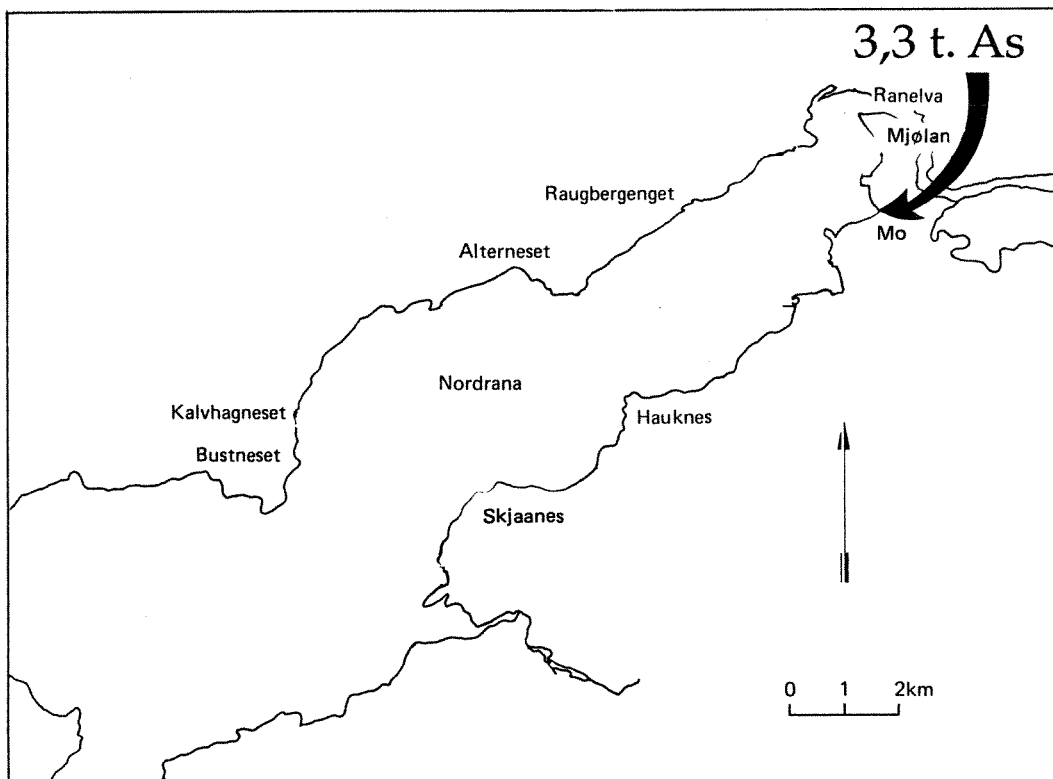


88047

# Undersøkelser i Ranfjorden etter arsenutslipp 29. februar 1988



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

**Hovedkontor**  
Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

**Sørlandsavdelingen**  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

**Østlandsavdelingen**  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

**Vestlandsavdelingen**  
Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

<b>Rapportnummer:</b> 88047
<b>Undernummer:</b>
<b>Løpenummer:</b> 2201
<b>Begrenset distribusjon:</b>


<b>Rapportens tittel:</b> <i>Undersøkelse i Ranfjorden etter arsenutslipp 29. februar 1988.</i>	<b>Dato:</b> 31.12.88
	<b>Prosjektnummer:</b> 88047
<b>Forfatter(e):</b> <i>Norman W. Green Jon Knutzen</i>	<b>Faggruppe:</b> <i>Marinøkologi</i>
	<b>Geografisk område:</b> <i>Ranfjorden</i>
	<b>Antall sider:</b> 52

<b>Oppdragsgiver:</b> <i>Norsk Koksverk i Mo</i>	<b>Oppdragsg.ref.:</b> <i>Arne Bottolfsen</i>
---	--

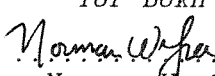
<b>Ekstrakt:</b> <p>Lekkasje 29.2.88 av vel 180m<sup>3</sup> arsenlut, tilsvarende 3.3 tonn arsen, fra Norsk Koksverk i Mo førte til forhøyet arseninnhold i sjøvann, og muligens også grisetang, blæretang og blåskjell, fire dager etter utslippet. Etter ca.to uker kunne det ikke spores forhøyet arseninnhold i sjøvann, sediment, tang, muslinger eller fisk som med sikkerhet kunne tilskrives utslippet. Eventuelle forhøyelser var moderate unntatt for et par avvikende verdier i torskelerver. Utslippet har neppe ført til vesentlig økt skadevirkning på økosystemet i Ranfjordens hovedvannmasser.</p>
---

<b>4 emneord, norske:</b>
<i>1.Ranfjorden 2.arsen 3.marint miljø</i>

<b>4 emneord, engelske:</b>
<i>1.Ranfjord 2.arsenic 3.marine environment</i>

**Prosjektleder:**  


**For administrasjonen:**  


Tor Bokn  
  
Norman W. Green

ISBN - 82-577-1492-5

Tor Bokn

---

0-88047

UNDERSØKELSER I RANFJORDEN  
ETTER  
ARSEN-UTSLIPP 29.FEBRUAR 1988

Prosjektleder Tor Bokn  
Forfattere Norman W. Green  
Jon Knutzen  
Medarbeider Sigbjørn Andersen  
Bodil Ekstrøm  
Knut Kvalvågnæs (Fræna kommune fra 1.10.88)  
Marit Mjelde  
*Lars Larsson Mo i Rana*  
*Per Straumfors Rana Museum*

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
1. Formål, Konklusjoner, Tilrådninger	1
2. Innledning - Bakgrunn	2
3. Formål	2
4. Prøver og stasjonsvalg	2
5. Materiale og metoder	6
5.1 Innsamling	6
5.2 Prøveopparbeidelse	6
5.3 Analyse	7
5.4 Kvalitetskontroll	9
5.5 Statistisk bearbeidelse	10
6. Resultater	12
6.1 Vannføring, sjøvann og sediment	12
6.2 Grisetang og blæretang	16
6.3 Blåskjell, o-skjell og krill	21
6.4 Torsk, sei og skrubbe	26
7. Diskusjon	29
7.1 Bakgrunnsnivåer	29
7.2 Vurdering av helserisiko ved konsum av sjømat	31
7.3 Stedsgradier og tidsendringer	32
7.4 Økologiske skadevirkninger	36

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
8. Konklusjoner	38
9. Litteratur	39
10. Vedlegg A: Stasjonsbetegnelser	42
11. Vedlegg B: Datamateriale	43
12. Vedlegg C: Variansanalyse	50

## 1. Formål, Konklusjoner, Tilrådninger

### Formål

=====

Formålet med denne undersøkelsen var å observere i Ranfjordens sjøvannsmiljø mulige skader/virkninger etter utslipp av vel 180 m<sup>3</sup> arsenlut fra Norsk Koksverk i Mo, 29. februar 1988. Foruten befaringer med henblikk på akutte virkninger skulle det utføres målinger av arseninnhold i vann, sedimenter og organismer for å spore mulig anrikning av arsen over en periode.

### Konklusjoner

=====

**Arsenutslippet kunne spores i sjøvann. Det fantes høye konsentrasjoner innenfor Bustneset (ca. 12 km fra utslippsstedet (opptil 15-20 ganger antatt bakgrunnsnivå) fire dager etter utslipp fant sted. Høyere nivåer ble funnet i kanalen som fører til utslippsstedet.**

**Arsenutslippet førte ikke til noen vesentlig økning i arseninnholdet i sediment, grisetang, blæretang, blåskjell og o-skjell. Eventuelle forhøyelser var moderate unntatt for et par avvikende verdier i torskelever.**

Den eneste statistisk signifikante stedsgradient ble funnet i overflatesediment, som viste økt arseninnhold mot den indre del av Ranfjorden, men det var ikke belegg for at gradienten skyldtes utslippet. Dette tyder på at det har vært tilførsel av arsen over lengre tid.

Utslippet har neppe ført til vesentlig økt skadevirkning på økosystemene i Ranfjordens hovedvannmasser/bunnarealer.

**Arseninnholdet i torsk, sei og skrubbe fra Ranfjorden antas ikke å utgjøre noen helserisiko. Det er imidlertid helsemyndighetenes ansvar å avgjøre denne saken.**

### Tilrådninger

=====

Det er ikke behov for videre undersøkelser i forbindelse med å kartlegge effekter av arsenutslippet. Imidlertid bør de lagrede fiskeprøver analyseres dersom man ønsker et sikrere datagrunnlag.

Prøvene innsamlet i denne undersøkelsen oppbevares som referansemateriale.

## 2. Innledning - Bakgrunn

Mandag 29. februar 1988 rant det ut ca.183 m<sup>3</sup> arsenlut innholdende ca.3.3 tonn arsen fra Norsk Koksverk i Mo til Ranfjorden. Arsenet forelå i form av løst arsenat, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## 3. Formål

1. Observere mulige akutte skader
2. Kartlegge geografisk spredning i forskjellige medier (vann, sedimenter, organismer) i Ranfjorden
3. Overvåke endringer over tid.

## 4. Prøver og stasjonsvalg

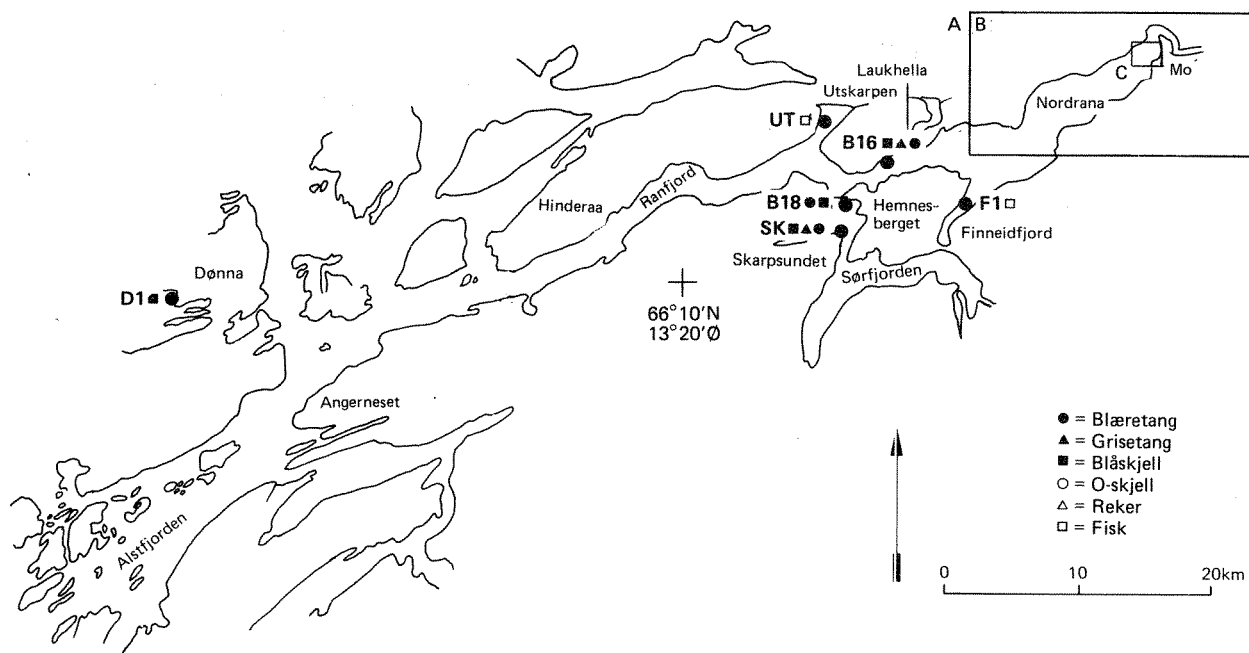
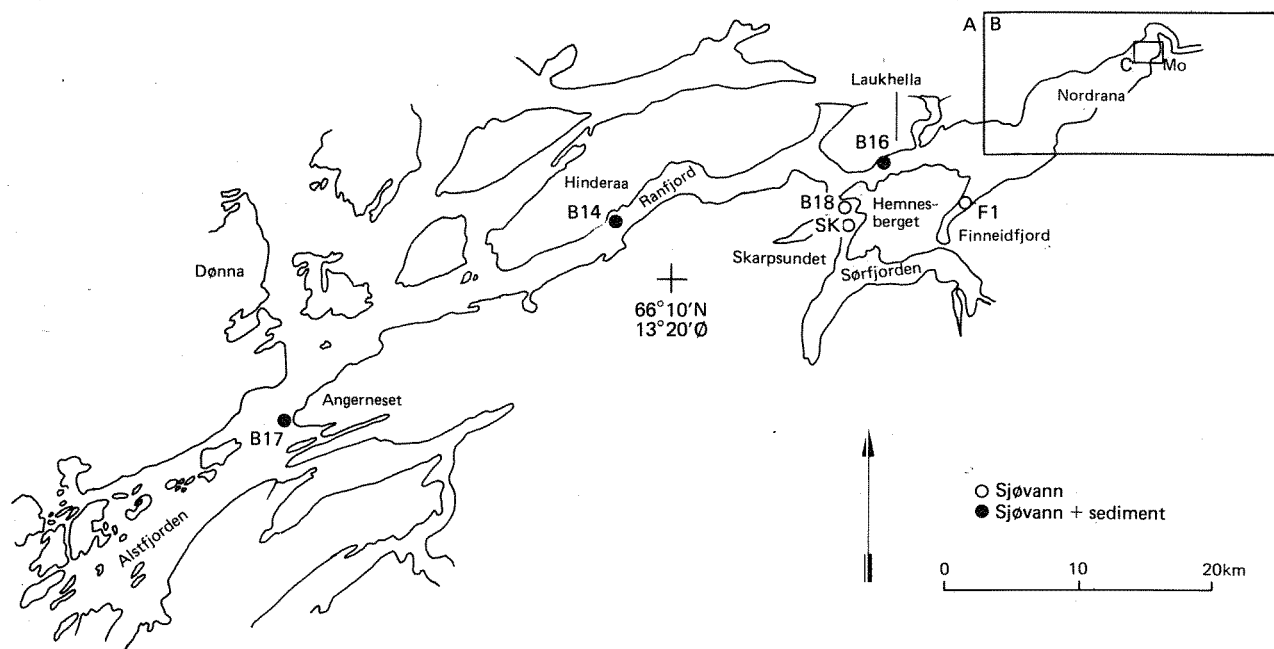
Arsens spredningsmønster i sjøen og i næringskjeder kunne ikke forutsies. Derfor ble det bestemt å undersøke arseninnholdet i forskjellige medier som normalt brukes i overvåkingssammenheng, dessuten i fisk for å undersøke eventuell helsefare ved konsum av sjømat. Såvidt det var praktisk mulig ble prøvesteder benyttet av Kirkerud et al. (1977) også benyttet i denne undersøkelsen.

Prøveinnsamling foregikk fra Koksverkskaia i Mo til Dønna (Tabell 1, Figur 1-3, Vedlegg A).

Tabell 1. Oversikt over prøveinnsamling fra Ranfjorden, mars-juli 1988.

