

RAPPORT LNR 3802-98

Overvåking av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser

Resultat fra 7 års overvåking



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 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
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA AS

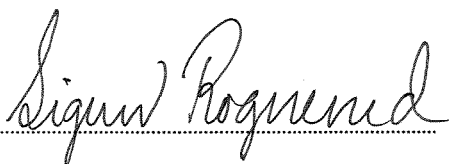
9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Overvåking av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 7 års overvåking.	Løpenr. (for bestilling) 3802-98	Dato 12 februar 1998
	Prosjektnr. Udemnr. 93109	Sider Pris 28
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon åpen
	Geografisk område hele landet	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Forsvarets bygningstjeneste, sentalledelsen og Raufoss Technology AS	Oppdragsreferanse Lars E. Hole
---	--

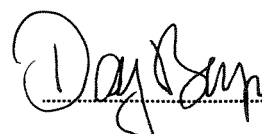
Sammendrag. Utlekkingen av bly og kobber fra deponerte prosjektiler var størst i Steinsjøfeltet og i skytefeltet på Evjemoen. Vannkvaliteten i bekkene som avvanner feltskytebaner og kulefangervoller i disse feltene har vært svært dårlig og konsentrasjonene har generelt sett vært stigende. I de andre feltene (Terningmoen, Sætermoen, Mauken og Porsangermoen) har ikke høge verdier og noen negativ utvikling med hensyn til metallkonsentrasjonene i bekkene blitt observert. Disse regionale forskjellene skyldes i hovedsak i jordsmonnets evne til å redusere korrosjonshastigheten og hindre mobilisering og uttransport av kobber og bly. Feltene i Nord-Norge er best stilt i denne sammenheng. Den negative utviklingen i Steinsjøfeltet og på Evjemoen skyldes i hovedsak sporsetting og/eller gravning i deponiene. Kalkfella som ble bygd på Steinsjøfeltet fungerte ikke tilfredstillende. Vi anbefaler derfor kalking av hele området der de mest utsatte deponiene befinner seg. Dette vil i de fleste tilfeller være et tilstrekkelig tiltak. Demolering av ammunisjon i Lærdal har hatt en beskjeden, og kun lokal innvirkning på vannkvaliteten i Nivla. Denne virksomheten forurenser ikke Lærdalselva med kobber og bly. Testsenteret på Bradalsmyra har ikke forurenset Veltmannåa, men enkelte tilfeller med høge konsentrasjoner i bekkene som avvanner bygningsmassene og utviklingsanlegget har blitt observert. Overvåkingen, som baserer seg på analyser av metallkonsentrasjoner i vannmoser, har vist seg å være en svært god metode for å gi svar på de ønskede problemstillinger. Forsvarets egne folk har deltatt i prøveinnsamling og erfaringene med denne ordningen har vært svært positiv. Vi kan derfor si at denne overvåkingen har vært kostnadseffektiv, informativ og brukervennlig. Den har gitt alle berørte skytefeltsadministrasjoner muligheter til å dokumentere betydningen av utslippene og eventuelt resultatet av utførte tiltak.

Fire norske emneord 1. Militære skytefelt og demoleringsfelt 2. Overvåking av vannkvalitet 3. Vannforurensning 4. Kobber og bly	Fire engelske emneord 1. Military firing ranges and demolition sites 2. Monitoring of water quality 3. Water pollution 4. Copper and lead
--	--



Prosjektleder

ISBN 82-577-3378-4



Forsknings sjef

Norsk Institutt for vannforskning
Østlandsavdelingen

O-93109

Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og
demoleringsplasser.

Resultater fra 7 års overvåkning

Saksbehandler: Sigurd Rognerud

Medarbeidere: Gøsta Kjellberg
Mette Gun Nordheim
Jarl Eivind Løvik
Torkild Westgaard (Forsvaret)
Curt Dahle (Forsvaret)
Asle Figenskau (Forsvaret)
Alf Pettersen (Forsvaret)

Innholdsfortegnelse

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
Innledning.....	6
Metoder.....	8
Sammenhengen mellom metallkonsentrasjoner i vann og mose.....	8
Kjemiske analysemetoder.....	10
Klassifisering av tilstand.....	10
Resultater.....	11
Bradalsmyra.....	11
Evjemoen.....	13
Steinsjøfeltet.....	15
Terningmoen.....	17
Mauken.....	19
Porsangermoen.....	21
Lærdalfeltet.....	23
Sætermoen.....	25
Sammenfattende diskusjon.....	26
Litteraturliste.....	29

Forord

Denne rapporten er den sjette årsrapporten fra en overvåkning av metallavrenningen fra 6 av Forsvarets etablerte skytefelt, og ett demoleringsfelt (1993-96) samt Bradalsmyra forsøksfelt tilhørende Raufoss Technology. I tillegg har Sætermoen skytefelt blitt undersøkt i 1996 og 1997. Prosjektet ble kontraktsfestet med Forsvaret 30 juli 1997, og Forsvarets Bygningstjeneste, Sentralledelsen har stått som oppdragsgiver. Kontaktpersoner har vært miljøkoordinator Lars E. Hole i FBT og Astrid Waarum i Hærens Forsyningskommando, Ammunisjonskontrollen. Testsentersjef Paulsrud har vært kontaktperson ved Raufoss Technology.

Feltarbeidet ble gjennomført sommer og høst 1997 med hjelp av skytefeltsadministrasjonene og miljøvernoffiserene der disse var tilstede. Vi vil spesielt takke Curt Dahle (Porsangermoen), Sara (Mauken), Alf Pettersen (Evjemoen), Torkild Westgaard (Sætermoen) og Asle Figenskau (Lærdal) for aktiv deltagelse ved prøveinnsamling slik at undersøkelsene gikk etter programmet.

Moseprøvene ble analysert ved NIVA's laboratorium i Oslo. Rapporten er utarbeidet ved NIVA's Østlandsavdeling.

Sammendrag

Sju års undersøkelser av bly og kobber-konsentrasjoner i bekker som avvanner militære skytefelt har gitt oss følgende hovedkonklusjoner:

Utlekkingen av bly og kobber fra deponerte prosjektiler har vært størst på Steinsjøfeltet og i skytefeltet på Evjemoen. I disse feltene har konsentrasjonene generelt sett også vært stigende i overvåkingsperioden. Vannkvaliteten i bekkene som avvanner feltskytebaner og kulefangervoller i disse feltene må karakteriseres som svært dårlig. I de andre skytefeltene (Terningmoen, Sætermoen, Mauken, og Porsangermoen) har ikke høge konsentrasjoner og noen negativ tidsutvikling med hensyn til metallkonsentrasjoner i bekkene blitt observert. Med andre ord har utlekkingen av metaller vært langt mindre og gitt mindre utslag i bekkene enn tilfelle har vært i Steinsjøfeltet og i skytefeltet på Evjemoen. Hva kan årsaken til denne regionale forskjellen være, og hvilke tiltak kan gjøres?

Når blyholdige prosjektiler korroderer dannes det blyalter på overflaten. Dannelsen av disse saltene i et god bufret jordsmonn (nøytral til basisk pH) gjør at de virker som et beskyttende lag som reduserer korrosjonshastigheten av prosjektilene. Dette er en av årsakene til at blyutlekkingen i enkelte skytefelt med et godt bufret jordsmonn er relativt beskjeden. Dette er i hovedsak situasjonen i de Nord-norske feltene Sætermoen, Mauken og Porsangermoen. Dersom jordsmonnet har lite kalsium og inneholder lite eller ubetydelige mengder bikarbonat (HCO_3^-), vil blyalter dannes i ubetydelige mengder eller løses i perioder når vannet er tilstrekkelig surt. Da vil de frie blyionene i liten utstrekning danne salter, men i hovedsak bindes til humus, jernoksider eller leireminerale. Humus brytes ned til humussyrer og humuskolloider som kan ta opp løst bly og transporterer dette ut fra deponiet med markvannet. Vi sier at blyet mobiliseres, og denne prosessen er med på ytterligere å lette korrosjonen av blyprosjektilet. Det er derfor at deponiene i sure humusrike områder f.eks. myrer som gir de største utlekkingsene. Dersom disse stedene i tillegg utsettes for graving eller sporsetting, vil gjennomtransporten av vann øke betydelig sammen med sannsynligheten for erosjon av blyholdige organiske partikler. Dette er i hovedsak situasjonen i Steinsjøfeltet og i Evjemoen skytefelt. Kalksperringen i Steinsjøfeltet har ikke fungert tilfredsstillende og vi anbefaler at hele området med de mest utsatte deponiene kalkes i tillegg. Dette vil i de fleste tilfeller være et tilstrekkelig tiltak.

I alle årene som overvåkingen har pågått, har vi registrert en utlekking av bly og kobber fra demoleringsfeltet i Lærdal. Påslaget i konsentrasjonene har imidlertid vært beskjeden og fortynningseffekten av den første sideelven gjør at konsentrasjonene var nær bakgrunnsnivået 1.5 km nedstrøms. Virksomheten vil ikke føre til økte konsentrasjoner av bly og kobber i Lærdalselva.

Testsenteret på Bradalsmyra har i overvåkingsperioden ikke forurenset Veltmannåa med bly og kobber. De mindre bekkene som avvanner bygningsmassen og utviklingsanlegget, har imidlertid tidvis hatt høge konsentrasjoner på grunn av enkeltutslipp. Disse bekkene renner imidlertid ikke til Veltmannåa.

Undersøkelsene over disse 7 årene har gitt oss viktige erfaringer med hensyn til hvordan en slik overvåking kan gjøres kostnadseffektiv, informativ og brukervennlig samtidig som den er vitenskapelig forsvarlig. Vi har utviklet et overvåkingsprogram der analyser av bly- og kobber-konsentrasjoner i vannmoser har vist seg å være en svært god metode for å vurdere betydningen av slike forurensninger fra skytefelt over lengre tidsperioder. Det har vært mulig, år etter år, å følge små forskjeller i konsentrasjoner mellom bekker innen et felt der forurensningsbildet ikke har endret seg selv om nedbørsmengdene har variert. Dette viser at metoden er svært følsom, og den har gjort det mulig å avdekke selv små utslipp som det i etterkant har vært mulig å etterspore og forklare. Kontamineringsfaren ved denne metoden er liten slik at Forsvarets egne folk har kunnet delta i prøveinnsamlingen etter nødvendig instruksjon. Dette sikrer en delaktighet fra brukersiden, og opplegget har fungert svært tilfredsstillende. Derved har det også vært mulig å gjennomføre et relativt omfattende overvåkingsprogram som muliggjør de første relativt sikre analyser av tidstrender i utlekkingen av bly og kobber fra de ulike skytefeltene

Innledning

Denne rapporten er den sjettede årsrapporten fra overvåkningen av metaller i avrenningen fra Forsvarets skytefelt. Målsetningen med overvåkningen er å følge tidsutviklingen i konsentrasjonene av bly og kobber i avrenningsvannet fra de viktigste skytefeltene. Resultatene skal benyttes til å klarlegge om det var felt der det kunne være nødvendig å gjøre tiltak for å begrense denne avrenningen. Erfaringene fra denne overvåkningen vil gi viktig informasjon om hvor og hvordan skytebaner og kulefangervoller bør anlegges i framtiden. I løpet av dette arbeidet med de etablerte skytefeltene har det vist seg at Forsvaret og FBT har flere delproblemer der de ønsket en tilsvarende type undersøkelse. Disse undersøkelsene er også rapportert i denne rapporten. Dette gjaldt metallkonsentrasjoner i avrenning fra nedgravde metallrester etter rydding av et skytefelt og en nyanlagt skytebane på Sætermoen.

I de etablerte skytefeltene er det spesielt bruken av handvåpen som skaper de største deponiene av metaller. Dette er en aktivitet som har foregått i mange år og i flere deler av landet. I begynnelsen av 1990-årene var de årlige deponeringer ca. 85 tonn bly, 41 tonn kobber, 5 tonn sink og 11 tonn antimon vesentlig i kulefangervoller og feltskytebaner (Rognerud et al. 1992), men etter opplysninger fram HFK AMMK har disse siden steget til det dobbelte i 1997. I tillegg til dette kommer Det frivillige skyttervesenets aktivitet som deponerer metaller i samme omfang som Forsvaret. Det finnes ikke beregninger på de totale mengder som gjennom årenes løp er deponert i feltene, men i de mest brukte feltene deponeres det flere tonn tungmetaller årlig. Det er således en betydelig potensiell mengde med forurensninger som finnes i feltene og de forsetter å øke årlig så lenge feltene er i bruk. Spørsmålet om i hvilken grad disse deponiene forurenser vannet utenfor skytefeltene er blitt aktualisert i den senere tiden. Innen miljøforvaltningen og ulike interessegrupper vises det økende interesse for dette temaet. Forsvaret har et spesielt ansvar for forvaltningen av disse deponiene og skal i følge Stortingsmelding 46 (1988-89) som hovedregel også stå for gjennomføringen av egne miljøtiltak. Et hovedpoeng i denne sammenheng er at naturens tålegrenser ikke skal overstiges og at det praktiseres et "føre var"-prinsipp slik at miljøvernarbeidet blir forebyggende.

I løpet av de siste 10 årene har NIVA undersøkt avrenningen av tungmetaller fra ulike skytefelt (Kjellberg 1988, Kjellberg & Boye 1992, Rognerud & Boye 1992, Rognerud et al. 1993, Rognerud 1995, 1996, 1997). Testsenteret på Raufoss og demoleringsfeltet i Lærdal er også undersøkt (Rognerud 1994, 1995, 1996, 1997). I den pågående overvåkingsundersøkelsen har noen felt vært undersøkt alle årene. Dette gjelder Evjemoen, Steinsjøfeltet, Terningmoen, Mauken og Porsangermoen. Demoleringsfeltet i Lærdal ble undersøkt fra og med 1993. Lokalisering av de undersøkte feltene er vist i Fig. 1.

