



RAPPORT LNR 4919-2004

## Bradalsmyra testskyttebane

Vannkvalitet i grunnvann i tilknytning  
til et deponi og i Velmannåa som  
avvanner størstedelen av testsenteret



*Bradalsmyra testskyttebane (Foto Nammo Raufoss AS)*

**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

Polarmiljøsenderet  
9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Bradalsmyra testsenter Vannkvalitet i grunnvann i tilknytning til et deponi og i Veltmannåa som avvanner størstedelen av testsenteret	Løpenr. (for bestilling) 4919-2004	Dato 19/12-04
	Prosjektnr. Undernr. 24134	Sider Pris 15
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Oppland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Nammo Raufoss AS	Oppdragsreferanse Trond Aasmundstad Sigmund Sofienlund
--------------------------------------	--

**Sammendrag**

Metalldeponiet på Bradalsmyra forurenset ikke Veltmannåa i 2004. Ved mange tilfeller sank konsentrasjonene av metaller i grunnvannet gjennom deponiet, antakelig som følge av felling av metallsulfider i det anaerobe kalkrike deponiet. Konsentrasjonene av metaller i Veltmannåa var generelt så lave at negative biologiske effekter ikke kan forventes. Konsentrasjonene av bly, antimon og kobber økte noe i Veltmannåa på veien gjennom testsenteret, mens det ikke var endring for krom, nikkel, sink og kadmium. Resultatene viser at aktiviteten på testsenteret ikke forurenser Veltmannåa nevneverdig. Dette er i god overenstemmelse med konklusjonene fra den årlige overvåkingen som har pågått siden 1991. Det er derfor ikke nødvendig med ekstra forurensningsbegrensende tiltak utover de rutiner som en ellers har på senteret. Overvåkingen av vannkvaliteten i referansebrønnen (Brønn 0) og den siste brønnen etter deponiet (brønn 4) vil inngå i det videre overvåkningsprogrammet i 2004. Dette vil være en enkel sjekk på at deponiet ikke begynner å lekke metaller med tiden. Vi vil også understreke at deponiet ikke må forstyrres slik at lufttilgangen fører til oksidasjon av utfelte metallsulfider med negative følger for vannkvaliteten i Veltmannåa.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Skytefelt	1. Shooting range
2. Vannkvalitet	2. Water quality
3. Tungmetaller	3. Heavy metals
4. Forurensningsgrad	4. Degree of impact



Sigurd Rognerud  
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle  
Forskningsleder



Nils Roar Sælthun  
Forskningsdirektør

## **Bradalsmyra testsenter**

Vannkvalitet i grunnvann i tilknytning til et deponi og i  
Veltmannåa som avvanner størstedelen av testsenteret

## Forord

Rapporten omhandler resultater av undersøkelsene av vannkvaliteten i 5 miljøbrønner og to prøvestasjoner i Veltmannåa. Bakgrunnen var at SFT ønsket opplysninger om i hvilken grad et eldre avsluttet deponi på Bradalsmyra testsenter representerte en forurensningsfare for Veltmannåa, som avvanner store deler av testsenteret inklusive deponiet.

Prosjektet ble kontraktfestet 15. april 2004, og Nammo Raufoss AS (Nordic Ammunition Company) er oppdragsgiver. NIVA engasjerte Tore Østeraas i Interconsult som ansvarlig for nedsettingen av brønnene. Kontaktpersoner i Nammo Raufoss AS har vært Trond Aasmundstad og Sigmund Sofienlund. Ragnar Haugen har vært praktisk tilrettelegger på testsenteret. Alle takkes for bidrag til prosjektet.

Feltarbeidet har vært utført av Sigurd Rognerud og Jarl Eivind Løvik ved NIVAs Østlandsavdeling. Alle kjemiske analyser er utført av NIVAs laboratorium i Oslo.

Ottestad, 20. desember 2004



*Sigurd Rognerud*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Metoder</b>	<b>7</b>
2.1 Innsamling og vannanalyser	7
2.2 Overvåkningsbrønner	7
2.3 Klassifisering av tilstand	7
<b>3. Resultater</b>	<b>8</b>
3.1 Nedbørsforhold	8
3.2 Vannanalyser av brønnene	8
3.3 Vannanalysene i Veltmannåa	11
3.4 Moseanalysene i Veltmannåa	13
<b>4. Diskusjon</b>	<b>13</b>
<b>5. Referanser</b>	<b>15</b>

---

## Sammendrag

SFT ønsker opplysninger som kan avdekke om et deponi på Bradalsmyra testsenter representerer en forurensningsfare, og i tilfelle hvordan denne eventuelt skal stanses. Bradalsmyra er Nammo Raufoss AS sitt testsenter for utprøving av ny ammunisjon. Området avvannes i hovedsak av Veltmannåa som renner ut av feltet i nordlig retning og ender opp i Hunnselva. SFT ønsker en kvalifisert, oppdatert tilstandsvurdering av deponiet slik at overvåkingsprogrammet for Veltmannåa kan inkludere relevante metallanalyser, og at behovet for overvåking av grunnvannet ved deponiet avklares. Bedriften opplyser at deponiets omfang kan anslås til 100 – 150 m<sup>3</sup>. Deponiplassen har vært benyttet til samling av avfall fra overflatebehandlingsprosesser ved bedriften i ”noen”år fram til begynnelsen på 1970-tallet da plassen ble avsluttet og overfylt. Det ble ukentlig fraktet avfall fra produksjonen til deponiet hvor det også jevnlig ble tilsatt store mengder kalk. Det er uklart i hvilken grad det var faste masser (utfelte metaller etter såkalt avgiftning) som ble deponert, eller om metallene ble deponert som vandige løsninger. I alle tilfelle var det meningen at kalktilsetningen skulle skape et alkalisk miljø som skulle bidra til å felle ut metallene slik at de ble immobilisert og ikke forurenset Veltmannåa.

