

**Undersøkelse
av
deponiet i Sørfjorden**

**For
Odda Smelteverk AS**

**Rapport RF-2000/017
D&M Rapport nr 41767.003**

RF
Boks 2503
Ullandhaug
4091 Stavanger

D&M
Kirkebakken 8
4012 Stavanger

Vår referanse: 613/654865	Forfatter(e): Stig Westerlund/RF og Joar Hovda/D&M	Versjonsnr. / dato: Vers. 1 / 25.01.2000
Ant. sider: 27	Faglig kvalitetssikrer: Odd Ketil Anderson	Gradering: Åpen
ISBN: 82-490-0019-6	Oppdragsgiver(e): Odda Smelteverk	Åpen fra (dato):
Forskningsprogram:	Prosjektittel: Undersøkelser i Sørfjorden	

<p>Emne:</p> <p>Etter forespørsel fra Odda Smelteverk AS har Dames & Moore, Norge i samarbeid med Rogalandforskning gjennomført en undersøkelse av deponiet i Sørfjorden.</p> <p>Hovedmålsetning med prosjektet var å undersøke mulig utlekking av nitrogenforbindelser fra deponert materiale samt å foreta en grunnleggende undersøkelse av deponiet i Sørfjorden.</p> <p>Undersøkelsene var lagt opp med tanke på å belyse potensialet for lekkasje, faktiske utlekkingshastigheter og faren for oksygensvikt i overliggende vannmasser i Sørfjorden etter avsluttet deponering.</p> <p>De ulike deponiers forurensningsnivå med hensyn til Epe 16, PAH og tungmetaller er kartlagt.</p>
Emne-ord: Nitrogen, Tungmetaller, PAH, Sørfjorden

RF - Rogalandforskning er sertifisert etter et kvalitetssystem basert på NS - EN ISO 9001

Rogalandforskning

Prosjektleder
Stig Westerlund

S. Westerlund

Odd Ketil Anderson

for RF - Miljø

for Troels Jakobsen

Dames & Moore

Prosjektleder
Joar Hovda

Joar Hovda

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Målsetning	1
1.2	Bakgrunn for prosjektet	1
1.3	Undersøkelse av deponiet i Sørfjorden	1
2	Undersøkelse av N-forbindelser i filterkaka før utslipp	2
3	Karakterisering og kartlegging av deponiet basert på tidligere undersøkelser	2
4	Deponering av filterkake i sjøen	3
5	Karakterisering av deponiet basert på nye undersøkelser	3
6	Metoder	6
6.1	Feltarbeidet	6
6.2	Porevann og Sediment	6
6.3	Analysemetoder	7
7	Resultater	7
7.1	Næringssalter	7
7.2	Nitrogen i det nye deponiet	9
7.2.1	Nitrogen i sedimentet	11
7.3	Resultater fra de eldre deponiene	12
7.3.1	Resultater fra porevannanalysene	12
7.3.2	Nitrogen i sedimentet	14
7.3.3	Metaller og PAH	14
7.3.4	Metall-resultater	14
7.3.5	PAH-resultater	20
8	Diskusjon	22
8.1	Deponienes volumer	22
8.2	Nye deponier - nitrogen	22
8.3	Eldre deponier:	23
8.4	Sørfjorden	23
8.5	Uorganiske og organiske miljøforurensninger	24
9	Sammefattede resultater	24
9.1	Forslag til tiltak	25
10	Konklusjoner	25
11	Referanser	26

1 Innledning

Etter forespørsel fra Odda Smelteverk AS har Dames & Moore, Norge, i samarbeid med Rogalandsforskning gjennomført en undersøkelse av deponiet i Sørfjorden.

1.1 Målsetning

Hovedmålsetning med prosjektet var å undersøke mulig utlekking av nitrogenforbindelser fra deponert materiale samt å foreta en grunnleggende undersøkelse av deponiet i Sørfjorden.

Undersøkelsene var lagt opp med tanke på å belyse potensialet for utlekking, faktiske utlekkingshastigheter og faren for oksygenvikt i overliggende vannmasser i Sørfjorden etter avsluttet deponering.

De ulike deponienes forurensningsnivå med hensyn til Epe 16 PAH og tungmetaller er kartlagt.

1.2 Bakgrunn for prosjektet

Odda Smelteverk sitt deponi i Sørfjorden har vært utredet av SFT i flere rapporter (Konieczny 1994; Winther-Larsen 1998) og de har selv utført undersøkelser for å klarlegge omstendighetene rundt dette deponiet (Bøen & Østby 1991; Stølen 1997). Odda Smelteverk AS har fått pålegg fra SFT om ytterligere undersøkelser vedrørende deponert filterkake i Sørfjorden. Undersøkelser foretatt av Havforskningsinstituttet og NIVA har vist at det periodevis er meget dårlige oksygenforhold i indre del av Sørfjorden. Det er tidligere sannsynliggjort at utslippet av Dicy-kalk fra Odda Smelteverk bidrar vesentlig til dette (Brev fra SFT datert 07.04.99).

SFT har tidligere pålagt Odda Smelteverk (brev fra SFT datert 10.03.98) å gjennomføre undersøkelser for å klarlegge betydningen av filterkake-utslippet nærmere, foreløpige resultater skulle være fremlagt innen 01.12.98. NIVA ble engasjert for å utarbeide et forslag til undersøkelsesprogram, som ble sendt til Odda Smelteverk 02.07.99 fra NIVA og videresendt til SFT 10.07.99 fra Odda Smelteverk.

Undersøkelsesprogrammet inneholdt en del 1, feltarbeid, som omfattet innsamling av prøver, analyser av porevann etc, imens del 2, som var eksperimentelt arbeid, omfattet forsøk med sikte på å måle fluksen av næringsalter og oksygen mellom filterkake og vannfase over tid. NIVA gjennomførte i oktober feltarbeid, og leverte rapport LNR 3999-99 til Odda Smelteverk, som oversendte den til SFT 29.01.99. Det eksperimentelle arbeid er ikke blitt gjennomført.

På bakgrunnen av NIVA sin rapport LNR 3999-99 har SFT pålagt Odda Smelteverk med hjemmel i forurensningsloven § 51, første ledd punkt b, å gjennomføre ytterligere undersøkelser for å klarlegge om dette kan medføre fare for oksygenvikt i vannmassene. Dames & Moore Norge ble engasjert av Odda Smelteverk ved telefon og faks 09.04.99 for å utarbeide et undersøkelsesprogram.

Gjennom dette undersøkelsesprogrammet har Dames & Moore sammen med sine samarbeidspartnere gjennomført disse undersøkelsene, og det har vært viktig at resultatene av disse undersøkelsene er blitt diskutert i forhold til tidligere resultater.

På bakgrunn av denne informasjonen er det nærliggende å ta til etterretning at Odda Smelteverk vil fjerne den løselige N-komponenten i filterkaka ved å investere i ny filterteknologi, og tar sikte på å avslutte deponeringen av filterkake til Sørfjorden iht. den presenterte prosjektplanen. Dette innebærer at en i dette prosjektet har fokusert på det eksisterende deponiet, og foretatt en grunnleggende undersøkelse av dette. Resultatene som er presentert i denne rapporten gir svar på hva en kan forvente seg av oksygenforbruk over tid når deponeringen er avsluttet.

1.3 Undersøkelse av deponiet i Sørfjorden

På bakgrunn av tidligere undersøkelser og diskusjon med Odda Smelteverk og SFT var det enighet om å gjennomføre en grunnleggende undersøkelse av hele deponiet i Sørfjorden. Undersøkelsen skulle omfatte:

1. Karakterisering og kartlegging av deponiet basert på tidligere undersøkelser
2. En mer fullstendig karakterisering av deponiet basert på nye undersøkelser

Feltarbeidet ble utført av Noteby Bergen, som gjennomførte opptak av kjerneprøvene, rapporten fra Noteby er vedlagt i Appendiks 4. Noteby var allerede engasjert av Odda Kommune og Odda Smelteverk i samarbeid med andre aktører i Odda. Analyser av kjerneprøvene hadde Rogalandforskning ansvaret for.

2 Undersøkelse av N-forbindelser i filterkaka før utslipp

Undersøkelsen for å finne dette ble gjennomført ved en fullstendig gjennomgang av prosessen, dvs. besøke Odda Smelteverk og ved en gjennomgang av tidligere rapporter og analyser etc. Tidligere analyser av filterkaken har vist at det er en viss sannsynlighet at deler av det nitrogenet som finnes i filterkaken består av tungt løselige nitrogenforbindelser. En ønsket også å forstå hvilke løsningsmekanismer disse tungt løselige nitrogenforbindelsene vil forårsake i kontakt med sjøvann over tid.

En vet at filterkaka inneholder en lett løselig N-komponent, men en ønsket også å få rede på hvilke tungt løselige N-komponenter den inneholder. Man regnet med at disse tungt løselige N-komponentene er ulike metallnitrider dannet under kalsiumkarbidprosessen eller kalsiumcyanamidprosessen. I teknisk kalsiumcyanamid er analysen:

- Cyan - N = 20 % (omdannes til dicy i reaksjonskaret)
- Tot N = 21 % (totalnitrogen i teknisk kalsiumcyanamid)
- Ukjent N = 1 % (tungt løselige N-komponenter som går inn i filterkaka)

Den dominerende nitrogenkomponenten er DICY (Dicyandiamid) ettersom den DICY som produseres ikke kan renses fullstendig. Resten havner dermed i filterkaken. Data fra Odda Smelteverk viser at i de senere år når doble vaskeprosedyrer er benyttet, har innholdet av tot N i filterkake-utslippet vært i overkant av 1%. Øvrige lett løselige nitrogenkomponenter som havner i filterkaken er andre organiske forbindelser, trolig i hovedsak melamin, som dannes som biprodukt i prosessen. Den vanlige oppfatningen til nå har vært at mesteparten DICY og relaterte forbindelser blir vasket bort under deponeringsprosedyren i og med at filterkaken blir forslammet i vannet som pumpes til de ulike deponiene. Om dette hadde vært tilfelle vil nitrogenbelastningen opphøre når deponeringen av filterkaka opphører.

For å konstatere om det fremdeles er DICY og melamin i de ulike deponiene er det utført analyser av disse substansene. Eventuelle tungt løselige N-komponenter ble ikke betraktet som en del av problemene i forbindelse med overgjødning i Sørfjorden. Derfor har denne undersøkelsen i utgangspunktet fokusert på de lett løselige komponentene.

3 Karakterisering og kartlegging av deponiet basert på tidligere undersøkelser

Odda Smelteverk har selv utført undersøkelser for å klarlegge omstendighetene rundt dette deponiet (Bøen & Østby 1991; Stølen 1997). Disse rapportene gir en kort beskrivelse av deponiene. Det er ikke tidligere gjort noen omfattende undersøkelse av deponiet tilsvarende det som legges fram i denne rapporten. Tidligere beskrivelser av deponiet er lagt til grunn for denne undersøkelsen.

Målinger av vannkvaliteten i Havnebassenget og tilstøtende fjordområder utført av NIVA og Havforsknings-instituttet i perioden 1995-1997 har vist lave oksygenverdier og høyt innhold av nitrogen i deler av vannmassene ned til 50-100 m dyp fra havnebassenget og utover forbi Tyssedal (Aure et al., 1997; Molvær og Johnsen 1997). I tillegg var N:P og N:S forholdene høyere enn naturlige, biogene forhold og den uvanlige situasjonen i vannmassene er blitt knyttet til utslippet av filterkake i Havnebassenget.

Faststoffet i filterkaken består hovedsakelig av kalk (blanding av CaCO_3 og CaOH_2) kontaminert med blant annet nitrogen, svovel, cyanid, PAH og tungmetaller (Bøen & Østby 1991; Källquist, 1992; Moy et al., 1997). Utslippsledningens munning er forankret på 20 m dyp inne i havnebassenget. Finfraksjoner vil kunne stige mot overflaten eller innlagres i midlere dyp sammen med utslippsvannet, men hovedmengden av avfallet sedimenteres trolig hurtig i nærheten av utslippspunktet der sjøbunnen etterhvert er dekket av tykke lag avfallsmateriale (Schanning 1999).

Undersøkelser i Sørfjorden - Hardanger i juni 1998 viser at oksygen- og næringssaltforholdene fortsatt var sterkt påvirket av utslipp av såkalt Dicy-kalk fra Odda Smelteverk til Sørfjorden. Det har også vært en klar forverring av oksygenforholdene i indre del av Sørfjorden siden november 1997 med kritisk lavt oksygeninnhold mellom 25 og 55 meter dyp. De forverrede miljøforhold i juni 1998 er trolig knyttet til en økning i utslippet fra Odda Smelteverk. Foruten direkte effekter på det biologiske liv forårsaket av lavt oksygeninnhold, ser det ut til at endrede næringssaltforhold i har ført til økt primærproduksjon og en unaturlig planktonsammensetning i fjorden. Målinger etter 1991 viser også at dinoflagellaten *Dinophysis acuta*, som produserer diaréfremkallende toksiner i blåskjell, opptrer i høye konsentrasjoner og har lange blomstringsperioder i Sørfjorden (Aure & Pettersen 1998).

