

O-91144

Kartlegging av forurensning
fra

Flåt Nikkelgruve, Evje.



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.: O-91144	Undernr.:
Løpenr.: 2822	Begr. distrib.:

Hovedkontor Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (47 2) 18 51 00 Telefax (47 2) 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47 41) 43 033 Telefax (47 41) 44 513	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47 65) 76 752 Telefax (47 65) 76 653	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47 5) 32 56 40 Telefax (47 5) 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47 83) 85 280 Telefax (47 83) 80 509
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Kartlegging av forurensning fra Flåt Nikkelgruve, Evje	Dato: Oktober 1992 Trykket: NIVA 1992
	Faggruppe: Industriforurensninger
Forfatter(e): Rolf Tore Arnesen Eigil R. Iversen	Geografisk område: Aust-Agder fylke
	Antall sider: 22 Opplag:

Oppdragsgiver: Bergvesenet	Oppdragsg. ref. (evt. NITNF-nr.):
--------------------------------------	--

Ekstrakt:

NIVA har undersøkt forurensningstransporten fra Flåt nikkelgruve ved Evje fra november 1991 til august 1992. Nikkel var viktigste forurensningsparameter og total årlig transport var ca. 1.5 tonn/år. Viktigste forurensningskilde var øvre avgangsdam (60 %), mens gruvevannet sto for ca. 20 % av totaltransporten. Virkningen i Oddebekken er markert, men sur nedbør har antakelig større betydning for biologiske forhold i vassdraget.

4 emneord, norske

1. Gruver
2. Vannforurensning
3. Tungmetaller
4. Avgang

4 emneord, engelske

1. Mines
2. Water pollution
3. Heavy metals
4. Tailings

Prosjektleder

Rolf Tore Arnesen

For administrasjonen

Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-2186-7

Norsk institutt for vannforskning

O-91144

Kartlegging av forurensning

fra

Flåt Nikkelgruve, Evje

Oslo, oktober 1992

Prosjektleder: Rolf Tore Arnesen

Medarbeider: Eigil R. Iversen

Sammendrag

NIVA har i tiden november 1991 - august 1992 foretatt undersøkelser i Flåt-området ved Evje for å vurdere forurensninger fra den nedlagte nikkelgruven. Arbeidet har bare omfattet kjemiske undersøkelser, og det er gjort analyse av gruvevann og sigevann fra velter/avgangsdeponi. Dessuten er det gjort analyser av avgang, og av grunnvann fra avgangsdeponier.

Undersøkelsen har vist at transporten av nikkel fra Flåt er ca. 1,5 tonn/år, mens koppertransporten er ca. 100 kg/år.

Det er også relativt stor transport av aluminium i vassdraget, men i forhold til den transporten som foregår naturlig på grunn av sur nedbør er det som kommer fra Flåt ubetydelig.

Viktigste forurensningskilde er øvre avgangsdam som bidrar med ca. 60 % av nikkeltransporten. Gruvevannets andel utgjør ca. 20 %.

Virkingen av avrenningen fra Flåt på primærresipienten Oddebekken er markert, men sur nedbør har antakelig større betydning for biologiske forhold i vassdraget.

Det er fare for forurensningstransport i grunnvann i området, og det anbefales nærmere undersøkelser av dette. Spesiell vekt bør det legges på å undersøke eventuell drikkevannsforsyning basert på grunnvann fra området.

Innhold

Sammendrag	2
1. Bakgrunn	4
2. Gruveområdet	5
3. Kjemiske analysedata	8
4. Transportvurderinger.....	12
5. Avgangsdeponiet	15
5.1. Generelt.....	15
5.2. Kjemiske undersøkelser	15
5.2.1. Prøvetaking og kjemiske analyser	15
5.2.2. Resultater	16
5.3. Grunnvann.....	18
6. Resipienten.....	19
7. Konklusjon.....	21
8. Referanser.....	22

1. Bakgrunn

Flåt nikkelgruve ligger i Evje og Hornnes kommune i Aust-Agder fylke. Forekomstene ble påvist i 1870 og gruva var i drift i tiden fra 1872 til 1945, bortsett fra i årene 1894-99 og 1920-27. Området er bl. a. beskrevet av H. Bjørlykke (Bjørlykke 1947).

Før 1917 var produksjonen slik at 1,8 tonn råmalm ga 1 tonn smeltemalm med 1,25 - 1,5 % nikkel og 1 % kopper.

I 1917 ble det bygget et flotasjonsverk som i 1927 ble ombygd for å øke kapasiteten. Dette ble igjen utvidet i 1929.

I årene fra 1927 - 1944 var råmalmproduksjonen ca. 2,1 mill. tonn malm, med et gjennomsnittlig innhold av nikkel og kopper på henholdsvis 0,70 og 0,48 %.

Sulfidmineralene i malmen var først og fremst:

- Pyritt - (FeS_2)
- Magnetkis - ($\text{Fe}_n \text{S}_{n+}$)
- Pentlanditt - ($\text{Ni Fe}_9 \text{S}_8$)
- Kopperkis - (CuFeS_2)

Malmen hadde også et innhold av kobolt på opp mot 1 %.

Avgangen fra flotasjonsverket er deponert mer eller mindre systematisk i to store dammer. Måten deponeringen foregikk på, har ført til at overflaten ikke er horisontal, og en del avgang ligger antakelig betydelig over grunnvannsnivået. På avgangsdeponiene har det vært relativt mye aktivitet etter at gruva ble nedlagt, og deler av den øvre avgangsdammen er av kommunen lagt ut som skistadion.

I 1989 besøkte NIVA området i forbindelse med prosjektet "Vannforurensning fra nedlagte gruver" (Iversen og Arnesen 1990). Resultatene fra denne befaringen førte til at NIVA foreslo nærmere undersøkelser i området i et brev av 9. juli 1991 til Bergvesenet. I brev av 6. august 1991 bestilte Bergvesenet undersøkelsen gjennomført i henhold til NIVAs forslag.

Som det fremgår av det ovenstående hadde Flåt Nikkelgruve i sin tid en meget omfattende virksomhet, og det er store mengder gruveavfall spredt over et stort areal ved Evje. Det vil være en meget omfattende oppgave å få en fullstendig oversikt over forekomster av gruveavfall og transportveier for tungmetaller i dette området. I denne analysen er det derfor lagt vekt på å beskrive vesentlige forurensningskilder og forurensningstransport i overflatevann.

2. Gruveområdet

Figur 1 og 2 viser kartskisser over området. Som det fremgår av figur 1 ligger selve gruveområdet øst for Evje sentrum, og nedbørfeltet for den lokale resipient Oddebekken strekker seg forholdsvis langt nordover i det ubebygde området på østsiden av Otra. Figur 2 viser selve gruveområdet der gruveåpning, velter, avgangsdammer og prøvetakingssteder er avmerket. Velten lengst i sør er fjernet siden kartet ble tegnet. Massene herifra er behandlet i et pukkverk og brukt i veier o.l.

