

Hjerkinnskytefelt 2001-2011. Overvåking av metall- konsentrasjoner i bekker, elver og grunnvannsbrønner



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
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
P.b.1266, 7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Hjerkinn skytefelt 2001-2011. Overvåking av metallkonsentrasjoner i bekker, elver og grunnvannsbrønner	Løpenr. (for bestilling) 6309 -2012	Dato 29.02.12
	Prosjektnr. Undernr. 11271	Sider Pris 36
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oppland fylke	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg, Utvikling Øst	Oppdragsreferanse Odd-Erik Martinsen
---	---

Rapporten omhandler vannkvaliteten i Hjerkinn militære skytefelt i perioden 2001-2011, og den er en oppdatering av forrige årsrapport. Demoleringsfeltene i Grisungdalen og Svånidalen ble restaurert og ryddet i 2011. Det ble ikke observert noen økt forurensning av metaller i forbindelse med disse aktivitetene. Den store banevollen på Haukberget II ble i 2011 fjernet og kjørt til deponiet på Storranden med fjernstyrt kjøretøy. Det ble ikke observert metallforurensninger i Tjørnhøbekken i forbindelse med denne aktiviteten. I en av bekkene som avvanner HFK-sletta ble det observert forhøyede konsentrasjoner av sink, kobber og nikkel. Dette kan ha sammenheng med avrenning fra tilkjørte jordmasser i forbindelse med revegetering av sletta. Til tross for betydelige metalldeponier etter nær 80 års militær bruk er konsentrasjonene av metaller i feltets bekker overraskende lave. Lite nedbør, kalkrikt jordsmonn og nøytralt til svakt basisk miljø er forhold som gir lav korrosjonshastighet av prosjektilrester og liten bevegelighet av løste metaller i markvannet. Forurensningsgraden var ubetydelig for bly og generelt liten til moderat for kobber, sink og nikkel, unntatt bekken fra demoleringsfeltet i Grisungdalen. Den er fortsatt moderat til markert forurenset, men liten vannføring gjør at den bidrar i ubetydelig grad til forurensningen av Grisungbekken. På Storranden er også tjernet betydelig forurenset av sink og kobber, mens bekken ikke er forurenset av metaller. Sink, kobber og nikkel, lekker litt til bekken fra gruvegrusen i kjøretraseene på Haukberget. Høsten 2008 førte en flyøvelse med skarpe bomber til at utlekkingen av metaller økte fra målområdet i Grisungdalen, men dette var normalisert året etter. Det ble etablert 4 nye grunnvannsbrønner i 2011 ved deponiene på Storranden i 2011. Målinger i disse starter i 2012.

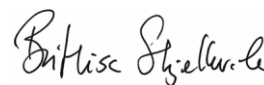
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Hjerkinn skytefelt	1. Hjerkinn shooting range
2. Metallkonsentrasjoner i bekker	2. Metals concentrations in brooks
3. Forurensningsgrad	3. Degree of impact
4. Tidsutvikling	4. Time trends



Sigurd Rognerud
Prosjektleder



Thorjorn Larssen
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

Hjerkinnskytefelt 2001-2011

**Overvåking av metallkonsentrasjoner i bekker, elver
og grunnvannsbrønner**

Forord

Denne rapporten er en oppdatering og en litt omarbeidet versjon av forrige årsrapport fra overvåkningen av metallkonsentrasjoner i bekker, elver og grunnvannsbrønner i Hjerkinnskytefelt (Rognerud 2011). Undersøkelsen dekker vanddirektivets krav til overvåking og kontroll av vannressurser som er utsatt for tilførsler av giftige og vanskelig nedbrytbare forbindelser.

Resultatene skal brukes av Forsvarsbygg i forbindelse oppryddinger av forurensningskilder ved tilbakeføringen av Hjerkinnskytefelt til sivile formål. Oppryddingen og tilbakeføringen av feltet til mest mulig naturlig tilstand startet i 2011. Det er tidligere utgitt sju årsrapporter som omhandler forurensnings situasjonen i vassdragene i Hjerkinnskytefelt (Rognerud 2002, 2003, 2007, 2009, 2010, 2011 og Rognerud *et al.* 2004).

Prosjektet ble kontraktfestet den 23. mai 2011 og Forsvarsbygg (FB), Utvikling ØST er oppdragsgiver. Kontaktperson i FB er senior prosjektleder Odd-Erik Martinsen.

Sigurd Rognerud (NIVA) har samlet inn alle vannprøvene, unntatt i 2004 da prøvene ble samlet inn av Odd-Erik Martinsen. Metallanalysene er gjort av AB Analytica (2001-2003) og NIVAs laboratorium i Oslo (2004-2011). En takk til Odd-Erik Martinsen og Frode Nyhagen for tilretteleggelse av feltarbeidet, Tore Østeraas for informasjon om deponiene som ble bygget i 2010-2011, og Jo Lund fra Forsvarets Hundepatrulje som sikret trygg tilkomst for prøvetakning ved HFK-sletta.

Ottestad, februar 2012



Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Metoder	8
2.1 Innsamling	8
2.2 Vannanalyser	8
3. Resultater	8
3.1 Vannanalyser i bekkene	8
3.1.1 Viktige vannkvalitetsvariable for metallers mobilitet	8
3.1.2 Alle delfelter unntatt Storranden og Svåni	10
3.1.3 Tidsutviklingen (2001-2011) i metallkonsentrasjoner i bekkene fra demoleringsfeltene i Grisungdalen og Svånidalen, stridsvognfeltet på Haukberget og Flyfeltet i Grisungdalen	12
3.1.4 Svåni, Grisungbekken og Tjørnhøbekken	17
3.1.5 Metallkonsentrasjoner og SFTs vannkvalitetskriterier i elver og bekker	20
3.2 Vannkvaliteten i grunnvannsbrønnene på Storranden	21
3.3 Tjernet og bekken på Storranden	24
4. Diskusjon	26
5. Litteratur	29
Vedlegg	31

Sammendrag

Rapporten omhandler resultatene fra overvåking av vannkvalitet i Hjerkinnskytefeltets bekker (2001-2011), i grunnvannsbrønner ved gamle deponier på Storranden (2004 - 2009) og i overflatevann (tjern og bekk) på Storranden i 2010-2011. I 2010 ble området på Storranden ombygget og det ble etablert 2 nye deponier som tar i mot metallforurensede masser fra Haukberget. Etter ombyggingen er det nå 4 grunnvannsbrønner. Overvåkingen av vannkvaliteten i disse skal starte i 2012, etter at grunnvannstrømmene rundt brønnspissene er etablert. Hensikten med overvåkingen er å sikre en god dokumentasjon av vannkvaliteten i skytefeltets bekker og i grunnvannet ved deponiene i forbindelse med å tilbakeføre feltet til sivile formål. Resultatene fra rapporten er en del av grunnlaget for Forsvarsbyggs arbeid med sikring av forurensningskilder, og utarbeidelse av en årlig miljødokumentasjon ved gjennomføringen av nedleggelse av Hjerkinnskytefelt (Forsvarsbygg 2010).

Hjerkinnskytefelt (165 km²) ligger på Dovrefjell og vannforekomstene i feltet består av bekker av ulike størrelse, samt et lite antall innsjøer. Geologien er variert og dette fører til klare regionale forskjeller i vannkvalitet. Skytefeltet har vært i militær bruk i over 80 år. Beregninger viser at etter 1950 har det vært deponert totalt ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink i feltet. I tillegg er betydelige mengder metallholdig grus fra gruvevirksomheten i Tverrfjellet, anriket på arsen, nikkel, kobber, kadmium og sink, benyttet til bygging av veier, blenderinger, målområder (HFK-sletta) og kjøretreaser for stridsvogner. Samlet areal med ulike terrenginngrep er grovt beregnet til om lag 1300 daa, som omfatter veger og plasser (853 daa) skyteanleggene på Haukberget (110 daa) og HFK-sletta (256 daa), samt inngrep som demoleringsplasser og tomter for bygg (Forsvarsbygg 2010).

Til tross for disse betydelige deponiene av metaller, er konsentrasjonene i bekkene overraskende lave. Forurensningsgraden for kobber, sink og nikkel er liten til moderat, unntatt i bekken fra demoleringsplassen i Grisungdalen, en av bekkene som avvanner HFK-sletta, og et tjern på Storranden, som er moderat til markert forurenset av kobber og sink. Høsten 2008 var det en betydelig økning i utlekkingen av metaller fra flyfeltet som følge av flyøvelser med dropp av skarpe bomber i Grisungdalen, men dette ble normalisert i løpet av 2009. Resultatene for overvåkingen i 2011 viser generelt ingen nevneverdige endringer i metallkonsentrasjonene fra tidligere. Dette betyr at gruvevirksomheten på Haukberget II i forbindelse med fjerning av banevullen, og restaureringen og ryddingen av demoleringsplassene i Svånidalen og Grisungdalen ikke har ført til ekstra utlekking av metaller.

Bekkene i skytefeltet er ikke nevneverdig forurenset av bly. Konsentrasjonene av bly, sink og nikkel er på nivå med de som vanligvis observeres i norske vannforekomster, men kobberverdiene er noe høyere, antagelig som følge av utlekking fra gruvegrus og korroderte prosjektilrester på Haukberget og korroderte ammunisjonsrester i flyfeltet i Grisungdalen. De lave blykonsentrasjonene i bekkene skyldes at deponerte blyfragmenters overflate etter hvert dekkes av en skorpe bestående av blykarbonater og blyulfater som reduserer videre oksidasjon av metallisk bly til et minimum, og følgelig også utlekkingen av løst bly til markvannet. Løste blyioner som likevel lekker ut, vil bindes i jorda til metalloksider eller som nesten uløselige bly-fosfor mineraler (pyrrromorfitt). Bly i bekkene forekommer derfor i hovedsak som lite biotilgjengelige eroderte blymineraler fra nedbørfeltet, enten naturlig forekommende eller dannet ved korrosjon av prosjektilrester.

I motsetning til bly dannes det vanligvis ikke signifikante mengder av kobber-, sink- og nikkelsalter i vann, men organisk materiale i form av løste humus- og fulvosyrer danner stabile komplekser med løst kobber samt med sink og nikkel i et aerobt alkalisk miljø. Dette stemmer godt overens med våre resultater der konsentrasjonene av disse metallene samvarierte signifikant med organisk materiale (TOC). Bindingen til "metalltransportøren" TOC og en mindre stabil skorpe av salter på prosjektilrestene er hovedårsaken til at disse metallene er mer mobile enn bly i skytefeltet.

1. Innledning

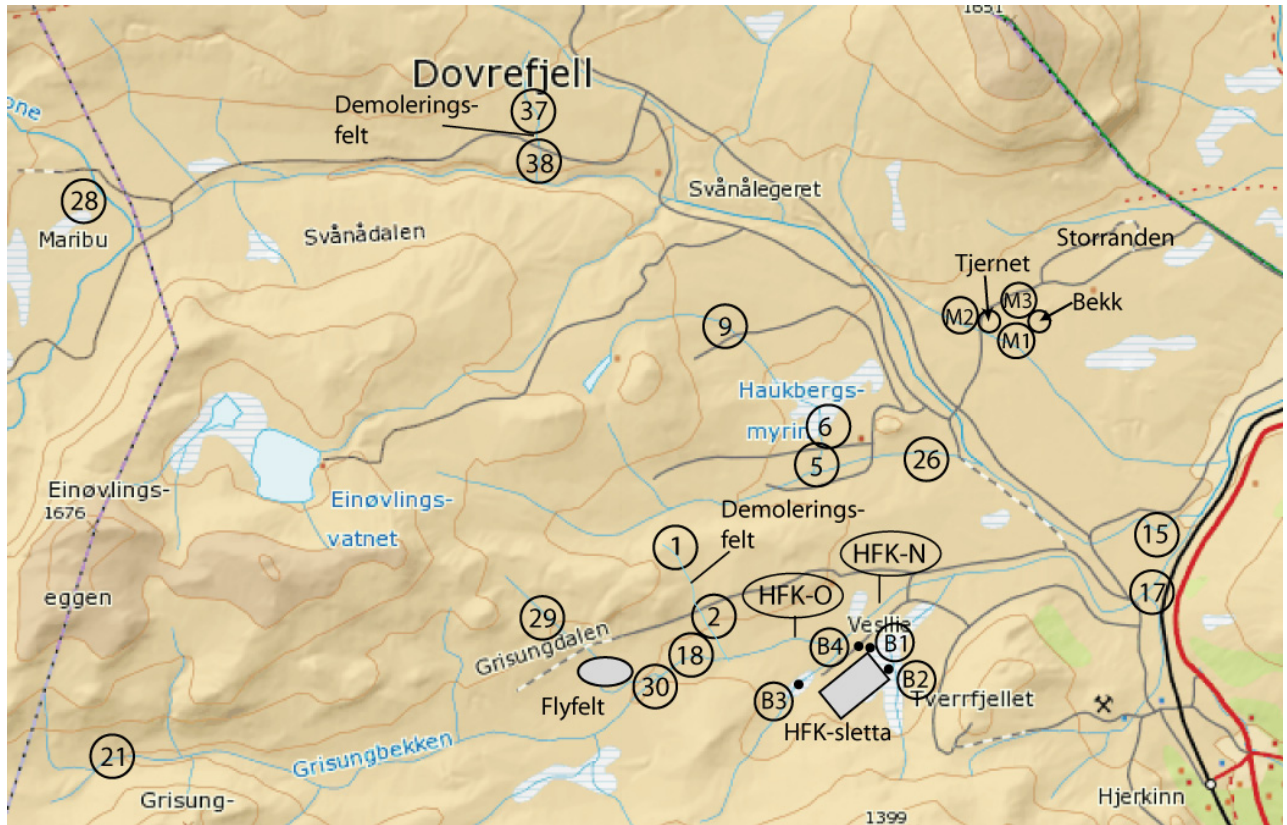
Hjerkins skytefelt (165 km²) ligger på Dovrefjell og omfattes i hovedsak av nedbørfeltene til Grisungbekken, Svåni og Grøna (Fig.1). De to første bekkene utgjør øvre deler av Drivas nedbørfelt, mens Grøna renner ned i Lågen like nordvest for Dombås. Vannforekomstene i feltet består av bekker av ulik størrelse og et lite antall innsjøer. Skytefeltet ligger i sin helhet over 1000 moh og har lav årsnedbør. Geologien er variert og dette fører til betydelige regionale forskjeller i vannkvalitet. Den nordligste delen består av feltspatholdig kvarsitt, øyegneis og innslag av kalkspatholdig fyllitt. De midtre deler består av kalkspatholdig fyllitt/glimmerskifer, mens i syd er berggrunnen dominert av grønn og grå fyllitt (Fig.2). Svåni og Grøna påvirkes av kaldt og turbid brevann sommer og høst.

