

# Overvåking av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser.

Resultater fra 12 års overvåking.



Foto:Rune Søyland

Feltskytebane Karlstadskogen

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

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

Tittel Overvåking av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser.  Resultater fra 12 års overvåking	Løpenr. (for bestilling) 4632-2003	Dato april 2003
	Prosjektnr. Undernr. 21961	Sider Pris 53
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon åpen
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg og Nammo Raufoss AS	Oppdragsreferanse Rune Søyland (Forsvarsbygg), Ragnar Haugen (Nammo Raufoss AS).
--	---

**Sammendrag.**

Overvåkingen omhandler metallkonsentrasjoner i bekker som drenerer 22 av Forsvarets skytefelt, ett demoleringsfelt (Lærdal) og ett testfelt (Bradalsmyra). Forsvaret inkludert Heimevernet deponerer årlig (2001) ca. 150 tonn bly, 70 tonn kobber, 16 tonn antimon og 6 tonn sink. Det Frivillige Skyttervesen benytter også ofte Forsvarets baneanlegg, og deres bidrag kan estimeres til ca 10% av Forsvarets. Betydelige mengder metaller er deponert i de enkelte feltene siden de ble tatt i bruk. Konsentrasjonene av bly, kobber, antimon og sink i bekkene varierte fra nær bakgrunnsverdier, henholdsvis ca. 0,51 µg/l, 0,8 µg/l, 0,06 µg/l og 5 µg/l til opp mot henholdsvis 200 µg/l, 200 µg/l, 20 µg/l og 100 µg/l. I felter der deponiene ble utsatt for graving eller andre fysiske inngrep økte metallkonsentrasjonene betydelig i bekkene etter inngrepet. De høyeste konsentrasjonene ble registrert i sure humusrike bekker, mens de laveste konsentrasjonene var mer vanlig i bekker med klart, nøytralt til alkalisk vann. Dette indikerer at korrosjonshastigheten av deponerte prosjektiler er svært variabel og avhengig av den lokale geokjemien. I et kalkrikt alkalisk miljø dannes et lag av metallkarbonater rundt prosjektilrestene som reduserer korrosjonshastigheten betydelig og fører til lav utlekking fra deponiene, mens dette beskyttende laget ikke etableres i et surt miljø, og utlekkingen blir betydelig høyere. Forsvarets miljøhandlingsplan har en målsetning om å avrenningsikre 50% av alle Forsvarets skytebaner innen 2006. Overvåkingen gir et godt grunnlag for å prioritere mellom feltene. Tiltak er allerede påbegynt i enkelte felter og foreslått i andre, mens i en del felter er tiltak foreløpig ikke nødvendig.

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

*Sigurd Rognerud*

Prosjektleder

*Brit Lisa Skjelkvåle*

Forskningsleder

*Nils Roar Sælthun*

Forskningsjef

ISBN 82-577-4294-5

# Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser.

Resultater fra tolv års overvåkning

Saksbehandler: Sigurd Rognerud

Medarbeidere: Mette-Gun Nordheim (NIVA)  
Jarl Eivind Løvik (NIVA)  
Eirik Fjeld (NIVA)  
Gösta Kjellberg (NIVA)  
Kjell Langvassli (Forsvaret, Mauken)  
Ove André Andreassen (Forsvaret, Sætermoen)  
Curt Dahle (Forsvaret, Porsangmoen og Kvenvikmoen)  
Asle Figenskau (Forsvaret, Lærdal)  
Harald Nordbø (Forsvaret, Evjemoen)  
Jan Persen (Forsvaret, Høybuktnoen)  
Tore Bjørhusdal, Bente Tveita (Forsvaret, Heistadmoen)  
Jan Solhaug (Forsvaret, Hengsvatn)  
Petter Glorvigen (Forsvaret, Bardufoss Sentralskytebane)  
Hans Engh (Forsvaret, Steinsjøfeltet)  
Jarl Foshaug (Forsvaret, Blåtind)  
Terje Bjugan (Forsvaret, Giskås)  
Dag Helge Ribe (Forsvaret, Bestemorenga)  
Trond M. Pedersen (Forsvaret, Sørlimarka)  
Stein Brostad (Forsvaret, Elvegårdsmoen)  
Hans Holem (Forsvaret, Børja)

## Forord

Denne rapporten viser tidsutviklingen i metallkonsentrasjoner i bekker som drenerer 22 av Forsvarets skytefelt, ett demoleringsfelt i Lærdal, samt Bradalsmyra forsøksfelt tilhørende Nammo Raufoss AS. Overvåkingen startet opp i feltene på Evjemoen Steinsjøen, Terningmoen, Mauken og Bradalsmyra i 1991. Siden har flere felter kommet til: Porsangmoen (1992), Lærdal (1993), Sætermoen (1996), Ringerike og Rødsmoen (1998), Heistadmoen, Hengsvatn og Høybuktmoen (1999), Bardufoss (2000), Kvenvikmoen og Blåtind (2001). I 2002 ble overvåkingen utvidet med 6 nye skytefelt (Bestemorenga, Børja, Elvegårdsmoen, Giskås, Sørlimarka og Heggemoen). Mjølfjell skytefelt ble undersøkt kun i 1999 og 2000. Resultatene ble rapportert i NIVA-rapport 4351-2001. I 2001 ble det også gjennomført biologiske undersøkelser i 3 utvalgte lokaliteter som er betydelig påvirket av metallforurensning fra korroderte prosjektiler. Dette ble gjennomført i forbindelse med oppfølgingen av Forsvarets sektorhandlingsplan for biologisk mangfold, som er en del av St. melding 42 (2000 - 2001) - Biologisk mangfold og resultatene er rapportert (Rognerud og Bækken 2002). Prosjektet ble kontraktsfestet med Forsvarsbygg, Kompetansesenter Miljø 13. mai 2002. Rune Søyland har vært kontaktperson i Forsvarsbygg. Prosjektet på Bradalsmyra ble kontraktsfestet med Nammo Raufoss AS den 11. desember 2002 og Ragnar Haugen har vært kontaktperson.

Feltarbeidet ble gjennomført sommer og høst 2002 med hjelp av skytefeltsadministrasjonene og miljøvernoffiserene der disse var tilstede. Vi vil takke Curt Dahle (Porsangmoen, Kvenvikmoen), Kjell Langyassli (Mauken), Harald Nordbø (Evjemoen), Asle Figenskau (Lærdal), Jan Persen (Høybuktmoen), Tore Bjørnhusdal og Bente Tveita (Heistadmoen), Jan Solhaug (Hengsvatn), Ove André Andreassen (Sætermoen og Karlstadskogen), Petter Glorvigen (Bardufoss sentralskytebane), Jarl Foshaug (Blåtind), Terje Bjugan (Giskås), Dag Helge Ribe (Bestemorenga), Trond M. Pedersen (Sørlimarka), Stein Brostad (Elvegårdsmoen) og Hans Holem (Børja) for deltagelse i prøveinnsamlingen slik at undersøkelsene gikk etter programmet. En spesiell takk til Petter Glorvigen og Ove Andre Andreassen som også satte ut vannmoser i bekkene på Mauken og Blåtind. Prosjektet er avhengig av denne lokale forankringen og den systematiske innsamlingen som er gjort. Til slutt vil vi også takke Rune Søyland (Forsvarsbygg) for hans engasjement i prosjektet både med tilretteleggelse og deltagelse i befaringsene av de nye feltene.

Jarl Eivind Løvik og Gøsta Kjellberg samlet inn prøvene fra Rødsmoen, Terningmoen, Bradalsmyra og Steinsjøfeltet. Jarl Eivind Løvik har bearbeidet moseprøvene for analyse og systematisert tilsendte prøver. Mette-Gun Nordheim har laget illustrasjonene av tidsseriene. Sigurd Rognerud har ledet prosjektet, befart skytefelt, samlet inn prøver og skrevet rapporten. Alle prøver ble analysert ved NIVA's laboratorium i Oslo.

Ottestad, 10 april 2003



Sigurd Rognerud

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Metoder</b>	<b>8</b>
2.1 Valg av metode	8
2.2 Innsamlingsrutiner for mosene og metodetest	10
2.3 Kjemiske analysemetoder	10
2.4 Klassifisering av tilstand	10
<b>3. Resultater fra de enkelte feltene</b>	<b>12</b>
3.1 Bradalsmyra	12
3.2 Evjemoen	14
3.3 Steinsjøfeltet	16
3.4 Terningmoen	18
3.5 Mauken	20
3.6 Porsangmoen	22
3.7 Lærdalfeltet	24
3.8 Sætermoen inklusive Karlstadskogen	26
3.9 Heistadmoen og Hengsvatn	28
3.10 Bardufoss sentralskytebane	30
3.11 Bestemorenga, Børja, Elvegårdsmoen, Giskås, Sørlimarka og Heggemoen.	32
3.12 Ringerike og Rødsmoen skyte- og øvningsfelter.	35
3.13 Høybuktmoen	36
3.14 Blåtind	37
3.15 Halkavarre skytefelt og Kvenvikmoen	38
<b>4. Resultater for feltene samlet sett.</b>	<b>39</b>
4.1 Konsentrasjoner av metaller og vannkvalitet.	39
4.2 Metaller i bekkene fra skytefelt i 2002	41
4.3 Sammenlikning av metallkonsentrasjoner i bekker fra skytefelt og fra norske innsjøer.	42
<b>5. Sammenfattende diskusjon</b>	<b>44</b>
<b>6. Litteraturliste</b>	<b>49</b>

---

## Sammendrag

Undersøkelsen omhandler tidstrender av metallkonsentrasjoner i bekker som drenerer 22 av Forsvarets skytefelt, ett demoleringsfelt (Lærdal) og et testfelt (Bradalsmyra). Det er beregnet at Forsvaret og Heimevernet årlige deponerer ca. 150 tonn bly, 70 tonn kobber, 16 tonn antimon og 6 tonn sink (Rognerud 2003). Det Frivillige Skyttervesen benytter også ofte Forsvarets baneanlegg og Forsvarets Logistikkorganisasjon (FLO/Land) har estimeres deres bidrag til ca 10% av Forsvarets. Betydelige mengder metaller er deponert i de mest brukte feltene. De siste 50 årene er det i Hjerkinnskytefelt deponert ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink (Rognerud 2003).

Konsentrasjonene av bly, kobber, antimon og sink i skytefeltenes bekker varierte fra nær bakgrunnsverdier, henholdsvis  $0,51 \pm 0,5 \mu\text{g/l}$ ,  $0,8 \pm 0,7 \mu\text{g/l}$ ,  $0,055 \pm 0,045 \mu\text{g/l}$ ,  $5 \pm 4,9 \mu\text{g/l}$  til opp mot 200  $\mu\text{g/l}$ , 200  $\mu\text{g/l}$ , 20  $\mu\text{g/l}$  og 100  $\mu\text{g/l}$ . De høyeste konsentrasjonene ble registrert i sure humuspåvirkede bekker, mens lave verdier var typiske i klare bekker med nøytralt til alkalisk vann. Dette indikerer at korrosjonshastigheten av deponerte prosjektiler er svært variabel og avhengig av lokal geokjemi. I et kalkrikt alkalisk miljø dannes et lag av metallkarbonater rundt prosjektilrestene. Dette reduserer korrosjonshastigheten betydelig og fører til lav utlekking fra deponiene. I et surt miljø dannes ikke dette beskyttende laget og metallflatene blir blottlagt for oksidasjon i langt større omfang. Følgene er en betydelig høyere utlekking av metaller. Vannanalyser fra bekkene de siste årene viser at forholdet mellom konsentrasjonene av de ovennevnte metallene er forskjellig fra tilsvarende forhold i norske innsjøer. Utlekkingen av metaller fra deponiene vil derfor sette sitt preg på vannkvaliteten gjennom en "metallsignatur" som kan spores selv om utsiget fortynnes av vann fra områder uten deponier. Derfor er det mulig å spore påvirkninger av utsig fra deponier selv når konsentrasjonene er lave og innenfor det intervallet en finner i norske innsjøer som ikke er forurenset av lokale utslipp.

Undersøkelsen er basert på analyser av metaller i vannmoser og i vannfasen. Vannanalysene gir øyeblikksbilder av total konsentrasjonene, mens moseanalysene gjenspeiler middelkonsentrasjoner av biotilgjengelig fraksjon i vannet over eksponeringsperioden (juni-oktober). Det var generelt gode sammenhenger mellom metallkonsentrasjonene i vann og i mose, men sammenhengene var avhengig av vannkvaliteten som påvirker biotilgjengeligheten av metallene. Kontamineringsrisikoen ved håndteringen av moseprøvene er liten og bruken av lokale prøvetakere har gjort det mulig å gjennomføre en omfattende og kostnadseffektiv overvåkning. Overvåkingen har vist at gravearbeid, grøfting og sporsetting i deponiene har ført til økt metallutlekking og den har gjort det mulig å handle rask ved slike tilfeller og hindre en negativ utvikling på et tidlig stadium. Således har overvåkingen oppfylt en av hovedhensiktene. Erfaringene fra overvåkingen er brukt i andre utredninger for Forsvaret. Særlig viktig har dette vært i planleggingen av Regionfelt Østlandet og ved avvikling av virksomheten på Hjerkinnskytefelt.

Skytefeltene på Steinsjøen, Evjemoen, Karlstadskogen, Bardufoss, Giskås og Heistadmoen hadde alle bekker der vannkvaliteten kan karakteriseres som dårlig til meget dårlig og det er tidligere vist at vannet som drenerer deponiene på Steinsjøen og Karlstadskogen var giftig for bunnlevende organismer. Tiltak er foreslått i de fem førstnevnte. Som et ledd i dette har Forsvarsbygg blant annet igangsatt pilotprosjekter for å teste renseeffekten ved bruk av lecafiltre ved Steinsjøen og sentralskytebanen på Bardufoss. I feltene på Terningmoen, Mauken (untatt en stasjon), Hengsvatn, Høybuktsmoen og Børja hadde bekkene en vannkvalitet som kan karakteriseres som god til mindre god for bly, og mindre god til nokså dårlig for kobber. Tiltak bør vurderes i Hengsvatns vestre felt og en feltskytebane på Mauken. I feltene Porsangmoen, Halkavarre, Kvenvikmoen, Sætermoen, Blåtind, Rødsmoen, Ringerike, Bradalsmyra, Elvegårdmoen, Sørlimarka, Bestemorenga og demoleringsfeltet i Lærdal hadde bekkene en vannkvalitet som kan karakteriseres som god til mindre god. Det er ikke anbefalt tiltak i disse feltene, men det er viktig at fangdammene i Lærdal fungerer. Forsvarets miljøhandlingsplan har en målsetning om å avrennings sikre 50% av alle Forsvarets skytebaner innen 2006. Forsvaret har også satt igang et forsøk med hensikt å utvikle ammunisjon uten innhold av bly.

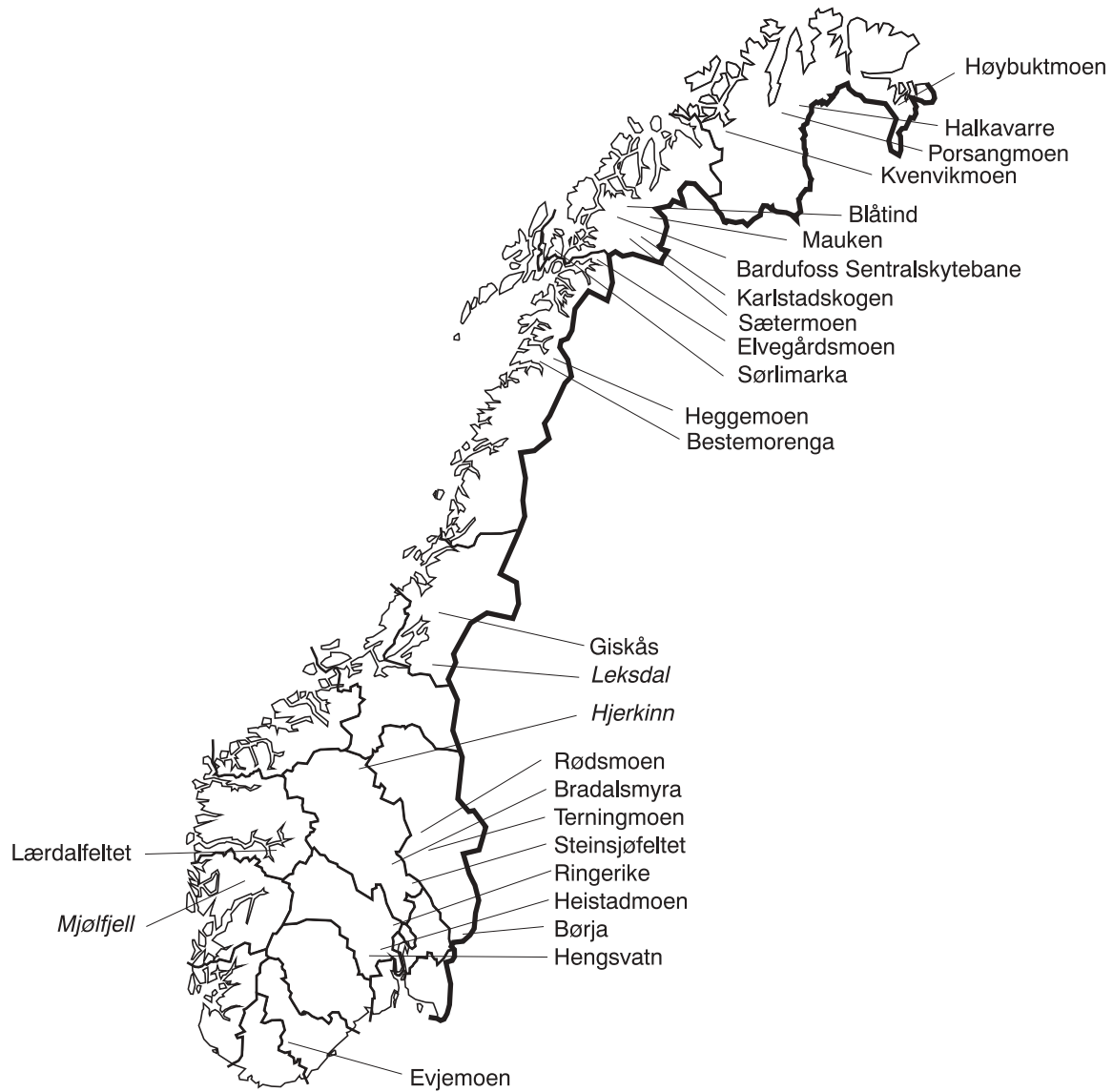
# 1. Innledning

Forsvaret har mange skyte- og øvningsfelt over hele landet der mange års bruk av håndvåpen, maskingevær og mitraljøser har ført til deponeringer av kobbermantlede blyprosjektiler i feltskytebaner og kulefangervoller. På bakgrunn av ammunisjonsregnskap for 2001 kan deponeringene for hele Forsvaret, inklusive Heimevernet, beregnes til ca. 150 tonn bly, 70 tonn kobber, 16 tonn antimon og 6 tonn sink (A. Roseth, Forsvarets Logistikk Organisasjon (FLO/land), pers. medd.). Det Frivillige Skyttervesen (DFS) benytter også ofte baneanlegg i skytefelt. Basert på opplysninger om ammunisjonstyper og årlige forbruk i DFS (Svein Olav Olsen, Nammo A/S, pers medd.) kan deponerte mengder beregnes til ca. 38 tonn bly, 18 tonn kobber, 5 tonn antimon og 2 tonn sink. En del av dette vil havne i Forsvarets skytebaner. I mange skytefelt finnes det også lerduebaner som ofte driftes av lokale jeger- og fiskeforeninger. Årlig deponeres det betydelige mengder bly som følge av bruk av hagleammunisjon (215 tonn totalt i 2000), og en mindre del av dette vil følgelig også havne i Forsvarets skytefelt. Blyhagl korroderer lettere enn kobbermantlede riflekuler, og i felt med lerduebaner har denne aktiviteten bidratt til en betydelig andel av blyforurensningen (Rognerud og Bækken 2002). I større skytefelt vil også kavaleriet og artilleriet bidra med deponeringer av kobber. I 2001 ble deres bidrag estimert til totalt ca.15 tonn (A. Roseth, FLO/land pers. medd.).

Det er med andre ord betydelige mengder bly og kobber som deponeres årlig, men noe mer moderate mengder antimon og sink. Det deponeres også andre metaller, men enten er mengdene ubetydelige (f.eks kobolt, nikkel, krom), eller så har de liten betydning (f.eks. jern, aluminium, barium) i forhold til de store mengdene som finnes naturlig i jord og berggrunn (Rognerud et al. 2001). Overvåkningsundersøkelsen har da også vist at det er bly og kobber som forurensner mest, og problemene er klart størst i felt med store myrander, lave kalsiumkonsentrasjoner og surt vann.

