

RAPPORT LNR 4197-2000

Konsekvensvurdering
vedrørende overutslipp
av suspendert partikulært
materiale fra renseanlegg
for venturislam -
Tinfos Titan & Iron,
Tyssedal

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 Konsekvensvurdering vedrørende overutslipp av suspendert partikulært materiale fra renseanlegg for venturislam - Tinfos Titan & Iron, Tyssedal	Løpenr. (for bestilling) 4197-2000	Dato 14.02.00
	Prosjektnr. Undernr. 20062	Sider Pris 11
Forfatter(e) Jens Skei	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Tinfos Titan & Iron, Tyssedal	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag I forbindelse med et overutslipp av suspendert materiale fra renseanlegg for venturislam ved Tinfos Titan & Iron Tyssedal i oktober 1999 er det gjort en konsekvensvurdering med hensyn til potensielle skadevirkninger på Sørfjorden. Mengdemessig var overutslippet stort (27 tonn i løpet av oktober måned) og avløpsvannet må i gjennomsnitt ha inneholdt 535 mg/l suspendert stoff. På grunn av sterkt skrånende terreng i utslippsområdet er det ikke forventet at slammet har hopet seg opp på bunnen. Små partikler (6µm) i slammet har trolig ført til at slammet er transportert langt som en slamsky. Det forventes at vannkvaliteten i denne slamskyen kan ha hatt negativ innvirkning på organismer som har kommet i kontakt med slamskyen. Utslippet skjedde på dypt vann og det var ikke fare for nedslamming av gruntvannsorganismer. Slammet inneholdt 1-3% sink samt noe krom, vanadium og niobium, foruten store mengder jern og mangan. Innholdet av sink i slammet forventes å ha hatt liten miljøkonsekvens sammenlignet med utslippet av løst sink i avløpsvannet, som er et regulært utslipp (590 kg løst sink pr. måned). Konklusjonen blir at overutslippet i mengde var stort, men på grunn av at dette er et dypvannutslipp og utslippet skjer i skrånende terreng så var det ingen fare for nedslamming av gruntvannsorganismer og opphopning i utslippsområdet. Slammet hadde et høyt metallinnhold, men ettersom metallene forventes å foreligge på oksidform vil miljøkonsekvensen være mindre. Sammenlignet med det regulære utslippet av løst sink er miljøkonsekvensen av dette utslippet av mindre betydning.
--

Fire norske emneord 1. Tinfos Titan & Iron 2. Sørfjorden 3. Partikulært utslipp 4. Miljøkonsekvenser	Fire engelske emneord 1. Tinfos Titan & Iron 2. Sørfjorden 3. Particulate discharge 4. Environmental consequences
--	---



Prosjektleder
Jens Skei

Forskningsleder
ISBN 82-577-3816-6



For Forskningssjef
Bjørn Braaten

O-20062

**Konsekvensvurdering vedrørende overutslipp av
suspendert partikulært materiale fra renseanlegg for
venturislam - Tinfos Titan & Iron, Tyssedal**

Forord

NIVA ble bedt om å gjøre en vurdering av konsekvensene av et overutslipp av suspendert materiale fra renseanlegget for venturislam ved Tinfos Titan & Iron (TTI) i Tyssedal som skjedde i oktober 1999, med tanke på skadevirkninger på kort og lang sikt i Sørfjorden.

Vurderingen er basert på utslippstall og analysedata stilt til rådighet av bedriften.

Olav Skeie har vært TTIs kontaktperson.

Jens Skei har vært NIVAs prosjektleder.

NIVA 14.02.00

Jens Skei
prosjektleder

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Vurdering av utslippets størrelse	7
3. Vurdering av utslippets sammensetning	8
4. Vurdering av overutslippet i forhold til fjordens miljøtilstand	10
5. Referanser	11

Sammendrag

Tinfos Titan & Iron i Tyssedal registrerte i oktober 1999 et overutslipp av suspendert materiale på 27 tonn som er høyere enn den midlertidige utslippstillatelsen på 11 tonn på årsbasis. Årsaken var driftsproblemer ved rensanlegget for venturislam. Bedriften ble derfor bedt av SFT om å få utført en konsekvensvurdering av utslippet og i hvilken grad det kan sannsynliggjøres at utslippet har påført Sørfjorden uønskede miljøeffekter. Resultatene av konsekvensvurderingen kan oppsummeres på følgende måte:

- **I mengde var utslippet av suspendert stoff meget stort og basert på den månedlige vannmengden som kommer fra rensanlegget må avløpsvannet i oktober 1999 ha inneholdt gjennomsnittlig 535 mg/l suspendert stoff.**
- **Det høye innholdet av suspendert stoff må ha ført til høy turbiditet i utslippsområdet (ca. 40 m dyp). SFT har ikke miljøkvalitetskriterier for mengde suspendert stoff i sjøvann.**
- **Den høye turbiditeten i den delen av vannmassen som er blitt påvirket av slamskyen må antas å ha hatt negative effekter på dyreplankton som er partikkelspisere. Fisk vil vanligvis unngå dårlig vannkvalitet.**
- **Utslippsledningen ligger i sterkt skrånende terreng og det er lite sannsynlig at det har skjedd en opphopning av slam i utslippsområdet. Det mest sannsynlige er at slamskyen har sunket fra 40m dyp og nedover mot dypbassenget på ca. 120 m.**
- **Ettersom det suspenderte materialet ble tilført Sørfjorden på dypt vann og langt under brakkvannslaget kan det fastslås at det ikke har skjedd en nedslamming av gruntvannsorganismer (blåskjell etc.).**
- **På grunn av liten partikkelstørrelse (gjennomsnittsstørrelse : 6 µm) er det sannsynlig at slamskyen er transportert langt før partiklene er sedimentert. Det betyr at påvirkningen på bunnsedimentene i dypbassenget må ha vært relativt beskjeden og at det ikke kan være snakk om betydelig nedslamming.**
- **Avløpsvannet fra rensanlegget for venturislam inneholdt store mengder sink og mindre mengder krom, vanadium og niobium i 1999. Det skyldtes bruk av australsk malm med høyt sinkinnhold. Bedriften har siden oktober 1999 brukt malm fra Tellnes-forekomsten i Rogaland som har et lavere metallinnhold.**
- **Fra et miljøsynspunkt er utslippet av løst sink i filtratet mest betenkelig. Maksimumkonsentrasjonen i filtratet ble målt til ca. 20.000 µg/l sink eller 1000 ganger høyere konsentrasjoner enn grenseverdien for kl.V Meget sterkt forurenset sjøvann i SFTs miljøkvalitetsklassifisering (gjennomsnitt for oktober 1999: 11.700 µg/l sink). Det bør imidlertid påpekes at utslippet av løst sink er uavhengig av overutslippet av suspendert materiale etter som dette er et regulært utslipp.**
- **Det suspenderte materiale inneholdt mellom 1-3% sink og overutslippet førte derfor til at fjorden fikk tilført mellom 270 og 810 kg sink bundet til slam. Sammenlignet med det regulære utslippet av 590 kg løst sink har det partikulære utslippet en beskjeden miljøpåvirkning. Det henger sammen med at sink er tilstede på oksid-form og vil i svært liten grad løses i sjøvann før eller etter sedimentering. Det innebærer også at sink bundet til partikler i liten grad vil være biotilgjengelig.**
- **Konklusjonen blir at overutslippet av suspendert stoff forringet vannkvaliteten fra 40 m dyp og ned til 120 m i et kortere tidsrom som følge av høy turbiditet. Det suspenderte materialet inneholdt høye konsentrasjoner av sink og moderate konsentrasjoner av andre metaller. På grunn av metallenes tilstedeværelse på oksid-form vil mobiliteten og biotilgjengeligheten være liten. Det regulære utslippet på 590 kg løst sink i oktober 1999 forventes å ha en langt større miljømessig betydning.**

Summary

Title: Environmental impact of discharge of suspended particulate matter from a titanium plant - Tinfos Titan & Iron, Tyssedal