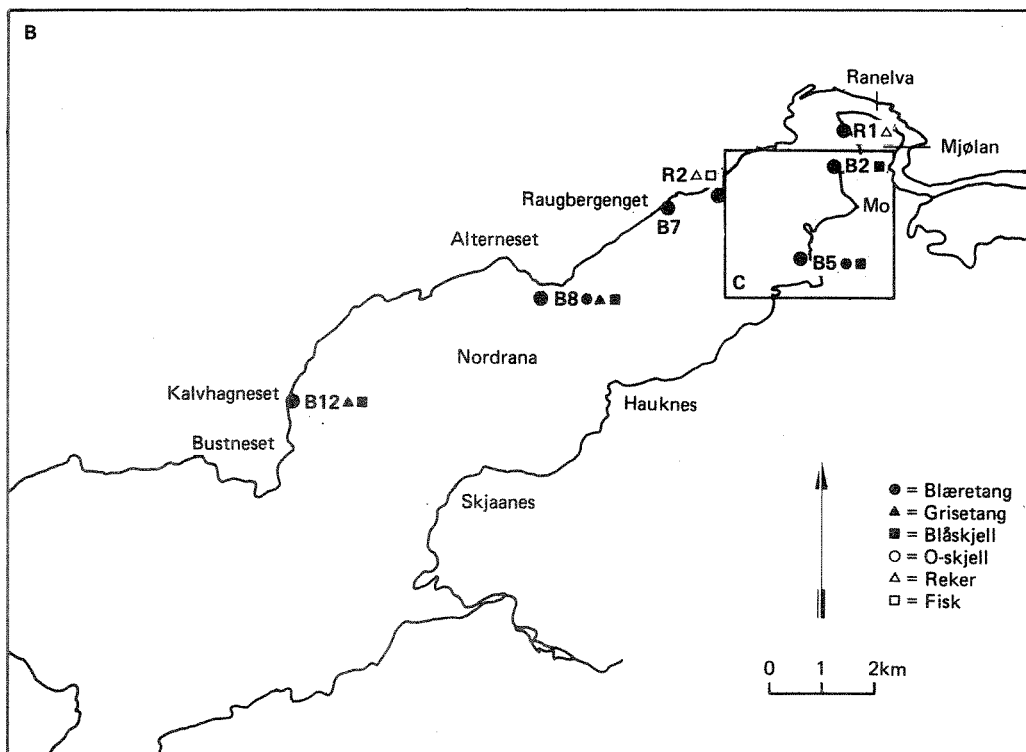
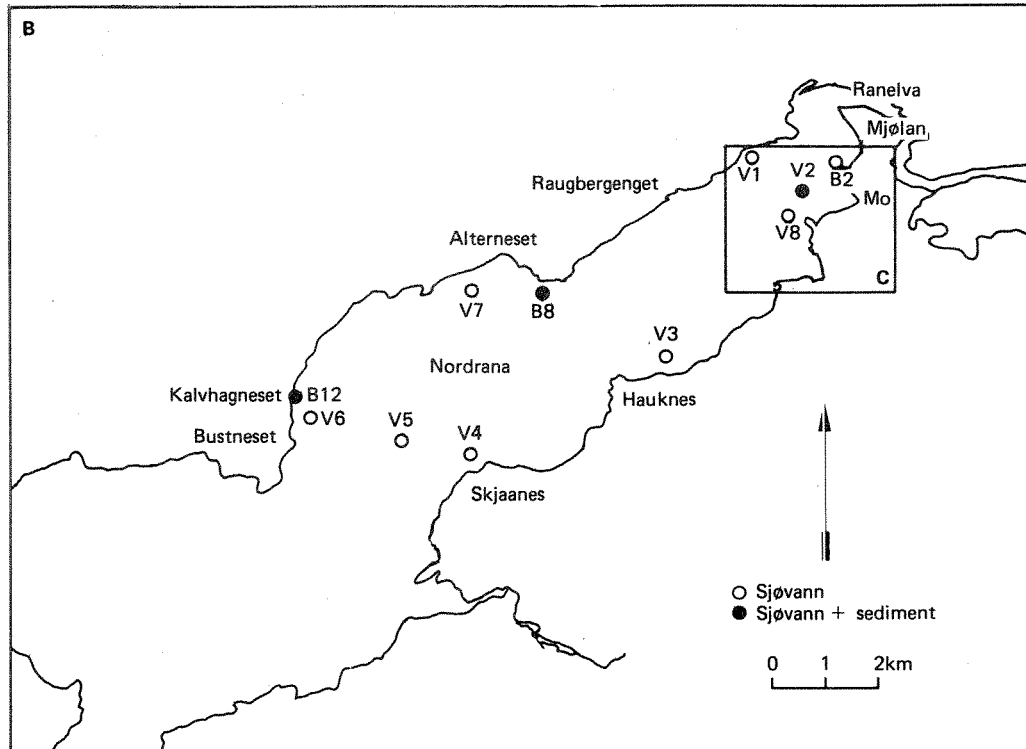
Medium	Antall stasjoner	Antall tokt	Avstand fra utslippsted <sup>1</sup> (km)
sjøvann	12	1 - 5	0 - ca.80
sediment	7	1	1 - 73
grisetang	6	1 - 5	6 - 32
blæretang	5	1 - 5	1 - 32
blåskjell	8	1 - 5	1 - ca.80
o-skjell	3	3 - 4	1 - 32
krill	2	1	1 - 3
torsk	2	1 - 2	2 og ca.30
sei	1	1	ca. 4
skrubbe	1	1	2 - 3

<sup>1</sup>) se kart (Figur 3).

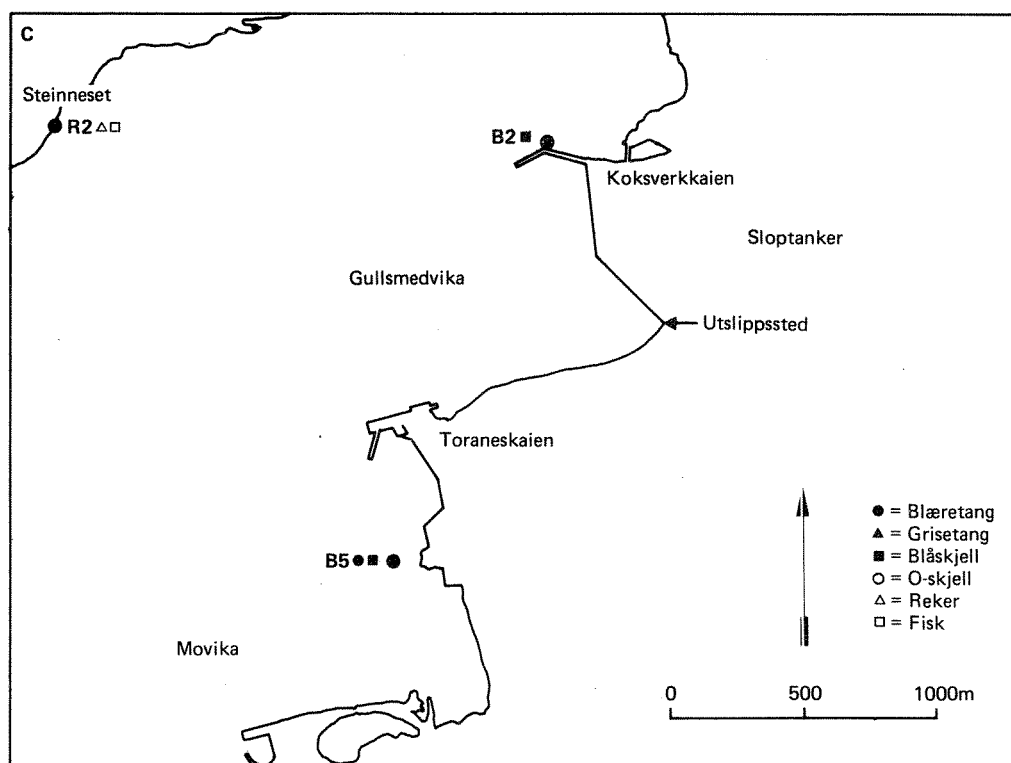
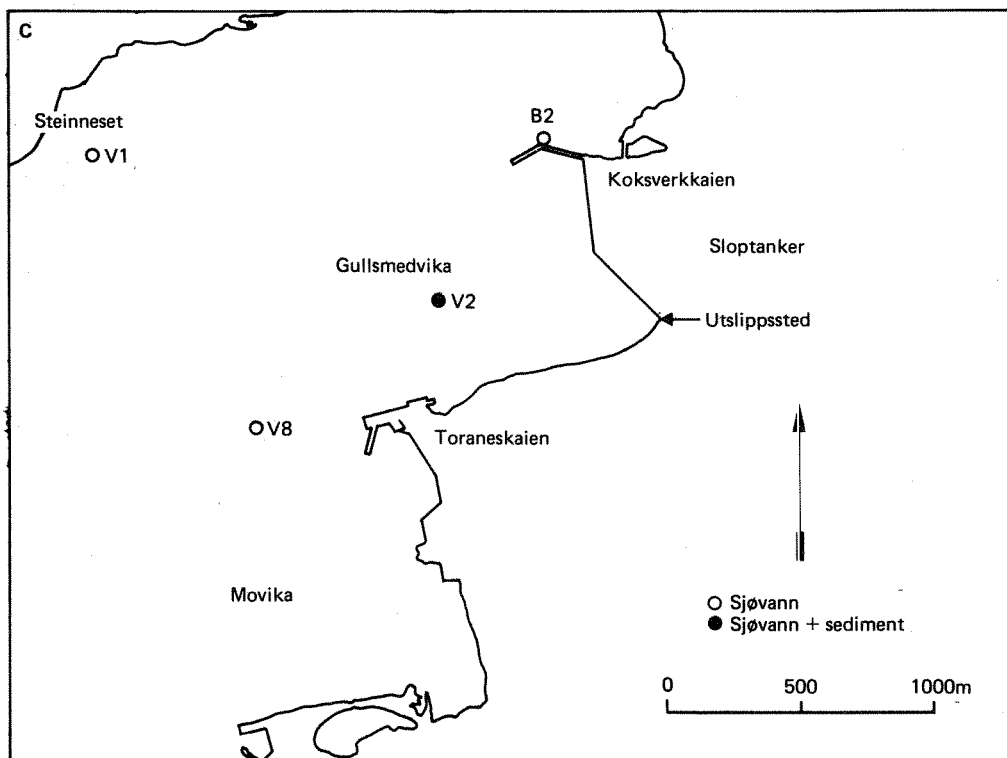


Figur 1. Stasjonskart for prøveinnsamling av sjøvann, sediment og biologisk materiale i Ranfjorden, mars-juli 1988.





Figur 2. Stasjonskart for prøveinnsamling av sjøvann, sediment og biologisk materiale i Nordrana, mars-juli 1988.



Figur 3. Stasjonskart for prøveinnsamling av sjøvann, sediment og biologisk materiale i området nær Koksverkkaien i Nordrana, mars-juli 1988.

## 5. Materiale og metoder

### 5.1 Innsamling

Vannføringsdata fra Ranaelva for perioden februar til juni 1988 ble innhentet fra Norges vassdrags og energiverk, Vassdragsdirektoratet.

I perioden 1.-8.mars 1988 ble overflatevannprøver samlet i glass med lokk fra båt. De øvrige vannprøver ble tatt i plastflasker. Under overflaten ble prøvene innsamlet av en dykker.

Etter orienterende prøveinnsamling i strandsonen ble sedimentprøver samlet av dykker ved at et kjernebor (diameter = 60mm) ble drevet i bunnen, korket under vann og fraktet såvidt mulig uforstyrret. To parallelle sedimentprøver ble tatt på hver stasjon.

Prøver av grisetang (Ascophyllum nodosum) og blæretang (Fucus vesiculosus) besto såvidt mulig av blandprøver fra 5-10 eksemplarer av samme art. Hele planter ble analysert den første måned etter utslippet. Deretter ble grisetang analysert på "årets vev" det vil si skuddene over den ytterste (siste) blæren og eldre vev. Av blæretang ble det tatt de øverste 10-15 cm, som tilsvarer siste 1-2 års vekst.

Blandprøve av omlag 50 blåskjell (Mytilus edulis) med skallengde på 3-6cm og ca.5 o-skjell (Modiolus modiolus) med skallengde på 10-13cm ble innsamlet til analyse fra hver stasjon.

I landdrevet død krill (cf. Meganocyttiphanes norvegica) funnet ved Mjølan og Steinneset (Figur 3) ble innsamlet i syltetøyglass.

Torsk (Gadus morhua), sei (Pollachius virens) og skrubbe (Platichthys flesus) ble innsamlet av lokale fiskere med line eller juksa. Målet var å innsamle 25 fisk av konsum størrelse fra hver stasjon.

Samtlige prøver ble oppbevart frosne.

### 5.2 Prøveopparbeidelse

Etter tining ble alle vannprøvene tilsatt salpetersyre ( $\approx 1\%$ ). Enkelte prøver (en fra sloptank og en fra bunnvann i kanalen som førte til "utslippssted", kfr., Figur 3) var sterkt brunfarget. I disse prøvene var det mye uløst materiale som ikke løste seg ved tilsetning av salpetersyre. Prøvene ble filtrert før måling.

Sedimentprøvene tatt utenfor Koksverkaien (18.3) ble blandet manuelt.

De øvrige sedimentprøver ble tatt med kjerneprøvetaker og ble opparbeidet på NIVA. Det ble tatt 0-1 og 1-2cm snitt fra hver kjerne.

Hvert snitt ble frysetørket. Prøvene ble siktet gjennom 63 $\mu$ m sikt og og finfraksjonen ble analysert (finere enn sand).

Tangprøvene ble tørket ved ca. 50 $^{\circ}$ C i 2-3 døgn og deretter homogenisert i en hurtigmikser. Før tørrstoffbestemmelse ble en del av tangen kuttet av og veid før og etter tørking.

Lengde ble målt på alle blåskjell og o-skjell. Det ble laget blandprøve av omlag 50 blåskjell og 5 o-skjell pr. stasjon. Bløtdelene og skjellene av disse blandprøvene ble veid.

Krillprøvene ble homogenisert med skall i agatmorter.

På NIVA ble hver fisk kjønnsbestemt, og lengde, vekt og levervekt ble målt. I tillegg ble det notert leverfarge og eventuelle sår og misdannelser. Otholittene ble fjernet for eventuelle aldersbestemmelser. Prøvene ble deretter frosset.

På Nordisk Analyse Center (NAC) ble både lever- og filetprøver homogenisert i Waringblender med rustfri stålbeholder og kniver.

### 5.3 Analyse

Samtlige tørrstoff-, fettprosent- og arsenbestemmelser ble utført av NAC. Følgende beskrivelser er fra NAC rapport (NAC-160/88-2, NAC-171/88-2, og NAC-177/88).

For tørrstoffbestemmelser ble ca. 2g tørket på aluminiumskåler i 16 timer ved 105 $^{\circ}$ C bortsett fra tangprøver som ble tørket ved ca. 50 $^{\circ}$ C i 2-3 døgn.

Fettprosentbestemmelse ble målt på enkelte prøver av blåskjell, fiskefilet og fiskelever. Delprøver på ca. 0.5g av homogenatene ble malt i en morter sammen med natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) og sand og satt til side natten over. Magnesiumsulfat ( $\text{MgSO}_4$ ) ble tilsatt og pulveret overført til glasskolonner med innsmeltet porøs glassfilterplate. 10ml dietyleter ble tilsatt og blandet godt. Etter ca. 3 timer ble eteren tappet over på aluminiumsskåler. Materialet i kolonnene ble ettervasket med mer eter, og fettmengden bestemt etter inndamping.

En krillprøve inneholdt lite materiale og derfor ble fettprosent for alle tre prøvene bestemt ut fra tørket materiale. Det tørre materialet ble ekstahert i 2 timer på en tumbleder med dietyleter, sentrifugert og eteren overført til aluminiumsskåler. Bunnfallet ble

vasket én gang med eter, sentrifugert og eteren overført til skålene. Etter tørking ble fettmengden veid.

For bestemmelse av total-arsen i sjøvann ble prøven tilsatt salpetersyre ( $\approx 1\%$ ) og arseninnhold ble bestemt med elektrotermisk atomabsorpsjon med Zeeman bakgrunnskorrektor. Det ble benyttet standard addisjon (EAAS). EAAS har en deteksjonsgrense på 1-2ppb ( $\mu\text{g/l}$  eller  $\mu\text{g/kg}$ ).

Det ble utført kontrollanalyser med plasmaemisjonspektrometri (ICP), med 2 analyselinjer for arsen. For prøver med høyt innhold av arsen, vil ICP-analysene være de mest korrekte. ICP har en deteksjonsgrense på ca. 0.2ppm ( $\text{mg/l}$  eller  $\text{mg/kg}$ ).

For bestemmelse av total-arsen i det øvrige materiale ble to parallelle delprøver på ca. 5g våtvekt (eller ca. 1g tørrvekt) veid inn og dekomponert med salpetersyre i temperaturprogrammert aluminium beholder (tekatorblokk). Etter fortynning ble arsen bestemt med EAAS eller ICP.

Det ble gjort orienterende bestemmelser av organisk/uorganisk bundet arsen i fisk. Delprøver ble tilsatt 6.6 M HCl, og arsenklorid ble destillert av og samlet opp. Uorganisk arsen ble bestemt med elektrotermisk atomabsorpsjon. Som kontroll ble det tilsatt en standard løsning med kjent mengde med arsenpulver oppløst (uorganisk arsen). Ved destillasjon ble det funnet igjen ca. 70% tilsatt arsen. Det anslås at nøyaktigheten for uorganisk arsen-bestemmelse var nær 100%. Resten av prøven ble tilsatt salpetersyre og analysert med hensyn på organisk bundet arsen. Denne analysen er gjort for få en ekstra kontroll og er meget usikker på grunn av ufullstendig dekomponering.

Deteksjonsgrensen for analyse av referansemateriale er 3ppm. Denne høye deteksjonsgrense skyldes lite materiale.

#### 5.4 Kvalitetskontroll

Når det gjelder nøyaktighet var det relativ god overenstemmelse mellom NAC og referansematerialet (innenfor ca.10% av "sanne"-verdier, Tabell 2). NAC var noe lav i forhold til "sanne" innhold i østers (<18%), imidlertid er det ikke oppgitt noe konfidensintervaller på dette materialet.

Tabell 2. Resultater fra NAC-analyser av total arsen på referanse materialet (mg/kg tørrvekts-basis). K.i. betyr konfidensintervall.

