

## **FFI RAPPORT**

### **MILJØMESSIGE VURDERINGER AV BLYFRI AMMUNISJON – Utvaskingsforsøk med forurenset jord.**

STRØMSENG Arnljot Einride, LJØNES Marita

**FFI/RAPPORT-2002/00818**



FFIBM/322201

Godkjent  
Kjeller 14 Juni 2002

Bjørn Arne Johnsen  
Forskningsjef

**MILJØMESSIGE VURDERINGER AV BLYFRI  
AMMUNISJON – Utvaskingsforsøk med forurenset  
jord.**

STRØMSENG Arnljot Einride, LJØNES Marita

FFI/RAPPORT-2002/00818

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge



P O BOX 25  
 NO-2027 KJELLER, NORWAY  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT -2002/00818 1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/322201	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES		
4) TITLE MILJØMESSIGE VURDERINGER AV BLYFRI AMMUNISJON – Utvaskingsforsøk med forurenset jord.  ENVIRONMENTAL ASSESSMENT STUDY OF AMMUNITION NOT CONTAINING LEAD – Column study with polluted soil				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) STRØMSENG Arnljot Einride, LJØNES Marita				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           a) <u>Heavy metal</u>            b) <u>Lead</u>            c) <u>Antimony</u>            d) <u>Shooting range</u>            e) <u>Impact berm</u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           IN NORWEGIAN:            a) <u>Tungmetall</u>            b) <u>Bly</u>            c) <u>Antimon</u>            d) <u>Skytebane</u>            e) <u>Kulefangervoll</u> </td> </tr> </table>			a) <u>Heavy metal</u> b) <u>Lead</u> c) <u>Antimony</u> d) <u>Shooting range</u> e) <u>Impact berm</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Tungmetall</u> b) <u>Bly</u> c) <u>Antimon</u> d) <u>Skytebane</u> e) <u>Kulefangervoll</u>
a) <u>Heavy metal</u> b) <u>Lead</u> c) <u>Antimony</u> d) <u>Shooting range</u> e) <u>Impact berm</u>	IN NORWEGIAN: a) <u>Tungmetall</u> b) <u>Bly</u> c) <u>Antimon</u> d) <u>Skytebane</u> e) <u>Kulefangervoll</u>			
<b>THESAURUS REFERENCE:</b>				
8) ABSTRACT <p>The Norwegian Defence Research Establishment has carried out an environmental assessment study of new ammunition not containing lead. This ammunition contains a steel core instead of lead. An important approach was to evaluate the change in leakage of soluble heavy metals in old impact berms with use of the new ammunition.</p> <p>Tests were done in the laboratory. Leakage from polluted soil columns from old impact berms were compared with the leakage of the same columns only added powder from ammunition not containing lead. The results showed that the concentration of soluble lead- and antimony species were reduced in the columns added ammunition with a steel core.</p> <p>Conclusions          This study indicates that it is an environmental advantage to use the new ammunition not containing lead, at old and new shooting ranges. One of the reasons is that corrosion products of steel have a potential to reduce soluble species of lead and antimony in the soil pore water. The infiltration of rainwater has the potential to flush the pore water, which can become saturated with dissolved metals and carry this contamination to the groundwater. Another advantage to start using the new ammunition is that the use of heavy metals would decrease by 70%.</p>				
9) DATE  14. June 2002	AUTHORIZED BY This page only  Bjørn Arne Johnsen	POSITION  Director of Research		

ISBN-82-464-0619-1

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHOOLD**

	<b>Side</b>
1	INNLEDNING ..... 7
2	TEORETISK BAKGRUNN ..... 9
2.1	Korrosjon av metaller ..... 9
2.2	Jordsmonnfaktorenes betydning ..... 11
2.3	Galvanisk korrosjon..... 11
3	MATERIALER OG METODER ..... 12
3.1	Prosjektilene i studiet..... 12
3.2	Ekstraksjonsstudiet ..... 15
3.3	Kolonnestudiet:..... 17
3.3.1	Prøvested og karakterisering av jorda i kolonnene ..... 17
3.3.2	Forbehandling av jord og sammensetning av jordkolonnene ..... 18
3.4	Kolonnestudiet..... 19
3.4.1	Studieoppsett..... 19
3.4.2	Jordkolonnene ..... 19
3.4.2.1	Kolonne A1 og A2 ..... 20
3.4.2.2	Kolonne B1 og B2 ..... 20
3.4.2.3	Kolonne C1 og C2 ..... 21
3.4.2.4	Kolonne E0, E1 og E2 ..... 21
3.4.2.5	Kolonne 0..... 21
3.5	Tilførsel av væske til kolonnene ..... 22
4	RESULTATER ..... 24
4.1	Ekstraksjonsstudiet ..... 24
4.2	Kolonnestudiet..... 26
4.3	Analyseusikkerhet..... 30
5	DISKUSJON..... 31
6	KONKLUSJON..... 32
6.1	Fordeler ved å ta i bruk blyfri ammunisjon..... 32
6.2	Ulemper ved å ta i bruk blyfri ammunisjon..... 33
6.3	Anbefalinger ..... 33
A	PRØVENUMMERE MED BESKRIVELSE..... 34
B	ANALYSERAPPORT EN FRA FOLAT..... 35
C	ANALYSERAPPORT TO FRA FOLAT..... 38

D	ANALYSERAPPORT FRA INSTITUTT FOR JORD- OG VANNFAG .....	41
	LITTERATUR.....	42
	FORDELINGSLISTE.....	43



## MILJØMESSIGE VURDERINGER AV BLYFRI AMMUNISJON – Utvaskingsforsøk med forurenset jord.

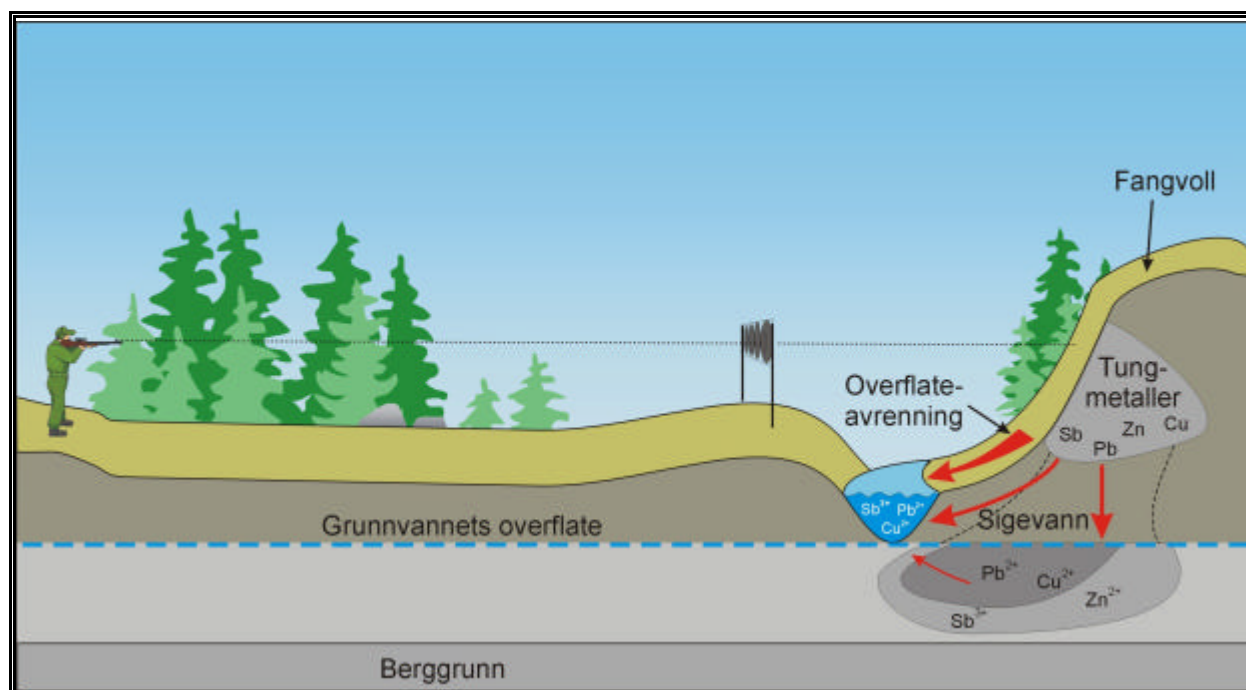
### 1 INNLEDNING

Forsvarets bruk av tradisjonell ammunisjon i håndvåpen medfører tungmetallforurensning av skyte- og øvingsfelt. Ammunisjonen består som regel av en utvendig kobbermantel med en innvendig blykjerne. Begge metallene er legert med andre metaller både for å øke hardheten og for å bedre støpligheten. I hovedsak vil kobberet være levert med sink mens blyet vil være levert med antimon. I tillegg vil det være små mengder med andre metaller, som f.eks. arsen og nikkel. Dersom konsentrasjonen av tungmetaller i jord- og vannsystemer er høy nok, kan de påføre irreversible skader på planter og dyr. Det er imidlertid viktig å poengtere at det ikke bare er konsentrasjonen av tungmetaller som er avgjørende for hvor toksiske de enkelte metallene er for organismene. Metallenes ulike kjemiske forbindelser og tilstandsformer er også avgjørende for effektene. Det store antallet prosjektiler som brukes årlig fører til at store mengder tungmetaller blir deponert på skytebaner og i skytefelt. I 2001 ble det brukt ca. 13 millioner skudd med håndvåpen i Forsvaret. Dette utgjorde 72 tonn bly (Pb), 31 tonn kobber (Cu), 8,2 tonn antimon (Sb) og 3,4 tonn sink (Zn). Akkumulering av tungmetaller fører til at det på enkelte steder kan løses ut korrosjonsprodukter av tungmetaller som blir transportert fra skytebanen og ut i bekker og ned til grunnvann (Figur 1.1)(1).

I miljømålene i St. meld. nr. 24 "Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand" settes det klare mål om å redusere utslipp og spredning av miljøgiftene bly og kobber vesentlig fram mot 2010 (2). Forurensningsmyndighetene stiller også strenge krav, og har blant annet vedtatt en lov om totalforbud mot bruk av blyhagel på skytebaner etter 1. juli 2002 og til viltjakt etter 1. januar 2005. I tillegg er det også vedtatt forskrifter som setter grenser for hvilke typer arealbruk det kan være på områder der grunnen er forurenset over klart definerte konsentrasjonsnivåer. Mange skytebaneområder omfattes av dette regelverket, og det kan bli nødvendig med kostbare oppryddingstiltak for å imøtekomme myndighetenes krav. Forsvaret må derfor ha fremtidsrettede ambisjoner om å finne gode og varige løsninger på hvordan man kan begrense bruken av de miljøfarlige tungmetallene ved skyting. Viktig er det også når Forsvaret skal ta i bruk et nytt stort øvingsområde, slik som Regionfelt Østlandet (RØ), at man vurderer å bruke de mest miljøvennlige alternativene som eksisterer.

Nordic ammunition company (NAMMO) har produsert 7,62 mm og 5,56 mm blyfri ammunisjon som de har kalt "non toxic" ammunisjon. Denne ammunisjonen består av en mantel av en kobber- og sinklegering med en innvendig stålkjerne (gjelder "Ball Non Toxic"). I denne rapporten er det valgt å bruke navnet blyfri isteden for "non toxic". Årsaken er at kobber er svært giftig for mange akvatiske organismer, noe som gjør at det blir misvisende å kalle ammunisjonen "non toxic". De nyutviklede prosjektilene er et godt alternativ til den tradisjonelle blyammunisjonen, og er i følge produsenten selv innenfor de kvalitetskrav som stilles av Forsvaret og NATO.

Forsvarets logistikkorganisasjon / Landforsvar (FLO/Land) har nedsatt en gruppe for å vurdere anskaffelse av blyfri ammunisjon. I denne forbindelse fikk Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) i oppdrag å gjøre vurderinger av de miljømessige konsekvenser ved å ta i bruk denne typen ammunisjon. Dette oppdraget er gjennomført i samarbeid med Forsvarsbygg. FFI har med bakgrunn i oppdraget gjennomført et utlekkingsstudium. Denne rapporten beskriver resultater fra dette studiet, som ble utført ved Forsvarets forskningsinstitutt vinteren 2002. Studiet har hatt som hovedhensikt å gi svar på hvorvidt utlekkingspotensialet av løste bly- og antimonforbindelser fra gamle skytebaner endres om man tar i bruk den nye typen blyfri ammunisjon.



