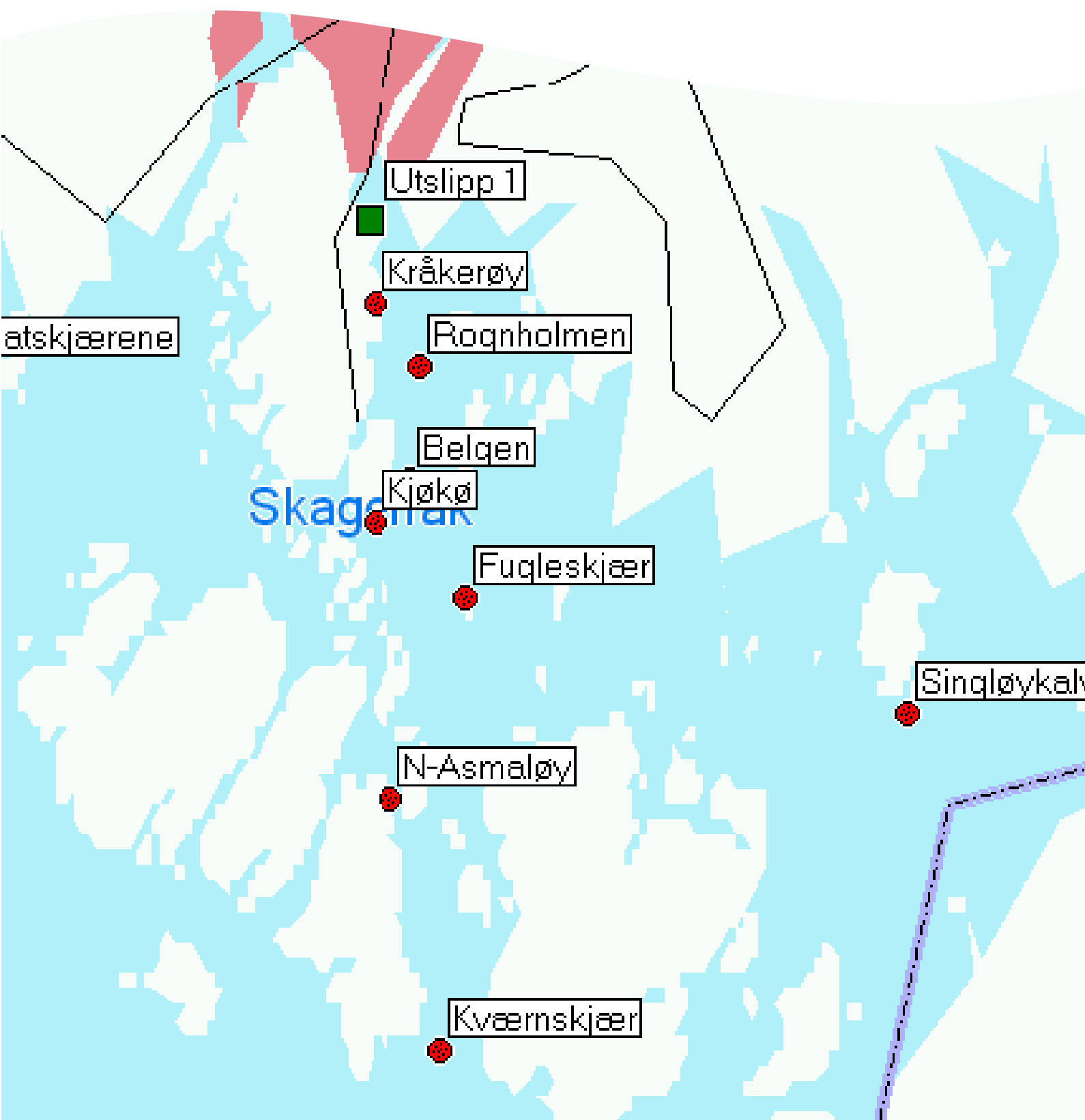


Metaller i blæretang fra Glommas munningsområde 2008



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

| | | |
|--|---------------------------------------|------------------------|
| Tittel Metaller i blæretang fra Glommas munningsområde 2008 | Løpenr. (for bestilling) 5781-2009 | Dato 21. april 2009 |
| | Prosjektnr. Undernr. O-28369 | Sider Pris 22 |
| Forfatter(e) John Arthur Berge | Fagområde Marine miljøgifter | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Østfold | Trykket NIVA |

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Oppdragsgiver(e) Kronos Titan AS | Oppdragsreferanse |
|-------------------------------------|-------------------|

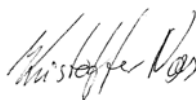
Sammendrag

Kronos Titan AS (KT) gjennomfører et overvåkingsprogram i resipienten utenfor bedriften. Bakgrunnen for programmet er bedriftens utslipp av prosessavløpsvann til Glommas munningsområde. Hovedutslippene går ut på ca 6 m dyp syd for bedriften og består i hovedsak av svovelsyre, titanoksid, jernsulfat og en del metaller. Overvåkingen omfatter blant annet undersøkelser av forekomst av metaller i blæretang (*Fucus vesiculosus*) i resipienten. I denne rapporten presenteres resultatene fra slike undersøkelser foretatt i 2008. Blæretang fra hele området inneholdt generelt lave konsentrasjoner (ubetydelig til lite forurenset) av kadmium (Cd), kvikksølv (Hg) og sink (Zn), mens de observerte konsentrasjoner av krom (Cr), bly (Pb), vanadium (V) og kobber (Cu) tyder på noe mer påvirkning (moderat forurenset) på 2-7 stasjoner. De høyeste konsentrasjoner av titan (Ti) og jern (Fe) ble observert i tangen fra Belgen, Fugleskjær, N-Asmaløy og Rognholmen (kun Fe), mens konsentrasjonen av Ti på Tisler og Fe på Tisler og Kverniskjær lenger ut i resipienten tyder på en i hovedsak ubetydelig til liten belastning. Totalt sett synes tangen fra Belgen og N-Asmaløy å være mest metallbelastet, mens tang fra Tisler, Kverniskjær, Kråkerøy og Singløykvalven inneholdt lave konsentrasjoner. For alle metallene unntatt Zn og Cd ble de høyeste konsentrasjoner observert på stasjoner som lå anslagsvis 5-12 km fra Kaldera og ikke på de som lå nærmest KT. Dette kan ha sammenheng med ulike grad av flokkulering og/eller strømforhold i resipienten som kan ha virket inn på hvordan algene eksponeres for og tar opp de ulike metaller. Vi antar at de relativt høye konsentrasjoner av Fe og Ti som observeres i blæretang på en del av stasjonene i betydelig grad skyldes bedriftens utslipp. Tilførslene av jern og titan kan pga metallenes lave giftighet, antas å ha liten miljømessig betydning.

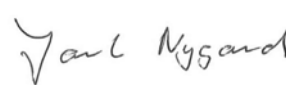
| | |
|---------------------|-----------------------|
| Fire norske emneord | Fire engelske emneord |
| 1. Metaller | 1. Metals |
| 2. Blæretang | 2. Bladderwrack |
| 3. Prosessavløp | 3. Effluents |
| 4. Estuarie | 4. Estuary |



John Arthur Berge
Prosjektleder



Kristoffer Næs
Seksjonsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

**Metaller i blæretang fra Glommas munningsområde
2008**

Forord

Kronos Titan AS (KT) er pålagt av SFT å utarbeide og gjennomføre et overvåkingsprogram for å supplere tidligere data om effekter av bedriftens utslipp til Glomma, Glommas munningsområde og Hvaler.