Det fremgår bare delvis av kartet hvordan avrenningen foregår i området. Fra den nedre velten nord-vest for gruveåpningen og fra de to avgangsdammene (Ø(vre) og N(edre) slamdam) foregår overflateavrenningen til en bekk som passerer målepunkt V3 og renner til Søråna som renner sammen med Nordåna litt lengre ned og danner Oddebekken. Gruvevannet renner ut i et myrområde V1 og inngår neppe i det samlede avløpet fra avgangsdemoniene. Rundt avgangsdammene er det myrlendt og en del av denne avrenningen vil forlate området som grunnvann. Hvorvidt dette også vil nå frem til Søråna eller Oddebekken lengre nede i vassdraget er ikke vurdert. I et så stort område som det her er tale om vil det kreve betydelige ressurser å kartlegge denne delen av transporten.

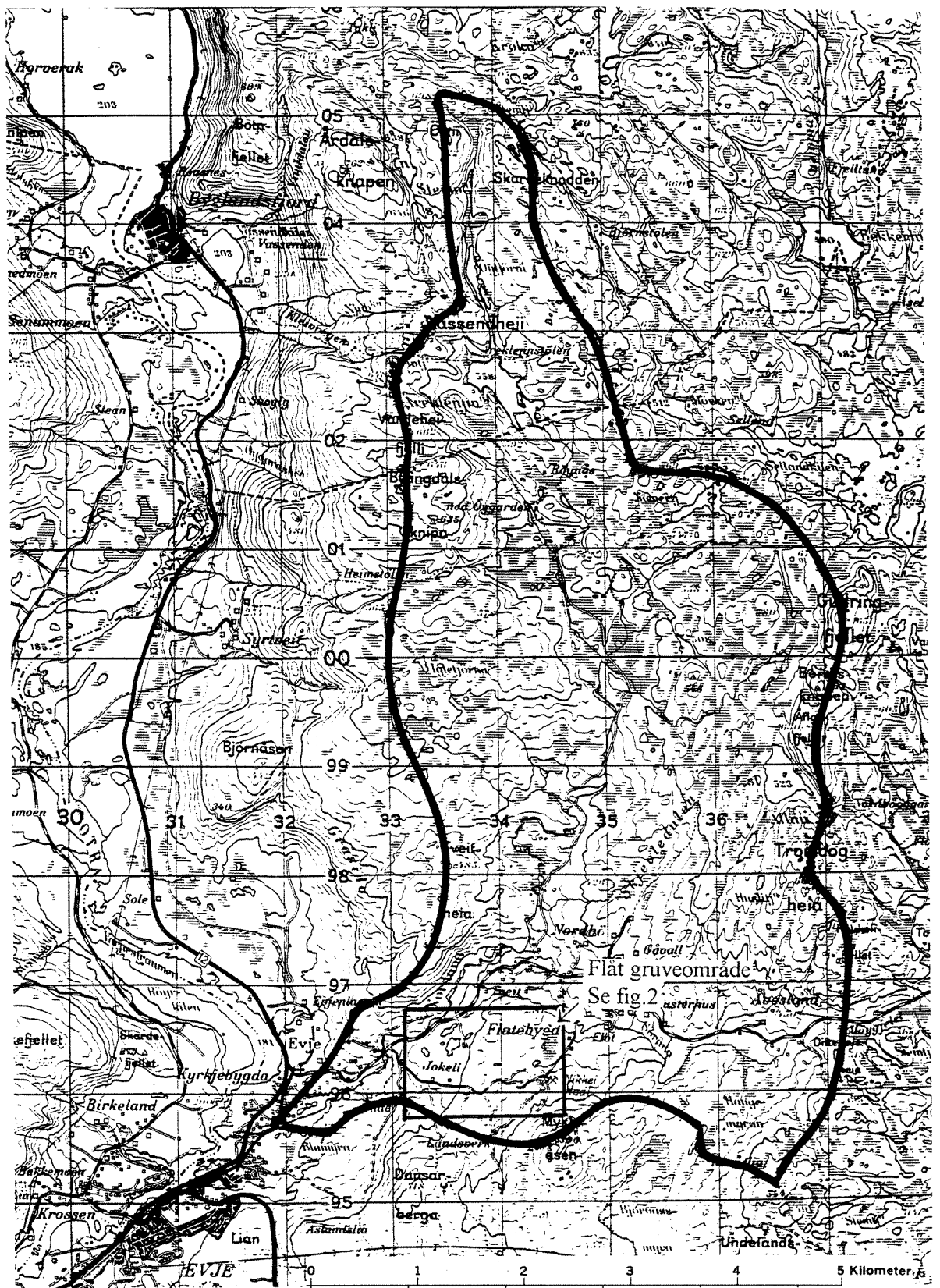
Figur 1 viser det samlede nedbørfeltet for Oddebekken. Mesteparten av nedbørfeltet er praktisk talt ubebygde, og det er få innsjøer i området. Det vil føre til at vannføringen i bekken varierer mye, uten at det er mulig i denne utredningen å kvantifisere dette. Hovedresipient for avrenningen fra området er elva Otra med en betydelig vannføring. Elven er dessuten regulert slik at vannføringen er jevnere enn i små sidevassdrag.

I tabell 1 er det samlet en del karakteristiske data om nedbørfelter og vannføringer for Oddebekken og Otra.