I 2004 ble det nedsatt 6 brønner hvorav en oppstrøms deponiet, en midt i deponiet og 3 nedstrøms. Hensikten med undersøkelsen er altså å klarlegge vannkvaliteten i brønnene og i Veltmannåa. Dermed å avklare om det lekker metaller fra deponiet, og om disse bidrar til å øke konsentrasjonene av metaller i Veltmannåa. Resultatene skal danne bakgrunn for måleprogrammet i den videre overvåkingen av Veltmannåa, og om det er behov for videre undersøkelser av vannkvaliteten i brønnene.

Undersøkelsene i 2004 viste at deponiet ikke forurenset Veltmannåa. Konsentrasjonene av metaller i Veltmannåa var generelt så lave at de ikke kan forventes å føre til negative biologiske effekter. Ved mange tilfeller sank konsentrasjonene av metaller i grunnvannet gjennom deponiet, antakelig som følge av felling av metallsulfider i det anaerobe, kalkrike deponiet. Likevel var det klare forskjeller i metallkonsentrasjonene i brønnene ved de ulike tidspunktene. De høyeste konsentrasjonene ble registrert da det var fuktigst i terrenget. Dette tyder på at liten gjennomstrømning av vann gir lengre oppholdstid og mer effektiv utfelling i deponiet. Når det gjelder konsentrasjonene av bly og kobber i Veltmannåa, så var resultatene i 2004 i god overenstemmelse med resultatene fra den årlige overvåkingene som har foregått siden 1991.

Bedriften vil forsette overvåkingen av vannkvaliteten i Veltmannåa og samtidig følge utviklingen i konsentrasjonene av metaller (kobber, krom, aluminium, bly, sink, kadmium, antimon og nikkel) i referansebrønnen (Brønn 0) og den siste brønnen etter deponiet (brønn 4). Dette vil være en enkel sjekk på at deponiet ikke begynner å lekke metaller i tiden som kommer. Vi vil også understreke at graving eller annen forstyrrelse av deponiet ikke må forekomme da dette kan mobilisere metaller som vil forurense Veltmannåa.

# 1. Innledning

Bradalsmyra er Nammo Raufoss AS sitt testsenter for utprøving av ny ammunisjon. Området avvannes i hovedsak av Veltmannåa som ender opp i Hunnselva (Fig. 1). Området rundt verkstedene og Miljøtestanlegget avvannes av to mindre bekker som renner ut i sydøstlig retning. Deponiet er lokalisert nord for kjøretrasen til det nordligste kulvert-anlegget, omtrent midt i mellom kulverten og standplassen (Fig.1). Bedriften opplyser at deponiets omfang i ettertid kan anslås til 100 – 150 m<sup>3</sup>. Deponiplassen har vært benyttet til samling av avfall fra overflatebehandlingsprosesser ved bedriften i ”noen” år. Det ble ukentlig fraktet avfall fra produksjonen til deponiet hvor det også jevnlig ble tilsatt store mengder kalk. Det er uklart i hvilken grad det var faste masser (utfelte metaller etter såkalt avgiftning) som ble deponert, eller om metallene ble deponert som vandige løsninger. I alle tilfeller var det meningen at kalktilsetningen skulle skape et alkalisk miljø som skulle bidra til å felle ut metallene slik at de ble immobilisert og ikke forurenset Veltmannåa.

Deponiet inneholder metaller som var ”avfall” etter overflatebehandling. Det var derfor aktuelt å undersøke konsentrasjonene av aluminium, krom, sink, kadmium, tinn, nikkel og kobber i grunnvannet oppstrøms, gjennom og nedstrøms deponiet. I tillegg har vi også inkludert bly og antimon som er bestanddeler i ammunisjon, samt viktige kompleksdannere (jern, mangan og løst organisk stoff) som er ”transportører” for metaller i vann. SFT ønsker opplysninger som kan avdekke om deponiet er en forurensningsfare, og i tilfelle hvordan denne eventuelt skal stanses. SFT ønsker en oppdatert tilstandsvurdering av deponiet slik at overvåkningsprogrammet for Veltmannåa inkluderer analyser av relevante metaller, og at behovet for overvåkning av grunnvannet ved deponiet avklares.

Hensikten med undersøkelsen er derfor å beskrive vannkvaliteten i grunnvannet ved deponiet og i Veltmannåa. Derneft å avklare om metaller lekker ut fra deponiet og forurenser Veltmannåa. Resultatene skal danne bakgrunn for måleprogrammet i den videre overvåkingen av Veltmannåa, og avklare om det er behov for ytterligere undersøkelser av vannkvaliteten i brønnene ved deponiet.



**Figur 1.** Bradalsmyra testsenter med veinett og prøvetakningspunktene i Veltmannåa (St.1 og 4) og i grunnvannsbrønnene oppstrøms deponiet (0), i deponiet (1) og nedstrøms (2, 3, 4).

## 2. Metoder

### 2.1 Innsamling og vannanalyser

Vannprøvene fra brønnene ble hentet opp med en såkalt elektrisk miljøpumpe som ble senket ned i røret. Det ble benyttet separate pumper for hver brønn. Vannflaskene ble fylt og korken skrudd på etter at ca. 2 flaskevolum hadde rent over kanten. Vannprøvene for metallanalyser ble samlet inn på syrevaskede plastflasker, mens de andre vannprøvene ble samlet inn på plastflasker. pH og TOC er analysert etter henholdsvis metode A 1 og G-2, mens alle metallene er analysert etter metode E 8-3 gitt i metodebeskrivelser ved NIVAs akkrediterte laboratorium. Det ble samlet inn prøver fra 4 prøverunder i 2004 (7. juli, 4. august, 30. august og 11. november).