Deponiene i skytefeltene består i hovedsak av kobbermantlete blyprosjektiler. Disse inneholder i utgangspunktet 60 % bly, 30 % kobber, 7 % antimon og 3 % sink på vektbasis. Sink er vanlig forekommende i naturen i såvidt høge konsentrasjoner at vi har ikke kunnet registrere noe nevneverdig påslag av dette elementet i avrenningen fra skytefeltene. I og med at sink er relativt vanlig, og dessuten er et essensielt element for planter og dyr, kan det tenkes at naturen har større tålegrenser for dette elementet. Det er derfor ikke knyttet forurensningsproblemer til sink i avrenningsvannet fra skytefeltene. Med unntak av Storvatnet i Steinsjøfeltet (antagelig direkte deponering i vannet), har vi heller ikke registrert nevneverdige forurensninger knyttet til antimon i avrenningen fra deponiene. En av forklaringene til dette er antagelig at oksidene til antimon er svært tungt løselige, slik at elementet forekommer i lave konsentrasjoner i vannfasen. Det har også vært hevdet at militære skytefelt kan inneholde deponier av kadmium. I 1995 ble samtlige vann- og moseprøver på alle målestasjoner analysert på kadmium. Det ble imidlertid ikke registrert unormalt høge verdier i noen av disse prøvene. Vi står derfor tilbake med kobber og bly som de viktigste elementene i avrenning fra skytefelt. Spesielt bly er det knyttet store forurensningsproblemer til, da det er et ikke essensielt element som kan føre til skader i økosystemet ved lave konsentrasjoner. Det er også knyttet store problemer til dette elementet dersom det forekommer i forhøyede konsentrasjoner i drikkevann.

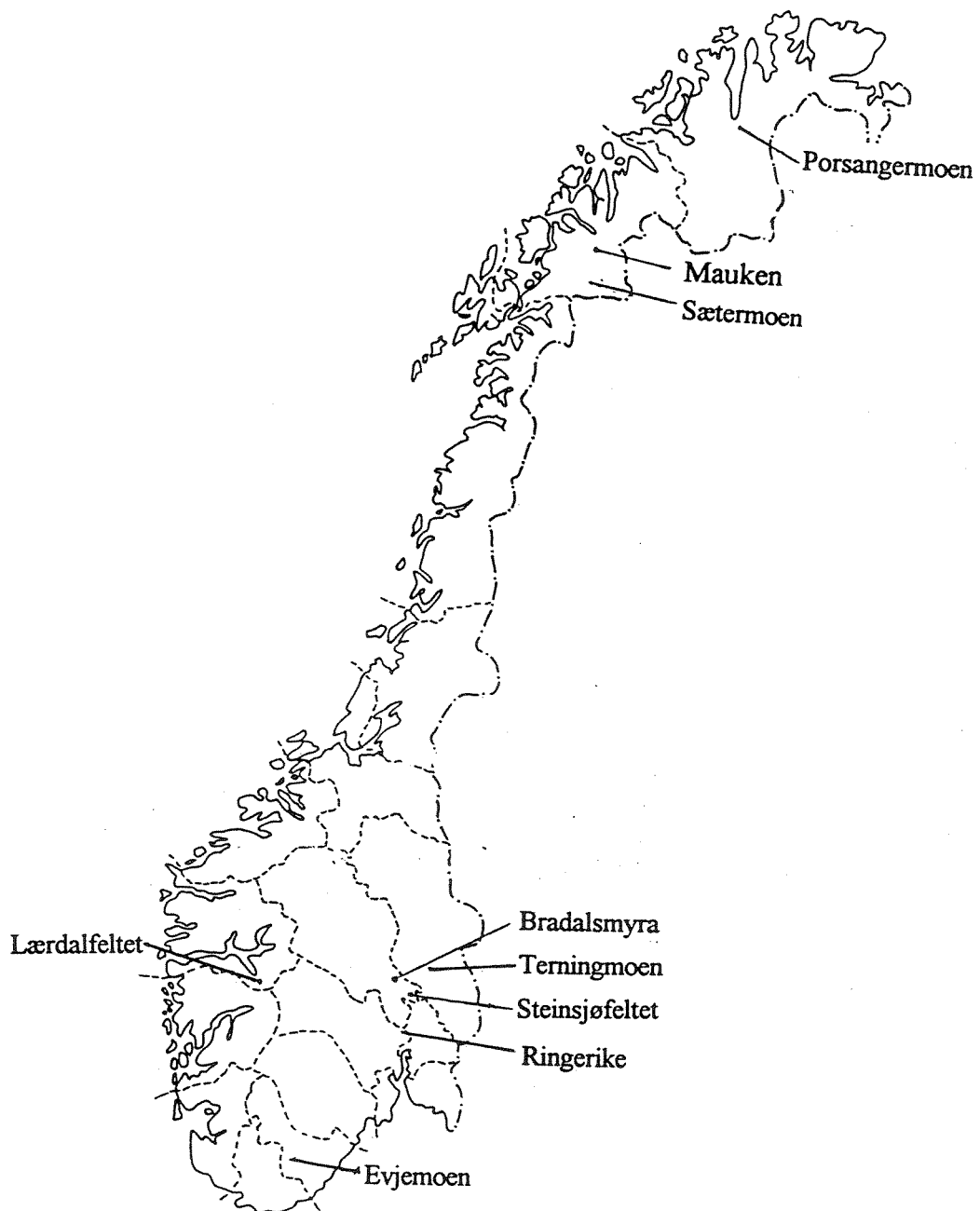


Fig. 1. Lokalisering av de undersøkte militære skytefeltene. I tillegg har vi vist lokaliseringen av demoleringsfeltet ved Lærdal og Bradalsmyra test og utviklingsanlegg på Raufoss.

Metoder

Valg av metode

I lite eller moderat forurensede elver og bekker forekommer tungmetallene oftest i meget lave konsentrasjoner, og det kreves et stort antall vannprøver for å oppnå representative middelverdier over en lengre tidsperiode. I tillegg til dette kreves det omhyggelig rengjøring av prøveflasker og spesielle forhåndsregler ved prøvetakingen da kontamineringsfaren er meget stor ved slike prøveinnsamlinger. Konsentrasjonene i vann kan variere betydelig over kortere tid og for enkelte tungmetaller er de også nær grensen for det vi kan måle selv med ICP-MS teknikk. I rennende vann brukes derfor ofte vannmoser, spesielt arter fra slekten *Fontinalis*, som bioindikator. Disse akkumulerer metallene i vevet i et bestemt forhold til konsentrasjonene i vannet (opptil 10000 ganger). Mosene har en rask opptakshastighet, men en mye seinere utskilleleshastighet. Dette gjør at de gjenspeiler den midlere vannkonsentrasjonen over noen uker på en god måte også i de tilfeller hvor en har hatt pulser med høge konsentrasjoner som f.eks. ved tilfeldige utslipp (Mouvet et al. 1993). Det er levende nydannede toppskudd som samles inn, skylles forsiktig, tørkes og sendes til laboratoriet for analyse.

Konsentrasjonene gir informasjon om den antatt biotilgjengelige fraksjonen av metallkonsentrasjonen. Dette er viktig for vurderingen av de biologiske konsekvensene. Vannmosenes egenskaper som nevnt ovenfor gjør at de er mye brukt av geologer på leting etter tungmetallholdige mineraler. Det er spesielt i Canada, men også i Skandinavia og Russland at moser er brukt i denne sammenheng. Det har vist seg at moser er et mye bedre medium til å fange opp geokjemiske anomaliteter enn mange andre metoder slik som f.eks. analyser av bekkesedimenter og vann (Smith 1986). Det er imidlertid ikke bare ved leting etter mineralforekomster at vannmoser har vist sin fortreffelighet. De brukes også i overvåkning av metallkonsentrasjoner i rennende vann i Sverige (Selinus 1988, Lithner 1989), Canada (Barryman 1990), Frankrike (Mouvet 1993), Belgia (Descay & Empain 1981), England (Kelly et al. 1987) og i Portugal (Monteiro et al 1989). I Norge er også vannmoser benyttet ved flere anledninger spesielt ved overvåkingen av metallavrenningen fra gruveavganger/slagghauger og andre deponier (Lingsten 1985, Kjellberg et al.1991, Kjellberg 1994), men også for å skaffe bakgrunnsdata om konsentrasjoner av metaller i naturlig "uforurensede" områder (Kjellberg 1994, Rognerud & Boye 1992).

Sammenhengen mellom metallkonsentrasjoner i vann og mose

I 1993, 1994, 1995 og 1996 ble det parallelt med eksponeringene av mosene også samlet inn vannprøver for metallanalyser (ICP-MS). Disse prøveflaskene var spesielt rengjorte og fylt opp med destilert vann for å redusere kontamineringsrisikoen. I enkelte tilfeller i 1993 ble parallelle prøver samlet inn, men det viste seg etterhvert at disse ga nær de samme resultatene. For å spare analysekostnader gikk vi derfor over til bare å samle inn enkeltprøver. Prøvene ble som hovedregel samlet inn ved utsetting og opptak av moseprøver dvs. med ca. 3-4 ukers mellomrom. Da mosene vil gjenspeile vannkvaliteten over hele eksponeringsperioden, kan det selvfølgelig være forklarlig at en i enkelte tilfeller kan få en mindre god overenstemmelse med resultater fra vannprøver basert på stikkprøver som kun representerer et øyeblikksbilde. Resultatene fra 1993 og 1994 viste likevel gode korrelasjoner mellom kobber- og blykonsentrasjonene i mose og vann i de respektive feltene (Fig. 2). I 1996 ble ytterligere 103 stikkprøver analysert mhp. kobber og bly i vann. Disse resultatene ga nær de samme forhold mellom konsentrasjoner i vann og mose som gitt i i Fig.2. for de andre årene.

Den generelle vannkvaliteten har betydning for i hvilken tilstand metallene forekommer. Størst betydning i denne sammenheng har vannets surhetsgrad og humuspåvirkningen. For elementer som Pb og Cu som forekommer som 2 verdige kationer vil surere vann betinger at mer av metallens totale konsentrasjon forekommer som løste ioner, mens økte humusmengder adsorberer metallioner og senker andelen løste ioner. I surt vann konkurrerer en økende konsentrasjon av H^+ ioner med metallene ved opptak i mose, mens økte humusforbindelser gir mindre andel tilgjengelig metall for opptak. Alle

disse forhold gjør derfor at relasjoner mellom konsentrasjoner i mose og vann bør utvikles for hver type vannkvalitet eller enklere for hvert felt. Forskjellene mellom feltenes regresjonslinjer var større for bly enn for kobber, men relasjonene innen de respektive feltene var gode (Fig.2) Dette viser at metodikken er godt egnet for å løse målsetningen. Bruken av moser vil foruten å gi informasjon om situasjonen i snitt over tid også fange inn utslippspulser dersom dette skjer i enkelte perioder.

Personalet fra NIVA's Østlandsavdeling har ved enkelte tilfeller gjort parallelle prøveuttak i felt og analyser for å sikre at alle lokale prøvetakere gjør et tilfredstillende feltarbeid. Det ble ikke observert avvik av betydning mellom kontrollprøver og rutineprøver innsamlet av lokale prøvetakere i noen av feltene.

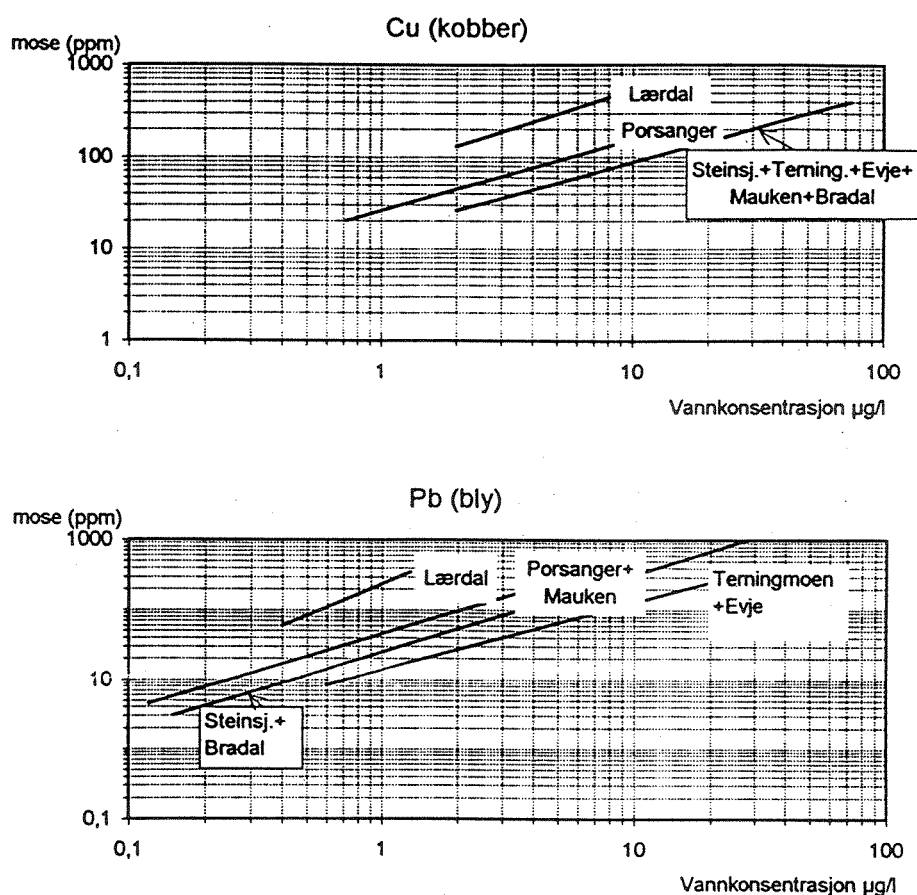


Fig.2. Sammenhengen mellom kobber- og bly-konsentrasjoner i vann og mose fra skytefeltene. Regresjonslinjene for de ulike feltene er gitt. Antall observasjoner varierer mellom 15-30 for hvert felt. Sammenhengene er statistisk signifikante og har en høy forklaringsgrad. For oversiktens skyld har vi ikke vist de enkelte observasjoner og konfidensgrenser. Hovedhensikten er å vise den variasjonen som har innenfor feltene når det gjelder akkumuleringsgraden i mosene for disse elementene og det omregnings-forholdet som er benyttet ved inndelingen etter SFT's klassifiseringsystem for vannkvalitet.