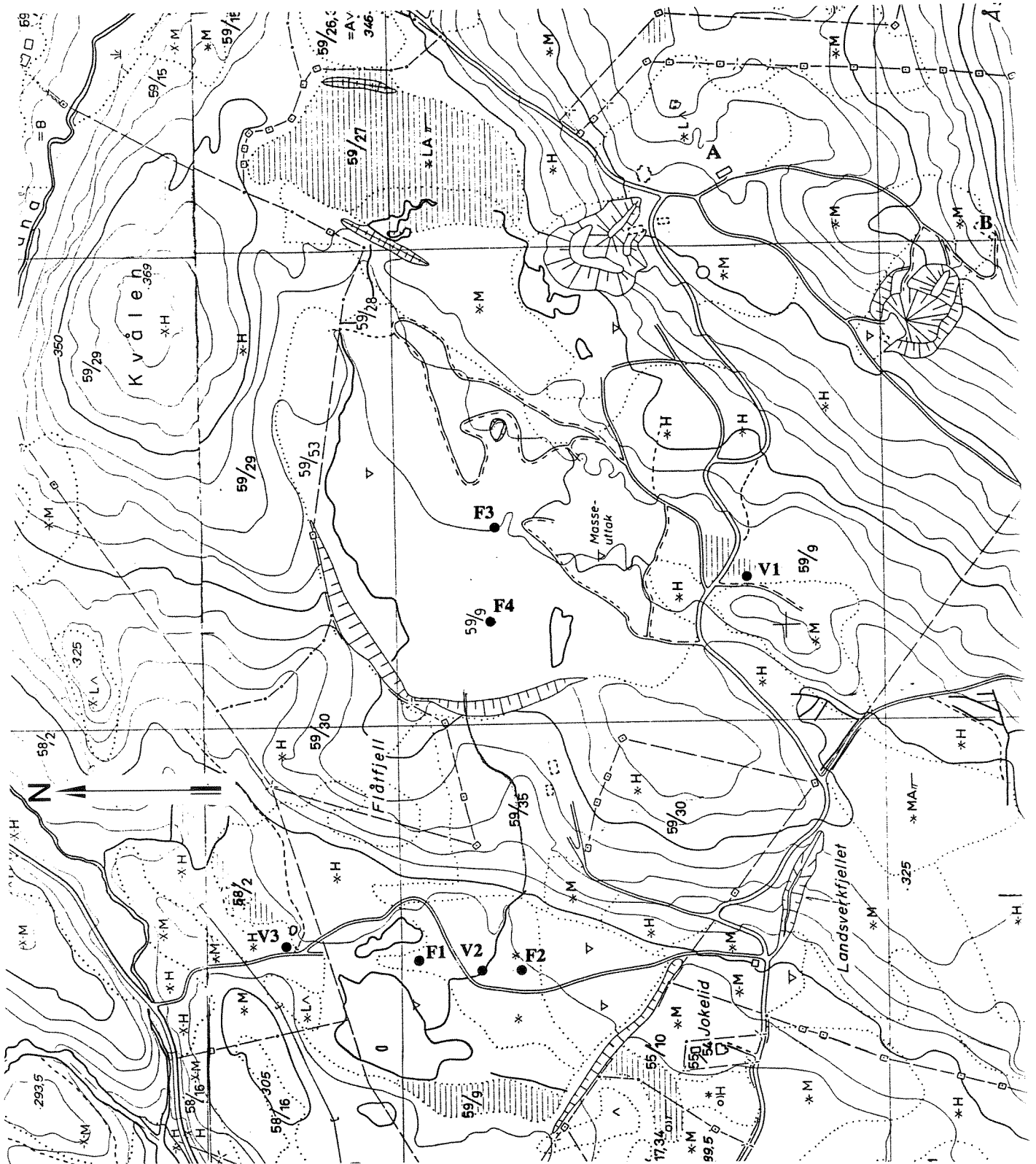
Tabell 1 Hydrologiske data for Oddebekken og Otra ved Evje.

Elv	Areal - Nedbørfelt km ²	Årlig middel- avrenning m ³ /s
Oddebekken	27,5	0,825
Otra, utløp Byglandsfjord	2819	110

Når det gjelder nedbørfeltene for prøvestedene for vannprøver (V1-3) er det vanskelig å bestemme arealene ut fra tilgjengelige kart. Midlere vannføringer etc. vil derfor bli beregnet på grunnlag de målinger som er gjort i undersøkelsesperioden.



Figur 1. Kart over området rundt Flåt nikkelgruve. Nedbørfelt for Oddebekken er inntegnet.



Figur 2. Kart over gruveområdet - Flåt nikkelgruve, Evje. Målestokk ca. 1:5700
 Prøvestedene er inntegnet. Betegnelser er beskrevet i teksten

3. Kjemiske analysedata

I denne utredningen er bare analysedata for prøver fra prøvepunkter NIVA har etablert tatt med. Tidligere er det tatt noen prøver i kommunal regi. For å unngå usikkerhet om prøvetakingssted er disse prøvene utelatt her. Det ser imidlertid ikke ut til å være store forskjeller mellom de ulike prøvetakingene ut over det som må ventes bl.a. på grunn av variasjoner i vannføringen (Iversen og Arnesen 1990).

For innsamling av vannprøver og måling av vannføring ble det høsten 1991 satt opp tre V-overløp (V1 - V3). Plasseringen er vist i figur 2.

I tabell 2 - 5 er alle analysedata som gjelder avrenning fra området samlet. I disse tabellene er også vannføringen ved de ulike målestasjonene samlet.

Ved en undersøkelse sommeren 1992 (Arnesen og Veidel unpubl.) er det vist at den måten vannivået ble målt på i Flåt-området, gir ca. 20 % for lave vannføringer. Vannføringene i tabell 2 - 4 er korrigert for dette.

Tabell 2 Analyseresultater for prøver fra gruvevannsbekken - Flåt nikkelgruve, Evje. (V1)

Dato	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Aluminium µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Nikkel µg/l	Vannf. l/s
8.11.91	3.84		62.1	2900	820	110	2100	5.5
4.12.91	3.52		81.6	2940	750	150	2020	0.6
6.1.92	3.55	25.5	48.6	1880	550	90	1330	3.8
8.2.92	3.83	18.5	51	1930	590	120	1440	1.7
8.3.92	3.77	20.8	50.1	1890	600	100	1460	2.8
2.4.92	3.61	24.7	59.7	2080	590	100	1580	1.3
28.4.92	3.95		42.6	1740	750	230	1350	31.0
10.6.92	-	-	-	-	-	-	-	0
8.7.92	-	-	-	-	-	-	-	0
10.08.92	3.38	44.1	149.1	5280	1560	310	5920	3.1
Middel	3.66	26.7	68.9	2534	770	157	2157	4.9

Tabell 3. Analyseresultater fra overløp øvre avgangsdam - Flåt nikkelgruve, Evje. (V2)

Dato	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Alu- minium µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Nikkel µg/l	Vannf l/s
19.10.89	3.15		600	5450	560	150	4910	
08.11.91	3.25		315	8300	1080	220	8200	9.2
04.12.91	3.18		675	12200	1050	400	9330	1.2
06.01.92	3.17	93.1	336	6970	870	170	6590	6.0
08.02.92	3.08	117	462	7110	720	180	7090	6.0
08.03.92	3.13	113.9	393	6480	690	140	5300	5.3
02.04.92	3.19	105.7	438	6560	670	150	5580	3.1
28.04.92	3.1	-	303	5460	750	130	5330	18.4
10.06.92	-	-	-	-	-	-	-	0
08.07.92	-	-	-	-	-	-	-	0
10.08.92	3.06	152.9	756	10600	960	240	9740	3.1
Middel	3.11	105.5	348	5466	511	236	5192	5.2

Tabell 4. Analyseresultater avløp fra nedre avgangsdam - Flåt nikkelgruve, Evje. (V3)

Dato	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Aluminium µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Nikkel µg/l	Vannf l/s
19.10.89	3.1		490	3800	220	100	3190	
08.11.91	3.28		237.6	5200	750	150	5100	21.2
04.12.91	3.08		441	9520	880	230	8420	3.1
06.01.92	3.21		223	4750	590	120	4520	13.3
08.02.92	3.11	110.8	414	6600	510	170	6150	6
08.03.92	3.23	83.6	264	4010	340	90	3440	9.2
02.04.92	3.13	90.6	281.7	4470	450	110	4200	5.3
27.04.92	3.05	94.4	360	5440	530	120	5110	33.5
10.06.92	2.88	134.8	444	4730	290	240	4990	0.34
08.07.92	-	-	-	-	-	-	-	0
10.08.92	3.01	116.7	468	4470	260	890	4800	3.06
Middel	3.15	116.5	475	6961	817	198	6897	9.5

I alle målepunktene er pH meget lav og tungmetallpåvirkningen er betydelig. Det er særlig nikkel som forekommer i høye konsentrasjoner, men også kopperkonsentrasjonen er høy i avrenningen fra avgangsdammene.

pH er lav ved alle målepunktene i gruveområdet og innholdet av aluminium og nikkel er meget høyt. Kopper og sinkkonsentrasjonen er også noe forhøyet. Den høye sulfatkonsentrasjonen viser at det foregår en betydelig oksydasjon av sulfidmineraler i området.