NIVA gjennomførte en innledende undersøkelse i 1998 (Schanning 1999). Konklusjoner som indikerer tilstanden til deponiene er som følger:

- Dersom filterkaka har et innhold tilsvarende 12 mgN/gTS (100%) før utslipp, ble det funnet at 6,6 mg (55%) løses i vannmassene og om lag 5,4 mg (45%) innlagres i sedimentene.
- Nitrogenprofilen i kjerne K3 ble tolket dithen at opp til 3,0 av 5,4 mg innlagret nitrogen var ustabil og ble mobilisert til porevannet som ammonium. I såfall vil bare 2,4 mg N (20 % av utslippet) innlagres permanent i deponimaterialet.
- Dersom den labile nitrogen-fasen i utslippet i hovedsak er identisk med dicyandiamid (DICY) vil nedbrytningen mest sannsynlig foregå via enzymatisk hydrolyse til ammonium og CO₂.
- Forutsatt at oksygenforbruket skyldes oksydasjon av ammonium til nitrat (nitrifikasjon), ble det umiddelbare forbruket i vannmassene i Havnebassenget og indre del av Sørfjorden beregnet å utgjøre 2,6 tonn O₂ per tonn nitrogen i utslippet. I tillegg kommer et tidsforskjøvet forbruk av oksygen fra en tilsynelatende labil nitrogenfraksjon i sedimentene tilsvarende 1,1 tonn O₂ per tonn nitrogen i utslippet.
- Konklusjonene hviler tungt på nitrogenanalysene fra en sedimentprofil. Det bør analyseres flere kjerneprøver i eldre områder av deponiet for å kunne fastslå med noe større sikkerhet hvor representativ nitrogenprofilen er for det øvrige deponiet.
- For å kunne vurdere sedimentdeponiets bidrag til oksygenforbruket i Havnebassenget og indre deler av fjorden er det viktig å få bekreftet prosessene sannsynliggjort i denne rapporten. Dette kan best gjøres som en eksperimentelt undersøkelse av aktuelle flukser mellom deponimaterialet og vannmasser.

4 Deponering av filterkake i sjøen

Ved deponering av filterkaken i sjøen slammes denne opp i vann og blandes med avfallsvann med høy pH, fra renseanlegg. Ved denne prosessen kommer sannsynligvis pH-verdien til å havne på >10. Dette innebærer at pH-verdien ligger på et nivå der spalting av DICY-rester til NH₄⁺ kommer til å skje. Det finnes ingen dokumentasjon på pH-verdien i utslippet ved deponering av filterkake. Med tanke på utslippsprosedyren er det sannsynlig at store deler av det frigjorte nitrogenet fra filterkaken som skjer ved deponeringen (se nedenfor) av filterkaken frigjøres som NH₄⁺.

Ved deponering av filterkake har dessuten spillvann som tidligere var kraftig kontaminert med PAH-er blitt pumpet ut gjennom samme ledninger. Dette har som konsekvens at PAH-er som har stor affinitet til partikler kan adsorberes på filterkaken før denne sedimenteres. Tiltak for å fjerne mesteparten av PAH-utslippene ble innført når det nye deponiet (1995-) ble tatt i bruk.

5 Karakterisering av deponiet basert på nye undersøkelser

Deponiene har vært brukt i ulike tidsperioder og kjerneprøvene er tatt fra forskjellige steder:

1. Kjerne 34-38 nytt deponi tatt i bruk etter 1995
2. Kjerne 33 deponert 1980-1995
3. Kjerne 32 deponert 1980-1995
4. Kjerne 31 og 311 deponert 1950-1975

For å begrense antall analyser ble først kun en kjerneprøve analysert fra det nyeste deponiet. Analysene var i porevann for å finne næringssalter (Tot N, NO₃, NO₂, NH₄ og PO₄), og i

partikkelfraksjoner for å måle PAH, tungmetaller og totalt nitrogen (TN). På bakgrunn av disse første analysene ble det laget et analyseprogram for de resterende sju kjernene.

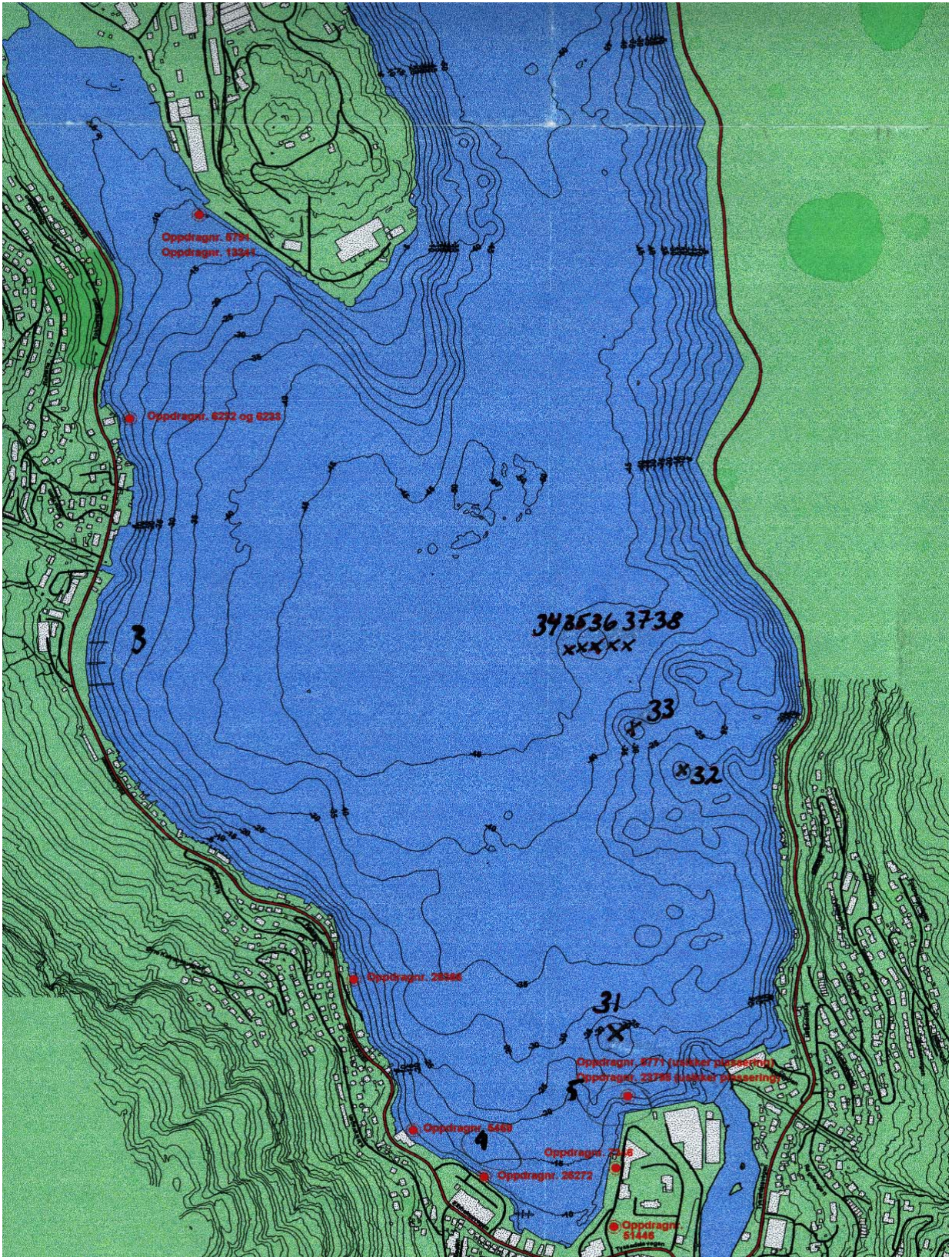
Dette modifiserte måleprogrammet var:

- Porevann: Næringsalter (Tot N og NH_4) og pH.
- Sediment: PAH, Tungmetaller, TN og Dicyandiamid (DICY)

Ved gjennomgang av prosessen viser det seg at DICY brytes ned ved $\text{pH} > 9.5$. Nedbrytningsproduktene er sannsynligvis CO_2 og NH_3 . Det ammonium som observeres i porevannet stammer sannsynligvis fra denne nedbrytningsprosessen selv om temperaturene i deponiene er forskjellige fra temperaturene i produksjonsprosessen. Prosessen i deponiet skjer langsommere. NH_3 hydrolyseres senere til NH_4OH i det basiske porevannet i sedimentet. pH er derfor et viktig måleparameter i porevannet.

Under bearbeiding og behandling av kjerneprøvene prøvde vi å finne ut om det er noen karakteristiske forskjeller mellom gammelt og nytt deponert materiale. Grunnen var at dette eventuelt ville være til hjelp for å beregne utlekkingshastigheter basert på deponiets alder. SFT forutsatte at dette ble vurdert og at spørsmålene omkring utlekkingshastighet og oksygenforbruk blir belyst i denne sluttrapporten.

Kart over prøvetakingsplasser med de ulike kjernene avmerket er vist i Figur 1.



Figur 1: Kart over prøvetakingsplasser med de ulike kjernene avmerket.

6 Metoder

6.1 Feltarbeidet

For å kunne fastslå forurensningsnivået i deponiet, var det viktig med et godt definert feltarbeid med tilhørende analyser og diskusjoner for å gi et helhetsbilde. Før prøvetakingen ble det utført en kartlegging av deponienes størrelse og topografi. Det vises til vedlagt kart der en på Figur 1 viser hvor opptak av de 8 kjerneprøvene ble gjennomført.

Ut i fra tidligere feltarbeid og metodikken for tilsvarende undersøkelser (EPA 1982; Hauge & Breedveld 1991; Nordal et al., 1995; Schaanning 1998), ble følgende program for feltarbeid for deponiet i Sørfjorden gjennomført:

- Fem kjerneprøver blir tatt i det aktive nye deponiet og tre kjerneprøver i de tre eldre deponiene (Se Figur 1).
- Det var en viss variasjon på oppnådde lengder i kjernene, noe en forventet, ettersom en ikke visste hvor langt ned en greide å ta kjerneprøvene (0 - 3 meter). Dette var avhengig av sedimentets konsistens og vanninnhold. En antok at blandepøver fra kjernene ville gi tilstrekkelig porevann til analyser.
- Noteby markerte de forskjellige punktene der prøvene skal tas iht. prøveplan (Figur 1). Det ble tatt fem kjerneprøver 15 m fra utslippspunktet, og for hver 30 m i rett linje vinkelrett fra utslippspunktet. En tok også en kjerneprøve fra hvert av de tre gamle deponiene, som vist på Figur 1.
- Vanlige prosedyrer for opptak av prøver, samt behandling, transport og lagring ble fulgt. Dvs. prøvene ble lagret i kjølerom og sendt nedkjølt fra Odda til Rogalandforskning. Prøvene ble lagret stående i kjølerom mens den første kjerneprøven ble bearbeidet og analysert. Den første kjernen ble bearbeidet 3 dager etter prøvetaking mens de øvrige kjernene ble oppbevart i kjølerom 1 måned før bearbeiding.

Noteby Bergen gjennomførte feltarbeidet, dette er rapport og vedlagt i Appendiks 4. Tabell 1 nedenfor viser data fra opptatte kjerner med eventuelle merknader.

Tabell 1: Data fra opptatte kjerner med eventuelle merknader.

Kjerne	Lengde	Prøvetakingsnivåer	Bruk av deponiet	Merknad
Nr	cm	Næringsalter antall		
31	81	7	1950-1975	Blåskjell på overflaten
311	30	1	1950-1975	
32	65	7	1980-1995	
33	102	7	1980-1995	
34	43	3	1995-	
35	105	3	1995-	
36	90	10	1995-	
37	71	3	1995-	
38	31	2	1995-	

Samtlige kjerner hadde en tydelig ammoniakklukt når de ble åpnet.

6.2 Porevann og Sediment.

Kjernen ble splittet i to halvdeler. I de kjernene hvor pH-måling ble utført ble det benyttet en kombinasjonselektrode som forsiktig ble trykket ned i sedimentet i den ene halvdel av kjernen. Den andre halvdel ble benyttet til porevann- og sedimentprøver. Det var opprinnelig meningen å sentrifugere sedimentet for å ekstrahere porevannet. Dette fungerte ikke på denne type sediment som hovedsakelig består av CaCO₃ som har en lav tetthet. For å få tilstrekkelig porevann til analyse tilsatte vi sjøvann slik at vannmengden ble doblet. Prøvene ble homogenisert og sentrifugert. Vi tok vare på vannet. Deretter ble prøvene filtrert med 0.45µm filter og de ble konserverte. Sjøvannet som ble brukt i denne

prosedyre ble analysert og innholdet i porevannet ble beregnet fra sedimentets vanninnhold og sjøvannets fortykning.

Prøver for PAH og metallanalyser er tatt på 3 ulike dyp fra en kjerne fra hvert deponi. Prøvene for PAH-analyser ble pakket i aluminiumsfolie og plastposer som ble oppbevart i frosen tilstand frem til analyse. Prøvene for metallanalyser ble pakket i plastposer og ble oppbevart frosne som ovenfor.

Kjerne 36 fikk et mer komplett analyseprogram bearbeidet 3 dager etter prøvetaking, mens øvrige kjerner ble oppbevart stående i kjølerom i 1 måned før bearbeiding.

6.3 Analysemetoder.

Analyse av næringsalter og metaller er utført av RF-Miljølaboratorium. For næringsalter brukes spektrofotometriske standardmetoder tilpasset en autoanalyzer.

Sedimentprøvene ble tørket ved 50 grader og homogenisert. Deretter ble prøvene ekstrahert med 7 M HNO₃ (NS 4770). Spormetallene ble analysert med ICP-MS og Hg ble analysert med FIMS-CVAAS system. Som kvalitetskontroll ble det brukt sertifisert referansemateriale (MESS-1 og BEST-1).

