

RAPPORT LNR 3570-96

**U**tslipp av klorat og klor  
til Glomma ved Sarpsborg  
- en resipientvurdering

**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 04 30 33  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgt 55  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 32 56 40  
Telefax (47) 55 32 88 33

**Akvaplan-NIVA A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Utslipp av klorat og klor til Glomma ved Sarpsborg - en resipientvurdering	Løpenr. (for bestilling) 3570-96	Dato 21/11-1996
	Prosjektnr. Undernr. O-96222	Sider Pris 22
Forfatter(e) John Arthur Berge	Fagområde Marinøkologisk	Distribusjon
	Geografisk område Østfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Borregaard Industries Limited	Oppdragsreferanse Bestilling/ordre nr. 11453
---	--

**Sammendrag**

Kloralkalifabrikken til Borregaard Industries har et utslipp av kvikksølv. I følge utslippstillatelsen for fabrikken stilles det krav om at utslipp av kvikksølv skal opphøre innen 31/12-97. Borregaard ønsker å fortsette produksjonen basert på en prosess som ikke gir utslipp av kvikksølv. SFT ønsker en resipientvurdering knyttet til utslippene av klorat ( $\text{NaClO}_3$ , kontinuerlig utslipp) og klogass ( $\text{Cl}_2$ , episodiske utslipp) fra den nye prosessen (utslippstillatelsen datert 18.07.96). I forbindelse med disse utslipp (utslippsgrenser: 280 kg/dag av natriumklorat og 7.5 t/år klogass) er det gjennomført en resipientvurdering.

Ved gjennomsnittlig vannføring i Glomma (ca 700 m<sup>3</sup>/s) og et utslipp av klorat tilsvarende utslippsgrensen vil en ved full innblanding få en konsentrasjon av natriumklorat i Glomma på ca 5 µg/l. Tilsvarende vil en ved et utslipp på ca 101 kg/t med klogass få en konsentrasjon på ca 40 µg/l. Ved lave/høye vannføringer vil imidlertid konsentrasjonen kunne være vesentlig høyere/lavere. De maksimale konsentrasjoner av klorat og klor som kan forventes i Glomma er høyere enn de laveste konsentrasjoner for påviste effekter på vannlevende organismer. Utslippene kan derfor ikke utelukkes å gi negative effekter i resipienten. Eventuelle effekter vil imidlertid trolig være marginale og i tilfelle først og fremst knyttet til utslippet av klorat. Spesielt det forhold at utslippet av klorat har en permanent karakter gjør at skader på de mest ømfintlige brunalgene (blæretang, perlesli) ikke kan utelukkes. Borregaard har imidlertid også nyere planer for kloralkalifabrikken som ikke innebærer utslipp av klor og som også gir et lavere utslipp av klorat enn det utslippstillatelsen av 18.07.96 tilsier.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Industriutslipp	1. Effluents from industry
2. Klorat	2. Chlorate
3. Klogass	3. Chlorine
4. Glomma	4. Glomma

  
John Arthur Berge  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3122-6

  
Bjørn Braaten  
Forskningsjef

O-96222

Utslipp av klorat og klor til Glomma ved Sarpsborg  
- en resipientvurdering

## **Forord**

I forbindelse med omlegging til ny produksjonsprosess ved kloralkalifabrikken til Borregaard Industries Limited ved Sarpsborg krever Statens forurensningstilsyn (SFT) i utslippstillatelsen for fabrikken at det gjennomføres en resipientvurdering knyttet til de nye utslippene.

I brev av 24/9-96 ber Borregaard Industries Limited om at resipientvurderingen gjennomføres av NIVA i henhold til utslippstillatelsen til SFT og tilbud fra NIVA (brev av 6/09-96).

Under arbeidet har kontaktperson hos Borregaard Industries Limited vært Finn Hegge.

Som ledd i kvalitetssikring av rapporten er manus lest og kommentert av Jens Skei.

Oslo, 21/11 1996

John Arthur Berge  
Prosjektleder

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Resipientbeskrivelse</b>	<b>6</b>
<b>3. Utslippets størrelse og karakter</b>	<b>9</b>
3.1 Beregnede konsentrasjoner av klorat	10
3.2 Beregnede konsentrasjoner av klor	11
<b>4. Mulige effekter</b>	<b>13</b>
4.1 Klorat	13
4.2 Klor	16
<b>5. Konklusjoner</b>	<b>19</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>20</b>

---

## Sammendrag

- I forbindelse med omlegging til ny produksjonsprosess ved kloralkalifabrikken til Borregaard Industries Limited ved Sarpsborg, for å unngå utslipp av kvikksølv, krever Statens forurensningstilsyn (SFT) at det gjennomføres en resipientvurdering knyttet til utslipp av klorat og klor til Glomma (utslippsgrenser: 280 kg/dag av natriumklorat og 7.5 t/år klorgass).
- Utslippene av klorat fra kloralkalifabrikken er av kontinuerlig natur og vil variere med utslippsrate og vannføringen i Glomma. Ved gjennomsnittlig vannføring i Glomma (ca 700 m<sup>3</sup>/s) og et utslipp av klorat tilsvarende utslippsgrensen på 280 kg/dag (månedsmiddel) vil en ved full innblanding få en konsentrasjon av natriumklorat i Glomma på ca 5 µg/l. Ved lave vannføringer vil imidlertid konsentrasjonen kunne være vesentlig høyere.
- Brunalger er spesielt ømfintlige for klorat. Laveste konsentrasjon som kan gi redusert vekst hos blæretang ligger i området 1-20 µg/l. Spesielt det forhold at utslippet av klorat har en permanent karakter gjør også at skader på de mest ømfintlige brunalgene (blæretang, perlesli) ikke kan utelukkes.
- Utslippene av klor er knyttet til avgassing av produksjonssystemet ved driftsstans og er således av episodisk natur. Erfaringsdata antyder at en gjennomsnittlig i løpet av en uke vil ha utslipp i 1 time. Gjennomsnittsutslippet har en utslippsrate på 101 kg/t.
- Ved gjennomsnittlig vannføring i Glomma og et utslipp av klor tilsvarende ca 101 kg/t vil en ved full innblanding få en konsentrasjon av klor i Glomma på ca 40 µg/l. Ved lave vannføringer vil imidlertid konsentrasjonen kunne være vesentlig høyere.
- De maksimale konsentrasjonene av klor som kan tenkes å oppstå i Glommavann umiddelbart etter innblanding er, for de fleste aktuelle utslippsrater og vannføringer, klart over EPAs grense på 7.5-19 µg/l for å unngå kroniske og akutte skader på liv i sjøvann og ferskvann.
- En må anta at det ved et episodisk utslipp vil kunne opptre konsentrasjoner av klor som først og fremst kan gi effekter på ømfintlige organismer lokalt nær utslippspunktet og i de klorholdige vannmassene som transporteres med Glomma. Siden utslippene er av episodisk natur og vanligvis av kort varighet (gjennomsnittlig ca 1 time pr. uke) vil en imidlertid anta at konsekvensene av klorutslippet for Glomma og dets munningsområde totalt sett er marginale.
- Bedriftens nye planer om å installere produksjonsutstyr som eliminerer utslipp av klor i sin helhet og som også gir et lavere utslipp av klorat enn det utslippstillatelsen datert 18.07.96 tilsier, vil imidlertid redusere sannsynligheten for effekter i resipienten ytterligere.
- På slutten av 80 og begynnelsen av 90-årene har tilførslene av miljøgifter til Hvaler-estuariet gått betydelig ned. I Hvaler estuariet har dette medført en markant forbedret miljøtilstand i forhold til 80-tallet og strandsonesamfunnene synes nå å ligge nært opp til hva som en kan forvente ut fra naturgitte forhold. Ut i fra denne bakgrunn bør alle utslipp til resipienten begrenses slik den gode miljøtilstanden kan bibeholdes eller forbedres ytterligere.

