

NIVA



RAPPORT LNR 3416-96

Overvåking av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser

Resultater fra 5-års overvåking



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
93109	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3416-96.	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser.	febr.96	NIVA 1996
Resultater fra 5 års overvåkning	Faggruppe:	miljøgifter
Forfatter(e):	Geografisk område:	hele landet
Sigurd Rognerud	Antall sider:	Opplag:
	31	100

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
Forsvarets Bygningstjeneste, avd. Hamar Raufoss Technology AS	93109

Det var lave konsentrasjoner av bly i Veltmannsåa som avvanner Bradalsmyra, men det har vært en stadig økning i kobberkonsentrasjonen (1992-95) etter passasjen gjennom testsentet. Konsentrasjonene i bekkene som avvanner felttskytebanen og kulefangervollene på Evjemoen har vist en økende tendens i overvåkningsperioden. Vannkvaliteten kan betraktes som dårlig og utviklingen har sammenheng med gravevirksomhet og tørre somre med liten avrenning. I Steinsjøfeltet har det vært stadig økende konsentrasjoner av bly og kobber i bekken som avvanner felttskytebanen i Larsmyrdalen. Dette skyldes gravevirksomheten i metalldeponiene. I 1995 ble det målt høye konsentrasjoner i avrenningen fra stor PV-bane og mitr./liten PV bane. Utviklingen i Steinsjøfeltet bør overvåkes nøye i årene fremover. To av bekkene som avvanner metalldeponiene på Terningmoen hadde akseptabel vannkvalitet, mens kvaliteten i den tredje var nokså dårlig. Terninga som mottar dette vannet endrer karakteristikk fra god til nokså dårlig kvalitet etter at bekkene tilkommer. Vannkvaliteten i bekkene i Mauken skytefelt klassifiseres som mindre god til dårlig i de mest belastede områdene. Den våte sommeren 1995 ga økt fortynning og noe lavere konsentrasjoner enn tidligere. I Porsangermoen skytefelt var vannkvaliteten god til mindre god. Det lekker ut en del kobber og bly fra demoleringsfeltet i Lærdal, men konsentrasjonene fortynnes raskt ved tilkommende sidevassdrag slik at ingen forurensningseffekter kan registreres ved samløp med Lærdalselva.

4 emneord, norske

1. Militære skytefelt og demoleringsfelt
2. Overvåkning av vannkvalitet
3. Vannforurensning
4. Tungmetaller

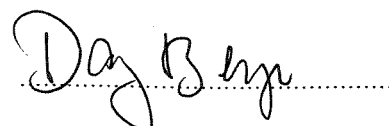
4 emneord, engelske

1. Military firing ranges and demolition sites
2. Monitoring of water quality
3. Water pollution
4. Heavy metals

Prosjektleder



For administrasjonen



ISBN 82-577-2949-3

O-93109

Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og
demoleringsplasser.

Resultater fra 5 års overvåkning

Saksbehandler: Sigurd Rognerud

Medarbeidere: Gøsta Kjellberg
Mette Gun Nordheim
Jarl Eivind Løvik
Magnar O. Reistadmo (Forsvaret)
Kurt Dale (Forsvaret)
Asle Figenskau (Forsvaret)
Alf Pettersen (Forsvarert)

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
Sammenfattende diskusjon.....	25
Litteraturliste.....	26
Vedlegg	28

Forord

Denne rapporten er den fjerde årsrapporten fra en overvåkning av metallavrenningen fra 6 av Forsvarets skytefelt, ett demoleringsfelt (1993-95) og Bradalsmyra forsøksfelt tilhørende Raufoss Technology. Prosjektet med Forsvaret ble kontraktsfestet 21 juli 1995, og Forsvarets Bygningstjeneste avd. Hamar har stått som oppdragsgiver. Kontaktpersoner har vært overingeniør Bjørn Brønstad i FBT og Astrid Waarum i Hærens Forsyningskommando, Ammunisjonskontrollen. Utviklingsjef Arnulf Erland Paulsrud har vært kontaktperson ved Raufoss Technology.

Feltarbeidet ble gjennomført sommer og høst 1994 med hjelp av skytefeltsadministrasjonene og miljøvernoffiserene der disse var tilstede. Vi vil spesielt takke Kurt Dale (Porsangermoen), Magnar O. Reistadmo (Mauken), Alf Pettersen (Evjemoen) og Asle Figenskau (Lærdal) for aktiv deltagelse ved prøveinnsamling slik at undersøkelsene gikk etter programmet. Bjørn Boye takkes for å ha stilt forsidebildet til disposisjon.

Vannanalysene ble utført ved NILU's laboratorium på Kjeller og analysene av moseprøvene ved NIVA i Oslo. Rapporten er utarbeidet ved NIVA's Østlandsavdeling.

Sammendrag

I denne rapporten presenteres resultatene fra fem-års overvåkning av konsentrasjoner av kobber og bly i bekker som avvanner skyte- og demoleringsfelt. Tidligere undersøkelser har vist at disse elementene bidrar mest til forurensningene i militære skytefelt.

Fra og med 1994 er nye metoder for analyser av metaller i vann tatt i bruk (ICP-MS). Dette har gjort at relasjonene mellom konsentrasjoner målt i vann og mose er godt dokumentert. Denne sammenhengen er avhengig av vannkvaliteten. Derfor er det utviklet regresjonslinjer for hvert felt og element. Dette gir et godt utgangspunkt for klassifisering i tilstandsklasser etter SFT's mønster. Bruk av vannmoser har også den store fordel at de kan innsamles og håndteres av Forsvarets egne folk uten at kontamineringsrisikoen er for stor. Derved blir også undersøkelsen gunstig sett ut fra et kost nytte synspunkt.

Resultatene for de ulike feltene er gitt nedenfor. Klassifiseringen av vannkvaliteten på bakgrunn av konsentrasjoner av bly og kobber i avrenningen er gjort i henhold til SFT's retningslinjer (Holtan & Rosland 1992).

Vannkvaliteten på Bradalsmyra testsenter kan betegnes som god med hensyn til bly på alle målestasjonene i 1995. I 1993 var vannkvaliteten mindre god i bekken som avvanner hovedstandplass, men denne situasjon har bedret seg betydelig de siste to årene. Vannkvaliteten med hensyn til kobber var god i Veltmannsåa før den passerer inn i feltet og i bekken som avvanner miljøtestanlegget. Den var mindre god i Veltmannsåa når den renner ut av feltet og i bekken som avvanner hovedstandplass. I perioden 1992-95 har påslaget i Veltmannsåa gradvis økt etter passasjen gjennom testsenteret. Denne tendensen bør overvåkes videre og årsaken bør klarlegges. Forholdene ser imidlertid ut til å være under kontroll med hensyn til utslipp av bly fra Bradalsmyra skytefelt.

De betydeligste forurensninger av bly og kobber i Evjemoen skytefelt er i hovedsak knyttet til feltskytebanen, men også konsentrasjonene i bekken som avvanner kulefangervollene har økt betydelig siden 1993. I 1995 må vannkvaliteten i denne sistnevnte bekken klassifiseres som mindre god (kobber) til dårlig (bly). Gravearbeidene i feltskytebanen i 1994 ga store økninger i konsentrasjonene av både bly og kobber i bekken som avvanner feltet. Denne situasjonen holdt seg også i 1995, slik at vannkvaliteten kan klassifiseres som meget dårlig med hensyn til bly og nokså dårlig med hensyn til kobber. 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. 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. Der har konsentrasjonene av både bly og kobber økt helt siden overvåkingen startet i 1991.

I Steinsjøfeltet har konsentrasjonene i bekken som avvanner feltskytebanen i Larsmyrdalen stadig økt siden overvåkingen startet i 1991. Vannkvaliteten karakteriseres i 1995 som meget dårlig. Den betydelige og urovekkende økningen i blykonsentrasjonene krever spesiell oppmerksomhet. Utviklingsforløpet må ses i sammenheng med de gravearbeider som ble gjort i feltet i overvåkingsperioden. Humus-metall komplekser vil mobiliseres og renne ut i bekken dersom en roter opp i humus- og jordsjiktet som inneholder deponerte prosjektiler. Humusstoffene virker som transportører for metallene. Disse kan siden frigjøres eller inngå i næringskjeden hvis forholdene ligger tilrette. Det bør derfor vurderes å gjøre tiltak for å stanse denne utviklingen. Vannet som renner ut av Brenntjern har også dårlig vannkvalitet og er preget av forurensningene i Larsmyrdalen. Vannkvaliteten i bekkene som avvanner den store PV-banene og mitr. bane/liten PV bane er også meget dårlig. Sedimentene i Storvatnet var klart forurenset av antimon, bly og kobber dvs. de samme elementene som er hovedbestanddelene i prosjektilene. Utviklingen i Steinsjøfeltet bør overvåkes nøye i årene fremover og en plan for tiltak for å begrense avrenningen av tungmetaller bør utarbeides så snart som mulig.

I Terningmoen skytefelt var konsentrasjonene i bekkene gjennomgående noe høyere enn i Terninga, og vannkvaliteten kan betegnes som god til mindre god. 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 overgangsonen til klassen mindre god. Påslaget i konsentrasjon av kobber var størst i 1991 og 1994, da også konsentrasjonene i bekkene var høyest. I 1993 og 1995 var påslaget lite. Det er med andre ord en meget god overenstemmelse mellom resultatet fra bekkene og målingene i Terninga. Konsentrasjonene av bly økte i bekkene fra 1991 til 1993, men sank noe i 1994. To av bekkene hadde god vannkvalitet mht. bly i 1995, mens den tredje hadde nokså dårlig vannkvalitet.

Bekkene i skytefeltet på Mauken tilføres lokale forurensninger av bly og kobber som følge av skyting spesielt med handvåpen. Vannkvaliteten i bekkene fra de mest belastede banene kan generelt klassifiseres som mindre god til nokså dårlig. På grunn av stor fortynning er det likevel ikke registrert forurensnings-effekter i bekkene som renner ut av skytefeltet. Bruk av selvanvisere øker korrosjonshastighet og utlekkingen av metaller betydelig på grunn av deformeringen og delvis oppsplitting av prosjektilene. Plassering av slike i nær tilknytning til bekker bør unngås. De store nedbørmengdene i Nord-Norge sommeren og høsten 1995 har gitt gode fortynningsmuligheter for utlekkede metaller. Hovedsakelig på grunn av dette, viste konsentrasjonene en synkende tendens ved nesten alle stasjoner i 1995.

