

O-86063

KRONOS TITAN A|S

Overvåking av vannkvalitet,
bunnsedimenter og miljøgifter i
organismer i nedre Glomma
(Greåker-Løperen)
Sluttrapport

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.: 0-86063
Undernummer: 3
Løpenummer: 2136
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Kronos Titan A/S Overvåking av vannkvalitet, bunnsedimenter og miljøgifter i organismer i nedre Glomma (Greåker-Løperen). SLUTTRAPPORT	Dato: 11. juli 1988
Forfatter (e): Skei, Jens Knutzen, Jon	Prosjektnummer: 0-86063
	Faggruppe: Marinøkologisk
	Geografisk område: Østfold
	Antall sider (inkl. bilag): 60

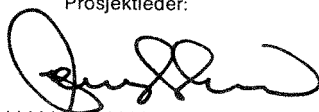
Oppdragsgiver: Kronos Titan A/S	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
------------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt: Undersøkelser av forurensning av vann, sedimenter, fisk, blåskjell og tang i nedre Glomma-Løperen i 1986 og 1987 er utført for å studere virkningen av utslipp av avfall fra titandioksyd-produksjon ved Kronos Titan A/S i Fredrikstad. Klare forurensningseffekter er observert innenfor en radius på 0.5 km fra utslippet (reduert pH, høy turbiditet og høyt metallinnhold), mens metallanrikning i vann og organismer delvis kan spores i en avstand av ihvertfall 12-13 km fra utslippsstedet.

4 emneord, norske:
1. Kronos Titan A/S
2. Vannkvalitet
3. Bunnsedimenter
4. Miljøgifter i organismer

4 emneord, engelske:
1. Kronos Titan A/S
2. Water quality
3. Bottom sediments
4. Pollutants in organisms

Prosjektleder:



Jens Skei

For administrasjonen:



Tor Bokn

ISBN - 82-577-1417-8

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

0-86063

KRONOS TITAN A/S

Overvåking av vannkvalitet, bunnsedimenter og miljøgifter i organismer
i nedre Glomma
(Greåker - Løperen)

SLUTTRAPPORT

Oslo, 11. juli 1988

Prosjektleder: Jens Skei

Medarbeidere: Unni Efraimsen
Jon Knutzen

FORORD

Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) fikk i oppdrag av Kronos Titan A/S i Fredrikstad å gjennomføre et overvåkingsprogram i nedre del av Glomma (brev av 19. mars 1986). Som et ledd i denne overvåkingen var det enighet om å undersøke vannkvaliteten ved fire anledninger i sommerhalvåret 1986, og tre anledninger i 1987, samt foreta bunnsedimentundersøkelser ved to av disse tidspunktene hvert år. I tillegg er det innsamlet fisk, tang og blåskjell til metallanalyse.

Feltarbeidet for vann- og sedimentundersøkelser er utført fra F/F Trygve Braarud, Universitetet i Oslo. En spesiell takk rettes til skipper Tom Tønnessen og Tom Pedersen. Fisker og båtfører Kåre Kristiansen takkes for innsamling av fisk og annet biologisk materiale.

Analyser av partikulært materiale er utført ved Senter for industriell forskning (Betty Dirdal), mens øvrige analyser er gjort ved NIVAs laboratorier. Ved instituttet har Unni Efraimsen deltatt i feltarbeidet, delvis som toktleder. Ansvarlig for metaller i organismer har vært Jon Knutzen, mens undertegnede har stått for den vann- og sedimentkjemiske delen.

NIVA, 11. juli 1988

Jens Skei
Prosjektleder

INNHOILDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	2
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	3
1. INNLEDNING	5
2. MÅLSETTING	6
3. FELTARBEID OG METODER	6
4. RESULTATER OG DISKUSJON	13
4.1. Vannkvalitet	13
4.1.1 Vannføring i Glomma	14
4.1.2 Salt og temperatur	16
4.1.3 Oksygen	18
4.1.4 Transmisjon, turbiditet og siktedyp	21
4.1.5 pH	24
4.1.6 Metaller	25
4.1.7 Partikulært materiale	30
4.2. Bunn­sedimenter	33
4.2.1 Visuell beskrivelse	33
4.2.2 Sedimentenes kornstørrelse	34
4.2.3 Organisk materiale	36
4.2.4 pH i vannfasen over sedimentet	36
4.2.5 Metaller i sedimentene	37
4.3. Metaller i organisme	39
4.3.1 Metaller i fisk	39
4.3.2 Metaller i blåskjell	49
4.3.3 Metaller i alger	51
5. ORIENTERENDE STUDIER AV KLORORGANISKE FORBINDELSER I FISK	54
6. MILJØPÅVIRKNINGEN AV KRONOS TITANS UTSLIPP	55
7. PROGNOSE FOR FREMTIDEN OG OPPFØLGING	56
8. LITTERATUR	58

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

1. En resipientundersøkelse er utført i nedre del av Glomma og Løperen-området i 1986-87. Målsettingen har vært å se på hvordan utslipp fra titandioksyd-produksjon ved Kronos Titan A/S i Fredrikstad påvirker vann, bunnsedimenter og organismer i området.
2. Vannkvaliteten i nedre del av Glomma er preget av stor leiretransport og mange typer utslipp fra industriell aktivitet og bebyggelse i Sarpsborg og Fredrikstad.
3. Kronos Titan's utslipp innvirker på vannkvaliteten på følgende måte:
 - (i) Økt turbiditet i 3-6 m dyp i det utslippsnære området ($r=0.5$ km) og i overflatevannet sør for utslippet
 - (ii) Redusert pH i 3-6 m dyp i det utslippsnære området (laveste pH målt= 3.26). I større avstand enn 0.5 km fra utslippet er det ikke observert pH-reduksjon som kan knyttes til utslippet (pga. rask fortykning og god bufferkapasitet).
 - (iii) Overkonsentrasjoner av jern, titan, krom og vanadium i vannmassen i store deler av undersøkelsesområdet (Greåker-Kjøkø).
 - (iv) Unormalt høye forholdstall mellom jern og aluminium og titan og aluminium i partikulært materiale på samtlige stasjoner ovenfor og nedenfor utslippet.
4. På grunnlag av vannkvaliteten kan det slås fast at utslipp av tynnsyre og slam i 6 m dyp i Glomma fører til transport av avløpsvann både nordover og sørover fra utslippsstedet. Transporten vil avhenge av vannføringen i Glomma. Ved lav vannføring (f.eks. om vinteren) strømmer sjøvann langs bunnen oppover elva nesten til Sarpsfossen. På den måten kan avløpsvann transporteres oppover elva. Ved høy vannføring (f.eks. mai) presses saltvannet tilbake ned mot Øra-området og avløpsvannet transporteres utelukkende ut i Løperen.
5. Kronos Titan's utslipp innvirker på bunnsedimentenes sammensetning på følgende måte:
 - (i) Sedimentering av surt jernavfall i det utslippsnære området ($r = 0.5$ km) fører til nedsatt pH i vannet som er i kontakt med sedimentet.

(ii) Overkonsentrasjon av jern, krom og vanadium i den sørligste delen av undersøkelsesområdet (Kjøkø-Asmalø). Sannsynligvis skjer det en utfнокking av jern og en medfelling av krom og vanadium.

Dette er også observert ved dumping av samme type avfall i Nordsjøen (Spaans, 1987). Titan derimot er langt mere oppkonsentrert i utslippsområdet, sannsynligvis pga. tilstedeværelse i slam som slippes ut fra fabrikk.

6. Konsekvensen av forhøyde metaller i sedimentene er noe usikre. Kullsorte sedimenter i det sørlige området hvor mesteparten av jernet sedimenterer skyldes trolig dannelse av jern-monosulfid (FeS). Dette kan delvis forklare mangel på fauna i dette området (Rygg, 1983). Metallnivået forøvrig (titan, krom og vanadium) er neppe så høyt at det har noen økologisk betydning. Derimot er konsentrasjonsnivået av kopper høyt i hele området som følge av utslipp fra Borregaard A/S. Det er kjent at kopper i sedimenter har negativ innvirkning på bunnfaunaen (Rygg og Skei, 1984).
7. Kronos Titan's utslipp innvirker på metallnivået i organismer på følgende måte:
 - (i) Forhøyet nivå av jern i lever av torsk og skrubbeflyndre fra Glommas munningsområde, indre Hvaler mot Singlefjorden. Også gjellenes jerninnhold er sannsynligvis høyere enn normalt (sparsomt med sammenligningsdata). I fiskefilet var jerninnholdet derimot ikke eller bare ubetydelig forhøyet. Kvikksølvinnholdet var bare svakt/moderat forhøyet.
 - (ii) Forhøyede nivåer av jern, titan og vanadium (og trolig krom og mangan) i blåskjell inntil en avstand av 10-12 km fra utslippet.
 - (iii) De viktigste komponentene i Kronos Titan's avløpsvann kan spores i tang minst 12-13 km fra utslippet.
8. De funne overkonsentrasjonene av jern i fisk har neppe bruksmessige konsekvenser (små overkonsentrasjoner i filet; jern lite betenkelig helsemessig). Om konsekvensene av metallforurensninger for plante- og dyreliv henvises til separate rapporter.
9. Orienterende analyser av klororganiske forbindelser i skrubbeflyndre og torsk indikerte en tydelig påvirkning utover det som er vanlig diffus belastning ved atmosfærisk tilførsel og avrenning

fra ikke-industrialiserte områder. Sig fra søppeldeponiet på Øra og andre industriavløp er mest nærliggende årsak.

10. Det er viktig at området overvåkes i årene som kommer for å kunne dokumentere den forventede forbedringen som følge av at utslipp av tynnnsyre til Glomma opphører i 1989. Det er også nødvendig å gjøre ytterligere undersøkelser på klororganiske forbindelser i fisk, samt kartlegge kildene.

1. INNLEDNING

Etter pålegg fra Statens forurensningstilsyn henvendte Kronos Titan seg til NIVA for å få klarlagt nærmere hvilken betydning avløpsvannet fra bedriften har for bl.a. vannkvalitet og bunnforhold, spesielt i bedriftens nærområde. Undersøkelsen har foregått over 2 år med prøvetaking i området ved syv anledninger. Resultatene fra første års undersøkelser av vann og sedimenter (1986) er vist i Skei (1987).

Det er lagt vekt på å ta prøver ved forskjellig vannføring i Glomma (se 4.1.1). Ellers er stasjonsnettet og parametervalget stort sett det samme i 1986 og 1987. Utslippsforholdene ved Kronos Titan har heller ikke endret seg i undersøkelsesperioden.

Programmet for undersøkelsen har hatt som utgangspunkt EF-direktiv 82/883, om overvåking av utslipp fra titandioksydindustri, men med nødvendige modifikasjoner ut fra lokale forhold. Foruten vann- og sedimentkjemiske undersøkelser inngår analyse av metaller i organismer, dels som indikatorer på forurensningsgrad, dels ut fra økologiske og brukermessige hensyn.

I tillegg til denne sluttrapporten som oppsummerer to års undersøkelser i nedre Glomma og Løperen-området vises til egen datarapport hvor alle rådata for vann og sedimenter for 1986 og 1987 er samlet (Efraimsen og Skei, 1988).

2. MÅLSETTING

Prosjektet har hatt som målsetting å:

- (i) fastslå spredningen av avløpsvannet fra Kronos Titan og kartlegge influensområdets størrelse,
- (ii) vurdere om vannkvaliteten er preget av avløpsvannets sammensetning og om dette sannsynliggjør skadevirkninger,
- (iii) undersøke om bunnsedimentene er påvirket av utslipp fra Kronos Titan og i hvilken grad.
- (iv) uttrykke grad av forurensning og influensområde ved metaller i fisk, blåskjell og alger.

Programmet har også som mål å tilfredsstille de krav som er stilt i EF-rådets direktiv av 3.12.82.

Parallelt med undersøkelsene av vannkvaliteten har NIVA utført et studium av sammensetningen av belegg på strender i området, samt eksperimentelt arbeid på NIVAs marine forskningsstasjon - Solbergstrand - og i Glommaområdet for å teste effekten av Kronos Titans avløpsvann på gruntvannsorganismer. Disse undersøkelsene vil bli rapportert separat.

3. FELTARBEID OG METODER

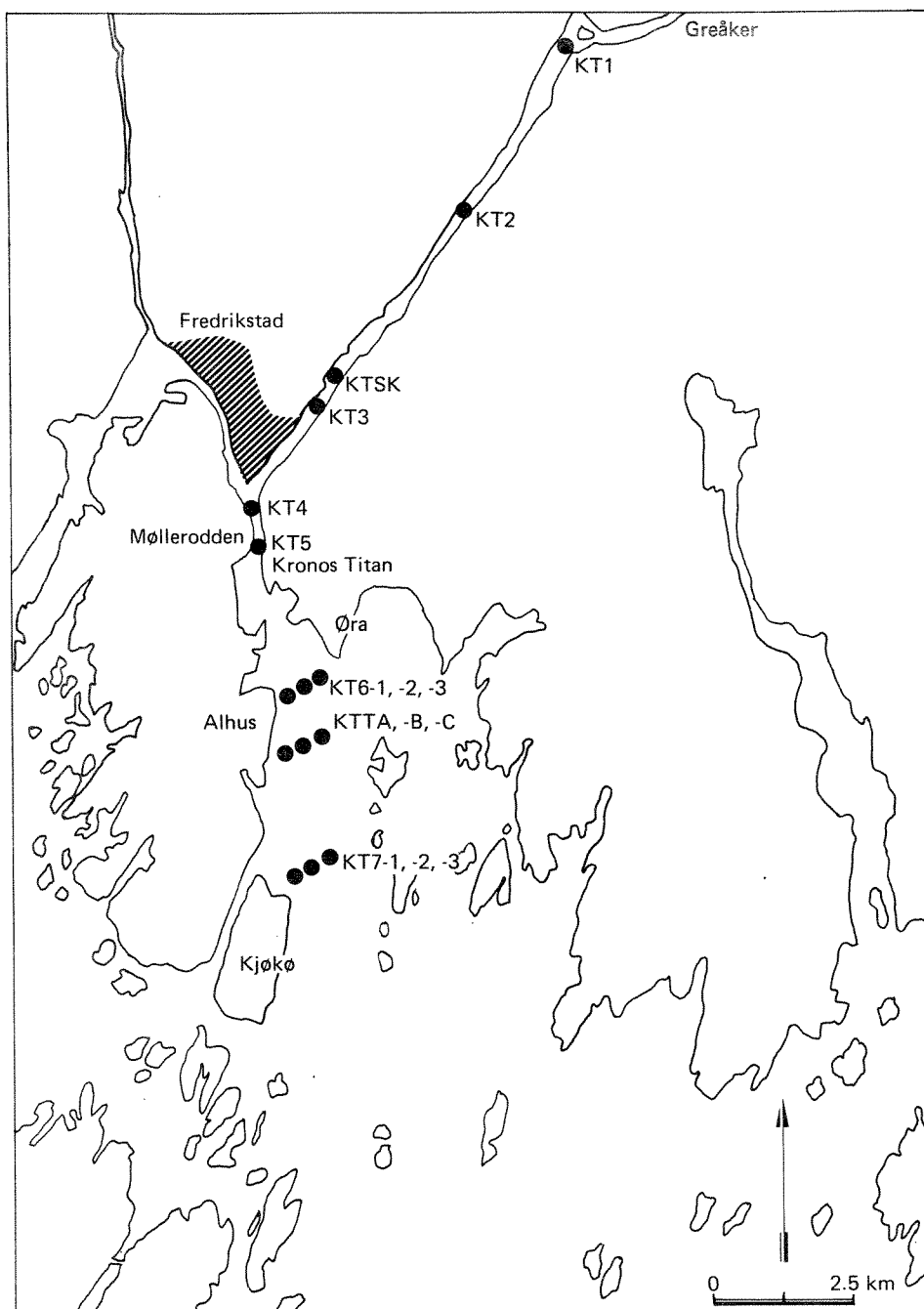
I henhold til programmet skulle det gjennomføres fire overvåkingstokt i perioden april-august 1986 og tre tokt i perioden mars-august 1987, for å dekke forskjellig vannføring i Glomma. Samtlige tokt er utført med F/F Trygve Braarud (UiO) (Fig. 1-3). Tabell 1 viser en oversikt over tokttidspunkt, antall stasjoner, parametre og hvilke parametre som ble analysert på stedet og hvilke i lab. Det fremgår også av tabellene hvilke analysemetoder som er brukt og hvilket laboratorium som har gjort analysene.