# 1. Innledning

Kloralkalifabrikken til Borregaard Industries Limited (heretter forkortet til Borregaard) ved Sarpsborg produserer lut (NaOH), saltsyre (HCl) og natriumhypokloritt (NaOCl). Kloralkalifabrikken har i dag konsensjon til å slippe ut 9.4 kg kvikksølv (Hg) til Glomma i året. De virkelige utslipp er imidlertid vesentlig mindre (ca 2.5 kg/år). I tillegg har fabrikken et utslipp av kvikksølv til luft på ca 75 kg/år. I følge utslippstillatelsen av 31/01-91 for kloralkalifabrikken stilles det krav om at kvikksølvbasert produksjon skal opphøre innen 31/12-97. Borregaard ønsker å fortsette produksjonen av de nevnte kjemikalier også etter 31/12-97 og har derfor søkt om utslippstillatelse (datert 06.12.95) for en membranbasert produksjon som ikke gir utslipp av Hg.

Produksjonen vil foregå ved at klorgass fra elektrolyse av natriumklorid (NaCl) konverteres til saltsyre (HCl) og natriumhypokloritt (NaOCl). Membranteknologien gir utslipp av NaCl, natriumklorat (NaClO<sub>3</sub>), natriumsulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) og natriumhydroksid (NaOH) til vann og hydrogengass (H<sub>2</sub>) til luft. Prosessvannet vil bli ført direkte ut i Glomma ved Sarpsborg.

Ut i fra utslippskomponentenes natur og mengder antyder SFT at behovet for en resipientvurdering først og fremst knytter seg til utslippene av klorat (NaClO<sub>3</sub>) og klorgass (Cl<sub>2</sub>). Utslippskomponentene NaCl og Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vurderes til å være av liten betydning siden prosessvannet relativt raskt vil føres ut i sjø/brakkvann som naturlig inneholder disse komponenter.

NIVA slutter seg til SFTs vurdering og gjennomfører derfor en resipientvurdering der NaClO<sub>3</sub> og Cl<sub>2</sub> står i fokus. Arbeidet har bestått i litteratursøk med hovedvekt på å innhente opplysninger om eventuelle effekter av de to aktuelle forbindelser. Grenser for påviste effekter er vurdert i lys av beregnede konsentrasjoner i Glomma (og eventuelt i området utenfor) og de hovedgrupper av organismer en har i resipienten.

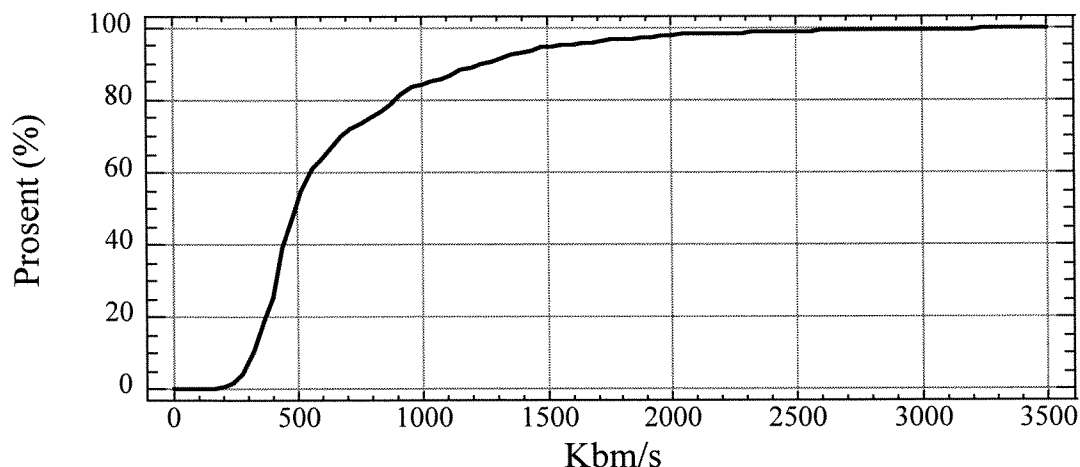
## 2. Resipientbeskrivelse

Avstanden fra Sarpsfossen og ned til Glommas utløp i sjøen ved Fredrikstad er ca. 15 km. Elva renner på strekningen fra Sarpsborg til Fredrikstad gjennom industri- og bymessige områder, samt jordbruksarealer. Munningsområdet (Øra industriområde) fremstår i dag som relativt urbanisert.

Av viktige bruksinteresser kan nevnes rekreasjon, fiske, transport og resipient for avløp fra industri- og boligområder.

Gjennomsnittlig årsvannføring i perioden 1950 - 1988 ved Langnes (Solbergfoss) var 690 m<sup>3</sup>/s (Miljøverndepartementet, 1992). I flomsituasjoner kan imidlertid vannføringen være betydelig høyere. Eksempelvis hadde en ved Solbergfoss en flomtopp på ca 3600 m<sup>3</sup>/s under flommen i juni 1995. I korte perioder kan vannføringen være så lav som under 100 m<sup>3</sup>/s (Holtan et al., 1993). En sammenstilling av vannføringen i Glomma i perioden 1980-1995 er vist i Figur 1.

## Glomma 1980-1995



**Figur 1.** Vannføring i Glomma (kumulativ %) ved Solbergfoss i perioden 1980-1995.

Antall målinger = 4676, gjennomsnitt  $t = 703.527$ , median = 545.5, minimum = 200.0, maksimum = 3668.74, lavere quartile = 439.0, øvre quartile = 840.5

Ved Sarpsborg er vannkvaliteten i Glomma slik at den representerer begrensninger mht. egnethet for enkelte formål (drikkevann, jordvanning, bading og fiske) og avviker til dels meget fra sin naturtilstand mht. forurensningsgrad (Miljøverndepartementet, 1992).

Vannet i Glomma ved Sarpsfossen har en pH som ligger relativt stabilt rundt 7 og en alkalinitet rundt 0.2 mekv./l (Lingsten, 1984). Mengden suspendert materiale er relativt høyt. De høyeste verdier opptrer i flomsituasjoner. Transporten av suspendert materiale ved Sarpsborg er beregnet til 360.000 t/år (Miljøverndepartementet, 1992). I normalår sedimenterer ca halvparten innenfor Hvaler øyene (Helland 1996).