Vannkvaliteten i Porsangermoen skytefelt var god til mindre god. Påslager av bly og kobberforurensninger som følge av korroderte prosjektiler var beskjedent i nedre del av feltet. I enkelte år ble det imidlertid observert forhøyede blyverdier i den øvre delen av feltet, forårsaket av militær aktivitet. Forøvrig bidrar de naturgitte forhold (velbufret jordsmonn) til å redusere utlekkingen av metaller fra korroderte prosjektiler. De naturlig høye kobberverdiene i øvre del av feltet gjør at også konsentrasjonen av kobber i vannet naturlig var høyere enn vanlig. Gifteffekter av tungmetaller på det akvatiske økosystemet som følge av skyting med handvåpen i nedre del av feltet er derfor lite sannsynlig.

Konsentrasjonene i elva før demoleringsfeltet i Lærdal var høyere i 1995 enn de foregående årene, sannsynligvis på grunn av nedsatt fortynningsevne som følge av den tørre sommeren. Påslaget i konsentrasjoner av bly og kobber etter demoleringsfeltet er imidlertid signifikant, og dette mønsteret er uavhengig av vannføringen i elva. Lenger ned i elva fortynnes konsentrasjonene av et betydelig sidevassdrag, slik at påslaget i konsentrasjonene vanligvis er ubetydelige og nær verdiene på referansestasjonen. Kobberverdiene var høyere enn normalt, men det var også referansestasjonen oppstrøms demolerings-plassen. Det er med andre ord naturlige geokjemiske årsaker til dette, og de høye verdiene har ingen ting med demoleringen å gjøre. Dette er en medvirkende årsak til at vannkvaliteten ut fra kobber-konsentrasjonene kan karakteriseres som dårlig, ellers var vannkvaliteten god. Det registreres utlekkinger av bly og kobber fra feltet, men fortynninger av tilkommende sidevassdrag gjør at dette påslaget ikke blir målbart når elva kommer ned til Lærdalselva.

Erfaringene så langt viser at deponiene må forvaltes som metalldeponier og behandles deretter. Det viktigste er at de forblir i ro og ikke utsettes for gravevirksomhet, grøftig eller lignende. Det er store deponier det dreier seg om, og uvettig behandling, som øker korrosjonshastigheten og utlekkingen, kan gi svært uønskede effekter. Vi vil derfor sterkt fraråde all slik graveaktivitet i gamle metalldeponier og også fraråde at nye blir lagt til myrer og våtmarksområder. Det beste er et substrat for kuleanslag som er mest mulig fritt for organisk materiale og som hindrer oppsplitting av prosjektilene. Den gunstigste løsningen hadde vært en form for gjenvinning. Dette burde vært mulig for alle regulære baner som eks. 200 m banene. Feltskytebaner har større problemer med gjenvinnig av prosjektiler og desto viktigere blir derfor lokaliseringen og områdene for kuleinnslag. Vi vil anbefale at Forsvaret ved anleggelse av fremtidige feltskytebaner også tar hensyn til miljøaspektet ved siden av de militær-tekniske hensyn.

Innledning

Denne rapporten er den fjerde årsrapporten fra en 5 årig overvåkning av Forsvarets skytefelt. Målsetningen med overvåkingen er å følge tidsutviklingen i konsentrasjonene av bly og kobber i avrenningsvannet fra de viktigste skytefeltene for å klarlegge om det var felter der det kunne være nødvendig å gjøre tiltak for å begrense denne avrenningen. Erfaringene fra denne overvåkingen vil gi viktig informasjon om hvor og hvordan skytebaner og kulefangervoller bør anlegges i framtiden.

Spesielt er det bruken av handvåpen som skaper de største deponiene av metaller. Dette er en aktivitet som har forgått i mange år og i flere deler av landet. Dagens aktivitetsnivå fører til at det årlig deponeres ca. 85 tonn bly, 41 tonn kopper, 5 tonn sink og 11 tonn antimon vesentlig i kulefangervoller og feltskytebaner (Rognerud et al. 1992). 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 at det dreier seg om betydelige mengder er hevet over tvil. 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 viser økende interesse for dette tema. 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 og være forberedt til dette. 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 9 årene har NIVA undersøkt avrenningen av tungmetaller fra ulike skytefelt (Kjellberg 1988, Kjellberg & Boye 1992, Rognerud & Boye 1992, Rognerud et al. 1993, Rognerud 1995). Testsenteret på Raufoss og demoleringsfeltet i Lærdal er også undersøkt (Rognerud 1994, 1995). I den pågående overvåkningsundersøkelsen har noen felter 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 kobbermantlet 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, har også naturen 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 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 prøven. 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 feltene. Lærdalfeltet er et demoleringsfelt. Bradalsmyra er test og utviklingsanlegg for Raufoss Technology. De resterende er militære skytefelt.

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 analyser. Konsentrasjonene i vann for mange tungmetaller er også nær eller under grensen for det vi kan måle med tradisjonelle metoder som eksempelvis atomabsorpsjonspektrofotometri (AAS). I rennende vann brukes derfor ofte vannmoser, spesielt arter fra slekten *Fontinalis*, som bioindikator. Disse akkumulerer (oppkonsentrerer) 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 høye konsentrasjoner som f.eks. ved tilfeldige utslipp (Mouvet et al. 1993). Det er levende nydannede toppskudd som samles inn, skylles forsiktig og 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 overvåkningen 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 og 1994 ble det parallelt med eksponeringene av mosene også samlet inn vannprøver for metallanalyser. 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 ukers mellomrom. Da mosene vil gjenspeile vannkvaliteten over hele perioden, kan det selvfølgelig være forklarlig at en i enkelte tilfeller kan få en mindre god overenstemmelse mellom enkeltprøver. Data fra begge disse årene viser imidlertid at det er gode korrelasjoner mellom kobber- og blykonsentrasjonene i mose og vann i de respektive feltene (Fig. 2).

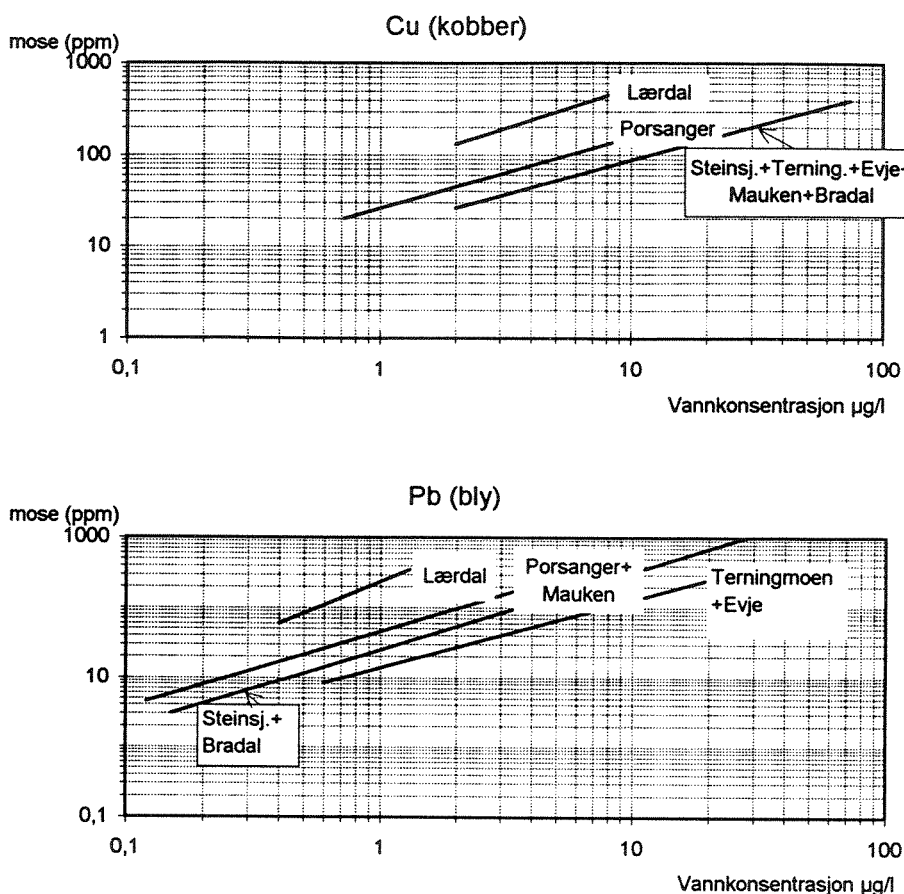


Fig.2. Sammenhengen mellom kobber- og blykonsentrasjoner i vann og mose fra skytefeltene. Regresjonslinjene for de ulike feltene er gitt. Antall observasjoner varierer mellom 10-25 for hvert felt. Sammenhengene er statistisk signifikante og har en høy forklaringsgrad. For oversiktens skyld har vi ikke vist de enkelte observasjoner og konfidensgrenser. Hovedhensikten er å vise den variasjonen som er innenfor feltene når det gjelder akkumuleringsgraden i mosene for disse elementene og det omregningsforholdet som er benyttet ved inndelingen etter SFT's klassifiseringssystem for vannkvalitet.

Den generelle vannkvaliteten har betydning for i hvilken tilstand metallene forekommer. Størst betydning i denne sammenheng har vannets surhetsgrad og humuspåvirkningen. Surere vann betinger at mer av metallens totale konsentrasjon forekommer som løste ioner, mens økte humusmengde 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 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 tilfredsstillende feltarbeid. Det ble ikke observert avvik av betydning mellom kontrollprøver og rutineprøver innsamlet av lokale prøvetakere i noen av feltene.

Kjemiske analysemetoder

Alle analysene av metaller i vann ble utført ved NILU's akkrediterte laboratorium på Kjeller. 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 Forurensningstilsyn (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. De enkelte primærdata er gitt i vedlegget.

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 tre rapporter som omhandler resultatene fra disse undersøkelsene (Kjellberg & Rognerud 1992, Rognerud 1993, 1994). 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 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. Siden 1993 har imidlertid konsentrasjonene sunket, slik at situasjonen i på alle målepunktene er tilfredstillende i 1995. Kobberverdierne var også høyere ved st.7 slik at vannkvaliteten får klassifikasjonen "mindre god" i denne bekken. Forøvrig var konsentrasjonene ikke spesielt høye og vannkvaliteten kan betegnes som god også i bekken som avvanner miljøtestanlegget (st.8). Liten vannføring gjør at omfanget av forurensning fra hovedstandplass har et beskjedent omfang og i hovedsak er begrenset til selve skytefeltet's umiddelbare nærhet. Vi ser imidlertid at konsentrasjonene av kobber i Veltmannåa i 1995 økte til det dobbelte når den har passert testsenteret. Det ser ut til at denne trenden er stigende. Det tidsmessige bilde over disse 5 årene viser ingen dramatiske endringer, med unntak av st.7. Der har imidlertid også konsentrasjonene sunket til et akseptabelt nivå i 1995.