Denne delen av landet er utsatt for betydelig tilførsel av fjerntransporterte forurensninger (sur nedbør), men det er helt klart at denne påvirkningen er ubetydelig i forhold til gruveforurensningen lokalt i Flåt-området.

De fleste sulfidmalmgruvene her i landet har i stor grad vært basert på kopperproduksjon. Kopperinnholdet i avrenningen fra slike gruver er den viktigste årsak til forurensningsproblemer som fiskedød o.l. Fra Flåt-området er kopperavrenningen relativt beskjeden, mens nikkel og aluminium dominerer metallavrenningen. Også disse metallene er giftige, men i mindre grad enn kopper. For aluminium er i tillegg virkning og mobilitet avhengig av andre forhold, bl.a. pH i det aktuelle vassdraget.

I beskrivelsen av Flåt Nikkelgruve (Bjørlykke 1947) er forholdet mellom kopper og nikkel (Cu/Ni) angitt for en del prøver. I middel er dette forholdet ca. 0,25. De analyser NIVA har gjort av avgangen (Tabell 14) viser omtrent samme forhold.

I vannet fra avgangsdammene er imidlertid dette forholdet nærmere 0,1, noe som tyder på at nikkel er mer mobilt enn kopper under disse betingelsene.

Aluminiuminnholdet skyldes utløsning fra sideberget på grunn av svovelsyren som dannes ved oksydasjon av sulfid.

Det er også tatt prøver av gruvevannet ved to anledninger. Den første gangen i oktober 1989 - fra den øvre åpningen av skråsjakten (merket A i figur 2). I november 1991 ble det tatt ytterligere prøver både i skråsjakt (A) og i loddsjakt (B). Analyseresultatene er samlet i tabell 5. Det fremgår her at vannet ned til minst 10 m har lav pH og høye innhold av metallene nikkel, kopper og aluminium. Prøvene tatt på større dyp i loddsjakten har stort sett høyere pH og lavere metallinnhold.

Tabell 5. Analyseresultater for gruvevann - Flåt nikkelgruve, Evje

Dyp	Dato	pH	Sulfat mg/l	Aluminium µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Nikkel µg/l
0	19.10.89	4,01	111	5640	1780	230	7560
1	08.11.91	3,92	120	5400	1770	200	7900
10	08.11.91	3,97	147	5600	1760	320	10000
54	08.11.91	6,56	67,2	120	70	110	300
238	08.11.91	6,46	1152	60	< 0,04	< 0,04	1700

Prøvene fra 0 til og med 10 m i tabell 5 er tatt ved pkt. A, mens prøvene fra større dyp er tatt i loddsjakten (B). Prøvene i loddsjakten fra 238 m er tatt under høyeste nivå som har kommunikasjon til resten av gruva, mens prøven fra 54 m representerer vannkvaliteten i den del av sjakten hvor det ikke er slik kommunikasjon.

Analysene av gruvevannet er interessante ved at de viser lavere metallkonsentrasjoner og høyere pH i dypet enn i overflateprøver. Dette er observert i en rekke andre vannfylte gruver her i landet. Et spesielt trekk ved Flåt gruve er at også sinkkonsentrasjonen avtar mot dypet, mens det fortsatt påvises en god del nikkel i vannet. Noen forklaring på dette er det ikke mulig å gi her, men i forbindelse med NIVAs videre arbeid med vannkvaliteten i vannfylte gruver, er det en viktig observasjon.

I tabell 6 finnes analyseresultater fra en prøve tatt av lekkasjevann fra øvre dam. og en prøve fra en liten bekk i øvre dam. Den fanger bl.a. opp sigevann fra velten vest for pkt. A.

Lekkasjevannet fra dammen har forholdsvis høy pH og relativt lave metallkonsentrasjoner. Vannføringen er dessuten lav, men etter terrenget å dømme, går en del forurensninger i grunnen her.

Vannet i bekken er derimot sterkt forurenset, med høye metallkonsentrasjoner og lav pH. En viktig kilde til denne forurensningen kan være velten, men også andre kilder kan ha betydning. Det er tidligere rapportert analyseresultater fra denne bekken (Iversen og Arnesen 1990), men prøvetakingsstedene er ikke tilstrekkelig klart definerte til å avgjøre om prøvene er direkte sammenlignbare. Den tidligere prøvetakingen viste betydelig lavere metallkonsentrasjoner men pH-verdiene viste god overensstemmelse.

Tabell 6 Analyseresultater for spesielle prøver tatt 8. november 1991

Målepunkt	pH	Kond mS/m	Kalsium mg/l	Magnesium mg/l
Sig damfot	6.84	87.8	135	86.1
Bekk i øvre dam	3.37	93.6	50.5	58.8

Tabell 6b Analyseresultater for spesielle prøver tatt 8. november 1991

Målepunkt	Sulfat mg/l	Aluminium $\mu\text{g/l}$	Kopper $\mu\text{g/l}$	Sink $\mu\text{g/l}$	Nikkel $\mu\text{g/l}$	Vannf. l/s
Sig damfot	405	490	120	40	17	
Bekk Ø. dam	507	28000	4670	720	32000	2.1

Arsen er også bestemt i gruvevann og i sigevann fra dammen. Alle resultatene var under $1 \mu\text{g As/l}$.