NIVA utarbeidet i 2007 et kostnadsberegnet forslag til slikt overvåkingsprogram (datert 27.06.07). Programmet omfattet undersøkelser av pH og metaller i vann fra resipienten, metaller i alger og en vurdering av betydningen av bedriftens utslipp for nedre Glomma og Hvalerområdet.

I 2007 ble det på basis av programmet gjennomført undersøkelser av pH og forekomst av metaller i vann fra resipienten, samt del I av vurdering av betydningen av bedriftens utslipp for nedre Glomma og Hvaler (Berge et al. 2008).

I september 2008 fikk NIVA en henvendelse fra KT angående videre gjennomføring av overvåkingsprogrammet med basis i tilbudet av 27.06.07. I e-post av 05.09.2008 fikk NIVA klarsignal fra bedriften om at de ville benytte seg av NIVAs tilbud om å gjennomføre undersøkelser av forekomst av metaller i tang fra nedre del av Glomma og Hvalerområdet. I denne rapporten rapporteres resultatene fra disse undersøkelsene.

Innsamlingen av algene ble foretatt av John Arthur Berge og Sigurd Øxnevad fra NIVA

Alle kjemiske analyser er gjort ved NIVAs laboratorium.

Ved NIVA har John Arthur Berge hatt prosjektlederansvaret. Øystein Ruud har vært hovedkontaktmann hos Kronos Titan AS.

Oslo, 21. april, 2009

John Arthur Berge

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| 1. Innledning | 6 |
| 2. Materiale og metoder | 9 |
| 2.1 Prøveinnsamling | 9 |
| 2.2 Analyser | 9 |
| 3. Resultater og diskusjon | 11 |
| 3.1 Klassifisering | 11 |
| 3.2 Resultater fra 2008 | 11 |
| 3.3 Sammenligning med tidligere år | 15 |
| 3.3.1 Jern og titan | 15 |
| 3.3.2 Krom, bly og kobber | 17 |
| 3.3.3 Kadmium, kvikksølv, sink og vanadium | 19 |
| 4. Referanser | 22 |

Sammendrag

Kronos Titan AS (KT) gjennomfører et overvåkingsprogram i resipienten utenfor bedriften. Overvåkingsprogrammet omfatter blant annet undersøkelser av forekomst av metaller i tang fra nedre del av Glomma og Hvalerområdet. Bakgrunnen for undersøkelsene er bedriftens utslipp av surt prosessavløpsvann fra sitt produksjonsanlegg på Øra. Hovedutslippene går ut på ca 6 m dyp i Glomma syd for bedriften. Utslippene består i hovedsak av svovelsyre, titanoksid, jernsulfat og en del metaller. KT er ikke den eneste kilden til utslipp av metaller til Glomma. For metallene kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) utgjør KT sine utslipp til Glomma fra 0,002 til 5,1 % av totaltilførslene (inkludert naturlige tilførsler). Tilførslene av Fe og Ti fra KT er i hovedsak større og utgjør i størrelsesorden henholdsvis 5-10% og 50-100 % av det som tilføres oppstrøms bedriften. I denne rapporten rapporteres resultatene fra undersøkelser av forekomst av metaller i blæretang (*Fucus vesiculosus*) innsamlet i 2008 fra 10 stasjoner. I undersøkelsene har en benyttet alger fra stasjoner som tidligere er undersøkt, men en har også utvidet stasjonsnettet til å omfatte to nye stasjoner høyere oppe i Glomma, nærmere KT.

Blæretang fra hele undersøkelsesområdet inneholdt i 2008 generelt lave konsentrasjoner (ubetydelig til lite forurenset) av Cd, Hg og Zn, mens de observerte konsentrasjoner av Cr, Pb, V og Cu tyder på noe mer påvirkning (moderat forurenset) på 2-7 stasjoner.

De høyeste konsentrasjoner av Ti og Fe ble i 2008 observert i tangen fra Belgen, Fugleskjær, N-Asmaløy og Rognholmen (kun Fe), mens konsentrasjonen av Ti på Tisler og Fe på Tisler og Kverniskjær tyder på en i hovedsak ubetydelig til liten belastning. Tang fra Flatskjærene utenfor selve Hvalerestuarieret og fra Singløykalkven og Kjøkø og Kråkerøy høyst opp i Glomma var moderat forurenset med Ti og Fe. Ser en på alle de analyserte metallene under ett synes tang fra Belgen og N-Asmaløy å være mest metallbelastet, mens tang fra Tisler, Kverniskjær, Kråkerøy og Singløykalkven inneholdt lave konsentrasjoner.

For alle metallene unntatt Zn og Cd ble de høyeste konsentrasjoner observert på stasjoner som lå anslagsvis 5-12 km fra Kaldera og ikke på de stasjoner som ligger nærmest KT (Rognholmen og Kråkerøy). Vi er usikre på hva som er årsaken til at observerte maksimalkonsentrasjoner av Fe, Ti, Cu, V, Cr og Hg lå noe ut i resipienten og ikke på de stasjonene som ligger nærmere utslippet, men det kan ha sammenheng med at en i området har sterke saltgradienter som kan ha virket modifierende (muligens ved flokkulering) på hvordan algene eksponeres for de ulike metaller eller at strømhastigheten på stasjonene nærmest bedriften er for stor til å tillate noen særlig akkumulering av metallholdige partikler på algene.

Det var en klar tendens til samvariasjon av metallkonsentrasjonene mellom de enkelte stasjoner. Konsentrasjonen av Ti korrelerte svært godt med Fe, V, Cr, Cu, og Pb (men ikke med Cd, Zn og i mindre grad med Hg). Dette kan tyde på at forekomst av Ti, Fe, V, Cr, Cu, og Pb styres av samme påvirkningsfaktorer/eller prosess(er), men betyr nødvendigvis ikke at de enkelte metaller som observeres i algene har samme kilde i resipienten.

Vi antar at de relativt høye konsentrasjoner av Fe og Ti som observeres i blæretang på en del av stasjonene i betydelig grad skyldes bedriftens utslipp. Imidlertid, pga disse metallenes lave giftighet kan tilførslene av jern og titan antas å ha liten miljømessig betydning

1. Innledning

Kronos Titan AS har utslipp av surt prosessavløpsvann fra sitt produksjonsanlegg på Øra. Hovedutslippene går ut svært nær hverandre på 6 m dyp i Glomma syd for bedriften (**Figur 1**). Disse utslippene består i hovedsak av svovelsyre, titanoksid, jernsulfat og en del metaller. Bedriften har imidlertid også utslipp av kjølevann og vann fra en gassvasker som går ut på ca 2 m dyp under kaien ved bedriften. Gjennomsnittlige utslipp av svovelsyre, titandioksyd, jernsulfat og en del metaller i 2007 ses i **Tabell 1**.

