

**NGU-rapport 89.030**

**Grunnundersøkelser ved Borregaard  
Ind. Ltds kloralkalifabrikk og  
Opsund deponi**

**Prosjekt nr. 42.2487.00**

Rapport nr.	89.030	ISSN 0800-3416	Åpne/Fortrolig <input checked="" type="checkbox"/>	
Tittel: Grunnundersøkelser ved Borregaard Ind. Ltd's kloralkalifabrikk og Opsund deponi.				
Forfatter: Rolf Tore Øttesen og medarbeidere		Oppdragsgiver: Borregaard Ind. Ltd.		
Fylke: Østfold		Kommune: Sarpsborg		
Kartbladnavn (M. 1:250 000)		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 37	Pris:	
		Kartbilag:		
Feltarbeid utført: 21.03.88 - 23.11.89	Rapportdato: 01.03.1989	Prosjektnr.: 42.2487.00	Seksjonssjef: <i>Rolf Tore Øttesen</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>Statens Forurensningstilsyn (SFT) krevde i et brev av 16.12.1987 til Borregaard Ind.Ltd. at det skulle utføres grunnundersøkelser ved bedriftens kloralkalifabrikk i Sarpsborg og på Opsund deponi.</p> <p>Norges geologiske undersøkelse (NGU) fikk i oppdrag av Borregaard å planlegge og gjennomføre prosjektet. SFTs krav var en kartlegging av:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nåværende avrenning av kvikksølv i vann fra grunnen rundt og under kloralkalifabrikken, samt fra avfallstippen på Opsund.</li> <li>- Nåværende avrenning av andre tungmetaller og PAH-forbindelser fra avfallstippen på Opsund.</li> <li>- Hvorvidt grunnområdene ved fabrikk og på avfallstippen representerer fremtidige forurensningskilder og hvor stor fare for forurensning er.</li> </ul> <p>Utover SFTs krav er det i undersøkelsen lagt vekt på å få kunnskap om naturlig kvikksølvinnhold i luft, jord, vann og berggrunn i Østfold for å ha referansegrunnlag for vurdering av forurensningene.</p> <p>Det er i prosjektet samlet inn og analysert 823 prøver av luft, vann og faststoff og fremstilt 20 fagrapporter.</p> <p>Nåværende sluttrapport presenterer en samlet oversikt over resultatene fra grunnundersøkelsen.</p>				
Emneord	Kvikksølv	PAH	Fabrikkområde	
	Deponi	Forurensning	Tungmetaller	

## INNHOOLD

### SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

### INNLEDNING

### NÆRMERE OM KLORALKALIFABRIKKEN OG OPSUND DEPONI

### OPPDRAG OG PROBLEMSTILLING

### GJENNOMFØRING

### RESULTATER

#### Kloralkalifabrikken

- Kvikksølvinnhold i løsmasser og berggrunn
- Kvikksølvinnhold i grunnvann
- Kvikksølvinnhold i bygningsmassen
- Oppsummering og fremtidig forurensningsfare

#### Opsund

- Tungmetallinnhold i industriavfall, naturlige sedimenter og berggrunn
- Innhold av tungmetaller og PAH-forbindelser i grunnvann
- Oppsummering og fremtidig forurensningsfare

#### Kvikksølvforurensning i Sarpsborgregionen

#### Naturlig kvikksølvinnhold

### REFERANSER

### ORDFORKLARINGER OG DEFINISJONER

## SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Statens Forurensningstilsyn (SFT) krevde i brev av 16.12.1987 til Borregaard at det skulle utføres grunnundersøkelser ved bedriftens kloralkalifabrikk i Sarpsborg og på Opsund deponi.

Norges geologiske undersøkelse (NGU) fikk i oppdrag av Borregaard å planlegge og gjennomføre prosjektet. SFTs krav var en kartlegging av:

- Nåværende avrenning av kvikksølv i vann fra grunnen rundt og under kloralkalifabrikken samt fra avfallstippen på Opsund.
- Nåværende avrenning av andre tungmetaller og PAH-forbindelser fra avfallstippen på Opsund.
- Hvorvidt grunnområdene ved fabrikk og på avfallstippen representerer fremtidige forurensningskilder og hvor stor fare for forurensning er.

Utover SFTs krav er det i undersøkelsen lagt vekt på å få kunnskap om naturlig kvikksølvinnhold i luft, jord, vann og berggrunn i Sarpsborgregionen og i Østfold for å ha referansegrunnlag for vurdering av forurensningene.

Etter omfattende grunnundersøkelser, ble det samlet inn og analysert 823 prøver av luft, vann og faststoff og fremstilt 20 fagrapporter.

Basert på opplysninger i fagrapportene har NGU kommet fram til følgende konklusjoner:

- Avrenning av kvikksølv i vann rundt og under kloralkalifabrikken er ca. 1.0 kg pr. år, ca. 0.2 kg er knyttet til avrenning fra grunnvann og ca. 0.8 kg er knyttet til vannlekkasjer fra fabrikkområdet.
- Avrenning av kvikksølv via grunnvann fra området rundt kloralkalifabrikken til Glomma vil sannsynligvis variere lite i fremtiden. Avrenning via vann fra lekkasjer vil avhenge av avløpsrørens tilstand.
- Kvikksølvmengden i grunnen rundt og under kloralkalifabrikken er

beregnet til ca. 10-11 tonn. Under fabrikkene har kvikksølv trengt gjennom alle løsmasselag ned til fjelloverflaten. Rundt fabrikkene er den overveiende del av kvikksølv konsentrert i de øverste 1 - 2 meter av løsmassene.

- Avrenning av kvikksølv i vann fra avfallstippen på Opsund er ca. 0.1 kg pr. år.
- Avrenning av andre tungmetaller fra avfallstippen på Opsund er (kg/år): kobber ca. 4 kg, sink ca. 33 kg, bly ca. 10 kg, kadmium ca. 0.6 kg.
- Avrenning av PAH-forbindelser fra avfallstippen på Opsund er ca. 5 kg pr. år.
- Avrenning av disse tungmetallene og PAH-forbindelsene via grunnvann til Glomma vil sannsynligvis ikke variere mye i fremtiden.
- Mengden tungmetaller i deponiet på Opsund er beregnet til 6-7 tonn kvikksølv, 310 tonn kobber, 1450 tonn sink, 390 tonn bly og 15 tonn kadmium.
- Kvikksølvforurensningen av overflatejord i Sarpsborgregionen er vesentlig begrenset til kloralkalifabrikkens nærområde innen en radius på ca. 200 m.
- Drikkevann fra vannverkene for Askim, Sarpsborg og Tune, Borregaard og Fredrikstad inneholder lite kvikksølv. Alle vannverk tilfredsstiller Statens institutt for folkehelse (SIF) norm når det gjelder krav til kvikksølvinnhold i drikkevann.
- Basert på analyse av sedimentkjerner synes kvikksølvforurensningen i Glomma å ha avtatt i de senere år.

## INNLEDNING

Den 10.12.1987 sendte Borregaard ut en pressemelding om bedriftens kvikksølvutslipp. Statens Forurensningstilsyn (SFT) påla i brev av 16.12.1987 Borregaard å utføre grunnundersøkelser ved bedriftens kloralkalifabrikk og på Opsund deponi. Utarbeidelsen av program for undersøkelsene og gjennomføringen skulle i følge SFT utføres av en uavhengig instans med geoteknisk kompetanse. Det ble krevd at planen for undersøkelsene skulle sendes til SFT innen 31.12.1987.

Borregaard tok 10.12.1987 telefonisk kontakt med NGU. Etter avtale avla seksjonssjef Rolf Tore Ottesen og ingeniør Tore Volden fra NGU Borregaard et besøk 11.12.1987 og møtte bedriftens representanter Leiv T. Lunde og Arne Langrind. Borregaard ønsket at NGU skulle utføre undersøkelser på Opsund deponi og i området rundt og under kloralkalifabrikken. På et møte med Borregaard den 14.12.1987 framla avd.dir. Bjørn Bølviken, NGU, et utkast til en plan for kartlegging av deponiet. På møtet deltok bl.a. representanter for Borregaard, Østfold naturvernforening, Miljøstiftelsen Bellona og Sarpsborg kommune. Møtedeltakerne hadde ingen innvendinger mot NGU som en nøytral og uavhengig institusjon. Dette var et krav fra NGU for at institusjonen ville påta seg å utføre grunnundersøkelsene. Representantene for Borregaard ga på møtet uttrykk for at man ønsket foreløpige orienterende resultater for kvikksølvinnholdet i et begrenset antall overflateprøver på deponiet så snart som mulig. NGU samlet derfor inn slike prøver den 15.12.1987. Prøvene ble analysert ved NGU og resultatene presentert den 22.12.1987.

Ved et møte på NGU den 23.12.1987 mellom adm.dir. Egil M. Ullebø ved Borregaard og adm.dir. Knut S. Heier ved NGU ble det avtalt at NGU skulle utarbeide et program for grunnundersøkelser ved kloralkalifabrikken og på Opsund deponi. NGU kunne påta seg oppdraget under forutsetning av at fristen for planlegging ble forlenget til 15.01.1988. I brev av 28.12.1987 innvilget SFT den nødvendige forlengelse.

NGU nedsatte en tverrfaglige gruppe under ledelse av Rolf Tore Ottesen for utarbeidelse av programmet.

En rammeplan for grunnundersøkelsen ved Borregaards kloralkalifabrikk og på Opsund deponi ble levert til Borregaard den 14.01.1988. Borregaard videre-sendte planen til SFT den 15.01.1988 for godkjenning. SFT leverte sine kommentarer og krav til endringer av planen i brev av 07.03.1988.