Vannprøvene er tatt med Niskin vannhentere (rosett) og tappet direkte på syrevaskede plastflasker for tungmetallanalyser. Prøvene ble surgjort til pH = 2 i laboratoriet og analysert ved atomabsorpsjon. Jern,

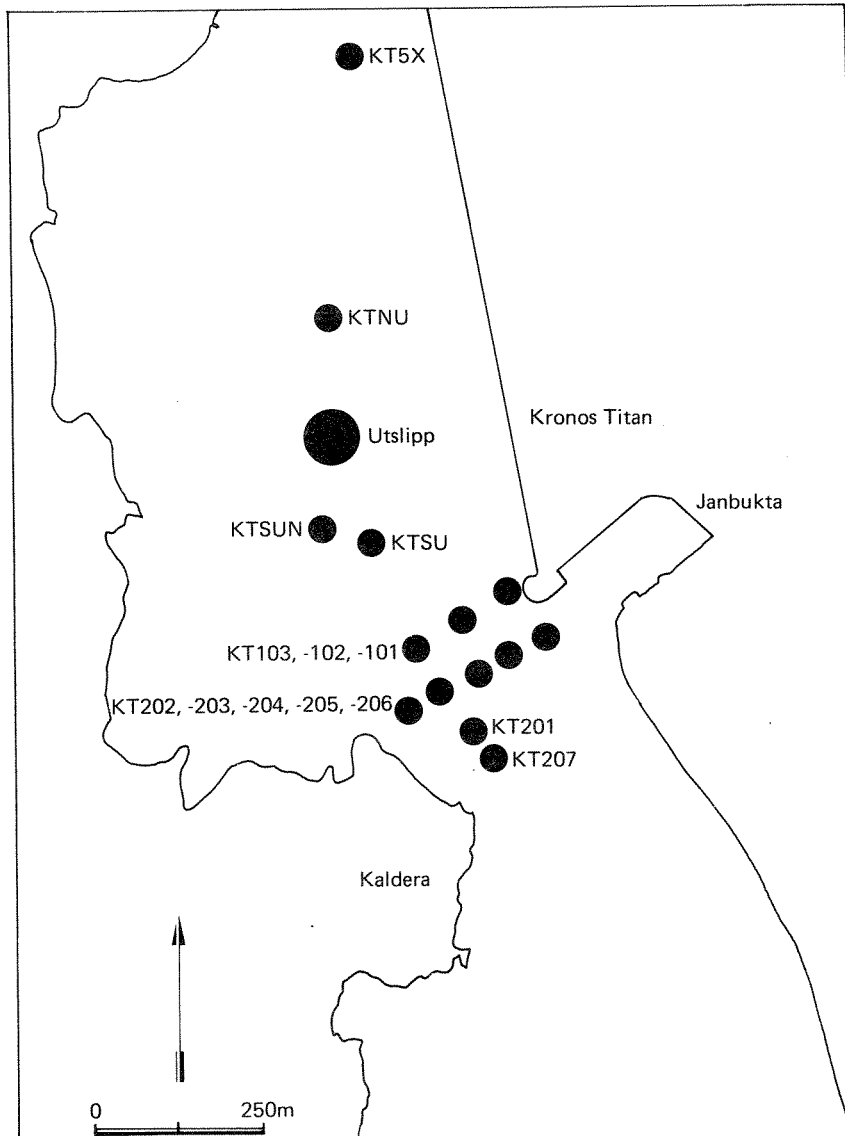
titan, krom, vanadium og sink ble bestemt direkte uten ekstraksjon, mens kopper og sink ble freonekstrahert.

En separat vannprøve ble trykkfiltrert (nitrogen) gjennom 0,4 μm Nuclepore membranfiltre. Filtrene ble så analysert ved røntgenfluoresens for jern, titan og aluminium (Skei & Melsom 1982). Ved siste tokt i 1986 og alle toktene i 1987 ble også filtrene veid før og etter slik at den totale mengden partikulært materiale i vannprøven kunne måles. Etter røntgenanalysene ble filtrene behandlet med 100 ml 25% eddiksyre (HOAc) og deretter 100 ml destillert vann. Deretter ble filtrene på nytt analysert for jern ved røntgenfluoresens. Dette ble gjort for å registrere eventuelt tap av jern ved eddiksyrebehandlingen (pH = 1,3), dvs. jern som er lett utlutbart. Ettersom eddiksyrebehandlingen gav bare små forskjeller i jernverdiene ble behandlingen bare gjennomført for noen prøver fra 1986.

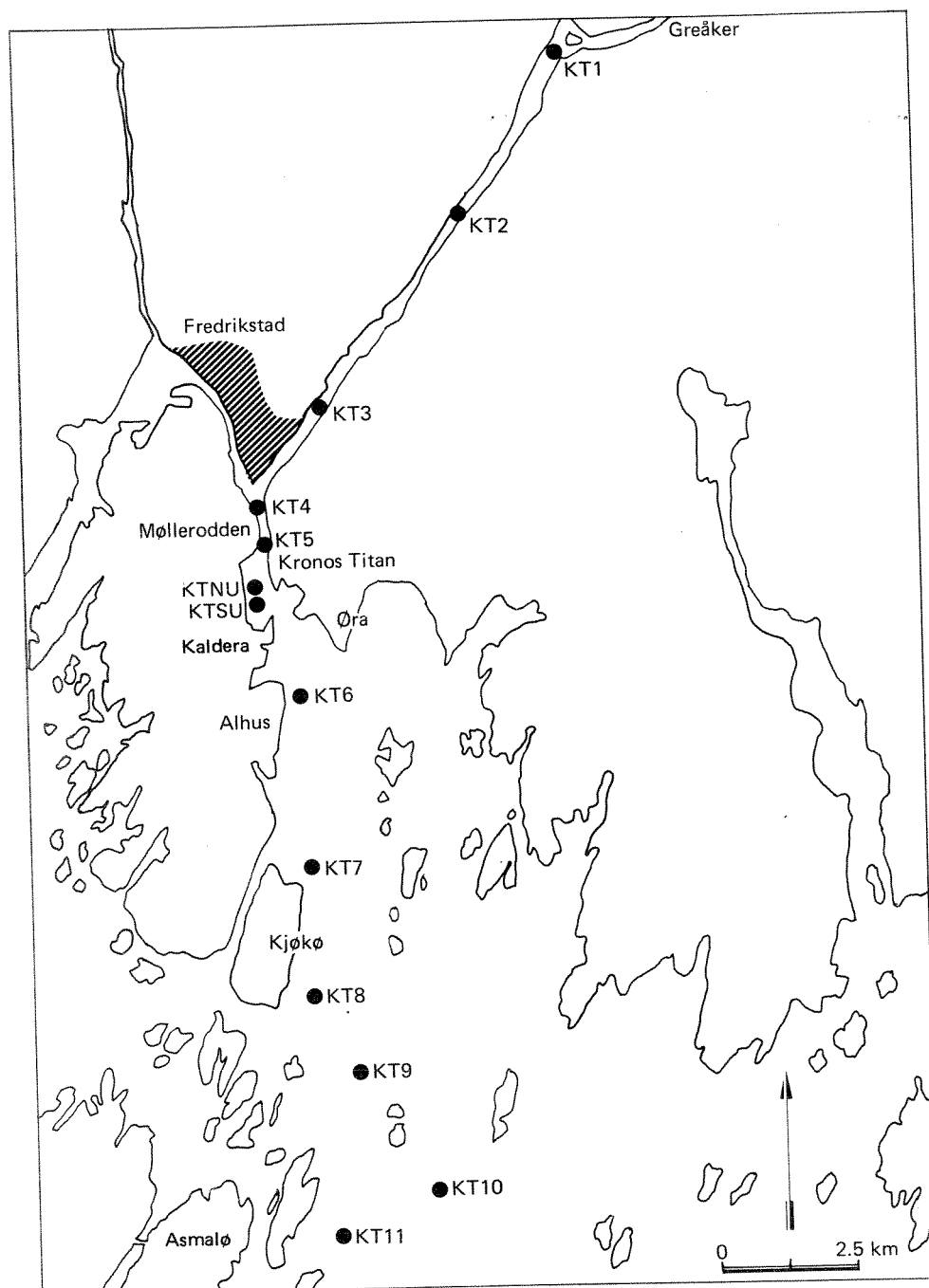
Ved toktene i april og september 1986 og mars og august 1987, ble det gjort sedimentundersøkelser (Fig. 3). Sedimentkjerne ble tatt med "gravity corer" og snittet i 1 cm sjikt ned til 3 cm. I april ble prøver tatt på 11 stasjoner og i september på 13 stasjoner. I mars og august 1987 ble prøver tatt på 11 stasjoner. Stasjonsplasseringen er vist på figur 3. Kun overflatesedimentene (0-1 cm) er analysert i 1986 og 0-3 cm i 1987 og parametrene omfatter glødetap, jern (total og eddiksyreløselig), titan, mangan, krom, sink, kopper og vanadium. pH ble registrert i vannet over hver enkelt kerne. Sedimentprøvene ble oppsluttet med konsentrert salpetersyre, som ikke gir totalkonsentrasjoner av et metall, men den fraksjonen som kan sies å være potensielt mobiliserbar.



Figur 1. Stasjonskart - vann.
 (KTSK, KT6-3, KTTA, -B, -C og KT7-2 og -3, kun 1986)



Figur 2. Ekstrastasjoner i utslippsområdet - vann
(Kun 1986 med unntak av KTNU og KTSU).



Figur 3. Stasjonskart - sedimenter.

Tabell 1. Oversikt over målinger gjort i vann i nedre Glomma - 1986 og 1987.

Tokttidspunkt	Antall stasjoner	Tokttidspunkt	Antall stasjoner
5- 6.4.86	11	31.3.87	10
10-11.6.86	21	26.5.87	10
8- 9.7.86	19	25.8.87	9
3- 4.9.86	14		

Parametre	Målinger i felt	Målinger i lab.	Analyselab.	Metode
salt	x			CTD
temperatur	x			CTD
O ₂		x	NIVA	Winkler
transmisjon	x			Transmisiometer
pH	x			Radiometer
turbiditet	x			HACH
Cu		x	NIVA	A.A.
Zn		x	"	"
Cr		x	"	"
V		x	"	"
Ti		x	"	"
Fe ¹		x	"	"
pFe(tot) ²		x	SI (Senter	XRF
pFe(HAC) ³		x	for indu-	"
pTi		x	striell	"
pAl		x	forskning)	"

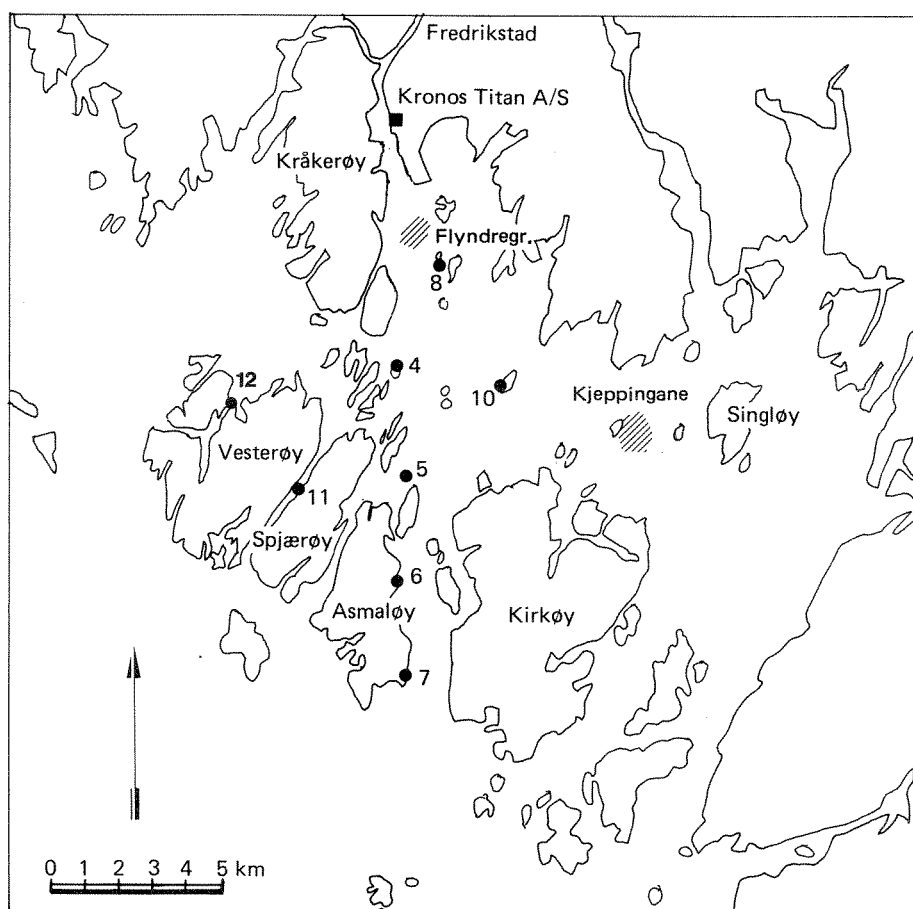
¹ Fe = totalt jern (ufiltrert)

² pFe(tot) = totalt jern i partikulært materiale

³ pFe(HAc) = partikulært jern etter at filtrene er behandlet med 25% eddiksyre (kun 1986)

Av fisk er det analysert blandprøver av filet (ryggmuskel), lever og gjeller (bløtdeler, dvs. uten gjellebuer). Hver blandprøve har bestått av 3 - 20 fisk (3 i ett tilfelle, ellers 9 - 20). Hver fisk er målt og veid, samtidig som det er notert eventuelle ytre skader, avvikende leverfarge o.l.

Fisken er analysert på jern (Fe), krom (Cr), mangan, (Mn), titan (Ti), vanadium (V), kadmium (Cd), kobber (Cu) og sink (Zn). Utvalgte prøver er også analysert på kvikksølv (Hg). Stasjonskart for fisk, blåskjell og tang er vist på figur 4.



Figur 4. Stasjonskart for innsamling av fisk (skravert), blåskjell og tang til metallanalyser 1986-87.

Av blåskjell er det såvidt mulig samlet 30 - 50 stk. i størrelsen 3 - 5 (6) til blandprøver fra hver stasjon. (I et par tilfeller er det bare funnet 10 - 20 eks.).

Av blæretang og grisetang er det tatt blandprøver av såvidt mulig påvekstfrie skuddspisser (øvre 5 - 10 cm) fra 10 - 15 ulike planter.

Analysene er utført ved atomabsorpsjon etter oppslutning i salpetersyre og i henhold til Norsk Standard (4770, 4773, 4783). Kvikksølv er bestemt ved kalddamp-teknikk.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

Alle analyseresultater og observasjoner vedrørende vann og sedimenter er vist i tabeller i datarapporten (Efraimsen og Skei, 1988). Resultater fra biologiske analyser er gjengitt i tabeller i denne rapporten.

4.1 Vannkvalitet

Med vannkvalitet menes her vannets sammensetning basert på målinger av en del parametre som kan antas å endres ved større utslipp. I dette tilfelle er valget av parametre gjort ut fra kjennskapen til sammensetningen av Kronos Titans avløpsvann. Vannets innhold av næringstoffer og organiske forbindelser er ikke målt, slik at det ikke kan gjøres en total vannkvalitetsvurdering. Signifikante avvik fra "normaltilstanden" er blitt tolket som en vannkvalitetsendring eller en forringelse av vannkvaliteten.

På samme måten som vannkvalitet har vi også vurdert sedimentkvaliteten. Større avvik fra "normalforhold" eller bakgrunnskonsentrasjoner er blitt tolket som en forurensningspåvirkning. Også her er parametrene valgt på bakgrunn av Kronos Titans avløpsvannsammensetning.

Både når det gjelder vann- og sedimentkvalitet er det tatt hensyn til naturlige svingninger og usikkerhet i bakgrunnskonsentrasjoner.

4.1.1 Vannføring i Glomma

 Vannføringen i Glomma veksler over året og fra år til år. Vanligvis er vannføringen høyest midt i mai som følge av snøsmelting i lavlandet. En ny flomtopp oppstår lenger ut på sommeren som følge av snøsmelting i fjellet.

Betydelige reguleringsinngrep i Glommas nedbørfelt har ført til at de største flomtoppene ikke lenger eksisterer. Til tross for dette er det fortsatt store sesongmessige svingninger i vannføringen. Fig. 5 viser vannføringen ved Sarpsfossen basert på ukegjennomsnitt i 1986 og 1987. Det mest typiske trekket i fordelingen i vannføring er en flomtopp i tilknytning til snøsmelting i lavlandet (april-mai), en flomtopp som skyldes snøsmelting i høyfjellet (juni) og noe økt vannføring på høstparten som skyldes stor nedbør. Vannføringen som ble målt ved Sarpsfossen tre og fire dager før og under selve toktene er vist i Tabell 2.

