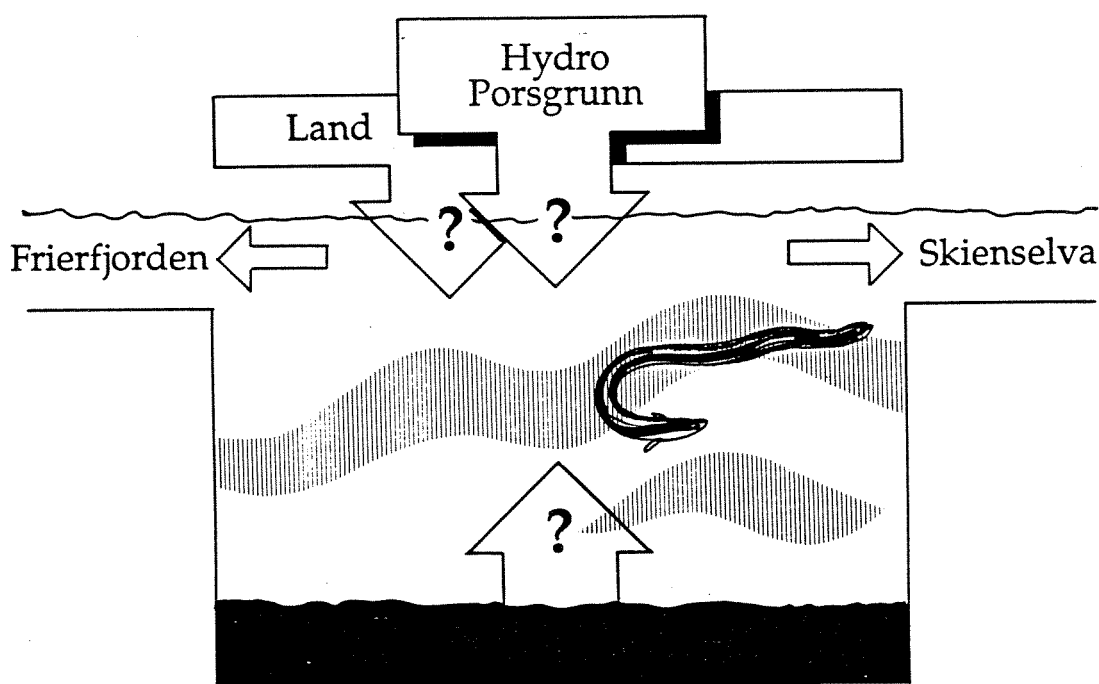


Miljøgifter i Gunnekleivfjorden

Delrapport 1:
Konsentrasjon og mengde av miljøgifter i sedimentene



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

Prosjektnr.: O-8806801
Undernummer:
Løpenummer: 2192
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Miljøgifter i Gunnekleivfjorden. Delrapport 1 : Konsentrasjon og mengde av miljøgifter i sedimentene.	Dato: 25.01.89
	Prosjektnummer: O-8806801
Forfatter (e): Kristoffer Næs	Faggruppe: Mar.øk.
	Geografisk område: Telemark
	Antall sider (inkl. bilag): 76
Oppdragsgiver: Hydro Porsgrunn.	Oppdragsg. ref. (evt. NTF-nr.):

Ekstrakt: Det er tatt prøver fra 31 lokaliteter i fjorden. De øvre lag av fjordbunnen er sterkt preget av industriavfall. Utfra en gjennomsnittsverdi for hele datamaterialet var konsentrasjonene av kvikksølv, pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekaloribifenyl henholdsvis 1000, 3000, 13000, 5000 og 7000 ganger høyere enn "normalt". Totalt er det lagret ca. 25 tonn kvikksølv, ca. 500 kg pentaklorbenzen, ca. 1900 kg heksaklorbenzen, ca. 600 kg oktaklorstyren og ca. 900 kg dekaloribifenyl i sedimentene. Det ble påvist metylkvikksølv i alle prøvene hvor dette ble analysert. Dioksinkonsentrasjonene var i samme område til 3 ganger det som er påvist for Frierfjorden regnet som 2,3,7,8 TCDD ekv.

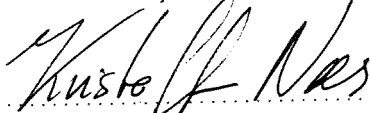
4 emneord, norske:

1. Gunnekleivfjorden
2. Sedimenter
3. Kvikksølv
4. Klororganiske forbindelser

4 emneord, engelske:

1. Gunnekleivfjord
2. Sediments
3. Mercury
4. Organochlorines

Prosjektleder:


Kristoffer Næs

For administrasjonen:


Tor Bokn

ISBN - 82-577-1482-8

O-88068

Miljøgifter i Gunnekleivfjorden

Delrapport 1: Konsentrasjon og mengde av miljøgifter i
sedimentene

Grimstad, 25. januar 1989

Prosjektleder: Kristoffer Næs

Medarbeidere: Jens Skei

Unni Efraimsen

Lasse Berglind

Rolf Høgberget

Bente Lauritzen

Tom Tellefsen

FORORD

I forbindelse med nedleggningen av Hydro Porsgrunns klorfabrikk på Herøya ble bedriften pålagt av SFT å sørge for gjennomføring av "oppdatert og utvidet kartlegging (kvantifisering) av kvikksølv og andre miljøgifter i sedimentene i Gunnekleivfjorden, samt undersøkelse av hvor mye av disse stoffene som tilføres Frierfjorden". Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fikk i oppdrag av Hydro Porsgrunn å utarbeide programforslag. Programmet ble oversendt i mars 1988 og oppdraget ble igangsatt i mai 1988.

Prosjektet er delt i 4 delprosjekter :

- (I) Kartlegging av miljøgifter i sedimentene i Gunnekleivfjorden. (Konsentrasjon og mengde).
- (II) Kartlegging av miljøgifter i vannmassene i Gunnekleivfjorden og transport ut av kanalene.
- (III) Opptak av miljøgifter i fisk i Gunnekleivfjorden.
- (IV) Utlekkingsforsøk med sedimenter fra Gunnekleivfjorden. Eksperimentelt arbeid ved NIVA's marine forskningsstasjon - Solbergstrand.

De forskjellige delprosjekt er rapportert for seg, men en oppsummering av hele prosjektet vil bli gitt i et eget dokument.

Prosjektet har vært organisert på følgende måte :

Delprosjekt 01. Sedimenter.	Prosjektleder: Kristoffer Næs
Delprosjekt 02. Vann.	Prosjektleder: Jarle Molvær
Delprosjekt 03. Fisk.	Prosjektleder: John Arthur Berge
Delprosjekt 04. Solbergstrand.	Prosjektleder: Jens Skei.

Jens Skei har dessuten fungert som koordinator for alle

prosjektene. Norsk Hydro A/S's kontaktperson har vært Trond Gulbrandsen.

I forbindelse med delprosjekt I - Kartlegging av miljøgifter i sedimentene har følgende eksterne personer og institusjoner vært involvert:

- Bjørnar Kvalvik, Grenland Miljø- og Resipientsservice
- Bengt Westøø, Institutet för vatten- og luftvårdsforskning (IVL), Stockholm
- Michael Oehme, NILU

Alle takkes for sin innsats.

Grimstad, 25. januar 1989
Kristoffer Næs
Prosjektleder

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	
1. Formål og konklusjoner	6
1.1. Formål	6
1.2. Konklusjoner	6
2. Innledning	8
2.1. Generell bakgrunn	8
2.2. Målsetting	10
2.3. Forurensningstilførsler til Gunnekleivfjorden	10
3. Materiale og metoder	14
4. Resultater og diskusjon	17
4.1. Generell beskrivelse - tørrstoffinnhold, innhold av organisk karbon, nitrogen og syreløslig sulfid i sedimentene	17
4.2. Innhold av kadmium i sedimentene	21
4.3. Innhold av kvikksølv i sedimentene	23
4.3.1. Total kvikksølv	23
4.3.2. Metylkvikksølv	33
4.4. Innhold av klororganiske forbindelser i sedimentet	36
4.4.1. Pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekaklorbifenyl	36
4.4.2. Totalt organisk bundet klor i sedimentene	45
4.4.3. Innhold av dioksin i sedimentene	46
4.5. Innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner i sedimentene	48
5. Referanser	49

6. Vedlegg	54
6.1. Vedleggsfigurer	55
6.2. Beregning av total mengde kvikksølv, pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekaklorbifenyl lagret i sedimentene	66
6.2.1. Beregninger av mengde lagret i overflatesedimentene (0-5 cm)	66
6.2.2. Beregning av mengde totalt lagret i sedimentene	67
6.3. Rådata.	69
6.3.1. Konsentrasjon av karbon, nitrogen, metylkvikksølv, pentaklorbenzen (5-CB), heksaklorbenzen (HCB), oktaklorstyren (OCS), dekaklorbifenyl (10-CB) i sedimentene	69
6.3.2. Konsentrasjon av PAH i overflate- sedimentene (0-5 cm)	73
6.3.3. Konsentrasjon av polykloreerte dibenzo- furaner (PCDF) og -dioksiner (PCDD)	74

1. FORMÅL OG KONKLUSJONER

1.1. Formål.

Denne rapporten om bunnsedimentene i Gunnekleivfjorden er en delrapport som inngår i en kartlegging av miljøgifter i Gunnekleivfjorden. Undersøkelsen av bunnsedimentene har hatt som formål:

Å beskrive forurensningsgraden av utvalgte miljøgifter i fjordsedimentene. Videre var hensikten å beregne mengden av kvikksølv, pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekalororbifenyl som er lagret i bunnsedimentene.

1.2. Konklusjoner.

Konklusjonene fra undersøkelsen er:

- Naturlige bunnsedimenter ble ikke funnet på noen av prøvetakingsstedene (31 stk.). Hele fjorden er sterkt preget av industriavfall. Tykkelsen av det forurensede laget varierer fra 30-40 cm i søndre del av fjorden, 50-60 cm i sentrale og nordre deler til anslagsvis 1-2 meter nær utslippet.
- Konsentrasjonene av kvikksølv, pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekalororbifenyl var svært høye. Ut fra en gjennomsnittsverdi for hele datamaterialet er konsentrasjonene henholdsvis ca. 1000, 3000, 13000, 5000 og 7000 ganger høyere enn normalt for uforurensede sedimenter. Konsentrasjonene av kvikksølv har klart avtatt i de seinere årene. Konsentrasjonene av de klororganiske forbindelsene var imidlertid høyest i de øvre 5 cm av sedimentet. Det skyldes at sedimentasjonen i fjorden de siste 10 årene har vært såpass liten i forhold til tidsoppløsningen i prøvetakingen, at reduksjonen i klororganiske utslipp ikke er registrert i sedimentene i denne undersøkelsen.
- Det ble påvist metylkvikksølv i alle prøvene hvor dette ble analysert (de øvre 5 cm av sedimentet). Konsentrasjonene var

relativt høye, opp til 90 ng/g. Dette er biologisk metylert kvikksølv og ikke fra selve prosessen.

-Det var høye konsentrasjoner av dioksin i overflatesedimentet. Konsentrasjonene varierte fra samme nivå som er funnet i Frierfjorden til ca. 3 ganger dette regnet som 2,3,7,8 TCDD-ekvivalenter. Det var store forskjeller i isomermønsteret mellom stasjonene. Prøvetakingen var orienterende og ikke tilstrekkelig til å tilfredsstillende beskrive dioksinfordelingen.

-Konsentrasjonene av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) var 50-100 ganger høyere enn normalt. Påvirkningen kan også delvis skyldes Elkem PEA.

-Det var relativt lave konsentrasjoner av kadmium i overflatesedimentene, opptil ca. 15 ganger normalt.

-Analysene av totalt organisk bundet klor viser at kun ca. 1 % av klormengden i sedimentene utgjøres av pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekaklorbifenyl tilsammen. Klorering av naturlig organisk materiale fra et tidligere hypoklorittutslipp (stoppet i 1981) kan forklare noe av denne store differansen.

-Beregninger viser at det anslagsvis er lagret 20-30 tonn kvikksølv, ca. 500 kg pentaklorbenzen, ca. 1900 kg heksaklorbenzen, ca. 600 kg oktaklorstyren og ca. 900 kg dekaklorbifenyl i sedimentene i Gunnekleivfjorden.

-I dagens Gunnekleiv finner vi igjen 30-40 % av de totale utslippene til fjorden. Tas det i betraktning at deler av dagens Herøya var tidligere fjordbunn, antas det at 50-70 % av tilførslene til fjorden finnes igjen i området.

2. INNLEDNING

2.1. Generell bakgrunn.

40 års produksjon av klor og magnesium på Herøya har skapt et forurensningsproblem i fjordene i Grenlandsområdet. Undersøkelser gjennomført fra begynnelsen av 1970-tallet har bekreftet at industriutslipp fra Norsk Hydro (Hydro Porsgrunn) har ført til forhøyede nivåer av kvikksølv og klororganiske forbindelser i vann, sedimenter og biologisk materiale (Molvær et al., 1979). En konsekvens av dette er at Helsedirektoratet har frarådet konsum av blåskjell fra hele Porsgrunn - Langesundsområdet. Høyt innhold av klorerte hydrokarboner i ål og lever fra annen fisk i Frierfjorden har også resultert i fraråding av konsum. Likeså er det anbefalt begrensninger i konsum av fiskefilet fra Frierfjorden på grunn av høyt kvikksølvinnhold (Gulbrandsen et al., 1987).

I Miljøverndepartementets miljøpakke for Grenland er et av målene som er skissert:

- Innen år 2000 skal fisk og skalldyr fra Grenlandsfjorden kunne brukes som menneskeemat uten restriksjoner.

For å nå disse målene kreves en kraftinnsats for å få ned belastningen av miljøgifter. Utslippene av kvikksølv fra kloralkalifabrikken på Herøya til vann (Frierfjorden og Gunnekleivfjorden) var størst i første halvdel av 1960-årene (3-4 tonn/år). I tillegg ble kvikksølv i slam delvis kjørt på tipp og delvis deponert i Gunnekleivfjorden (filterslam, ca. 800 kg pr. år som HgS). En kraftig reduksjon skjedde på begynnelsen av 1970-tallet. Klorfabrikken ble nedlagt i 1988 og direkte utslipp som følge av kloralkaliproduksjon skal nå være eliminert. Totalt kan vi regne med et kvikksølvutslipp via kloakk og slam på ca. 80 tonn i produksjonsperioden til Gunnekleivfjorden.

Den andre store utslippskilden av miljøgifter er magnesiumfabrikken, med utslipp av en rekke klororganiske

forbindelser, inkludert dioksin. Utslippene har delvis gått til Frierfjorden og delvis til Gunnekleivfjorden. I 1986 var utslippene av heksaklorbenzen (HCB) beregnet til ca. 240 kg.

Til tross for utslippsreduksjonene av kvikksølv og klororganiske forbindelser, som i hovedsak skjedde for 12-15 år siden, er det fortsatt et for høyt forurensningsnivå i Grenlands-fjordene. Årsaken til dette må enten være at tiltakene har vært utilstrekkelige eller at diffuse tilførsler fra eldre deponier/avsetninger spiller en rolle, eventuelt en kombinasjon av begge. Gunnekleivfjorden har lenge vært i søkelyset som mulig kilde for forurensning av det utenforliggende fjordområdet. NIVA påpekte i sin sluttrapport for Frierfjordundersøkelsene fra 1975-78 at nivåene av kvikksølv i vann og biologisk materiale var høyere enn utslippene skulle tilsi (Molvær et al., 1979). Det ble antydnet at sedimentene kunne være en kilde for forurensning, spesielt ved oppvirvling og som følge av mudring og dypvannsutskiftning. Betydningen av deponier i Gunnekleivfjorden og Herøya-området ble også påpekt.

Generelt er kunnskapsnivået om miljøpåvirkning fra sedimenterte utslipp og deponier dårlig. Den potensielle forurensningsfaren som slike miljøgiftlagre representerer blir viktigere å få vurdert og skalert ettersom de primære utslippene reduseres eller elimineres på grunn av nedleggelse av gammel industri. Rundt omkring i den industrialiserte verden er det en rekke lokaliteter hvor nærområdet til kloralkalifabrikker er sterkt kvikksølvforurenset og hvor nå tiltak planlegges eller utføres (Loring and Brewers 1978, Nakanashi et al. 1987, Thompson et al. 1981). Felles for alle disse fabrikkene er at det er vanskelig å gjøre rede for kvikksølvbalansen. Problemet med oppvirvling av kvikksølvforurensete sedimenter og transport til presumptivt uforurensete områder påpekes også.

Problemene i Gunnekleivfjorden er nokså lik de som er beskrevet fra andre områder med kloralkali-industri, dvs. lagre av kvikksølv i grunnen nær fabrikkområdet og sterkt forurensete sedimenter i resipienten. Problemene knyttet til

magnesiumproduksjon og klorerte hydrokarboner derimot er nokså egenartede for Herøya. NIVA's oppgave i dette prosjektet har vært å kartlegge forurensningsnivå og mengde miljøgifter lagret i sedimentene i Gunnekleiv, transport av forurensninger ut av fjorden, miljøgiftenes biotilgjengelighet samt utlekkingsrater fra sedimentene. Tilsammen skal disse deloppgavene danne grunnlaget for vurderinger av behov for tiltak.

2.2. Målsetting.

Den spesifikke problemstillingen for dette delprosjektet har vært:

- I. Fastslå konsentrasjonene av utvalgte miljøgifter i overflatesedimentene. Disse sammenlignes med målinger utført for vel 10 år siden for å se utviklingen.

- II. Fastslå tykkelsen av de forurensede sedimentene og beregne den totale mengden av utvalgte miljøgifter som er lagret i sedimentene.

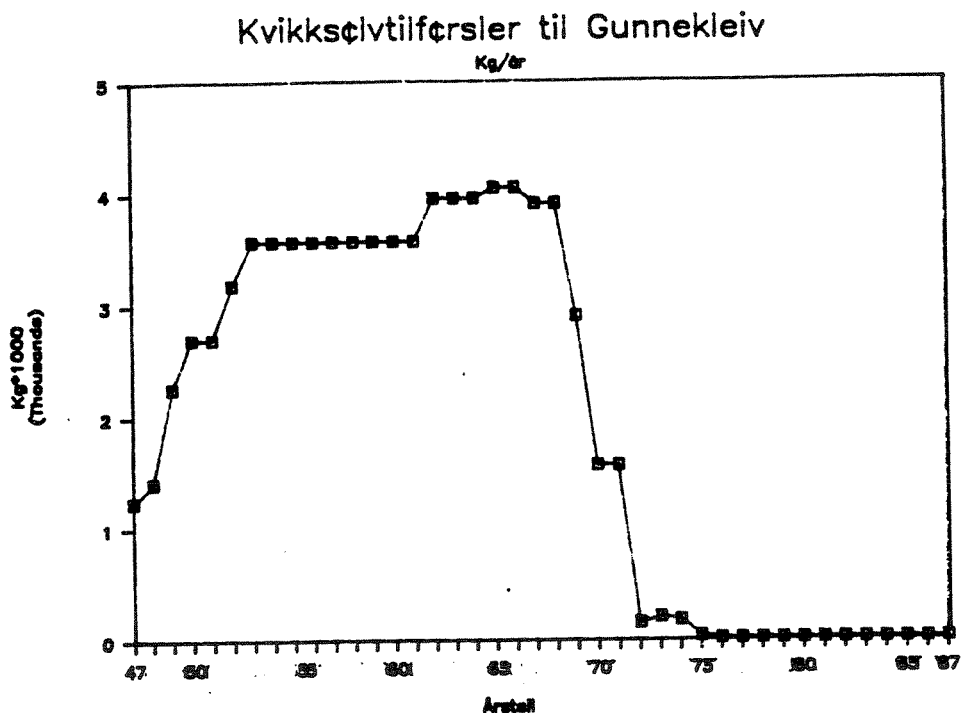
2.3. Forurensningstilførsler til Gunnekleivfjorden.

Dette kapitlet gir ikke en fullstendig oversikt over alle tilførslene til Gunnekleivfjorden, men er konsentret om det som er viktigst for dette delprosjektet. Det må også gjøres oppmerksom på at det har skjedd en mer eller mindre kontinuerlig utfylling av fjorden. I slutten av 1940-åra var for eksempel Gunnekleiv ca. vel en halv gang større enn den er idag. Dette har betydning når man skal jamnføre hva man finner igjen av miljøgifter i dagens Gunnekleiv med de totale tilførslene.

Basert på den massebalansen for kvikksølv som Norsk Hydro (ved K. Hagerup Nilsen 11.2.88) har gjennomført, er tilførslene av kvikksølv til Gunnekleiv gjennom årene vist i figur I-1.

Som det vil framgå av diskusjonen i rapporten, er trolig tilførslene ut fra massebalansen for perioden 1972-1976 for lave.

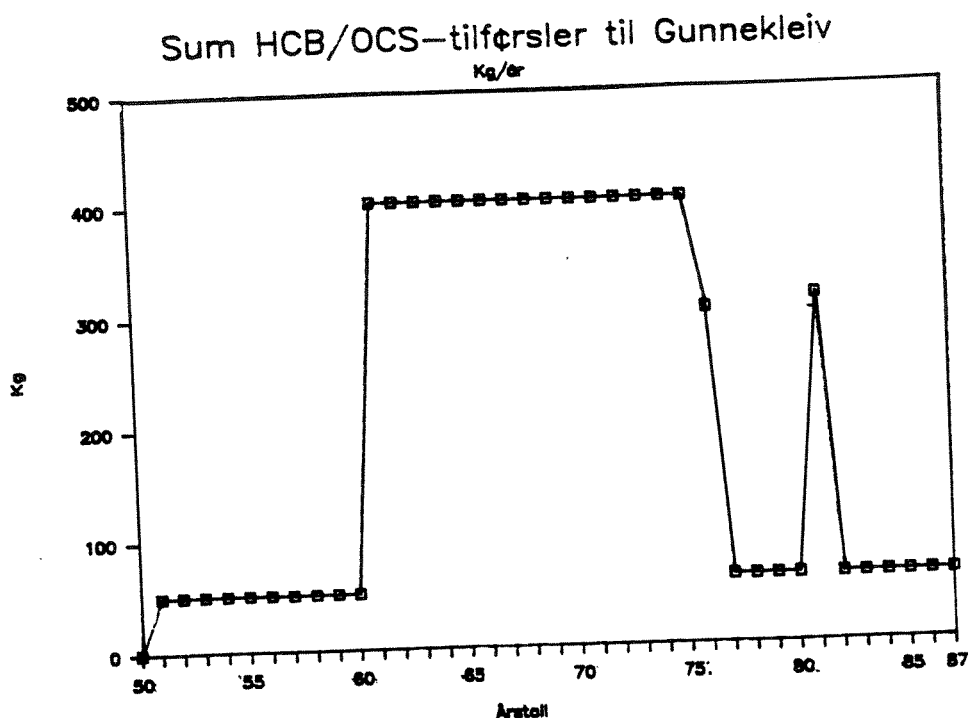
I forståelse med Norsk Hydro (Trond Gulbrandsen) er nå tallene for den aktuelle perioden korrigert. Korreksjonene er gjort med utgangspunkt i de rapporterte verdiene til myndighetene. Dette representerer at kvikksølvutslippet øker med 897 kg i forhold til massebalansen for perioden 1972-1976.