----- referanse materiale -----			----- NAC -----				
kode	materiale	midde1 k.i.	dato	I	II	midde1	
NBS·SRM 1646	"estuarint sediment"	11.6 ± 1.3	24.3	11.9	11.1	11.5	
NBS·SRM 1646			20.4	11.6	11.5	11.6	
NBS·SRM 1655	"østers"	13.41	2.5	10.9	12.6	11.8	
NBS·SRM 1655	"østers"	13.41	1.6	12.6	12.7	12.7	
NBS·SRM 1655	"østers"	13.41	18.8	12.0	10.2	11.1	
NBS·SRM 1655	"østers"	13.41	6.10	12	12	12	
NBS·SRM 1655	"østers"	13.41	10.11	14		14	
IAEA MA-A-1	"hoppekreps"	6.7	18.8	6.0	7.6	6.8	
IAEA MA-A-2	"fiskefilet"	2.6 ± 0.1	1.6	2.2	2.5	2.4	
IAEA MA-A-2	"fiskefilet"	2.6 ± 0.1	6.10	≈4	3	≈3.5	
IAEA MA-A-2	"fiskefilet"	2.6 ± 0.1	10.11	3.6		3.6	
NBS·SRM 1577a	"storfe-lever"	0.055 ± 0.005	24.3	<0.1	≈0.04	≈0.07	

Resultatene fra parallelle analyser ga mulighet for å vurdere presisjonen. Differansen mellom de parallelle analysene ble store ved høyere arseninnhold. Presisjonen beregnet som den prosent differansen utgjorde av gjennomsnittelig arseninnhold varierte mellom 0.3 og 13% (Tabell 3.). Dårligste presisjon (9-13%) gjaldt analyser av torskefilet, -lever og seifilet.

Tabell 3. Analytisk presisjon uttrykt som differansen mellom to parallelle analyser i prosent av gjennomsnittet for ulike prøvetyper innsamlet fra Ranfjorden. (tv = tørrstoffbasis, vv = våtvektsbasis, n = antall prøver, mid. = middel, st.av. = standard avvik).

prøvetype	enhet	n	differansen mellom paral.		gjennomsnitts arsen i prøven			%
			mid.	st.av.	mid.	min.	mak.	
sjøvann	ppb	44	0.42	2.00	7.54	32.0	65.5	5.6
sediment	ppm tv	26	0.77	3.65	19.40	3.4	39.5	5.5
grisetang	ppm tv	26	0.12	4.81	49.56	30.0	71.5	0.3
blæretang	ppm tv	14	0.21	11.30	65.04	39.0	99.0	1.0
blåskjell	ppm vv	30	0.03	0.31	2.35	1.1	4.3	1.1
o-skjell	ppm vv	13	0.19	0.54	2.79	1.4	4.5	6.8
krill	ppm vv	2	0.10	0.42	1.0	0.8	1.2	4.2
torskefilet	ppm vv	12	0.53	1.47	5.41	0.9	21.5	9.0
torskelever	ppm vv	6	2.37	11.24	45.50	1.3	128.5	11.1
seifilet	ppm vv	3	1.53	1.40	12.50	9.7	14.8	13.0
seilever	ppm vv	3	0.37	0.32	21.68	9.7	41.7	3.2
skrubbefilet	ppm vv	5	0.12	0.38	2.64	0.3	5.9	2.4

### 5.5 Statistisk bearbeidelse

Eventuelle stedsgradienter eller endringer over tid ble undersøkt statistisk ved variansanalyse. Komponentene til analysen kan fremskaffes på forskjellige måter, bl.a. vanlig lineær regresjonsanalyse. Viktighet av faktorene sted og tid vurderes ved å inkludere eller fjerne dem fra regresjonsmodellen etter det såkalte reduksjon av residual kvadratsumprinsippet (Weisberg, 1985).

Residual kvadratsum (RSS) er et uttrykk for variasjon i data som ikke kan forklares ved variablene inkludert i modellen. Prinsippet går ut på at dersom en (eller flere) variable blir fjernet fra modellen, og dette fører til en signifikant økning i RSS, er variabelen å betrakte som viktig. Signifikansnivå er funnet fra statistiske tabeller ved den statistiske F-verdien som kan beregnes fra følgende ligning:

$$F = \frac{RSS_B / df_B}{RSS_A / df_A}$$

Hvor df = frihetsgrader, A = regresjonsmodellen med minst RSS (modellen med "alle" variabler) og B = indikerer økt RSS og frihetsgrader som skyldes fravær av en gitt variabel.

Innledende undersøkelse av datamaterialet viste ingen klare tidstrender eller stedsgradienter. Dessuten ble målinger i tid og rom ikke gjort sammenhengende. På grunn av disse momentene var det hensiktsmessig å dele opp datamaterialet i grupper og behandle dem i regressjonanalysen som uavhengige variable, også kalt indikatorvariable (Tabell 4). Datamaterialet fra fisk var ikke egnet for denne analysemetoden.

Tabell 4. Oppdeling av datamaterialet i steds- og tidsintervaller til regresjonsanalyse.

gruppe	steds- interval	stasjoner
1	0 - 3 km	V1 V2 V8 JB B2 B5
2	3.1 - 7 "	V3 B7 B8
3	7.1 - 15 "	V4 V5 V6 V7 B12
4	15.1 - 30 "	B16 B18
5	30.1 - 60 "	B14
6	60.1 - 73 "	B17 D1

gruppe	dager etter utslippet
1	0 - 6
2	7 - 10
3	14 - 28
4	38 - 43
5	67 - 68



## **6. Resultater**

Rådata er fremstilt i Vedlegg B. Referanser til de antatte øvre grenser for bakgrunnsnivå diskutert eller markert i figurene i dette kapitlet er gitt i Tabell 8 i kapittel 7.

### **6.1 Vannføring, sjøvann og sediment**

#### Vannføring

Midlere døgnvannføring i Ranaelva var relativt stabil og lav i mars (20- 65 m<sup>3</sup>/s). Variasjonsintervallet ble større i april (20-130 m<sup>3</sup>/s), mai (55-295 m<sup>3</sup>/s) og juni (230-575 m<sup>3</sup>/s). Mesteparten av innsamlingen var foretatt før 7.mai. I perioden 1.mars-7.mai var middelvannføring 65.8 m<sup>3</sup>/s og maksimum vannføring var 125 m<sup>3</sup>/s.

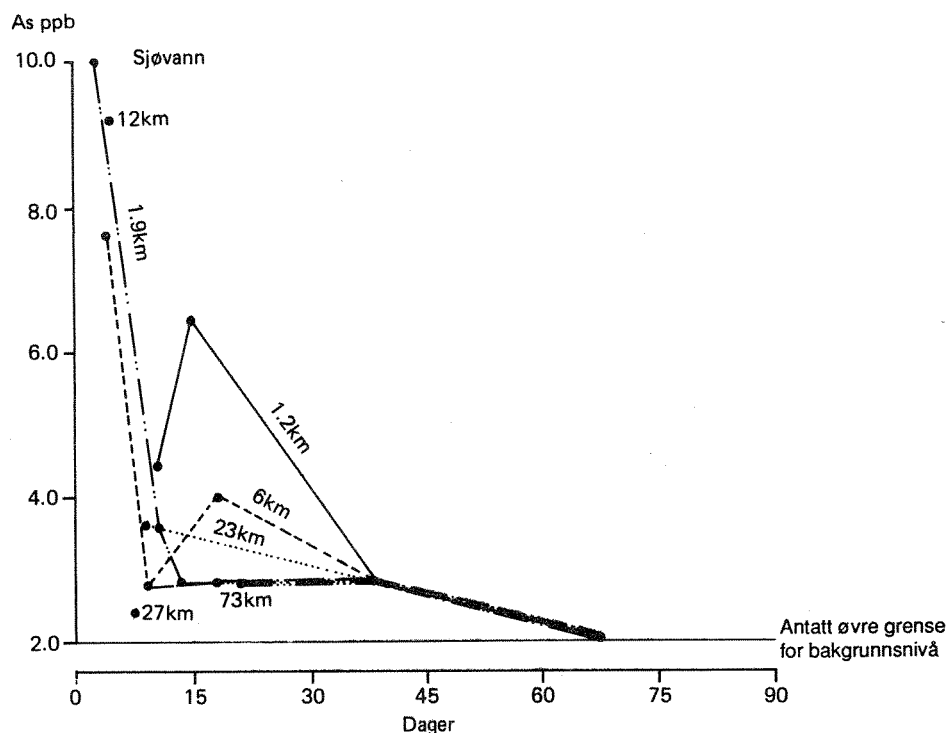
#### Sjøvann

Arsen i sjøvann fra 0 til 2m varierte mellom 2 og 25ppb bortsett fra en prøve med 65ppb tatt i Gullsmedvika dagen etter utslippet (Figur 4). Det ble ikke registrert konsentrasjoner over 10 ppb i overflatelaget (0-2m dyp) lenger ut enn 15km fra Koksverkkaien. Etter ca.to uker lå konsentrasjonen under 5ppb. Deteksjonsgrensen er på ca.2ppb, som også er det antatte bakgrunnsnivået i uforurenset sjøvann (Förstner og Wittman, 1979).

Statistiske analyser av endringer i tid og rom er basert på et utvalg av dette overflate-datamaterialet (Figur 5). Verdiene viser ingen entydig tendens i tid eller rom. Imidlertid viste F-testen et signifikant tidsaspekt ( $p < 0.01$ ), men ingen signifikante stedseffekt (Vedlegg C). Både stasjonene 2 og 12 km fra utslippstedet hadde relative høye konsentrasjoner (>7ppb) kort etter utslippet fant sted.

Fra 5 til 40m dyp ble det tatt 15 vannprøver innenfor et tidsrom av en måned etter utslippet (Tabell 5). Arseninnholdet var 3-6 ppb bortsett fra to prøver: en på 42.9ppb tatt på 5m dyp utenfor jernbanen ved Koksverkkaien og en på 10.1ppb tatt på 10m dyp ved Laukhella (Figur 1 og 3, Tabell 5). Arseninnholdet var tilnærmet på bakgrunnsnivå innen 15 dager. Det ble ikke funnet tydelig variasjon med dyp.





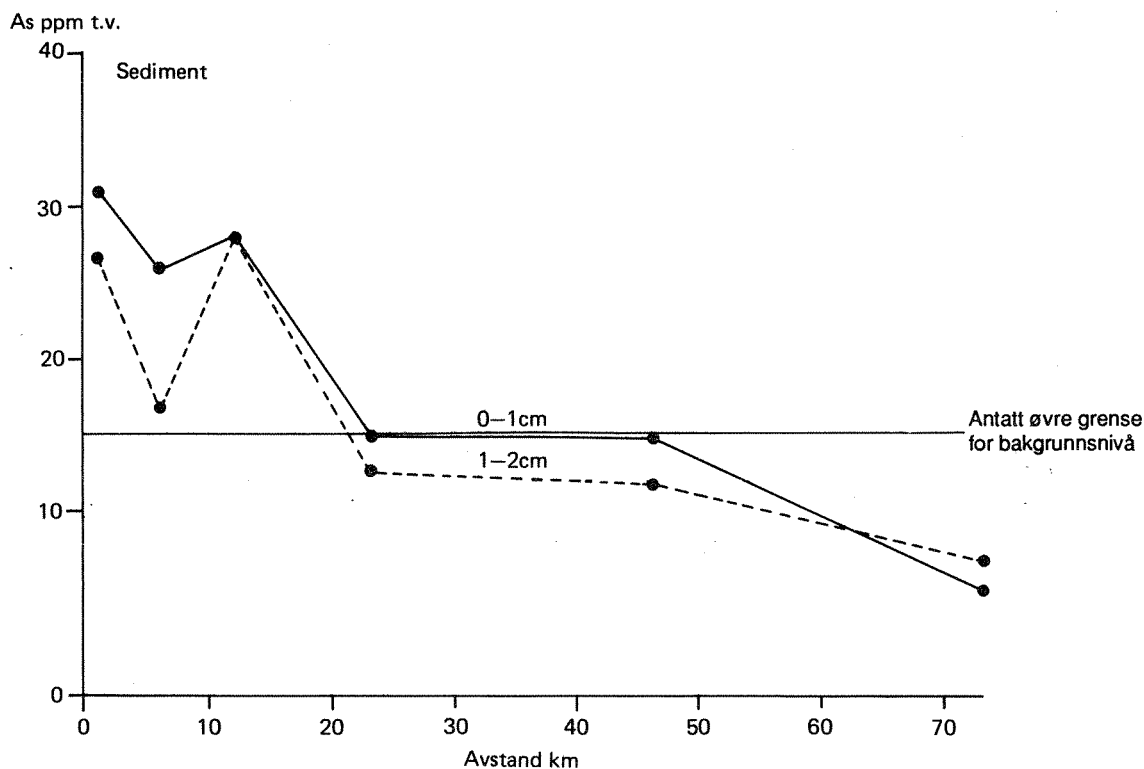
Figur 5. Variasjon i arseninnholdet i sjøvann (ppb, fra 0-2m dyp) med tid etter utslippet (29.2.88). Avstand (km) fra utslippssted er markert for hver prøveserie.

Tabell 5. Variasjon i arseninnholdet i sjøvann (ppb) samlet 5-40m dyp. Til sammenligning er det inkludert to prøver fra 0m i to vertikallprofiler. Avstand indikerer km fra utslippssted.

St.	avstand (km)	dyp (m)	dato i mars (=dager etter utslippet)							
			3.	4.	10.	15.	18.	24.	25.	28.
B2	1.9	0	-	-	3.5	3.0	-	-	-	-
		5	42.9	-	-	-	-	-	-	-
		10	-	-	-	3.0	-	-	-	-
		20	-	-	4.0	3.0	-	-	-	-
		30	-	-	4.0	3.0	-	-	-	-
		40	-	-	3.0	3.0	-	-	-	-
B16	23.4	10	-	10.1	-	-	-	-	-	-
V2	1.1	32	-	-	-	-	-	4.0	-	-
B8	6.0	25	-	-	-	-	-	-	4.0	-
B12	12.3	35	-	-	-	-	-	-	-	3.5
B16	23.4	38	-	-	-	-	3.0	-	-	-
B14	46	32	-	-	-	-	6.0	-	-	-
B17	73	33	-	-	-	-	3.0	-	-	-

## Sediment

Arseninholdet i overflatesediment innsamlet på 25-38m dyp viste en klar økning mot utslippstedet (Figur 6). Dette ble bekreftet statistisk ( $p < 0.001$ , Vedlegg C). Dataene tydet på en svakt høyere konsentrasjon i det øvre 0-1cm sediment skikt enn i 1-2cm laget, med andre ord en indikasjon på en viss arsenanrikning i den senere tid. Imidlertid viste statistisk analyse ingen signifikant forskjell mellom de to lagene. Det var lite materiale å måle på i sediment fra den ytterste stasjonen (B17, Figur 1). Finfraksjonen ( $< 63\mu\text{m}$ ) representerte bare 1-2%, hvilket betyr at analyseresultatene fra denne stasjonen var lite sammenlignbar med de øvrige. Således representerer B17 et mer eroderende sediment, der man ikke kan vente å finne noen anrikning av hverken arsen eller noen annen forurensning.



Figur 6. Variasjon i arseninnholdet i sediment (ppm tørrvekt (t.v.)), middel av parallelle prøver) med avstand (km) fra utslippsted. Sedimentdyp (cm) er anmerket.

## **6.2 Grisetang og blæretang**

### Grisetang

I prøvene fra de to første toktene ble det ikke skilt mellom gammelt og nytt vev (Figur 7). Det ble bare påvist en moderat økning utover "normalnivået" (kfr., Knutzen, 1985) det vil si i størrelsesorden 50%. Det var heller ikke noen konsekvent tendens til at tang nærmest utslippsted hadde høyest arseninnhold.