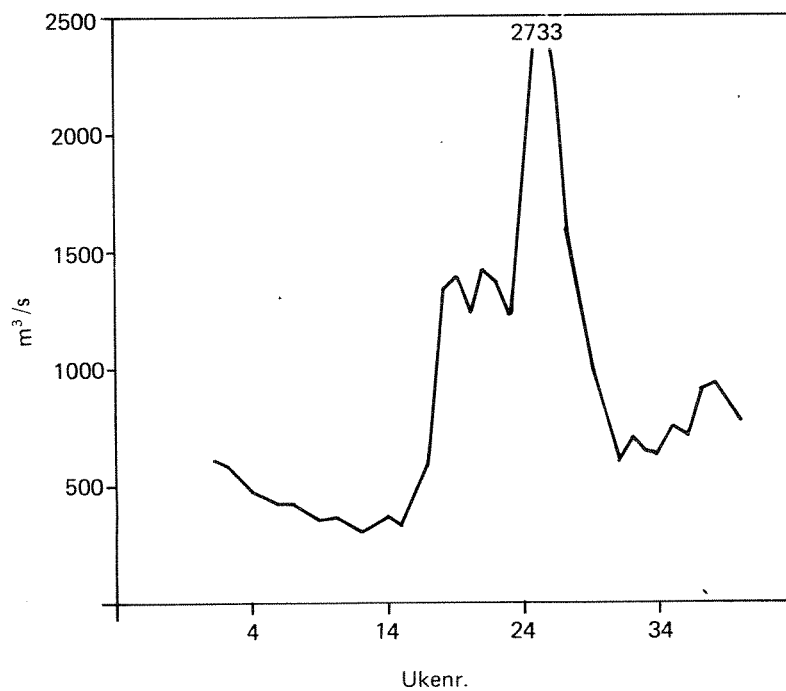
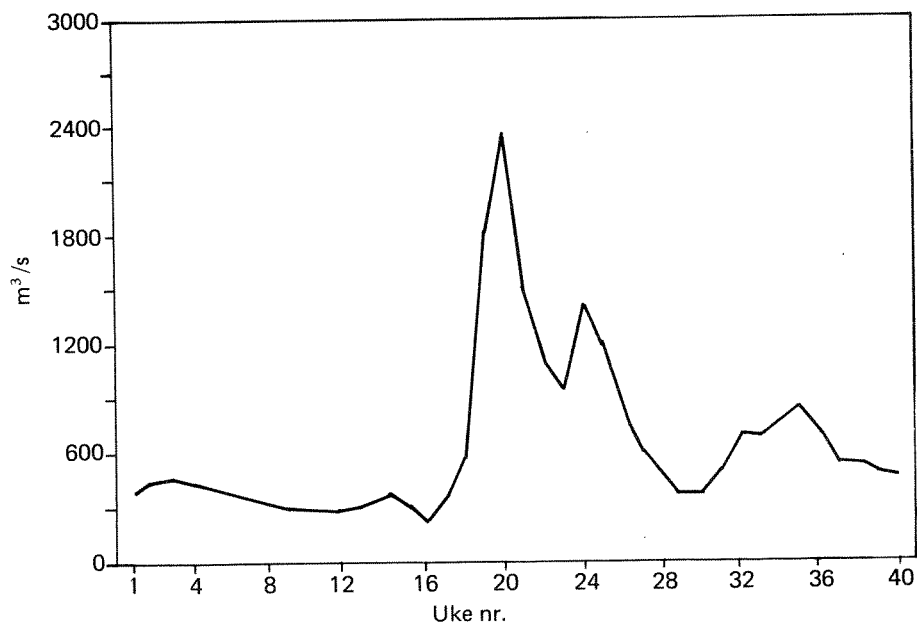
Tabell 2. Vannføring i Glomma like før og under toktene i 1986 og 1987. (Døgn gjennomsnitt).

1986:

Dato	m ³ /s	Dato	m ³ /s	Dato	m ³ /s	Dato	m ³ /s
2.4.	400	7.6.	900	5.7.	528	31.8.	850
3.4.	300	8.6.	1029	6.7.	475	1.9.	850
4.4.	381	9.6.	1167	7.7.	500	2.9.	785
5.4.	350	10.6.	1329	8.7.	500	3.9.	750
6.4.	350	11.6.	1538	9.7.	500	4.9.	750
1987:							
27.3.	306	22.5.	1448	21.8.	625		
28.3.	303	23.5.	1450	22.8.	625		
29.3.	348	24.5.	1429	23.8.	625		
30.3.	350	25.5.	1400	24.8.	643		
31.3.	374	26.5.	1435	25.8.	650		

Ingen av toktene traff vårflommen. Høyeste vannføring som ble målt var

1400–1500 m³/s. Høyeste vannføring i 1986 (ukemiddel) var ca. 2400 m³/s i midten av mai, mens i 1987 ble flomtoppen (2733 m³/s) registrert i midten av juni.



Figur 5. Vannføringen i Glomma (ukemidler ved Solbergfoss) i 1986 (øverst) og 1987 (nederst).

4.1.2 Salt og temperatur

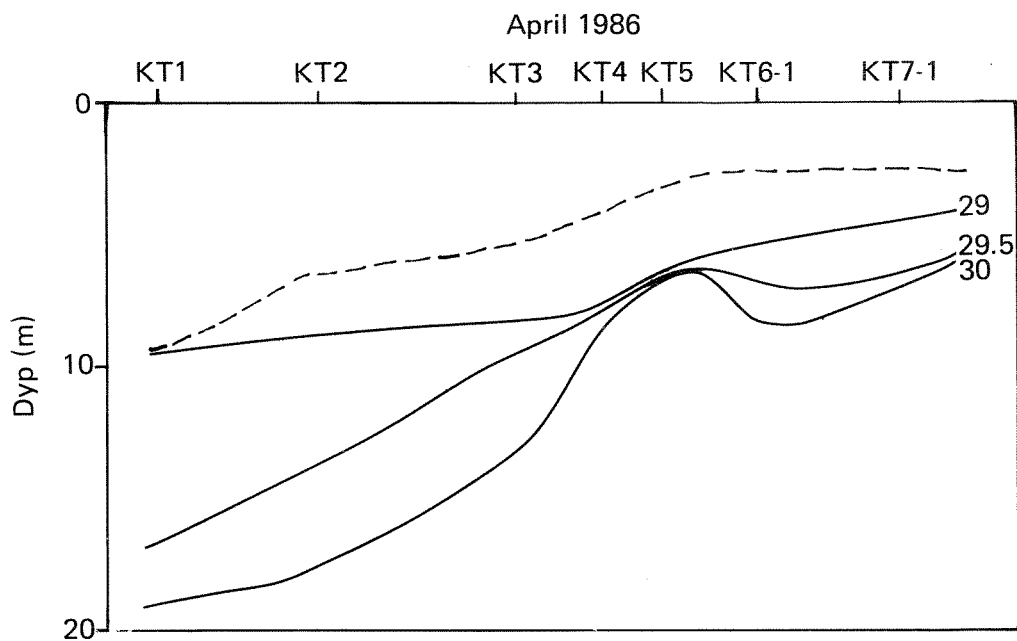
En kile med saltvann ligger under ellevannet helt opp mot Sarpsborg, med unntak av flomperioder, da det er ferskvann helt til bunns i elva ned til Kaldera-området.

Målinger av salt og temperatur ble gjort med CTD på samtlige stasjoner før vannprøvetakingen startet. Målsettingen var å fastslå beliggenheten av sprangsjiktet og om det i hele tatt var sjøvann på bunnen av elva.

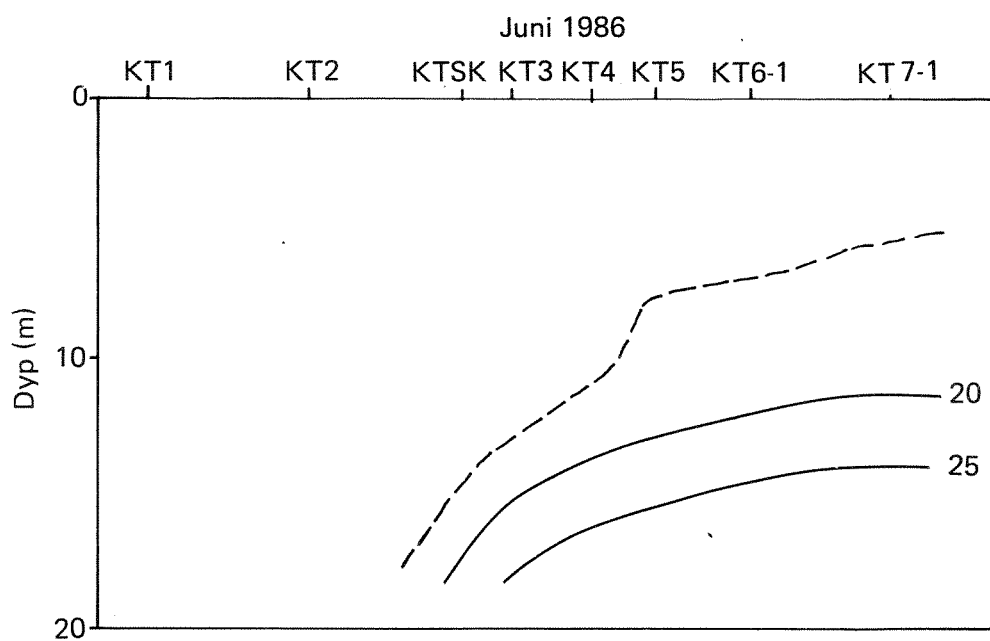
Øverst i elva (KT1) ble sprangsjiktet registrert i 9 m dyp i april 1986, ferskvann helt til bunns i juni og et sprangsjikt i henholdsvis 9 og 13 m i juli og september 1986. Dette er i godt samsvar med vannføringen i Glomma (se 4.1.1). I bunnvannet ble det med unntak av juni-toktet målt en saltholdighet på nær 30 ‰ på stasjon KT1. Det tyder på at det var liten blanding mellom ellevannet og saltvannskilen. Saltholdigheten i bunnvannet i elva var omtrent den samme helt fra Øraområdet til Greåker.

Figur 6 viser fordelingen av saltholdighet i elva i form av isopleter. Helningen på isolinjene er tildels topografisk betinget. Størst betydning her er terskelen i nærheten av stasjon KT5. Figuren viser ellers at sprangsjiktets dybde avtar nedover elva fra ca. 9 m ved Greåker (KT1) til ca. 3 m ved Alshus (KT6-1) i april 1986.

Situasjonen i juni 1986 da vannføringen var nær 1500 m³/s, var nokså forskjellig fra april. Det ble nå ikke konstatert saltvann i elva verken på stasjon KT1 eller KT2. Like nord for stasjon KT3 (KTSK, se fig. 1) ble saltvann påtruffet helt nede ved bunnen (Fig. 7). Sprangsjiktet på stasjon KT3 var på ca. 13 m, mens ute ved Alshus var sprangsjiktet på ca. 7 m. Det betyr at Kronos Titans utslipp på dette tidspunkt befant seg over sprangsjiktet og at avløpsvannet i større grad enn i april skulle bli transportert ut i estuaret.



Figur 6. Saltholdighet i elva (april 1986). Stiplet linje viser sprangsjiktets beliggenhet.



Figur 7. Saltholdighet i elva (juni 1986). Stiplet linje viser sprangsjiktets beliggenhet.

I 1987 var vannføringen i Glomma på de tidspunktene toktene ble gjennomført ikke vesentlig forskjellig fra tilsvarende tokt i 1986. Dermed skulle også den hydrografiske situasjonen i elva være nokså lik.

I mars 1987 lå sprangsjiktet ved 7 m dyp på den øverste stasjonen (KT1), ferskvann helt til bunns i mai og et sprangsjikt ved 11 m dyp i august. Ved det siste toktet ble det målt 29.8 ‰ i dypvannet på stasjon KT1 (18 m dyp). Høyere saltholdighet i dypvannet lengst oppe i elva (KT1) sammenlignet med stasjoner lenger nede tyder på en avsnøring av tungt saltholdig vann i bassenget nedenfor Greåker.

På stasjonen like ved Fredrikstadbrua (KT3) befant sprangsjiktet seg i mars 1987 på 6 m dyp, på 17 m i mai og 7 m i august 1987. Dette er igjen i overensstemmelse med vannføringen i Glomma. Høy vannføring i mai presset saltvannet ned til like ovenfor Fredrikstadbrua.

4.1.3 Oksygen

På grunn av dårlig vannutskiftning og stor tilførsel av organisk materiale i dypbassenger i Glomma og i øvre deler av Løperen, oppstår det dårlige oksygenforhold i bunnvannet, spesielt på ettersommeren. Utslipp av reduserte jernforbindelser ser ikke ut til å spille noen sentral rolle for oksygenforholdene.

Målinger av oksygen ble gjort ut fra to hensyn

- (i) Indikasjon om vannutskiftning i dypvannet.
- (ii) Påvisning av eventuell oksygenforbruk i forbindelse med oksydering av reduserte jernforbindelser.

I selve elveløpet ble det målt meget lave oksygenverdier i bunnvannet på stasjonene KT1-KT3, med et minimum på KT2 på 1.9 ml/l i september 1986. Forøvrig var konsentrasjonene merkbart lavere i juli og september 1986 enn i april og juni 1986 (Fig. 8). Dette kan forklares delvis med en større tilførsel av organisk materiale til bunnsedimentene i sommermånedene som følge av planktonproduksjon (både i ferskvann og i sjøen utenfor) og høyere temperatur i vannet. I tillegg kan nedre del av Glomma betraktes som en terskelfjord hvor bunnvannet ovenfor tersk-

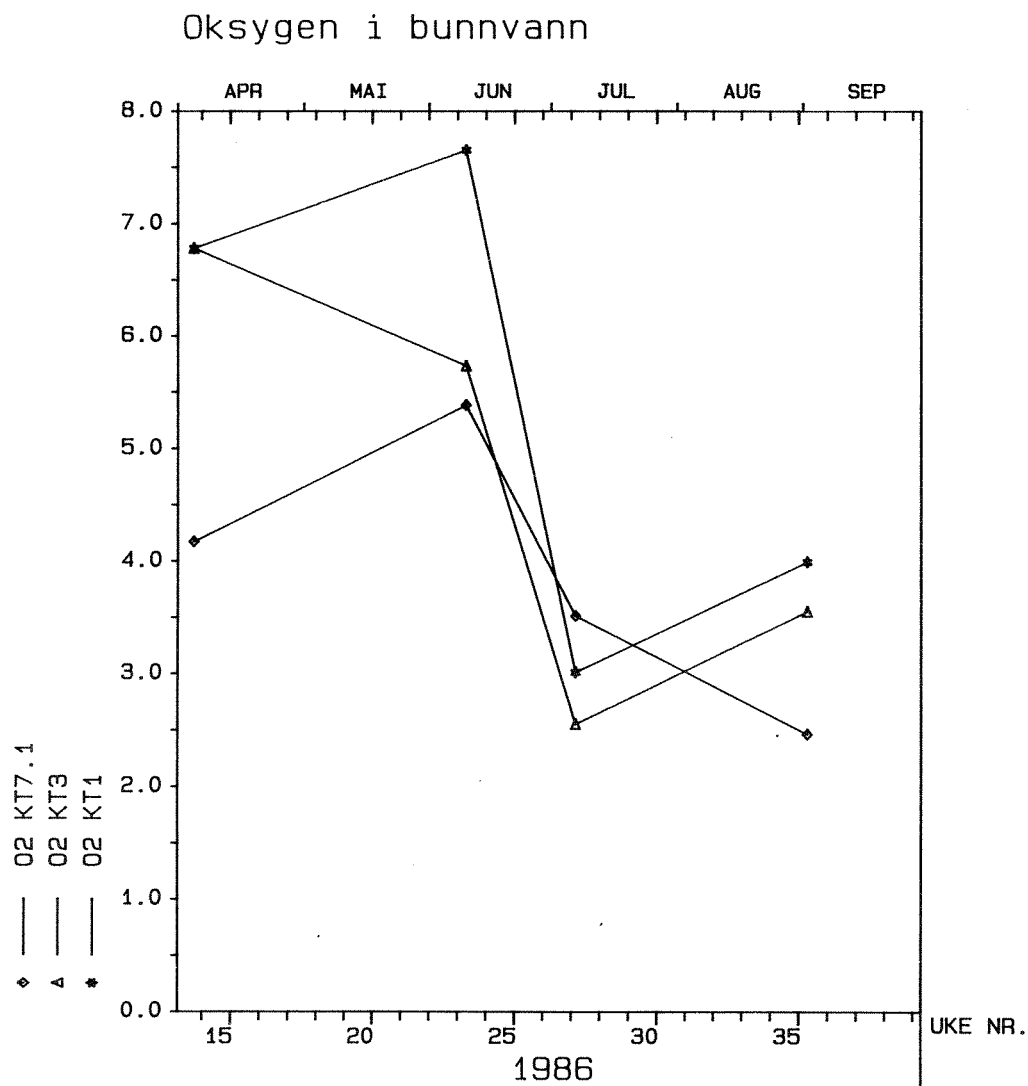


Fig. 8. Endringer i oksygen i dypvannet.

elen ved Kaldera har dårlige utskiftningsforhold. Akkumulering av organisk materiale fra treforedling vil utenom flomperioden avsette seg i bassengene i elva og bidrar til økt oksygenforbruk i bunnvannet. Man skal ikke se bort ifra at det periodevis kan oppstå hydrogensulfid under 15 m dyp i noen av de dypeste bassengene i elva, spesielt om høsten.

På stasjonene KT4-KT7 var oksygenforholdene i bunnvannet betydelig bedre med verdier stort sett over 5 ml/l i 1986. Unntak er stasjon KT7-2, med et bunndyp på ca. 48 m. Her ble det i september 1986 målt 0.85 ml/l oksygen i 40 m dyp. I dette området er det også tidligere påvist kritiske oksygenforhold på ettersommeren (Magnusson og Skei, 1984). Hovedårsaken må være en kombinasjon av topografi (basseng med dårlig vannutskiftning) og sedimentering av organisk materiale i forsenkninger.

Det ble ikke påvist reduserte oksygenkonsentrasjoner verken ovenfor (KT5) eller nedenfor utslippet (KT6) til Kronos Titan i dyp som er influert av avløpsvannet (3-8 m).

Målingene i 1987 viste i likhet med 1986 laveste verdier på ettersommeren. I august ble det f.eks. målt 2 ml/l oksygen i 15 m dyp på KT2 og 0.55 ml/l i samme dyp på stasjon KT1 hvor det ble registrert høy saltholdighet. Det er stor sannsynlighet for at det i september 1987 var hydrogensulfid i bunnvannet i bassenget nedenfor Greåker.

En reduksjon i oksygeninnholdet fra mars til august 1987 ble registrert på de fleste stasjonene (f.eks. KT4, 13 m: 8.59, 7.69 og 4.54 ml/l).