NGU utarbeidet en revidert rammeplan, som ble levert 17.03.1988 (NGU-rapport 88.063). NGU fremmet 25.04.1988 detaljerte planer for under-søkelsene (NGU-rapport 88.094). Planene forutsetter at sluttrapporten for grunnundersøkelsene leveres til Borregaard Ind. Ltd. 01.03.1989.

SFT ga tillatelse til oppstart av deler av grunnundersøkelsene før alle detaljplanene var godkjente. Detaljplanene ble godkjent i brev av 18. mai 1988. Feltarbeidet i prosjektet startet 21. mars 1988 og siste regulære feltdag var 23. november 1988. Enkelte feltkontroller ble utført etter denne dato. De siste kontrollanalyser ble levert i februar 1989.

NGU er faglig ansvarlig for planlegging og gjennomføring av prosjektet. Ved plassering av borhull på fabrikkområdet var det nødvendig med løpende kon-takt med bedriften av sikkerhetsgrunner (risiko for å treffe nedgravde høyspentkabler).

Prosjektets fremdrift har vært rapportert hver annen måned til Borregaard (NGU-rapportene 88.103, 88.137, 88.144 og 89.028).

Nærværende sluttrapport presenterer en samlet oversikt over resultatene fra grunnundersøkelsene, basert på 20 fag-rapporter.

#### **NÆRMERE OM KLORALKALIFABRIKKEN OG OPSUND DEPONI**

I 1949 anla Borregaard en kloralkalifabrikk (Fig. 1) basert på amalgam-metoden. Metoden benytter metallisk kvikksølv som katodemateriale. Kvikk-sølvet sirkulerer mellom primærcellene og sekundærcellene. Fabrikken har i 1988 122 primærceller som hver inneholder ca. 850 kg kvikksølv. Totalmengde kvikksølv i prosessen er vel 100 tonn.

Råstoffet i produksjonen er natriumklorid i løsning. De ferdige produkter er natronlut, klorgass og hydrogengass. Produktene brukes til annen produksjon ved Borregaard fabrikker eller selges på det åpne marked.

Råstoffene renses, men inneholder likevel metaller, som jern, kalsium og magnesium. Disse kan danne uønskede amalgamer, som må fjernes fra elektrolysekarene. Grafittelektroden som ble benyttet inntil 1980, avga kvikksølvholdig grafittstøv.

Det uønskede kvikksølvslammet ble anbrakt i beholdere og behandlet mekanisk (trømler). En del av kvikksølvet ble ved denne prosessen utskilt og kunne føres tilbake til elektrolysecellene. Resten av det kvikksølvholdige slammet ble tømt i avløpssystemet og havnet i Glomma.

I kloralkalifabrikken har kvikksølvet kunnet unnslippe flere steder, enten direkte til atmosfæren eller via ventilasjonssystem og skorsteiner. Kvikksølv har også kunnet finne veien til grunnen gjennom sprekker i gulvet eller fra utette kloakkrør.

De ferdige produkter (natronlut, klorgass og hydrogengass) inneholder alle små mengder kvikksølv. Også vannet som blir brukt til å vaske klorgassen inneholder kvikksølv.

De nevnte faktorer har gjennom årene ført til betydelig tap av kvikksølv. I perioden 1949-1987 er det etter fabrikkens oppgaver gått tapt 130 tonn kvikksølv ved kloralkalifabrikken. Dette tallet er fremkommet ved å trekke beholdningen av kvikksølv fra total mengde kvikksølv innkjøpt i perioden. Det har vært antydnet at 70 tonn er tapt til vann, 20 tonn er sluppet ut i luft, 25 tonn har fulgt produktene og 15 tonn skulle være deponert på Opsund.

Oppfyllingen av Opsund avfallsdeponi (Fig. 1) har pågått siden 1907. Fyllingen er lagt opp i en kunstig avsnørt bakevje i Glomma. Bakevjen (Lambrechts dam) er nå helt gjennfylt. I 1987 hadde fyllingen et overflateareal på ca. 70 dekar og et volum på ca. 0.5 mill. m<sup>3</sup> løst lagret avfallsmateriale. Det har ikke skjedd annen komprimering enn det transportkjøretøyer og naturlige setninger har forårsaket.

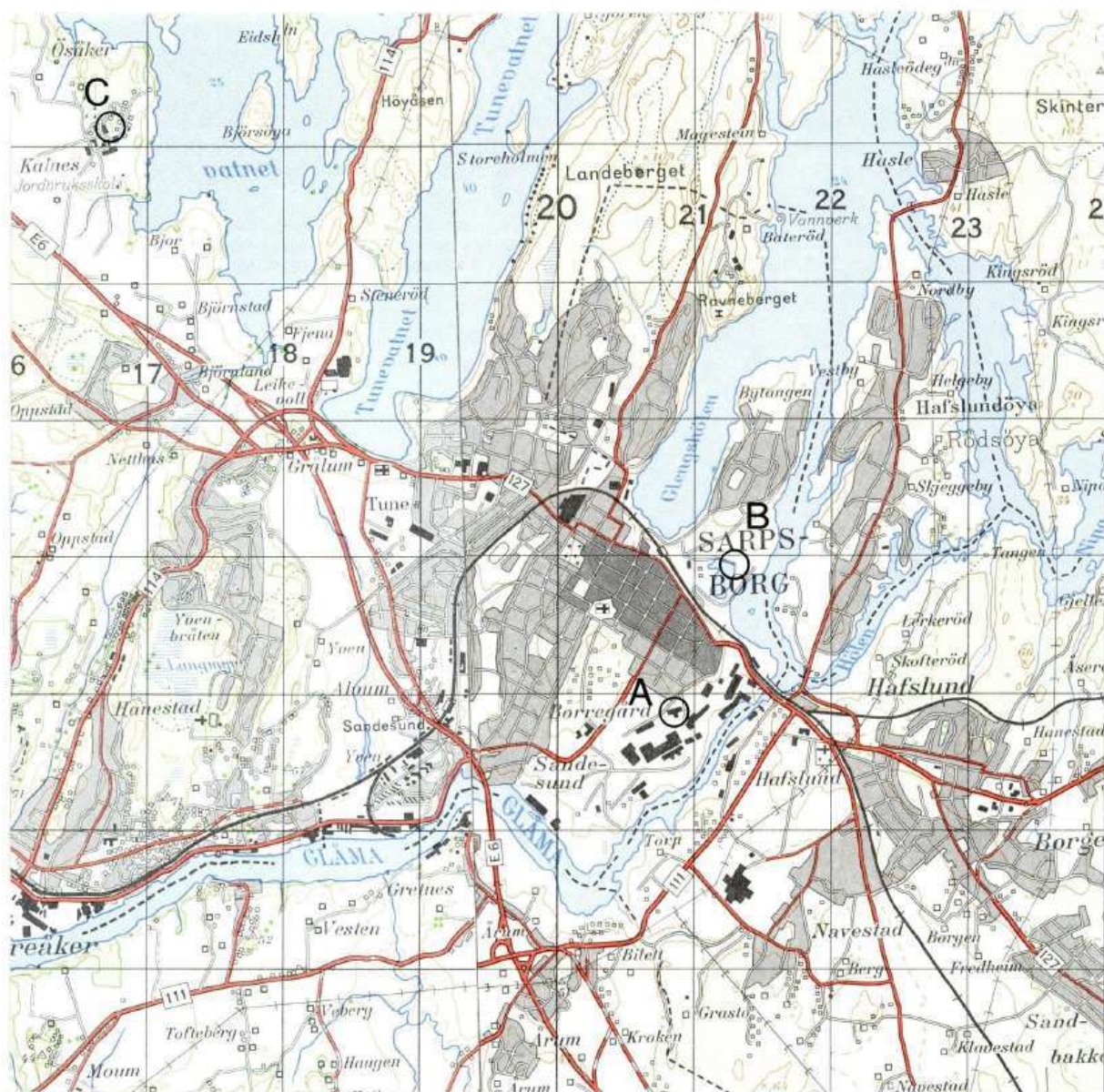


Deponiet på Opsund er sammensatt av både organisk og minerogent materiale (Tabell 1). Det minerogene avfallet inneholder betydelige mengder finstoff.

TABELL 1. Viktigste materialtyper som er deponert på Opsund. Opplysningene er gitt av Børregaard Ind. Ltd. i notat av 16.12.1988.

Materialtyper:

- 
- Rene gravemasser som stein, grus og leire.
  - Bark og annet treavfall.
  - Mursteins- og betongavfall.
  - Papir- og takpappavfall.
  - Avfall av isolasjonsmaterialer (mineraler, kork, isopor).
  - Avfall av jern, stål, ståltråd og wire.
  - Wireduk og filt.
  - Avfall av kalkstein og klaksteinsgrus.
  - Avfall fra fremstilling av kalsiumhypokloritt.
  - Avfall fra vaniljefabrikken.
  - Oppsop fra svovelsyrefabrikken og Melløs (kisavbrann).
  - Slagg fra kullfyring.
  - Kiseske fra tidligere svovelkistrøting.
  - Bly- og sinkholdig skrap.
  - Sur "kabel" fra Rayonfabrikken.
  - Avfall fra elektriske kabler.
  - Kvikksølvholdig slam og eventuelt kvikksølvholdig skrot (før 1975).
  - Diverse tomemballasje, fat, malingrester og kjemikalierester.
  - Brukte grafittanoder med spor av kvikksølv (før 1970).
  - Ligninrester fra avlutforedling.
  - Vrakrester og rengjøringsavfall fra PVAC-fabrikken.
  - Asbest og asbestholdig materiale.
-



Figur 1. Kart over Sarpsborgregionen. Kløralkalifabrikk (A), Opsund deponi (B) og Kalnes jordbruksskole (C) er avmerket.

