

# SFTs skytebaneprojekt

## Avrenning av metaller fra tre geværskytebaner



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel SFTs skytebaneprosjekt.  Avrenning av metaller fra tre geværskytebaner	Løpenr. (for bestilling) 5870-2009	Dato 01.12.09
	Prosjektnr. Undernr. 27414	Sider Pris 26
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Østlandet	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens Forurensningstilsyn (SFT)	Oppdragsreferanse Karl S. Norbraathen
---	--

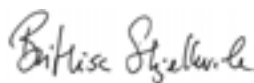
**Sammendrag**

Geværskyting fører til deponering av prosjektiler (kuler) som består av en mantel (kappe) av kobber og sink, og en kjerne av bly og antimon. I Norge foregår nesten all konkurranseskyting i 920 skytterlag som er organisert i DFS (Det frivillige skyttervesen). DFS oppgir et årlig forbruk (2004) på ca 40 tonn bly, 15 tonn kobber, 1,7 tonn sink og 1,2 tonn antimon. Prosjekttilene blir i all hovedsak deponert i kulefangervoller bak skiveanleggene. Vi har målt vannføring, metallkonsentrasjoner, pH og TOC i bekker som avvanner tre skytebaner. Ut fra dette er årstransporten av metaller i bekker beregnet. Det unike bidraget fra korroderte kulerester er beregnet som en differanse mellom total årstransport og estimert bakgrunnstransport (metaller fra grunnen og atmosfæriske forurensninger). Det lakk ut nær 0,3 kg kobber (Cu), 0,3 – 0,8 kg bly (Pb), 0,06 – 0,12 kg antimon (Sb) og 0,3 – 0,5 kg sink (Zn) som følge av korrosjon av deponerte prosjektiler i de tre undersøkte skytebanene. Dette er mindre enn 1 % av årsforbruket av bly og kobber og 1-7 % av årsforbruket av antimon og sink. Årlig utlekking samlet for alle skytebanene i regi DFS er beregnet til ca. 150 kg bly, 70 kg kobber, 20 kg antimon og 100 kg sink.

Fire norske emneord 1. Skytebaner 2. Vannføringsmålinger 3. Metallkonsentrasjoner 4. Årlig utlekking av metaller	Fire engelske emneord 1. Rifle shooting ranges 2. Water flow measurements 3. Metal concentrations 4. Annual transport of metals
--	---



*Sigurd Rognerud*  
Prosjektleder



*Brit Lisa Skjelkvåle*  
Forskningsleder



*Reiner G. Lichtenthaler*  
seniorforsker

SFTs skytebaneprosjekt

**Avrenning av metaller fra geværskytebaner**

Utlekking av bly, kobber, antimon og sink fra tre skytebaner tilhørende skytterlag som er organisert i DFS (Det Frivillige Skyttervesen)

## Forord

Denne rapporten omhandler konsentrasjoner og årstransport av metaller fra geværskyttebaner på Årvoll (Oslo), Styrvoll (Vestfold) og i Jondalen (Buskerud). Skytebanene tilhører henholdsvis Oslo Østre Skytterlag, Styrvoll skytterlag og Jondalen skytterlag som alle er organisert i Det Frivillige Skyttervesen (DFS). Statens Forurensningstilsyn (SFT) har finansiert undersøkelsen.

Undersøkelsen ble gjennomført i perioden 25. mai 2008 til 24. mai 2009. Lokale prøvetakere fra skytterlagene har samlet inn prøver gjennom hele perioden, mens NIVA har tatt prøver samtidig med ettersyn av vannføringsmålerne. Det ble logget vannføringsmålinger hver time gjennom hele perioden. Vannprøver ble samlet inn en gang i uken som hovedregel, men sjeldnere i perioder med lav vannføring og hyppigere i perioder med høy vannføring. Det ble analysert på bly, kobber, sink og antimon som er metaller som utløses ved korrosjon av riflekuler. I tillegg ble pH og totalt organisk karbon (TOC) analysert. Det er godt kjent fra tidligere undersøkelser at disse variablene er viktige for korrosjonshastighet og utlekking av de aktuelle metallene. Vannføringen er målt med automatiske målestasjoner som logger data hver time.

Sigurd Rognerud har vært prosjektleder ved NIVA og Karl S. Norbraathen har vært kontaktperson i SFT. De lokale prøvetakerne har vært Asbjørn Mathisen (Jondalen), Bjørn Flaaten (Styrvoll) og Øivind Mørk (Årvoll). Gunnar Munkerud, som tidligere var ansatt i DFS, var en viktig støttespiller ved utvalget av baner. Grete Rasmussen i Forsvarsbygg har gitt verdifulle innspill til rapporten. Arne Veidel fra NIVA har betjent vannføringsmålerne og sørget for at logging av data har gått smertefritt. Alle som har bidratt til gjennomføringen av undersøkelsen og innspill til rapporten takkes for et meget godt samarbeid.

Ottestad, 20. november 2009



*Sigurd Rognerud*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Skytebanene</b>	<b>7</b>
2.1 Årvoll skytebane	8
2.2 Styrvoll skytebane	9
2.3 Jondalen skytebane	10
<b>3. Metoder</b>	<b>11</b>
3.1 Vannprøvene	11
3.2 Vannføringsmålinger	11
3.3 Metode for transportberegninger fra nedbørfeltene	12
3.4 Beregning av bakgrunnstransport av metaller	12
<b>4. Metaller i kuler og årlig forbruk</b>	<b>14</b>
<b>5. Resultater</b>	<b>15</b>
5.1 Konsentrasjon av TOC og pH i bekkene.	15
5.2 Sammenhengen mellom konsentrasjoner av pH, TOC og metaller	16
5.3 Sammenhengen mellom TOC og vannføring.	17
5.4 Metallkonsentrasjoner og vannføring	18
5.5 Beregninger av metallkonsentrasjoner mellom målingene	19
5.6 Variasjoner i døgntransporten av metaller fra nedbørfeltene	19
5.7 Årstransport av metaller fra kuledeponiene i felten	21
5.7.1 Middelkonsentrasjoner av metaller fra bakgrunnskilder (TB)	21
5.7.2 Årsregnskap for transport av metaller fra hele nedbørfeltet, bakgrunnskilder og skytebanenes kuledeponiene	22
5.7.3 Årlig utlekking av metaller i forhold til mengder deponert	23
<b>6. Konklusjon</b>	<b>25</b>
<b>7. Referanser</b>	<b>26</b>

---

## Sammendrag

Geværskyting fører til deponering av prosjektiler (kuler) som består av en mantel (kappe) av kobber og sink, og en kjerne av bly og antimon. I Norge foregår nesten all konkurranseskyting for tiden i 920 skytterlag som er organisert i Det frivillige Skyttervesen (DFS). DFS oppgir et årlig forbruk (2004) på ca 40 tonn bly, 15 tonn kobber, 1,7 tonn sink og 1,2 tonn antimon. Prosjektilene blir i all hovedsak deponert i kulefangervoller bak skiveanleggene. Der blir de utsatt for korrosjon som med tiden kan føre til at metaller lekker ut i grunnen og videre ut i vannveiene.

Undersøkelsen omhandler målinger av vannføring, konsentrasjoner av bly, kobber, antimon og sink, pH og totalt organisk karbon (TOC) i bekker som avvanner tre geværskyttebaner. Årlig vannføring viser at bekkene er det vi kan kalle middels store. Skytebanene som er undersøkt tilhører Oslo Østre skytterlag, Styrvoll skytterlag og Jondalen skytterlag. Alle lagene er organisert i det DFS og banene er lokalisert henholdsvis ved Årvoll i Oslo, Steinsholt i Lågendalen og i Jondalen vest-nordvest for Kongsberg. Surhetsgraden (pH) i bekkene varierte fra henholdsvis svakt basisk til nøytralt og surt, mens humuspåvirkningen økte i samme rekkefølge. På bakgrunn av overnevnte målinger er døgn- og årstransport av metaller beregnet for nedbørfeltene.

Hovedmålsetingen med prosjektet har vært å beregne årstransporten av metaller som lekker ut i bekkene fra skytebanene som følge av at prosjektilrestene korroderer. Disse resultatene sammen med informasjon om årlig forbruk av metaller i alle DFS organiserte skytterlag skal danne bakgrunn for beregninger av samlet årlig utlekking av metaller fra alle slike skytebaner i Norge.

Årstransport som kan tilskrives korroderte prosjektilrester er beregnet som en differanse mellom metalltransporten fra hele nedbørfeltet og transport av metaller fra andre kilder (bakgrunn). I perioden fra og med 25. mai 2008 til 25. mai 2009 lakk det ut nær 0,3 kg kobber (Cu), 0,3 – 0,8 kg bly (Pb), 0,06 – 0,12 kg antimon (Sb) og 0,3 – 0,5 kg sink (Zn) som følge av korrosjon av deponerte prosjektiler i de tre undersøkte skytebanene. Dette er mindre enn 1 % av årsforbruket av bly og kobber og 1-7 % av årsforbruket av antimon og sink. Dette stemmer godt overens med at bly og kobber bindes i langt større grad i jordsmonnet og kulefangervollene enn antimon og sink (Røgnerud 2005a, med litteraturgjennomgang).

For å beregne samlet årlig avrenning av metaller fra alle baner som brukes av DFS skyttere, har vi antatt at alle skytebanene har samme prosentvis avrenning av metaller i forhold til årlig forbruk som ved de tre undersøkte banene. Med dette utgangspunktet er det beregnet at det totalt lekker ca. 150 kg bly, 70 kg kobber, 20 kg antimon og 100 kg sink årlig fra skytebanene i regi DFS. Disse tallene viser størrelsesorden av utlekkingen, og estimatet er mest usikkert for sink grunnet høye bakgrunnsverdier. Dette betyr at 99 % av årsforbruket av bly og kobber forblir i kulefangervollene og at mengden i kulefangervollene hvert år øker med nær de mengder som brukes på banene.