Også i dypbassenget i Løperen (KT7-1) ble det i 1987 registrert ekstremt lave oksygenkonsentrasjoner i dypvannet (50 m) både i mai (1.20 ml/l) og i august (1.04 ml/l). Det er således klart at den organiske belastningen er for stor i forhold til vannutskiftningen i denne delen av estuaret.

4.1.4 Transmisjon, turbiditet og siktedyp

 For ingen av undersøkelsesårene synes utslipp fra Kronos Titan å spille noen sentral rolle for siktbarheten i overflatevannet. Det er ferskvannets partikkelinnhold i Glomma som er avgjørende. I området nær utslippet til Kronos Titan øker turbiditeten under overflatelaget. Økningen er størst sør for utslippet slik at avløpsvannet innlagrer seg i hovedsak i vannmasser som strømmer sørover.

Målinger av transmisjon, turbiditet og siktedyp gir alle et uttrykk for vannets klarhet eller innhold av stoffer som reduserer gjennomskinneligheten (partikler, farvestoffer etc.). Mens transmisjon og siktedyp begge registreres på stedet, så måles turbiditeten i vannprøver på laboratoriet. Transmisjon måles ved hjelp av nedsenkbar sonde og resultatene gis som en prosentverdi av transmisjonen i luft. Ved omtrent samtlige målinger viste instrumentet ca. 86% transmisjon i luft. Turbiditeten måles i JTU-enheter og refererer seg til en standard med kjent turbiditet. Siktedypet gir informasjon om sikten i overflatelaget og sier således ingen ting om vannets gjennomskinnelighet nedover i dypet.

Transmisjonsmålingene i 1986 viste klart at sprangsjiktets beliggenhet var den bestemende faktoren. Over sprangsjiktet ble det målt tilnærmelesvis 0 % transmisjon. Det innebærer at det er elvevannets innhold av partikler og farvestoffer som er avgjørende for sikten i vannet. I det underliggende sjøvannet er transmisjonen betydelig høyere, med unntak av oppvirvling av bunnsedimenter i bunnvannet i juli 1986.

Målingene i 1987 bekrefter tidligere målinger. I mai da vannføringen i Glomma var over 1400 m³/s ble det målt 0% transmisjon fra overflate til bunn på de to øverste stasjonene i elva. På det tidspunktet var det også ferskvann helt til bunns på disse to stasjonene. På stasjon KT3 ble en økning i transmisjonen påvist i 17m dyp tilsvarende det dypet hvor saltvann ble påvist.

For begge årene synes utslipp fra Kronos Titan ikke å spille noen sentral rolle for siktbarheten i overflatevannet.

Turbiditeten i overflatevannet var i 1986 høyest i april, da vannføringen var lav (350 m³/s). Ved økende vannføring avtok turbiditeten.

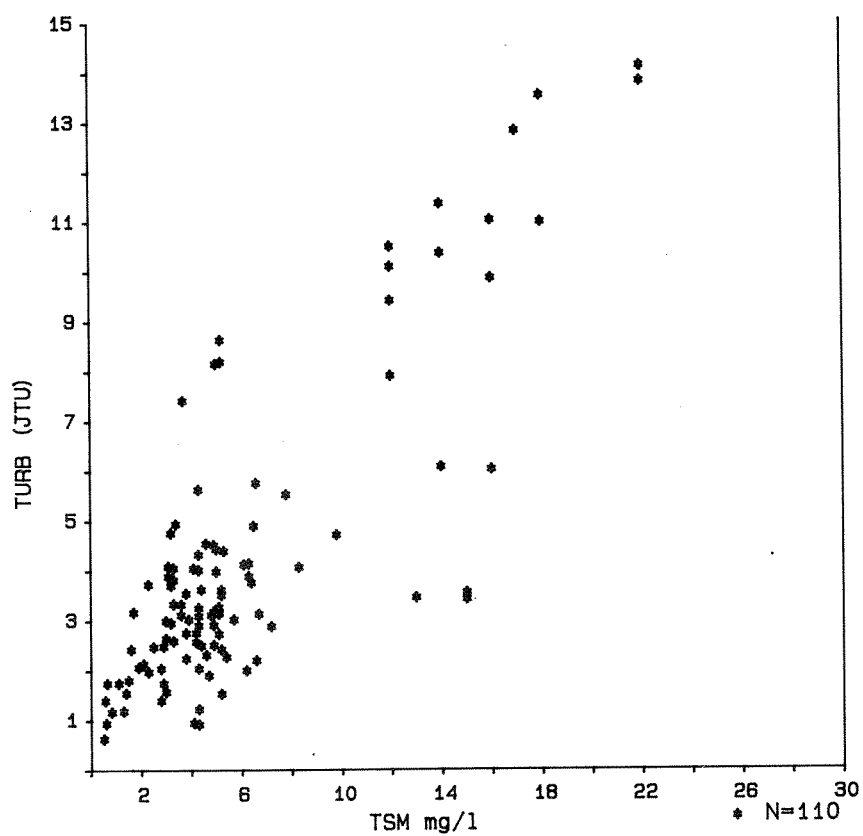
Det ble også observert små forandringer i turbiditeten nedover elva. Nøyaktig samme tendens ble observert i 1987, med høyst turbiditet om våren før flomperioden og en drastisk nedgang under flommen i mai.

På stasjoner like ovenfor og nedenfor utslippet til Kronos Titan ble det registrert en betydelig turbiditetsøkning i 4 - 6 m dyp i 1986 som må tilskrives utslipp fra Kronos Titan. Dette viser at avløpsvann kan bre seg både oppover og nedover fra utslippspunktet avhengig av innlagringsdyp og strømforhold.

Under mars-toktet i 1987 ble det registrert høy turbiditet fra 1 - 6 m på stasjonen etpar hundre meter ovenfor utslippet (KTNU). I august ble det på samme sted registrert en økning i 3 - 6 m dyp i forhold til stasjon KT5 og også dette må skyldes avløpsvann fra Kronos Titan. Dette ble bekreftet av jernanalysene. Sør for utslippet ble det målt ekstremt høy turbiditet i 3 - 5 m i mars. Sammenligner vi turbiditeten i vannet nord og sør for utslippet i 1987 var det gjennomgående høyere turbiditet sør for utslippet. Dette tilsier at utslippsarrangementet stort sett fungerer som tilsiktet ved at avløpsvannet innlagrer seg i en utadgående strøm under overflaten.

I tillegg til turbiditet ble det også målt gravimetrisk mengde partikulært materiale i vannprøvene. Dette er et mere direkte mål for mengde frafiltrerbart materiale ($> 0,4 \mu\text{m}$). Sammenhengen mellom turbiditet og mengde partikulært materiale (TSM) er vist på figur 9. En korrelasjonskoeffisient på 0,85 tyder på god sammenheng selv om det er enkelte unntak. Resultatene fra målingene av TSM like nord og sør for utslippet bekrefter konklusjonen ovenfor om avløpsvannets innlagring.

Hvis vi betrakter mengde partikulært materiale på stasjonen ved Fredrikstad-brua (KT3) i 1987, og antar at partikkelmengden som befinner seg i 1 m dyp representerer elvas sedimenttransport, kan vi gjøre et overslag over sedimenttransporten. Før vårflommen (mars) transporterte elva 236 tonn pr døgn sedimenter mens i mai var den tilsvarende transporten 407 tonn pr døgn. På årsbasis er det grunn til å tro at mere enn 100.000 tonn sedimenter fraktes med ellevannet ut i estuaret. Tidligere estimat har vært 250.000 tonn (iflg. Bergan, 1983) og ~ 330.000 tonn (målinger hver 14. dag ved Sarpsfossen i perioden oktober 1986 - august 1987, pers. medd. L. Lingsten). De store avvikene skyldes at mengden partikler i vannet kan svinge mye fra dag til dag.



$$Y = 0.53X + 1.07$$

$$R = 0.82$$

$$P < 0.001$$

$$SD = 0.12$$

Fig. 9. Korrelasjonen mellom turbiditet og mengde partikler (TSM) i vannmassene

Siktedypet i elva ble i 1986 målt mellom 0,35 og 0,4 m i april og 1,7 og 1,8 m i juni. I 1987 ble det målt siktedypsverdier mellom 0,8 og 0,9 m i mars for samtlige stasjoner, 0,9 og 1,2 m i mai og 1,4 og 1,6 m i august. Siktedypet ser ut til å være sterkt avhengig av lei-retransporten i elva. Det laveste siktedypet ble målt da det ble registrert 3- 4000 µg/l partikulært aluminium i overflatevannet.

4.1.5 pH

pH-målinger i 1986 og 1987 viser at betydelige pH-reduksjoner kun kan registreres innenfor en radius på 0,5 km fra utslippet. Lave pH-verdier i bunnvann med lavt oksygeninnhold skyldes nedbryting av organisk materiale og dannelse av svake syrer.

Målinger i 1986 viste pH-verdier mellom 7,5 - 7,8 i saltvannet. Nær utslippet ble det imidlertid registrert en pH-reduksjon med laveste verdi på 3,26 hundre meter syd for utslippet på 3 m dyp. Saltholdigheten på denne prøven var 13,6 ‰.

I 1987 ble det registrert en pH-senkning i bunnvannet i elva som antas å skyldes oksygenfattig vann med lang oppholdstid. Ved nedbryting av organisk materiale dannes svake syrer som påvirker pH.

På stasjonene KT5 og KT6 henholdsvis ovenfor og nedenfor utslippet ble det registrert normale pH-forhold fra overflaten til bunnen, mens pH-reduksjoner ble observert både på stasjonen like nord og sør for utslippet. Sammenligninger mellom disse stasjonene ved 6 m dyp i mars 1987 er vist nedenfor:

Avstand fra utsl. (m)	KT5	KTNU	KTSU	KT6-1
	700	200	200	1600
pH	8,24	7,75	6,38	8,29
S ‰	21,52	19,90	20,58	20,81

Dette indikerer at syreholdig avløpsvann neppe gir en målbar påvirkning av pH i ellevannet utover en radius på 0.5 km. Eventuelle små pH-reduksjoner utenfor dette området er vanskelig å relatere direkte til utslipp av syreholdig avløpsvann fra Kronos Titan. Den laveste pH-verdien registrert i 1987 var 6,17 på 5 m dyp sør for utslippet (KTSU). Saltholdigheten var her 18,54 ‰.

4.1.6 Metaller

Det er påvist forhøyede nivåer av jern, titan, krom og vanadium i vannmasser i hele undersøkelsesområdet (Greåker-Kjøkkø), en strekning på over 15 km, som i hovedsak skyldes utslipp fra Kronos Titan. I tillegg til utslippet av jern er nivået av jern høyt i Glomma-vann allerede før det påvirkes av utslippet til Kronos Titan. Det innebærer at jernpåvirkningen i Hvaler-området blir meget stor.

Analyser av metaller i vannfasen begrenser seg til parametre som er mest fremtredende i Kronos Titans avløpsvann (jern, titan, krom, vanadium, kopper og sink). Analysene av metaller er gjort på ufiltrerte prøver.

Vi kan betrakte overflatevannet på den øverste stasjonen (KT1) som uberørt av Kronos Titans utslipp. Tabell 3 viser den gjennomsnittlige konsentrasjonen av metaller i overflatevannet (1 m) i 1986 og 1987.

Tabell 3. Metallinnholdet i vannprøver (overflaten) fra Glomma ved Greåker (KT1) (ufiltrerte prøver, µg/l) i 1986 og 1987.

1986 (3 prøveserier)

	Fe	Ti	V	Cr	Zn	Cu
Min	160	5.0	0.5	0.5	5.0	1.5
Mid	350	10.7	1.0	0.6	13.7	3.9
Max	700	19.0	2.0	0.6	18.0	5.2
St.av.	303	7.4	0.87	0	7.5	2.1

1987 (3 prøveserier)

	Fe	Ti	V	Cr	Zn	Cu
Min	284	16	0.6	0.4	3.4	3.6
Mid	538	28	1.4	1.0	6.4	5.3
Max	700	37	2.6	1.5	8.2	8.6
St.av.	222	11	1.1	0.5	2.6	2.8

Av tabellen fremgår at variasjonene i metallnivå i elvevannet er tildels store, spesielt for jern og titan. Det siste skyldes at disse metallene forefinnes i betydelige mengder i naturlig leire, som varierer mye i konsentrasjon i elvevannet. Spormetallene derimot viser mere stabile konsentrasjoner men også her er det en del variasjoner, spesielt for sink. Det kan skyldes en viss forurensning med sink lenger oppe i elva.

Tabell 4 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av metaller for alle dyp på stasjonene nedover elva for samtlige tokt i 1987.

Tabell 4. Metallinnholdet i vannmasser i undersøkelsesområdet i 1987 ($\mu\text{g/l}$)

Metall	Stasjoner (KT)								
	1	2	3	4	5	NU	SU	6-1	7-1
Cu	2.8	2.8	2.5	2.7	2.5	2.7	3.8	1.9	1.3
Cr	1.1	1.2	1.3	1.4	1.2	2.1	8.0	1.9	1.4
V	1.8	2.1	2.5	2.9	2.4	4.8	23.3	3.7	2.1
Zn	5.1	5.2	4.7	4.5	4.7	5.3	6.2	3.6	3.0
Fe	562	548	859	528	436	680	2138	466	310
Ti	20	28	37	44	35	97	321	62	18

Ved å sammenligne verdiene for Glomma-vann i 1987 (Tabell 4) med verdiene i Tabell 3 får vi en indikasjon på forurensningsnivået i undersøkelsesområdet. For koppers vedkommende ser vi at verdiene nedover elva var lavere enn i Glomma-vann ved Greåker og at det neppe er noen kopperforurensning som kan skyldes utslipp fra Kronos Titan (utslipp ca 1 kg løst og 13-14 kg kolloidalt kopper pr dag). De svakt forhøyde nivåene av kopper ovenfor Kronos Titan kan skyldes andre kilder. Etter opplysninger fra Borregaard slippes det årlig ut fra denne bedriften ca 180 kg kopper pr dag (som $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Denne kilden er

således meget betydelig. I 1986 viste målinger av kopper i elvevannet 3.6 µg/l ved St. KT1, 3.5 µg/l ved KT2, 3.3 µg/l ved KT3, 3.1 µg/l ved KT4, 2,7 µg/l ved KT5 og 2.1 µg/l ved KT6-1. (Skei, 1987). Dette bekrefter at det er en kilde for kopper ovenfor Fredrikstad som er viktigere enn Kronos Titan.

Med hensyn til krom så var verdiene nedover elva høyere enn gjennomsnittskonsentrasjonen i Glomma-vann. Her ser vi tydelig at avløpsvann fra Kronos Titan fører til forhøyning av konsentrasjonene på stasjonene nær utslippet (Fig. 10).

Konsentrasjonene av vanadium viste meget klar påvirkning av avløpsvann fra Kronos Titan. Alle konsentrasjonene er høyere enn i Glomma-vann og det er en klar økning nedover mot utslippet (Fig. 11). Influensområdet som viser vanadium-forurensning strekker seg derfor minst ned til Kjøkø og fordelingen er omtrent identisk med fordelingen av krom (Fig. 10). Konsentrasjonen 250 m sør for utslippet var i gjennomsnitt for hele vannsøylen 16 ganger høyere enn i Glommas overflatevann ved Greåker. I 1986 var vanadiumpåvirkningen enda sterkere, med konsentrasjoner på over 100 µg/l i utslippsområdet.

Sink viste på en annen side moderate konsentrasjoner i hele undersøkelsesområdet. En liten økning ble registrert sør for utslippet i 1987, mens resultatene forøvrig tyder på at det er en viss tilførsel av sink nord for Greåker.

Jern-konsentrasjonene var høye i hele området, delvis som et resultat av et unormalt høyt jern-innhold i Glomma-vann og store tilførsler fra Kronos Titan. Hele området må betraktes som betydelig forurenset med jern. Når det er forholdsvis små forskjeller i konsentrasjonsnivået mellom stasjonene (Tabell 4) skyldes dette følgende:

- (i) Resultatene i Tabell 4 viser gjennomsnitt i hele vannsøylen
- (ii) Ovenfor utslippet skyldes høye konsentrasjoner elvas "naturlige" høye jerninnhold
- (iii) Nedenfor utslippet er nivået et resultat av at de store tilførselene fra Kronos, sammenfallende med kraftig fortykning med sjøvann med meget lavt jerninnhold.

Vannets titan-innhold viser i likhet med vanadium klar påvirkning fra Kronos Titans avløpsvann. Samme tendens ble påvist begge undersøkelsesår.