Figur 1.1 De viktigste spredningsveier for tungmetallforbindelser fra fangvoller til grunnvann og overflateresipienter i nær tilknytning til skytebaner

## 2 TEORETISK BAKGRUNN

Korrosjonsprosesser av metaller i jordsmonn er meget komplekse. Dette skyldes blant annet stor variasjon i jordsmonnsfaktorer, vannkvalitet og egenskaper til de ulike metallene. Samtidig vil det være vekselvirkninger mellom disse. For å studere utlekkingen av metaller fra ny blyfri ammunisjon, vil det derfor være nødvendig å sammenligne denne ammunisjonen med tradisjonell blyholdig ammunisjon under like betingelser i laboratoriet. Under slike forhold har man mulighet for å kontrollere de klimatiske faktorene, og man kan teste flere typer jordsmonn. For å ha like betingelser knyttet til jordsmonnsfaktorene gjøres det sammenligninger i jordkolonner der den eneste faktoren som er endret, er om det er innblandet metallsporene fra den blyfrie ammunisjonen eller ikke. På denne måten vil man kunne vurdere utlekkingspotensialet for blyfri ammunisjon opp mot gammel blyammunisjon.

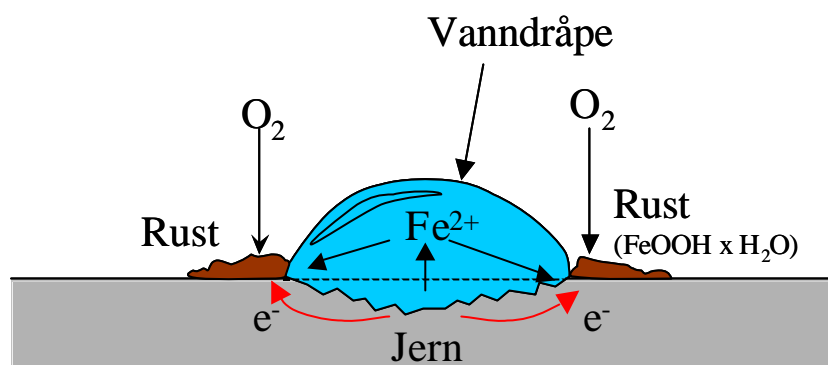
### 2.1 Korrosjon av metaller

Mobilisering av tungmetaller i jordsmonn på en skytebane skjer ved dannelse av korrosjonsprodukter på overflaten av prosjektiler eller på fragmenter av disse. Korrosjonprosessene kan deles inn i tre hovedgrupper (3):

1. Våt korrosjon, der korrosjonsmediet er vann med oppløst stoff. Mediet er en elektrolytt, og prosessen er typisk elektrokjemisk
2. Korrosjon i andre flytende medier, f eks saltsmelter og flytende metall
3. Tørr korrosjon, også kalt kjemisk korrosjon, der korrosjonsmediet er en tørr gass. Mest kjente eksempel er høgtemperaturoksidasjon

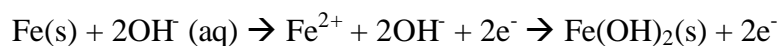
For metaller tilknyttet skytebaner, vil det være våt (også kalt elektrokjemisk) korrosjon som er den gjeldende prosessen for korrosjon. Korrosjon av metallene består i en anodisk og en katodisk reaksjon. Den anodiske reaksjonen er en oksidasjonsreaksjon som løser metallet M opp, og overfører det til den omkringliggende væsken på en ionisk form  $M^{2+}$  (Figur 2.1). Den omkringliggende væsken som metallet løses ut i kalles elektrolytt. Den katodiske reaksjonen som balanserer elektrontapet til metallet, skjer ved en reduksjon av f eks oksygen. I de kjemiske ligningene under er det vist et eksempel på korrosjon av sink. Ved anoden skjer det en oksidasjon ved at metallet gir fra seg elektroner og frigjør metallet som ion ut i elektrolytten.



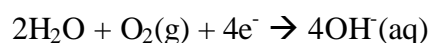


Figur 2.1 Korrosjon av jern. Dråpen som ligger på jernoverflaten virker som et korrosjonssenter, og her blir jernet oksidert av oksygenet i lufta

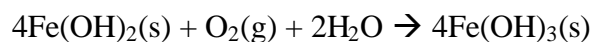
Oksidasjon av jern i kontakt med vann er beskrevet med følgende kjemiske ligninger:



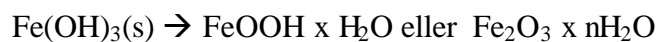
og reduksjonstrinnet er



Jern(II) hydroksid vil raskt omdannes til jern(III) hydroksid:



Spontant skjer det deretter en omdanning til hydratisert jern(III)oksid (rød rust):



Disse reaksjonene utgjør en elektrokjemisk celle hvor den drivende kraften er et spenningspotensial mellom en anode og en katode. I tilfellet beskrevet over foregår den anodiske reaksjonen på overflaten når metallet oksideres. Den katodiske reaksjonen skjer når oksygen reduseres.

Ulike metaller har forskjellig elektrodepotensial i forhold til hverandre (3). Det er dette man drar nytte av når man lager battericeller. Elektrodepotensialet kommer av at metallene har ulik evne til å avgis elektroner i forhold til hverandre. Edle metaller har liten evne til å avgis elektroner og dermed vil disse korrodere meget sakte. Spenningsrekka er et mål på edelhet og viser hvilke metaller som vil øke korrosjonen av andre metaller. Om et metall har høyere elektrodepotensial sammenlignet med et annet vil det med lavest potensiale virke som en anode i forhold til det metallet med høyere potensial som da virker som katode. Rent jern har et elektrodepotensial ( $E^\circ$  ved  $25^\circ\text{C}$ ) på  $-0,44\text{V}$  mens bly og kobber har respektive  $-0,13\text{V}$  og  $0,34\text{V}$  (3). Ved de gitte betingelsene vil derfor jern fungere som en anode både for rent bly og kobber. Dette bildet vil endres om metallene legeres for å gi metallet ønskede egenskaper.

## 2.2 Jordsmonnfaktorenes betydning

I jord er det en rekke faktorer som påvirker korrosjonshastigheten og hvilke korrosjonsprodukter som vil dannes av metallene. Jordens luft- og vanntilgang er av stor betydning for korrosjon, men også ledningsevne, oppløste salter, pH og mikrobiologisk aktivitet påvirker i større eller mindre grad (3). Luft- og vanntilgangen i jord blir i stor grad påvirket av jordens tetthet og tekstur (4). Organiske syrer fra humus virker relativt korrosivt på stål, sink, bly og kobber og slike organiske humussyrer er det mye av i tilknytning til myrer.

Korrosjon ved hjelp av oksygenreaksjoner dominerer i luftmettede vannløsninger når pH er høyere enn ca 3. Oksygenreaksjoner vil derfor være den avgjørende katodereaksjonen i jord. På flater som er fri for diffusjonshindrende belegg (korrosjonsbelegg) er diffusjonskoeffisienten sterkt avhengig av temperatur. Dette har størst betydning for oksygenkorrosjon. Det vil si at når temperaturen øker, vil diffusjonen skje raskere og dermed øke korrosjonshastigheten. Når det er et oksidasjonsmiddel i jordvæsken som er rundt metallet, og når konsentrasjonen av dette øker, vil korrosjonspotensialet øke.

## 2.3 Galvanisk korrosjon

Når materialer av ulik edelhet kobles sammen, vil det edlere metallet tjene som et ekstra sete for katodereaksjonen, og dette balanseres ved økt oppløsning av det mindre edle metallet (galvanisk korrosjon)(3). Dersom det edlere metallet har et stort overflateareal og det mindre edle metallet et relativt lite, vil en få et stort omfang av den katodiske reaksjonen som må balanseres med en tilsvarende kraftig anodisk reaksjon på et lite areal. Intensiteten av den anodiske reaksjonen blir sterk, og korrosjonshastigheten blir høy.

### 3 MATERIALER OG METODER

Forsøkene bestod av et ekstraksjonsstudium og et kolonnestudium. Ekstraksjonsstudiet ble utført med metallspion fra blyfrie prosjektiler og blyholdige prosjektiler. I kolonnestudiet ble det også benyttet metallspion fra blyfrie prosjektiler og blyholdige prosjektiler blandet inn jordsøyler med ulike typer jordsmonn. Tabell 3.1 viser innholdet av tungmetaller som i hovedsak utgjør vekten til prosjektilet. Det er vist to typer tradisjonell blyholdig ammunisjon og to typer blyfri ammunisjon i tabellen.

Nr	Type prosjektil	Vekt i gram (% av totalvekt)					
		Total	Bly	Kobber	Sink	Antimon	Stål
1	7,62 x 51 mm skarp NM 60	9,3	5,65 (60,0)	2,75 (29,2)	0,31 (3,3)	0,71 (7,5)	-
2	9 mm skarp	7,5	5,49 (73,2)	0,25 (3,3)	0,03 (0,4)	0,61 (8,1)	1,12 (14,9)
3	7,62 x 51 mm Ball NT 9	9,0	0	3,47 (38,5)	0,38 (4,2)	0	5,15 (57,2)
4	7,62 x 51 mm Tracer NT 9	8,15	0	4,0 (49,1)	0	0	4,15 (50,9)

Tabell 3.1 *Innholdet av tungmetaller og stål i ulike typer prosjektiler. Prosjektiltyper 1 og 3 inngikk i begge studiene. Tallet i parentes er prosentvis tyngde av metallet i forhold til totalvekt av prosjektilet*

#### 3.1 Prosjektilene i studiet

Prosjektilene som inngikk i ekstraksjons- og kolonnestudiet bestod av to typer ammunisjon. Det ble benyttet tradisjonell 7,62 x 51 mm (NM60) blyholdig ammunisjon, og en ny type 7,62 x 51 mm blyfri ammunisjon fra NAMMO som kalles "7,62 x 51 mm Ball Non Toxic 9". For å simulere mange års bruk av den nye typen ammunisjon måtte prosjektilene pulveriseres. De ble først forsøkt pulverisert med nedkjøling og knusing. Prosjektilene ble nedkjølt med flytende nitrogen for deretter raskt å bli overført til en knusemølle. Resultatet av dette var negativt fordi knusemøllen ble klogget av prosjektilene, som ikke ble "sprø" nok under nedkjølingen. Løsningen ble derfor å frese hvert enkelt prosjektil til spon. Dette ble utført på Fellesverkstedet ved FFI. Til å begynne med var ikke denne oppfresingen helt enkel å få til uten en uønsket slitasje på fresestålet. En slik slitasje ville ha kontaminert prosjektilsponet med stål fra freserhodet, noe som ikke var ønskelig. Årsaken til disse problemene var at de nye typene blyfri ammunisjon inneholdt en herdet stålkjerne. For ikke å kontaminere metallspionet, måtte derfor kulene anløpes (avherdes) før fresing. Denne anløpingen ble gjort ved å varme kulene opp til 700 °C i en glødeovn. Deretter ble de sakte kjølt ned til romtemperatur. Det oppstod da en tørrkorrosjonsprosess, hvor det dannet seg en oksidert overflate på prosjektilene (se Figur 3.1).

Den oksiderte overflaten antas ikke å ha påvirket studiet. Under fresing var det ikke mulig å frese opp hele prosjektilet. Årsaken er at prosjektilene må være godt festet under fresing. Resultatet var at litt over 50 % av kula ble frest til spon. Figur 3.2 viser sponet av de oppfreste prosjektilene. De større fragmentene på bildet ble fjernet og inngikk ikke i studiene. På Figur 3.3 er restene fra fresingen av prosjektilene avbildet.



*Figur 3.1*      *Prosjektiler før (t.v) og etter (t.h) anløping av den herdede stålkjernen. Det ble dannet et grå/brunt oksidbelegg på overflaten av prosjektilene*



*Figur 3.2 Resultat av oppfresingen av de blyfrie prosjektiler som inngikk i studiene*



*Figur 3.3 Rester av freste prosjektiler.*



### 3.2 Ekstraksjonsstudiet

Ekstraksjoner blir brukt i ulike typer analyser. Hensikten med ekstraksjonen er å kvantifisere mengden av et stoff som kan løses ut fra en fast fase og over til en væskefase. En slik fast fase kan eksempelvis være jord eller metalloverflater. Hensikten med ekstraksjonen i dette studiet, var å vurdere potensialet for utlekking av løselige korrosjonsforbindelser på kort sikt om man blander ulike metaller sammen i en væskeløsning av ulik kvalitet. Studiet skulle også gi indikasjoner på i hvilken grad metallforbindelsene kunne frigjøres og løses, avhengig av type væske som ble benyttet. Det skulle også studeres i hvilken grad en oppvarming av metallpulveret i et klimakammer ville innvirke på hastigheten av korrosjonsprosessene.