Tabell 7. Transportverdier, Gruvebekken, Prøvested V1

Dato	Sulfat kg/d	Aluminium kg/d	Kopper kg/d	Sink kg/d	Nikkel kg/d
08.11.91	29.6	1.38	0.39	0.05	1.00
04.12.91	4.4	0.16	0.04	0.01	0.11
06.01.92	16.1	0.62	0.18	0.03	0.44
08.02.92	7.5	0.28	0.09	0.02	0.21
08.03.92	12.1	0.45	0.14	0.02	0.35
02.04.92	6.6	0.23	0.06	0.01	0.17
28.04.92	114.0	4.65	2.01	0.62	3.61
10.06.92	-	-	-	-	-
08.07.92	-	-	-	-	-
10.08.92	39.4	1.40	0.41	0.08	1.57
Middel	28.7	1.15	0.42	0.11	0.93

Tabell 8. Transportverdier, Utløp øvre avgangsdam, Prøvested V2

Dato	Sulfat kg/d	Aluminium kg/d	Kopper kg/d	Sink kg/d	Nikkel kg/d
8.11.91	251.5	6.6	0.9	0.2	6.6
4.12.91	70.7	1.3	0.1	0.04	1.0
6.1.92	173.8	3.6	0.5	0.09	3.4
8.2.92	239.0	3.7	0.4	0.09	3.7
8.3.92	180.5		0.3	0.06	2.4
2.4.92	115.8	1.7	0.2	0.04	1.5
28.4.92	480.7	8.7	1.2	0.2	8.5
10.6.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.7.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.08.92	199.9	2.8	0.3	0.06	2.6
Middel	171.2	2.8	0.37	0.08	3.0

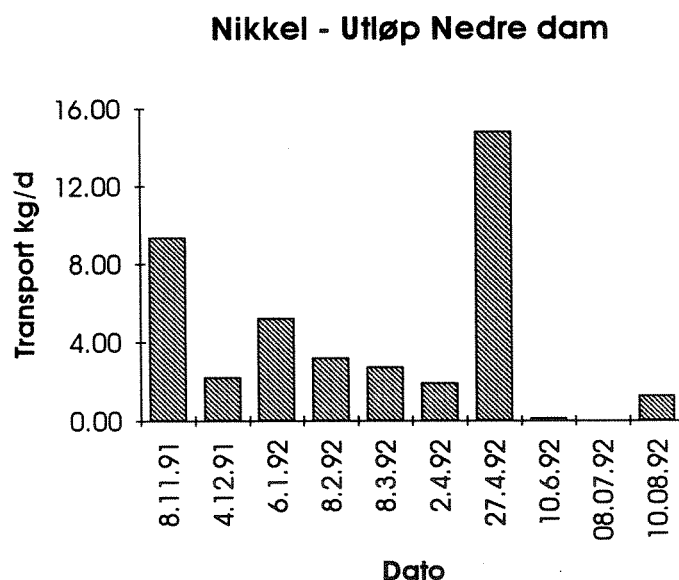
Tabell 9. Utløp nedre avgangsdam, Prøvested V3

Dato	Sulfat kg/d	Aluminium kg/d	Kopper kg/d	Sink kg/d	Nikkel kg/d
8.11.91	436	9.5	1.4	0.28	9.4
4.12.91	117	2.5	0.2	0.06	2.2
6.1.92	257	5.5	0.68	0.14	5.2
8.2.92	215	3.4	0.26	0.09	3.2
8.3.92	210	3.2	0.27	0.07	2.7
2.4.92	129	2.1	0.21	0.05	1.9
27.4.92	1041	15.7	1.5	0.35	14.8
10.6.92	13	0.1	0.01	0.01	0.1
08.07.92	0	0.0	0.00	0.00	0.0
10.08.92	124	1.2	0.07	0.24	1.3
Middel	254	4.33	0.46	0.13	4.08

4. Transportvurderinger

For å lokalisere de viktigste forurensningskilder i et område og for å vurdere nytteverdien av eventuelle tiltak er det nødvendig å kvantifisere forurensningsproduksjonen i de enkelte kilder så langt det er mulig. Dette gjøres vanligvis ved å beregne forurensningstransporten på ulike punkter i et gruveområde, og relatere forurensningstransporten til de aktuelle kildene innen delområdet som drenerer til målepunktet. De tre målepunktene i Flåt-området ble opprettet bl.a. for dette formålet.

Forurensningstransporten varierer betydelig med tiden. Figur 3 viser variasjonen i transport av nikkel i utløp fra nedre avgangsdam (V3).



Figur 3. Transport av nikkel i kg/døgn ved utløp av nedre avgangsdam

For å få en pålitelig verdi kreves det ofte mange prøvetakinger og det er særlig viktig å få prøver ved et representativt utvalg av vannføringer i et slikt datamateriale.

I det følgende er det datagrunnlaget som foreligger lagt til grunn for beregningene. Transport er for de målepunkter der det finnes målte vannføringer beregnet som middelerdi av momentane transportverdier, som beregnes som produkt av konsentrasjon og vannføring ($c_i \cdot Q_i$).

Verdier for middelvannføringer ut fra arealer anslått på kartet, stemmer imidlertid relativt godt med middelerdiene som er beregnet på grunnlag av de målte verdiene. Selv om året 1992 var spesielt tørt på forsommeren og det i perioder ikke var vannføring på målestasjonene, er det derfor rimelig å anta at de utførte målingene gir et godt bilde av avrenningen i området.

I Oddebekken har vi ikke målte vannføringer i undersøkelsesperioden. Her er derfor transportverdien beregnet som produkt av middelerdi for målte konsentrasjoner og anslått middelvannføring ut fra nedbørfeltets areal.

I tabellene 7 - 9 er de beregnede transportverdiene for stasjonen V1 - V3 samlet.

I tabell 10 er de antatte årlige middelveier for materialtransport angitt i tonn/år ved stasjonene V1 - V3 og i Oddebekken samlet.

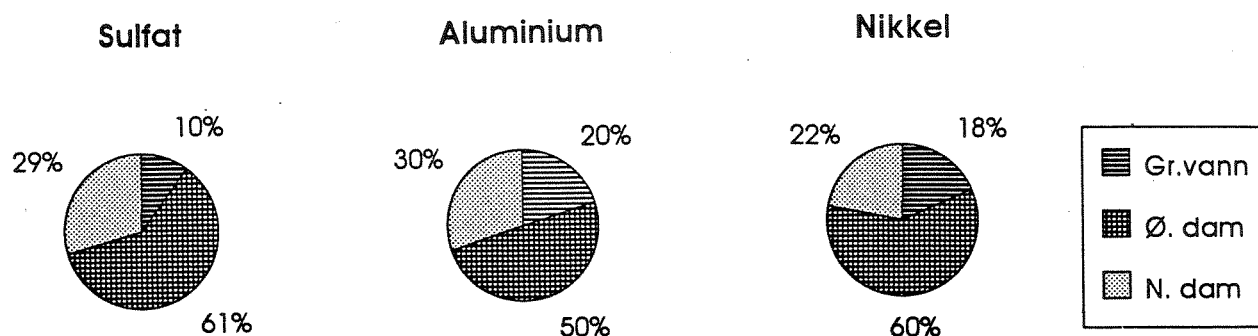
Tabell 10. Midlere transport i tonn/år av metaller fra Flåt-området, Evje.