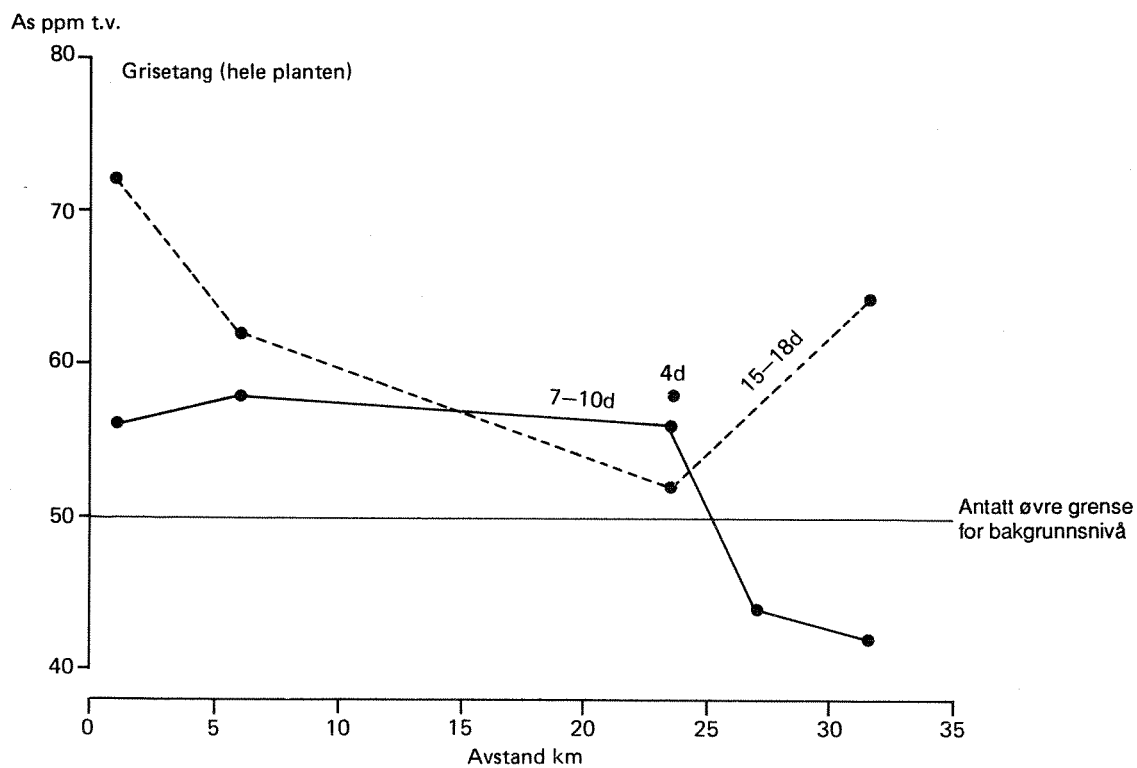
Etter to uker ble det tatt prøver av både årets vekst og 1-2 års vev. For å se på tids- og stedsaspekt ble resultatene fra 1-2 års vekst sammenlignet med resultatene fra de to første toktene (Figur 8), som viste et svakt signifikant tidsaspekt ( $p < 0.05$ , Vedlegg C). Det var noe lavere arseninnhold i 1-2 års vev 30 dager etter utslipp enn i "hele planten" før den tiden.

En og to måneder etter utslippet ble det funnet generelt noe høyere innhold i årets vekst enn 1-2 årsvev (Figur 9). Bortsett fra en verdi (61 ppm tørrvekt i årets skudd etter 39 dager) syntes det å være en tendens til høyere arseninnhold i plantene samlet vel to måneder etter utslippet. Igjen må det imidlertid tas forbehold fordi utslagene under alle omstendigheter må betraktes som forholdsmessig moderate (0-50%).

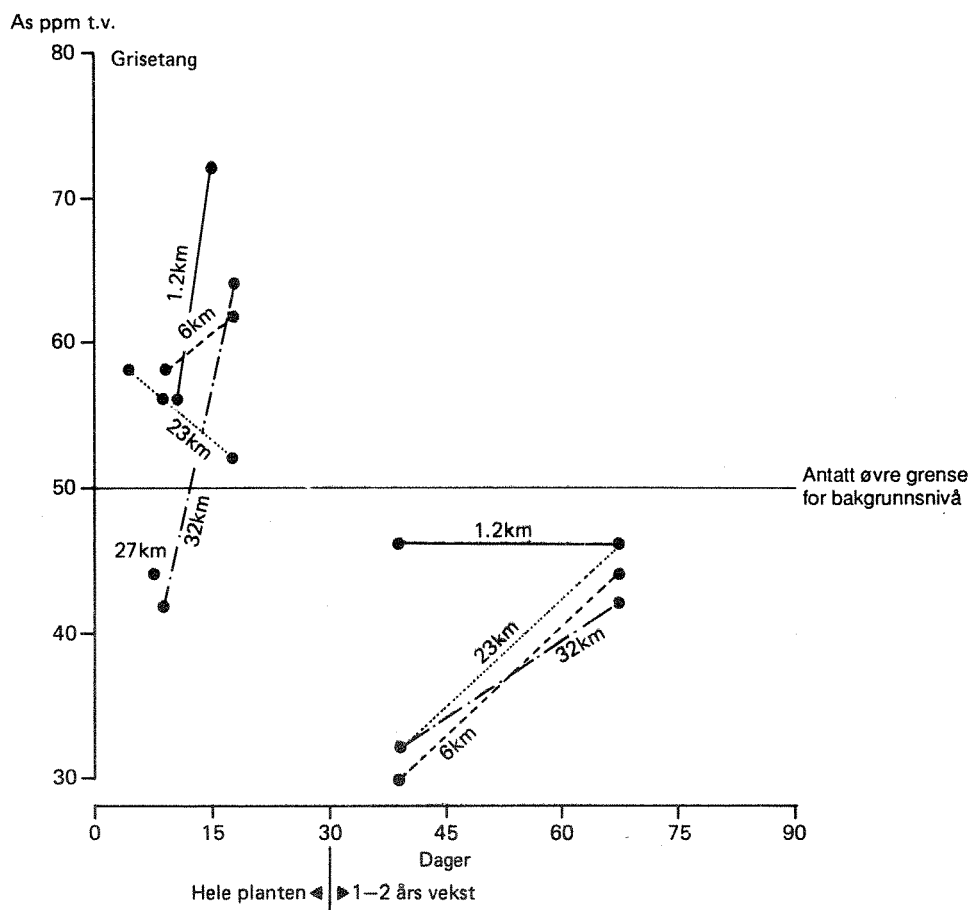
Datamaterialet var for spinkelt til å teste tids-, steds- og vevsalderaspekt samtidig. Statistisk analyse viste at tid og sted hver for seg ikke hadde signifikant effekt, men en modell med tid og vevsalder indikerte at begge hadde signifikante virkninger på arseninnholdet i tangen ( $p < 0.05$ , Vedlegg C).

### Blæretang

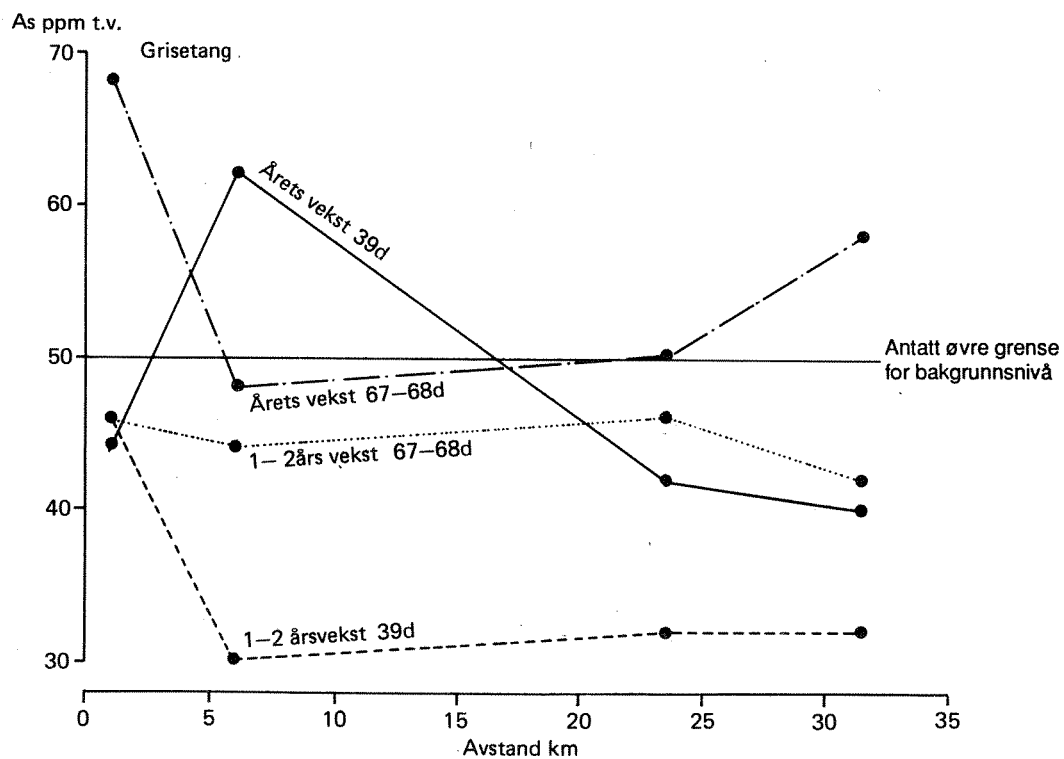
Resultatene fra blæretang viste ingen klar tendens i tid eller rom (Figur 10, Vedlegg C).



Figur 7. Variasjon i arseninnholdet i grisetang (ppm tørrvek (t.v.), hele planten) med avstand (km) fra utslippssted. Dager etter utslippet (29.2.88) er markert for hver prøveserie.

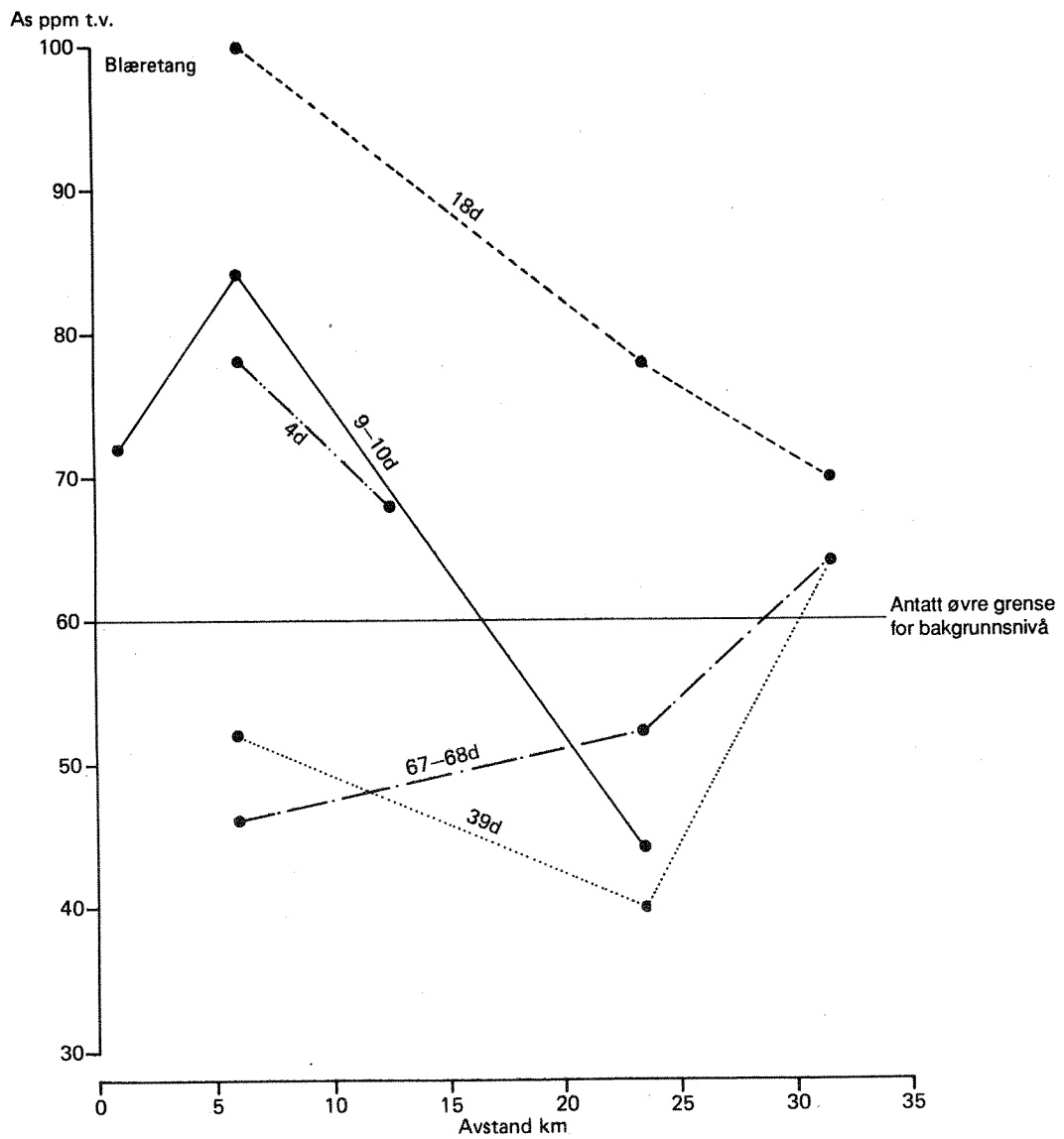


Figur 8. Variasjon i arseninnholdet i grisetang (ppm tørrvekt (t.v.), hele planten eller 1-2 års vekst) med dager etter utslippet (29.2.88). Avstand (km) fra utslippssted er markert for hver prøveserie.



Figur 9. Variasjon i arseninnholdet i grisetang (ppm tørrvekt (t.v.), årets vekst og 1-2 års vekst) med avstand (km) fra utslippet. Dager etter utslippet (29.2.88) er markert for hver prøveserie.





Figur 10. Variasjon i arseninnholdet i blæretang (ppm tørrvekt (t.v.), øvre 10-15cm skudd-deler) med avstand (km) fra utslippet. Dager etter utslippet (29.2.88) er markert for hver prøveserie.

### **6.3 Blåskjell, o-skjell og krill**

#### **Blåskjell**

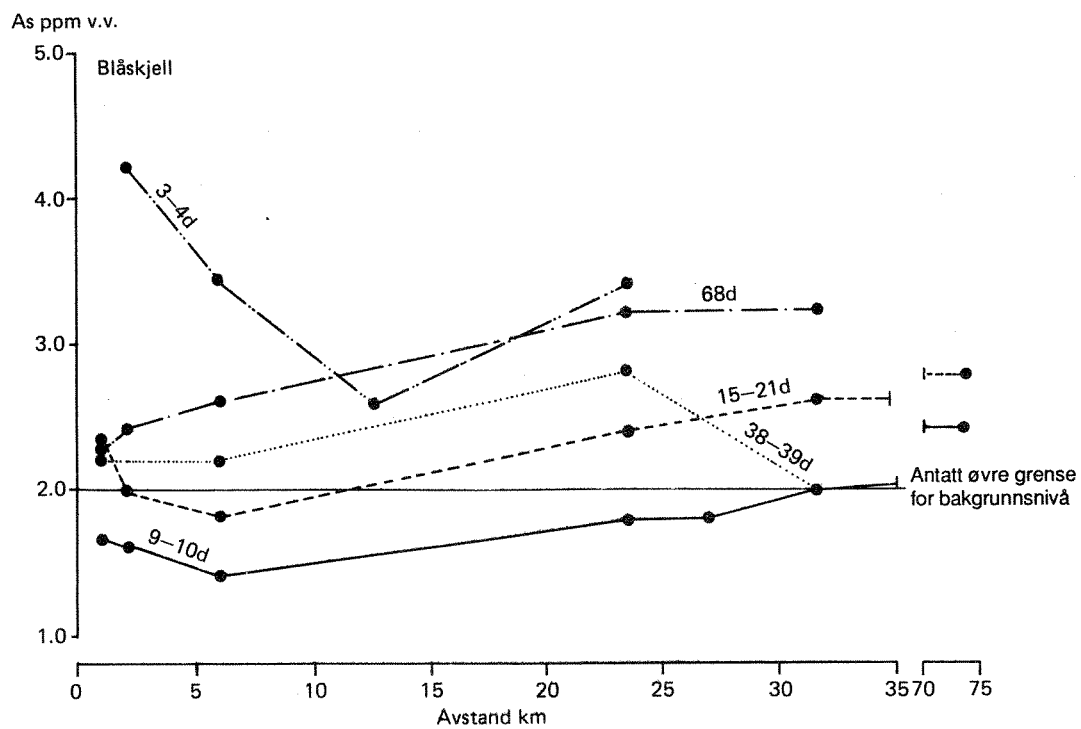
Arseninholdet i blåskjell varierte mellom 1 og 5 ppm våtvekt (Figur 11-12). Høyeste verdier ble målt i nærheten av utslippstedet 3-4 dager etter lekkasjen. 9-10 dager etter utslippet ble det registrert en nedgang i blåskjell fra hele fjorden, etterfulgt av en generell økning. Statistisk analyse viser at tidsaspektet var meget signifikant ( $p < 0.001$ , Vedlegg C).