Konklusjon

Vannkvaliteten kan betegnes som god med hensyn til bly på alle målestasjonene i 1995. I 1993 var det mindre god vannkvalitet i bekken som avvanner hovedstandplass, men denne situasjon har bedret seg betydelig de siste to årene. Vannkvaliteten med hensyn til kobber var god i Veltmannåa før den passerer inn i feltet og i bekken som avvanner miljøtestanlegget. Den var mindre god i Veltmannåa når den renner ut av feltet og i bekken som avvanner hovedstandplass. I perioden 1992-95 har påslaget i Veltmannåa gradvis økt etter passasjen gjennom testsenteret. Denne tendensen bør overvåkes videre og årsaken bør klarlegges. Forholdene ser imidlertid ut til å være under kontroll med hensyn til utslipp av bly fra Bradalsmyra skytefelt.

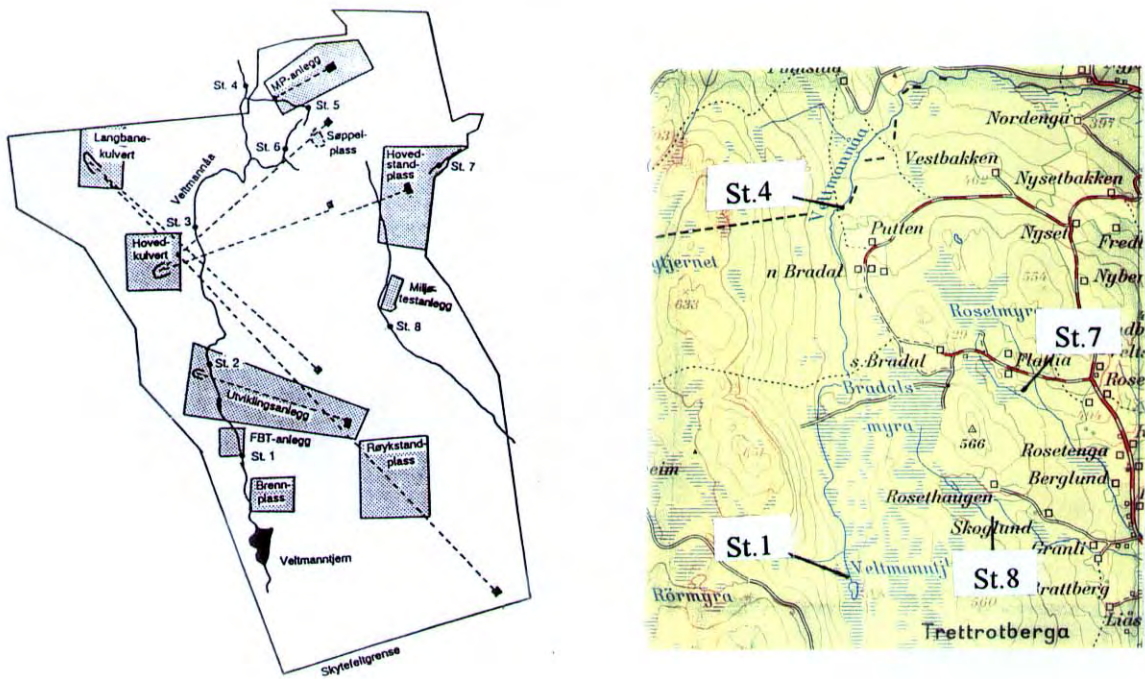


Fig. 3. Prøvetakingstasjoner i Bradalsmyra test- og utviklingsanlegg.

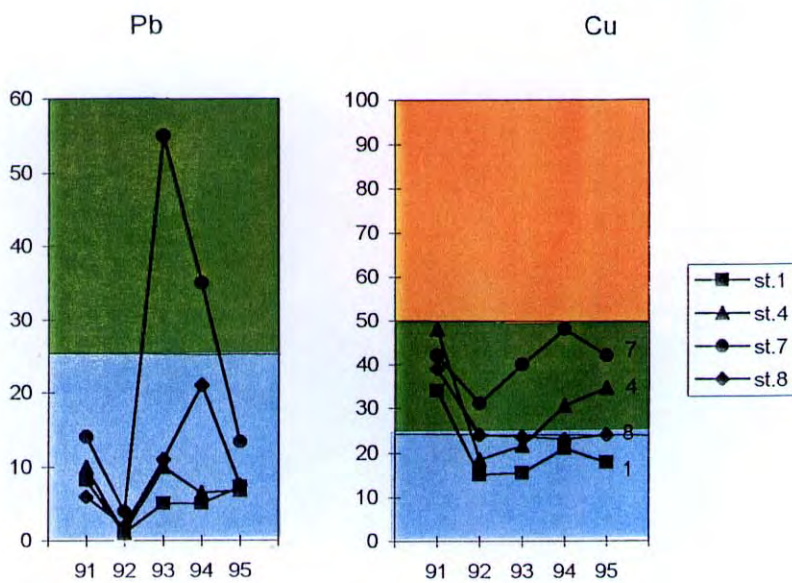


Fig. 4. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g TV}$) av kobber og bly på overvåkingstasjonene i Bradalsmyra skytefelt.

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 overvåkingen 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 overmetning var en vesentlig årsak til dette (humøst vann). De siste fire 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 disse tørkeperiodene, og mye av de utsatte bestandene strøk med. Likevel var det tilstrekkelig med friske skudd til at analysene kunne utføres etter gjeldende metodikk.

Resultater

Primærdata er gitt i vedlegget. Konsentrasjonene av kobber og bly var høyest i avrenningen fra feltskytebanen, og vannkvaliteten fra dette feltet var mindre god i de tre første årene overvåkingen foregikk (Fig.6). Det var en tendens til synkende verdier for kobber fram til 1993, men i 1994 steg konsentrasjonen betydelig. Denne økningen fortsatte også i 1995. Bly-konsentrasjonen steg i de fire første årene, mens den avtok noe i 1995. Økningen var moderat i starten, men betydelig i 1994. Dette skyldes i hovedsak gravearbeider i feltet. Effektene av dette ble fortsatt registrert i 1995. Utviklingen er imidlertid urovekkende og viser at en videre overvåking er påkrevet. Vannet var svært humuspåvirket ved alle observasjonene som ble gjort under feltarbeidet alle årene. Humus er transportøren for metallene og det er naturlig at utviklingen i den generelle vannkvaliteten med mer humøst vann også har ført til spesielt høyere blyverdier.

Bekken ved Steinsfjellet som avvanner kulefangervollene hadde lavere konsentrasjoner enn bekken fra feltskytebanene alle årene. Det var også en markert økning i konsentrasjonene av bly i denne bekken i 1994 og 1995 i forhold til foregående år. I perioden 1991-93 var imidlertid konsentrasjonene lave og nær de en forventer som naturgitte betingelser. Dette er som ventet da prosjektilene deponeres i løsmasser (voller) et stykke fra bekken, og sigevannet må dessuten infiltreres i sandavsetninger før det når bekken. Likevel var verdiene gjennomgående noe høyere enn i Bjoråa. Paralleliteten i utviklingen i konsentrasjonene i Bjoråa og i bekken fra feltskytebanene indikerer at feltskytebanen har innflytelse på vannkvaliteten i Bjoråa også så langt nede som ved utløpet av feltet. Verdiene i Bjoråa var likevel innenfor de grenser som er satt for en god vannkvalitet for kobber, mens de var mindre god mht. bly.

Konklusjon

De betydeligste forurensninger av bly og kobber i skytefeltet er i hovedsak knyttet til feltskytebanen, men også konsentrasjonene i bekken som avvanner kulefangervollene har økt betydelig siden 1993. I 1995 må vannkvaliteten i denne sistnevnte bekken klassifiseres som mindre god (kobber) til dårlig (bly). Gravearbeidene i feltskytebanen i 1994 ga store økninger i konsentrasjonene av både bly og kobber i bekken som avvanner feltet. Denne situasjonen holdt seg også i 1995 slik at vannkvaliteten i kan klassifiseres som meget dårlig med hensyn til bly og nokså dårlig med hensyn til kobber. Det bør så langt som mulig unngås å grave i feltskytebanen da mengden av utløste kobber og bly som er bundet til humusstoffer i feltet er betydelig etter mange års bruk. 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. Der har konsentrasjonene av både bly og kobber økt helt siden overvåkingen startet i 1991.