Målested	Sulfat tonn/år	Aluminium tonn/år	Kopper tonn/år	Sink tonn/år	Nikkel tonn/år
Gruvevannsbekk (V1)	10.5	0.4	0.15	0.04	0.34
Utløp øvre avg.dam (V2)	62.5	1.0	0.14	0.03	1.1
Utløp nedre avg.dam (V3)	92.7	1.6	0.17	0.04	1.5
Oddebekken ved Evje	285	12.8	0.44	-	1.8

Forskjellen mellom verdiene målt i Oddebekken og ved utløp fra nedre dam skyldes for aluminium ganske sikkert at det sure vannet i bekken fører til stor utløsning av aluminium i hele nedbørfeltet. Det samme kan i noen grad gjelde for kopper, men det lille antall målinger med stor forskjell i konsentrasjon gjør beregningene usikre. Transport gjennom grunnvannet kan også ha betydning. For nikkel stemmer transportverdiene best overens, og forskjeller av denne størrelse kan lett forklares ved det spinkle datagrunnlaget.

Størrelsesorden stemmer imidlertid for kopper og nikkel, og for vurderingene som er gjort her, har forskjellene liten betydning.

I figur 4 er andelen av tilførsler fra de enkelte delområdene betyr for den samlede avrenningen fra området. Nedre dam representerer i figuren differansen mellom samlet avrenning (V3) og utløp øvre dam (V2).



Figur 4. Prosentvis fordeling av registrert forurensningstransport på de ulike delområdene. Gr.vann: V1, Ø. dam: V2, N.dam: V3 - V2

5. Avgangsdeponiet

5.1. Generelt

Som nevnt i kapittel 1 ble det startet flotasjon ved Flåt gruve i 1927, og avgangen ble antakelig deponert ved selvføll i terrenget nedenfor oppredningsverket. For å begrense spredning av avgangen ble det bygget et antall demninger som tilsammen danner to adskilte deponier (figur 2). Et eldre bilde fra området tyder imidlertid på at det ikke er lagt spesiell vekt på å hindre erosjon.

Aralet av avgangsdeponiene er bestemt ved planimetrering på kart i målestokk 1:5000. Det er vanskelig å ta ut avgrensningen av deponiene både fra kartet og i terrenget, fordi de i noen grad er tilgrodd med gress og mindre trær. Det er imidlertid fortsatt relativt store arealer som er fullstendig uten vegetasjon. Grensen for utstrekning er derfor skjønsmessig satt. Tabell 11 viser de anslåtte arealer for avgangsdammene utstrekning. Innenfor arealene er avgangen dels fullstendig dekket av vann, dels tørr og uten vegetasjon og dels tilgrodd med gress, busker og mindre trær. En stor del av overflaten er uten vann eller vegetasjon

Avgangsdeponienes arealer:

Tabell 11. Areal av avgangsdammene

Deponi	Areal m ²
Øvre dam	151.000
Nedre dam	55.500

Avgangsmengden som totalt er deponert i området er av ulike lokale kilder angitt å være vel 2 millioner tonn. Dette stemmer godt med oppgitt produksjonsmengde (Bjørlykke 1947). Med en anslått spesifikk vekt på 2,0 tonn /m³ tilsvarer dette et middeldyp på ca. 4,8 m. Ut fra dammenes høyde er dette ikke urimelig.

Dammene er ikke helt tette og det er synlige sig av forurenset vann fra damfoten ved øvre dam. Det er også sannsynlig at grunnen under dammene er utett og at det foregår en transport av forurensninger i grunnvannet. Dette er imidlertid ikke undersøkt nærmere i denne sammenheng.

5.2. Kjemiske undersøkelser

5.2.1. Prøvetaking og kjemiske analyser

Alle faststoffprøver fra velten ble tatt 8. november 1992 med gravemaskin. Prøvetakingspunktene er vist i figur 2 (F1 - F4). Prøvene ble analysert både på vannløselige forbindelser og på totalt innhold av svovel og metaller.

Bestemmelse av vannløselige forbindelser:

100 g fuktig prøve ble tilsatt 100 ml destillert vann og tromlet 5 minutter i porselensmølle. Vannfasen ble helt av, filtrert og sendt til Landbrukets analysesenter for analyse. Resultatene er

beregnet i forhold til prøvenes tørrvekt, ut fra % tørrstoff bestemt ved tørking av en parallell prøve ved 105 °C.

Totalopplutning med Lunges væske:

Etter tørking ble ca. 1 g prøve veiet nøyaktig inn og oppluttet på vannbad med Lunges væske, konsentrert $\text{HNO}_3\text{:HCl}$ (1:3). Denne opplutningen antas å være tilnærmet kvantitativ for svovel og metaller bundet til svovel og for sekundært utfelte oksider og hydroksider.

Ekstraktene etter syrebehandlingen ble analysert med ICP-spektroskopi ved Landbrukets analyse-senter.

5.2.2. Resultater

I tabell 12 er analyseresultater for totalt innhold av metaller og svovel i avgangsprøver samlet. Som det fremgår av tabellen er det tatt prøver på 3 - 4 dyp på to steder i hvert deponi. Avgangen ved Flåt skiller seg i stor grad fra avgang NIVA har undersøkt ved andre gruveområder. Avgangen ved Flåt inneholder først og fremst betydelig mindre jern og svovel enn det man finner mange andre steder. I tillegg har den naturligvis et relativt høyt innhold av nikkel.

For svovel og alle metaller unntatt jern er det en klart lavere konsentrasjon i prøvene fra det øverste sjiktet i avgangen. For jern er det vanskelig å påvise noen gjennomgående trend, og de variasjonene som er påvist kan skyldes driftsforhold da avgangen ble deponert. Dette tyder på en markert oksidasjon og utvasking fra de øverste lag (ned til ca 40 cm), der jernet blir tilbake som hydroksid, som er meget tungt løselig i vann. Dersom man ser på forholdet mellom svovel og jern, kan det tyde på at denne oksidasjonen gjør seg gjeldende, men i mindre grad, ned til grunnvannsnivået, som lå på 0,5 - 1 m ved prøvetakingen.

Det er ingen klare forskjeller mellom avgangen i øvre og nedre dam med hensyn til totalsammensetning.

Dersom vi regner et nikkelinnhold på 0.09 % i middel og en avgangsmengde på 2 millioner tonn, gir det 1800 tonn nikkel. Med en avrenning på ca. 1, 8 tonn nikkel pr. år, betyr dette at avrenningen kan vedvare i ca. 1000 år. Tar vi hensyn til avrenningen i grunnvannet vil antall år reduseres noe, men nikkelforurensningen kan fortsette i omtrent samme omfang i flere hundre år.