Hjerkins skytefelt har vært i militær bruk i over 80 år. I hovedsak har det vært Hæren og Luftforsvaret som har benyttet feltet. Testvirksomhet i forbindelse med våpenindustriens produktutvikling og demolering av ammunisjon har også vært en vanlig aktivitet i feltet. Det er deponert prosjektiler etter bruk av handvåpen, artilleri, bombekastere, stridsvogner, raketartilleri og fly. I feltet finnes også etterlatenskaper etter tyskerenes virksomhet under krigen. En gruppe nedsatt av Forsvarets militære organisasjon har kartfestet militær aktivitet i ulike tidsperioder etter 1950, og beskrevet omfanget av aktiviteten. På bakgrunn av dette arbeidet og metallinnholdet i prosjektiler/ammunisjon har Forsvarets Logistikkorganisasjon (FLO/Land) estimert at det totalt er deponert ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink i skytefeltet (Roseth *et al.* 2003). Betydelige mengder metallholdig grusmasser fra gruvevirksomheten i Tverrfjellet er benyttet til bygging av veier, målområder, HFK-sletta og kjøretraséer for stridsvogner. Utløsning av metaller fra disse massene er også en potensiell forurensningskilde i skytefeltet. Gruvegrusen er anrikt på arsen, nikkel, kadmium, sink og kobber i forhold til det en vanligvis observerer i innsjøesedimenter i Norge (Rognerud 2003). Samlet areal med ulike terrenginngrep er grovt beregnet til om lag 1300 daa, som omfatter veger og plasser (853 daa) skyteanleggene på Haukberget (110 daa) og HFK-sletta (256 daa), samt inngrep som demoleringsplasser og tomter for bygg (Forsvarsbygg 2010). På bakgrunn av erfaringene fra undersøkelsene i 2002 ble programmet for overvåkingen i 2003 noe endret. Bekkene fra Einøvlingvatni, Kollaområdet, Tverrfjellet, Breidskaret og Grøna var ubetydelig forurenset og de ble ikke undersøkt i 2003. Resten av stasjonene ble også undersøkt i 2003 samt tre nye lokaliteter (st.60, 61 og 62) på Storranden. Disse er knyttet til avrenning fra et område som omfattet søppelplasser og et metall/ammunisjonsdeponi. I perioden 2004 - 2011 har noen færre stasjoner vært undersøkt i bekkene.

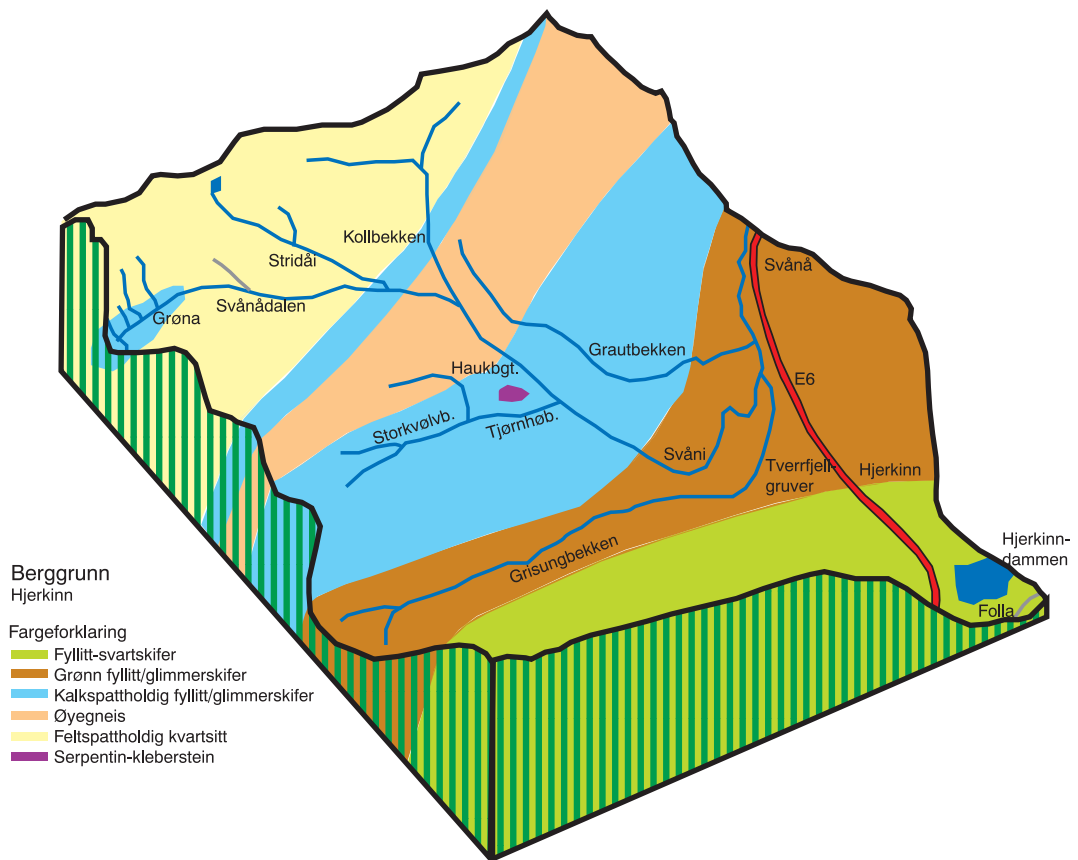
Tidligere ble vannkvaliteten i 8 grunnvannsbrønner undersøkt (2004 og 2006-2009). De lå i massetaken på Storranden nær 3 tidlige deponier, men ble avvirket i 2010 på grunn av etableringen av nye deponier for masser fra Haukberget II som kan inneholde eksplosivrester. Det er nå etablert 4 grunnvannsbrønn på Storranden hvorav 3 er nye og en er restaurert. Overvåkingen i disse vil starte i 2012.

Hensikten med overvåkingen er å sikre en god dokumentasjon av vannkvaliteten i skytefeltets bekker og i grunnvannsutsiget fra deponiene. Den militære aktiviteten er nå avsluttet. Arbeidet med å tilbakeføre feltet til sivile formål startet i 2010, men aktiviteten økte betydelig i 2011 med fjerning av målbanen på Haukberget II og restaurering av naturen ved demoleringsfeltene. Vannprøvene ble analysert med hensyn på metaller som observeres i høye konsentrasjoner i bekker som drenerer militære skytefelt (Rognerud og Bækken 2002), metaller som finnes i mindre mengder i militær ammunisjon (Rognerud *et al.* 2001), og vannkvalitetsvariable som påvirker metallers mobilitet, tilstandsform og giftighet (f.eks. pH, TOC, Ca). Konsentrasjonene av kvikksølv, kobber, bly og sink har vært såvidt lave at de ikke har førte til gifteffekter på fisk og bunndyr (Rognerud 2003).

Denne rapporten er en oppdatert og noe omarbeidet versjon av forrige overvåkningsrapport (Rognerud 2011), med resultatene fra alle vannkjemiske analyser gitt i vedlegget.



Figur 1. Oversikt over prøvestasjonene i Hjerkinnskytefelt.



Figur 2. En forenklet fremstilling av geologien i feltet etter Nilsen og Wolff (1989)

2. Metoder

2.1 Innsamling

Vannprøvene for metallanalyser ble innsamlet på syrevaskede plastflasker, mens vannprøver for analyse av pH og TOC ble samlet inn på plastflasker. Det ble ikke tatt prøver ved alle stasjonene ved alle prøverundene. Vannprøvene fra grunnvannsbrønnene (2004-2009) ble hentet opp med elektriske miljøpumper som ble senket ned i rørene. Det ble benyttet separate pumper og slanger for hver brønn.

2.2 Vannanalyser

Metallanalysene er utført av SGAB Analytica (2001-2003) og NIVA (2004-2010). Alle analyser av pH og TOC er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo. SGAB er akkreditert av SWEDAC og NIVA av Norsk Akkreditering (NA). As, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb og Zn ble analysert ved hjelp av ICP-MS. pH og TOC ble analysert etter henholdsvis metode A1, og G 4-2 gitt i metodebeskrivelser ved NIVAs laboratorium. Fra og med 2004 er et mindre antall metaller analysert.

3. Resultater

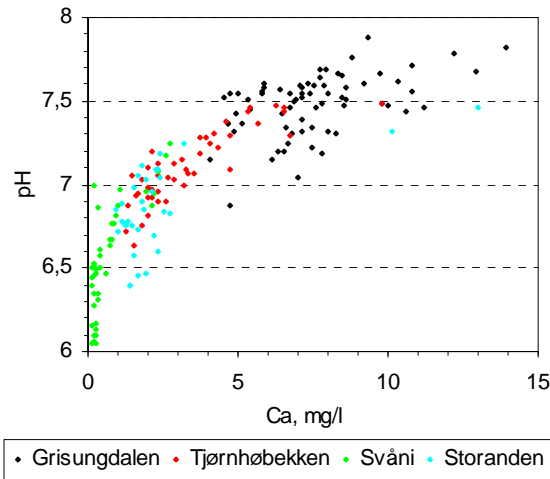
3.1 Vannanalyser i bekkene

Resultatene av vannanalysene (2007-2011) er gitt i vedlegget. Dataene er presentert i følgende delområder: Grisungdalens bekker, Tjørnhøbekken, tilløpsbekkene til Svåni og bekkene fra demoleringsplassene. Endring i metallkonsentrasjoner i Grisungbekken og Svåni fra oppstrøms skytefeltet til ut av feltet diskuteres i et eget avsnitt. Tidligere resultatene fra grunnvannsbrønnene ved deponiene på Storranden er også rapportert her, for å få med alle undersøkelsene i en rapport. De ble nedlagt i 2010, men nye ble etablert i 2011 og vannkvaliteten i disse skal overvåkes fra og med 2012.