Totalt til Gunnekleivfjorden i hele perioden: ca. 80 tonn.

Figur I 1. Oversikt over kvikksølvtilførsler til Gunnekleivfjorden (på grunnlag av Norsk Hydro's massebalanse).

Den andre hovedtypen forurensninger til Gunnekleivfjorden er klororganiske forbindelser. Figur I-2 viser tilførslene av sum heksaklorbenzen og oktaklorstyren (etter opplysninger av O. Haugerød). Det understrekes fra Norsk Hydro at tallene er usikre, spesielt gjelder dette perioden 1961-1975.



Totalt til Gunnekleivfjorden i hele perioden: ca. 7 tonn.
Vektmengdeforhold HCB:OCS er ca. 4-5 : 1.

Figur I 2. Tilførsler av sum HCB/OCS til Gunnekelivfjorden.
(på grunnlag av opplysninger fra O. Haugerød,
Norsk Hydro).

Det har også vært store slamtilførsler til Gunnekleiv. Fram til 1968 ble fjorden tilført såkalt "dorr"-slam fra magnesiumproduksjonen. Pr. idag er det ikke tall for mengde.

Fram til ca. 1976 ble det sluppet ut såkalt "kalkmelk" i fjorden bestående av kalsiumoksyd/hydroksyd. Dette antas i størrelsesorden 1 tonn partikulært materiale pr. døgn (T. Gulbrandsen, pers.med.).

Fjorden ble også tilført filterslam fra klorproduksjonen. Dette representerte 800 kg/år regnet som kvikksølv fram til og med

1971. I 1971 var dette redusert til 2 kg/år og ytterlig redusert til 1 kg/år i 1978. Slammengden antas å ha vært i størrelsesorden opptil 1 tonn pr. døgn til 1971 (T. Gulbrandsen pers. med). Det understrekes at tallene er usikre.

Disse store slammengdene har klart hatt betydning for sedimentasjonen i fjorden. Man må forvente at den er kraftig redusert fra midten av 1970-tallet.

3. MATERIALE OG METODER.

Sediment ble innsamlet ved to anledninger. Den 27. og 28. april 1988 ble det tatt prøver av overflatelaget på stasjon 1 til 12 og stasjon 23 til 31 (fig. 1). Disse ble hentet opp ved hjelp av en Ekman - grab (form som en box-corer) som hugger et areal på 15 X 15 cm. Det ble alltid passet på at det var vann over sedimentet i grabben slik at overgangen vann - sediment var definert. Ved hjelp av en rustfri skje ble sediment overført fra grabben til plastbegre for prøver til metall, organisk innhold, PAH og sulfidanalyser. Prøver til metylkvikksølv og klororganiske analyser ble overført til glass vasket i cykloheksan og forseglet med brent aluminiumsfolie (550 °C) under skrulokk.

Stasjonene 13 til 22 ble prøvetatt den 19. mai 1988 med assistanse fra B. Kvalvik (Grenland Miljø- og Resipient-service). Siden disse skulle analyseres i flere snitt vertikalt, ble det brukt en kjerneprøvetaker (Niemistö 1974) med 5 cm indre diameter. Prøvene ble umiddelbart snittet ombord.

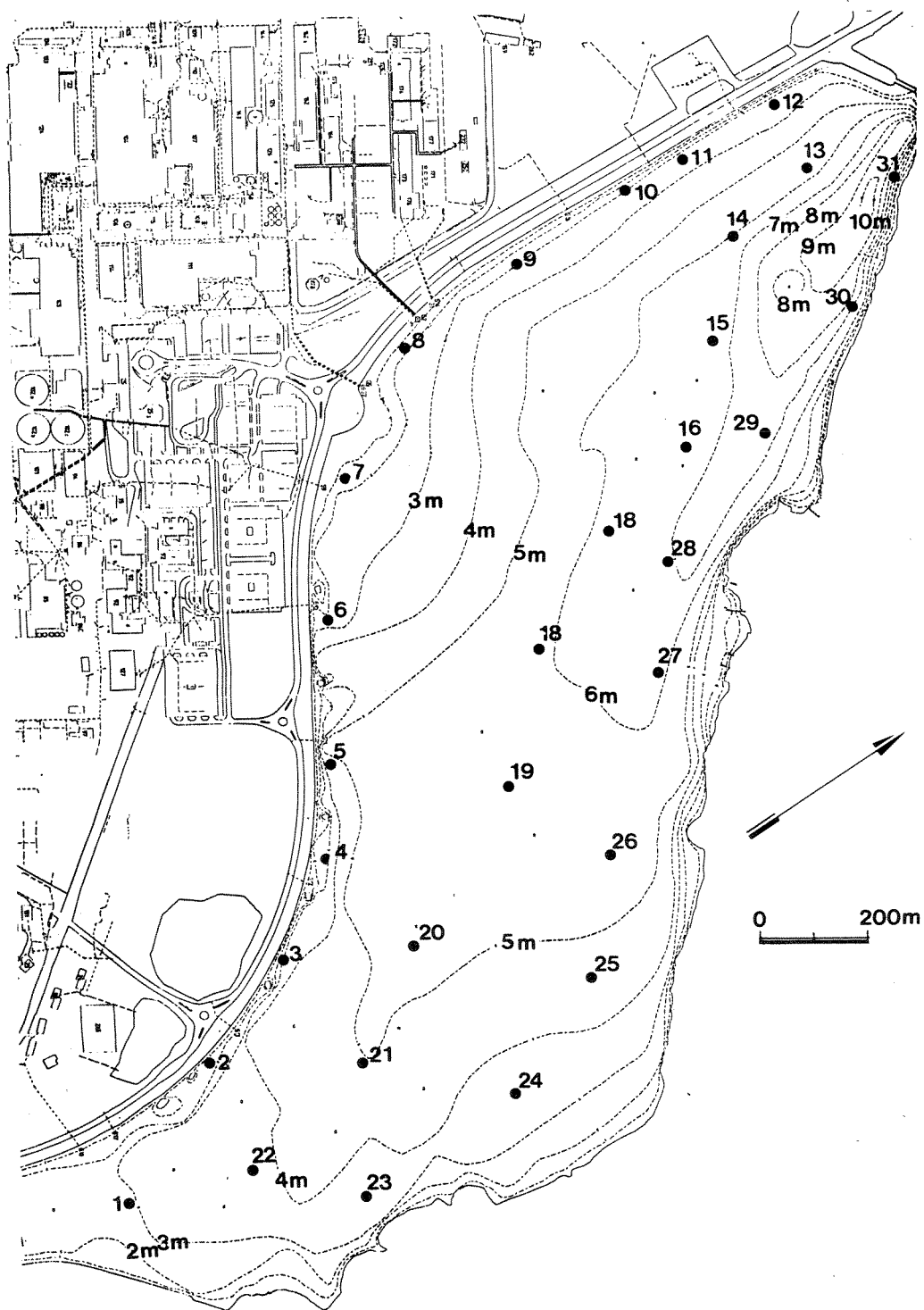
Det ble tatt separate grabbskudd/kjerneprøver for analyser av metall/karbon, sulfid, klororganiske forbindelser/tørrstoff og PAH, dioksin.

Alle prøver ble dypfryst kun få timer etter at de var tatt. Analysene er utført på totalfraksjonen, frysetørret og homogenisert prøve. Prøvene ble analysert for innhold av total karbon og nitrogen ved CHN-elementanalysator. For bestemmelse av kadmium og total kvikksølv er prøvene oppsluttet i 1:1 salpetersyre (Norsk Standard 4768). Kadmium er så bestemt ved atomabsorpsjon. Kvikksølvanalysene er utført på en P.E. Coleman-50 Hg-analysator. Det oksyderte kvikksølvet reduseres til elementært kvikksølv med tinnklorid, drives over til analysatoren med luft og måles ved 253.7 nm. Syreløslig sulfid er bestemt spekterfotometrisk etter tilsetning av 6 N HCl og felling som sinksulfid. Innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og totalt organisk bundet klor (TOCl) er analysert ved gasskromatografi etter ekstraksjon med cykloheksan.

For analyse av pentaklorbenzen, klorheksabenzen, oktaklorstyren og dekalorobifenyl ble sedimentet ekstrahert med en 1:1 blanding av cykloheksan og isopropanol. Ekstraktet ble injisert splittless på gasskromatograf med 30 m kapillarkolonne med i.d. 0.32 mm belagt med 0.1 μ m DB-5. EC-detektor ble benyttet. Identifisering og kvantifisering ble gjort ved hjelp av eksterne standarder. Multilevel kalibrering ble benyttet.

Bestemmelse av metylkvikksølv er gjort gasskromatografisk av Bengt Westø, IVL, Stockholm (IVL 1978). Metylkvikksølv overføres til bromidkompleks ved tilsetning av svovelsur natriumbromidløsning. Metylkvikksølvbromiden ekstraheres med toluen.

Dioksin-analysene er utført gasskromatografisk-massespektrofotometrisk av NILU.



Figur 1. Kart over området med alle prøvetakingsstedene markert. På alle stasjonene er det tatt prøver av overflatesedimentet (de øverste 5 cm). På stasjonene 13-22 er det i tillegg tatt prøver nedover i sedimentdypet.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. Generell beskrivelse - tørrstoffinnhold, innhold av organisk karbon, nitrogen og syreløslig sulfid i sedimentene.

Fjorden er sterkt preget av industriavfall. På ingen av de prøvetatte stedene var det naturlige bunnforhold. Tykkelsen av det forurensede sedimentlaget varierte fra 30-40 cm i søndre del av fjorden, 50-60 cm i sentrale og nordre deler til anslagsvis 1-2 meter i et delta nær hovedutslippene. Under dette laget var det leire avsatt før industripåvirkningen.

Sedimentene i Gunnekleivfjorden var finkornige med lavt tørrstoffinnhold. For alle prøvene (overflate og i sedimentdypet) var gjennomsnittlig (n = 87) tørrstoffinnhold 31 % . Verdiene varierte mellom 17 og 65 % med et standard avvik på 11. Det var små variasjoner i sedimentdypet. Resultater som bare inkluderer overflateprøvene (0-5 cm), ga et gjennomsnittlig (n = 31) tørrstoffinnhold på 29 % med et standard avvik på 11.

Det visuelle utseende på sedimentene var svært varierende både horisontalt og vertikalt med skiftende innslag av sort mudder og lysegrått ("soft ice"-lignende) slam. Det siste er trolig magnesiumhydroksydslam (også kalt "dorr-slam"). Nedenfor er sedimentet beskrevet fra stasjon til stasjon. Det er imidlertid vanskelig å korrelere dette i detalj med analyseresultatene.

Tabell 1. Visuell beskrivelse av sedimentene.

Stasjon	Vanddyp (m)	Kjerne-lengde (cm)	Anmerkninger
1	2.5	---	Sort, løst anoksisk mudder. Algetråder i toppen.
2	2.2	---	Sort løst mudder.

Tabell 1, forts.

3	2.6	---	Grått sediment med lyse striper av dorr-slam.
4	3.2	---	Sort, løst mudder med lyst slam i bunnen.
5	4.0	---	Kun lyst grått slam.
6	2.2	---	Sort sediment med lyst slam i bunnen.
7	1.0	---	Lyst grått sediment.
8	1.0	---	Mørkt mudder. Hele bunnen rundt syretårnet flekkvis grå og mørk brun.
9	2.4	---	Helt sort i overflaten til ca.5cm. Deretter iblandet lyst grått slam. Svak lukt av H ₂ S.
10	2.5	---	Sort mudder med algetråder på overflaten. Svak lukt av H ₂ S.
11	3.1	---	Som st. 10.
12	3.3	---	Som st. 10. På stasjon 9 - 12 var det sorte mudderet svakt glinsende.
13	5.0	40	Øverste 5cm mørkt, løst slam. Deretter 20cm med dorr-slam, spesielt i 5-10cm. Begynnende leire 25-30, også en del flis, spesielt i 25-30. Noe innslag av fin sand dypere enn 20cm.
14	6.0	60	Øverste 10cm mørkt, løst mudder. Deretter 25cm med mye dorr-slam. Leire i 50-55cm.
15	6.0	70	Øverste 10-15cm mørkt mudder med en del dorr-slam. Deretter 20cm med overveiende dorr-slam. Begynnende leire fra ca.50cm.
16	6.5	75	Mye dorr-slam til 40cm. Deretter sort, relativt fast sediment.
17	6.2	70	Mye dorr-slam til 40cm. Begynnende leire i 45-50cm.
18	6.3	70	Som 17.

Tabell 1, forts.

19	5.5	60	Øverste 15cm mørkt sediment med endel dorr-slam. Deretter mye dorr-slam til 30cm. Begynnende leire i 40-45cm.
20	5.0	50	Øverste 10-15cm mørkt sediment. Deretter 10cm med mye dorr-slam. Begynnende leire fra 40-45cm.
21	4.5	65	Øverste 10cm mørkt, svært løst mudder. Deretter 10cm med mye dorr-slam. Leire fra 30cm.
22	3.5	50	Mørkt brunt løst sediment. Noe dorr-slam i de øverste 10-15cm. Lys leire fra 45cm.
23	3.5	---	Mørkegrått relativt fast mudder.
24	3.7	---	Sort mudder.
25	4.5	---	Sort mudder med dorr-slam i bunn av prøvetakeren.
26	5.5	---	Bare dorr-slam, men med tynne mørke lag.
27	6.1	---	Blanding av sort mudder og dorr-slam.
28	6.6	---	Sort løst mudder. Svak lukt av H ₂ S.
29	7.5	---	Bare dorr-slam
30	7.5	---	Sort mudder med noe fiber. Svak lukt av H ₂ S.
31	9.5	---	Som st. 31

Generelt var sedimentene i fjorden sterkt preget av industriavfall. Der hvor det ble tatt prøver, var det ingen steder i det øvre sedimentlaget naturlig bunnsлам. Tykkelsen på det forurensede laget varierte fra ca. 30-40 cm i søndre delen av fjorden, 50-60 cm i sentrale og nordre deler og anslagsvis 1 til 2 meter i et delta ved syretårnet. Kjerneprøvestasjonene i området ut fra syretårnet, som var planlagt midtfjords, måtte trekkes noe nærmere land på østsiden av fjorden på grunn av at

tykkelsen av det forurensede laget var større enn lengden på prøvetakeren (ca.80cm).

Innhold av organisk karbon i sedimentene varierte mellom 0.23 og 11 % med et gjennomsnitt på 3.5 % for hele datamaterialet. 50 % av verdiene lå mellom 1.5 og 5.5 % (Vedleggsfigur 1 summerer dette). Hadde vi sett på kun overflateresultatene, hadde konsentrasjonsområdet vært nogenlunde det samme, men verdiene generelt forskjøvet mot noe høyere konsentrasjoner med et gjennomsnitt på 6.1 % . Dette skyldes nedbrytning av organisk karbon i sedimentdypet.

Det var svært god samvariasjon mellom karbon og nitrogen. Denne var signifikant på bedre enn 0.1 % sannsynlighetsnivå.

Karbon til nitrogen (C/N) forholdet viste at det organiske materiale i sedimentene i liten grad var av marin opprinnelse. Gjennomsnittet var 17 med 50 % av dataene mellom 11 og 18.5 (bare to verdier mindre eller lik 7) (Vedleggsfigur 2). Hvis marin opprinnelse av det organiske materialet hadde vært dominerende, ville forholdstallet ligget i området 6-10. I datamaterialet var det noen enkeltverdier på over 30. For to av verdiene var dette prøver som hadde innslag av treflis (st.13, 25-30 og 30-35 cm dyp) som naturlig gir høye C/N-verdier. De andre var alle prøver med svært mye dorr-slam og lave karbon og nitrogen konsentrasjoner.

Datasettet for overflateprøvene (0-5 cm) ga et gjennomsnitt på 14.4 med 50 % av verdiene mellom 10.1 og 13.8. En forskyvning mot lavere verdier sammenlignet med hele datasettet, skyldes en naturlig økning i C/N-forholdet med økende sedimentdyp.

Syreløslig sulfid ble målt på 10 stasjoner. Med syreløslig sulfid menes det sulfid dannet ved bakteriell sulfatreduksjon og bundet som monosulfider, vanligvis i hovedsak til jern. Konsentrasjonene varierte fra 0.9 til 7.6 mg/g. Det var ingen systematiske trender i datamaterialet, dog var de høyeste verdiene generelt på de dypeste stasjonene. Konsentrasjonene er i

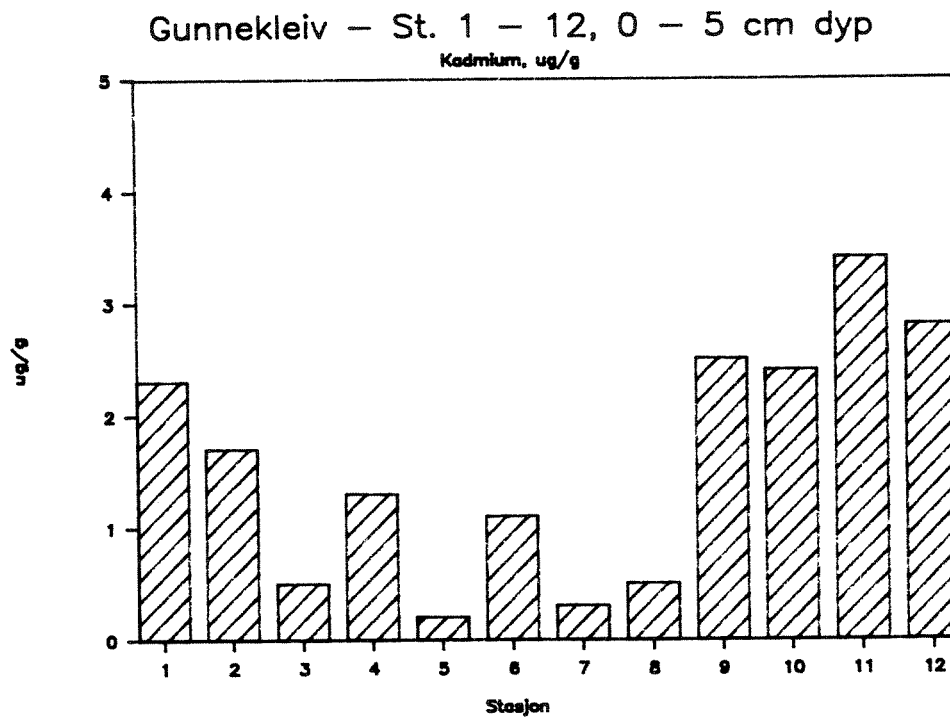
et område man ofte finner for anoksiske sedimenter (Goldhaber and Kaplan 1974). Det var kun på et fåtall av stasjonene at det luktet sulfid av sedimentet. Dette viser at det var lite sulfid løst i porevannet. Det har vært sluppet ut store mengder kvikksølv-sulfidholdig slam i Gunnekleiv. Fra 1947 til 1971 var dette 800 kg/år regnet som kvikksølv. Fra 1971 til 1972 ble dette redusert til 2 kg/år (reduisert til 1 kg/år i 1977). Dette sulfidslammet kan påvirke sulfidanalysene slik at ikke alt målt syreløslig sulfid skyldes bakteriell sulfatreduksjon. Dette kan forklare at det ble påvist relativt høye sulfidkonsentrasjoner, mens det var lite lukt av hydrogensulfid i sedimentet. (Se også kap. 4.3.2. for diskusjon av sulfid/metylkvikksølv).

4.2. Innhold av kadmium i sedimentene.

 Kadmiumkonsentrasjonene i overflatesedimentet var opptil 17 ganger høyere enn normalt.

Kadmiumkonsentrasjonene varierte mellom 0.2 og 3.4 ug/g. Som naturlig bakgrunnsverdi kan vi regne 0.2 ug/g, fig.4. Det betyr at konsentrasjonene var opptil 17 ganger normalverdi. Gjennomsnitt for alle 12 stasjonene var 1.6 ug/g. De høyeste verdiene var på de to stasjonene lengst i syd (st. 1 og 2) og stasjonene nord i fjorden (st. 9,10,11 og 12). Det var signifikant samvariasjon mellom kadmium og 5-CB ($p < 0.05$), men ikke mellom kadmium og karbon, kvikksølv eller de andre klororganiske parametrene. Kadmiumtilførsler fra Hydro kan komme fra utslipp i forbindelse med fullgjødselproduksjonen. Det ble funnet relativt høye PAH-konsentrasjoner i Gunnekleivfjorden (se kap.4.5.) som trolig også kan skyldes påvirkning fra Elkem A/S PEA. Det er kjent at det ofte observeres en sammenheng mellom PAH og kadmium (Næs og Rygg 1988, Baalsrud et al. 1985, Müller et al. 1977). Forhøyede kadmiumkonsentrasjoner kan derfor også delvis skyldes PEA.

Selv om de høyeste verdiene er relativt høye i normal sammenheng, er kadmium ikke blant de viktigste forurensningene i Gunnekleivfjorden. Det ble derfor besluttet ikke å analysere ytterligere prøver for innhold av kadmium.



Figur 2. Kadmium i overflatesedimentet.

4.3. Innhold av kvikksølv

Det er meget høye konsentrasjoner av kvikksølv i sedimentene. Som et gjennomsnitt for hele datamaterialet er verdiene ca. 1000 høyere enn det man finner i uforurensede områder. Totalt er det lagret 20-30 tonn kvikksølv i det forurensede bunnslammet. Belastningen på fjorden har klart avtatt de siste 10 årene. Det ble påvist metylkvikksølv på alle stasjoner der dette ble analysert.