Tabell 1. Gjennomsnittlig utslipp til Glomma fra Kronos Titan i 2007 (data oppgitt fra bedriften)

| Forbindelse/metall | Gj. snittlig utslipp (kg/døgn) | Gj. konsentrasjon i primærutslippet (mg/L) |
|--------------------------------|--------------------------------|--|
| H ₂ SO ₄ | 7820 | 712 |
| TiO ₂ | 929 | 103 |
| FeSO ₄ | 1395 | 171 |
| Cr | 1,06 | 0,14 |
| Cu | 0,16 | 0,023 |
| Zn | 0,40 | 0,056 |
| Pb | 0,05 | <,007 |
| Cd | 0,011 | 0,0001 |
| Hg | 0,012 | 0,0015 |
| V | 2,0 | 0,27 |
| Mn | 4,0 | 0,54 |
| Co | 0,08 | 0,011 |
| Ni | 0,39 | 0,05 |
| Mo | 0,004 | 0,0006 |

KT er ikke den eneste kilden til utslipp av metaller til Glomma. For å sette utslippene fra bedriften i perspektiv ble det på basis av data fra 2001-2006 gjennomført en vurdering av bedriftens utslipp sett i relasjon til andre tilførsler (Berge et al 2008). Vurderingene er basert på konsentrasjonsmålinger i Glommavann ved Sarpsborg (Sarpsfossen) og data om industrielle tilførsler av metaller nedstrøms Sarpsborg. For metallene arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) utgjorde bedriften sine utslipp til Glomma fra 0,002 til 5,1 % av den totale transporten (naturlige og industrielle) av disse metallene i Glommavann ved munningen. Cr og Hg var de eneste metaller der tilførslene utgjorde mer enn 1 % (5,1 % for Cr og 2,8 % for Hg). For Cr var tilførslene fra bedriften klart større enn de øvrige industrielle tilførsler nedenfor Sarpsfossen, mens tilførslene av Hg var klart lavere. De industrielle tilførslene av kobber nedstrøms Sarpsfossen var relativt store (13,5 % av totaltransporten i Glomma), men skyldes ikke tilførsler fra KT (0,2 %). Tilførslene av jern (Fe) fra KT utgjør i størrelsesorden 5-10 % av transporten i Glomma ovenfor bedriften og tilførslene av titan (Ti) er 50-100 % av det som tilføres oppstrøms. For Ti-tilførslene til Glommas munningsområde er derfor KT en betydelig kilde.

Undersøkelser av forekomst av metaller i vann (Berge et al 2008) har imidlertid vist at det generelt er vanskelig å spore forhøyede konsentrasjoner av metaller i vann fra resipienten som kan tilskrives utslipp fra KT. Resultatene viste likevel at totalkonsentrasjonene av Cu, Cd, Cr og Pb i vann var svært høye på alle undersøkte stasjoner uten at dette kunne knyttes til KT. Ved en anledning ble det imidlertid observert forhøyede nivåer av Ti og Fe på 4-5 m dyp nær utslippet.

Metallinnholdet i blæretang er antatt å gi et tilnærmet tidsintegrert bilde av tilgjengeligheten av metaller i vannet der algene vokser (Phillips og Segar, 1986). Undersøkelser av forekomst av metaller i tang fra resipientene har vært gjort flere ganger tidligere: 2003 (Källqvist og Berge, 2004), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991).

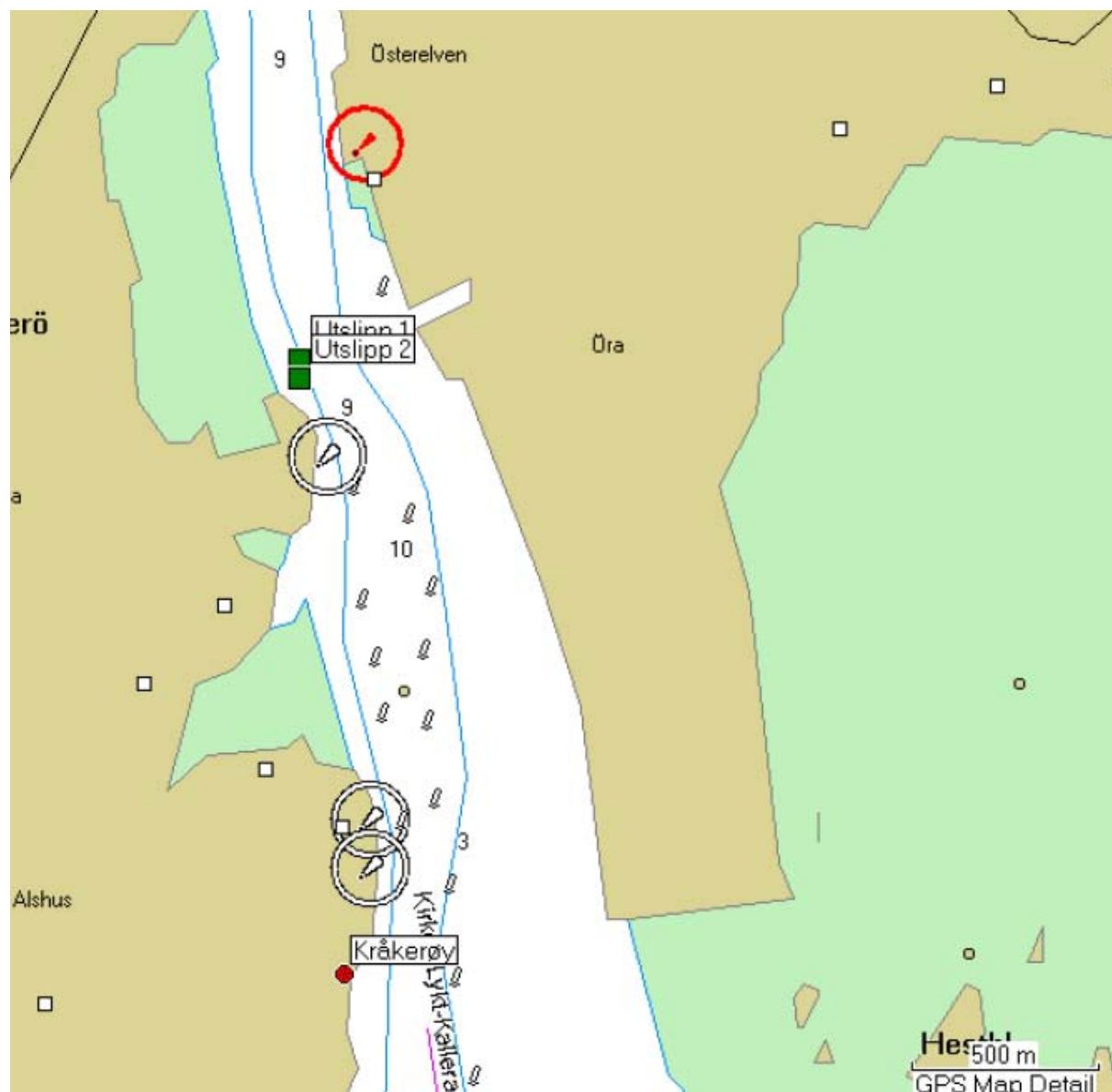
I den sist gjennomførte undersøkelsen (2003) ble det konkludert at med unntak av Fe og Ti var det lave til moderate konsentrasjoner av metaller i blæretang i resipienten. For Fe og Ti var det imidlertid klare gradienter med de høyeste konsentrasjoner i Glommas munningsområde. Det ble også konkludert med at de høye konsentrasjonene av Fe og Ti trolig skyldes utslippene fra KT.

Resipienten i selve utslippsområdet har et brakt overflatevann med middel saltholdighet 5,8 PSU og et saltvann under med middel saltholdighet 21,6 PSU på 6 m dyp (Magnusson et al. 1993).

Saltholdigheten varierer med, blant annet, vannføringen i Glomma. Saltholdigheten øker også når en kommer lenger ut i Glommaestuaret.

Hovedhensikten med den undersøkelsen som rapporteres her er å få en oppdatert oversikt over forekomst av metaller i alger i området i nærheten av utslippet fra KT. Det er i hovedsak benyttet alger fra de samme stasjoner som tidligere er undersøkt, men en har også utvidet stasjonsnettet til å omfatte to nye stasjoner nærmere KT.