Totalt nitrogen (TN) i sedimentet ble analysert av NIVA, Oslo. Sedimentprøvene ble tørket og homogenisert, deretter ble TN analysert. Ved TN-analysen er det brukt et instrument som forbrenner prøven (Type Leco) Det er sannsynlig at en del av den NH₄⁺ som var i sedimentets porevann forsvinner før analysen på grunn av avdamping av NH₃ eller NH₄Cl ved tørking.

PAH ble analysert av Miljøkjemi AS, Oslo. Prøven forsåpes i metanolisk KOH. Prøven filtreres, og filtratet ekstraheres med diklormetan. Den polare fraksjonen fjernes ved kolonnekromatografi. Etter inndamping analyseres ekstraktet ved gasskromatografi med massespektrometrisk detektor (GC/MS-SIM). Ved metoden bestemmes de 16 EPA PAH.

Ifølge EPA bestemmes benzo(b)fluoranten og benzo(j)fluoranten som enkeltkomponenter. Ved denne metoden bestemmes disse som en sum sammen med benzo(k)fluoranten. Det anvendes 4 deutermerkede PAH som intern standard.

Dicyanamin i sedimentet (DICY) ble analysert av Odda Smeltverk. Fem gram filterkake (våt) er vasket og filtrert med 100 ml varmt vann (60 -70C) Filtratet er så analysert på HPLC uten ytterligere fortykning. Reproduerbarheten var ikke spesielt god, dette kan tyde på at rest DICY i sedimentet ikke er spesielt lett løslig.

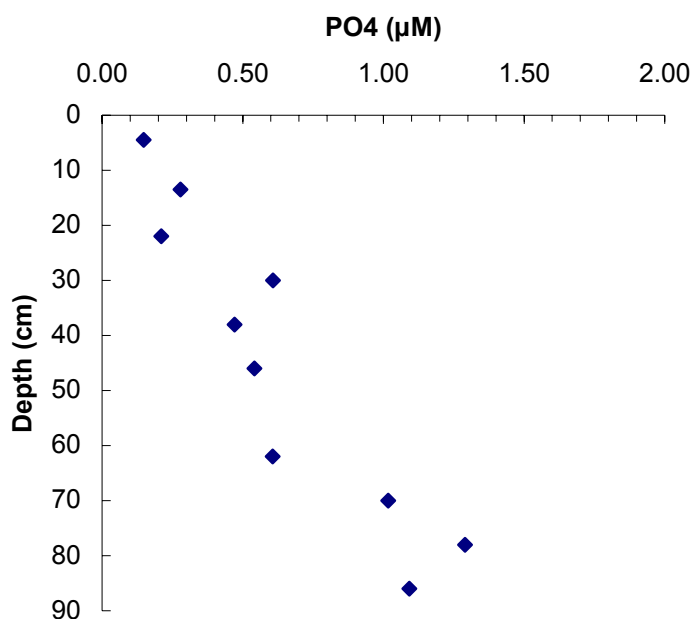
7 Resultater

7.1 Næringssalter

Rådata og beregninger er i sin helhet i vedlagt Appendix 1, 2 og 3. Det er stor aldersforskjell på de ulike deponiene.

Det er ikke noe spesielt med PO₄²⁻ - verdier. Lignende verdier ble målt i 1999 (NIVA). Det er en økning dypere ned i kjernen. Resultatene viser heller lavere PO₄²⁻ enn hva man kan forvente i porevannet i et kystsediment der PO₄²⁻ fra ulike debris ofte frigjøres i sedimentet (Sundby et al. 1987). Resultatene for PO₄²⁻ verdier er vist i Figur 2.

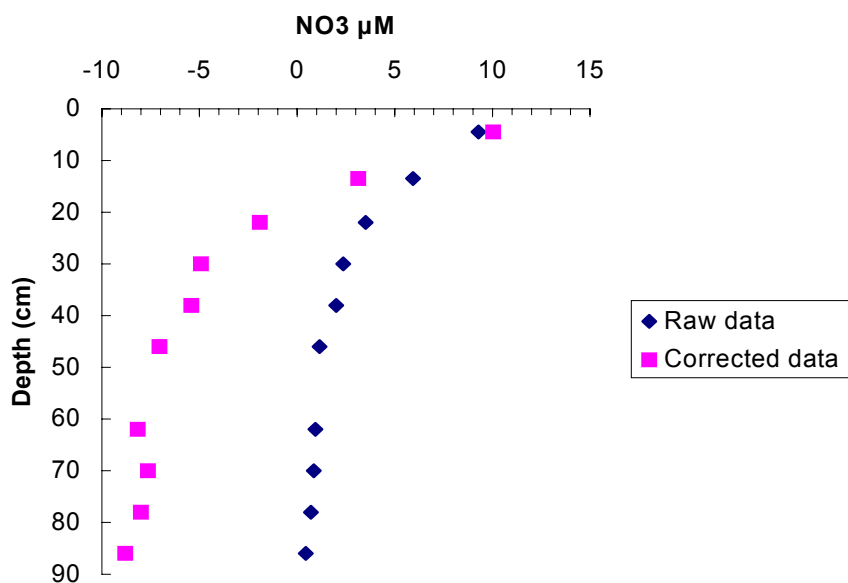
Odda Core 36



Figur 2: Resultatene for PO_4^{2-} verdier

Figur 3 nedenfor viser NO_3^- . Sjøvannet som ble tilsatt ved ekstraksjonsprosedyren inneholdt mer NO_3^{2-} enn porevannet nede i kjernen. Det er åpenbart at NO_3^- ikke er den stabile formen av N-forbindelser nede i deponiet. De negative verdiene viser at NO_3^- sannsynligvis reduseres til NH_4^+ .

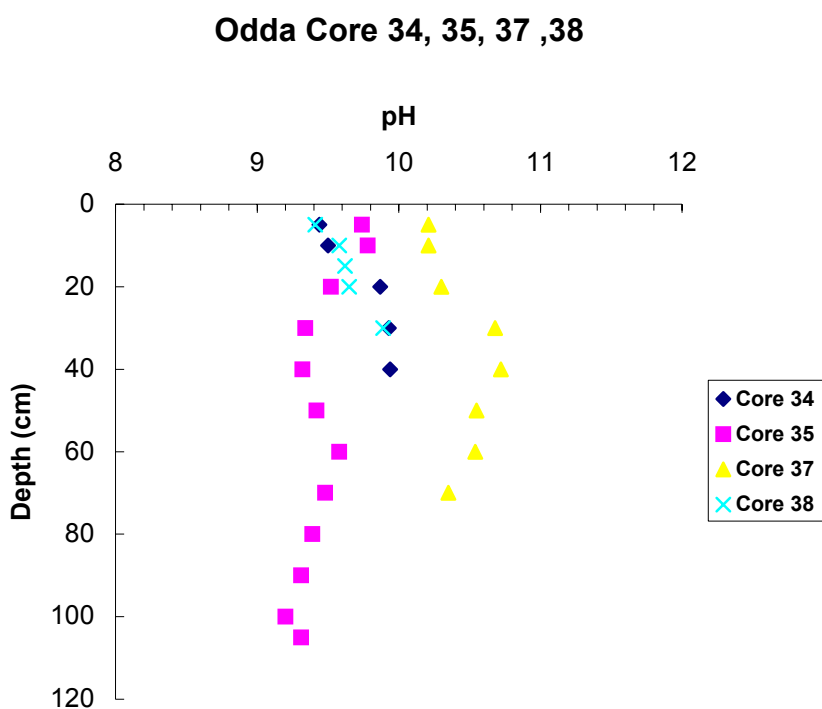
Odda Core 36



Figur 3: Resultatene for NO_3^- verdier.

7.2 Nitrogen i det nye deponiet

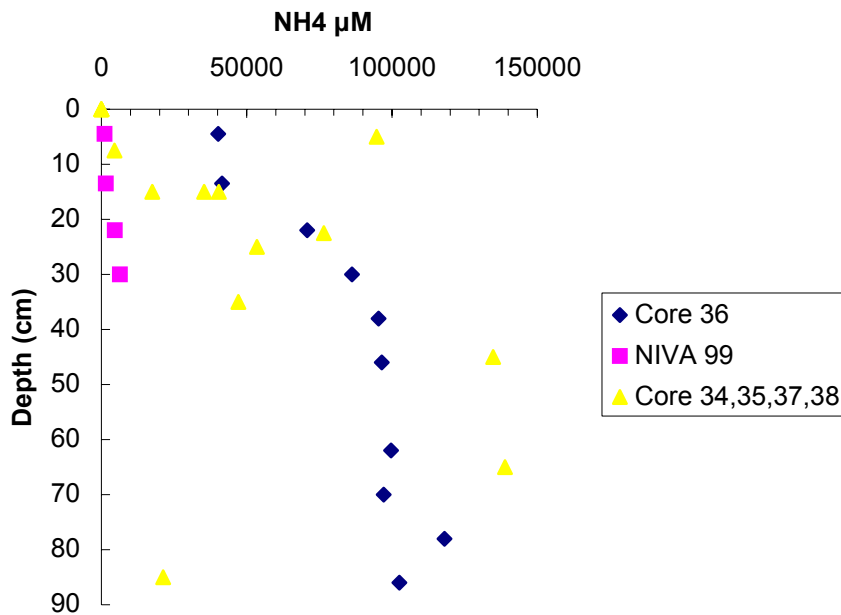
Et viktig parameter for å forstå hva som skjer i deponiene er pH. DICY kan spaltes til $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$ ved $\text{pH} > 9.5$. Det er store forskjeller mellom de ulike kjernene, men alle kjernene har pH-verdier hvor det er sannsynlig at spalting av DICY skjer. Det råder neppe noen tvil om at den ammonium som finnes i porevannet kommer fra DICY-rester. De høye pH-verdiene i sedimentet er sannsynligvis et resultat av oppblanding av filterkaken med avfallsvann med høy pH fra **rensseanlegg** ved deponeringen som gjør at pH havner adskillig høyere enn sjøvann (ca. 8). Verdiene for pH er vist i Figur 4.



Figur 4: Resultater for pH-verdiene i sedimentet for kjernene 34, 35, 37 og 38.

NH_4^+ - innholdet i sedimentet er høyt. Disse målingene viser 10-100 ganger høyere verdier sammenlignet med undersøkelsen i 1999 (NIVA). Når kjernen ble åpnet var det en sterk lukt av NH_3 , spesielt dypere nede i kjernen. Direkte sammenligning med tidligere undersøkelser er vanskelig da man ved dette tilfellet ikke tok prøver midt på deponiet, men ROV-målinger viser at dette deponiet er sirkelrundt med diameter på ca. 100 m, men dog noe ytterkant symmetrisk. Haugens høyde er ca. 11 m. De nye prøvene er tatt midt på haugen for å karakterisere deponiet så godt som mulig. Kjernerne 34-35, i retning øst, viser noe lavere verdier. Disse kjernene kommer fra den delen av deponiet som er mindre veldefinert (fra ROV-undersøkelsen) Kjernerne 34-35 har også noe lavere pH-verdier. Verdiene for NH_4^+ - innholdet i sedimentet er vist i Figur 5.

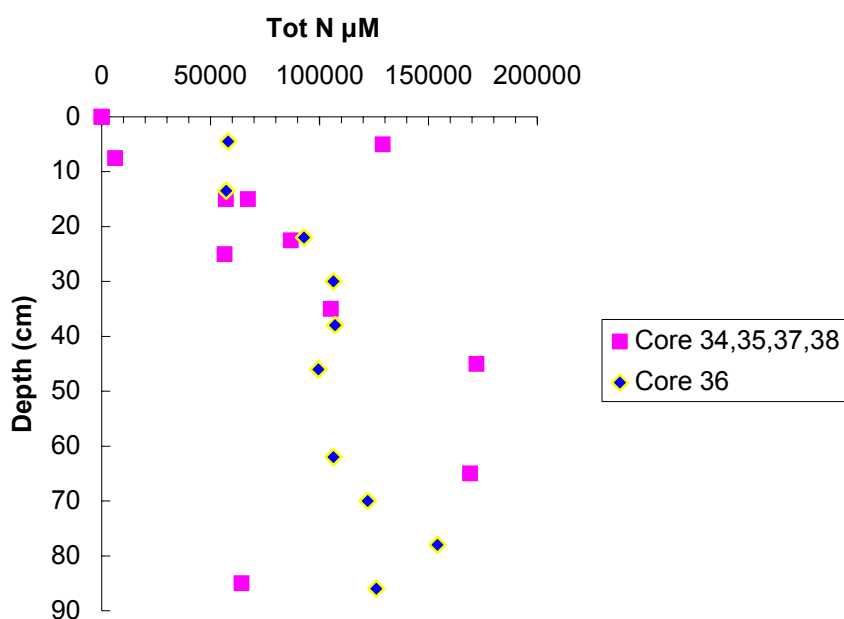
Odda Core 34-37



Figur 5: Verdiene for NH_4^+ - innholdet i sedimentet.