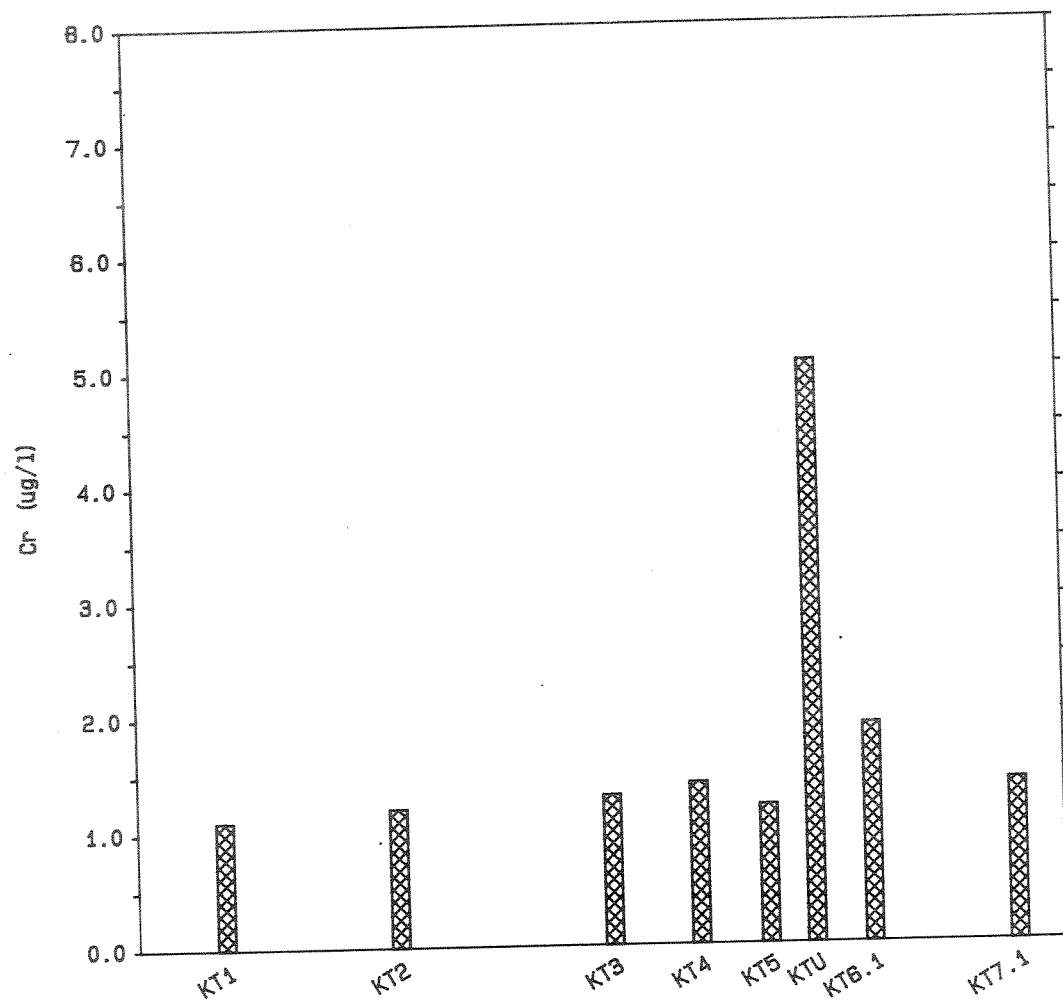


Fig. 10. Variasjoner i konsentrasjonene av krom nedover elva (alle dyp) i 1987. (KTU= gjennomsnitt av KTNU og KTSU).

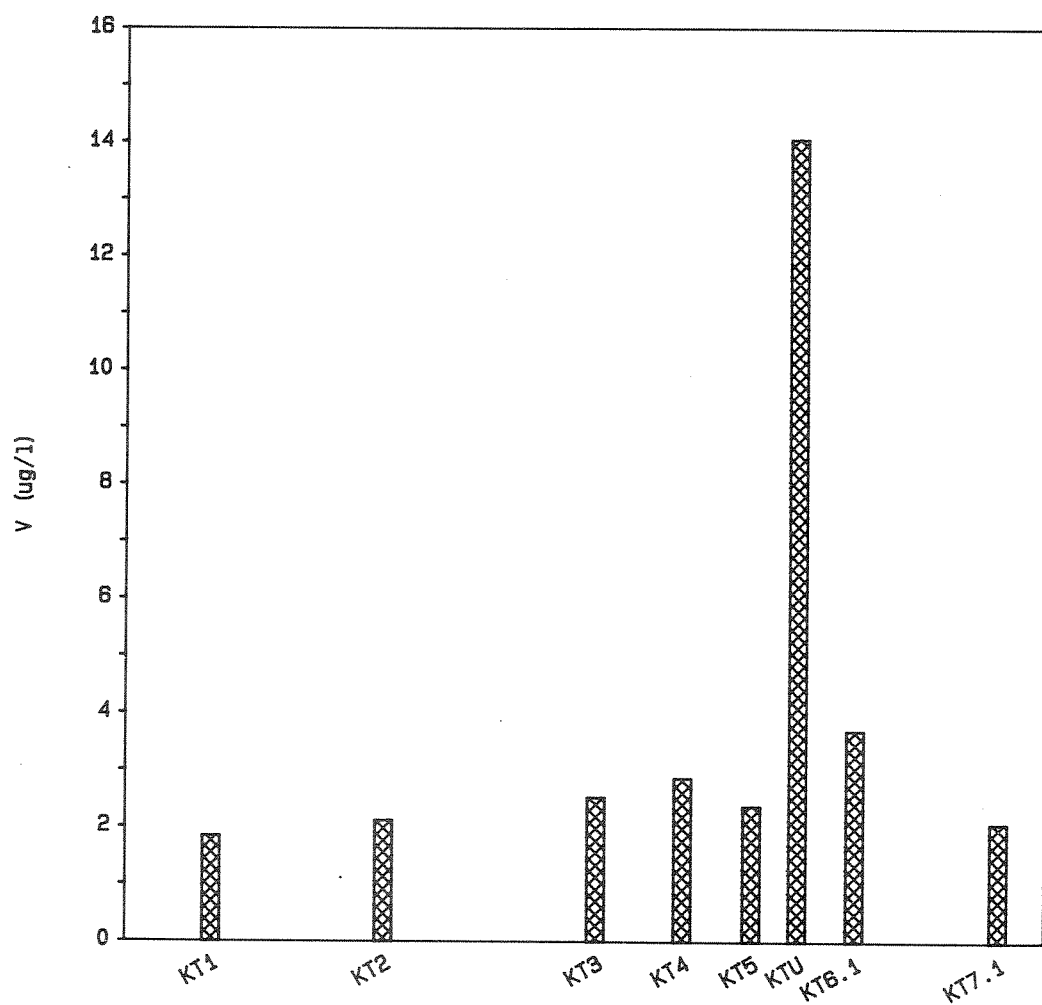


Fig. 11. Varasjoner i konsentrasjonene av vanadium nedover elva (alle dyp) i 1987. (KTU= gjennomsnitt av KTNU og KTSU).

4.1.7 Partikulært materiale

Elvevannets partikkelmengde er dominert av leire, men den kjemiske sammensetningen av partiklene viser en påvirkning fra Kronos Titans avløpsvann. Partiklene har et forhøyet innhold av jern og titan i store deler av undersøkelsesområdet.

Med partikulært materiale menes partikler som frafiltreres en vannprøve ved hjelp av et Nuclepore membranfilter med porestørrelse 0,4 μm . Disse filtrene veies for å finne mengde partikulært materiale pr. liter vann (se 4.1.4) og deretter gjøres kjemiske analyser på filterne. Parametrene omfatter aluminium (hovedbestanddel i leire), jern og titan.

De høyeste aluminium-konsentrasjonene befinner seg i overflatevannet som følge av elvas leire-transport. I lys av variasjonene fra Greåker og nedover til Alshus er det forholdsvis lite leire som sedimenterer på denne strekningen. Sannsynligvis skjer det også en viss tilførsel av aluminium i dette området som følge av erosjon og båttrafikk som virvler opp partikler fra bunnen. Små endringer i siktedyp (se 4.1.4) i området bekrefter at partikkelmengden i overflatevannet ikke varierer mye mellom stasjonene.

Konsentrasjonene av partikulært jern er tildels avhengig av aluminiumkonsentrasjonene ettersom jern også inngår i leir-partikler. Forholdet Fe/Al i overflatevannet ved Greåker ble i 1986 målt til 0,5 (Skei, 1987). Hvis vi derimot betrakter Fe/Al-forholdet i bunnvannet ved Greåker er dette betydelig høyere. Forklaringen kan være at bunnvannet er kontaminert med jern fra Kronos Titan som følger saltvannskilen oppover elva. Det er derfor klart at utslipp av jern fra Kronos Titan påvirker hele undersøkelsesområdet.

Hvis vi kun betrakter overflatevannet i 1987 og ser på Fe/Al-forholdet i partikulært materiale fra den øverste (KT1) til den nederste stasjonen (KT7-1), har vi følgende fordeling:

KT1: 0,61
KT2: 0,57
KT3: 0,62
KT4: 0,52
KT5: 0,58
KTNU: 0,55
KTSU: 0,68
KT6-1:1,01
KT7-1:0,70

Disse resultatene viser at jernholdig avløpsvann ikke berører overflatevannet ovenfor utslippet, men at det skjer en opptrengning til overflaten nedenfor utslippet. Konsekvensen av dette er en betydelig kontaminering av strender med jern (Knutzen og Skei, 1988).

Jern-transporten i Glomma ved Greåker (partikulært og løst) under de tre toktene i 1987 var henholdsvis 23 tonn, 78 tonn og 16 tonn pr døgn. Av dette jernet var 50% i partikulær form. Kronos Titan har et daglig utslipp av jern på ca 25 tonn. Selv om den "naturlige" jern-transporten i Glomma til tider overskrider mengden jern som slippes ut fra Kronos Titan, må det bemerkes at dette er to forskjellige typer jern. I Glomma-vannet er en stor del av jernet bundet opp i leire mens jernsulfat i surt miljø tilføres elva ved Kronos Titan. Dette jernet faller ut som finfordelte fnokk og transporteres lange avstander.

Ettersom vi kjenner mengden partikulært materiale i vannet (mg/l) og konsentrasjonen av partikulært jern ($\mu\text{g/l}$) kan vi kalkulere konsentrasjonen av jern i det partikulære materialet. I overflatevannet ved Greåker inneholdt det partikulære materialet 3-7% jern i 1987. Like sør for utslippet til Kronos (KTSU) inneholdt det partikulære materialet på 6 m dyp hele 17% jern i mars -87. Den høyeste konsentrasjonen av jern i det partikulære materialet ble i 1987 målt i oksygenfattig vann på 50 m dyp på stasjon KT7-1 (26%). Dette skyldes trolig at jern som sedimenterer i bassenget blir redusert på grunn av redoksforholdene, diffunderer ut i vannmassen hvor det skjer en ny utfnokking av jern.

Innholdet av titan i partikulært materiale av naturlig opprinnelse varierer med aluminium-mengden. Det er et nokså konstant Ti/Al-forhold i partikler forutsatt at opphavsmaterialet er det samme. Derfor viser Ti/Al-forholdet i partikulært materiale i overflatevannet på den øverste stasjonen verdier mellom 0.04 - 0.05. Fig. 12 viser variasjonen i Ti/Al-forhold på hver stasjon (alle dyp) nedover elva. Figuren viser klart hvordan utslippet fra Kronos Titan begge årene

påvirker Ti/Al-forholdet særlig sør for utslippet, men også oppstrøms.

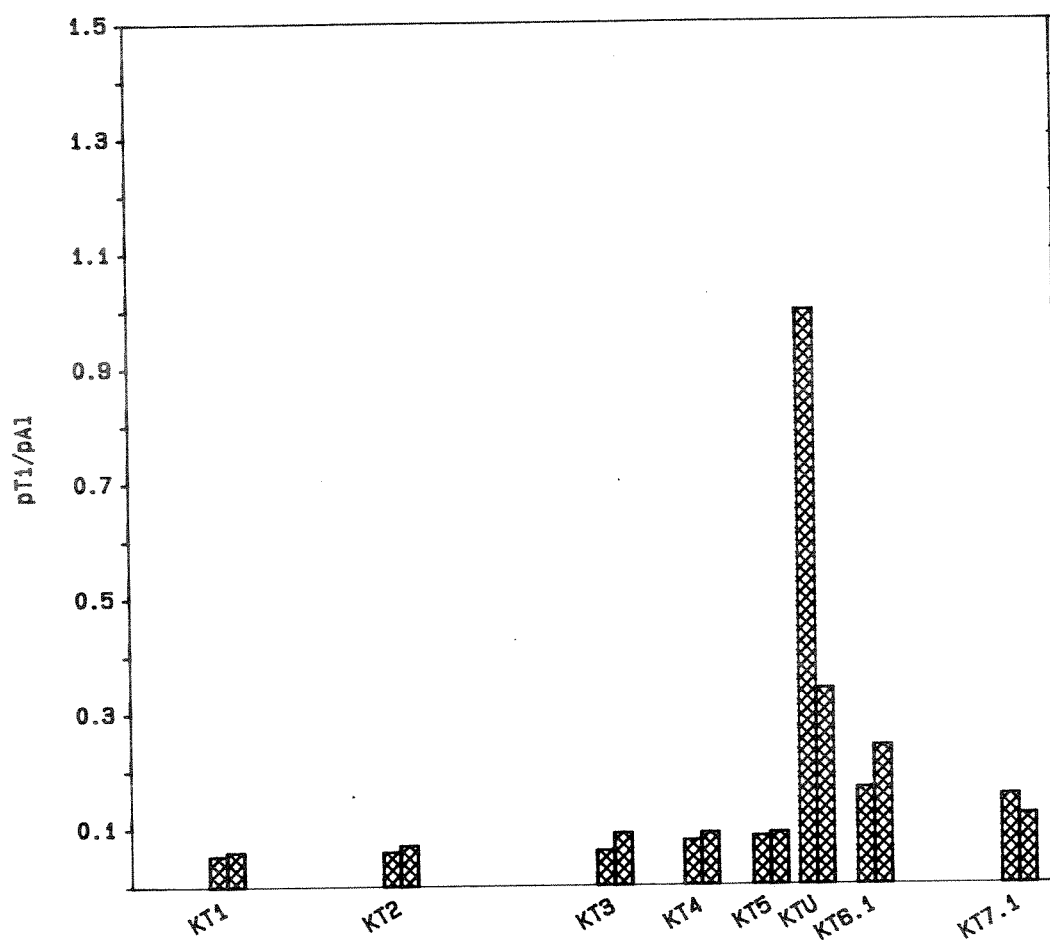


Fig. 12. Variasjoner i forholdet mellom titan og aluminium i partikulært materiale nedover elva (første søyle representerer 1986 og andre søyle 1987).

4.2 Bunnsedimenter

4.2.1 Visuell beskrivelse

Bunnsedimentene skifter utseende med årstiden avhengig av flomsituasjonen i Glomma og oksygenforhold i bunnvannet. Mest stabile forhold på bunnen finnes sør for Kjøkø, med et brunfarget overflatelag over sorte sedimenter.

For beskrivelse av sedimentene tatt i 1986 vises til Skei (1987). Beskrivelsen av prøvene tatt i mars og august 1987 er vist i Tabell 5 og 6.

Tabell 5. Visuell beskrivelse av sedimenter tatt i mars 1987.

Stasjon	Vanndyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse
KT1	18	14	2 cm sort slam over fast leire
KT2	18	6-8 cm	Gult/okerfarget moseaktig topplag (1-2 cm) Heterotrof vekst? Sort mudder, deretter grov sand
KT3	19	15	Sort topplag med okergule fnokk. Leire under.
KT4	15	10	Sort lag med brune fnokk over grov sand.
KT5	9	9	Grov sand. Noe sort slam helt i bunnen.
KT6	10	17,5	Tynt brunt toppsjikt over mørk silt
KT7	43	42	Tynt brunt topplag over lysegrått sediment (1-2 cm). Under meget sort sediment uten H ₂ S-lukt.
KT8	33	25	Brun overflate. Mørkt sediment under
KT9	53	45	Kraftig utviklet brunt topplag. Ellers nokså likt KT8.
KT10	60	62	Nokså lik KT9
KT11	47	41	Nokså lik KT9

Tabell 6. Visuell beskrivelse av sedimenter tatt i august 1987

Stasjon	Vanndyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse
KT1	17	10	Sort anoksisk sediment (3cm) over grus og stein (3-4cm) og hard leire under.
KT2	18,5	14	Sort 4cm anoksisk lag. Grov sand og grus. Hard leire fra 4cm og nedover.
KT3	19	14	Sort, anoksisk topplag (1-2cm) Hard leire under
KT4	14,5	32	Gråbrunt sediment. Siltig. Fnokker på toppen.
KT5	9,2	17,5	Dårlig prøve. Mye oppvirvling. Grov sand over leire.
KT6	10,2	-	Lyst overflatelag. Sort under. Mye bioturbasjon i det sorte.
KT7	50	52	Beksort, løst sediment.
KT8	33	32	Leirig, brunlig sediment
KT9	61,5	57	Lyst sediment over beksort sediment Meget løs.
KT10	59	72	Brunlig, leirig sediment
KT11	49	67	Fin kjerne. Brunlig sediment. Bioturbert

Det som spesielt er å bemerke til den visuelle beskrivelsen er sesongvariasjonene i sedimentenes utseende. Disse henger sammen med vannføring i elva og utskifting av bunnvannet. I august 1987 var det nesten oksygenfritt i bunnvannet på den øverste stasjonen. Av den grunn var sedimentene her sterkt sortfarget og luktet av hydrogensulfid. Også nedover elva skifter sedimentene karakter i løpet av året avhengig av om det er sedimentasjon eller erosjon som er rådende på stedet.

4.2.2 Sedimentenes kornstørrelse

Mengden silt og leire på bunnen varierer kraftig mellom stasjonene og mellom tidspunktene for prøvetaking. Det skyldes vekslning mellom sedimentasjon og vekktransport (erosjon) av sedimentene.

Sedimentprøvene innsamlet i 1986 ble analysert uten noen form for fraksjonering etter kornstørrelse. Prøvene tatt i 1987 derimot ble siktet gjennom 63 μm sikt før analysering (fraksjonen finere enn sand). Analyseresultatene fra 1986 og 1987 er således ikke helt sammenlignbare. Derimot er det lettere å gjøre innbyrdes sammenligning mellom stasjonene når analysene er gjort på en kornstørrelse, spesielt i elver hvor sedimentenes kornstørrelse varierer sterkt.