Det er mange prosesser som styrer forekomst og tilgjengelighet av metaller for algene i resipienten. Flokkulering er en prosess som finner sted i områder der ferskvann møter sjøvann og innebærer at mindre partikler og løste forbindelser danner større aggregater. Prosessen er komplisert og er drevet av en kombinasjon av fysiske, kjemiske og biologiske prosesser. Flokkulering kan blant annet føre til endringer i tilgjengeligheten av miljøgifter i vannet. De sterke salinitetsgradienter i Glommas munningsområde (Magnusson og Skei 1984) kan potensielt føre til endringer mht flokkulering og dermed tilgjengeligheten av metaller i de ulike deler av resipienten. Hvorvidt flokkulering fører til øket eller redusert tilgjengelighet av et metall vil være avhengig av opptaksmekanisme. Dersom opptaket hovedsakelig er via løst metall skulle en forvente lavere metallkonsentrasjon i vannet og dermed lavere biotilgjengelighet. Dersom opptaket er via partikulært materiale skulle en forvente at flokkulering gir øket metallopptak. For blæretang antas at opptaket hovedsakelig er via løst metall (Luoma et al 1982), men en må også forvente at metallholdige partikler legger seg på algene og dermed føre at partikler også ha en viss betydning for den konsentrasjonen som registreres i tangen.



Figur 1. Kart som viser lokaliseringen av hovedutslippet til Kronos Titan AS (grønne firkanter). Merk at den nordligste algestasjonen (Kråkerøy) også er vist (rødt sirkulært punkt).

2. Materiale og metoder

2.1 Prøveinnsamling

Innsamling av blæretang (*Fucus vesiculosus*) for analyse av metaller ble foretatt 12. september 2008. Prøver ble tatt fra 10 lokaliteter (Kråkerøy, Rognholmen, Belgen, Kjøkø, Fugleskjær, N-Asmaløy, Flatskjærene, Singløykalven, Kvernskjær og Tisler (**Figur 2** og forsiden av rapporten). Stasjonsposisjoner ses i **Tabell 2**.

Tabell 2. Beliggenhet av de to hovedutslippene fra Kronos Titan AS og stasjoner for innsamling av blæretang september 2008.

| Stasjon | Posisjon |
|----------------|-----------------------|
| Kråkerøy | N59 10.108 E10 57.117 |
| Rognholmen | N59 09.430 E10 58.051 |
| Belgen | N59 08.199 E10 57.829 |
| Kjøko | N59 07.767 E10 57.099 |
| Fugleskjær | N59 06.946 E10 58.975 |
| N-Asmaløy | N59 04.785 E10 57.404 |
| Flatskjærene | N59 09.405 E10 48.474 |
| Singløykalven | N59 05.693 E11 08.195 |
| Kvernskjær | N59 02.102 E10 58.490 |
| Tisler (Møren) | N58 59.125 E10 58.245 |
| Utslipp 1 | N59 10.996 E10 56.991 |
| Utslipp 2 | N59 10.969 E10 56.988 |

Fra hver stasjon ble det innsamlet 20 individer av blæretang. En blandprøve bestående av den øvre delen (5-10 cm) av hvert individ ble analysert.

Blæretangen ble innsamlet ved å vasse eller ved svømmedykking. Blæretangen fra Rognholmen hadde ikke blærer, mens blærer ble observert på tangen fra alle de øvrige stasjonene.

2.2 Analyser

Prøvene ble analysert for følgende metaller: kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb), sink (Zn), jern (Fe), vanadium (V) og titan (Ti). Alle analyser ble foretatt av NIVA etter metodene skissert i **Tabell 3**.

Tabell 3. Metode brukt til analyse av metaller i blæretang innsamlet i 2008. Kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb), sink (Zn), jern (Fe), vanadium (V) og titan (Ti).

| Metall | Cr, Cu, V, Zn Ti, Fe | Hg | Cd, Pb, |
|---|-------------------------|--|------------------------------------|
| Metode (NIVA) | E 9-5 | E 4-3 | E 8-3 |
| Beskrivelse av metode i stikkords form | ICP-AES. | Atomabsorpsjon, kalddampeteknikk, amalgamerinssystem | ICP-MS (Plasma-Masse spektrometri) |

3. Resultater og diskusjon

3.1 Klassifisering

Fe, Ti og V inngår ikke i SFTs klassifisering av miljøkvalitet (Molvær et al 1997). Vi har derfor benyttet Knutzen og Skei (1990) sitt forslag til klassifisering for disse metallene. Denne klassifiseringen er beheftet med relativt stor usikkerhet og operer med 4 tilstandsklasser. I omtalen av disse resultatene har vi brukt samme begrepsapparat som brukes for de 4 første klassene i SFTs klassifisering.

3.2 Resultater fra 2008

Blæretang fra hele undersøkelsesområdet inneholdt i 2008 generelt lave konsentrasjoner (ubetydelig til lite forurenset) av Cd, Hg og Zn (**Tabell 4**). 2-7 stasjoner var noe mer påvirket (moderat forurenset) av Cr, Pb, V og Cu. De største konsentrasjonsforskjeller ble imidlertid observert for Ti og Fe (**Tabell 4**). Dette var også de to metaller hvor utslippene fra Kronos Titan relativt sett bidrar mest til de konsentrasjonene som observeres i vannet i resipienten (Berge et al. 2008).

De høyeste konsentrasjoner av Fe og Ti ble i 2008 observert i tang fra Belgen, Fugleskjær, N-Asmaløy og Rognholmen (kun Fe), mens konsentrasjonen av Ti på Tisler og Fe på Tisler og Kvernskjær tyder på en i hovedsak ubetydelig til liten belastning. Tang fra Flatskjærene utenfor selve Hvalerestuarieret og fra Singløykaven og Kjøkø og Kråkerøy høyest opp i Glomma var moderat forurenset med Ti og Fe. Ser en på alle de analyserte metallene under ett synes tang fra Belgen og N-Asmaløy å være mest metallbelastet, mens tang fra Tisler, Kvernskjær, Kråkerøy og Singløykalven inneholdt lave konsentrasjoner (**Tabell 4**).

Det var en klar tendens til samvariasjon mellom metallkonsentrasjonen på de enkelte stasjoner. Eksempelvis korrelerte konsentrasjonen av Ti svært godt med alle de øvrige metallene med unntak av Cd, Zn og dels også Hg. Dette kan tyde på at forekomst av Ti, Fe, V, Cr, Cu, og Pb styres av samme påvirkningsfaktor(er) eller prosess(er) i resipienten eller i selve algen, men betyr nødvendigvis ikke at de enkelte metaller som observeres i algene har samme kilde i resipienten. Den prosentvise fordelingen av de ulike metaller var relativ lik i algene på de ulike stasjoner, men var forskjellig fra sammensetningen av utslippene fra KT (**Figur 3**).

For de fleste metallene ble de høyeste konsentrasjonene observert på stasjoner som lå anslagsvis 5-12 km syd for Kaldera dvs. på stasjonene Belgen, Kjøkø, Fugleskjær og især N-Asmaløy (**Figur 4**, **Figur 5**). Konsentrasjonen av Zn avtok mer som forventet med økende avstand fra Kaldera, mens konsentrasjonen av Cd var relativ lik på alle stasjoner (**Figur 5**).

Vi er usikre på hva som er årsaken til at en observerte maksimumkonsentrasjoner av Fe, Ti, Cu, V, Cr og Hg noe ut i resipienten og ikke på stasjonene nærmest bedriften (se **Figur 4**). Det kan ha sammenheng med at en i dette området har sterke saltgradienter som kan ha virket modifierende (muligens ved flokkulering av ulike typer aggregater) på hvordan algene eksponeres for de ulike metaller. Fysiologiske effekter av miljøforholdene (saltholdighet, pH) i de ulike deler av resipienten kan også tenkes å innvirke noe på metallinnholdet i tangen.