Figur 6 nedenfor viser total nitrogen (tot N) i porevannet i det nye deponiet. NH_4^+ er den dominerende komponenten i tot N i porevannet og utgjør 70-100 % (se Appendiks). Noen kjerner viser lavere verdier. Avleiringene av NO_3^- (se ovenfor) viste at NO_3^- er en ustabil form med lave konsentrasjoner. Forskjellen mellom Tot N og NH_4^+ utgjøres sannsynligvis av DICY og Melamin. DICY og Melamin ble påvist ved alle analysene utført (se Appendiks1). Ettersom NH_3 dannes ved spaltning av DICY i porevannet er det sannsynlig å anta at forskjellen utgjøres av de lett løselige nitrogensammensetningene DICY og Melamin selv om ingen målinger av disse ble utført i porevannet.

Odda Core 34-38



Figur 6: Total nitrogen (tot N) i porevannet i det nye deponiet

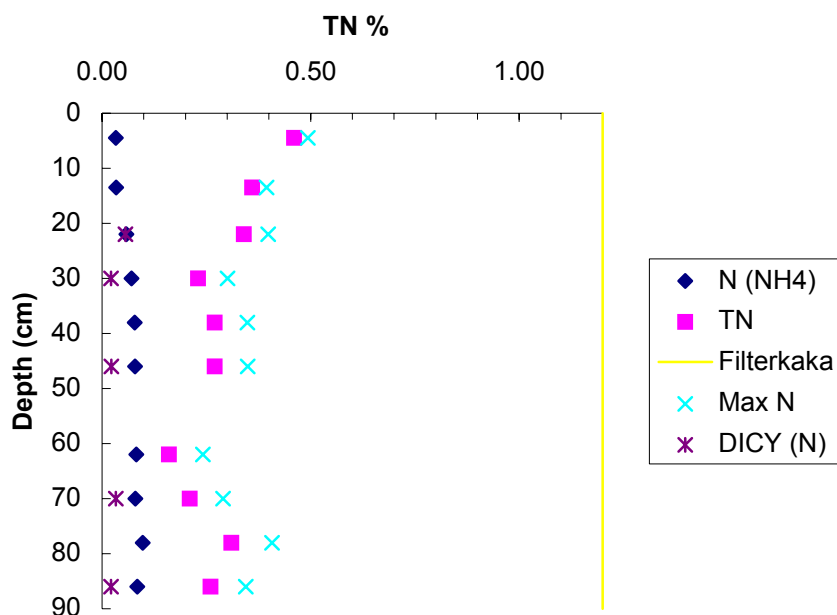
7.2.1 Nitrogen i sedimentet

I det nye deponiet har man god dokumentasjon på både utslipp av filterkake og de mengder nitrogen som fantes i filterkaken ved deponering. Nitrogenmengdene i sedimentet er sammenlignet med middelerdien for filterkaken i 1997. Filterkaken består hovedsakelig av CaCO_3 og noen prosent karbon. Filterkaken har i snitt 1.2 % nitrogen målt som TN med en spredning mellom 0.7-1.7 %. Målinger av TN i sedimentet i deponiet viser at omkring 40 % av det N som fantes i filterkaken ved deponering kan finnes igjen i de øvre lagene. Dette synker til 20% dypere ned i deponiet hvis man ser på resultatene fra kjerne 36. Hvis man ser på det samlede bilde fra dette deponiet varierer TN mellom 0.1-0.4 %. Det er klart at det fremdeles finnes nitrogen tilgjengelig både i porevannet og i sedimentet som kan lekke ut fra deponiet i fremtiden.

Max-N i Figur 7 nedenfor utgjør summen av det N som er målt som NH_4^+ i porevannet lagt til TN fra målingene av nitrogen i sedimentet. (I TN-proseduren inngår tørking. Det er sannsynlig at man tørker bort det meste av NH_4^+ så som NH_4Cl , alternativt NH_3 , som er flyktig.)

Max N utgjør den mengden nitrogen som potensielt kan lekke ut fra deponiet. Dette forutsetter at all nitrogen (inkludert tungtløselige nitrogenformer) mobiliseres til løselige komponenter, hvilket ikke kan utelukkes i lengre tidsperspektiv.

Odda Core 36

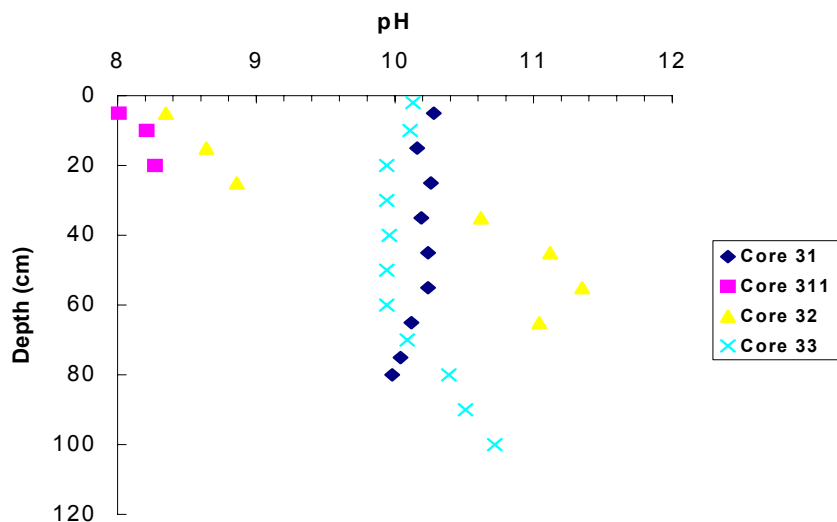


Figur 7: Resultat for nitrogen i sedimentet.

7.3 Resultater fra de eldre deponiene

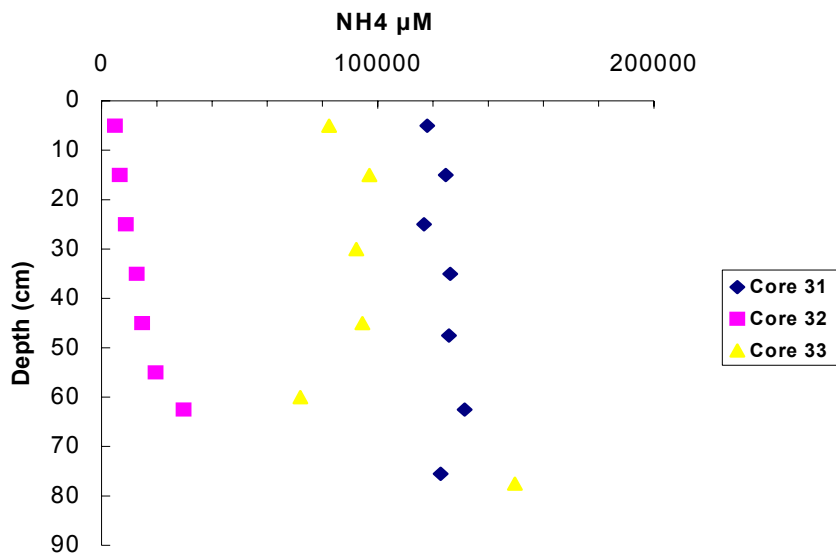
7.3.1 Resultater fra porevannanalysene.

Figur 8 nedenfor viser pH-verdiene målt i de eldre deponiene. Verdiene viser at pH-verdien er lav i toppen av core 32. De øvrige deponiene viser at $\text{pH} > 9.5$ som innebærer at DICY kan brytes ned til $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$, der NH_3 deretter hydrolyseres till NH_4OH .



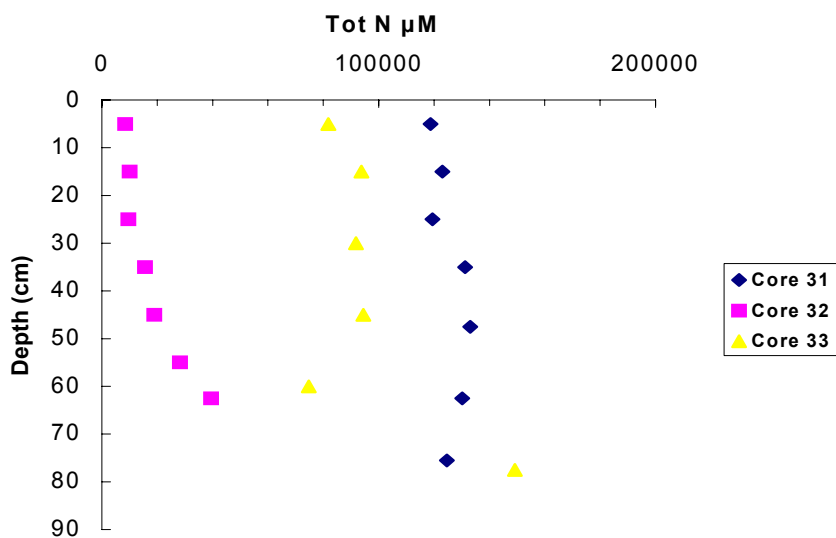
Figur 8: Figuren viser pH-verdiene målt i de eldre deponiene.

Det er fremdeles høye konsentrasjoner av ammonium i de eldre deponiene, dette er vist i Figur 9. Core 32 som representerer deponiet som ble brukt mellom 1980-95, viser de laveste verdiene. Om dette kommer av at kjernen ble tatt i utkanten av deponiet eller ikke, er vanskelig å avgjøre. Det som kan tale for dette er at core 33 fra et deponi som ble brukt i samme periode viser et ammonium-resultat mer likt de øvrige deponiene.



Figur 9: Konsentrasjoner av ammonium i de eldre deponiene.

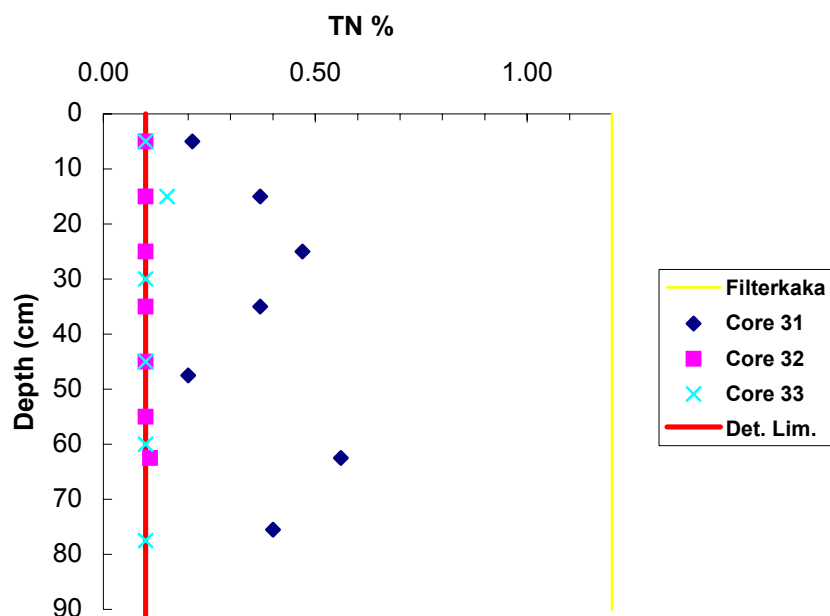
Figur 10 nedenfor viser at Tot-N følger stort sett ammonium. Hovedparten av Tot N består således av ammonium.



Figur 10: Figuren viser at Tot-N følger stort sett ammonium som i Figur 9.

7.3.2 Nitrogen i sedimentet

Nitrogeninnholdet i sedimentet er adskillig lavere i deponiene som ble brukt mellom 1980-95, dette er vist i Figur 11. De fleste verdier ligger nærmere deteksjonsgrensen. De eldste deponienes innhold av nitrogen i sedimentet er sammenlignbart med det nye deponiet.



Figur 11: Nitrogeninnholdet i sedimentet for kjerne 31, 32 og 33 og for filterkaka

Siden de fleste resultatene ligger nær deteksjonsgrensen er N-budsjettet noe mer usikkert, når det er beregnet på samme måte som for det nye deponiet (Dep 1995-). Også her finnes DICY i sedimentet som ikke er brutt ned. Man skal også være klar over at det kommunale utslippet av kloakk fram til 1997 ikke lå langt fra det eldste deponiet (1950-75).

7.3.3 Metaller og PAH

Alle data for metaller og en oppsummering av PAH-data finnes i Appendiks 1. Resultater fra PAH-analyser i filterkaken for utslipp (november 99) finnes også forklart. Detaljerte PAH-data finnes i Appendiks 2.

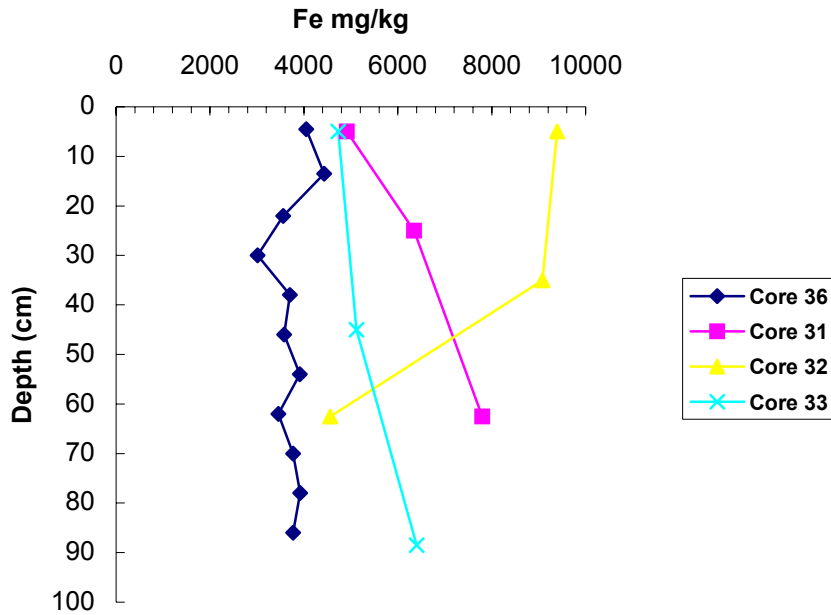
7.3.4 Metall-resultater

Metallinnholdet i de nye deponiene (core 36) stemmer godt overens med analyserapporter fra filterkaken for utslipp (Appendiks 3). De eldre deponiene viser et mer komplisert bilde. De elementer som overskrider SFTs klasse 1 er kommentert nedenfor. Det eldste deponiet er dessuten påvirket av kloakkutslippet fra Odda kommune.