#### **O-skjell**

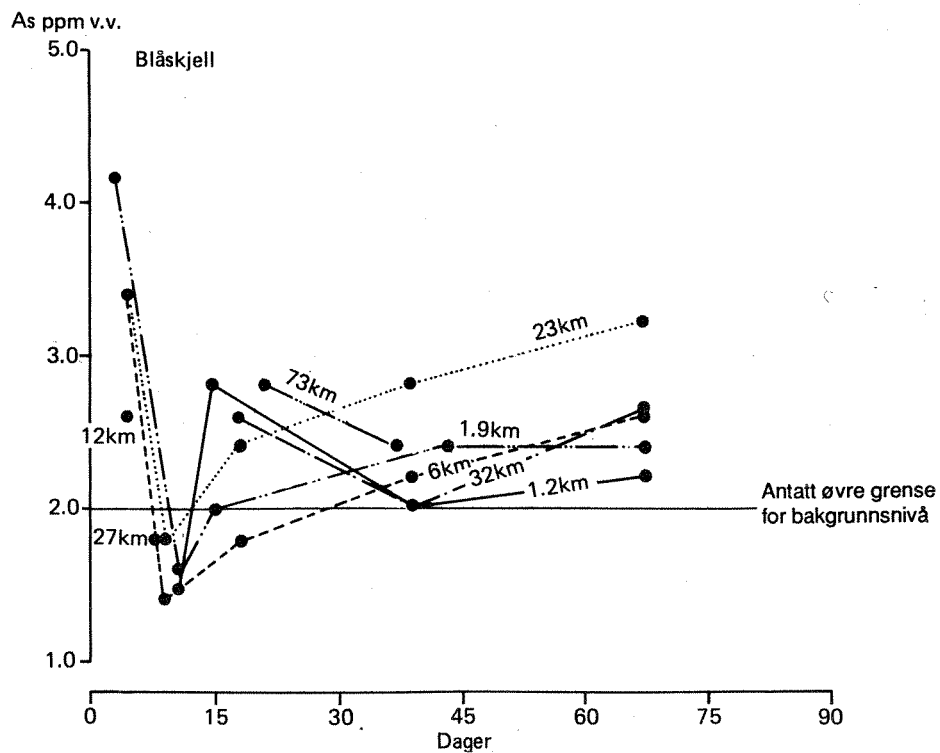
Innholdet av arsen i o-skjell varierte i samme intervall som for blåskjell (Figur 13-14). Den høyeste verdi (4.5 ppm våtvekt) ble målt i skjell tatt 4 dager etter utslippet og ca. 25 km fra Koksverkkaien. Det ble ikke funnet noen statistisk signifikante tids- eller stedsaspekt.

#### **Krill**

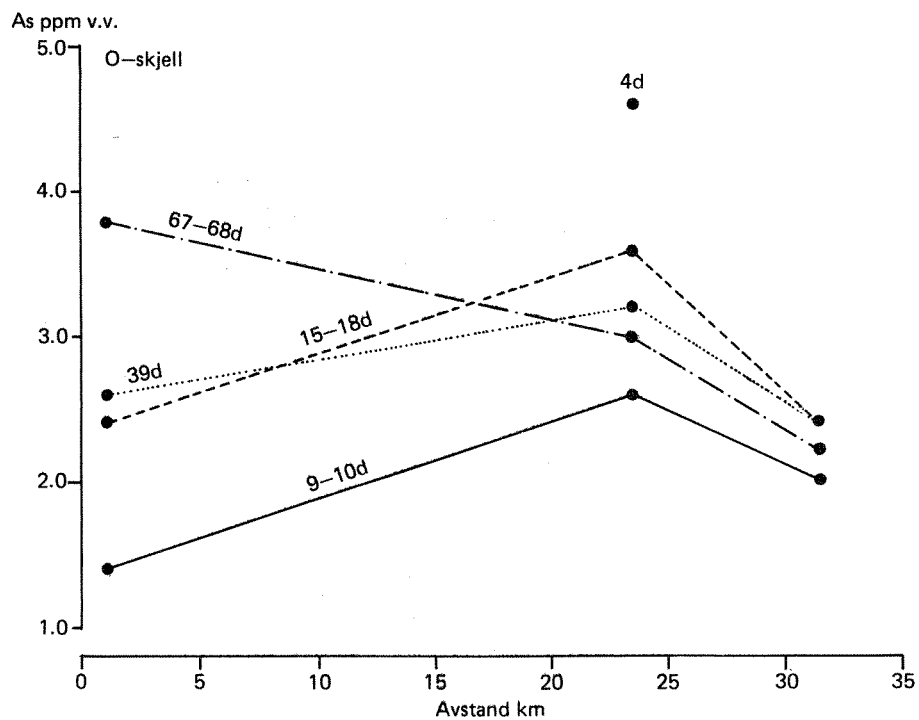
To blandprøver av ilanddrevet krill ble innsamlet fra Mjølan og Steinneset (d.v.s. mindre enn 3km fra utslippstedet). Prøven fra Mjølan ble innsamlet dagen etter lekkasjen fant sted, og hadde et innhold på 1 ppm våtvekt. Prøven fra Steinneset ble innsamlet to dager etter utslippet fant sted og innholdt 4.4 ppm arsen.



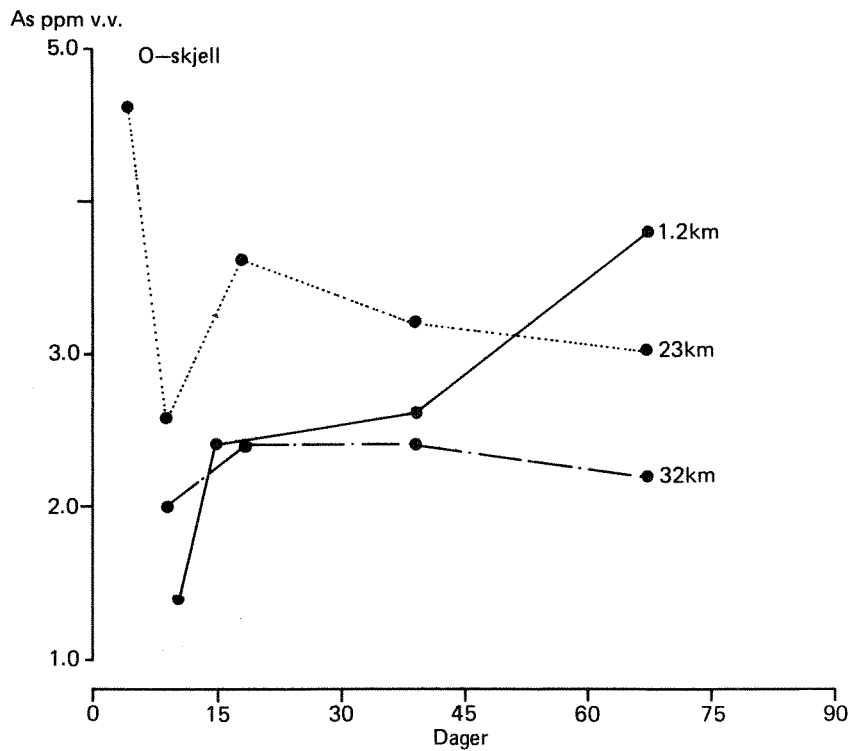
Figur 11. Variasjon i arseninnholdet i blåskjell (ppm våtvekt (v.v.)) med avstand (km) fra utslippssted. Dager etter utslippet (29.2.88) er markert for hver prøveserie.



Figur 12. Variasjon i arseninnholdet i blåskjell (ppm våtvekt (v.v.)) med dager etter utslippet (29.2.88). Avstand (km) fra utslippssted er markert for hver prøveserie.



Figur 13. Variasjon i arseninnholdet i o-skjell (ppm våtvekt (v.v.)) med avstand (km) fra utslippssted. Dager etter utslippet (29.2.88) er markert for hver prøveserie.



Figur 14. Variasjon i arseninnholdet i o-skjell (ppm våtvekt (v.v.)) med dager etter utslipp (29.2.88). Avstand (km) fra utslippssted er markert for hver prøveserie.

#### **6.4 Torsk, sei og skrubbe**

Innsamling av torsk, sei og skrubbe ble gjort for å fremskaffe et underlag for å vurdere eventuell helserisiko. Arseninnholdet i lever lå generelt 2-5 ganger over innhold i filet (Tabell 6). Arseninnholdet i begge vevstyper varierte mellom 0.1 og 20ppm våtvekt med unntak for en seilever fra Raugberget som innholdt 41.7ppm og to individer av torsk fra Utskarpen på 20-21 og 121-129ppm våtvekt, henholdsvis innhold i filet og lever. Dersom man betrakter verdiene fra disse to torskene som ikke representative, blir midlere arseninnhold i filet og lever av de øvrige tre torskene fra Utskarpen henholdsvis 1.8 og 7.4 ppm, som er noe mindre enn verdiene funnet innerst i Ranfjorden ved Steinneset. Fiskene ble innsamlet ca. tre måneder etter utslippet, bortsett fra seien som ble innsamlet fire dager etter utslippet.

Innhold av uorganisk arsen i torskelever og -filet ble målt til 1-3% av det totale arseninnhold (Tabell 7). Men usikkerheten omkring analyse metodikken gjør <1-6% som et mer rimelig interval. Organisk arsen vil i så fall være 94-99%.

Tabell 6. Total arsen (mg/kg våtvekt) i torsk og skrubbe fra Utskarpen og Steinneset i Ranfjorden. Romertall representerer parallelle analyser.

fisk nr.	fangst dato	leng. cm	vekt g	filet tørrst.%	filet (ppm v.v.)			lever (ppm v.v.)		
					I	II	III	tørrst.%	I	II
=====										
STEINNESET - SKRUBBE										
1	3.6.88	28.5	248	16.9	5.6	6.2	-	70.8	17.9	-
2	3.6.88	20.5	91	22.6	1.3	1.6	-	15.4	15.1	-
3	3.6.88	31.5	345	18.3	2.1	2.3	-	27.9	9.6	-
4	1.7.88	29.5	275	15.5	3.6	3.2	-	30.1	5.5	-
5	1.7.88	29.5	296	26.2	0.3	0.2	-	46.0	0.1	-
					-----					
					middel			2.6		
								9.6		
STEINNESET - TORSK										
1	17.6.88	46.0	895	18.5	1.7	1.4	-	47.8	6.5	-
2	17.6.88	35.0	400	18.9	3.7	3.7	-	79.6	6.6	-
3	17.6.88	36.5	398	20.0	4.6	4.9	-	74.4	9.5	-
4	17.6.88	30.0	282	13.4	2.5	2.9	-	35.2	18.7	-
5	17.6.88	30.0	238	18.6	1.8	2.3	-	58.6	9.2	-
					-----					
					middel			3.0		
								10.1		
RAUGBERGET - SEI										
1	4.3.88	47.0	1000	20.2	9.0	10.4	-	71.6	13.4	14.0
2	4.3.88	56.0	1694	20.9	11.5	14.5	-	65.7	41.7	41.7
3	4.3.88	48.0	1274	22.6	14.7	14.9	-	69.9	9.4	9.9
					-----					
					middel			12.500		
								21.7		
UTSKARPEN - TORSK										
1	16.5.88	50	978	19	1.05	1.13	1.1	52	6.4	8.9
2	15.5.88	56	1995	18	23	18	18	28	110	132
3	18.5.88	58	1938	18	4.0	3.6	2.6	66	5.5	5.9
4	18.5.88	52.5	1087	16	1.2	0.72	0.7	73	7.7	10.1
5	21.5.88	63.5	2152	18	22	21	21	70	135	122
					-----					
					middel			9.3		
								(1.8 <sup>1</sup> )		
								54.4		
								(7.4 <sup>1</sup> )		

<sup>1</sup>) middel av fisk nummer 1, 3 og 4



Tabell 7. Orienterende undersøkelse av innhold av organisk og uorganisk arsen i torskefilet og torskelever (mg/kg våtvekt) fra Utskarpen, Ranfjorden (se Tabell 6).

Fisk nr.	fangst dato	leng. cm	vekt g	(ppm v.v.)				org.	uorg.(%)
				I	II	III	middel		
=====									
FILET									
3	18.5.88	58	1938	4.0	3.6	2.6	3.4	2.2	0.077 (2.3%)
5	21.5.88	63.5	2152	22	21	21	21.3	20	0.25 (1.2%)
LEVER									
3	18.5.88	58	1938	5.5	-	5.9	5.7	-	0.11 (1.9%)
5	21.5.88	63.5	2152	135	-	122	128.5	-	2.3 (1.8%)

## **7. Diskusjon**

Basert på analyser foretatt i 1980 og 1981 ble det samlede årlige arsenutslipp fra Koksverket beregnet til 2 tonn (Kirkerud et al., 1985). Utslipet i februar 1988 tilsvarte 3.3 tonn arsen.

### **7.1 Bakgrunnsnivåer**

Opplysninger om bakgrunnsnivåene er forholdsvis sparsomme for enkelte medier (Tabell 8) og er dermed noe usikre (kfr., Skei, (pers. medd.), Knutzen, 1985, 1987). Variasjonsbredden for enkelte medier kan være 10 ganger og enkelte resultater tyder på at intervallet er større.

Med forbehold om usikkerheten omkring nivåene lå arseninnhold i sediment, grisetang, blæretang, blåskjell, torsk, sei og skrubbe hovedsakelig innen 2-3 ganger den antatte øvre grensen for bakgrunnsnivå. Dette kan betraktes som moderate overkonsentrasjoner.

Innhold i sjøvann hadde en vesentlig større variasjonsbredde, fra 0 til 43ppb (opptil 20 ganger den antatt øvre grensen for bakgrunnsnivå). To uker etter utslippet ble det ikke registrert verdier over 2 ganger øvre grense.

Analyser av torsk fra Ranfjorden viser stor variasjon i total arsen innhold (en spredning mellom minimum og maksimum med opptil 20 ganger, Tabell 6). Analyseresulater fra to av de fem torsk fra Utskarpen (ca.30km fra utslippsted, Figur 1) hadde omkring 2 og 14 ganger øvre grense for bakgrunnsnivå i henholdsvis filet og lever (kfr., Tabell 7). Årsaken til de høye verdiene funnet i disse to torskene er imidlertid uklar. Julshamn (pers. medd.) understreker viktighet av fiskens beitedyr ved opptak av metaller. I så fall hadde disse torskene fanget i Utskarpen beitet på noe arsenanrikt nylig. I følge Schenk og Schreibeis (1958, sitert av Luten et al. 1982) blir 80% av akkumulert arsen i torsk (og også rødspette) borte innen 3 dager. Torsken ble innsamlet 18.mai, 11 uker etter utslippet og 30km fra utslippsstedet. Verdiene for de andre fiskene var innenfor eller bare svakt over de antatte bakgrunnsnivå-intervallene. Imidlertid indikerer bl.a. nylige analyser av torskefilet fra Nordsjøen et større intervall: 3-35ppm våtvekt (Julshamn, et al., in prep.). Det mest sannsynlige er at de få tilfellene av høye konsentrasjoner representerer individuelle ekstremverdier uten praktiske konsekvenser.

Tabell 8. Tilnærmet "bakgrunnsnivåer" for total arsen i sjøvann, marine sediment og aktuelle organismer. () markerer usikkerhet p.g.a. få data eller andre forhold.

materiale	"bakgrunnsnivå"	referanse
åpent hav sjøvann	2.1	ppb Förstner og Wittman (1979)
åpent hav sediment	12	ppm t.v. Förstner og Wittman (1979) <sup>1</sup>
kystnær sediment	13	ppm t.v. Bryan et al. (1985)
Østersjoen sediment	14	ppm t.v. Landner og Waltersson (1985)
grisetang	<40-50	ppm t.v. Knutzen (1985) <sup>2</sup>
blæretang	<50-60	ppm t.v. Knutzen (1985) <sup>2</sup>
blåskjell (bløtdel)	(≈1-3)	ppm v.v. Knutzen (1983)
	≈1-2	ppm v.v. (flere referanser) <sup>3</sup>
o-skjell (bløtdel)	(>4)	ppm v.v. Julshamm (1981)
torsk (filet)	<1-5(10)	ppm v.v. Knutzen (1987)
	2-5<15	ppm v.v. Julshamm (pers.med.) <sup>4</sup>
	3-35	ppm v.v. Julshamm (in prep.)
torsk (lever)	(<1)2-10(15)	ppm v.v. Knutzen (1987)
sei (filet)	(<1-10)	ppm v.v. Knutzen (1987)
sei (lever)	(<1-10)	ppm v.v. Knutzen (1987)
skrubbe (filet)	(<1-10)	ppm v.v. Knutzen (1987, Tabell A8)
skrubbe (lever)	(<1-10)	ppm v.v. Knutzen (1987, Tabell A8)
rødspette (filet)	<(0.5)5-20(50)	ppm v.v. Knutzen (1987)
rødspette (lever)	<2-10(>100)	ppm v.v. Knutzen (1987)

<sup>1</sup>) gjelder åpent havområde. Det mangler verdier fra mer kystnære sedimenter.

<sup>2</sup>) Muligens ekstremverdier.

<sup>3</sup>) La Touche og Mix (1982), Möller et al. (1983), Julshamm et al (1985).

<sup>4</sup>) avhengig av næringsgrunnlag (beitedyrenes arseninnhold).