# 1. Innledning

Geværskyting fører til deponering av prosjektiler (kuler) som består av en mantel (kappe) av kobber og sink, og en kjerne av bly og antimon. I Norge foregår nesten all konkurranseskyting for tiden i 920 skytterlag som er organisert i Det frivillige Skyttervesen (DFS). DFS har beregnet sitt årlige forbruk (2004) til ca 40 tonn bly, 15 tonn kobber, 1,7 tonn sink og 1,2 tonn antimon. Prosjektilene blir i all hovedsak deponert i kulefangervoller bak skiveanleggene. Der blir de utsatt for korrosjon som med tiden kan føre til at metaller lekker ut i grunnen og videre ut i vannveiene. Korrosjonshastigheten varierer betydelig avhengig av karakteren på løsavsetninger som vollene består av, deres kjemiske egenskaper, graden av mekaniske forstyrrelser og nedbørdsintensitet (Stømseng og Ljønes 2003, Rognerud 2005a). Kunnskapene om metall-konsentrasjoner i dammer, sig og bekker nær deponiene i sivile skytebaner har fram til nylig vært svært mangelfull i Norge.

På oppdrag av SFT har imidlertid NIVA i perioden 2005-2007 kartlagt hvilke konsentrasjoner av relevante metaller som er vanlig forekommene i vannforekomster nær skytebanevoller, og ved hagldeponier på lerduebaner i Norge. Den første delen ble gjennomført i 2005 og omhandlet konsentrasjoner av metaller i dammer, sig og bekker som drenerer skytevoller ved riflebaner og nedfallsområdet for hagl ved lerduebaner på Østlandet, Sørlandet og i Rogaland (Rognerud 2005b). Den andre omhandlet resultater av metallkonsentrasjoner i 100 prøver fra 81 stasjoner ved 50 skytebaner, lokalisert langs kysten fra Aust-Agder i sør til Troms i nord (Rognerud og Rustadbakken 2007). I begge disse undersøkelsene ble det rapportert stedvis høye konsentrasjoner av metaller på baneområdene, mens konsentrasjonene generelt var betydelig lavere utenfor baneområdet som følge av fortykning fra tilrennende bekker.

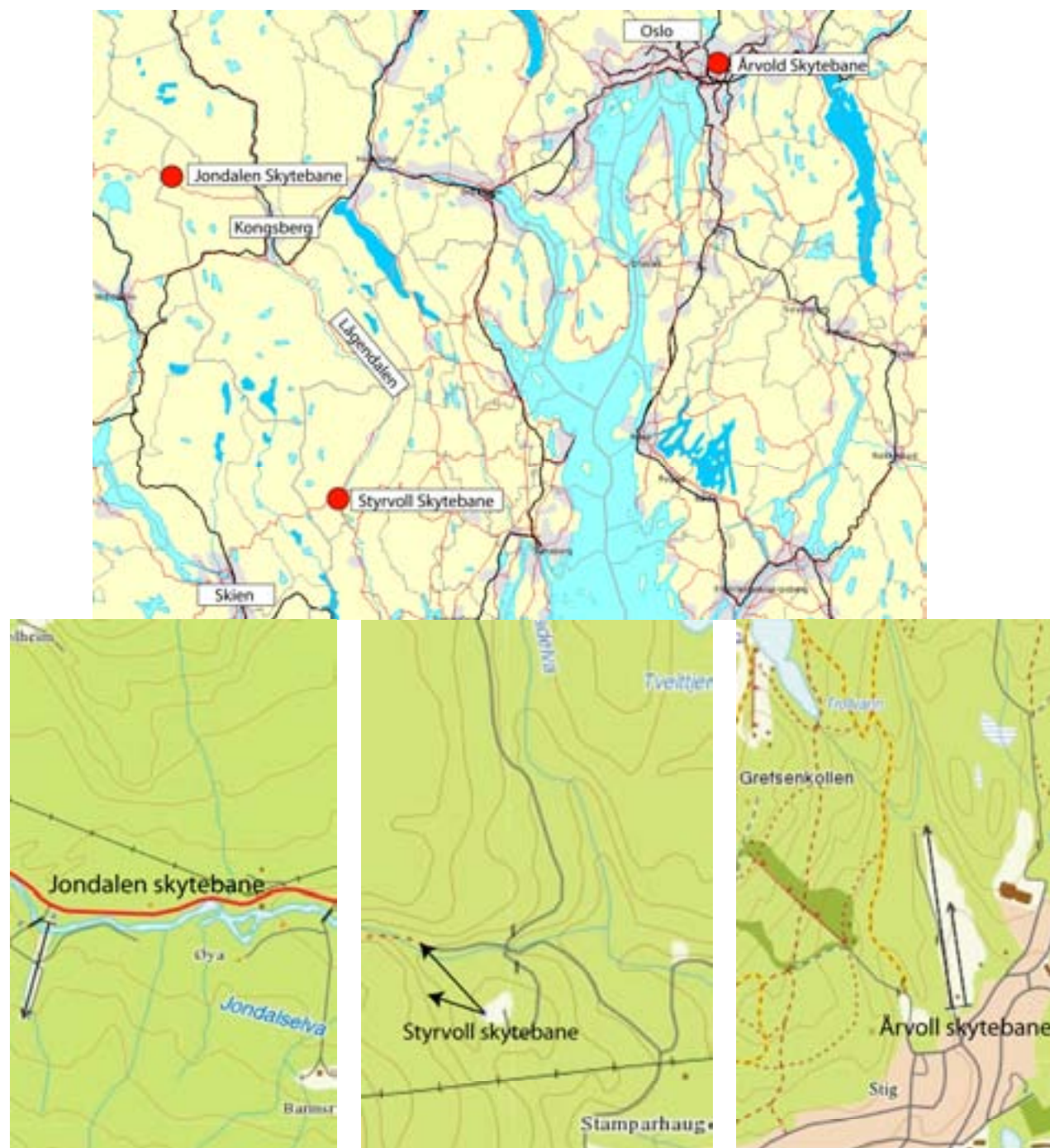
Basert på erfaringer og diskusjoner i etterkant av de to første undersøkelsene ønsket SFT at NIVA skulle gjøre målinger av vannføring og konsentrasjoner av aktuelle metaller i bekker som avvanner tre "typiske" geværskytebaner. Resultatene skulle danne bakgrunn for beregning av årlig avrenning av metaller fra disse banene og et estimat for metallutlekking fra alle norske skytebaner (SFT brev datert 2. april 2008). I Norge er det stor variasjon i nedbørmengder, vannkvalitet og naturtyper. Det kan derfor virke som en vanskelig oppgave å lage et godt estimat for årlig utlekking av metaller fra alle riflebaner i Norge. Våre beregninger kan likevel brukes for å angi størrelseorden av utlekkingen.

Transportberegninger innebærer hyppige målinger av vannføringer i bekker og konsentrasjonsmålinger av metaller. Dette krever tilsyn av dataloggere og dammer, hyppige prøveuttak av lokale prøvetakere og rutiner for forsendelse av prøver til laboratoriet. Av praktiske grunner ble derfor prosjektet lagt til Østlandsområdet. DFS kontaktet lokale skytterlag som var villig til å være med i prosjektet, og som også kunne bidra med lokale prøvetakere. På bakgrunn av befaringer og stikkprøver av vannkvalitet ble prosjektet lagt til Årvoll skytebane i Oslo, Styrvoll skytebane i Lågendalen og Jondalen skytebane nordvest for Kongsberg. Avrenningen fra disse feltene har en gradient fra hhv. basisk til surt vann, og moderat til høyt innhold av organisk materiale (TOC) i vannet. Alle banene er mye brukt, og variasjonen i vannkvaliteten gjør at resultatene kan være representative for mange skytebaner i landet.

Undersøkelsen omhandler målinger av vannføring, konsentrasjoner av bly, kobber, antimon og sink, pH og totalt organisk karbon (TOC) i bekker som avvanner tre geværskytebaner. På bakgrunn av målingene er døgn- og årstransport av metaller beregnet for nedbørfeltene. Differansen mellom disse målingene og transporten av metaller fra bakgrunnsilder (nedbør, geokjemi) gir estimater for årstransporten av metaller som følge av korrosjon av prosjektiler. Vi antar at de undersøkte banene er representative for mange av DFS sine 920 skytterlagsbaner. På bakgrunn av et samlet årsforbruk av metaller i skytterlagene og andelen årlig metallavrenning i forhold til årsforbruket i de tre undersøkte banene, er årlig lekkasje av metaller fra kulefangervoller i norske geværskytebaner estimert.

## 2. Skytebanene

Skytebanene som er undersøkt tilhører Oslo Østre Skytterlag, Styrvoll skytterlag og Jondalen skytterlag. Baneanleggene er lokalisert henholdsvis ved Årvoll i Oslo, Steinsholt i Lågendalen og i Jondalen vest-nordvest for Kongsberg (Fig.1). Baneanleggene har 100 m og 200 m og er utelukkende geværskytebaner. På Årvoll og i Jondalen ble det tidligere også skutt på lengre hold (300 m og 600 m).



**Figur 1.** Lokalisering av baneanleggene



## 2.1 Årvoll skytebane

Skytebanen er senket i terrenget og vender nordover (Fig.2). Baneområdet ligger nær marin grense, og løsavsetningen i området kan være preget av marin leire. På bakgrunn av berggrunnskart fra området antar vi at syenitt er dominerende bergart, men dette er usikkert da detaljeringsgraden er lav. Skytebanevollen består av løsmasser (finkornige) som er skjøvet opp i bakkant av skivene i forbindelse med senkingen av skytebanen som et ledd i støydempingen.