## OPPDRAG OG PROBLEMSTILLINGER

SFTs brev av 16.12.1987 stilte følgende krav:

Undersøkelsene skal ha som mål å kartlegge:

- Nåværende avrenning av kvikksølv i vann fra grunnen rundt og under kloralkalifabrikken samt fra avfallstippen på Opsund.
- Nåværende avrenning av andre tungmetaller og polyaromatiske hydrokarboner (PAH-forbindelser) fra avfallstippen på Opsund.
- Hvorvidt grunnområdene ved fabrikken og på avfallstippen representerer fremtidige forurensningskilder og hvor stor faren for forurensning er.

Undersøkelsene skal ha et omfang som sikrer et godt grunnlag for eventuelle tiltak. Kvikksølvforurensning av grunnen skal kartlegges. Prøvetakingen bør særlig konsentreres om de dypere lag i grunnen og lag som er grunnvannsførende. Det skal legges vekt på å undersøke grunnen langs kloakkledninger og utløpsledninger, samt andre steder der kvikksølvet kan finne veien til vassdrag. I den grad det er mulig innenfor rammen av prosjektet, ønsker SFT en vurdering om avrenningen av kvikksølv m.v. fra avfallstippen er økende eller synkende.

Ut over SFTs krav har NGU lagt vekt på å få kunnskap om naturlige kvikksølvkonsentrasjoner i luft, jord og berggrunn i Østfold for å ha referansegrunnlag for vurdering av forurensningene. Det ble også bestemt å innhente data om kvikksølvforurensningen i Sarpsborgregionen ved kjemisk analyse av drikkevann og overflatejord.

På fabrikkområdet og deponiet var det nødvendig å skaffe data om:

- Fjelltopografi under løsmassene for å finne eventuelle unslippelsesveier for kvikksølv til Glomma.
- Lagdeling i løsmassene og hydrogeologiske forhold for å finne grunnvannsførende lag og bestemme avrenning.
- Innhold av kvikksølv i luft, jord, berggrunn, industriavfall og bygningsmasse for å beregne totale kvikksølvmengder.

Delar av oppdraget ble satt bort til underleverandører. Dette gjaldt prøvetaking og analyse av luft (Nordisk Analysecenter, Oslo), O-DEX boring (Brødrene Myhre A/S, Hønefoss) og prøvetaking av bygningsmassen i kloralkalifabrikken (A/S Stensetting, Sarpsborg).

## GJENNOMFØRING

### Kloralkalifabrikken

#### Grunnundersøkelser

Et bilde av fjelltopografien under løsmassene på fabrikkområdet ble sammenstilt på grunnlag av tilgjengelige data fra tidligere pelemålinger og tidligere seismiske data supplert med sonderboringer (NGU-rapport 88.109).

Etter at løsmassenes lagdeling og vannførende soner var kartlagt (NGU-rapport 88.203), ble det satt ned 11 grunnvannsbrønner til et vannførende lag på 2 meters dyp og 6 grunnvannsbrønner til et vannførende gruslag over fjell (10-30 meters dyp). Vannstandsregistrering i brønnene ble gjennomført ukentlig fra 3. august til 23. november 1988. Pumpeforsøk ble gjennomført 7. november 1988, og 13. februar 1989.

#### Prøvetaking

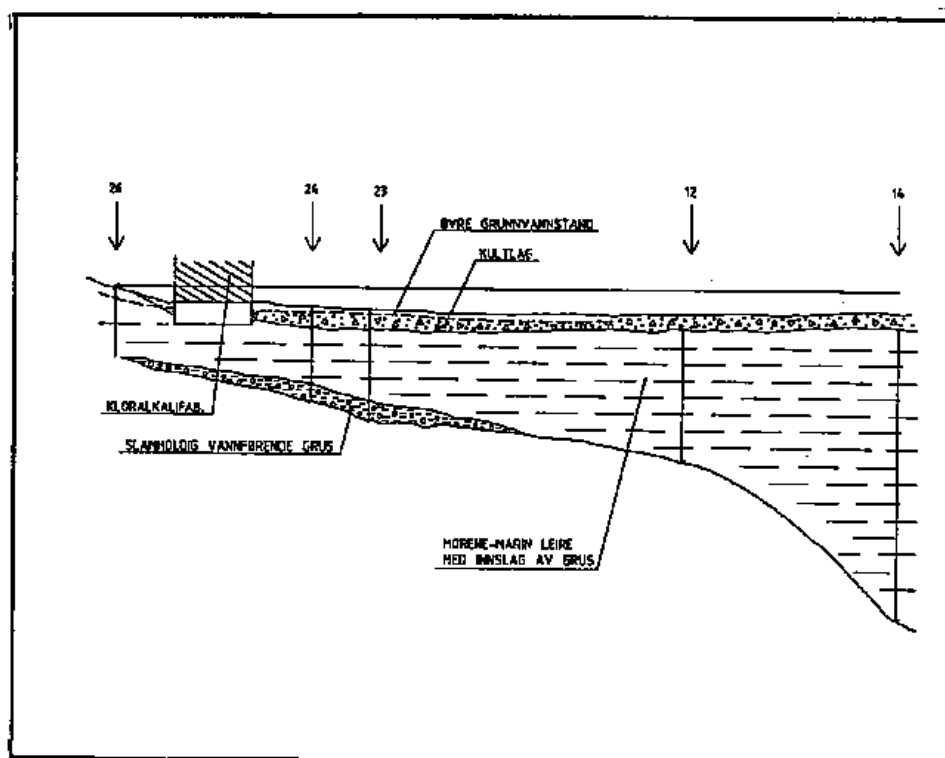
Basert på resultatene fra grunnundersøkelsene ble det planlagt og gjennomført et prøvetakingsprogram for grunnvann, løsmasser og berggrunn (Tabell 2).

Grunnvann ble innsamlet fra to, det øvre og nedre, grunnvannsmagasinet (Fig. 2). Ved prøvetakingen ble det benyttet en vannhenter med tilbakeslagsventil.

Løsmasseprøvene ble tatt dels med en Borros-rigg med ramprøvetaker og dels med en Pionjer bormaskin med gjennomstrømningsprøvetaker. Overflateprøver ble tatt med spade.

Kloakk og utløpsledninger ble inspisert med videokamera for å finne eventuelle lekkasjer. Deler av rørsystemet ble gravd opp med gravemaskin og løsmasser rundt og under rørene ble prøvetatt med jordbor (Fig. 3).

Det ble utført diamantboring og prøvetaking av berggrunnen under og ved fabrikkbygningen. I fabrikkbygningen ble det boret ut gjennomgående betong-/teglsteins-kjerner. Det ble prøvetatt luft for målinger av kvikksølvinnhold rundt fabrikkbygningen.



Figur 2. Lagdeling i løsmassene under kloralkalifabrikken i Sarpsborg. Vannførende soner er avmerket.



Figur 3. Deler av kloakk- og avløpsrørene fra kloralkalifabrikken ble avdekket med gravemaskin og løsmassene rundt og under rørene ble prøvetatt med jordbor.

TABELL 2. Prøvetaking, ved kloralkalifabrikken, av luft, vann, jord, berggrunn og bygningsmasse for kjemisk og mekanisk analyse. Detaljerte opplysninger i NGU-rapportene 88.149, 88.169, 88.195, 88.196, 88.197, 88.198, 88.205.

Analysetype	Prøvetype	Antall prøver
Kjemisk	Grunnvann	35
Kjemisk	Løsmasse	
	- overflatejord	
	- kultlaget under fabrikkgulvet	
	- grunnvannsførende lag på 1.5 - 2 m dyp	
	- silt/leir på 5m dyp	188
	- grunnvannsførende lag over fjell på 7 - 30 m dyp	
	- masser under og ved siden av kloakk- og utløpsledninger	
Mekanisk	Løsmasse	8
Kjemisk	Berggrunn (borkjerner)	4
Kjemisk	Bygningsmasse	29
Kjemisk	Luft	8
Sum		272

## Opsund deponi

### Grunnundersøkelser

Et bilde av fjelltopografien under løsmassene på Opsund er sammenstilt på grunnlag av seismiske målinger og sonderboringer (NGU-rapport 88.130).

Etter at løsmassenes lagdeling og vannførende soner var kartlagt (NGU-rapport 88.204) ble det satt ned 16 grunnvannsbrønner til et vannførende lag i bunnen av fyllingen (7-10 meters dyp) og 6 grunnvannsbrønner til et vannførende gruslag (12-20 meters dyp). Vannstandsregistrering i brønnene ble gjennomført ukentlig i perioden 10.mai til 23. november 1988. Pumpeforsøk ble gjennomført 23. november 1988.