Den prosentvise andelen av sedimentene som er finere enn sand (<63 μm) gir et godt bilde av sedimentets fysiske karakter. Det er store forskjeller i den relative andelen av finfraksjonen mellom stasjonene, vertikalt i sedimentet og mellom de to prøveinnsamlingene i 1987. Mens finfraksjonene utgjorde mellom 30-50% i de øvre 3 cm på den øverste stasjonen (KT1) var den tilsvarende finfraksjonen tilstede i 5-10% på stasjon KT5 i april 1987. Disse to stasjonene representerer ulike sedimentasjonsmiljø hvor sedimentasjon er dominerende på KT1 mens erosjon er fremtredende nede ved Møllerodden (KT5). I august 1987 utgjorde finfraksjonen 44% i de øvre 0-1 cm på stasjon KT1, mens de underliggende 1-2 og 2-3 cm inneholdt henholdsvis 10 og 3% finstoff. Dette kan forklares ved at vårflommen i mai fjernet mesteparten av finstoffet i sedimentene og at det utover sommeren gradvis har bygd seg opp en større fraksjon med silt og leire (og fiber).

4.2.3 Organisk materiale

Innholdet av organisk materiale i sedimentene veksler i elva, mens sør for Kjøkø inneholder sedimentene 9-10% organisk materiale.

Målingene av organisk materiale i sedimentene i 1986 viste høyere nivåer om våren enn om høsten. Dette ble forklart med fjerning av organisk materiale under vårflommen i mai-juni. (Skei, 1987). Målinger vår og sensommer 1987 viste ikke like klare forskjeller. Men med unntak av stasjon KT1 var det som i 1986 en tendens til lavere innhold av organisk materiale i prøver tatt etter flommen. Betydelig lavere innhold av organisk materiale i sedimenter på den øverste stasjonen ved Greåker i 1987 sammenlignet med 1986, kan skyldes at sedimentene i 1986 ikke ble siktet før analyse. Ved siktingen fjernes en god del fiber som ikke går gjennom sikten på grunn av sin fysiske beskaffenhet. Således ble det målt 54% finstoff ved 3 cm dyp øverst i elva mens bare vel 2% av dette var organisk materiale. Sør for Kjøkø (Fig. 3) inneholdt sedimentene 9-10% organisk materiale både i 1986 og i 1987.

4.2.4 pH i vannfasen over sedimentet

Det ble bare registrert lavere pH-verdier over sedimentet på to stasjoner, nord og sør for utslippet fra Kronos Titan, som kan settes i forbindelse med avsetning av surt avfall på bunnen.

Resultatene av målingene av pH i vannfasen like over sedimentet i 1986 viste konsekvent lavere pH enn et par meter fra sedimentet. (Skei, 1987). pH-verdiene varierte dengang mellom 6.68 og 7.33 på stasjonene KT1-7. I 1987 ble det registrert betydelig høyere pH-verdier like over sedimentet sammenlignet med 1986. En reduksjon i forhold til bunnvannet (1-2 m fra sedimentet) ble bare registrert på stasjonene KT5 og 6 og som sannsynligvis kan settes i forbindelse med akkumulering av surt avfall på bunnen. Forskjellene mellom 1986 og 1987 kan ha noe med vannutskifting og vannets oppholdstid over sedimentet å gjøre.

4.2.5 Metaller i sedimentene

 Det er en moderat forurensning med metaller i sedimentene i hele undersøkelsesområdet, dvs. fra Greåker til Asmalø. Titan, krom og vanadium følges ad i sedimentene med høyeste konsentrasjoner like nord for utslippet fra Kronos Titan. Jern derimot viser høye konsentrasjoner i den sørligste delen av undersøkelsesområdet.

Sedimentundersøkelsene i 1986 konkluderte med at bunnen var forurenset av jern, titan, vanadium og krom - alle komponenter i Kronos Titan's avløpsvann (Skei, 1987).

I 1987 viste sedimentene noe høyere jern-konsentrasjoner ("total jern") om våren enn i august på stasjonene i selve elva. Dette antas å skyldes utspyling av finkornige og jernholdige sedimenter under vårflommen. Ute i selve estuaret lå konsentrasjonene på 6-7% jern i finfraksjonen. Målingene 1 1986 på ufraksjonert sediment viste verdier mellom 5 og 6% (Skei, 1986). Dette er en indikasjon på at mesteparten av jernet i sedimentet foreligger i finfraksjonen. Det er ellers verdt å merke seg at de høyeste jern-konsentrasjonene ble i 1987 i likhet med 1986 målt sør for Kjøkø. Dette må skyldes sedimentering av finpartikulært jern i et område hvor Glommas transportevne avta. Målinger av jernkonsentrasjonen i sedimentet etter oppslutning med svak eddiksyre (HOAc) viste at omlag 20-35% av jernet i finfraksjonen lar seg utlute med eddiksyre. Dette er i samsvar med målinger i 1986 (Skei, 1987).

Den relative andelen av eddiksyreløslig jern er høyere i overflatesedimentene enn i de underliggende sjikt. Det kan skyldes at det skjer en omdanning av jernet til en mere tungtløselig form etter avsetning (f.eks. dannelse av jernsulfid). Ellers er det ingen vesentlig forskjell i løsligheten av det jernet som avsettes nær Kronos Titans utslipp og det som avsettes oppe i elva eller nede i estuaret.

De høyeste konsentrasjonene av titan ble før vårflommen 1987 målt på stasjonene 3, 4 og 5, alle overfor Kronos Titans utslipp. Tendensen var også den samme etter flommen, men nå var verdiene noe lavere. Forklaringen på dette må være at mesteparten av titan er knyttet til slamutslippet til Kronos Titan. Slammet synker ned i sjøvannslaget og blir transportert oppover elva hvor det sedimenterer. Jernet derimot

er knyttet hovedsaklig til tynnasyra som i hovedsak innlagres i underkant av den utgående brakkvannstrømmen og sedimenterer først ut i Hvaler-området.

Konsentrasjonene av mangan følger i stor grad jern-konsentrasjonene. Etter all sannsynlighet skjer det en medfelling med jern. Det er forøvrig lite som tyder på overkonsentrasjon av mangan som kan skyldes forurensning.

Krom derimot viser i likhet med titan forhøyede konsentrasjoner særlig på stasjonene 3, 4 og 5. Det var også tilfelle i 1986 (Skei, 1987), før vårflommen. Under flommen spyles de finkornige sedimentene vekk og nivåene av krom reduseres fra 130-150 mg/kg til 30-70 mg/kg.

Kopper viser en annen fordeling i sedimentene enn krom og titan og har sannsynligvis en annen kilde. Nivåene er forhøyd 3-6 ganger om våren 1987 i forhold til hva vi kan betrakte som bakgrunnsnivå. Nivåene er like høye og tildels høyere ovenfor Fredrikstad enn nedenfor. Etter opplysninger fra Borregaard A/S i Sarpsborg slipper bedriften årlig ut 60-70 tonn kopper som løslig kopparsulfat til elva i forbindelse med vanilinproduksjonen. Dette kan etter all sannsynlighet forklare forhøyningen av kopper både i vann og sediment i Glomma.

Vanadium fordeler seg i sedimentene på samme måte som titan og krom med høyeste konsentrasjoner like ovenfor Kronos Titan. Med et utslipp på over 200 kg pr dag av vanadium er det rimelig å forvente en kontaminering av bunnen i hele undersøkelsesområdet, slik som observert.

4.3 Metaller i organismer

Materialet omfatter flyndre og torsk, blåskjell, blæretang og et par andre arter av alger fra de i fig. 4 avmerkede områder og stasjoner.

4.3.1 Metaller i fisk

Overkonsentrasjoner av jern i lever er observert hos torsk (antydningvis 2-4 ganger "bakgrunnsnivået" og sannsynligvis i enda høyere grad hos skrubbeflyndre (sammenligningsdata mangler)). Nivået av øvrige metaller var omkring det "normale", med et visst forbehold for titan. I filèt ble det bare observert svak anrikning av jern.

Observasjonene i forbindelse med opparbeidelse av prøvene er summert i tabell 7 mens enkeltresultatene fra metallanalysene er gjengitt i tabellene 8 og 9.

I tabellene 10 og 11 nedenfor er variasjonsområdet for hele materialet av filet og lever sammenstilt og jevnført med "normalverdier" for metallinnholdet i fisk fra bare diffust belastede områder (kfr. litteratursammenstilling av Knutzen, 1987).

Tabell 7. Sammendrag av observasjoner ved opparbeidelse av fiskeprøver fra Hvalerområdet 1986-87 (M = middel)

<u>SKRUBBE (Platichthys flesus)</u>	
Flyndregrunnen, sept. 1986	10 stk, 27-38cm (M~32cm), 210-630g (M~410g) 3 eks med flekket lever, ingen med sår/ytre skader
Flyndregrunnen, aug/sept 1987	10 stk, 33-40 cm (M~37cm), 440-630g (M~490g) 1 eks med flekket lever, ingen obs. av sår/ytre skader
Ø. Kjeppingane, april/mai 1987	20 stk, 29-42 cm (M~34cm), 270-870g (M~410g) 4 stk med sår.

Tabell 7 forts.

<u>TORSK (Gadus morhua)</u>	
Flyndregrunnen sept 1986	9 stk, 36-59 cm (M~49cm), 430-1700g (M~930g) 1 eks med bloduttredelse i lever
Flyndregrunnen aug/sept 1987	20 stk, 34-56 cm (M~42 cm), 370-1320 (M~710g) 9 stk med flekket lever, ingen med sår/ytre skader
Ø. Kjeppingane, april/mai 1987	3 stk, 51-56cm (M~54cm), 1130-1610g (M~1430g).

Tabell 8. Metaller i filet (F), lever (L) og gjeller (G) av skrubbe (Platichthys flesus) og torsk (Gades morhua) fra Flyndregrunnen (Glommaestuaret) sept 1986, mg/kg friskvekt. Resultater av to parallellanalyser.

	S K R U B B E			T O R S K		
	F	L	G	F	L	G
Fe	2.49/3.48	338	387/391	2.75/4.18	64.9/66.9	152
Cr	0.09/0.11	<0.05	0.46/0.50	<0.05	<0.05	0.12/0.15
Ti	<0.5/<1	<0.5/<1	26.8/28.8	<0.5/<1	<0.5/<1	6.47/8.55
V	<0.5	0.71/0.81	1.39	<0.5	<0.5	0.50/0.70
Cd	<0.01/<0.1	0.04/<0.1	<0.01/<0.1	<0.01/<0.1	0.02/<0.1	<0.01/<0.1
Hg	0.12	0.06	0.06	0.35	0.06	0.06

Tabell 9. Metaller i filet (F), lever (L) og gjeller (G) av skrubbe Platichthys flesus og Gadus morhua fra Flyn-
dregrunnen (Glommaestuaert) aug/sept 1987 og Ø. Kjeppingane april/mai 1987, mg/kg friskvekt Skrubbe
fra Flyn-dregrunnen analysert parallelt (ny oppslutning). Reanalyseresultater (etter ny oppslutning) i
parentes. Ca-verdier pga omregning fra tørrvektbasis til friskvektbasis*. Data bedømt som særlig
usikre markert med?

	FLYNDREGRUNNEN			Ø. KJEPPINGANE			FLYNDREGRUNNEN			Ø. KJEPPINGANE		
	F	L	G	F	L	G	F	L	G	F	L	G
Fe	~6.5/11.5(2.5)	~1040/620(640)	~300/180(180)	~20(14)	~900(950)	~315(306)	~5.2(2.3)	~80(100)	~175(160)	~9.5(5.1)	~70(66)	~120(140)
Cr	<0.01/<0.03	~0.08/<0.04	~0.3/0.2	~0.04	~0.05	~1.2(1.1)	<0.02	~0.08	~0.2	~0.13	~0.05	~0.1
Mn	~0.06/0.14	~0.59/0.57(0.85)	~3/5.8(1.7)	~0.24	~0.7(1.0)	~5.4(5.2)	~0.12	~0.5(0.7)	~3.4(2.2)	~0.6	~0.5(0.8)	~2.1(1.3)
Ti	<0.1/<0.3	<0.4/<0.6	~13/7 (8)	<0.5	~0.5	~15(16)	<0.2	<0.6	~9(10)	~0.5	<0.5	~3.4(3.9)
V	<0.2/<0.3	~1.9/2.2(1.7)	~0.9/0.4	<0.5	~2.9(3.4)	~0.6	<0.2	<0.7/<1.0	~0.4	<0.3	<0.7(<0.6)	~0.2
Cd	<0.01/<0.01	~0.2/0.12	~0.01/0.01	<0.01	~0.2	~0.02	~0.01	~0.03	<0.01	<0.01	~0.03	~0.03
Cu	<0.4/1.2	~6.5/9.8	~2.2/1.5(0.8)	~4.2(0.9)	~6.5	~2.8(1.5)	~1.5(0.3)	~4.6	~2.8(1.1)	~0.6(0.2)	~6	~1.4(1.0)
Zn	~4.8/6.2	~39/42	~18/29 (18)	~8.7	~42	~23(22)	~3.7	~36	~20 (19)	~3.8	~28	~18(17)
Hg	~0.12/0.17	~0.12/0.14	-	~0.13	~0.20	~	~0.21	~0.15	-	~0.10	~0.10	-

* Ved misforståelse oppsluttet tørket istedenfor friskt materiale. Derfor omregnet fra tørrvektbasis ut fra følgende forhold mellom friskvekt og tørrvekt:

Filet: 5:1

Lever: Torsk 3:2, Skrubbe 3:1

Gjeller: 5:1.

For tørvektspresnt i filet og lever av torsk, kfr. Protasowicki (1987), for tilsvarende i filet av flyndrearter Ialandysz (1985)

Tabell 10 Metaller i filet av torsk (*Gadus morhua*) og skrubbe (*Platichthys flesus*) fra Hvalerområdet 1986-1987 jevnført med intervall fra bakgrunnsverdier, mg/kg friskvekt. Avrundede verdier pga delvis omregning fra tørrvektbasis til friskvektbasis (kfr. tabellene 8 og 9).

T O R S K			S K R U B B E	
	Hvaler- området	Bakgrunns- verdier	Hvaler- området	Bakgrunns- verdier
			1)	
Fe	~2.3-9.5	<1-5 (10?)	~2.5-20	1-10?
Cr	<0.05-~0.13	<0.1-0.1?	~0.01-0.11	<0.1-0.3?*
Mn	~0.12-~0.6	<0.1-0.5(1?)	~0.06-0.24	<0.1-0.4?
Ti	<0.2-<1.0	ingen data	<0.1-<1	ingen data
V	~0.2-<0.5	0.1-0.4*	~0.2-<0.5	ingen data
Cd	<0.01-<0.1	<0.005-0.02	<0.01-<0.1	<0.005-0.2
			2)	
Cu	~0.2-1.5	0.1-0.5(1?)	~0.4-4.2	0.1-0.5(1?)
Zn	~3.8	<2-5 (10?)	~3.8-6.2	3-10 (20?)
Hg	~0.1-~0.35	<0.05-0.1	~0.12-0.17	<0.05-0.1

* Få referansedata

1) Reanalyse viste ~14 mg/kg

2) Reanalyse viste ~0.9 mg/kg

Tabell 11. Metaller i lever av torsk (Gadus morhua) og skrubbe (Platichthys flesus) fra Hvalerområdet 1986 - 1987 jevnført med intervall for bakgrunnsverdier, (ekstraverdier i parentes) mg/kg friskvekt. (Avrundede verdier pga delvis omregning fra tørrvektsbasis til friskvektsbasis, kfr. tabellene 8 og 9.).

	TORSK (Gadus morhua)		SKRUBBE (Platichthys flesus)	
	Hvaler- området	Bakgrunns- verdier	Hvaler- området	Bakgrunns- verdier
Fe	~65-80(100)	10-30(68)*	~340-1040	Ingen data
Cr	<0.05-0.08	<0.1-0.5?*	<0.04-0.08	Ingen data**
Mn	~0.5-0.8	<0.5-2(3?)	~0.6-1.0	Ingen data
Ti	<0.5-<1	Ingen data	<0.5-<1	Ingen data
V	<0.5-<1.0	0.2-0.4*	~0.7-3.4	Ingen data
Cd	~0.02-<0.1	<0.05-0.2(0.5?)	~0.04-0.2	<0.1-0.2?*
Cu	~4.6-6.0	2-10(20?)	~6.5-9.8	5-25
Zn	~28-36	<10-20(36?)	~39-43	<20-40*
Hg	~0.06-0.1	<0.02-.05(0.1?)	~0.06-0.2	<0.1-0.2?*

* Få referansedata

** 0.03-0.20 mg /kg friskvekt i sandflyndre (Limanda Limanda) fra referanseområdet i nederlandsk undersøkelse vedrørende titandioksydavgang (JMG-rapport 12/1-E, 1988, upubl. data fra overvåking innen Oslo-Paris konvensjonene)

Av disse oppsummeringstabellene fremgår at det er registrert forhøyet konsentrasjon av jern. Denne forhøyelsen er svak (usikker) for filets vedkommende, tydelig i leveren (av spesielt skrubbe) og sannsynligvis også i gjeller (noe usikre sammenligningsdata). Heller ikke Spans (1987) fant noe sikkert utslag på jerninnholdet i filèt av fisk fra et nederlandsk dumpeområde for titandioksydavgang (individuelle konsentrasjoner ca 3-<20 mg/kg friskvekt, middelverdier ca 6-10 mg/kg).