**Figur 2.** Årvoll skytebane. Øverst er anlegget sett fra vollen bak standplass med 200 m banen til venstre og 100 m til høyre. Nede til venstre ses bekken som avvanner kulefanget på 200 m og som renner ned i ei rist før standplass. Pilen markerer prøvepunktet. Derfra er den lagt i rør gjennom støyvollen i bakkant av standplass. Nede til høyre ses et nærbilde av bekken som er lagt i rør ved siden av kulefangervollen, men kulefanget dreneres i hovedsak av en liten bekk som kommer inn like etter rørmunningen.

## 2.2 Styrvoll skytebane

Styrvoll skytebane ligger i et skogsområde med et vekslende morenedekke (Fig.3). Berggrunnen består av rombeperfyrt, en lavabergart av permisk opprinnelse. Skytebanevollene består av lokale finkornige løsmasser.



**Figur 3.** Styrvoll skytebane med 100 m banen til venstre 200 m banen til høyre (øvre bildet). Dreneringen av feltet skjer via hovedbekken som kommer ned skaret bak 200 m skivene til høyre i øvre bildet og forsetter ut i nedre høyre bildekant. Bekken som drenerer 100 m vollen (nede til venstre) renner inn i hovedbekken oppstrøms målepunktet (nedre høyre bilde). Pilen viser retningen ned til måledammen hvor vi tok prøvene.

## 2.3 Jondalen skytebane

Jondalen skytebane ligger i et skogsområde med et vekslende morenedekke i ller og høydedrag (Fig.4). Langs elva finnes grus og sandforekomster. Generelt består berggrunnen av ulike grunnfjellsbergarter. Skytebanevollene er bygd opp av lokale løsavsetninger (grus og sand).



**Figur 4..** En oversikt over Jondalen skytebane. Det øverste bildet viser banen sett fra standplass med skiveanlegg ved 100 m og 200 m og Jondalselva i forkant. Bekken som er undersøkt renner igjennom baneområdet og svinger ned til venstre foran skiveanlegget på 100 m (bilde ned til venstre). Der renner en mindre bekk fra 100 m vollens baksida inn i hovedbekken (bilde ned til høyre). Etter dette er målestasjonen satt opp og deretter renner bekken ut i Jondalselva. Pilen viser retningen til måledammen (bak haugen) der prøvene ble tatt.

## 3. Metoder

### 3.1 Vannprøvene

Det ble som hovedregel samlet vannprøver ukentlig fra inntaksdammen til vannføringsmålerene unntatt i vinterhalvåret da prøveuttaket var sjeldnere. Det ble lagt vekt på å innhente vannprøver i flomperioder da disse er viktige for årstransporten av metaller fra feltene. Det ble samlet inn vann for pH og TOC analyser på egne flasker og for metaller på syrevaskede spesialflasker. Prøvene ble samlet inn i hovedsak av lokale prøvetakere, men prøver ble også tatt av NIVAs personale. Alle analysene ble utført på NIVAs akkrediterte laboratorium i Oslo. TOC og pH ble analysert henholdsvis etter metode G 4-2 og A-1 som er beskrevet i NIVAs analysemanual. Prøvene er ikke filtrert. Analysene av bly, kobber, antimon og sink ble analysert ved hjelp av ICP-MS (Metode E 8-2).

### 3.2 Vannføringsmålinger

Måling av vannføring ble gjort ved hjelp av instrumenteringen ISCO 2150 AV. Denne krever at det bygges en dam med et rør nedfelt i dammen (Fig.5). Røret har stor nok diameter til at det tar unna vannet, også ved de høyeste vannføringene, slik at overløp ikke forekommer. Sonden festes på en stålring som settes inn i bakkant av røret. Den er rask å montere og av erfaring vet vi at den har en nøyaktighet bedre enn  $\pm 5\%$ . Verdien for rørets diameter legges inn i registreringsenheten. På bakgrunn av denne, samt sondens registrering av vannhastighet og vannhøyde i røret, blir vannmengden beregnet. Usikkerheten i målingene av vannhøyde og vannhastighet var  $\pm 3\text{ mm}$ . Rørdiameter var 15 cm på Årvoll og 30 cm i Jondalen og Styrvoll. Enheten ble satt til å logge vannføringen en gang i timen og data ble tømt hver 3 uke.



**Figur 5.** Registreringsenheten som settes på land ved bekken. Sensoren monteres i bakkant av røret. Bildet er tatt ved spesielt lav vannføring i bekken som avvanner Styrvoll skytebane

### 3.3 Metode for transportberegninger fra nedbørfeltene

Vanntransporten i løpet av døgnet og året ble beregnet på bakgrunn av vannføringsmålinger hver time. Målingen gikk over ett år, og de startet like etter vårflommen i 2008 (25. mai) og ble avsluttet etter vårflommen i 2009 (24. mai). Det ble gjort mellom 51 og 56 målinger av metallkonsentrasjoner, pH og TOC i hvert nedbørfelt. Døgnttransporten av metaller beregnes den dagen prøvene er tatt. I perioden mellom prøvetakningene må metallkonsentrasjonen estimeres for å kunne beregne en årstransport. Dette kan gjøres på bakgrunn av følgende metoder:

1. En interpolering av metallkonsentrasjonene mellom målepunktene. Døgnttransport beregnes som produktet av målt konsentrasjon og døgnavvannføring.

2. Estimering av metallkonsentrasjoner basert på at metallkonsentrasjoner i vann ofte er assosiert til viktige vannkvalitetsvariable som konsentrasjoner av organisk karbon (TOC) og pH. Videre at TOC og pH erfaringsmessig ofte viser samvariasjon med vannføringen i bekker. I slike tilfeller vil de hyppige vannføringsmålingene gi grunnlag for et bedre estimat på døgnttransporten av metaller i tiden mellom målingene enn metode 1.

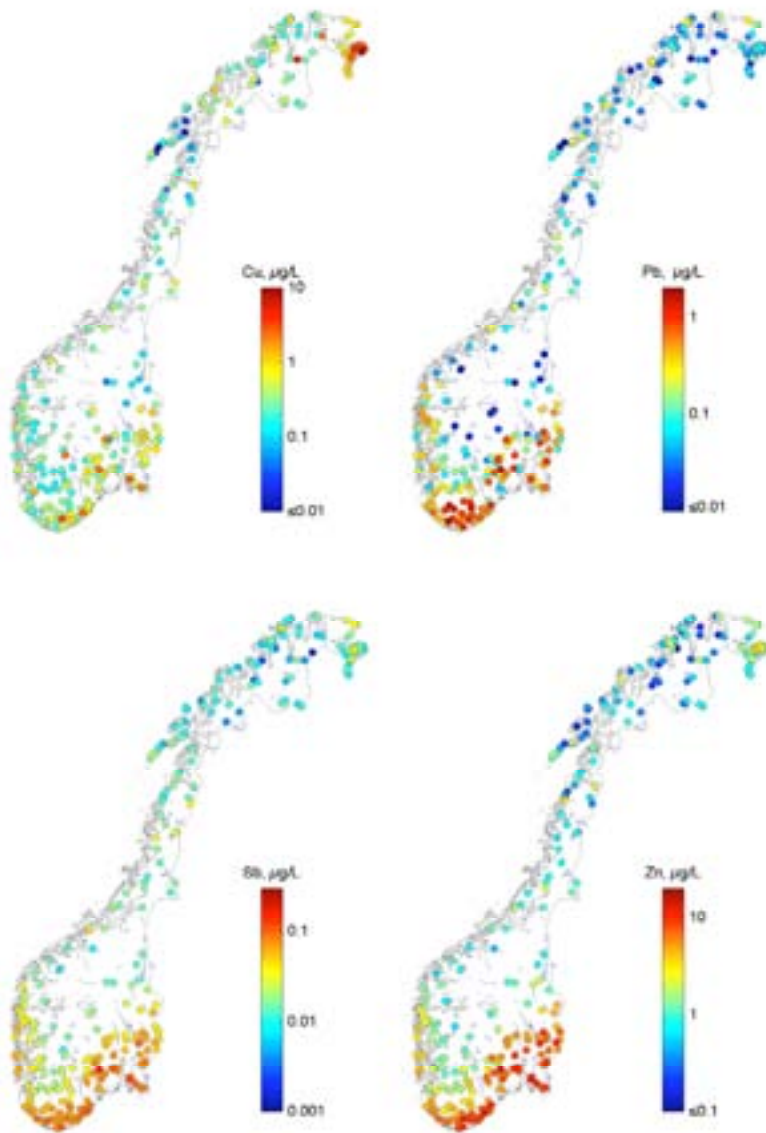
Hvilken metode som er valgt for de ulike metallene avhenger av resultatene fra målinger av metallkonsentrasjoner og vannføring som er gitt i kap.5.6. Her er en oppsummering av resultatet (Tab.1).