Tidligere undersøkelser har også påvist noe større sedimentasjon i deler av Glommas munningsområdet (Magnusson og Skei 1994). Tang eksponeres i hovedsak gjennom metaller som er

løst i vannet (Luoma et al 1982), men noe opptak kan nok også skje gjennom utlekking fra små partikler som har festet seg på organismens overflate og som også kan komme med i analysen.

Dersom partikkelbelegg på algene er en viktig faktor som kan medføre øket innhold i algene, kan en annen forklaring kan være at høyere strømhastighet på stasjonene nærmest utslippet gir mindre akkumulering av metallholdige partikler på algene sammenlignet med stasjoner lenger vekk fra elveutløpet.

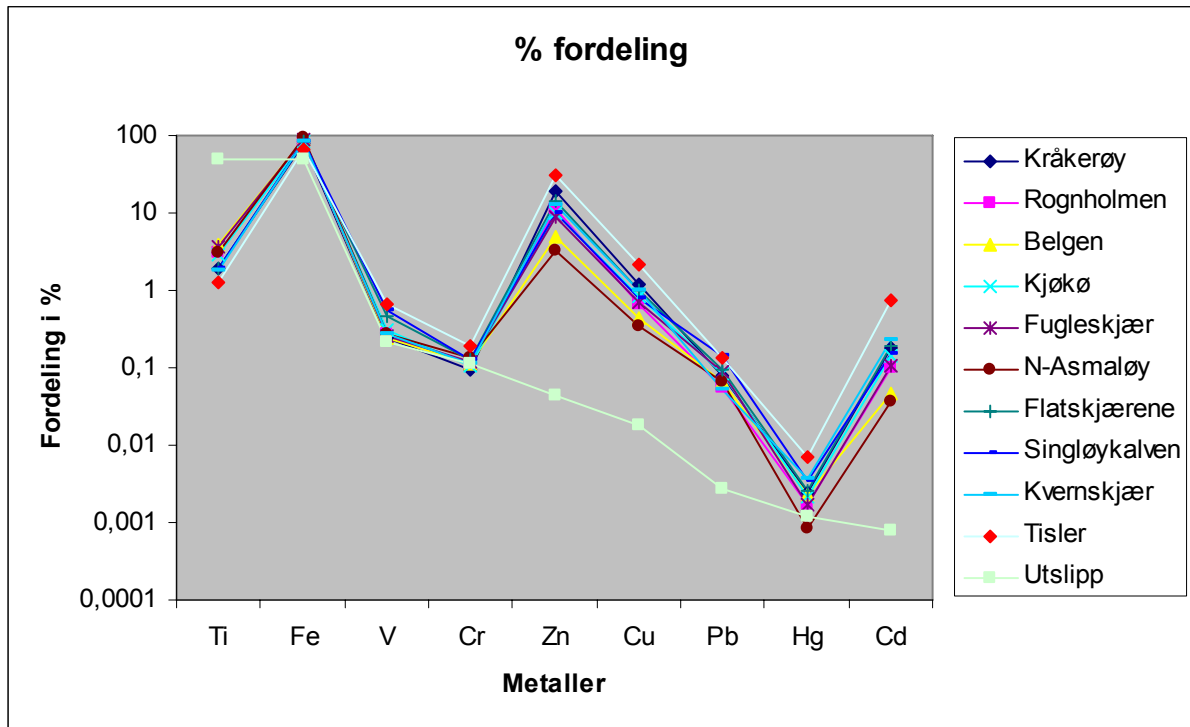
Tidligere utslipp kan også være viktigere enn pågående utslipp i områder med liten eksponering. I slike områder (muligens er stasjonen på N-Asmaløy en mulig kandidat for dette) kan det tenkes at gamle metallavsetninger ligger lagret og påvirker tangen lokalt.

Tabell 4. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g}$ t.v.) av metaller i blæretang innsamlet i Hvalerområdet i 2008. Stasjonene er på bakgrunn av observerte konsentrasjoner klassifisert i tilstandsklasser ifølge SFTs miljøkvalitetskriterier for kadmium (Cd), krom (Cr), Kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb), sink (Zn) og i følge Knutzen og Skei, 1990 for jern (Fe), vanadium (V) og titan (Ti). Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning). Fargekode brukt på ulike tilstandsklasser i tabellen:

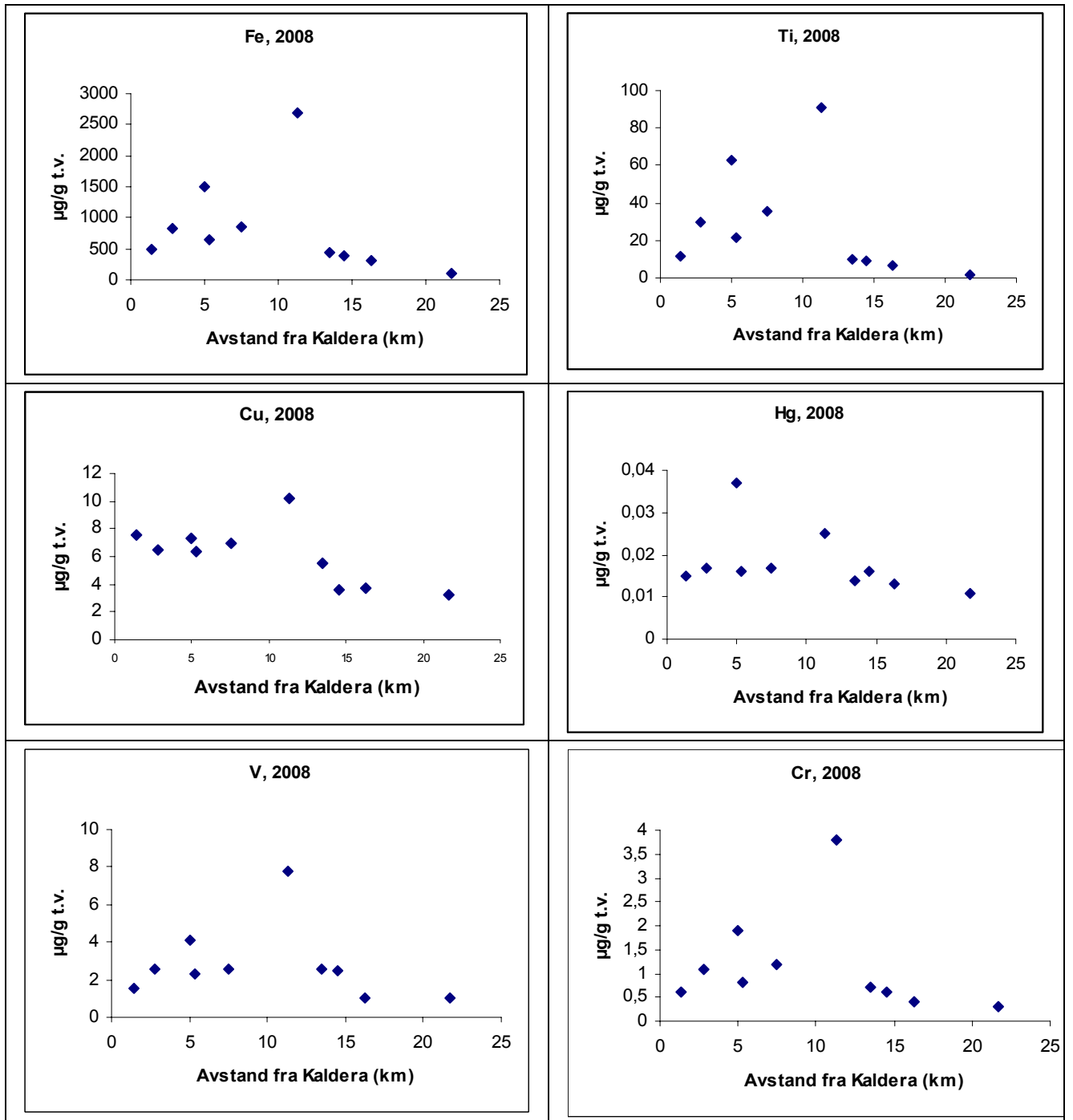
| | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|---|---|---|----------------------------|--|--------------------------|--|
|  | I. Ubetydelig- lite forurenset |  | II. Moderat forurenset |  | III. Markert forurenset |  | IV. Sterkt forurenset | |
|  | V. Meget sterkt forurenset |  | Ikke i klassifiseringssystem/ kan ikke klassifiseres | | | | | |