3.1.1 Viktige vannkvalitetsvariable for metallers mobilitet

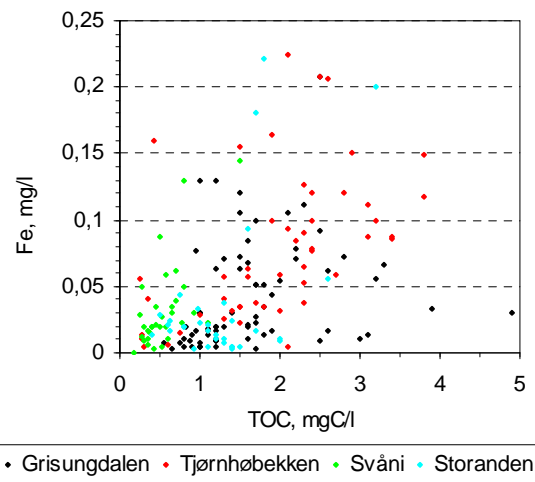
Utløsning av metaller fra berggrunn, løsavsetninger og korroderte prosjektilrester er til en stor grad avhengig av vannets pH-verdier, som i skytefeltets bekker i all hovedsak er styrt av forholdet mellom konsentrasjonene av bikarbonat (HCO_3) og CO_2 . I bekkene er konsentrasjonen av CO_2 i nær likevekt med luftas CO_2 og pH verdiene vil være styrt av bikarbonatkonsentrasjonen. Hovedkilden for bikarbonat i skytefeltets bekker er løsning av kalsiumkarbonat i grunnen. Det er derfor en god sammenheng mellom konsentrasjonene av kalsium og pH-verdiene i bekkene (Fig.3). Denne fremstillingsmåten er valgt fordi den viser nivåene av pH og kalsium som er svært viktig for metallers mobilitet i løsavsetningene og korrosjonshastigheten av deponerte prosjektilrester. Generelt sett er de fleste metaller mer mobile, og metallrestene korroderer raskere i et surt miljø enn i et kalkrikt. Geologien i skytefeltet er variert (Fig.2) og dette gir opphav til en stor variasjon i pH og kalsiumkonsentrasjoner i de ulike delfeltene (Fig.3). Grisungdalen har kalkholdige bergarter som kalkspatholdig- og grønn fyllitt/glimmerskifer. Dette gjør at bekkene får svakt basisk reaksjon (pH 7-8) og generelt ganske høye Ca konsentrasjoner (5-15 mg/l). Tjørnhøbekkens øvre deler drenerer områder bestående av kalkfattig øyegneis. Dette fører til at bekken har lave Ca konsentrasjoner og pH verdier nær 6, men begge øker betydelig når bekken renner gjennom det kalkspatholdige området på Haukberget. Svåni med tilløpselver drenerer områder som i hovedsak består av kvartsitt, gneis og områder med innslag av kalkspatholdig fyllitt. Dette gir lave Ca konsentrasjoner og pH-verdier mellom 6 og 7. Nedbørfeltet til Storrandens bekker består av kalkspatholdig berggrunn overfylt av store grusavsetninger som elver har tilført, fra gneis- og kvartsittholdige områder, ved slutten av siste

istid. Vannet i bekkene blir derfor noe kalkrikere enn Svånis tilløpsbekker. Bekkene som kommer ut av løsavsetningene på Storranden og i Grisungdalen samt noen av grunnvannsbrønnene er antagelig overmettet av CO_2 . Dette er antagelig årsaken til at pH var lavere enn pH ved de samme Ca-konsentrasjon i de godt utluftede bekkene (Fig.3).



Figur 3. Sammenhengen mellom kalsium-konsentrasjonen (Ca) og pH i bekkene i de ulike delfeltene.

Metallers mobilitet i løsavsetningene er også avhengig av konsentrasjonene av organisk materiale (TOC) og jernhydroksider (Fe). Disse stoffene binder løste metaller og gjør at de transporteres ut fra nedbørfeltet. Konsentrasjonene av disse "metall-transportørene" er lave i skytefeltets bekker og det var ingen klar samvariasjon mellom konsentrasjonene av disse variablene i noen av delfeltene (Fig.4)



Figur 4. Sammenhengen mellom konsentrasjonene av organisk materiale (TOC) og jern (Fe) i de ulike feltene.

Konsentrasjonene av As, Bi, Cd, Hg og Mo har vært undersøkt tidligere (Rognerud 2003, Rognerud et al. 2004), men konsentrasjonene var svært lave og oftest lavere enn grensen for sikre analyser. Det er derfor ikke knyttet forurensningsmessige problemer til disse metallene og de diskuteres ikke videre i rapporten. Militære etterlatenskaper inneholder også mindre mengder barium (Ba), strontium (Sr) og kobolt (Co). Vi har tidligere konkludert med at konsentrasjonene av disse metallene i bekkene er styrt av geokjemien i nedbørfeltet (Rognerud 2003). Denne konklusjonen bekreftes også av senere observasjoner.

3.1.2 Alle delfelter unntatt Storranden og Svåni

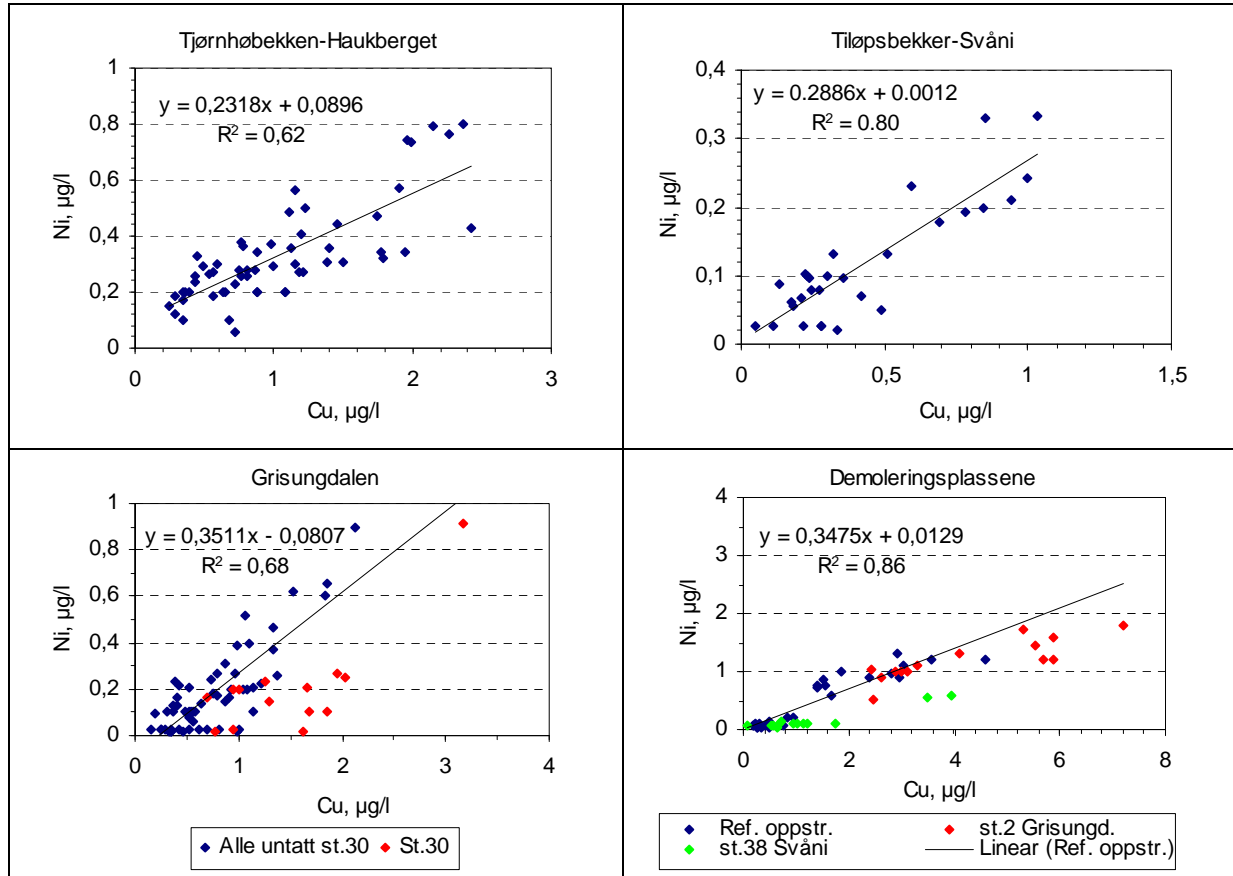
Militær håndvåpenammunisjon inneholder kobber, sink, bly og antimon, mens artillerigranater inneholder bl.a jern, aluminium, kobber og sink. Innholdet av metaller i flybomber er ukjent, men det aller meste er jern. Undersøkelsene i 2002 viste at den utkjørte gruvegrusen er anrikt på kobber, sink og nikkell. Aluminium er et vanlig element i jordsmonnet og vi kan ikke skille forurensninger fra naturlig bidrag i bekkene (Rognerud 2003). Antimon forekommer i lave konsentrasjoner og svært ofte var verdiene lavere enn grensen for sikre analyser. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser er satt til halvparten av denne i de statistiske analysene. Samvariasjonen mellom de øvrige metallene og de viktigste "metalltransportørene" i vann, organisk materiale og jern (jernhydroksider), er vist i Tab.1.

Tabell 1. Korrelasjonsmatrise mellom noen av de viktigste metallene samt organisk materiale (TOC) i tre delnedbørfelt i Hjerkinnskytefelt (2002-2010). Uthevede verdier viser statistisk signifikante korrelasjoner på 95 % konfidensnivå. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser er satt til halvparten av denne.

	Tjørnhøbekken- Haukberget, n=54					Grisungbekken m/tilløp n=60					Svåni's tilløpsbekker, n=21				
	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn
TOC	0,27	0,77	0,65	0,42	0,62	0,11	0,37	0,17	0,01	0,14	0,45	0,69	0,75	0,29	0,18
Fe		0,25	0,29	0,14	0,19		0,36	0,04	0,02	0,13		0,36	0,56	0,1	0,01
Cu			0,62	0,34	0,85			0,5	0,07	0,24			0,84	0,18	0,42
Ni				0,28	0,4				0,01	0,14				0,16	0,3
Pb					0,34					0,03					0,41

Det var en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av organisk materiale (TOC) og konsentrasjonene av kobber, nikkell og sink i Tjørnhøbekkens nedbørfelt, og mellom TOC og kobber og nikkell i Svåni's delfelter. Dette indikerer at humustoffer er en viktig "transportør" for disse elementene i bekkene. Det var en god samvariasjon mellom kobber og nikkell, og kobber og sink i Tjørnhøbekkens nedbørfelt. I Grisungbekkens nedbørfelt og i Svåni's tilløpsbekker var det bare kobber og nikkell som viste en høy grad av samvariasjon. Det er bemerkelsesverdig at bly ikke var signifikant korrelert til verken TOC eller noen av metallene. Vi kommer tilbake til dette i diskusjonen.

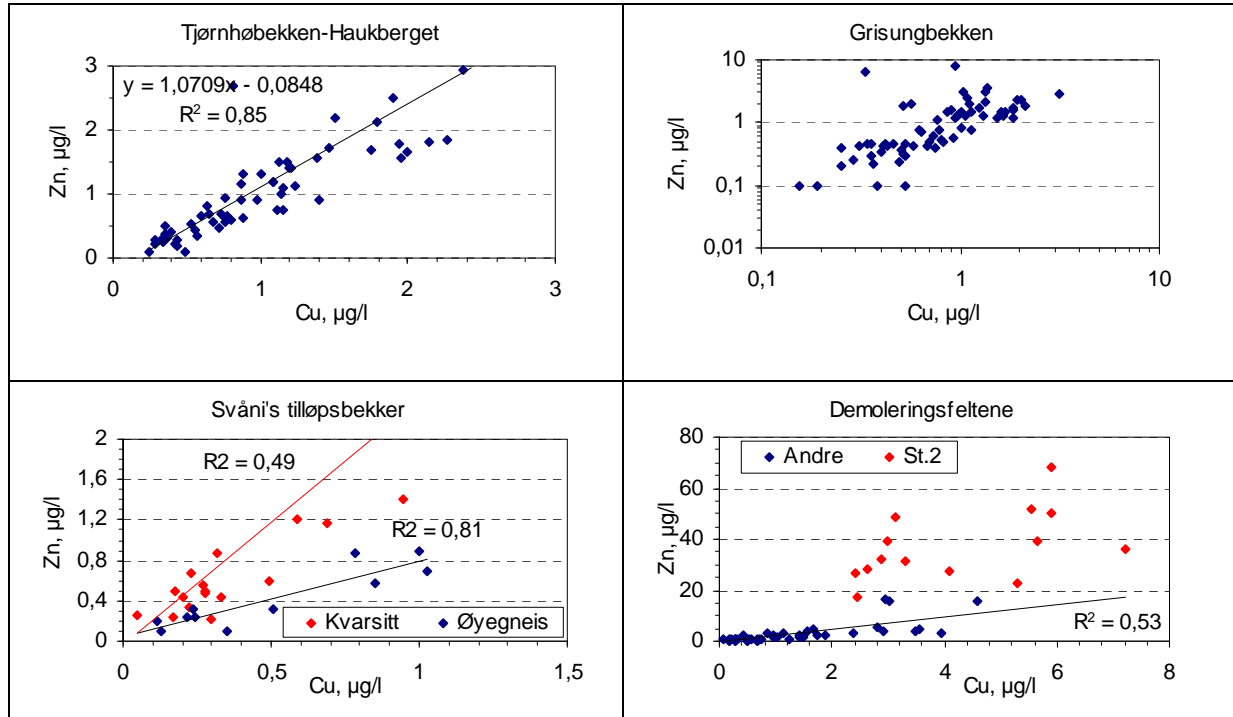
Den gode samvariasjonen mellom konsentrasjonene av kobber og nikkell i de fleste bekkene er oppsiktsvekkende. Militære etterlatenskaper (håndvåpen-prosjektiler, granater etc) inneholder kobber, men svært små mengder nikkell. Disse metallene er imidlertid anrikt i gruvegrus fra tidligere drift i Hjerkinns gruver (Rognerud 2003). Store mengder av gruvegrusen er benyttet i kjøretreaser og som underlag på HFK-sletta. Det kan derfor forventes en samvariasjon i bekkene som drenerer nedre deler av Haukberget og området nedstrøms HFK-sletta i Grisungdalen. Det var imidlertid ingen vesentlig forskjell på forholdet mellom konsentrasjonene av kobber og nikkell i bekker (3:1) fra disse områdene og fra områder der gruvegrusen ikke forekommer, selv om konsentrasjonene var høyere (Fig.5). Dette kan tyde på at geokjemien i området og gruvegrusen har nær det samme forholdet mellom disse metallene. Forholdet mellom kobber og nikkell var imidlertid noe høyere nedstrøms flyfeltet og demoleringsplassene. Dette indikerer at utsig fra kobberholdige prosjektilrester er en forurensningskilde i disse feltene (Fig.5). På Haukberget startet fjerningen av utkjørt stein og grus fra gruvevirksomheten i 2011, og skytevollen på Haukberget II ble i løpet av 2010/2011 i sin helhet fjernet og kjørt på deponiet ved Storranden.