Metallspon av tradisjonell blyholdig ammunisjon og av ny type blyfri ammunisjon ble overført til glassflasker med skrulokk, slik Tabell 3.3 viser. Det ble benyttet 15 glass med skrukork som ble tilsatt tre ulike typer væsker. Ekstraksjonsvæskene som ble brukt i studiet ble laget på følgende måte:

1. Ultrarent vann (UR vann)
2. Ultrarent vann justert til pH 4 med salpetersyre  $\text{HNO}_3$  (UR4 vann)
3. Filtrert nedbørsvann (Lillestrøm 2000)

Karakteriseringen av nedbørsvannet er vist i Tabell 3.2. Glass nr 10, 11 og 12 ble behandlet spesielt. Disse glassene ble satt i varmeskap ved en temperatur på 80 °C med en relativ luftfuktighet over 90 % i 4 dager. Deretter ble alle glassene i forsøket tilført 25 ml ekstraksjonsvæske. Glassene stod på ristebord 1 time for deretter å stå rolig i 2 timer, dette for at partikler i suspensjonen eventuelt skulle bunnfelle. Prøvene ble tilsammen ekstrahert med væske i 3 timer før de ble filtrert og konserverte (0,5 %  $\text{HNO}_3$  i prøven). Prøvene ble oppbevart i kjøleskap inntil de ble analysert for bly, kobber, sink, antimon og jern.

Parameter	Kjemisk forkortelse	Konsentrasjon $\mu\text{g/l}$
Kalium	K	< 300
Kalsium	Ca	150
Magnesium	Mg	36
Natrium	Na	370
Bly	Pb	<15
Kobber	Cu	35
Sink	Zn	47
Løst organisk karbon	DOC	1600

Tabell 3.2 Konsentrasjonen av utvalgte metallioner og løst organisk karbon i nedbørsvannet som ble brukt i ekstraksjonsstudiet

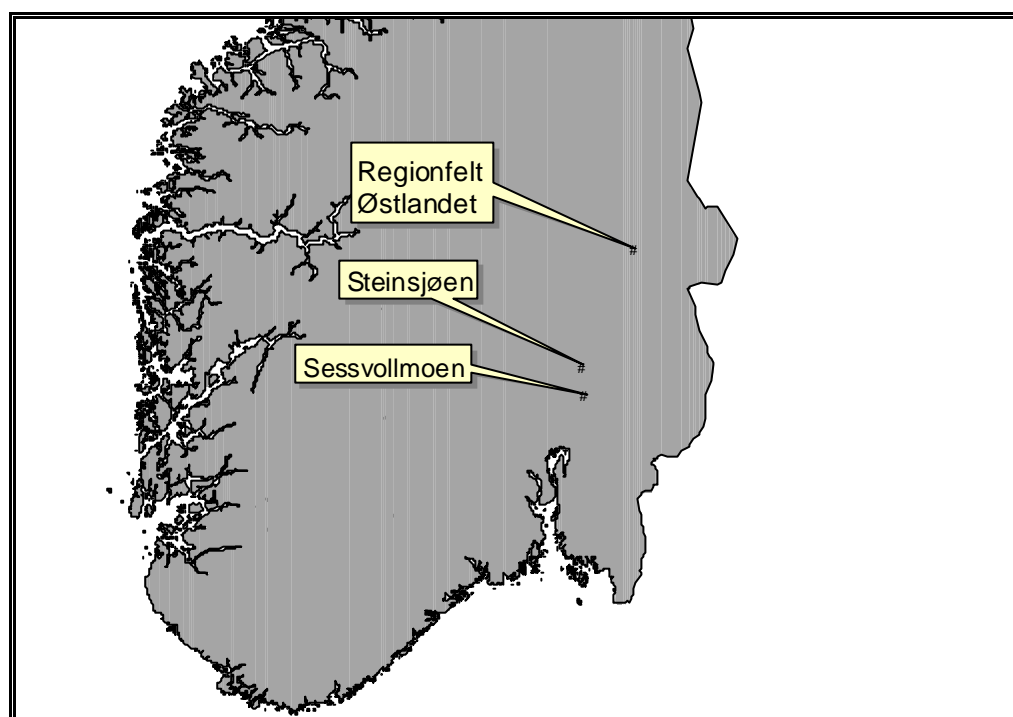
Glass nr	Metallspon av	Mengde (g)	Væske	Mengde (ml)
1	Tradisjonell blyholdig ammunisjon	2,5	UR vann	25
2	Tradisjonell blyholdig ammunisjon	2,5	UR4 vann	25
3	Tradisjonell blyholdig ammunisjon	2,5	Nedbørsvann	25
4	Blyfri ammunisjon	2,5	UR vann	25
5	Blyfri ammunisjon	2,5	UR4 vann	25
6	Blyfri ammunisjon	2,5	Nedbørsvann	25
7	Tradisjonell blyholdig og blyfri ammunisjon	2,5 + 2,5	UR vann	25
8	Tradisjonell blyholdig og blyfri ammunisjon	2,5 + 2,5	UR4 vann	25
9	Tradisjonell blyholdig og blyfri ammunisjon	2,5 + 2,5	Nedbørsvann	25
10	Tradisjonell blyholdig og blyfri ammunisjon	2,5 + 2,5	UR vann	25
11	Tradisjonell blyholdig og blyfri ammunisjon	2,5 + 2,5	UR4 vann	25
12	Tradisjonell blyholdig og blyfri ammunisjon	2,5 + 2,5	Nedbørsvann	25
13	Referanse uten metallspon fra ammunisjon	0	UR vann	25
14	Referanse uten metallspon fra ammunisjon	0	UR4 vann	25
15	Referanse uten metallspon fra ammunisjon	0	Nedbørsvann	25

*Tabell 3.3 Oversikt over tilsetting av metallspon og ekstraksjonsvæske i de ulike glassene (UR vann = Ultrarent vann. UR4 vann = ultrarent vann justert til pH 4). Glass 10, 11 og 12 er varmebehandlet i klimakammer*

### 3.3 Kolonnestudiet:

#### 3.3.1 Prøvested og karakterisering av jorda i kolonnene

Til kolonnestudiet ble det hentet jord fra skytebanevoller fra tre ulike steder på Østlandet, vist i Figur 3.4 og Tabell 3.4. Prøvestedene var Steinsjøen, Sessvollmoen og RØ. Fra Steinsjøen og Sessvollmoen ble det tatt ut prøver fra gamle skytevoller med høye tungmetallkonsentrasjoner. Innholdet av tungmetaller i de ulike jordprøvene er vist i Tabell 3.5. Fra RØ ble det tatt prøver av morenejord fra masser som potensielt kan bli brukt i skytebanevoller i tilknytning til skytebaner som skal anlegges i skytefeltet. En beskrivelse av kornfordeling, jordart, glødetap, pH og kationebyttingskapasitet er vist i Tabell 3.6.



Figur 3.4 Lokalteter som ble benyttet til å hente jordprøver til kolonnestudiet

Prøvested	Beskrivelse	Jordtype
Steinsjøen	Prøve fra 100 m fangvoll på bane 5	A
Steinsjøen	Prøve fra myra bak 50 m målområdet på bane 5	B
Sessvollmoen	Prøve fra fangvoll bane 6	C
Sessvollmoen	Prøve av ren sand tatt ut bak standplass bane 6	D
Regionfelt Østlandet	Ren morenejord	E

Tabell 3.4 Prøvesteder og betegnelser som ble brukt på jorda i studiet

Jordbetegnelse	mg/kg jord			
	Bly	Kobber	Sink	Antimon
A	26 000 ± 500	1100 ± 150	230 ± 70	2100 ± 200
B	12 300 ± 200	2500 ± 150	670 ± 80	470 ± 80
C	8000 ± 200	630 ± 100	150 ± 60	1000 ± 100
D	25 ± 10	<64	<38	<45
E	<19	<73	<42	<41

Tabell 3.5 Innhold av tungmetaller i jord som ble brukt i kolonnestudiet før metallspon ble innblandet. Analysene ble utført med et røntgenfluorescensinstrument og er oppgitt med et standard avvik

Jord type	Sand %	Silt %	Leire %	Jordart	Glødetap %	pH	CEC cmol <sub>c+</sub> /kg
A	70	27	3	Siltig sand	4,5	6,0	0,7
B	i.a	i.a	i.a	Torv	78,6	5,7	i.a
C	75	21	4	Siltig sand	1,3	7,0	1,1
D	91	7	1	Sand	1,0	5,5	5,1
E	81	17	2	Siltig sand	2,2	4,7	0,2

Tabell 3.6 Jordartsbeskrivelse, pH, kationebyttingskapasitet (CEC) og glødetap. Ikke analysert = i.a

### 3.3.2 Forbehandling av jord og sammensetning av jordkolonnene

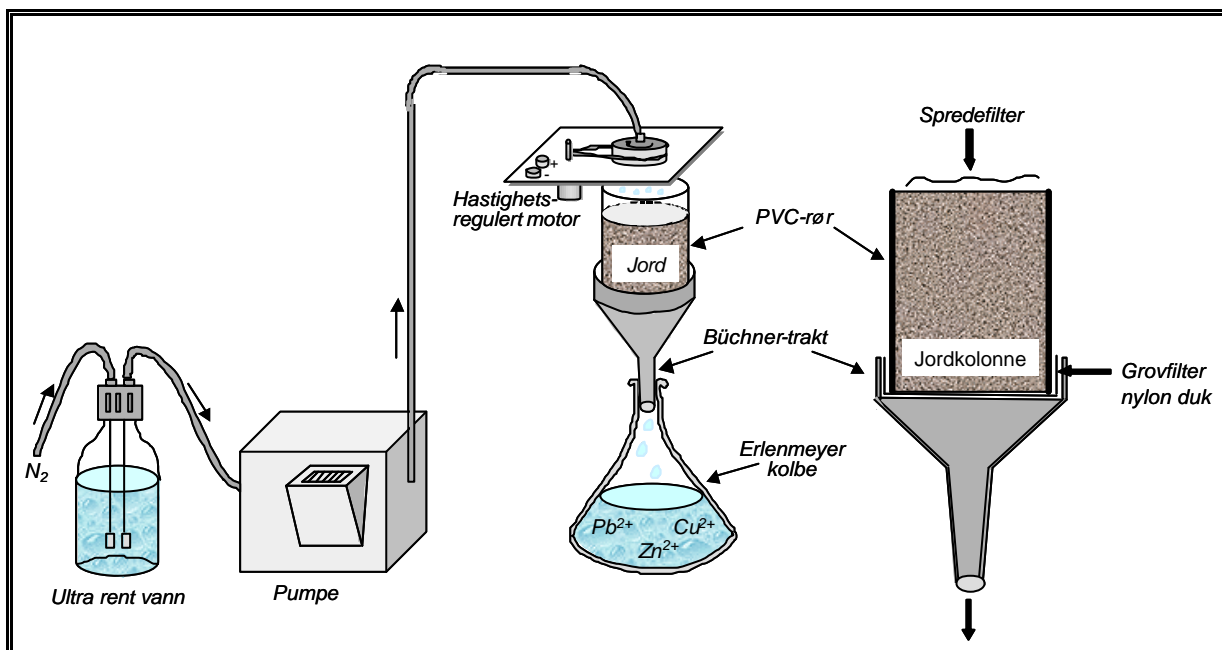
Jorda ble lufttørket over 2 måneder, deretter ble den siktet og kornstørrelse større enn 2 mm ble fjernet. Glødetap og tørrstoffinnhold ble bestemt i henhold til intern metode D1 "Bestemmelse av tørrstoffinnhold og glødetap i jord og sediment" (5). Det viste seg å være noe ulikt fuktighetsinnhold i de ulike jordprøvene etter lufttørkingen i 2 måneder.

Bestemmelse av pH ble gjort i en suspensjon med jord og ultrarent vann etter at prøven hadde stått over natta. Det ble målt ut 10 ml tørket jord i en tett beholder som ble tilsatt 25 ml ultrarent vann som deretter ble ristet godt. Ved måling av pH ble pH-elektroden plassert slik at den ikke kom i kontakt med bunnfallet i suspensjonen.

### 3.4 Kolonnestudiet

#### 3.4.1 Studieoppsett

Det ble brukt et utstyrsoppsett slik Figur 3.5 illustrerer. For tilførsel av ultrarent vann ble det brukt en Perkin Elmer Binary LC pump 250. Dette er en programmerbar pumpe som gir ønsket væskestrøm. I studier med jordkolonner er det ønskelig at væskestrømmen er likt fordelt gjennom kolonnen. Dette ble forsøkt ivaretatt ved å lage en spreder som fordelte vannet utover overflaten på toppen av kolonnen. Sprederen ble drevet av en hastighetsregulert elektromotor. I tillegg ble det plassert et spredefilter på overflaten av jorda i kolonnen. Filteret var et standard Whatman GF/C glass mikrofiberfilter med en diameter på 90 mm. Kolonnen med jord ble pakket ved å plassere et fem kg lodd på toppen av kolonnen i ca 10 sekunder. I bunnen av kolonnen lå et grovfilter av nylonduk. I tiden mellom hver gang en kolonne fikk tilført væske ble det forsøkt å redusere fordampningen ved å sette et lokk på toppen av kolonnene. Etter to utvaskinger ble lokkene fjernet i tre uker og kolonnene tørket ut. Dette ble gjort for å simulere realistiske klimaforhold.