## **7.2 Vurdering av helserisiko ved konsum av sjømat**

Grenseverdier for arsen i næringsmidler er satt, fordi arsen i høye doser kan være akutt giftig og kreftfremkallende.

Norge har ikke fastlagt grense for arsen i fisk eller skalldyr (pers. medd. Ole Harbitz ved Statens næringsmiddelkontroll, 1988). For fisk er dette begrunnet ved at det er store naturlige variasjoner av arsen i sjømat. Den generelle grensen for mat er 1.0 ppm våtvekt

FAO/WHO (1984) har følgende anbefalte grenser for inntak av (total) arsen:

daglig inntak	0.002 mg per kg kroppsvekt
ukentlig inntak	0.014 mg per kg kroppsvekt
for en 70 kg person	ca.1 mg ukentlig

Det er imidlertid andel uorganisk arsen som utgjør størst helserisiko (pers. medd. Tore Aune, Norges Veterinærhøgskole, Institutt for næringsmiddelhygiene). Det er nylig foreslått følgende grenser for inntak av uorganisk arsen av FAO/WHO "Joint Expert Committee on Food Additives" (JECFA) (mars, 1988).

ukentlig inntak	0.015 mg per kg kroppsvekt
for en 70 kg person	ca.1 mg ukentlig

Orienterende analyser av to torsk fra Utskarpen i Ranfjorden, en med lavt og en med høyt arsen innhold, viste at innholdet av uorganisk arsen lå på 1-6%. Dette er i samsvar med andre undersøkelser: ca.5% (Tore Aune, Norges veterinærhøgskole, pers. medd.), 5-15% (Lunde, 1977). Julshamn et al. (in prep.). fant 6.3% i blandprøve av torskfilet fra Sørfjorden/Hardangerfjorden. Samme undersøkelse viste 0.5% i en blandprøve av rødspettefilet fra Øygarden.

Øvre anbefalte ukentlig inntak for uorganisk arsen er 1 mg (for en 70kg person). Forutsatt at 5% av totalarsen er uorganiske forbindelser, vil middelkonsentrasjonen i torsk fra Utskarpen (basert på fem fisk) være ca.0.5 og 2.7 mg/kg uorganisk arsen i henholdsvis filet og lever (kfr. Tabell 6). Disse torskeprøvene hadde gjennomsnittlig de høyeste arseninnholdet, bortsett fra seifilet. Dersom inntak av alt arsen kommer fra disse torskene vil det si at personer med ukentlig (livslang) konsum av 2000g torskfilet (1600g seifilet) eller 370g torskelever vil falle i risikogruppen. Typiske norske ukentlige konsum av fisk og fiskeprodukter er ca.420g/uke (Statens ernæringsråd, 1987, sitert av Julshamn et al., in prep.) men enkelte grupper (kystbefolkning) kan innta nærmere 3 ganger så mye.

(SFT, 1980). Dette betyr at arsen-innholdet i torsk i Ranfjorden neppe utgjør noen generell helserisiko. Bare personer med meget spesielle spisevaner vil risikere å overskride anbefalte grenseverdier, som inkluderer en sikkerhetsfaktor i forhold til dokumenterte tilfeller av skade.

### 7.3 Stedsgradienter og tidsendringer

#### Sjøvann

Sjøvannsmaterialet var sparsomt, men indikerte at i løpet av ca. en uke var arseninnholdet i vann nær den antatt øvre grense for bakgrunnsnivå. Utslipet skjedde til overflatevann i Gullsmedvika, hvor det antas at en fraksjon sedimenterte på grunn av egenvekten, eller i form som partikkelbundet, mens en annen fraksjon ble transportert utover fjorden. Tidevann, estuarin sirkulasjon, Ranelva og vind er medvirkende årsaker til å fremme transport og fortynning.

Dersom hele utslippet på 3.3 tonn arsen ble fortynnet i overflatelaget (0-5m dyp) vil dette føre til en økning på ca. 20ppb over 33km<sup>2</sup>; et areal som tilsvarer omtrent sjøområdet innenfor Bustneset. Tidligere undersøkelser viser at oppholdstiden for ferskvannet i Nordrana vinterstid er 3-10 dager (Kirkerud et al., 1977). Med disse betingelsene burde utslippet kunne spores i overflatelaget i hvert fall 1/2-luke etter utslippet.

Resultatene tyder på at lite ble sedimentert (se diskusjon nedenfor). Høye konsentrasjoner (<10ppb) ble derimot observert i vannmassen i øvre vannlag (0-10m dyp) men bare i de fire første dagene etter lekkasjen og hovedsakelig innenfor Bustneset.

#### Sediment

Arsen ble sist undersøkt i sjøvannsmiljøet i Ranfjorden august 1975 og mars 1976 (Kirkerud et al., 1977). Undersøkelsen omfattet sediment og orienterende analyser av tang, skalldyr og fisk (Tabell 9-10).

Dersom alt arsen sedimenterte, kunne dette føre til en anrikning på omkring ≈100ppm tørrvekt i sediment innen for Bustneset. Det ble også funnet en statistisk signifikant stedseffekt med økning i arseninnhold innen Bustneset (Figur 6, Vedlegg C), men i vesentlig mindre grad. Det er derfor usikkert om gradienten skyldes utslippet i mars eller tidligere belastninger fra indre Ranfjorden.

Resultatene fra 1988 er direkte sammenlignbare med bare en stasjon fra tidligere undersøkelser (Kirkerud et al., 1977, Tabell 9). St.V2 fra 1988 og St.R19 i 1975-76 ble tatt på omtrent samme sted (og dyp)

i Gullsmedvika. Midlere arseninnhold i 0-2 cm sedimentskikt var tilnærmet likt i begge undersøkelser med 29.2 ppm tørrvekt (middel av fire prøver) funnet i 1988 mot 29.9 ppm funnet tidligere.

Med forbehold om at 1988-resultatene var representative for et større område, også dypvannssedimentene, lå arseninnholdet i sedimentet undersøkt mars 1988 på omtrent samme nivå som for 12-13 år siden (jfr. Figur 6 med Tabell 9). Midlere arseninnhold i 0-2cm dyp innen Bustneset var 26.1 mot 18.7 ppm tørrvekt funnet tidligere, og i området Bustneset til Hinderaa var det funnet 14.0 mot 15.5 ppm tidligere. I betraktning av at parallelle prøver av samme sediment i flere tilfeller viste forskjell på 10-20% og mer (Vedlegg B), behøver ikke forskjellen mellom 26.1 og 18.7ppm bety noen reell økning ( $p > 0.05$ , Vedlegg C). For i det hele tatt å kunne fastslå om dette dreier seg om en økning, er det påkrevet med et langt mer omfattende prøvemateriale. Dette synes unødvendig når økningen i alle tilfeller kun kan være moderat og derfor neppe kan ha vesentlige praktiske konsekvenser.

Tre-fire uker etter lekkasjen ble det ikke funnet noen arsenanrikning i sedimentet ca.1km fra utslippsstedet, og heller ingen vesentlig økning i arsen i området ut til Hindraa ( $\approx 50$  km fra utslippssted). Dette tyder på at lite arsen fra utslippet ble tilført sedimentet i gruntvannsområdet (<40m dyp).

Landner og Watersons (1985) undersøkelse av utslipp fra Rönnskärsverket i Bottenvik viste at langvarig eksponering av arsen (20-1200tonn/år over ti år) førte til en vesentlig arsenanrikning i miljøet omkring fabrikkene. I sjøsediment ble det vist tydelige gradienter inntil 70-250km fra utslippstedet (ca.800ppm nær utslippet og ca.10ppm 10-20mil unna). Noen tilsvarende tydelig gradient er ikke observert selv i den utslippsnære del av Nordrana.

Tabell 9. Arseninnhold (mg/kg tørrvekt) i sediment (0-2cm) fra Ranfjorden august 1975 og mars 1976 (Kirkerud et al., 1977).

Mo til Bustneset (0 - 12 km)				Bustneset til Hinderaa (12 - ≈50 km)			
		dyp				dyp	
st.	(m)	arsen	midde1	st.	(m)	arsen	midde1
R19	35	29.9	18.7	R11	520	11.6	15.5
R20	40	18.2		R33	450	13.0	
R34	80	22.4		R24	140	19.2	
R32	110	10.4		R25	130	19.5	
R21	240	26.6		R12	540	24.4	
R22	265	21.0		R27	310	18.5	
R8	240	17.0	R31	75	9.2		
R3	200	4.4	R13	350	17.4		
			R28	45	13.0		
			R29	300	13.0		
			R30	420	12.0		

### Biologisk materiale

Resultatene viste ingen entydige stedsgradienter og bare få indikasjoner på endringer over tid i biologisk materiale. Statistiske analyser viste ingen signifikant stedseffekt for noen av de fire indikatorartene og signifikant tidseffekt bare i grisetang ( $p < 0.05$ ) og blåskjell ( $p < 0.001$ , Vedlegg C). Det observerte minimum i blåskjells arseninnhold etter 9-10 dager (Figur 11) er det ingen åpenbar forklaring på. Under alle omstendigheter representerer den tilsynelatende reduksjonen etter 9-10 dager med påfølgende økning forholdsvis moderate utslag på bakgrunn av variasjonene i det normale innhold av arsen.

Som nevnt under drøftelsene av variasjon i vannets arseninnhold er den midlere oppholdstid i overflatelaget (0-5m) kort (ca. en uke) og dermed hadde gruntvannsorganismer (tang og blåskjell) kort eksponeringstid. Dersom mesteparten av arsenet holdt seg i overflatelaget ville o-skjell (innsamlet fra 7 til 25m dyp) ikke bli utsatt for noen vesentlig økt arsenbelastning. Innhold av arsen i o-skjell var i samme størrelsesorden som ble funnet av Julshamm (1981).

Det ble funnet noe lavere innhold i 1-2 års vekst enn årets vekst i grisetang (Figur 9) men forskjellen var imidlertid ikke større enn at den like gjerne kan skyldes aldersforskjellen mellom de to analyserte vevstyper som utvikling over tid. Variasjon i grisetangs arseninnhold med alder er studert av Klumpp (1980), som ikke fant noe utslag av vevsalder. Hos en Fucus-art fant derimot Bohn (1979) at skuddspissene inneholdt mest arsen.

Dataene for grisetang tyder på at utslippet kan ha bevirket en viss økning i tangens arseninnhold, men at økningen i tilfellet har vært forholdmessig moderat, neppe over en fordobling selv om man regner med et noe lavere bakgrunnsnivå enn markert i Figur 7-9.

De moderate overkonsentrasjonene i grisetang som er konstatert, må også ses på bakgrunn av de permanente tilførselene som har vært av arsen til Ranfjorden. Således observerte Kirkerud et al. (1977) noe forhøyet arseninnhold i tang fra indre del av Nordrana (60ppm tørrvekt mot vel 30ppm lenger ut, Tabell 10). Senere sammenligningsdata mangler. Dette, sammen med generelt manglende kunnskaper om naturlige variasjoner i tangens arseninnhold, gjør at konklusjonene med hensyn til virkninger av det akutte episode-utslippet må bli med forbehold.

På samme måte som for grisetang, er det i blæretang til dels konstatert overkonsentrasjoner som kan skyldes sjokk-belastningen. I følge Bryan et al. (1985) synes eldre deler av blæretang å ha hurtigere opptak av arsen enn grisetang, og slik sett bedre gjenspeile en sjokkbelastning.



Det synes ikke som om utslippet har hatt vesentlig effekt på blåskjellenes arseninnhold. De målte verdiene var likevel høyere enn de tidligere registrerte, bemerkelsesverdige lave arsennivåene i blåskjell og o-skjell (jfr., Figur 11-12 med Tabell 10).

Langtids eksponering til arsen kan føre til betydelig opptak i organismer. Østersjø-musling (Macoma baltica) eksponert 477 dager til arsenanrikt sediment hadde arseninnhold opptil vel 1000ppm våtvekt (Landner og Walterson, 1985).

Landner og Walterson (1985) fant at arseninnhold i hornulke (Onocottus quadricornis) og sik (Coregonus lavaretus) minsket med økende avstand fra utlippsted ved Rönnskärsverken.

Tabell 10. Total arsen (ppm tørrvekt) målt i biologisk materiale fra Ranfjorden august 1975 (Kirkerud et al., 1977).

materiale	sted→	B6	B9	B12	B13	uspes-
avstand fra Mo ≈km→	4	7	12	35	ifisert	
grisetang ( <u>Ascophyllum nodosum</u> )	60	33	30			
blæretang ( <u>Fucus vesiculosus</u> )	60	37	32	16		
o-skjell ( <u>Modiolus modiolus</u> )		2	3.5			
blåskjell ( <u>Mytilus edulis</u> )		5				
sei <sup>1</sup> ( <u>Pollachius pollachius</u> )						1.5
torsk <sup>1</sup> ( <u>Gadus morhus</u> )						1
ørret <sup>1</sup> ( <u>Salmo trutta</u> )						2

<sup>1</sup>) det antas at det ble analysert på filet

#### 7.4 Økologiske skadevirkninger

Arsen er i samme hovedgruppen som fosfor og nitrogen i grunnstoffenes periodiske system og har mange felles egenskaper med disse (Julshamm et al., in prep.). Arsen blir tatt opp noe forskjellig av ulike organismer. Sanders (1979) fant relativ stor porsjon uorganisk arsen i grisetang og blæretang, henholdsvis 30 og 18% sammenlignet med fisk (5- 15%). Det foreligger ingen indikasjoner på oppkonsentrering langs næringskjeder (Bernhard og Andreae, 1984; Eisler, 1988).

Opptak i dyr er hovedsakelig ved ernæringsopptak (Pentreath 1977, referert av Knutzen, 1987), og utskillelse kan skje relativt fort. Luten et al. (1982) rapporterer fra andre undersøkelser at det ble funnet  $\approx 74\%$  reduksjon av akkumulert arseninnhold i hummer etter to dager, nær 100% i reker etter fire dager og ca. 80% i torsk og rødspette etter tre dager.

Forsøk har vist at arsen i vann ( $As^{+3}$ ,  $As^{+5}$ ) er giftig (toksisk) overfor flere marine dyr (kfr., Eisler, 1988). Den laveste toksisk konsentrasjon funnet for virveløse dyr var 0.1ppm på en hoppekreps (Eurytemora affinis). Den laveste skadelige konsentrasjon registrert for fisk var på en lakseart (Oncorhynchus gorboscha), som ble eksponert til 3.8ppm arsenholdig vann over ti dager. Den høyeste verdi funnet i undersøkelsen fra Ranfjorden var 0.066ppm

Flere utredninger konkluderer med at det er utilstrekkelig basisinformasjon for å anbefale maksimalinnhold av fem-verdi arsen ( $As^{+5}$ ) i sjøvann (kfr., Mance et al., 1984; EPA, 1985; Eisler, 1988). Derimot anbefales det at for en tre års periode bør maksimum tre-verdi arseninnholdet i sjøvann ( $As^{+3}$ ) bør ikke overstige 36ppb midlet over fire dager eller 69ppb midlet over en time (EPA, 1985). Det er sannsynlig at fem-verdi arsen fra lekkasjen ble redusert til tre-verdi arsen i sjøen (Kristiansen, pers. medd.).

## **8. Konklusjoner**

Det anses at økosystemet i Ranfjorden som helhet er blitt lite skadet av arsenutslippet utover de forurensningseffekter som allerede var tilstede på grunn av den ordinære forurensningsbelastningen på fjorden. Dette kan begrunnes ved at:

1. Eksponeringstiden overfor relativt høye arsenkonsentrasjoner i vann (>10 ppb) var sannsynligvis bare av størrelsesorden en uke eller mindre. Maksimumskonsentrasjonene - unntatt i utslippets umiddelbare nærhet - har vært under grensen for akutt giftvirkning overfor de fleste organismer (Mance et al., 1984; EPA, 1985).
2. Mekanismer i fjordsystemet som tidevann, stor ferskvannstilførsel, vind, estuarin sirkulasjon, medfører rask fortykning og vid spredning, slik at eventuelle høye konsentrasjoner bare har hatt kort varighet og bare berørt begrensede vannmasser/bunnarealer.
3. Med få unntak ble det ikke sporet forhøyet arseninnhold i sediment, grisetang, blæretang, blåskjell og fisk, det vil si at de aller fleste verdier var mindre enn 2-3 ganger antatte øvre grense for bakgrunnsnivået). Det var ikke funnet belegg på at forhøyet arseninnhold i disse medier skyldtes utslippet.
4. Andre undersøkelser viser at arsen akkumuleres ikke oppkonsentreres langs næringskjedene i marine systemer. Undersøkte virvelløse dyr og fisk har skilt ut akkumulert arsen relativt fort (70-100% innen 4 dager).
5. Arseninnholdet i torsk, sei og skrubbe fra Ranfjorden antas ikke å utgjøre noen helserisiko. Det er imidlertid helsemyndighetenes ansvar å avgjøre denne saken.