Figur 5. Samvariasjonen mellom konsentrasjonene av kobber og nikkel i de ulike delfeltene. Regresjonslinjen for analysene i Grisungdalen er beregnet for alle data unntatt st.30 (utløpet av flyfeltet), mens i demoleringsfeltene er stasjonen oppstrøms deponiet beregningsgrunnlaget.

Det var også en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av kobber og sink i alle feltene, men bekken nedstrøms demoleringsplassen i Grisungdalen var betydelig mer anrikt på sink enn de andre (Fig. 6). I Svånis tilløpsbekker var forholdet mellom kobber og sink lavere i de bekkene som drenerte kvarsittholdig berggrunn enn de som drenerte områder med øyegneis. Kobber og sink er bestanddeler i de fleste ammunisjonsrester, men samtidig er disse metallene også anriktet i gruvegrus. Det er derfor ikke lett å skille mellom utlekking fra naturlig kilder, gruvegrus og korroderte prosjektiler når det gjelder sinkkonsentrasjoner i bekkene, med unntak av demoleringsplassen i Grisungdalen som helt klart er en sinkkilde (Fig.6). Demoleringsplassen er avviklet, og området er ombygget og restaurert.

På bakgrunn av denne gjennomgangen er det klart at bekkene i skytefeltet ikke er forurenset av bly. Vi kommer nærmere tilbake til årsakene til dette i diskusjonen. Videre er bekkene fra demoleringsplassene og flyfeltet forurenset av sink og kobber, mens nedre deler av Tjørnhøbekken, som påvirkes av avrenning fra Haukberget, er noe forurenset av nikkel, kobber og sink.



Figur 6. Samvariasjon mellom konsentrasjonene av kobber (Cu) og sink (Zn) i de ulike feltene. Regresjonslinjen for Svåni's tilløpsbekker representerer områder bestående av øyegneis, mens linjen for demoleringsfeltene er basert på alle data eksklusive data for st.2 (nedstrøms feltet i Grisungdalen).

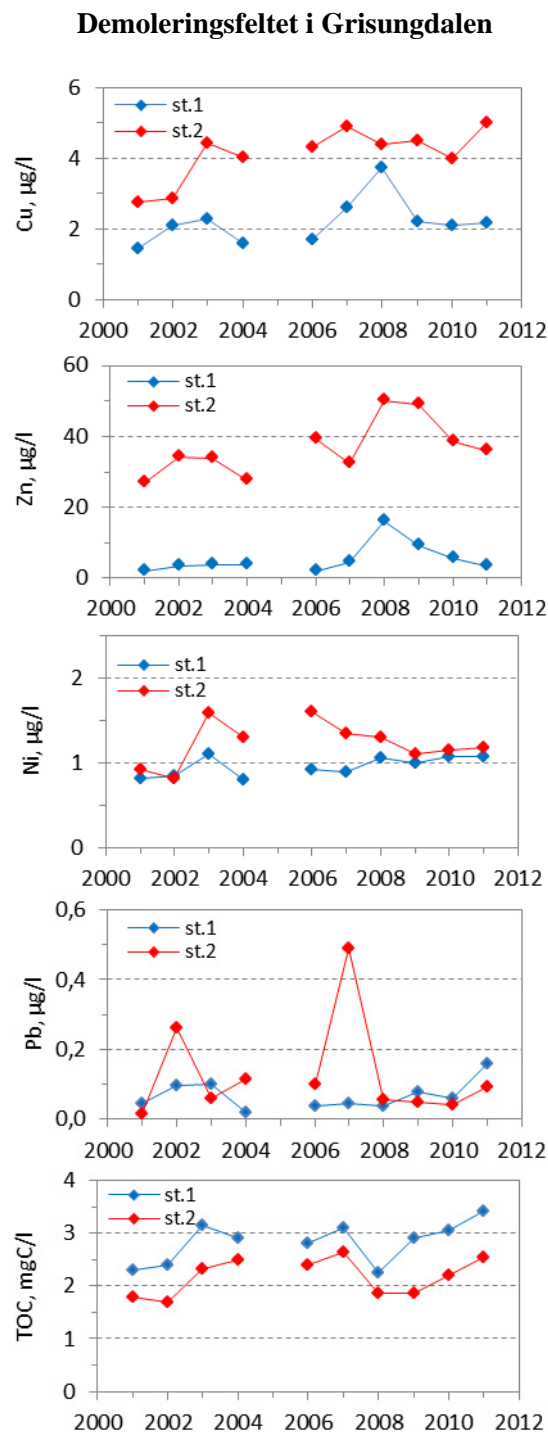
3.1.3 Tidsutviklingen (2001-2011) i metallkonsentrasjoner i bekkene fra demoleringsfeltene i Grisungdalen og Svånidalen, stridsvognfeltet på Haukberget og Flyfeltet i Grisungdalen

Dette er vist i Fig. 7-10 og kommentert

Generelt sett har konsentrasjonene av kobber, sink og nikkel i bekken som avvanner demoleringsfeltet økt fra referansestasjonen oppstrøms deponiet (st.1) til nedstrøms (st.2) i hele overvåkingsperioden (Fig.7), men for TOC har verdiene vært høyest ovenfor deponiet (st.1). Dette kan skyldes at de store sandavsetningene i demoleringsfeltet virker som et filter for TOC. Bly-konsentrasjonene i bekken har vært svært lave og demoleringsfeltet er ingen kilde til blyforurensning i bekken nedstrøms. Det har ikke vært noen klar tidstrend for nikkel (Ni) og bly (Pb), mens kobber og sink (Zn) i bekken ut av feltet (st.2) har vært noe høyere etter 2005 enn før. Demolering av ammunisjon er avviklet og feltet ble i 2011 ombygd og restaurert. I 2001 var metallkonsentrasjonene på nivå med målinger gjort etter 2005, så anleggsarbeidet førte ikke til økt forurensning av bekken.

Feltnotater indikerer at variasjonen i metallkonsentrasjonene til en viss grad har vært relatert til variasjoner i vannføringen (høy, middels, lav). Lavest ved høy vannføring. Selv om Hjerkin ligger i regnskyggen med beskjeden årsnedbør, så kan episodisk høyere konsentrasjoner ha forekommet i første fase av regnværperioder når løste metaller lettere vaskes ut av deponiet.

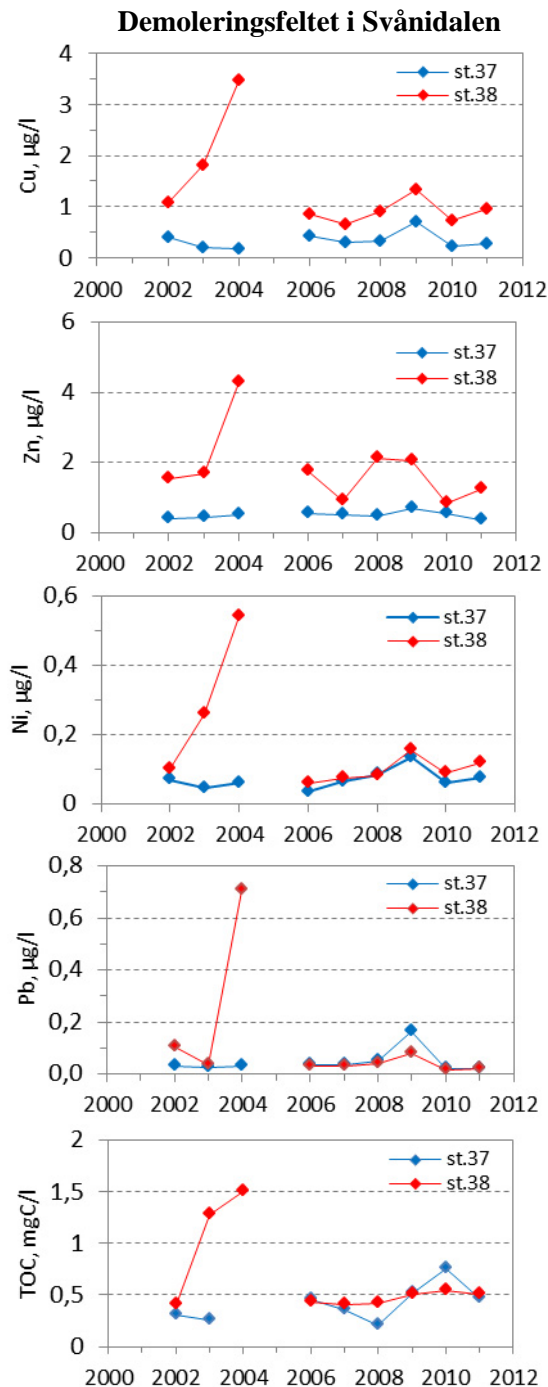
Konsentrasjonsøkningen har vært størst for sink (20- 50 $\mu\text{g/l}$), mens kobberkonsentrasjonen dobles i bekken gjennom feltet (fra 2 til 4 $\mu\text{g/l}$). Dette er rimelig da sink generelt er mer mobilt, i avrenning fra landdeponier, enn bly og kobber. Nikkel og antimon-konsentrasjonene (i vedlegget) i bekken ved utløpet av feltet har vært lave, og påslaget gjennom deponiet har vært beskjedent. Med unntak av tre episoder var konsentrasjonene av bly nær de samme i bekken ved inn og utløp av feltet. Episodene kan ha sammenheng med forstyrrelser av deponiet (demolering). Vi må regne med at det ligger en god del bly i deponiet i forbindelse med demolering av ammunisjon, men de lave konsentrasjonene av bly i bekken viser hvor sterkt bly bindes i et alkalisk miljø slik som det er i dette deponiet (Fig.3, og i vedlegget). Det er rimelig at det dannes ei skorpe av uløselige korrosjons-produkter av bly på prosjektilrestene og at dette også hindrer en større utlekking av antimon som bly er legert med. Demoleringsplassen er nå lukket og landskapet restaurert, det forventes derfor en positiv effekt på vannkvaliteteten i bekken allerede i 2012.



Figur 7. Middelkonsentrasjoner (mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og totalt organisk karbon (TOC) i bekken oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) Grisungdalen demoleringsfelt i Hjerkinnskytefeltet i perioden 2001-2011.

Generelt har konsentrasjonene av kobber og sink vært høyere i bekken nedstrøms demoleringsfeltet (st.38) enn ved referansestasjonen oppstrøms (st.37) i hele perioden (Fig.8). Økningen er imidlertid langt mer beskjeden enn i bekken som avvanner demoleringsfeltet i Grisungdalen (Fig.7). I 2003 og 2004 økte TOC betydelig nedstrøms feltet. Dette førte til betydelig økning i konsentrasjonene av organisk bundet metaller. Etter dette har konsentrasjonen av kobber vært nær 0,5 $\mu\text{g/l}$ ved referansestasjonen og nær det dobbelte nedstrøms demoleringsfeltet. Tilsvarende var det også for sink, men generelt var konsentrasjonene litt høyere hhv ca.0,8 $\mu\text{g/l}$ og 1,5 $\mu\text{g/l}$. Det er mulig at økningen i kobber og sink-konsentrasjonene mellom stasjonene skyldes korrosjon av metallrester som ligger spredt på bakken over et stort område i bakkens nedbørfelt. Etter 2006 har konsentrasjonene av metaller variert svært lite. I 2011 ble demoleringsfeltet restaurert. Jernskrot og andre metallfragmenter etter demoleringer ble fjernet.

Konsentrasjonene av nikkell, og særlig bly og antimon (i vedlegget) har vært lave i hele perioden, og i mange tilfeller lavere enn grensen for sikre analyser (satt til halvparten av denne(Fig.8)). Konsentrasjonene i 2011 var på nivå med de som er registrert tidligere. Det ble ikke målt konsentrasjoner over 1 $\mu\text{g/l}$. Med unntak av episodisk høyere konsentrasjoner i 2004 (for alle metallene) så var det ingen klar forskjell mellom konsentrasjonene oppstrøms og nedstrøms demoleringsfeltet. Det har ikke vært noen klar tidsutvikling i konsentrasjonene av metaller. Episodisk høyere verdier i 2004 er vanskelig å forklare, men det kan skyldes at nedbør har vasket ut metaller assosiert til jordpartikler i nedbørfelt som stammer fra demoleringstedet. Det er ikke uvanlig at sprengningen (demoleringen) har ført til at finkorna jordpartikler og ammunisjonsrester spres over et stor område. Dette demoleringsfeltet lekker ikke nevneverdig med metaller til bekken. Årsaken kan være at mye av grunnvannsiget fra feltet har lang veg før det når bekken. Det er derfor store sjanser for at mye av korrosjonsproduktene bindes i jorda før det når bekken.