**Tabell 1.** Metoder benyttet for beregning av døgnttransporter av de ulike metallene fra skytebanene.

Metode	tidsrom	Årvoll	Jondalen	Styrvoll
Metode 1, Interpolering	hele perioden bare vårflommen	Sb	Sb Cu, Pb, Zn	Sb, Pb Cu, Zn
Metode 2, Regresjoner	hele perioden hele perioden unntatt vårflommen	Cu, Pb, Zn	Cu, Pb, Zn	Cu, Zn

### 3.4 Beregning av bakgrunnstransport av metaller

Transporten av metaller i bekkene som drenerer skytebanene kommer fra tre kilder; a) metaller utløst fra berggrunn og løsavsetninger b) atmosfærisk avsetninger av langtransporterte metallforurensninger og c) utlekking fra kulefangervollene. De to førstnevnte slås sammen og kalles bakgrunnskilder, og konsentrasjonene i vann som bare er påvirket av disse kildene kalles bakgrunnskonsentrasjoner. Bakgrunnskonsentrasjoner for de aktuelle metallene i norske innsjøer varierer regionalt, men generelt er de høyeste i de sør/ sørøstlige deler av landet der skytebanene ligger (Fig.6). Dette mønsteret skyldes at de atmosfæriske metallavsetninger er størst i denne delen av landet, og metallforurensninger utgjør den viktigste kilden for bakgrunnskonsentrasjoner av bly, kobber sink og antimon i regionen. Det kan også være en viktig faktor at forsurening og utlekking av humus bidrar til økt utlekking av metaller fra nedbørfeltene i denne regionen. Denne informasjonen benyttes i tillegg til stikkprøver fra bekkene godt oppstrøms kulefangervollene for å beregne det unike bidraget av årstransporten fra kuledeponiene (kap.5.6)



**Figur 6.** Konsentrasjoner av Cu, Pb, Sb og Zn i 297 norske innsjøer i perioden 2004-2006 (Skjelkvåle et al. 2008).

## 4. Metaller i kuler og årlig forbruk

DFS oppgir at deres egen salgsavdeling står for 60 % av markedet for levering av ammunisjon til deres skyttere. Det leveres kuler/ammunisjon i kaliber 7,62 mm og 6,5 mm med henholdsvis såkalt tung kule (9,3 g) og lett kule (6,5 g). Innholdet av metaller i de respektive kalibertyper og i "blandingskula" basert på relativ andel av 7,62/6.5 på 60/40 er gitt i Tabell 2.

**Tabell 2.** Metallinnhold i tung kule (9,3 g) og lett kule (6,5 g) i ammunisjon solgt til DFS sine skyttere. Den relative fordeling er ca 60 % tung kule og 40 % lett kule. På bakgrunn av dette er prosentvis fordeling av de ulike metallene i deponiene på DFS sine baneanlegg beregnet.

	Kule	Pb	Sb	Cu	Zn
Vekt, g	9,3	6,50	0,20	2,34	0,26
	6,5	4,37	0,13	1,80	0,20
Fordeling, %	9,3	69,90	2,15	25,16	2,79
	6,5	67,15	2,07	27,69	3,08
Fordeling, %	9,3/6,5 (60/40)	68,80	2,13	26,17	2,90

Totalt sett (medregnet 40 % fra andre leverandører) oppgir DFS at deres totale forbruk av bly (Pb) i 2004 var 40 741 kg. Basert på den relative fordelingen mellom bly og de andre metallene i "blandingskula" (60/40) som veier 8,18 g (Tab.2) så kan årsforbruket beregnes (Tab.3). I samme tabell har vi også bregnet årsforbruket av metaller fra de undersøkte banene basert på et oppgitt forbruk av antall skudd ved Årvoll, Jondalen og Styrvoll på hhv 70 000, 30 000 og 25 000.

**Tabell 3.** Årsforbruk av metaller for DFS sine skyttere og for skyting ved banene som er undersøkt.

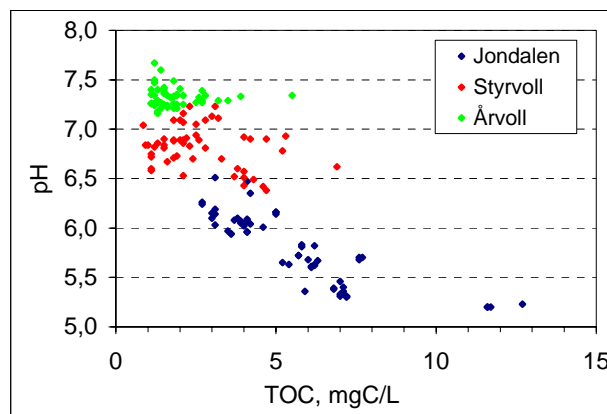
skytebaner	Pb kg/år	Sb kg/år	Cu kg/år	Zn kg/år
sum DFS-baner	40 741	1255	15497	1717
Årvoll	395	12	150	16
Jondalen	196	6	75	8
Styrvoll	141	4	54	6

Dersom vi tar utgangspunkt i at den totale mengden metaller som brukes i regi av DFS i løpet av et år blir spredt på 920 skytterlag, vil et "gjennomsnittlig" skytterlag deponere 44 kg Pb, 17 kg Cu, 1,3 kg Sb og 1,9 kg sink. Det vil si at de tre skytebanene vi har undersøkt (Tab.3) er godt over gjennomsnittet og følgelig blant de mer brukte banene i landet.

## 5. Resultater

### 5.1 Konsentrasjon av TOC og pH i bekkene.

Det er godt kjent fra tidligere undersøkelser, blant annet av skytebaner i Norge, at sentrale vannkvalitetsvariable som pH og totalt organisk karbon (TOC) har stor betydning for korrosjon av riflekuler og utlekking fra deponiene til bekker (Strømseng og Ljånes 2003, Rognerud 2005a). Generelt vil surt og brunt vann (lav pH og høy konsentrasjon av TOC, som i hovedsak består av humusstoffer) gi større grad av korrosjon av riflekuler. Dette fører til større lekkasje av metaller ut av deponiene, enn det som er tilfelle i områder med basisk vann og liten brunfarging. Avrenningen fra de tre nedbørfeltene hadde klare forskjeller i vannkvalitet (Fig.7). Ved Årvoll hadde vannet i bekken svakt basisk reaksjon ( $\text{pH} > 7$ ) og lavt innhold av totalt organisk karbon (TOC), ved Styrvoll nøytralt til svakt surt vann og moderat konsentrasjon av TOC, mens bekken i Jondalen var sur og hadde de høyeste konsentrasjonene av TOC. Dersom vi ser alle feltene under ett, så var det en klar tendens til at økte TOC verdier også førte til surere vann. I Jondalen ble vannet klart surere ved økende TOC verdier, mest sannsynlig på grunn lav bufferkapasitet og økt konsentrasjon av humussyrer ved høye TOC verdier. Bekkene på Årvoll og Styrvoll har høyere bufferkapasitet og bikarbonatsystemet er styrende for pH i de aktuelle pH intervallet (6,4 – 7,6). Følgelig var pH og TOC svakt korrelert (Styrvoll) eller hadde ingen sammenheng (Årvoll).

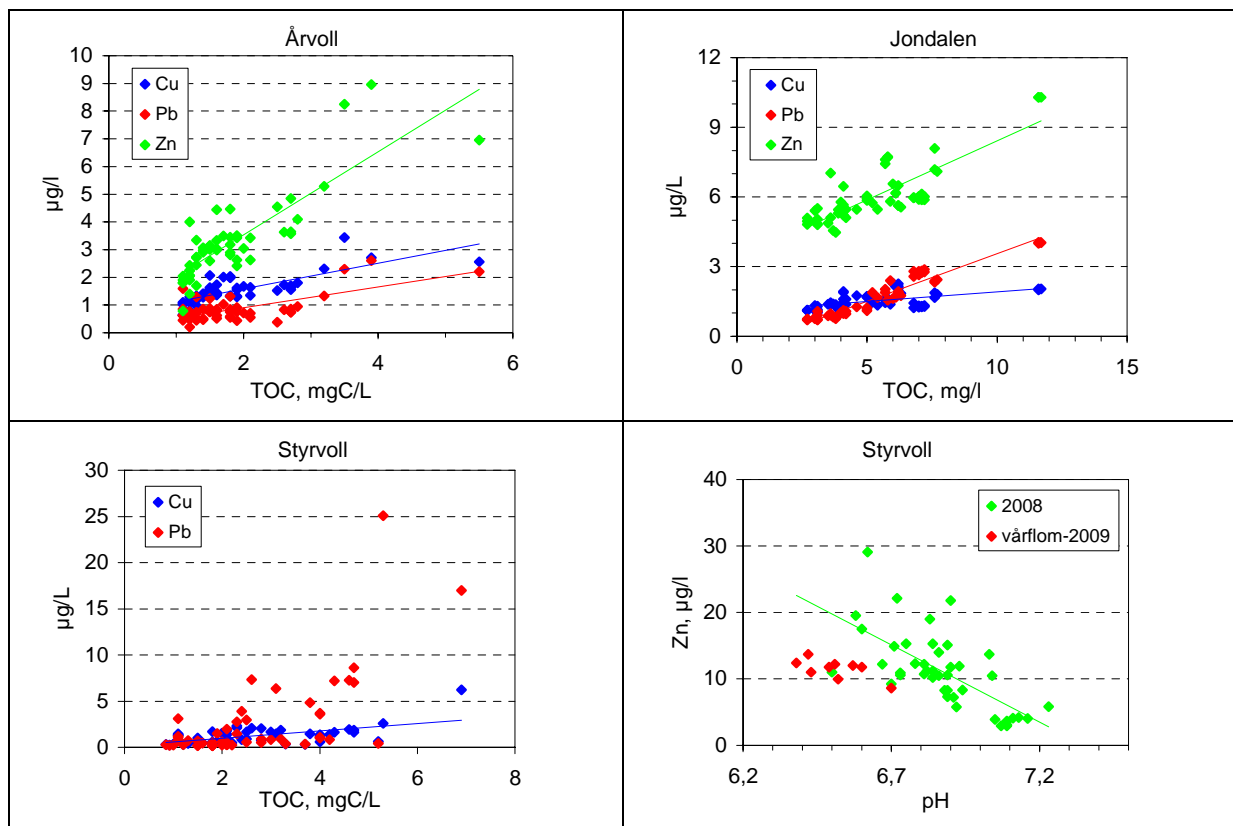


**Figur 7.** Sammenhengen mellom pH og totalt organisk karbon (TOC) i bekkene fra nedbørfeltene som inkluderer kulefangervollene samt store deler av skytebanene ( $n = 160$ ).