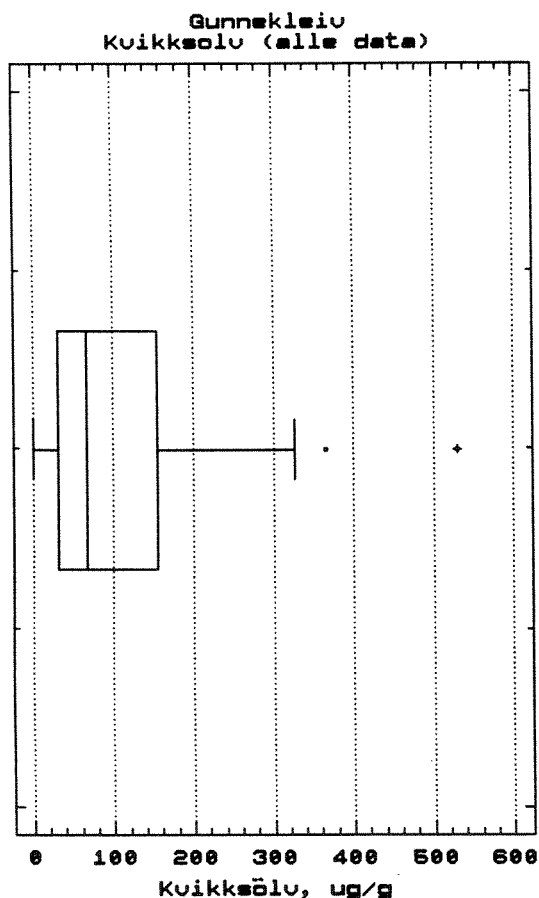
4.3.1. Total kvikksølv.

Det er meget høye kvikksølvkonsentrasjoner i sedimentene i Gunnekleivfjorden. Figur 3 summerer resultatene for hele datasettet. Laveste verdi var 0.11 ug/g som er bakgrunnsnivå. Dette var konsentrasjoner i sedimentene under det forurensede laget. Høyeste verdi var 530 ug/g som ble målt i 10-15 cm dyp i sedimentet på stasjon 17. Denne verdien svarer altså til ca. 5000 ganger det som observeres i normalt upåvirkede sedimenter. Gjennomsnitt for hele datasettet var 103 ug/g.

Vi skal først konsentrere oss om verdiene i overflatesedimentet og seinere komme tilbake til verdiene nedover i sedimentdypet. Med overflatesedimentet menes det de øverste 5 cm av sedimentet.

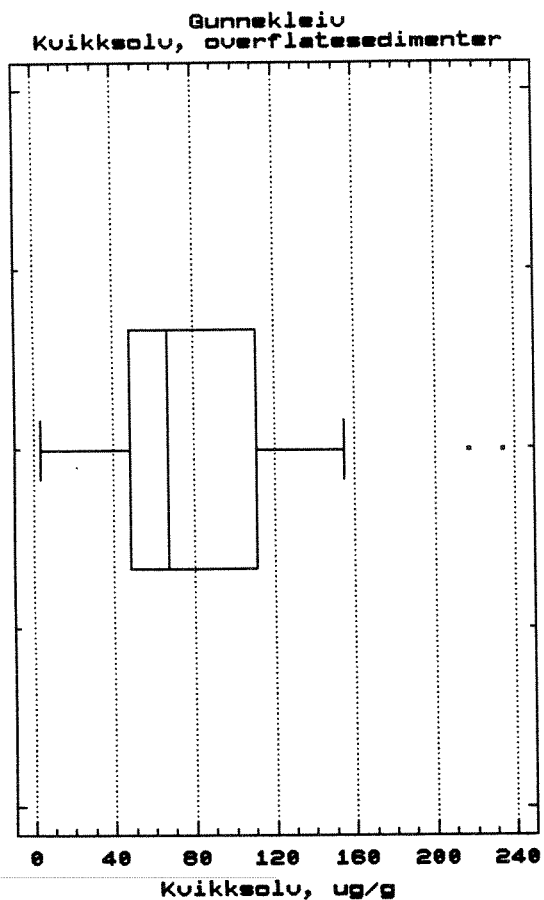
Figur 4 summerer kvikksølvresultatene i prøver fra de øverste 5 cm i fjorden. De varierte fra 3.7 (st. 5) til 234 ug/g (st.27). Gjennomsnittet for overflateverdiene var 82 ug/g og 50 % av verdiene lå mellom 48 og 111 ug/g. Variasjon i konsentrasjon langs fjordens vestsida (Herøya-sida) er vist i figur 5. Stasjon 7, 8 og 9 som ligger ved syretårnet skiller seg ut med de høyeste verdiene. Dette området er nært utslippet. Resultatene stemmer med de vannkjemiske målingene (Molvær 1989) som fant de høyeste konsentrasjonene av kvikksølv i vannmassene her.

Den relativ lave verdien på stasjon 5 (3.7 ug/g) skyldes trolig tilførsler av uforurenset masse ved utbygging av veitraseen langs fjorden.



Variable:	GUNNE1.HG
Sample size	87
Average	104.31
Median	67
Mode	56
Geometric mean	43.4684
Variance	10418.9
Standard deviation	102.073
Standard error	10.9434
Minimum	0.11
Maximum	530
Range	529.89
Lower quartile	31
Upper quartile	155
Interquartile range	124
Skewness	1.51068
Standardized skewness	5.75251
Kurtosis	2.75178
Standardized kurtosis	5.23923

Figur 3. Oversikt over konsentrasjonene av kvikksølv i sedimentene (hele datasettet). Boksen representerer interkvartilområdet. Det vil si at 50 % av dataene er inkludert i boksen. Den vertikale streken i boksen gir medianverdien. De to horisontale linjene gir maksimum og minimum definert som $1.5 \cdot$ interkvartilområdet. Verdier utenfor dette vil framkomme som enkeltpunkter.



Variable:	GUNNE2.HG
Sample size	31
Average	81.9258
Median	67
Mode	67
Geometric mean	62.0998
Variance	3077.22
Standard deviation	55.4727
Standard error	9.9632
Minimum	3.7
Maximum	234
Range	230.3
Lower quartile	48
Upper quartile	111
Interquartile range	63
Skewness	1.08623
Standardized skewness	2.46903
Kurtosis	1.1743
Standardized kurtosis	1.33461

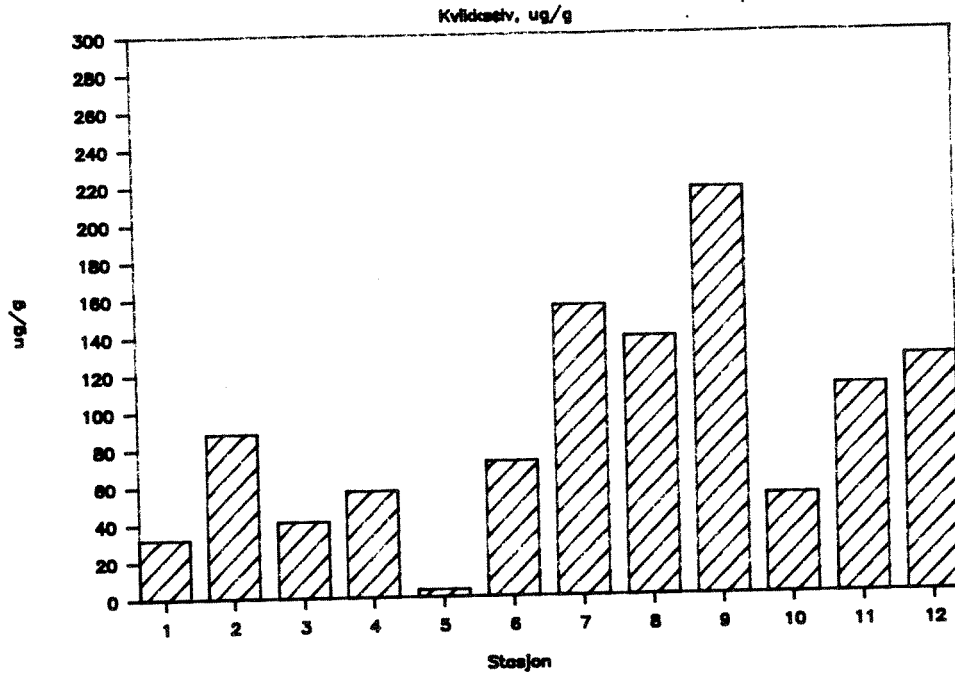
Figur 4. Oversikt over konsentrasjonene av kvikksølv i overflatesedimentene (0-5 cm). Se fig. 3 for nærmere forklaring.

Ser vi på stasjonene langs djupålen av fjorden (st. 13-22), var de høyeste verdiene i sydenden av fjorden (stasjon 19, 20, 21 og 22), mens de var lavere i nordenden, bortsett fra stasjon 13, figur 6. Resultatene av prøvene i sedimentdypet fra de samme stasjonene (vedleggsfigur 3 til 7) viste at den største belastningen generelt har vært på den midtre, og dypeste delen av fjorden og i tillegg grunnområdet ved utslippet. Det er også naturlig siden den dypeste delen av fjorden i større grad er et sedimentasjonsområde. Variasjonen i kvikksølvkonsentrasjonen i 0-5 cm dyp mellom stasjon 13 til 22 kan derfor trolig forklares ut fra forskjeller i sedimentasjon og forandringer i utslippsmengder. Stasjon 14 til 18 ligger i den dypeste delen av fjorden hvor sedimentasjonen er størst. Etter at utslippene til fjorden er redusert vil disse stasjonene motta større mengde uforurenset (fra Skienselva) og mindre forurenset (fra fabrikkens) materiale. Konsentrasjonene vil derfor bli lavere.

Langs fjordens østside (stasjon 23-31) er det spesielt stasjon 27 som peker seg ut med en særdeles høy verdi 234 ug/g, figur 7. Denne stasjonen ligger rett ovenfor utslippet og er tydelig sterkt preget av dette.

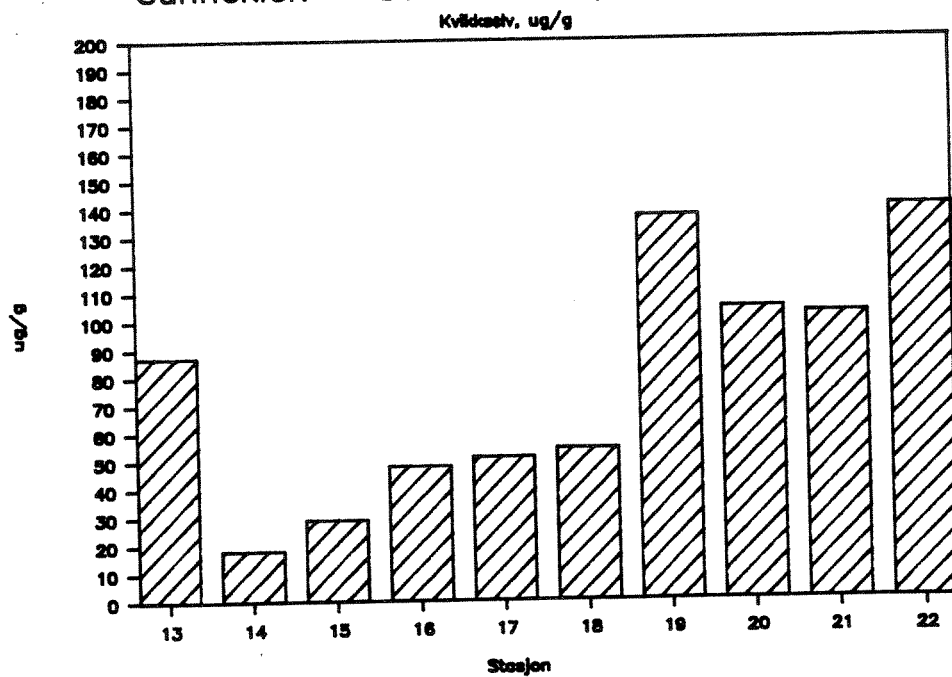
De høyeste verdiene ble ikke funnet i overflatesedimentene, men 10-15 cm ned i sedimentet. Fra 1968 er kvikksølvutslippene fra Norsk Hydro kraftig redusert (fig. I-1) Dette stemmer med at de høyeste konsentrasjonene var 10-15 cm ned i sedimentet og at det var en lavere gjennomsnittsverdi for kun overflateprøvene (fig. 4), sammenlignet med hele datasettet (fig. 3). I 1976 analyserte Skei (1978) 13 overflateprøver som ga en medianverdi på 250 ug/g (Skei 1978).

Gunnkleiv – St. 1 – 12, 0 – 5 cm dyp

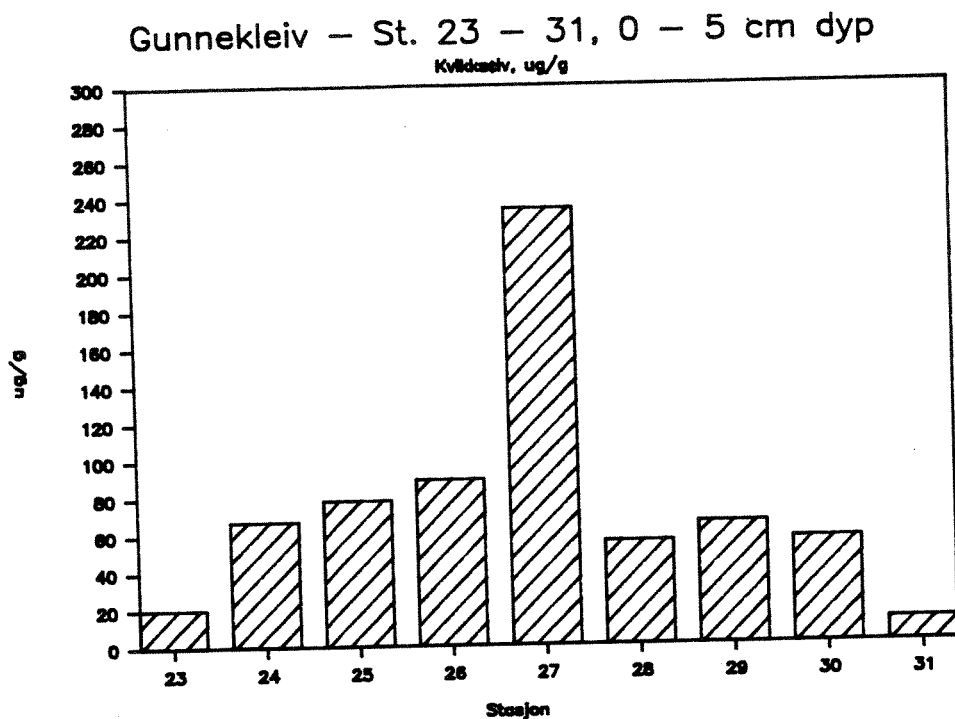


Figur 5. Kvikksølv i overflatesedimentene på stasjon 1-12.

Gunnkleiv – St. 13 – 22, 0 – 5 cm dyp



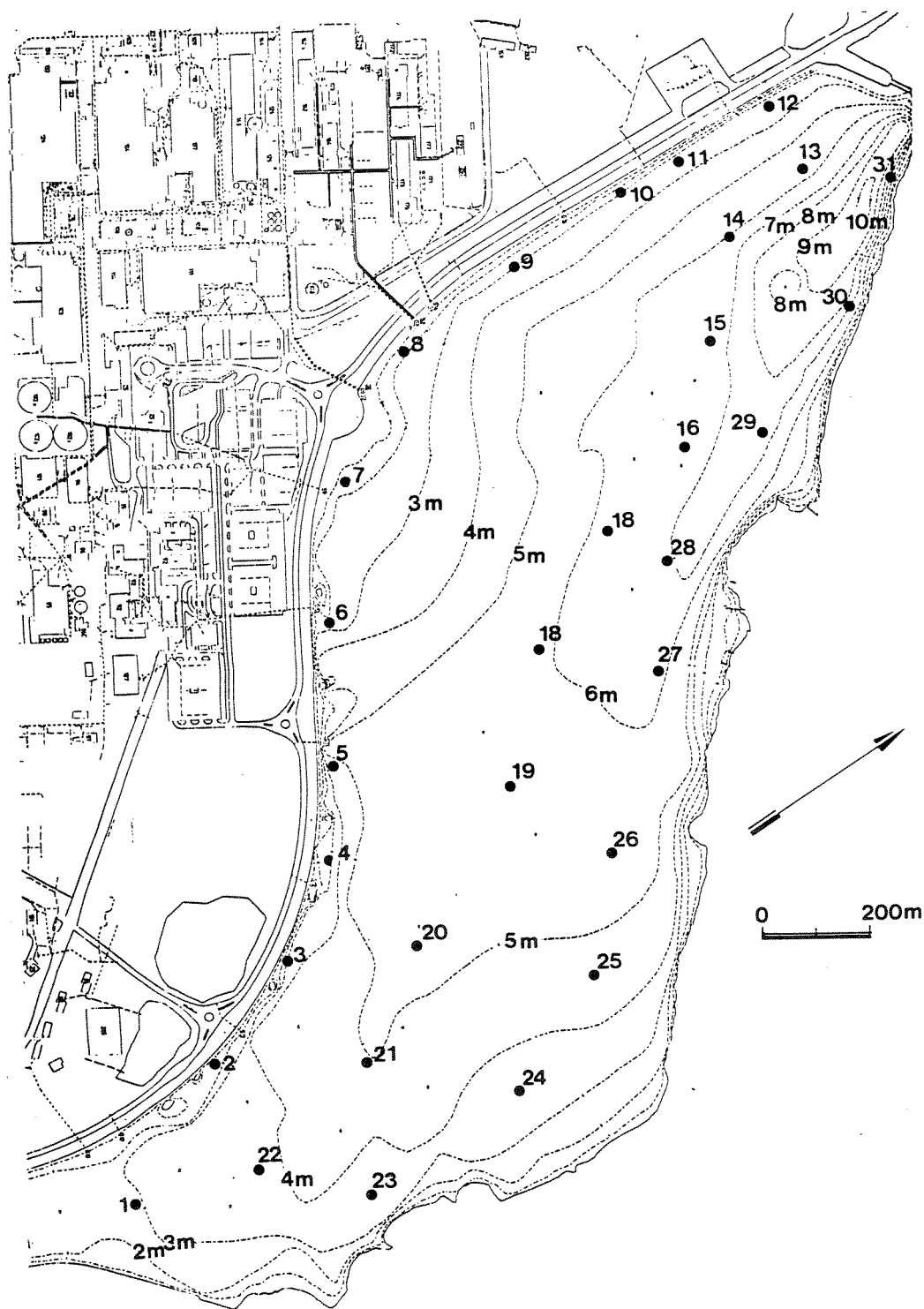
Figur 6. Kvikksølv i overflatesedimentene på stasjon 13-22.



Figur 7. Kvikksølv i 0-5 cm sedimentdyp på stasjon 23-31

Det observeres ofte at sedimentasjonen av kvikksølv er kontrollert av organisk karbon (Clifton and Vivian 1975, Loring and Brewers 1978). I sedimentene i Gunnkleivfjorden var det imidlertid ingen signifikant samvariasjon mellom kvikksølv og karbon. Dette skyldes trolig at sedimentene i fjorden så massivt er direkte dominert av industriutslippene.

For å gjøre beregninger av mengde kvikksølv i de øverste 5 cm av sedimentene, er fjorden delt inn i 12 soner fra syd til nord, fig. 8. Ni av sonene inneholder tre stasjoner hver, 2 soner 2 stasjoner hver og 1 sone kun 1 stasjon (se vedlegg 6.2. for detaljer). I hver av sonene er det antatt at hver stasjon er representativ for henholdsvis 1/3, 1/2 og 1/1 av arealet i sonen. Videre er det brukt konsentrasjon og tørrstoff-innhold for hver stasjon. Beregningene viser da at de øverste 5 cm av sedimentet i Gunnkleivfjorden inneholder 1.7 tonn kvikksølv. Vedleggsfigur 8 viser fordelingen i de enkelte sonene normalisert til arealenhet.



Figur 1. Kart over området med alle prøvetakingsstedene markert. På alle stasjonene er det tatt prøver av overflatesedimentet (de øverste 5 cm). På stasjonene 13-22 er det i tillegg tatt prøver nedover i sedimentdypet.

De høyeste mengdene (i overflatesedimentene) var i sydenden av fjorden. Dette stemmer overens med det som ble observert ut fra konsentrasjonene på djupålstasjonene.

Inndelingen av fjorden i soner er subjektivt gjort etter hvorledes stasjonene er plassert. Videre er det antatt at for eksempel i soner med 3 stasjoner, er hver stasjon representativ for 1/3 av arealet i sonen med den unøyaktighet dette kan gi. Imidlertid er fjorden godt dekket med prøvetakningssteder (31) og vi mener at 1.7 tonn kvikksølv i de øverste 5 cm er et realistisk estimat. I 1976 beregnet Skei (1978) mengdene i de øverste 5 cm til 10 tonn. Den gang representerte overflatelaget en tidsperiode da kvikksølvutslippene var betydelig høyere.

For å beregne mengden av kvikksølv som totalt er i fjorden, må dette baseres på stasjonene langs djupålen hvor det er tatt prøver i sedimentdypet. Vi må derfor anta at stasjonen i djupålen er representativ for hele sonen (se vedlegg 6.2. for detaljer). Dette gir en mindre presis beregning enn den for de øverste 5 cm. På noen stasjoner var tykkelsen av det forurensede laget større enn lengden på kjerneprøvetakeren. Det medfører at vi i beregningene av total kvikksølv mengde vil få et lavere estimat enn det virkelige. Imidlertid representerer dette trolig et relativt lite bidrag og er innenfor usikkerheten i beregningene. Gjennomfører vi så beregningene for de forskjellige sedimentlagene og summerer opp, gir dette at sedimentene i Gunnekleivfjorden totalt inneholder 24 tonn kvikksølv. Vedleggsfigur 9 viser fordelingen i de enkelte sonene normalisert til arealenhet.