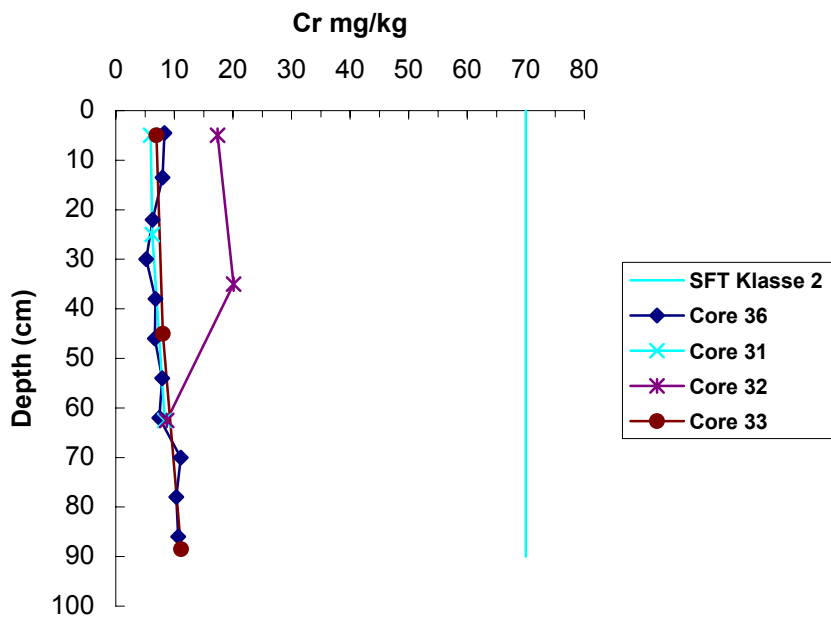
En skal huske at Norzink har stått for store utslipp av metaller, framfor alt Zn og Cd i Sørfjorden. Dette kan ha påvirket deponiene i denne undersøkelsen.

Ni-innholdet i de nyere deponiene overskrider SFTs klasse 1. Det er åpenbart at Ni finnes i noen av smelteverkets råvarer, sannsynligvis i kullet. Nikkel er ikke et særlig flyktig metall og det er stor sjanse for at det passerer gjennom produksjonen og havner i restproduktene.

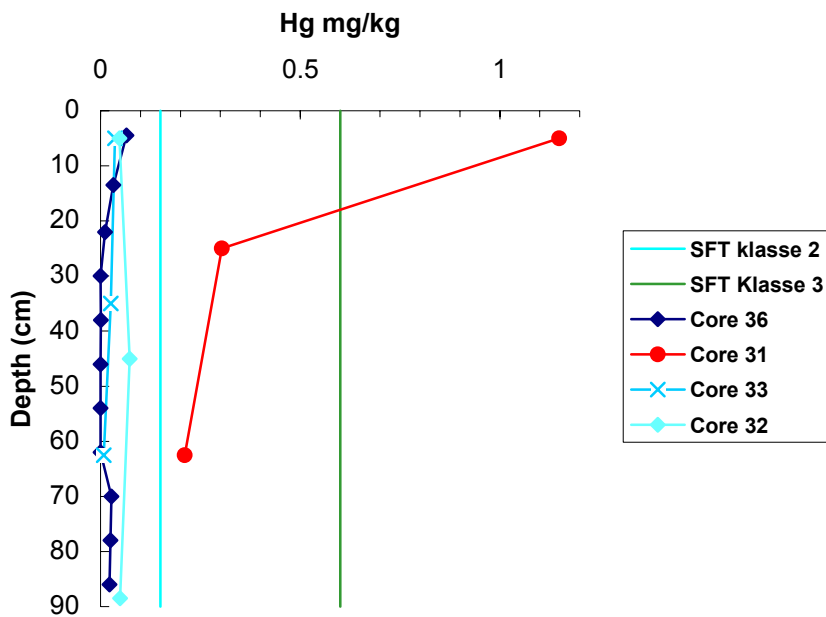
Metallinnholdet for de ulike kjernene er presentert ifra Figur 12 til Figur 21.



Figur 12: Resultatene for jern i deponikjernene.

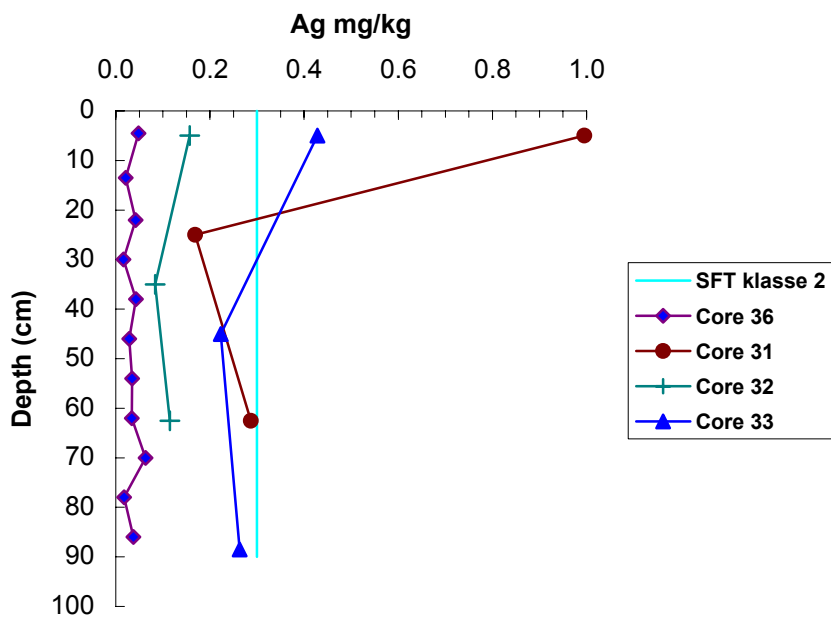


Figur 13: Resultatene for krom i deponikjernene.

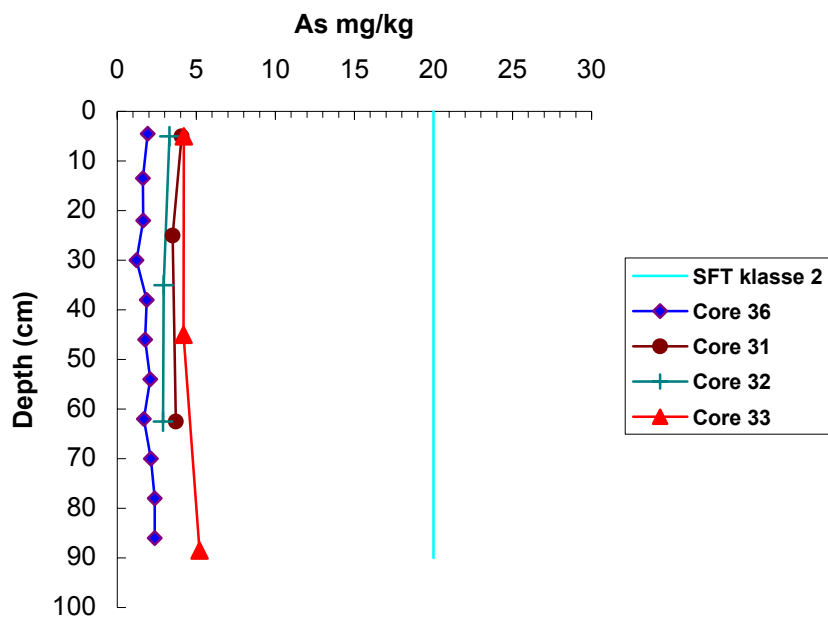


Figur 14: Resultatene for kvikksølv i deponikjernene.

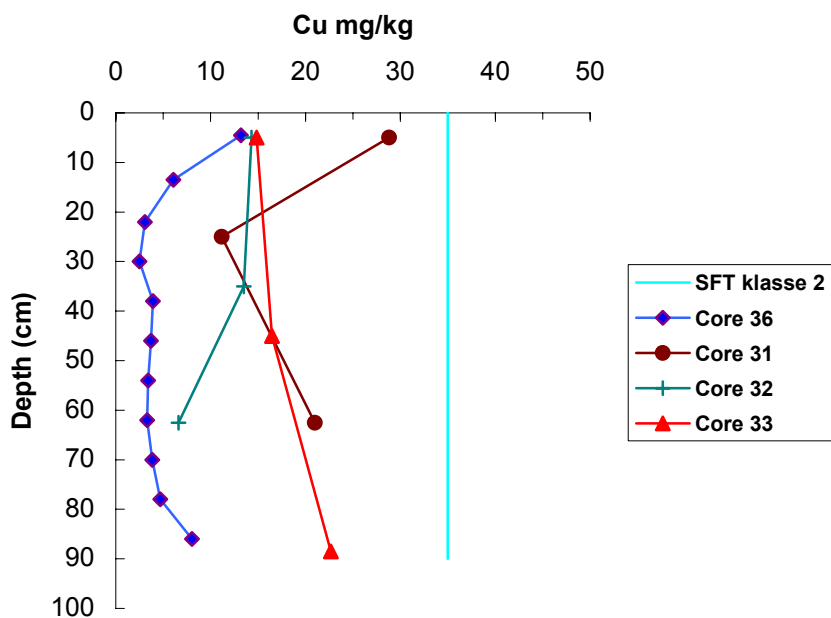
Det er høye innhold av Hg i core 31 i øverste laget. Core 31 er fra det eldste deponiet. Dette deponiet er dessuten midt i Odda havn. Det sannsynlig at Hg kommer fra havnevirksomheten hvor 1 mg/kg er et ganske typisk tall for norske havner.



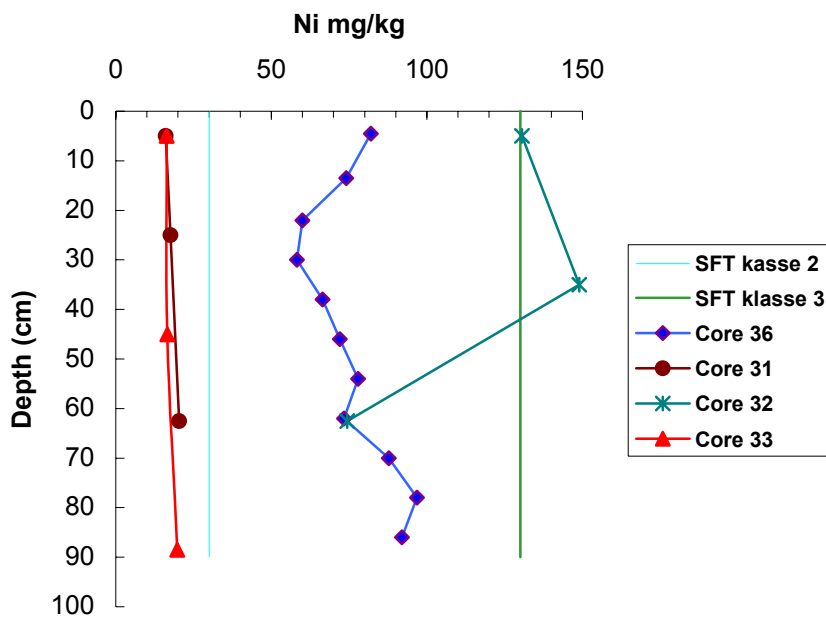
Figur 15. Resultatene for sølv i deponikjernene.



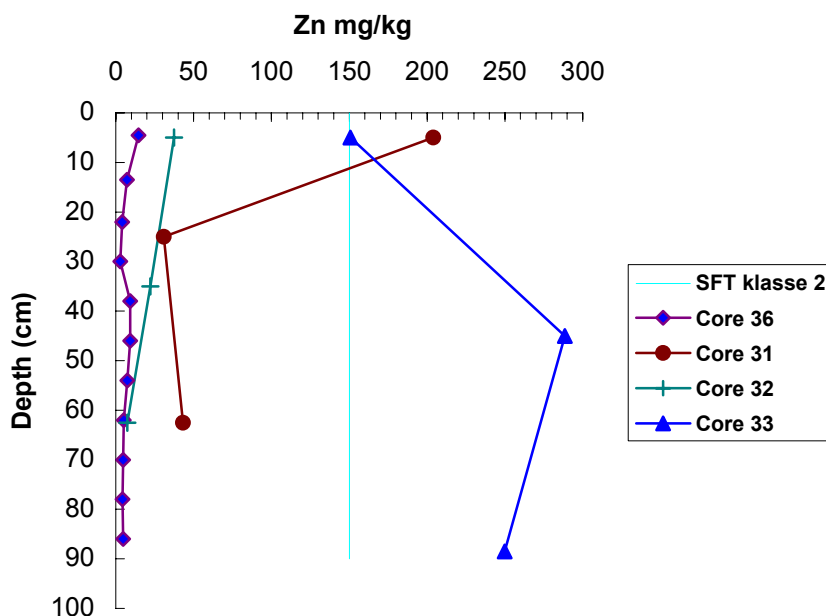
Figur 16: Resultatene for arsen i deponikjernene.