Kjemiske analysemetoder

Alle analysene av metaller i vann ble utført ved NIVA's akkrediterte laboratorium i Oslo. Det er bare benyttet spesialflasker utsendt fra dette laboratoriet. Kobber og bly ble analysert ved bruk av ICP-MS, og pH og vannfarge ble analysert etter Norsk Standard ved Østlandsavdelingen. Kobber og bly i mose ble analysert ved NIVA's laboratorium i Oslo etter akkrediterte analysemetoder.

Klassifisering av tilstand

På bakgrunn av konsentrasjonene av miljøgifter som bly og kobber i vann har Statens Forurensnings-tilsyn (SFT) inndelt vannkvaliteten i ulike tilstandsklasser slik som gitt i Tab.1 (Holtan & Rosland 1992).

Tabell 1. Tilstandsklasser (I-IV) for vannkvalitet basert på konsentrasjoner av enkelte tungmetaller($\mu\text{g/l}$). De ulike klassene er gitt ulike fargekoder (Holtan & Rosland 1992)

	God (I) blå	Mindre god (II) grønn	Nokså dårlig (III) gul	Dårlig (IV) rød	Meget dårlig (V) fiolett
Kobber ($\mu\text{g/l}$)	<2	2-5	5-15	15-50	>50
Bly ($\mu\text{g/l}$)	<1	1-3	3-5	5-10	>10
Sink ($\mu\text{g/l}$)	<10	10-30	30-60	60-110	>110
Krom ($\mu\text{g/l}$)	<1	1-3	3-10	10-50	>50
Nikkel ($\mu\text{g/l}$)	<3	3-10	10-30	30-100	>100
Kvikksølv($\mu\text{g/l}$)	<0,01	0,01-0,04	0,04-0,1	0,1-0,3	>0,3

På bakgrunn av tilstandsgrensene i denne tabellen og regresjonene mellom konsentrasjonene i vann og mose for de ulike feltene som gitt i Fig. 2 kan også tilstandsklasser og fargekoder for konsentrasjoner i mose defineres. I alle presentasjonene fra de ulike skytefeltene er denne fargekoden og ovennevnte grenser benyttet. Hvert målepunkt (stasjon) som er vist i figurene representeres ved en middelvei i de ulike årene. Denne middelveien er beregnet på bakgrunn av 2-4 eksponeringsperioder og utgjør stort sett den isfrie delen av året.

Resultater

Bradalsmyra

Innledning

Bradalsmyra er skytefelt og testplass for Raufoss Technology. Området avvannes av Veltmannåa og to mindre bekker som ikke ligger i Veltmannåa's nedbørfelt (Fig.3). Feltet ble tatt i bruk for prøveskyting av ammunisjon i 1918, men det var først i midten av 50-årene at aktiviteten ble mer omfattende. Bruken har i den senere tid endret karakter slik at prøving, kontroll og produktutvikling er hovedaktiviteten i dag. Dette innbefatter en mangesidig aktivitet med potensiell forurensingfare av bl.a tungmetaller. Testskyting av ammunisjon for håndvåpen skjer i et delvis lukket anlegg på fabrikkområdet slik at Bradalsmyra i dag er lite belastet med prosjektiler fra håndvåpen. Undersøkelsene på Bradalsmyra har foregått siden 1991. Det er utgitt fire rapporter som omhandler resultatene fra disse undersøkelsene (Kjellberg & Rognerud 1992, Rognerud 1993, 1994, 1996, 1997). Fra og med 1993 har undersøkelsene på Bradalsmyra blitt en overvåkningsundersøkelse (4 stasjoner) som rapporteres her.

Resultater

De små bekken (st.7 og 8) som avvanner de østligste områdene (der bl.a bygningsmassene ligger) hadde fram til 1995 generelt noe høyere bly-konsentrasjoner enn st.4 i Veltmannåa (Fig.4). Spesielt har dette vært tilfelle ved stasjon 7 (nedstøms hovedstandplass) der verdiene har vært opp til 6 ganger høyere en referanseverdiene, men de var i 1997 tilbake til nær naturlige nivå. På stasjon 8 (som avvanner miljøtest-anlegget, var imidlertid konsentrasjonene av bly (ikke kobber) over 20 ganger høyere enn bakgrunnsverdiene i 1997. Bedriften bør sjekke hva årsakene til denne forurensningen kan være. I Veltmannåa har vannkvaliteten med hensyn på bly og kobber vært god i hele observasjonsperioden.

Konklusjon

Vannkvaliteten kan betegnes som god med hensyn til bly og kobber i Veltmannåa når den renner ut av feltet. Konsentrasjonene var nær de som observeres ved utløpet av Veltmannantjernet. Dette viser at bidraget av forurensninger for disse elementene var ubetydelig eller ikke påviselig og feltet forurenser ikke vassdraget nedstrøms. I 1993 var det mindre god vannkvalitet i bekken som avvanner hovedstandplass, men denne situasjon har bedret seg betydelig de siste årene og konsentrasjonene var tilbake til de naturgitte i 1997. Vannkvaliteten med hensyn til kobber var på grensen mellom god og mindre god i bekken som avvanner miljøtestanlegget i 1996, men dette kan være naturlig betinget. Generelt, ser det ut til at forholdene er under kontroll med hensyn til utslipp av bly og kobber fra Bradalsmyra skytefelt, med unntak av området rundt miljøtestanlegget som hadde en blyforurensningskilde i 1997.

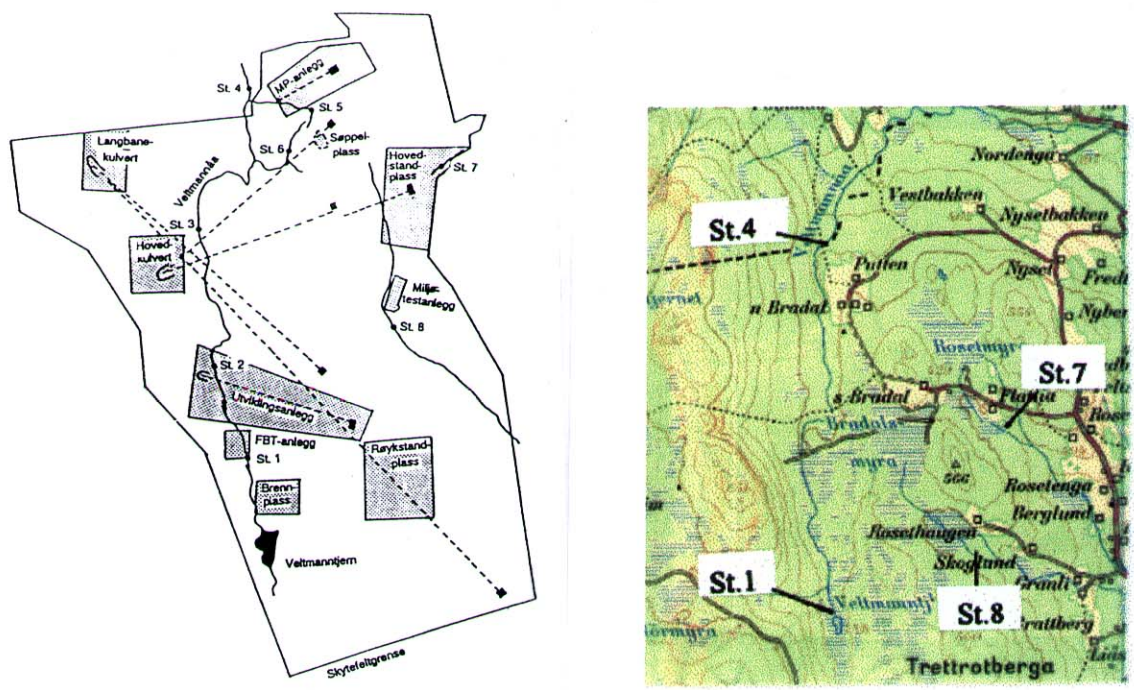


Fig. 3. Prøvetakingstasjoner i Bradalsmyra test- og utviklingsanlegg.

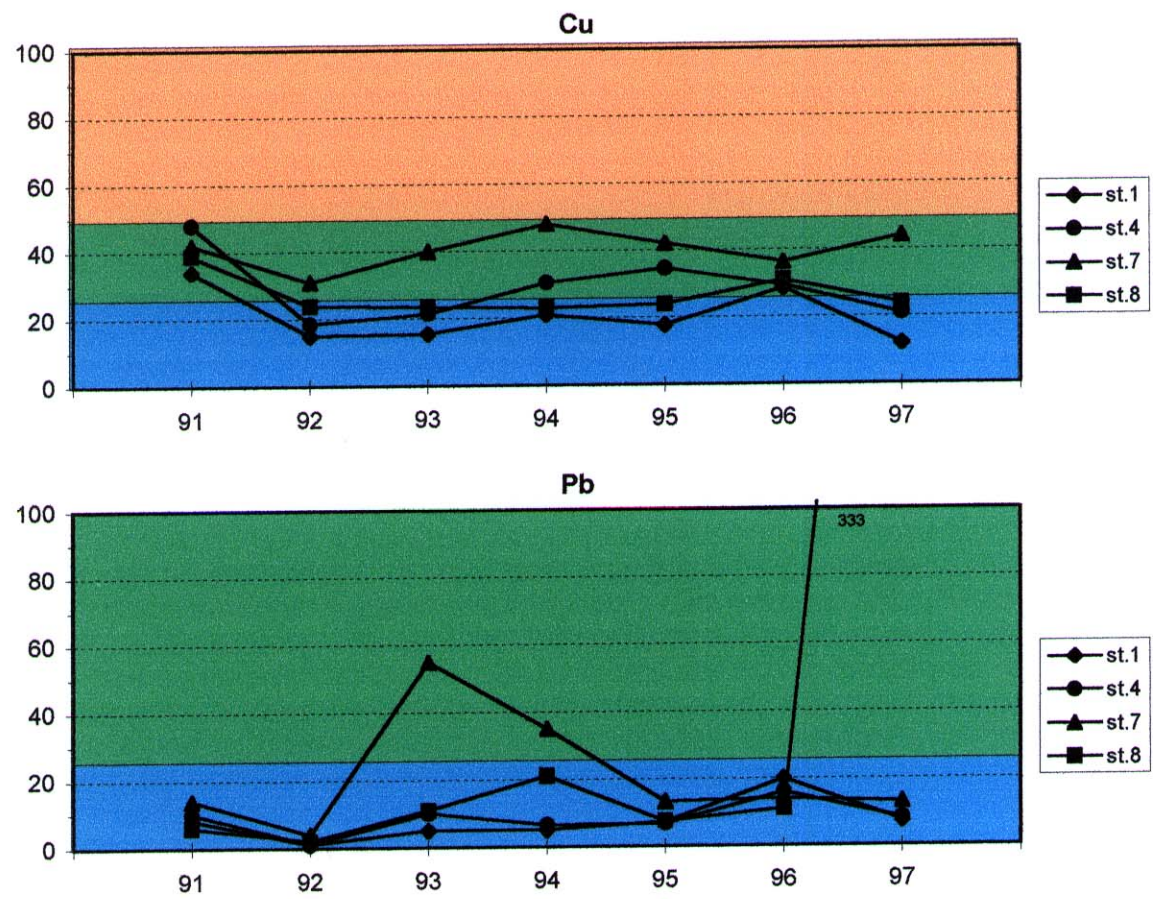


Fig.4. Konsentrasjoner (µg/g tørrvekt) i vannmose fra stasjonene i Bradalsmyra skytefelt.

Evjemoen

Innledning

Evjemoen er standkvarter for Infanteriets øvningsavdeling nr. 2 (IØ2). Skyte- og øvningsområdet omfatter ca. 9000 mål og er i Forsvarets eie (Fig.5). På bakgrunn av befaringer og orienterende undersøkelser i 1991 ble overvåkningen lagt til bekken som avvanner feltskytebanen og bekken som avvanner kulefangervollene ved Steinsfjellet. Det var disse områdene som hadde de største potensielle forurensningsfarene og de høyeste metallkonsentrasjonene i avrenningsvannet. I tillegg til dette ble konsentrasjonene overvåket i en naturlig voksende mosebestand der Bjoråa renner ut av skytefeltet (Fig.5). Vannkvaliteten i feltet kan karakteriseres som ionefattig, humøs og med svakt sur reaksjon (pH 5,0-6,5). Stedvis er det dumpet kalk i Bjoråa og tilrennende bekker som et ledd i fiskestelltiltak. Dette er en medvirkende årsak til at pH i Bjoråa's nedre deler var nær 6 ved befaringen alle årene. I bekken ved Steinsfjellet varierte pH mellom 5,5 og 6.0 der en høy grad av CO₂ overmetninger (humøst vann) kan ha vært en vesentlig årsak til de relativt lave pH verdiene. De siste fem årene var deler av sommeren såvidt tørr at vannføringen i både Bjoråa og bekken ved Steinsfjellet var svært liten og vannet var meget humusrikt. Mosene hadde vanskelige levevilkår i hele perioden, men likevel var det tilstrekkelig med friske skudd til at analysene kunne utføres. Parallelle vannanalyser viser en god overenstemmelse med mose-prøvene hvilket er rimelig å forvente i bekker med små fluktuasjoner i vannføringen slik som tilfelle har vært på Evjemoen i overvåkingsperioden.

Resultater

Det generelle inntrykket er at konsentrasjonene av bly og kobber har økt på alle måle-punktene i løpet av overvåkingsperioden (Fig.6). Konsentrasjonene i bekken som avvanner feltskyte-banen har i alle år vært høyere enn i bekken som avvanner kulefangervollene. Økningen har vært betydelig fra og med 1994 i bekken fra feltskytebanen. Feltskytebanen ligger i Bjoråa's nedbørfelt og det er rimelig å anta at den gradvise økning av både bly- og kobber-konsentrasjonene som er målt i Bjoråa skyldes denne utviklingen. I de siste 4 årene har vannkvaliteten med hensyn på bly vært meget dårlig i bekken fra feltskytebanen, og dårlig i bekken fra kulefangervollene. Bjoråa hadde i 1997 en nær akseptabel vannkvalitet med hensyn til bly.