Figur 3.5 Oppsett av utstyr i kolonneforsøk. Høyre del av figuren viser et tverrsnitt av jordkolonnen. På toppen av kolonnen er det plassert et spredefilter, og i bunnen et grovfilter av nylonduk. Venstre del av figuren viser hvordan ultrarent vann blir pumpet opp og spredt utover overflaten av jorda i kolonnen

#### 3.4.2 Jordkolonnene

Til kolonnestudiet ble det veid inn 1000 g jord som inneholdt mindre enn 4 % fuktighet til hver av kolonnene. Resultatet ble i etterkant korrigert for totalt tørrstoffinnhold. De korrigerte verdiene er vist i kolonnen "korrigert jordvekt" i Tabell 3.7. Samme tabell viser sammensetningen av de 10 ulike jordkolonnene og jordkolonnebetegnelse for de ulike jordtypene som inngikk i studiet.

Kolonne	Korrigert jord vekt (g)	Jordkolonne
1) 1000 g jord A med bly ammunisjon uten blyfri ammunisjon	986	A1
2) 1000 g jord A med bly ammunisjon og 150 g blyfri ammunisjon	986	A2
3) 100 g jord B med bly ammunisjon og 900 g jord D med ren sand. Kolonne uten blyfri ammunisjon	982	B1
4) 100 g jord B med bly ammunisjon og 900 g jord D med ren sand. Kolonne med 150 g blyfri ammunisjon	982	B2
5) 1000 g jord C med bly ammunisjon uten blyfri ammunisjon	996	C1
6) 1000 g jord C med bly ammunisjon og 150 g blyfri ammunisjon	996	C2
7) 1000 g jord E uten blyfri og bly ammunisjon	985	E0
8) 1000 g jord E uten blyfri men med bly ammunisjon	985	E1
9) 1000 g jord E med blyfri og bly ammunisjon	985	E2
10) 1000 g jord D. Referanse kolonne med ren sandjord	996	0

Tabell 3.7 Beskrivelse av de 10 jordkolonnene i utlekkingsstudiet

Tabell 3.8 viser jordvolum, vekt og tetthet etter pakking av de ulike kolonnene i studiet. I teksten under er det gitt en nærmere beskrivelse av de ulike jordkolonnene.

#### 3.4.2.1 Kolonne A1 og A2

Kolonnene innholdt 1000 g jord med et fuktighetsinnhold ( $\omega$ ) på 1,4 %. Total vekt på tørr jord tilført kolonnen var 986 g. A1 inneholdt bare jord forurenset med blyholdige prosjektiler, mens A2 i tillegg ble tilført 150 g metallspion fra 7,62 x 51mm non toxic (NT) 9 prosjektiler.

#### 3.4.2.2 Kolonne B1 og B2

Disse to kolonnene ble pakket med en blanding av 100 g torvjord med  $\omega = 4\%$  og 900 g blyfri sandjord fra Sessvollmoen med 0,5 % fuktighetsinnholdet. Totalt organisk innhold i kolonnen var 7,6 % og mengde tørrstoff i kolonnen var 992 g. Torvjorda, som ble hentet fra feltskytebane 5 på Steinsjøen skytefelt, inneholdt bly fra lang tids skyting med blyholdige prosjektiler. B1 inneholdt bare jord forurenset med blyholdige prosjektiler, mens B2 i tillegg ble tilført 150 g metallspion fra 7,62 x 51mm NT 9 prosjektiler.

Under første og andre tilførsel av væske var det svært vanskelig å få torvjorda fuktet fordi jorda i kolonnene hadde fått hydrofobe egenskaper etter uttørking. For å få fuktet jorda godt, ble derfor jordblandingen i hver av kolonnene ført over til en større beholder, og blandet godt med

200 ml ultrarent vann i tillegg til den væskemengden som allerede var tilført. I B2 kolonnen måtte mengde jord reduseres med 200 g i forhold til opprinnelig vekt, fordi jorda hadde svellet og volumet økt ved oppfuktingen. Den nye tørrvekten var nå 942 g. Begge kolonnene ble deretter pakket på nytt i PVC sylindere. Fukttinnholdet ( $\omega$ ) på vektbasis i B1 og B2 var nå ca 40 %.

#### 3.4.2.3 Kolonne C1 og C2

Kolonnene ble pakket med 1000 g jord med et  $\omega$  på 0,4 %. Total vekt på tørr jord tilført kolonnen var 995 g. I C1 var det bare jord forurenset med blyholdige prosjektiler mens C2 i tillegg ble tilført 150 g metallspion fra 7,62 x 51mm NT 9 prosjektiler.

#### 3.4.2.4 Kolonne E0, E1 og E2

E0 er en kolonne med bare ren jord fra RØ. Kolonnene ble pakket med 1000 g jord med  $\omega$  på 1,5 %. Total tørrvekt var 985 g. E1 kolonnen ble tilført 150 g metallspion fra blyholdig ammunisjon mens E2 ble tilført 100 g metallspion fra blyfri ammunisjon og 100 g metallspion fra blyholdig ammunisjon.

#### 3.4.2.5 Kolonne 0

Kolonnen ble pakket med 1000 g ren sandjord med et  $\omega$  på 0,4 % og tørrstoffinnholdet var 996 g.

Jordkolonne	Jordvekt totalt gram ( $M_s$ )	Jordvolum $\text{cm}^3$ ( $V_t$ )	Jordtetthet $\text{kg/dm}^3$ ( $\beta_d$ )
A1	986	687	1,4
A2	1136	724	1,6
B1	982	931	1,1
B2	942	879	1,1
C1	996	628	1,6
C2	1146	687	1,7
E0	985	657	1,5
E1	1135	739	1,5
E2	1135	724	1,6
0	996	687	1,4

Tabell 3.8 Total jordvekt, volum og tetthet for de ulike kolonnene

### 3.5 Tilførsel av væske til kolonnene

Tilførsel av væske til kolonnene foregikk i fire sekvenser. Den første sekvensen bestod i å tilføre alle kolonnene 100 ml ultrarent vann med en intensitet på 3,2 mm/t. Dette ble gjort for å fukte jorda i kolonnen og dermed starte våtkorrosjonsprosessen for det nytilførte metallsponet. Deretter stod de 10 kolonnene mellom 7 til 9 dager før de ble tilført væske igjen for første utvaskingssekvens. Det ble noe ulik tid mellom utvaskingssekvensene fordi utstyrsoppsettet i forsøket bare kunne foreta utvasking av en kolonne om gangen. I de to første av de tre utvaskingssekvensene var intensiteten av det tilførte ultrarene vannet på 4 mm/t, gitt av en væskestrøm fra pumpen på  $0,5 \pm 0,01$  ml/min. I den tredje utvaskingssekvensen ble det tilført væske med en hastighet på 0,8 ml/min som tilsvarer en nedbørsintensitet på 6,4 mm/t. Væske ble tilført på en slik måte at det utvaskede volumet fra de kolonnene som hadde lik jordtype ble relativt likt (se Tabell 3.9).

Ikke uventet ble det noe problemer med oppfukning av kolonnene B1 og B2, årsaken til dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.4.2.2. Oppfukning ble til slutt utført ved å overføre jorda fra de to kolonnene over til to større beholdere og deretter tilført ultrarent vann. Jorda ble pakket på nytt i PVC kolonnene og sto så i seks nye dager før de ble tilført ultrarent vann for første utvasking.

Jord kolonne	1. utvasking		2. utvasking		3. utvasking		Totalt		Total nedbør	
	Tilført	Utvask.	Tilført	Utvask.	Tilført	Utvask.	Tilført	Utvask.	Tilført	Utvask.
	ml	MI	ml	ml	ml	ml	ml	ml	mm	mm
A1	290	67	127	114	464	183	881	363	117	48
A2	290	74	128	107	464	173	869	354	115	47
B1	220	56	105	83	450	203	776	343	103	46
B2	220	58	105	79	450	193	776	330	103	44
C1	325	166	141	129	450	197	917	492	121	65
C2	325	176	152	136	450	200	928	512	123	68
E0	210	62	100	82	450	213	761	357	101	47
E1	245	69	100	87	450	176	796	332	106	44
E2	273	70	100	80	450	174	824	324	109	43
0	300	53	123	105	464	135	787	293	104	39

Tabell 3.9 Volum av tilført ultrarent vann og volum oppsamlet væske etter utvasking fra de forskjellige utvaskingstrinnene av de 10 jordkolonnene. Til høyre i tabellen er tilført væske beregnet om til mm nedbør



Den andre utvaskingssekvensen ble startet etter at alle kolonnene hadde stått uten væsketilførsel i mellom 8 og 10 dager. Denne gangen var kolonnene godt oppfuktet, og det aller meste av den tilførte væsken perkolerte gjennom kolonnen. Den tredje utvaskingen ble satt i gang etter at kolonnene hadde stått og tørket ut i tre uker uten lokk. Volumet av tilført ultrarent vann samt av oppsamlet væske etter utvasking er vist i Tabell 3.9. Mengden ultrarent vann som er tilført tilsvarer mellom en og to måneders nedbør på det sentrale Østlandet.

Væsken fra de forskjellige utvaskingssekvensene ble filtrert gjennom et 0,45 µm filter med forfilter og deretter konservert (0,5% HNO<sub>3</sub> i prøvene). Prøvene ble plassert i kjøleskap fram til analyse. Analysen ble utført på ICP ved Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT).

## 4 RESULTATER

### 4.1 Ekstraksjonsstudiet

Det ble observert et metallisk, hvitt belegg på væskeoverflaten i alle glassene hvor det var tilsatt metallspen av tradisjonell blyholdig ammunisjon. I tillegg ble væsken blakket av suspenderte partikler. Sannsynligvis var dette korrosjonsprodukter utfelt fra metallspen. Ekstraktene ble filtrert og konservert med salpetersyre (0,5% ultra ren  $\text{HNO}_3$  i prøven) umiddelbart etter avsluttet risting. Resultatene fra analysene av de ulike ekstraktene er vist i Tabell 4.1.

Ut fra analysedata kan det se ut til at variasjonen i tungmetallkonsentrasjonen i de tre ulike ekstraksjonsvæskene er relativt liten. Det ser heller ikke ut til at ekstrahert mengde løst bly endres under denne korte ekstraksjonstiden når man blander inn spen fra blyfri ammunisjon. Dette indikerer at bly ikke øker korrosjonsraten etter tilførsel av stål fra blyfri ammunisjon. Dette er i tråd med standard elektrodepotensial for jern og bly (3). For antimon derimot, er det en gjennomsnittlig økning av løste, ekstraherte antimonforbindelser på ca 40 % ved tilførsel av blyfri ammunisjon. Det er to mulige årsaker til dette, den ene er at forvittringshastigheten av antimon øker og/eller at det dannes mer løselige forvittringsforbindelser ved tilførsel av stål fra blyfri ammunisjon. Kobber viser svært lave konsentrasjoner i alle ekstraksjonene. Årsaken til dette er at kobber er et edlere metall sammenlignet med de andre metallene i studiet. Derfor vil disse metallene være "offermetall" for kobber (offermetall = det metallet med lavest edelhet vil korrodere og løse seg ut i væske på bekostning av det metallet med høyest edelhet).

Varmebehandling i klimakammer gav noe større mengde ekstrahert bly og antimon. I praksis vil dette resultatet være i samsvar med at korrosjonsdannelsen i toppjordlaget øker når temperaturen er høy under solrike, varme perioder. Korrosjonsforbindelsene vil potensielt kunne frigjøres ved nedbør og transporteres med sigevannet ned mot grunnvannet. En sannsynlig årsak til at det i ekstraktene er relativt lite jern er at når jernet korroderer, feller korrosjonsproduktene umiddelbart ut som partikler. Disse partiklene ble deretter filtrert vekk med et  $0,45\mu\text{m}$  filter.