Figur 17: Resultatene for kopper i deponikjernene.

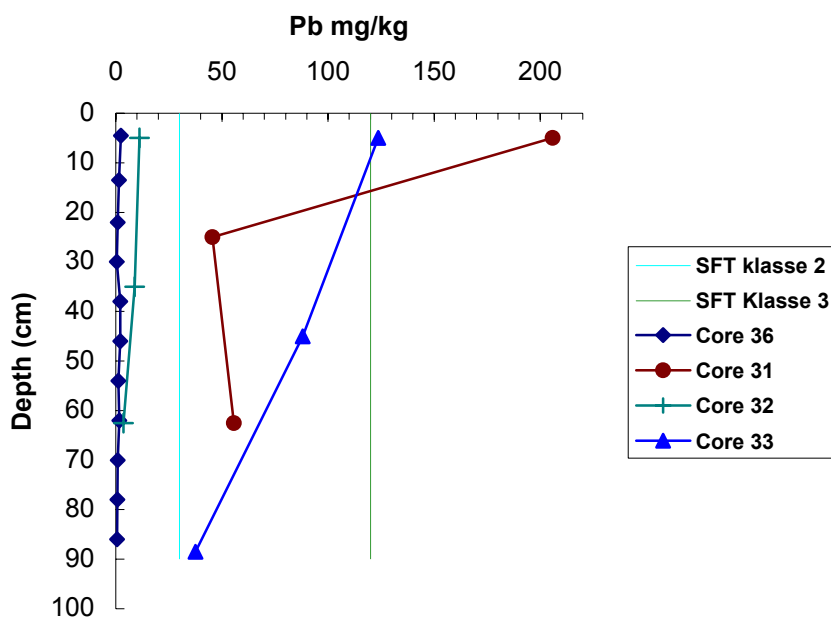


Figur 18: Resultatene for nikkel i deponikjernene.



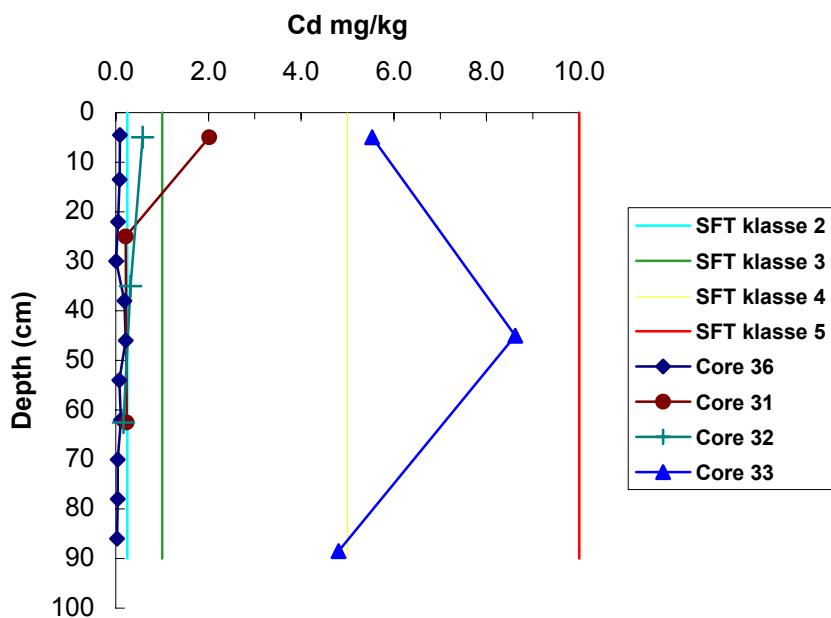
Figur 19: Resultatene for sink i deponikjernene.

I core 33 (deponert 1980-90) kan man se noe høyere verdier av Zn, Cd og Pb i hele kjernen. Verdiene for Zn betraktes fremdeles ikke som dramatisk høye for dette området. Cadmium er det element som viser høyest innhold med verdier i SFTs Klasse 4.



Figur 20: Resultatene for bly i deponikjernene.

Bly viser i likhet med Hg og Cd høye verdier i overflaten inne i havnen (Core 31).



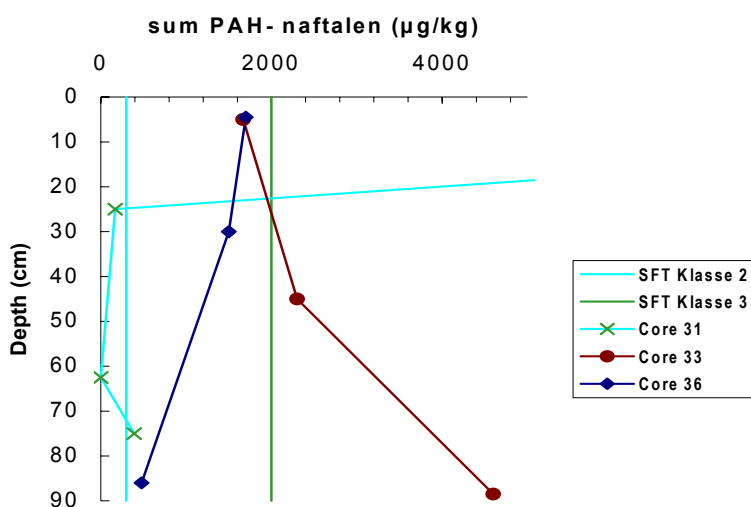
Figur 21: Resultatene for kadmium i deponikjernene.

Kadmium viser i likhet med Hg og Pb høye verdier i overflaten inne i havnen (Core 31).

7.3.5 PAH-resutater

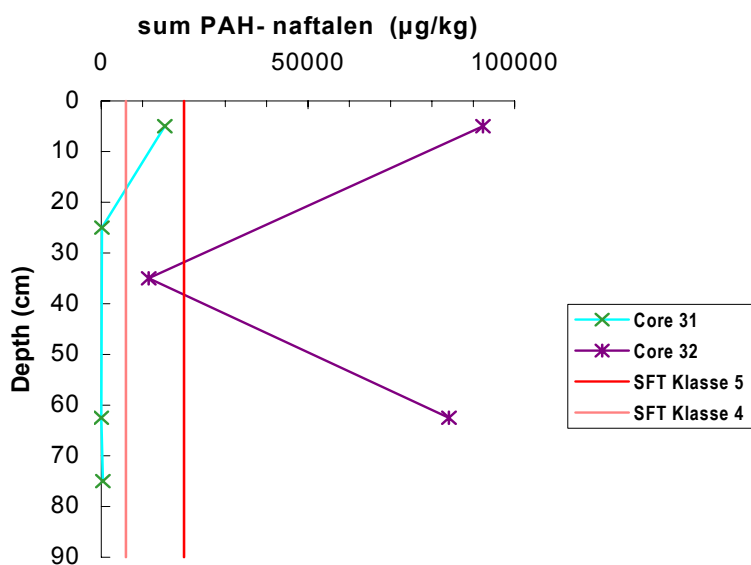
Det er stor variasjon mellom PAH-innholdet i de ulike deponiene. PAH-resultatene er noe mer komplekse enn metallresultatene. PAH kommer fra røkgassene og ble tidligere ført via en scrubber ut i sjøen. Nå resirkuleres disse slik at praktisk talt ingen PAH-utslipp har forekommet siden denne prosessen ble innført 1 okt. 1994. Ettersom PAH ble sluppet ut på samme plass som filterkaken var det mulighet for at filterkaken kunne adsorbere PAH fra vannet før den sedimenterte.

Nedenfor i Figur 22 finnes PAH sammenlignet med SFTs miljøklassifiseringssystem. Det første settet av Figurene 22 og 23 inneholder sum av PAH-naftalen og det andre figursettet (Figur 24 og 25) inneholder bensoapyren (BaP).

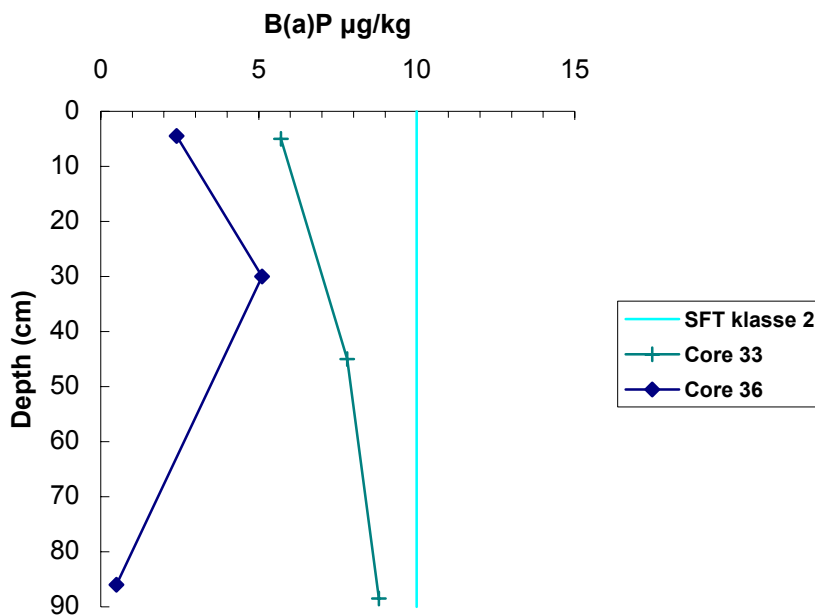


Figur 22: PAH – naftalen sammenlignet med SFTs miljøklassifiseringssystem.

Odda Core 31, 32

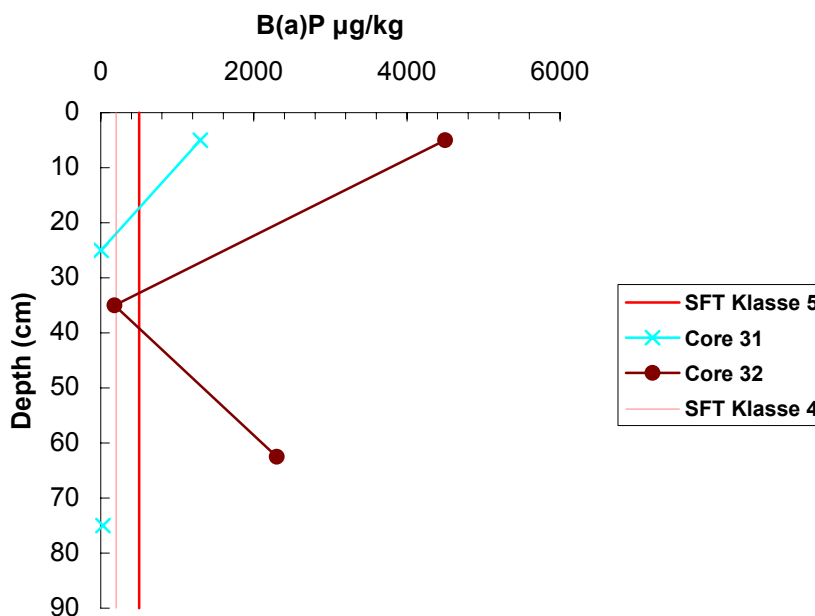


Figur 23: Sum PAH – naftalen for kjerne 31 og 32 sammenlignet med SFTs miljøklassifiseringssystem.



Figur 24: Bensoapyren for kjerne 33 og 36 sammenlignet med SFTs miljøklassifiseringssystem.

Odda Core 31,32



Figur 25: Bensoapyren sammenlignet med SFTs miljøklassifiseringssystem

Analyseresultater fra filterkaken (nov 99) viser at innholdet av PAH i det nye deponiet er høyere en i filterkaken for utslipp. Sannsynligvis adsorberes PAH på filterkaken under deponeringsprosessen. Det er framfor alt naftalenene som finnes og den mer kreftfremkallende typen B(a)P viser lavt innhold.

Core 31 (deponert 1950-80) viser likheter med metalledistribusjonen, nemlig høy verdi på overflaten. Dette er sannsynligvis en effekt av virksomheten i havnen og har ikke så mye med deponiet å gjøre.

Core 32 (deponert 1980-90) viser høye verdier av PAH også dypere ned i sedimentet. Denne viste ikke de høyeste verdiene når det gjaldt metaller. Dette viser at kilden for metaller og PAH-er ulike.

8 Diskusjon

Sørfjorden er kraftig miljøbelastet med hensyn til næringssalter, tungmetaller som NH_4^+ organiske forurensninger. Denne undersøkelse har først og fremst fokusert på den belastning av nitrogen som kan komme fra deponeringen av filterkake fra DICY-produksjonen ved Odda Smelteverk. Det best kartlagte deponiet i denne undersøkelsen er det nye som er benyttet fra 1995.

8.1 Deponienes volumer.

Beregning av deponienes volum basert på topografiske kart i figur kan ses i Tabell 2 nedenfor. I Tabell 2 finnes dessuten estimerte mengder i deponiene baserte på utslippsdata. Fra disse data og resultatene fra undersøkelsen er det gjort et estimat på hvor mye nitrogen som fremdeles finnes i de ulike deponiene.

Tabell 2: Estimat av volum og mengder basert på utslippsdata og kart. Estimat for hvor mye nitrogen som fremdeles finnes i deponiene.