Forsvaret har et spesielt ansvar for forvaltningen av deponiene og skal ifølge Stortingsmelding 46 (1988-89) som hovedregel stå for gjennomføringen av egne miljøtiltak. Statens Forurensningstilsyn sier at utslippene av bly og kobber skal reduseres vesentlig innen 2010 (SFT 2000), og det er undertegnet en internasjonal avtale om kontroll av utslipp av bl.a bly (UN ECE 1998). Forsvarets miljøhandlingsplan har en målsetning om å avrennings sikre 50% av alle Forsvarets skytebaner innen 2006. EUs vanddirektiv, som blir gjeldende for forvaltning av vannressurser i nær framtid, stiller strenge krav til potensielle forurenserer for å opprettholde en god vannkvalitet og en god økologisk status. Direktivet krever at en innen 2004 skal en ha oversikt over forurennskilder og inngrep innen nedbørfeltene. Det er betydelige mengder metaller som kan være deponert i skytefeltene etter mange års bruk. Som eksempel viser beregninger for Hjerkinnskytefelt at etter 1950 er det deponert ca.770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink (A.Roseth, FLO/land pers.medd.). Overvåkningen har da også vist at mange bekker som drenerer skytefelt har dårlig vannkvalitet og økologisk status som følge av metallforurensning. I flere av disse har tiltak vært gjennomført. Ettersom mengden metaller i deponiene øker med tiden står også mange nye bekker i fare for ikke å oppfylle direktivets krav om god økologisk status og vannkvalitet. I slike tilfeller skal vannforekomstene vurderes gjennom et overvåkningsprogram.

Den overvåkningen som rapporteres her har som hovedhensikt å undersøke forureningsgraden av kobber og bly i bekker som drenerer Forsvarets skytefelt. Resultatene skal vise tidstrender og måle effekter av tiltak. Erfaringene om korrosjonshastighet av prosjektiler i ulike miljø skal benyttes ved opparbeiding av nye baner. Disse har allerede kommet til nytte flere steder, men særlig viktig har dette vært i forbindelse med planleggingen av nye baner i Regionfelt Østlandet. I rapporten presenteres resultatene for de enkelte feltene først, deretter sammenlignes de målte konsentrasjonene med de konsentrasjonene som er typiske for vann uten punktkilder, og til slutt diskuteres de samlede resultatene i lys av annen litteratur.



**Figur 1.** Lokalisering av de undersøkte militære skytefeltene og demoleringsfeltet ved Lærdal, samt Bradalsmyra test og utviklingsanlegg på Raufoss. Felter merket i kursiv er undersøkt tidligere. Dette gjelder Mjølfjell 1999-2000 (Rognerud 2000), Leksdal 1994 (Rognerud 1995) og Hjerkinn 2001-2002 som har vært gjenstand for mer detaljerte undersøkelser (Rognerud 2003).



## 2. Metoder

### 2.1 Valg av metode

Metaller fra prosjektiler korroderer (Fig.2) og lekker ut i bekkene. I noen tilfeller (særlig antimon) kan konsentrasjonene være lave, og det kreves et stort antall vannprøver for å oppnå representative middelveier 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 sikre målinger selv med ICP-MS teknikk. I forurensede bekker og elver er imidlertid konsentrasjonene oftest godt over grensen for sikre analyser. Et hovedproblem knyttet til beskrivelser av forurensningsgrad er at variasjonene i konsentrasjonene kan være betydelige både på grunn av naturlige variasjoner i vannføring og dreneringsmønster (viktig når kilden er et deponi), men også at utslippet av forurensningene kan variere betydelig over tid. Dersom en ønsker en representativ beskrivelse av forurensningsgraden basert på vannprøver, må et tett og ofte kostbart prøvetakingsprogram gjennomføres.

Et godt alternativ er ofte bruk av bioindikatorer som akkumulerer forurensningene i forhold til konsentrasjonsnivået i det omgivende vann (se litteraturgjennomgang av Johansson 1995). I bekker og elver er vannmoser av slekten *Fontinalis* (Fig.3) vanlig å bruke vesentlig på grunn av at:

- Denne moseslekten finnes nær sagt overalt på den nordlige halvkule. Opptakseffektiviteten kan variere noe for ulike moseslekter, men ved bare å benytte arter fra slekten *Fontinalis* kan resultater sammenliknes fra ulike geografiske områder (Lopez et al. 1994).
- Mosene tar effektivt opp metaller som forekommer som kationer i vannet, og de er svært tolerante overfor høge metallkonsentrasjoner og stress i omgivelsene som for eksempel perioder med uttørking (Say og Whitton 1983, Lopez og Carballeira 1990)
- Mosene har ikke røtter og påvirkes kun av konsentrasjoner av forurensningene i vannfasen. Opptakseffektiviteten er avhengig av vannkvaliteten (spesielt pH og løst organisk materiale) ved at den har betydning for metallens tilstandsform. Mosene tar i hovedsak opp frie metallioner og reflekterer derfor i hovedtrekk den biotilgjengelige fraksjonen (Bengtsson og Lithner 1981).
- Mosene har en rask opptakshastighet, men en mye seinere utskilleleshastighet (Lopez et al. 1994). Betydningen av et utslipp for akvatiske organismer er oftest relatert til varigheten. Tidsaspektet ved utslippet vil delvis gjenspeiles i mosene ved at utskilleleshastigheten er senere (dvs. nedgangen i konsentrasjonen i mosen går tregere) når eksponeringsperioden har vært lang (Kelly et al.1987). Dette gjør at de gjenspeiler den midlere vannkonsentrasjonen over 2-3 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, Lopez et al. 1994). Dette er en meget viktig egenskap ved vurdering av forurensningsgrad i akvatiske systemer med punktkilder.
- Mosene er betydelig anrikt på metaller i forhold til vann (oftest 10 000-20 000 ganger), og kontamineringsrisikoen er derfor liten ved behandling av slike prøver (Johansson 1995).

Disse egenskapene gjør at vannmoser også 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. Den meget sterke oppkonsentrasjonen som finner sted i vannmosene, gjør at de ofte er et mye bedre medium til å fange opp geokjemiske anomalier 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. I mange land brukes de også ved overvåking av metallkonsentrasjoner i bekker og elver som avvanner gruver og urbane områder. I denne sammenheng kan vi nevne at teknikken er benyttet i Sverige (Selinus 1988, Lithner 1989, Johansson 1995), Canada (Barryman 1990), Frankrike (Mouvet et al. 1993), Belgia (Descay &

Empain 1981), England (Kelly et al. 1987), Tyskland (Frost 1990), Sveits (Klein et al 1991) og i Portugal (Monteiro et al 1989). Foruten den overvåkingen som rapporteres her, er vannmoser også benyttet i Norge ved undersøkelser av forurensninger fra gruveavganger, slagghauger og deponier (Lingsten 1991, Kjellberg 1994) samt ved utslipp fra virksomhet knyttet til impregnering av trevirke (Rasmussen og Andersen 1999).



**Figur 2.** Korrosjon av håndvåpen prosjektiler



**Figur 3.** Vannmosen (*Fontinalis darlica*) benyttes som bioindikator.

## 2.2 Innsamlingsrutiner for mosene og metodetest

Like etter vårflommen er det satt ut 4-5 bunter med moser på hver stasjon. Siden tas det inn prøver med 2-4 ukers intervaller frem til senhøsten. Prøvene skylles fri for partikler i bekkevannet, lufttørkes og sendes til NIVA. På laboratoriet inspiseres alle prøvene (videre fjerning av partikler kan være nødvendig), og de friske grønne årskuddene klippes (1-5 cm) og bearbeides videre til analyse (eldre deler av planten kan ikke brukes da utfelte jern/mangan-oksidet på disse deler øker bindingen av tungmetaller betydelig i forhold til i ferske skudd (Johansson 1995). Vi har tidligere testet to metoder parallelt. Den ene metoden innebar at steiner, som mosene naturlig er festet til, ble lagt ut i bekken (eller at de er der naturlig), mens den andre innebar at de nye årskuddene ble klippet først og eksponert i plastbokser med nettingåpning mot strømmen. Begge disse metodene ga samme resultat (Rognerud 1994a). Vi valgte å fortsette med moser festet til stein eller trerøtter da disse svært sjelden forsvinner på grunn av flom eller nysgjerrige personer. NIVA har ved enkelte tilfeller tatt parallelle prøver 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.

## 2.3 Kjemiske analysemetoder

Alle analysene ble utført ved NIVA's akkrediterte laboratorium i Oslo. Det er bare benyttet spesialflasker utsendt fra dette laboratoriet. Salpetersyrekonserverte prøver ble analysert med hensyn på kobber, bly og antimon ved hjelp av ICP-MS (Metode E 8-1). Salpetersyreoppløste moseprøver ble analysert med hensyn på kobber, bly og antimon ved hjelp av ICP-MS (Metode E 8-2). pH og TOC ble analysert etter metode A-1 og G 4-2.

## 2.4 Klassifisering av tilstand

Statens forurensningstilsyn (SFT) utviklet i 1992 et system der vannkvalitet ble inndelt i ulike tilstandsklasser (Holtan & Rosland 1992). Helt siden rapporteringen av undersøkelsene i 1993 har vi benyttet denne klassifiseringen for å karakterisere vannkvaliteten i skytefeltenes bekker når det gjelder konsentrasjonene av miljøgifter som metaller (Tab. 1).

**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)

Tilstandsklasse/ fargekode	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

Denne inndelingen i tilstandsklasser ble revidert i 1997 (Andersen et al. 1997). Da ble tilstandsklassene inndelt etter grad av forurensning (Tab. 2).

**Tabell 2.** Tilstandsklasser for tungmetaller i vann (Andersen et al. 1997).

Tilstandsklasser	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
Virkninger av miljøgifter	Ubetydelig forurenset	Moderat forurenset	Markert forurenset	Sterkt forurenset	Meget sterkt forurenset
Fargekode	blå	grønn	gul	orange	rød
Kobber ( $\mu\text{g/l}$ )	<0,6	0,6-1,5	1,5-3	3-6	>6
Bly ( $\mu\text{g/l}$ )	<0,5	0,5-1,2	1,2-2,5	2,5-5	>5
Sink ( $\mu\text{g/l}$ )	<5	5-20	20-50	50-100	>100

Det er ikke utviklet klassifiseringskriterier for antimon i vann. Konsentrasjonene av metaller i berggrunn og løsavsetninger er imidlertid svært variabel. Dette gjør at i enkelte av skytefeltene er de naturlige konsentrasjonene i vann så høye at de kan klassifiseres som moderat eller markert forurenset. En fargekoding av vannkvaliteten i bekkene fra felt med naturlig forhøyede metallkonsentrasjoner i nedbørfeltet vil derfor bli svært misvisende for en leser. Vi har derfor valgt å forsette med Tab. 1 som klassifiseringsgrunnlag slik prosjektet har hatt hele tiden. På bakgrunn av tilstandsgrensene og sammenhengene mellom konsentrasjonene i vann og mose for de ulike feltene kan 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.

Nylig er det publisert et klassifikasjonssystem av metallkonsentrasjoner i vann i forhold til biologiske effekter (Lydersen et al. 2002). Dette systemet er basert på erfaringer fra skandinaviske undersøkelser og er derfor relevant for denne undersøkelsen (Tab.3). Ved å sammenlikne metallkonsentrasjonene i bekkene med verdier gitt i Tabell 3 kan en få en indikasjon på mulige biologiske effekter.

**Tabell 3.** *Klassifikasjon av metallkonsentrasjoner i vann i forhold til biologiske effekter.*

*Klasse 1: ingen effekt på biota. Klasse 2: Noen sensitive arter kan påvirkes, men ingen effekter på fisk.*

*Klasse 3: Effekter på biota ved reduksjon av artsantallet samt effekter på salmonide fisk. Klasse 4:*

*Store effekter på økosystemet.*

Klasse	1	2	3	4
Konsentrasjon	svært lav	lav	medium	høy
Pb (µg/l)	< 1	1 – 5	6 –15	> 15
Cu (µg/l)	< 3	3 – 15	16 – 30	> 30
Zn (µg/l)	<30	30-60	61-100	>100

## 3. Resultater fra de enkelte feltene

### 3.1 Bradalsmyra

#### Innledning

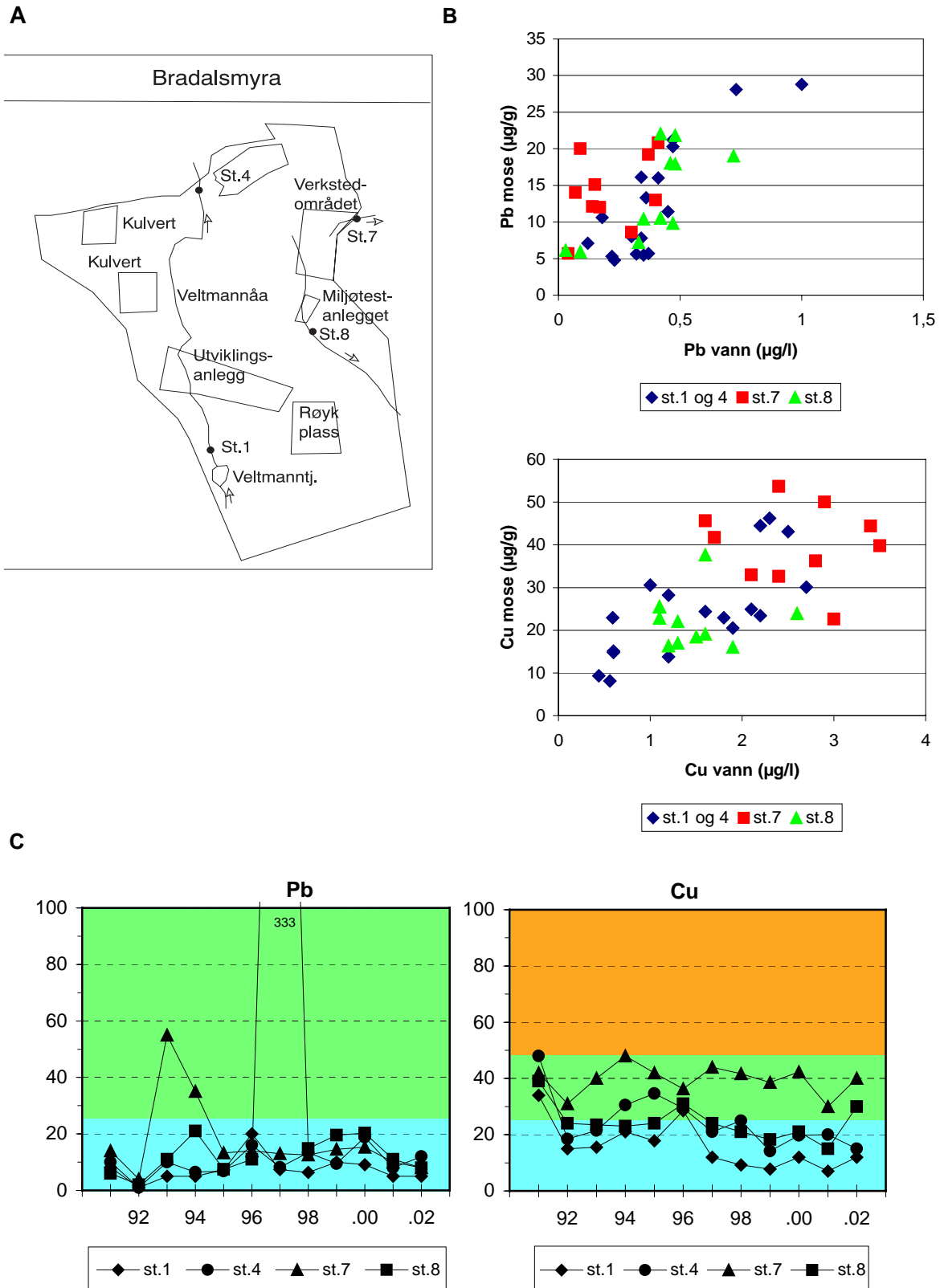
Bradalsmyra er skytefelt og testplass for Nammo Raufoss AS. Området dreneres av Veltmannåa og to mindre bekker som ikke ligger i Veltmannåa's nedbørfelt (Fig.4A). Bekkene er moderat humuspåvirket og har nær nøytralt vann. Feltet ble tatt i bruk for prøveskyting av ammunisjon i 1918, men det var først 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 forurensningsfare 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 flere rapporter som omhandler resultatene fra disse undersøkelsene (Kjellberg & Rognerud 1992, Rognerud 1993, 1994a, 1996, 1997, 1998, 1999). Fra og med 1993 er 4 stasjoner rutinemessig undersøkt på Bradalsmyra.

#### Resultater

Det var klare sammenhenger mellom konsentrasjoner i mose og vann for bly og kobber (Fig.4B). Ved så lave konsentrasjoner er det imidlertid vanlig å observere en del spredning vesentlig på grunn av usikkerheter knyttet til representativiteten av vannprøvene, men også på grunn av varierende andel jernoksider (effektive metallbindere) som kan avsettes på mosebladene. Konsentrasjonene av bly og kobber i bekkene som renner ut av feltet har vært relativt lave i hele overvåkningsperioden, med unntak av de små bekkene, st.7 i 1993 og st.8 i 1997, som drenerer bygningsmassene i de østligste områdene Fig.4C. Forurensningskilden til de høge verdiene ved st.8 i 1997 ble fjernet, og konsentrasjonene har siden vært tilbake til normalt nivå. Det har ikke skjedd store endringer i konsentrasjonene av bly i løpet av overvåkningsperioden med unntak av episoden i 1997. Verdiene er lave og variasjonen fra år til år er innenfor det en kan forvente ut fra naturgitt variasjoner i bekkens vannføring. Konsentrasjonene av kobber har vært relativt stabil på stasjon 7 i hele overvåkningsperioden, mens konsentrasjonen i Veltmannåa har sunket noe i løpet av perioden.

#### Konklusjon

Vannkvaliteten i år 2002 kan betegnes som god med hensyn til konsentrasjoner av bly og kobber på alle målepunkter, med unntak av bekken fra verkstedsområdet som var nokså god med hensyn på kobber. Skyte- og forsøksaktiviteten skjer i nedbørfeltet til Veltmannåa. Det var ubetydelige forskjeller på konsentrasjonene i Veltmannåa oppstrøms feltet og ved utløpet. Dette viser at denne aktiviteten ikke forurenser vassdraget nedstrøms feltet. På grunn av utslipp fra verkstedet var vannkvaliteten i bekken som avvanner hovedstandplass mindre god i 1993, men situasjon har bedret seg etter hvert og verdiene har vært nær de naturgitte siden 1995. Vannkvaliteten var mindre god i bekken som avvanner miljøtestanlegget i 1997 uten at vi kjenner årsaken, men situasjonen har siden vært normalisert. Selv om konsentrasjonene (med unntak av episodene) hele tiden har vært lave så har konsentrasjonene av kobber sunket noe i Veltmannåa siden starten på overvåkingen i 1991. I 2002 var konsentrasjonene av bly og kobber i Veltmannåa nær de samme ved innløpet til feltet som ved utløpet av feltet. Med unntak av to mindre utslipp så har ikke aktiviteten på Bradalsmyra testsenter forurenset vassdragene med bly og kobber nedstrøms feltet de siste 11 årene. Det er ikke nødvendig med forurensningsbegrensende tiltak i bekkene på Bradalsmyra.



**Figur 4.** Prøvetakningstasjoner på Bradalsmyra test- og utviklingsanlegg. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/g}$  tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkingsperioden.

## 3.2 Evjemoen

### Innledning

Evjemoen har vært standkvarter for Infanteriets øvningsavdeling nr. 2 (IØ2). Forsvaret har avvirket virksomheten i 2002. Skyte- og øvningsområdet omfatter ca. 9000 mål og er i Forsvarets eie. 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. Bekkene er sure og markert humuspåvirket. Bjøråa drenerer flere feltskytebaner og konsentrasjoner av metaller overvåkes på en stasjon før bekken renner ut i Otra (Fig.5A). I Bjøråa og tilrennende bekker er stedvis kalket som et ledd i fiskestellstiltak. Vannet innen skytefeltet er derfor mindre surt enn ukalka områder i omegnen.

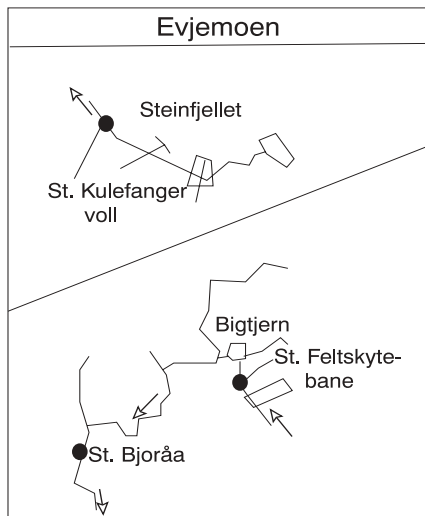
### Resultater

Sammenhengen mellom konsentrasjonene i mose og vann for både bly og kobber var god (Fig.5B). Stigningskoeffisienten mellom konsentrasjonene i mose og vann var noe lavere i bekken fra feltskytebanen og kulefangervollen enn i Bjøråa. Bekkene fra disse deponiene er mer humusrike enn Bjøråa og vi antar at årsaken til et lavere stigningsforhold er at en større andel av total konsentrasjonen er bundet til løste humus ved denne stasjonen. Det generelle mønsteret er at konsentrasjonene av bly og kobber økte fra 1991 og fram til 1996. Siden har konsentrasjonene av bly avtatt gradvis. Konsentrasjonene av kobber avtok også gradvis frem til 2000, men har økt svakt de siste to årene (Fig.5C). Konsentrasjonene i bekken som avvanner feltskytebanen, har i alle år vært høyere enn i bekken som avvanner kulefangervollene. Økningen i bekken fra feltskytebanen var betydelig i perioden 1994 til 1996. Feltskytebanen ligger i Bjøråa's nedbørfelt, og det er rimelig å anta at den gradvise økning av både bly- og kobber-konsentrasjonene som ble målt i Bjøråa, skyldes denne utviklingen. Vannkvaliteten i 2002 kan klassifiseres som god i Bjøråa, god til mindre god i bekken fra kulefangervollene og nokså dårlig til meget dårlig i bekken fra feltskytebanen. Vi kan også nevne at nikkelskonsentrasjonen var 5-10 µg/l i bekken som avvanner kulefangervollene. Dette skyldes høyst sannsynlig utlekking fra nikkelslagget som er brukt som fyllmasse på kulefangervollene.