| Stasjon | Avstand (km) | Cd $\mu\text{g/g}$ | Cr $\mu\text{g/g}$ | Cu $\mu\text{g/g}$ | Fe ¹⁾ $\mu\text{g/g}$ | Hg $\mu\text{g/g}$ | Pb $\mu\text{g/g}$ | V ¹⁾ $\mu\text{g/g}$ | Zn $\mu\text{g/g}$ | Ti ¹⁾ $\mu\text{g/g}$ |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Kråkerøy | 1,4 | 1,15 | 0,60 | 7,50 | 480 | 0,015 | 0,49 | 1,50 | 123,00 | 11,80 |
| Rognholmen | 2,8 | 0,99 | 1,10 | 6,49 | 820 | 0,017 | 0,55 | 2,60 | 110,00 | 29,40 |
| Belgen | 5,0 | 0,75 | 1,90 | 7,34 | 1500 | 0,037 | 1,07 | 4,10 | 83,50 | 63,10 |
| Kjøkø | 5,3 | 1,06 | 0,80 | 6,40 | 640 | 0,016 | 0,62 | 2,30 | 74,50 | 21,10 |
| Fugleskjær | 7,5 | 1,03 | 1,20 | 7,00 | 860 | 0,017 | 0,91 | 2,60 | 86,20 | 35,60 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 1,08 | 3,80 | 10,20 | 2700 | 0,025 | 1,96 | 7,76 | 94,80 | 90,80 |
| Flatskjærene | 13,5 | 1,07 | 0,70 | 5,50 | 450 | 0,014 | 0,51 | 2,60 | 76,70 | 10,30 |
| Singløykalven | 14,5 | 0,69 | 0,60 | 3,60 | 400 | 0,016 | 0,66 | 2,50 | 47,40 | 9,05 |
| Kvernskjær | 16,3 | 0,84 | 0,40 | 3,70 | 300 | 0,013 | 0,19 | 0,99 | 46,70 | 6,53 |
| Tisler | 21,7 | 1,12 | <0,3 | 3,30 | 100 | 0,011 | 0,21 | 1,00 | 46,70 | 1,91 |
| Øvre grense for klasse I | | 1,5 | 1 | 5 | 300 ¹⁾ | 0,05 | 1 | 2 ¹⁾ | 150 | 5 ¹⁾ |
| Max kons. | | 1,15 | 3,80 | 10,20 | 2700 | 0,037 | 1,96 | 7,76 | 123,00 | 90,80 |
| Min kons. | | 0,69 | <0,3 | 3,30 | 100 | 0,011 | 0,19 | 0,99 | 46,70 | 1,91 |
| Max/Min | | 1,7 | >12,7 | 3,1 | 27,0 | 3,4 | 10,3 | 7,8 | 2,6 | 47,5 |

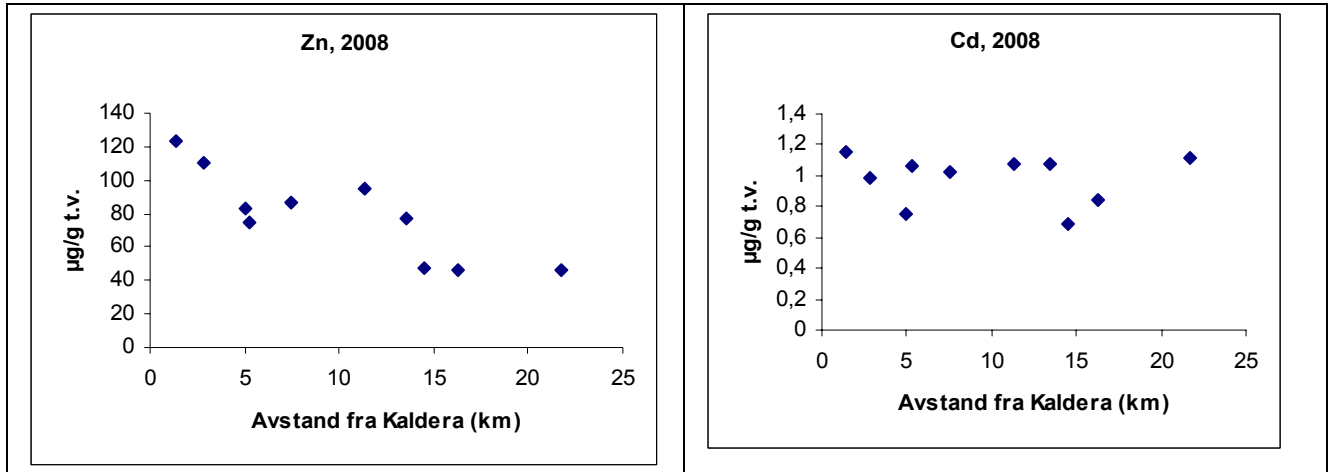
¹⁾Fe, Ti og V inngår ikke i SFTs klassifisering. Klassifiseringen som er benyttet (Knutzen og Skei 1990) har 4 tilstandsklasser og er beheftet med relativt stor usikkerhet.



Figur 3. Prosentvise fordeling av metaller i blæretang fra de undersøkte stasjoner og i utslippet (basert på tallene i Tabell 1). NB: merk at y-aksen er logaritmisk.



Figur 4. Konsentrasjonen av jern (Fe), titan (Ti), kobber (Cu) og kvikksølv (Hg), vanadium (V) og krom (Cr) i blæretang tatt på stasjoner i ulik avstand fra utslippstedene ved Kaldera i 2008.



Figur 5. Konsentrasjonen av sink (Zn) og kadmium (Cd) i blæretang tatt på stasjoner i ulik avstand fra utslippstedene ved Kaldera i 2008.

3.3 Sammenligning med tidligere år

3.3.1 Jern og titan

Tabell 5 viser observerte konsentrasjoner av Ti og Fe i perioden 1989 til 2008. Det er vanskelig å se noen klare tidstrender for Fe og Ti på stasjonene nærmest Glommas munning. På Belgen og Kjøkø ble den høyeste Ti- og Fe-konsentrasjonen observert i 1994, mens det ved N-Asmaløy ble observert høyest konsentrasjon i 2008.

På de mer fjerntliggende stasjonene (Singløykalven og Kvernskjær, Tisler) var det i hovedsak lave konsentrasjoner av både Fe og Ti i hele perioden. For Ti (**Tabell 5A**) ble det observert noe høyere verdier i 1995 i forhold til de øvrige år, muligens som en konsekvens av utspyling av partikler i fm. flommen i 1995. Dette ble imidlertid ikke bekreftet av analysene av Fe (**Tabell 5b**)

Tabell 5. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g t.v.}$) av titan (Ti) og jern (Fe) i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområdet på 5 ulike tidspunkt, 2008 (denne undersøkelsen), 2003 (Källqvist og Berge, 2004), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i følge Knutzen og Skei, 1990.

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4. i.a.= ikke analysert/ingen prøve.