### 2.2 Overvåkningsbrønner

Det ble satt ned 5stk 63 mm overvåkningsbrønner med filter og lokk. Renset filtersand (kvarts) ble benyttet til omfylling. Lengden på rørene er ca. 2 m. Brønnene ble pumpet rene en uke før første prøvetakning. Brønn 0 (referansen) ligger oppstrøms deponiet, Brønn 1 er i selve deponiet, mens Brønn 2, 3 og 4 ligger nedstrøms deponiet med henholdsvis økende avstand. Koordinatene er:

Brønn 0: N 60° 42.802', E 10° 32.987'      Brønn 1: N 60° 42.799', E 10° 32.947'  
 Brønn 2: N 60° 42.804', E 10° 32.930'      Brønn 3: N 60° 42.816', E 10° 32.908'  
 Brønn 4: N 60° 42.822', E 10° 32.900'

### 2.3 Klassifisering av tilstand

Statens Forurensningstilsyn (SFT) utviklet i 1992 et system der vannkvalitet ble inndelt i tilstandsklasser (Holtan og Rosland 1992). Denne klassifikasjonen ble revidert i 1997 (Andersen et al. 1997). Svakheten med systemet er at forurensningsgraden ikke nødvendigvis er knyttet til et konsentrasjonsintervall fordi naturlige konsentrasjoner av metaller varierer betydelig. Dessuten bør konsentrasjoner være knyttet opp mot eventuelle biologiske effekter. Det foreligger et klassifikasjonssystem der metallkonsentrasjoner er samholdt med biologiske effekter ut fra erfaringer fra skandinaviske undersøkelser (Lydersen et al. 2002). Dette systemet benyttes i vurderingen sammen med kritiske konsentrasjoner gitt i SFTs klassifikasjon fra 1997 (Tabell 1). Etter råd fra NIVA benyttet SFT dette som grunnlag for de krav som ble satt til vannkvalitet i forbindelse med utslippsøknaden for Regionfelt Østlandet.

**Tabell 1.** Klassifikasjon av metallkonsentrasjoner i forhold til biologiske effekter. Klasse 1: Ingen effekter på biota. Klasse 2: Noen sensitive arter kan påvirkes, men ingen effekter på fisk. Klasse 3: Effekter på biota ved reduksjon av artsantallet samt effekter på salmonide fisk. Klasse 4: Store effekter på økosystemet. Denne klassifikasjonen er basert på Lydersen et al. (2002), mens kritiske konsentrasjoner gitt av SFT (1997) er også vist.

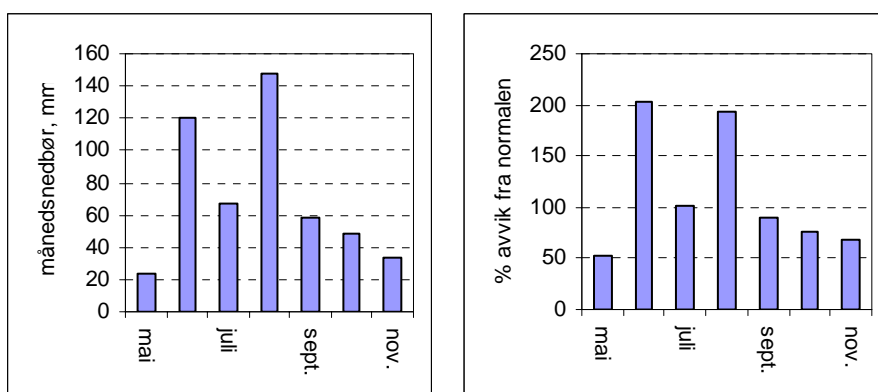
Element	Klasse 1 svært lav	Klasse 2 lav	Klasse 3 medium	Klasse 4 høy	SFT 1997 kritiske kons.
As (µg/l)	<0,1	0,1 - 0,4	0,4 - 1,4	>1,4	5
Cd (µg/l)	<0,2	0,2 - 0,5	0,6 - 1,0	>1	0,2
Cu (µg/l)	<3	3 - 15	16 - 30	>30	3
Cr (µg/l)	<5	5 - 15	16 - 40	>40	10
Hg (µg/l)	<0,002	0,002 - 0,005	0,005 - 0,010	>0,010	0,010
Ni (µg/l)	<10	10 - 30	31 - 100	>100	5
Pb (µg/l)	<1	1 - 5	6 - 15	>15	2,5
Zn (µg/l)	<30	30 - 60	61 - 100	>100	50



### 3. Resultater

#### 3.1 Nedbørsforhold

For å få en indikasjon på vannstrømmen gjennom deponiet har vi vist nedbørsdata fra Kise meteorologiske stasjon (Fig. 2). Nedbørsmengdene på Bradalsmyra er antagelig noe høyere enn på Kise, men avviket fra normalen er neppe vesentlig forskjellig. Juni og august var mer nedbørrik enn normalt, mens mai var uvanlig nedbørfattig. Nedbøren i juni førte derfor ikke til at området ble så fuktig som i august. I august sto det vann over deler av myra ved deponiet ved begge prøvetakningene.



**Figur 2.** Månedssum for nedbør og avvik fra normalen ved Kise meteorologiske stasjon i perioden fra juni til og med november 2004 (100 % er normalen).