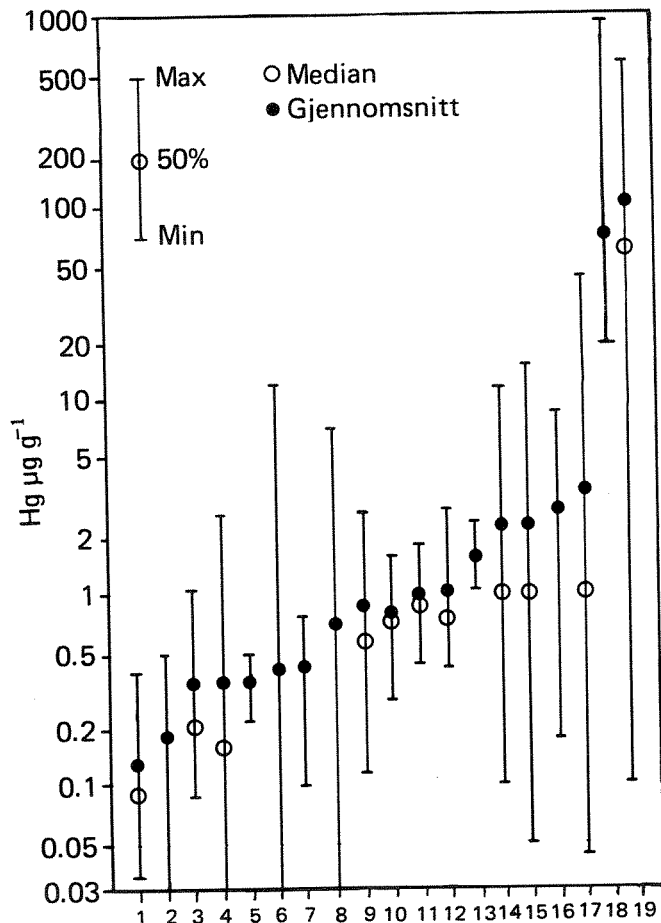
For å få et mål for usikkerheten i beregningene ved kun å benytte de 10 stasjonene langs midtålen ble mengden kvikksølv i de øverste 5 cm også beregnet etter denne metoden. Det ga et innhold på ca. 1.4 tonn i de øverste 5 cm. Dette er 20 % lavere enn den første metoden for å beregne innhold i de øverste 5 cm. Antar vi at 31 overflatestasjoner gir et rimelig bilde av kvikksølv mengden i overflatesedimentene, kan vi derfor grovt anta en usikkerhet i forhold til dette på 20 % i beregningene av total mengde

kvikksølv i sedimentene i Gunnekleivfjorden, eller at de inneholder totalt mellom 20 og 30 tonn kvikksølv.

De totale kvikksølvtilførslene fra Norsk Hydro til Gunnekleivfjorden er ca. 80 tonn. Det er imidlertid vanskelig å sammenligne dette tallet med det som ble funnet lagret i sedimentene i Gunnekleiv. Det har vært en mer eller mindre kontinuerlig utfylling av fjorden. For eksempel var arealet av fjorden i slutten av 1940-årene vel en halv gang større enn den er idag. Det betyr at deler av Herøya i dag ligger der hvor utslippsledningene endte tidligere. Bruker vi den kvikksølvmengden som ligger i sedimentene i dagens Gunnekleiv, er dette ca. 30 % av de totale tilførslene. Antar vi at det er et lineært forhold mellom kvikksølvmengde og areal av Gunnekleivfjorden, finner vi igjen i området i størrelsesorden 50 % av de totale tilførslene til fjorden.

I de øverste 5 cm av sedimentet viste beregningene at det var lagret 1.7 tonn kvikksølv. Jämförer vi med utslippstallene, må vi ta med tilførsler tilbake til 1971 for at dette skal stemme. Det vil si at sedimentasjonen de siste 15 årene har vært ca. 3 mm pr. år. Dette er ikke helt i overensstemmelse med utslippstallene for de klororganiske forbindelsene (se kap. 4.4.1.). Fram til 1981 gikk det et utslipp av hypokloritt til fjorden. Dette førte til en oksydasjon av kvikksølv-sulfid. Kvikksølvtransporten ut av kanalene ble da beregnet til 70-100 kg i året. Dette må tas i betraktning ved sammenligningen mellom kvikksølvtilførsler og det som er lagret i de øverste 5 cm av sedimentet. Ut fra diskusjonen angående de klororganiske forbindelsene og samsvar mellom sedimentundersøkelsen og målingene i vannmassene (se diskusjonen av HCB), er det sannsynlig at de øverste 5 cm av sedimentet representerer de siste ca. 10 årene. Dette er også i rimelig god overensstemmelse med kvikksølvdataene.

Sammenligner vi konsentrasjonene av kvikksølv i sedimentene i Gunnekleivfjorden med andre områder i verden, går det fram at fjorden har særdeles høye verdier. Figur 9 summerer resultater fra en del steder rundt i verden.



1. Thames, U.K., 2. Puget Sound, U.S.A., 3. La Have, Canada, 4. Plym., U.K., 5. Mobile Bay, U.S.A., 6. St. Lawrence, Canada, 7. Rhône, France, 8. Howe Sound, Canada, 9. Benzos, Spain, 10. Everglades, U.S.A., 11. Rappahanok, U.S.A., 12. James, U.S.A., 13. York, U.S.A., 14. Bellingham Bay, U.S.A., 15. Mersey, U.K., 16. Bombay estuary, India, 17. Tagus, Portugal, 18. Minamata, Japan (Fujiki, 1973), 19. Gunnekleiv (denne undersøkelsen).

Figur 9. Sammenligning av kvikksølvkonsentrasjoner i sedimentet i Gunnekleivfjorden med andre områder (Etter Figueres et al. 1985).

Selv om belastningen på Gunnekleivfjorden er redusert, var fremdeles gjennomsnittsverdien for de øverste 5 cm 82 ug/g (median 67 ug/g) med variasjon fra 3.7 til 234 ug/g.

Ekstremverdier er imidlertid observert i områder som Sørfjorden (opp til 430 ug/g, Næs og Rygg 1982), Minamata Bay (opp til 908 ug/g i 1969, Fujiki 1973), Derwent Estuary, Tasmania (opp til 1130 ug/g, Førstner and Wittman 1979).

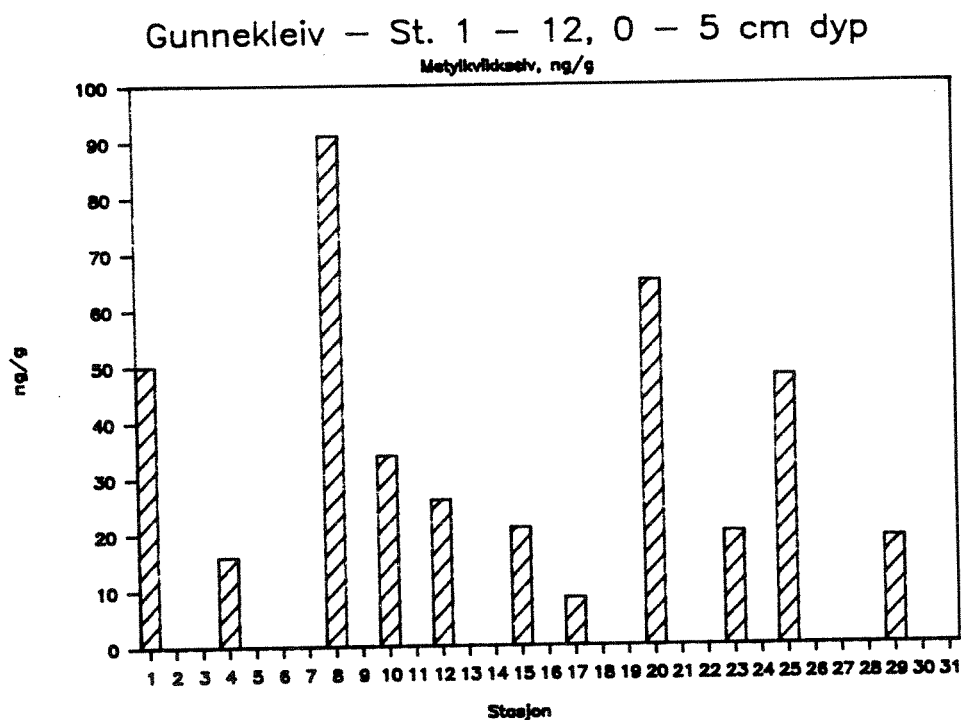
Sammenlignes utslippsmengder til Gunnekleiv, hadde en kloralkalifabrikk i Tokuyama Bay i Japan et tap av kvikksølv i løpet av 20 års produksjon beregnet til 381 tonn (Nakanashi et al., 1987). Av dette var bare 6,6 tonn registrert som utslipp til Tokuyama Bay. Sedimentundersøkelser i denne bukta viste imidlertid at minst 36 tonn lå lagret i sedimentene. Til Minamata Bay ble det i perioden 1932 til 1968 sluppet ut anslagsvis 150 tonn kvikksølv (Yoshida, Japan Bottom Sediments Management Association, pers.med.). Thompson et al. (1981) har beskrevet forholdene nær en kloralkalifabrikk ved Howe Sound i Canada. Her ble 40 tonn kvikksølv sluppet ut i fjorden i løpet av 5 år. Loring and Brewers (1978) rapporterer at det til Saguenay River, Canada ble sluppet ut 145 tonn kvikksølv fra en kloralkalifabrikk i perioden 1948-1971. Tar vi det totale kvikksølvtapet fra Norsk Hydro jamnført med total klorproduksjon for hele produksjonsperioden, er totalt kvikksølvtap 0.16 kg kvikksølv pr. tonn klor produsert. Dette er i samme størrelsesorden som for svenske og kanadiske kloralkalibedrifter, henholdsvis 0.1-0.13 kg (Bouveng 1968) og 0.1-0.25 kg (Loring and Brewers 1978) pr. tonn klor produsert

4.3.2. Metylkvikksølv.

Utvalgte overflateprøver ble analysert for innhold av metylkvikksølv. Det ble påvist metylikvikksølv i alle prøvene med konsentrasjoner fra 9.2 til 90 ng/g (fig. 10). Den høyeste verdien ble funnet på stasjon 8 som er nærområdet til utslippet. Det er relativt få publiserte verdier av metylikvikksølv i sedimenter. Konsentrasjonene i Gunnekleivfjorden var i samme

størrelsesområde som det som er funnet i kvikksølvforurensede elvededimenter i Scotland og England (hhv. River Carron og River Mersey) (Craig and Moreton 1983), men betydelig høyere enn det som ble påvist i Minamata (opptil 7 ng/g) (Fujiki, 1973). Det er vanskelig å forklare at det relativt sett var såpass lavt i Minamata. Det må imidlertid legges til at dette nødvendigvis ikke representerer den totale metylkvikksølvbelastningen i Minamata siden fabrikkens slapp ut kvikksølv som var kjemisk metylert i prosessen.

Sett i forhold til totalkvikksølvverdiene er innholdet av metylkvikksølv lavt, mindre enn 1 promille. Tilsvarende var forholdet ca. 10 promille i de refererte britiske undersøkelser. Forholdstall mellom metylkvikksølv og totalkvikksølv på <1-10 promille er ofte oppgitt (Craig and Moreton 1983, Thompson et al. 1980, Bartlett et al. 1978).



Figur 10. Metylkvikksølv i overflatesedimentene.

Flere faktorer påvirker den mikrobielle metyleringen av kvikksølv, blant annet organisk materiale, uorganisk kvikksølv, oksygen, sulfid, pH (Bjørnberg and Håkanson 1988, Hammer et al. 1988). Det er ofte antatt at suboksiske eller anoksiske forhold favoriserer metyleringen. Ved tilstedeværelse av sulfid (i allefall over en viss lav verdi) vil enten uorganisk kvikksølv være utilgjengelig som kvikksølv-sulfid (løslighetsproduktet 10^{-52} , Bjørnberg and Håkanson 1988) eller metylkvikksølv omdannes til dimetylkvikksølv som fordampes til atmosfæren (Craig and Moreton 1983). Sistnevnte forfattere fant i en undersøkelse av sedimenter fra River Carron, Scotland, et økende metylkvikksølvinnhold med økende sulfidkonsentrasjoner opp til ca. 2 mg sulfid pr. gram tørt sediment. For sulfidverdier høyere enn dette var det et kraftig fall i metylkonsentrasjonene. Disse verdiene for sulfid kan ikke direkte sammenlignes med de fra Gunnekleiv. Craig & Moreton bestemte sulfid ved potensiometrisk titrering. Dette gir løst sulfid i porevann.

Det var ingen signifikante sammenhenger mellom metylkvikksølv og sulfid i Gunnekleiv. Det er ikke grunnlag for å trekke bastante konklusjoner om hva som kontrollerer metyleringen i Gunnekleivfjorden, men de sulfidverdiene som måles medfører ikke nødvendigvis at kvikksølvet er utilgjengelig for metylering.

Siden den høyeste metylkvikksølvverdien ble målt nær utslippet, er det en mulighet for at metylkvikksølv kan ha blitt tilført via avløpsvannet. Dette er påvist i forbindelse med utslippene fra en svensk kloralkalifabrikk (Lindestrøm 1986). Det er ingen indikasjoner på en kjemisk metylering i prosessen til klorfabrikken. Det har vært et utslipp av $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ med 15°C ferskvann i nærheten til der det høyeste metylkvikksølvverdiene ble målt. Økning av temperaturen vil øke diffusjonen og løsligheten til kvikksølv (Parks and Hamilton 1987) og den biologiske og mikrobiologiske aktiviteten. Eventuell temperaturøkning i vannet nær sedimentet vil bare være aktuelt i vinterhalvåret når temperaturen i Gunnekleiv er lav. Regnes det på dette, vil det trolig kun dreie seg om noen på grader økning i

temperatur. Det er vanskelig å tro at dette skal ha stor betydning for metyleringen.

4.4. Innhold av klororganiske forbindelser.

Sedimentene ble analysert for innhold av pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren, dekalorlobifenyl, totalt organisk bundet klor og dioksin. Vi skal først omtale de fire første forbindelsene som en gruppe.

4.4.1. Pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekalorlobifenyl.

Det var meget høye konsentrasjoner av pentaklorbenzen (5-CB), heksaklorbenzen (HCB), oktaklorstyren (OCS) og dekalorlobifenyl (10-CB) i sedimentene. Som et gjennomsnitt for hele datamaterialet var konsentrasjonene henholdsvis ca. 2700, ca. 13000, ca.4500 og ca. 5600 ganger høyere enn man finner i relativt uforurensede områder. Det er totalt lagret ca. 500, 1900, 600 og 900 kg av henholdsvis pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekalorlobifenyl i sedimentene.

Pentaklorbenzen (5-CB), heksaklorbenzen (HCB), oktaklorstyren (OCS) og dekalorlobifenyl (10-CB) er alle i stor grad naturfremmede, menneskelagde forbindelser. Imidlertid er dette stoffer som man nå finner igjen i mange områder uten punktkilder på grunn av luft/vanntransport av industri/kommunale utslipp. Det er derfor vanskelig å sette en eksakt bakgrunnsverdi. Den laveste verdien som ble målt av de fire forbindelsene var 0.01 ug/g. Denne deteksjonsgrensen for prøvene fra Gunnekleiv er satt relativt høyt. Det er gjort for å få alle analysesignalene innenfor det lineære området på kalibreringskurven (stor spredning i konsentrasjonene).

Sammenlignes det med verdier fra andre områder (Eder et al. 1987, Ernst et al. 1984, Ray et al. 1984a, se s.44 for nærmere diskusjon) kan en fornuftig "bakgrunnsverdi" for alle de fire nevnte forbindelsene være 0.001 ug/g. Til sammenligning ble det i Kristiansandsfjorden, i sedimenter som var avsatt før industriutslippene, målt konsentrasjoner av 5-CB, HCB, OCS og 10-CB på henholdsvis 0.0004, 0.001, 0.0005 og 0.000001 ug/g (Næs 85).

Tabellene 2-5 summerer opp analyseresultatene for 5-CB, HCB, OCS og 10-CB i de øverste 5 cm av sedimentene. Figur 11-13 viser fordelingen av HCB i fjorden, mens vedleggsfigur 10-18 viser det for 5-CB, OCS og 10-CB.

Tabell 2. Data for pentaklorbenzen i overflatesedimentene (0-5 cm). Konsentrasjoner i ug/g.

Variable:	GUNNE2.CB5
Sample size	31
Average	3.10645
Median	1.7
Mode	1.7
Geometric mean	1.76992
Variance	13.0886
Standard deviation	3.61782
Standard error	0.64978
Minimum	0.2
Maximum	12
Range	11.8
Lower quartile	0.7
Upper quartile	3.3
Interquartile range	2.6
Skewness	1.70828
Standardized skewness	3.88298
Kurtosis	1.66866
Standardized kurtosis	1.89645

Tabell 3. Data for heksaklorbenzen i overflatesedimentene
(0-5 cm). Konsentrasjoner i ug/g.

Variable:	GUNNE2.HCB
Sample size	31
Average	22.5903
Median	9.2
Mode	9.2
Geometric mean	13.1965
Variance	808.745
Standard deviation	28.4384
Standard error	5.10769
Minimum	1
Maximum	102
Range	101
Lower quartile	7.5
Upper quartile	26
Interquartile range	18.5
Skewness	2.17865
Standardized skewness	4.95215
Kurtosis	3.85956
Standardized kurtosis	4.38645

Tabell 4. Data for oktaklorstyren i overflatesedimentene
(0-5 cm). Konsentrasjoner i ug/g.

Variable:	GUNNE2.OCS
Sample size	30
Average	6.37333
Median	4.7
Mode	4.8
Geometric mean	4.59368
Variance	26.8365
Standard deviation	5.1804
Standard error	0.945807
Minimum	0.6
Maximum	22
Range	21.4
Lower quartile	3
Upper quartile	9
Interquartile range	6
Skewness	1.46136
Standardized skewness	3.26769
Kurtosis	1.89321
Standardized kurtosis	2.11667

Tabell 5. Data for dekalorbifenyl i overflatesedimentene (0-5 cm). Konsentrasjoner i ug/g.

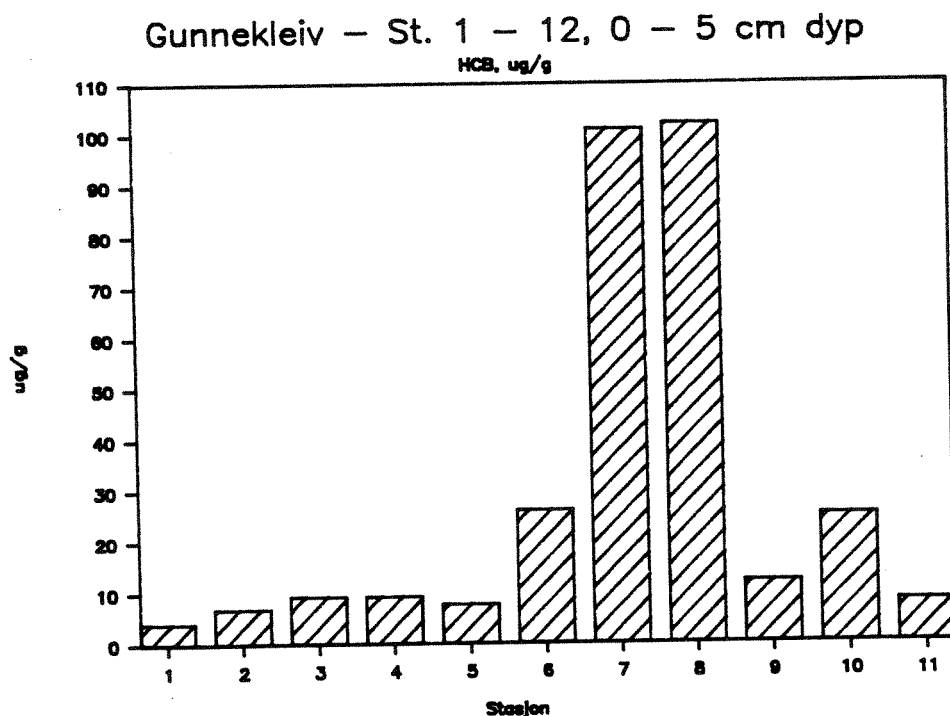
Variable:	GUNNE2.CB10
Sample size	31
Average	9.02258
Median	7.9
Mode	7.5
Geometric mean	6.58741
Variance	50.9771
Standard deviation	7.13983
Standard error	1.28235
Minimum	0.7
Maximum	36
Range	35.3
Lower quartile	4.5
Upper quartile	12
Interquartile range	7.5
Skewness	2.03707
Standardized skewness	4.63033
Kurtosis	6.04504
Standardized kurtosis	6.87028

Å sammenligne konsentrasjonene i Gunnekleivfjorden med "normalverdier" er kanskje lite meningsfullt på grunn av at sedimentene i fjorden er så dominert av industriutslipp. Imidlertid, for å få et begrep om størrelsesorden, kan vi sammenligne medianverdiene (som demper bidraget fra ekstremverdiene) for hele datasettet med den definerte bakgrunnsverdien. For 5-CB, HCB, OCS og 10-CB får vi da overkonsentrasjoner på henholdsvis 1600, 8100, 3000 og 4000. Hadde vi brukt de høyeste verdiene, som for eksempel stasjon 27 på østsiden av fjorden ville dette gitt HCB-konsentrasjoner på 100000 ganger det valgte bakgrunnsnivået.

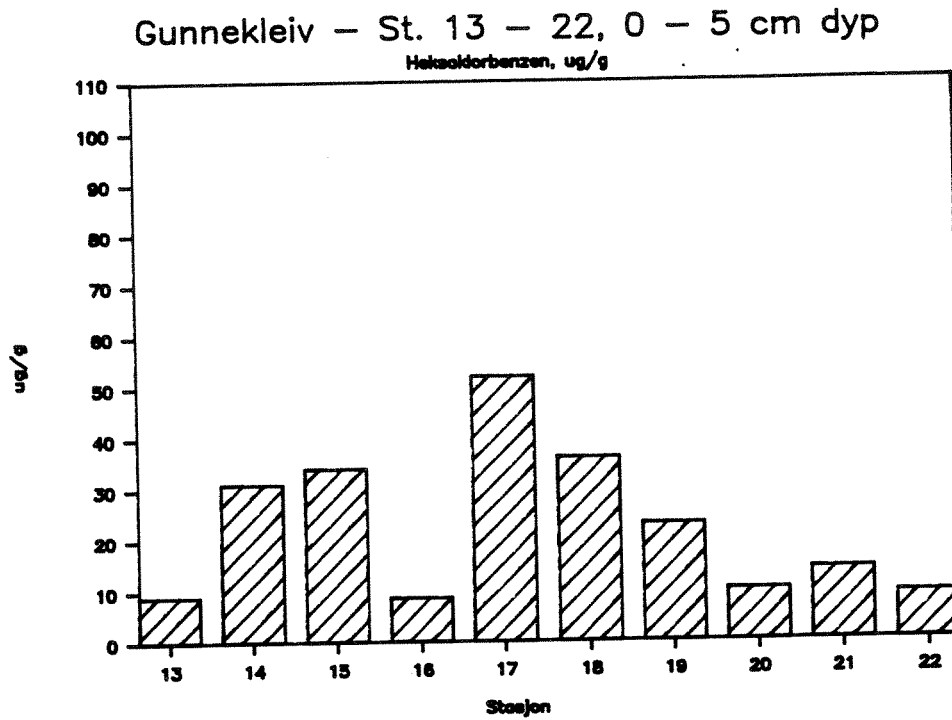
Ser vi på fordelingen i overflatesedimentene, er det spesielt området ved syretårnet (st.7 og 8) og stasjonen rett ovenfor på fjordens østside (st.27) som skiller seg ut med de høyeste verdiene. Dette er i stor grad sammenfallende med kvikksølvfordelingen. Mens det imidlertid ble målt relativt lave konsentrasjoner av kvikksølv i den nordre delen av djupålen, var

ikke dette tilfelle for de klororganiske forbindelsene. Spesielt hadde stasjon 14 og 15 høye verdier. Det tyder på at det er/har vært utslipp til nordre del av fjorden i tillegg til området ved syretårnet av klororganiske forbindelser. At dette ikke observeres på stasjonene 9, 10 eller 11 kan skyldes at disse ligger så nær land at relativt lite har sedimentert her.