A: Titan

| Stasjoner- | Avstand (km) | Titan ¹⁾ i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$) | | | | |
|--------------------------|--------------|--|------|------|------|-------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 11,80 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 29,40 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | 141 | 43 | 73,9 | 63,10 |
| Kjøko | 5,3 | 24,8 | 54,7 | 48 | 31,8 | 21,10 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 15,4 | 35,60 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 41,5 | 56,7 | 62 | 52,9 | 90,80 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,93 | 10,30 |
| Singløskalven | 14,5 | <5 | <5 | 21 | 8,85 | 9,05 |
| Kvernskjær | 16,3 | 7,2 | <5 | 18 | 8,32 | 6,53 |
| Missingen | 18,5 | <5 | i.a. | 15 | i.a. | i.a. |
| Tisler | 21,7 | <5 | <5 | 15 | 1,77 | 1,91 |
| Øvre grense for klasse I | | 5 ¹ | | | | |

B: Jern

| Stasjoner- | Avstand (km) | Jern ¹⁾ i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$) | | | | |
|--------------------------|--------------|---|------|------|-------------------|------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 480 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 820 |
| Belgen | 5,0 | | 2520 | 588 | 1730 | 1500 |
| Kjøko | 5,3 | 483 | 943 | 746 | 726 | 640 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 424 | 860 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 1010 | 1754 | 1041 | 1620 | 2700 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 90 ¹⁾ | 450 |
| Singløskalven | 14,5 | 180 | 193 | 316 | 379 | 400 |
| Kvernskjær | 16,3 | 327 | 217 | 290 | 295 | 300 |
| Missingen | 18,5 | 40 | i.a. | 138 | i.a. | i.a. |
| Tisler | 21,7 | 197 | 154 | 88 | <80 ¹⁾ | 100 |
| Øvre grense for klasse I | | 300 ¹ | | | | |

¹⁾ Fe og Ti inngår ikke i SFTs klassifisering. Klassifiseringen som er benyttet (Knutzen og Skei 1990) har 4 tilstandsklasser og er beheftet med relativt stor usikkerhet.

3.3.2 Krom, bly og kobber

Konsentrasjonene av Cr, Pb og Cu var i hovedsak lave både i 2003 og 2008 (**Tabell 6**). Det ble likevel observert en viss nedgang i konsentrasjonen av Cr og Pb fra 2003 til 2008. For Cu var konsentrasjonen i 2008 relativt lik den som ble observert i 2003. Tangen som ble innsamlet i 1989, 1994 og 1995 fra stasjonene Belgen, Fugleskjær, N-Asmaløy og Kvernskjær inneholdt imidlertid klart mer Cu enn det som ble observert de to siste årene.

Konsentrasjonen av Pb var svært høy i tangen som ble innsamlet fra Belgen og N-Asmaløy i 1995. Disse høye verdiene kan ha sammenheng med flommen samme år.

Tabell 6. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g t.v.}$) av krom (Cr), kobber (Cu) og bly (Pb) i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområdet på 5 ulike tidspunkt, 2008 (denne undersøkelse), 2003 (Källqvist og Berge, 2004), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i tilstandsklasser ifølge SFT's miljøkvalitetskriterier. Merk at det for kobber i 2003 er oppgitt 2 konsentrasjoner hvorav den ene representerer analysene gjennomført ifm. undersøkelser for Borregaard (Berge et al. 2003) og den andre analysen er gjennomført ifm en undersøkelse for Kronos Titan (Källqvist og Berge, 2004). Begge analyser er imidlertid foretatt på materiale fra samme innsamling. Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning). Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4. i.a.= ikke analysert/ingen prøve.

A: Krom

| Stasjoner- | Avstand (km) | Krom i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$) | | | | |
|--------------------------|--------------|---|------|------|------|------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 0,60 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 1,10 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | i.a. | i.a. | 4,1 | 1,90 |
| Kjøko | 5,3 | 1,6 | i.a. | i.a. | 2,1 | 0,80 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,3 | 1,20 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 1,6 | i.a. | i.a. | 4,2 | 3,80 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,58 | 0,70 |
| Singløykalven | 14,5 | 0,31 | i.a. | i.a. | 1,8 | 0,60 |
| Kvernskjær | 16,3 | 0,69 | i.a. | i.a. | 1,4 | 0,40 |
| Missingen | 18,5 | <0,2 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. |
| Tisler | 21,7 | 0,5 | i.a. | i.a. | 0,82 | <0,3 |
| Øvre grense for klasse I | | 1 | | | | |

Tabell 6 (fortsettelse)

B: Bly

| Stasjoner- | Avstand (km) | Bly i blæretang (µg/g t.v.) | | | | |
|--------------------------|-----------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 0,49 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 0,55 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | i.a. | 12,6 | 1,55 | 1,07 |
| Kjøko | 5,3 | 0,6 | i.a. | 6,3 | 0,82 | 0,62 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,91 | 0,91 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 1,1 | i.a. | 25,8 | 2,04 | 1,96 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,92 | 0,51 |
| Singløskalven | 14,5 | 0,8 | i.a. | 1,2 | 1,79 | 0,66 |
| Kverniskjær | 16,3 | 0,6 | i.a. | 3,6 | 1,27 | 0,19 |
| Missingen | 18,5 | 0,9 | i.a. | 0,4 | i.a. | |
| Tisler | 21,7 | 0,6 | i.a. | 4,4 | 0,37 | 0,21 |
| Øvre grense for klasse I | | 1 | | | | |

Tabell 6 (forsettelse)

C: Kobber

| Stasjoner- | Avstand (km) | Kobber i blæretang (µg/g t.v.) | | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|------|------|---------|-------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 7,50 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 6,49 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | 13 | 15,9 | 6,4/7,0 | 7,34 |
| Kjøko | 5,3 | 33 | 14 | 16,9 | 4,5 5,7 | 6,40 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 4,9 5,8 | 7,00 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 21 | 15 | 14 | 6,8/7,8 | 10,20 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 3,6/4,5 | 5,50 |
| Singløskalven | 14,5 | 9 | 4 | i.a. | 5,6/6,0 | 3,60 |
| Kverniskjær | 16,3 | 15 | 6 | 11 | 3,7/4,5 | 3,70 |
| Missingen | 18,5 | 5,9 | i.a. | 4,5 | i.a. | i.a. |
| Tisler | 21,7 | 6 | 3 | 6,8 | 6,2/7,5 | 3,30 |
| Øvre grense for klasse I | | 5 µg/g | | | | |

3.3.3 Kadmium, kvikksølv, sink og vanadium

Konsentrasjonene av Cd, Hg og Zn var relativt lave både i 2003 og 2008 (**Tabell 7**). For Cd og Zn ble det observert en tendens til noe høyere konsentrasjoner i 1989 og 1994 enn i 2003 og 2008. Vanadium (**Tabell 8**) er kun analysert i materialet fra 2003 og 2008. Med et mulig unntak for N-Asmaløy og Flatskjærene viste resultatene små forskjeller mellom de to årene.

Tabell 7. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g t.v.}$) av kadmium (Cd), kvikksølv (Hg) og sink (Zn) i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområde på 5 ulike tidspunkt, 2008 (denne undersøkelse), 2003 (Källqvist og Berge, 2004), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i tilstandsklasser ifølge SFT's miljøkvalitetskriterier.

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4. i.a.= ikke analysert/ingen prøve.