Vannet i bekkene som avvanner Evjemoen skytefelt har tidligere vært karakterisert som svakt sur og svært humuspåvirket (Rognerud 1996). Utløsningen av metaller fra deponerte prosjektiler i jord og myrer er antagelig effektiv i dette feltet. Bly og kobber bindes til humus som siden lekker ut i bekken og transporteres nedover i vassdraget. De naturgitte forhold er derfor ugunstig med hensyn til å holde metallene bundet på deponeringsplassen. Det kan derfor være et aktuelt avbøtende tiltak å hindre erosjon av deponiene og eventuelt å kalke deponiene.

Konklusjon

Det er en betenkelig utvikling med hensyn til metallforurensninger i bekkene fra skytefeltet på Evjemoen selv om konsentrasjonene gikk noe ned i 1997 i avrenningen fra feltskytebanen. Det er sannsynlig at det var gravearbeidene i feltskytebanen i 1994 som startet utviklingen mot de høye konsentrasjonene i denne bekken de siste fire årene. Det bør så langt som mulig unngås å grave i feltskytebanen, da mengden av utløst kobber og bly som er bundet til humusstoffer i feltet er betydelig etter mange års bruk. Observasjonene i 1997 viste at det ennå ikke er gjort effektive tiltak for å stanse utlekking av metaller fra feltskytebanen. Alle inngrep som vil redusere oppholdstiden av vann i dette feltet vil føre til økt mobilitet av kobber-, og bly-humuskomplekser. Dette vil ha betydning for vassdraget nedstrøms slik det også er registrert i Bjoråa ved utløpet av feltet. Vi ser at utviklingen i Bjoråa følger nøye utviklingsmønsteret i konsentrasjonene i bekken fra feltskytebanen. Dette er som en teoretisk skulle forvente og viser at metoden for å måle metall avrenning er god. Det viser imidlertid også at bindingsgraden i bekkefaret kombinert med økende fortykning på grunn av tilkommende bekker reduserer blykonsentrasjonene betydelig før utløpet av Bjoråa i Nidelva. I bekken som avvanner kulefangervollene fortsatte den negative utviklingen for bly. Vi vil foreslå at deponiene kalkes for å snu den negative utviklingen i metallavrenning fra deponiene i Evjemoen skytefelt.

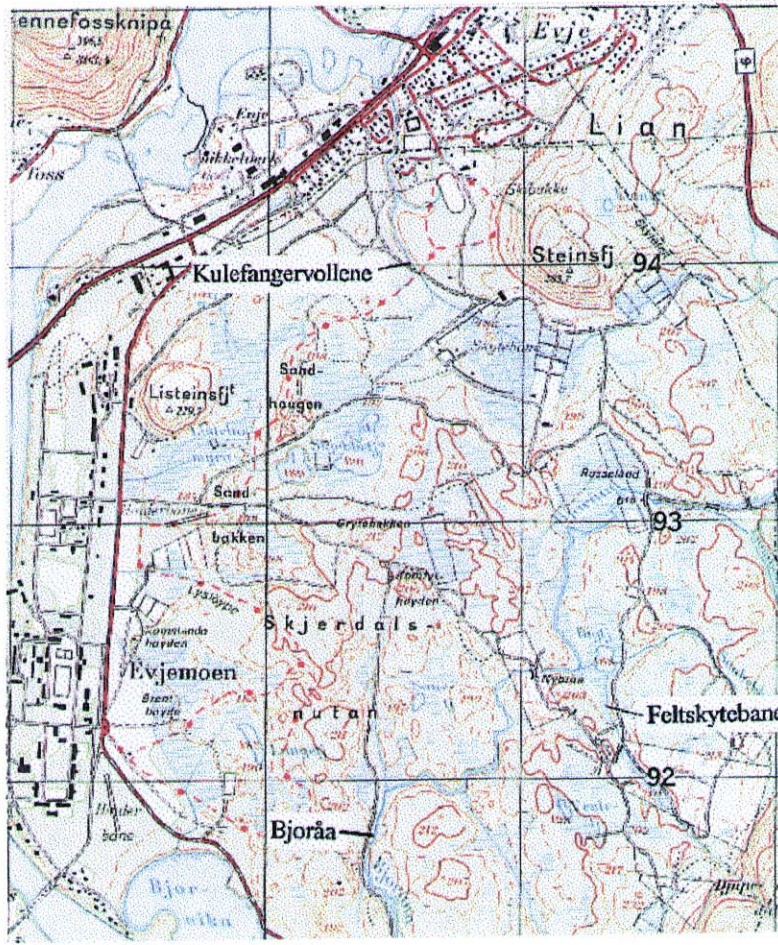


Fig.5 Overvåkningstasjonene i Evjemoen skytefelt.

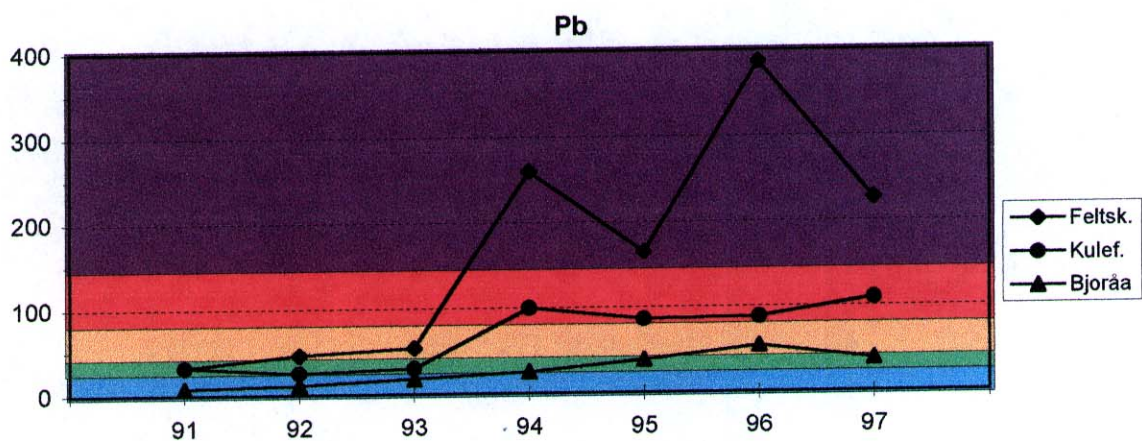
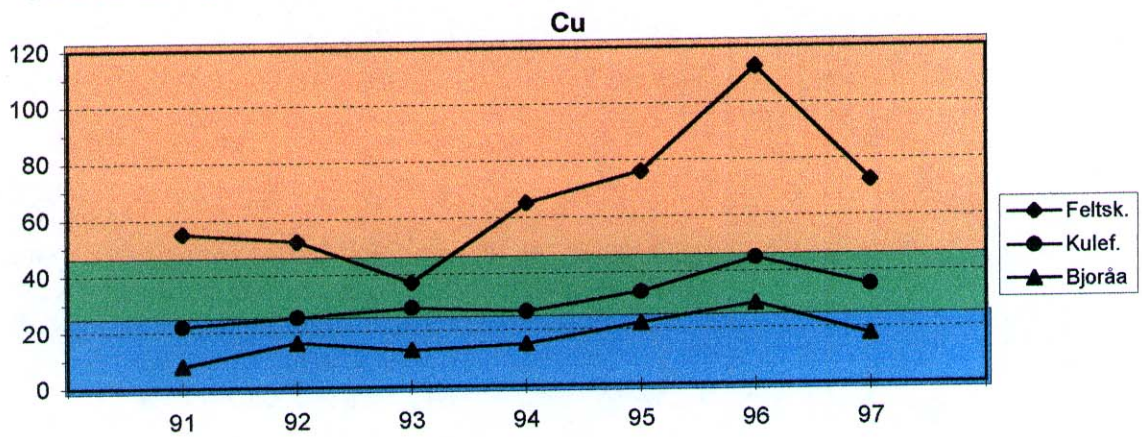


Fig.6. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose på stasjonene i Evjemoen skytefelt.

Steinsjøfeltet

Innledning

Dette feltet er fjernøvningsfelt for avdelinger i det sentrale Østlandsområdet. Feltet er et leiet privat område og er i alt på 11300 da. Området ble nøye befart i 1991, og flere orienterende prøver ble analysert. Det viste seg at problemer i forbindelse med avrenning av bly og kobber i hovedsak var knyttet til de østligste feltskytebanene som ligger oppover i Larsmyrdalen og som avvannes av Larsmyrbekken som renner ut i Brenntjern (Fig.7). Vannet i denne bekken var nær nøytralt og relativt lite humuspåvirket. Senere (1995) viste det seg at banene rundt Storvatnet også hadde høge metallavrenninger. Det er grunn til å anta at dette feltet har noen av Forsvarets mest benyttede feltskytebaner. Analysene av vegetasjon på feltskytebanen har vist en betydelig anrikning av bly (Rognerud et al. 1992). Det er i hovedsak prosjektiler fra handvåpen som deponeres i feltet.

Overvåkingen har vist at metall-konsentrasjonene i bekken som avvanner feltskytebanene har vært betydelige. Etter en befaring i feltet sammen med folk fra FBT avd. Hamar, DKØ og skytefelt-administrasjonen den 6/10-94 ble det besluttet at det også skulle tas stikkprøver i bekkene fra bane 5/6, 7/9 18/19 og av sedimentene i Storvatnet for å fastslå konsentrasjonene av aktuelle tungmetaller. Sedimentundersøkelsen viste at det var et betydelig påslag av antimon (Sb), bly (Pb) og kobber (Cu) i overflatesedimentet i forhold til referansesedimentene, og bekkene var klart forurenset (Rognerud 1996). Analyser av sedimenter fra andre innsjøer i området viser at konsentrasjonene var klart høyere enn de en finner i vann som bare mottar atmosfæriske deponeringer. Det er også de ovennevnte elementene som er hovedbestanddelene i prosjektilene som deponeres fra skytingen med handvåpen og mitraljøser. Det er derfor klart at utlekkingen av disse metallene fra deponerte prosjektiler i vannet og i næredbørfeltet har forurenset Storvatnet. Etter disse resultatene ble det besluttet å overvåke konsentrasjonene i vannet som drenerer banene 5/6 (st.2.) og banene 7/9 (St.3).

Resultater

Resultatene fra overvåkningsundersøkelsen er vist i Fig.8. Alle referanseprøver i området viste lave verdier og god vannkvalitet. I Larsmyrbekken (st.1) har konsentrasjonene av kobber økt jevnt fra 1991 og fram til 1997. Fra overvåkingen startet og frem til 1997 har konsentrasjonen økt til det 4 dobbelte slik at den i 1997 var 25 ganger høyere enn bakgrunnsverdiene. Utviklingen av bly-konsentrasjonen i bekken har vært enda mer dramatisk. Konsentrasjonene steg jevnt fra 1991 til 1994 da verdiene var ca. 140 ganger høyere enn bakgrunnsverdiene. I årene siden har blykonsentrasjonene ligget nær 1994 nivået. Fra og med sommeren 1996 ble også en kalksperre gjort ferdig som skulle redusere metallavrenningen fra det nærmeste holdet på den nederste feltskytebanen. Dette ga imidlertid ikke de ønskede effekter fordi vannet renner ut over kalkspennen og ikke siver igjennom som forutsatt. En vesentlig del av blyet fra Larsmyrdalen forventes å sedimentere i Brenntjernet. Fra og med 1993 ble en stasjon også lagt til utløpsbekken fra tjernet (st.1a). Konsentrasjonene på denne stasjonen økte markert i 1996 antagelig på grunn av gravearbeider som førte mye partikler ut i bekken, men i 1997 var konsentrasjonene tilbake til 1994 nivå. Reduksjonene i konsentrasjonene av bly og kobber fra Larsmyrbekken til utløpsbekken fra Brenntjernet viser at tjernet fungerer som en meget effektiv felle for bly og kobber forurensningen fra Larsmyrdalen. Konsentrasjonene i Larsmyrbekken var så høge at det er store sjanser for gifteffekter på akvatiske organismer. Vannkvaliteten i Larsmyrbekken må betegnes som meget dårlig, mens den var mindre god i bekken som renner ut av Brenntjernet

Vannføringen i bekken som avvanner banene 5/6 (st.2) var liten, men konsentrasjonene var høge. De var betydelig høyere for både kobber og bly enn de som ble registrert i Larsmyrdalen. Det samme var tilfelle i 1997 i bekken som avvanner den store PV-banen (st.3) og renner ut i Storvatnet. Vannkvaliteten i begge disse bekkene må karakteriseres som meget dårlig.

Konklusjon

Vannkvaliteten på alle målestasjonene fra skytebanene i Steinsjøen skytefelt i 1997 må karakteriseres som meget dårlig. Konsentrasjonene var meget høye og langt over de naturgitte. Gifteffekter på

akvatiske organismer må derfor forventes. Utviklingen fra overvåkingen startet i 1991 har vært negativ med en tendens til stadig økende konsentrasjoner. Blykonsentrasjonene i Larmyrbekken har imidlertid stabilisert seg på et høgt nivå de siste fire årene. Utviklingsforløpet må antakelig ses i sammenheng endrede avrenningsforhold forårsaket av gravearbeider som har blitt gjort i feltet i overvåkingsperioden. Humus-metall komplekser mobiliseres og renne lettere ut i bekken enn tidligere. Humusstoffene virker som transportører for metallene og som siden kan frigjøres eller inngå i næringskjeden i andre deler av nedbørfeltet. Kalkspærren som ble laget sommeren 1996 for å redusere utlekkingen fra det nederste deponiet i Larsmyrdalen ga ikke de forventede resultater. Dette skyldtes at vannet i hovedsak renner over kalklaget og ikke siver igjennom slik som forutsatt. Utviklingen i Steinsjøfeltet bør overvåkes nøye i årene fremover og kalking av de mest utsatte deponiene bør gjennomføres.



Fig.7 Lokalisering av stasjonene i Steinsjøfeltet.