Sjøvann kan i perioder og avhengig av vannføring i elven og vannstanden i Hvalerområdet trenge inn som en saltvannskile under det lettere ferskvannet i Glomma. Ved midlere og lave vannføringer vil saltvannskilen kunne strekke seg helt opp til Sarpsborg og kan der i 1 m dyp måles som en dramatisk økning i ledningsevne og kloridinnhold (NIVA, 1970). Ved økende vannføring skyves saltvannskilen utover mot munningen, og ved store vannføringer (1000 - 1500 m<sup>3</sup>/s) trenger ikke saltvannet opp i elven i det hele tatt (NIVA, 1970, Skei, 1987). Transmisjonsmålinger i Glomma nedenfor Greåker antyder at svært lite av de partikler som transporteres med Glomma kommer ned i saltvannskilen og sedimenterer på elvebunnen. Saltvannskilen kan imidlertid ta med seg partikler fra munningsområdet og oppover elven, og som sammen med annet sedimenterende materiale igjen kan bli "spylt" ut i påfølgende flomperioder (Skei, 1987). Det er påvist at utslipp fra Borregaard har forårsaket forhøyede nivåer av kvikksølv i sedimentet nedenfor Greåker (Skei, 1987).

De biologiske forholdene i Glomma mellom Sarpsborg og Fredrikstad er lite undersøkt i de senere år (Fylkesmannen i Østfold, Miljøvernavdelingen, pers. oppl.). I perioden 1965 - 1967 ble det utført en undersøkelse av Glomma som også omfattet alger, høyere vegetasjon og fisk. Resultatene ble sammenfattet i en rapport (NIVA, 1970), og de følgende opplysninger er hentet derfra. En må imidlertid bemerke at forholdene i elva kan ha forandret seg betydelig siden 1970.



Undersøkelsene viste at Glomma fra Mjøsa og ned til Fredrikstad i biologisk betydning i store trekk utgjorde et sammenhengende system. Organismesamfunnene i de strømmende vannmassene fikk sin utforming i Mjøsa og Øyeren og ble utviklet på de mer eller mindre stilleflytende deler av vassdraget. Helt ut i sjøområdet mellom Østfoldlandet og Hvalerøy-gruppen var det Mjøsas og Øyerens arter som preget algesamfunnene. På lokalitetene (Sandesund og Ringeverven) nedenfor Sarpsborg som ble undersøkt, besto sestonmaterialet (svevende materiale) av fiber og løsrevne trådbakterier (*Sphaerotilus natans*). Dette viste en markert påvirkning av forurensninger med partikulært og løst organisk stoff. Av fastsittende organismer var også *Sphaerotilus natans* fremtredende og til dels enerådende. Det ble imidlertid også påvist relativt store mengder av blågrønnalger, særlig *Lynghya* sp. ved Sandesund. Elvestrekningen var fattig på høyere vegetasjon, noe som delvis kunne forklares med "sivilisatorisk" belastning. I nedre del av Glomma fantes et stort antall fiskearter. I hele vassdraget er det påvist 32 fiskearter. Fiskebestandene mellom Sarpsborg og Fredrikstad ble dominert av karpefisk som mort, vederbuk, stam, brasme, flire og gullbust. Gjedde, abbor, gjørs, lake og ål fantes også i til dels betydelige mengder. Laks og sjørret gikk naturlig opp til Sarpsfossen og Sølvstufossen i Ågårdselva. I Sølvstufossen er bygget laksetrapp. Det foregikk et betydelig ålefiske i nedre Glomma. Noe sportsfiske etter laks og sjørret foregår også i dag nedenfor Sarpsfossen og i Ågårdselva.

I de senere år har det vært utført et betydelig arbeid for å redusere forurensningene i Nedre Glomma. Dette har medført at tilførselen av miljøgifter til Hvaler-estuarieret har gått betydelig ned de senere årene (Holtan, 1996). Dette medfører sannsynlig at de biologiske forholdene i nedre del av Glomma kan være noe forandret siden undersøkelsene i 1960-årene.

Strandsamfunnet i den nedre mer sjøvannspåvirkede del av Glomma (Isegran - Kaldera) kan beskrives som et artsfattig grønnalge/diatomé-samfunn med spredt forekomst av rur (Moy og Walday, 1990). I Glommas munningsområde har en tidligere hatt et fattig strandsamfunn med fravær av mindre krepsdyr, snegl, muslinger og fisk (Notini et al., 1987) og generelt få alger og virvelløse dyr nær munningsområdet, - noe som til dels kunne tilskrives utslippet fra Kronos Titan A/S (Bokn et al., 1989). Totalt sett har både elvestrekningen nedenfor Sarpsborg og estuarieområdet utenfor Glommas munning hatt en klar sivilisatorisk påvirkning.

Undersøkelser i 1992-1994 blant annet i munningsområdet viser imidlertid klare forbedringer (Moy og Walday, 1996; Rygg 1996.). Strandsonesamfunnene i Hvaler-estuarieret synes nå å ligge nært opp til hva som en kan forvente ut fra naturgitte forhold (Moy og Walday, 1996). Også innholdet av miljøgifter i organismer har gått ned (Berge et al. 1996) og vannkvalitetene er forbedret (Magnusson og Sørensen, 1996). Analyse av jern og titan i blåskjell og blæretang tyder imidlertid på at en fremdeles har en markert til sterk belastning nær Glommas munning.

Den forbedrede miljøtilstand i Glommaestuarieret skyldes i hovedsak de gjennomførte rensetiltak (industri og kommunale) som har funnet sted.

### 3. Utslippets størrelse og karakter

I tabell 1 ses utslippsgrensene pålagt av SFT for kloralkalifabrikken. Utslippsgrensene er basert på Borregaards søknad om utslippstillatelse av 06.12.95. Det forefinnes imidlertid nå alternative planer om å installere produksjonsutstyr som eliminerer utslipp av klor i sin helhet og som også gir et lavere utslipp av klorat enn det tabell 1 antyder.

**Tabell 1.** Utslippsgrensene pålagt av SFT for kloralkalifabrikken til Borregaard (utslippstillatelse av 18/7-96).

Utslippskomponent	Utslippskilde	Utslippsgrens	
		Konsentrasjonsgrense	Midlingstid
NaCl	Saltlakeresirkulasjon	4400 kg/d	mnd
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Saltlakeresirkulasjon	165 kg/d	mnd
NaClO <sub>3</sub>	Saltlakeresirkulasjon	13 g/l <sup>1)</sup>	uke
NaClO <sub>3</sub>	Saltlakeresirkulasjon	280 kg/dag <sup>2)</sup>	mnd
NaOH	Saltlakeresirkulasjon	0.1 g/l	uke
NaOH	Saltlakeresirkulasjon	2 kg/dag	mnd
Vannmengde	Saltlakeresirkulasjon	1 m <sup>3</sup> /time	
Vannmengde	Regenerering av ionebytter	30 m <sup>3</sup> /time	
Vannmengde	Kjølevann	1200 m <sup>3</sup> /time	
Cl <sub>2</sub>	Kloravgassing	7.5 tonn/år <sup>3)</sup>	

<sup>1)</sup>Tilsvare et utslipp på 312 kg/dag dersom vannmengden er 1m<sup>3</sup>/t (vannmengde fra saltlakeresirkulering).

<sup>2)</sup>Det forefinnes nå nye planer om å installere utstyr som vil redusere utslippet av klorat til ca. 185 kg/dag.