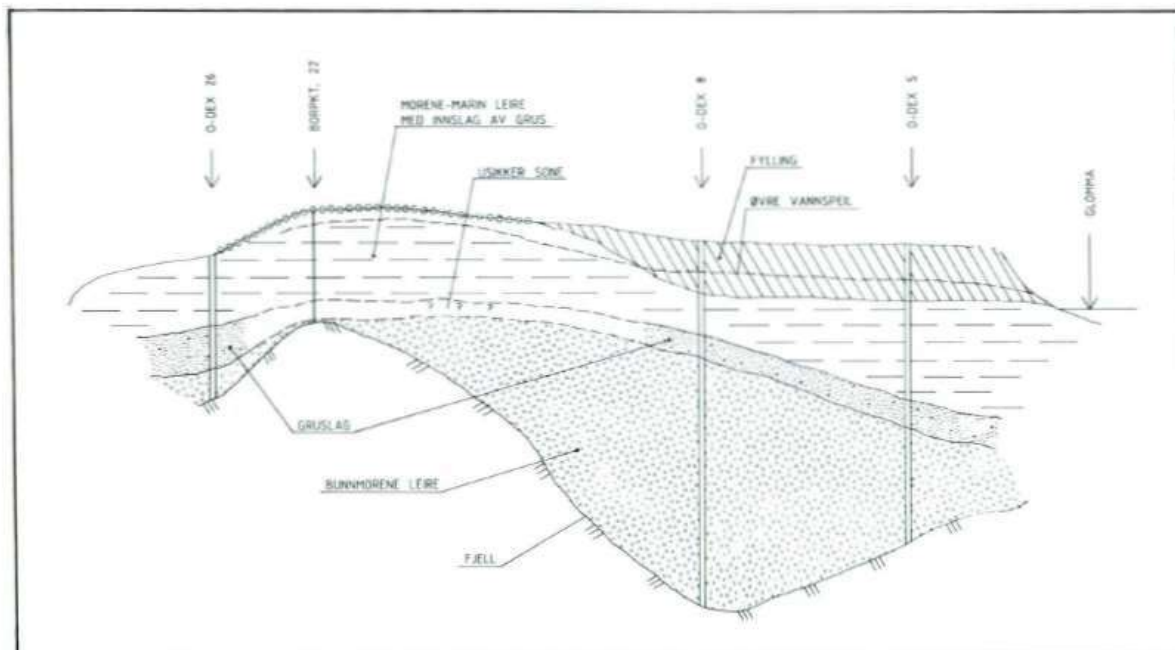
### Prøvetaking

Basert på resultatene fra grunnundersøkelsene ble det planlagt og gjennomført et prøvetakingsprogram for grunnvann, dreneringsvann, løsmasser, industriavfall og berggrunn (Tabell 3).

Grunnvann ble innsamlet fra det øvre og nedre grunnvannsmagasin (Fig. 4). Ved prøvetakingen ble det benyttet en vannhenter med tilbakeslagsventil. Drensvann ble innsamlet fra alle observerte utløp.

Prøver av sedimenter og industriavfall ble dels innsamlet med en Nemek borerigg med russerprøvetaker, en Borros-rigg med ramprøvetaker (Fig. 5) og dels med Pionjer med gjennomstrømningsprøvetaker. Overflateprøver ble tatt med spade.

Det ble utført diamantboring og prøvetaking av berggrunn under løsmassene på Opsund og ved Glengshølen. Det ble prøvetatt luft for måling av kvikksølvinnhold over Opsund deponi.



Figur 4. Lagdeling i løsmasser på Opsund deponi. Vannførende soner er avmerket.



Figur 5. Prøvetaking av industriavfall og naturlige sedimenter på Opsund deponi ble bl.a. foretatt med en Borros-rigg med rammeprøvetaker.



TABELL 3. Prøvetaking på Opsund deponi av luft, vann, jord, industriavfall og berggrunn for kjemisk og mekanisk analyse. Detaljerte opplysninger i NGU-rapportene 88.149, 88.197, 88.200, 88.206:

Analysetype	Prøvetype	Antall prøver
Kjemisk	Grunnvann/drensvann	80
Kjemisk	Løsmasser og industriavfall	194
	- 0-10 cm (industriavfall)	
	- 6 m (industriavfall)	
	- 10 m (grunnvannsførende industriavfall/ naturlige sedimenter)	
	- 12-20 m (grunnvannsførende naturlige sedimenter)	
	- 12-48 m (naturlige sedimenter)	
Mekanisk	Løsmasse og industriavfall	53
Kjemisk	Berggrunn	4
Kjemisk	Luft	6
Sum		337

### Kvikksølvnivå i Sarpsborgregionen og i Østfold fylke

For å skaffe bakgrunnsdata for kvikksølvnivåene i området rundt Borregaard, ble to områder prøvetatt: (1) Sarpsborgregionen og (2) Østfold fylke. Det ble samlet inn prøver av luft, overflatevann, drikkevann, grunnvann, overflatejord og løsmasse fra flere meters dyp, elvesedimenter og berggrunn (Tabell 4).

TABELL 4. Prøvetaking i Sarpsborgregionen og i Østfold av luft, vann, jord og berggrunn fra kjemisk analyse. Detaljerte opplysninger i NGU-rapportene 88.148, 88.149, 88.167, 88.168, 88.197, 88.199, 88.205.

Analysetype	Prøvetype	Antall prøver
Kjemisk	Luft	2
Kjemisk	Vann (grunnvann, overflatevann drikkevann)	68
Kjemisk	Løsmasse - 0-10 cm	89
	- 5.5 m	
Kjemisk	Elvesedimenter	45
Kjemisk	Berggrunn	10
Sum		214

## Kjemisk analyse

Tabell 5 viser en oversikt over de anvendte analysemetoder. Detaljerte beskrivelser av analysemetodene og opplysninger om reproduserbarhet er beskrevet i NGU-rapport 89.061.

TABELL 5. Anvendt analysemetoder.  
Detaljerte opplysninger i NGU-rapport 89.061.

Prøvetype	Grunnstoff eller kjemisk forbindelse	Analysemetode	Laboratorium
Faststoff	Kvikksølv (Hg)	Atomabsorpsjon v/kalibrerte teknikker	NGU og SINTEF
Faststoff	Aluminium (Al), barium (Ba), beryllium (Be), bly (Pb), bor (B), cerium (Ce), fosfor (P), jern (Fe), kadmium (Cd), kalium (K), kalsium (Ca), kobber (Cu), kobolt (Co), krom (Cr), lantan (La), litium (Li), magnesium (Mg), mangan (Mn), molybden (Mo), natrium (Na), nikkel (Ni), scandium (Sc), silisium (Si), sink (Zn), strontium (Sr), sølv (Ag), titan (Ti), vanadium (V), zirkon (Zr)	Induktivt koplet (salpetersyreuttrekk)	NGU
Vann	Kvikksølv (Hg)	Atomabsorpsjon med kvikksølv-hydrid system og gullfelle	NGU
Vann	Aluminium (Al), barium (Ba), beryllium (Be), bly (Pb), jern (Fe), kadmium (Cd), kalium (K), kalsium (Ca), kobber (Cu), kobolt (Co), litium (Li), magnesium (Mg), mangan (Mn), molybden (Mo), natrium (Na), nikkel (Ni), silisium (Si), sink (Zn), strontium (Sr), titan (Ti), vanadium (V),	Induktivt koplet plasma spektrometri	NGU
Vann	Bromid (Br <sup>-</sup> ), fluorid (F <sup>-</sup> ), fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ), klorid (Cl <sup>-</sup> ), nitrat NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Ionkromatograf	NGU
Vann	Bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), sink (Zn)	Induktivt koplet spektrometri med massespektrometer	NIJ
Vann	Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)	Gasskromatografi	NIVA
Vann	Totalt organisk karbon (TOC)		
Vann	Alkalitet	Titring	NGU
Vann	pH		
Vann	Ledningsevne		

NIJ : norsk institutt for luftforskning

NIVA : norsk institutt for vannforskning

SINTEF : stiftelsen for industriell og teknisk forskning

## RESULTATER

### Kloralkalifabrikken

#### Kvikksølvinnhold i løsmasser og berggrunn

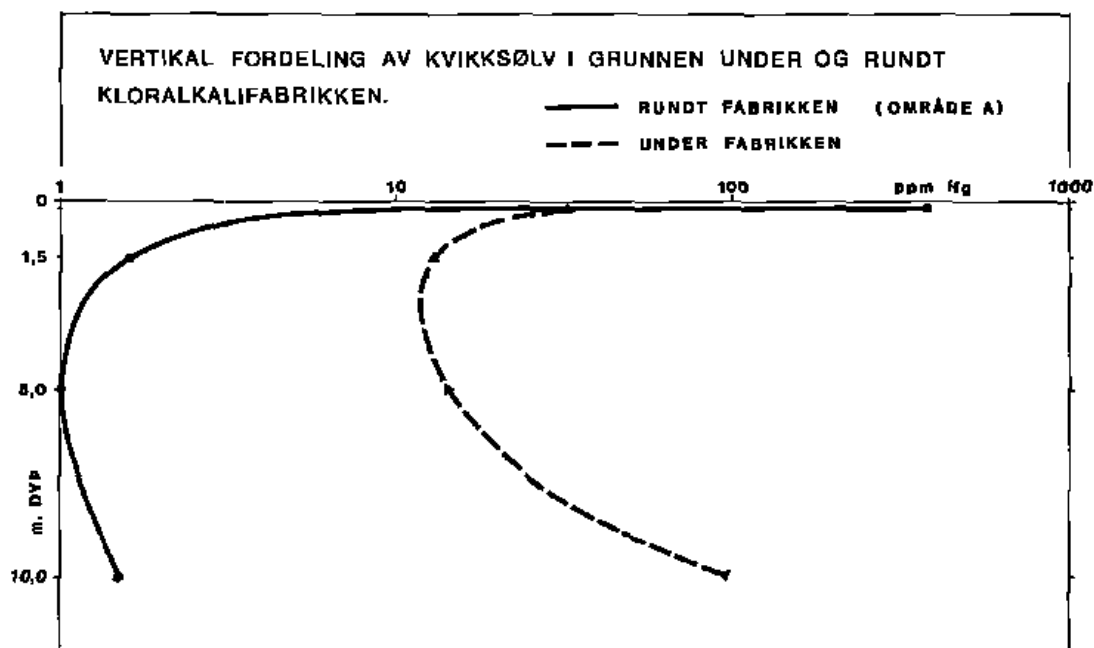
På østsiden av fabrikkområdet opptrer fjell i dagen mellom Sarpefossen og kaianlegget. Fjelloverflaten faller mot vest og danner en opptil 50 m dyp trauformet renne avdekket med løsmasser fra kloralkalifabrikken og sydvestover til Glomma (NGU-rapport 88.109). De naturlige løsmassene over fjell er avsatt mot slutten av istiden (ca. 10 000 år siden), og består av ulike leirer og morener (Fig. 2). Over de naturlige løsmasser ligger et 1-3 meter tykt lag av tilkjørt slagg og grus (NGU-rapport 88.203).