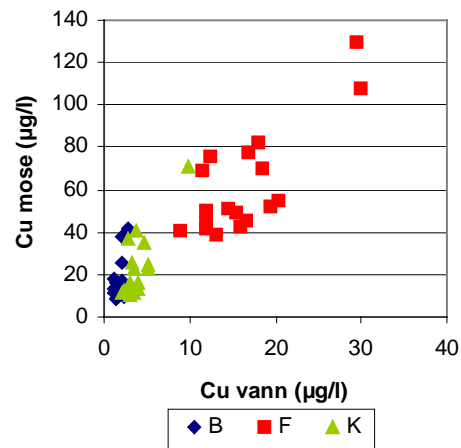
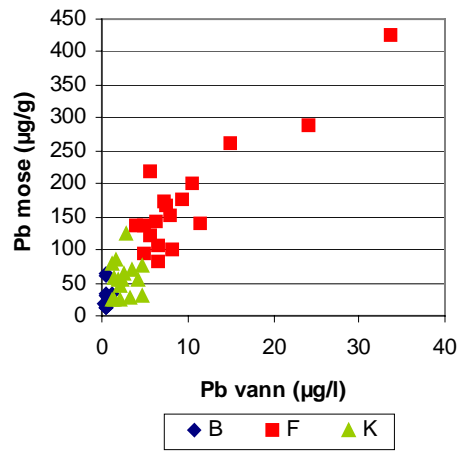
### Konklusjon

Gravearbeidene i forbindelse med oppgraderingen av feltskytebanen i 1994 førte til en betydelig økning av konsentrasjonene av bly og kobber i bekken som drenerer banen. Dette viser tydelig at fysiske inngrep i deponiene mobiliserer kobber og bly-komplekser som ellers ville forblitt på deponistedet. Konsentrasjonene kuliminerte først 2 år senere. Mønsteret var det samme for kobber og bly. Deponiet ble kalket like etter gravingen og har siden fått ligget i ro. Dette førte til gradvis lavere konsentrasjoner. Konsentrasjonene av kobber i 2002 var på samme nivået som ved starten av undersøkelsen, mens blykonsentrasjonene fortsatt var noe høyere. Dette indikerer at responstiden ved fysiske forstyrrelser av deponiet er lengre for bly enn kobber. Mengden av humus-metall komplekser i deponiet kan være betydelig etter mange års bruk av banen. Alle inngrep som vil redusere oppholdstiden av vann i dette feltet, vil føre til økt mobilitet av kobber og bly. Konsentrasjonene i Bjøråa nedstrøms feltskytebanen var lavere, men fulgte samme mønsteret som konsentrasjonene i bekken fra feltskytebanen. Dette er slik som en teoretisk skulle forvente ut fra fortykning av upåvrkede sidebekker, og viser at metoden er god. Utviklingstrenden er positiv og overvåkingen vil vise om det er mulig å nå en akseptabel vannkvalitet. En parallell til utviklingen ved feltskytebanen skjedde i bekken som avvanner kulefangervollene, der også som følge av gravearbeider i 1994. Vi vil foreslå at kalkingen av feltskytebanen forsetter og at deponiene får ligge i ro uten fysiske inngrep. Tiltak utover dette er foreløpig ikke nødvendig.

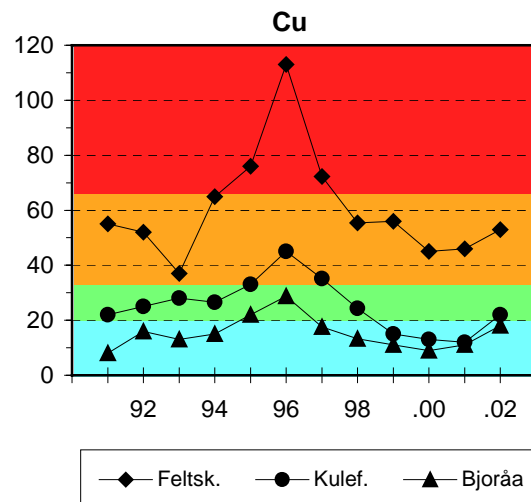
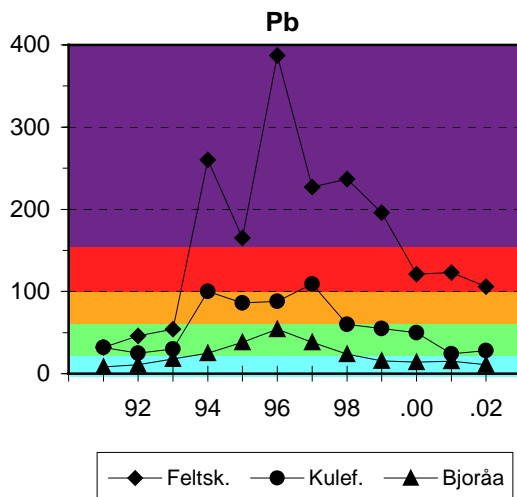
A



B



C



**Figur 5.** A. Prøvetakningstasjoner på Evjemoen. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/g}$  tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkingsperioden.



### 3.3 Steinsjøfeltet

#### Innledning

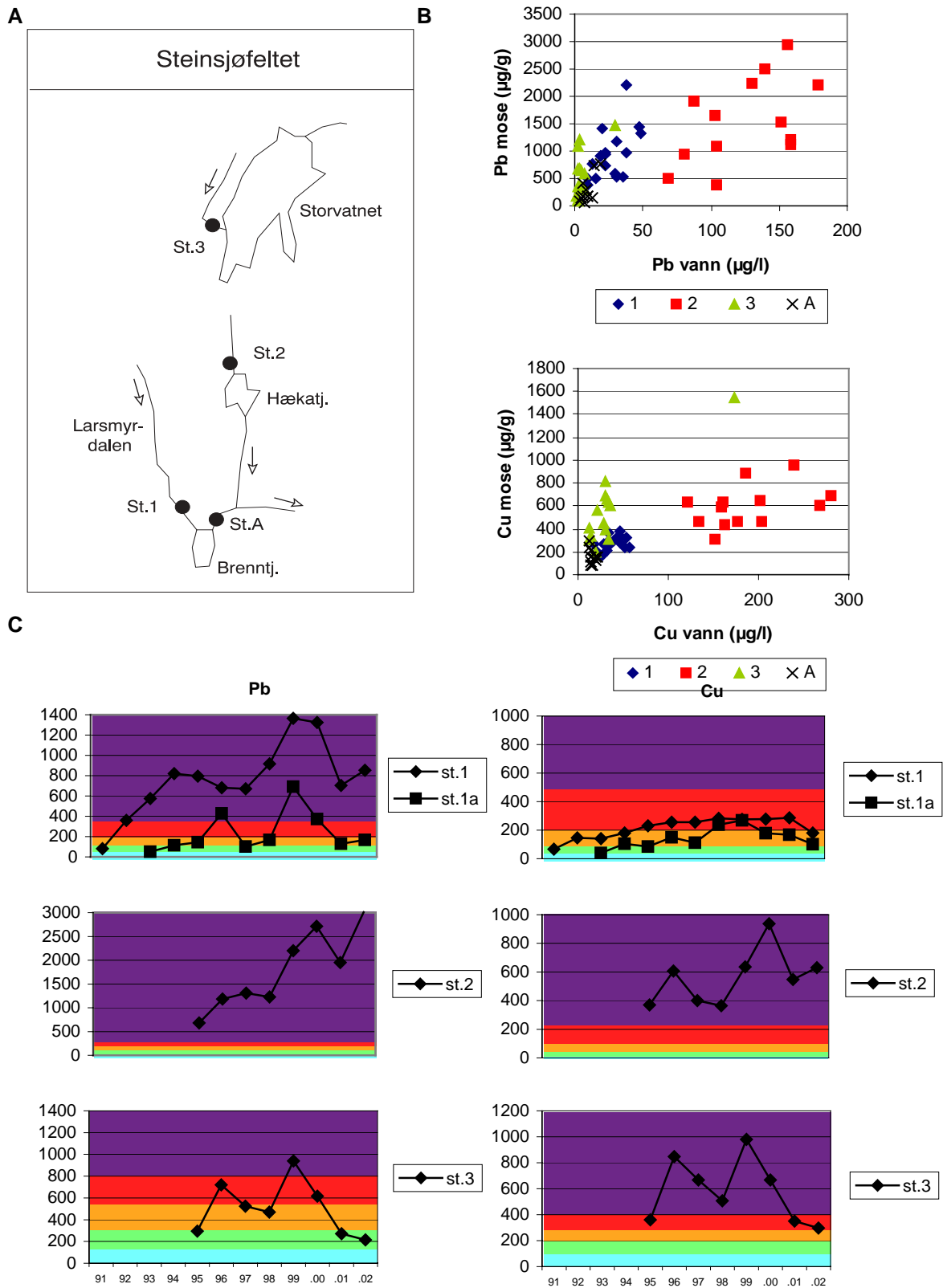
Dette feltet er øvningsfelt for avdelinger i det sentrale Østlandsområdet. Feltet er et leiet privat område på i alt 11300 da. Det er i hovedsak prosjektiler fra håndvåpen som deponeres, og innen feltet finnes noen av Forsvarets mest benyttede feltskytebaner. Området ble befart i 1991. Stikkprøver antydte at høye konsentrasjoner av bly og kobber i bekkene var vanligst i de østligste feltskytebanene som dreneres av Larsmyrbekken (Fig.6A). Stikkprøver tatt i 1995 viste imidlertid at banene rundt Storvatnet også hadde høye konsentrasjoner av bly og kobber. Det ble derfor besluttet å inkludere disse bekkene i overvåkingen. Vegetasjon på feltskytebanen hadde betydelig anrikning av bly (Rognerud et al. 1992). Konsentrasjonene av antimon, bly og kobber i nylig avsatte sedimenter i Storvatnet var betydelig høyere enn de som ble avsatt i førindustriell tid (Rognerud 1996). Det skyldes antagelig korrosjon av prosjektiler i nedbørfeltet og av kuler skutt direkte i innsjøen. Forsvarsbygg etablerte i oktober 2001 et lecafilter nedstrøms bane 5 i Larsmyrdalen.

#### Resultater

Det var generelt en god sammenheng mellom konsentrasjoner av bly og kobber i mose og vann på de respektive stasjonene, selv om spredningen var stor og opptakseffektiviteten i mosene var lav på st. 2 grunnet høgt humusinnhold og liten biotilgjengelig fraksjon (Fig 6B). I Larsmyrbekken (st.1) har konsentrasjonene av kobber i mose økt gradvis fra 1991 til 2000 (Fig.6C). Konsentrasjonene av bly i mose steg jevnt fra 1991 til 1994. Dernest fulgte tre år med stabilitet. Fra og med 1998 økte konsentrasjonene til de høyeste verdiene som er målt i 1999/2000, men de har siden sunket. Sommeren 1996 ble det bygd en kalksperre som skulle redusere utlekkingen av metaller fra det nærmeste holdet på den nederste feltskytebanen i Larsmyrdalen. Dette ga imidlertid ikke de ønskede effektene, og våren 1999 ble hele nærstridsområdet kalket med ca. 1,5 tonn granulater. Konsentrasjonene i utløpsbekken fra Brenntjernet (st.A) har fulgt samme mønster som i innløpsbekken fra Larsmyrdalen, men konsentrasjonene har vært betydelig lavere. Dette viser at tjernet fungerer som en sedimentasjonsfelle for metallforurensningene fra Larsmyrdalen. Vannføringen i bekken som avvanner banene 5/6 (st.2) var liten, men konsentrasjonene var høye og stigende antagelig fordi myra foran standplassen har blitt grøftet. Konsentrasjonene av bly og kobber i bekken som avvanner den store PV-banen (st.3) har vist en synkende trend de siste tre årene, og konsentrasjonene i 2002 var nær de som ble målt i 1995.

#### Konklusjon

Vannkvaliteten i de undersøkte bekkene må karakteriseres som nokså dårlig til meget dårlig. Generelt sett var konsentrasjonene i 2002 nær de som ble observert året før. Tendensen med økende konsentrasjoner i alle bekkene i hele overvåkningsperioden frem til 1999/2000 har vært bekymringsfull. Årsaken kan være en kombinasjon av stadig økte mengder deponerte prosjektiler og de bedre avrenningsforhold forårsaket av gravearbeidene langs bekken i Larsmyrdalen. Målinger utført av FFI i perioden april til juni 2001 viste at blykonsentrasjonene økte ved økte vannføringer i Larsmyrbekken (A.Strømseng, pers.medd.). De nedbørrike periodene sommeren 1999 og høsten 2000 kan derfor ha medvirket til de høye verdiene disse årene. Kalksperren som ble laget sommeren 1996 for å redusere utlekkingen fra nærstridsområdet i Larsmyrdalen ga ikke de forventede resultatene. Dette skyldtes at vannet i hovedsak rant over kalklaget og ikke gjennom slik som forutsatt. Kalkingen av nærstridsområdet våren 1999 ga heller ingen positiv effekt om sommeren antagelig fordi mobiliteten og lageret av humus-metall kompleksene er for stor. Det har vært en klar positiv utvikling med synkende konsentrasjoner på st. 3 de siste 3 årene, mens nivåene har stabilisert seg i Larsmyrbekken etter gravearbeidene. Det har ikke forløpig vært noen klar effekt av lecafilteret på konsentrasjonene av bly i Larsmyrbekken, men muligens for kobber. Den negative trenden forsetter ved st.2 etter grøftingen av myra. Utviklingen i forurensningsgraden av bekkene på Steinsjøfeltet bør overvåkes nøye og ytterligere forurensningsbegrensende tiltak bør vurderes.



**Figur 6.** A. Prøvetakningstasjoner på Steinsjøfeltet. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/g}$  tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkningsperioden.

## 3.4 Terningmoen

### Innledning

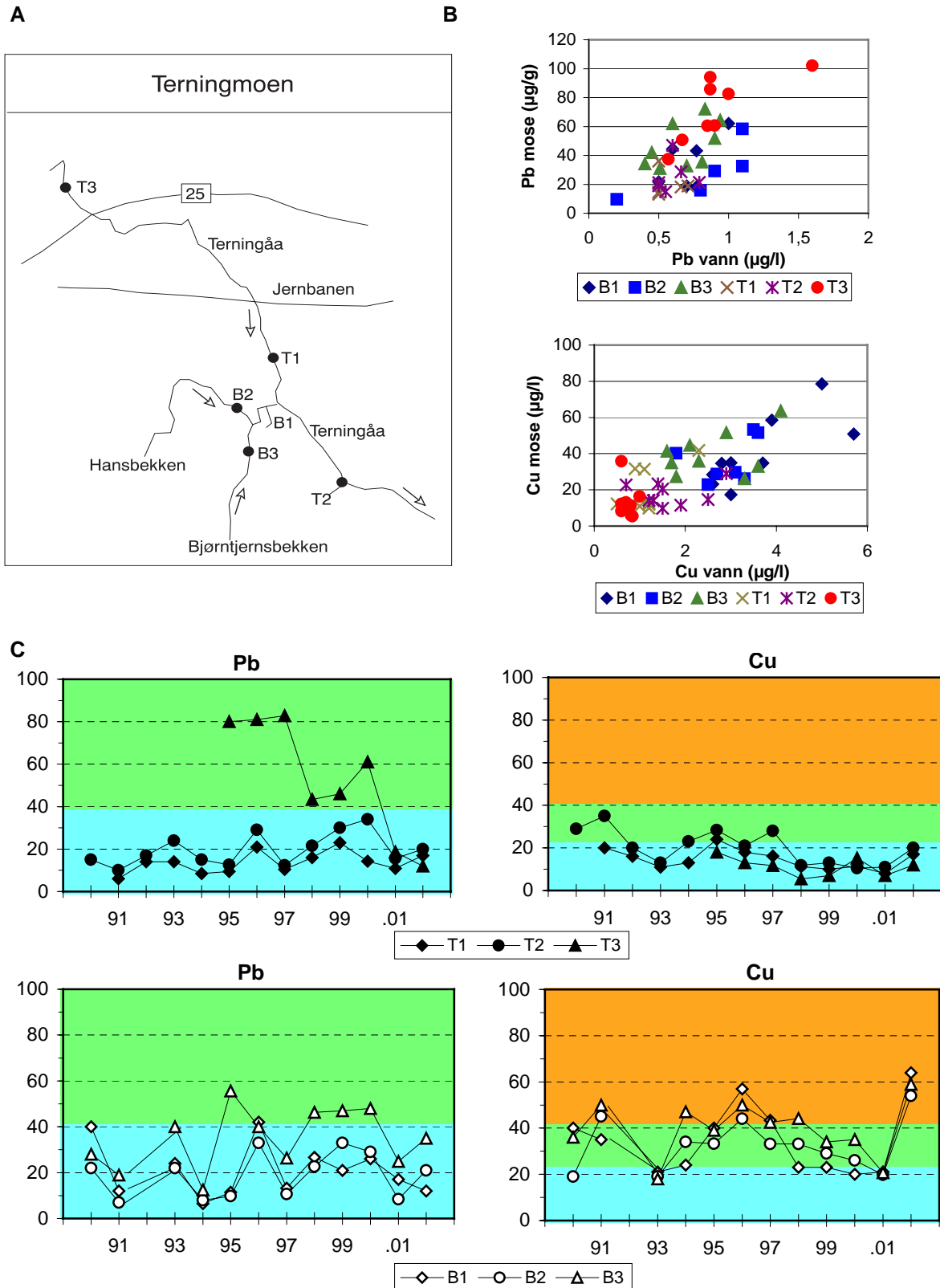
Terningmoen skytefelt er Forsvarets eldste skytefelt som fortsatt er i bruk. Området har noen av landets mest benyttede skytebaner. Det skytes med handvåpen, raketter, granater og bombekastere. Hovedaktiviteten foregår i et skogsområde som avvannes av flere mindre bekker som renner ut i Terninga. Overvåkningsundersøkelsen omfatter tre stasjoner i Terninga og tre stasjoner i de viktigste bekkesystemene (Fig.7A). I de tre siste årene har også en tilleggstasjon (T3) oppstrøms T1 vært undersøkt på grunn av mistanke om avrenning fra en lerduebane. Terningmoen skytefelt har tidligere vært undersøkt mer inngående både i 1990 (Kjellberg og Boye 1992) og i 1992 (Rognerud et al. 1993). 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

Sammenhengen mellom konsentrasjoner av bly og kobber i mose og vann viste at konsentrasjonene i vannfasen var relativt lave, og spredningen stor, antagelig på grunn av innvirkning av jernoksider på mosene og usikkerhet med hensyn til representativitet av vannprøvene (Fig 7B). Konsentrasjonene av kobber og bly i bekkene (B1, B2, B3) fra målområdet var gjennomgående noe høyere enn i Terninga (T1) like før samløpet med bekkene (Fig. 7C). Frem til 2000 var konsentrasjonene av bly betydelig høyere i Terninga et stykke oppstrøms skytefeltet (T 3) enn nedstrøms (T 2). Dette skyltes utlekking fra en nedlagt lerduebane som ligger nær Terninga oppstrøms T3. De siste 2 årene har betydningen av avrenning fra denne banen vært liten. Konsentrasjonene i bekkene varierer en del fra år til år, sannsynligvis på grunn av variasjoner i vannføringen. Konsentrasjonene av kobber i 2002 var imidlertid de høyeste som er registrert siden undersøkelsens start for 12 år siden. Med unntak av st. T3 har ikke konsentrasjonene av bly vist noen klar utviklingstrend, men heller vært preget av stabilitet. Vannkvaliteten i Terninga kan betegnes som god og skytefeltet forurenser ikke Terninga nevneverdig.