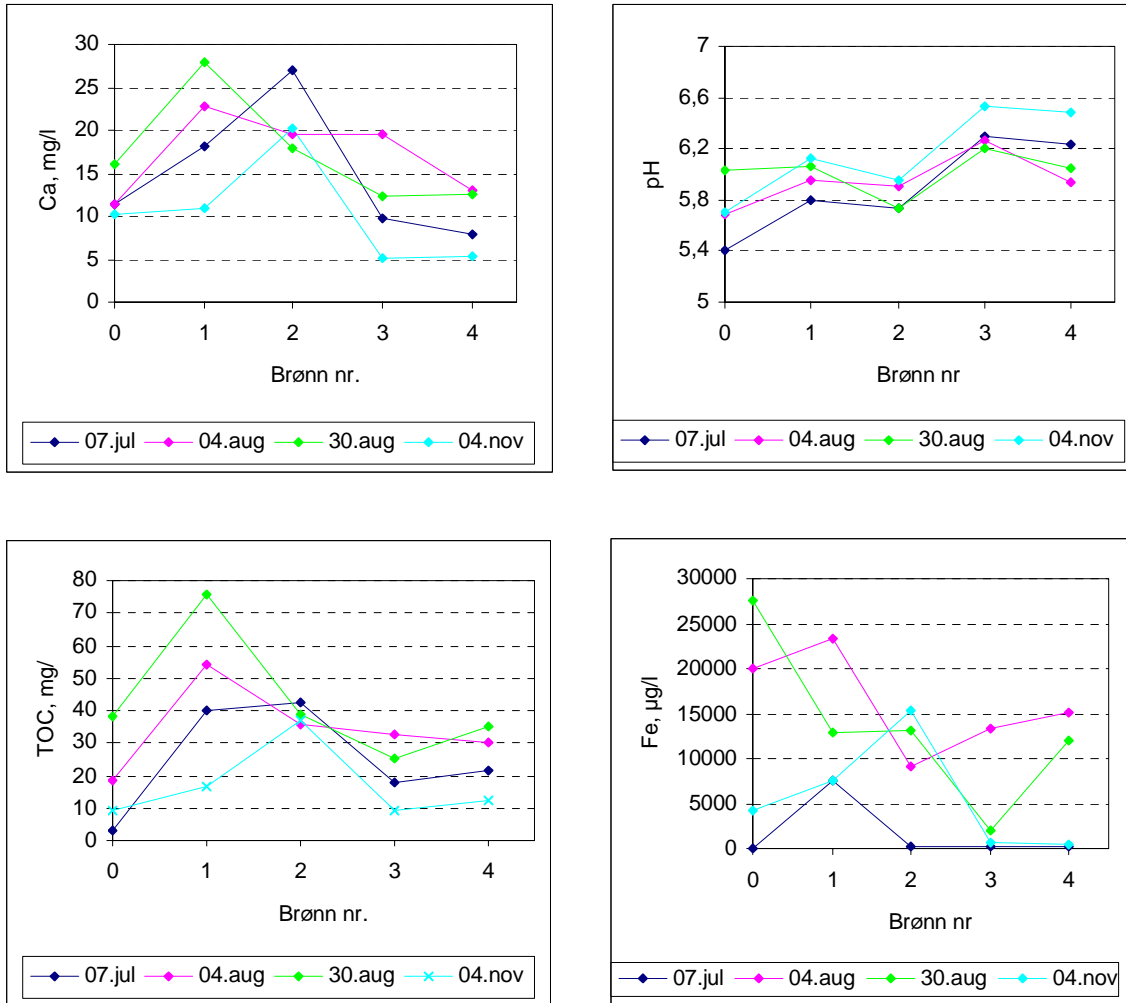
#### 3.2 Vannanalyser av brønnene

Vannkvaliteten i brønnene kan beskrives som kalkrikt, klart humuspåvirket vann (indikert ved TOC-målingene) og med svakt sur reaksjon (Tabell 2). Variasjonene i konsentrasjonene av kalsium, TOC