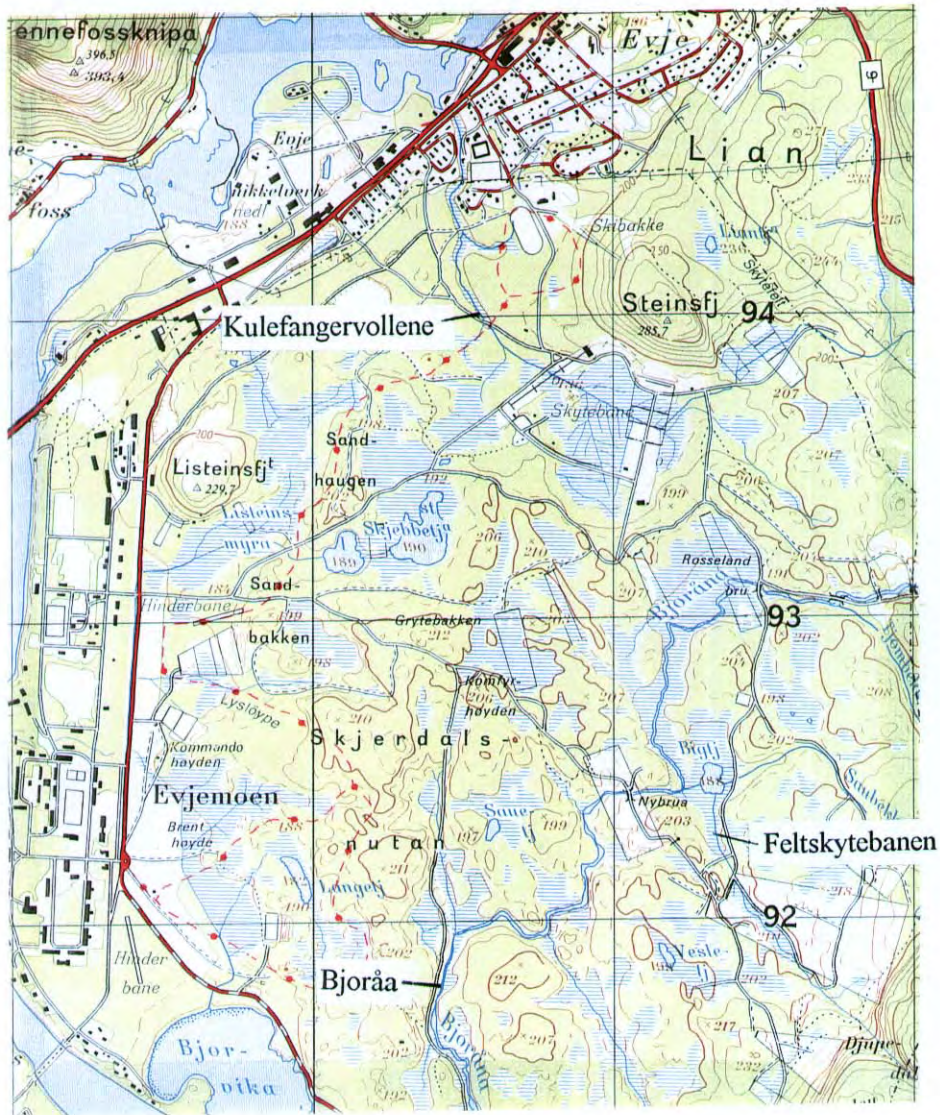


Fig.5. Overvåkingstasjonene i Evjemoen skytefelt

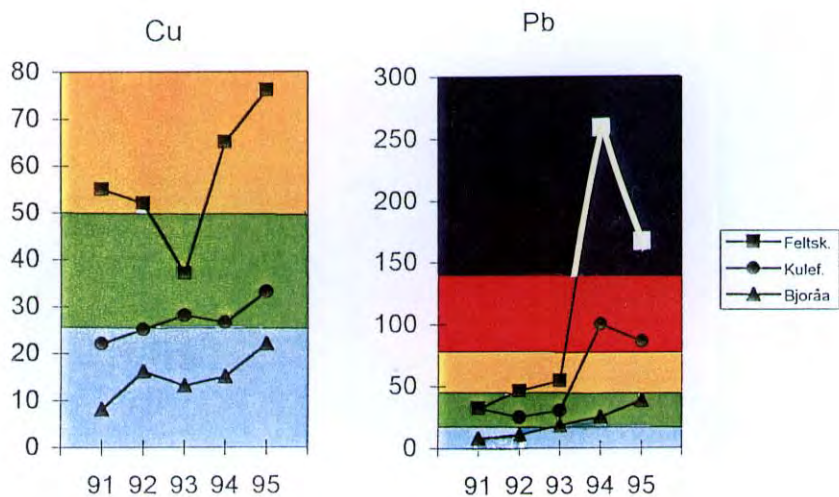


Fig.6. Konsentrasjoner av bly og kobber ($\mu\text{g/g TV}$) i mose på stasjonene i Evjemoen skytefelt.

Steinsjøfeltet

Innledning

Dette feltet er fjernøvningsfelt for avdelinger i det sentrale Østlandsområdet. Feltet er 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. Det er grunn til å anta at dette feltet er en 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 bly- og kobberholdige prosjektiler fra handvåpen som deponeres i feltet.

Overvåkingen har vist at metall-konsentrasjonene i bekken som avvanner feltskytebanene har vært betydelig. 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. 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

Primærdata er gitt i vedlegget. Resultatene for sedimentprøvene i Storvatnet er gitt i Tabell 2.

Tabell 2. Analyse av overflate (0-1 cm) og referanse-sediment (22-24 cm) fra dypeste punkt i Storvatnet (18/10-94). Alle konsentrasjoner er gitt i µg/g tørrvekt. K_f = kontamineringsfaktor = overflatekons./ref.kons. Glødetapet var henholdsvis 50% (0-1cm) og 53% (22-24cm).

	Al	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
0-1	37200	5,76	4,96	1,51	5,16	24,8	97,6	24600	0,253	482	16,1	306	4,10	9,31	49,3	227
Ref.	44600	2,91	5,79	0,93	5,10	17,2	12,7	14700	0,057	570	8,55	18,1	0,23	10,7	24,2	127
K_f	0,8	2,0	0,9	1,6	1,0	1,44	7,7	1,7	4,4	0,9	1,9	16,9	17,7	0,9	2,0	1,8

Det var et betydelig påslag av antimon (Sb), bly (Pb) og kobber (Cu) i overflatesedimentet i forhold til referansesedimentene. 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 disse elementene som er hovedbestanddelene i kulene som deponeres fra skytingen med handvåpen og mitraljøser. Det er derfor klart at utlekkingen av disse metallene fra deponerte prosjektiler i vannet og i nærmiljøet har forurenset Storvatnet. En stikkprøve fra bekken som avvanner innslagsfeltet ovenfor målbanen (bane 9)viste da også relativt høye verdier. (Tabell 3)

Tabell 3. Konsentrasjoner av metaller (µg/l) i bekkene som avvanner ulike baner i Steinsjøfeltet. Stikkprøvene ble innsamlet den 6/10-94.

	Pb	Cu	Cd
Mitr.og liten PV bane (Bane 5/6)	9,5	13,3	0,05
Stor PV og kortholdsbane (Bane 7/9)	37,8	77,0	0,13
Feltskytebanene i Larsmyrdalen (2/3)	10,7	18,9	0,12
Feltskytebaner vest (bane 18/19)	0,23	3,2	0,14

Stikkprøvene viser at bekkene ved Storvatnet og Larsmyrbekken var klart forurenset av bly og kobber, mens konsentrasjonene av kadmium var nær de naturgitte. Konsentrasjonene i bekken fra feltskytebaner vest var nær de naturgitte verdiene. Stor fortykning fra vann som tilkommer utenfra og innfiltrasjon i store løsmasser er årsaken til disse lave verdiene. Resultatene er i god overenstemmelse med resultatene fra den årlige overvåkingen.

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 jevt og trutt fra 1991 og fram til 1995. Konsentrasjonen har økt til det 4-dobbelte tilsvarende ca. 22 ganger høyere enn bakgrunnsverdiene. Utviklingen av bly-konsentrasjonen i bekken er enda mer dramatisk. I 1994 og 1995 var verdiene ca. 10 ganger høyere enn de som ble målt i 1991 og ca. 140 ganger høyere enn bakgrunnsverdiene. En vesentlig del av dette bly forventes å sedimentere i Brenntjern. Fra og med 1993 ble en stasjon også lagt til utløpsbekken fra tjernet (st.1a). Konsentrasjonene viste en økning fra 1993 til 1994/1995 slik som også ble observert i Larsmyrbekken. Dette betyr at til tross for sedimentasjonen i tjernet har også vannet som renner ut forhøyede verdier av bly og kobber. Konsentrasjonene i Larsmyrbekken er så høge at det er store sjanser for gifteffekter på akvatiske organismer. Det ble også eksponert moser lenger opp i Larsmyrbekken som viste konsentrasjoner på samme nivå som i innløpet til Brenntjern. På bakgrunn av kriterier for metaller i vann må vannkvaliteten i Larsmyrbekken betegnes som meget dårlig og i utløpet fra tjernet som dårlig.

Vannføringen i bekken som avvanner banene 5/6 (st.2) var liten, men konsentrasjonene var høge på nivå med de som ble registrert i Larsmyrdalen. Det samme var tilfelle i bekken som avvanner den store PV-banen (st.3). selv om blykonsentrasjonene var noe lavere.

Konklusjon

Konsentrasjonene av bly og kobber i bekken som avvanner feltskyttebanen i Larsmyrdalen har stadig økt siden overvåkingen startet i 1991. Vannkvaliteten karakteriseres i 1995 som meget dårlig. Den betydelige og urovekkende økningen i blykonsentrasjonene krever spesiell oppmerksomhet. Utviklingsforløpet må ses i sammenheng med de gravearbeider som ble gjort i feltet i overvåkningsperioden. Humus-metall komplekser vil mobiliseres og renne ut i bekken dersom en roter opp i humus- og jordsjiktet som inneholder deponerte prosjektiler. Humusstoffene virker som transportører for metallene og siden kan disse frigjøres eller inngå i næringskjeden hvis forholdene ligger tilrette. Det bør derfor vurderes å gjøre tiltak for å stanse denne utviklingen. Vannet som renner ut av Brenntjern har også dårlig vannkvalitet og er preget av forurensningene i Larsmyrdalen. Vannkvaliteten i bekkene som avvanner den store PV-banene og mitr/liten PV bane er også meget dårlig. Sedimentene i Storvatnet var klart forurenset av antimon, bly og kobber dvs de samme elementene som er hovedbestanddelene i prosjektilene. Utviklingen i Steinsjøfeltet bør overvåkes nøye i årene fremover og en plan for tiltak for å begrense avrenningen av tungmetaller bør utarbeides så snart som mulig.

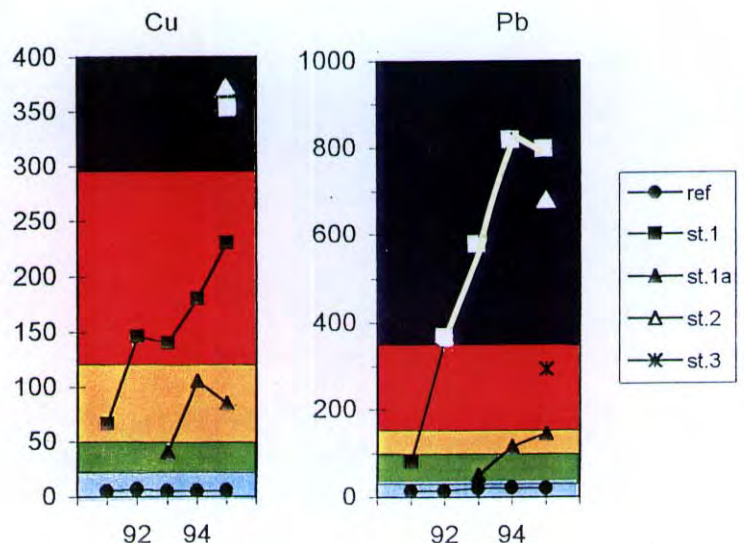
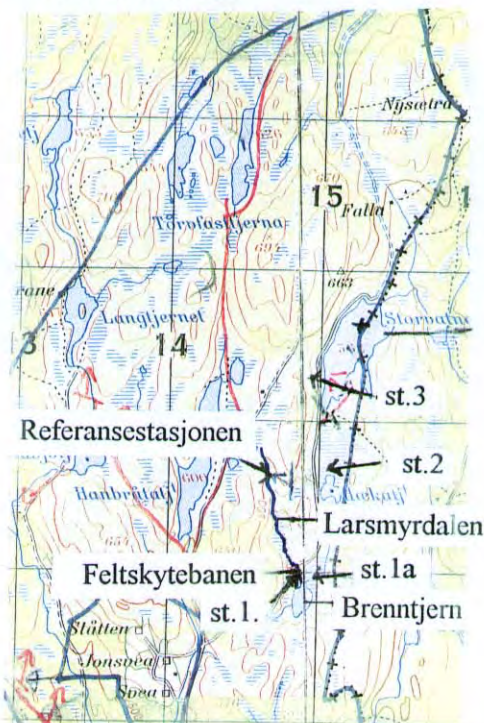


Fig.7. Lokalisering av stasjonene i Steinsjøfeltet

Fig.8. Konsentrasjoner av bly og kobber (µg/gTV).