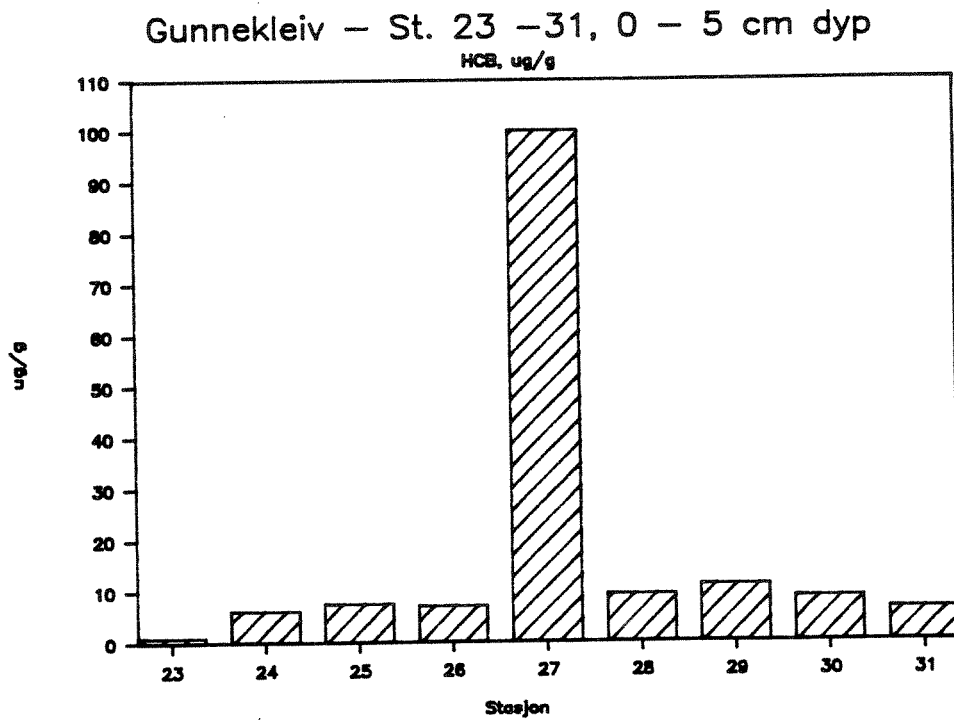
Analyseresultatene fra prøvene som ble tatt nedover i sedimentdypet, viste i motsetning til kvikksølvverdiene, at de høyeste konsentrasjonene var i overflatesedimentene. Som eksempel viser tabell 6 at blant annet gjennomsnitt, median og interkvartilområde for HCB i overflatesedimentene (31 verdier) var høyere enn for datamaterialet som helhet (87 verdier). Grunnen til dette er at de høyeste kvikksølvtilførslene var på midten og i siste halvdel av sekstitallet og redusert fra 1968, mens tilførslene av 5-CB, HCB, OCS og 10-CB til Gunnekleivfjorden var høyest i perioden 1961-1976 og deretter kraftig redusert. Det betyr, i motsetning til for kvikksølv, at man i analysene av de klororganiske forbindelsene i de øvre 5 cm, får med påvirkning fra den tiden da utslippene var størst.



Figur 11. Heksaklorbenzen i overflatesedimentene på stasjon 1-12.



Figur 12. Heksaklorbenzen i overflatesedimentene på stasjon 13-22.



Figur 13. Heksaklorbenzen i overflatesedimentene på stasjon 22-31.

Tabell 6. Sammenligning av resultater for heksaklorbenzen fra hele datasettet (sample size 87) med de fra overflatsedimentene (sample size 31). Konsentrasjoner i ug/g.

Variable:	Alle prøvedyp	Overflate-sediment
	HCB	HCB
Sample size	87	31
Average	12.9897	22.5903
Median	8.1	9.2
Mode	11	9.2
Geometric mean	5.23418	13.1965
Variance	367.555	808.745
Standard deviation	19.1717	28.4384
Standard error	2.05542	5.10769
Minimum	0.01	1
Maximum	102	102
Range	101.99	101
Lower quartile	3.8	7.5
Upper quartile	13	26
Interquartile range	9.2	18.5
Skewness	3.55403	2.17865
Standardized skewness	13.5333	4.95215
Kurtosis	13.8514	3.85956
Standardized kurtosis	26.3724	4.38645

Det var signifikante ($p < 0.05$) korrelasjoner mellom HCB, OCS og 10-CB. For 5-CB var det kun signifikant korrelasjon med HCB. God korrelasjon mellom 5-CB og HCB ble også funnet i utlekkingsforsøkene (Skei et al. 1989).

Beregning av mengde klororganiske forbindelser lagret i sedimentene er gjort på samme måte som for kvikksølv. Basert på de 31 stasjonene som det er tatt overflateprøver fra, inneholder de øverste 5 cm av sedimentet i Gunnekleivfjorden 70, 530, 130 og 170 kg av henholdsvis 5-CB, HCB, OCS og 10-CB. Vedleggsfigur 19 viser fordelingen av HCB pr. arealenhet for overflatesedimentene i de forskjellige sonene. Høyeste verdi var klart i sonen nær utslippet.

Gjennomfører vi beregningene for de forskjellige lagene nedover i sedimentet basert på de 10 stasjonene langs midtålen, er det totalt lagret 500, 1900, 600 og 900 kg av henholdsvis 5-CB, HCB,

OCS og 10-CB i sedimentene i Gunnekleivfjorden. Vedleggsfigur 9 viser fordelingen pr. arealenhet i de forskjellige fjordområdene. Tabell 7 viser mengdene i noen av dypintervallene.

Tabell 7. Mengde i kg for hele fjordområdet av 5-CB, HCB, OCS og 10-CB i forskjellige dypinertervaller i sedimentet.

Dyp	5-CB	HCB	OCS	10-CB
0-5 cm (31 stasjoner)	70	530	130	170
0-5 cm (10 stasjoner)	50	380	170	200
5-10 cm	45	210	60	200
10-15 cm	60	260	160	220
15-20 cm	85	160	55	60
30-35 cm	40	190	40	60

Hvis vi sammenligner mengden i de øverste 5 cm basert på 31 stasjoner med mengden basert på 10 stasjoner langs djupålen, ser vi at forskjellene er +/- 25-30 % . Dette er i samme størrelsesorden som forskjellene i kvikksølvberegningene.

Tabell 7 viser også at det, i motsetning til for kvikksølv, ikke er noe maksimum i 10-15 cm nivå i sedimentet. Det betyr at belastningen på fjorden har vært størst i den perioden som er representert av de øverste 5 cm og stemmer overens med det som konsentrasjonsfordelingen indikerte.

Sammenligner vi nå med total mengde lagret i sedimentene, vil vi for HCB finne igjen i dagens Gunnekleiv 34 % av de totale utslippene. Dette er samme forholdstall som for kvikksølv. Forholdet HCB:OCS lagret i sedimentet er vel 3, som er i rimelig overenstemmelse med vektmengdeforholdet i utslippet. Norsk Hydro opplyser at 5-CB mengden skal tilsvare ca. 5 % av HCB mengden. I sedimentet totalt finner vi imidlertid at 5-CB utgjør 25 % av HCB. I de øverste 5 cm av sedimentet utgjør OCS 25 % av HCB og 5-

CB 13% . 5-CB er et vanlig nedbrytningsprodukt av HCB. Dette kan være noe av forklaringen på relativt sett mere 5-CB i sediment enn i avløpsvannet. Norsk Hydro (O. Haugerød, pers.med.) opplyser at 5-CB-verdiene ligger nær deteksjonsgrensen i analysen. Usikkerhet i analysene av avløpsvannet kan derfor også være en forklaring.

De øverste 5 cm av sedimentet ble beregnet til å inneholde ca. 500 kg HCB. For at dette skal stemme med tilførselstallene (fig. I-2), må dette sedimentlaget inneholde utslipp fra de siste ca. 10 årene som gir en sedimenttilvekst på ca. 5 mm/år for dette laget.

Hvis vi går ut fra at de øverste 5 cm av sedimentet representerer de siste 10 årene, betyr det, for HCB, at 60-70 % av tilførselene har sedimentert i fjorden og ca. 30-40 % transportert ut av Gunnekleiv. Dette er i meget god overenstemmelse med beregningene til Molvær (1989) gjort på grunnlag av målinger i vannmassene knyttet til dagens utslippssituasjon.

Det er sparsomt med publiserte artikler angående klororganiske forbindelser fra tilsvarende undersøkelser. Analyser av sedimenter fra Portland, Maine viste HCB verdier på gjennomsnittlig 0.00014 ug/g (n=8, variasjon 0.00037 - <0.00003 ug/g) (Ray et al. 1984a), fra Corpus Christi Bay, Texas gjennomsnitt på 0.11 (n=0, variasjon 0.00073 - <0.00001 ug/g) (Ray et al. 1984b) og OCS fra Tyskebukta på gjennomsnittlig 0.001 (n=3, variasjon 0.0013 - 0.00087) (Ernst et al. 1984). I sedimenter fra Elben mellom Hamburg og Cuxhaven ble det funnet konsentrasjoner av HCB på opp til 0.2 ug/g og OCS opp til 0.01 ug/g (Eder et al. 1987). Sammenlignet med de fleste av disse verdiene er konsentrasjonene i Gunnekleivfjorden svært høye.

4.4.2. Totalt organisk bundet klor i sedimentene.

 Det var meget høye konsentrasjoner av organisk bundet klor i overflatesedimentene. Opptil 16 mg/g av sedimentet utgjøres av klorerte forbindelser. Pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren og dekaklorbifenfyl utgjør bare ca. 1% av dette.

Totalt organisk bundet klor, TOCl, ble analysert på separate overflateprøver fra tre stasjoner. Tabell 8 gir konsentrasjonene av TOCl samt 5-CB, HCB og 10-CB fra samme prøve.

Tabell 8. Innhold (ug/g) av i 0-5 cm dyp av TOCl, 5-CB, HCB og OCS på separate prøver. Tall i parentes er resultater fra overflatesedimenter fra prøveinnsamlingen som representerer hele datamaterialet.

Stasjon	5-CB	HCB	OCS	10-CB	TOCl
13	0.2	1.8 (8.9)	* (3.0)	1.2	8130
17	0.4	13 (52)	* (22)	4.6	16570
22	0.2	1.8 (9.1)	* (5.7)	4.6	183

* = maskert

Tabellen viser for det første at det kan være betydelige variasjoner over et relativt lite område, jamnfør HCB-verdiene.

TOCl-konsentrasjonene skal gi den totale organiske klormengden, både persistent og ikke persistent. Tabellen viser at det kun er en meget liten del av klormengden som er representert ved de fire utvalgte analyseparameterne, spesielt på stasjon 17 hvor dette var mindre enn 1 % av TOCl. Noe av dette kan trolig forklares ved at hypoklorittutslippet til fjorden fram til 1981 har klorert det naturlige organiske materialet. Det er imidlertid behov for nøyere å kvantifisere TOCl-mengden.

4.4.3. Innhold av dioksiner i sedimentet.

 Det var høyt innhold av dioksiner i overflatesedimentet, generelt 2-3 ganger 2,3,7,8-TCDD-ekvivalentverdien man finner i Frierfjorden.

Prøver fra overflatesedimentet på stasjon 13, 17 og 22 ble analysert for innhold av polyklorerte dibenzodioksiner og -furaner, PCDD og PCDF. Tabell 9 summerer dette samt 2,3,7,8-TCDD-ekvivalenter.

Tabell 9. Innhold av PCDD, PCDF og 2,3,7,8-TCDD-ekvivalenter (ng/g) i sedimenter (0-5 cm) fra Gunnekleiv.

Stasjon	Sum PCDF	Sum PCDD	2,3,7,8 TCDD ekv.
13	4015	98	60
17	2287	49	48
22	906	74	20

Nivåene er høye. Verdiene fra stasjon 22 er sammenlignbare med det som er målt i sedimentene i Frierfjorden (stasjon F3, 2,3,7,8 TCDDekv.=18). Sammenligner vi med Kristiansandsfjorden ble det i Vesterhavnområdet (stasjon K 18) målt sum PCDD/PCDF og 2,3,7,8 TCDD ekvivalenter på henholdsvis 17 og 0.4 ng/g (Knutzen et al. 1988). I følge M. Oehme (NILU) ligner PCDD/PCDF-mønsteret lite på det som er funnet i Frierfjorden, men er mere likt det som ble identifisert i prosessprøver fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Spesielt gjaldt dette stasjon 13. Tetra-, penta- og heksaisomergruppen inneholdt ved siden av de mest toksiske 2,3,7,8-substituerte komponentene bare noen få isomerer i tillegg. Årsaken til dette spesielle mønsteret kan være tilstedeværelse av tungmetaller og en aktiv kloreringsprosess som dannelsesmekanisme (M.Oehme pers.med.).

På stasjon 13 og 22 var 2,3,4,6,7,8,-~~HCDF~~^{PCDF}-isomerer en viktig bestanddel og utgjorde henholdsvis 47 og 77 % av 2,3,7,8,-TCDD-

ekvivalentverdien. På stasjon 22 utgjorde den bare 2% . Disse variasjonene over korte avstander er vanskelige å forklare. Dioksinanalysene var ment som orienterende analyser. For å beskrive dioksinfordelingen i Gunnekleivfjorden må derfor supplerende undersøkelser gjennomføres.

Resultatene tyder på at de høyeste konsentrasjonene er i den nordre delen av fjorden. Dette er delvis i overensstemmelse med resultatene av 5-CB, HCB, OCS og 10-CB hvor det også var høye konsentrasjoner i den nordre delen av fjorden (se vedleggsfig. 11, fig. 12, vedleggsfig. 14, vedleggsfig. 17). Spesielt gjelder dette for 5-CB.

4.5. Innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner.

Det er relativt høye PAH konsentrasjoner i overflatesedimentet, 50-100 mere enn normalt.

På de samme tre separate prøvene som det ble analysert på TOCl, ble også innholdet av polysykliske aromatiske hydrokarboner, PAH, bestemt. Tabell 10 gir resultatene.

Tabell 10. Innhold av PAH (ug/g) i overflatesedimenter fra Gunnekleiv.

Stasjon	Sum PAH
13	24.3
17	43.9
22	28.0

PAH-konsentrasjonene er høye. Man kan regne at bakgrunnsverdien er 0.3 -0.5 ug/g. PAH-påvirkningen kan også delvis skyldes utslipp fra Elkem PEA. At de høyeste verdiene observeres på stasjon 17 som også har høye konsentrasjoner kvikksølv og klororganiske forbindelser, kan skyldes at dette er i et område med stor sedimentasjon av finpartikulært materiale.

5. REFERANSER

- Baalsrud, K., N. Green, J. Knutzen, K. Næs og B. Rygg 1986.
Overvåkning av Årdalsfjorden. En tiltaksorientert undersøkelse av forurensinger fra aluminiumsindustri og befolkning. Statlig program for forurensningsovervåkning. Rapport 226/86, SFT/NIVA, Oslo 133 s.
- Bartlett, P.D., P.J. Craig og S.F. Morton 1978.
Total mercury and methyl mercury levels in British estuarine and marine sediments. *Sci. Total Environ.*, 10 : 245-251.
- Bjørnberg, A., L. Håkanson og K. Lundbergh 1987.
A theory on the mechanisms regulating the bioavailability of mercury in natural waters. *Environ. Poll.*, 49 : 53-61.
- Bouveng, H.O. 1968. Klorindustrin och kviksilverproblemet. *Modern Kjemi*, 3: 1-3.
- Clifton, A., P. and C.M.G. Vivian 1975. Retention of mercury from an industrial source in Swansea Bay sediments. *Nature*, 253: 621-622.
- Craig, P., J. and P.A. Moreton 1983. Total mercury, methyl mercury and sulphide in River Carron Sediments. *Mar. Pollut. Bull.*, 14: 408-411.
- Eder, G., R. Sturm og W. Ernst 1987.
Chlorinated hydrocarbons in sediments of the Elbe river and the Elbe estuary. *Chemosphere*, Vol. 16, 10-12 : 2487-2496.
- Ernst, W., V. Weigelt og K. Weber 1984.
Octachlorostyrene - A permanent micropollutant in the North Sea. *Chemosphere*, Vol. 13, 1 : 161-168.

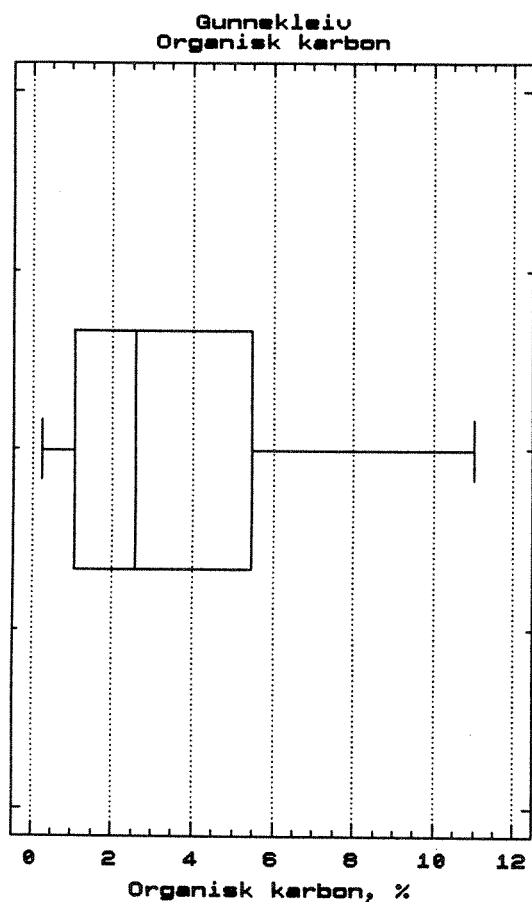
- Figueres, G., J.M. Marting, M. Meybeck og P. Seyler 1985.
A comparative study of mercury contamination in the Tagus estuary (Portugal) and major French estuaries (Gironde, Loire, Rhone). *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 20 : 183-203.
- Fujiki, M. 1973. The transitional condition of Minamata Bay and the neighbouring sea polluted by factory waste containing mercury. In: *Adv. Water Pollut. Res.*, 905-920. J.H. Jenkins (ed.). Pergamon, Oxford.
- Förstner, U. og G.T.W. Wittman 1979.
Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- Goldhaber, M.B., og I.R. Kaplan 1974.
The sulfur cycle. In: *The Sea*, 5 : 569-655. E.D. Goldberg (ed.). John Wiley & Sons, New York, London, Sidney, Toronto.
- Gulbrandsen, R., K. Baalsrud, J. Molvær og B. Rygg 1987.
Brukerundersøkelse for Grenlandsfjordene.
Overvåkningsrapport 293/87. NIVA-rapport O-8000312/2057, Oslo.
- Hammer, U.T., A.T. Merkowsky og P.M. Huang 1988.
Effects of oxygen concentrations on release of mercury from sediments and accumulation by Ceratophyllum demersum and Anodonta grandis. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 17 : 257-262.
- IVL, 1978. Gaskromatografisk bestemmning av metylkvikksilver. Pub. C25. Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Stockholm.

- Knutzen, J., K. Martinsen og M. Oehme 1988.
Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i organismer fra Kristiansandsfjorden 1986-87. Statlig prog., rapp. 312/88, O-8000357, SFT/NIVA, Oslo, 110 s.
- Lindeström, L. 1986. Gäddans kvicksilverhalt i norra Väneren - sedimentens, fabrikkens och andra faktorerers betydelse för utvecklingen under 1974-1984. Naturvårdsverket rapport 3181. ISBN 91-620-3181-3.
- Loring, D., H. and J., M. Brewers 1978. Geochemical mass balance for mercury in a Canadian fjord. Chem. Geol., 22: 309-330.
- Molvær, J. 1989. Miljøgifter i Gunnekleivfjorden. Delrapport 2: Miljøgifter i vannmassene. Transport av miljøgifter til Skienselva og Frierfjorden. NIVA-rapport O-8806802, Oslo
- Molvær, J., T. Bokn, L. Kirkerud, K. Kvalvågnes, G. Nilsen, B. Rygg og J. Skei 1979. Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende områder. Rapport nr. 8. Sluttrapport. NIVA-rapport O-70111, Oslo.
- Müller, G., G. Grimmer og H. Böhnke 1977. Sedimentary record of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in Lake Constance. Naturwissenschaften, 64 : 427-431.
- Nakanishi, H., M. Ukita, M. Sekine and S. Murakami 1987.
Proceeding: 4th International Symposium, Interactions between sediments and water, Melbourne, Feb. 1987.
- Niemistö, L. 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. Helsinki, 238 : 33-38.

- Næs, K. og B. Rygg 1982. Supplerende basisundersøkelse i Sør-fjorden 1981. Statlig prog., rapp. 51/82, O-8000306, SFT/NIVA, Oslo 39 s.
- Næs, K. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport: Metaller i vannmassene, metaller og organiske miljøgifter i sedimentene. Statlig prog., rapp. 193/85, O-8000353, SFT/NIVA, Oslo 62 s.
- Næs, K. og B. Rygg 1988. Tiltaksorientert overvåkning av Sunndalsfjorden, Møre og Romsdal. Delrapport 1. Sedimenter og bløtbunnfauna 1986. Statlig prog., rapp. 306/88, O-800036/8000362, SFT/NIVA, Oslo, 54 s.
- Parks, J.W. and A.L. Hamilton 1987. Accelerating recovery of the mercury-contaminated Wabigoon/English River system. *Hydrobiol.*, 149: 159-188.
- Ray, L.E., H.E. Murray og C.S. Giam 1983. Organic pollutants in marine samples from Portland, Maine. *Chemosphere*, Vol. 12, 7/8 : 1031-1038.
- Ray, L.E., H.E. Murray og C.S. Giam 1983. Analysis of water and sediment from the Nueces estuary/Corpus Christi Bay (Texas) for selected organic pollutants. *Chemosphere*, Vol. 12, 7/8 : 1039-1045.
- Skei, J. 1978. Serious mercury contamination of sediments in a Norwegian semi-enclosed bay. *Mar. Pollut. Bull.*, 9 : 191-193.
- Skei, J. A. Pedersen, T. Bakke og J.A. Berge 1989. Miljøgifter i Gunnekleivfjorden. Delrapport 4: Utlekking av kvikksølv og klororganiske forbindelser fra sedimentene, bioturbasjon og biotilgjengelighet. (Eksperimentelt arbeid på Solbergstrand). NIVA-rapport O-8806804, Oslo.