**Tabell 2.** Kjemiske analyser fra brønnene. Lokaliseringen av brønnene er gitt i Fig.1

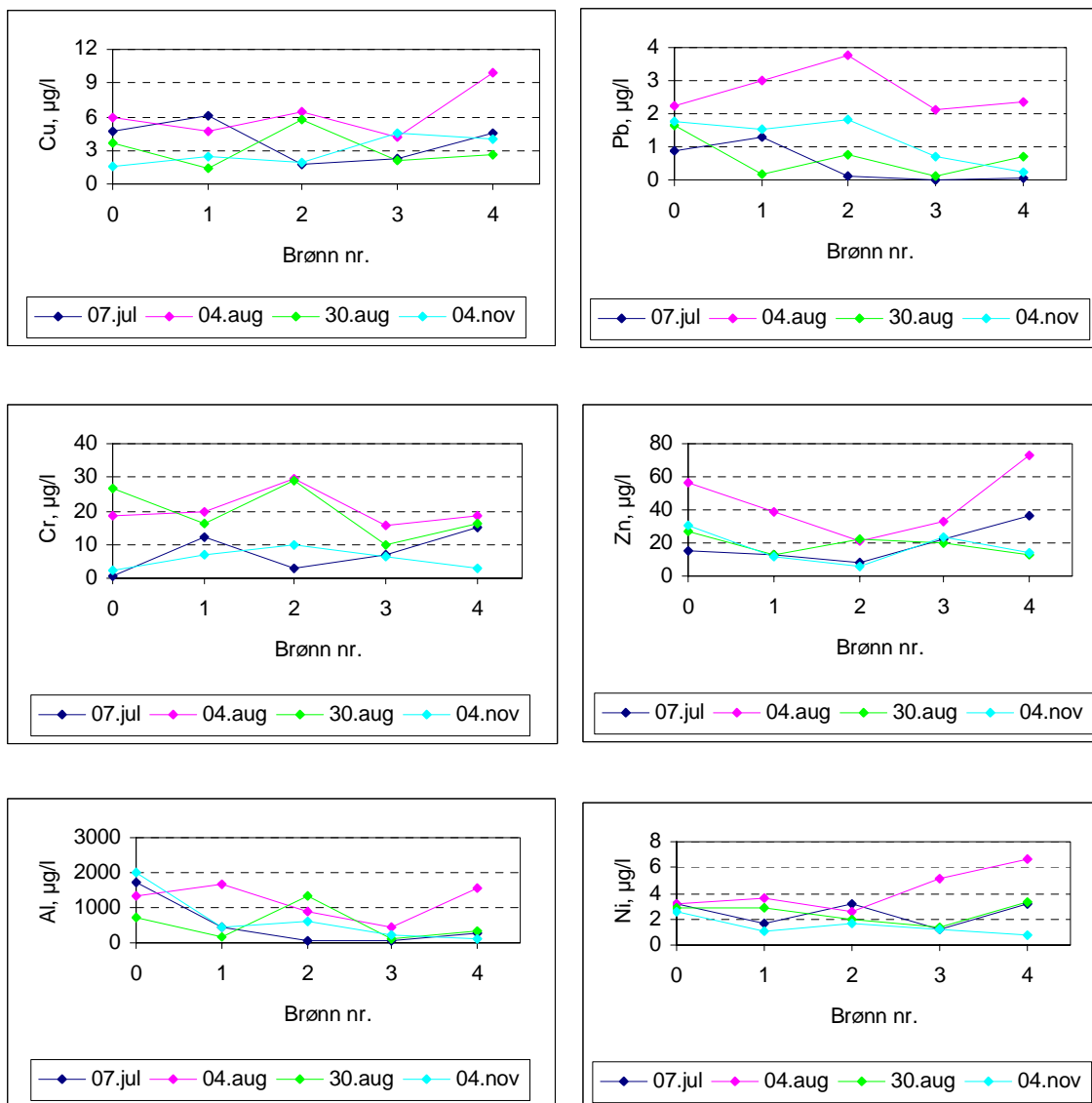
Brønn Nr.	Dato	pH	TOC mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Sn µg/l	Zn µg/l
0	07.07.2004	5,4	2,9	1700	11000	11,4	0,17	0,83	4,75	918	3,16	0,01	0,05	<0,1	157
1	07.07.2004	5,8	40,3	447	7470	18,1	0,044	12	20,1	329	1,7	1,31	0,2	<0,1	12,7
2	07.07.2004	5,73	42,5	53,7	21900	26,9	0,01	3,17	1,79	1680	3,1	0,12	0,1	<0,2	7,67
3	07.07.2004	6,29	17,9	64,7	230	9,71	0,053	7,22	2,31	1100	1,2	0,02	0,1	<0,3	22
4	07.07.2004	6,24	21,7	274	180	7,88	0,11	15,1	4,54	1100	3,12	0,04	0,24	<0,4	36,1
0	04.08.2004	5,69	18,4	1310	20100	11,5	0,226	18,8	5,93	1080	3,12	2,24	0,1	<0,1	56,8
1	04.08.2004	5,95	54,4	1640	23400	22,8	0,17	19,9	4,65	608	3,66	2,98	0,1	<0,1	38,9
2	04.08.2004	5,9	35,7	905	9030	13	0,256	29,3	6,35	454	2,61	3,75	0,2	<0,1	21
3	04.08.2004	6,27	32,7	454	13300	19,5	0,463	15,6	4,22	8600	5,13	2,09	0,2	<0,1	33,1
4	04.08.2004	5,94	30,3	1560	15200	13,1	0,748	18,4	9,83	2460	6,57	8,36	0,2	<0,1	73
0	30.08.2004	6,03	38,4	715	19300	16,1	0,14	26,6	3,66	1630	2,8	1,63	0,2	<0,1	26,9
1	30.08.2004	6,06	75,5	139	9800	27,8	0,05	16,2	1,43	703	2,89	0,17	0,2	<0,1	13,5
2	30.08.2004	5,74	39	1330	9900	17,9	0,19	28,9	5,75	1110	2	3,76	0,25	<0,1	22,8
3	30.08.2004	6,21	25	107	7700	12,4	0,02	10,1	2,16	876	1,3	0,13	0,1	<0,1	20,3
4	30.08.2004	6,04	34,8	314	5100	12,6	0,11	16,5	2,66	1830	3,26	0,71	0,1	<0,1	12,4
0	04.11.2004	5,7	9,2	1980	4140	10,2	0,061	2,2	15	761	2,51	1,74	0,08	<0,1	30,7
1	04.11.2004	6,13	16,6	440	7500	10,9	0,057	6,95	2,45	244	0,99	1,55	0,1	<0,1	11,3
2	04.11.2004	5,96	36,7	624	15300	20,3	0,086	9,82	1,98	1280	1,6	1,81	0,1	<0,1	6,12
3	04.11.2004	6,53	9,1	214	697	5,07	0,071	6,13	4,5	490	1,2	0,68	0,09	<0,1	23
4	04.11.2004	6,48	12,6	110	546	5,35	0,046	3	7,99	100	0,73	0,22	0,05	<0,1	14,7

og jern var betydelige i grunnvannet fra referansen, gjennom deponiet og videre nedstrøms ved hver målerunde. Variasjonene var også store mellom de fire målerundene (Fig.3). Konsentrasjonene av krom og aluminium var betydelige, men klart mindre for bly, kobber, sink og nikkel (Fig.4).



**Figur 3.** Konsentrasjoner av kalsium (Ca), totalt organisk karbon (TOC), jern (Fe) samt pH i brønnene ved de ulike prøvetakningsseriene.

Generelt sett økte konsentrasjonene av kalsium fra referansen (10-15 mg/l) til nær det dobbelte i enten brønn 1 (i den våteste perioden, august) eller brønn 2 (i de tørrere periodene). Deretter avtok de gradvis, og konsentrasjonene i brønn 4 var nær eller litt lavere enn verdiene i referansen ved hver prøvetakningsrunde. Dette mønsteret var også typisk for konsentrasjonene av løst organisk karbon (TOC) med unntak av brønn 4 der verdiene ved var litt høyere enn referansen. pH-verdiene økte fra 5,4 - 6,0 i referansen til 5,9 - 6,5 ved brønn 4 som ligger lengst vekk fra deponiet. Ved alle prøverundene var det gass som boblet ut når prøveflaskene ble fylt ved Brønn 1 og Brønn 2. Dette



**Figur 4.** Konsentrasjonene av kobber (Cu), krom (Cr), aluminium (Al), bly (Pb), sink (Zn), og nikkel (Ni) i brønnene ved de ulike prøvetakningseriene.

skyltes overmetning av  $\text{CO}_2$  (eventuelt også metan) i grunnvannet. I det aktuelle pH-intervallet er pH styrt av forholdet mellom konsentrasjonene av  $\text{HCO}_3^-$  og  $\text{CO}_2$ . Når overskuddet av  $\text{CO}_2$  diffunderer ut i prøveflaskene vil de målte pH-verdiene på laboratoriet bli noe høyere enn de var nede i grunnvannet da prøvene ble tatt. Det luktet  $\text{H}_2\text{S}$  da grunnvannet ble pumpet opp ved Brønn 1 og 2 ved alle prøvetakingene. Dette er en klar indikasjon på anaerobe forhold. Gassbobling og  $\text{H}_2\text{S}$ -lukt ble ikke observert ved de andre brønnene. Konsentrasjonene av jern var også tidvis høye i referansen og inne i deponiet. Variasjonene var betydelige, men generelt var verdiene lavere nedstrøms deponiet enn i selve deponiet.

