandsfjorden – oktober 1994*. Akvaplan-niva brev av 6.12.94, ref. 617.94.411/BH.
- Holte B., Johnsen T., Molvær J., Næs K., Pedersen A., Stigebrandt A. & M. Walday. 1994. *Undersøkelser av miljøforhold i Glomfjord og Holandsfjord i 1991-1992. Sammendragsrapport*. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport TA-1103/1994. NIVA-rapport 3082. 35 s.
- Holte B. & B. Gulliksen. 1998. *Common macrofaunal dominant species in the sediments of some north Norwegian and Svalbard fjords*. *Polar Biol* 19: 375-382.
- Kranck K. 1980. *Experiments on the significance of flocculation in the settling of fine-grained sediment in still water*. *Can. J. Earth Sci.* Vol. 17, 1517 – 1526.
- Kranck K. 1986. *Settling behavior of cohesive sediments*. In: *Estuarine cohesive sediment dynamics: proceedings of a workshop of cohesive sediment dynamics with special reference to physical processes in Estuaries*. Ed. Ashish, J. Mehta, Springer, 1986, 473 s, 151 – 169.
- Kvambekk Å.S. 1997. *Temperatur- og saltmålinger og isforhold i Holandsfjorden og Glomfjorden før åpningen av Svartisen kraftverk (1976-1993)*. NVE rapport 02 1997.
- Kaartvedt S. & D. L. Aksnes. 1992. *Does freshwater discharge cause mortality of fjord-living zooplankton?* *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 34: 305-313.

- Kaartvedt S. & H. Svendsen. 1995. *Effect of freshwater discharge, intrusions of coastal water, and bathymetry on zooplankton distribution in a Norwegian fjord system*. J. Plankton Res. 17: no. 3. 493-511.
- Magnell J.-P. 1993. *Ferskvannstilførsel til Glomfjord og Holandsfjord (1991-92)*. Statkraft TT-notat. Miljø/002024. Oslo.
- Molvær J., Knutzen J., Magnusson J., Rygg B. Skei J. & J. Sørensen. 1997. *Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning*. SFT veiledning 97:03. TA-nr. TA-1467/1997. 36s.
- Molvær J. & K. Sørensen. 1994. *Målinger i Holandsfjord og Storglomvatn ved oppstart av Svartisen kraftverk oktober 1994*. NIVA-notat O-94182. 8s.
- Molvær J., Johnsen T.M., Lømsland E.R. & K. Sørensen. 1994. *Undersøkelser av miljøvirkninger fra utslipp av breslam til Holandsfjorden august 1994*. NIVA-rapport 3129. 22s.
- Moore P.G. 1977. Inorganic particulate suspensions in the sea and their effects on marine animals. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 15, 225-363.
- Stigebrandt A. & J. Molvær. 1994. *Undersøkelser av miljøforhold i Glomfjord og Holandsfjord i 1991-1992. Delrapport 2 Modellsimulering av effekter av endret ferskvannstilførsel til Holandsfjord*. NIVA-rapport 3060. SFT overvåkingsrapport 570/94. TA-nr. 1100/1994. 49s.
- Tesaker E. 1978. *Sedimentation in recipients. Disposal of particulate mine waste*. VHL-report No. STF Go A78105, 72p.
- Weisenborn A.J. & B.I.M. Tenbosch. 1995. *The Oseen drag at infinite Reynolds-number*. Siam Jour. App. Math., 55, 5, 1227 – 1232.
- Whitehouse U.G., Jeffrey L.M. & J.D. Debrecht. 1960. *Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters*. In: Swineford, A. (Ed.): *Clays and clay minerals: 1-79*. – Proc. 7th Nat. Conf. Pergamon, New York.