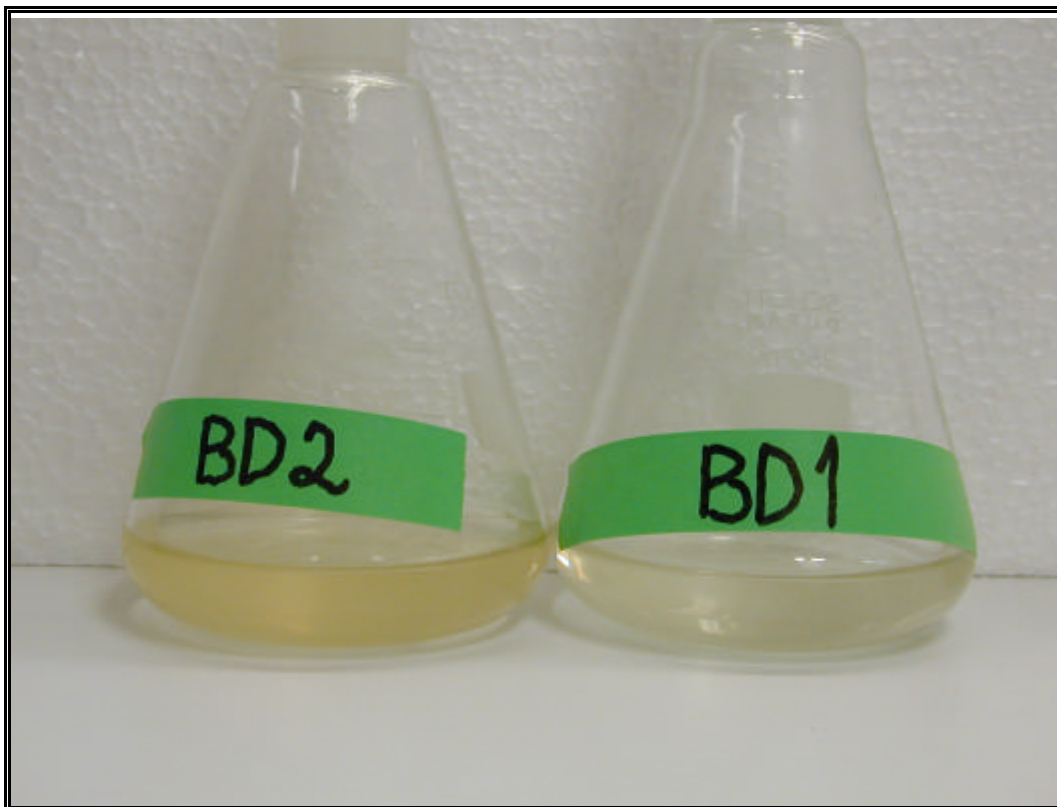
Tabell 4.2 viser at analysen av glass 4 med spen av blyfri ammunisjon og med ultrarent vann inneholder  $18\mu\text{g}$  bly/l. Det skulle ikke ha vært bly i denne ekstraksjonsvæsken. Hvis en sammenligner med glass 13, som bare er ultrarent vann, ser en at ekstraksjonsvæsken er forurenset med bly. Hvordan væsken har blitt forurenset er usikkert.

Glass nr	Konsentrasjon i µg/l				
	Bly	Kobber	Antimon	Sink	Jern
1	113 000	1	410	25	0
2	162 000	1	620	21	0
3	130 000	0	430	24	0
4	18	4	0	8	41
5	0	0	0	80	300
6	0	0	0	19	10
7	138 000	1	690	26	0
8	123 000	2	710	33	4
9	150 000	1	660	29	0
10	125 000	2	1 030	27	0
11	170 000	3	1 140	32	10
12	154 000	3	1 160	27	2
13	17	1	0	3	0
14	6	0	0	75	0
15	0	8	0	15	0

*Tabell 4.1 Konsentrasjonen av tungmetaller i ekstraksjonsvæsken i glassene med de ulike blandingene av metallspon. Innholdet i de forskjellige glassene er beskrevet i Tabell 3.3*

## 4.2 Kolonnestudiet

Databehandling og vurdering av resultatene fra analysen ble utført to på ulike måter. Det ble gjort en kvantitativ mengdeberegning for hver av utlekkingssekvensene ved å dele konsentrasjonen av tungmetaller på utvasket væskevolum. Deretter ble mengden fra de tre utlekkingssekvensene addert sammen for så å bli delt på det totale utvaskingsvolumet. Dette gav en gjennomsnittskonsentrasjon for de tre utlekkingssekvensene.

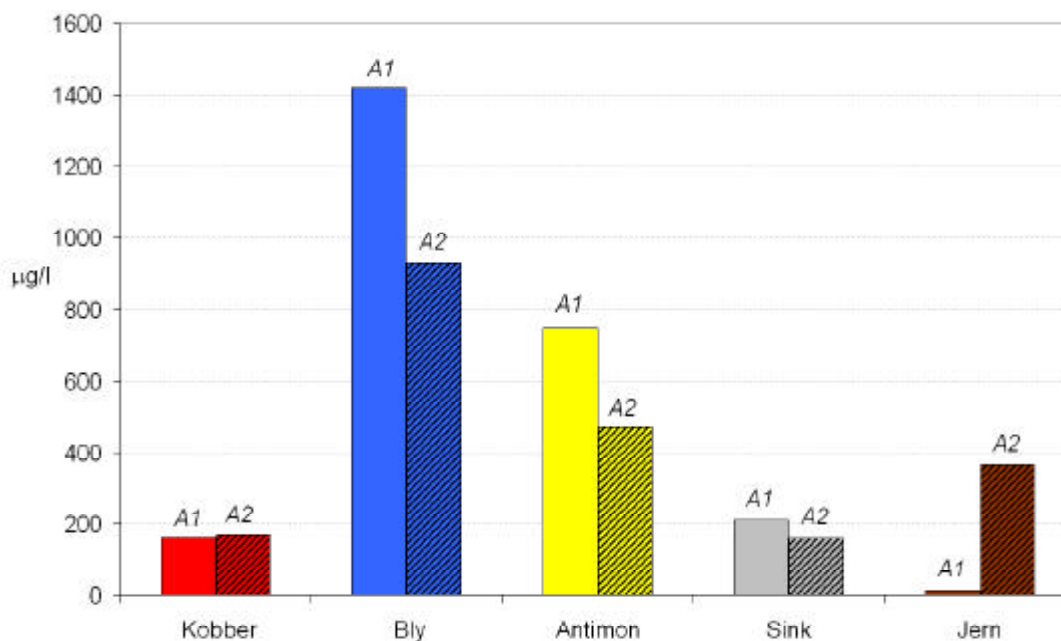


*Figur 4.1 Viser visuelt hvordan fargen på væsken som ble vasket ut av B1 (BD1) var forskjellig fra B2 (BD2). Mest sannsynlig er det partikler fra oksiderte jernforbindelser som gir den gul/brune fargen i B2*

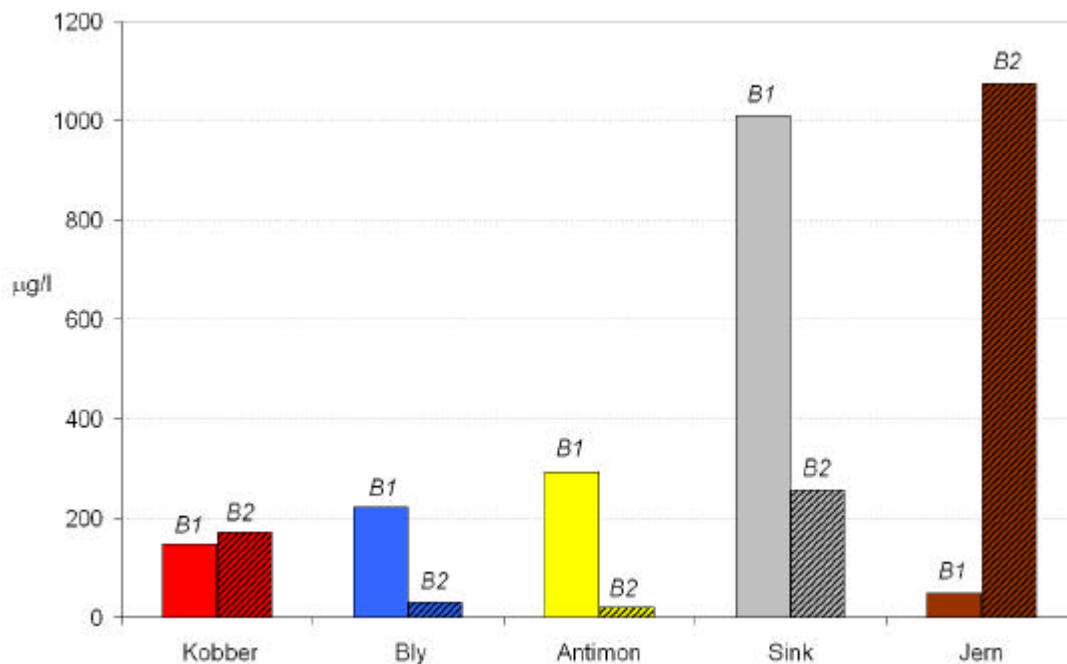
Gjennomsnittskonsentrasjonene for jordkolonnene A1 og A2 er vist i Figur 4.2. Kolonnene med jord A fra Steinsjøen var de som inneholdt den høyeste konsentrasjonen av tungmetaller sammenlignet med jorda i de andre kolonnene (se Tabell 3.5). Resultatene viser at det ved tilførsel av blyfri ammunisjon har skjedd en reduksjon i utlekkingen av løste bly- og antimonforbindelser fra A2 kolonnen ved å tilføre blyfri ammunisjon. Denne reduksjonen ble beregnet til å være 35% for bly og 37% for antimon i forhold til A1.

For B1 og B2 (sandjord og torv) kolonnene er resultatene fra utlekkingen vist i Figur 4.3. Reduksjonen i løste bly- og antimonforbindelser ved tilførsel av blyfri ammunisjon ble funnet å være respektive 86 % og 93 %. Som nevnt i 3.4.2.2 måtte B2 reduseres med 20 % av vekten for å få plass til jorda i PVC kolonnen. Dette kan imidlertid kun forklare en liten del av reduksjonen i mengde løste forbindelser, og ikke på langt nær hele reduksjonen.

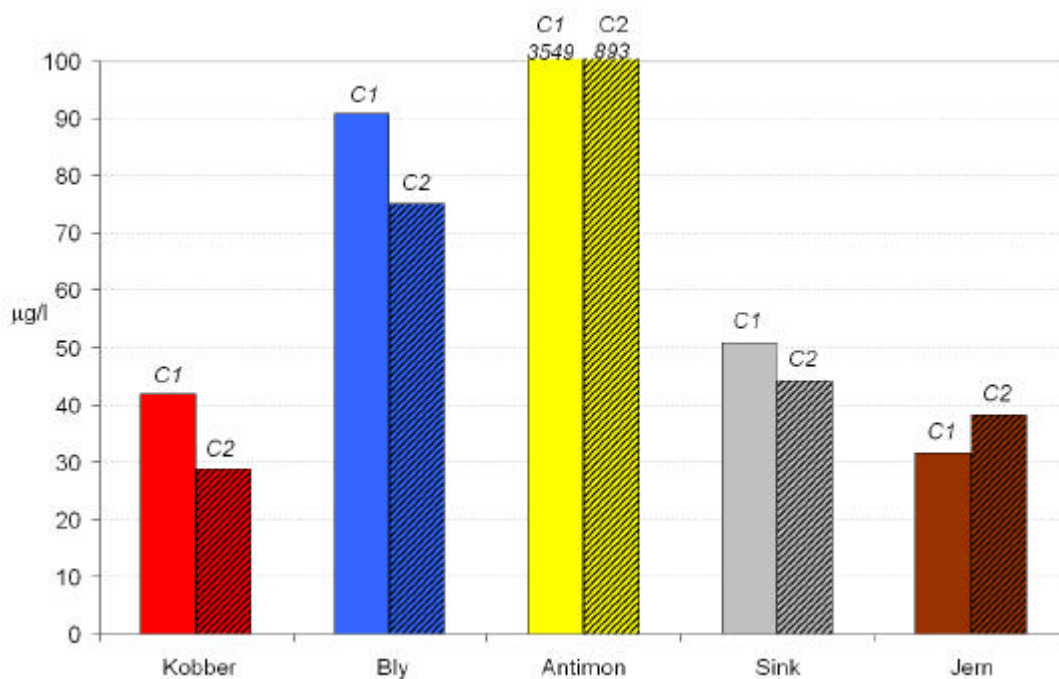
For den siste kolonnen med jord fra gamle skytebanevoller (C) ble resultatet noe annerledes enn de to foregående. Reduksjonen i løste blyforbindelser ble bare 17 % mens det for antimon ble en reduksjon på 75 %. Det som er spesielt med denne kolonnen og som er verd å merke seg, er at konsentrasjonen av løste antimonforbindelser fra C1 kolonnen var 38 ganger høyere enn konsentrasjonen av løste blyforbindelser. Gjøres en tilsvarende sammenligning med kolonne A1 ble utlekkingen av antimon funnet å være omtrent halvparten av bly. I kolonne A1 var gjennomsnittlig konsentrasjon for de tre utlekkingssekvensene 750  $\mu\text{g}$  antimon/l, mens det for C1 kolonnen var 3500  $\mu\text{g}$  antimon/l. Det er på bakgrunn av disse analyseresultatene grunnlag for å si at det i jorda på Sessvollmoen dannes forbindelser av antimon som i større grad er løselige sammenlignet med jorda på Steinsjøen. Dette på tross av at det er mer enn dobbelt så høye konsentrasjoner av antimon i jorda på Steinsjøen. En mulig forklaring er at antimon i større grad er bundet til jernoksider i jorda på Steinsjøen sammenlignet med Sessvollmoen. Denne påstanden vil bli nærmere omtalt i kapittel 5. Jerninnholdet i jorda på Steinsjøen ble målt med et røntgenfluorescensinstrument. Instrumentet har et lineært område for analyse av ulike elementer opp til 5 % innhold. Oftest er jerninnholdet i jord høyere enn dette, men målinger kan gjøres selv om usikkerheten blir noe større. Jordtype A fra Steinsjøen hadde et innhold på ca 26 g jern/kg jord mens jordtype C fra Sessvollmoen inneholdt 16 g jern/kg jord. Det er altså 50 % mer jern i jorda på Steinsjøen sammenlignet med Sessvollmoen. En annen viktig forskjell er forskjeller i pH og ionebyttingskapasitet (se Tabell 3.1).