Year: 2000

Author: Skei, Jens

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-xxxx-x

- A total amount of 27 tons suspended particulate matter was discharged from a purification plant for venturi sludge at a titanium plant in October 1999. The average concentration of particulate matter in the wastewater was 535 mg/l.
- The waste water was discharged at 40 m depth into Sjørfjorden and did not effect shallow water organisms (mussels etc.).
- It is expected that the high turbidity plume had negative influence on pelagic organisms (zooplankton) being exposed to the plume.
- The discharge took place on the steep side of the fjord and hyper sedimentation in the near vicinity of the waste water outlet is not likely. It is expected that the plume moved vertically from 40 m depth down to the deep basin of 120 m as a gravitational flow. The average particle size of the suspended sludge was 6 µm.
- The sludge contained 1-3% zinc and moderate levels of chromium, vanadium and niobium, all metals as oxides. This implies that the fjord received in the order of 270-810 kg zinc in particulate matter in October 1999. The environmental impact of this discharge is considered small compared with a regular discharge of 590 kg dissolved zinc in the same period from the same titanium plant.

1. Innledning

Tilførsler av partikulært materiale til det marine miljø omfatter både naturlige partikler (erosjonsprodukter, organiske partikler av marin og terrestrisk opprinnelse) og partikler som skyldes menneskelige aktiviteter (kloakkutslipp og industrielt avløpsvann). Økt partikkeltilførsel til det marine miljø fører til økt turbiditet i vannmassen og til økt sedimentering, avhengig av partiklenes størrelse. Små partikler (μm - størrelse) har lang oppholdstid i vannmassen og sedimenterer bare hvor strømhastighetene er små.

Hvis tilførselen av partikler skjer i overflatevannet kan økt turbiditet føre til nedsatt fotosyntese og mindre biologisk produksjon. Hvis økningen i turbiditet skjer på større vanddyp vil eventuelle miljøkonsekvenser være små, forutsatt at partiklene ikke inneholder skadelige stoffer. De organismene som i første rekke påvirkes av partikkelutslipp under den fotiske sonen (dvs. under ca. 20 m) er dyreplankton som er partikkelspisere. Disse dyrene er avhengig av at de partiklene de spiser har en næringsverdi. Store mengder uorganiske partikler i vannmassen kan således føre til ernæringsproblemer for dyreplankton.

Hvis mengden av partikler som tilføres en vannmasse som følge av menneskelig aktivitet er stor, vil dette kunne føre til stor sedimentering (hypersedimentering) og nedslamming av fastsittende organismer. Dette er ofte observert i nærheten av punktutslipp for partikulært materiale. Konsekvensen av dette kan være at fastsittende organismer dør.

Hvis de tilførte partiklene har et høyt innhold av organisk materiale kan en miljøkonsekvens være stort oksygenforbruk i vannmassen i forbindelse med nedbrytning av det organiske materialet. I slike tilfeller vil det kunne oppstå oksygenvikt i grenseflaten mellom sediment og vann.

Eksemplene ovenfor viser hvordan økt partikkeltilførsel til det marine miljø kan føre til miljø-ulemp. Ved mindre utslipp av partikulært materiale er det sjelden påvist skadevirkninger, med mindre partiklene inneholder skadelige stoffer.

Tinfos Titan & Iron rapporterte til SFT et overutslipp av suspendert stoff på 27 tonn fra renseanlegget for venturislam i oktober 1999. Bedriften har en konsesjon på et utslipp på 11 tonn suspendert stoff pr. år. Nye konsesjonsgrenser vil bli satt fra 1.01.2001.

I tillegg til suspendert stoff er det også et betydelig utslipp av sink som følge av bruk av en malmtyp med høyt sink-innhold. Bruk av australsk malm førte til en nesten dobling av utslippene av sink til Sørfjorden. I dag får bedriften malm fra Tellnes (ilmenitt-forekomst) i Rogaland, som har et betydelig lavere sink-innhold.

Spørsmålet som melder seg er i hvilken grad overutslippet av suspendert materiale (og sink og eventuelt andre metaller) i oktober 1999 kan tenkes å ha medført forurensningseffekter i Sørfjorden. Vurderingen er gjort på grunnlag av utslippstall og analyser av avløpsvann stilt til rådighet av bedriften.