### Konklusjon

Vi har ikke registrert dårlig vannkvalitet, som følge av utlekking av bly og kobber fra korroderte prosjektiler, i bekkene som avvanner Terningmoen skytefelt siden overvåkingen startet for 12 år siden. I 2002 var vannkvaliteten god til nokså god på alle stasjoner. På grunn av fortyningseffekten har de noe høyere konsentrasjonene i bekkene som avvanner skytefeltet liten betydning for vannkvaliteten i Terninga. Årsaken til de relativt lave metallkonsentrasjonene synes å være at den største mengden av prosjektiler deponeres på fastmark og i grus hvor korrosjonshastigheten er lav og mulighetene for erosjon er liten. På grunn av variasjoner i vannføringen fra år til år er det rimelig å forvente tilsvarende variasjoner i metallkonsentrasjonene. Likevel viser vannkvaliteten i dette skytefeltet overraskende stor stabilitet. Dette indikerer at korrosjonshastigheten er en sen prosess i dette feltet og at utlekkingen av metaller kan være lav hvis deponiene får ligge i ro, og jordsmonnet har stor bindingsevne for metaller. Slik situasjonen er i dag synes det ikke nødvendig med forurensningsbegrensende tiltak. Feltet vil imidlertid få en økt aktivitet i årene fremover som bl.a innebærer flytting av skytebaner. Overvåkingen vil gi svar på om fremtidige tiltak er nødvendig.



**Figur 7.** A. Prøvetakningstasjoner på Terningmoen. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner (µg/g tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middel for overvåkingsperioden.

## 3.5 Mauken

### Innledning

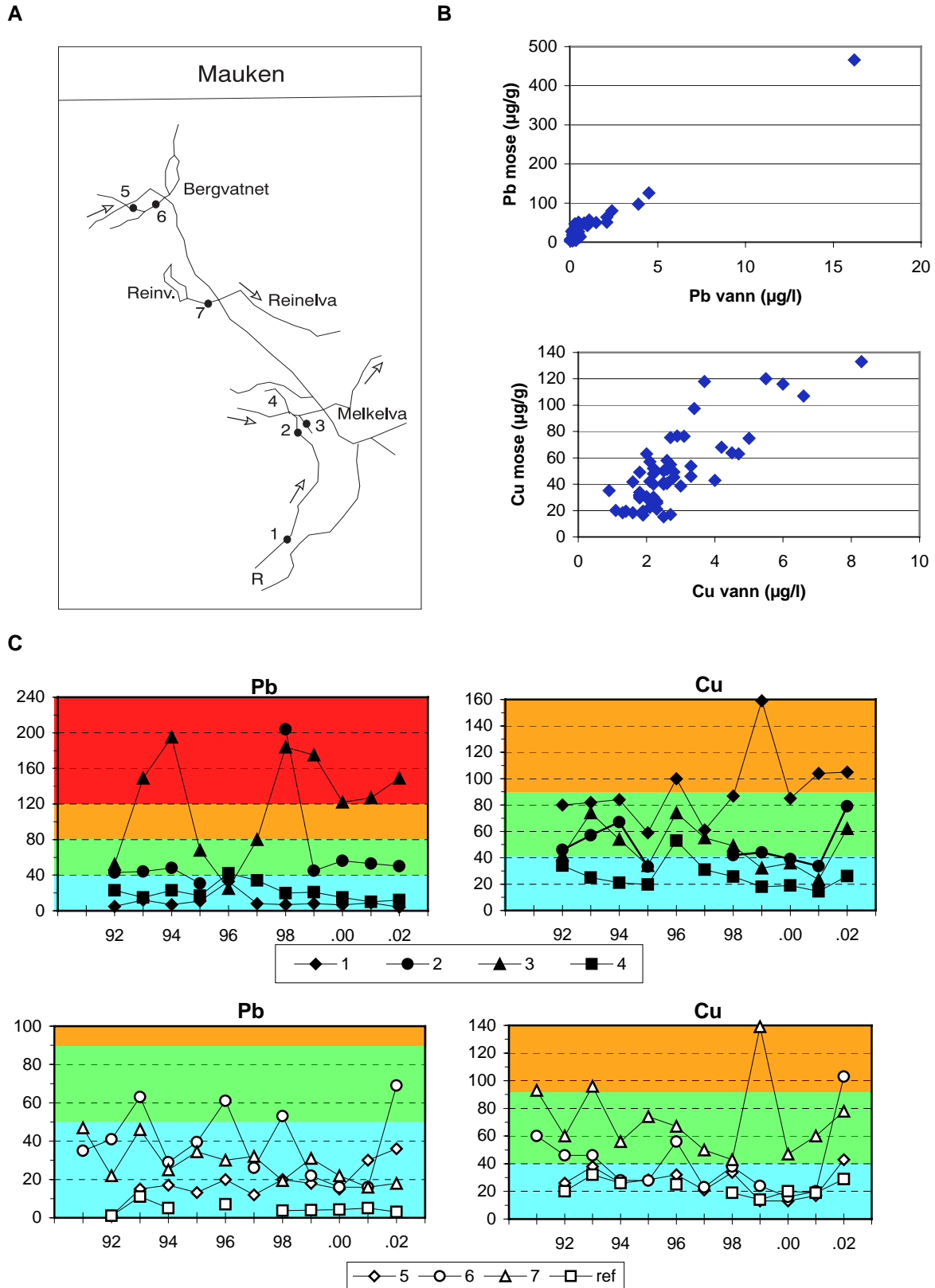
Skjold-området ble i likhet med de fleste tettsteder i Troms nyttet til forlegning av tyske avdelinger under siste krig. Oppbygging av området til bruk for norske avdelinger fant sted i forbindelse med opprettelsen av Brigaden i Nord-Norge (BrigN). Helt fra etableringen i 1954 har området vært standkvarter 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. Overvåknings-undersøkelsen ble gjennomført i 4 delnedbørfelter og på totalt 8 stasjoner inklusive en referanse stasjon (Fig. 8A). Feltet dreneres av flere bekker som er lite til moderat humuspåvirket og har nær nøytrale pH-verdier.

### Resultater

Sammenhengen mellom konsentrasjonene av bly og kobber i mose og vann var god og variasjonen relativt liten, antagelig på grunn av en relativt stabil vannkvalitet med lite humus og nær nøytral pH (Fig. 8B). I hele overvåkningsperioden har konsentrasjonene av bly og kobber vært relativt lave ved de fleste stasjonene (Fig.8C). Likevel har stasjon 3 (foran selvanviserene) i flere år vært betydelig forurensset av bly. Dette gjaldt også bekken nedstrøms feltskytebanen i 1998 (St.2), men siden har denne bekken hatt en nær akseptabel vannkvalitet. Konsentrasjonene av kobber har i alle år vært høyest på st. 1 og 7. Konsentrasjonene av kobber økte klart fra 2001 til 2002 på de fleste stasjonene (på st. 6 også for bly). Alle stasjonene hadde høyere konsentrasjoner av bly og kobber enn de som ble målt på referansestasjonen (ref.)

### Konklusjon

Bekkene i skytefeltet på Mauken tilføres lokale forurensninger av bly og kobber særlig som følge av skyting med handvåpen, men også tyngre våpen bidrar med kobberdeponeringer. Dette gjelder spesielt stasjonene 2 og 3 som avvanner en av feltskytebanene hvor også selvanvisere har vært benyttet (st.3). Vannkvaliteten ved disse lokalitetene kan karakteriseres som mindre god til dårlig for bly og god til mindre god for kobber. De høye kobberverdier i 1999 ved stasjonene 1 og 7 skyldtes antagelig anleggsvirksomhet. I disse feltene deponeres det normalt kobberfragmenter og ikke prosjektiler fra handvåpen. Skytefeltet forurenses ikke bekkene som renner ut av feltet nevneverdig, hovedsaklig fordi vann fra et stort nedbørfelt gir en effektiv fortykning av metallutsigene. Det er rimelig at st.4 og 5 var lite forurensset 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. Det er likevel verd å merke seg at konsentrasjonene av bly og kobber økte klart fra 2001 til 2002 i bekken som renner inn i Bergsvatn (st. 6). Det er mulig at dette skyldes den anleggsvirksomheten som har vært drevet i dette nedbørfeltet. Mauken skytefelt er mye brukt og de årlige deponeringer av metaller er betydelige. Likevel er forurensningsgraden moderat, med unntak av enkelte bekkestrekninger inne i feltet. Bekkene inneholder lite humus, har nær nøytral pH og god vannføring. Dette indikerer at jordsmonnet i feltet har god evne til å binde opp metaller og at metaller bundet til humus i liten grad forlater feltene og når bekkene. Fortynningseffekten av vann fra nedbørfeltet oppstrøms deponiområdene er selvfølgelig også med på å gjøre at vannkvaliteten i bekkene ut av feltet er akseptabel. Dette viser at det i løpet av de siste 12 årene ikke har skjedd vesentlig endringer i utlekkinger av metaller fra feltet. Dette skyldes antagelig en kombinasjon av lav korrosjonshastighet og god fortynningsevne av vann fra andre lite forurensede deler av feltet. På bakgrunn av resultatene er det ikke nødvendig med omfattende forurensningsbegrensende tiltak. Tiltak kan settes inn ved feltskytebanen (st.3) der grøfting har bidratt til økt utlekking av bly. Feltet er mye benyttet og nye baner anlegges. Overvåknings vil gi svar på om mer omfattende tiltak kan bli nødvendig i fremtiden.



**Figur 8.** A. Prøvetakningsstasjoner på Mauken skytefelt. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner (µg/g tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkningsperioden.

### 3.6 Porsangmoen

#### Innledning

Før den tyske tilbaketrekning fra Finnmark i 1944 var området Lakselv/Banak/Skoganvarre, forlegningsområde for sentrale deler av en tysk divisjonskommando. I den første tiden etter frigjøringen ble de norske styrkene etablert i Skoganvarre øst for Porsangmoen. Garnisonstedet Porsangmoen er blitt utbygd fra 1950 og frem til i dag. På det meste har en bataljonsgruppe med infanteribataljon, ett middelstungt feltartilleribatteri, stridsvogntropp og luftvern batteri vært forlagt i området. Området er mye benyttet som repetisjonscenter. Porsangmoen og Halkavarre skyte- og øvningsfelt eies av Staten og er Forsvarets største skytefelt. Det finnes flere gamle skjerp i feltet, og områdene oppstrøms Yglevatn har naturlige høye kobberverdier. Vi har undersøkt vannkvaliteten på 8 stasjoner i nærøvningsfeltet de siste 10 årene, mens 3 stasjoner er undersøkt siden 2000 ved den nye banen for kompani i angrep. Bekkene er lite humuspåvirket og har svakt alkalisk vann. Lokaliseringen av stasjonsnett er vist i Fig.9A.

#### Resultater

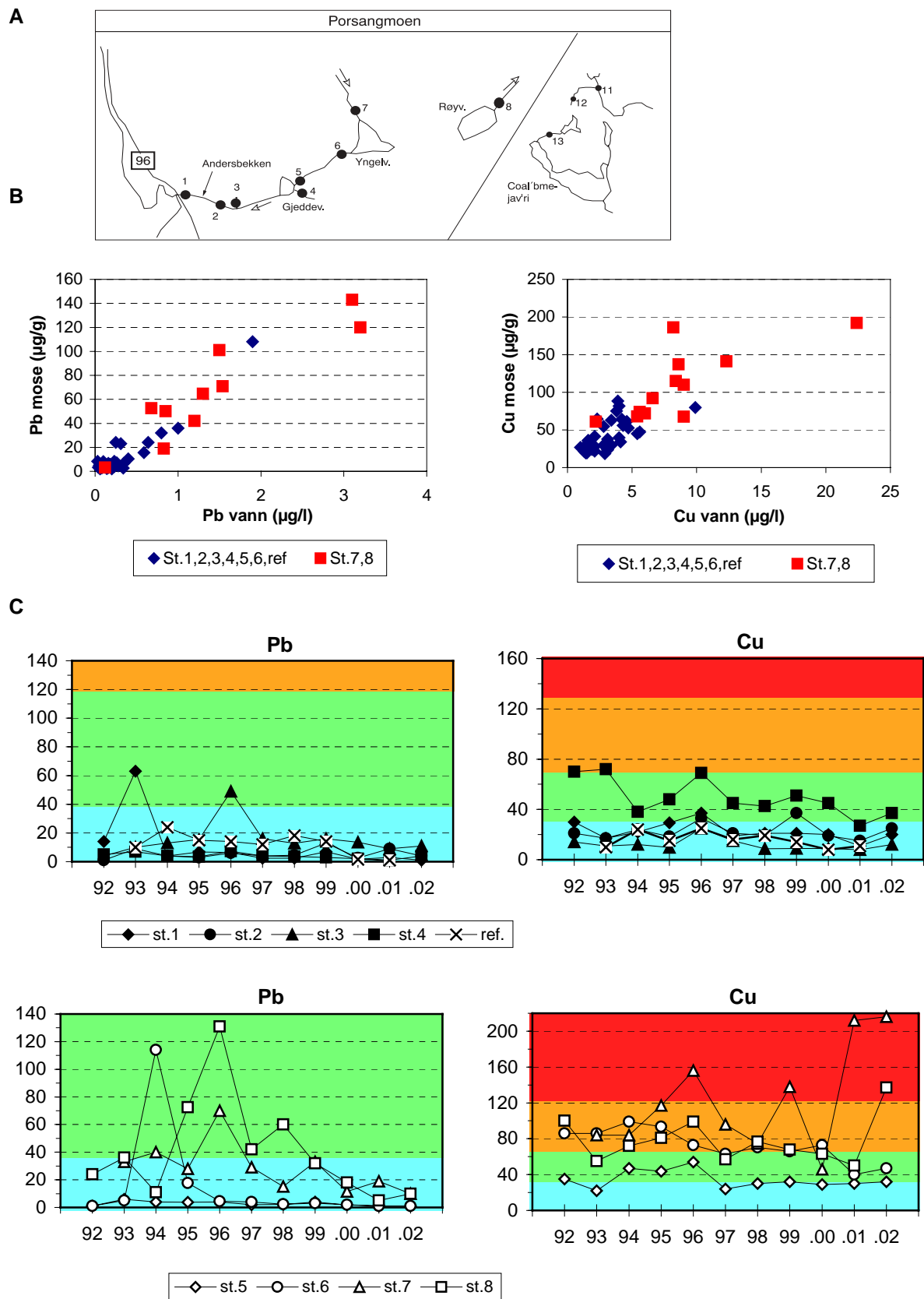
Det var en god sammenheng mellom konsentrasjonene av bly og kobber i mose og vann for alle stasjonene på Porsangmoen (Fig. 9B). Andersbekken (st.1) drenerer de mest brukte skytebanene på Porsangmoen. I hele overvåkingsperioden har vannkvaliteten vært god i denne bekken før den renner ut i Nedrevatn (Fig.9C). Dette viser at utløste metaller som følge av korrosjon av deponerte prosjektiler i liten utstrekning tilføres Lakselv-vassdraget. I 2002 var konsentrasjonene av bly og kobber lave, untatt st. 7 og 8 hvor kobberkonsentrasjonene hadde økt noe fra året før og vannkvaliteten kan karakteriseres som dårlig. Konsentrasjonene av bly og kobber i mose fra bekkene som drenerer den nye banen for kompaniet i angrep på Porsangmoen (st. 11, 12 og 13) var lave i 2002 og på nivå med året før (Tab.4). Vannanalyser som ble tatt parallelt med moseprøver i 2000 viste at sammenhengen som er vist mellom metallene i mose og vann for Porsangmoen også gjelder for stasjonene gitt i Tab.4. Konsentrasjonene kan derfor anslås til mindre enn 0,1 µg/l for bly og mindre enn 1,5 µg/l for kobber.

**Tabell 4..** Middeldkonsentrasjoner av bly og kobber i mose fra bekker som drenerer banene for kompani i angrep på Porsangmoen.

	Benevn	2001			2002		
		St.11	St.12	St.13	St.11	St.12	St.13
Pb	µg/g	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,7
Cu	µg/g	14	13	10	17	23	14

#### Konklusjon

De lave konsentrasjonene av kobber og bly i Andersbekken har vist at korrosjonshastigheten av prosjektiler er lav og at utløsning av løste metallioner fra deponiene er liten. Vannet er godt bufret med en svakt basisk reaksjon og lavt innhold av humus. Dette indikerer et relativt kalkrikt jordsmonn som betinger en svært lav korrosjonshastighet av prosjektiler og høy bindingskapasitet av metallene i jord. Det lave humusinnholdet reduserer også lekkasjen av metaller da løste humussyrer binder metaller og trekker de ut fra deponiene. Bruk av selvanvisere på Røyevatnet (st.6) og kjøring i stridsløypa (st.7) (erosjon og utløsning av metall-humus komplekser) har likevel vist at slike aktiviteter kan øke metallavrenningen betydelig. Det ble satt i verk tiltak for å redusere utlekkingen av metaller i bekken som avvanner stridsløypa (kalking), og dette ga de forventede resultatene med gradvis lavere konsentrasjoner. Økningen i konsentrasjonene av kobber på st. 7 og 8 i 2002 er vanskelig å forklare da området i tillegg til deponerte prosjektiler også har høyt naturlig innhold av kobber i disse øvre delene av nærøvningsfeltet. Det er ikke nødvendig med omfattende forurensningsbegrensende tiltak. Feltet er mye brukt og overvåkingen vil svar på om tiltak vil bli nødvendig på enkelte steder.



**Figur 9.** A. Prøvetakningsstasjoner på Porsangmoen skytefelt. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/g}$  tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkingsperioden.



### 3.7 Lærdalfeltet

#### Innledning

Demoleringsfeltet i Lærdal ligger i Øyridalen og avvannes av elva Nivla (Fig.10A). Feltet ble tatt i bruk som sprengningsfelt (demolering) i 1977. Målinger er utført ovenfor sprengningsfeltet (st.1), like nedenfor feltet (st.2) og nedenfor skytebanen (st.3). Nivla har svært lave humuskonsentrasjoner og svakt basisk vann.

#### Resultater

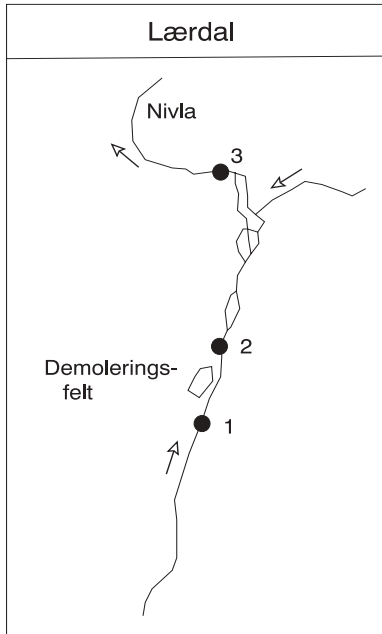
Det var en god sammenheng mellom konsentrasjonene av bly og kobber i mose og vann, selv om konsentrasjonene for bly i vann var meget lave (Fig.10B). Det var en effektiv oppkonsentrasjon av metaller i mosene i dette feltet, vesentlig på grunn av klart humusfattig vann med nær nøytral reaksjon (Fig.20 og 10C). Følgelig vil små konsentrasjonsendringer i vannfasen gi klare utslag i form av konsentrasjonsøkninger i mosene. Denne egenskapen er svært gunstig med hensyn til overvåkingen av metallutlekkningen fra dette demoleringsfeltet da fortyningseffekten i Nivla er stor. 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, som tilkommer mellom st. 2 og st.3, fortynner konsentrasjonene ytterligere slik at de på st.3 har vært nær de samme som referansen oppstrøms feltet (st.1). Det er imidlertid interessant å merke seg at selv om samløpet med Øydalselvi fører til en reduksjon i konsentrasjonene, så har de ved st.3 i nesten alle år ligget mellom referansen og st.2 etter demoleringsfeltet. Dette er også det en skulle forvente ved en fortyningsteori. Det er imidlertid små forskjeller når det gjelder vannkonsentrasjoner, og det er lite sannsynlig at dette kan vises med vannanalyser alene uten en meget omfattende prøvetakning. Resultatene indikerer derfor at metoden er meget følsom i dette vassdraget og svært godt egnet i overvåkningsammenheng. Kobberverdiene var høyere enn normalt, men det var også verdiene på referansestasjonen oppstrøms demoleringsplassen. Det er antagelig naturlige geokjemiske årsaker til dette så fremt ingen demolering eller skyting har foregått lenger opp i dalen i tidligere perioder. Konsentrasjonene økte i perioden 1993 til 1995. Siden sank de gradvis frem til i 2001 hvor de var de laveste som er registrert i hele perioden. I 2002 indikerte målingene ved st.2 at det var en økt kobberutlekkningen fra demoleringsfeltet i forhold til året før.

I perioden juni-september 1999 ble 6 vannprøver fra alle stasjonene analysert med hensyn på flere metaller. Det var ingen signifikant forskjell på konsentrasjonene oppstrøms og nedstrøms demoleringsplassen for arsen, krom, kobolt og molybden. For disse elementene var verdiene ( $\mu\text{g/l}$ ) henholdsvis:  $< 0,05$  (As),  $< 0,1$  (Cr),  $0,13$  (Co), og  $0,30$  (Mo). For sink og kadmium ble det registrert en liten konsentrasjonsøkning etter demoleringsplassen fra  $4,2$  til  $6,0 \mu\text{g/l}$  for sink og fra  $0,005$  til  $0,02 \mu\text{g/l}$  for Cd. Disse verdiene var noe høyere enn de en oftest finner i norske innsjøer (nær 75 prosentilen).