Overkonsentrasjonen i leveren kan for torsks vedkommende antydes til størrelsesordenen 2-4 ganger normalinnholdet (jfr. tabell 11). (Den noe høye verdien på 68 mg Fe/kg anført som bakgrunnsnivå i torskelever er en ekstremverdi fra Jorhem et al (1984). Materialet til disse forfattere kom fra svenske fiskeforretninger, og det er følgelig mulig

at dette spesielle eksemplaret har vært fra et forurenset område).

For skrubbes del er det ikke noe direkte sammenligningsgrunnlag fra andre undersøkelser av denne arten eller andre flatfisk (Knutzen 1987a) Men når nivåene i skrubbelever ligger 5-10 ganger høyere enn i torskelever (tabell 11) er det rimelig å anta at overkonsentrasjonene i relasjon til vanlig jerninnhold er betydelig.

At de høyeste jernkonsentrasjonene er funnet i skrubbe, må sannsynligvis ses i sammenheng med at denne arten lever i mer intim kontakt med bunnen. Dette underbygges også av at jernkonsentrasjonene i gjellene hos de to arter (se tabell 12 og nedenfor).

Områdets overbelastning med jern synes tydelig å gjenspeiles også i gjellenes innhold av dette metallet. Å tallfeste forureningsraden ut fra disse data er imidlertid vanskelig. Observasjonen fra samme arter foreligger ikke. Dertil kommer mulige ulikheter mht. fiskestørrelse og prøveopparbeidelse ved det refererte sammenligningsmaterialet (tabell 12).

Tabell 12 Metaller i gjeller av torsk (Gadus morhua) og skrubbe (Platichthys flesus) fra Hvalerområdet 1986-1987 jevnført med data for ulike arter av fisk fra antatt ubelastede områder, (etter Knutzen 1987a), mg/kg friskvekt (Avrundede verdier pga delvis omregning fra tørrvektsbasis til friskvektsbasis, kfr tabellene 8 og 9).

	TORSK	SKRUBBE	Anslått bakgrunnsintervall 1)
Fe	~120-175	~180-390	<20-40(148)*
Cr	~0.1-0.2	~0.2-1.2	0.1-0.6*
Mn	~1.3-3.4	~1.7-5.8	<1-3(11?)*
Ti	~5-10	~6-29	Ingen data
V	~0.2-0.7	~0.4-1.4	Ingen data
Cd	<0.01-<0.1	<0.01-<0.1	<0.1-0.2(0.5?)
Cu	~1.0-2.8	~0.8-2.9	<1-1.8*
Zn	~17-20	~18-23	10-30 (55?)
Hg	-	-	<0.1

* Få referansedata, ekstremverdier i parentes

1) Data fra flere arter av fisk, se referanser i Knutzen (1987a).

Overkonsentrasjoner av jern i gjellene hos Hvalerfisk i størrelsesordenen 5-10 ganger kan antydes.

Også av krom kan det muligens (spekulativt) spores svake overkonsentrasjoner. Tilsvarende svake utslag er funnet i et nederlandsk dumpeområde for titandioksydavfall (JMG-rapport 12/1-E 1988, upubl. materiale fra overvåking innen Oslo/Paris konvensjonene).

Motsatt det man kanskje skulle forvente, er det ikke funnet høyere overkonsentrasjoner i fisk fra estuaret (Flyndregrunnen) enn i fisk fra Ø. Kjeppingane. (kfr. tabeller 8 og 9). Særlig er dette verdt å bemerke for skrubbe, som er temmelig stedbunden. En viss forklaring ligger i at det er påvist forhøyet innhold av løst og partikkelbundet jern i vann bortover mot Singlefjorden (kfr. fig 4 og fig. 10 hos Næs og Skei, 1983) Området nær Kjeppingane er også blant dem som har forholdsmessig høyt jerninnhold i sedimentene (fig. 34 hos Næs og Skei, 1983). Referansestasjoner mht. jerninnhold i fisk synes følgelig å måtte søkes så langt øst som Sækken (eller evt. vest for Kråkerøy).

Konsekvensene av den konstaterte jernanrikning i fisk gjelder primært fiskens helsetilstand. Matverdien vil neppe influeres, dels fordi anrikningen ikke eller bare i svak grad gjelder fileten, dels fordi forhøyet innhold av jern i leveren neppe representerer noe problem i relasjon til menneskers helse.

Noe vitnesbyrd om skade på fisken selv, som kan knyttes til titandioksydavfallet, foreligger ikke fra denne undersøkelsen. Det er heller ikke ellers dokumentert fra Hvalerområdet, annet enn i forbindelse med fiskedød i ruser nær utslippet (<0.5 km, K. Christiansen, pers. medd.) og i forbindelse med uhellsepisoder. Fra et tilsvarende utslipp i Østersjøen er det imidlertid påvist ulike skader på fisk (se referanser hos Knutzen, 1983a).

Å få dokumentert eventuelle skader på fisk som resultat av utslippet, vil enten kreve meget ressurskrevende feltstudier (med usikkert utbytte pga at også andre forurensninger gjør seg gjeldende) eller laboratorieforsøk. Belysning av spørsmålet antas imidlertid mindre aktuelt siden det allerede er bestemt at Glomma skal avlastes for det alt vesentlige av dette avfallet.

Jernopptak og utskillelse synes ikke å være undersøkt hos fisk, men generelt for andre metaller gjelder at opptaket foregår både via gjellene, og gjennom næringen, i noen grad også gjennom kroppsoverflaten utenom gjellene. (For en nærmere redegjørelse og referanser, se

Knutzen, 1987a). Saltvannsfisk får også mye metaller i seg fordi de stadig drikker for å opprettholde saltbalansen. Bortsett fra for kvikksølv synes fisk å ha en velutviklet regulering av metallinnholdet, i hvert fall i fileten. Utskillelsen foregår dels over gjellene, dels gjennom gallen (følgelig også i tilknytning til leveren), urin og tarm, samt kroppsoverflaten.

Da det ikke er kjent hvilke opptaksveier for jern som spiller størst rolle for fisk i Hvalerområdet (via sedimenter, vann eller næring), er det vanskelig å si noe konkret om virkningen av de planlagte utslippsreduksjoner. Det er imidlertid rimelig å anta at opptak via vann og næring ikke er ubetydelige. Hvis dette er riktig, kan en nedgang i fisk's jerninnhold forventes når utslippene nærmest blir eliminert, minst for flyndrer og annen fisk som lever i stadig kroppskontakt med bunnavleringene.

For de øvrige metaller - bortsett fra kvikksølv - er det registrert nivåer innenfor normalvariasjoner, med forbehold for titan der det mangler eller bare er sparsomt med sammenligningsdata (tabell 10-11). Anrikning av dette metall i filet eller lever må anses usannsynlig. Et referansemateriale av torskelever fra ytre Kristiansandsfjorden, som ble analysert samtidig med Hvalerprøvene viste heller høyere titaninnhold. Videre fant Carlberg og Bøler (1985) omtrent samme innhold av titan i filet og lever av polartorsk Boreogadus saida fra Svalbard som observert i Hvalerfisken. Titankonsentrasjonen i gjeller kan synes såvidt høy - jevnført med de øvrige metaller unntatt jern - at det her kan være en viss anrikning.

De orienterende analysene av kvikksølv - som har andre opphav enn syre/jern utslippet fra Kronos Titan - viste overkonsentrasjoner i filet i størrelsesordenen 2 (3) ganger. Dette viser en viss påvirkning, men konsentrasjonene ligger godt under det som anses betenkelig i konsumfisk (0.5-1.0 mg/kg i utlandet, kfr. referanse hos Knutzen, 1987. Norge har ingen offisielt fastslått grense).

Kvikksølvinnholdet i torsk var svakt høyere enn påvist tidligere i samme område. Middelveien av 10-13 torsk fra Øra, Kirkøy og Asmaløy i 1980 var bare 0.1 mg/kg (Knutzen, 1984). Hva økningen kan skyldes er vanskelig å si. Ajourført oversikt over forurensningstilførsler foreligger ikke. Forholdet kan muligens ha sammenheng med de betydelige tilførsler (600-800 kg) som kom fra Borregaard i 1985 pga vansker med renseanlegget for kvikksølv (Skei 1987a). Kvikksølvet ble ikke gjenfunnet i elvededimentene, og en nærliggende mulighet var utspyling til sjøområdet utenfor. Hverken denne episoden eller de ordinære utslippene fra Borregaard (40-50 kg pr år ifølge Skei 1987a) og mulige andre

kilder, later til å medføre særlig økt kvikksølvinnhold i saltvannsfisk.

4.3.2 Metaller i blåskjell

Jevnført med normalverdien er det observert overkonsentrasjoner i området 2-10 ganger av jern, vanadium og titan, fallende med økende avstand fra utslippet, men sporbart 10-12 km unna.

Resultatene av analyser på jern, mangan, vanadium, titan, krom, kobber og sink er vist i tabell 13. Vanskelighetene med å finne blåskjell er årsaken til at ikke alle stasjonene er representert begge år.

Tabell 13. Metaller i blåskjell (Mytilus edulis) fra Hvalerområdet 10-11/9-86 og 27-28/8-87, mg/kg tørrvekt.

Metall St., År	Fe	Mn	V	Ti	Cr	Cu	Zn
1986	1244	39.9	7.4	85	4.2	19	120
St. 5 1987	1920	43.4	6.8	85	6.8	11	116
St. 6 1987	1220	26.6	3.6	44	5.8	8	133
1986	433	9.5	1.9	21	1.1	7	74
St. 7 1987	700	9.2	<2.3	25	2.4	6	106
St.10 1986	587	29.7	3.0	36	1.7	17	70
1986	772	19.1	3.2	35	2.8	8	108
St.11 1987	1280	21.9	4.0	36	3.6	6	117
St.12 1987	590	17.3	<2.0	10	1.5	6	149

Utslipet av titandioksydavgass kan tydelig spores ved enkelte av de funne konsentrasjoner av jern, vanadium og titan, sannsynligvis også krom og muligens mangan. Kobber- og sinkkonsentrasjonene lå for samtlige prøver innenfor det normale variasjonsområdet i bare diffust

belastede områder (Knutzen 1983b).

For utslippskomponentene kan følgende minimums overkonsentrasjoner (dvs. jevnført med antatt høyere normalinnhold) antydes:

Jern: 2-5 (10?) ganger. Stort sett avtok jerninnholdet med økende avstand fra elvemunningen. At selv skjellene fra den antatte referansestasjonen ved munningen av Vauerkilen (st. 12) hadde et jerninnhold høyere enn det som normalt påtreffes i ubelastede områder, må muligens sees i sammenheng med den naturbetinget høye tilførselen av jern med Glommavann.

Vanadium: 2-5 (<10) ganger. Bare sparsomt med data er tilgjengelig for dette metallet, men både resultatene fra de mest utslippsfjerne prøvestedene i Hvalerområdet (st. 7, 12,, tabell 3) og data fra ytre Kristiansandsfjorden (Knutzen et al., 1986), tyder på et midlere bakgrunnsnivå ned mot 1 mg/kg friskvekt og under.

Titan: (1) 2-10 (20?) ganger. Også for titan foreligger få referanse-data. Ut fra endel sprikende resultater kan dette metallet også synes problematisk å analysere, muligens fordi mesteparten vil foreligge partikkelbundet og dermed mere ujevnt fordelt både i omgivelsene og skjellene. Data fra Fedafjorden og ytre Kristiansandsfjorden antyder imidlertid at bakgrunnsintervall på <2-5 (10?). (Knutzen, 1986, Knutzen et al 1986, Knutzen og Martinsen 1986).

Krom: Opp til 2-3 ganger på stasjonene 5-6, ellers ikke overkonsentrasjoner. (Øvre grense for normalinnhold på 5 mg/kg friskvekt angitt av Knutzen (1983) er sannsynligvis for høyt - kfr. overnevnte referanser til data fra Fedafjorden og Kristiansandsfjorden).

Mangan: Muligens moderate overkonsentrasjoner (<2 ganger) på stasjonene 5, 6 og 10, men mangankonsentrasjoner over 30 mg/kg tørrvekt er også registrert i tilnærmet uberørte områder (Boalch et al, 1981).

For kobber's vedkommende kan det bare spores svak tendens til fallende konsentrasjoner med økende avstand fra elvemunningen. Mao. er det ikke registrert særlig utslag av de betydelige kobberutslippene fra A/S Borregaard - vel 65 tonn i året (Alsaker - Nøstdahl og Tryland, 1981).

Metallanalysene av blåskjell viser at overkonsentrasjoner av de viktigste bestanddelene i titandioksydavfallet kan spores over avstander på i hvert fall 10-12 km fra utslippet og over et areal i størrelses-

ordenen minimum 50 km². Dette samsvarer med tidligere og nyere vann-kjemiske observasjoner (Næs og Skei, 1983, foreliggende rapport). Tallene i tabell 13 gir et mer logisk bilde enn tidligere observasjoner av metaller i blåskjell (Knutzen 1984). Om årsaken til dette kan ikke tilbys annen forklaring enn at analysemetodene er bedret i mellomtiden.

Med hensyn til konsekvensene for blåskjells toleranse overfor jern/syre-utslippet henvises til egen rapport om testresultater fra felt- og laboratorieforsøk (Kirkerud, under utarbeidelse).

4.3.3 Metaller i alger

Sammenlignet med et "diffust bakgrunnsnivå" er det observert overkonsentrasjoner i blæretang av størrelsesorden 2-5 (10?) ganger for jern, 2-15 (20) ganger for titan og 2-5 (10) ganger for vanadium. Metallanrikningen kan spores 12-13 km og over ca 50 km².

Rådata for analysene av blæretang (Fucus vesiculosus), tarmgrønnske (Enteromorpha cf. intestinalis) og grønndusk (Cladophora sp) er gitt i tabell 14.

Hovedkonklusjonen av dette materialet er den samme som fra metallanalysene i blåskjell: De viktigste komponentene i avløpsvannet fra Kronos Titan kan spores minst 12 - 13 km fra utslippet, dvs. forbi stasjon 6 i Løperen (fig 4).

Hovedtrekkene i situasjonen er fremstilt i fig. 13, (selv om de øvrige resultater ikke alle viste samme klare variasjoner med avstander som på figuren).

Bakgrunnsnivåene av jern, titan og vanadium er utilstrekkelig undersøkt (Knutzen, 1985), men en del norske undersøkelser kan antyde øvre grenser på <300-400 mg/kg tørrvekt for jern (sterkt varierende, ofte vesentlig lavere - synkende med økende saltholdighet?), <5-10 mg/kg for titan og 1-2 mg/kg for vanadium. Av fig. 13 ses at disse nivåer inntraff mellom st. 6 og st. 7.

Tabell 14. Metaller i blæretang (*Fucus vesiculosus*), tarmgrønnske (*Enteromorpha* sp) og grønndusk (*Cladophora* sp) fra Hvalerområdet 10-11/9-86 og 27-28/8-87, mg/kg tørrvekt.

Metall St/År	Fe	Mn	V	Ti	Cr	Cu	Zn
Blæretang							
1986	3150	311	19.7	175	4.5	16	118
St. 4 1987	1730	336	7.0	148	2.6	12	84
1986	643	503	4.3	67	2.3	16	87
St. 5 1987	520	478	2.9	44	1.4	11	110
1986	820	497	5.8	81	2.8	12	116
St. 6 1987	370	452	1.5	21	1.0	11	106
1987A*	250	273	1.0	10	0.5	8	82
St. 7 1987B*	940	348	4.4	5.5	1.9	12	67
St. 8 1986	600	314	2.8	44	1.5	18	85
1986	493	551	3.2	41	1.6	16	85
St.10 1987	490	668	2.3	27	1.0	13	170
St.11 1987	560	384	2.1	36	1.6	11	74
St.12 1987	330	281	1.0	14	0.7	10	88
Tarmgrønnske							
St. 4 1987	5590	342	22	292	8.8	31	32
St. 5 1987	2720	1360	16	198	5.1	27	41
St. 7 1987	1750	212	11.5	38	2.0	14	35
St.12 **1987	3110?	379?	16?	102	4.9	23	51
Grønndusk							
St. 4 1987	15700	741	78	1400	35	59	87
St. 5 1987	9910	6400	51	400	20	54	102

* A er skuddspisser fra unge planter uten blærer, B fra eldre planter som vokste mer beskyttet og var noe nedslammet.