2. Vudering av utslippets størrelse

I henhold til utslippstillatelsen skulle utslippet i oktober 1999 være maksimalt 1000 kg suspendert stoff. I stedet kom utslippet opp i 27.000 kg. Vannmengden som ble sluppet ut var 75 m^3 pr. time eller en vannmengde på 50.439 m^3 i oktober. Under forutsetning av at slammet var jevnt fordelt i vannmassen i oktober var det gjennomsnittlige innholdet av suspendert materiale i avløpsvannet 535

mg/l. I SFT's klassifisering av vannkvalitet inngår ikke grenseverdier for suspendert stoff. I sjøvann er innholdet av suspendert stoff vanligvis 1-2 mg/l i overflatevann og < 1 mg/l i vannmassen under sprangsjiktet (under brakkvannslaget). Sammenlignet med disse verdiene er konsentrasjonene av partikler i avløpsvannet svært høye.

Utslipet av avløpsvann fra renseanlegget for venturislam i Tyssedal skjer på 40 m dyp i sterkt skrånende terreng. Den største dybden i bassenget rett utenfor er i underkant av 120 m. Ettersom utslippet skjer i en skråning er det liten grunn til å forvente særlig opphopning av slam i utslippsområdet. Målinger av strømhastigheter i perioden november-desember 1999 i dypbassenget utenfor Tyssedal viste gjennomsnittshastigheter på 5-20 cm/sek i dybdeområdet 40-115 m dyp (Skei og Sundfjord, 2000). Det forventes at skyen med avløpsvann på grunn av sitt høye partikkelinnhold vil bre seg utover og synke mot de dypeste delene av bassenget, hvor mesteparten vil sedimentere. Den gjennomsnittlige partikkelstørrelsen i slammet er oppgitt til 6 µm. Så mye som 93 % av slammet har en kornstørrelse < 10 µm. Det innebærer at disse partiklene kan transporteres langt før det skjer en sedimentering.

Det at det ikke vil skje en nedslamming i utslippsområdet, utelukker dermed eventuelle effekter på fastsittende organismer. Dessuten skjer utslippet på dypt vann og gruntvannsorganismer (f.eks. blåskjell og O-skjell) vil ikke bli påvirket. Den eneste påvirkningen som kan tenkes er på dyreplankton og fisk. Dyreplankton som spiser partikler må forventes å bli skadelidende innenfor det området som ble sterkest påvirket av skyen med avløpsvann. I tillegg må man vente at fisk i området i stor grad unngikk det vannet som hadde høyt partikkelinnhold og i den sammenheng unngikk å bli påvirket.

Det totale utslippet av fast stoff til Sørfjorden fra TTI i 1996 (Miljøplan for TTI 1997-1999) var ca. 120 tonn, hvorav utslipp fra scrubber utgjorde ca. 100 tonn. Fra slamrenseanlegget ble det målt et utslipp av fast stoff på ca. 12 tonn. Det bør påpekes at TTI også i perioden 1988-1993 rapporterte akuttutslipp, hovedsaklig suspendert stoff fra venturivasker (Skei et al., 1998). Mengdene av suspendert stoff som ble sluppet ut i 1988 var enkelte døgn oppe i over 9 tonn, og dermed betydelig større utslipp enn i oktober 1999. I hele 1989 ble det sluppet ut 2000 tonn suspendert materiale fra venturi-gassrenseanlegget som akuttutslipp. I 1990 var mengdene nede i 370 tonn venturislam i forbindelse med overløp fra slamrenseanlegget og i 1991 nede i vel 100 tonn. Det ble ellers rapportert et støtutslipp fra TTI 6 juni 1993 av 8.3 tonn suspendert materiale fra venturivasker (Skei et al., 1998). I den sammenheng er ikke overutslippet i oktober 1999 spesielt dramatisk.

Konklusjonen må derfor bli at de fysiske miljøeffektene av partikkelutslippets størrelse neppe førte til store miljøfortyrrelser i Sørfjorden. Årsaken er at utslippet skjedde på dypt vann og i skrånende terreng, slik at det ikke kan forventes en opphopning av slam (neslamming).