## 9. Litteratur

- Andersen, A., 1982. Sporelementer i rødspætter fra Nordsøen, 1979. Statens Levnedsmiddelinstitut. Pub. nr. 67 (august 1982). 31 sider.
- Bernhard, M., Andreae, M.O., 1984. Transport of trace metals in marine food chains. Changing Metal Cycles and Human Health, ed. J.O.Nriagu, sider 143-167. Dahlem Konferenzen 1984. Springer-Verlag.
- Bohn, A., 1979. Trace metals in fucoid algae and purple sea urchins near a high Arctic lead/zinc ore deposit. *Mar. Poll. Bull.* 10:325-372.
- Bryan, G.W., Langston, L.G., Hummerstone og Burt, G.R., 1985. A guide to the assessment of heavy-metal contamination i estuaries using biological indicators. Marine Biological Association of the United Kingdom. Occasional publication no. 4. 92 sider.
- Eisler, R., 1988. Arsenic hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior, Biological Report 85(1.12). 92 sider.
- EPA, 1985., Ambient Water Quality Criteria for Arsenic - 1984. Environmental Protection Agency, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service. EPA/440/5-84-033, 66 sider.
- Förstner, U., Wittman, G.T.W., 1979 Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. 486 sider.
- Julshamn, K., 1981. Studies on major and minor elements in mollusc in Western Norway. IV. The distribution of 17 elements in different tissues of oyster (Ostrea edulis), common mussel (Mytilus edulis) and horse mussel (Modiolus modiolus) taken from unpolluted waters. *Fisł. Dir. SKr., Ser. Ernäring*, 1(5):215-234.
- Julshamn, K., Slinning, K.-E., Haaland, H., Bøe, B., Føyn, L., 1985. Analyse av sporelementer og klorerte hydrokarboner i fisk og blåskjell fra Hardangerfjorden og tilstøtende fjordområder høsten 1983 og våren 1984. Fiskeridirektoratet, rapporter og medlinger 6/85. 78 sider.
- Julshamn, K., Haugsnes J., Måge A., Aune, T., (in prep). Arsen-

innholdet i marine næringsmidlar. Er det eit næringsmid-  
delhygienisk problem?.

Kirkerud, L.A., Bokn, T., Knutzen, J., Kvalvågnæs, K., Magnusson, J.,  
Skei, J., 1977. Resipientundersøkelse i Ranafjorden. Rapport nr.2  
Innledende hydrografiske, geokjemiske og biologiske undersøkelser.  
NIVA-rapport 0-31/75, 141 sider.

Kirkerud, L.A., Haakstad, M., Knutzen, J., Rygg, B., Skei, J.,  
Tryland, Ø., 1977. Basisundersøkelse i Ranafjorden - en marin  
industriresipient. Samlerapport (Overvåkingsrapport 207/86). NIVA-  
rapport 0-8000310, 76 sider.

Klump., D.W., 1980. Characteristics of arsenic accumulation by the  
seaweeds Fucus spiralis and Ascopyllum nodosum. Mar. Biol.  
58:257-264.

Knutzen, J., 1983. Blåskjell som metallindikator (The common mussel  
(Mytilus edulis) as a metal indicator). Vann 1(1982):24-33.

Knutzen, J., 1985. "Bakgrunnsnivåer" av utvalgte metaller og andre  
grunnstoffer i tang. Øvre grense for "normalinnhold",  
naturbetingede variasjoner, opptaks- og utskillelsesmekanismer.  
NIVA-rapport 0-83091, 121 sider.

Knutzen, J., 1987. Bakgrunnsnivåer av metaller i saltvannsfisk  
(background levels of metals in marine fish).  
NIVA-rapport 0-85167/Q-388, 66 sider.

Landner, L., Walterson, E., 1985. Rönnskärsverkens påverkan på den  
yttre miljön - utvärdering av genomförda undersökningar. Svenska  
MiljöForskarGruppen AB, 1985-05-30. 96 sider.

La Touche, D.Y., Mix, M.C., 1982. Seasonal variations of arsenic and  
other trace elements i bay mussels (Mytilus edulis). Bulletin of  
Environmental Contamination and Toxicology. 29:665-670.

Lunde, G., 1977. Occurrence and transformation of arsenic in the  
marine environment. Environmental Health Perspectives. 19:47-52.

Luten, J.B., Riekwel-Booy, G., Rauchbaar, A., 1982. Occurrence of  
arsenic i plaice (Pleuronectes platessa), nature of organo-  
arsenic compound present and its excretion by man. Environmental  
Health Perspectives. 45:165-170.

Mance, G., Musselwhite, C., Brown, V.M., 1984. Proposed environmental  
quality standards for list II substances in water. Water Research  
Center. Technical report TR 212. 51 sider.

- Möller, H., Schneider, R., Schnier, C., 1983. Trace metal and PCB content of mussels (Mytilus edulis) from the Southwestern Baltic Sea. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 68(5):633-647.
- Næs, K., Skei, J., 1983. Basisundersøkelse i Ranafjorden. En marin industriresipient. Delrapport III. Løste metaller og partikler i vannmassene. NIVA rapport 0-8000310 i Statlig program for forurensningsovervåking, 49 sider.
- Pentreath, R.J., 1977. The accumulation of arsenic by the plaice and the thornback ray: Some preliminary observations. ICES, CM 1977/E:17, 9 sider.
- Sanders, J.G., 1979. The concentration and speciation of arsenic in marine macro-algae. *Estuarine and Coastal Marine Science.* 9:95-99.
- SFT, 1980. Inntak av bly, kadmium og kvikksølv fra næringsmidler. In SFT-rapport nr., 8/80, 38 sider.
- Schrenk, H.H., Schreibeis, L., 1958. Urinary arsenic levels as an index of industrial exposure. *Ind. Hyg. J.* 19:225-228.
- Statens ernæringsråd, 1987. Utvikling i norsk kosthold. Sammendrag av årsmelding for 1986. 20 sider.

## 10. Vedlegg A: Stasjonsbetegnelser

Vedlegg A. Stasjonsbetegnelser: Avstand indikerer km fra utslippssted.  
 ≈ betegner omtrentlig posisjoner/avstander.

Stasjon	Avstand km	Stasjon betegnelse	Posisjon	
			nord	øst
S1	0	Sloptank I	Koksverkanlegget	
S2	0	Sloptank II	"	
S3	0	Sloptank III	"	
K1	0	Kanal utenfor arsenutslipp	66,19.25	14,09.36
K2	0	Kanal utenfor forbrenningsutslipp	66,19.27	14,09.30
V1	2.2	Steinneset	66,19.6	14,06.3
V2	1.1	Gullsmedvika	66,19.3	14,07.7
V3	5.3	Hauknes	66,17.6	14,03.3
V4	9.2	Skjaanes	66,16.6	13,58.9
V5	10.3	Skjaanes-Bustnes	66,16.7	13,57.0
V6	11.0	Bustnes	66,16.9	13,55.4
V7	7.8	Alternesbukta	66,18.2	13,59.0
V8	1.5	Toranes	66,19.0	14,07.2
F1	≈19	Finneidfjorden	≈66,13.2	13,49.1
R1	1.6	Mjølan	66,19.83	13,09.00
R2	≈2.4	Steinneset	≈66,19.6	13,05.9
B2	1.9	Koksverkkaja	66,19.30	14,08.38
B5	1.7	Moholmen	66,18.72	14,07.62
B7	4.3	Raubergengenget	66,19.00	14,03.50
B8	6.0	Alterneset	66,18.38	13,59.98
B12	12.3	Bustneset/Kalvhagneset	66,16.60	13,54.83
B16	23.4	Laukhella	66,14.90	13,40.08
B18	27.1	Hemnesberget	66,13.42	13,36.40
SK	29.0	Skarpsundet	66,12.28	13,37.05
UT	≈30	Utskarpen	≈66,15.2	13,34.2
B14	46	Hinderåa	66,12.2	13,12.2
B17	73	Angerneset	66,04.1	12,40.1
D1	≈73	Gjesfjorden (Dønna)	≈66,10.5	12,32.0

11. Vedlegg B: Datamateriale

	analysenr.	medium:	delprøve:	parallell:	kvalitet:											Arsen (ppb)	
						sjøvann	ingen	ingen	0=ok, 1=tvilsom	dato	dyp(m)	urelevante				parallell	
						m.d	st.								I	II	
1	100001	302	S1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2900.00	-	
2	100000	302	S2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8000.00	-	
3	100000	302	S3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8000.00	-	
4	100000	301	K1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.20	-	
5	100001	301	K1	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1400.00	-	
6	100000	302	K2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.20	-	
7	100000	302	K1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	-	
8	100000	302	V1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	4.00	
9	100000	301	V2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61.00	70.00	
10	100000	301	V3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.00	11.00	
11	100000	301	V4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.00	14.00	
12	100000	301	V5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.00	14.00	
13	100000	301	V6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.00	20.00	
14	100000	301	V7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.00	17.00	
15	100000	301	V8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	6.00	
16	100000	305	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.90	-	
17	100000	305	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.00	-	
18	100000	305	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.70	-	
19	100000	305	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.10	-	
20	100000	305	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.50	-	
21	100000	305	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.70	-	
22	100000	308	V2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.10	-	
23	100000	308	V2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.20	-	
24	100000	303	B2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.50	43.20	
25	100000	303	B2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.40	9.20	
26	100000	304	B8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.30	7.80	
27	100000	304	B12	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.00	9.40	
28	100000	304	B16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.20	9.90	
29	100000	307	B18	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.30	2.50	
30	100000	310	B2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	4.00	
31	100000	310	B2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	5.00	
32	100000	310	B2	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	5.00	
33	100000	310	B2	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	3.00	
34	100000	310	B2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	4.00	
35	100000	310	B5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.00	3.00	
36	100000	309	B8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	3.00	
37	100000	309	B16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.00	3.00	
38	100000	309	SK	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	3.00	



analysenr.  
 medium: sjøvann  
 delprøve: ingen  
 parallell: ingen  
 kvalitet: 0=ok, 1=tvilsom

	dato	m.d	dyp(m)	st.	urelevante					Arsen (ppb) parallell	
					I	II					
39	100000	315	B2	0	-	-	-	-	-	3.00	3.00
40	100000	315	B2	10	-	-	-	-	-	3.00	3.00
41	100000	315	B2	20	-	-	-	-	-	3.00	3.00
42	100000	315	B2	30	-	-	-	-	-	3.00	3.00
43	100000	315	B2	40	-	-	-	-	-	3.00	3.00
44	100000	314	B2	0	-	-	-	-	-	3.00	3.00
45	100000	315	B5	0	-	-	-	-	-	5.00	8.00
46	100000	318	B8	0	-	-	-	-	-	5.00	3.00
47	100000	318	SK	0	-	-	-	-	-	3.00	3.00
48	100000	324	V2	30	-	-	-	-	-	3.00	5.00
49	100000	325	B8	25	-	-	-	-	-	4.00	4.00
50	100000	328	B12	35	-	-	-	-	-	4.00	3.00
51	100000	318	B16	38	-	-	-	-	-	3.00	3.00
52	100000	318	B14	32	-	-	-	-	-	5.00	7.00
53	100000	318	B17	33	-	-	-	-	-	3.00	3.00
54	100000	321	D1	0	-	-	-	-	-	3.00	3.00
55	100000	407	B2	0	-	-	-	-	-	3.00	-
56	100000	408	B5	0	-	-	-	-	-	3.00	-
57	100000	408	B8	0	-	-	-	-	-	3.00	-
58	100000	408	B16	0	-	-	-	-	-	3.00	-
59	100000	408	SK	0	-	-	-	-	-	3.00	-
60	100000	408	D1	0	-	-	-	-	-	3.00	-
61	100000	506	B2	0	-	-	-	-	-	2.00	2.00
62	100000	506	B5	0	-	-	-	-	-	2.00	2.00
63	100000	507	B8	0	-	-	-	-	-	2.00	2.00
64	100000	507	B16	0	-	-	-	-	-	2.00	2.00
65	100000	507	SK	0	-	-	-	-	-	2.00	2.00

analysenr.  
 medium: sediment  
 delprøve: 10=0-1cm, 12=1-2cm  
 parallell: antall  
 kvalitet: 0=ok, 1=tvilsom

	dato	m.d	dyp(m)	st.	urelevante	% under	63 $\mu$	Arsen	
								I	II
66	200011	318	B2	≈4	-	-	-	34.00	45.00
67	200021	318	B2	≈4	-	-	-	17.00	15.00
68	201010	324	V2	30	-	-	79.21	31.60	28.90
69	201210	324	V2	30	-	-	80.34	27.80	23.20
70	201010	325	B8	25	-	-	67.27	20.60	28.10
71	201210	325	B8	25	-	-	69.85	16.80	15.50
72	201010	328	B12	35	-	-	44.77	29.60	29.50
73	201210	328	B12	35	-	-	40.39	30.40	29.30
74	201010	318	B16	38	-	-	5.28	14.70	18.40
75	201210	318	B16	38	-	-	4.28	15.60	17.90
76	201010	318	B14	32	-	-	14.74	16.00	16.90
77	201210	318	B14	32	-	-	7.50	13.50	13.70
78	201010	318	B17	33	-	-	1.10	6.60	6.60
79	201210	318	B17	33	-	-	2.14	6.10	9.10
80	201020	324	V2	30	-	-	85.43	35.00	30.50
81	201220	324	V2	30	-	-	85.64	30.60	25.70
82	201020	325	B8	25	-	-	68.41	28.00	27.40
83	201220	325	B8	25	-	-	39.23	15.90	19.10
84	201020	328	B12	35	-	-	35.40	24.70	26.60
85	201220	328	B12	35	-	-	33.00	25.20	26.00
86	201020	318	B16	38	-	-	6.15	12.30	15.10
87	201220	318	B16	38	-	-	4.69	7.70	13.70
88	201020	318	B14	32	-	-	19.61	15.30	13.50
89	201220	318	B14	32	-	-	3.27	9.00	10.20
90	201020	318	B17	33	-	-	0.89	3.60	3.20
91	201220	318	B17	33	-	-	1.11	6.80	6.40

analysenr.  
 medium: 30=grisetang 35=blæretang  
 delprøve: 00=hele planten 07=åretsveksts 08=1-2årsvekst  
 parallell: ingen  
 kvalitet: 0=ok, 1=tvilsom

	dato	dyp(m)		urelevante	tørrstoff			Arsen ppm t.v. parallell			
		m.d	st.		----	---	%	---	I	II	
92	300000	304	B16	≈10	-	-	-	32.00	-	55.00	60.00
93	300000	307	B18	-	-	-	-	27.00	-	44.00	43.00
94	300000	310	B5	≈10	-	-	-	23.60	-	56.00	56.00
95	300000	309	B8	≈10	-	-	-	27.20	-	55.00	62.00
96	300000	309	B16	≈10	-	-	-	29.00	-	57.00	55.00
97	300000	309	SK	≈10	-	-	-	24.70	-	43.00	41.00
98	300000	315	B5	≈10	-	-	-	29.00	-	75.00	68.00
99	300000	318	B8	≈10	-	-	-	27.10	-	64.00	59.00
100	300000	318	B16	≈10	-	-	-	27.60	-	53.00	50.00
101	300000	318	SK	≈10	-	-	-	22.60	-	64.00	64.00
102	300700	408	B5	≈10	-	-	-	28.50	-	47.00	41.00
103	300800	408	B5	≈10	-	-	-	38.50	-	46.00	45.00
104	300700	408	B8	≈10	-	-	-	23.90	-	56.00	67.00
105	300800	408	B8	≈10	-	-	-	26.70	-	26.00	34.00
106	300700	408	B16	≈10	-	-	-	26.50	-	41.00	41.00
107	300800	408	B16	≈10	-	-	-	25.00	-	33.00	32.00
108	300700	408	SK	≈10	-	-	-	20.20	-	38.00	43.00
109	300800	408	SK	≈10	-	-	-	20.20	-	31.00	31.00
110	300700	506	B5	≈10	-	-	-	19.40	-	64.00	73.00
111	300800	506	B5	≈10	-	-	-	22.70	-	48.00	42.00
112	300700	507	B8	≈10	-	-	-	20.30	-	49.00	48.00
113	300800	507	B8	≈10	-	-	-	24.70	-	45.00	44.00
114	300700	507	B16	≈10	-	-	-	19.80	-	51.00	50.00
115	300800	507	B16	≈10	-	-	-	21.90	-	47.00	43.00
116	300700	507	SK	≈10	-	-	-	20.10	-	58.00	56.00
117	300800	507	SK	≈10	-	-	-	18.90	-	44.00	39.00
118	350000	304	B8	≈10	-	-	-	37.00	-	71.00	86.00
119	350000	304	B12	≈10	-	-	-	30.00	-	70.00	67.00
120	350000	310	B5	≈10	-	-	-	19.80	-	73.00	70.00
121	350000	309	B8	≈10	-	-	-	27.90	-	85.00	84.00
122	350000	309	B16	≈10	-	-	-	23.00	-	44.00	45.00
123	350000	318	B8	≈10	-	-	-	26.10	-	107.00	91.00
124	350000	318	B16	≈10	-	-	-	31.20	-	80.00	76.00
125	350000	318	SK	≈10	-	-	-	24.40	-	74.00	67.00
126	350000	408	B8	≈10	-	-	-	21.70	-	42.00	62.00
127	350000	408	B16	≈10	-	-	-	23.40	-	40.00	38.00
128	350000	408	SK	≈10	-	-	-	23.30	-	63.00	64.00
129	350000	506	B8	≈10	-	-	-	20.60	-	47.00	46.00
130	350000	507	B16	≈10	-	-	-	24.20	-	43.00	60.00
131	350000	507	SK	≈10	-	-	-	20.80	-	73.00	53.00