Konsentrasjonene av krom og aluminium varierte betydelig særlig i referansen og brønn 2. Det var en tendens til at når konsentrasjonene var lav i referansen så økte konsentrasjonene av krom noe i deponiet. Konsentrasjonene av aluminium, kobber, bly, sink og nikkel i brønnene fra og med deponiet og nedstrøms var generelt like høye eller lavere enn i referansen. I brønn 4 var konsentrasjonene av sink, kobber og nikkel høyere enn i de andre den 4. august, men det er lite sannsynlig at dette skyldtes deponiet. I juni og november (dvs. de tørrere periodene) var aluminiumkonsentrasjonene generelt høyere i referansen enn i de andre brønnene. Konsentrasjonene av tinn (Sn) var lavere enn verdien for

sikre analyser ved alle tidspunktene, og kadmium-konsentrasjonene var generelt lave og ikke vesentlig forskjellig fra verdiene i referansen.

Det var en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av kobber, kadmium, bly, sink og nikkel i brønnene når alle analyseseriene ble behandlet samlet (Tab.3). Spesielt god samvariasjon var det mellom konsentrasjonene av kadmium, nikkel og sink. Konsentrasjonene av krom samvarierte godt med jern og antimon, mens konsentrasjonene av kalsium var signifikant korrelert til TOC. Konsentrasjonene av aluminium var negativt korrelert til pH og positivt til bly og sink.

**Tabell 3.** Korrelasjonsmatrise mellom noen av de viktigste metallene samt pH og totalt organisk karbon (TOC) i brønnene ved alle observasjonene i 2004. Uthevede verdier viser statistisk signifikante korrelasjoner på 95 % konfidensnivå.

	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	pH	Sb	TOC
Al												
Ca	-0,01											
Cd	0,43	0,01										
Cr	0,19	0,25	0,41									
Cu	0,43	-0,19	<b>0,76</b>	<b>0,47</b>								
Fe	0,37	0,42	0,38	<b>0,71</b>	0,25							
Mn	0,04	0,31	<b>0,58</b>	0,16	0,12	0,3						
Ni	0,42	0,3	<b>0,84</b>	0,33	<b>0,51</b>	0,41	<b>0,63</b>					
Pb	<b>0,62</b>	0,16	<b>0,77</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>	<b>0,57</b>	0,2	<b>0,61</b>				
pH	<b>-0,67</b>	-0,36	-0,11	-0,09	-0,17	-0,2	0,03	-0,28	-0,21			
Sb	-0,02	0,29	0,39	<b>0,73</b>	0,41	0,33	0,26	0,37	0,32	0		
TOC	-0,15	<b>0,86</b>	0,03	<b>0,52</b>	-0,08	<b>0,52</b>	0,14	0,26	0,23	-0,08	<b>0,5</b>	
Zn	<b>0,49</b>	-0,16	<b>0,82</b>	0,31	<b>0,72</b>	0,34	0,22	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	-0,07	0,26	-0,07