I grunnen under kloralkalifabrikken finnes kvikksølv i alle løsmasselag ned til fjelloverflaten. Berggrunnen er også svakt anrikt på kvikksølv (Tabell 6 og Fig. 6). Kvikksølvmengden i løsmassene under fabrikkområdet er beregnet til ca. 3 tonn (Tabell 7). I grunnen rundt kloralkalifabrikken opptrer kvikksølv vesentlig i de øverste 1-2 meter av løsmassene (Fig. 6). Mest kvikksølv finnes i grunnen vest for fabrikkområdet, område A på Fig. 7. Berggrunnen rundt fabrikkområdet er ikke anrikt på kvikksølv. Innenfor et areal på 23,7 dekar rundt kloralkalifabrikken er det beregnet å være minimum 7 tonn kvikksølv i tillegg til de 3 tonn som fins i grunnen under fabrikkområdet. Under og langs kloakk- og utløpsledningene er det synlig kvikksølv i grunnen. Det er beregnet å være ca. 4 kg kvikksølv pr. 1,5 m<sup>3</sup> masse pr. meter avløp (Tabell 7).

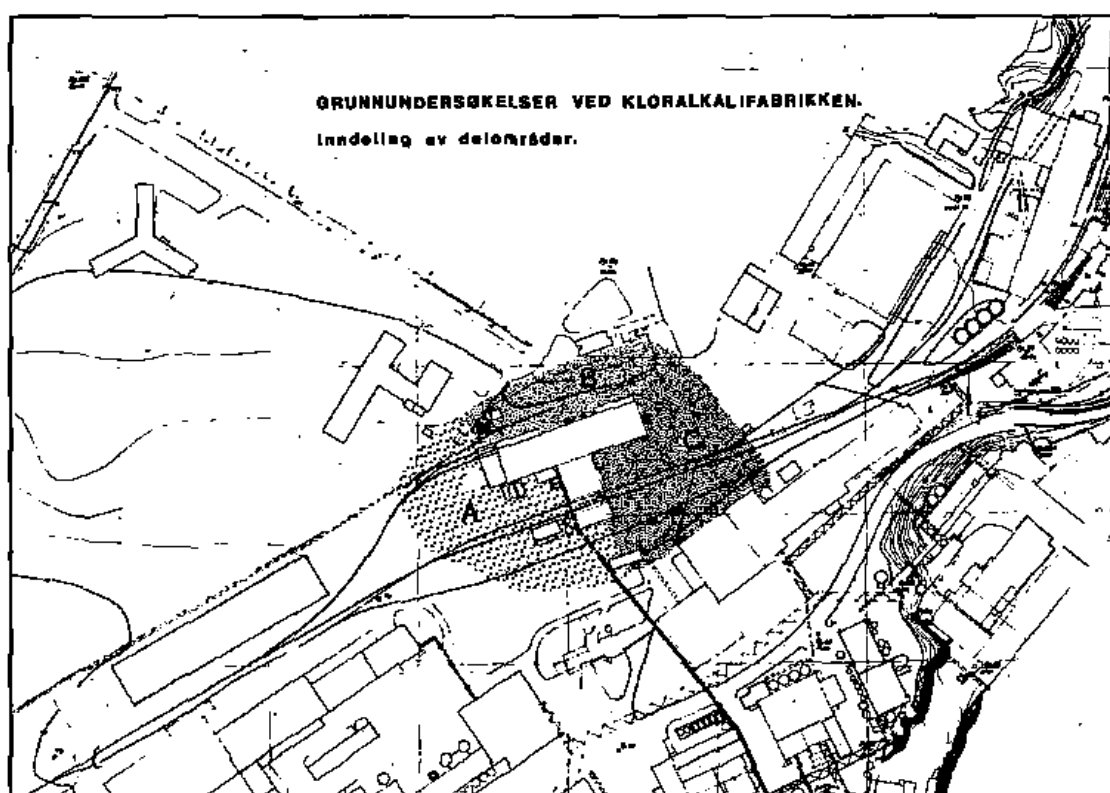
I dyprenna under løsmassene fra kloralkalifabrikken til Glomma er kvikksølvinnholdet lavt. Kvikksølvinnholdet i prøver av overflatejord avtar raskt med økende avstand fra fabrikkområdet (Tabell 11).

Tilsammen er det beregnet å være 10-11 tonn kvikksølv i grunnen rundt og under kloralkalifabrikken (NGU-rapport 88.195).

Det er betydelig høyere kvikksølvinnhold i prøver av overflatejord rundt fabrikkområdet (radius 200 meter) i 1988 enn i 1972.



Figur 6. Vertikal fordeling av kvikksølv i grunnen under og rundt kloralkalifabrikken i Sarpsborg.



Figur 7. Inndeling av delområder i grunnen rundt kloralkalifabrikken.

TABELL 6. Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i grunnen under og rundt kloralkalifabrikken

Prøvetype	Under fabrikk		Rundt fabrikk	
	ppm	Ant. pr.	ppm	Ant. pr.
Kultlag/overflatejord	32.6	7	148	17
Grunnvannsførende løsmasser på 1.5 - 2 m dyp	12.9	14	1.0	34
Silt/leir på 5 m dyp	14.1	6	0.7	15
Grunnvannsførende gruslag over fjell	97.0	2	1.6	18
Berggrunn	0.062	1	<0.005	1

Ref.: NGU-rapport 88.149 og 88.195.

TABELL 7. Beregnet kvikksølvmengde i løsmassene rundt og under kloralkalifabrikken, samt i bygningsmassen. Områdeinndeling i henhold til Figur 7.

Område	Areaal m <sup>2</sup>	Beregnet kvikksølvmengde (tonn)
Område A	9625	6,5
Område B	4375	0,1
Område C	9840	0,4
Under fabrikk	3785	3
Under fabrikk- og utløpsledning	140	0,5
Bygningsmassen		0,5
Sum	23700 m <sup>2</sup>	11,0 tonn

Ref.: NGU-rapport 88.195, 88.196 og 88.198.

TABELL 8. Kvikksølvinnhold i prøver av overflatejord innsamlet i forskjellige avstand fra kloralkalifabrikken.

Avstand fra fabrikk	Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold ppm	Antall prøver
0 - 200 m	148	17
200 - 500 m	0.55	5
500 - 1000 m	0.18	6
> 1000 m	0.06	13

Ref.: NGU-rapport 88.169.

### Kvikksølvinnhold i grunnvann

Nærmest til fjelloverflaten er det et 0.5-5 meter tykt vannførende gruslag. Grunnvannet i dette laget står under trykk. Det tilkjørte materialet over de naturlige massene er også vannførende (Fig. 2). Kotehøyden på grunnvannsspeilene og vannstanden i Glomma viser at hverken det undre eller det øvre grunnvannsførende lag infiltreres fra Glomma. Avrenning fra området rundt kloralkalifabrikken skrives seg fra nedbør, spillvann og vann fra lekkasjer. Nedbørfeltets bidrag er ut fra meteorologiske data hentet fra Kalnes jordbruksskole, (Fig. 1) beregnet til 1.3 l/s dvs. ca. 41 000 m<sup>3</sup>/år. Bidraget fra spillvann og vann fra lekkasjer er etter pumpeforsøk anslått til 90 m<sup>3</sup>/år. Dette er et usikkert anslag (NGU-rapport 88.203).

Avrenningen foregår hovedsakelig i det øvre vannførende lag. I det undre lag skjer avrenningen svært sakte.

Det er sammenheng mellom kvikksølvinnholdet i grunnvannet og kvikksølvinnholdet i løsmassene. Høyeste kvikksølvinnhold i grunnvann og løsmasser, finnes i det øvre grunnvannsførende lag og spesielt i området vest for fabrikken (område A). Grunnvannet inneholder i gjennomsnitt 4.3 ug kvikksølv pr. liter vann (Tabell 9).

Ved beregning av den årlige avrenning av kvikksølv i grunnvann fra fabrikkområdet er det antatt at all avrenning skjer i det øvre grunnvannsførende lag. Ved å benytte et gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i det øvre grunnvannsmagasin blir avrenning av kvikksølv ca. 0.2 kg pr. år.

Kvikksølvinnholdet i spillvannet eller vann fra lekkasjer er høyt (Tabell 9).