Figur 4.2 Sammenligning mellom konsentrasjonene ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) av løste tungmetaller i utlekkingsvæske fra to jordkolonner. A1 er en jordkolonne bare forurensset med tradisjonell blyholdig ammunisjon, mens A2 er lik A1 men er i tillegg tilført blyfri ammunisjon



Figur 4.3 Sammenligning mellom konsentrasjonene ( $\mu\text{g/l}$ ) av løste tungmetaller i utlekkingsvæske fra to jordkolonner. B1 er en blandings jordkolonne beskrevet 3.4.2 og er bare forurenset med tradisjonell blyholdig ammunisjon, mens B2 er lik B1 men er i tillegg tilført blyfri ammunisjon



Figur 4.4 Sammenligning mellom konsentrasjonene ( $\mu\text{g/l}$ ) av løste tungmetaller i utlekkingsvæske fra to jordkolonner. C1 er en jordkolonne beskrevet 3.4.2 og er bare forurenset med tradisjonell blyholdig ammunisjon, mens C2 er lik C1 men er i tillegg tilført blyfri ammunisjon.

Kolonne	% endring i utlekket tungmetall ved å tilføre blyfri ammunisjon				
	Bly	Kobber	Antimon	Sink	Jern
A1 og A2	-35	5	-37	-24	2800
B1 og B2	-86	17	-93	-75	2100
C1 og C2	-17	-31	-75	-13	21
Gjennomsnitt	-46	-3	-68	-37	1636

Tabell 4.2 *Prosentvis endring i utlekkingen av løste tungmetallforbindelser ved å tilføre blyfri ammunisjon til jord fra gamle skytebanevoller (negative verdier betyr en reduksjon i løste forbindelser)*

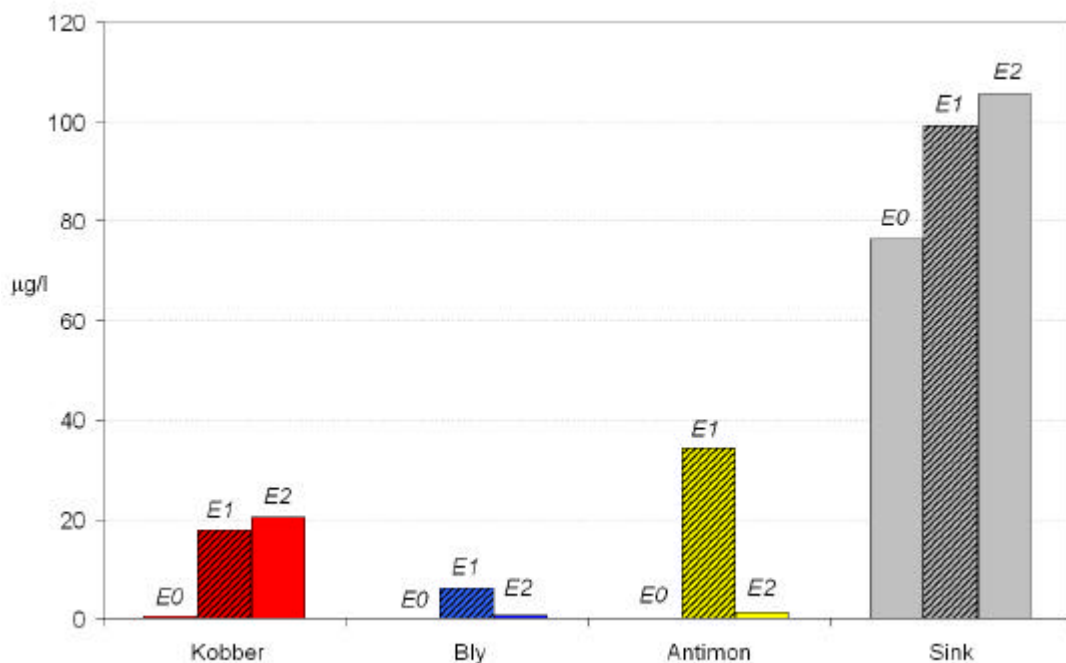
Den tredje utvaskingssekvensen av kolonne B1 og B2 ble behandlet spesielt. En fraksjon av utvaskingsvæsken ble konserveret direkte uten filtrering. Dette ble gjort for å vurdere om også totalmengden tungmetall endret seg ved tilførsel av spon fra blyfri ammunisjon. Ved analyse av denne fraksjonen ble mengde bly og antimon redusert med respektive 90 og 95 %. Selv om dette bare er resultater fra en prøve, tyder det allikevel på at det ikke bare er mengden løste tungmetallforbindelser som reduseres ved å ta blyfri ammunisjon i bruk på gamle skytebaner. Utlekkingen av tungmetaller bundet til partikler som er  $> 0,45\mu\text{m}$  vil også reduseres. Det vil dannes forbindelser mellom jernoksid ( $\text{FeOOH}$ ), bly og/eller antimon. Disse forbindelsene vil være tilstrekkelig store til at de "fanges" opp av jordpartiklene.

Kolonne 0 og E0 var referansekolonner under utlekkingsstudiet. Jorda i den ene kolonnen var ren sand fra Sessvollmoen og i den andre var det ren morenejord fra RØ. I analysen av utlekkingsvæsken fra kolonnene var ikke nivåene av antimon og bly detekterbare. På bakgrunn av disse resultatene kan en med en viss sikkerhet fastslå at det ikke er bidrag fra naturlig høye bakgrunnsverdier av antimon og bly i jordkolonner fra Sessvollmoen og RØ. En skal være oppmerksom på at det enkelte steder i Norge er jord med naturlig høye konsentrasjoner av tungmetaller som vil kunne gi bidrag i tilsvarende utlekkingsforsøk som er utført i dette studiet.

E1 og E2 kolonnene bestod av morenejord tatt ut fra en enkelt lokalitet i RØ. Det lar seg ikke gjøre å få en enkel representativ jordprøve som skal gjenspeile de jordmassene som potensielt kan bli brukt i fangvoller i skytebaner som skal etableres i feltet. Det er heller ikke egnede gamle skytebaner i området som kunne ha vært brukt i utlekkingsstudiet.

Analyse av utvaskingsvæsken fra kolonnene E1 viste at når det ble tilført 150 g spon fra blyholdig ammunisjon til morenejorda, økte mengden bly og antimon i de to første utvaskingssekvensene sammenlignet med E0. I tillegg hadde E1 en utvasking av jern som var  $4400\ \mu\text{g/l}$  fra kolonne E1 sammenlignet med E0 som gav  $3\ \mu\text{g/l}$ . Årsaken til denne økningen er trolig at løste bly-, kobber-, sink- og antimonforbindelser bytter ut jernioner fra ionebyttesposisjoner på ladde overflater som f eks på leire og organisk materiale. I tredje og siste sekvens hvor kolonnen var tørket ble det en reduksjon i konsentrasjonen av løste bly-, antimon- og jernforbindelser. Hvilke resultater en videre utvasking av denne kolonnen ville gitt er noe usikkert, men sammenlignet med jerninnholdet i morenejorda på Sessvollmoen, er det et enda

lavere innhold av jern i jorda fra RØ. Dette blir diskutert noe nærmere i kapittel 5. I E2 kolonnen som besto av både blyfri og blyholdig ammunisjon viste resultatene en reduksjon i utlekkede løste bly og antimonforbindelser sammenlignet med E1. Dette er det samme resultatet som kolonne A, B og C i forsøket viser. Figur 4.5 viser resultatene fra jordtype E.



Figur 4.5 Sammenligning mellom konsentrasjonene (µg/l) av løste tungmetaller i utlekkingsvæske fra tre jordkolonner. E0 er en ren jordkolonne. E1 er kun tilført blyfri ammunisjon, mens E2 er lik E1 men er i tillegg tilført blyholdig ammunisjon.

### 4.3 Analyseusikkerhet

Usikkerheten i analysene av utvaskingsvæske gjort ved FOLAT er beskrevet i appendiks B og C. Ved analyse ble det i tillegg til alle prøvene sendt med referanseprøve for å kontrollere analyseusikkerheten. Tabell 4.3 viser resultatene av målinger på referanseprøve. Analyser utført ved FFI med røntgenfluorescensinstrument viser mengden analysert i prøven med et standard avvik i mg/kg (se Tabell 3.5).

	Kobber mg/kg	Bly mg/kg	Antimon mg/kg	Sink mg/kg	Jern mg/kg
Kontrollprøve 1643 D, analyserte verdier	22	16	54	75	87
Kontrollprøve 1643 D, oppgitte verdier	20,5 ± 3,8	18,15 ± 0,64	54,1 ± 1,1	72,48 ± 0,65	91,2 ± 3,9

Tabell 4.3 Analyse av kontrollprøve 1643 D ved FOLAT



## 5 DISKUSJON

Resultatene fra kolonnestudiet viser at det skjer en reduksjon i mengde utvaskede løste antimonforbindelser når stål fra de blyfrie prosjektilene tilføres jord som allerede er forurenset med antimon. Det er vist gjennom ulike studier at treverdig antimon (på formen  $\text{Sb}(\text{OH})_4^-$ ) kan binde seg til hydroksider av metallene jern, aluminium og mangan (6)(8). I tillegg kan antimon binde seg til ulike humussyrer (6). Når jern korroderer under gitte forhold dannes den hydratiserte jernoksidforbindelsen  $\text{FeOOH}$ . Til dette korrosjonsproduktet bindes treverdig løst antimon noe som reduserer mobiliteten av dette antimon (6). Resultatene fra studiene beskrevet kapittel 4.2, viser også at løste forbindelser av bly blir redusert ved tilførsel av stål i jord som inneholder store mengder bly. En slik binding av løst bly til jernoksider er tilsvarende det andre studier viser (9). Når bly bindes til jernoksider blir det ikke bare immobilisert, men får også redusert biotilgjengelighet og giftvirkning. For både bly og antimon er det de kjemiske faktorene i jorda som styrer hvilke korrosjonsprodukter som dannes. En av de viktigste faktorene i så måte er pH, som har en direkte effekt på dannelsen av ulike blyforbindelser (species) og utfelling ved at bly danner komplekser med f eks jern (10)(11). I resultatene fra studiet med blyfri ammunisjon viser analysen at utlekkingen av løste blyforbindelser øker noe etter at kolonnene ble utsatt for tørking. Tilsvarende resultat fant Martinez et al (11) når de utførte et forsøk hvor adsorbent bly til ikke-krystallinske (allophaner) jernoksider ble temperaturbehandlet. Resultatet fra disse studiene viste at aktiviteten av bly i væskefasen økte når de ikke-krystallinske jernforbindelsene ble omdannet til mer krystallinske forbindelser slik som "goethite" og "hematite". En slik omdannelse av jernoksider er ikke bare avhengig av temperatur men også andre faktorer som pH og mengden metallkationer i jordvæsken (11). I en undersøkelse som ble gjort i 1999 av FFI ble det også vist en økt mobilisering av løste bly- og antimonforbindelser etter en lengre varm tørkeperiode på sommeren (12). En av årsakene for denne økningen i utlekking av bly og antimon kan blant annet ha vært en endring i krystallstrukturene av jernoksidene.