3. Vurdering av utslippets sammensetning

Miljøeffektene av et stort partikkelutslipp vil ikke avhenge bare av mengder og fysiske effekter. Det vil også avhenge av partiklenes kjemiske sammensetning og eventuelle giftighet. I dette tilfelle er det spesielt to forhold som bør vurderes:

- Kjemisk oksygenforbruk
- Innhold av metaller

Hvis avfallsstoffer inneholder reduserte forbindelser som oppstår i forbindelse med prosessen kan avløpsvannet føre til et kjemisk oksygenforbruk. I dette tilfelle er avfallstoffene oksyderte. Malmen er en oksisk malm, hvor titan foreligger som ilmenitt (titan-oksider) og de andre spormetallene foreligger også som oksider. Det er derfor ingen ting som tilsier at avløpsvannet fra slamreanseanlegget bidrar til kjemisk oksygenforbruk. Utslippet av SO₂ fra TTI derimot medfører imidlertid et visst oksygenforbruk (Skei et al., 1998).

Det foreligger ingen opplysninger om eventuelt innhold av organiske miljøgifter (PAH, PCB, dioksin etc.) og det er derfor gått ut fra at så ikke er tilfelle. Det innebærer at det er kun metaller av miljøgiftene som er vurdert her.

Analyser av venturislam utført av TTI's laboratorium våren 1998 viser at slammet inneholdt 40% FeO, 7% MnO, 3% sink, 2000 ppm V₂O₅, 1000 ppm Nb og 800 ppm Cr. I tillegg er det utført analyser ved Alex Stewart Environmental Services i Odda på diverse filtratprøver, tildels på andre parametre. Filtratet fra slamreanseanlegget (en enkeltprøve) inneholdt 20.684 µg/l eller ca. 2 mg/l løst sink, 100 µg/l kopper, 17 µg/l bly og 15 µg/l krom, foruten betydelige mengder jern og mangan. Det gjennomsnittlige innholdet av sink i filtratet i oktober 1999 var imidlertid 11.700 µg/l og med en gjennomsnittlig vannmengde for oktober på 50.439 m³ tilsvarer dette en sinkmengde på 590 kg løst sink. Dette er imidlertid det normale utslippet av løste metaller ettersom vannmengden ikke endret seg i oktober. Det betyr at det ikke var noe overutslipp av løste metaller i oktober 1999.

I tillegg kommer sink-mengden som er tilstede i slammet (fast stoff). Målinger utført av de to laboratoriene varierte mellom 1 og 3 %, tilsvarende en sinkmengde i fast stoff på 270 – 810 kg med utgangspunkt i et overutslipp på 27.000 kg suspendert stoff. Det betyr at store deler av sink-mengden befinner seg i filtratet som løst sink og at det er lite trolig at vesentlige mengder av sink i fast stoff går i løsnings i sjøvannet. Det skyldes at sink vil være på oksyd-form som følge av at malmen ikke er sulfidisk og at hele prosessen i forbindelse med utvinning av titan er en oksisk prosess. Overutslippet av suspendert stoff i oktober førte altså til at det ble tilført fjorden en ekstra mengde partikkelbundet sink i størrelsesorden 270-810 kg. I tillegg fikk fjorden tilført 54 kg vanadium-oksider og 27 kg niobium som er bundet i slammet.

Det bør også nevnes at askeavfall fra TTI ble brukt i 1986 i tildekkingsforsøk utført ved NIVAs Marine Forskningsstasjon Solbergstrand, som et alternativ tildekkingsmateriale for å stoppe utlekking av sterkt metallholdige bunnsedimenter i indre Sørfjord (Skei et al., 1987). Asken viste seg å være godt egnet dekkmateriale, noe som indikerer at metallene som befinner seg i asken i svært liten grad avgir metaller til sjøvann. Det bør imidlertid påpekes at askeavfallet og venturislammet kan ha forskjellige egenskaper i forbindelse med en tildekking.

For uten sink er det i første rekke krom, vanadium og niobium som er tilstede i betydelige mengder i det partikulære materialet. I filtratet er det kopper av spormetallene som er tilstede i betydelige mengder, når vi ser bort fra jern og mangan. Mengdene er likevel beskjedne i forhold til den totale belastningen med metaller i Sørfjorden.

Det er lite data på miljøeffekter av vanadium og niobium i det marine miljø. Det er imidlertid ingen ting som tyder på at disse stoffene skulle forårsake et miljøproblem i Sørfjorden.