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). 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, og vannkvaliteten kan betegnes som god til mindre god (Fig. 10). 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 bekkene tilkommer ligger i overgangssonen til klassen mindre god (T.2). Vi ser at påslaget i konsentrasjon av kobber mellom T1 og T2 var størst i 1991 og 1994, da også konsentrasjonene i bekkene var høgest. I 1993 og 1995 var påslaget lite. Det er med andre ord en meget god overenstemmelse mellom resultatet fra bekkene og målingene i Terninga. Dette viser at denne overvåkningsmetoden også kan fange opp meget små endringer i konsentrasjonene i eventuelle sidebekker av mindre størrelse. Konsentrasjonene av bly økte i bekkene fra 1991 til 1993, men sank noe i 1994. B1 og B2 hadde god vannkvalitet mht. bly i 1995, mens B3 hadde nokså dårlig vannkvalitet. Resultatene fra bekkene stemmer generelt meget bra med mønsteret i økningen i Terningåa fra T 1 til T 2.

Konklusjon

Det har vært klare år til år variasjoner i konsentrasjonene av bly og kobber i bekkene som avvanner feltskytebanene. Totalt sett har effektene på vannkvaliteten i Terninga vært liten selv om bekkene fra skytefeltet bidrar til en økning av konsentrasjonene i Terninga. Vannkvaliteten i Terninga nedstrøms skytefeltet kan klassifiseres som god til mindre god, sannsynligvis avhengig av variasjonen i hydrologiske forhold. Forurensningene fra feltskytebanene er derfor et lokalt problem som i hovedsak har hatt betydning i de lokale bekkene. Forurensningsbidraget til Glåma er beskjedent.

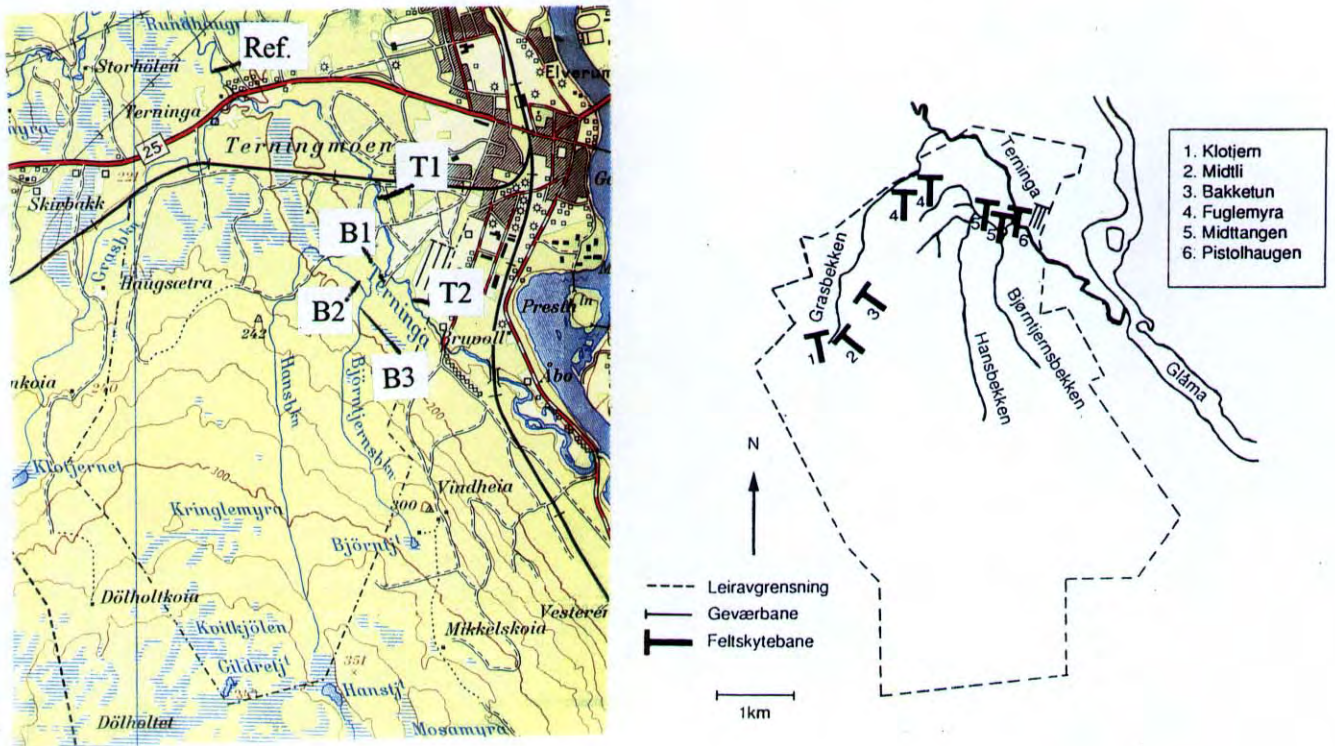


Fig.9. Oversikt over beliggenhet av baner og stasjoner Terningmoen skytefelt

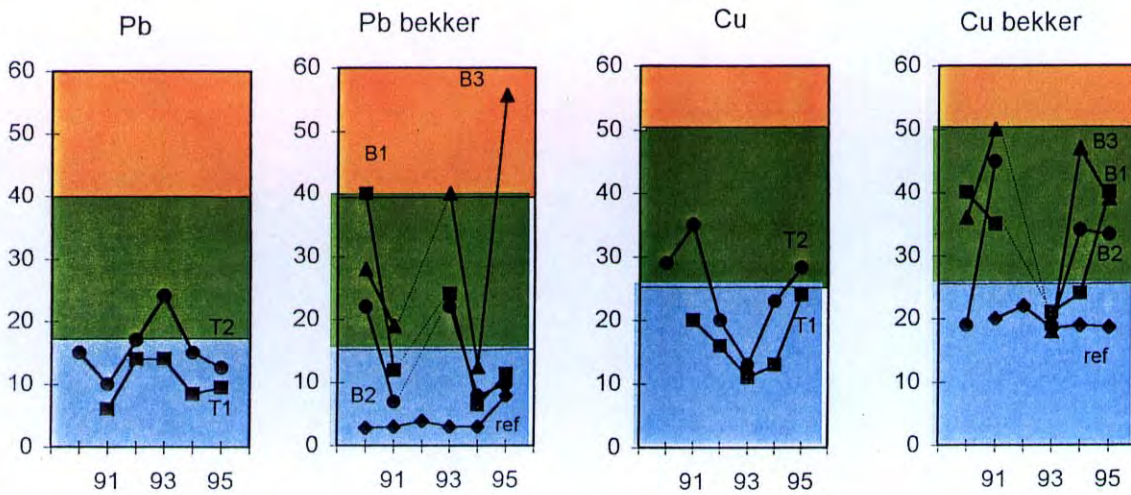


Fig.10. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g TV}$) av tungmetaller i moser fra bekker i Terningmoen skytefelt.

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

Primærdata for overvåkningsperioden er gitt i vedlegget. Konsentrasjonene av bly og kobber har vært relativt stabile i overvåkningsperioden med unntak av verdiene for bly på st.3 (foran selvanviserene) og st.6 som økte betydelig i 1993 (Fig.12). Økningen fortsatte på stasjon 3 i 1994, men gikk betydelig ned i 1995. Konsentrasjonene ved st.6 gikk tilbake til verdier nær de som ble registrert ved starten av overvåkingen. I forhold til referanseverdiene var det et påslag i konsentrasjonene for kobber på de fleste stasjonene, sjøl om økningen var relativt moderat. Unntaket var bane 10 (st.4) og bane 17 (st.5) der ingen forurensning ble registrert. Dette er forståelig da disse banene i liten utstrekning benyttes til skyting med handvåpen. Stasjon 6 har også vist en synkende tendens og har de siste to årene vært nær de naturgitte forhold. For de andre banene kan vi si at vannkvaliteten kan karakteriseres som mindre god. Det ble tidligere registrert spesielt høge blyverdier i avrenningen gjennom grøfta foran selvanviserene (st.3), men verdiene var betydelig lavere i 1995. Dette er rimelig da kulene blir sterkt deformert og delvis splintret ved anslag mot selvanviseren og følgelig lett tilgjengelig for korrosjon. Det er rimelig å anta at den våte sommeren i 1995 har bidratt til høy vannføring og en betydelig fortyningseffekt for utlekkede metaller. Den relativt store vannføringen i de viktigste bekken ut fra skytefeltet gjør at forurensningene fra de mest belastede delene av feltet blir fortynnet såvidt mye at forurensningseffekter utenfor feltet er usannsynlig.