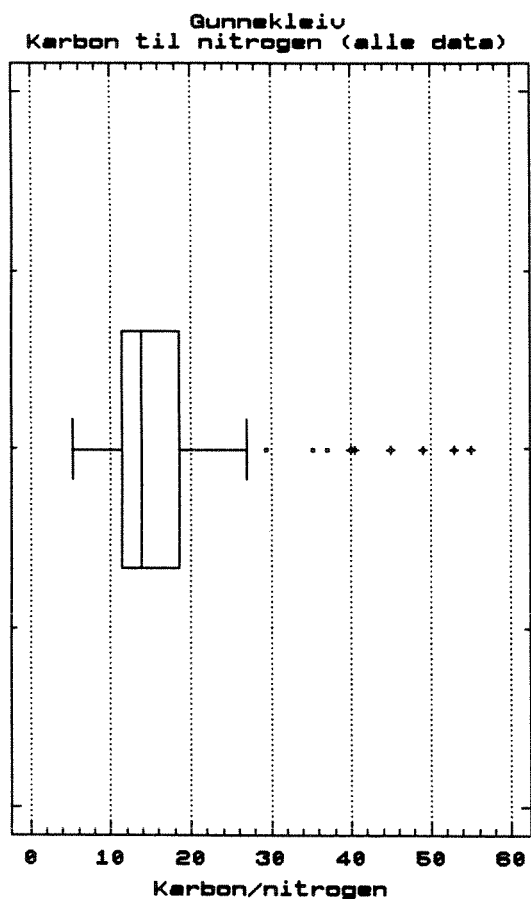
Thompson, J.A.J., R.W. Macdonald og C.S. Wong 1980.
Mercury geochemistry in sediments of a contaminated
fjord of coastal British Columbia. *Geochem J.*, 14: 71-
82.

6. VEDLEGG

6.1. Vedleggsfigurer.

Variable:	GUNNE1.C
Sample size	87
Average	3.50057
Median	2.58
Mode	3.7
Geometric mean	2.28624
Variance	8.9448
Standard deviation	2.99079
Standard error	0.320646
Minimum	0.23
Maximum	11
Range	10.77
Lower quartile	1.05
Upper quartile	5.47
Interquartile range	4.42
Skewness	0.96623
Standardized skewness	3.67929
Kurtosis	-0.112774
Standardized kurtosis	-0.214715

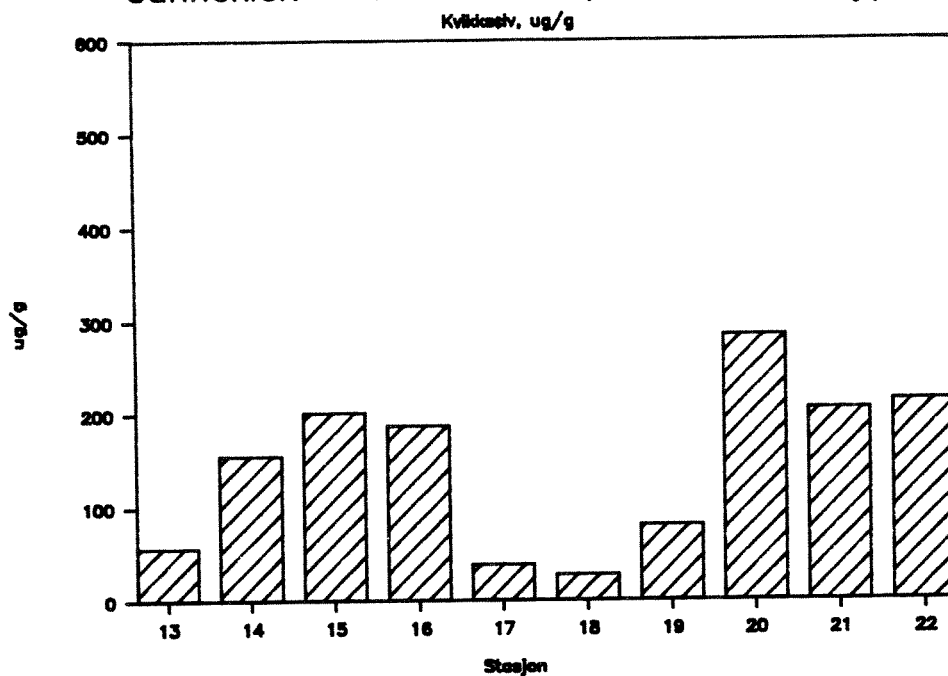
Vedleggsfigur 1. Oversikt over organisk karbonkonsentrasjonene i sedimentet (hele datasettet d.v.s. overflatesedimentet pluss verdier i sedimentdypet). Boksen representerer interkvartilområdet. Det vil si at 50 % av dataene er inkludert i boksen. Den vertikale streken i boksen gir medianverdien. De to horisontale linjene gir maksimum og minimum definert som $1.5 \cdot$ interkvartilområdet. Verdier utenfor dette vil framkomme som enkeltpunkter.



Variable:	GUNNE1.CN
Sample size	87
Average	16.842
Median	13.5789
Mode	13.5789
Geometric mean	14.6939
Variance	103.821
Standard deviation	10.1893
Standard error	1.09241
Minimum	1.43478
Maximum	55
Range	53.5652
Lower quartile	11.1875
Upper quartile	18.5349
Interquartile range	7.34738
Skewness	2.12895
Standardized skewness	8.10679
Kurtosis	4.52047
Standardized kurtosis	8.60672

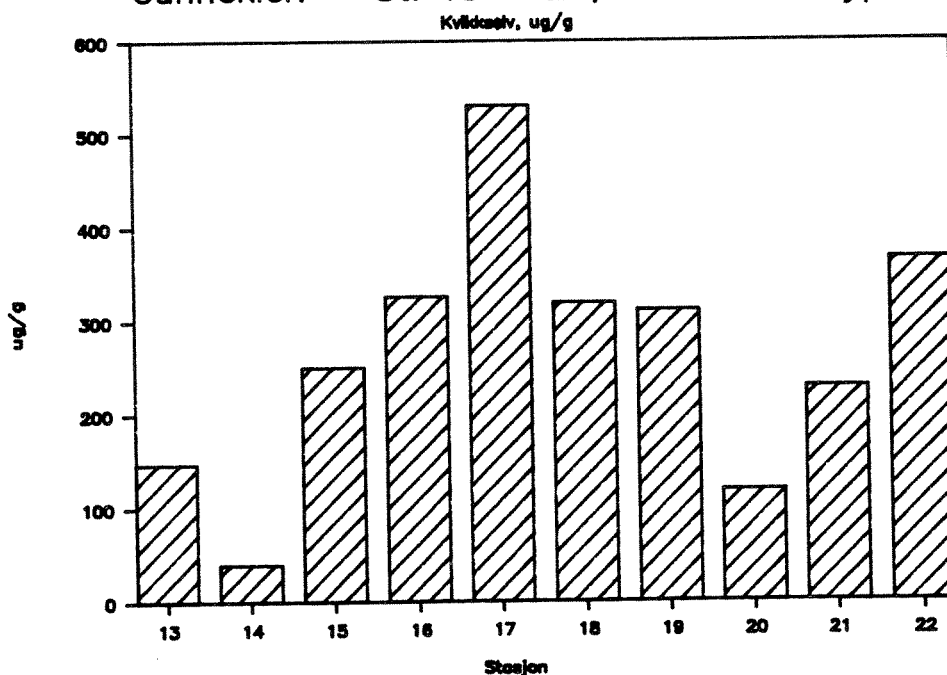
Vedleggsfigur 2. Oversikt over organisk karbon til nitrogen forholdet i sedimentene (hele datasettet). Se vedleggsfig. 1 for nærmere forklaring.

Gunnekleiv – St. 13 – 22, 5 – 10 cm dyp



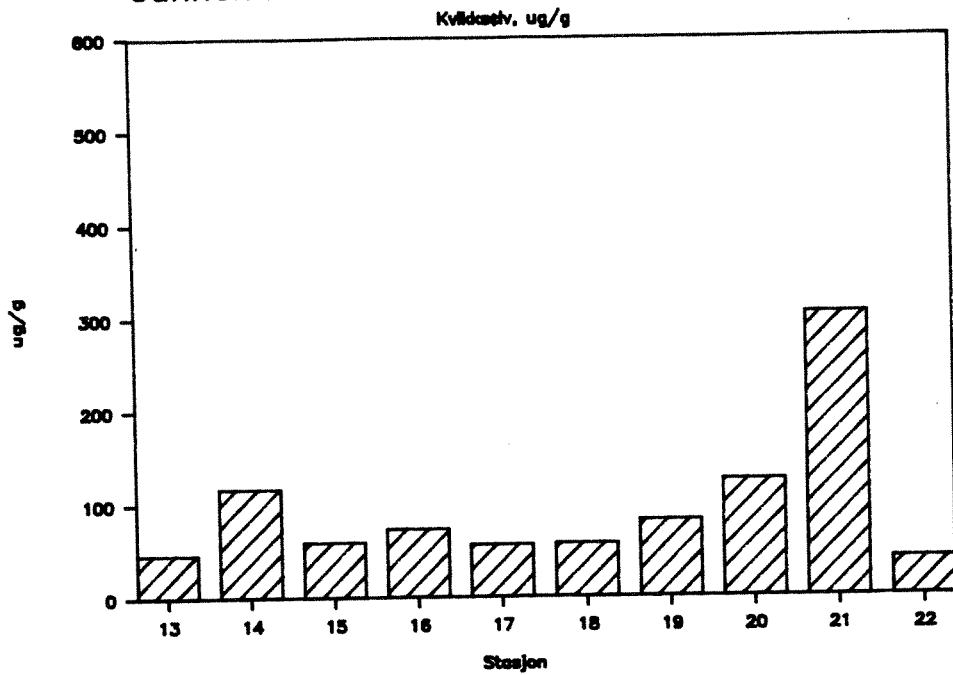
Vedleggsfigur 3. Kvikksølv i 5-10 cm sedimentdyp på stasjon 13-22. Merk forandring i skala fra fig. 8.

Gunnekleiv – St. 13 – 22, 10-15 cm dyp



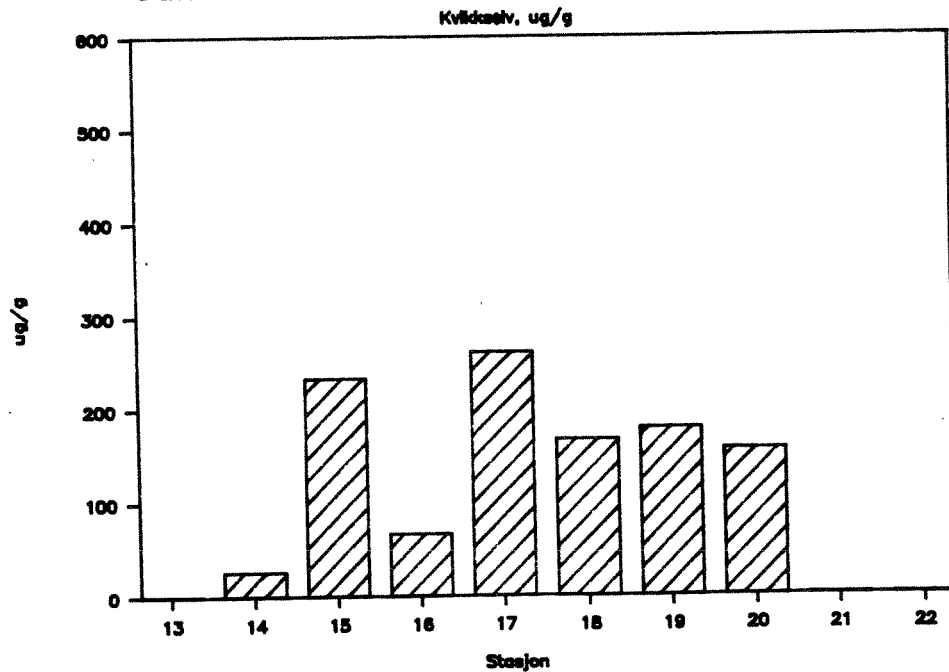
Vedleggsfigur 4. Kvikksølv i 10-15 cm sedimentdyp på stasjon 13-22.

Gunnekleiv – St. 13 – 22, 15–20 cm dyp



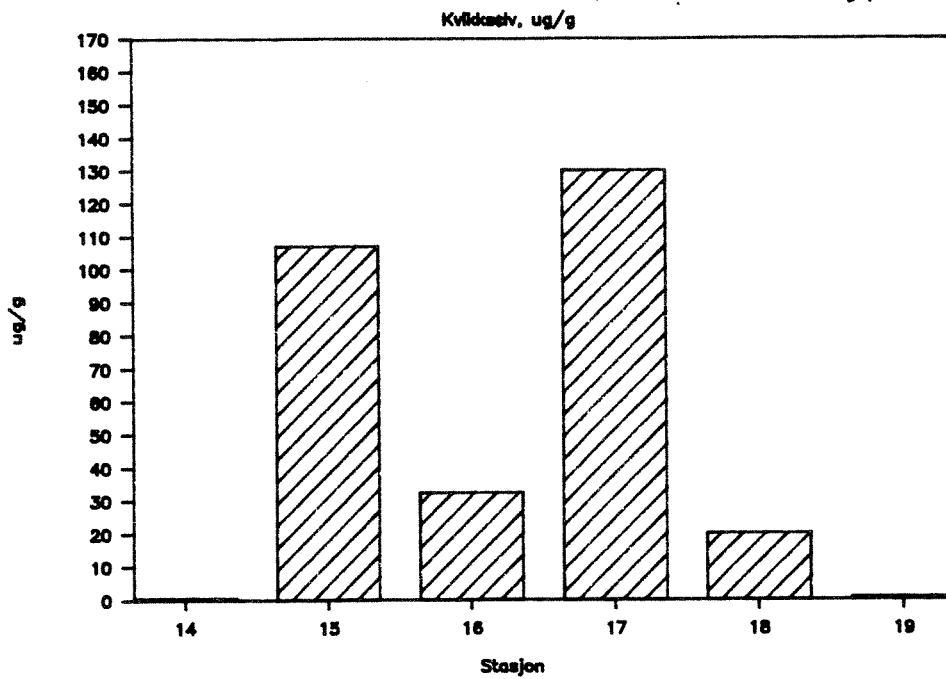
Vedleggsfigur 5. Kvikksølv i 15-20 cm sedimentdyp på stasjon 13-22.

Gunnekleiv – St. 13 – 22, 30–35 cm dyp

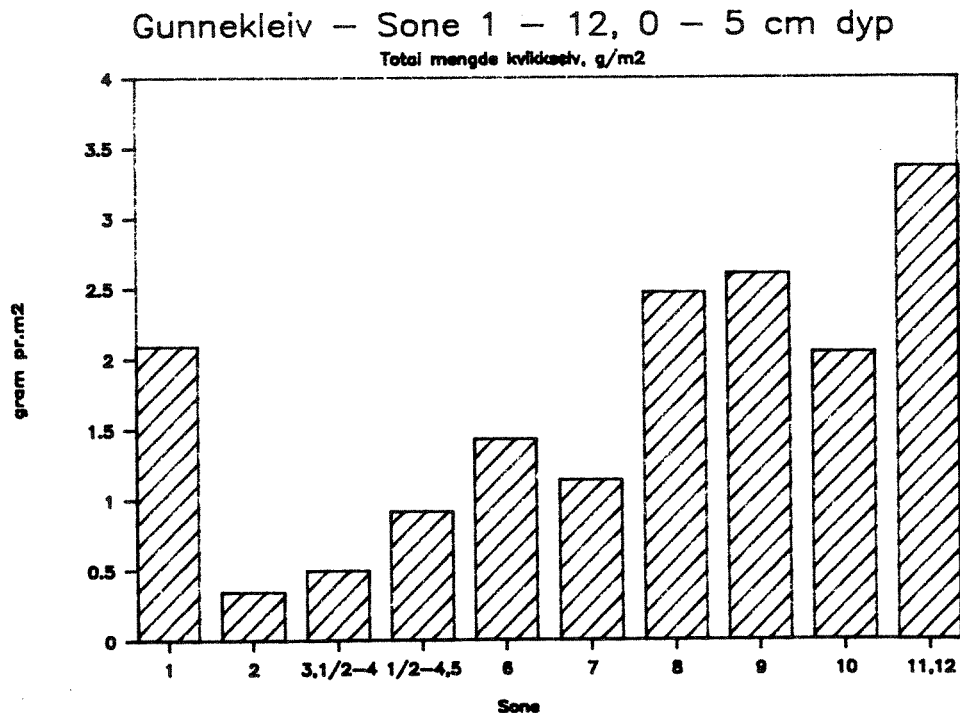


Vedleggsfigur 6. Kvikksølv i 30-35 cm sedimentdyp på stasjon 13-22.

Gunnekleiv – St. 14 – 19, 45–50 cm dyp

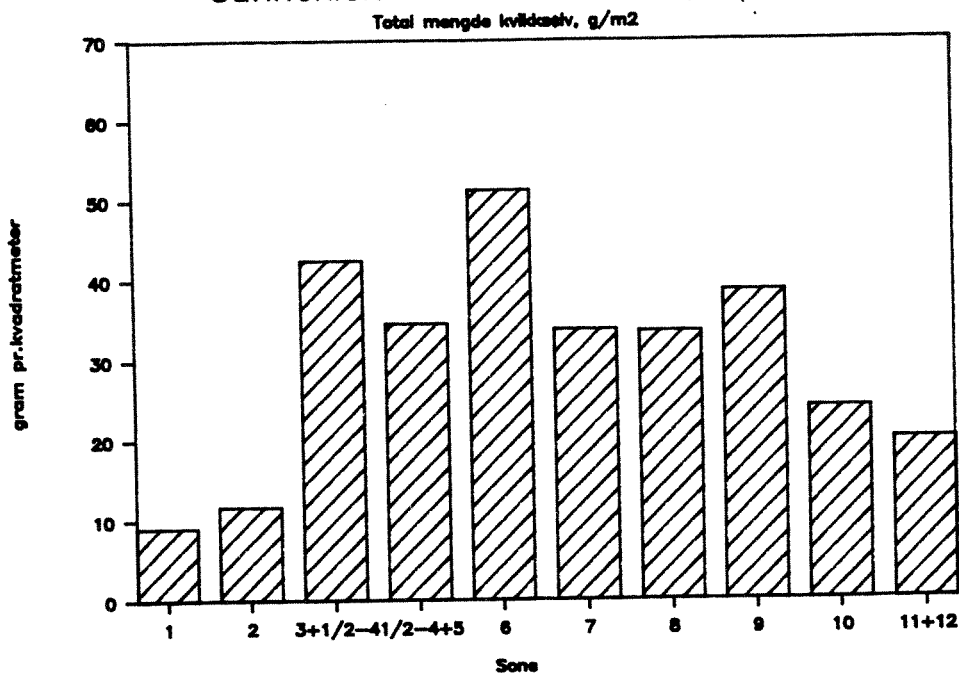


Vedleggsfigur 7. Kvikksølv i 45–50 cm sedimentdyp på stasjon 13–22. Merk forandring i skala fra vedleggsfig. 6.



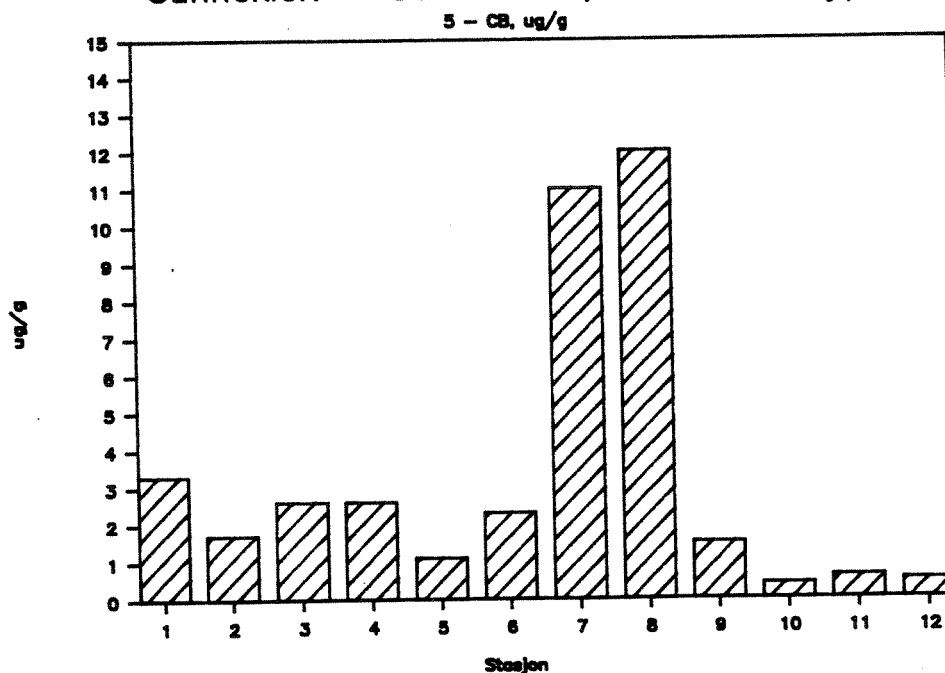
Vedleggsfigur 8. Total mengde kvikksølv pr. m² i overflatesedimentet i de forskjellige sonene (se Figur.9).