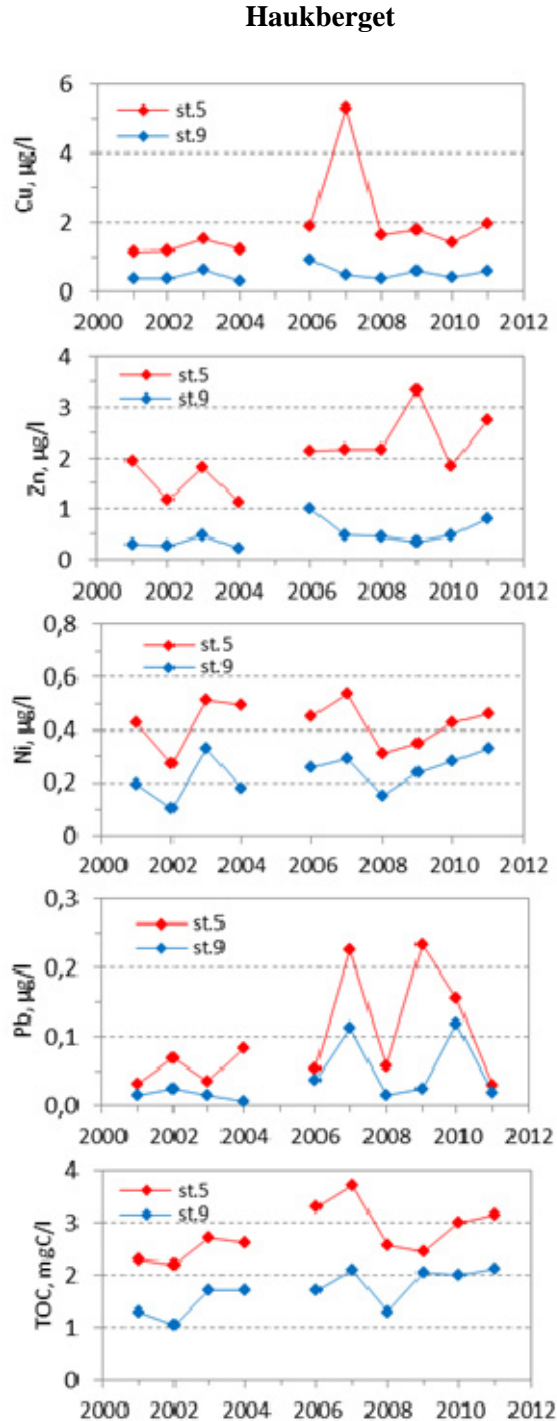
Figur 8. Middelskonsentrasjoner(mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkell (Ni), bly (Pb) og totalt organisk karbon (TOC) i bekkene oppstrøms (st.37, blå kurver) og nedstrøms (st.38, rød kurver) for Svånidalen demoleringsfelt i perioden 2002-2011.

Generelt har konsentrasjonene av kobber, sink og nikkel vært høyere i Tjørnhøbekken nedstrøms stridsvognfeltet på Haukberget (st.5), enn ved referansestasjonen oppstrøms (st.9) i hele perioden (Fig.9). Med unntak av episodene i 2007 og 2009 har konsentrasjonen av kobber og sink vært nær 0,6 µg/l ved referansestasjonen og nær tre ganger så høy nedstrøms stridsvognfeltet. Konsentrasjonene av kobber og sink i 2011 var på nivå med tidligere målinger. Dette viser at anleggsarbeidene knyttet til restaureringen av Haukberget II ikke har ført til økt forurensning av sink og kobber.

Konsentrasjonene av nikkel har også økt i bekken fra ca 0,25 µg/l til nær det dobbelte på veien gjennom feltet. Konsentrasjonene av bly og antimon (i vedlegget) har vært lave og nær grensen for sikre analyser. Det har ikke vært noen klar tidstrend og konsentrasjonene av nikkel og antimon i 2011 var på nivå med tidligere målinger.

Det er imidlertid interessant at konsentrasjonene av nikkel, bly og antimon øker noe gjennom Haukberget (Fig.9) og ikke i flyfeltet (Fig 10). Det er kjørt ut store mengder gruvegrus for oppbygging av kjøretreaser og blanderinger på Haukberget, men det er også deponert mye prosjektiler fra håndvåpen og mitraljøser, inneholdende kobber, sink, bly og antimon. I flyfeltet derimot er det ikke kjørt ut gruvegrus, men feltet er tidligere brukt som målområde for fly og artilleri. Ammunisjonsrestene fra denne aktiviteten inneholder kobber og sink, men ubetydelige mengder nikkel, bly og antimon, mens gruvegrusen er anriket på kobber, sink og nikkel, men ikke bly og antimon (Rognerud 2003). Økning i konsentrasjonen av nikkel i Tjørnhøbekken indikerer derfor at gruvegrus er en kilde til dette og kanskje også litt for økningen av kobber og sink.

I 2011 var konsentrasjonene av bly og antimon svært lave og på nær bakgrunns-konsentrasjoner i området. I løpet av 2012 skal mye av oppryddingen av kjøretreaser og blanderinger være gjennomført også i ved Haukberget I. Etter dette forventes en reduksjon i konsentrasjoner også av kobber og sink i bekken.



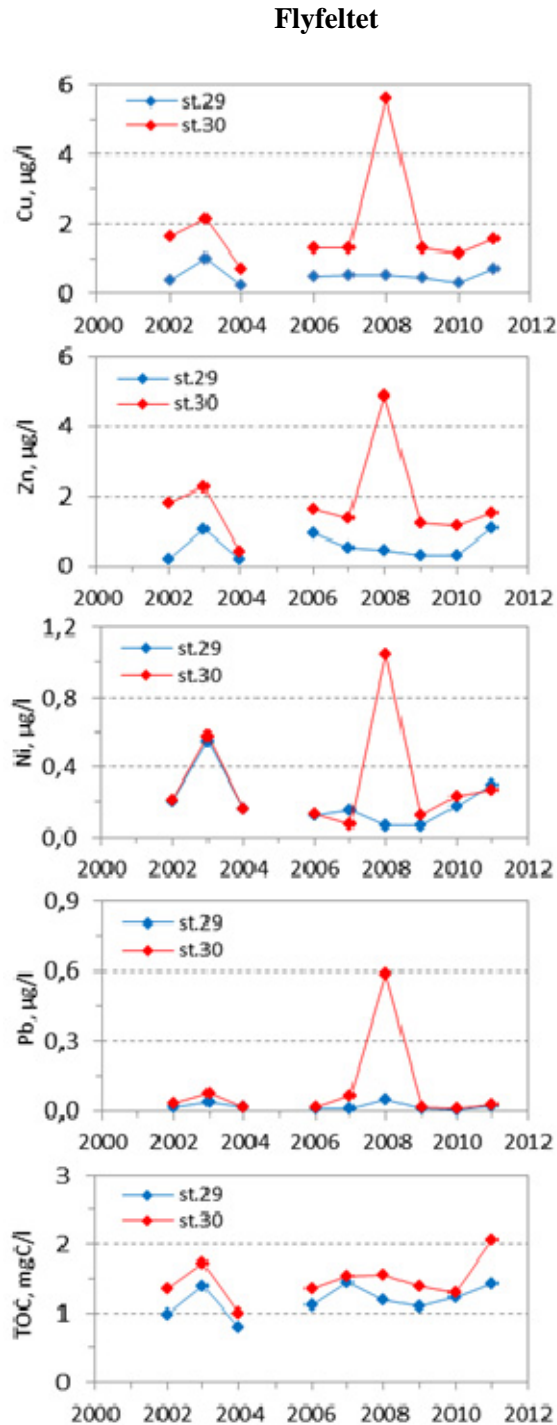
Figur 9. Middelkonsentrasjoner (mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og TOC i Tjørnhøbekken oppstrøms (st.9, blå kurver) og nedstrøms (st.5, rød kurver) stridsvognbanene ved Haukberget i perioden 2001-2011. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser (Pb) er satt til halvparten av denne.

Generelt har konsentrasjonene av kobber og sink vært høyere i bekken nedstrøms flyfeltet, før den renner ut i Grisungbekken (st.30), enn på referansestasjonen (st.29) oppstrøms flyfeltet i hele perioden (Fig.10). Med unntak av en episode høsten 2008, som ikke skyltes metaller bundet til organisk materiale (TOC), har konsentrasjonen av kobber og sink vært nær 2-3 ganger høyere nedstrøms feltet enn oppstrøms fram til 2010. I 2011 økte konsentrasjonene av kobber, sink og nikkel på referansestasjonen (st.29). Dette kan ha sammenheng med de store bombekratrene som oppsto nær bekkeliet etter flybombing i nedbørfeltet, oppstrøms referansestasjonen, på slutten av den militære aktiviteten i feltet.

I bekken fra flyfeltet var det en betydelig økning i metallkonsentrasjoner høsten 2008, som også førte til økninger i Grisungbekken. Årsaken antas å være betydelig flyøvelsen med dropp av skarpe bomber i Grisungdalen høsten 2008. Effekten av dette var imidlertid kortvarig og sommeren 2009 var konsentrasjonene tilbake til nivåene før denne hendelsen.

Episoden høsten 2008 førte også til økte konsentrasjoner av nikkel og bly, men uten at konsentrasjonene kan karakteriseres som høye. Ellers har de vært svært lave og med ubetydelige forskjeller mellom stasjonene. Konsentrasjonene av antimon (i vedlegget) har vært nær, eller under grensen, for sikre analyser på begge stasjoner i hele perioden

Denne overvåkningserien viser at betydelige forstyrrelser av deponiområder, slik som ved drop av kraftig flybomber, fører til endringer i dreneringsmønsteret i feltet og eksponerer nye forurensningskilder for utlekking. Likevel er det positivt at effekten ser ut til å være kortvarig. I 2011 bidro ikke Flyfeltet til nevneverdig metallforurensning av Grisungbekken



Figur 10. Middelskonsentrasjoner(mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og TOC i bekken oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) flyfeltet i perioden 2002-2011. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser(Pb) er satt til halvparten av denne.

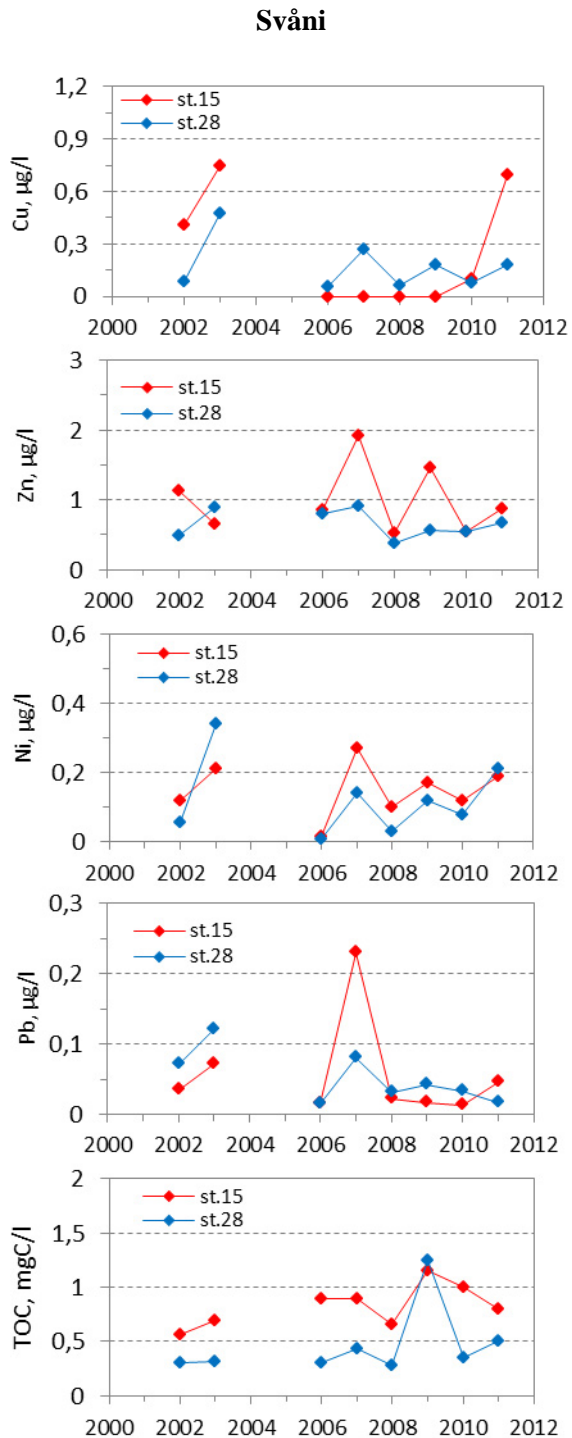
3.1.4 Svåni, Grisungbekken og Tjørnhøbekken

Svåni er påvirket av smeltevann fra breer i Snøhettaområdet og elva har turbid vann med høyt innhold av uorganisk materiale fra slutten av juni til begynnelsen av september. Dette betyr at de fleste metaller er bundet i den uorganiske fraksjonen ved Maribu (st.28) oppstrøms skytefeltet (Fig.1 og 11). Selv om brevannet fortynnes noe av tilrennende bekker i området ned mot Svåni's utløp av feltet (st.15) er elva klart påvirket av brepartikler også ved denne stasjonen (Rognerud 2007).