Konklusjon

Bekkene i skytefeltet på Mauken tilføres lokale forurensninger av bly og kobber som følge av skyting spesielt med handvåpen. Vannkvaliteten i bekkene fra de mest belastede banene kan generelt klassifiseres som mindre god til nokså dårlig. På grunn av stor fortyning er det likevel ikke registrert forurensnings-effekter i bekkene som renner ut av skytefeltet. Bruk av selvanvisere øker korrosjonshastighet og utlekkingen av metaller betydelig på grunn av deforming og delvis oppsplitting av prosjektilene. Plassering av slike i nær tilknytning til bekker bør unngås. De store nedbørmengdene i Nord-Norge sommeren og høsten 1995 har gitt gode fortyningsmuligheter for utlekkede metaller. Hovedsakelig på grunn av dette viste konsentrasjonene en synkende tendens ved nesten alle stasjoner i 1995

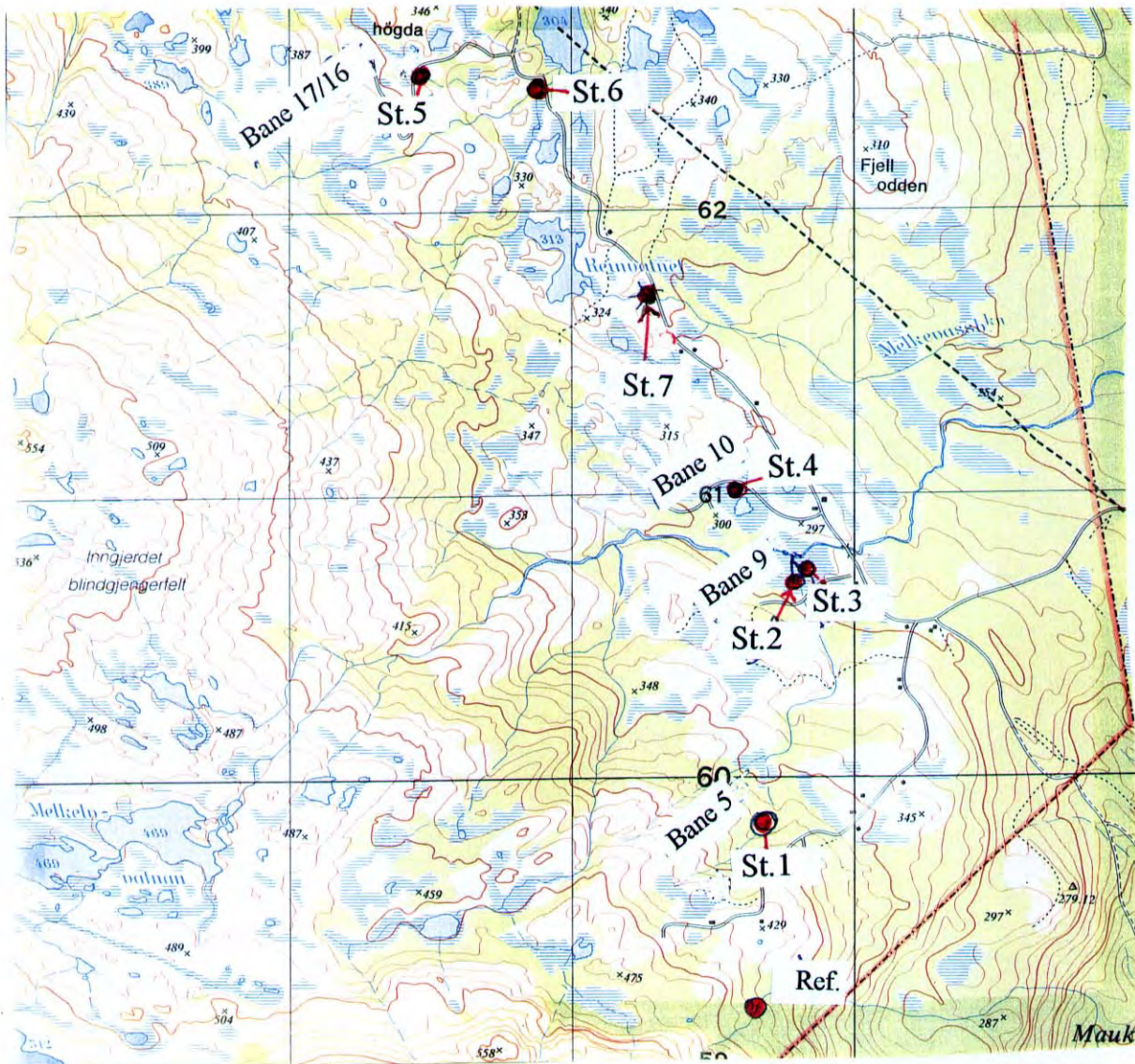


Fig.11. Stasjonsplassering i Mauken skytefelt

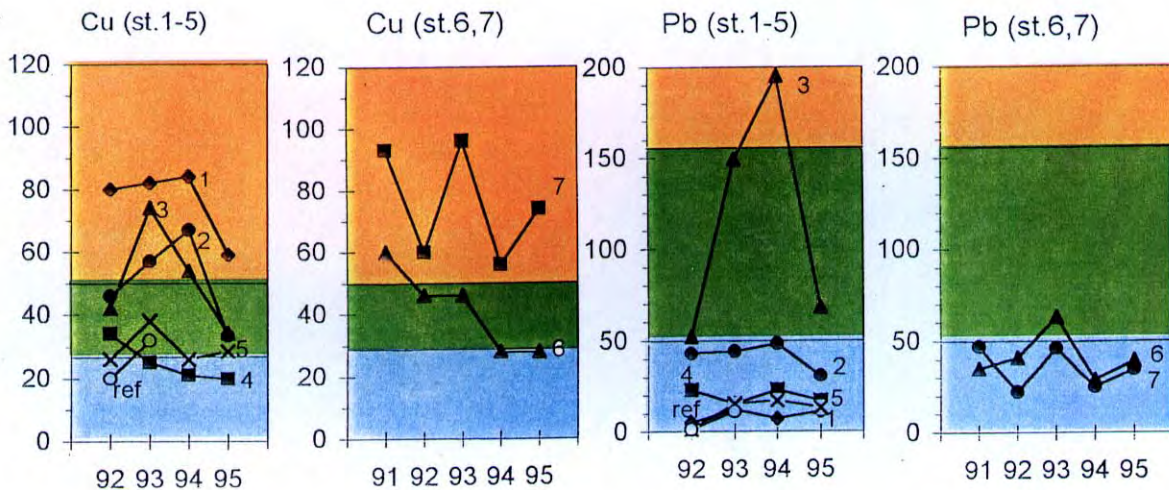


Fig.12. Konsentrasjoner($\mu\text{g/g TV}$) i mose på stasjonene i Mauken skytefelt

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 gjennomført i de siste årene. På det meste er en bataljonsgruppe med infanteribataljon, ett middelstungt feltartilleribatteri, stridsvogntropp og luftvern batteri 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.

Undersøkelsene i 1991 viste at Porsangermoen skytefelt hadde naturlig stor variasjon i de geokjemiske konsentrasjonene av kobber. Spesielt høge 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

Primærdata for overvåkningsperioden er gitt i vedlegget. Det var generelt små endringer i konsentrasjonene av kobber fra 1992 til 1995 (Fig. 14). 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.

Blyverdiene ved stasjonene 1,6 og 8 har variert endel i overvåkningsperioden. I 1994 var blyverdiene relativt høge ut av Yngelvatn (st.6) noe som må ses i sammenheng med bruken av stridsløypa. Kjøring i løypa økte erosjonen betydelig spesielt i de regnrrike periodene. Som en følge av dette var Yngelvatnet sterkt humuspreget i perioder (Kurt Dale personlig meddelelse). I 1995 var imidlertid verdiene betydelig lavere. Årsakene til toppen i Andersbekken (st.1) i 1993 er ukjent, men parallell- analyser ga samme resultat. Utløpet av Røyrvatn hadde forhøyde verdier i 1995. Fra tidligere undersøkelser vet vi at sedimentene i dette tjernet er sterkt forurenset av bly bl.a. på grunn av selvanvisere utsatt på isen vinterstid. Det er mulig denne aktiviteten kombinert med tidligere forurensning er årsaken. For de andre stasjonene var konsentrasjonene nær bakgrunnsverdier.

Konklusjon

Vannkvaliteten i Porsangermoen skytefelt var god til mindre god. Påslager av bly og kobberforurensninger som følge av korroderte prosjektiler var beskjedent i nedre del av feltet. I enkelte år ble det imidlertid observert forhøyede blyverdier i den øvre delen av feltet forårsaket av militær aktivitet. Forøvrig bidrar de naturgitte forhold (velbufret jordsmonn) til å redusere utlekkingen av metaller fra korroderte prosjektiler. De naturlig høge kobberverdiene i øvre del av feltet gjør at også konsentrasjonen av kobber i vannet naturlig var høyere enn vanlig. Gifteffekter av tungmetaller på det akvatiske økosystemet som følge av skyting med handvåpen i nedre del av feltet er derfor lite sannsynlig.

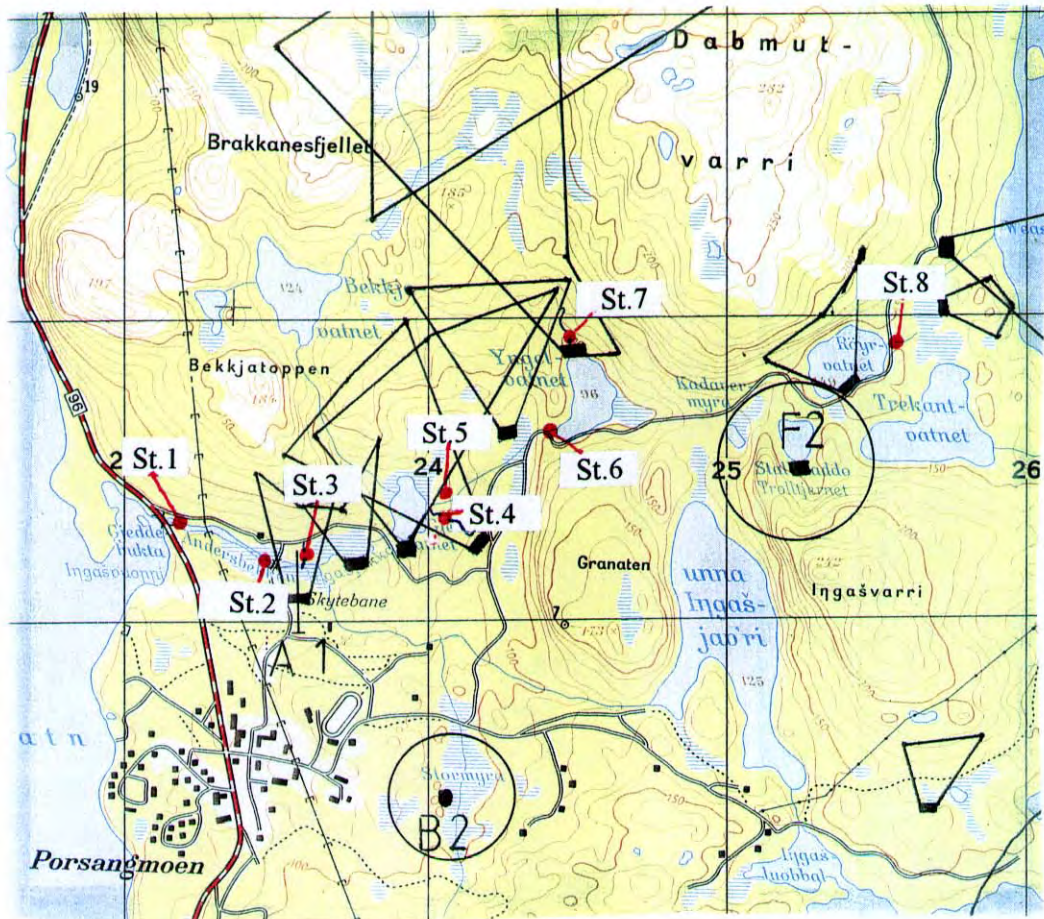


Fig. 13. Prøvetakningstasjoner i Porsangermoen skytefelt.