<sup>3)</sup>Det forefinnes nå nye planer om å installere utstyr som vil eliminere utslippet av klor i sin helhet.

Prosessvannet skal føres ut i Glomma ved Sarpsborg slik at utslippspunktet ligger 2.5 m under laveste vannstand. Ved utslippet og videre nedover i flere hundre meter strømmer vannet i Glomma med stor fart og er meget turbulent. På grunn av topografien og strømningsforholdene antar vi at utslippsvannet blandes tilnærmet fullstendig med ellevannet i løpet av noen hundre meter.

Avløpsvannet fra kloralkalifabrikken blir fortynnet av kjølevann før det slippes ut i Glomma.

Vi antar at utslippet raskt blandes fullstendig med vannet i Glomma etter følgende relasjon.

$$Q_{ut} C_{ut} = Q_G C_G$$

$$C_G = \frac{Q_{ut} C_{ut}}{Q_G}$$

$Q_{ut}$  : utslippsvannføringen (m<sup>3</sup>/s)

$C_{ut}$  : stoffkonsentrasjonen i utslipp (µg/l)

$Q_G$  : vannføring i Glomma

$C_G$  : stoffkonsentrasjonen fra utslippsvannet i Glomma.

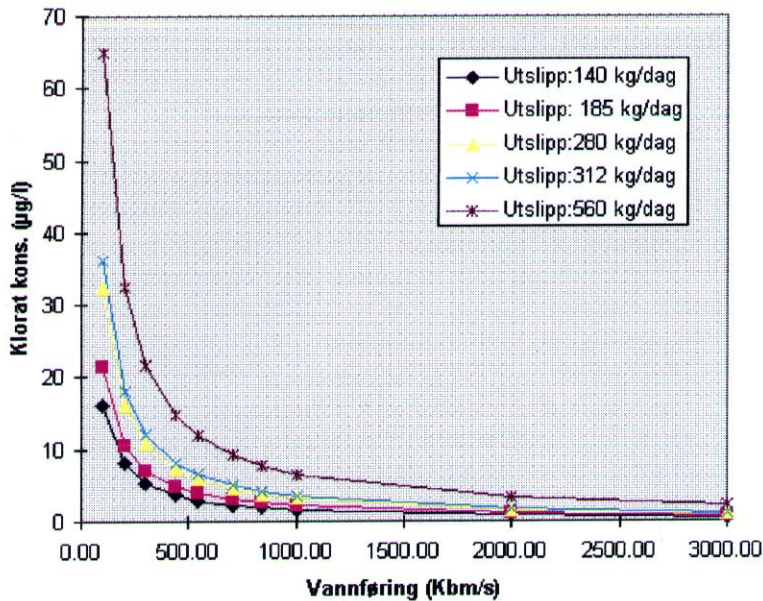
Konsentrasjonen i overflatevannet i Glommas nedre del vil imidlertid også fortynnes noe fra underliggende sjøvann. Denne iblandingen vil være avhengig av vannføring (lav vannføring gir større innblanding oppe i Glomma enn ved stor vannføring). Basert på saltholdighetsdata (Magnusson og Skei, 1984) anslås at vannet i Glomma ved Kjøkø sommestid, grovt sett, er fortynnet ca 4 ganger med sjøvann.

### **3.1 Beregnede konsentrasjoner av klorat**

Ved å nytte de to utslippsgrensene for klorat fra kloralkalifabrikken (tabell 1) har vi beregnet karakteristiske konsentrasjoner i Glomma ved ulike vannføringer etter homogen innblanding (figur 2). Siden utslippsgrensene representerer middelveidier over en uke eller en måned må en anta at konsentrasjoner i Glomma over kortere perioder vil kunne være høyere enn det tabell 1 viser. En har derfor også beregnet konsentrasjoner av klorat i Glomma ved utslipp som er henholdsvis det dobbelte (560 kg/dag) og det halve (140 kg/dag) av utslippsgrensen basert på månedsmiddel. En har også beregnet konsentrasjonener av klorat i Glomma basert på planer om å installere alternativt produksjonsutstyr. Disse planer gir et mindre utslipp av klorat (185 kg/dag) enn det tabell 1 antyder.

Klorat et sterkt oksydasjonsmiddel som ved kontakt med organisk materiale i resipienten relativt fort selv bli redusert til klorid. Dette betyr at de konsentrasjoner som ses i figur 2 må oppfattes som maksimalkonsentrasjoner.

Naturlig nok viser figur 2 at en har de høyeste konsentrasjoner ved lavest vannføring. Tar en utgangspunkt i vannføringens nedre kvartile (439 m<sup>3</sup>/s) og et utslipp på 560 kg/dag gir dette en konsentrasjon på ca 15 µg/l. Merk at de foreliggende planer om å installere et alternativt produksjonsutstyr (utslipp av 185 kg klorat pr dag) for alle aktuelle vannføringer vil gi en konsentrasjon som er mindre enn ca. 20 µg/l.



**Figur 2.** Konsentrasjonen av klorat i Glomma ved ulike vannføring og ved ulike utslipp av klorat fra kloralkaliefabrikken.

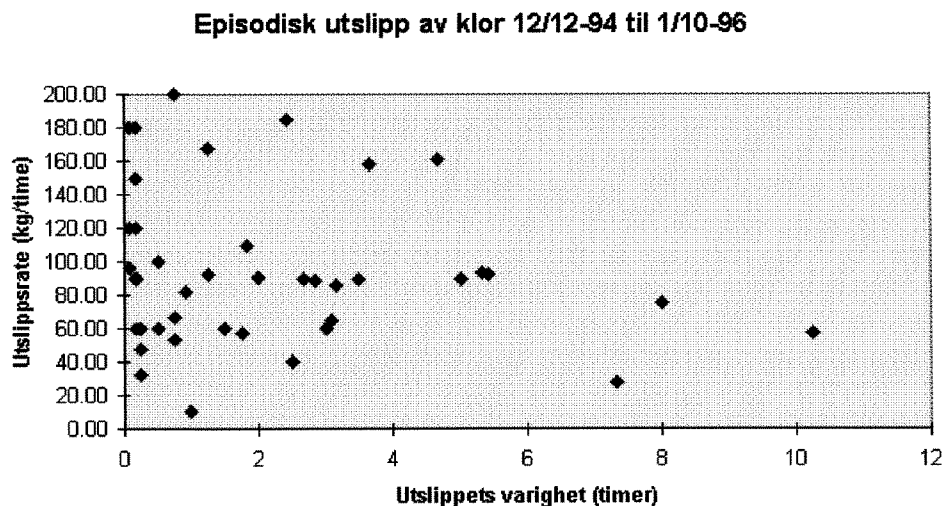
### 3.2 Beregnede konsentrasjoner av klor

Utslippene av klor er knyttet til avgassing av produksjonssystemet ved driftsstans. Utslippene er således av episodisk natur. Utslippsgrensen for klor er satt til 7.5 t/år (tabell 1). Ut i fra erfaringsdata oppgitt fra Borregaard ser en at de enkelte utslipps varighet og rate varierer betydelig (figur 3. ). Et gjennomsnittlig utslipp har en varighet på 1.6 time og en utslippsrate på 101 kg klor pr. time. Den maksimale utslippsrate var 200 kg/t.