Avrenning av kvikksølv i spillvann og vann fra lekkasjer er anslått til ca. 0.8 kg pr. år (Tabell 10). Total avrenning av kvikksølv i vann fra grunnen rundt og under kloralkalifabrikken til Glomma blir dermed ca. 1 kg/år.

TABELL 9. Gjennomsnittlig innhold i ug/l av kvikksølv i grunnvann fra kloralkalifabrikken.

Øvre grunn- vannsmagasin	Antall prøver	Undre grunn- vannsmagasin	Antall prøver	Spillvann i øvre magasin	Antall prøver
4,3	12	0,039	4	8300	8

Ref.: NGU-rapport 88.205.

TABELL 10. Årlig avrenning av kvikksølv i vann fra grunnen rundt og under kloralkalifabrikken.

Vannstype	Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold ug/l	Avrenning m <sup>3</sup> /år	Mengde kvikksølv kg/år
Grunnvann	4,3	41000	0,2
Spillvann og vann fra lekkasjer	8300	90	0,8

Ref.: NGU-rapport 88.205.

## Bygningmassen

Kloralkalifabrikken er utført av tegl og betong. Grunnflaten er 3785 m<sup>2</sup> og volum av bygningsmasse er 5564 m<sup>3</sup>.

Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i bygningen er vist i tabell 11. Totalt kvikksølvinnhold i bygningen er beregnet til ca. 0,5 tonn (Tabell 7).

Innholdet av kvikksølv er høyest i malinglag og de ytterste deler av veggene inne i fabrikken. Kvikksølvinnholdet avtar innover i veggen. En liten økning i kvikksølvinnholdet er observert i de ytterste deler av veggen som ligger i friluft (Tabell 12).

TABELL 11. Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold (ppm) i bygningsmassen i kloralkalifabrikken.

	Kvikksølvinnhold	Antall prøver
Cellesal	25	7
Saltrensing	1.7	7
Bunnplan	54	15

Ref.: NGU-rapport 88.198.

TABELL 12. Kvikksølvinnhold i en borkjerne av yttervegg i cellesalen fra kloralkalifabrikken.

	Prøvetype	Kvikksølvinnhold (ppm)
Innerst	Løs maling børstet løs med pensel	1800
	Maling og noe fugemateriale	1100
	Maling og en større andel fugemateriale	1100
	Fugemateriale	421
	3-4 mm tegelsteinskive m/små mengder fugemat.	450
	3-4 mm tegelsteinskive	113
	3-4 mm teglestein	1.7
	3-4 mm teglestein	1.1
Ytterst	3-4 mm teglestein	1.6
	Fugemateriale fra toppen av tegelsteinen	14.6

Ref.: NGU-rapport 88.198.

## Kloralkalifabrikken

### Oppsummering og fremtidig forurensningsfare

Det er påvist 10-11 tonn kvikksølv i grunnen under og rundt kloralkalifabrikken. Under fabrikken finnes kvikksølv i løsmasser på alle dyp helt til fjell. Rundt fabrikken opptrer det meste kvikksølvet i de øverste løsmasselag (1-2 m).



Konsentrasjon av kvikksølv i overflatejord nær fabrikken er høyere i prøvene innsamlet i 1988 enn i prøvene innsamlet i 1972.

Transport av kvikksølv oppløst i grunnvann har sannsynligvis vært omtrent konstant i den perioden fabrikken har vært i drift.

Avrenning via grunnvann fra fabrikkområdet vil sannsynligvis holde seg konstant. Det betyr at ca. 1 kg kvikksølv vil fjernes via grunnvann, spillvann og vann fra lekkasjer hvert år.

Årlig vil det sannsynligvis via atmosfærisk nedfall fra fabrikken deponeres ca. 100 kg kvikksølv i fabrikkens nærområde, om det nåværende utslipp til luft holdes konstant.

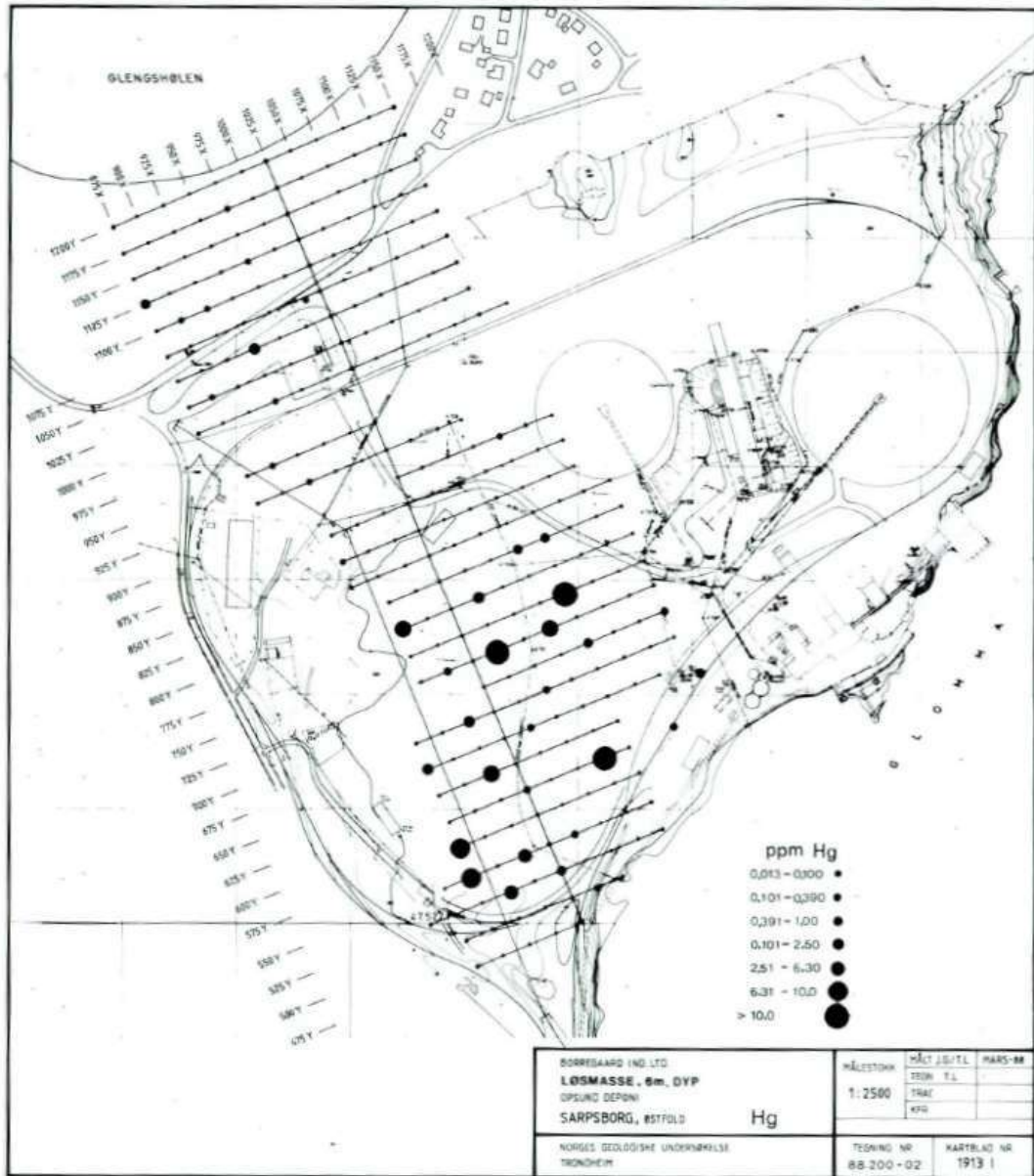
Ifølge Borregaard er utslipp direkte via kloakk/avløpsystem er betydelig lavere i 1988 enn det var i perioden 1949 til 1965. Etter 1965 ble kvikksølvslammet destillert. Fra 1975 ble slammet sendt til Tyskland for rensing.

### Opsund deponi

Tungmetallinnhold i industriavfall, naturlige løsmasser og berggrunn

Fjelltopografien under løsmassene på Opsund deponi er formet som et trau (NGU-rapport 88.130). De naturlige løsmassene over fjell er avsatt for ca. 10 000 år siden og består av ulike leirer og morener (Fig. 4). Det opptrer sand- og gruslag av varierende mektighet og utstrekning i avsetningene (NGU-rapport 88.204).

Det gjennomsnittlige innhold av tungmetaller i industriavfall fra Opsund deponi er vist i tabell 13. Fordeling av kvikksølv i prøver tatt på 6 meters dyp er vist i figur 8.



Figur 8. Innhold av kvikksølv i industriavfall og naturlige sedimenter i prøve tatt på 6 meters dyp på Opsund deponi og omkringliggende områder.

TABELL 13. Gjennomsnittlig innhold i ppm av kvikksølv, kobber, sink, bly og kadmium i industriavfall fra Opsund deponi.

Kvikksølv	Kobber	Sink	Bly	Kadmium	Antall prøver
6.4	330	1613	366	16.4	54

Ref.: NGU-rapport 88.200.

Det er beregnet at deponiet inneholder 6-7 tonn kvikksølv, ca. 310 tonn kobber, ca. 1450 tonn sink, ca. 390 tonn bly og ca. 15 tonn kadmium (NGU-rapport 88.200).

Gjennfylling av Lambrechts dam pågikk i perioden 1949 til 1963 i de vestlige og sydlige deler. I disse eldste deler av deponiet er innholdet av kvikksølv og bly høyere enn i de yngre deler av fyllingen (Tabell 14). I enkelte lokaliteter fra den eldste del av deponiet har kvikksølvet trengt helt til fjell (Tabell 15). Berggrunnen under deponiet er ikke anriket på kvikksølv.