Tabell 12. Faststoffanalyser - Flåt - Totaloppslutning

Prøvested	Totalt Svovel %	Aluminium %	Jern %	Kopper %	Sink %	Nikkel %
F1; 0 - 10 cm	0.54	0.94	6.68	0.015	0.004	0.020
F1; 0,5 m	3.10	1.00	9.76	0.092	0.006	0.213
F1; 1m	1.21	1.49	6.54	0.028	0.007	0.095
F2; 0 - 40 cm	0.46	1.04	6.43	0.015	0.004	0.020
F2; 1 m	1.66	1.17	7.02	0.039	0.006	0.106
F2; 2 m	1.12	1.20	5.91	0.044	0.006	0.088
F2; 2,5 m	2.79	0.86	9.56	0.036	0.006	0.188
F3; 0 - 40 cm	0.40	1.21	5.19	0.035	0.005	0.032
F3; 70 cm	1.69	1.33	7.57	0.040	0.007	0.101
F3; 1 m	1.74	1.36	7.37	0.032	0.007	0.119
F3; 2 m	0.66	1.58	6.01	0.016	0.009	0.093
F4; 0 - 0,2 m	0.79	1.01	6.88	0.016	0.003	0.014
F4; 0,5	0.41	2.08	4.93	0.022	0.011	0.085
F4; 1 m	1.05	1.74	6.65	0.029	0.015	0.102

Analyseresultater for den vannløselige delen av avgangen er vist i tabell 13.

pH-verdiene er typiske for slikt avfall, med lave pH-verdier ved overflaten og stort sett høyere verdier mot større dyp. For alle prøvesteder unntatt F4 er det et maksimum i metall- og svovelkonsentrasjonen på et dyp. Hvor dypt dette nivået ligger varierer fra sted til sted, og har antakelig bl.a. sammenheng med "normal" grunnvannstand i området.

Sammenholdes totalt og utvaskbare metaller, er det tydelig at overflatelaget er betydelig utvasket, mens 0,5 - 1 m ned i avgangen finnes en sone hvor man finner høyere metall og svovelkonsentrasjoner. Dette skyldes at syre og metaller som frigjøres ved oksidasjonen vaskes ned i i avgangen av nedbøren. På større dyp skjer en interaksjon med grunnvann og mindre påvirket avgang. Det løses ut bl.a. aluminium og kalsium som bidrar til å heve pH i vannet. I overflaten med god tilgang på oksygen, vil treverdige jern felles ut og gi en karakteristisk brun farge. Lengre ned vil jernet være toverdige, og det blir og utfellingen kan først skje ved betydelig høyere pH-verdier. En viss anrikning med metaller på grunn av utfelling, ionebytting og adsorpsjon vil ganske sikkert skje. Også markvann og grunnvann vil bli anrikt ved denne prosessen. Oksidasjon av avgangen vil ved en slik prosess foregå i en begrenset sone som langsomt beveger seg nedover i materialet.

Denne forholdsvis enkle undersøkelsen som NIVA har gjennomført ved Flåt gruve kan ikke brukes til å trekke noen konklusjon på hvor langt oksidasjonsprosessen i avgangen er nådd. Det er vanlig å regne med at avgang som ligger under grunnvannstand oksiderer langsomt og bare i liten grad bidrar til forurensningssituasjonen. NIVA har ingen praktiske erfaringer med avgang fra nikkelproduksjon, men det er sannsynlig at en slik vurdering også vil gjelde Flåt-området. Dette betyr at det antakelig bare er 10 - 20 % av den totale avgangsmengden i området som vil oksidere, så lenge vannstanden i dammene opprettholdes. Tidsperspektivet for vannforurensning fra området vil derved endres, men det er likevel sannsynlig at den forurensede avrenningen vil fortsette i 100 år eller mer.

Tabell 13. Analyseresultater for vannuttrekk av avgang

Prøvested	Tørrstoff %	pH	Konduktivitet mS/m	Tot-Svovel mg/kg	Aluminium mg/kg	Jern mg/kg	Kopper mg/kg	Sink mg/kg	Nikkel mg/kg
F1; 0 - 10 cm	78.45	3.41	29.90	33.65	2.10	3.34	0.34	0.09	0.22
F1; 0,5 m	84.77	3.79	141.10	467.16	58.04	156.90	0.85	1.89	199.37
F1; 1m	79.30	4.22	34.10	63.81	13.87	3.72	0.14	0.34	15.01
F2; 0 - 40 cm	82.39	4.11	12.60	16.39	0.93	0.53	0.53	<0.06	0.50
F2; 1 m	92.39	4.11	102.20	347.43	11.47	152.61	0.10	1.66	125.55
F2; 2 m	86.35	3.74	181.50	507.24	119.28	198.03	0.34	2.76	125.07
F2; 2,5 m	80.39	4.01	101.00	262.47	28.86	159.23	<0.06	2.21	134.35
F3; 0 - 40 cm	79.73	2.88	155.10	322.32	82.02	19.82	38.13	0.95	52.30
F3; 70 cm	79.46	3.60	154.70	473.21	162.35	66.70	48.45	2.66	140.96
F3; 1 m	71.05	4.53	61.00	143.57	19.99	52.08	0.17	1.13	31.25
F3; 2 m	69.07	5.78	67.20	170.83	0.81	84.26	<0.07	0.29	20.12
F4; 0 - 0,2 m	75.37	3.84	42.20	80.81	2.30	0.45	3.28	0.11	2.11
F4; 0,5	70.98	5.60	44.50	96.65	0.51	0.45	<0.07	0.10	9.71
F4; 1 m	73.73	7.50	46.70	105.25	0.15	0.22	<0.06	<0.07	1.29

5.3. Grunnvann

I forbindelse med prøvetaking av avgang ble det samtidig tatt ut grunnvannsprøver i prøvegropene. Analyseresultatene for disse prøvene er samlet i tabell 14. I en av gropene (F2) ble det ikke funnet grunnvann.

Det er meget store forskjeller i vannkvaliteten i det tre prøvene, og det er vanskelig å relatere dem direkte til avgangens kvalitet eller til prøvepunktens plassering. Prøven Gr1 og spesielt Gr3 har meget høye metallkonsentrasjoner og lav pH. Den høye pH og de relativt lave metallkonsentrasjonene i Gr4 kan skyldes at vannprøvene er tatt relativt grunt, og at vannet har hatt lite kontakt med oksidert avgang.

Virkning av spredning av tungmetaller i grunnvann kan bare observeres lokalt i terrenget nær dammene. En transport på større dyp kan likevel skje, uten at det her er grunnlag for noen nærmere vurdering.

Tabell 14 Analyseresultater for grunnvann tatt i prøvepunkter for fast avfall

Prøvested	pH	Kond mS/m	Kalsium mg/l	Magnesium mg/l	Sulfat mg/l	Aluminium µg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Nikkel µg/l
Gr1 (F1)	3.95	83.9	75.7	15.8	417	11000	42200	740	490	7800
Gr3 (F3)	3.55	137	76.9	29.5	780	42000	115000	1510	740	21000
Gr4 (F4)	6.87	104	200	22.9	495	290	800	< 40	< 40	900

6. Resipienten

Primærresipient for avrenningen fra Flåt er som tidligere nevnt Søråna og Oddebekken. Ved to anledninger er det tatt prøver av Oddebekken der den renner inn i tettbebyggelsen sør for Evje kirke. Disse analyseresultatene finnes i tabell 15. Her er pH så lav at det i dag neppe kan opprettholdes en fiskebestand. I tillegg er både kopper- og nikkelkonsentrasjonene så høye at de kan ha negative effekter på fisk og andre organismer i bekkene. Ved de lave pH-verdiene som er målt i bekken er også aluminiumkonsentrasjonen skadelig, selv om kalsiumkonsentrasjonen er relativt høy (Rosseland *et al.* 1992). Aluminium tilføres imidlertid ikke bare fra Flåt-området, men i stor grad fra resten av nedbørfeltet.