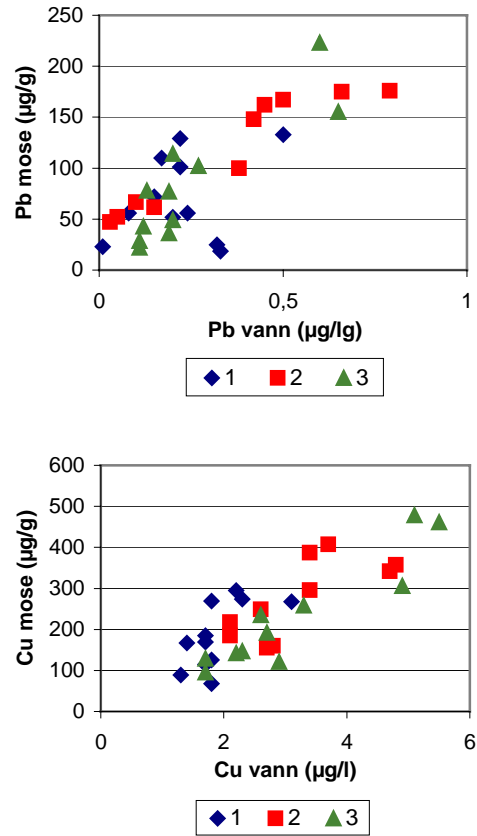
#### Konklusjon

Vannkvaliteten i Nivla gjør at vannmoser er svært godt egnet til å overvåke betydningen av metallforurensninger fra demoleringsfeltet. Det har blitt registrert et påslag i konsentrasjonene av bly og kobber i Nivla etter demoleringsfeltet i alle årene som feltet har vært overvåket med unntak av 2000. Lenger ned i elva fortynnes konsentrasjonene av et betydelig sidevassdrag (Øydalselvi), slik at påslaget i konsentrasjonene blir ubetydelige og nær verdiene på referansestasjonen etter samløpet. Aktiviteten i demoleringsfeltet har derfor ikke bidratt til forhøyde konsentrasjoner av bly og kobber i Lærdalselva. Etter en økning i konsentrasjonene på grunn av erosjon i demoleringsfeltet i 1995/1996, har verdiene siden gradvis avtatt. Dette skyldes trolig bygging av sedimentasjonsdammer og en redusert bruk av feltet. Årsaken til økningen av kobberkonsentrasjonene fra 2001 til 2002 er ukjent. Den ble imidlertid ikke fulgt av en tilsvarende økning i blykonsentrasjonen slik som ved den forrige episoden i 1995. Det er ikke nødvendig med forurensningsbegrensende tiltak utover å sørge for at fangdammene fungerer.

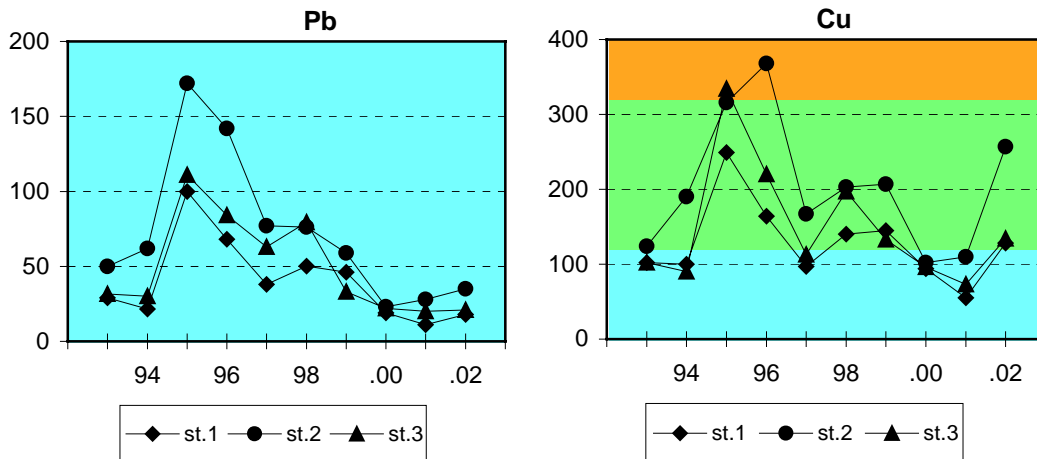
A



B



C



**Figur 10.** A. Prøvetakingsstasjoner i Lærdal demoleringsfelt. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner (µg/g tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkingsperioden.

### 3.8 Sætermoen inklusive Karlstadskogen

#### Innledning

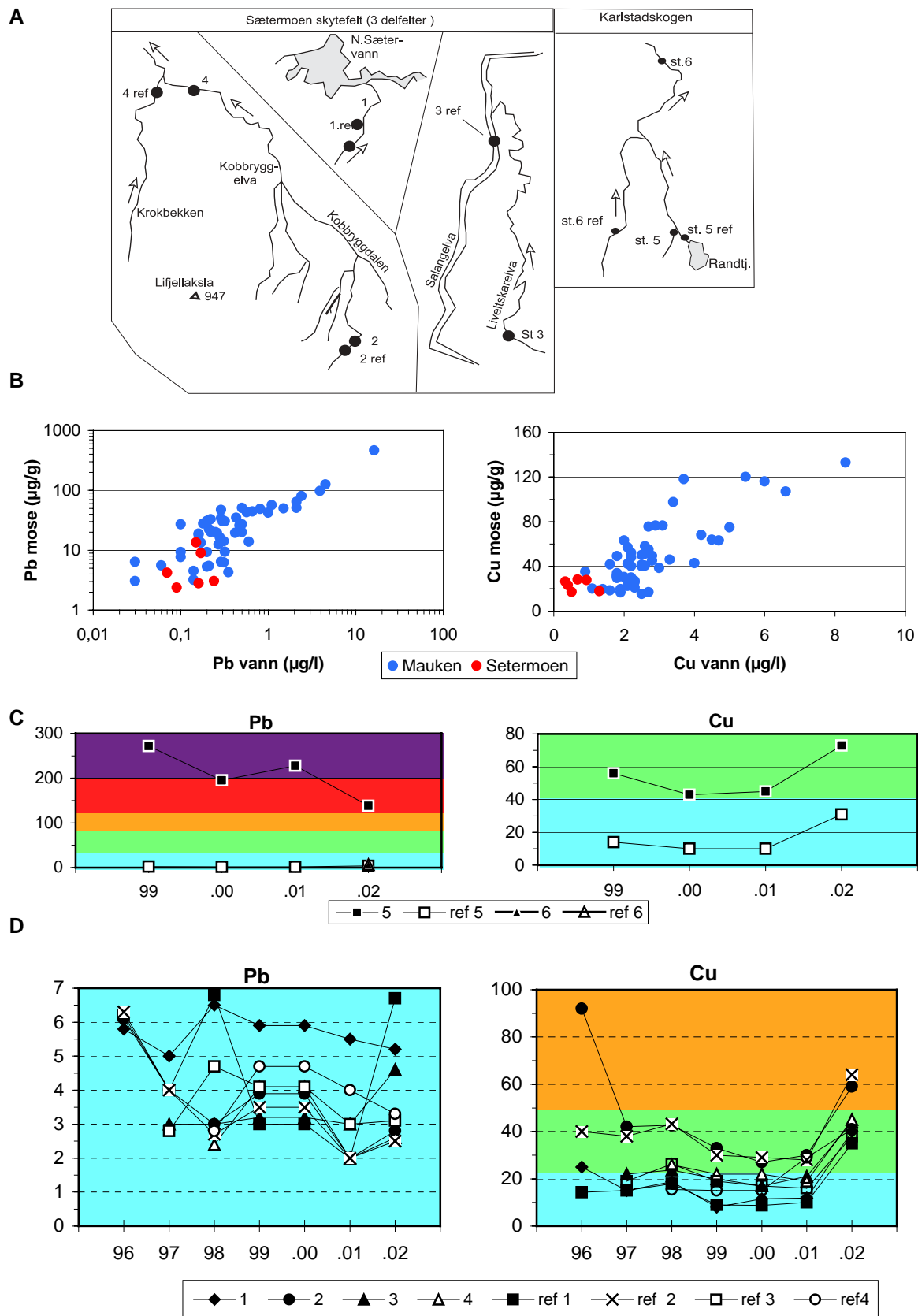
Sætermoen skytefelt er på 145 000 dekar. Vannkvaliteten i flere av bekkene på Sætermoen ble overvåket fram til 1993 (Rognerud 1994a), men overvåkingen ble siden lagt ned. Den fortsatte imidlertid i 1996 med målinger av bly- og kobber konsentrasjoner i mose fra en bekk som drenerer nedgravd metallskrot etter ryddinger i skytefeltet (st.2 og 2 ref.) og i Kobbryggelva (st.4 og 4 ref.), samt i en bekk som drenerer den nyetablerte skytebanen A-11 (st.1 og st. 1 ref.) ved N. Sætervatnet (Fig.11A). I 1997 ble undersøkelsen utvidet med målinger av eventuelle effekter av utlekking av bly og kobber fra militær virksomhet på Liveltskardelva (st.3). Salangselva ble betraktet som referanse (st.3 ref.) (Fig.11A.). Forurensningsgraden ble vurdert ut fra konsentrasjonsøkningen fra referansestasjonene. Bekkene i Sætermoen skytefelt er lite humuspåvirket og har svakt basisk vann. De tre siste årene har vi også undersøkt bekken som drenerer feltskytebanen på Karlstadskogen (st.5) og Randbekken (st.5 ref.). I 2001 ble kobber og bly bestemt i vannprøver innsamlet fra Karlstadbekken som drenerer en god del av Karlstadskogen skytefelt (st.6 og 6 ref.).

#### Resultater

Vi har få data fra Sætermoen når det gleder sammenhengen mellom metaller i mose og vann. Vannkvaliteten i dette feltet er imidlertid svært like vannkvaliteten i Mauken (nær nøytral pH, lite humus). Vi har derfor valgt å inkludere data fra Mauken for å kunne estimere vannkonsentrasjoner også ved høyere konsentrasjoner i mosene (Fig.11B). Konsentrasjonene i mose ved feltskytebanen på Karlstadskogen var betydelig høyere enn referansen, særlig for bly, men også for kobber (Fig.11C). På bakgrunn av sammenhengene gitt i Fig 11B kan vi anslå at konsentrasjonene av bly og kobber i bekken fra feltskytebanen har variert mellom henholdsvis ca. 5-10 µg/l og ca. 2-4 µg/l. På grunn av fortykning fra tilrennende bekker var konsentrasjonene lave (0,03 µg bly/l og 0,7 µg kobber/l) når bekken renner ut av feltet (St.6). På alle stasjonene i Sætermoen skytefelt var konsentrasjonene av kobber og bly lave og forskjellene var ubetydelige mellom stasjonen nedstrøms deponiene og referansene. Konsentrasjonene av særlig kobber var imidlertid høyere i 2002 enn årene før på alle stasjoner også referansene.

#### Konklusjon

Det er rimelig å anta at økningen i konsentrasjoner av kobber i bekkene fra 2001 til 2002 skyldes de lave nedbørmengdene sommeren 2002 i Nord-Norge. Tørkeperioder skaper lengre kontakttid mellom vannet og jorda/deponiene og konsentrasjonene av metaller vil kunne øke. Det at konsentrasjonene økte både i referanseprøvene oppstrøms deponiet og i prøvene nedstrøms viser at det var naturlige årsaker til økningene av kobberkonsentrasjonene i 2002. Den samme økningen skjedde ikke for bly. Dette indikerer at bly er sterkt bundet i jordsmonnet eller at prosjektilrestene er lite korrodert i dette skytefeltet. Vannet i Sætermoen skytefelt kan generelt beskrives som kalkholdig (ca. 9 mg Ca/l), svakt alkalisk (pH 7-7,8) og lite humuspåvirket (Rognerud og Boye 1992). Dette betinger lav korrosjonshastighet og stor bindingsevne for metaller til jordpartikler. I tillegg er nedbørfelt stort med betydelig vannføring i elvene. Dette gir en effektiv fortykning av eventuelle utsig av forurensninger fra deponiene. Dette er årsakene til at deponiene i Liveltskardet ikke forurenser Salangselva, og at deponiene i Kobbryggdalen ikke forurenser Kobbryggelva. Kulefangervollen ved bane A-11 ligger nær bekken, men forurenser ikke denne fordi deponiet er nytt og en kalksperre er bygd opp mot bekken. Bekken som drenerer feltskytebanen på Karlstadskogen hadde relativt høye konsentrasjoner av bly. Denne banen ligger på ei myr og erfaringer fra overvåkningsundersøkelsen har vist at korrosjon og utlekking av metaller generelt er betydelig større fra deponier i myr enn fra andre naturtyper. Forurensningen begrenser seg imidlertid til området like nedstrøms banen. Konsentrasjonene fortyknes av tilrennende bekker fra uberørte områder, og de var nær bakgrunnsverdiene etter samløp før samløpet med Barduelva. Situasjonen har vært nær den samme i hele overvåkningsperioden og det er kun lokalt nær deponiet at metallkonsentrasjonene kan bli såvidt høye at det forringer vannkvaliteten vesentlig. Det er ikke nødvendig med omfattende forurensningsbegrensende tiltak i Sætermoen, mens nærstridsmålet på feltskytebanen på Karlstadskogen kan kalkes og skjermes mot direkte avrenning til bekken.



**Figur 11.** A. Prøvetakningstasjoner i Sætermoen skytefelt. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. og D Konsentrasjoner (µg/g tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkingsperioden. C. Karlstadskogen. D. Sætermoen

### 3.9 Heistadmoen og Hengsvatn

#### Innledning

Heistadmoen skyte- og øvningsfelt ble anskaffet av Forsvaret da leiren ble etablert i 1909. Feltet er på 7000 mål. Heistadmoen dekker i dag behovet for grunnleggende geværskyting og de innledende feltmessige øvinger. Det er etablert 4 målestasjoner i bekken som renner inn i Ertstjern (Fig. 12A). Bekken renner gjennom flere baneanlegg, men drenerer også deler av Kisgruveåsen. Navnet indikerer at dette området kan inneholde betydelige naturlige forekomster av metaller. Vannføringen på st. 1 er liten. Det samme er tilfelle for tilløpsbekken der st.2 er lokalisert. Bekken kan tørke helt inn i spesielt utsatte perioder. Skytefeltet på Hengsvatn ble leiet av Sølvverkets skoger for å øve med tyngre våpen, bombekastere og langtrekkende panservåpen. I 1985 ble dette feltet utvidet til sin nåværende størrelse på 34 000 dekar. Hengsvatn dekker behov for videregående utdanning først og fremst for tyngre våpen. I tillegg nyttes feltet ved repetisjonsøvelser og som et suppleringsfelt for den mere grunnleggende utdannelsen. Konsentrasjoner av bly og kobber overvåkes på 2 stasjoner i Brånabekken som drenerer feltskytebanene i den østre delen, og en stasjon i bekken som drenerer feltskytebanene på Diplemyrene i den vestre delen (Fig.12 A). Bekkene er moderat humuspåvirket og pH-verdiene er svært variabel.

#### Resultater

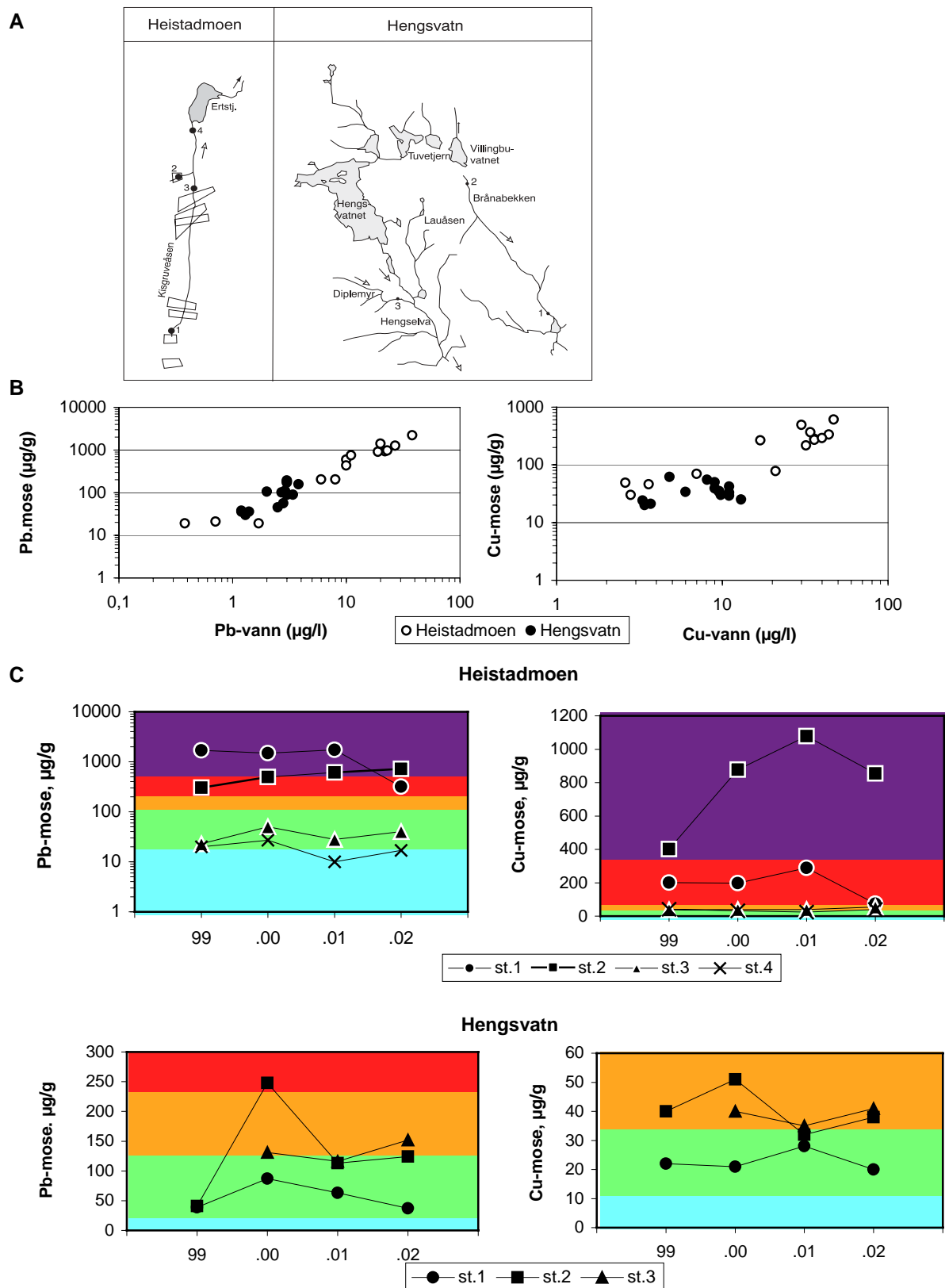
I Heistadmoen skytefelt har konsentrasjonen av bly og kobber vært meget høy på st. 1 og 2. (12B og C) På st. 1 har konsentrasjonene av bly og kobber i vann vært nær henholdsvis 40 µg/l og 20 µg/l alle fire årene. Tilsvarende for st.2 har vært ca. 15 µg/l bly og 40 - 100 µg/l kobber. På denne stasjonen har det vært en tendens til økende konsentrasjoner av kobber, men ikke samme trenden for bly. Disse høye konsentrasjonene fortynnes betydelig i hovedbekken på veien mot Ertstjernet på grunn av tilrennende vann fra andre deler av nedbørfeltet. Konsentrasjonene i bekken ved innløpet til tjernet var relativt lave og vannkvaliteten kan karakteriseres som nokså god.

Bekkene fra feltskytebanene i Hengsvatn skytefelt (st.2 og 3) hadde blykonsentrasjoner opp mot 5 µg/l og kobberkonsentrasjoner opp mot 12 µg/l. Vannkvaliteten må derfor karakteriseres som nokså dårlig. I Brånabekken ble konsentrasjonene av begge elementene nær halvert fra st.2 til st. 1 de siste to årene.

#### Konklusjon

Utlekkingen av metaller fra deponiene i Heistadmoen skytefelt var beskjeden i mengde, men konsentrasjonene i bekken var høye. Årsaken var at deponiet utgjorde nesten hele nedbørfeltet og vannføringen i bekken var liten. Jordsmonnet er antagelig relativt kalkholdig da vannet i hovedbekken var svakt basisk (pH > 7 ). Dette antas å gi en relativt god binding av metaller til jordpartikler på deponistedet. De høye konsentrasjonene ble raskt fortynnet i bekken som renner inn i Ertstjern. Metallforurensningen fra banene på Heistadmoen er derfor av lokal karakter og de vil ikke påvirke vannkvaliteten nevneverdig i bekken utenfor feltet .

Bekken som avvanner den vestre banen (St.3) på Hengsvatn har god vannføringen. Den var sur (ca. pH 5) og hadde et middels høgt humusinnhold (Fig.20). På grunn av det sure vannet er opptaks-effektiviteten i mosene lavere enn på Heistadmoen. Spesielt gjaldt dette for kobber. Banen har ikke vært lenge i bruk og de forhøyede metallverdiene i bekken viser at korrosjonshastigheten for prosjektiler må være relativt effektiv i dette feltet. Brånabekken (St.1 og 2) som avvanner den østre delen var mindre sur, men bly- og kobberkonsentrasjoner var nær de samme som i bekken fra den vestre banen. Det har ikke vært store endringer i metallkonsentrasjonene de fire årene overvåkingen har pågått. Tiltak er ikke nødvendig på Heistadmoen, men dette kan bli aktuelt med tiden på den vestre banen i Hengsvatn. Overvåkingen vil avdekke om og eventuelt når dette vil bli nødvendig.