analysenr.  
 medium: blåskjell  
 delprøve: 00=bløtdelene  
 parallell: antall  
 kvalitet: 0=ok, 1=tvilsom

analysenr.	medium	delprøve	parallell	kvalitet	antall		skall		tørrstoff		Arsen	
					dato	dyp(m)	skall	(g)	bløtdel	%	fett	ppm v.v.
m.d	st.	(mm)	(g)	(g)	%	%	I	II				
132	400000	303	B2	≈4	45	59.1	240.8	157.4	16.00	1.80	4.60	3.90
133	400000	304	B8	≈2	52	55.3	345.1	137.8	15.90	2.30	3.20	3.70
134	400000	304	B12	≈2	15	68.7	293.4	197.2	18.30	1.50	2.60	2.40
135	400000	304	B16	≈3	19	38.6	44.3	35.1	17.80	1.50	3.70	2.90
136	400000	307	B18	≈2	43	35.3	94.3	110.9	18.90	2.30	1.90	1.60
137	400000	310	B2	≈4	48	53.1	151.9	108.7	12.30	-	1.60	1.60
138	400010	310	B5	≈3	36	42.2	78.1	45.5	12.80	-	1.20	1.00
139	400020	310	B5	≈3	14	65.9	173.9	74.4	12.50	-	2.10	2.10
140	400000	309	B8	4	50	56.9	245.0	135.3	12.40	-	1.40	1.50
141	400000	309	B16	2	50	40.6	108.4	78.0	14.00	-	1.80	1.70
142	400000	309	B18	≈2	47	36.9	69.8	60.4	16.90	-	1.70	1.70
143	400000	315	B2	4	50	53.7	179.1	106.0	12.90	-	2.00	2.00
144	400000	315	B5	3	50	52.5	235.2	116.8	12.40	-	2.50	3.00
145	400000	318	B8	≈4	50	59.7	397.1	176.3	12.70	-	1.80	1.80
146	400000	318	B16	3	50	32.7	57.5	34.2	13.30	-	2.40	2.40
147	400000	318	SK	≈3	50	29.0	31.2	23.6	15.30	-	2.70	2.30
148	400000	321	D1	3	50	28.6	39.1	32.4	16.20	-	2.80	2.70
149	400000	407	B2	6	50	53.8	200.8	132.7	12.60	13.40	2.41	2.31
150	400000	408	B5	3	50	41.7	101.3	117.8	11.70	7.90	1.97	1.95
151	400000	408	B8	≈4	50	55.3	321.5	56.5	11.80	7.40	2.27	2.23
152	400000	408	B16	≈2	50	31.1	43.8	36.2	15.70	6.40	2.73	2.88
153	400010	408	SK	2	46	32.7	42.2	40.9	13.00	5.30	1.94	2.02
154	400020	408	SK	2	20	65.0	193.7	149.8	14.80	7.80	2.15	1.96
155	400000	412	D1	3	51	33.9	81.5	132.7	18.30	9.00	2.28	2.37
156	400000	506	B2	≈6	49	59.5	259.2	165.4	12.80	8.60	2.50	2.40
157	400000	506	B5	≈3	49	43.8	104.1	73.9	14.40	8.30	2.20	2.40
158	400000	507	B8	≈4	50	54.7	294.5	146.2	14.60	9.50	2.30	2.80
159	400000	507	B16	≈2	50	34.2	62.6	56.4	21.00	13.30	3.40	3.00
160	400020	507	SK	≈2	11	60.4	59.2	63.2	16.70	8.20	2.90	3.30
161	400010	507	SK	≈2	28	81.9	634.9	363.7	16.60	10.20	1.90	2.20

analysenr.  
 medium: 45=o-skjell 50=krill  
 delprøve: 00=bløtdelene  
 parallell: antall  
 kvalitet: 0=ok, 1=tvilso  
 antall  
 dato dyp(m) skall tørrstoff  
 m.d st. (mm) (g) bløtdel % fett  
 Arsen  
 ppm v.v.  
 parallell  
 I II

162	450000	304	B16	17	5	131.6	870.8	176.9	15.60	0.50	4.70	4.30	
163	450000	310	B5	17	5	131.0	531.8	334.8	12.30	-	1.10	1.70	
164	450000	309	B16	17	5	122.2	486.9	207.3	16.60	-	2.60	2.60	
165	450000	309	SK	15	5	130.8	627.2	282.5	19.20	-	2.30	1.90	
166	450000	315	B5	17	4	130.0	433.4	163.6	14.80	-	2.80	1.90	
167	450000	318	B16	25	5	122.4	543.3	164.4	15.10	-	3.90	3.30	
168	450000	318	SK	12	5	129.8	442.3	259.1	17.50	-	2.80	1.90	
169	450000	408	B5	15	5	122.2	415.2	206.6	16.00	7.80	2.59	2.74	
170	450000	408	B16	15	5	120.2	411.9	266.4	16.30	6.80	3.08	3.41	
171	450000	408	SK	7	5	144.8	501.9	374.3	18.30	8.70	2.84	1.96	
172	450000	506	B5	≈15	5	95.2	180.2	139.4	19.20	8.60	3.70	4.00	
173	450000	507	B16	≈15	5	113.2	310.4	209.5	17.50	7.80	2.70	3.20	
174	450000	507	SK	≈7	5	128.6	415.3	286.3	19.70	8.30	2.40	2.10	
175	500011	229	R1	-	-	-	-	-	16.90	2.00	0.90	0.70	
176	500021	229	R1	-	-	-	-	-	18.00	2.40	1.00	1.40	
177	500001	301	R2	-	-	-	-	-	19.30	1.40	4.40	-	

analysenr.  
 medium: 60=torsk 65=sei 70=skrubbe  
 delprøve: 01=filet 02=lever  
 parallell: antall  
 kvalitet: 0=ok, 1=tvilsom

	dato	m.d	dyp(m)	st.	antall	lengde	(mm)	vekt	(g)	tørrstoff		Arsen	
										lever	%	fett	%
									(g)			I	II
178	600111	301	F1	-	1	-	-	-	-	19.20	0.30	1.50	1.40
179	600120	306	UT	-	1	-	-	-	-	19.10	0.60	1.10	0.70
180	600220	306	UT	-	1	-	-	-	-	71.40	59.80	1.30	1.20
181	600100	617	UT	-	1	500.0	978.0	-	-	19.00	-	1.05	1.13
182	600100	617	UT	-	1	560.0	1995.0	-	-	18.00	-	23.00	18.00
183	600100	617	UT	-	1	580.0	1938.0	-	-	18.00	-	4.00	3.60
184	600100	617	UT	-	1	525.0	1087.0	-	-	16.00	-	1.20	0.72
185	600100	617	UT	-	1	635.0	2152.0	-	-	18.00	-	22.00	21.00
186	600200	617	UT	-	1	500.0	978.0	22.3	47.80	-	-	6.40	8.90
187	600200	617	UT	-	1	560.0	1995.0	9.6	79.60	-	-	110.00	132.00
188	600200	617	UT	-	1	580.0	1938.0	17.9	20.00	-	-	5.50	5.90
189	600200	617	UT	-	1	525.0	1087.0	41.4	13.40	-	-	7.70	10.10
190	600200	617	UT	-	1	635.0	2152.0	39.0	18.60	-	-	135.00	122.00
191	600100	617	R2	-	1	460.0	895.0	-	18.50	-	-	1.70	1.40
192	600100	617	R2	-	1	350.0	400.0	-	18.90	-	-	3.70	3.70
193	600100	617	R2	-	1	365.0	398.0	-	20.00	-	-	4.60	4.90
194	600100	617	R2	-	1	300.0	282.0	-	13.40	-	-	2.50	2.90
195	600100	617	R2	-	1	300.0	238.0	-	18.60	-	-	1.80	2.30
196	600200	617	R2	-	1	460.0	895.0	14.5	47.80	-	-	6.50	-
197	600200	617	R2	-	1	350.0	400.0	4.1	79.60	-	-	6.60	-
198	600200	617	R2	-	1	365.0	398.0	1.7	74.40	-	-	9.50	-
199	600200	617	R2	-	1	300.0	282.0	2.5	35.20	-	-	18.70	-
200	600200	617	R2	-	1	300.0	238.0	1.2	58.60	-	-	9.20	-
201	650110	304	B7	2	1	470.0	1000.0	-	20.20	0.20	-	9.00	10.40
202	650120	304	B7	2	1	560.0	1694.0	-	20.90	0.10	-	11.50	14.50
203	650130	304	B7	2	1	480.0	1274.0	-	22.60	0.20	-	14.70	14.90
204	650210	304	B7	2	1	470.0	1000.0	35.4	71.60	55.80	-	13.40	14.00
205	650220	304	B7	2	1	560.0	1694.0	49.9	65.70	49.70	-	41.70	41.70
206	650230	304	B7	2	1	480.0	1274.0	39.4	69.90	58.30	-	9.40	9.90
207	700100	603	R2	-	1	285.0	248.0	-	16.90	-	-	5.60	6.20
208	700100	603	R2	-	1	205.0	91.0	-	22.60	-	-	1.30	1.60
209	700100	603	R2	-	1	315.0	345.0	-	18.30	-	-	2.10	2.30
210	700100	701	R2	-	1	295.0	275.0	-	15.50	-	-	3.60	3.20
211	700100	701	R2	-	1	295.0	296.0	-	26.20	-	-	0.30	0.20
212	700200	603	R2	-	1	285.0	248.0	14.5	70.80	-	-	17.90	-
213	700200	603	R2	-	1	205.0	91.0	4.1	15.40	-	-	15.10	-
214	700200	603	R2	-	1	315.0	345.0	1.7	27.90	-	-	9.60	-
215	700200	701	R2	-	1	295.0	275.0	2.5	30.10	-	-	5.50	-
216	700200	701	R2	-	1	295.0	296.0	1.2	46.00	-	-	0.10	-

**12. Vedlegg C: Variansanalyse**

Tabell C. Varians analyse for vurdering effekten av sted, tid, dybde i sediment og vevs alder (grisetang) på arseninnhold i sjøvann, sediment og biologisk materiale etter arsenutslippet fant sted.

## MODELL VARIABLER

$y$  = log (miljøgift)  
 $\mu$  = statistisk feil kilde  
 $T$  = tidsinterval  
 $A$  = stedsinterval  
 $D$  = dypdeinterval (sediment)  
 $V$  = vekstinterval (grisetang)  
 $T*A$  = tid-sted interaksjon  
 $A*D$  = sted-dyp interaksjon  
 $T*V$  = tid-vekst interaksjon  
 $df$  = frihetsgrader  
 $RSS$  = residuale kvadrat sum  
 $sign.$  = statistisk signifikansnivå:  
      $ns$  = ikke signifikant  
      $***$  =  $p < 0.001$

## VARIANS KILDER

$a$  1-2 = tid  
 $b$  3-4 = tid justert for sted, eller for sediment  
     sted justert for dyp, eller for grisetang  
     tid justert for vekst  
 $c$  1-3 = sted  
 $d$  2-4 = sted justert for tid, eller for sediment  
     dyp justert for sted, eller for grisetang  
     vekst juster for tid  
 $e$  4-5 = tid-sted, sted dyp, eller tid-vekst interaksjon  
 $f$  5 = rest feil kilde  
 $\Sigma$  =  $a + d + e + f$   
     =  $b + c + e + f$   
     = RSS fra modell 1

modell	df	RSS	varians kilde		RSS	F-verdi	sign.
			df	RSS			
sjøvann							
1 $y = \mu$	24	4.9703	1-2	4	4.2562		
2 $y = \mu + T$	20	0.7141	3-4	4	2.9066	14.443	**
			1-3	4	1.5026		
3 $y = \mu + A$	20	3.4677	2-4	4	0.1530	0.760	ns
4 $y = \mu + T + A$	16	0.5611	4-5	8	0.1586	0.394	ns
5 $y = \mu + T + A + T*A$	8	0.4025	5	8	0.4025		
			$\Sigma$	24	4.9703		

Tabell C (forts.)

modell	df	RSS	varians			F-verdi	sign.
			kilde	df	RSS		
=====							
sediment							
1 $y = \mu$	23	8.1548	1-2	1	0.0611		
2 $y = \mu+D$	22	8.0937	3-4	1	0.0610	1.594	ns
			1-3	5	7.2163		
3 $y = \mu+A$	18	0.9385	2-4	5	7.2162	37.724	***
4 $y = \mu+D+A$	17	0.8775	4-5	5	0.4184	2.187	ns
5 $y = \mu+D+A+D*A$	12	0.4591	5	12	0.4591		
			$\Sigma$	23	8.1548		
grisetang (hele planten eller 1-2årsvekst)							
1 $y = \mu$	17	1.0537	1-2	4	0.7833		
2 $y = \mu+T$	13	0.2704	3-4	4	0.8176	13.221	*
			1-3	2	0.0797		
3 $y = \mu+A$	15	0.9740	2-4	2	0.1140	3.687	ns
4 $y = \mu+T+A$	11	0.1564	4-5	6	0.0791	0.853	ns
5 $y = \mu+T+A+T*A$	5	0.0773	5	5	0.0773		
			$\Sigma$	17	1.0537		
grisetang (åretsvekst og 1-2årsvekst) - tid og sted som variabler							
1 $y = \mu$	15	0.7814	1-2	1	0.1927		
2 $y = \mu+T$	14	0.5887	3-4	1	0.1926	4.0874	ns
			1-3	2	0.0872		
3 $y = \mu+A$	13	0.6942	2-4	2	0.0871	0.9242	ns
4 $y = \mu+T+A$	12	0.5016	4-5	2	0.0304	0.3226	ns
5 $y = \mu+T+A+T*A$	10	0.4712	5	10	0.4712		
			$\Sigma$	15	0.7814		
grisetang (åretsvekst og 1-2årsvekst) - tid og vekst som variabler							
1 $y = \mu$	15	0.7814	1-2	1	0.1927		
2 $y = \mu+T$	14	0.5887	3-4	1	0.1926	7.6202	*
			1-3	2	0.2817		
3 $y = \mu+V$	14	0.4997	2-4	2	0.2816	5.5707	*
4 $y = \mu+T+V$	13	0.3071	4-5	2	0.0038	0.0752	ns
5 $y = \mu+T+V+T*V$	12	0.3033	5	12	0.3033		
			$\Sigma$	15	0.7814		



Tabell C (forts.)

modell	df	RSS	varians			F-verdi	sign.
			kilde	df	RSS		
=====							
blæretang							
1 $y = \mu$	13	0.9407	1-2	4	0.4814		
2 $y = \mu+T$	9	0.4593	3-4	4	0.4367	2.271	ns
			1-3	3	0.1361		
3 $y = \mu+A$	10	0.8046	2-4	3	0.0914	0.634	ns
4 $y = \mu+T+A$	6	0.3679	4-5	3	0.2237	1.551	ns
5 $y = \mu+T+A+T*A$	3	0.1442	5	3	0.1442		
			$\Sigma$	13	0.9407		
blåskjell							
1 $y = \mu$	29	2.2887	1-2	4	1.5075		
2 $y = \mu+T$	25	0.7812	3-4	4	1.6270	10.194	***
			1-3	4	0.0651		
3 $y = \mu+A$	25	2.2236	2-4	4	0.1846	1.157	ns
4 $y = \mu+T+A$	21	0.5966	4-5	9	0.1178	0.328	ns
5 $y = \mu+T+A+T*A$	12	0.4788	5	12	0.4788		
			$\Sigma$	29	2.2887		
o-skjell							
1 $y = \mu$	12	1.0921	1-2	4	0.5819		
2 $y = \mu+T$	8	0.5102	3-4	4	0.5411	2.761	ns
			1-3	1	0.0636		
3 $y = \mu+A$	11	1.0285	2-4	1	0.0228	0.465	ns
4 $y = \mu+T+A$	7	0.4874	4-5	3	0.2914	1.982	ns
5 $y = \mu+T+A+T*A$	4	0.1960	5	4	0.1960		
			$\Sigma$	12	1.0921		