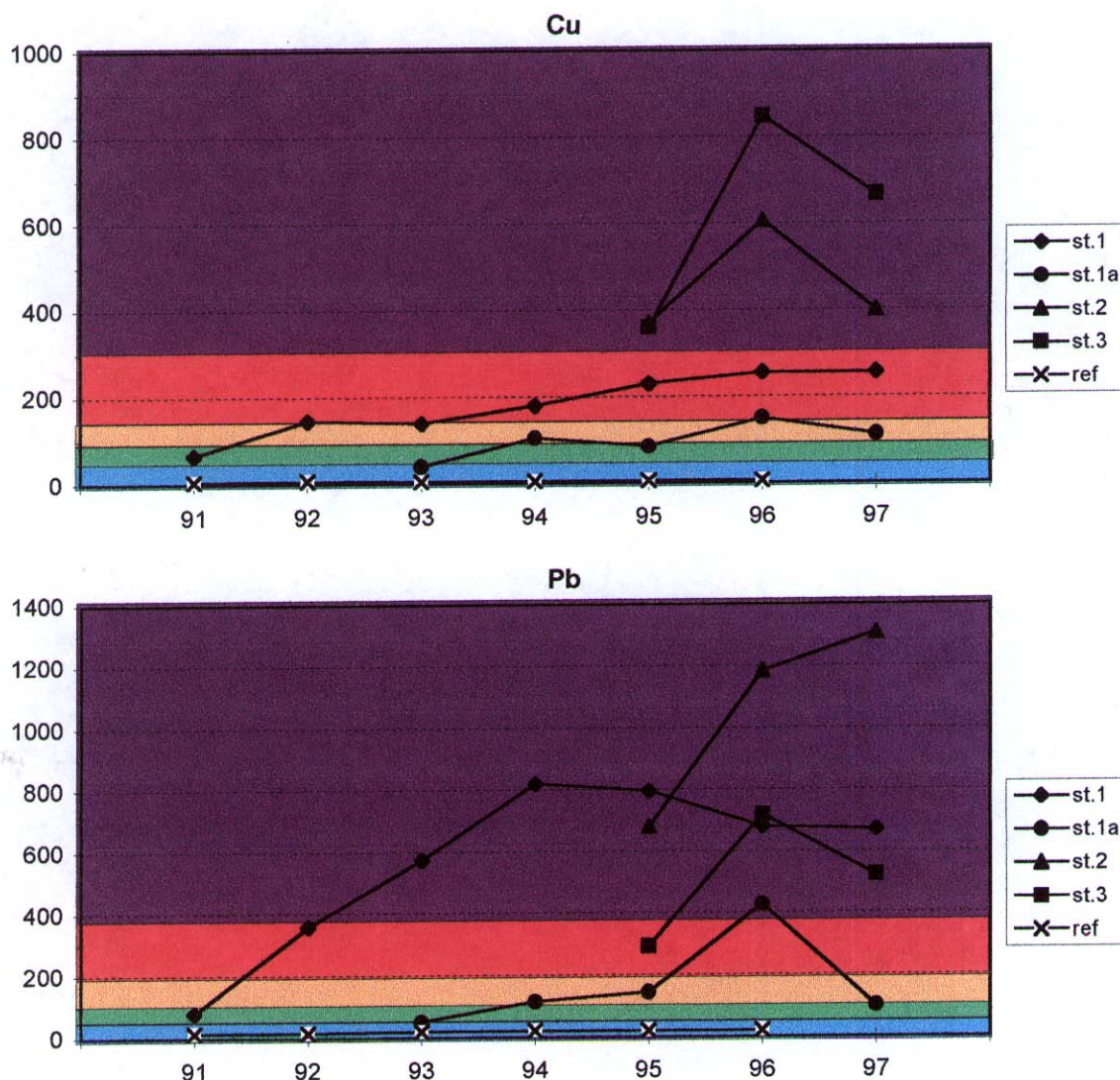


Fig.8 Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose på stasjonene i Steinsjøen skytefelt.

Terningmoen

Innledning

Terningmoen skytefelt er Forsvarets eldste skytefelt som fortsatt er i bruk. Området har noen av landets mest benyttede skytebaner. Det skytes med handvåpen, raketter, granater og bombekastere. Hovedaktiviteten foregår i et skogsområde som avvannes av flere mindre bekker som renner ut i Terninga. Overvåkningsundersøkelsen omfatter to stasjoner i Terninga og tre stasjoner i de viktigste bekkesystemene (Fig.9). I de tre siste årene har også en tilleggsstasjon (T3) oppstrøms T1 vært undersøkt på grunn av misstanke om avrenning fra en lerduebane. Terningmoen skytefelt har tidligere vært undersøkt mer inngående både i 1990 og i 1992. I disse undersøkelsene ble det avklart at bly, kobber, sink og jern fra skytefeltet forurenset bekkene som avvannet de mest benyttede feltskytebanene. Konsentrasjonsøkningene var imidlertid moderate og ingen skadeeffekter ble registrert på det akvatiske plante- og dyrelivet i Terninga.

Resultater

Konsentrasjonene i bekkene var gjennomgående noe høyere enn i Terninga (T1) like før samløpet med bekkene (Fig. 10). Konsentrasjonene av bly (men ikke kobber) var imidlertid betydelig høyere (4-5 ganger) i Terninga et stykke oppstrøms (T 3) Terningmoen og de har vært nær de samme verdiene de tre årene vi har gjort observasjoner. Kobberverdiene var derimot lavere enn i Terninga på T1 og T2. Dette er en klar indikasjon på avrenning fra en blykilde, mest sannsynlig en lokal lerduebane da deponerte hagl består av bly og ikke kobber. Konsentrasjonene i bekkene svinger en del fra år til år, sannsynligvis på grunn av store variasjoner i vannføringen. Vannkvaliteten i Terninga kan betegnes som god før bekkene tilkommer, mens den etter at bekken tilkommer ligger i overgangssonen til klassen mindre god (T.2).

Konklusjon

Det har vært klare år til år variasjoner i konsentrasjonene av bly og kobber i bekkene som avvanner feltskytebanene. Dette skyldes antagelig i hovedsak variasjoner i avrenningen. De noe høyere konsentrasjonene i bekkene som avvanner skytefeltet har liten betydning for vannkvaliteten i Terninga. Det ser ikke ut som det er noen negative utvikling på gang i metallavrenningen fra skytebanene på Terningmoen. Konsentrasjonene var i 1997 nær de samme som ble registrert ved overvåkningens start i 1991. Vannkvaliteten i området kan generelt karakteriseres som god til mindre god.

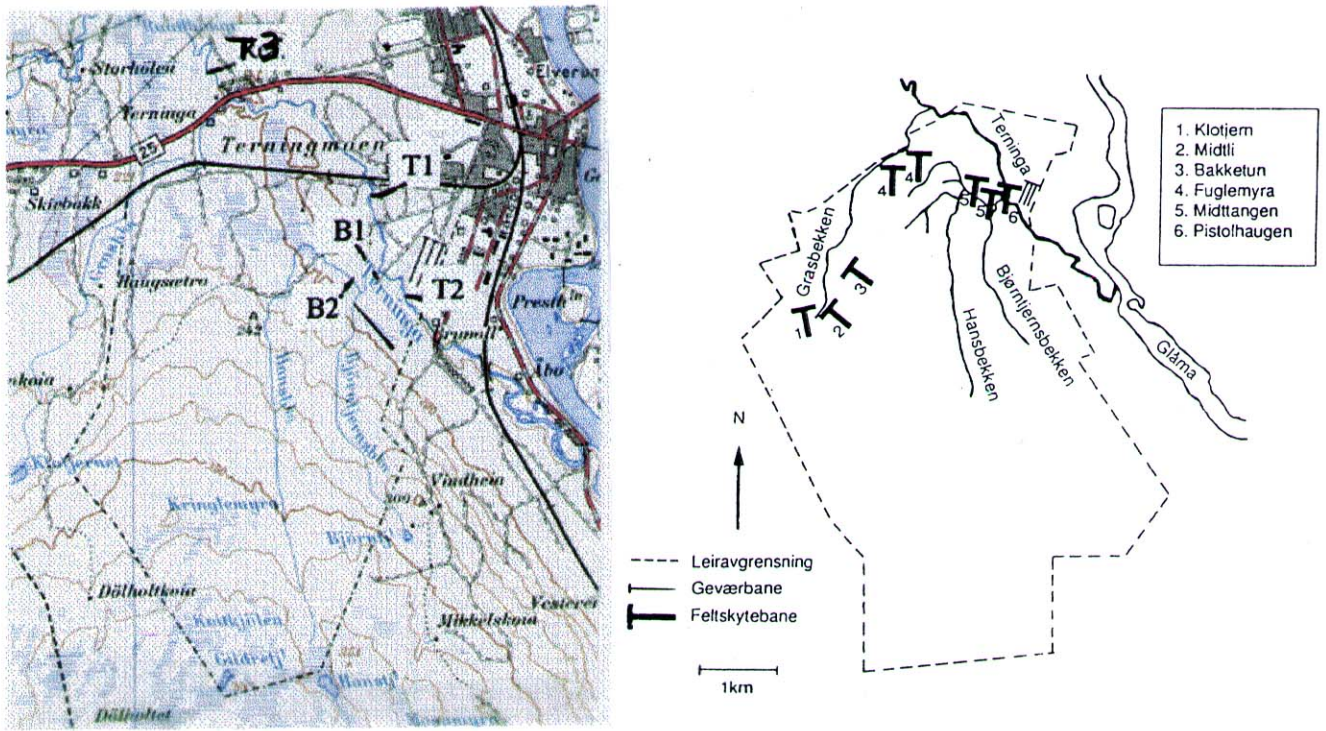


Fig.9. Oversikt over beliggenhet av baner og stasjoner Terningmoen skytefelt

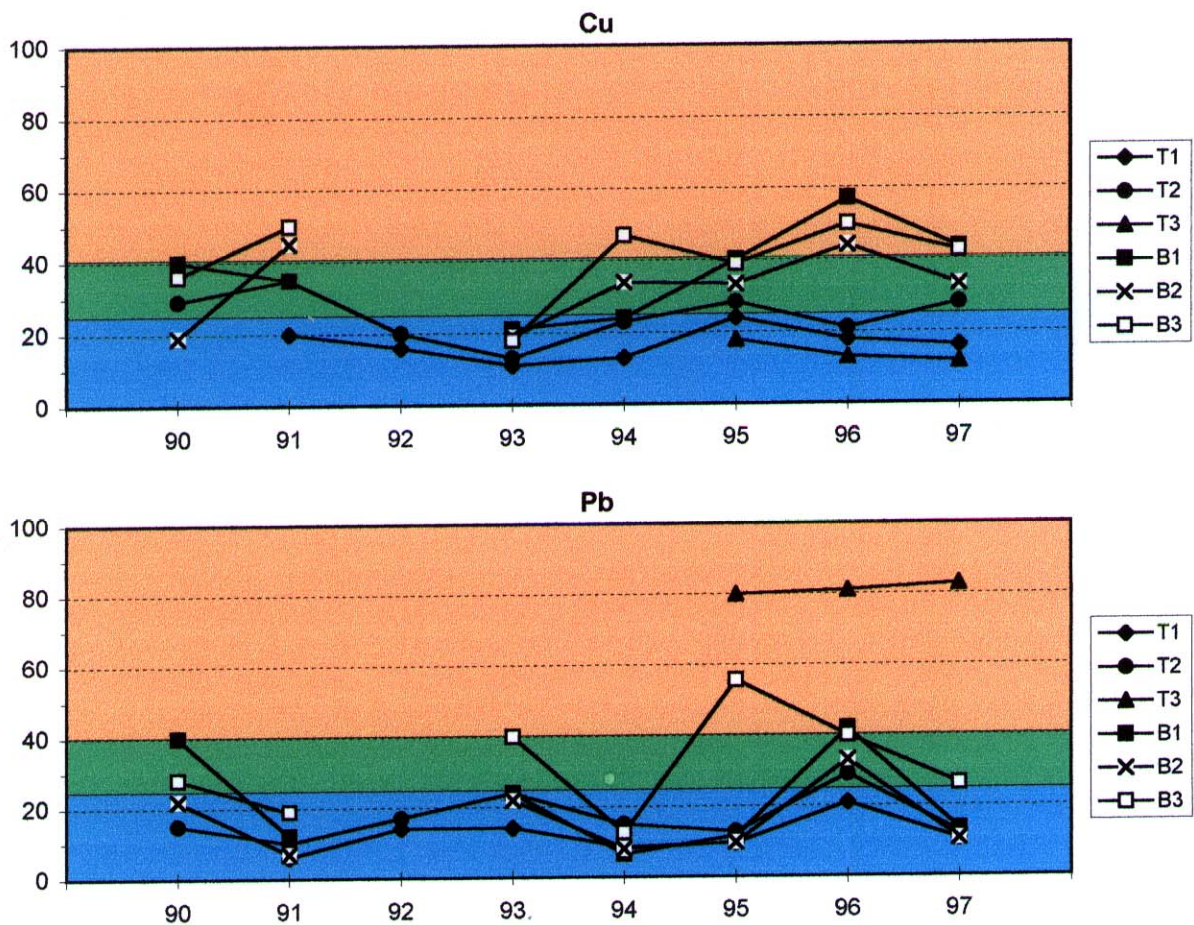


Fig. 10. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose på stasjonene i Terningmoen skytefelt.

Mauken

Innledning

Skjold-området ble i likhet med de fleste tettsteder i Troms nytt til forlegning av tyske avdelinger under siste krig. Oppbygging av området til bruk for norske avdelinger fant sted i forbindelse med opprettelsen av Brigaden i Nord-Norge (BrigN). Helt fra etableringen i 1954 har området vært standkvarter for en infanteribataljon og ingeniørkompaniet, senere Ingeniørbataljon (Ingbn/N). I tillegg er nå også en oppklarings-eskadron forlagt i området. Skyte- og øvingsfeltet, som ligger på Mauken nord for Skjold er idag på ca 52000 da. Det har vært arbeidet med spørsmål om å binde Mauken skyte/øvingsfelt sammen med Blåtindfeltet. Overvåknings-undersøkelsen ble gjennomført i 4 delnedbørfelter og på totalt 7 stasjoner (Fig.11).