**Figur 12.** A. Prøvetakningsstasjoner i Heistadmoen og Hengsvatn skytefeltet. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/g}$  tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkingsperioden

### 3.10 Bardufoss sentralskytebane

#### Innledning

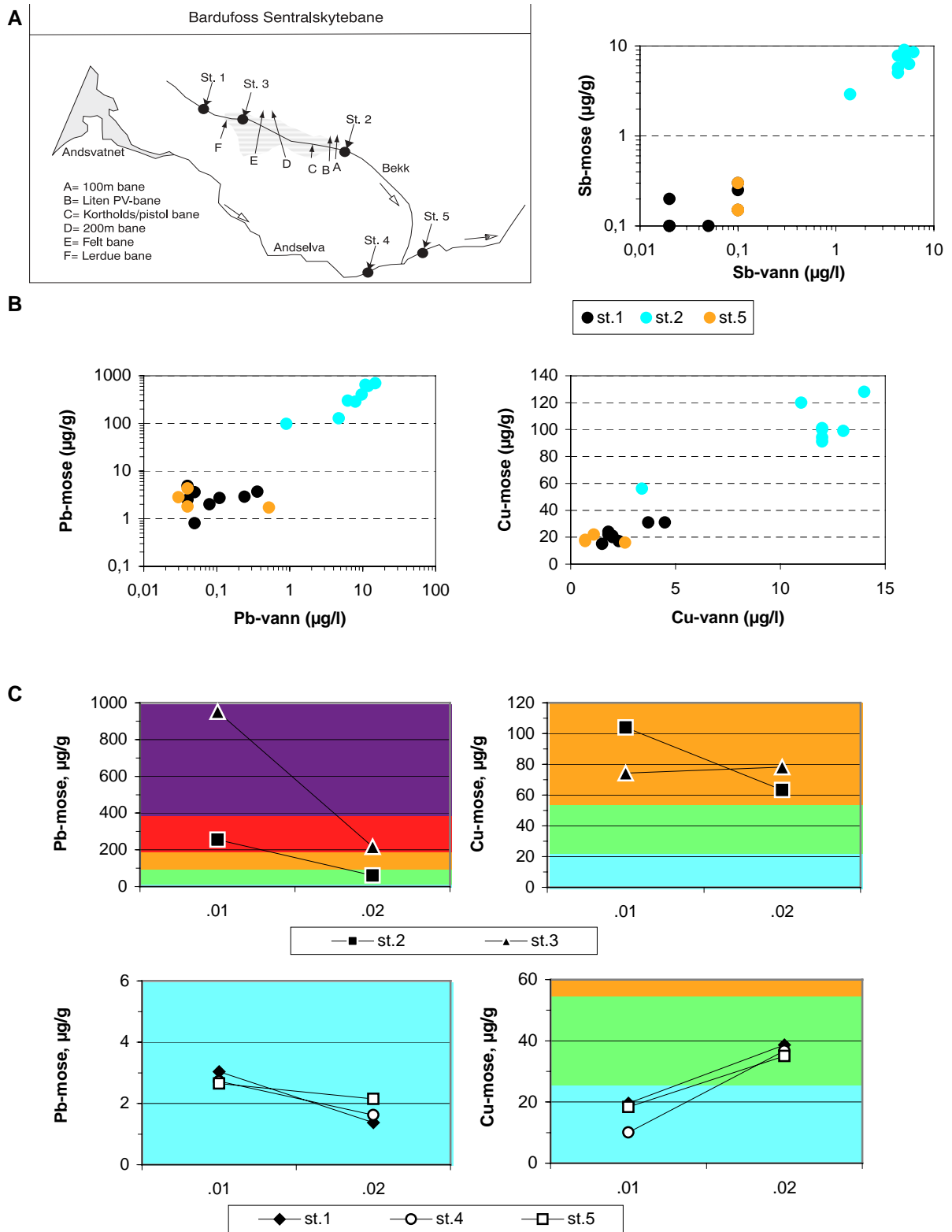
Bardufoss sentralskytebane benyttes av både Forsvaret, Det frivillige skyttervesen og lokale lerdueskyttere. Banene ligger i hovedsak på ei myr, og bekken som drenerer myra renner ut i Andselva (Fig.13A). Bekken er moderat humuspåvirket og vannet er svakt basiskt. Konsentrasjonene av metaller i bekken ble undersøkt første gang i 2000 oppstrøms banene (st.1) og nedstrøms (st. 2). I 2001 ble undersøkelsene utvidet med stasjoner nedstrøms lerduebanen (st.3), oppstrøms utløpet av bekken i Andselva (st.4) og nedstrøm utløpet i Andselva (St.5). Forsvarsbygg etablerte et lecafilter i bekken ved utløpet av feltet (st. 2) i første halvdel av oktober 2002. Dette er et tiltak for å redusere metallkonsentrasjonene i bekken. Prøvetakningen i 2002 ble avsluttet før filteret ble utplassert.

#### Resultater

Mosene ble eksponert på alle stasjonene fra juni til oktober. Det har vært fire høstinger av mose denne perioden. Konsentrasjonene av metaller i mose viste lagt større variasjon over sesongen i 2002 enn året før. Det var en god sammenheng mellom konsentrasjonene av bly, kobber og antimon i vann og mose (Fig.13B). I 2001 økte konsentrasjonene av antimon og bly fra ca. 0,1 µg/l oppstrøms baneanlegget til henholdsvis ca. 6 og 10 µg/l nedstrøms, mens konsentrasjonene av kobber økte fra ca. 2 til ca.12 µg/l. Denne økningen i konsentrasjoner av metallene gjennom feltet var betydelig mindre i 2002. Konsentrasjonene av bly økte kraftig i bekken når den passerer gjennom området der hagl deponeres i forbindelse med lerdueskyting (st.3), men konsentrasjonene avtok og var klart lavere i bekken når bekken rant ut av baneområdet (st.2). Konsentrasjonene av kobber økte også i bekken på vei gjennom deponiområdet for lerduebanen, men for dette elementet var de nær de samme i bekken når den rant ut av feltet. Konsentrasjonene av metaller i Andselva var lav og det var ingen signifikant forskjell på konsentrasjonene ved stasjonen oppstrøms og nedstrøms utløpet av bekken fra skytefeltet.

#### Konklusjon

Middelkonsentrasjonene var klart lavere i 2002 enn året før høyst sannsynlig på grunn av den tørre sommeren i 2002 og liten lekkasje av metaller fra Resultatene viser tydelig at mye av blyforurensningene kommer fra lerduebanen. Hagl inneholder ikke kobber så økningen i kobberkonsentrasjonene må skyldes rifleammunisjon. Deponiene av hagl og rifleprosjektiler forurenser bekken som renner igjennom banene med bly, kobber og antimon. Forurensningene av metaller fortynnes imidlertid effektivt i Andselva slik situasjonen er i dag. Skytebanene har derfor ikke nevneverdig betydning for vannkvaliteten i Andselva. Det er rimelig å anta at deponiene i området er betydelige og de vil øke i tiden fremover da anlegget er mye brukt. Det er derfor viktig at forurensningsbegrensende tiltak blir satt i verk. Dette innebærer både at det installerte lecafilteret fungerer tilfredstillende, og at andre tiltak bør vurderes på deler av baneområdet. Det gjelder kanskje spesielt de store blydeponiene ved lerduebanen. Skjerming av direkte avrenning og kalking kan være aktuelle tiltak. En bør være spesielt oppmerksom på at grøfting av myra bør unngås fordi det vil kunne skape økt utlekking av metaller. Dette har vi erfaringer fra i Steinsjøfeltet og på Evjemoen.



**Figur 13.** Prøvetakningstasjoner ved Bardufoss sentralskytebane. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber, bly og antimon i vann og mose for årene 2000 og 2001. C. Middelkonsentrasjoner ( $\mu\text{g/g}$  tørrvekt) av kobber og bly i mose for alle stasjonene i perioden juni-oktober i 2001 og 2002.



### 3.11 Bestemorenga, Børja, Elvegårdsmoen, Giskås, Sørlimarka og Heggemoen.

#### Innledning

Alle disse feltene ble første gang undersøkt i 2002 og resultatene presenteres samlet. Bestemorenga ligger nær Bodø og består av flere skytebaner for håndvåpen samt to lerduebaner. Banene benyttes både av Det Frivillige Skyttervesen og Forsvaret. Børja ligger syd for Kongsvinger og administreres av Rygge hovedflystasjon. Feltet består av 3 skytebaner, en feltskytebane og benyttes også til luft-bakke skyting med fly. Feltet (13400 da) ble etablert i 1958 og er leid. Den sentrale delen består av et stort myrområde med to tjern. Elvegårdsmoen skyte- og øvingsfelt (2,4 km<sup>2</sup>) ligger i Narvik kommune og administreres av HV-Distrikt 15. Det ble etablert i 1918 og består av 9 skytebaner og 9 feltskytebaner. Banene ligger hovedsakelig på en stor sandavsetning. Feltet har vært tidligere undersøkt NIVA i 1993. Giskås fjernøvningsfelt (21 km<sup>2</sup>) ligger i Steinkjær kommune, Nord-Trøndelag fylke, og eies av Statskog og Steinkjær kommune. Gjennom makeskifteavtaler er Forsvaret sikret bruksrett til feltet som administreres av en egen målkommando i området (HV-Distrikt 13). Feltet består av 2 skytebaner og 20 feltskytebaner. De fleste deponiene drenerer via bekker til elva Rokta. Sørlimarka skytefelt ligger i Harstad kommune, og er på 4050 da. Feltet er leid og består av 7 skytebaner og 7 feltskytebaner. Feltet administreres av Ramsund Orologstasjon.

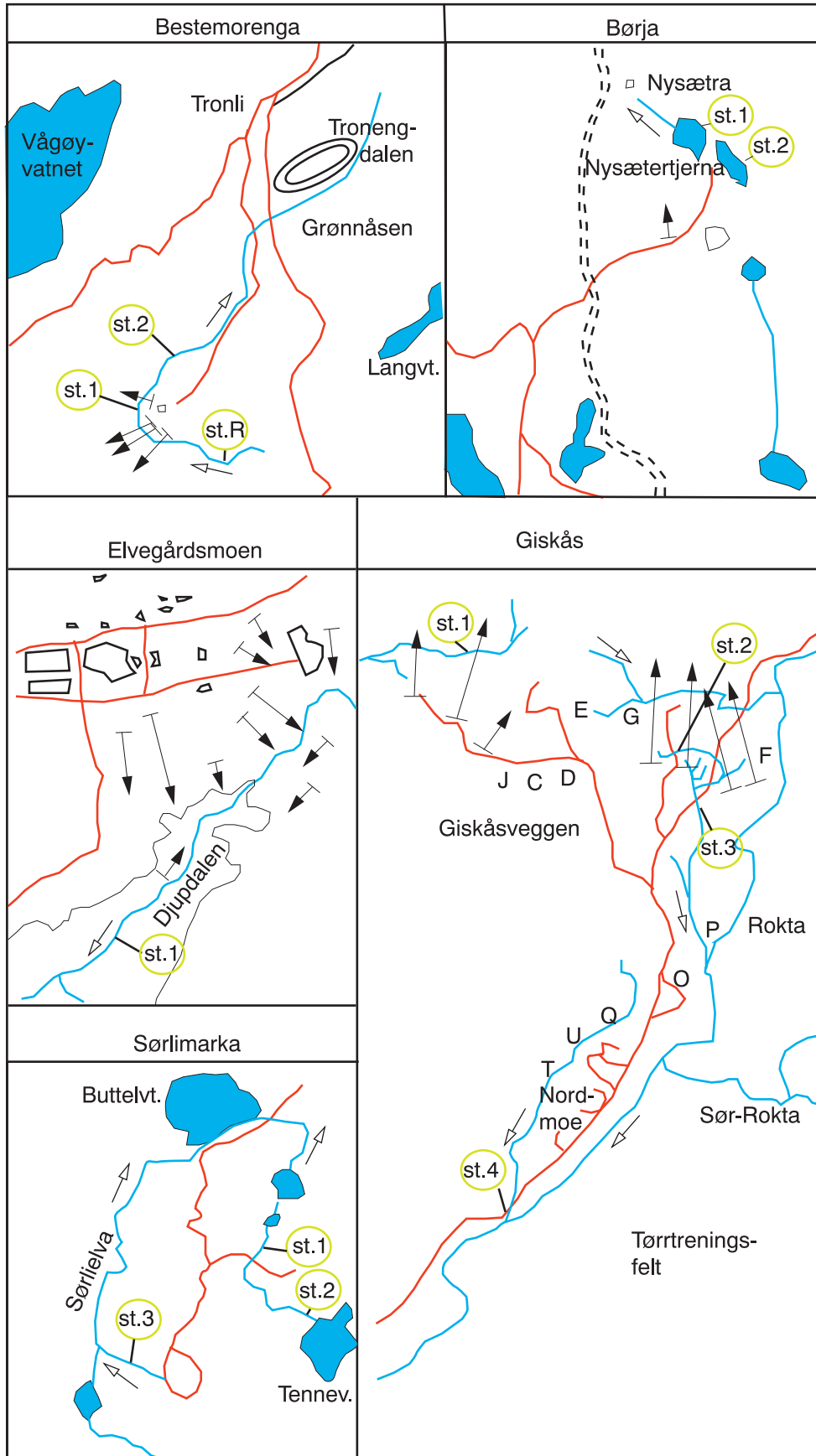
En sjematisk oversikt over feltene med baner og prøvestasjoner er vist i Fig.14. Resultatene av alle målingene i 2002 er vist i forhold til forurensningsgrad i Fig. 15. I feltene Bestemorenga, Børja og Elvegårdsmoen foreligger det data kun fra målinger av metaller i vannfasen (hver enkelt observasjon er vist), mens i Giskås og Sørlimarka ble også metallkonsentrasjoner i vannmoser undersøkt. Basert på regresjoner mellom metaller i vann og mose er også middellkonsentrasjoner av metaller i vann angitt for de enkelte eksponeringsperiodene innen perioden juni-september. Datagrunnlaget i bekken fra Bestemorenga er dårlig da lokal prøvetaker bare sendte en prøveserie. Bekken som drenerer banene på Heggemoen ble undersøkt ved befaringen i juni, men den videre prøvetakningen ble ikke fulgt opp av lokal prøvetaker.

#### Resultater og konklusjon

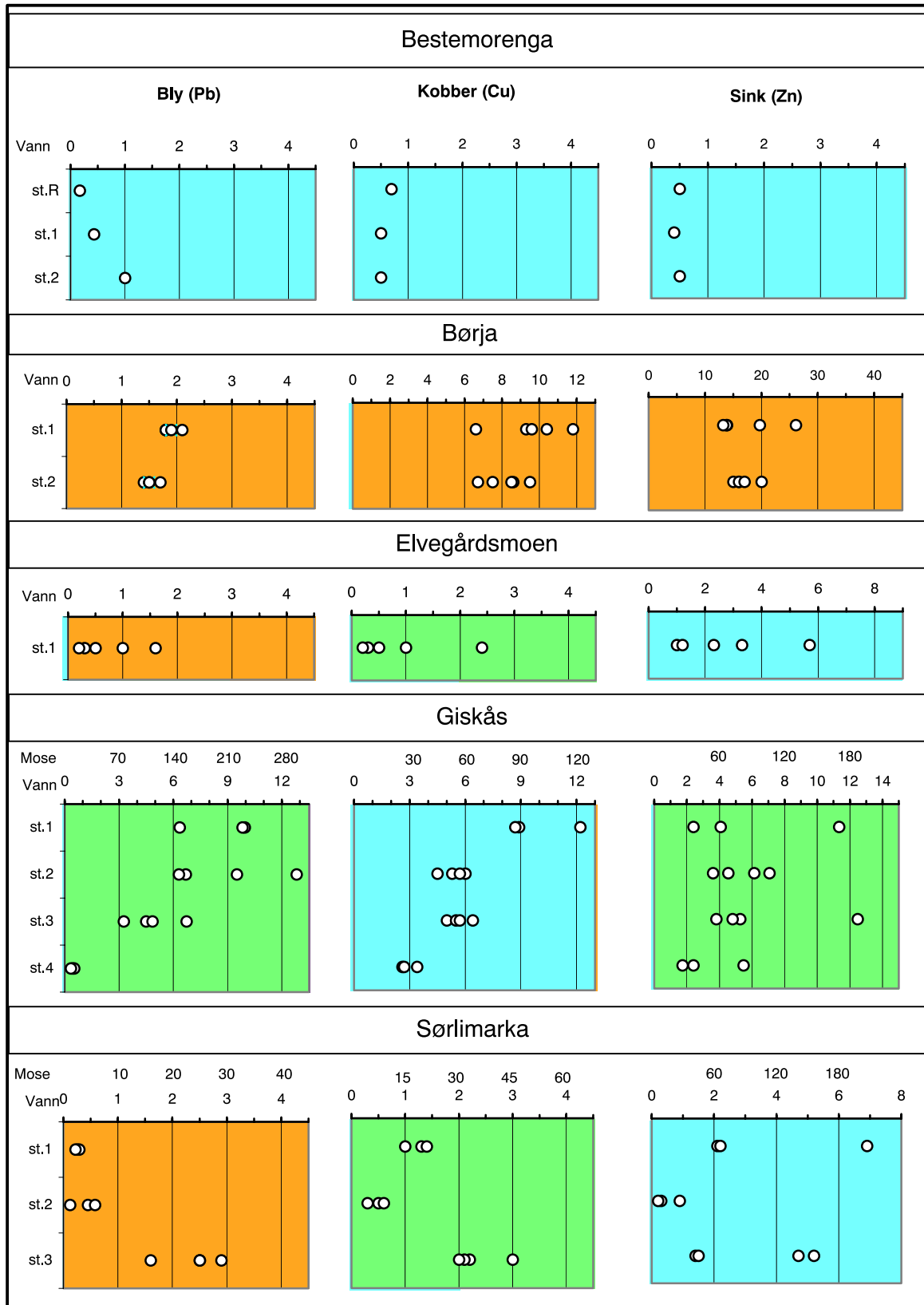
Forurensningsgraden av metaller var størst i bekkene som drenerer banene i Giskås skytefelt. Vannkvaliteten kan beskrives som nokså dårlig til dårlig i bekkene som drenerer de nordligste banene, mens vannkvaliteten var god i bekken som drenerer banene ved Nordmoen. Skytefeltet inneholder mye myr som fører til høye konsentrasjoner av humusstoffer i bekkene (Rognerud 1993 og Fig.19). Dette er en viktig grunn til at metaller fra korrosjonen av prosjektilrester setter sitt preg på vannkvaliteten i bekkene. Tiltak bør vurderes f.eks først ved å hindre direkte avrenning til bekk.

Nysætertjernene i Børja skytefelt hadde en vannkvalitet som kan beskrives som mindre god til nokså dårlig. Skogsjøer i denne regionen har ofte relativt høye konsentrasjoner av metaller på grunn av atmosfæriske avsetninger, høyt humusinnhold og lave pH-verdier. Forholdet mellom konsentrasjonene av metallene i Nysætertjernene indikerer likevel at korrosjon av deponerte prosjektilrester er en kilde til de konsentrasjoner som observeres (Fig.21 og 22). Tiltak er ikke nødvendig.

Bekkene som drenerer banene på Elvegårdsmoen og i Sørlimarka var lite forurenset og vannkvaliteten kan beskrives som god til mindre god. Tiltak er ikke nødvendig. Analysene fra bekken som drenerer banene på Bestemorenga indikerte små problemer med vannforurensning, men datagrunnlaget er dårlig. Konsentrasjonen av bly økte noe i bekken på vei gjennom feltet, antagelig som følge av korroderte prosjektiler, men konsentrasjonen var likevel lav. Den ene prøveserien fra bekken som drenerer banene på Heggemoen skytefelt viste at vannet var surt (pH = 5,5) og noe humuspåvirket (TOC = 2,1 mgC/l) som følge av at nedbørfelt består av gneiser og har et betydelig innslag av myr. Konsentrasjonene av bly, kobber, sink og antimon var henholdsvis 8,6 µg/l, 13,5 µg/l, 17,3 µg/l og 0,37 µg/l. Dette er relativt høye verdier og feltet bør følges opp med systematiske målinger.