	Beregnet størrelse av		Utslipp	Nitrogen
	Volum m ³	Mengde Tonn	Mengde Tonn	Rest i deponiet*** Tonn
Dep 1950-80	27000	50220	900000 **	3600
Dep 1980-95	1365000	2538900	660000 *	660
Dep 1995-	73000	135780	300000 *	900
Deponier, totalt			0	5160

* Beregnet fra utslippsdata

** Utslippsdata er svært usikre. Beregnet fra tilsvarende produksjon som 1980-95

*** Basert på utslippsdata

Det nye deponiet er det eneste som viser rimelig overensstemmelse når det gjelder deponiets størrelse i henhold til virkelige utslipp. Det er åpenbart vanskelig å bestemme størrelsen av deponiene basert på topografien alene. At man finner en størrelse som er mindre enn den teoretiske - beregnet ut fra utslippsdata, som den eldste (1950-80) og den nyeste (1990-) kan tyde på at det er en viss erosjon av deponiene.

8.2 Nye deponier - nitrogen

Følgende fakta kan man lese fra utslippsdata, ROV-undersøkelser og målinger i dette arbeidet. ROV-undersøkelsen bekrefter vel at de faktiske utslippene stemmer godt med de mengder filterkake som ligger i deponiene.

Deponienes størrelse (målt utslipp):	300 000 tonn
Tot. utsluppet nitrogen	3 224 tonn
Rest nitrogen i deponiene	900 tonn
Totalt utslipp av nitrogen 1998 (Deponi + vann)	910 tonn

Følgende utslippsdata baserer seg på at 25 % av nitrogenet fra filterkaken havner i deponiene. Denne undersøkelse viser at dette er et realistisk tall. Resten frigjøres direkte til vannmassen.

Utslipp av nitrogen til vannmassen 1996	360 tonn
Utslipp av nitrogen til vannmassen 1998	680 tonn

Beregning av utlekking av NH_4^+ gjennom molekylær diffusjon i henhold til Fick:s 1:a lag (Rutgers van der Leoff et al.1984)

$$J = -\Phi D_s \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_{x=0}$$

Φ	Porøsitet	0.8
$D_s = \Phi^2 \cdot D$		
$(\partial C / \partial x)_{x=0} = (C - C_0) / 0.5 \cdot 10$		
D	Diffusjonskonstant	$0.4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$
C	Konsentrasjonen i porevann	50 000-100 000 μM
C_0	Konsentrasjonen i overliggende vann	5-50 μM
l	Sediment skive høyde	
$(C - C_0) / 0.5 \cdot 10$	Konsentrasjonsgradient	10 000 μM

Beregningene viser at teoretisk kan 220 tonn/år sive ut fra det nye deponiet dersom diffusjonen i overflaten skulle være hastighetsbestemmende. Diffusjonen av NH_4^+ nede i sedimentet er betydelig lavere (Lavere konsentrasjonsgradient). Det som kommer til å bestemme ratene er transporten opp til overflatesedimentet.

En liten ide om hvor lang tid det kommer til å ta for å minske nitrogeninnholdet i dette deponiet kan man få ved å studere de eldre deponiene. I deponiene som ble brukt mellom 1980-1995 er tot nitrogen i sedimentet nede i 0.1% eller lavere.

Om man, basert på dette, regner med at nitrogenet i det nye deponiet kommer til å reduseres til 0.1 % i løpet av en 5 års periode, kommer det til å innebære:

Lekkasje av nitrogen fra det nye deponiet:	118 tonn/år
--	-------------

Dette tallet er ganske antagelig realistisk da det er lavere en den teoretiske raten og kan dermed skje ved diffusjon.

8.3 Eldre deponier:

Det er vanskeligere å beregne strømmen av nitrogen i de eldre deponiene ettersom det deponiet som ble brukt i 1980-95 nå har forholdsvis lavt innhold av TN i sedimentet. Det er fremdeles en relativt høy NH_4^+ -mengde som kommer til å lekke ut i vannet. Denne lekkasje bør avta i de kommende årene. En beregning av utlekking av nitrogen til vannmassen fra de eldre deponiene kan være i størrelsesorden 200 tonn/år. Den største andelen av dette kommer sannsynligvis fra det eldre deponiet (1950-80), beregnet til 150 tonn/år.

Lekkasje fra eldre deponier	200 tonn/år
-----------------------------	-------------

Denne lekkasje har pågått helt siden deponiene ble anlagt og var sannsynligvis større tidligere.

8.4 Sørfjorden

Hydrografiske målinger i Sørfjorden (NIVA 3694-97) har vist at situasjonen i Sørfjorden er følsom for NH_4^+ tilførsel. Tilgang på nitrogen som NH_4^+ kommer fra avrenning, elver og kommunale avløp, deponier av filterkake og direkte utslipp ved deponering av filterkake men bidraget av NH_4^+ fra de andre kildene er relativt små. Ved en toårig hydrografisk undersøkelse av Sørfjorden viser det seg at oksygenmangel i området ikke er et akutt problem. I denne perioden bidro Odda Smelteverk med direkte nitrogenutslipp på

360 tonn, samt lekkasje fra det nye deponiet på 118 tonn og 200 tonn fra eldre deponier. I 1998 var belastningen høyere med 680 tonn direkte utslipp til vann.

Det er klart at den største kilden til nitrogen fra Odda Smelteverks virksomhet er det nitrogen som frigjøres ved deponering av filterkaken. En stopp i deponeringen kommer sannsynligvis til å vise en markant nedgang i oksygenforbruk i fjorden, samt en nedgang i nitrogenbelastningen i Sørfjorden. De hydrografiske målingene (NIVA 1997) viste at man alltid har en tetthetsskikning i fjorden. Dette innebærer at nitrogenet som lekker ut fra sedimentet ikke nødvendigvis når overflaten til forskjell fra den nitrogen som frigjøres ved deponeringen av filterkaken som både påvirker bunnvannet og overflatevannet.

Et opptak av nitrogen og fosfor i plankton skjer normalt slik at man får et mål på forholdet mellom N/P på 16 (per vekt enhet på 7). Ved måling av PO_4 og NO_3 i sjøvann finner man oftest dette forholdet. Ved måling av P og N i Sørfjorden (NIVA 1997) har man funnet et N/P forhold på mellom 25-80 (Vektbasis). Dette innebærer at vi har en forskyvning i balansen med et stort overskudd på nitrogen. Dette er relativt normalt i fjorder med stor avrenning fra skog- og fjellområder. Tilskudd av nitrogen fra Opo er beregnet til 350 tonn/år. De viktigste kildene for nitrogen tilførsel til Sørfjorden er Smelteverkets utslipp, lekkasje fra deponiene og Opo. I 1996 stod disse kilder for en størrelsesorden på like mye hver. En minking av nitrogen tilførselen til fjorden burde på sikt forskyve N/P-forholdet i fjordvannet mot det teoretiske tallet 7

8.5 Uorganiske og organiske miljøforurensninger.

Overflatesedimentet i det eldste deponiet viser at det er forurensnet både med hensyn til PAH og metaller. Den kommer sannsynligvis fra flere aktiviteter i havnebassenget og med bidrag fra kommunens kloakkutslipp. Dette er på et nivå som ofte er vanlig i norske havner. Deponiene som ble brukt mellom 1980-95 har forhøyet innhold av Zn, Cd og Pb. (Se fig Core 33). Disse kommer sannsynligvis fra Norzink. Dette deponiet har høyt innhold av PAH. De PAH komponenter som dominerer er naftalenene og kun Core 32 viser høyt innhold av de kreftfremkallende PAH-er som benzo a pyren (B(a)P). Det er tydelig at metallene kommer fra en annen kilde enn PAH ettersom Core 33 har høyere metallverdier og Core 32 de høyeste PAH-verdiene. PAH adsorberes muligens på kullpartiklene ved utslippet og følger med ned i deponiet. At man ikke ser så høyt innhold i det eldste deponiet kan tyde på at man hadde separate utslipp for PAH-kontaminert vann og filterkaken. Man kan observere at i det nye deponiet er PAH-innholdet større enn i filterkaken for utslipp (Apendiks 1). Dette kan tyde på at det finnes tilgang på PAH som adsorberes til partiklene, framfor alt naftalener i området ved deponeringen.

9 Sammenfattede resultater

Beregningene ovenfor av utlekking av nitrogen til Sørfjorden er beregnet ut fra den mest ugunstigste situasjonen. Den virkelige utlekkingen er sannsynligvis lavere ettersom deponienes størrelse sannsynligvis er mindre enn beregnet da viss erosjon har foregått.

Tre store kilder for nitrogen tilførsel til Sørfjorden eksisterer:

1. Deponering av filterkake
2. Utlekking fra deponier
3. Ferskvannstilførsel (Opo),

hvorav bare de to første bidrar til oksygenvinnet i vannmassene.

På det nåværende tidspunkt virker deponering av filterkaken å være den største kilden. De øvrige kildene er i samme størrelsesorden som deponeringen av filterkake.

Det er åpenbart at selv om deponering av filterkaken opphører, kommer man fremdeles til å ha en stor nitrogen-belastning. I så fall kommer tilskuddet fra ferskvannet til å utgjøre den største kilden. Dette kommer til å utgjøre en stor forbedring. På sikt kommer også sannsynligvis utlekkingen fra deponiene til å minke etter at nitrogenet siver ut og mengden tilgjengelig nitrogen i deponiene minker. I det nye deponiet bør man se en klar nedgang i utlekking etter 5 år. Det er tross alt begrensede mengder nitrogen i deponiene.

Ved stopp av deponeringen av filterkake kommer man til å ta bort en stor nitrogenkilde til både overflatevann og bunnvann. Den største effekten av dette vil være bedre oksygenforhold i fjorden.

Påvirkningen på algeblomstringen vil være minimal da denne i større grad vil styres av en begrensende faktor som er P-tilførselen.

Det eldste deponiet har en metning av PAH og tungmetaller i overflatesedimentet. Dette kommer sannsynligvis til å fortsette så lenge havneaktiviteten foregår. De deponier som ble brukt mellom 1980-95 viser høyt innhold av både metaller og PAH.

9.1 Forslag til tiltak

- Ved å slutte å deponere filterkake kommer man til å minke tilskuddet av nitrogen i form av NH_4^+ til Sjøfjorden markant. Hydrografiske undersøkelser har vist at oksygenmangel og overgjødning ikke er et akutt problem i Sjøfjorden. Dette innebærer at dersom en slutter å deponere filterkake er dette tilstrekkelig for å snu den negative utviklingen for fjorden m.h.t. oksygenmangel som man har sett tendenser til. Dette vil også styrkes med det reduserte bidraget fra deponiene med tiden.
- En skal alvorlig overveie å deponere en moderne PAH-fri filterkake på toppen av de eldre deponiene. Denne deponering bør gjøres i perioder med god vannutskiftning eller i den årstid da man ikke pleier å ha oksygenmangel i bunnvannet.

Forslag til kontrollprogram:

En bra og enkel måte for å se om man får noen forandring i situasjonen kan være å måle N og P ved en stasjon i havnebassenget på to til tre ulike dybder, for å se om man observerer en positiv trend i utviklingen av N/P-forholdet (totN/TotP) i Sjøfjordens indre deler etter at man har avsluttet deponeringen av filterkake i sjøen. Man burde omgående se en forskyvning av N/P-forholdet til en lavere verdi så snart deponering av filterkaken avsluttes. På sikt skal man selvfølgelig måle NH_4 i deponiene for å se om man får en reduksjon, framfor alt om problemet med det lave oksygeninnholdet i bunnvannet fortsetter.

10 Konklusjoner

Basert på denne undersøkelsen kan en trekke følgende konklusjoner.

- Deponiene i Sjøfjorden inneholder store mengder nitrogen i ulike former. Det nitrogen som finnes løst i porevannet har en konsentrasjon som er i størrelsesorden 10 000 g høyere enn i bunnvannet i fjorden. Dette nitrogenet kommer til å være en signifikant del av nitrogentilførselen til bunnvannet i fjorden i lang tid framover.
- Det finns fremdeles nitrogen bundet i sedimentet som i fremtiden kan mobiliseres til løselige former og lekke ut.
- Beregninger av deponienes faktiske størrelse sammenlignet med utslippsdata og målt innhold av nitrogen i deponiene viser at mengden tilgjengelig nitrogen er begrenset.
- Sammenligning av nitrogeninnholdet i de ulike deponiene viser at det er sannsynlig at mengden nitrogen i det nye deponiet kommer til å bli kraftig redusert i en 5 års periode. Dette kommer til å innebære en utlekking av nitrogen som på sikt minker mer og mer.
- Ved stans av deponeringen av filterkake kommer en til å få en halvering av nitrogentilskuddet i fjorden. Framfor alt innebærer det at man kommer til å få bort en stor nitrogenkilde til overflatevannet som sannsynligvis har størst effekt på oksygenmangel i fjorden.
- Stans i deponeringen av filterkake i fjorden burde være tilstrekkelig for å få en rask forbedring av oksygensituasjonen i fjorden.
- Det nye deponiet viste ingen alvorlige forurensningsnivåer hverken på metaller eller de verste PAH-ene. De eldre deponiene viste seg å være forurensede av både tungmetaller og PAH.