Resultater

I hele overvåkningsperioden har konsentrasjonene av bly og kobber vært relativt lave og stabile på alle stasjoner med unntak av st.3 (foran selvanviserene) som var betydelig forurenset av bly i 1993 og 1994 (Fig.12), men har siden gått tilbake til naturgitte verdier. I forhold til referanseverdiene var det et påslag i konsentrasjonene for kobber på de fleste stasjonene, selv om økningen har vært relativt moderat. Unntaket har vært bane 10 (st.4) og bane 17 (st.5) der ingen forurensning har vært registrert. Dette er forståelig da disse banene i liten utstrekning benyttes til skyting med handvåpen. For de andre banene kan vi si at vannkvaliteten generelt kan karakteriseres som god til mindre god. Den relativt store vannføringen i de viktigste bekkene ut fra skytefeltet gjør at forurensningene fra de mest belastede delene av feltet blir fortynnet såvidt mye at sjansen for forurensningseffekter utenfor feltet vurderes som svært liten.

Konklusjon

Bekkene i skytefeltet på Mauken tilføres lokale forurensninger av bly og kobber som følge av skyting spesielt med handvåpen, men betydningen av disse tilførselene i bekkene som avvanner området er beskjeden. Vannkvaliteten i bekkene fra de mest belastede banene kan generelt klassifiseres som mindre god til nokså dårlig for kobber og god for bly. Situasjonen har vært relativt stabil i hele overvåknings-perioden, med unntak av to år med høge blyverdier i bekken som avvanner selvanviserene. Skytefeltet forurenser ikke bekkene som renner ut av feltet nevneverdig, hovedsakelig fordi mengdene som lekker ut for små og fortynningen for stor på grunn av et stort nedbørfelt.

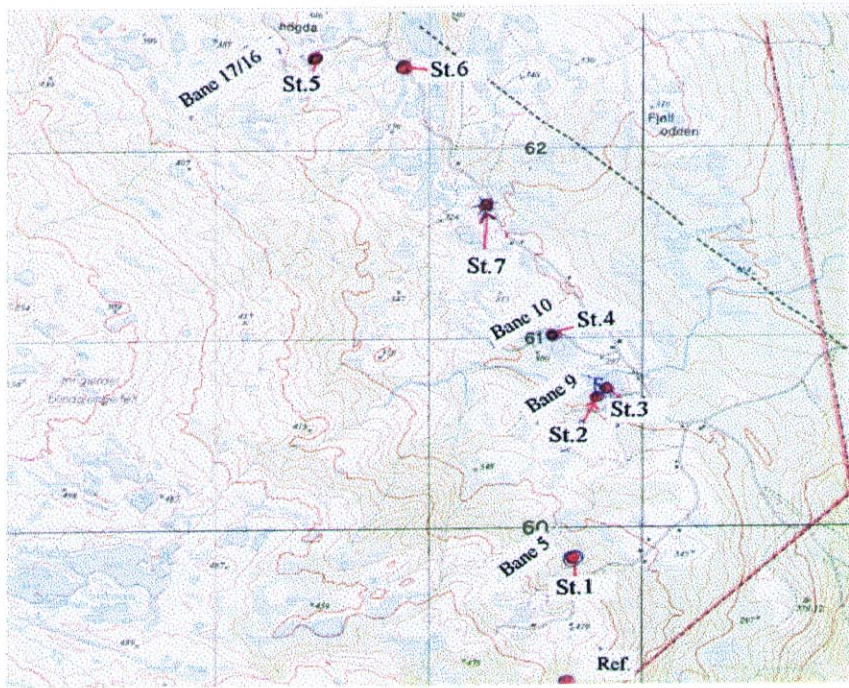


Fig.11 Stasjonsplassering i Mauken skytefelt.

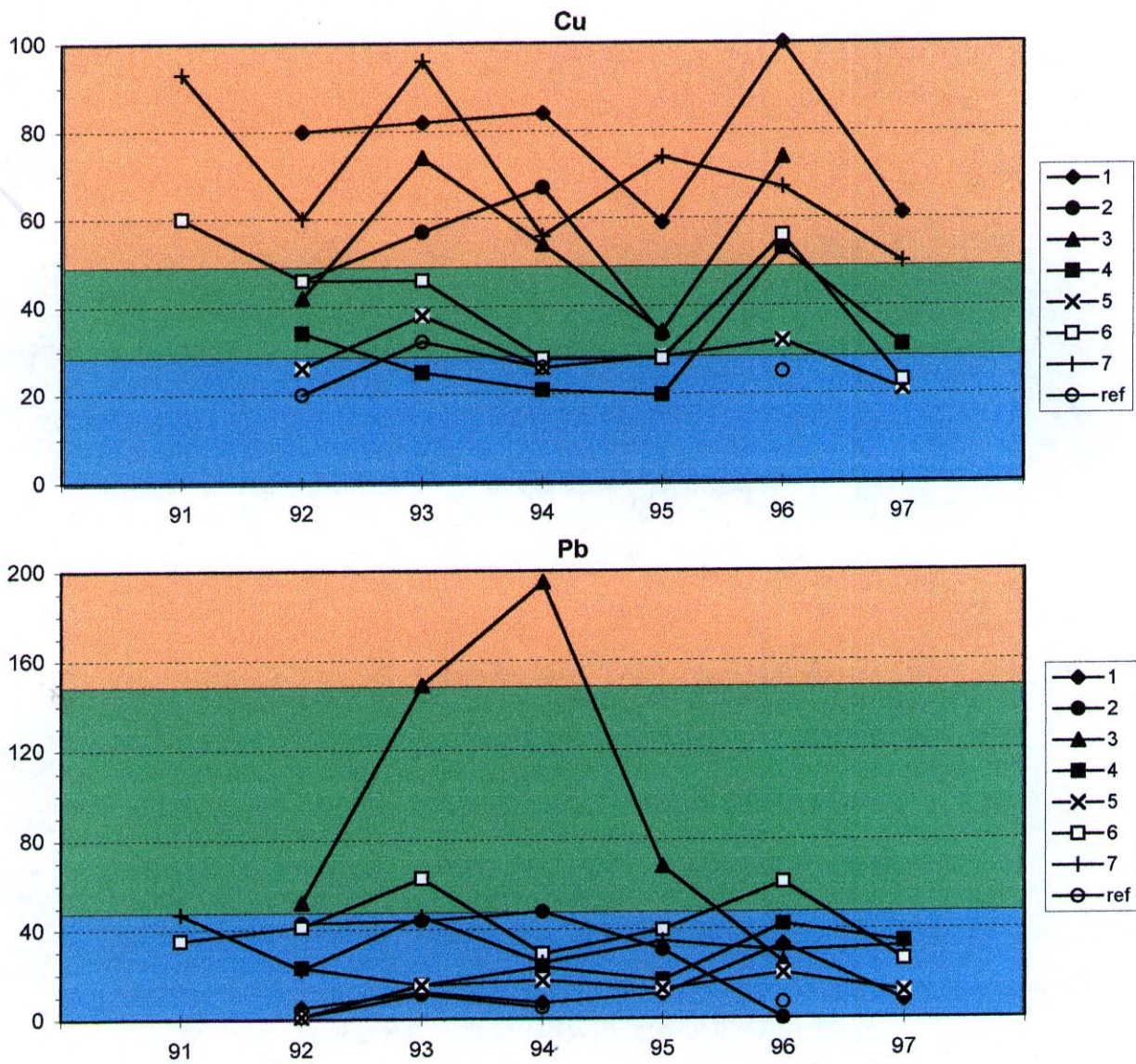


Fig.12. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose på stasjonene i Mauken skytefelt.

Porsangermoen

Innledning

Området Lakselv/Banak/Skoganvarre var, før den tyske tilbaketrekning fra Finnmark i 1944, forlegningsområde for sentrale deler av en tysk divisjonskommando. Ved tilbaketrekning fra Finland ble store deler av de tyske styrker dirigert til området. I den første tiden etter frigjøringen ble de norske styrker etablert i Skoganvarre øst for Porsangermoen. Garnisonstedet Porsangermoen er blitt kontinuerlig utbygd fra 1950. I hovedsak skjedde de store utbyggingene i perioden 1969-78. I tillegg er tildels store utbygginger blitt gjennomført i de siste årene. På det meste har en bataljonsgruppe med infanteribataljon, ett middelstungt feltartilleribatteri, stridsvogntropp og luftvern timer vært forlagt i området. Området er mye benyttet som repetisjonssenter. Porsangermoen og Halkavarre skyte- og øvningsfelt er et av Forsvarets største felter på ialt 318000 da. Området er i sin helhet Statens grunn.

Forundersøkelsene i 1991 viste at Porsangermoen skytefelt hadde naturlig stor variasjon i de geokjemiske konsentrasjonene av kobber. Spesielt høye konsentrasjoner var det i områdene oppstrøms Yngelvatn noe som ble dokumentert ved sedimentundersøkelsene i tjernene. Det finnes flere gamle kobberskjerp i området. Lokaliseringen av prøvetaknings-stasjonene er vist i Fig. 13.

Resultater

I hele overvåkingsperioden har vannkvaliteten vært god i Andersbekken før den renner ut i Nedrevatn (Fig. 14). Da denne bekken avvanner skytebanene på Porsangermoen viser dette at utløste metaller, som følge av korrosjon av deponerte prosjektiler, i liten utstrekning tilføres vassdraget, men bindes i jordsmonnet. Generelt må vannkvaliteten betegnes som god ved alle stasjonene fra og med Gjeddevatn og nedover, mens den var mindre god oppstrøms. Dette sistnevnte skyldes ikke bare avrenning fra korroderte prosjektiler, men de geologiske formasjoner som har et naturlig høgt kobberinnhold. Det har vært episoder med forhøyde blyverdier blant annet ved utløpet av Yngelvatnet i 1994. Dette hadde sammenheng med kjøring i stridsløypa som økte erosjonen betydelig og ga Yngelvatnet et sterkt humuspreg i perioder (Curt Dahle personlig meddelelse). Situasjonen var imidlertid normalisert i 1996 og 1997. Utløpet av Røyrvatn hadde forhøyde verdier i 1996 som en følge av en negativ utvikling som startet i 1994. Fra tidligere undersøkelser vet vi at sedimentene i dette tjernet er sterkt forurensset av bly bl.a. på grunn av selvanvisere utsatt på isen vinterstid. Det er mulig at det var denne aktiviteten kombinert med tidligere forurensninger som var årsaken. Konsentrasjonene sank imidlertid i 1997 og konsentrasjonene var nær en akseptabel vannkvalitet også på denne stasjonen dette året.

Konklusjon

Overvåkningen har vist at skyteaktiviteten langs Andersbekken fra feltskytebanen ved Gjeddevannet og ned til 200m banen før utløpet i Nedrevannet ikke har forurensset bekken nevneverdig med bly og kobber utløst fra deponerte prosjektiler. Dette skyldes i hovedsak at jordsmonnet i dette feltet har en meget god bindingskapasitet ovenfor disse metallene, men at også at innslag av kalk betinger en svært lav korrosjonshastighet. Skyting mot selvanvisere på Røyrvatnet og kjøring i stridsløypa viste at enkelte aktiviteter kan øke metallavrenningen også på slike områder som fra naturens side er godt rustet til å motstå korrosjon og utlekking av metaller. Men tiltak for å redusere utlekkingen i stridsløypa ble satt i verk (kalking) og dette ga de forventede resultater. Med unntak av disse tilfellene har overvåkningen vist at situasjonen er relativt stabil de 7 årene overvåkningen har pågått.

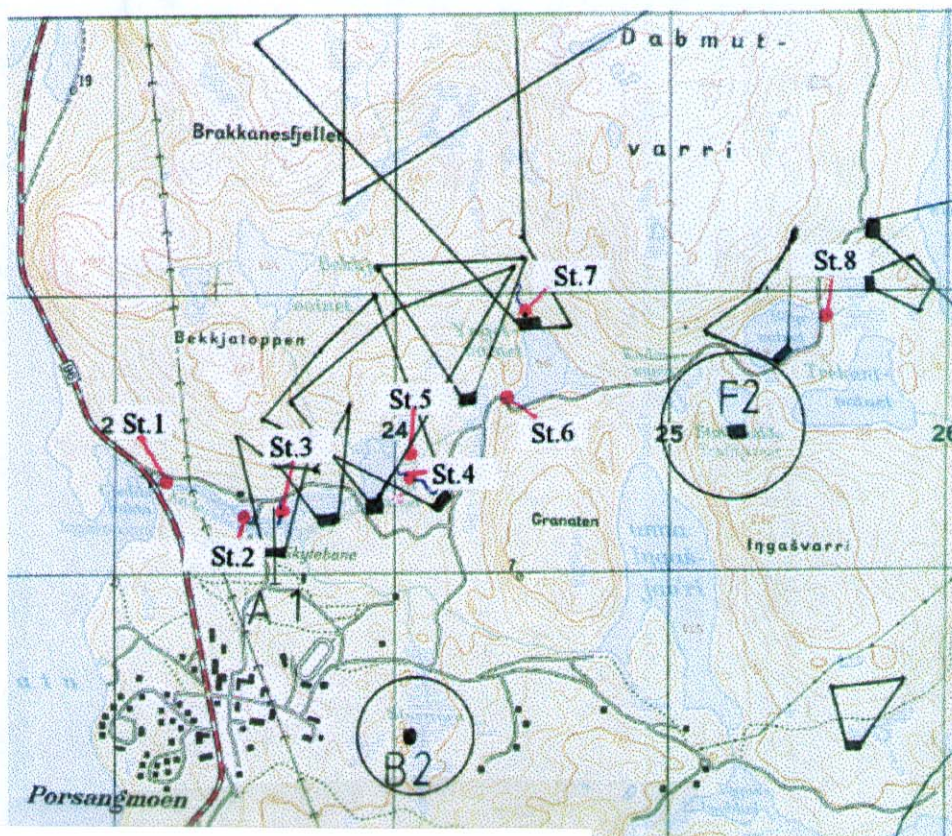


Fig.13. Prøvetakningstasjoner i Porsangermoen skytefelt.