Gunnekleiv – Sone 1 – 12, totalt



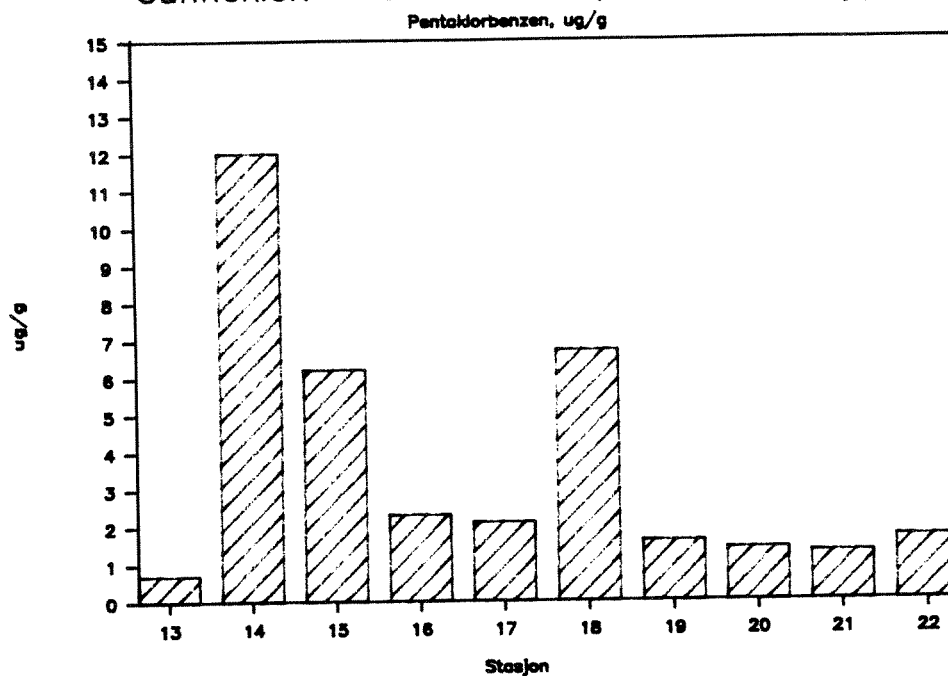
Vedleggsfigur 9. Total mengde kvikksølv pr. m² i sedimentet totalt sett i de forskjellige sonene.

Gunnekleiv – St. 1 – 12, 0 – 5 cm dyp



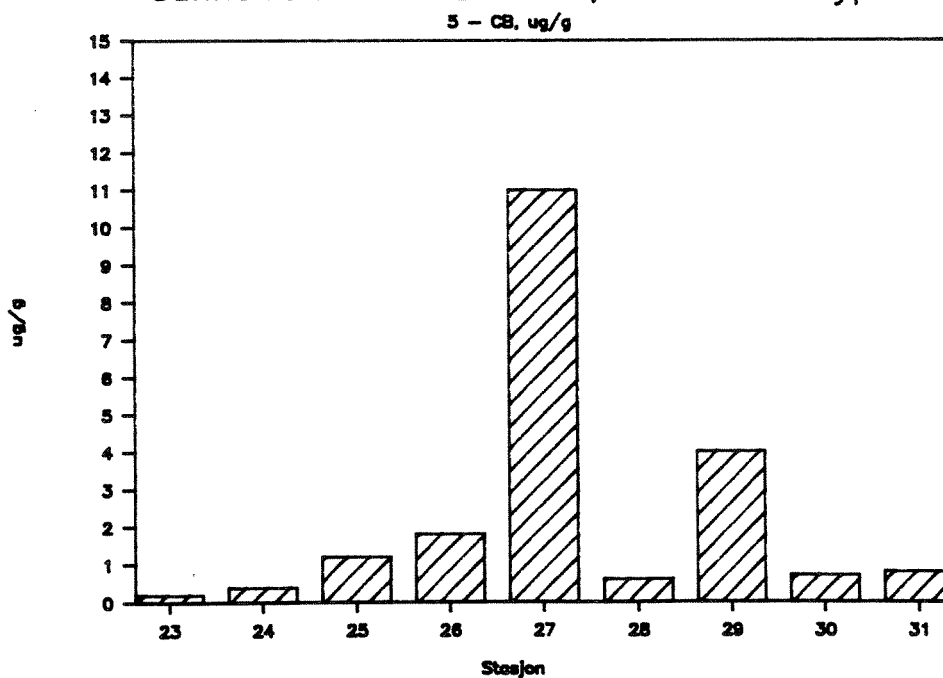
Vedleggsfigur 10. Pentaklorbenzen i overflatesedimentene på stasjon 1-12.

Gunnekleiv – St. 13 – 22, 0 – 5 cm dyp



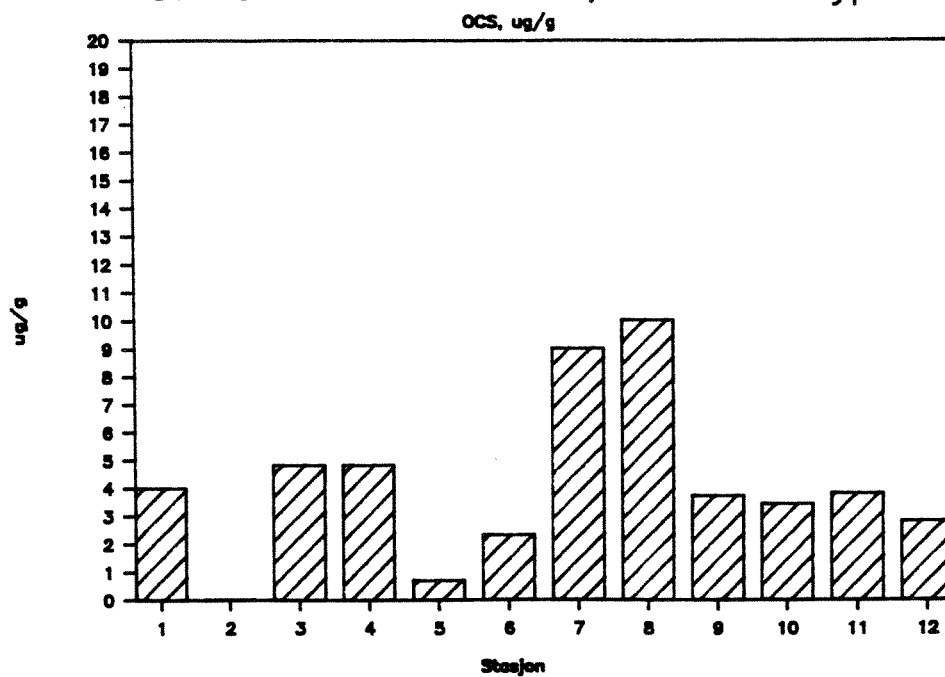
Vedleggsfigur 11. Pentaklorbenzen i overflatesedimentene på stasjon 13-22.

Gunnekleiv – St. 23 – 31, 0 – 5 cm dyp



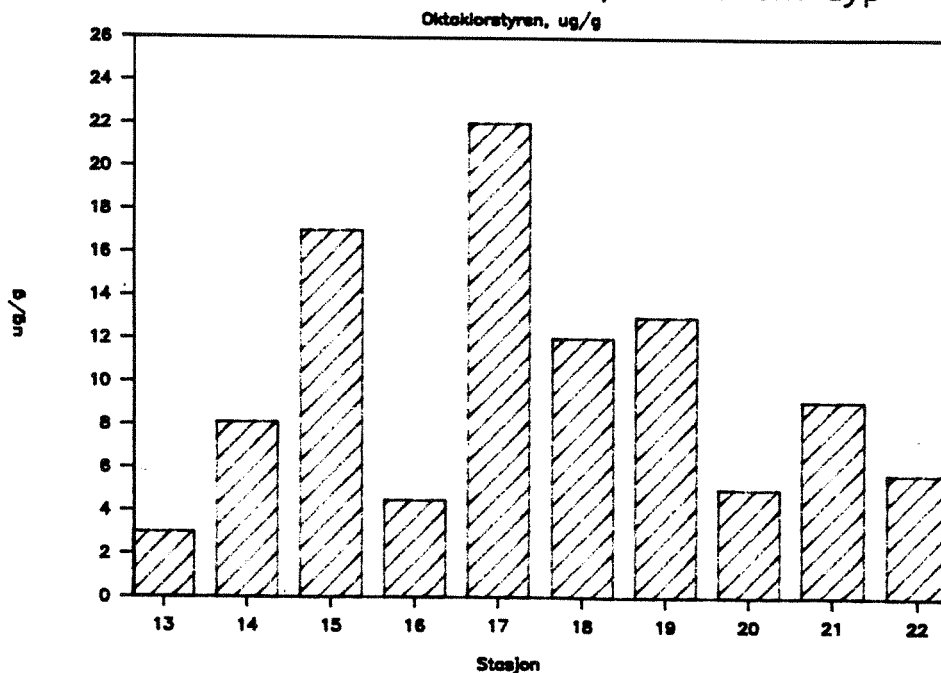
Vedleggsfigur 12. Pentaklorbenzen i overflatesedimentene på stasjon 23-31.

Gunnekleiv – St. 1 – 12, 0 – 5 cm dyp



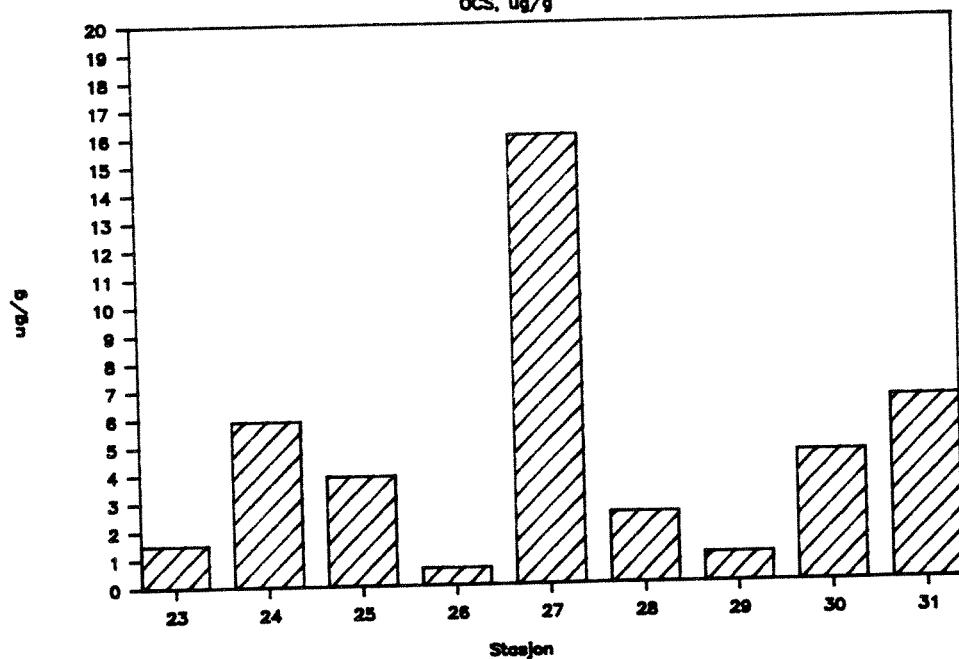
Vedleggsfigur 13. Oktaklorstyren i overflatesedimentene på stasjon 1-12.

Gunnekleiv – St. 13 – 22, 0 – 5 cm dyp



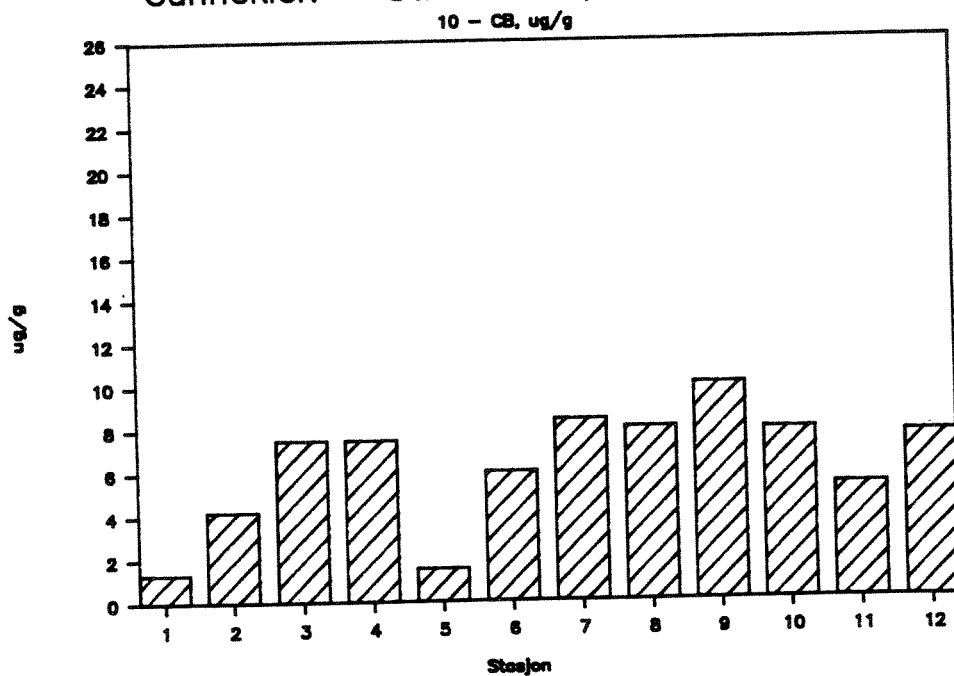
Vedleggsfigur 14. Oktaklorstyren i overflatesedimentene på stasjon 13-22.

Gunnekleiv – St. 23 – 31, 0 – 5 cm dyp

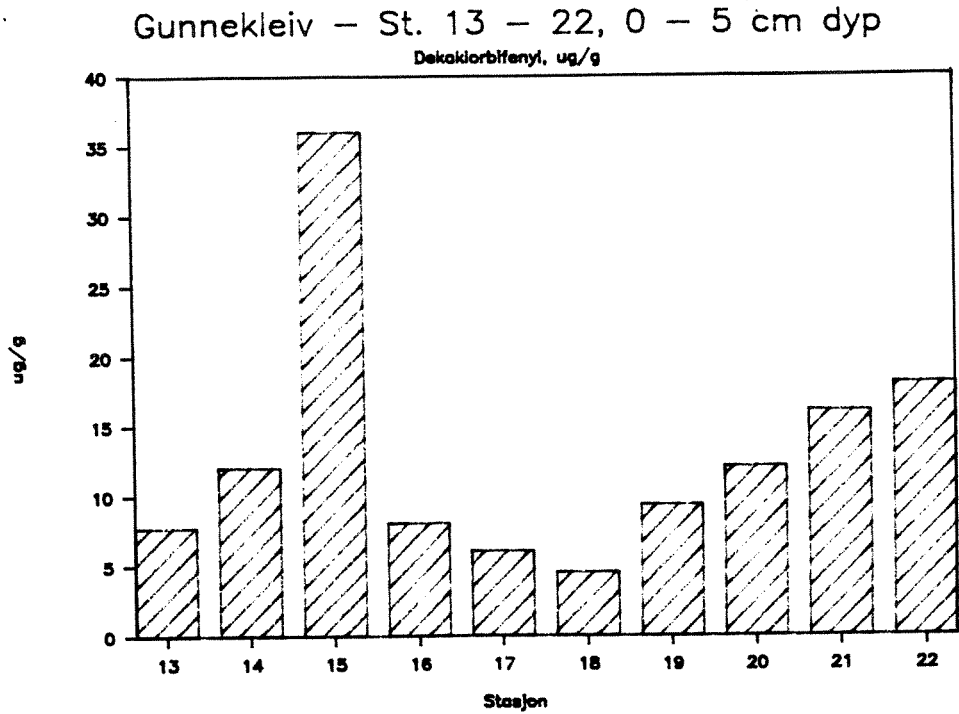


Vedleggsfigur 15. Oktaklorstyren i overflatesedimentene på stasjon 23-31.

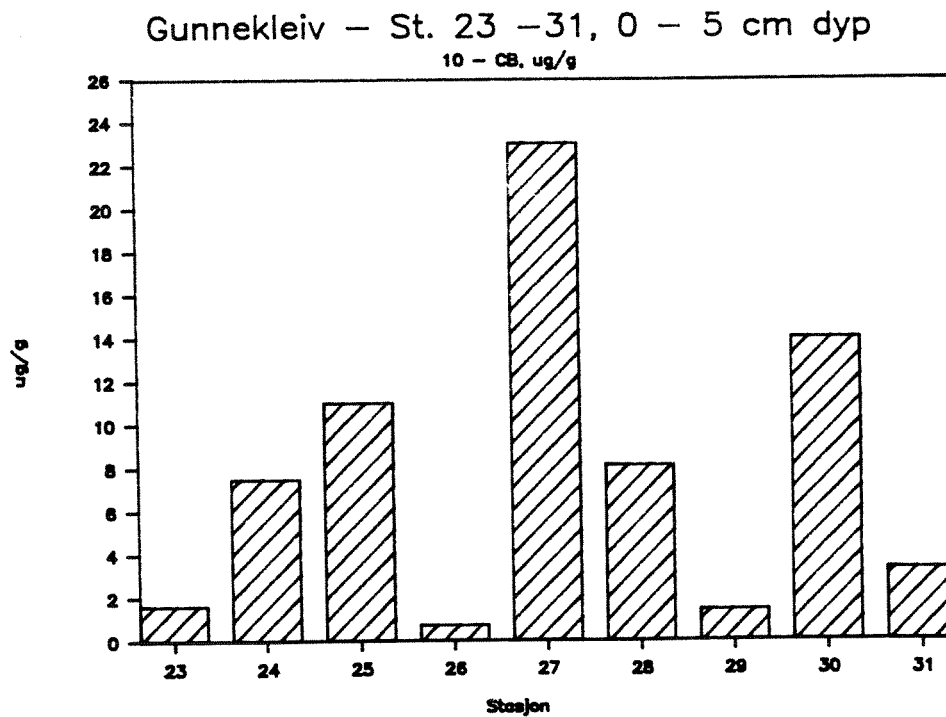
Gunnekleiv – St. 1 – 12, 0 – 5 cm dyp



Vedleggsfigur 16. Dekaklorbifenyl i overflatesedimentene på stasjon 1-12.

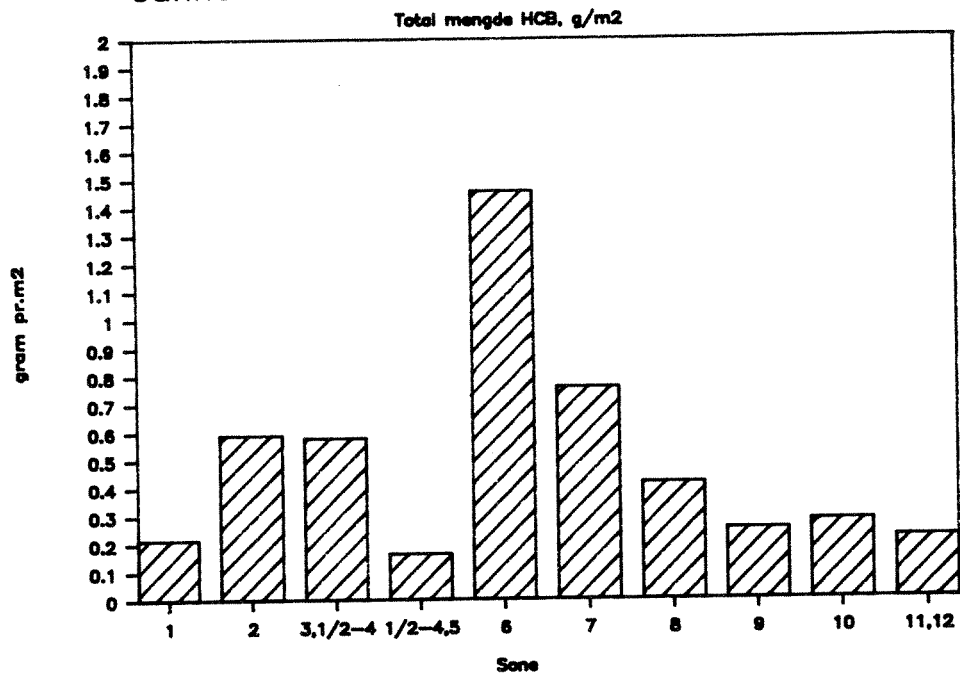


Vedleggsfigur 17. Dekaklorbifenyli i overflatesedimentene på stasjon 13-22.

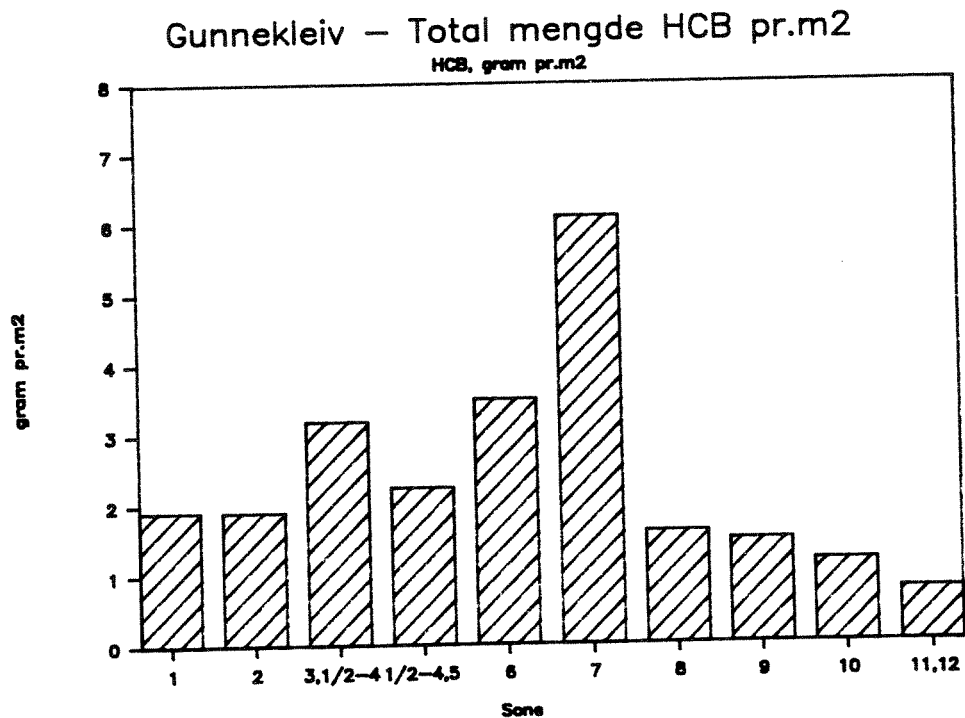


Vedleggsfigur 18. Dekaklorbifenyli i overflatesedimentene på stasjon 23-31.

Gunnekleiv – Sone 1 – 12, 0 – 5 cm dyp



Vedleggsfigur 19. Heksaklorbenzen (gram pr.m²) i overflatesedimentene i de forskjellige sonene i fjorden.