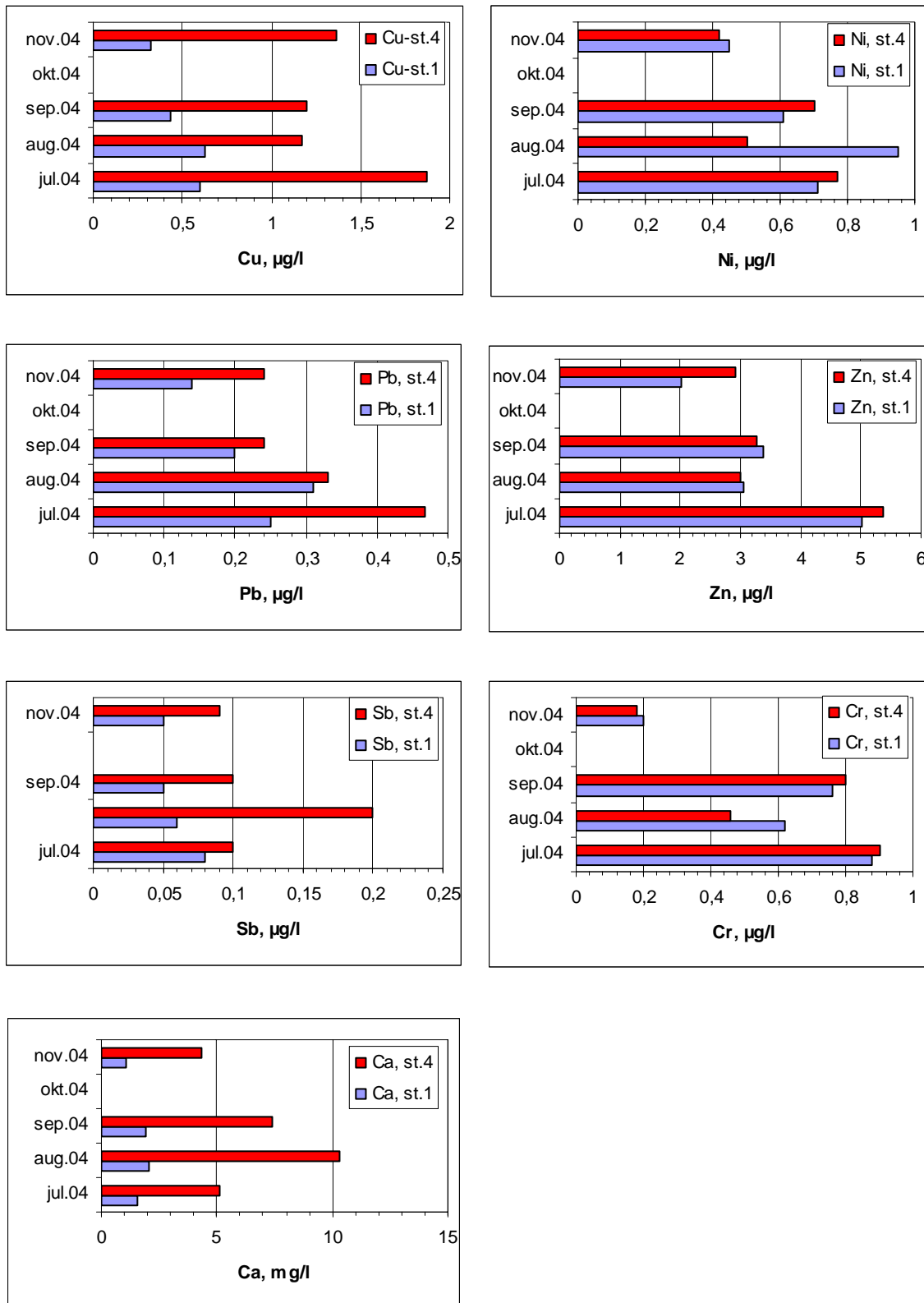
### 3.3 Vannanalysene i Veltmannåa

I Veltmannåa ble vannkvaliteten målt der bekken renner ut av Veltmantjernet (st.1) og der den renner ut av testsenteret (st. 4). Konsentrasjonene av kobber, bly og antimon økte noe i bekken på veien gjennom testsenteret, men konsentrasjonene var svært lave. Konsentrasjonene av nikkel, sink, kadmium og krom var nær de samme i bekken både inn og ut av feltet (Tab. 4, Figur 5).

Konsentrasjonene av metallene var lavere enn de konsentrasjoner som er satt som øvre grenser for vannkvalitetsklasse 1, det vil si svært lave konsentrasjoner og ingen effekt på biota (Tab.1)

**Tabell 4.** Vannkvalitet i Veltmannåa ved de fire prøveseriene.

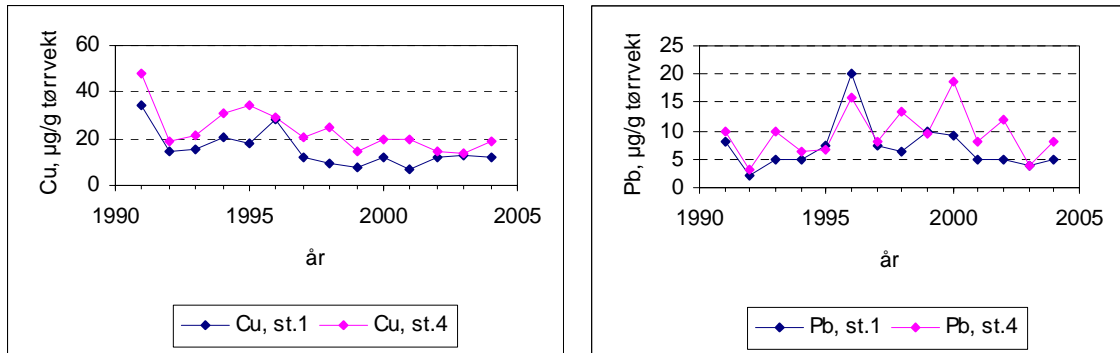
stasjon	dato	pH	TOC mgC/l	Ca mg/l	Al µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
1	07.07.2004	5,9	8	1,59	190	0,025	0,88	0,597	0,071	0,249	0,08	5,01
1	04.08.2004	5,8	10,2	2,03	189	0,025	0,62	0,625	0,95	0,31	0,06	3,05
1	30.08.2004	5,85	9,4	1,93	162	0,01	0,76	0,43	0,61	0,2	0,05	3,38
1	04.11.2004	5,56	7,9	1,06	160	0,01	0,2	0,321	0,45	0,14	0,05	2,01
4	07.07.2004	6,9	7,7	5,12	170	0,01	0,18	1,87	0,77	0,467	0,1	5,36
4	04.08.2004	7,05	8,7	10,3	60	0,02	0,46	1,17	0,5	0,33	0,2	2,99
4	30.08.2004	6,5	8,1	7,36	160	0,01	0,8	1,2	0,7	0,3	0,1	3,5
4	04.11.2004	6,98	6,3	4,33	110	0,01	0,1	1,36	0,42	0,24	0,09	2,93



**Figur 5.** Konsentrasjonene av et utvalg metaller i Veltmannåa ved de 4 prøveseriene i 2004. Resultatene fra 30. august er merket september i figuren for å skille dem fra resultatene 4. august.

### 3.4 Moseanalysene i Veltmannåa

Konsentrasjonene av kobber i Veltmannåa ved utløpet av Veltmantjernet (st.1) har vært relativt konstant siden 1997, og noe lavere enn i perioden før 1997 (Fig. 6). Når bekken renner ut av feltet (st.4) har konsentrasjonene vært litt høyere enn inn i feltet alle år, men også her har det vært en tendens til svakt synkende konsentrasjoner. Konsentrasjonene av bly er generelt svært lave i bekken og variasjonene i blykonsentrasjonene i mose skal ikke tillegges for stor vekt. Det synes imidlertid som om konsentrasjonene i bekken ut av feltet generelt har vært litt høyere enn inn (st.1) de fleste årene, og konsentrasjonene de siste årene har vært på samme nivå som ved begynnelsen av 1990-tallet.



**Figur 6.** Middelkonsentrasjonene av kobber (Cu) og bly (Pb) i vannmoser ved stasjon 1 og 4 i Veltmannåa i perioden 1991 til 2004. Resultatene er vist som middelerverdier basert på 4 – 5 innhøstninger og analyser i perioden juni-oktober (Rognerud 2004). Det er en god sammenheng mellom konsentrasjonene i moser og vann for begge metallene slik at 10 og 20 µg Pb/g tørrvekt i mose tilsvarer henholdsvis 0,25 og 0,5 µg Pb/l i vannet, mens 10 og 20 µg Cu/g tørrvekt i mose tilsvarer henholdsvis 0,55 og 1,0 µg Cu/l i vannet (Rognerud 2004).