Konklusjonen vedrørende avløpsvannets innhold av metaller blir at konsentrasjonene av løst og partikulært sink er svært høye og at det etter all sannsynlighet vil ha satt sitt preg på vannkvaliteten i

det området som ble påvirket av utslippet. Det bør imidlertid påpekes at nivåene av løst sink i avløpsvannet fra rensanlegget ikke endret seg i forbindelse med overutslippet i oktober ettersom vannmengden var det samme. Det som endret seg var utslippet av sink bundet til slammet. Ettersom sink bundet til dette slammet synes å være lite mobilt er det også sannsynlig at det er lite biotilgjengelig, slik at effekten av overutslippet på forurensningsnivået i marine organismer forventes å ha vært liten.

4. Vudering av overutslippet i forhold til fjordens miljøtilstand

Målsettingen med konsekvensvurderingen var å fastslå om overutslippet på 27.000 kg suspendert stoff fra rensanlegget for venturislam kan ha hatt negative konsekvenser for miljøkvaliteten i Sørfjorden. Mengdemessig er det et betydelig overutslipp og ettersom slammet inneholder metaller som er uønsket i store mengder er utslippet i seg selv uheldig for miljøet. Men ettersom overutslippet kun gjelder slam og ikke metaller i løst form (som er lett biotilgjengelig) er konsekvensene noe mindre.

Utslippet av filtrat, som følge av overutslippet, endret seg ikke i henhold til opplysninger fra bedriften. Den største betenkeligheten er knyttet til dette utslippet. Et avløpsvann som inneholder 20.000 µg/l løst sink må fortynnes 1000 ganger før konsentrasjonen kommer ned på et nivå som tilsvarer meget sterkt forurenset sjøvann (kl.V i SFTs klassifisering av miljøkvalitet). Det betyr at vannmassen i utslippsområdet på ca. 40 m dyp kontinuerlig må ha svært forhøyede nivåer av sink (det påpekes at i det statlige overvåkingsprogrammet begrenser vannanalyser seg til overflatevann, slik at det ikke er noen opplysninger for tiden om nivåer av sink i denne vannmassen). Ved at bedriften nå bruker malm med lavere sinkinnhold skulle bety at dette problemet nå har avtatt.

Når det gjelder sink bundet til partikler så representerte overutslippet av partikler også et overutslipp av sink. De høye konsentrasjonene av sink i partikler (1-3% Zn) forventes å ha bidratt til en økning av sink i bunnsedimentene i det området sedimenteringen har skjedd. Ettersom en opphopning av slam i utslippsområdet er lite sannsynlig på grunn av de topografiske forholdene er det også sannsynlighet for at slammet er spredt over et nokså stort område (svært små partikler) og at fortynningen derfor blir stor, slik at den reelle økningen i bunnsedimentene antas å være beskjeden. I følge bedriften har undervannsregistreringer i utlippetsområdet bekreftet at det ikke er spor etter opphopning av slam. Med utgangspunkt i at metallene i tillegg foreligger på oksid-form, og dermed er nokså inerte forbindelser, er det lite sannsynlig at metallene frigjøres etter sedimentering eller blir tatt opp av organismer som lever i sedimentene. Det er derfor svært lite sannsynlig at overutslippet av slam i oktober 1999 kan ha påført Sørfjorden en miljøforringelse som er registrerbar. Sammenlignet med det regulære utslippet av filtrat med svært høyt sink-innhold er hvertfall overutslippet av slam ubetydelig.

5. Referanser

Skei, J., Pedersen, A., Berge, J.A., Bakke, T. og Næs, K. (1987). Indre Sjørfjord. Sedimentenes betydning for metallforurensning i miljøet. Muligheter og behov for tiltak. Fase 2. Kvantifisering av utlekking av tungmetaller fra forurensede sedimenter. NIVA-rapport, 2067, 101 s.

Skei, J., Rygg, B., Moy, F., Molvær, J., Knutzen, J., Hylland, K., Næs, K., Green, N. og Johnsen, T. (1998). Forurensingsutviklingen i Sjørfjorden/Hardangerfjorden i perioden 1980-1997. Sammenstilling av resultater fra overvåking av vann, sedimenter og organismer. NIVA-rapport, 3922-98, 95 s.

Skei, J. og Sundfjord, A. (2000). Feltnmålinger og utredninger knyttet til oppfølging av konsekvensanalyse ved utvidet sinkproduksjon ved Norzink i Odda. NIVA-rapport, 4196-2000, 35 s.