Ved å nytte data for tidligere episodiske utslipp av klorgass fra kloralkalifabrikken (figur 3. ) har vi beregnet karakteristiske konsentrasjoner i Glomma ved ulike vannføringer etter homogen innblanding. Det er beregnet konsentrasjoner av klor i Glomma ved utslipp som tilsvarer henholdsvis midlere utslippsrate (ca 100 kg/t), maksimale utslippsrate (200 kg/t), og halvparten av middelverdien (ca 50 kg/t=10% persentilen). Som nevnt i kap. 3 forefinnes det imidlertid også nyere planer hos Borregaard om å installere et alternativt produksjonsutstyr som eliminerer utslipp av klor i sin helhet.

Naturlig nok har en de største konsentrasjoner ved lavest vannføring (figur 4. ). Klor er meget reaktivt og vil raskt reagere (fungerer som oksydasjonsmiddel) med blant annet organiske forbindelser i resipienten. Figur 4 beskriver således maksimalkonsentrasjoner.

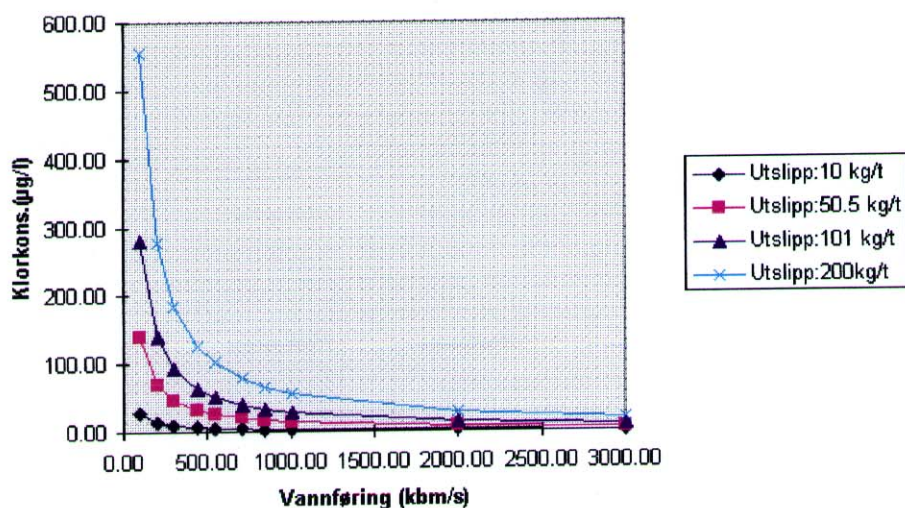
Tar en utgangspunkt i grensen for vannføringens nedre kvartile (439 m<sup>3</sup>/s) og et gjennomsnittlig utslipp på 101 kg/t gir dette en konsentrasjon på ca 64 µg/l. Forhøyede konsentrasjoner av klor vil følge vannet nedover elva. På grunn av utslippets episodiske natur vil imidlertid Glommavann som passerer utslippspunktet bli tilført klor i meget liten andel av den totale med gatte tid. I tiden 12/12-94 til 1/10-96 varte de episodiske utslipp av klor til Glomma i kun 0.6 % av den totale periode (dvs. ca. en time pr. uke).



**Figur 3.** Utslippsrate av klor som funksjon av utslippets varighet (data oppgitt av Borregaard Industries Limited).

**Tabell 2.** Statistikk for episodiske utslipp av klor i perioden 12/12-94 til 1/10-96. Utslippene er knyttet til driftstans. Antall observasjoner = 59

	Utslippets varighet (timer)	Utslippsrate (kg/t)
Middel	1.6	101
Minimum	0.08	10
Maksimum	10.25	200
1% persentile	0.08	10
5% persentile	0.08	32
10% persentile	0.16	53
25% persentile	0.16	60
50% persentile	0.5	90
75% persentile	2.5	120
90% persentile	5.0	180
99% persentile	10.25	200



Figur 4. Konsentrasjonen av klor i Glomma ved ulike vannføring og ved ulike utslipp av klorat fra kloralkalifabrikken.

## 4. Mulige effekter

### 4.1 Klorat

Klorat er giftig for høyere planter, og har derfor vært mye brukt som ugrassdreper. Klorat tas opp i planter på samme måte som nitrat. Giftvirkning for planter inntreffer når klorat blir redusert til kloritt ved hjelp av nitrat reduktase. Dette betyr sannsynligvis at klorat har en særlig negativ effekt der vekst er nitrogenbegrenset. Klorat kan imidlertid også være giftig for andre organismer (alger, bakterier og sopp). Effekter av klorat på ulike organismer er sammenstilt i (Tabell 5. ) Klorat synes å være relativt lite akutt giftig for virvelløse dyr og fisk i ferskvann (se Tabell 5. ). De maksimalkonsentrasjoner som kan opptre i Glomma og dets munningsområde som en følge av utslipp fra kloralkalifabrikken (figur 2) er langt mindre enn det tabell 5. antyder gir effekter på virvelløse dyr og fisk i ferskvann. Også når det gjelder vannlevende bentiske grønnalger, rødalger samt blågrønnalger er de konsentrasjoner som synes å gi effekter (tabell 5. ) høyere enn det en kan forvente, selv ved minimal vannføring ( $100 \text{ m}^2/\text{s}$ ) og maksimale utslipp  $540 \text{ kg/dag}$  (figur 2).

Brunalger synes imidlertid å være spesielt ømfintlige for klorat (tabell 5. ). Klorat konsentrasjoner på mindre enn  $21 \text{ µg/l}$  kan gi effekter på brunalger som blæretang, martaum, perlesli (*Pilayella littoralis*) og *Ectocarpus* (tabell 5. ) som alle er påvist i Glommas munningsområde (Moy og Walday, 1996). Laveste konsentrasjon som kan gi redusert vekst (apikalvekst) hos blæretang ligger i området  $1\text{-}20 \text{ µg/l}$  (tabell 5. ). I figur 2 ser en at konsentrasjon av klorat i Glomma kan bli så høy som  $21 \text{ µg/l}$  ved ekstrem lav vannføring. Tar en imidlertid hensyn til at Glommas vann i munningsområde fortynnes med saltvann, synes det noe mindre sannsynlig at skader kan opptre på brunalger. Sannsynligheten for skader på ømfintlige organismer svekkes ytterligere dersom planene om å installere alternativt produksjonsutstyr blir gjennomført. Det forhold at utslippet har en permanent karakter gjør imidlertid at en ikke helt kan utelukke skader på de mest ømfintlige brunalgene (blæretang, perlesli). Effekter av klorat på brunalger i ferskvann er ikke relevant i denne sammenheng fordi brunalger er en nesten rent marin gruppe (Rueness, 1977) som en ikke kjenner til er funnet i Glomma umiddelbart nedenfor Sarpsborg (Skulberg pers. med.).

På 90-tallet har en sett et økende artsantall av alger i Glommas munningsområde (Moy og Walday, 1996) som en konsekvens av blant annet reduserte industritilførsler. Organismene i området påvirkes

av en rekke faktorer både menneskeskapt (utslipp) og naturlige (saltholdighet, isskuring , flom etc.) og gjør muligens området spesielt sårbart. En mulig men mindre sannsynlig påvirkning fra klorat med en resulterende vekstreduksjon hos blæretang ville være uheldig dersom man ønsker å sikre at munningsområdet skal ha en rikest mulig algevegetasjon i strandsonen. Det er imidlertid usikkert hvordan en eventuell vekstreduksjon vil påvirke algens utbredelse.