Tungmetallinnholdet i det undre grunnvannsførende gruslag under deponiet er lavt og på samme nivå som den naturlige bakgrunnen i området (Tabell 16).

TABELL 14. Gjennomsnittlig innhold i ppm av kvikksølv, kobber, sink, bly og kadmium i eldre og yngre deler av Opsund deponi.

Område	Kvikksølv	Kobber	Sink	Bly	Kadmium	Antall prøver
Eldre del	7.9	281	1068	563	1.6	40
Yngre del	2.4	333	2425	34	28.9	14

Ref.: NGU-rapport 88.200.

TABELL 15. Vertikal fordeling av kvikksølv i ppm i eldste og yngste deler av Opsund deponi.

<u>Prøvedyp</u>	<u>Eldste del</u>	<u>Antall prøver</u>	<u>Yngste del</u>	<u>Antall prøver</u>
6 m	10.33	16	2.00	8
10 m	5.22	14	1.69	9
over fjell	1.82	9	0.01	4

Ref.: NGU-rapport 88.200.

TABELL 16. Gjennomsnittlig innhold i ppm av tungmetaller fra 9 prøver av løsmasser i det undre grunnvannsførende gruslag under Opsund deponi.

<u>Grunnstoff</u>	<u>Konsentrasjon</u>
Kvikksølv	0.04
Kobber	24
Sink	71
Bly	8.6
Kadmium	<1

Ref.: NGU-rapport 88.200.

Utenfor selve deponiet mot Glengshølen, er det registrert høye konsentrasjoner av kobber, sink, bly og kvikksølv. Visuell inspeksjon av prøvematerialet viser at tungmetallene kommer fra kisaske.

Innhold av kvikksølv, andre tungmetaller og PAH-forbindelser i grunnvann

Et ca. 2m tykt gruslag på ca. 12 - 20 m dyp ser ut til å være sammenhengende under deponiets sentrale del. Dette laget er vannførende. I bunnen av fyllingen på 7-10 meters dyp er det også en vannførende sone (Fig. 4). Grunnvannstanden i deponiet, styres av Glomma's vannstandsvariasjoner. Glomma styrer også vanntrykknivået i det dype gruslaget. NGUs vannstandsregistrering viser gjennomgående avrenning til Glomma, fra begge gruslag. Dette betyr at vannet i avsetningene ikke infiltreres fra elva, men skriver seg fra nedbør.

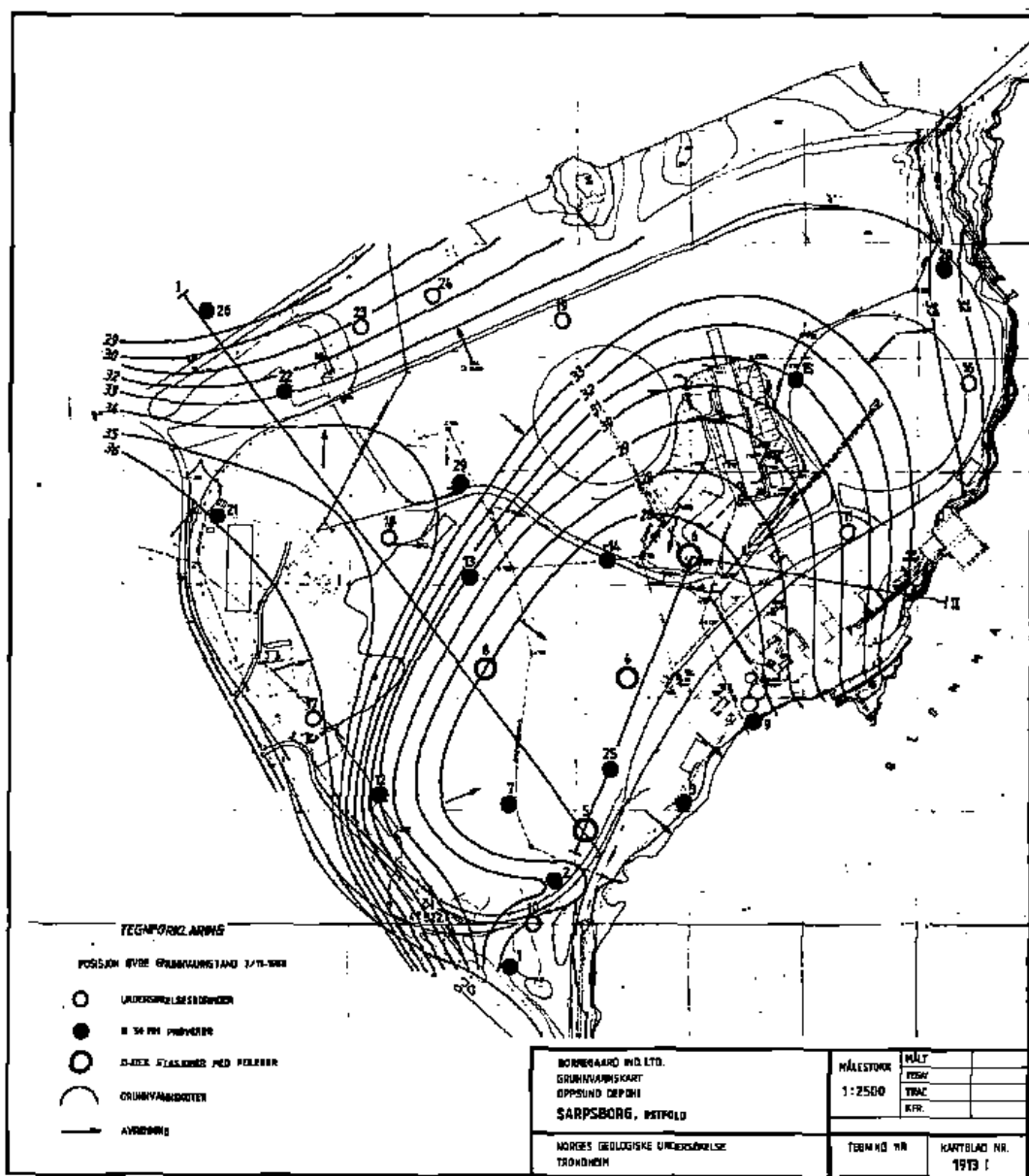
Deponiet dreneres i sin helhet mot sørøst til Glomma via den tidligere evja (Fig. 10). Barkfyllingene på vestsiden av deponiet har avrenning mot Glengshølen. Avrenningen til Glomma fra hoveddeponiet er beregnet til 3 l/s, dvs. ca. 95 000 m<sup>3</sup>/år.

Vannet i undre grunnvannsmagasin er salt og fossilt. Vannets alder er datert til 9900 år. Dette er omtrent tiden som er gått siden siste istid. Vannet i nedre grunnvannsmagasin har ligget i ro siden siste istid.

Kommunikasjon mellom den øvre og den nedre vannførende sone er minimal. Vanngjennomtrengeligheten i fyllmassene er variabel, men gjennomgående meget lav. Pumpeforsøk ga som resultat at brønnene ble hurtig tømmt og langsomt oppfylt (NGU-rapport 88.204).

Det øvre grunnvannsmagasin har høyere tungmetallinnhold enn det dypere-liggende magasin (Tabell 17). Det er klar sammenheng mellom tungmetallinnholdet i industriavfallet og tungmetallinnholdet i grunnvann. De eldste delene av deponiet har høyere innhold av kvikksølv, tungmetaller og PAH-forbindelser i grunnvannet enn de yngste delene. Kvikksølvinnholdet i grunnvannet fra Opsund er betydelig lavere enn kvikksølvinnholdet i grunnvannet fra fabrikkområdet (Tabell 9). Svovelforbindelsen er tilstede i grunnvannet på Opsund. Det strømmer ut H<sub>2</sub>O-gass av borhullene på fyllingen. Sulfidinnholdet gir mulighet for dannelse av tungtløselig kvikksølv-sulfid.

Av polyaromatiske hydrokarboner i grunnvann fra Opsund deponi er det mest av fluoranten, pyren, og fenantren.



Figur 9. Grunnvannsavrenning i de øvre grunnvannsmagasin på Opsund deponi.

TABELL 17. Gjennomsnittskonsentrasjon i ug/l for kvikksølv, kobber, sink, bly, kadmium og polyaromatiske hydrokarboner (PAH) i grunnvann på Opsund deponi.

	Øvre magasin (Antall prøver = 14)	Nedre magasin (Antall prøver = 23)	Glengshøien (Antall prøver = 3)
Kvikksølv	0.7	0.09	0.027
Kobber	40	9.9	<3.6
Sink	344	91	<6.6
Bly	113	*	*
Kadmium	<6.9	*	*
PAH	47.6	<0.3	*

\* de fleste prøvene har et innhold av det aktuelle grunnstoff lavere enn deteksjonsgrensen.

Ref.: NGU-rapport 88.206.

Ved beregning av den årlige avrenning av tungmetaller og PAH-forbindeler i grunnvann fra Opsund deponi, er det antatt at all avrenning skjer i den øvre vannførende sone.

Ved å benytte gjennomsnittlig innhold av tungmetaller og PAH-forbindelser gir dette en avrenning pr. år til Glomma på: ca. 0.1 kg kvikksølv, ca. 4 kg kobber, ca. 33 kg sink, ca. 10 kg bly, ca. 0.6 kg kadmium, og ca. 5 kg PAH-forbindelser (Tabell 18).