Som nevnt i kapittel 4 var jerninnholdet i jorda fra RØ noe lavere sammenlignet med både Steinsjøen og Sessvollmoen. Dette kan muligens gi en forhøyet utlekking av antimon fra skytebaner som får fangvoller med jord med tilsvarende egenskaper som brukt i dette kolonnestudiet. Dette gjelder bare om blyholdig ammunisjon velges brukt i stede for blyfri ammunisjon ved det nye skytefeltet. Om det blir brukt blyfri ammunisjon i tillegg til noe blyholdig ammunisjon i regionfeltet, vil dette kunne redusere potensialet for utlekking av antimon og bly via sigevann til grunnvann og overflatevann.

Studiet gir klare indikasjoner på en reduksjon i utlekking av løste bly- og antimonforbindelser. Det vil likevel være knyttet usikkerhet til bindingseffekten av løste bly- og antimonforbindelser under naturlige forhold ved ulike skytebaner. Dette fordi det er en begrenset mengde jordtyper som er testet og at studiene er utført over kort tid i laboratorium.

## 6 KONKLUSJON

Ekstraksjonsforsøkene viste ingen endring av utløst bly, mens utløst antimon økte noe ved tilsetning av blyfri ammunisjon. I utlekkingsstudiet viste resultatene at utløste forbindelser av bly og antimon ble redusert i utvaskingsvæsken i de jordkolonnene hvor det ble tilført blyfri ammunisjon. Ved hjelp av resultatene fra kolonnestudiet og ved sammenligninger i litteraturen er det foretatt følgende vurderinger om fordeler og ulemper ved å ta i bruk den nye typen blyfri ammunisjon.

### 6.1 Fordeler ved å ta i bruk blyfri ammunisjon

1. Det blir en redusert bruk av helse- og miljøfarlige stoffer slik som tungmetallene bly, antimon og arsen. Dette vil være i henhold til de nasjonale resultatmål i St. meld 24 (Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand) om stars eller vesentlig reduksjon av enkelte miljøgifter innen 2010 jamfør prioritetslisten (ref st meld 24).
2. Om man bytter ut all blyholdig ammunisjon med blyfri ammunisjon vil dette utgjøre en årlig reduksjon i deponering av ca 72 tonn bly og ca 8 tonn antimon med utgangspunkt i forbruket av håndvåpenammunisjon i 2001. Totalt i 2001 ble det brukt ca 13 millioner skudd med til sammen 114 tonn bly, kobber, sink og antimon. Det vil med andre ord si at Forsvaret kan redusere utslippet av miljøfarlige tungmetaller fra håndvåpenammunisjon med ca 70 %.
3. Dette studiet indikerer at det skjer en vesentlig reduksjon i utlekking av løste bly- og antimonforbindelser fra fangvoller hvor det tidligere er brukt blyholdig ammunisjon. Resultatene viser at tilførsel av den stålholdige ammunisjonen reduserer mobilitet og transport av bly- og antimonforbindelser. I praksis betyr dette at det vil bli en redusert utlekking til grunnvann og overflatevann. Det er også mulig at mobilisering av tungmetaller gjennom erosjonsprosesser reduseres når metallene er bundet til korrosjonsprodukter av jern. Slike bindinger kan også bidra til å gjøre forbindelsene mindre biotilgjengelige.
4. Fragmenteringsraten for kobber-/sink legeringen er vesentlig mindre enn for bly/antimon-legeringen i kuler. Dette medfører at dannelsen av løselige korrosjonsforbindelser går langsommere for kobber/sinklegeringen, og utlekkingen av disse metallene vil bli mindre.
5. Bruk av stålholdig ammunisjon kan muliggjøre nye rensemetoder for fangvollmasser. For eksempel kan stålets magnetiske egenskaper muligens kunne utnyttes.
6. Spesialavfallsgrensen for innhold av bly er i dag på 0,1 % per kg tørrstoff og for kobber er den tilsvarende grensen på 1 % per kg. Det vil derfor bli en redusert fremtidig

kostnad i form av at blyfri ammunisjon kan benyttes i lenger tid før massene i fangvollene blir karakterisert som spesialavfall. Dette vil redusere eventuelle kostnader knyttet til fremtidige oppryddinger og deponering av fangvoller. Normverdien knyttet til arealer for mest følsomt arealbruk er høyere for kobber (100 mg/kg) enn for bly (60 mg/kg).

## **6.2 Ulemper ved å ta i bruk blyfri ammunisjon**

1. 10 % økning i forbruk av kobber i ammunisjonstypen 7.62 x 51 mm (Ball NT 9). Denne ammunisjonstypen utgjorde ca 80 % av tungmetallspredningen fra Forsvarets skyting med håndvåpenammunisjon i 1999. Under forutsetning av at forbruket av ammunisjon i mengde og type tilsvarer 2001 nivå, vil kobberforbruket øke med omtrent 20 %. En av årsakene til dette er at den blyfrie sporlysammunisjonen 7,62 x 51 inneholder en kjerne av kobber. I St. meld 24 er kobber på prioriteringslisten for helse- og miljøfarlige stoffer hvor det nasjonale målet er stans eller vesentlig reduksjon innen 2010.
2. Det kan bli en ytterligere reduksjon i kvaliteten på trevirke som hogges i områder tilknyttet skytebaner hvor blyfri ammunisjon skal brukes. Primært ønsker ikke sagbruk trevirke med metallsplinter. Det er forbundet med store kostnader når et sagblad ødelegges av metaller i trevirke. Det er allerede i dag redusert kvalitet på trevirke i tilknytning til skytebaner, slik at det er usikkert om blyfri ammunisjon vil utgjøre noen forskjell.

## **6.3 Anbefalinger**

FFI anbefaler med bakgrunn i en miljømessig vurdering av resultatene fra dette studiet at blyfri ammunisjon tas i bruk ved Forsvarets skytebaner. Det forventes en miljømessig gevinst ved både ved nye skytebaner og ved baner der det tidligere er benyttet blyholdig ammunisjon. Det bør imidlertid iverksettes overvåking av avrenning ved noen av banene i startfasen for å kontrollere avrenningen.

På grunn av kobberets giftighet bør Forsvaret på lengre sikt søke å finne alternativ ammunisjon fri for miljøgifter. Videre bør det tilrettelegges avrenningssikre skytebaner.

## APPENDIKS

## A PRØVENUMMERE MED BESKRIVELSE

Stedsnavn	Utvaskingsnummer	Behandling	Prøve Id
<b>Utvaskingsforsøk</b>			
D Sessvollmoen uforurenset sand	1.utv jord D	Filtrert og konserverv	02-006
D Sessvollmoen uforurenset sand	2.utv jord D	Filtrert og konserverv	02-031
D Sessvollmoen uforurenset sand	3.utv jord D	Filtrert og konserverv	02-057
A1 Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig	1.utv jord A	Filtrert og konserverv	02-007
A1 Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig	2.utv jord A	Filtrert og konserverv	02-032
A1 Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig	3.utv jord A	Filtrert og konserverv	02-058
A2 Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig	1.utv jord A + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-008
A2 Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig	2.utv jord A + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-033
A2 Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig	3.utv jord A + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-059
C1 Sessvollmoen bane 6 blyholdig	1.utv jord C	Filtrert og konserverv	02-009
C1 Sessvollmoen bane 6 blyholdig	2.utv jord C	Filtrert og konserverv	02-034
C1 Sessvollmoen bane 6 blyholdig	3.utv jord C	Filtrert og konserverv	02-060
C2 Sessvollmoen bane 6 blyholdig	1.utv jord C + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-010
C2 Sessvollmoen bane 6 blyholdig	2.utv jord C + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-035
C2 Sessvollmoen bane 6 blyholdig	3.utv jord C + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-061
E0 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	1.utv jord E	Filtrert og konserverv	02-011
E0 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	2.utv jord E	Filtrert og konserverv	02-036
E0 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	3.utv jord E	Filtrert og konserverv	02-064
E1 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	1.utv jord E + Pb	Filtrert og konserverv	02-012
E1 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	2.utv jord E + Pb	Filtrert og konserverv	02-037
E1 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	3.utv jord E + Pb	Filtrert og konserverv	02-065
E2 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	1.utv jord E + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-013
E2 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	2.utv jord E + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-038
E2 Regionfelt Østlandet uforurenset morene	3.utv jord E + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-066
BD1 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	1.utv jord B + D	Filtrert og konserverv	02-014
BD1 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	2.utv jord B + D	Filtrert og konserverv	02-039
BD1 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	3.utv jord B + D	Filtrert og konserverv	02-062
BD1 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	3.utv jord B + D	Ikke filtert men konserverv	02-067
BD2 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	1.utv jord B + D + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-015
BD2 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	2.utv jord B + D + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-040
BD2 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	3.utv jord B + D + Blyfri ammunisjon	Filtrert og konserverv	02-063
BD2 eller B Steinsjøen blyholdig myr + Sand D Sessvollmoen	3.utv jord B + D + Blyfri ammunisjon	Ikke filtert men konserverv	02-068
D Sessvollmoen uforurenset sand			02-052
A Steinsjøen 100m bane 5 blyholdig			02-053
C Sessvollmoen bane 6 blyholdig			02-054
E Regionfelt Østlandet uforurenset morene			02-055
<b>Ekstraksjonsforsøk</b>			
Blyammo + ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-016
Blyammo + pH 4 justert ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-017
Blyammo + nedbørsvann		Filtrert og konserverv	02-018
Blyfri ammunisjon-ammo + ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-019
Blyfri ammunisjon-ammo + pH 4 justert ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-020
Blyfri ammunisjon-ammo + ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-021
Bly + Blyfri ammunisjon + ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-022
Bly + Blyfri ammunisjon + pH 4 ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-023
Bly + Blyfri ammunisjon + nedbørsvann		Filtrert og konserverv	02-024
Bly + Blyfri ammunisjon klima + ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-025
Bly + Blyfri ammunisjon klima +pH 4 justert ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-026
Bly + Blyfri ammunisjon klima + nedbørsvann		Filtrert og konserverv	02-027
Ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-028
pH 4 justert ultrarent vann		Filtrert og konserverv	02-029
Nedbørsvann		Filtrert og konserverv	02-030

## B ANALYSERAPPORT EN FRA FOLAT



**Forsvarets laboratorietjeneste    Teknisk Rapport**  
**Analytisk Laboratorium**  
**Kjemi og materialteknologi**

<b>Oppdragsgiver :</b> FFI, Avdeling for beskyttelse og materiell Pb. 25, 2027 Kjeller  <b>Att: Marita Ljønes</b>		<b>Oppdragsgivers referanse</b>	
<b>Gjenpart :</b>			
<b>Tittel :</b> <b>Bestemmelse av tungmetaller.</b>			
<b>Rapportnr :</b> A-02-019	<b>Arkivkode:</b> 27324	<b>Antall sider/vedlegg :</b> 3 inkl. vedlegg	
<b>Dato for mottak av oppdrag :</b>	<b>Jobbnr :</b> A-02-019	<b>Dato for utgivelse :</b> 04.04.02.	
<b>Utført av :</b> Tove Kristin D. Torstensen <i>Tove Kristin D. Torstensen</i>		<b>Sjef VLA :</b> Senioring T A Gustavsen <i>T A Gustavsen</i>	
<b>Sammendrag :</b> Forsvarets laboratorietjeneste har på oppdrag fra FFI bestemt konsentrasjonen av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn i innleverte prøver. Bestemmelsen ble gjort ved hjelp av ICP-AES			
<b>Kundenr :</b>	<b>Ordrenr :</b>	<b>MKK :</b>	<b>Artikkelnr :</b>

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk Laboratorium.

Adresse :  
 LHK/VLA  
 Postboks 10  
 N-2027 KJELLER

Telefon :  
 +47 63 80 80 00  
 Mil: 505 8000

Telefax :  
 + 47 63 80 87 58  
 Mil: 505 8758

**1. INNLEDNING**

Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) har på oppdrag fra FFI bestemt konsentrasjonen av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn i innleverte prøver. Bestemmelsen ble gjort ved hjelp av ICP-AES.

**2. PRØVEMETODER**

Bestemmelsen av tungmetaller ble utført med ICP-AES (induktivt koblet plasma atomemisjonsspektroskopi). Nedenfor er det en oversikt over hvilken bølgelengde som ble benyttet for de ulike grunnstoffene:

Grunnstoff	Valgt bølgelengde (nm)
Kobber (Cu)	324,75
Jern (Fe)	238,20
Bly (Pb)	220,35
Antimon (Sb)	206,84
Sink (Zn)	206,20

Bestemmelsen ble utført med standarder som var 2 % med hensyn på HNO<sub>3</sub>.