## 5.2 Sammenhengen mellom konsentrasjoner av pH, TOC og metaller

Som før nevnt er variasjoner i konsentrasjonen av TOC i bekker oftest av stor betydning for konsentrasjoner av mange metaller slik som bly, kobber og sink, mens antimon forekommer som et anion i miljøet og er i liten grad knyttet til humusforbindelser (Filella et al 2002 a,b). Dette bekreftes også i våre målinger fra bekkene i de respektive feltene (Fig.8, Sb ikke vist). Regresjonslikningene er gitt i tab.2 i kap. 5.5 og er sammen med regresjonene mellom TOC og vannføring (tab.2) benyttet som grunnlag ved transportberegningene.

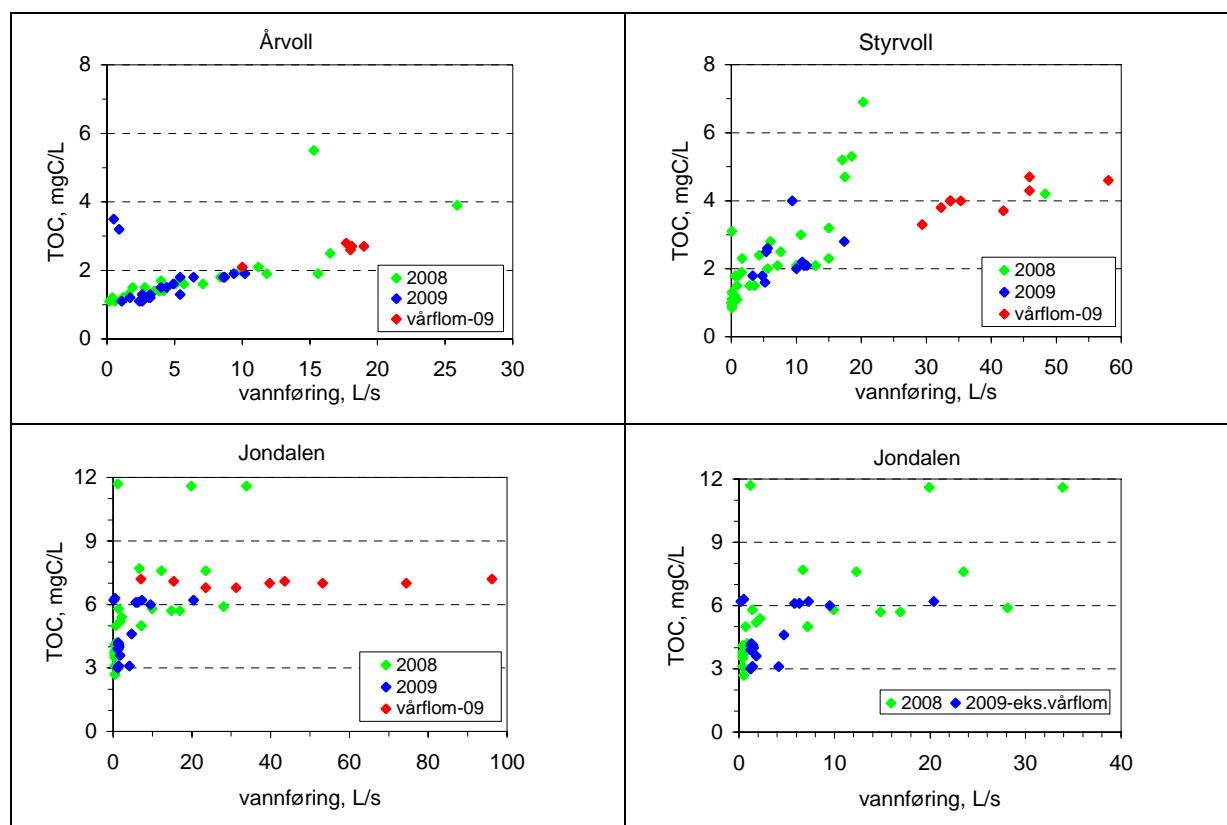


**Figur 8..** Sammenhengen mellom TOC og konsentrasjonene av kobber (Cu), bly (Pb) og sink (Zn) i bekkene fra Årvoll, Styrvoll og Jondalen skytebaner. Antimon (Sb) viste ingen signifikant korrelasjon med TOC i noen av feltene og er ikke vist. I bekken fra Styrvoll skytebane var det bare konsentrasjonen av kobber som var signifikant korrelert til TOC. Ved nærmere undersøkelser av målingene ble det klart at konsentrasjonen av sink var negativt korrelert til pH med unntak av vårfloemmen i 2009 hvor konsentrasjonen varierte lite og vannføringen var høy. Konsentrasjonene av bly viste store variasjoner og var knyttet til episoder med økning i vannføringen.

### 5.3 Sammenhengen mellom TOC og vannføring.

Sammenhengen mellom vannføring og TOC var generelt svært god i bekken fra Årvollfeltet, og god i de andre feltene, med unntak av perioden som snøsmeltingen pågikk i 2009 (Fig.9). I Jondalen var TOC-konsentrasjonen nær den samme under hele vårflommen til tross for at variasjonen i vannføringen var stor. Dette indikerer at TOC utløsning fra jordsmonnet er lavere når snøen smelter på delvis frossen mark.

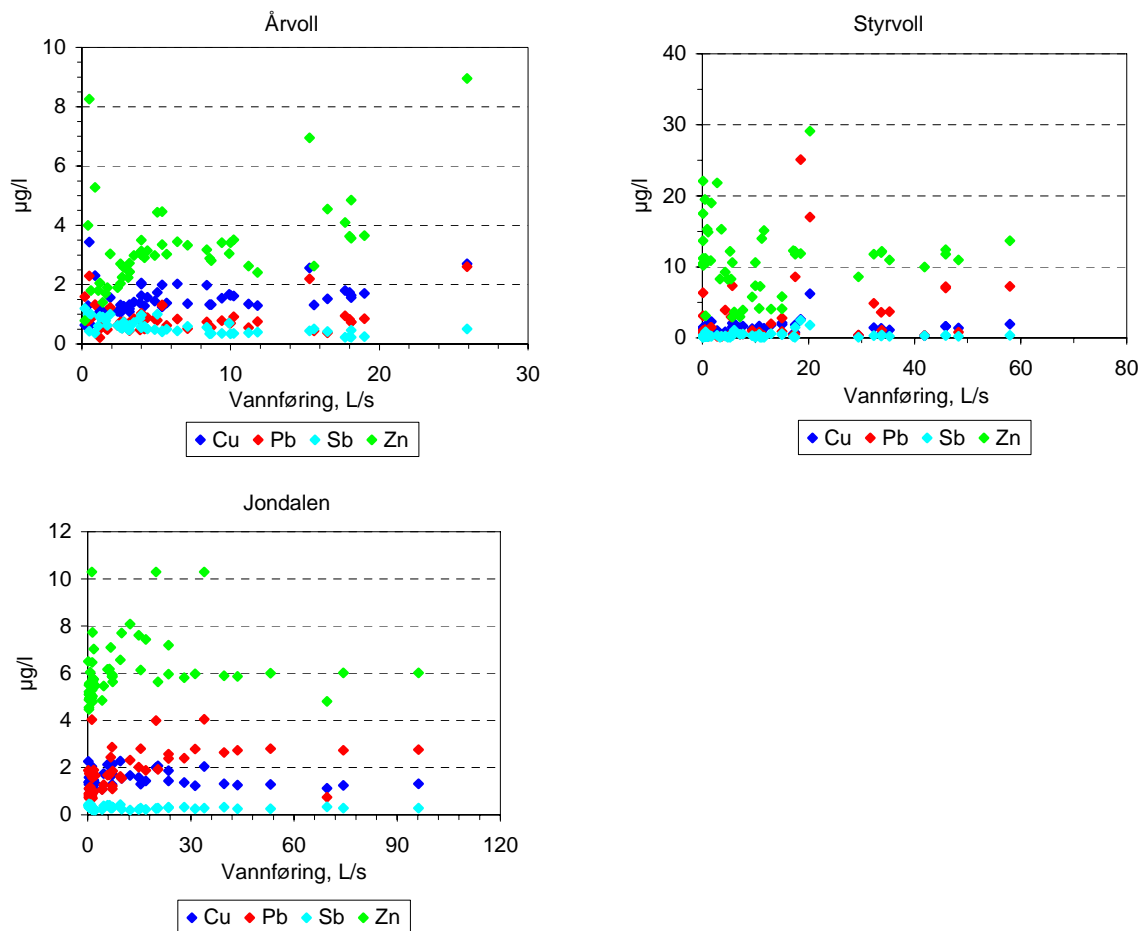
Dersom det er en god sammenheng mellom konsentrasjonene av TOC og vannføringen, så kan TOC i tiden mellom prøvetakingene estimeres. I de tilfeller hvor det er en god sammenheng mellom metallkonsentrasjoner og TOC vil vi få et godt estimat på dagstransport av metaller også mellom målepunktene. Dette vil gjøre beregningene av årstrasporten av metaller ut av feltene bedre enn en interpolering av konsentrasjoner mellom målepunktene. TOC var generelt godt korrelert til vannføring på Årvoll og regresjonen kan benyttes til å estimere TOC verdier mellom målepunkter og videre til metallkonsentrasjoner via regresjonslikninger gitt i Kap.5.3.



**Figur 9.** Sammenhengen mellom vannføring og TOC i de respektive feltene. Det er skilt mellom målinger i 2008 og 2009, samt at vårflommen i april er markert spesielt. Konsentrasjonen av TOC i vårflommen var ikke korrelert til vannføringen i Jondalen (nedre venstre bilde). I nedre høyre bilde har vi derfor også vist sammenhengen uten data fra vårflommen.