Vedleggsfigur 20. Heksaklorbenzen (gram pr.m²) totalt i de enkelte sonene i fjorden.

6.2. Beregning av total mengde kvikksølv, pentaklorbenzen, heksaklorbenzen, oktaklorstyren, og dekaklorbifenyl lagret i sedimentene.

De forskjellige sonene som fjorden er delt opp i, (se fig. 15) er planimetrert til følgende arealer:

Sone	Areal, m ²
1	36200
2	44800
3	41520
4	41240
5	49200
6	85440
7	87240
8	86280
9	94640
10	81400
11	54480
12	42480

I beregningene er egenvekten av sedimentet satt til 2 g/cm³.

6.2.1. Beregninger av mengde lagret i overflatesedimentene (0-5 cm).

I beregningene er arealet fordelt likt mellom de respektive stasjonene innenfor hver sone. For eksempel for sone 1 som inneholder stasjon 12, 13 og 31, er mengde lagret i de øverste 5 cm kalkulert ved å ta 1/3 av arealet for sonen, multiplisere med konsentrasjon, tørrstoffinnhold, tetthet og 5 cm dyp. Tilsvarende for stasjon 13 og 31. Disse mengdene er så summert for å komme fram til total mengde i hele sonen. Nedenfor er de forskjellige sonene med respektive stasjoner gitt:

Sone	Tilhørende stasjoner
1	12, 13, 31
2	11, 14, 30
3	10, 15, 29
4	9, 16
5	8, 16
6	7, 17, 28
7	6, 18, 27
8	5, 19, 26
9	4, 20, 25
10	3, 21, 24
11	2, 22, 23
12	1

6.2.2. Beregning av mengde totalt lagret i sedimentene.

Framgangsmåten er den samme som for beregningene i de øverste 5 cm. Imidlertid er det bare på stasjonene langs midtålen hvor det er analysert på prøver nedover i sedimentdypet. Kun disse stasjonene er derfor brukt i beregningene:

Sone	Tilhørende stasjoner
1	13
2	14
3 pluss halve 4	15
Halve 4 pluss 5	16
6	17
7	18
8	19
9	20
10	21
11 pluss 12	22

Ikke alle snittene vertikalt i en kjerne er prøvetatt. For eksempel er alltid de øverste fire 5 cm tykke snittene ned til 20 cm sedimentdyp prøvetatt og analysert. Snittet 20-25 cm er imidlertid skjeldent prøvetatt. I beregningene er konsentrasjonene i dette snittet interpolert mellom konsentrasjonen i 15-20 og 25-30 cm snittet. Tilsvarende for andre snitt som ikke er prøvetatt.

6.3. Rådata.

6.3.1. Konsentrasjon av karbon, nitrogen, metylkvikksølv, kadmium, pentaklorbenzen (5-CB), heksaklorbenzen (HCB), oktaklorstyren (OCS), dekaklorbifenyl (10-CB) i sedimentene.

Stasjon Nr.	Dyp cm.	Tørrstoff %	Karbon %	Nitrogen %	Karb./Nitr. %	Kvikksølv ug/g	Metylkvik. ng/g
1	2.5	0.31	7.74	0.77	10.1	32.00	50.0
2	2.5	0.37	3.82	0.36	10.6	88.00	0.0
3	2.5	0.45	1.45	0.12	12.1	41.00	0.0
4	2.5	0.35	5.30	0.54	9.8	57.00	16.0
5	2.5	0.61	0.92	0.07	13.1	3.70	0.0
6	2.5	0.49	3.43	0.32	10.7	72.00	0.0
7	2.5	0.37	0.99	0.09	11.0	155.00	0.0
8	2.5	0.34	3.32	0.24	13.8	138.00	91.0
9	2.5	0.25	5.77	0.67	8.6	217.00	0.0
10	2.5	0.48	10.30	1.14	9.0	53.00	34.0
11	2.5	0.25	11.00	0.91	12.1	111.00	0.0
12	2.5	0.22	7.94	0.71	11.2	126.00	26.0
13	2.5	0.24	5.47	0.30	18.2	87.00	0.0
13	7.5	0.29	1.32	0.09	14.7	56.00	0.0
13	12.5	0.25	1.68	0.12	14.1	147.00	0.0
13	17.5	0.18	0.70	0.03	23.3	46.00	0.0
13	27.5	0.19	2.02	0.05	40.4	14.00	0.0
13	32.5	0.59	1.06	0.03	35.3	0.12	0.0
14	2.5	0.19	8.72	0.60	14.5	18.00	0.0
14	7.5	0.17	5.62	0.29	19.4	155.00	0.0
14	12.5	0.29	0.57	0.03	19.0	39.00	0.0
14	17.5	0.28	1.05	0.04	26.3	117.00	0.0
14	32.5	0.33	1.62	0.07	23.1	26.00	0.0
14	47.5	0.49	3.53	0.12	29.4	0.54	0.0
14	52.5	0.43	0.79	0.05	15.8	0.11	0.0
15	2.5	0.17	7.48	0.65	11.5	29.00	21.0
15	7.5	0.25	5.48	0.38	14.4	201.00	0.0
15	12.5	0.22	3.50	0.23	15.2	250.00	0.0
15	17.5	0.32	0.45	0.01	45.0	59.00	0.0
15	32.5	0.25	1.24	0.09	13.8	233.00	0.0
15	47.5	0.30	3.70	0.19	19.5	107.00	0.0
15	57.5	0.61	1.72	0.12	14.3	1.14	0.0
16	2.5	0.19	8.04	0.66	12.2	48.00	0.0
16	7.5	0.28	2.68	0.24	11.2	187.00	0.0
16	12.5	0.27	3.70	0.24	15.4	326.00	0.0
16	17.5	0.34	0.37	0.01	37.0	73.00	0.0
16	32.5	0.40	0.23	0.02	11.5	66.00	0.0
16	47.5	0.30	0.41	0.02	20.5	32.30	0.0
16	67.5	0.44	1.07	0.06	17.8	31.00	0.0
17	2.5	0.28	8.10	0.77	10.5	51.00	8.5
17	7.5	0.28	1.59	0.11	14.5	38.00	0.0
17	12.5	0.18	4.59	0.38	12.1	530.00	0.0
17	17.5	0.30	0.27	0.01	27.0	56.00	0.0
17	32.5	0.39	1.00	0.06	16.7	261.00	0.0
17	47.5	0.32	1.71	0.13	13.2	130.00	0.0
17	57.5	0.25	5.23	0.24	21.8	6.00	0.0
18	2.5	0.21	6.70	0.88	7.6	54.00	0.0
18	7.5	0.24	0.78	0.15	5.2	27.00	0.0
18	12.5	0.32	4.02	0.45	8.9	319.00	0.0
18	17.5	0.19	0.40	0.01	40.0	57.00	0.0

Stasjon Nr.	Dyp cm	Kadmium ug/g	5-CB ug/g	HCB ug/g	OCS ug/g	10-CB ug/g	Sulfid mg/g
1	2.5	2.3	3.30	4.00	4.00	1.30	1.3
2	2.5	1.7	1.70	6.80	0.00	4.20	0.0
3	2.5	0.5	2.60	9.20	4.80	7.50	0.0
4	2.5	1.3	2.60	9.20	4.80	7.50	5.7
5	2.5	0.2	1.10	7.60	0.70	1.50	0.0
6	2.5	1.1	2.30	26.00	2.30	6.00	0.0
7	2.5	0.3	11.00	101.00	9.00	8.40	0.0
8	2.5	0.5	12.00	102.00	10.00	8.00	1.2
9	2.5	2.5	1.50	12.00	3.70	10.00	0.0
10	2.5	2.4	0.40	25.00	3.40	7.90	2.9
11	2.5	3.4	0.60	8.10	3.80	5.30	0.0
12	2.5	2.8	0.50	6.20	2.80	7.70	3.0
13	2.5	0.0	0.70	8.90	3.00	12.00	0.0
13	7.5	0.0	2.40	11.00	1.70	2.70	0.0
13	12.5	0.0	3.40	8.20	1.70	0.70	0.0
13	17.5	0.0	4.80	15.00	3.80	2.90	0.0
13	27.5	0.0	5.90	20.00	5.00	6.10	0.0
13	32.5	0.0	2.50	3.10	0.50	1.20	0.0
14	2.5	0.0	12.00	31.00	8.10	36.00	0.0
14	7.5	0.0	3.20	18.00	0.00	25.00	0.0
14	12.5	0.0	2.30	3.80	6.30	6.70	0.0
14	17.5	0.0	3.20	6.00	0.50	2.00	0.0
14	32.5	0.0	1.60	4.20	0.00	1.00	0.0
14	47.5	0.0	0.10	0.30	0.00	0.30	0.0
14	52.5	0.0	0.20	0.30	0.20	0.10	0.0
15	2.5	0.0	6.20	34.00	17.00	8.00	7.6
15	7.5	0.0	5.00	13.00	3.80	6.70	0.0
15	12.5	0.0	5.70	22.00	18.00	23.00	0.0
15	17.5	0.0	2.20	7.20	1.40	2.20	0.0
15	32.5	0.0	7.00	14.00	4.20	3.60	0.0
15	47.5	0.0	1.40	2.30	0.70	0.80	0.0
15	57.5	0.0	0.10	0.20	0.03	0.10	0.0
16	2.5	0.0	2.30	8.50	4.50	6.00	0.0
16	7.5	0.0	1.30	7.60	1.30	8.60	0.0
16	12.5	0.0	2.50	9.00	2.90	13.00	0.0
16	17.5	0.0	1.20	5.80	1.50	1.80	0.0
16	32.5	0.0	0.70	2.00	0.20	0.60	0.0
16	47.5	0.0	1.50	3.80	1.10	1.30	0.0
16	67.5	0.0	0.01	0.04	0.01	0.06	0.0
17	2.5	0.0	2.10	52.00	22.00	4.50	3.9
17	7.5	0.0	1.10	7.30	2.00	6.00	0.0
17	12.5	0.0	3.80	16.00	11.00	27.00	0.0
17	17.5	0.0	3.50	13.00	3.20	4.00	0.0
17	32.5	0.0	0.60	1.90	0.30	0.80	0.0
17	47.5	0.0	3.00	5.50	1.50	1.50	0.0
17	57.5	0.0	0.30	0.80	0.20	0.20	0.0
18	2.5	0.0	6.70	36.00	12.00	9.30	0.0
18	7.5	0.0	1.10	12.00	2.30	9.90	0.0
18	12.5	0.0	1.20	29.00	5.00	22.00	0.0
18	17.5	0.0	24.00	7.20	14.00	13.00	0.0

Stasjon Nr.	Dyp cm	Tørrstoff %	Karbon %	Nitrogen %	Karb./Nitr.	Kvikksølv ug/g	Metylkvik. ng/g
18	32.5	0.37	0.72	0.03	24.0	167.00	0.0
18	47.5	0.35	4.16	0.24	17.3	20.00	0.0
18	62.5	0.53	1.31	0.11	11.9	0.12	0.0
19	2.5	0.18	4.01	0.43	9.3	137.00	0.0
19	7.5	0.23	3.99	0.41	9.7	80.00	0.0
19	12.5	0.22	3.48	0.30	11.6	311.00	0.0
19	17.5	0.33	0.55	0.01	55.0	82.00	0.0
19	32.5	0.31	1.22	0.08	15.3	179.00	0.0
19	47.5	0.37	1.79	0.14	12.8	0.67	0.0
20	2.5	0.25	7.83	0.79	9.9	104.00	65.0
20	7.5	0.24	5.49	0.46	11.9	283.00	0.0
20	12.5	0.32	1.21	0.05	24.2	118.00	0.0
20	17.5	0.26	0.97	0.06	16.2	125.00	0.0
20	32.5	0.34	2.85	0.23	12.4	156.00	0.0
20	42.5	0.59	3.14	0.26	12.1	10.00	0.0
21	2.5	0.20	8.38	0.73	11.6	102.00	0.0
21	7.5	0.30	3.01	0.25	12.0	204.00	0.0
21	12.5	0.30	1.30	0.09	14.4	229.00	0.0
21	17.5	0.25	2.00	0.15	13.3	303.00	0.0
21	22.5	0.24	3.95	0.31	12.7	54.00	0.0
21	27.5	0.25	1.43	0.10	14.3	1.40	0.0
21	32.5	0.32	0.91	0.08	11.4	0.40	0.0
22	2.5	0.24	6.72	0.60	11.2	140.00	0.0
22	7.5	0.25	1.79	0.16	11.2	213.00	0.0
22	12.5	0.24	2.48	0.17	14.6	366.00	0.0
22	17.5	0.34	2.58	0.19	16.2	40.00	0.0
22	27.5	0.60	0.95	0.06	14.3	0.93	0.0
22	32.5	0.65	0.61	0.06	11.4	0.56	0.0
23	2.5	0.39	4.20	0.39	10.2	20.00	20.0
24	2.5	0.22	10.80	1.17	9.2	67.00	0.0
25	2.5	0.24	11.00	1.08	10.2	78.00	48.0
26	2.5	0.34	0.49	0.01	49.0	89.00	0.0
27	2.5	0.26	2.22	0.18	12.3	234.00	0.0
28	2.5	0.19	9.45	0.66	14.3	55.00	0.0
29	2.5	0.34	0.53	0.01	53.0	65.00	19.0
30	2.5	0.18	8.47	0.45	18.8	56.00	0.0
31	2.5	0.25	7.97	0.43	18.5	12.00	0.0
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0

Stasjon Nr.	Dyp cm	Kadmium ug/g	5-CB ug/g	HCB ug/g	OCS ug/g	10-CB ug/g	Sulfid mg/g
18	32.5	0.0	1.40	32.00	6.60	10.00	0.0
18	47.5	0.0	2.40	5.90	1.40	1.10	0.0
18	62.5	0.0	0.01	2.10	0.01	2.20	0.0
19	2.5	0.0	1.60	23.00	13.00	12.00	0.0
19	7.5	0.0	1.30	9.00	2.60	11.00	0.0
19	12.5	0.0	4.90	16.00	34.00	16.00	0.0
19	17.5	0.0	1.40	4.90	0.80	0.70	0.0
19	32.5	0.0	1.40	3.10	0.70	0.80	0.0
19	47.5	0.0	0.02	0.07	0.06	0.05	0.0
20	2.5	0.0	1.40	10.00	5.00	16.00	5.2
20	7.5	0.0	2.80	16.00	5.00	15.00	0.0
20	12.5	0.0	2.30	6.00	1.00	1.00	0.0
20	17.5	0.0	3.80	11.00	2.60	2.70	0.0
20	32.5	0.0	0.05	0.30	0.00	0.30	0.0
20	42.5	0.0	0.01	0.05	0.00	0.03	0.0
21	2.5	0.0	1.30	14.00	9.10	18.00	0.0
21	7.5	0.0	1.20	11.00	5.20	16.00	0.0
21	12.5	0.0	2.30	4.60	3.50	3.10	0.0
21	17.5	0.0	3.80	10.00	2.40	2.10	0.0
21	22.5	0.0	2.10	5.80	1.20	1.20	0.0
21	27.5	0.0	0.20	0.90	0.30	0.30	0.0
21	32.5	0.0	0.10	0.30	0.00	0.30	0.0
22	2.5	0.0	1.70	9.10	5.70	12.00	0.0
22	7.5	0.0	4.60	8.80	3.30	6.50	0.0
22	12.5	0.0	3.80	12.00	3.00	3.20	0.0
22	17.5	0.0	0.10	0.40	0.10	0.20	0.0
22	27.5	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0
22	32.5	0.0	0.01	0.03	0.01	0.02	0.0
23	2.5	0.0	0.20	1.00	1.50	1.60	0.0
24	2.5	0.0	0.40	6.10	5.90	7.50	0.0
25	2.5	0.0	1.20	7.50	3.90	11.00	5.2
26	2.5	0.0	1.80	7.00	0.60	0.70	0.0
27	2.5	0.0	11.00	100.00	16.00	23.00	0.0
28	2.5	0.0	0.60	9.20	2.50	8.10	0.0
29	2.5	0.0	4.00	11.00	1.00	1.40	0.0
30	2.5	0.0	0.70	8.60	4.60	14.00	0.0
31	2.5	0.0	0.80	6.30	6.50	3.30	0.0
0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

6.3.2. Konsentrasjoner av PAH i overflatesedimentene (0-5 cm).

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Navn: Gunnekleivfjorden (sedimenter)

Oppdragsnr.: 88068-01

Prøver mottatt: 6/9-88

Lab.kode: UUG 1-3

Konsentrasjoner i: ug/g tørket materiale

PAH	GU-13	GU-17	GU-22			
Naftalen	0.2	0.5	0.2			
2-Metylnaftalen		0.2	0.1			
1-Metylnaftalen	0.1	0.2	0.1			
Bifenyl	0.2	0.5	0.6			
Acenaftylen		0.1	0.1			
Acenaften	0.1	0.2	0.3			
Dibenzofuran	0.1	0.1	0.2			
Fluoren	0.2	0.5	0.7			
Dibenzotiofen	0.2	0.3	0.1			
Fenantren	1.8	2.9	1.5			
Antracen	0.4	0.6	0.5			
2-Metylantracen		0.3	0.1			
1-Metylfenantren		0.3	0.1			
9-Metylantracen						
Fluoranten	4.4	7.0	4.3			
Pyren	3.9	7.7	3.8			
Benzo(a)fluoren	0.5	0.7	0.2			
Benzo(b)fluoren	0.9	0.7	0.2			
1-Metylpyren	1.0	2.5	0.6			
Benzo(ghi)fluoranten						
Benzo(a)antracen	1.6	2.7	1.7			
Trifenylen/Chrysen	3.5	4.7	2.8			
Benzo(b)fluoranten	1.4	2.8	x) 3.7			
Benzo(j,k)fluoranten	0.9	1.2				
Benzo(e)pyren	1.1	1.9	1.5			
Benzo(a)pyren	1.1	2.4	1.7			
Perylen	0.2	0.3	0.2			
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.3	0.5	0.7			
Dibenzo(a,c/a,h)antracen						
Benzo(ghi)perylene	0.2	2.1	2.0			
Anthantren						
Coronen						
Sum	24.3	43.9	28.0			

x) Inkludert B(j,k)fluoranten

6.3.3. Konsentrasjoner av polyklorerte dibenzofuraner (PCDF) og -dioksiner (PCDD). % G representerer gjenvinningsgrad av tilsatte ^{13}C -merkede standarder.

NILU

PCDF- og PCDD-konsentrasjoner i sedimentprøver fra Gunneklevfjorden, prøve GU 13

Komponent	ng/g	G(%)		
Antall g/prøve	10			
2378-tetra-CDF	22,8			
Σ tetra-CDF	34,6			
12378/12348-penta-CDF	34,0			
23478-penta-CDF	11,7			
Σ penta-CDF	45,2			
123478/123479-hexa-CDF	46			
123678-hexa-CDF	38			
123789-hexa-CDF	103			
234678-hexa-CDF	279			
Σ hexa-CDF	883			
1234678-hepta-CDF	152			
Σ hepta-CDF	152+1			
Octa-CDF	2900			
Σ total	4015			
2378-tetra-CDD	0,47			
Σ tetra CDD	0,47+1			
12378-penta-CDD	3,0			
Σ penta CDD	11,5			
123478 hexa-CDD	3,9			
123678 hexa-CDD	5,5			
123789 hexa-CDD	8,5			
Σ hexa-CDD	48,5			
1234678-hepta-CDD	15,0			
Σ hepta-CDD	19,2			
Octa-CCD	18,7			
Σ total	98,4			
2378-TCDD-ekvivalenter*	60,0			

* : Nordisk modell

G : Gjenvinning av de tilsatte ^{13}C -merkede standarder.

I.p. : Ikke påvist, deteksjonsgrense ved signal/støyforhold <3:1.

1) : Interferanse på noen isomerer.

PCDF- OG PCDD-konsentrasjoner i sedimentprøver fra Gunneklevfjorden, prøve GU22

Komponent	ng/g	G(%)		
Antall g/prøve	10			
2378-tetra-CDF	16,1			
Σ tetra-CDF	16,1+1			
12378/12348-penta-CDF	33,0			
23478-penta-CDF	12,5	66		
Σ penta-CDF	51,8			
123478/123479-hexa-CDF	5,6	64		
123678-hexa-CDF	68,5			
123789-hexa-CDF	1			
234678-hexa-CDF	3,8			
Σ hexa-CDF	266			
1234678-hepta-CDF	95,3	56		
Σ hepta-CDF	208			
Octa-CDF	364			
Σ total	906			
2378-tetra-CDD	0,30	60		
Σ tetra CDD	1,20			
12378-penta-CDD	2,1	51		
Σ penta CDD	19			
123478 hexa-CDD	1,9			
123678 hexa-CDD	3,6	54		
123789 hexa-CDD	8,95			
Σ hexa-CDD	23,6			
1234678-hepta-CDD	11,2	26		
Σ hepta-CDD	15,9			
Octa-CCD	14,4	15		
Σ total	74,1			
2378-TCDD-ekvivalenter*	19,6			

* : Nordisk modell

G : Gjenvinning av de tilsette¹³ C-merkete standarder.

I.p.: Ikke påvist, deteksjonsgrense ved signal/støyforhold <3:1.

1) : Interferanse på noen isomerer.

PCDF- og PCDD-konsentrasjoner i sedimentprøver fra Gunneklevfjorden, prøve GU17

Komponent	ng/g	G(%)		
Antall g/prøve	10	se vedlegg		
2378-tetra-CDF	8,8			
Σ tetra-CDF	8,8+1			
12378/12348-penta-CDF	8,4			
23478-penta-CDF	4,5			
Σ penta-CDF	14			
123478/123479-hexa-CDF	19			
123678-hexa-CDF	26			
123789-hexa-CDF	6			
234678-hexa-CDF	372			
Σ hexa-CDF	744			
1234678-hepta-CDF	80			
Σ hepta-CDF	80+1			
Octa-CDF	1440			
Σ total	2287			
2378-tetra-CDD	0,18			
Σ tetra CDD	0,18			
12378-penta-CDD	0,9			
Σ penta CDD	3,2			
123478 hexa-CDD	1,1			
123678 hexa-CDD	1,8			
123789 hexa-CDD	5,1			
Σ hexa-CDD	20			
1234678-hepta-CDD	7,55			
Σ hepta-CDD	10,5			
Octa-CCD	15,2			
Σ total	49,1			
2378-TCDD-ekvivalenter*	47,7			

* : Nordisk modell

G : Gjenvinning av de tilsette¹³ C-merkete standarder.

I.p. : Ikke påvist, deteksjonsgrense ved signal/støyforhold <3:1.

1) : Interferanse på noen isomerer.