Tabell 5. Effekter av klorat på organismer

Organisme	Type respons/effekt	Respons/effekt konsentrasjon	Referanse
Evertebrater i elv	Biomasse målt 4-7 uker etter en engangsdosering i kunstig elv	Ingen tydelig effekt av konsentrasjoner i området 20000-60000 µg/l	Matida et al. 1975
Ferskvanns isopode <i>Asellus hilgendorffi</i>	48h/96h LC <sub>50</sub>	9400000/6400000 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Matilda et al. 1976
Insekt i ferskvann?? <i>Stenopsyche griseipennis</i>	24h/48h/96h LC <sub>50</sub>	3100000/3100000/ 2700000 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Matilda et al. 1976
Ferskvannsfisk (Cherry salmon)	24h/48h/96h LC <sub>50</sub>	12000000, 10000000, 3200000 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Matilda et al. 1976
Ferskvannsfisk (Dace)	24h/48h/96h/240h LC <sub>50</sub>	12000000, 11600000, 10000000, 6000000 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Matilda et al. 1976
<b>Brunalger</b>			
Blæretang <i>(Fucus vesiculosus)</i>	Volumvekst redusert med 50% i forhold til kontroll over 6 måneder (EC <sub>50</sub> )	80 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Blæretang <i>(Fucus vesiculosus)</i>	Laveste konsentrasjon for påvist redusert volumvekst	15-20 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Blæretang <i>(Fucus vesiculosus)</i>	Apikalvekst redusert med 50% i forhold til kontroll over 6 måneder (EC <sub>50</sub> )	80 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Blæretang <i>(Fucus vesiculosus)</i>	Laveste konsentrasjon for påvist redusert apikalvekst	1-20 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Blæretang <i>(Fucus vesiculosus)</i>	Laveste konsentrasjon for påvist effekt på nitrogeninnhold i algen	21 µg/l (100 µg/l NaClO <sub>3</sub> gir full inhibisjon av utnyttelse av plantens nitrogen lager)	Rosmarin et al. 1994
Sagtang <i>(Fucus serratus)</i>	Apikalvekst redusert med 50% i forhold til kontroll over 6 måneder (EC <sub>50</sub> )	130 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Sagtang <i>(Fucus serratus)</i>	Laveste konsentrasjon for påvist effekt på nitrogeninnhold i algen	58 µg/l (100 µg/l NaClO <sub>3</sub> gir full inhibisjon av utnyttelse av plantens nitrogen lager)	Rosmarin et al. 1994



**Tabell 5 (fortsettelse).** Effekter av klorat på organismer.

Organisme	Type respons/effekt	Respons/effekt konsentrasjon	Referanse
Martaum ( <i>Chorda filum</i> )	Grense for 100 % dødlighet (3 måneder)	<21 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Perlesli ( <i>Pilayella littoralis</i> )	Grense for 100 % dødlighet	<21 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Vanlig brunslie ( <i>Ectocarpus siliculosus</i> )	Grense for 100 % dødlighet	21-58 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
<b>Blågrønnalger</b> ( <i>Rivularia</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Anabaena</i> )	Nedre grense for redusert tilstedeværelse	>288 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
<b>Grønnalger</b> ( <i>Cladophora glomerata</i> , <i>Cladophora rupestris</i> , <i>Enteromorpha ahlneriana</i> , <i>Spirogyra</i> sp., <i>Urospora</i> , <i>Chaetomorpha</i> .)	Nedre grense redusert tilstedeværelse	>288 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
<b>Rødalger</b> ( <i>Furcellaria lumbricalis</i> , <i>Phyllophora truncata</i> , <i>Ceramium tenuicorne</i> , <i>Polysiphonia</i> sp.)	Nedre grense redusert tilstedeværelse	>288 µg/l (NaClO <sub>3</sub> )	Rosmarin et al. 1994
Planteplankton (ferskvann)	Primærproduksjon (14C-målinger)	50000 µg/l (NaClO <sub>3</sub> ) gir en primærproduksjon tilsvarende 35 % av kontroll	Rosmarin et al. 1994
Planteplankton (sjøvann)	Primærproduksjon (14C-målinger, )	50000 µg/l (NaClO <sub>3</sub> ) gir en primærproduksjon tilsvarende 67 % av kontroll	Rosmarin et al. 1994

## 4.2 Klor

Elementært klor har vært brukt for å hindre begroing i kjølevannssystemer (Lenwood et al. 1982) og som bakterisid i drikkevann. Ved reaksjon med vann dannes saltsyre og underklorosyring (HOCl), sistnevnte har giftvirkning. En konsentrasjon på 500-1000 µg/l fritt klor kan være typisk i kjølevann som slippes ut (Thomassen, 1992). I forbindelse med bruk av klor som begroingshindrende middel er det på 1970-tallet gjennomført en rekke former for giftighetstester, og effekter er rapportert å kunne inntre over et meget stort konsentrasjonsområde 10-4000 µg/l (tabell 3). Akutt giftighet oppgis ofte som LC50 verdier, dvs. den konsentrasjon som gir 50 % dødelighet i løpet av et gitt tidsrom (ofte 48 eller 96 timer). Et flertall av testene viser LC50-verdier som til dels er under de maksimalkonsentrasjoner (figur 4. ) som kan tenkes i forbindelse med utslippet fra kloralkalifabrikken (tabell 3). De enkelte utslipp av klor fra kloralkalifabrikken er, imidlertid, vanligvis av kort varighet (Figur 3. ) i forhold til de eksponeringstider som er benyttet i mange av giftighetstestene (tabell 3) og er derfor noe mindre relevante for den problemstilling en har i Glomma med korte episodiske utslipp av klor. EPA oppgir imidlertid at vann konsentrasjonen av klor må ligge under 7.5-19 µg/l for å unngå kroniske og akutte skader på liv i sjøvann og ferskvann.

De maksimale konsentrasjonene som kan tenkes å oppstå i Glommavann umiddelbart etter innblanding (figur 4. ) er for de fleste aktuelle utslippsrater og vannføringer klart over EPAs grense på

7.5-19 µg/l. Som en følge av dette må en kunne anta at det ved et episodisk utslipp vil kunne opptre konsentrasjoner av klor som kan gi effekter på ømfindlige organismer lokalt nær utslippspunktet og i de klorholdige vannmassene som transporteres med Glomma. Ut i fra tabell 3 er redusert planteplankton vekst en effekt som trolig kan inntre i avgrensede vannvolumer påvirket av klor. Utslipp vil også kunne medføre unnvikelsesreaksjoner hos fisk (Meldrim et al. 1974). En slik reaksjon må oppfattes som positivt i denne sammenheng fordi en da vil kunne unngå relativt akutte celleforandringer på gjeller hos fisk forårsaket av klorholdig vann (se tabell 3). Mindre mobile virvelløse dyr vil imidlertid ikke ha samme mulighet til unnvikelse av klorholdig vann.