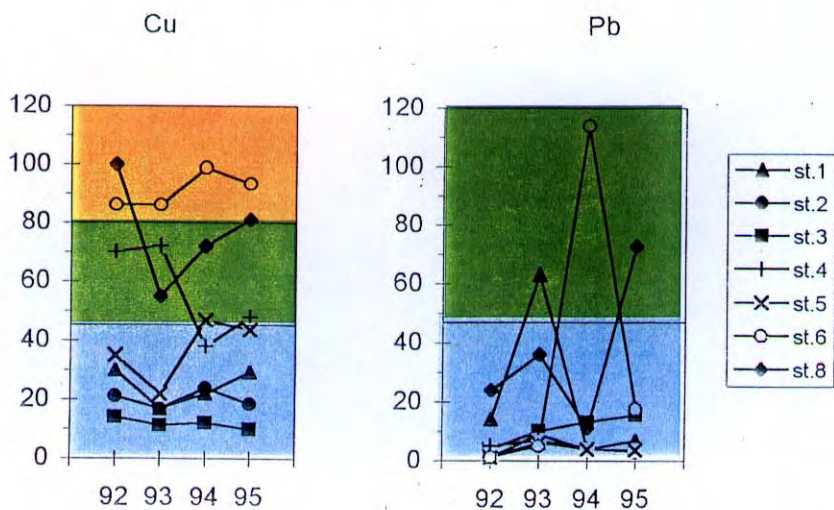


Fig. 14. Konsentrasjoner ($\mu\text{g/g TV}$) i mose i Porsangermoen skytefelt.

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

Moseprøvene ble eksponert på de aktuelle stasjonene nesten hele den isfrie perioden fra og med 1993. Resultatene skulle derfor være representative for konsentrasjonene av de aktuelle metaller i denne perioden. Det viste seg at det var relativt små forskjeller mellom stasjonene 1 og 3, men det ble registrert en klar økning nedstrøms demoleringsfeltet (st.2, Fig.16). Det har vært en klar økning i konsentrasjonene på stasjon 2 fra 1993 og fram til 1995. Årsakene til dette er vanskelig å ha noen klar formening om, men de tørre sommerene de siste to årene kan ha ført til en mindre fortykning av avrenningsvannet fra demoleringsfeltet. Det er likevel verd å merke seg at ved stasjon 3 var verdiene for bly nær de som ble observert ved stasjon 1, mens de var høyere for kobber. Bly har større bindingsevne enn kobber i elveleiet. Dette forholdet sammen med fortykningen av tilkommende sidevassdrag er hovedårsaken. Forøvrig var konsentrasjonene av kobber og bly noe høyere enn det som er vanlig i "uforurensede" vassdrag i Sør-Norge.

Konklusjon

Konsentrasjonene i elva før demoleringsfeltet var høgere i 1995 enn de foregående årene, sannsynligvis på grunn av nedsatt fortykningsevne som følge av den tørre sommeren. Påslaget i konsentrasjoner av bly og kobber etter demoleringsfeltet er imidlertid signifikant, og dette mønsteret er uavhengig av vannføringen i elva. Lenger ned i elva fortynnes konsentrasjonene av et betydelig sidevassdrag, slik at påslaget i konsentrasjonene vanligvis er ubetydelige og nær verdiene på referansestasjonen. Kobberverdiene var høyere enn normalt, men det var også referansestasjonen oppstrøms demoleringsplassen. Det er med andre ord naturlige geokjemiske årsaker til dette, og de høge verdiene har ingen ting med demoleringen å gjøre. Dette er en medvirkende årsak til at vannkvaliteten ut fra kobberkonsentrasjonene kan karakteriseres som dårlig, ellers var vannkvaliteten god. Det registreres utlekkinger av bly og kobber fra feltet, men fortykninger av tilkommende sidevassdrag gjør at dette påslaget ikke blir målbart når elva kommer ned til Lærdalselva.

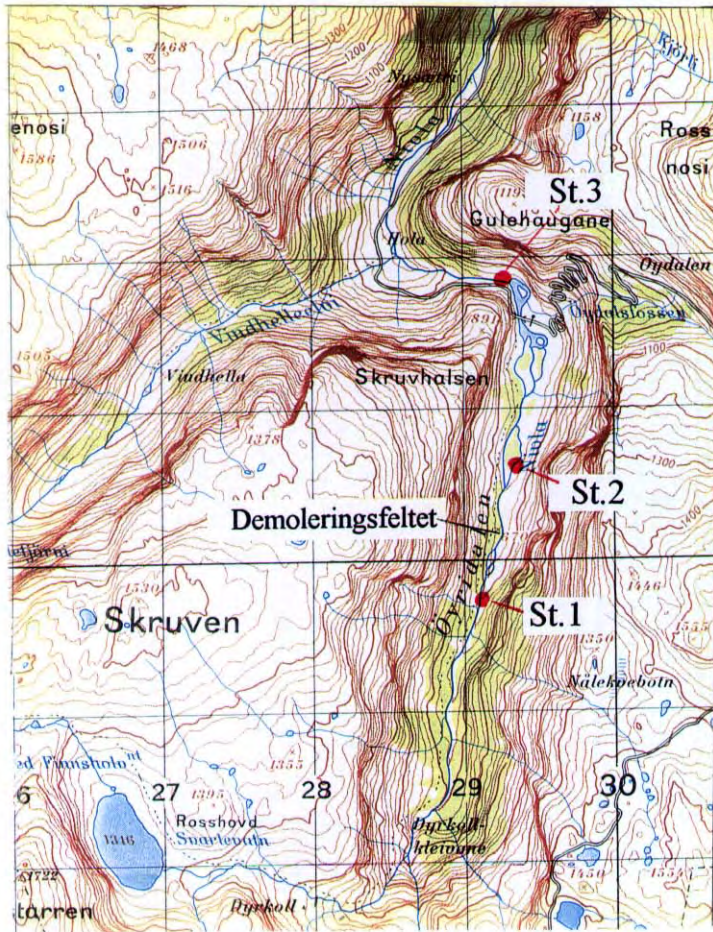


Fig. 15. Prøvetakingstasjonene i Nivla som avvanner demoleringsfeltet i Lærdal.

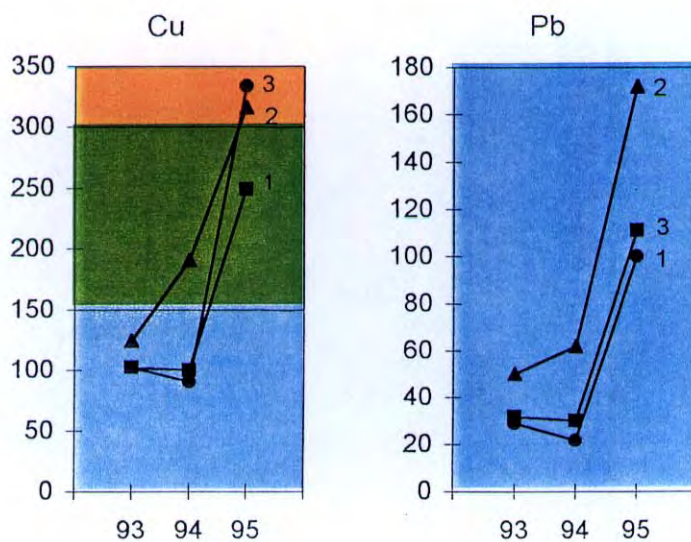


Fig. 16. Konsentrasjonene ($\mu\text{g/g TV}$) i mose i Nivla som avvanner demoleringsfeltet i Lærdal.

Sammenfattende diskusjon

NIVA's personale har stått for prøveinnsamlingen i Steinsjøfeltet, Bradalsmyra og på Terningmoen. I de øvrige feltene har lokale miljøoffiserere eller andre miljøansvarlige stått for prøveuttaket, etter at mosene har vært utplassert ved feltsesongens start av fagfolk ved NIVA. Mosene er lette å handtere, tørke og sende i posten uten at de blir kontaminert. Sjekkrutiner og parallell-prøver viser at dette systemet har fungert meget tilfredstillende, og at det er faglig forsvarlig. Ut fra et kost/nytte synspunkt er denne løsningen svært gunstig da den er effektiv, kostnadsbesparende og fremskaffer data på et stort antall lokaliteter i mange skytefelt fra hele landet.

Sammenhengen mellom metall-konsentrasjoner i vann og moser er blitt godt dokumentert de siste to årene, bl.a fordi nye analysemetoder har senket detektesjensgrensene for metallanalyser i vann betraktelig. Sammenhengen er avhengig av feltenes generelle vannkvalitet, slik at regresjonskurver er utviklet for hvert felt og hvert element. Dette gir meget pålitelige estimater av vannkonsentrasjonene som er utgangspunktet for klassifisering i SFT's tilstandsklasser. Det er derfor allerede lagt et verdifullt grunnlag for en eventuell videre overvåkning, der miljøoffiserere kan stå for prøveinnsamling og moser kan brukes bioindikatorer på metallkonsentrasjoner.

Tidligere undersøkelser har vist at det i hovedsak er kobber og bly som opptrer i forhøyede konsentrasjoner i avrenningen fra skytefelt. Videre at det er feltskytebaner, kulefangervoller og områder med selvanvisere som er de største kildeområdene. Overvåkingen har derfor hatt som hovedmål å klarlegge tidstrenden i endringene av konsentrasjonene av bly og kobber i et utvalg av landets største skyte- og demoleringsfelter.

Variasjonen i konsentrasjonene fra år til år innen hvert felt skyldes i hovedsak forhold som:

- militær aktivitet der deponiene blir utsatt for graving, grøfting etc. som mobiliserer metallene
- svingninger i nedbørmengder og avrenning som kan fortynne/konsentrere vannet fra deponiene.