11 Referanser

- Aure, J. & R. Pettersen. 1998. Miljøundersøkelser i norske fjorder, Sørkjolen - Hardanger, juni 1998. Havforskningsinstituttet, Fisker og Havet, Nr 11 - 1998.
- Aure, J. L. Føyn, & R. Pettersen. 1997. Miljøundersøkelser i Norske Fjorder 1975-1996, Sørkjolen - Hardanger (1991-1996). Havforskningsinstituttet, Fisker og Havet, Nr 12 - 1997.
- Bøen, R. & Østby, G. 1991. Odda Smelteverk AS - Miljøstatus, oktober 1991. 12s.
- EPA. 1982. Handbook for Sampling and Sample Preservation of Waste and Wastewater. EPA Report No. 600/4-82-029.
- Hauge, A. & Breedveld, G. 1991. Veiledning for miljøtekniske grunnundersøkelser. SFT Rapport 91: 1.
- Konieczny, R. M. 1994. Miljøgifter i marine sedimenter i Norge, Statusrapport, SFT Rapport 94:16
- Källquist, T. 1993. Undersøkelse av Dicy-kalk fra Odda Smelteverk. NIVA - testrapport. O-92114, LNR-2886. 12 s.
- Molvær, J. & T.M. Johnsen. 1997. Indre Sørkjolen, Overvåking februar 1995 - mars 1997. NIVA Rapport LNR 3694-97.
- Molvær, J. J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei & J. Sørensen. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann.. *Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide*. Statens Forurensnings Tilsyn (SFT), Veiledning. 97:03. 36pp.
- Moy, F. 1995 Undersøkelser av cyanid, PAH og tungmetaller i Odda havnebasseng - 1995. NIVA Rapport SNR 3407. 21s
- Moy, F., Hylland, K. & Skei, J. 1997. Resipientundersøkelser i Sørkjolen. Overvåking av Odda Smelteverks utslipp 1996. NIVA Rapport SNR-3685-97. 33s.
- Nordal, O., Andersen, S., Weholt, Ø. & Huse, A. 1995. Management for contaminated land, Preliminary guidelines for executive procedures, SFT Report 97:01.
- Rutgers van der Loeff, M L. Anderson, P. Hall, Å. Iverfeldt, A. Josefson, B. Sundby and S. Westerlund, 1984. The asphyxiation technique: An approach to distinguishing between molecular diffusion and biologically mediated transport at the sediment-water interface. *Limnol. Oceanogr.*, 29(4),675-.
- Sanni, S., O.K. Skogheim & D. Hongve, 1984: Seston og sedimenter (s.225-243). I: Vennerød (red.) Vassdragsundersøkelser. En metodebok i limnologi. Universitetsforlaget, Oslo. 282 s.)
- Schaanning, M.T. 1999. Oksygenforbruk i tilknytning til utslipp av filterkake fra Odda Smelteverk AS. Fase 1 - nitrogenforbindelser i sedimenter og porevann. NIVA Rapport LNR 3999-99.
- Schaanning, M.T. 1998. NIVA's Programforslag utkast 02.07.98 til Odda Smelteverk, 3s.
- Seip, K.L. 1994. Restoring Water Quality in the Metal Polluted Sørkjolen, Norway. *Ocean & Coastal Management*, Vol 22, 1994, 19 -43.
- Stølen, E. 1997. Undervannsinspeksjon med ROV, Utslippsledning fra Djupevik i Odda Kommune, Odda Smelteverk AS. Rapport fra AS Geoconsult, April 1997.
- Sundby, B L. Anderson, P. Hall, Å. Iverfeldt, M. Rutgers van der Loeff and S. Westerlund, 1985. The effect of oxygen on release and uptake of cobalt, manganese, iron and phosphate at the sediment-water interface. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50,
- Winther-Larsen, T. 1998. «Contaminated Marine Sediments. Status overview and priorities», from SFT Report 98:11.

Appendiks 1: Summering av resultater fra alle målinger

Dybde	Fra NH4	Fra Tot N	Max N		Dybde	Fra NH4	Fra Tot N	Max N
cm	Sediment				cm	Sediment		
	% tørrvekt					% tørrvekt		
Kjerne 31					Kjerne 34			
0-10	0.149	0.150	0.359		10-20	0.035	0.057	0.445
10-20	0.096	0.094	0.466		20-30	0.052	0.054	0.452
20-30	0.105	0.107	0.575		30-40	0.033	0.075	0.493
30-40	0.108	0.112	0.478					
40-55	0.136	0.143	0.336		Kjerne 35			
55-70	0.102	0.101	0.662					
70-81	0.101	0.103	0.501		10-20	0.013	0.049	0.453
					80-90	0.016	0.048	0.436
Kjerne 311					90-105	0.021	0.060	0.261
10-20	0.044	0.059	0.044		Kjerna 36			
Kjerne 32					0-9	0.033	0.048	0.493
					9-18	0.034	0.047	0.394
0-10	0.004	0.006	0.104		18-26	0.058	0.076	0.398
10-20	0.004	0.006	0.104		26-34	0.071	0.087	0.301
20-30	0.009	0.009	0.109		34-42	0.078	0.088	0.348
30-40	0.016	0.019	0.116		42-50	0.079	0.082	0.349
40-50	0.021	0.027	0.121		58-66	0.082	0.087	0.242
50-60	0.028	0.040	0.128		66-74	0.080	0.100	0.290
60-65	0.023	0.031	0.133		74-82	0.097	0.127	0.407
					82-90	0.084	0.104	0.344
Kjerne 33								
					Kjerne 37			
0-10	0.129	0.128	0.229					
10-20	0.106	0.103	0.256		0-10	0.086	0.117	0.476
20-40	0.153	0.153	0.253		40-50	0.104	0.133	0.504
40-50	0.101	0.101	0.201		60-70	0.123	0.150	0.583
50-70	0.107	0.111	0.207					
70-85	0.182	0.182	0.282		Kjerne 38			
85-102	0.323	0.376	0.463					
					0-15	0.005	0.007	0.105
					15-30	0.093	0.106	0.203

Dybde	NH4	Tot N	NH4/Tot N	Tørrstoff	TN	DICY	Melamin		Dybde	pH
	Porevann			Sediment						
	µM	µM		%	%tørrvekt					
Kjerne 34										
10-20	35312	56987	0.62	58.3	0.41				5	9.4
20-30	53511	56455	0.95	59.2	0.40				10	9.5
30-40	47083	105163	0.45	66.4	0.46				20	9.9
									30	9.9
									40	9.9
Kjerne 35										
10-20	17532	67085	0.26	65.9	0.44				5	9.7
80-90	21249	64263	0.33	65.4	0.42				10	9.8
90-105	30571	89225	0.34	67.5	0.24				20	9.5
									30	9.3
									40	9.3
									50	9.4
									60	9.6
									70	9.5
									80	9.4
									90	9.3
									100	9.2
									105	9.3
Kjerne 36										
0-9	40176	58068	0.69	62.0	0.46					
9-18	41509	57115	0.73	62.3	0.36					
18-26	70834	92826	0.76	62.5	0.34	0.0800	0.0056			
26-34	86222	106385	0.81	65.8	0.23	0.0304	0.0026			
34-42	95351	107063	0.89	64.6	0.27					
42-50	96466	99474	0.97	63.8	0.27	0.0314	0.0020			
50-58				65.1						
58-66	99674	106405	0.94	66.4	0.16					
66-74	97160	122091	0.80	63.7	0.21	0.0471	0.0053			
74-82	118090	154093	0.77	63.9	0.31					
82-90	102580	126126	0.81	64.9	0.26	0.0308	0.0037			
Kjerne 37										
0-10	94748	128964	0.73	60.6	0.39				5	10.2
40-50	134853	172075	0.78	64.4	0.40				10	10.2
60-70	138893	169200	0.82	61.3	0.46				20	10.3
									30	10.7
									40	10.7
									50	10.6
									60	10.5
									70	10.4
Kjerne 38										
0-15	4516	6218	0.73	55.0	0.10				5	9.4
15-30	76530	86781	0.88	53.4	0.11				10	9.6
									15	9.6
									20	9.7
									30	9.9

Kjerne36	PO4	NO3	NO3
			Ej korr
Dybde	μM	μM	μM
cm			
0-9	0.15	10	9
9-18	0.28	3	6
18-26	0.21	-2	4
26-34	0.61	-5	2
34-42	0.47	-5	2
42-50	0.54	-7	1
50-58			
58-66	0.61	-8	1
66-74	1.02	-8	1
74-82	1.29	-8	1
82-90	1.09	-9	0

Dybde	Fra NH4	Fra Tot N	Max N		Dybde	Fra NH4	Fra Tot N	Max N
cm	Sediment				cm	Sediment		
	% tørrvekt					% tørrvekt		
Kjerne 31					Kjerne 34			
0-10	0.149	0.150	0.359		10-20	0.035	0.057	0.445
10-20	0.096	0.094	0.466		20-30	0.052	0.054	0.452
20-30	0.105	0.107	0.575		30-40	0.033	0.075	0.493
30-40	0.108	0.112	0.478					
40-55	0.136	0.143	0.336		Kjerne 35			
55-70	0.102	0.101	0.662					
70-81	0.101	0.103	0.501		10-20	0.013	0.049	0.453
					80-90	0.016	0.048	0.436
Kjerne 311					90-105	0.021	0.060	0.261
10-20	0.044	0.059	0.044		Kjerna 36			
Kjerne 32					0-9	0.033	0.048	0.493
					9-18	0.034	0.047	0.394
0-10	0.004	0.006	0.104		18-26	0.058	0.076	0.398
10-20	0.004	0.006	0.104		26-34	0.071	0.087	0.301
20-30	0.009	0.009	0.109		34-42	0.078	0.088	0.348
30-40	0.016	0.019	0.116		42-50	0.079	0.082	0.349
40-50	0.021	0.027	0.121		58-66	0.082	0.087	0.242
50-60	0.028	0.040	0.128		66-74	0.080	0.100	0.290
60-65	0.023	0.031	0.133		74-82	0.097	0.127	0.407
					82-90	0.084	0.104	0.344
Kjerne 33								
					Kjerne 37			
0-10	0.129	0.128	0.229					
10-20	0.106	0.103	0.256		0-10	0.086	0.117	0.476
20-40	0.153	0.153	0.253		40-50	0.104	0.133	0.504
40-50	0.101	0.101	0.201		60-70	0.123	0.150	0.583
50-70	0.107	0.111	0.207					
70-85	0.182	0.182	0.282		Kjerne 38			
85-102	0.323	0.376	0.463					
					0-15	0.005	0.007	0.105
					15-30	0.093	0.106	0.203

Dybde	Chromium	Iron	Nickel	Copper	Zinc	Arsenic	Silver	Cadmium	Lead	Hg(CVAAS)	Sum PAH	SumPAH-Naftalen	B(a)P
cm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Kjerne 31													
0-10	5.94	4912	16.1	28.8	204.0	4.07	1.00	2.02	205.8	1.15	16000	15360	1300
30-40	6.20	6345	17.6	11.2	30.8	3.50	0.17	0.21	45.58	0.304	190	167	3.9
55-70	8.36	7796	20.3	21.0	43.3	3.71	0.29	0.24	55.57	0.211			
70-80											400	392	29
Kjerne 32													
0-10	17.36	9394	130.6	14.3	37.5	3.31	0.16	0.58	11.20	0.036	94000	92300	4500
30-40	20.13	9083	149.0	13.5	22.2	2.93	0.08	0.32	8.83	0.026	13000	11500	180
60-65	8.69	4563	74.4	6.62	7.42	2.89	0.11	0.17	3.68	0.008	86000	84100	2300
Kjerne 33													
0-10	6.95	4732	16.4	14.9	151	4.21	0.43	5.54	123.66	0.047	1900	1670	5.7
40-50	8.04	5117	16.5	16.5	288	4.19	0.22	8.62	88.12	0.073	5000	2300	7.8
85-102	11.14	6400	19.7	22.7	250	5.20	0.26	4.81	37.52	0.049	8000	4600	8.8
Kjerne 36													
0-10	8.30	4052	82.0	13.2	14.6	1.92	0.048	0.088	2.41	0.065	3100	1700	2.4
9-19	7.95	4429	74.0	6.06	7.12	1.61	0.021	0.083	1.49	0.032			
18-27	6.28	3559	60.0	3.06	4.17	1.65	0.042	0.049	0.89	0.011			
26-35	5.21	3014	58.2	2.49	2.96	1.20	0.016	0.009	0.45	0.000	2900	1500	5.1
34-43	6.79	3703	66.4	3.92	9.21	1.86	0.043	0.186	2.17	0.001			
42-51	6.69	3578	72.0	3.71	9.30	1.77	0.029	0.215	2.13	0.000			
50-59	7.95	3912	77.9	3.42	7.49	2.08	0.034	0.074	1.26	0.000			
58-67	7.45	3458	73.4	3.31	5.14	1.68	0.034	0.109	1.64	0.000			
66-75	11.07	3770	87.7	3.85	4.69	2.12	0.063	0.041	0.91	0.027			
74-83	10.32	3917	96.8	4.70	4.31	2.38	0.018	0.039	0.75	0.025			
82-91	10.65	3767	91.9	8.04	4.71	2.36	0.037	0.029	0.58	0.022	1400	480	0.5
Filterkaka											180	30	<0.5

Appendiks 2: Analyserapporter

- PAH komponenter i deponiene
- Metaller i deponiet
- Næringsalter

Appendiks 3: Målinger av forurensninger i filterkaken 1997-98

Appendiks 4. Rapport for feltarbeidet utført av NOTEBY AS

Appendiks 5: Deler av rapport med kartlegging utført av Geoconsult