Siden utslippene er av episodisk natur og vanligvis av kort varighet (gjennomsnittlig ca 1 time pr. uke) vil en imidlertid anta at konsekvensene for Glomma og dets munningsområde totalt sett er marginale. De forefinnerne planer om å installere produksjonsutstyr som eliminerer utslipp av klor til Glomma vil selvfølgelig også utelukke miljøeffekter knyttet til klor.

**Tabell 3.** Effekter av klor på organismer

Organisme	Type respons/effekt	Respons/effekt konsentrasjon	Referanse
<b>Planteplankton:</b>			
Marint plankton ( <i>Dunaliella primolecta</i> , <i>pavlova lutheri</i> , <i>Phaeodactylum tricorntum</i> )	50% reduksjon av antall levende celler i forhold til kontroll i løpet av 72 timer	600-4000 µg/l	Videau et al. 1979
Marint plankton ( <i>Skeletonema costatum</i> )	Veksthastighet på kulturer	Veksthastighet ikke gjenopprettet etter eksponering i 1510 µg/l klor i 5 og 10 minutter	Hirayama og Hirano, 1970 (sitert i Hall et al. 1982)
Naturlig marint planteplankton i kultur	14C opptak	C opptak redusert med 50 % etter 2-4 t inkubering i vann med 60-100 µg/l klor	Eppley et al. 1976 (sitert i Hall et al. 1982)
Naturlig marint planteplankton i kultur	14C opptak	C opptak redusert med 50 % etter 24 t inkubering i vann med 10 µg/l klor	Eppley et al. 1976 (sitert i Hall et al. 1982)
<b>Dyreplankton:</b>			
Estuarint dyreplankton ( <i>Acartia tonsa</i> )	48t LC50	67 µg/l klor	Roberts and Gleeson, 1978. (sitert i Hall et al. 1982)
Estuarint dyreplankton ( <i>Acartia tonsa</i> )	48t LC50 ved 20 oC	<50µg/l klor	Roberts et al, 1975. (sitert i Hall et al. 1982)
Estuarint dyreplankton( <i>Acartia tonsa</i> )	Dødlighet	>90 % dødlighet etter 5 min. eksponering i vann med 2500 µg/l klor	McLean, 1973. (sitert i Hall et al. 1982)
Estuarint dyreplankton( <i>Acartia tonsa</i> )	Dødlighet (48t LC50)	820 µg/l klor	Goldman et al., 1978 (sitert i Hall et al. 1982)
Rur (larver av <i>Balanus improvisus</i> )	Dødlighet	>80% dødlighet etter 10 minutters eksponering i vann med < 500 \ µg/l klor.	Waugh, 1964. (sitert i Hall et al. 1982)

**Tabell 4 (fortsettelse).** Effekter av klor på organismer

Organisme	Type respons/effekt	Respons/effekt konsentrasjon	Referanse
Rur (larver av <i>Elminius modestus</i> )	Dødlighet	ca. 80% dødlighet etter 5 minutters eksponering i vann med 2500 µg/l klor.	McLean, 1973 (sitert i Hall et al. 1982)
Blåskjell ( <i>Mytilus edulis</i> )	Larvenedslag	Redusert larvenedslag ved en konsentrasjon på 500 µg/l klor.	James, 1966. (sitert i Hall et al. 1982)
<b>Fisk:</b>			
Striped bass ( <i>Morone saxatilis</i> ) (larver og juvenile)	LC <sub>50</sub>	100-300 µg/l	Hall et al. 1982.
Regnbueørret ( <i>Salmo gairdneri</i> )	LC 50 (96 timer)	14-70 µg/l	Mattice and Zittel, 1976, Ward et al., 1976. (sitert i Black and McCarthy. 1990)
Regnbueørret ( <i>Salmo gairdneri</i> )	Effekter på gjeller (	Patologiske celleforandringer etter 12 timers eksponering i vann med 40 µg/l klor	Black and McCarthy. 1990
Regnbueørret ( <i>Salmo gairdneri</i> )	Dødelighet	100 % mortalitet ved eksponering i 17 min i vann med 3500 µg/l. Dødelighet registrert 48 t etter eksponering	Zeitoun, 1978 (sitert i Black and McCarthy. 1990)
Regnbueørret ( <i>Salmo gairdneri</i> )	Dødelighet	0 % mortalitet ved eksponering i 39 min i vann med 1100 µg/l. Dødelighet registrert 48 t etter eksponering	Zeitoun, 1978 (sitert i Black and McCarthy. 1990)
Regnbueørret ( <i>Salmo gairdneri</i> )	Dødelighet	11.5 % mortalitet ved eksponering i 56 min i vann med 1700 µg/l. Dødelighet registrert 48 t etter eksponering	Zeitoun, 1978
Estuarine fisk og marin fisk (White perch, Atlantic silverside, Menidia menidia, mummichog, hogchoker, Trinectes maculatus)	Unnvikelse	Fiske unnviker vann med konsentrasjoner av klor i området 20-150 µg/l	Meldrim et al. 1974. (sitert i Hall et al. 1982)

## 5. Konklusjoner

- Utslippene av klorat og klor fra kloralklifabrikken (utslippstillatelse av 18.07.96) kan ikke utelukkes å gi negative effekter i resipienten. Eventuelle effekter vil imidlertid trolig være marginale og først og fremst knyttet til utslippet av klorat. Spesielt det forhold at utslippet av klorat har en permanent karakter gjør at skader på de mest ømfintlige brunalgene (blæretang, perlesli) ikke kan ses bort i fra. Borregaards planer om å installere produksjonsutstyr som eliminerer utslipp av klor i sin helhet og som også gir et lavere utslipp av klorat enn det utslippstillatelsen tilsier, vil imidlertid redusere sannsynligheten for effekter i resipienten ytterligere.
- Siden utslippene av klor er av episodisk natur (gjennomsnittlig ca 1 time pr. uke) vil en anta at eventuelle detekterbare konsekvenser av klorutslippet først og fremst er knyttet til de "pakker" med klorholdig vann som dannes ved hvert enkelt klorutslipp og som transporteres ut i Glomma estuariet og ikke til bunnlevende organismer. Bedriftens planer om å installere produksjonsutstyr som eliminerer utslipp av klor vil selvfølgelig også utelukke eventuelle miljøeffekter knyttet til utslipp av denne forbindelse.
- På slutten av 80 og begynnelsen av 90-årene har tilførselene av miljøgifter til Hvaler-estuariet gått betydelig ned. I Hvaler-estuariet har dette medført en markant forbedret miljøtilstand i forhold til 80-tallet og strandsonesamfunnene synes nå å ligge nært opp til hva som en kan forvente ut fra naturgitte forhold. Ut i fra denne bakgrunn bør utslipp av miljøskadelige stoffer til resipienten begrenses slik at den gode miljøtilstanden kan bibeholdes eller forbedres ytterligere.