## 5.4 Metallkonsentrasjoner og vannføring

Det var store forskjeller i hvordan vannføringen påvirker metallkonsentrasjonene i de respektive nedbørfeltene (Fig 10). Det var særlig konsentrasjonene av sink og bly som viste store variasjoner uavhengig av vannføringen. De høyeste vannføringene skjedde under vårflommen i 2009 (Årvoll > 18 L/s, Styrvoll >25 L/s, Jondalen >45 L/s). Med unntak av for sink i Årvollbekken og bly i Styrvollbekken, var det ingen klar tendens til at metallkonsentrasjonene var høyere under vårflommen.



**Figur 10.** Sammenhengen mellom vannføring og metallkonsentrasjoner i nedbørfeltene som avvanner deponiene på skytebanene på Årvoll, Styrvoll og i Jondalen.

## 5.5 Beregninger av metallkonsentrasjoner mellom målingene

I bekkene fra nedbørfeltene var Pb (untatt Styrvoll), Cu og Zn positivt korrelert til TOC, mens Sb viste ingen sammenheng med TOC i noen av feltene (Fig.8). Årsaken er at Sb forekommer som et anion i vann og er i liten grad assosiert til løste organiske stoffer, mens de andre metallene opptrer som kationer og er i stor grad assosiert til organisk materiale (Filella et al 2002a, Førstner og Wittman 1979). I ”Styrvollbekken” var det høye Pb konsentrasjonene i flommer etter tørkeperioder, men ikke i forbindelse med vårfloppen.

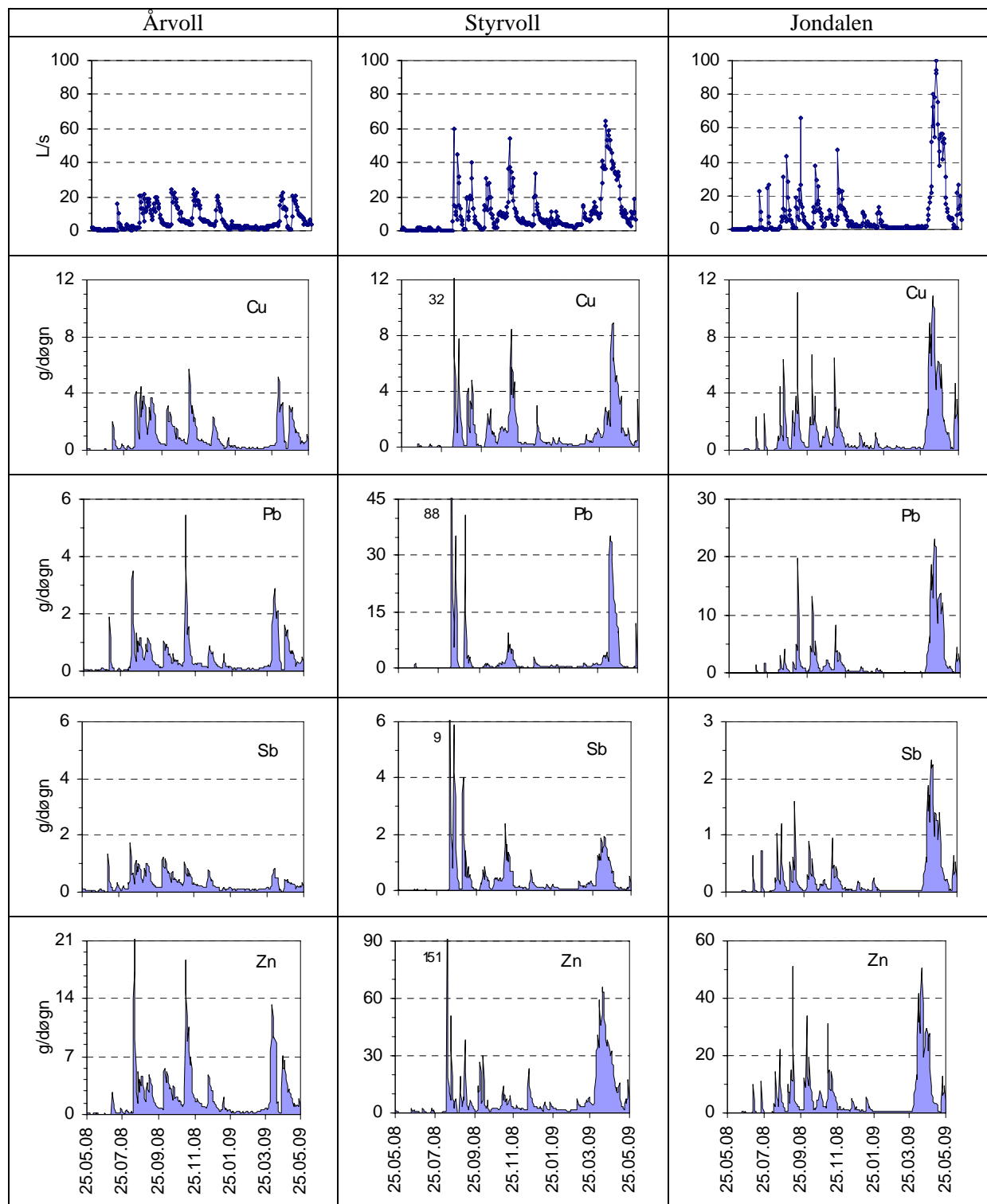
På bakgrunn av disse resultatene fra kap 5.2 til 5.4 så er metode for estimering av metallkonsentrasjoner mellom målingene valgt. Dette er oppsummert i tabell 1. I de tilfeller som metode 2 er brukt, dvs regresjoner mellom vannføring -TOC, pH - og metallkonsentrasjoner så er disse gitt i tabell 4.

**Tabell 4.** Regresjoner benyttet for beregning av metallkonsentrasjoner mellom prøvetakningene. TOC estimeres ut fra vannføringsmålingene(VF) mellom målepunktene (unntatt vårfloppen). Dermed estimeres metallkonsentrasjonene mellom prøvetakningene ut fra estimert TOC konsentrasjoner. På Styrvoll samvarierte konsentrasjonene av sink (Zn) best med pH. Regresjonen mellom pH og vannføring og pH og konsentrasjoner av sink ble derfor benyttet.

Årvoll	r <sup>2</sup>	n
Zn = 1,50 TOC + 0,52	0,69	53
Cu = 0,46 TOC + 0,66	0,59	53
Pb = 0,37 TOC + 0,16	0,45	53
TOC = 0,0905VF + 1,204	0,45	53
<b>Styrvoll</b>		
Cu = 0,40 TOC + 0,16	0,33	51
Zn = -26,4 pH + 192	0,52	51
TOC = 0,1020 VF + 1,586	0,48	42
pH = - 0,0085 VF + 6,924	0,37	51
<b>Jondalen</b>		
Zn = 0,63 TOC + 2,91	0,88	56
Pb = 0,38 TOC - 0,46	0,96	56
Cu = 0,08 TOC + 1,08	0,26	56
TOC = 0,170 VF + 4,188	0,42	42

## 5.6 Variasjoner i døgntransporten av metaller fra nedbørfeltene

På bakgrunn av målinger og estimerte verdier av metallkonsentrasjoner mellom målingene er døgntransporten av vann og metaller fra feltene beregnet (Fig.11). Dette viser at nesten all transport av metaller er knyttet til perioder med høy vannføring høsten 2008 og ved snøsmelting/vårfloppen i 2009. Ved Styrvoll var det svært høye konsentrasjoner av metaller i den første floppen etter en lang periode med tørke sommeren 2008. Vinteren 2009 var transporten lav grunnet lav vannføring og lave metallkonsentrasjoner.



**Figur 11.** Døgntransport for vann, kobber (Cu), bly (Pb), antimon (Sb) og sink (Zn) for nedbørfeltet som avvanner kuledeponiene ved skytebanene på Årvoll, Styrvoll og i Jondalen. Banen på Styrvoll hadde høye metallkonsentrasjoner og stor transport (tallet vist i figurene) første flomdagen etter en lang tørkeperiode sommerstid. Merk ulike skalaer på y-aksene for metallene, unntatt for kobber.

## 5.7 Årstransport av metaller fra kuledeponiene i felten

Hovedmålsetingen er å beregne årstransporten av metaller som lekker ut til bekkene som følge av at prosjektilrestene korroderer. Det er i hovedsak skutt inn i dagens kulefangervoller (100 m og 200 m), men vi må regne med at det også finnes kuler i marken bak dagens skiveanlegg (f.eks. ved at det tidligere er skutt på lengre hold (300 m eller 600 m). Årstransporten av metaller som lekker ut av kuledeponiene, er beregnet som differansen mellom beregnet årstransport i bekkenes nedbørfelter og estimert årstransport av metaller fra bakgrunnskilder (bergrunn og luftforurensninger) i nedbørfeltene.