Figur 14. Oversikt over stasjonslokalisering



Figur 15. Konsentrasjoner av metaller i vann og mose for de nye feltene

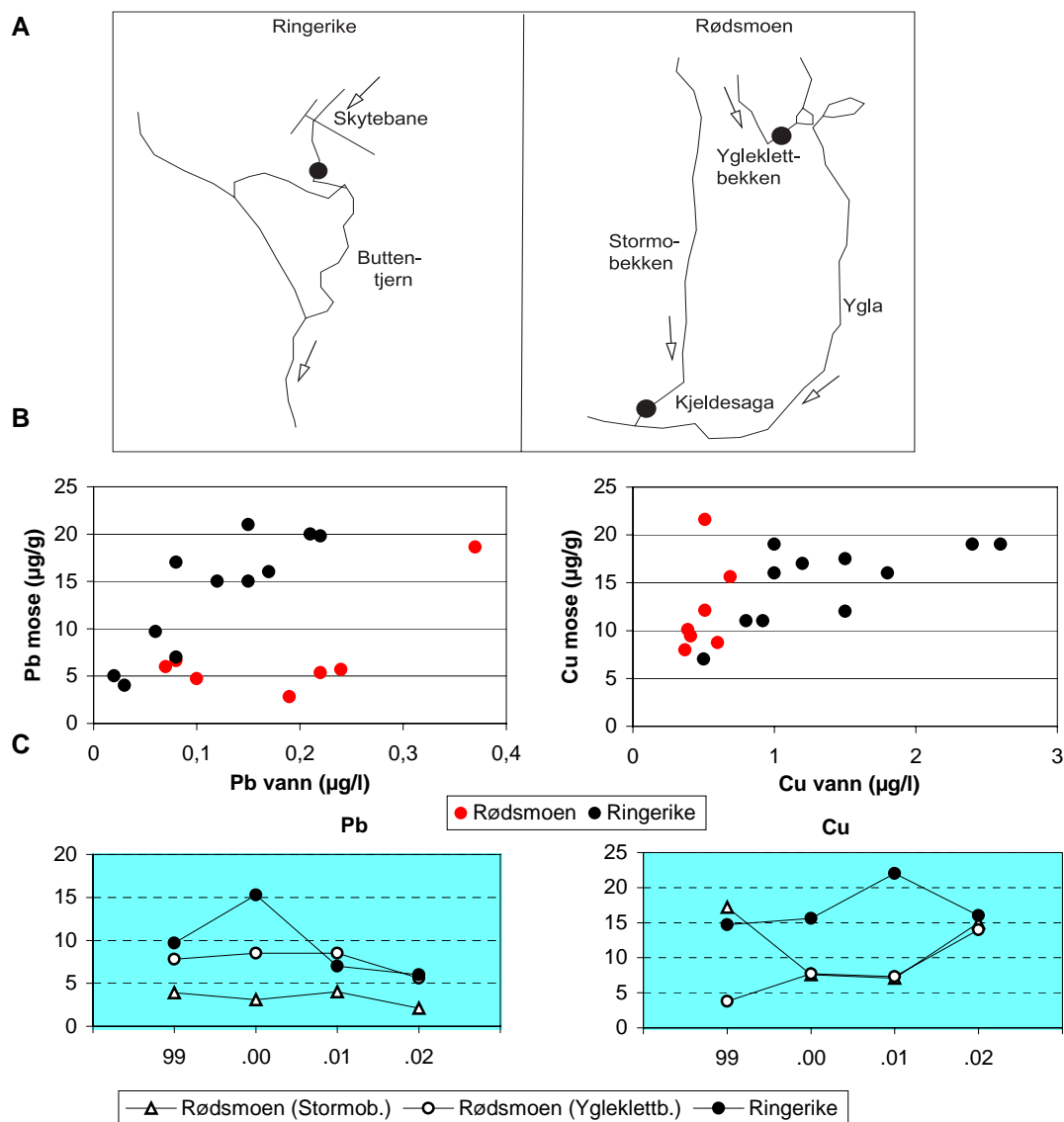
### 3.12 Ringerike og Rødsmoen skyte- og øvningsfelter.

#### Innledning

Disse feltene er nylig etablert, og målingene tar sikte på å følge med utviklingen i metallkonsentrasjonene i bekkene som avvanner de mest belastede områdene av feltene. På Ringerike innebærer dette målinger i bekken som drenerer kuleinnslaget fra 200 m banene (Fig.16A), mens på Rødsmoen måles konsentrasjonene i Ygleklettbecken (drenerer geværskytebanene) og Stormobekken (drenerer kulvertinnslaget for skyting med stridsvogn). Rødsmoen skytefelt er på 37 000 dekar. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av bly og kobber i mose og vann er vist i Fig. 16B.

#### Resultater og konklusjon

Konsentrasjonene var lave og på nivå med det som tidligere er registrert som bakgrunnsnivå for de feltene (Fig.16B). Variasjonene i konsentrasjonene var ikke større enn det en må forvente ut fra naturlige årsaker som varierende vannføring og humusinnhold i bekkene (Fig.16C) Det er ikke påvist forurensninger av metaller fra de nyetablerte feltene i de 4 årene overvåkingen har pågått.



**Figur 16.** A. Prøvetakningstasjoner i Ringerike og Rødsmoen skytefelter. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Konsentrasjoner (µg/g tørrvekt) av kobber og bly i mose gitt som årlige aritmetiske middeler for overvåkningsperioden

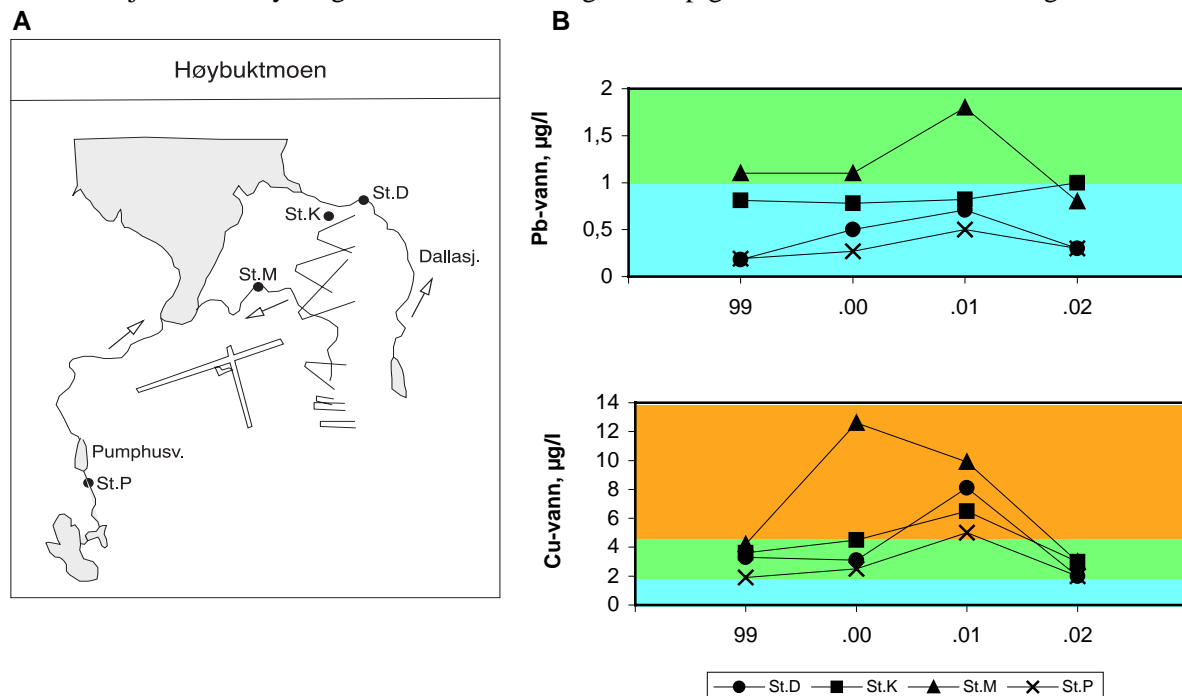
### 3.13 Høybuktaen

#### Innledning

Høybuktaen var bygget opp av tyske okkupasjonsstyrker som et tungt baseområde for deres angrep mot Murmansk. Området ble fullstendig ødelagt ved tilbaketrekkingen i 1944. Etablisementet for Garnisonen i Sør-Varanger (GSV) ble etablert i første byggefase 1950-56, men er senere bygget ut i etapper fram til nåværende status. I dag omfatter skytefeltene i alt 105 000 dekar, og er delt i et østre og et vestre felt. Skytebanene i det østre feltet er flyttet til Dallasjavri's nedbørfelt øst for de nåværende baner. GSV utgjør idag en redusert infanteribataljon med et grensekompani forlagt langs den felles norsk-russiske grense. Lokale mosebestander finnes kun i Dallasjavri og for å forenkle feltarbeidet er undersøkelsen siden 2001 basert på analyser av vannprøver innsamlet 3-4 ganger fra hver stasjon i perioden juni-oktober. For sammenliknings skyld er konsentrasjonene av metaller i vann for 1999 og 2000 estimert ut fra lokale regresjoner mellom konsentrasjoner i utplasserte moser og i vann (se Rognerud 2001). I 2002 er resultatene basert på både vannprøver (innsamlet lokalt av Jan Persen) og estimerte vannkonsentrasjoner basert på moseprøver innsendt av Curt Dahle. Lokaliseringen av de fire målestasjonene er vist i Fig. 17A.

#### Resultater og konklusjon

Konsentrasjonene av bly og kobber har vært høyest i bekken som drenerer feltskytebanen (st.M) i alle år unntatt i 2002 hvor konsentrasjonene sank til samme nivå som ved st.K. Situasjonen i 2002 kan skyldes den tørre sommeren med liten utlekking av metaller. Siden 1999 har konsentrasjonene av bly vært lave i Dallsjavri og i innløpsbekken til Pumphusvatn, men noe høyere fra baneanleggene nordøst for flyplassen (st.M og K, Fig.17B). Konsentrasjonene av kobber har hovedsaklig ligget innenfor intervallet 2 til 10  $\mu\text{g/l}$ . Atmosfæriske avsetninger forårsaket av russisk gruveindustri i grenseområdene bidrar til kobberkonsentrasjoner opp mot 2  $\mu\text{g/l}$  i regionenes sjøer (Traaen et al. 1994). På bakgrunn av dette er det rimelig å anta at bekkene fra baneanleggene nordøst for flyplassen er noe forurenset av metaller fra korroderte prosjektiler, mens bekken fra østre felt og de nye banene i ved Dallasjavri er ubetydelig forurenset. Det trengs foreløpig ikke tiltak mot forurensninger.



**Figur 17.** Prøvetakningstasjoner i Høybuktaen skytefelt. B. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/l}$ ) av kobber og bly i vann gitt som årlige aritmetiske middel på hver stasjon ( $n = 4$ ). Vannkonsentrasjoner i 1999 og 2000 er estimert ut fra regresjoner mellom konsentrasjoner i vann og mose fra de ulike stasjoner (Rognerud 2001).

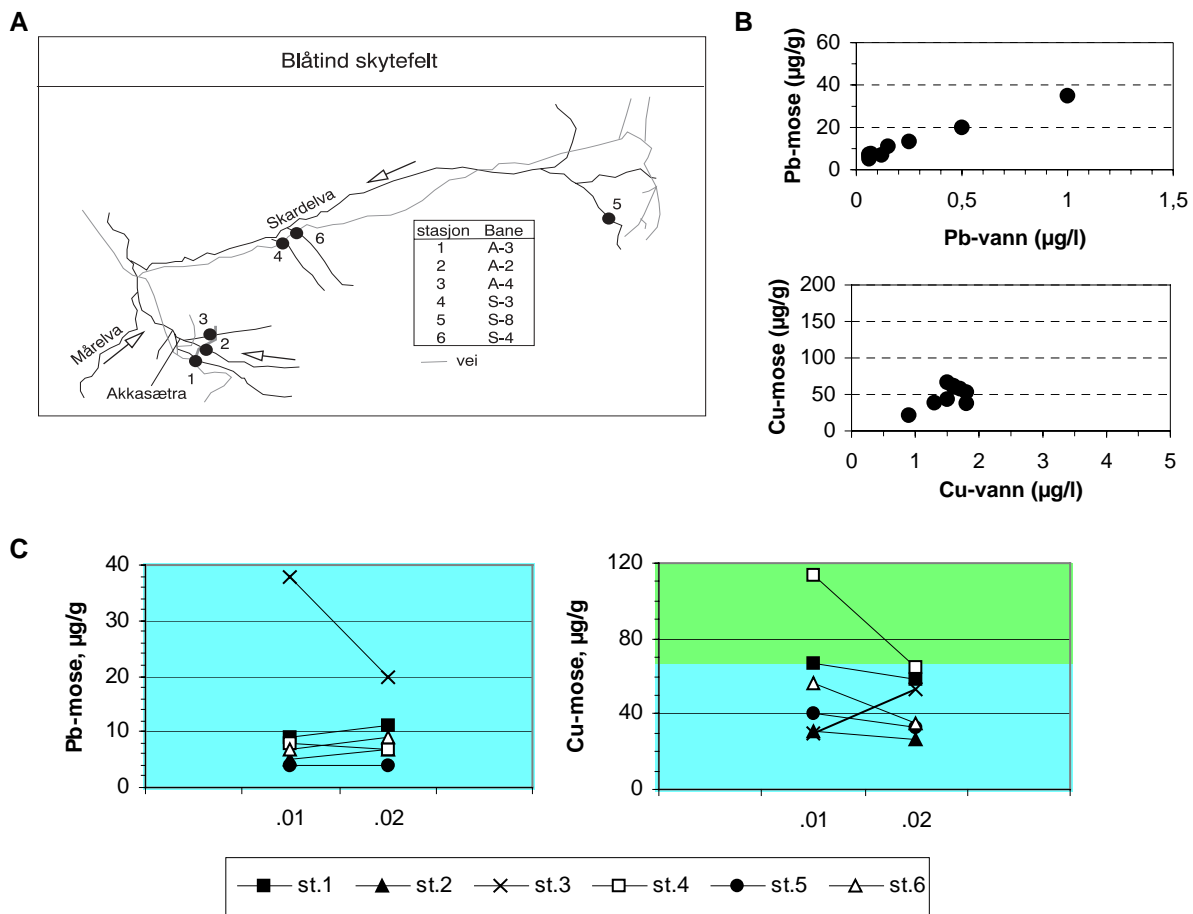
### 3.14 Blåtind

#### Innledning

Blåtind skyte- og øvningsfelt er på 140 km<sup>2</sup>, med grovt sett like store deler i Målselv og Balsfjord kommuner. Feltet har vært i bruk siden midten av 1950-tallet. Skytebaner og faste anlegg for øvelse er konsentrert rundt Akkasæter-Skarddalen. Det skytes med alle typer håndvåpen, infanteriets tyngre støttevåpen samt feltartilleri, stridsvogner og stormpanservogner. Skyteanlegget brukes til daglige felttjenesteøvelser av avdelinger opp til kompaninivå, dvs 150 - 250 mann og opp mot 50 kjøretøyer av ulike typer. Feltet ble befart i 2001 og 6 stasjoner ble opprettet i bekker som drenerer de viktigste baneanleggene (Fig. 18A). Bekkene er lite humuspåvirket og har svakt basisk vann.

#### Resultater og konklusjon

Sammenhengen mellom metallkonsentrasjoner i vann og mose var god (Fig.18B), og den stemmer svært godt overens med tilsvarende korrelasjoner fra Sætermoen, Mauken og Porsangmoen. Dette skyldes høyst sannsynlig en relativt lik vannkvalitet (nær nøytral pH, og lave konsentrasjoner av løst organisk stoff). Konsentrasjoner av bly var lave ved alle stasjoner med unntak av st.3 (bane A-4) og lave til middels høye for kobber (Fig.18C). Ut fra Fig.18B kan blykonsentrasjonene i vann estimeres til 0,05 til 0,3 µg/l på alle stasjonene unntatt st. 3 der de var høyere (0,5 til 1 µg/l). Konsentrasjonene av kobber varierte fra 1 til 2 µg/l med de høyeste verdiene på st.4 (bane S-3). Generelt kan vannkvaliteten karakteriseres som god, men for bekkene som drenerer banene A-4 og A-3 var den nær grensa for nokså dårlig vannkvalitet. Det er foreløpig ikke behov for tiltak mot forurensning.



**Figur 18.** A. Prøvetakningsstasjoner i Blåtindfeltet. B. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose. C. Middelkonsentrasjonene av bly og kobber i vannmoser eksponert i perioden (juni - oktober).

### 3.15 Halkavarre skytefelt og Kvenvikmoen

#### Innledning

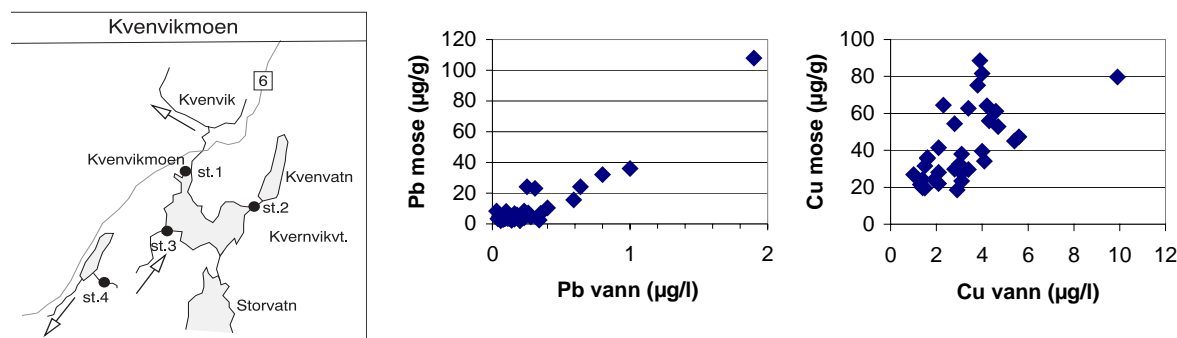
Kvenvikmoen (11700 dekar) er et nærøvingsfelt for Heimevernet. Feltet ligger nær Alta og benyttes til øving av lettere våpen. Det vil i hovedsak si ulike feltskytebaner og skoleskytebaner. De viktigste banene dreneres av 4 bekker der prøvene er samlet inn (Fig.19). Halkavarre og Porsangmoen skytefelt er samlet landets største skytefelt. Halkavarre benyttes til tyngre våpen (kavaleri og artilleri) og av flyvåpenet. Den mest brukte delen av feltet dreneres av Gaggajokka hvor prøvene er tatt der elva renner ut av skytefeltet (UTM 77605, 4327, Sone 35W).

#### Resultater og konklusjon

Konsentrasjoner av bly og kobber i vannmoser har vært undersøkt i Kvenvikmoens bekker siden 1998 og i Gaggajokka siden 2000 (Tab.5). Sammenhengen mellom konsentrasjoner av metaller i vann og mose er basert på analyser i Gaggajokka, Kvenvikmoens bekker og Porsangmoens bekker. Dette er gjort fordi vannkvaliteten er relativt lik (lite humus, svakt basisk vann) og derfor også sammenhengen mellom konsentrasjoner i mose og vann. Vi har tatt med resultatene fra Porsangmoen for å vise sammenhengen over et større konsentrasjonsområde enn det vi finner i Gaggajokka og på Kvenvikmoen. På bakgrunn av resultatene gitt i Tab.5 og regresjonene mellom konsentrasjonene i mose og vann er det klart at konsentrasjoner av bly og kobber i snitt var lavere enn henholdsvis 1 µg/l og 2 µg/l i bekkene på Kvenvikmoen og i Gaggajokka (Fig.19). I 2000 ble også antimon (Sb) analysert i moseprøvene, men alle analyseverdiene var lavere enn 0,2 µg/g tørrvekt som var grensa for sikre analyser. Vannkvaliteten med hensyn på metaller kan derfor karakteriseres som god og utlekking av metaller fra korroderte prosjektiler var liten. Det er ikke behov for tiltak i disse feltene.

**Tabell 5.** Middelkonsentrasjoner (µg/g t.v) av bly (Pb) og kobber (Cu) i vannmoser basert på 3 høstinger i perioden juni-oktober.

Skytefelt	Stasjon	1998		2000		2001		2002	
		Pb	Cu	Pb	Cu	Pb	Cu	Pb	Cu
Halkavarre	Gaggajokka	-	-	1,2	14	0,7	13	0,8	15
Kvenvikmoen	1	5,0	23	2,3	18	1,7	19	2,70	41
	2	3,5	25	1,5	14	0,5	10	0,8	29
	3	5,0	41	1,9	13	0,6	17	0,9	42
	4	2,1	17	-	-	2,2	12	6,2	33

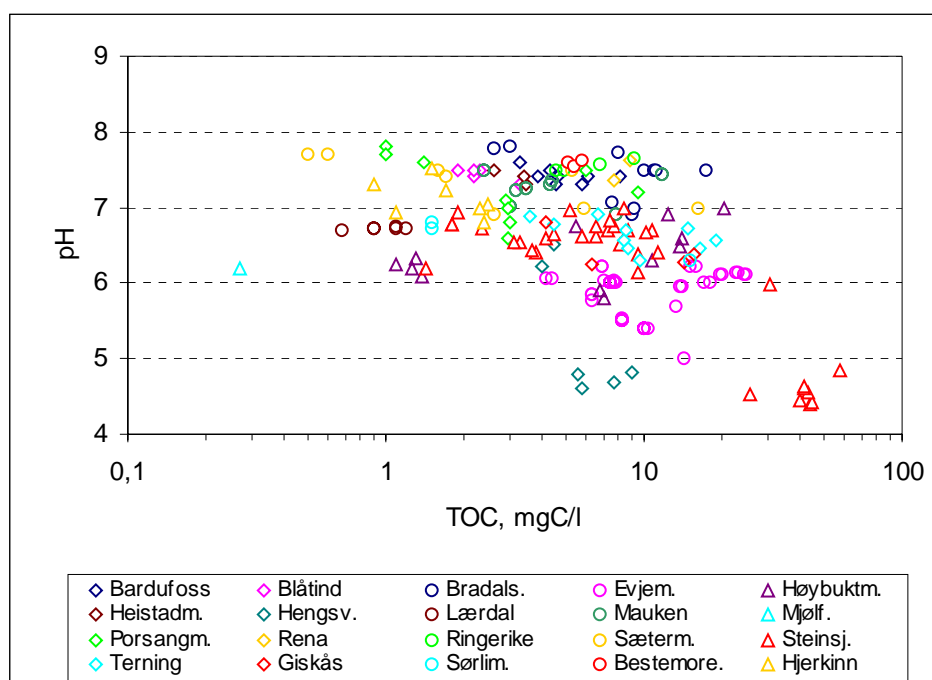


**Figur 19.** Prøvetakningsstasjoner på Kvenvikmoen og sammenhengen mellom konsentrasjoner av både kobber og bly i vann og mose.