A:Kadmium

| Stasjoner- | Avstand (km) | Kadmium i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$) | | | | |
|--------------------------|-----------------|---|------|------|-------|------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 1,15 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 0,99 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | 1,16 | i.a. | 0,709 | 0,75 |
| Kjøko | 5,3 | 1,7 | 1,94 | i.a. | 0,948 | 1,06 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,968 | 1,03 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 1,3 | 2,16 | i.a. | 1,21 | 1,08 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,07 | 1,07 |
| Singløykcalven | 14,5 | 0,87 | 1,20 | i.a. | 0,954 | 0,69 |
| Kvernskjær | 16,3 | 1,08 | 1,37 | i.a. | 0,718 | 0,84 |
| Missingen | 18,5 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. |
| Tisler | 21,7 | 1,1 | 1,41 | i.a. | 0,721 | 1,12 |
| Øvre grense for klasse I | | | | 1,5 | | |

Tabell 7 (fortsettelse)

B:Kvikksølv

| Stasjoner- | Avstand (km) | Kvikksølv i blæretang (µg/g t.v.) | | | | |
|--------------------------|-----------------|--------------------------------------|------|------|-------|-------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 0,015 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 0,017 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,017 | 0,037 |
| Kjøko | 5,3 | 0,04 | i.a. | i.a. | 0,013 | 0,016 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,012 | 0,017 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 0,02 | i.a. | i.a. | 0,014 | 0,025 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,005 | 0,014 |
| Singløskalven | 14,5 | 0,03 | i.a. | i.a. | 0,019 | 0,016 |
| Kvern skjær | 16,3 | 0,02 | i.a. | i.a. | 0,011 | 0,013 |
| Missingen | 18,5 | 0,01 | i.a. | i.a. | i.a. | |
| Tisler | 21,7 | <0,01 | i.a. | i.a. | 0,005 | 0,011 |
| Øvre grense for klasse I | | 0,05 | | | | |

(Tabell 7 fortsettelse)

C:Sink

| Stasjoner- | Avstand (km) | Sink i blæretang (µg/g t.v.) | | | | |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------|------|------|------|--------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | 1,4 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 123,00 |
| Rognholmen | 2,8 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 110,00 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | 150 | i.a. | 59,4 | 83,50 |
| Kjøko | 5,3 | 275 | 54 | i.a. | 60,4 | 74,50 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 64 | 86,20 |
| N-Asmaløy | 11,3 | 184 | 193 | i.a. | 86,6 | 94,80 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 55,9 | 76,70 |
| Singløskalven | 14,5 | 99 | 90 | i.a. | 63,8 | 47,40 |
| Kvern skjær | 16,3 | 226 | 113 | i.a. | 35,8 | 46,70 |
| Missingen | 18,5 | 86 | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. |
| Tisler | 21,7 | 111 | 80 | i.a. | 37,1 | 46,70 |
| Øvre grense for klasse I | | 150 | | | | |

Tabell 8. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g t.v.}$) av Vanadium i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområde på 5 ulike tidspunkt, 2008 (denne undersøkelse), 2003 (Källqvist og Berge, 2004), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i tilstandsklasser ifølge Knutzen og Skei, 1990.

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4. i.a.= ikke analysert/ingen prøve.

| Stasjoner- | Avstand (km) | Vanadium ¹⁾ i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$) | | | | |
|---------------------------------|-----------------|--|------|------|------|------|
| | | 1989 | 1994 | 1995 | 2003 | 2008 |
| Kråkerøy | | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 1,50 |
| Rognholmen | | i.a. | i.a. | i.a. | i.a. | 2,60 |
| Belgen | 5,0 | i.a. | i.a. | i.a. | 4,56 | 4,10 |
| Kjøko | 5,3 | i.a. | i.a. | i.a. | 2,18 | 2,30 |
| Fugleskjær | 7,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,56 | 2,60 |
| N-Asmaløy | 11,3 | i.a. | i.a. | i.a. | 4,23 | 7,76 |
| Flatskjærene | 13,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,03 | 2,60 |
| Singløkcalven | 14,5 | i.a. | i.a. | i.a. | 2,28 | 2,50 |
| Kvernskjær | 16,3 | i.a. | i.a. | i.a. | 1,04 | 0,99 |
| Tisler | 21,7 | i.a. | i.a. | i.a. | 0,9 | 1,00 |
| Øvre grense for klasse I | | 2 ¹ | | | | |

¹⁾ Vanadium inngår ikke i SFTs klassifisering. Klassifiseringen som er benyttet (Knutzen og Skei 1990) har 4 tilstandsklasser og er beheftet med relativt stor usikkerhet.

Kronos Titan AS (KT) er en betydelig kilde for tilførslene av spesielt Ti til Glommas munningsområde (Berge et al 2008). I prøvene fra september 2007 kunne en spore utslippene fra KT som forhøyede verdier av ”ekstra jern” og ”ekstra titan” (dvs. Ti og Fe som ikke kan knyttes til naturlig forekomst) nær hovedutslippet. Fe og Ti er også de metallene der en ser de største konsentrasjonsgradientene i blæretang fra resipienten (**Tabell 4**). Ifølge bedriften selv utgjør utslippene av Ti i form av titandioksid og Fe i form av jernsulfat de største metallutslippene fra Kronos Titan AS (**Tabell 1**). Det er rimelig å anta at de relativt høye konsentrasjonene observert i blæretang på en del av stasjonene i Glommas munningsområde derfor skyldes påvirkning fra bedriftens utslipp. Tilførslene av Fe og Ti har pga disse metallenes lave giftighet trolig liten miljømessig betydning.

Når det gjelder de øvrige metallene som i 2008 ble observert i lave (Cd, Hg og Zn) (**Tabell 7**) eller moderate (Cr, Pb, Cu) (**Tabell 6**) konsentrasjoner i , er det rimelig å anta at bidraget fra Kronos Titan AS er beskjedent. Dette gjelder i alle fall for kobber hvor utslippene fra andre bedrifter er vesentlig større (Berge et al. 2003, Berge et al 2008).

4. Referanser

- Berge, J.A., 1991. Miljøgifter i organismer i Hvaler-/Kosterområdet. NIVA-rapport nr. 2669 (feilaktig påført rapport nr. 2560), 192s.
- Berge, J.A., Brevik, E.M., Godal, A. og Berglind, L., 1996. Overvåking av Hvaler-Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990-1994. Miljøgifter i organismer. NIVA-rapport nr. 3443, 146s.
- Berge, J.A., 1997. Undersøkelser av miljøgifter i blæretang, blåskjell og torsk fra Hvalerområdet i forbindelse med storflommen i Glomma i 1995. NIVA-rapport nr. 3659, 45s.
- Berge, J.A., Magnusson, J., Tjomsland, T., 2008. Undersøkelser i Glomma utenfor Kronos Titan AS – 2007. NIVA-rapport nr. 5519, 42s.
- Källqvist, T., Berge, J.A. (2004). Økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann fra Kronos Titan AS samt analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler. NIVA rapport nr. 4840, 25s
- Knutzen, J., Skei, J., 1990. Kvalitetskriterier for miljøgifter i vann, sediment og organismer, samt foreløpige forslag til klassifikasjon av miljøkvalitet. Niva-rapport nr. 2540, 139s.
- Luoma, S.N., Bryan, G.W. og Langstone, W. J., 1982. Scavenging of heavy metals from particulates by brown seaweed. *Mar. Pollut. Bull.* 13, 394-296.
- Magnusson, J. Sørensen, K., 1996. Overvåking av Hvaler-Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990-94. Overflatevannets vannkvalitet og oksygenforholdene i dypvannet
Niva-rapport nr. 3538, 82s.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. & Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-veiledning nr. 97:03, TA-1467/1997. 36 pp.
- Phillips, D.J. og Segar, A.D., 1986. Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: Program Design Imperatives. *Mar. Pollut. Bull.*, 17, 10-17.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no