** Usannsynlig høye konsentrasjoner av jern, titan og vanadium. Mest sannsynlig forbyttet med prøve fra st. 6.

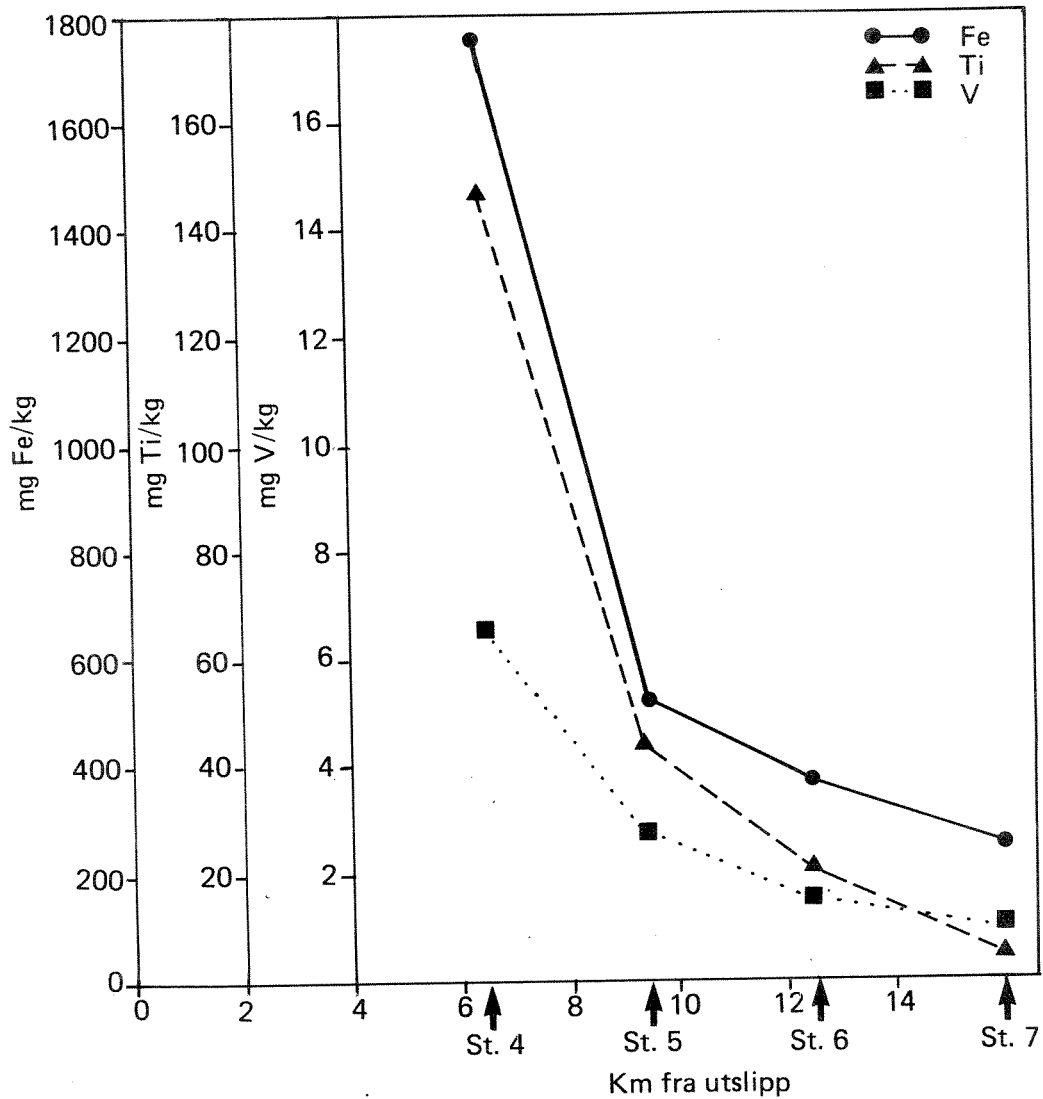


Fig. 13. Jern, titan og vanadium i blæretang (*Fucus vesiculosus*) fra utvalgte stasjoner i Hvalerområdet 27-28/8-87, mg/kg tørrvekt.

Forhøyningen av tangens innhold av disse metaller fra st. 6 og innover i 1987 kan på dette noe usikre grunnlag angis til 2-5 ganger for jern, 2-15 (20) ganger for titan, 2-5 (10) ganger for vanadium. I 1986 ble det registrert enda høyere maksimumskonsentrasjoner, (tabell 14).

Krom viste bare svake overkonsentrasjoner på de innerste prøvestedene, mens kobber- og sink-konsentrasjonene var innenfor det normale variasjonsområdet på alle stasjoner. Manganverdiene var generelt høye (tabell 14), til dels 2-3 ganger over det som har vært antatt som øvre grense for normalnivået (Knutzen, 1985). Variasjonen i tangens manganinnhold mellom stasjonene viste ingen bestemt sammenheng med avstanden fra elvemunningen og er vanskelig å forklare.

Analyser av grønnalgene Enteromorpha cf. intestinalis og Cladophora sp viste også stort sett et variasjonsmønster i forhøyet metallinnhold som stemte med avstanden fra elvemunningen (tabell 14). At konsentrasjonen av hovedmetallene i utslippet var høyere i disse algene enn i blæretang, kan ha sammenheng med at innholdet av absorberte partikler med høyt metallinnhold slår mer ut i disse tynne eller trådformede artene. Grønnalgene kan for så vidt brukes som indikator på metallbelastningen, men så lenge de ikke finnes vesentlig lenger inn enn blæretang, er dette lite aktuelt.

Blæretangsresultatene viste samme størrelsesorden av overkonsentrasjoner av jern og titan som i 1980-81, men ekstremverdiene var høyere ved forrige undersøkelse (Knutzen 1984). Dette var enda mer markert for Cladophoras (grønndusks) vedkommende, og i denne algen gjaldt det også vanadium. Forholdet kan ses som et resultat av at belastningen bare minsket noe i de mellomliggende år (opp mot 30.000 tonn jernsulfat i 1980 i følge Alsaker-Nøstdahl og Tryland, 1981 mot snart 25.000 tonn i slutten av 1984, kfr. Skei, 1987b).

5. ORIENTERENDE STUDIER AV KLORORG. FORBINDELSER I FISK

Siden det for metallanalysene ble innsamlet materiale fra et område der det tidligere var funnet at fisk var betydelig belastet med bestandige klororganiske forbindelser (Knutzen 1984), er det utenom overvåkingsprogrammet gjort noen orienterende analyser av slike stoffer. Resultatene fremgår av tabell 15.

Tabell 15. Heksaklorbenzen (HCB), polyklorete bifenyler (PCB) og sum Σ DDT (DDT + DDE) i filet av skrubbe (Platichthys flesus) og lever av torsk (Gadus morhua) fra Flyndregrunnen, Glommaestuaret sept 1986, mg/kg friskvekt.

Prøve	HCB	PCB	Σ DDT	% fett	% tørrstoff
Skrubbefilet	0.007	0.053	0.033	1.7	21.1
Torskelever	0.15	4.3	1.14	52.5	56

På fettbasis, blir dette ca (mg/kg):

	HCB	PCB	Σ DDT
Skrubbefilet	0.41	3.13	1.95
Torskelever	0.29	8.2	2.17

Jevnført med et høyt diffust bakgrunnsnivå (kfr. Knutzen 1987b) gir tallene for torskelever overkonsentrasjoner i størrelsesordenen 3, 2 og 2 ganger, hhv. for HCB, PCB og Σ DDT. Tilsvarende overkonsentrasjoner i skrubbefilet blir (i samme rekkefølge) ca 4, 1.5 (2) og 1.5.

Med andre ord indikerer dette en tydelig påvirkning utover det som er vanlig diffus belastning ved atmosfærisk tilførsel og avrenning fra lite industrialiserte områder. Resultatene bekrefter tidligere påvisning av markert belastning med klororganiske stoffer i området nær Glommas munning (Knutzen, 1984).

Forholdet aktualiserer bestrebelsen på å oppspore mulige kilder. Sig fra søppeldeponiet på Øra og industriavløp er mest nærliggende å tenke på. Ytterligere undersøkelser bør dessuten gjøres mht. klororganiske forbindelser i fisk; særlig vil ål og annen feit fisk være utsatt. I denne forbindelse bør også dioksininnholdet registreres. Ikke bare har man en mulig kilde i blekeriavløp (Borregaard), men HCB opptrer i hvert fall i en del tilfeller sammen med dioksiner (Kristiansandsfjorden, Frierfjorden), slik at det teoretisk kan være snakk om samme kilde.

6. MILJØPÅVIRKNINGEN AV KRONOS TITANS UTSLIPP

Målet med undersøkelsen av vannets og bunnsedimentenes kjemi og organismeres innhold av miljøgifter i nedre Glomma - Løperen området har vært å dokumentere Kronos Titan's innflytelse på miljøet. Allerede tidlig i 70-årene viste undersøkelser relativt klart at Glomma-estualet og deler av Singlefjorden var forurenset, uten at entydige årsaksforhold kom fram (Knutzen, 1972; Knutzen et al., 1974). Det kan nevnes at undersøkelsen av fastsittende alger i området i 1973 konkluderte med at det var en synlig reduksjon i forekomsten av de vanligste tangarter (Knutzen et al., 1974). Undersøkelser utført i perioden 1980-83 innenfor Statlig program for forurensningsovervåking bekreftet tidligere undersøkelser og påpekte følgende forurensningssymptomer (Skei, 1984):

- artsfattig og forurensningstolerant dyreliv på bløtbunn innenfor et område på 30 km² i indre Hvalerområdet (Glommas munning, øvre del av Løperen)
- fravær av vanlige planter og dyr i fjæra i det samme området.

Av andre klare forurensningseffekter bør nevnes:

- forhøyede konsentrasjoner av klorerte hydrokarboner, særlig i blåskjell, men også i fisk fra Øra-området.
- moderat forhøyede konsentrasjoner av kvikksølv i skrubbeflyndre og sedimenter.
- overkonsentrasjoner av særlig jern og titan i tang, blåskjell, sedimenter og partikler i Løperen.

Glommas munningsområde, Øra-området og øvre del av Løperen ble karakterisert som sterkt forurenset. Kronos Titan ble antatt å være en av hovedkildene til forurensningen.

Resultatene fra undersøkelsene som er gjort i 1986 og 1987 i resipienten gir grunnlag for å konkretisere Kronos Titan's innvirkning på miljøet:

- Oksygenforholdene i bassengene i elva og i Løperen er neppe særlig påvirket av utslippet av reduserte jernforbindelser. En kombinasjon av dårlig vannutskiftning (terskler) og høy organisk belastning spiller størst rolle.

- Vannets turbiditet er i hovedsak bestemt av leiretransporten i elva. Dette gjelder spesielt overflatevannet. I nærheten til utslippet ($r=500$ m) er høy turbiditet i dybdeintervallet 3-6 m forårsaket av Kronos Titan's utslipp. En viss opptrengning av avløpsvann sør for utslippet kan medføre en økning i turbiditeten i overflatevannet og gi et mindre bidrag til at turbiditeten holder seg høy i hele undersøkelsesområdet.
- En pH-reduksjon i saltvannet som følge av utslipp av surt jernavfall kan bare registreres innenfor en avstand på 500 m fra utslippet. Bortsett fra dette har ikke konkrete pH-skader latt seg påvise eller sannsynliggjøre ved denne undersøkelsen, som ble utført under normale utslippsforhold ved Kronos Titan.
- Kronos Titan's utslipp har betydelig innflytelse på metallnivåene i vann, sedimenter og organismer innenfor de respektive undersøkelsesområder. Disse metallene er jern, titan, krom og vanadium i særdeleshet (se Spaans, 1987). Jern-belastningen er ekstra stor fordi Glommavannets innhold av jern er høyt før det påvirkes av Kronos Titan.

Konklusjonen må derfor bli at det er visse forurensningssymptomer i nedre deler av Glomma - Løperen som kan direkte knyttes til utslipp fra Kronos Titan. Men på grunn av mange forurensningskilder i området og store naturlige svingninger i Glomma er det vanskelig å konkretisere en klar sammenheng mellom Kronos Titan's utslipp og regionale påvirkninger i økosystemet.

7. PROGNOSE FOR FREMTIDEN OG OPPFØLGING

Når Glommaestuaret/Hvaler fra 1990 blir avlastet for mesteparten av avfallet fra titandioksydproduksjonen, må det ventes en betydelig bedret tilstand i resipienten. Bedringens omfang og hvor hurtig den finner sted vil avhenge av hvilke deler av systemet som betraktes (vannkvalitet, innholdet av metaller i sedimenter, metallnivåer i organismer, skader i form av reduserte organismesamfunn).

Det vil ha interesse å følge denne utviklingen for bl.a. å kunne

- Konkretisere virkningen av tiltak (dokumentasjon).
- Ajourføring av tilstanden som grunnlag for videre ressursforvaltning

og bedømmelse av eventuelle behov for ytterligere tiltak.

- Få inntrykk av sedimentenes betydning for metallinnholdet i fisk.

Registrering av metallinnhold er blant de mest konkrete måter å karakterisere forurensningsgrad på. Utslag av redusert belastning vil kunne ventes innen få måneder, og oppfølgende undersøkelser bør finne sted i samsvar med dette.

8. LITTERATUR

Alsaker-Nøstdahl, B. og Ø. Tryland, 1981

Basisundersøkelse i Singlefjord-Hvalerområdet. Delområde: Forurensningstilførsler. Framdriftsrapport 1980. NIVA-rapport 0-8000303. 3/6 1981, 47 s. ISBN 82-577-0375-3.

Bergan, M, 1983.

Geokjemi og sedimentologi i resente marine muddersedimenter fra søndre Østfold. Hovedoppgave i geologi, Universitetet i Oslo, 145 s + appendiks.

Boalch, R., S. Chan og D. Taylor, 1981.

Seasonal variation in the trace metal content of Mytilus edulis. Mar. Pollut. Bull. 12: 276-280.

Carlberg, G.E. og J.B. Bøler, 1985.

Determination of persistent chlorinated hydrocarbons and inorganic elements in samples from Svalbard. Rapport 831101-1 fra Senter for Industriforskning, 27/6 1985. 13 s + tabeller.

Falandysz, J., 1985.

Trace metals in flatfish from the Southern Baltic, 1983. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 181:117-120.

Jorhem, L., P. Mattson og S. Storch, 1984.

Lead, cadmium, zinc and certain other metals in foods in the Swedish market. Vår Føda 36, Suppl. 3: 137-208.

Knutzen, J., 1972.

Forurensningseffekter ved utslipp eller dumping av avfall fra titandioksydproduksjon. NIVA-rapport 0-127/71, 47 s.

Knutzen, J., T. Bokn og B. Rygg, 1974.

Undersøkelse av bløtbunnfauna og fastsittende alger i Hvalerområdet. NIVA-rapport 0-60/229, 38 s.

Knutzen, J., 1983a.

A review of the effects on aquatic ecosystems of acid iron waste from the production of titanium dioxide by the sulphate process. NIVA-rapport 0-82012. 20/1 1983, 72 s. ISBN 82-577-0592-6.

Knutzen, J., 1983b.

Blåskjell som metall-indikator. VANN.1: 24-33.

Knutzen, J., 1984.

Basisundersøkelsen i Hvalerområdet og Singlefjorden. Miljøgifter i organismer 1980-1981. Rapport 122/84 innen statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 0-8000303 VII. 25/3 1984.

Knutzen, J., 1985.

"Bakgrunnsnivåer" av utvalgte metaller og andre grunnstoffer i tang. Øvre grense for "normalinnhold", konsentrasjonsfaktorer, naturbetingede variasjoner, opptaks- og utskillelsesmekanismer, NIVA-rapport 0-83091. 22/7 1985. 115 s. ISBN 82-577-0922-0.

Knutzen, J., 1986.

Undersøkelser i Fedafjorden 1984-1985. Delrapport 3. Miljøgifter i organismer. Rapport 224/86 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 0-8000320-3. 18/2 1986, 39 s. ISBN 82-577-1076-8.

Knutzen, J., 1987a.

Bakgrunnsnivåer av metaller i saltvannsfisk. NIVA-rapport 0-85167/Q 388, 5/10 1987, 66 s. ISBN 82-577-1308-2.

Knutzen, J., 1987b.

Om "bakgrunnsnivåer" av klorete hydrokarboner og beslektede forbindelser i fisk. NIVA-rapport 0-85167. 4/6 1987, 173 s. ISBN 82-577-1251-5.

Knutzen, J., B. Enger og K. Martinsen, 1986.

Basisundersøkelser av Kristiansandsfjorden. Delrapport 4. Miljøgifter i fisk og andre organismer 1982-1984. Rapport 0-220/86 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 0-8000356. 2/5 1986, 115 s. ISBN 82-577-1056-3.

Knutzen, J., og K. Martinsen, 1987.

Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i fisk og andre organismer fra Kristiansandsfjorden 1985. Rapport 262/86 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 0-8000357. 22/12 1986, 62 s. ISBN 82-577-1168-3.

Næs, K. og J. Skei, 1983.

Basisundersøkelse i Hvalerområdet og Singlefjorden. Løste metaller, suspendert materiale og sedimenter. Rapport 70/83 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 0-8000303, 8/11 1983, 100 s. ISBN 82-577-0701-5.

Protasowicki, M., 1987.

Sex effects on Cd, Pb, Cu and Zn contents in selected fish organs. Baltic Sea Environment Proceedings 19:433-441.

Skei, J., 1984.

Basisundersøkelser i Hvalerområdet og Singlefjorden, 1980-83. Konklusjonsrapport. NIVA-rapport 0-8000303, 43 s.

Skei, J. 1987a.

Borregaard Industries Limited. Undersøkelser av kvikksølv i bunnsedimenter ovenfor og nedenfor Sarpefossen i Glomma, 1986. NIVA-rapport 0-86216. 20/3 1987, 15 s. ISBN 82-577-1209-4.

Skei, J., 1987b.

KRONOS TITAN A/S. Overvåking av vannkvalitet og bunnsedimenter i nedre Glomma (Greåker-Løperen) april-september 1986. NIVA-rapport 0-86063. 31/3 1987, 153 s. ISBN 82-577-1222-1.

Spaans, L., 1987. The Dutch monitoring programme on TiO_2 acid waste discharges. Mar. Pollut. Bull., 18:407-412.