### 5.7.1 Middelkonsentrasjoner av metaller fra bakgrunnskilder (TB)

Denne tar utgangspunkt i målte konsentrasjoner av metaller og TOC fra nasjonal innsjøundersøkelse i regionen rundt feltene (Kap.3.4) og stikkprøver tatt i bekkene oppstrøms kulefangervollene (Tab.5)

**Tabell 5.** *Konsentrasjoner av metaller benyttet som estimat for beregninger av årlig bakgrunns-transport av metaller ut av nedbørfeltene (uthevet). De er valgt ut fra en skjønsmessig vurdering basert på stikkprøver tatt oppstrøms banene, data fra en nasjonal undersøkelse (Skjelkvåle et al. 2008) og fra innsjøer nær Årvoll for denne banen (Beschoner 2009). Fra den nasjonale undersøkelsen er det vist mediankonsentrasjonene for Østnorske innsjøer (n = 55). Konsentrasjoner av Cu og Pb var godt korrelert til TOC i 9 innsjøer i regionen nærmere banene. Cu = 0,0623 TOC - 0,036, r<sup>2</sup> = 0,70 og Pb = 0,0935 TOC - 0,190, r<sup>2</sup> = 0,70. Volumveid middelvei av TOC (mgC/l) i Jondalen, Styrvoll og Årvoll var hhv 6,2, 3,0 og 2,4. Med disse verdiene i likningene får vi de TOC justerte estimatene.*

<b>Jondalen</b>	Cu µg/l	Pb	Sb	Zn
Stikkprøve oppstrøms banen	0,22	0,59	0,02	4,7
Stikkprøve Jondalselva	0,30	0,42	0,07	3,0
Regr. innsjøer n = 9, TOC justert	0,35	0,38		
Median Østnorske innsjøer (2005)	0,41	0,31	0,05	6,0
Laveste målte kons.ut av feltet	1,02	0,70	0,20	4,5
<b>Benyttet middelkons.</b>	<b>0,29</b>	<b>0,46</b>	<b>0,05</b>	<b>4,5</b>

<b>Styrvoll</b>	Cu µg/l	Pb	Sb	Zn
Stikkprøve oppstrøms banen-2009	0,51	0,25	0,05	8,0
Stikkprøve oppstrøms banen-2008	0,25	0,10	0,06	14,0
Middelkons. 3 innsjøer i nærheten	0,30	0,40	0,07	6,7
Regr. innsjøer n = 9, TOC justert	0,15	0,22		
Median Østnorske innsjøer (2005)	0,41	0,31	0,05	6,0
Laveste målte kons. ut av feltet	0,25	0,16	0,10	2,9
<b>Benyttet middelkons.</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>7,5</b>

<b>Årvoll</b>	Cu µg/l	Pb	Sb	Zn
Maridalsv./Alunsi/Steinbruv. 2008	0,20	0,15		
Langvatn-Oslo	0,26	0,15	0,05	8,5
Regr. innsjøer n = 9, TOC justert	0,12	0,16		
Median Østnorske innsjøer (2005)	0,41	0,31	0,05	6,0
Laveste målte kons.ut av feltet	0,64	0,21	0,23	0,8
<b>Benyttet middelkons.</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	<b>0,05</b>	<b>2,0</b>

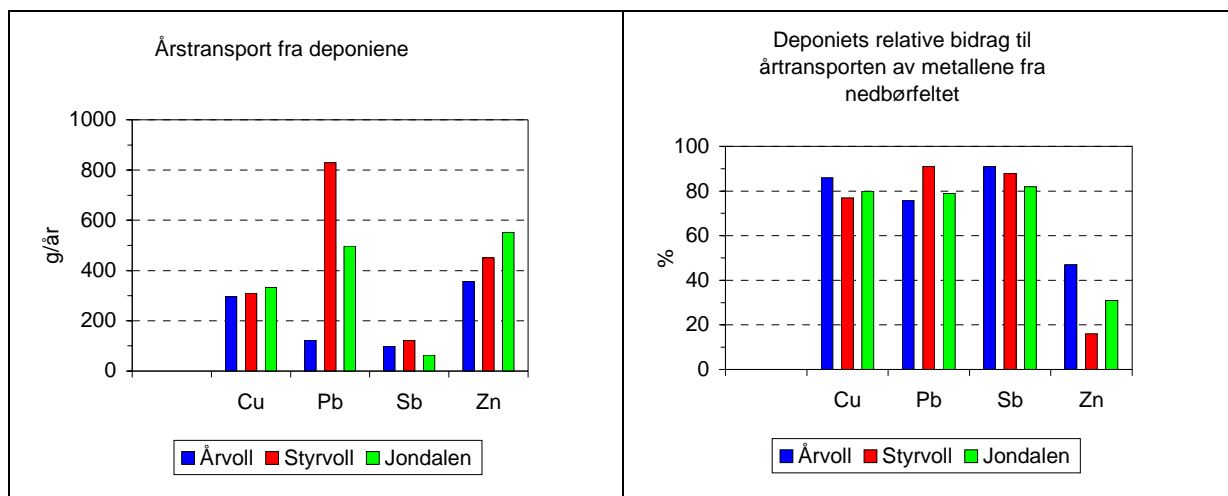
### 5.7.2 Årsregnskap for transport av metaller fra hele nedbørfeltet, bakgrunnskilder og skytebanenes kuledeponiene

Årstransporten av metaller fra nedbørfeltene er basert på summen av beregnede døgntransporter (vist i Fig.11). Estimer for årstransporten av metaller fra bakgrunnskilder er basert på konsentrasjonene gitt i Tab. 5 og beregnet årstransport av vann som for Jondalen, Styrvoll og Årvoll målt i liter var hhv 278 721 216, 314 429 040 og 198 181 728. Bidraget fra kuledeponiene er differansen mellom de to ovennevnte årstransportene. Resultatene er vist i Tab.6 og Fig.12.

Årstransporten av kobber var ca 0,3 kg fra deponiene i alle feltene, men for bly var variasjonen større. Det lakk ut mest bly fra deponiene på Styrvollbanen med ca 0,8 kg, dernest fulgte Jondalen med 0,5 kg og Årvoll med 0,1 kg. Styrvollbakkene hadde høye blykonsentrasjoner i første fase av flommen i forbindelse med kraftig regnvær etter lengre tørkeperioder. Det er tydelig at det er ekstra mye blyforbindelser som presses ut av deponiene ved slike episoder. I Jondalen var det ikke et slikt sterkt episodisk konsentrasjonsmønster, men lav pH og mye TOC ga en høyere utlekking enn i det alkaliske miljøet som finnes i Årvollbanens nedbørfelt. Det lakk ut omtrent 0,4-0,5 kg sink i året og nær 0,1 kg antimon fra deponiene i alle banene. Nær 80 % av årstransporten av bly, kobber og antimon fra nedbørfeltene skyldtes utlekking fra korroderte prosjektiler i alle feltene, mens andelen var betydelig lavere for sink (18-42 %).

**Tabell 6.** Årstransporter av metaller fra hele nedbørfeltet, andelen metaller fra bakgrunnskilder (atmosfæriske forurensninger og geokjemiske kilder) og differansen mellom disse som gir et anslag for årsutlekkningen av metaller fra banene.

Jondalen						
	Hele feltet		Bakgrunn		Banens bidrag	
	g/år	µg/l	g/år	µg/l	g/år	%
Kobber, Cu	414	1,48	81	0,29	333	80
Bly, Pb	626	2,25	128	0,46	498	79
Antimon, Sb	78	0,28	14	0,05	64	82
Sink, Zn	1806	6,48	1254	4,50	552	31
Styrvoll						
	Hele feltet		Bakgrunn		Banens bidrag	
	g/år	µg/l	g/år	µg/l	g/år	%
Kobber, Cu	405	1,29	94	0,30	311	77
Bly, Pb	908	2,89	79	0,25	829	91
Antimon, Sb	138	0,44	16	0,05	122	88
Sink, Zn	2809	8,93	2358	7,50	451	16
Årvoll						
	Hele feltet		Bakgrunn		Banens bidrag	
	g/år	µg/l	g/år	µg/l	g/år	%
Kobber, Cu	346	1,75	40	0,25	297	86
Bly, Pb	163	0,82	32	0,20	124	76
Antimon, Sb	109	0,55	10	0,05	99	91
Sink, Zn	752	3,79	547	2,00	356	47



**Figur 12.** Årstransporten av metaller som har sin årsak i korrosjon av prosjektiler (kuler) i baneanleggene, og andelen som dette utgjør av den total årstransporten i bekkens nedbørfelt (høyre figur). Årstransporten av vann fra nedbørfeltene i Jondalen, Styrvoll og Årvoll var hhv (278, 314, 198)  $\times 10^3 \text{ m}^3$ .

### 5.7.3 Årlig utlekking av metaller i forhold til mengder deponert

Ett av målene med undersøkelsen er å estimere årlig utlekking av metaller fra alle DFS sine skytebaner. For å få et godt estimat burde totalmengden metaller akkumulert over tid i skytebanene vært beregnet og relatert til årlige metallavrenninger. Det er imidlertid ikke mulig å skaffe data som viser hvor mye metaller som totalt er avsatt i ulike skytebaner fra oppstarten til dags dato. En slik beregning ville uansett blitt svært usikker. Det vi imidlertid har gode data på, er dagens forbruk av ammunisjon på ulike baner og totalmengden metaller som brukes årlig av skytterlag organisert i DFS. Vi har brukt disse dataene for å beregne mengden metaller som årlig renner av fra alle DFS sine baner. Dette krever imidlertid at følgende forutsetninger er til stede:

1. Dagens årlige forbruk av metaller på banene er positivt korrelert til mengden metaller som er akkumulert i kulefangervollene over tid. Dette er rimelig da korrosjonshastigheten av kuler er lav, særlig i kulefangervoller, og at aktivitetene på banene over tid er relativt stabil. Årlig forbruk av metaller brukes derfor som en såkalt "surrogat-variabel" for totalmengdene av tilførte metaller på banene
2. Vannkvaliteten på de undersøkte banene er representativ for andre skytebaner i landet. Korrosjon av kulerester og transport av metaller påvirkes av særlig pH i vannfasen og vannets innhold av organisk materiale (TOC). pH og TOC i bekkene som avvanner de tre undersøkte skytebanene, varierer fra surt humusrikt vann til basisk humusfattig vann, og vi antar at dette spennet i vannkvalitet omfatter situasjonen ved mange av landets skytebaner.