Konsentrasjonen av metaller har vært lave i Svåni i hele overvåkingsperioden og det er små forskjeller på konsentrasjonene i elva inn i feltet (st.28) og ut av feltet (st.15). Untaket fra dette mønsteret er kobber i 2011 der konsentrasjonene ut av feltet økte uten at det tilsvarende skjedde inn i feltet (st.28). Dette er vanskelig å forklare da det ikke skyldes endringer i konsentrasjoner av TOC. De har sunket siden 2009.

Generelt sett øker TOC i Svåni på vei gjennom feltet som følge av utlekking av TOC fra myrområder. Kobber er assosiert til TOC i Svåni (Tab.1), og økende humuspåvirkning fører til økte konsentrasjoner som har sitt opphav i berggrunn i nedre del av skytefeltet. Likevel kan det ikke utelukkes et lite bidrag fra etterlatenskaper etter militær aktivitet i Tjørnhøbekkens myrlendte områder. Episodisk høye verdier kan skyldes erosjon av jordpartikler ved høy vannføring slik som ved snøsmeltingen i 2007 og 2009.

Korrosjon av militære etterlatenskaper i Svånådalen og på Haukberget, som tilføres Svåni, har derfor ingen nevneverdig betydning for vannkvaliteten i elva når den renner ut av feltet. Svåni har relativt høy vannføring når breene smelter sommerstid. Dette gjør at evnen til å fortynne eventuelle utslipp av metaller fra militær aktivitet er stor. De metallkonsentrasjoner som observeres er derfor i all hovedsak fra naturlige kilder, bundet til småkorna uorganiske partikler (breparkler) fra øvre deler av nedbørfeltet.

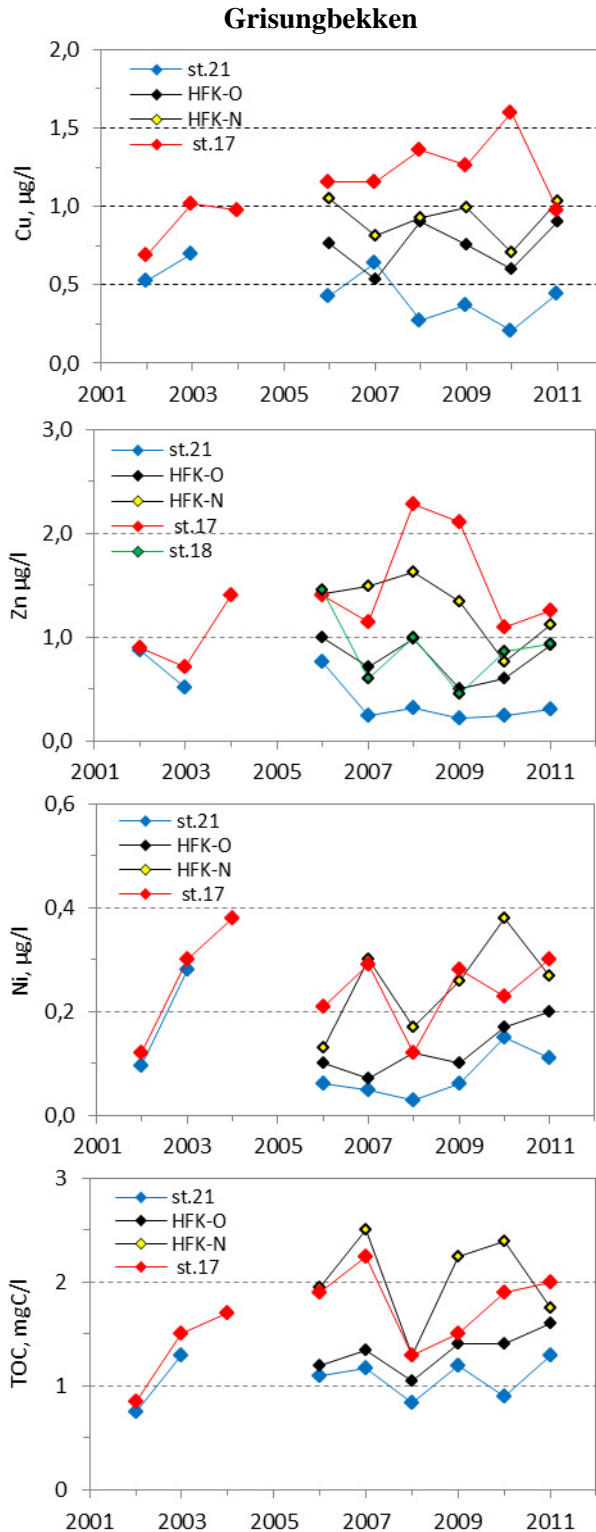


Figur 11. Middelskonsentrasjoner (mai-okt.) av totalt organisk materiale (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni) i Svåni inn (st.21) og ut av feltet (st.17) i perioden 2002 til 2011.

I Grisungbekken økte konsentrasjonene av metaller og TOC fra referansestasjonen, st.21 til utløpet av feltet, st.17 (Fig.12). Økningen mellom disse målepunktene var liten eller ubetydelig før 2005, men har vært betydelig etter 2005. Årsaken til dette kan være flere slik som økt bruk og utlekking av metaller fra HFK-sletta, indikert ved målinger oppstrøm (HFK-O) nedstrøms (HFK-N), men også økt bruk av fra flyfeltet kan ha bidratt (Fig.10). Metaller er assosiert til TOC og økningen i TOC skyldes naturlige forhold, som økt avrenning fra myrer oppstrøms HFK-sletta (HFK-O). Avrenningen fra HFK-sletta og omkringliggende myrer bidrar til en klar økning i TOC i Grisungbekken (HFK-O, HFK-N). Tilkjøpte jord-masser til bruk ved revevegetering av HFK-sletta kan også ha bidratt til dette. Fra 2010 til 2011 var det likevel en nedgang i kobber-konsentrasjonene i bekken ut av feltet (st.17), men ikke for TOC og de andre metallene. Vi kan ikke forklare dette.

For sink kan også bekken fra demoleringsfeltet («Demobekken»), som renner inn i Grisungbekken mellom flyfeltet og HFK-sletta, være en kilde. Den har mindre vannføring enn bekken fra flyfeltet, men konsentrasjonene av sink har vært betydelig høyere enn i Grisungbekken. I Zn-panelet i Fig.12 har vi lagt inn målinger fra st.18 som ligger nedstrøms utløpet av bekken fra flyfeltet, men oppstrøms utløpet av «Demobekken». Det var ingen forskjell i sink-konsentrasjoner ved denne stasjonen og stasjonen oppstrøms HFK (HFK-O), mens den øker betydelig nedstrøms HFK (HFK-N). Dette indikerer at HFK-sletta kan være en sinkkilde og at vannføring i «Demobekken» er for liten til å påvirke vannkvaliteten i Grisungbekken.

Konsentrasjonene av nikkell har vært lave ($< 0,4 \mu\text{g/l}$), men likevel har de vært klart høyere ut av feltet (st.17) enn inn i feltet (st.21). Konsentrasjonene ovenfor HFK-sletta (HFK-O) var nær referansen, mens nedenfor (HFK-N) var de betydelig høyere og nær nivåene når bekken renner ut av feltet (st.17). Dette kan skyldes utlekking nikkell fra gruvegrus som toppdekket av HFK-sletta består av.



Figur 12. Middelkonsentrasjoner(mai-oktober) av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkell (Ni) ved ulike stasjoner i Grisungbekken i perioden 2002 til 2011

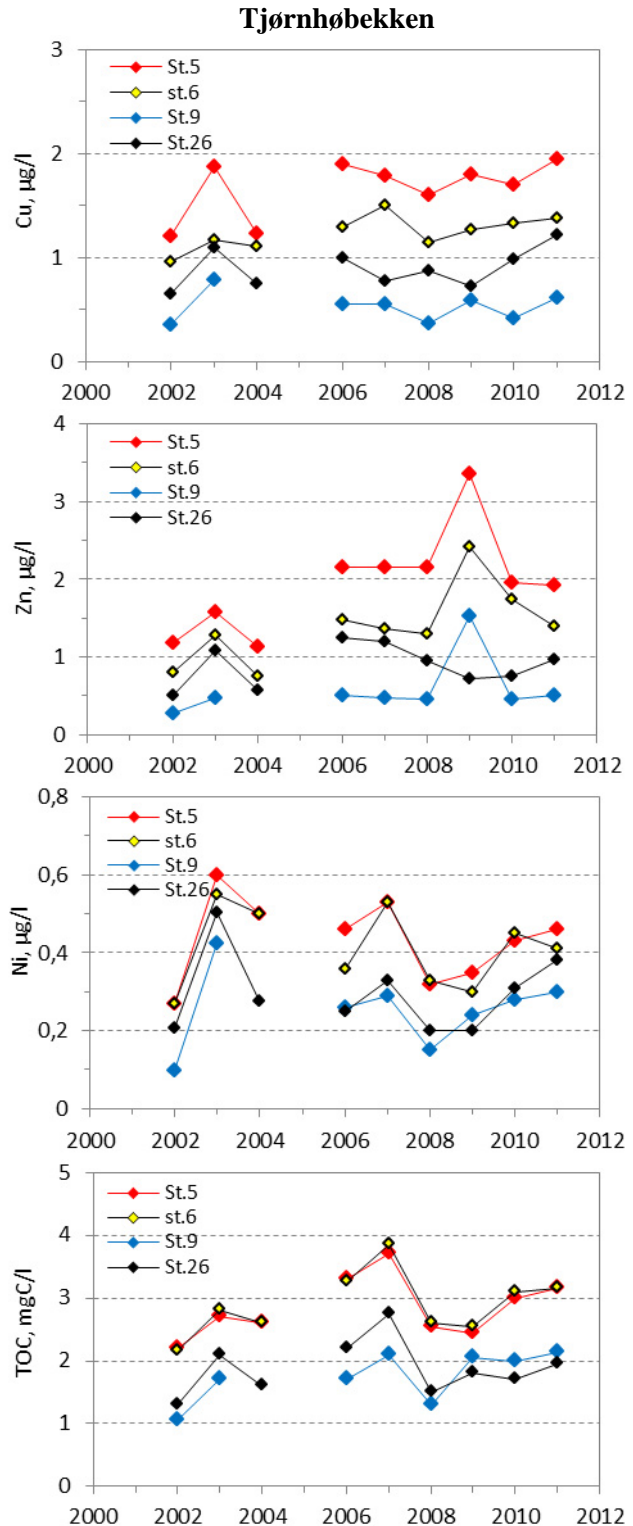
I 2011 var metallkonsentrasjonene i Tjørnhøbekken på nivå med tidligere observasjoner. Gravearbeidene i forbindelse med fjerning av massene fra målbanen på Haukberget II, og revevegetering har ikke bidratt til nevneverdig økning av metaller i bekken.

Tjørnhøbekken avvanner de tidligere brukte stridsvogndefeltene på Haukberget. Konsentrasjonene av TOC har vært lavest i Tjørnhøbekken oppstrøms Haukberget II (st.9) i hele overvåkingsperioden og høyest etter Haukberget I og II (st.5 og 6, Fig.13). Det er de store myrområder mellom Haukberget I og II som er årsaken til dette.

Konsentrasjonene av metaller i Tjørnhøbekken øker også fra referansen (st.9) til utløp av Haukberget II (st.6) og videre til utløpet av Haukberget I (st.5). Mellom st.6 og 5 er det kjørt ut store mengder gruvegrus i kjøretrassene for stridsvognene. Det er rimelig å anta at metallutlekking fra disse er årsaken til økningen på denne strekningen. Det har ikke vært noen klar tidstrend i konsentrasjoner av metaller eller TOC i tidsperioden 2002-2011.

Etter at Tjørnhøbekken renner sammen med Storkvølvbekken blir både konsentrasjonene av metaller og TOC lavere (st.26). Dette skyldes at Storkvølvbekken oppstrøms samløpet har høyere vannføring og nær samme vannkvalitet som Tjørnhøbekken ved referansestasjonen (st.9) oppstrøms stridsvogndefeltene på Haukberget.

Stridsvogndefeltene på Haukberget er nå under opprydding og restaurering slik at området blir nær slik det var før skytefeltet ble tatt i bruk. I 2011 ble skytevollen på Haukberget II fjernet, mens veier og blandingene skal fjernes i 2012. Vi forventer lavere metallkonsentrasjoner i bekkene etter dette arbeidet er ferdig.