TABELL 18. Årlig avrenning av tungmetaller og PAH-forbindelser i vann fra grunnen under Opsund deponi.

Grunnstoff i kjemiske forbindelser	Gjennomsnittlig innhold ug/l	Avrenning m <sup>3</sup> /år	Mengde ug/år
Kvikksølv	0.7	95000	0.1
Kobber	40	95000	4
Sink	344	95000	33
Bly	113	95000	10
Kadmium	6.9	95000	0.6
PAH	47.6	95000	5

Ref.: NGU-rapport 88.206.

## **Opsund deponi**

### **Oppsummering og fremtidig forurensningsfare**

Det er påvist 6-7 tonn kvikksølv, 310 tonn kobber, 1450 tonn sink, 390 tonn bly og 15 tonn kadmium på Opsund deponi.

Avrenning av tungmetaller og PAH-forbindelser i grunnvann fra Opsund vil sannsynligvis holde seg konstant. Det betyr at ca. 0.1 kg kvikksølv, ca. 4 kg kobber, ca. 10 kg bly, ca. 33 kg sink, ca. 0.6 kg kadmium og ca. 5 kg PAH-forbindelser vil fjernes årlig via grunnvann og havne i Glomma.

### **Kvikksølvforurensning i Sarpsborgregionen**

Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i luften (Hg-tot) rundt kloralkali-fabrikken er ca. 20 ganger høyere enn ved Sarpsborg vannverk (Tabell 19), men langt under den yrkeshygieniske grenseverdi. Kvikksølvinnholdet i luft over Opsund deponi er omtrent som i normal-luften i Sarpsborgregionen (NGU-rapport 88.197).

Samtlige undersøkte vannverk leverer vann med et kvikksølvinnhold lavere enn 30 ng/l. Administrativ norm (SIF) for førsteklasses vann er 50 ng/l (NGU-rapport 88.167).

Den gjennomsnittlige kvikksølvkonsentrasjon i prøver av overflatejord fra Sarpsborgregionen tatt i 1988 er omtrent på samme nivå som i 1972 (NGU-rapport 88.169).

Kvikksølvinnholdet i menneskepåvirkede bunnsedimenter i Glomma er høyest i de eldste sedimentene. Dette tyder på at kvikksølvforurensningen i Glomma er avtakende (NGU-rapport 88.148).



TABELL 19. Kvikksølvinnhold i luft ved kloralkalifabrikken, Opsund deponi og ved Sarpsborg vannverk.

	Partikulært Hg ug/m <sup>3</sup>	Hg <sup>o</sup> ug/m <sup>3</sup>	Hg tot. ug/m <sup>3</sup>	Antall prøver
Ved kloralkalifabrikken	0.17	6.4	6.5	4
Over Opsund deponi	0.03	0.4	0.4	6
Ved Sarpsborg vannverk	<0.02	<0.3	<0.3	2
Yrkeshygienisk grenseverdi			50.0	

Ref.: NGU-rapport 88.197.

### Naturlig kvikksølvinnhold

Det naturlige innhold av kvikksølv i luft, overflatevann, grunnvann, overflatejord, løsmasse, elvesedimenter og berggrunn i Østfold er summert i Tabell 20.

TABELL 20. Naturlig innhold av kvikksølv i luft, vann, jord og berggrunn i Østfold.

Prøvetype	Naturlig kvikksølvinnhold	Antall prøver
luft	<0.3 ug/m <sup>3</sup>	2
overflatevann	<0.020 ug/l	24
drikkevann	<0.020 ug/l	
grunnvann	<0.020 ug/l	8
overflatejord	0.06 ppm (mg/kg)	21
løsmasser fra dypere lag	0.03 ppm (mg/kg)	24
berggrunn	<0.005 ppm (mg/kg)	10
elvesediment	0.030 ppm (mg/kg)	45

Ref.: NGU-rapport 88.149, 88.167, 88.168, 88.169, 88.197, 88.199.

Tungmetallinnholdet angitt i tabell 21 kommer fra ulike kilder, f.eks.:

- tilførsel fra forvitring av jord og berggrunn
- tilførsel gjennom atmosfæren
- tilførsel fra landbruk, industri og annen menneskelig aktivitet

Hvilke kilder som er viktigst i Glommas nedslagsfelt finnes det ikke tilstrekkelig med opplysninger til å avgjøre.

TABELL 21. Gjennomsnittlig årlig avrenning av tungmetaller i Glomma ovenfor Sarpsborgområdet basert på analyse av 13 vannprøver tatt i løpet av april til juli 1988.

Grunnstoff	Innhold ug/l	Middel vannføring* m <sup>3</sup> /s	Avrenning i vannfasen kg/år
kvikksølv	0.019	680	400
kobber	5.2	680	111 400
bly	0.49	680	10 500
sink	9.3	680	199 200
kadmium	0.08	680	1700

\* Solbergfoss 1901 - 1987.

Ref.: NGU-rapport 88.168.

## REFERANSER

- NGU-rapport 87.176: Foreløpige data for innhold av kvikksølv i overflateprøver fra avfallsdeponi Opsund, Sarpsborg.
- NGU-rapport 88.063: Plan for grunnundersøkelser ved Borregaard Ind. Ltd's kloralkalifabrikk og Opsund deponi.
- NGU-rapport 88.094: Detaljplaner.
- NGU-rapport 88.103: Statusrapport pr. 01.05.1988.
- NGU-rapport 88.109: Kartlegging av fjelltopografien under løsmassene ved kloralkalifabrikken.
- NGU-rapport 88.113: Kartlegging av nedgravd metallskrot på Opsund deponi.
- NGU-rapport 88.130: Seismiske målinger, Opsund deponi.
- NGU-rapport 88.137: Statusrapport pr. 01.07.1988.
- NGU-rapport 88.144: Statusrapport pr. 01.09.1988.
- NGU-rapport 88.148: Kvikksølvinnhold i sedimentkjerner fra Glomma.
- NGU-rapport 88.149: Kvikksølvinnhold i berggrunnen under kloralkalifabrikken, Opsund deponi og i Sarpsborgregionen.
- NGU-rapport 88.167: Kartlegging av kvikksølvinnhold i overflatevann og drikkevann.
- NGU-rapport 88.168: Tungmetallinnhold i overflatevann fra Glomma.
- NGU-rapport 88.169: Kartlegging av kvikksølvinnholdet i grunnen rundt kloralkalifabrikken.
- NGU-rapport 88.188: Statusrapport pr. 01.11.1988.
- NGU-rapport 88.195: Kartlegging av kvikksølvinnhold i grunnen under kloralkalifabrikken.
- NGU-rapport 88.196: Kartlegging av kvikksølvinnhold i grunnen langs kloakk- og utløpsledninger.
- NGU-rapport 88.197: Kvikksølvinnhold i luft ved kloralkalifabrikken, Opsund deponi og i Sarpsborgregionen.
- NGU-rapport 88.198: Kvikksølvinnhold i bygningsmassen, kloralkalifabrikken.
- NGU-rapport 88.199: Naturlig kvikksølvinnhold i løsmasser fra Østfold.
- NGU-rapport 88.200: Kartlegging av innholdet av kvikksølv og andre tungmetaller i industriavfall og sedimenter på Opsund deponi.
- NGU-rapport 88.203: Løsmassestratigrafi og hydrogeologi, kloralkalifabrikken.
- NGU-rapport 88.204: Løsmassestratigrafi og hydrogeologi, Opsund deponi.
- NGU-rapport 88.205: Kvikksølvinnhold i grunnvann ved kloralkalifabrikken.
- NGU-rapport 88.206: Innhold av kvikksølv, andre tungmetaller og PAH-forbindelser i grunnvann på Opsund deponi.
- NGU-rapport 89.028: Statusrapport pr. 01.01.1989.
- NGU-rapport 89.061: Kjemisk analyse og reproduserbarhet.

## ORDFORKLARINGER OG DEFINISJONER

### Konsentrasjonsangivelser

1 kg/tonn = 0.1% = 1000 ppm

1 g/tonn = 0.0001% = 1 ppm

1 mg/tonn = 1 ppb

1 ug/tonn = 1 ppt

1 g/kg = 0.1% = 1000 ppm

1 mg/kg = 0.0001% = 1 ppm

1 ug/kg = 1 ppb

1 ng/kg = 1 ppt

1 Pg/kg = 1 ppq (part pr. quadrillion)

1 mg/g = 0.1% = 1000 ppm

1 ug/g = 0.0001% = 1 ppm

1 ng/g = 1 ppb

1 Pg/g = 1 ppt

1 mg/g = 0.1% = 1000 ppm

1 ug/g = 0.0001% = 1 ppm

1 Pg/g = 1 ppt

mg = milligram

ug = mikrogram

ng = nanogram

Pg = pikogram

---

PERSONELL OVERSIKT

---

Prosjektledelse	Rolf Tore Ottesen
Analytisk kjemi	Birger Andreassen, Tomm Berg, Frank Berge, Gert Faye, Arnold Kuldvere og Magne Ødegård
Boring	Eiliv Danielsen og Bjørn Iversen
Geofysikk	Lars Harald Blikra, Jomar Gellein, Gustav Hillestad, Thorleif Lauritsen og Jan Steinar Rønning
Geokjemi	Jørgen Ekremsæter, Siv Kjellden, Rolf Nilsen, Ola Magne Sæther og Tore Volden
Løsmasse- og hydrogeologi	Tidemann Klemetsrud, Bernt Malme og Helge Skarphagen
Sekretariat	Ase Minde

---