**3. RESULTATER**

Resultatene fra analysen av prøvene er gitt i tabell 1 i vedlegget. Konsentrasjonen er gitt som mg/L. Den instrumentelle usikkerheten estimeres til 2-5 %.

Deteksjonsgrense og kvantifiseringsgrense:

Deteksjonsgrensen, ofte forkortet LOD, angir laveste konsentrasjon som lar seg bestemme. Den er blitt bestemt som 3 ganger standardavviket til 10 målinger av destillert vann.

Kvantifiseringsgrensen, ofte forkortet LOQ, angir laveste konsentrasjon som kan bestemmes nøyaktig. Den er blitt bestemt som 3,33 ganger deteksjonsgrensen. Oppgitte verdier som ligger mellom LOD og LOQ er dermed beheftet med større usikkerhet enn verdiene som er høyere enn LOQ.

**4. KONKLUSJON**

Cu, Fe, Pb, Sb og Zn er bestemt i innleverte prøver.

<b>Vedlegg nr. :</b> 1	<b>Ant. Sider :</b> 1	<b>Rapport nr. :</b> A-02-019
<b>Oppdragets tittel : Bestemmelse av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn</b>		

Tabell 1. Konsentrasjon av Cu, Pb, Sb, Zn og Fe i innleverte prøver. Konsentrasjonen er gitt som mg/L prøve. “-” betyr at funnet konsentrasjon ligger lavere enn oppgitt deteksjonsgrense (LOD), kvantifiseringsgrensen (LOQ) er også oppgitt.

Prøve ID	Konsentrasjon (mg/L)				
	Cu	Pb	Sb	Zn	Fe
02-057	-	-	-	0,073	-
02-058	0,059	1,03	0,70	0,16	0,025
02-059	0,037	0,034	0,50	0,071	0,004
02-060	0,038	0,076	3,72	0,051	0,021
02-061	0,033	0,006	0,66	0,048	0,003
02-062	0,14	0,33	0,28	1,34	0,045
02-063	0,051	0,015	0,014	0,12	0,31
02-064	-	-	-	0,077	0,004
02-065	0,013	0,004	0,015	0,069	0,16
02-066	0,022	-	-	0,089	-
02-067	0,15	0,44	0,30	1,28	0,091
02-068	0,091	0,048	0,015	0,060	0,88
blank	-	-	-	-	-
1643 D	0,022	0,016	0,054	0,075	0,087
LOD	0,001	0,003	0,005	0,001	0,002
LOQ	0,004	0,010	0,017	0,002	0,008

## C ANALYSERAPPORT TO FRA FOLAT



Forsvarets laboratorietjeneste

Teknisk Rapport

Analytisk Laboratorium

Kjemi og materialteknologi

Oppdragsgiver Forsvarets forskningsinstitutt Avdeling for beskyttelse og materiell Pb. 25, 2027 KJELLER Att: Marita Ljønes		Oppdragsgivers referanse
Gjenpart		
Tittel Bestemmelse av tungmetaller		
Rapportnr A-02-017	Ordrenr 26482	Antall sider/vedlegg 3 inkl. vedlegg
Dato for mottak av oppdrag	Jobbnr A-02-017	Dato for utgivelse 12.03.02
Utført av Tove Kristin D. Torstensen <i>Tove Kristin D. Torstensen</i>	Sjef VLA Senioring T A Gustavsen <i>T A Gustavsen</i>	
<b>Sammendrag</b> Forsvarets laboratorietjeneste har på oppdrag fra FFI bestemt konsentrasjonen av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn i innleverte prøver. Bestemmelsen ble gjort ved hjelp av ICP-AES.		

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk Laboratorium.

Adresse :  
LHK/VLA  
Postboks 10  
N-2027 KJELLER

Telefon :  
+47 63 80 80 00  
Mil: 505 8000

Telefax :  
+ 47 63 80 87 58  
Mil: 505 8758



**1. INNLEDNING**

Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) har på oppdrag fra FFI bestemt konsentrasjonen av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn i innleverte prøver. Bestemmelsen ble gjort ved hjelp av ICP-AES.

**2. PRØVEMETODER**

Bestemmelsen av tungmetaller ble utført med ICP-AES (induktivt koblet plasma atomemisjonsspektroskopi). Nedenfor er det en oversikt over hvilken bølgelengde som ble benyttet for de ulike grunnstoffene:

Grunnstoff	Valgt bølgelengde (nm)
Kobber (Cu)	324,75
Jern (Fe)	238,20
Bly (Pb)	220,35
Antimon (Sb)	206,84
Sink (Zn)	206,20

Bestemmelsen ble utført med standarder som var 2 % med hensyn på HNO<sub>3</sub>.

**3. RESULTATER**

Resultatene fra analysen av prøvene er gitt i tabell 1 i vedlegget. Konsentrasjonen er gitt som mg/L. Den instrumentelle usikkerheten estimeres til 2-5 %.

Deteksjonsgrense og kvantifiseringsgrense:

Deteksjonsgrensen, ofte forkortet LOD, angir laveste konsentrasjon som lar seg bestemme. Den er blitt bestemt som 3 ganger standardavviket til 10 målinger av destillert vann.

Kvantifiseringsgrensen, ofte forkortet LOQ, angir laveste konsentrasjon som kan bestemmes nøyaktig. Den er blitt bestemt som 3,33 ganger deteksjonsgrensen. Oppgitte verdier som ligger mellom LOD og LOQ er dermed beheftet med større usikkerhet enn verdiene som er høyere enn LOQ.

**4. KONKLUSJON**

Cu, Fe, Pb, Sb og Zn er bestemt i innleverte prøver.

Vedlegg nr. : 1	Ant. Sider : 1	Rapport nr. : A-02-017
<b>Oppdragets tittel : Bestemmelse av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn</b>		

Tabell 1. Konsentrasjon av Cu, Fe, Pb, Sb og Zn i innleverte prøver. Konsentrasjonen er gitt som mg/L prøve. "-" betyr at funnet konsentrasjon ligger lavere enn oppgitt deteksjonsgrense (LOD), kvantifiseringsgrensen (LOQ) er også oppgitt.

Prøve ID	Konsentrasjon (mg/L)				
	Cu	Pb	Sb	Zn	Fe
blank	-	-	-	-	-
02-006	0,003	0,009	-	0,13	-
02-007	0,44	3,97	0,54	0,34	-
02-008	0,42	2,66	0,56	0,33	0,060
02-009	0,047	0,14	3,29	0,046	0,057
02-010	0,028	0,18	1,37	0,034	0,087
02-011	0,002	-	-	0,097	-
02-012	0,006	0,007	0,015	0,036	0,15
02-013	0,009	-	-	0,076	0,26
02-014	0,12	0,054	0,30	0,52	0,062
02-015	0,23	0,046	0,043	0,38	1,05
02-016	0,001	113	0,41	0,025	-
02-017	0,001	162	0,62	0,021	-
02-018	-	130	0,43	0,024	-
02-019	0,004	0,018	-	0,008	0,041
02-020	-	-	-	0,080	0,30
02-021	-	-	-	0,019	0,010
02-022	0,001	138	0,69	0,026	-
02-023	0,002	123	0,71	0,033	0,004
02-024	0,001	150	0,66	0,029	-
02-025	0,002	125	1,03	0,027	-
02-026	0,003	170	1,14	0,032	0,010
02-027	0,003	154	1,16	0,027	0,002
02-028	0,001	0,017	-	0,003	-
02-029	-	0,006	-	0,075	-
02-030	0,008	-	-	0,015	-
02-031	0,002	0,007	-	0,078	-
02-032	0,16	0,55	0,95	0,21	-
02-033	0,21	1,18	0,36	0,18	1,16
02-034	0,041	0,050	3,62	0,057	0,015
02-035	0,024	0,041	0,62	0,052	0,027
02-036	0,001	-	-	0,059	0,002
02-037	0,037	0,010	0,089	0,21	16,5
02-038	0,053	0,003	0,005	0,27	20,5
02-039	0,18	0,072	0,32	0,53	0,051
02-040	0,42	0,062	0,015	0,50	2,96
LOD	0,001	0,003	0,005	0,001	0,002
LOQ	0,004	0,010	0,017	0,002	0,008

Adresse :  
LHK/VLA  
Postboks 10  
N-2027 KJELLER

Telefon :  
+47 63 80 80 00  
Mil: 505 8000

Telefax :  
+ 47 63 80 87 58  
Mil: 505 8758



## Litteratur

- (1) Norsk institutt for vannforskning (2002): Overvåking av metallforurensing fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 11 års overvåking. (Eds Sigurd Rognerud og Torleif Bækken), 4512-2002, 59.
- (2) St. meld. nr. 24 (2001). Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand. Det Kongelige Norske Miljøverndepartement.
- (3) Einar Bardal (1994): Korrosjon og korrosjonsvern, Tapir forlag, Sandnes, 337.
- (4) Nyle C Brady, Ray R Weil (1996): The nature and properties of soils, Prentice Hall, New Jersey, 740.
- (5) Forsvarets forskningsinstitutt (2000): Bestemmelse av tørrstoff og glødetap i jord og sediment. D1, utgave 3.0.
- (6) P Thanabalasingam, W F Pickering (1990): Specific sorption of antimon (III) by hydrous oxides of Mn, Fe and Al, *Water, Air and Soil Pollution* **49**, 175-185.
- (7) J Pilarski, P Waller, W Pickering (1995): Sorption of antimony species by humic acid, *Water, Air and Soil Pollution* **84**, 51-59.
- (8) M B McBride (1994): Environmental Chemistry of Soils, Oxford University Press, New York, 406.
- (9) J S Rieuwerts, I Thornton, M E Farago and M R Ashmore (1998): Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of critical loads approach for metals, *Chemical Speciation and Bioavailability* **10**, 2, 61-75.
- (10) J Boisson, M Mench, J Vangronsveld, A Ruttens, P Kopponen, T De Koe (1999): Immobilization of Trace Metals and Arsenic by Different Soil Additives: Evaluation by Means of Chemical Extractions, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30, 3 and 4, 365-387.
- (11) C E Martinez, S Sauvé, A Jacobson and M B McBride (1999): Thermally Induced Release of Adsorbed Pb upon Aging Ferrihydrite and Soil Oxides, *Environ. Sci. Technol.* **33**, 2016-2020.
- (12) A Strømseng, M Ljønes (2000): Vertikal transport av tungmetaller i sandjord. Mobilitet, transport og fordeling av bly, kobber, antimon og sink i jordsmonn tilknyttet en 30 m utendørs skytebane på Sessvollmoen, FFI/Rapport-2000/06191

## FORDELINGSLISTE

**FFIBM**
**Dato: 14 Juni 2002**

RAPPORTTYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR.	REFERANSE	RAPPORTENS DATO	
<input checked="" type="checkbox"/> RAPP	<input type="checkbox"/> NOTAT	<input type="checkbox"/> RR	2002/00818	FFIBM/322201	14 Juni 2002
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD			ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER	
UGRADERT			60	43	
RAPPORTENS TITTEL			FORFATTER(E)		
MILJØMESSIGE VURDERINGER AV BLYFRI AMMUNISJON – Utvaskingsforsøk med forurenset jord.			STRØMSENG Arnljot Einride, LJØNES Marita		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF			FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:		
Bjørn Arne Johnsen			Jan Ivar Botnan		

**EKSTERN FORDELING**
**INTERN FORDELING**

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		FO/HST	14		FFI-Bibl
2		v/ Maj Stein Erik Granhaug	1		Adm direktør/stabssjef
1		FLO/LAND	1		FFIE
2		v/ Maj Per Johnny Pedersen	1		FFISYS
1		FLO/AMK	7		FFIBM
2		v/ Maj Alf Øversveen	1		Jan Ivar Botnan, FFIBM
1		FLO/LUFT	1		Bjørn Arne Johnsen, FFIBM
1		v/ Maj Dag Rune Eide	5		Arnljot E Strømseng, FFIBM
1		FLO/SJØ	1		Kjetil Sager Longva, FFIBM
1		v/ Per Stensland	1		Arnt Johnsen, FFIBM
1		Nammo	1		Øyvind A Voie, FFIBM
3		Svein Olav Olsen	1		Hege Ringnes, FFIBM
1		Mil. Plangruppe RØ	1		Marita Ljønes, FFIBM
1		v/ Maj Arnfinn Roseth	1		Helle Kristin Rossland, FFIBM
1		Forsvarsbygg	1		FFI veven
1		v/ Torgeir Mørch			
1		v/ Harald Bjørnstad			

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.