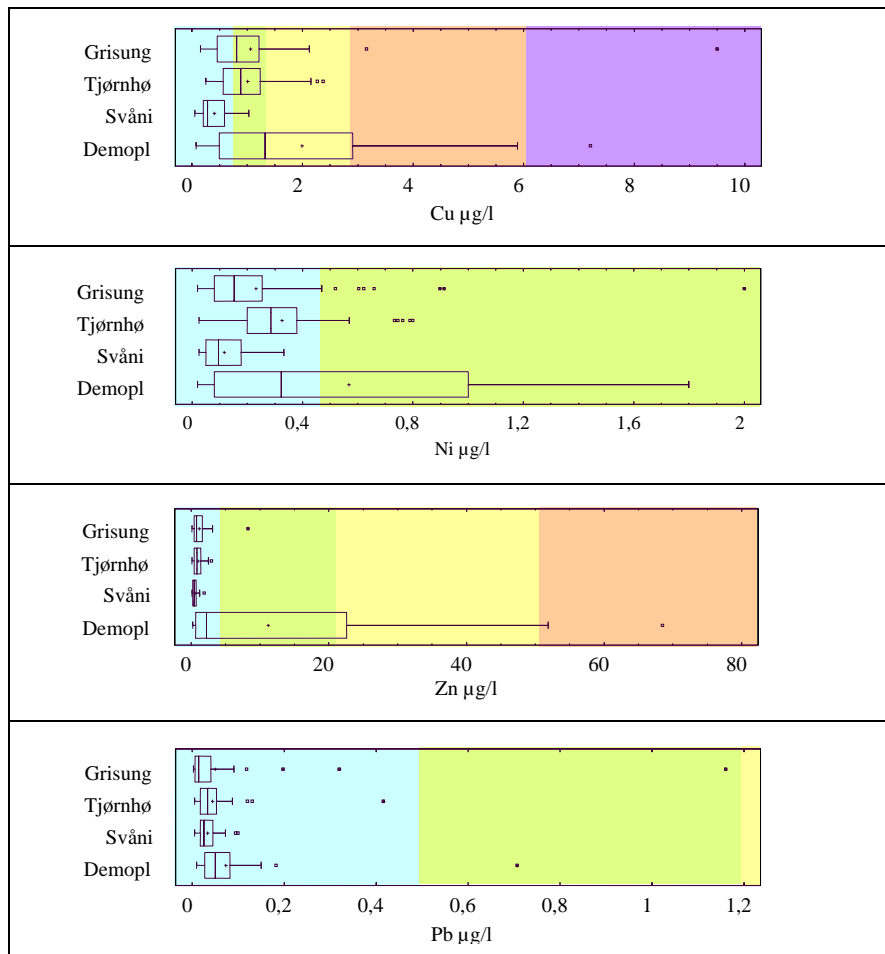


Figur 13. Middelkonsentrasjoner av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni) i Tjørnhøbekken inn i feltet (st.9), etter Haukberget II (st.6), etter Haukberget I (st.5) og ut ved utløpet i Svåni (st.26) i perioden 2002 til 2011.

3.1.5 Metallkonsentrasjoner og SFTs vannkvalitetskriterier i elver og bekker

En samlet oversikt over alle metallanalysene i delfeltene i lys av SFTs vannkvalitetskriterier viser at bekkene er ubetydelig forurenset av bly, lite til moderat av nikkel, sink og kobber, unntatt bekken fra demoleringsfeltet i Grisungdalen som er moderat til markert forurenset av kobber (Fig.14).

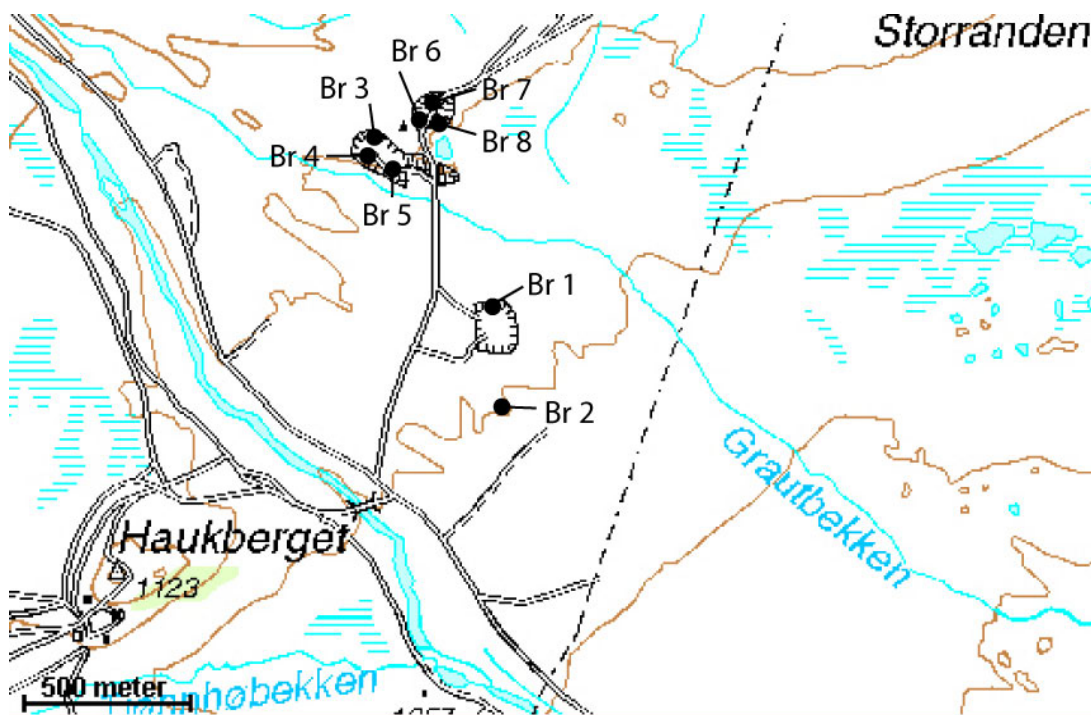
Det er episodisk målt enkelte høyere konsentrasjoner. Dette er atypiske verdier som blir registrert når vannføringen er spesielt lav eller at det har vært økt erosjon. I slike tilfeller kan metaller fra fyllinger, utkjørt gruvegrus og metallrester i bekkefarene og nedbørfelt få økt innflytelse. Dette får imidlertid liten betydning for vannkvaliteten i Grisungbekken og Svåni på grunn av fortynningen av vann fra lite forurensete områder. Dersom en tar i betraktning de betydelige potensielle forurensningskildene i skytefeltet må forurensningsgraden i bekkene betegnes som overraskende lav.



Figur 14. Boksplott for konsentrasjonene av de viktigste metallene i delfeltene. Boksene inkluderer 50 % av observasjonene, medianen er markert med strek og middelverdien med +. Linjene fra boksene er trukket til laveste og høyeste kvartil (25 til 75 % av observasjonene), mens observasjoner utenfor disse er markert med firkanter. Fargeangivelsene representerer SFTs tilstandsklasser for metaller i vann. Blå: ubetydelig forurenset, grønn: moderat forurenset, gul: markert forurenset, orange: sterkt forurenset og rød: meget sterkt forurenset.

3.2 Vannkvaliteten i grunnvannsbrønnene på Storranden

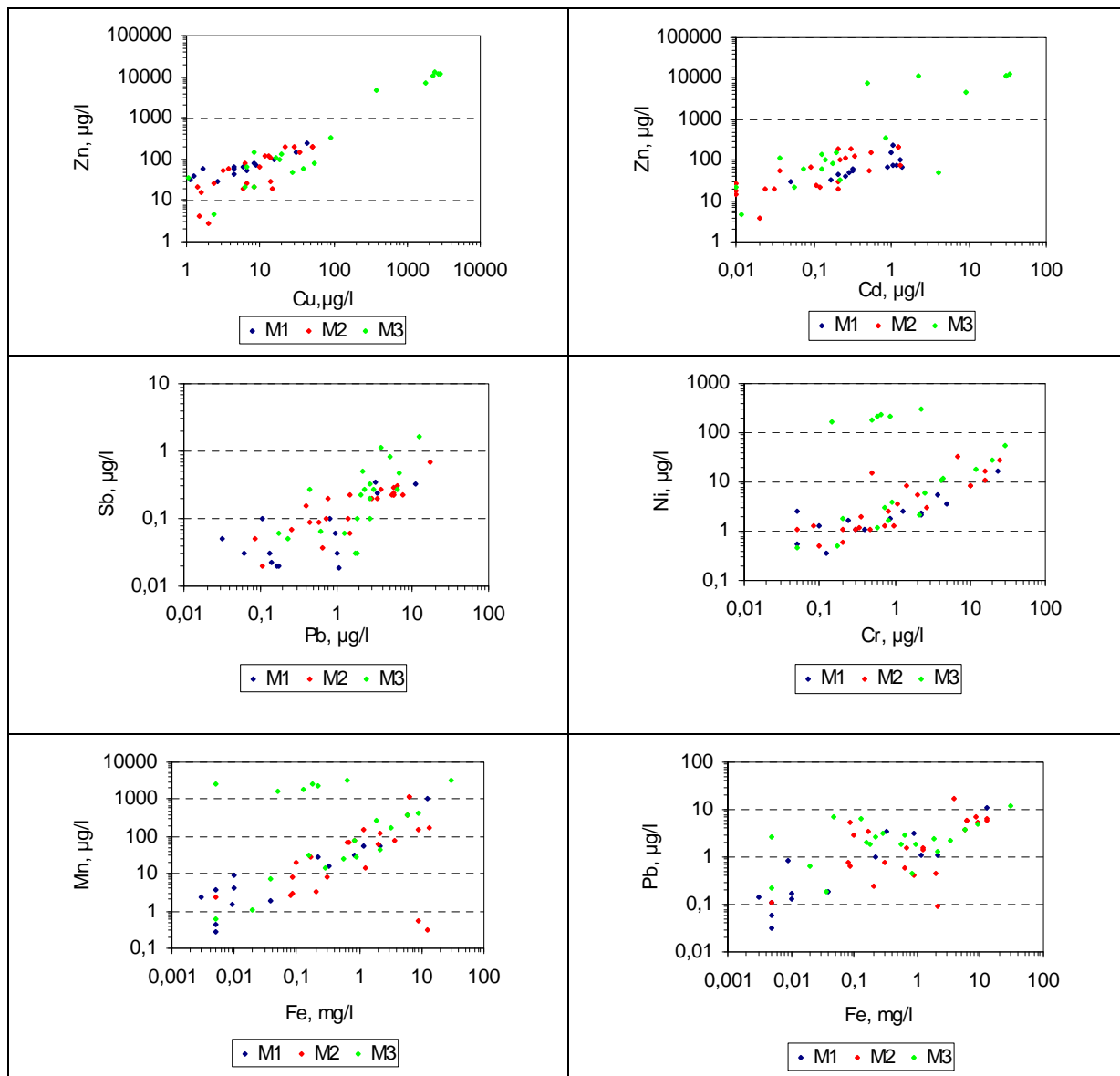
Storranden er en gammel elveslette som inneholder store mengder grus og sand. Løsmassene har vært benyttet som gruskilde i mange år. I disse massetakene har det fram til 2010 vært tre deponier, M1, M2 og M3 (Forsvarsbygg 2006, 2007). M1 (Br.1) var et metalldeponi bestående av ammunisjonsrester (ca 1000 tonn), metallskrap og blindgjengere. Dette området er ombygget og ett nytt deponiområde er anlagt for deponering av metallholdige masser fra Haukberget. Br.1 er derfor ikke lenger operativ. M2 (Br.3-5) er en avsluttet (overdekt) eldre søppelplass som inneholder bl.a husholdningsavfall og 50 tonn ammunisjonsrester. M3 (Br.6-8) er en eldre søppelplass som til dels er åpen og inneholder rester av ammunisjon, metallskrap og delvis brent treavfall. I disse deponiene var det nedsatt 8 grunnvannsbrønner (Fig. 15) som ble undersøkt i perioden 2004-2008. I 2009 startet anleggsvirksomheten i området og brønn 1 og 3 ble fjernet. Alle brønnene var frosset ved prøvetakningen i 19. mai 2009, men resultatene for høstprøvene er gitt i tabell 1 i vedlegget. Samvariasjoner mellom et utvalg av metaller er vist i figur 16. I 2010 pågikk arbeidet med å lage nye deponiområder. I denne sammenheng ble de gamle brønnen nedlagt og 4 nye ble etablert. De ble ikke prøvetatt i 2010 og 2011 fordi en først ville sikre at grunnvannstrømmene rundt brønnspissene var etablert før prøvetakningen startet. Vi presenterer likevel de tidligere målingen her for vise helheten i overvåkingen fra starten i 2001. Fra og med 2012 skal de nye grunnvannsbrønner være operative og dekke overvåkingen fra de nye deponiene som er etablert.



Figur 15. Lokalisering av grunnvannsbrønner på Storranden. Brønn 1 og 2 ligger i massetak (M1), brønn 3, 4 og 5 i M2 og brønn 6,7 og 8 i M3.

Det var stor spredning i konsentrasjonene av metaller i brønnen i de tre massetakene (Fig.16). Særlig gjaldt dette for redoks-sensitive elementer som jern og mangan. Dette indikerer at det kan skje en vekslning mellom reduktivt og oksidativt miljø i massetakene avhengig av vanngjennomstrømningen.