## 6. Referanser

- Berge, J.A., Berglind, L., Brevik, E.M. og Godal, A., 1996. Overvåking av Hvaler - Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990 - 1994. Miljøgifter i organismer 1994. Niva-rapport nr. 3443.146s.
- Black, M.C. and McCarthy, J.F., 1990. Effects of sublethal exposure to chlorine on the uptake of polychlorinated biphenyl congeners by rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). *Aquatic Toxicology*, 17, 275-290.
- Bokn, T., Brettum, P., Fredriksen, S., Jacobsen, P. og Källqvist, T., 1989. Kronos Titan A/S. Effekter av tynnsyre på gruntvannsorganismer. Niva-rapport nr. 2286.
- Eppley, R.W., Renger, E. H. and Williams, P.M. 1976. Chlorine reactions with seawater constituents and the inhibition of photosynthesis on natural marine phytoplankton. *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 5, 14
- Goldman, J.C., Capuzzo, J.M. and Wong, G.T.F., 1978. Biological and chemical effects of chlorination at coastal power plants. In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, Vol 2., Jolley, R.L., Gorchev, H. and Hamilton, D.H. Jr. (Eds), Ann Arbor Sci Pub. Ann Arbor, Michigan, 291.
- Hall, L. W. Jr., Graves, W. C. and Burton, D., 1982. A comparison of chlorine toxicity of three life stages of striped Bass (*Morone saxatilis*). *Bull. Environm. Toxicol.*, 29, 631-636.
- Helland, A. 1996. Overvåking av Hvaler - Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990 - 1994. Sedimenterende materiale og bunnsedimenter 1994. Niva-rapport nr. 3440, 83s
- Hirayama, K. and Hirano, R., 1970. Influences of high temperatures and residual chlorine on marine phytoplankton, *Mar. Biol.* 7, 205.
- Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen, 1993. Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1992. A: Principles, results and discussions. B: Data report. SFT-report 542/93. NIVA-report O-90001/No.: 2964. 137 s.
- Holtan, G.. 1996. Overvåking av Hvaler - Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990 - 1994. Forurensningstilførsler 1970 - 93. Niva-rapport nr. 3444. 81s.
- James, W.G. 1966. Mussel Fouling and the use of Chlorine (Carmarthen Bay), in *Low Level Chlorination for the Control of Marine Fouling*, by Beauchamp, R.S.A.. Report for the Central Electricity Generating Board, Leatherhead, England, Appendix 1.
- Lingsten, L., 1984. Rutineundersøkelser i Glomma i Østfold 1983. NIVA-rapport nr. 1678, 24 s.
- Lenwood, W. H., Burton, D.T. and Liden, L.H., 1982. Power plant chlorination effects on estuarine and marine organisms. *CRC Critical reviews in toxicology*, 10, 27-48.

- Magnusson, J. og Skei, 1984. Basisundersøkelser i Hvalerområdet og Singlerfjorden, Hydrografi, vannutskiftning og hydrokjemi. Niva-rapport nr. 1684, 103s.
- Magnusson, J. og Sørensen, K., 1996.. Overvåking av Hvaler-Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990 - 1994. Overflatevannets vannkvalitet og oksygenforhold i dypvannet. Niva-rapport nr. 3439, 82s
- Matida, Y., Kimura, S., Kumuda, H. and Yokote, M., 1975. Effects of some Herbicides in the Forest to the Freshwater Fishes and Other Aquatic Organisms-II. Effects of sodium Chlorate and Ammonium Sulfamate to the Aquatic Organisms in the Artificial Stream. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab, 25, 55-61
- Matida, Y., Kimura, S and Tanaka, H., 1976. Effects of some herbicides applied in the forest to the freshwater fishes and other aquatic organisms - III. Experiments on the assessment of acute toxicity of Herbicides to aquatic organisms. Bull. Freshwater Res. Lab. Vol. 26, 79-83.
- Mattice, J.S. and Zittel, H.E., 1976. Site-specific evaluation of power plant chlorination. J. Water Pollut. Control Fed., 48, 284-2308
- McLean, R.I. 1973. Chlorine and temperature stress on estuarine invertebrates. J. Water Pollut. Control Fed., 45, 837.
- Meldrim, J.W., Gift, J.J. and Petrosky, B.R., 1974. The effect of Temperature and Chemical Pollutants on the Behaviour of Several Estuarine Organisms. Bull. No. 11, Ichthyological Associates, Ithaca, N.Y.
- Miljøverndepartementet, 1992. Handlingsplan for Glomma, R-09, Hovedrapport. Rapport fra Miljøverndepartementet. ISBN 82-7243-874-7, 154 s. + bilag.
- Moy, F. og Walday, M. 1990. Effekter på nærmiljøet etter utslipp av konsentrert svovelsyre fra KronosTitan A/S. Niva-rapport nr. 2443, 6s.
- Moy, F. og Walday, M., 1996 . Overvåking av Hvaler - Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990 - 1994. Hardbunnsundersøkelser 1992-1994, Niva-rapport nr. 3442, 84s.
- NIVA, 1970. En undersøkelse av Glomma i Østfold. Delrapport 5, Sammenfattende del. Rapport fra NIVA, O-217, 95 s.
- Notini, M., C. Monfeldt og L. Landner, 1987. Inventering av Blåstång, *Fucus vesiculosus*, och andra dominerande organismer på grundbottnarna utanför Glommas utlopp, juni 1987. Rapport fra Svenska Miljöforskar Gruppen AB, 10 s. + tabeller og figurer.
- Roberts, M.H. Jr., and Gleeson, R.A., 1978. Acute toxicity of bromochlorinated seawater to selected estuarine species with a comparison to chlorinated seawater toxicity. Mar. Environ. Res. 1, 19.
- Roberts, M.H. Jr. Diaz, R., Bender, M.E. and Huggett, R., 1975. Acute toxicity of chlorine to selected estuarine species. Estuar. Coast. Mar. Sci., 2, 83.

- Rosemarin, A., Lehtinen, K.-J., Notini, M. and Mattsson, J., 1994. Effects of pulp mill chlorate on Baltic sea algae. *Environmental Pollution*, 85, 3-13.
- Rueness, J., 1977. *Norsk Algeflora*, Universitetsforlaget, 265s.
- Rygg, B., 1996. Overvåking av Hvaler - Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990 - 1994. Bløtbunnsfauna 1994. Niva-rapport nr. 3441-96, 60s.
- Skei, J., 1987. Kronos Titan A/S. Overvåking av vannkvalitet og bunnsedimenter i nedre Glomma (Greåker - Løperen), april - september 1986. NIVA-rapport nr. 1981, 153 s.
- Thomassen, J. 1992. MTB-anlegget Kårstø-Konsekvensutredning for Miljø, Naturressurser og Samfunn. NINA, Oppdragsmelding 142, 183s.
- Videau, C., Khalanski, M. and Penot, M., 1979. Preliminary results concerning effects of chlorine on monospecific marine phytoplankton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 36, 111-123.
- Waugh, G.D., 1964. Observations on the effects of chlorine on the larvae of oyster (*Ostrea edulis* L.) and barnacles (*Elminius modestus* Darwin). *Ann. Appl. Biol.*, 54, 423
- Ward, R., Griffin, R., DeGrave, G. and Stone, R., 1976. Disinfection efficiency and residual toxicity of several wastewater disinfectants, Vol.1, Grandville, Michigan, EPA-600/2-75-156.
- Zeitoun, I.H., 1978. The recovery and hematological rehabilitation of chlorinestressed adult rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Env. Biol. Fish.* 3, 355-359.

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3570-96

ISBN 82-577-3122-6