Tabell 15. Analyseresultater fra Oddebekken ved veibru i Evje sentrum. (Figur 1)

Dato	pH	Sulfat mg/l	Kalsium mg/l	Magnesium mg/l	Aluminium µg/l	Kopper µg/l	Nikkel µg/l
19.10.89	4.49	12.8	3.07	0.72	318	5.3	53
08.11.91	4.46	9.1	2.38	0.486	660	28	92
Middel	-	9.95	-	-	489	17	72.5

Fortynningen ned til målepunktet i Oddebekken er tydeligvis stor, men det er fortsatt høye nikkelkonsentrasjoner i vannet.

pH i bekken er også lav, men det er sannsynlig at dette i stor grad skyldes den sure nedbøren som er vanlig i området. Forholdet mellom nikkel og sulfat ved utløpet av nedre avgangsdam er f.eks. betydelig høyere enn det tilsvarende forholdet i Oddebekken ved prøvetakinger gjort samme dag.

Otra som er hovedresipient for avrenningen fra Evje-området, er undersøkt av NIVA bl.a. i forbindelse med reguleringen i Øvre Otra. I rapporten (Rørslett *et al.* 1981) er det ikke omtalt negative effekter av tungmetallutslipp fra Evje. Fisket i Otra på den aktuelle strekningen er omtalt slik:

"Mellom Syrtveitfossen og Fennefoss er aurebestanden meget stor og fisken småfallen, av dårlig kvalitet og til dels befengt med snyltere, bl.a. rundmark (*Eustrongylides*) og bendelormer. Av og til fiskes stor fisk på opptil 4 - 5 kg. Nedenfor Fennefoss er auren kanskje litt bedre i kvalitet og størrelse. I de store utvidelsene av elven, Breiflå og Kilefjorden, kan det forekomme noe større fisk. På hele strekningen er den imidlertid til dels betydelig befengt med parasitter. Gytteforholdene for aure er meget gode i hele vassdraget."

"Abbor (lokalt navn: skjebbe) finnes i Otra fra Fennefoss og nedover i vassdraget, og fiskens kvalitet og størrelse er god i de større utvidelsene av elva (Breiflå, Kilefjorden). Vanlig størrelse er fra 100 - 200 g, men større eksemplarer fra 0,5 - 1,0 kg forekommer også."

Forøvrig synes de biologiske forhold (begroing) å være normale, ut fra den vannkjemi som er observert. Otra renner gjennom områder som i stor grad er påvirket av forurenset nedbør, og pH er derfor relativt lav for en så stor elv, gjennomgående under 6 ved Evje.

Tabell 16 viser analyseresultater for to prøver tatt henholdsvis ovenfor og nedenfor Evje sentrum i november 1991.

Tabell 16. Analyseresultater fra prøver tatt i Otra 08.11.91

	pH	Sulfat mg/l	Kalsium mg/l	Magnesium mg/l	Kopper $\mu\text{g/l}$	Nikkel $\mu\text{g/l}$
Ovenf. Evje	5,77	1,90	0,88	0,11	2,5	< 0,5
Nedenf. Evje	5,82	2,27	1,00	0,13	1,4	2,4

Resultatene viser en litt høyere nikkelkonsentrasjon nedenfor enn ovenfor Evje. For kopper er trenden motsatt. Konsentrasjonen for begge metaller er meget lav, og i forhold til SFTs vannkvalitetskriterier for ferskvann (SFT 1989), ville Otra ved Evje etter disse analysene tilfredsstillende kravene til kl. 1 når det gjelder tungmetaller (Kopper $3 \mu\text{g/l}$, Nikkel $10 \mu\text{g/l}$).

7. Konklusjon

Undersøkelsene NIVA har utført i Flåt-området gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- De viktigste forurensningskomponenter i avrenningen fra området er nikkel og kopper. Årlig transport av nikkel ut av området er ca. 1,5 tonn pr. år, det er betydelig og gir høye nikkelskonsentrasjoner i primærresipienten Oddebekken. Koppertransporten er betydelig mindre, ca. 100 kg/år, men også denne gir klart forhøyede konsentrasjoner i Oddebekken.
- Hovedkilde for forurensning er sannsynligvis øvre avgangsdam, men det har ved undersøkelsen ikke vært mulig å skille klart mellom forurensning fra avgangen og fra velten i øst. En enkel undersøkelse for å kvantifisere dette nærmere anbefales før det gjennomføres forurensningshindrende tiltak i området.
- På grunn av sur nedbør i dette området er pH i Oddebekken lav, og aluminiumskonsentrasjonen høy. Forsuringen i vassdraget skyldes bare i liten grad avrenningen fra gruveområdet.
- Hovedvassdraget Otra er antakelig meget lite influert av avrenningen fra Flåt. Tidligere undersøkelser som også har omfattet biologi har ikke påvist tegn til tungmetallforgiftninger i dette området. Ved en enkelt prøvetaking har imidlertid NIVA påvist at nikkelskonsentrasjonen i Otra nedenfor Evje sentrum er lavere enn ovenfor.
- Grunnvannet i området er klart påvirket av tungmetaller. Det er imidlertid ikke gjort undersøkelser for å vurdere denne forurensningstransporten nærmere i det foreliggende arbeidet. Det anbefales å gjøre nærmere grunnvannsundersøkelser og spesielt er det ønskelig å undersøke eventuelle drikkevannsforsyninger fra grunnvannsbrønner i området.

8. Referanser

Bjørlykke, H. 1947 Flåt Nickel Mine, Norges Geologiske Undersøkelser Nr. 168b. Oslo 1947.

Iversen, E.R. og Arnesen, R.T. 1990 Vannforurensning fra nedlagte gruver, Del II. NIVA-rapport O-89106, L.nr. : 2363. Oslo januar 1990.

Rosseland, B. O., Brandrud, T. E. and Raddum, G. G. 1992 Effects of Aluminium in Acidified Aquatic Ecosystems
NIVA-rapport O-91097/E-92458, L.nr.: 2806, Nov. 1992

Rørslett, B., Tjomsland, T., Løvik, J., Lydersen, E., Mjelde, M. Grande, G. 1981 Undersøkelse av Øvre Otra, NIVA-rapport O-72198, L.nr.: 1263, April 1981

SFT 1989 Vannkvalitetskriterier for ferskvann. Statens forurensningstilsyn TA-630, Oslo, mars 1989.

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo
ISBN 82-577-2186-7