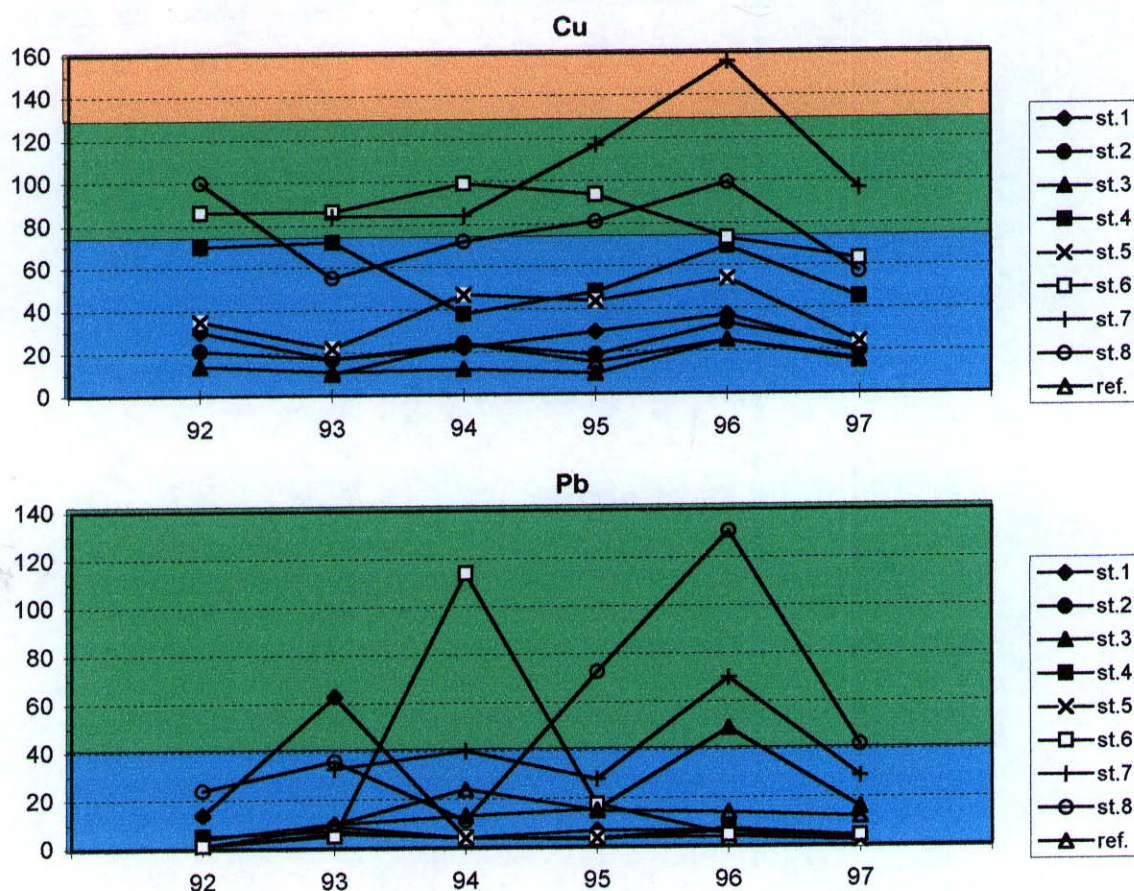


Fig.14. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose i Porsangermoen skytefelt.

Lærdalfeltet

Innledning

Demoleringsfeltet i Lærdal ligger i Øyridalen og avvannes av elva Nivla (Fig.15). Feltet ble tatt i bruk som sprengningsfelt i 1977. Vi har gjort akkumuleringsforsøk med utsatte vannmoser ovenfor sprengningsfeltet (st.1) like nedenfor (st.2) og nedenfor skytebanen (st.3). Hærens Forsyningskommando, Laboratorieavdelingen har undersøkt metallinnhold i vann ved enkelte anledninger samt metallinnhold i jord. I vannprøvene ble det funnet tildels meget høye metallkonsentrasjoner, men dette gjalt også referanseprøvene utenfor demoleringsfeltet.

Resultater

Konsentrasjonene av både bly og kobber har vært høyere i Nivla etter at den har passert demoleringsfeltet i alle årene overvåkingen har foregått (fra st.1 til 2). Økningene har imidlertid vært beskjedne antagelig på grunn av en god vannføring i Nivla. Øydalselvi fortynner konsentrasjonene slik at de på stasjon 3 i alle årene har vært nær de samme som referansen oppstrøms feltet (st.1). Det er imidlertid interessant å merke seg at selv om Øydalselvi tilkomst fører til en reduksjon i konsentrasjonene så har de i alle år ligget mellom referansen og st.2 etter demoleringsfeltet. dette er også det en skulle forvente teoretisk sett. Det er imidlertid små forskjeller det er snakk om når man regner om til vannkonsentrasjoner. Dette ville man sansynligvis ikke kunnet vise med vannanalyser alene uten en meget omfattende prøvetakning. Resultatene indikerer derfor at metoden er meget følsom og egnet til å oppfylle målsetningen i overvåkingsammenheng. Kobberverdiene var høyere enn normalt, men det var også verdiene på referansestasjonen oppstrøms demoleringsplassen. Det er med andre ord antagelig naturlige geokjemiske årsaker til dette såfremt ingen demolering eller skyting har foregått lenger opp i dalen i tidligere perioder. Konsentrasjonene var generelt noe høyere i 1995 og 1996 enn de andre årene. Denne utviklingen må ha naturlige årsaker. En rimelig forklaring er varierende vannføring i måleperioden, da dette mønsteret også ble registrert på referansestasjonen (st.1)

Konklusjon

I Nivla ble det registrert et påslag i konsentrasjonene av bly og kobber etter demoleringsfeltet i alle årene som feltet har vært overvåket. Lenger ned i elva fortynnes konsentrasjonene av et betydelig sidevassdrag (Øydalselvi), slik at påslaget i konsentrasjonene ble ubetydelige og nær verdiene på referansestasjonen etter samløpet. Aktiviteten i demoleringsfeltet har derfor ikke bidratt til forhøyde konsentrasjoner av bly og kobber i Lædalselva. Utlekkingen av metaller fra demoleringsfeltet har ikke vært av en slik størrelse at det har influert nevneverdig på vannkvaliteten i Nivla selv før samløpet med Øydalselvi. Det entydige mønsteret som er observert i alle de fem årene overvåkingen har pågått viser at situasjonen med hensyn til utlekking av bly og kobber har vært relativ stabil i dette feltet de siste fem årene.

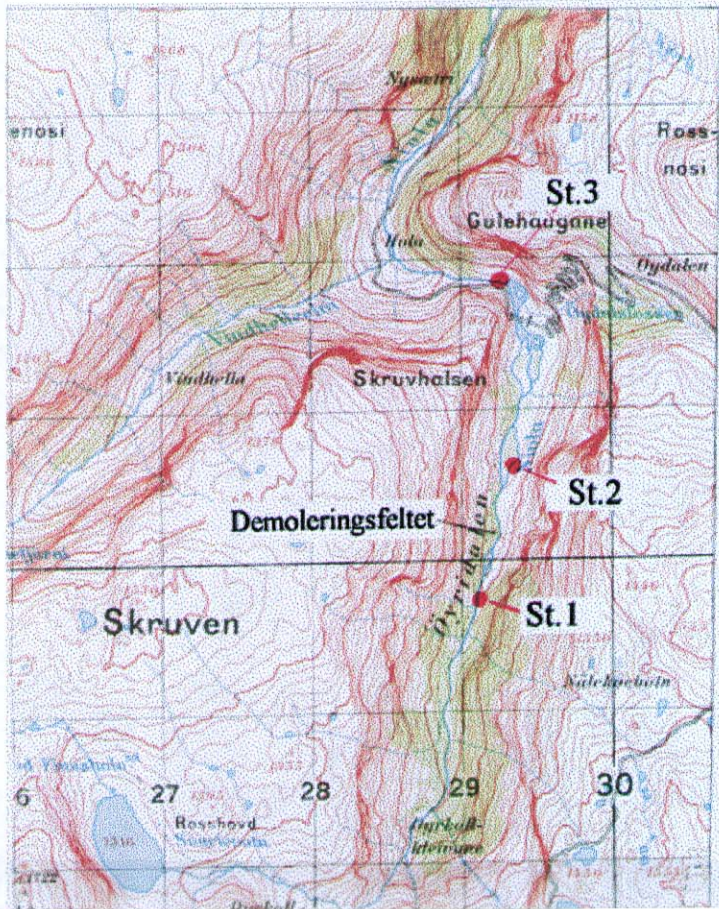


Fig.15. Prøvetakningsstasjonene i Nivla som avvanner demoleringsfeltet i Lærdal.

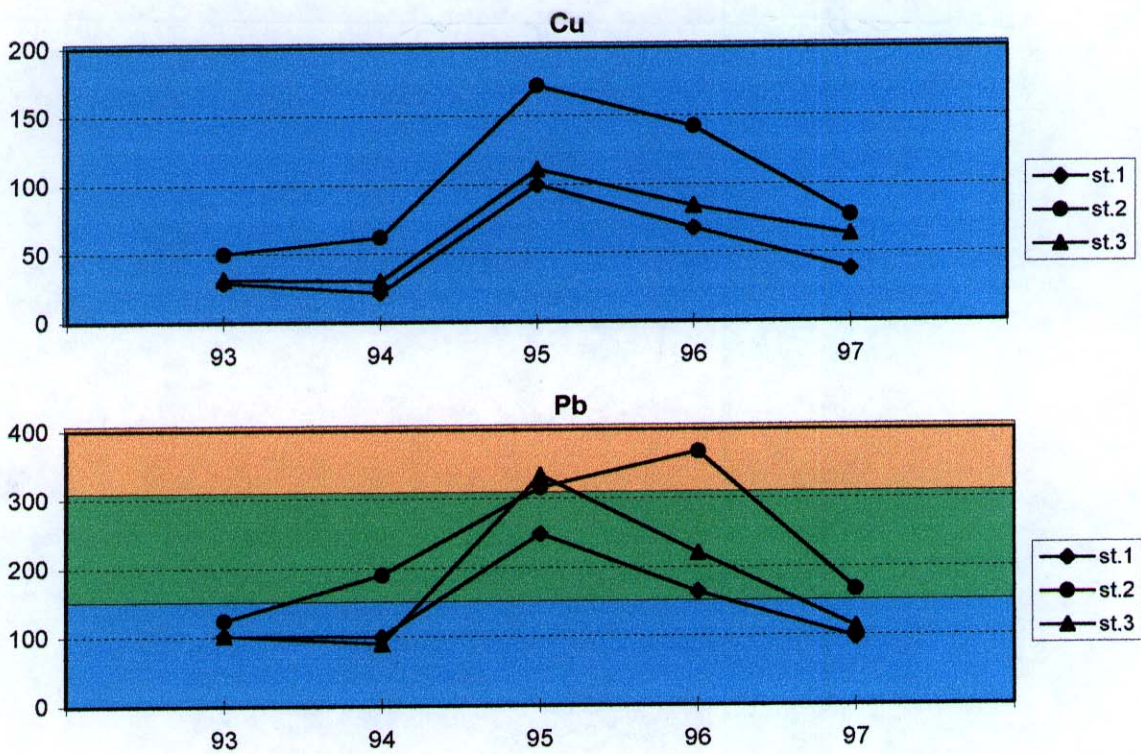


Fig.16 Konsentrasjonene ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose i Nivla som avvanner demoleringsfeltet i Lærdal.

Sætermoen

Vannkvaliteten i flere av bekkene på Sætermoen ble overvåket fram til 1993 (Rognerud 1994), men den ble siden lagt ned. I 1996 og 1997 ble imidlertid konsentrasjoner av bly og kobber undersøkt i avrenningen fra nedgravd metallskrot (etter ryddinger i skytefeltet) i Kobbryggdalen, samt fra den nyetablerte skytebanen A-11. I 1997 ble også eventuell effekt av avrenning av bly og kobber fra militær virksomhet i Liveltskardelvas nedbørfelt på vannkvaliteten i Salangselva undersøkt. Stasjon 3 ligger i Liveltskardelva før samløpet med Salangselva, mens referansen (ref. 3) er Salangselva oppstrøms samløpet. Forurensningsgraden ble vurdert ut fra konsentrasjonsøkningen fra referansestasjonene som lå oppstrøms kildene. Det ble ikke registrert økninger i bly-konsentrasjonene verken fra deponiet eller fra skytebanen, mens en moderat konsentrasjonsøkning ble registrert for kobber i 1996, men ikke i 1997 (Fig. 17). Dette skyldes at kobber bindes noe svakere enn bly i kildeområdet. Konsentrasjonene i Salangselva og Liveltskardelva var nær de samme. Vi kan derfor konkludere med at Liveltskardelva ikke bidrar til å forhøye konsentrasjonene av bly og kobber i Salangselva og vannkvaliteten kan karakteriseres som god. Konsentrasjonene av bly var nær de naturgitte, mens kobberverdiene var noe høyere, men likevel nær de naturgitte. Vi kan derfor konkludere med at ingen av de antatte forurensningskildene (den nye skytebanen, skrothaugen eller hele skytefeltet) har hatt nevneverdig inflytelse på konsentrasjonene av bly og kobber på de målte stasjonene. Beskjedne utlekkinger kombinert med en stor fortynning av tilkomne bekker er årsaken til dette.