## 4. Diskusjon

Undersøkelsene i Veltmannåa i 2004 har vist at konsentrasjonene av kadmium, krom, kobber, nikkel, bly, tinn og antimon var så lave at de høyst sannsynlig ikke har noen negative effekter på biota. Det var en liten økning i konsentrasjonene av bly, antimon og kobber i Veltmannåa på dens vei gjennom test-senteret, men ikke for nikkel, sink, krom og kadmium. Det er ikke mulig å si om dette skyldes den lokale geokjemien i feltet eller korrosjon av rester etter testing av ammunisjon. Det er kort vei til blyforekomstene i Bråstadelva og løsmasser kan være transportert fra disse forekomstene sydvestover til Bradalsmyra under siste istid. Vi mener at deponiet ikke er årsaken til økningen ut fra følgende vurdering:

Det var ingen indikasjoner på at konsentrasjonene av metaller i grunnvannet økte nevneverdig gjennom deponiet. Deponiet ligger på ei myr, og dette gjør at konsentrasjonene av organisk karbon (TOC) øker betydelig gjennom deponiet. En medvirkende årsak til dette er antagelig at den tilsatte kalken i deponiet er med på å øke bakteriell virksomhet som bryter ned humus til løste organiske stoffer. I de aller fleste tilfeller er metallkonsentrasjoner positivt korrelert til TOC. Derfor beskrives ofte løst organisk materiale (med kompleksbundet jern) som ”transportøren” av metaller fra nedbørfelt til vann og vassdrag. Slik var det ikke i deponiområdet. De observerte anaerobe forholdene i deponiet fører til dannelse av hydrogensulfid samt metan og karnbondioksid fra metanproduserende bakterier.

Det er derfor rimelig å anta at det finner sted en felling av metall-sulfider i det anaerobe overdekte deponiet. Tidligere, når metaller løst i syrer (fosforsyre er ofte brukt til overflatebehandling) ble tømt i det åpne deponiet, så kan høye konsentrasjoner av fosfat også ha ført til dannelsen av metallfosfater som generelt er svært tungtløselig i vann (Traina and Laperche 1999), men muligheten for dannelse av metallkarbonater kan også ha vært tilstede. Det kjemiske miljøet i deponiet i dag med anaerobe forhold og felling av tilførte løste metaller som metallsulfider kan være årsaken til at konsentrasjonene av flere metaller sank fra referansen og inn i deponiet når området var tørt (liten gjennomstrømning), mens denne effekten var liten når grunnvannstrømmen var stor og oppholdstiden var kort (4 august). Med unntak av krom (som også var høyere i referanse-brønnen) så var ikke metallkonsentrasjonene i den nederste brønnen særlig mye høyere enn i Veltmannåa når området var relativt tørt. Da konsentrasjonene av krom ikke viste økning i Veltmannåa gjennom testsenteret, er det lite sannsynlig at de andre metallene skulle bidra til vesentlige økninger i Veltmannåa. Vi mener derfor at deponiet ikke forurenser Veltmannåa. Konsentrasjonene av metaller i referansebrønnen kan indikere at løsavsetningene i området er mer anriket på metaller enn den stedege berggrunnen skulle indikere.

NIVA har overvåket konsentrasjonene av bly og kobber i Veltmannåa siden 1991 (Rognerud 2004). Overvåkingen er basert på vannmoser som biomontior og sammenhengen mellom konsentrasjoner i vann og mose er godt dokumentert (Rognerud 2004). Resultatene fra denne lange tidsserien har vist at konsentrasjonene av bly har vært lave (mindre enn 0,5 µg/l) og har ikke endret seg nevneverdig over tid. Konsentrasjonene har likevel generelt vært litt høyere ut av feltet enn inn i feltet slik de også har var i 2004. Det er umulig å si om denne beskjedne økningen skyldes geokjemiske forhold eller eventuell utlekking av korroderte prosjektilrester. Når det gjelder kobber, så har konsentrasjonene i Veltmannåa når den renner ut av feltet sunket fra ca. 2 µg/l på begynnelsen av 1990-tallet til ca 1 µg/l i 2003. Konsentrasjonene i bekken inn i feltet har hele perioden vært lavere, men den har også sunket i samme tidsperiode fra 0,8 µg/l til 0,5 µg/l. Årsaken til dette er vanskelig å si noe sikkert om, men endret bruk av feltet og/eller reduserte atmosfæriske avsetninger kan være noen av forklaringene.

Som en oppsummering kan vi si at deponiet på Bradalsmyra ikke forurenset Veltmannåa i 2004. Ved mange tilfeller sank konsentrasjonene av metaller i grunnvannet gjennom deponiet, antakelig som følge av felling av metallsulfider i det anaerobe, kalkrike deponiet. Tidligere når metallholdig væske ble fylt i det åpne deponiet, kan også tungt løselige metallfosfater og metllkarbonater ha blitt dannet. Konsentrasjonene av metaller i Veltmannåa var generelt lave, og de fører ikke til negative biologiske effekter. Når det gjelder konsentrasjonene av bly og kobber, så var resultatene i 2004 i god overenstemmelse med de årlige overvåkingene som har foregått fra 1991 og frem til i dag. Miljøbrønnene kan fortsatt brukes i overvåknings-sammenheng, og bedriften ønsker at vannkvaliteten i referansebrønnen (Brønn 0) og den siste brønnen etter deponiet (brønn 4) skal inngå i det videre overvåkningsprogrammet. Dette vil være en enkel sjekk på at deponiet ikke begynner å lekke metaller med tiden. Vi vil også understreke at graving eller annen forstyrrelse av deponiet kan få negative følger for vannkvaliteten i Veltmannåa ved at metallesulfider kan oksidere og metallene mobiliseres.

## 5. Referanser

Andersen, J.R.et al.1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT Veiledning 97:04.31s.

Lydersen, E., Løfgren, S and Arnesen, R.T. 2002. Metals in Scandinavian surface waters: effects of acidification, liming and potential reacidification. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.* 32: issue 2 and 3. 295 s.

Rognerud, S. 2004. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 13 års overvåkning. NIVA-rapport Lnr. 4791-2004. 53s.

Traina, S.J.and Laperche, V. 1999. Contaminant bioavailability in soils, sediments and aquatic environments. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 3365-3371.