Resultatene fra 5 års overvåkning viser at konsentrasjonene oftest stiger i tørre somre, antagelig fordi betydningen av tilrennende vann fra upåvirkede områder blir noe mindre. Dette ble relativt godt dokumentert i feltene i Sør-Norge sommeren 1995. Den våte sommeren i Nord-Norge samme år ga noe lavere konsentrasjoner i disse feltene enn i tørrere år. Likevel er de konsentrasjonsøkninger som skyldes naturlige variasjoner små i forhold til de effekter som registreres når anleggsarbeider e.l. gjøres i myrer eller våtmarker med deponerte prosjektiler. Erfaringene fra Steinsjøfeltet, Evjemoen og Porsangermoen viser hvilke drastiske økninger i konsentrasjonene som kan utvikles i slike situasjoner. Vannkvaliteten blir tilsvarende forringet og klassifiseres oftest som meget dårlig. Gifteffekter må forventes i deler av de akvatisk økosystemene i slike tilfeller.

Variasjonen i konsentrasjoner mellom feltene er styrt av forhold som:

- militær aktivitet- deponienes størrelse og grad av mekanisk forstyrrelse
- naturgrunnlaget-løsavsetningers karakter, geokjemi og vegetasjon
- nedbørforhold og hydrologi
- vannkvalitet
- graden av deposisjon av syrer og metaller fra atmosfæren

Felter som Evjemoen og Steinsjøen har egenskaper som gjør at summen av disse faktorene trekker mest i negativ retning, og konsentrasjonene blir følgelig høgest. Feltene i Nord-Norge har de gunstigste forutsetningene med lave humusinnhold, lave avsetninger av syrer og godt bufret vann. Disse feltene har imidlertid også sine områder der deponeringer av prosjektiler burde vært unngått. Stridsløypa på Porsangermoen er et godt eksempel på et slikt område. Vi ser imidlertid at tross feltenes ulike naturgitte egenskaper, så overskygges disse av hvordan deponiene håndteres når det gjelder metallavrenningen.

Erfaringene så langt viser derfor at deponiene må forvaltes som metalldeponier og behandles deretter. Det viktigste er at de forblir i ro og ikke utsettes for gravevirksomhet, grøftig eller lignende. Det er store deponier det dreier seg om, og uvetting behandling, som øker korrosjonshastigheten og utlekkingen, kan gi svært uønskede effekter. Vi vil derfor sterkt fraråde all slik graveaktivitet i gamle metalldeponier og også fraråde at nye blir lagt til myrer og våtmarksområder. Det beste er et substrat for kuleanslag som er mest mulig fritt for organisk materiale og som hindrer oppsplitting av prosjektilene. Den gunstigste løsningen hadde vært en form for gjennvinning. Dette burde vært mulig for alle regulære baner som eks. 200 m banene. Feltskytebaner har større problemer med gjennvinnig av prosjektiler og desto viktigere blir derfor lokaliseringen og områdene for kuleinnslag. Vi vil anbefale at Forsvaret ved anleggelse av fremtidige feltskytebaner også tar hensyn til miljøaspektet ved siden av de militær-tekniske hensyn.

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 i trykk.
- 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 for 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. 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 bevegelighet 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.

Fig.1

Konsentrasjoner i mose ($\mu\text{g/g}$ tørrvekt) og i vann ($\mu\text{g/l}$) i bekkene i de ulike skytefeltene ved undersøkelsen i 1995.

Sted	Stasjon	Dato	Mose			Vann			
			Pb	Cu	Cd	Pb	Cu	Cd	
EVJE	Bjoråa	950704	32,5	13,5	0,339	0,46	1,1	0,02	
		950801	21,1	17,0	0,303	0,86	2,1	0,03	
		950918	60,9	37,6	0,839	0,37	1,1	0,03	
	Feltsk.b.	950704	200	70,4	0,238	10,51	18,4	0,02	
		950801	153	81,9	0,415	17,91	17,9	0,03	
		950918	143	77,7	0,301	3,23	6,9	0,10	
	Kulef.voller	950704	126	40,3	0,170	2,79	3,7	0,03	
		950801	54,5	22,3	0,239	4,20	5,2	0,04	
		950918	79,2	36,8	0,220	1,07	2,8	0,09	
STEINSJØEN	St.1	950714	497	200	1,27	14,78	22,3	0,08	
		950810	1180	300	0,923	30,92	33,8	0,09	
		950909	713	190	0,983				
	St.1a	950714	64,9	82,8	0,769	6,62	16,9	0,05	
		950810	179	84,1	0,991	8,98	14,1	0,05	
			193	87,3	1,06				
	St.2		544	291	0,560				
		950810	-	-	-				
	St.3			820	444	0,547			
				174	306	0,827	1,55	13,2	0,11
				364	414	0,613	1,90	12,1	0,08
				348	380	0,800			
TERNINGMOEN *950618	T1 T2 B1 B2 B3 Ref.	950713	8,0	41,7	0,843	1,07*	2,3	0,04	
			14,2	29,0	0,678	0,99	2,9	0,04	
			8,6	50,9	0,268	1,45	5,7	0,01	
			9,8	33,5	0,552	1,42	8,3	0,04	
			72,0	44,6	0,552	0,83	2,1	0,01	
			94,0	35,8	7,81	0,87	0,6	0,01	
	T1 T2 B1 B2 B3 Ref.	950810	15,1	31,7	1,31	0,64	0,9	0,02	
			11,2	20,5	0,727	1,62	1,5	0,01	
			11,3	34,6	0,352	1,20	2,80	0,02	
			11,2	40,2	0,428	1,17	1,8	0,04	
			64,3	41,4	0,632	0,94	1,6	<0,01	
			85,7	12,2	7,14	0,87	0,6	0,01	
	T1 T2 B1 B2 B3 Ref.	950909	5,5	12,2	0,837	0,81	0,5	0,02	
			12,4	22,7	1,33	1,23	0,7	0,01	
			14,2	34,8	0,558	1,02	3,7	0,03	
			8,3	26,2	0,485	1,45	3,3	0,05	
			30,9	31,2	0,854	1,51	3,3	0,01	
			60,5	8,2	3,57	0,85	0,6	0,03	
LÆRDAL	St.1 St.2 St.3	950915	101	268	2,22	0,22	3,1	0,01	
			175	357	2,38	0,66	4,8	0,06	
			77	235	1,81	1,96	5,1	0,05	
	St.1 St.2 St.3	951006	72	185	2,66	1,49	7,6	0,08	
			167	342	3,49	0,50	6,7	0,04	
			155	461	2,90	0,65	5,5	0,08	
	St.1 St.2 St.3	950809	129	295	2,33	0,22	2,2	<0,01	
			176	249	2,26	0,79	4,6	0,03	
			102	306	2,08	0,27	4,9	<0,01	
	BRADAL	St.1 St.4 St.7 St.8	950618				0,26	1,2	0,03
							0,70	5,1	0,01
							0,41	7,3	0,04
						1,22	7,1	0,11	
St.1 St.4 St.7 St.8		950714	5,7	24,9	0,396	0,87	4,6	0,08	
			7,1	43,1	1,12	0,12	2,5	0,02	
			5,7	44,4	0,88	0,04	3,4	0,03	
			6,1	25,5	0,817	0,03	1,1	0,06	

Sted	Stasjon	Dato	Mose			Vann			
			Pb	Cu	Cd	Pb	Cu	Cd	
BRADAL	St.1	950810	5,6	14,8	0,264	0,82	0,6	0,04	
	St.4		5,3	30,6	0,902	0,22	1,0	0,02	
	St.7		15,1	41,7	0,871	0,05	1,7	0,04	
	St.8		5,9	22,8	0,872	0,09	1,1	0,11	
	St.1	950909	10,6	13,8	0,528	0,18	1,2	0,06	
	St.4		8,0	30,1	0,965	0,70	2,7	0,02	
	St.7		19,2	39,8	1,49	0,37	7,5	0,04	
	St.8		10,5	23,9	1,54	0,82	2,6	0,05	
MAUKEN	St.1	950714	4,14	43,4	1,18				
	St.2		40,3	34,9	0,383				
	St.3		14,1	33,8	0,444	0,31	3,6	0,01	
	St.4		10,0	19,6	0,169				
	St.5		9,0	49,9	0,437				
	St.6		20,2	40,1	0,553	0,22	2,2	<0,01	
	St.7		24,0	56,2	1,07				
	St.1	950812	10,2	60,0	3,56				
	St.2		15,4	28,1	1,06				
	St.3		63,9	29,6	0,462	5,33	6,6	0,02	
	St.4		15,8	16,8	0,260				
	St.5		12,0	15,2	0,236				
	St.6		27,8	20,1	0,574	0,18	2,2	<0,01	
	St.7		18,8	66,9	6,72				
	St.1	950915	19,3	73,6	7,18				
	St.2		36,2	36,9	0,795				
	St.3		126,0	39,1	0,775				
	St.4		24,8	22,9	0,304				
	St.5		18,3	20,3	0,501				
	St.6		70,6	23,5	0,675				
	St.7		61,0	100	1,90				
PORSANGER	St.1	950727	6,9	24,1	0,302	0,35	1,9	<0,01	
	St.2		2,9	14,2	0,307				
	St.3		6,1	8,8	0,137				
	St.4		4,8	47,1	0,196				
	St.5		5,5	45,0	0,219	0,11	5,4	0,02	
	St.6		3,3	39,6	0,215	0,04	4,0	0,02	
	St.7		34,8	126	0,144				
	St.8		70,8	67,6	0,331	1,54	9,0	0,06	
	St.1	950820	8,3	36,0	0,509	0,05	1,6	<0,01	
	St.2		2,9	22,6	0,161				
	St.3		16,0	12,9	0,115				
	St.4		2,6	32,6	0,207	0,94	6,0	0,07	
	St.5		3,9	51,9	0,187				
	St.6		46,8	176	0,262				
	St.7		3,1	60,8	0,191	0,22	4,2	0,03	
	St.8		64,6	92,0	0,320	8,31	6,6	0,02	
	St.1	950926	5,1	28,1	0,421	0,13	113	<0,01	
	St.2		3,3	18,5	0,107	0,09	2,9	0,01	
	St.3		24,1	7,7	0,047	0,25	3,1	0,05	
	St.4		3,2	64,5	0,396	0,16	2,3	0,02	
	St.5		1,9	34,0	0,213				
St.6	3,1		65	0,332					
St.7	45,1		165	0,117					
St.8	82,5		83,4	0,325					

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 3416-96.

ISBN 82-577-2949-3