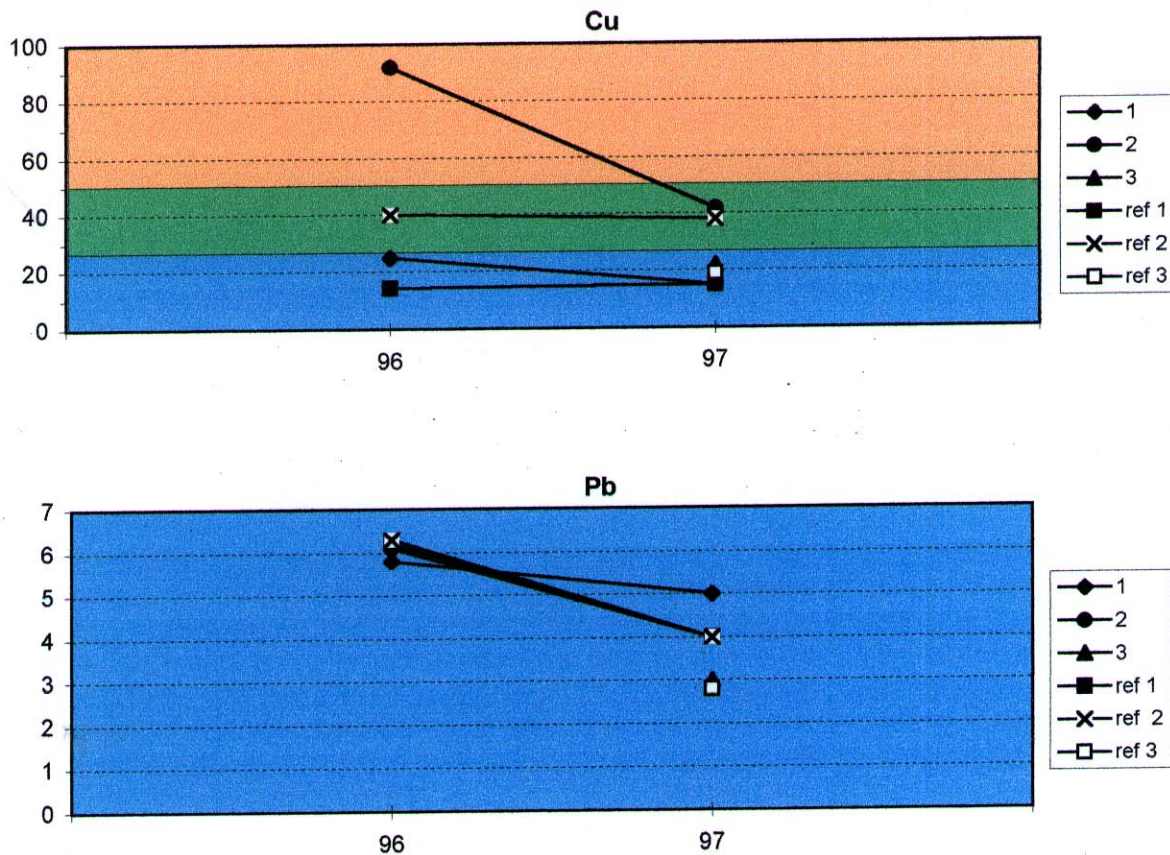


Fig. 17 Konsentrasjonene ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) i vannmose i bekker som avvanner nyetablert skytebane A-11 (st.1) og metalldeponi (st.2) i Sætermoen skytefelt, st.3; Liveltskardelva, ref. 3; Salangselva.

Sammenfattende diskusjon

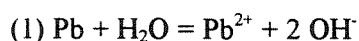
Resultatene fra 7 års overvåkning av metallavrenning fra militære skytefelt og demoleringsplasser har gitt oss grunnlag for å trekke følgende konklusjoner:

Vi har utviklet et overvåkningsprogram der analyser av bly- og kobber-konsentrasjoner i vannmoser har vist seg å være en svært god metode for å vurdere betydningen av slike forurensninger fra skytefelt over lengre tidsperioder. Det har vært mulig, år etter år, å følge små forskjeller i konsentrasjoner mellom bekker innen et felt der forurensningsbildet ikke har endret seg selv om nedbørsmengdene har variert. Dette viser at metoden er svært følsom, og den har vist at det har vært mulig å avdekke selv små utslipp som det i etterkant har vært mulig å identifisere. Kontamineringsfaren ved denne metoden er liten slik at Forsvarets egne folk har kunnet delta i prøveinnsamlingen etter nødvendig instruksjon. Dette opplegget har fungert svært tilfredsstillende. Derved har det også vært mulig å gjennomføre et relativt omfattende, men kostnadseffektivt overvåkningsprogram. Vi har nå flere år med observasjoner som muliggjør de første relativt sikre analyser av tidstrender i utlekkingen av bly og kobber fra de ulike skytefeltene

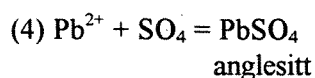
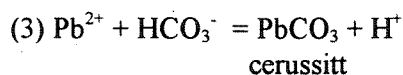
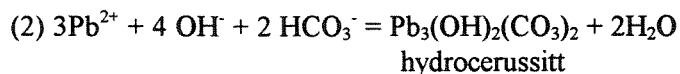
Forurensningsgraden var svært forskjellig i de ulike feltene, og det er flere årsaker til dette. De viktigste er imidlertid årlig belastning, fysiske inngrep i deponiene og de naturgitte forhold. Steinsjøfeltet og Evjemoen skytefelt har svært høye blyverdier i bekkene som avvanner særlig feltskytebanene, mens det i de andre feltene ikke var store forurensningsproblemer. Vannkvaliteten i de to navngitte feltene må karakteriseres som meget dårlig. Det har også vært en klar tendens til økende konsentrasjoner i overvåkningsperioden for Steinsjøfeltet og i Evjemoen skytefelt. I de andre feltene har det generelt sett ikke vært noen klar negativ utvikling, men mer en tilstand av stabilitet. Likevel har det i enkelte tilfeller skjedd utslipp eller aktiviteter som har økt utløsningen av metaller, men årsakene har oftest vært klarlagt og tiltak har blitt gjort der dette var mulig. Således har overvåkingen oppfylt sin hovedhensikt, dvs å følge tidstrenden i metallkonsentrasjonene og gjøre tiltak så snart som mulig der dette har vært nødvendig. Ikke alle tiltak har imidlertid vært effektive f.eks fungerer ikke kalksperren på feltskytebanen i Larsmyrdalen i Steinsjøfeltet og på Evjemoen er ingen tiltak gjennomført. Det er nødvendig å gjøre flere tiltak i disse to feltene for å snu den negative utviklingen, mens ingen omfattende tiltak er nødvendige i de andre feltene.

Vi skal se litt nærmere på hva som skjer med prosjektilene etter at de er deponert i skytefeltet, og om hva som er årsakene til de forskjellene vi har observert mellom feltene. De største betenkelighetene med hensyn til forurensning er knyttet til bly og vi skal konsentrere utredningen om dette elementet.

Etter at prosjektilet er deponert i jordsmonnet, i mer eller mindre deformert tilstand, vil blottlagte flater av elementært bly utsettes for korrosjon eller oksidasjon. Dersom dette skjer i et jordsmonn uten nærvær av sterke syrer vil vi ha følgende reaksjon:



Det dannes med andre ord frie blyioner som er den giftige formen av bly i de fleste sammenhenger. De frie blyionenes videre sjebne er i høyeste grad avhengig av jordas surhetsgrad og mulige kompleksdannere. I et nøytralt til basisk miljø dannes det blysalter (såkalt crust) på korrosjonsflatene. De vanligste crustdannelsene består av hydrocerussitt, cerussitt og anglesitt (likning 2-4)



Av disse ser vi at anglesitt-dannelsen er uavhengig av pH i markvannet, mens dannelsen av de andre saltene er pH avhengig. Dannelsen av disse saltene i et godt bufret jordsmonn (nøytral til basisk pH) gjør at det dannes et beskyttende lag av salter som hindrer en videre korrosjon av prosjektilene. Dette er en av årsakene til at blyutlekkingen i enkelte skytefelt med et godt bufret jordsmonn er relativt beskjedne. Dette er i hovedsak situasjonen i de Nord-norske feltene Sætermoen, Mauken og Porsangermoen. Dersom jordsmonnet har lite kalsium og inneholder lite eller ubetydelige mengder bikarbonat (HCO_3) vil cerussitt eller hydrocerussitt dannes i ubetydelige mengder eller løses i perioder når vannet er tilstrekkelig surt. Da vil de frie blyionene i liten utstrekning danne salter (muligheter for anglesitt), men i hovedsak bindes til humus, jernoksider eller leireminerale. Humus brytes ned til humussyrer og humuscolloider som kan ta opp løst bly og transporterer dette ut fra deponiet med markvannet. Vi sier at blyet mobiliseres og denne prosessen er med på ytterligere å lette korrosjonen av blyprosjektilet. Det er derfor deponiene i sure humusrike områder f.eks. myrer som kan gi stor utlekking. Dersom disse stedene i tillegg utsettes for graving eller sporsetting vil gjennomtransporten av vann øke betydelig sammen med sannsynligheten for erosjon av blyholdige organiske partikler. Dette er i hovedsak situasjonen i Steinsjøfeltet og i Evjemoen skytefelt. Dersom området har lave humuskonsentrasjoner slik som tilfellet oftest er på fluviale avsetninger av sand og silt (moer), vil bindingsgraden være avhengig av mengden jern og aluminium oksider i jorden. Generelt sett bindes imidlertid løste blyioner godt på slike moer hvor det er rikelig med fluviale avsetninger. Det er derfor vi f.eks ikke finner bly i grunnvannet på Terningmoen eller på Sessvollmoen. Vi kan derfor konkludere med at hovedproblemet knyttet til blyavrenning fra skytefelt vil vi finne i områder med dårlig bufret jordsmonn, mye humus og sur nedbør. Den negative utviklingen mot økende konsentrasjoner i Steinsjøfeltet og i skytefeltet på Evjemoen skyldes en kombinasjon av økende belastning, graving i deponiene og muligens atmosfæriske avsetninger av syrer.

De enkleste og mest effektive tiltakene som kan gjøres i deponier i de mest utsatte skytefeltene er kalking, hindre graving, sporsetting og andre aktiviteter som mobiliserer bly-humusforbindelsene. Det er sannsynligvis ikke nok å lage såkalte kalksperrer da vannet erfaringsmessig lett tar vegen over sperren, men hele deponiet bør kalkes slik at en får et mer basisk miljø i deponiet. Dette vil være et godt tiltak som kan stoppe en eventuell negativ utvikling og sørge for at blyet i hovedsak forblir på deponeringsplassen.

Litteraturliste

- Bengtsson, Å & Lithner, G 1981. Vattenmossa (*Fontinalis*) som metare på metallforurening. Statens Naturvårdsverk, PM 1391.
- Berryman, D. 1990. Selection de nouveaux indicateurs de la qualite des cours d'eau du Quebec. Ministry of Environment Quebec EN 900 140 QE/67/1, 77 p.
- Descy, J. P. & Empain, A. 1981. Inventaire de la qualite des eaux courantes en Wallonie. Univ. of Liege, Department of Botany.
- Kelly, M. G., Gipton, C. & Whitton B. A. 1987. Use of moss-bags for monitoring heavy metals in rivers. *Water Resource* Vol. 21, No. 11, 1429-1435.
- Kjellberg, G & Boye, B. 1992. Vannforurensing fra skytefelt. Delprosjekt 2. Forurensningsgrad av tungmetaller fra Terningmoen skytefelt vurdert ut fra ulike målemetoder. NIVA-rapport. L.nr.2700
- Kjellberg, G. 1991. Tiltaksorientert overvåkning av øvre del av Glåma i 1990. NIVA-rapport L.nr. 2644.
- Kjellberg, G. 1994. Biologisk befaringsundersøkelse av Hunnselva i 1993. NIVA-rapport L.nr. 3050.
- Kjellberg, G. 1994. Tiltaksorientert overvåkning av Trysilelva. Generell vurdering av forurensningsgrad basert på kjemiske og biologiske forhold 1992. NIVA-rapport L.nr. 2983.
- Kjellberg, G. 1988. Vannforurensing fra skytefelt. Delprosjekt 1. Forprosjekt vedrørende eventuelle vannforurensing fra demolering av ammunisjon ved Hjerkinnskytefelt 1986-87. NIVA-rapport L.nr. 2183. 36s.
- Lithner, G. 1989. Bedømningsgrunder før sjøar och vattendrag. Bakgrunnsdokument 2. Metaller. Naturvårdsverket. Rapport nr. 3628. 80s.
- Monteiro, H.M.V., Goncalves, E. P. & Boaventura, R. 1989. International Symposium on Integrated Approches to Water Pollution Problems, SISSIPA, Lisboa Portugal 19-23 juni 1983.III 463
- Mouvet, C., Morhain, E. Sutter, C. & Couturieux, N. 1993. Aquatic mosses for the detection and follow-up of accidental discharges in surface waters. *Water Air, and Soil Pollution* 66: 333-348.
- Rognerud, S. & Boye, B. 1992. Vannforurensing fra skytefelt. Del 3. Forurensing av aktuelle tungmetaller fra 10 av Forsvarets skytefelter. NIVA-rapport. L.nr. 2699.
- Rognerud, S. & Fjeld, E. 1993. Regional survey of heavy metals in lake sediments in Norway. *Ambio* Vol 22, No. 4. 206-212
- Rognerud, S. 1993. Vannforurensning fra skytefelt. Overvåkning av kobber og bly i 1992. NIVA-rapport L.nr. 2884.
- Rognerud, S. 1994. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 3-års overvåkning. NIVA-rapport L.nr. 3076.

- Rognerud, S. 1994. Basisundersøkelse av vannkvaliteten på Rødsmoen i 1993. NIVA rapport. L.nr. 3021. 21s.
- Rognerud, S. 1995. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 4-års overvåkning. NIVA-rapport. L.nr. 3241.
- Rognerud, S. 1996. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 5-års overvåkning. NIVA-rapport Lnr. 3416-96.
- Rognerud, S. 1997. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 6 års overvåkning. NIVA-rapport L.nr. 3669-97
- Rognerud, S. Kjellberg, G. & Ingebrigtsen, K. 1993. Overvåkning av tungmetaller og klorerte hydrokarboner fra Terningmoen skytefelt i 1992, inklusive to eldre søppelplasser. NIVA-rapport L.nr. 2882.
- Rognerud, S., Kjellberg, G. & Boye, B. 1991. Vannforurensning fra skytefelt. Delprosjekt 1. Generell vurdering av bevegelse og giftighet av tungmetaller som deponeres i militære skytefelt. NIVA-rapport. L.nr.2668.
- Rognerud, S., Kjellberg, G. & Boye, B. 1992. Water pollution of heavy metals from military firing ranges in Norway. Manuscript prepared to the Conference on Environmentally Sound Life Cycle Planning of Military Facilities and Training Areas. Dombås 23-25 september 1992.
- Selinus, O. 1988. Geochemistry and health, Ian Thornton (ed.) Science Reviews Limited, Northwood, U.K. pp 13-19.
- Smith, S.C. 1986. Base metals and mercury in bryophytes and stream sediments from a geological reconnaissance survey of Chandalar Quadrangle, Alaska. Journal of Geochemical Exploration 25. 345-365.

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3802-98

ISBN 82-577-3378-4