## 4. Resultater for feltene samlet sett.

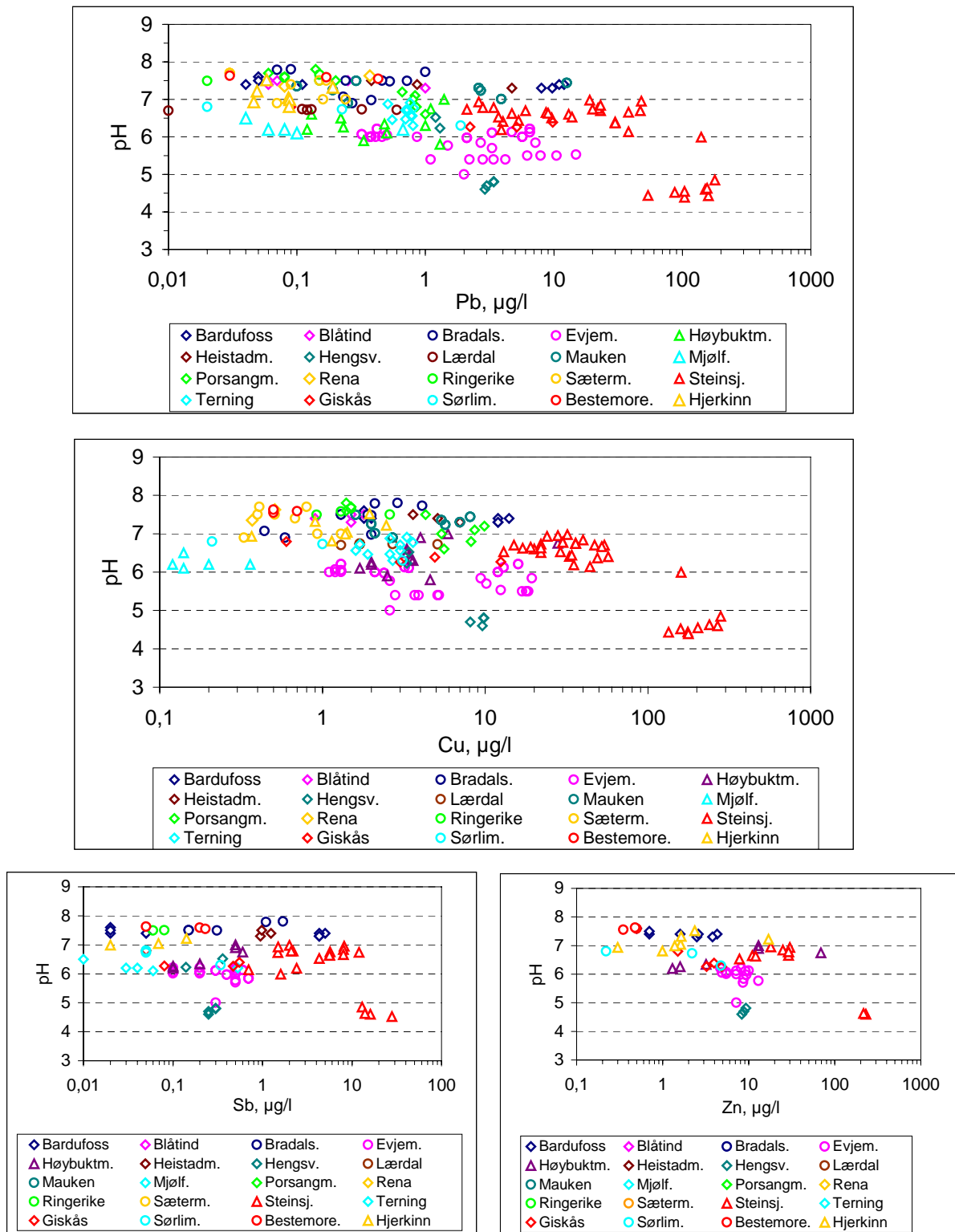
### 4.1 Konsentrasjoner av metaller og vannkvalitet.

Korrosjonshastighet og utløsning av metaller fra deponerte prosjektiler er prosesser som er avhengig av det kjemiske miljøet i markvannet rundt prosjektilrestene. Generelt sett øker korrosjonshastigheten og lekkasjen av metaller fra deponiene når markvannet blir surere. Metallene bindes ofte til jern/humusforbindelser på deponistedet, men transporteres ut i bekkene når humus brytes ned til løste humussyrer (Rognerud og Bækken 2002). De aller fleste bekkene fra skytefeltene hadde pH verdier i intervallet 6 - 7,5, men enkelte bekker på Steinsjøfeltet, Hengsvatn, Evjemoen og Høybuktnmoen var betydelig surere (Fig. 20). Det var også en tendens til at de sureste bekkene var mest humuspåvirket (hadde de høyeste TOC-verdiene), noe som kan skyldes at en del av humussyrene er protonisert og bidrar til en pH senkning (Lydersen et al. 2002). Mengden deponerte prosjektiler er forskjellig i de ulike bekkenes nedbørfelter og fortynningseffekten fra upåvirkede områder varierer. Likevel var det en generell tendens til at konsentrasjonene av bly (Pb), kobber (Cu), og sink (Zn) økte med synkende pH-verdier (Fig.21). Dette er rimelig da Pb, Cu og Zn oftest forekommer som 2 verdige kationer i vann og andelen frie ioner (andelen som ikke er kompleksbundet) øker når pH synker. Det var ingen slik sammenheng for antimon (Sb) noe som kan ha sammenheng med at dette metalloidet også forekommer som anioner ( $\text{Sb}(\text{OH})_4^-$ ) i naturlig vann (Leyva et al. 2001) og har en viss mobilitet også i nøytralt til basisk miljø (Salomons and Förstner 1984).



**Figur 20.** Sammenhengen mellom pH og humuspåvirkningen målt som total organisk karbon (TOC) i skytefeltenes bekker.

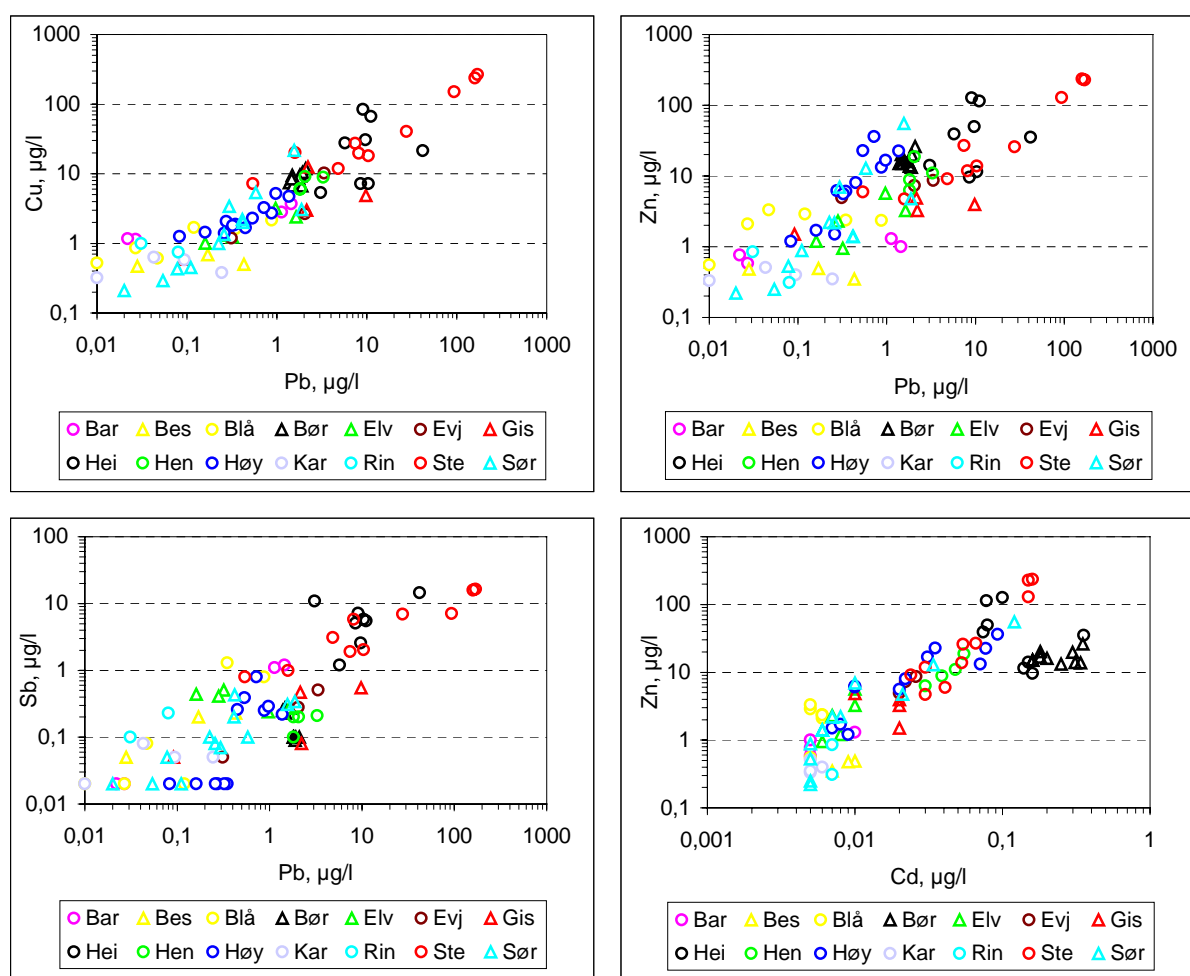




Figur 21. Sammenhengen mellom konsentrasjoner av metaller og pH i skytefeltenes bekker.

## 4.2 Metaller i bekkene fra skytefelt i 2002

I 2002 ble konsentrasjonene av Pb, Cu, Sb, Zn og Cd undersøkt i bekkene som drenerer feltene som ble undersøkt første gang dette året. I tillegg ble det også gjort målinger i en del av feltene som har vært undersøkt tidligere. Resultatene er vist i Fig. 22. Forholdet mellom metallene var nær de samme som vi har funnet tidligere i bekker som drenerer skytefelt (Rognerud og Bækken 2002). Forholdet mellom Zn og Cd i innsjøene i Børja skytefelt og i en av sidebekkene på Heistadmoen var imidlertid betydelig lavere enn de andre. Dette indikerer at også korrosjon av andre metaller fra andre kilder enn bare prosjektiler fra håndvåpen kan bidra til de observerte konsentrasjonene. Det var bekkene i Giskås, en bekk i Sørlimarka (st.3) og Sætertjernene i Børjafeltet som hadde de høyeste metallkonsentrasjonene i de nye feltene. Verdiene var likevel ikke så høye som i enkelte av bekkene i Steinsjøfeltet, Hengsvatn og Heistadmoen.



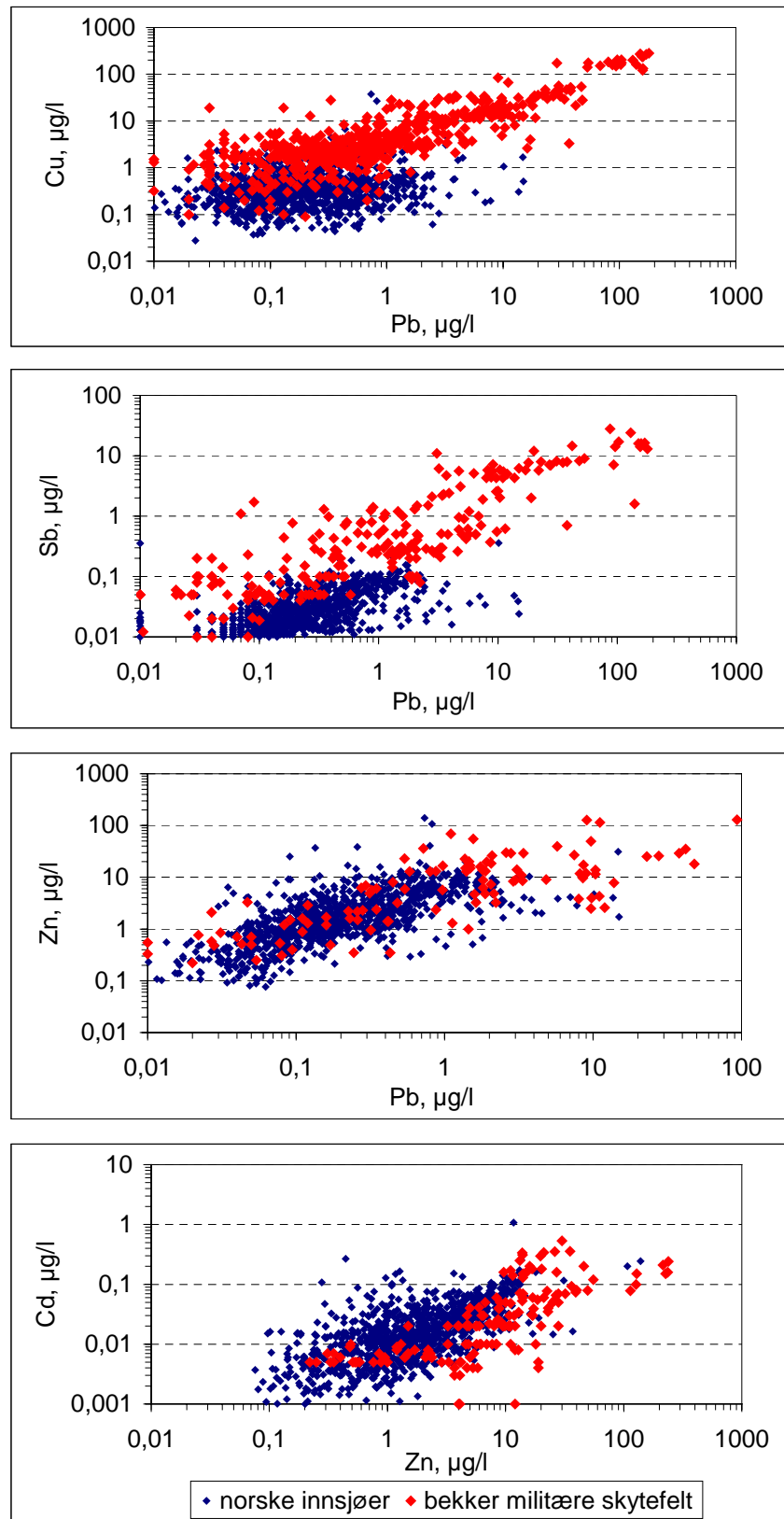
**Figur 22.** Forholdet mellom konsentrasjonene av bly (Pb) og kobber (Cu), antimon (Sb) og sink (Zn) samt kadmium (Cd) og sink (Zn) i bekker som drenerer de nye skytefeltene som ble undersøkt i 2002, samt enkelte av de andre som har vært undersøkt i flere år. De nye feltene Bestemorenga (Bes), Børja (Bør), Elvegårdsmoen (Elv), Giskås (Gis) og Sørlimarka (Sør) er markert med trekant, de gamle feltene Bardufoss (Bar), Blåtind (Blå), Evjemoen (Evj), Heistadmoen (Hei), Hengsvatn (Hen), Karlstadsbogen (Kar), Ringerike (Rin) og Steinsjøen (Ste) med sirkel.

### 4.3 Sammenlikning av metallkonsentrasjoner i bekker fra skytefelt og fra norske innsjøer.

Av tungmetaller som deponeres i skytefeltene dominerer bly kobber, antimon og sink. Korrosjonen av prosjektilene fører til endringer i metallkonsentrasjonene i bekken og til endringer i forholdet mellom metallene. Forholdet mellom konsentrasjonene av metallene i skytefeltsbekkene og norske innsjøer er noe forskjellig (Fig.23). Denne illustrasjonen er basert på resultatene fra metallanalyser i 1000 norske innsjøer innsamlet høsten 1995 (Skjelkvåle et al. 1999) og alle metallanalyser fra bekker innen militære skytefelt innsamlet siden 1996 (Rognerud og Bækken 2002). Den største forurensningsgraden har vært knyttet til bly og kobber. Derfor er det langt flere data for disse enn for de andre metallene.

Bekkene fra skytefeltene har en egen "metallsignatur" som er bestemt av forholdet mellom metallkonsentrasjonene i utsiget fra deponiene. Signaturen påvirkes lite ved tilførsel av vann fra områder uten deponier. Vi har følgende hovedpoenger (Fig 23):

- Det var ingen sammenheng mellom konsentrasjonene av bly og kobber i norske innsjøer, mens det var en klar sammenheng i bekkene fra skytefeltene. Mangel på samvariasjon for innsjøene skyldes bl.a. at atmosfæriske avsetninger av blyforurensninger er en viktig kilde for innsjøens blykonsentrasjoner, mens for kobber er geokjemiske kilder helt dominerende (Skjelkvåle et al. 1999). Forholdet mellom konsentrasjonene av kobber og bly var generelt høyere i bekkene enn i innsjøene, og totalt var henholdsvis 90% og 40% av verdiene høyere i bekkene enn de høyeste i innsjøene. Dette viser at korrosjon av prosjektilene preget vannkvaliteten i bekkene (også ved lave konsentrasjoner for kobber). Det er verd å merke seg at konsentrasjonene av bly generelt var lavere enn for kobber i bekkene til tross for at årlige deponerte mengder av bly er dobbelt så store som kobber. Dette kan skyldes en lavere korrosjonshastighet av prosjektilenes blykjerner i forhold til kobberkappene, men også at korrosjonsproduktene av bly bindes mer effektivt i jordsmonnet.
- Det var ingen sammenheng mellom konsentrasjonene av bly og antimon i norske innsjøer, mens det var en klar sammenheng i bekkene fra skytefeltene. Mangel på samvariasjon for innsjøene skyldes at atmosfæriske avsetninger av blyforurensninger er en viktig kilde for innsjøens blykonsentrasjoner, mens geokjemiske kilder er dominerende for antimon. Deponerte mengder antimon var bare 10% av mengdene deponert bly i feltene. Likevel var forholdet mellom antimon og bly i bekkene høyere enn i innsjøene over hele konsentrasjonsområdet. Dette viser at selv en beskjeden utlekking av antimon ved korrosjon av prosjektilene kan spores i bekkene, vesentlig fordi naturlige konsentrasjoner er svært lave. Nær 90% av antimonverdiene var høyere i bekkene enn de høyeste som ble observert i norske innsjøer.
- Det var positiv sammenheng mellom konsentrasjonene av bly og sink både i norske innsjøer og i bekkene fra skytefeltene. Samvariasjonen i innsjøene skyldes at atmosfæriske avsetninger av bly- og sink-forurensninger er en viktig kilde for innsjøens konsentrasjoner. Zn løses også ut fra jordsmonnet ved tilførsel av surt vann, og lave pH-verdier er langt vanligere i områder med høye atmosfæriske avsetninger av metaller (Skjelkvåle et al. 1999). I innsjøene var konsentrasjonene av sink generelt 10 ganger høyere enn bly. Dette skyldes blant annet at konsentrasjonene av sink er 5-10 ganger høyere enn bly i naturen (Rognerud og Fjeld 2001). Forholdet mellom bly og sink var nær det samme i innsjøene og bekkene og maksimale nivåene av sink var også nær de samme. Deponiene av sink i feltene er bare ca. 5 % av blydeponiene. Dette indikerer at naturlige kilder antagelig er viktigst for de observerte Zn konsentrasjoner i de aller fleste feltene.
- Det var en god sammenheng mellom konsentrasjonene av sink og kadmium i innsjøene, vesentlig fordi de er nær beslektet grunnstoffer som mobiliseres ved forurning og har atmosfæriske avsetninger av forurensninger som en kilde. Forholdet mellom sink og kadmium i bekkene var høyere enn i innsjøene, men de høyeste kadmium verdiene var ikke særlig høyere enn de høyeste verdiene i innsjøene. Dette viser at bekkene var forurenset av sink men ubetydelig av kadmium.



**Figur 23.** Sammenhengen mellom bly (Pb) og kobber (Cu), antimon (Sb), sink (Zn), samt Zn og kadmium (Cd) i 1000 norske innsjøer (Skjelkvåle et. al. 1999) og i bekker som drenerer militære skytefelt (1996-2002).