Beregningen i de undersøkte feltene viser at årlig avrenning av bly og kobber var mindre enn 1 % av årlig tilførte mengder, mens for antimon og sink var den noe høyere (Tab.7). Vi gjør oppmerksom på at disse prosentene hadde vært betydelig lavere hvis vi hadde hatt muligheten til å beregne totalmengden av metaller avsatt i skytebanene.



**Tabell 7.** Årlig antall skudd og deponerte mengder metaller ved banene som er undersøkt (2009) og andelen (%) av dette som renner av årlig (2008/2009). Primærdata er gitt i tabell 2 og 3.

Bane	skudd antall/år	Pb Kg/år	Pb %	Cu Kg/år	Cu %	Sb Kg/år	Sb %	Zn Kg/år	Zn %
Årvoll	70 000	394	0,03	150	0,20	12	0,83	16	2,2
Jondalen	35 000	196	0,25	75	0,44	6	1,0	8	6,8
Styrvoll	25 000	141	0,58	54	0,57	4	3	6	7,5

Med utgangspunkt i prosentene gitt i tabell 7 og årsregnskapet for brukt mengder metaller (Tab.3), kan vi beregne årlig utlekking av metallene for hele DFS sin virksomhet (Tab.8). Vannet i bekken fra banene er følgende: Årvoll; alkalisk og er lite humuspåvirket (lav TOC), Styrvoll; nær nøytralt og moderat humuspåvirket, Jondalen surt og humusrikt vann. Resultatene fra disse feltene blir kategorisert som henholdsvis et alkalisk, nøytralt, og surt miljø i generaliseringen for beregninger av årlig utlekking fra alle DFS sine skytebaner (Tab.8). På bakgrunn av årlig forbruk av metaller i DFS regi, og andelen årlig utlekking av metaller fra deponiene så kan årlige metall-lekkasjer fra alle DFS sine skytebaner innen de ovennevnte kategoriene anslås (Tab.8). Dette gir en indikasjon på spennvidden i avrenningen, dvs. om alle baner hadde hatt enten alkalisk, nøytralt eller surt miljø.

På bakgrunn av disse forutsetningene og at overflatevann i Norge generelt har svakt sur reaksjon (pH 5,7 – 6,9) og moderat til lave humuskonsentrasjoner (TOC 0,8 – 7.4 mgC/l), Skjelkvåle et al. (2008), så kan vi konkludere med at det lekker årlig ca. 150 kg bly, 70 kg kobber, 20 kg antimon og 100 kg sink fra skytebaner til vannveiene fra DFS sine baneanlegg. Vi gjør oppmerksom på at dette viser størrelsesorden, og at estimatet er mest usikkert for sink grunnet høye bakgrunnsverdier. Dette innebærer også at 99 % av årsforbruket av bly og kobber forblir i kulefangervollene og at mengden derfor øker hvert år med nær de mengder som brukes på banene.

**Tabell 8.** Årlig avrenning av metaller fra samtlige av DFS sine skytebaner fordelt på ulike vannkvaliteter. Årvoll-banen er brukt som eksempel på baner med en alkalisk reaksjon og lav TOC, Styrvoll-banen som miljø med nøytral reaksjon og middels høye TOC konsentrasjoner og banen i Jondalen som et eksempel på et miljø med sur reaksjon og mye TOC.

	Årlig forbruk kg	Alkalisk Kg/år	Nøytralt Kg/år	Surt Kg/år	Spennvidde Kg/år
Bly, (Pb)	40741	12	236	102	12 -236
Kobber (Cu)	15947	32	91	70	32 - 91
Antimon (Sb)	1255	10	38	13	10 - 38
Sink (Zn)	1717	38	129	117	38 - 129

## 6. Konklusjon

Denne undersøkelsen har vist at det årlig lekker ut nær 0,3 kg kobber (Cu), 0,3 – 0,8 kg bly (Pb), 0,06 – 0,12 kg antimon (Sb) og 0,3 – 0,5 kg sink (Zn) som følge av korrosjon av deponerte prosjektiler i de tre undersøkte skytebanene. Dette er mindre enn 1 % av årsforbruket av bly og kobber, og 1-7 % av årsforbruket av antimon og sink. Dette stemmer godt overens med at bly og kobber bindes i langt større grad i jordsmonnet/kulefangervollene enn antimon og sink (Rognerud 2005, med litteraturgjennomgang). Bidraget fra korroderte prosjektilrester er beregnet som en differanse mellom metalltransporten fra hele nedbørfeltet og transport av metaller fra andre kilder (bakgrunn). Beregningene er mest usikre for sink (Zn) fordi bakgrunnskonsentrasjonene av sink er betydelig høyere enn for de andre metallene, og at andelen sink i kulene er relativt lav (2,9 %). Dersom vi benytter samme andel av metaller som årlig renner av i forhold til det årlige forbruket av metaller som vi fant ved de undersøkte banene, så vil det totalt lekke ca. 150 kg bly, 70 kg kobber, 20 kg antimon og 100 kg sink årlig fra skytebanene i regi DFS. Dette innebærer også at 99 % av årsforbruket av bly og kobber forblir i kulefangervollene, og at mengden derfor øker hvert år med nær de mengder som brukes på banene.

Systematiske undersøkelser av årlig metalltransport fra skytebaner i internasjonal litteratur er en mangelvare. Som regel er transporten basert på noen få stikkprøver av metallkonsentrasjoner og beregninger av arealavrenning av vann. Dette blir for usikre estimater og kommenteres ikke videre her. Den eneste systematiske undersøkelsen vi har kommet over er norsk og ble utført over et år i et militært skytefelt (Stømseng og Ljønes 2003). I denne undersøkelsen ble årstransporten av metaller fra et nedbørfelt med flere feltskytebaner beregnet på bakgrunn av systematiske målinger av bly, kobber og antimon konsentrasjoner og vannføring. Årlig avrenning ble beregnet til 3,2 kg bly, 9,1 kg kobber og 1,5 kg antimon. Dette er nær 10 ganger høyere årstransport enn i vår undersøkelse. Det var imidlertid godt kjent at dette området har hatt høye metallkonsentrasjoner i avrenningen over lengre tid, og at de var blant de høyeste som var registrert i militære feltskytebaner (Rognerud 2005a). Videre så har det vist seg at konsentrasjoner av metaller i avrenning fra feltskytebaner generelt er betydelig høyere enn fra grus/sand-holdige kulefangervoller (Rognerud 2005a). I tillegg ble det satt i gang gravearbeider som økte mobiliseringen av metaller i feltet. Feltskytebaner er av praktiske hensyn ofte anlagt i flate myrlendte områder. I dette fuktige miljøet begunstiges korrosjonen av prosjektilene og metaller lekker lettere ut som følge av inngrep og at jordlaget blir oppsmuldret på grunn av skytingen. Det er derfor rimelig at lekkasjen av korroderte metaller fra kulefangervoller er betydelig lavere enn fra feltskytebaner.

Nesten all transport av metaller fra skytebanene er knyttet til snøsmeltingen og andre flomperioder gjennom året. Dette er i god overenstemmelse med resultatene til Stømseng og Ljønes (2003). Det er godt kjent at flommer fører til erosjon av partikler i nedbørfelt og fra selve bekketeiet. Selv om konsentrasjonene av metaller er høye i første del av flommen, så er ofte størstedelen bundet til partiklene. Unntak kan være vårfloppen der snøsmeltingen kan skje over frosset mark og hindre erosjon av partikler. Stømseng og Ljønes (2003) fant at i denne perioden skjedde 30 % av årstransporten av løste metallforbindelser. Fra et toksikologisk synspunkt kan nok lavere metallkonsentrasjoner sommerstid med en høyere andel løst metall kombinert med høyere temperatur være et større problem enn under flomperiodene sommer og høst. Videre så er korrosjon av prosjektiler den dominerende kilden for konsentrasjoner av kobber, bly og antimon i skytefeltenes bekker, mens for sink dominerte kilder som berggrunn, løsavsetninger og avsetning av atmosfæriske forurensninger.

## 7. Referanser

- Beschorner, A-L. 2009. Vassdrag på langs 2007/2008. rapport vann og avløpsetaten Oslo kommune. 31 s.
- Filella, M., Belzile, N., and Chen, Y-W. 2002. Antimony in the environment: a review focused on natural waters I. Occurrence. *Earth-Science Review* 57: 125-176.
- Filella, M., Belzile, N., and Chen, Y-W. 2002b. Antimony in the environment: a review focused on natural waters II. Relevant solution chemistry. *Earth-Science Review* 59: 265-285.
- Förstner, U. and Wittmann, G.T.W. 1979. *Metall pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlin. 486 pp.
- Rognerud, S. 2005a. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater av 14 års overvåkning. NIVA-rapport 4944-2005. 62 sider +vedlegg
- Rognerud, S. 2005b. Konsentrasjoner av metaller i bekker og sog som avvanner sivile skytebaner. NIVA-rapport Lnr. 5074-2005.24s.
- Rognerud, S. og Rustadbakken, A. 2007. Tungmetaller fra sivile skytebaner. Resultater fra undersøkelsene i 2006. NIVA-rapport 5367-2007. 17s + vedlegg.
- Skjelkvåle, b. L., Rognerud, S., Fjeld, E., Christensen, G., og Røyseth, O. 2008. Nasjonal innsjøundersøkelse 2004-2006. Del 1: Vannkjemi. Status for forsuring, næringsalter og metaller. SFT-rapport TA 2361-2008. 121s.
- Strømseng, A. og Ljønes M. 2003. Periodisk avrenning av tungmetaller – en feltundersøkelse gjort ved Steinsjøen skytefelt. FFI rapport 003/00715.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)