Generelt sett var konsentrasjonene av metaller høyest i M3 og lavest i M1. Det var også en relativt god samvariasjon mellom sink og kobber i alle brønnene. Konsentrasjonene av TOC var lave (Tab.1 og 2 i vedlegget) og jern og mangan oksider kan være viktige transportører av metaller ut fra deponiet. I Brønn 8 økte konsentrasjonene av sink, kobber, kadmium, krom og nikkel betydelig samtidig med at pH sank fra 6,4 til 4,3 (Tab.1 og 2 i vedlegget). Årsaken til dette er ukjent. Konsentrasjoner av sink og kobber på henholdsvis 11-12 mg/l og 2-3 mg/l er svært høye verdier og skyldes en direkte tilførsel. Fysiske tiltak for å stoppe forurensninger til grunnvann fra området rundt Brønn 8 i M3 ble gjennomført i 2010. Tiltakene vil bli utført som beskrevet i Forsvarsbyggs søknad om tillatelse til tiltak etter Forurensningsloven, godkjent av Fylkesmannen i Oppland i 2008. Målinger av vannkvalitet fra de 4 nye deponiene starter våren 2012.



Figur 16. Spredningsdiagram over samvariasjon mellom utvalgte metaller i alle grunnvannsbrønnene i de tre massetakene M1, M2 og M3 på Storranden. Aksene er logaritmisk.

3.3. Bekkene som avvanner HFK-sletta

HFK-sletta er et stort inngjæret, planert, steinsatt, areal på ca 0,26 km² som heller mot Grisungbekken (Fig.17). Det er brukt som målområde for fly og testing av artilleriammunisjon. HFK-sletta avvannes av 2 bekker som renner langs hhv nord-vestre siden av sletta (til høyre i bildet, kalt NV-bekken) og nord-østre siden (til venstre i bildet, kalt NØ-bekken), (Fig.1 og 17.). HFK-sletta skal omarbeides og revegeteres. I den forbindelse ble det i 2011 opprettet 4 nye målestasjoner i bekkene (Fig 1 og 18).

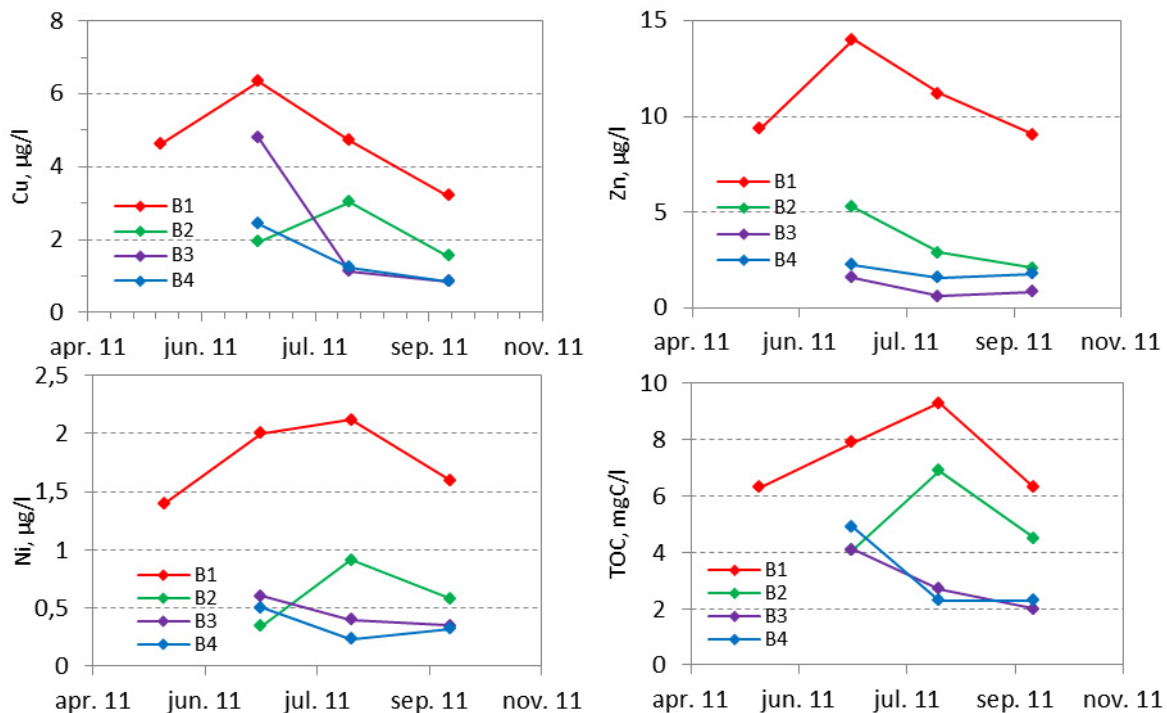


Fig.17. HFK-sletta i Grisungdalen sett mot syd. Den avvannes av to bekker. Den ene (NØ-bekken) er grøftet fra nord-østre hjørnet av sletta (til venstre på bildet), renner langs NØ-kanten av sletta og ender i Grisungbekken ved bilen/bua nær midten av bildet. Den andre bekken (NV-bekken), er større, ikke,grøftet, og starter langt oppe i lia i øvre høyre bildekant, passerer langs nedre del NV-del av sletta (til høyre på bildet) og munner ut i Grisungbekken ved nær det samme sted som den andre bekken.



Figur.18. NØ-bekken ved stasjon B1 ved HFK-sletta's nord-østre hjørne (Fig.17) og NV-bekken ved bua (st.B4) nær utløpet i Grisungbekken.

I 2011 var konsentrasjonene av metaller og TOC høyest i NØ-bekken, og de økte fra referansen (B2) til utløpet i Grisungbekken ,B1 (Fig. 19). Økningen var ca. 2,5 µg Cu/l, 7 µg Zn/l, 1,2 µg Ni/l og ca 3 mgTOC/l. Det er rimelig å anta at metallene er assosiert til TOC i denne bekken. Det skal også bemerkes at vannføringen økte markert fra B2 til B1 slik at transporten av metaller er betydelig større ved B1 enn ved B2. Det er mulig at dette kan ha sammenheng med utløsning av TOC fra jordmasser som er deponert på HFK-sletta, og at TOC tar med seg metaller som løses ut fra gruvegrusen som er lagt på HFK-sletta. HFK-sletta utgør et stort areal med utkjørt gruvestein/grus, og lekkasjen av metaller fra denne ved dekking av jordmasser kan påvirke vannkvaliteten i Grisungbekken negativt. De andre metallene som krom, bly og antimon forekom i lave konsentrasjoner og bindes nok effektivt i de alkaliske miljøet i området (pH 7,0-7,5, Tab. 1 i vedlegget). Konsentrasjonene av metaller i NV-bekken var lavere enn i NØ-bekken og økningen fra referansen (B3) til utløpet i Grisungbekken (B4) var ubetydelig. Vi tror at dette kan skyldes at denne bekken har en betydelig større vannføring enn NØ-bekken, og at eventuelle utslag fra HFK-sletta blir mer fortennet. I tillegg kan det være at noe av overflatesiget av metaller bindes i grunnen før det når bekken. Dette er rimelig da det er større avstand mellom sletta for denne bekken enn for den andre.



Figur 19. Konsentrasjoner av metaller og TOC i bekkene som avvanner HFK-sletta i 2011. NØ-bekkens målestasjoner er B2 oppstrøms (grønn) og B1 nedstrøms HFK-sletta (rød), mens NV-bekkens målestasjoner er B3 oppstrøms og B4 nedstrøms.

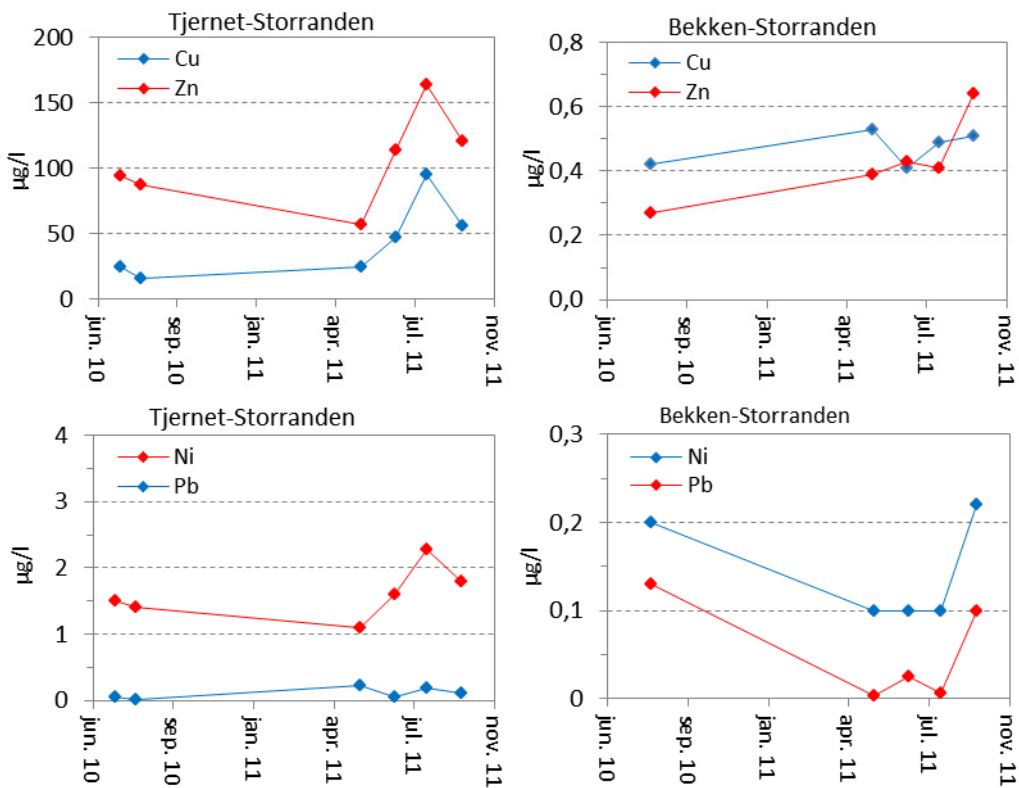
3.3 Tjernet og bekken på Storranden

Etter ombyggingen og opprettelsen av nye deponier for masser fra Haukberget, er overvåkingen av vannforekomstene på Storranden konsentrert omkring et lite tjern som ligger sentralt i området, og en bekk som kommer ut av den store løsavsetningen (Fig.20). Målinger i de nye grunnvannsbrønnene vil starte rutinemessig i 2012.

Det har vært høye konsentrasjoner av sink og kobber, henholdsvis $100 \pm 50 \mu\text{g/l}$ og $50 \pm 30 \mu\text{g/l}$, i tjernet i 2010-2011 (Fig.21). Nikkel-konsentrasjonene har vært betydelig lavere $1,5 \pm 0,5 \mu\text{g/l}$, mens blykonsentrasjonene har vært lave ($< 0,5 \mu\text{g/l}$) og variert lite. Feltobservasjoner indikerer at variasjonen i metallkonsentrasjonene kan være relatert til vannstanden. Konsentrasjonene av metaller i bekken ut fra den store løsavsetningen på Storranden har vært lav ($< 1 \mu\text{g/l}$) i hele perioden. Bekken har små variasjoner i vannføring i perioden juni-oktober og kommer antagelig fra et stort grunnvannsreservoar som ikke er forurenset i nevneverdig grad.



Figur 20. Tjernet og utløpet av bekken fra løsavsetningen på Storranden



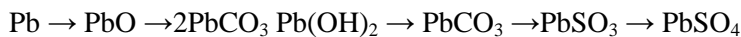
Figur 21. Konsentrasjoner av kobber, sink, bly og nikkel i tjernet og bekken på Storranden i 2010 og 2011.

4. Diskusjon

Hjerkinn skytefelt er tilført betydelige mengder metaller som følge av bruk av handvåpen, artilleri, bombekastere, stridsvogner, rakettartilleri og fly. Det er beregnet at ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink, samt mindre mengder andre metaller er deponert i skytefeltet (Roseth *et al.* 2003). Til tross for disse betydelige deponiene av metaller er konsentrasjonene i bekkene overraskende lave. Unntaket er bekkene fra demoleringsplassen i Grisungdalen som er moderat til markert forurenset av kobber, sink og nikkel. Konsentrasjonene av bly, sink og nikkel i skytefeltets bekker er på nivå med det som vanligvis observeres i norske vannforekomster (data i Skjelkvåle *et al.* 1999), men kobberverdierne er noe høyere antagelig som følge av utlekking fra gruvegrus og korroderte prosjektilrester. Det er imidlertid spesielt oppsiktsvekkende at alle bekkene er ubetydelig forurenset av bly. Dette elementet er ett av SFTs prioriterte metaller og et av tre metaller som er gjenstand for internasjonale avtaler om utslippsreduksjoner.

Vi skal først se nærmere på hva som kan være årsakene til at 250 tonn deponert bly ikke forurenser bekkene;

Når elementært bly (Pb), slik det foreligger i prosjektilrester, blir eksponert for oksygen dannes det etter hvert et tynt beskyttende grått lag (patina) av lite løselige blysalter på metalloverflaten. Dannelsen av disse saltene kan beskrives på følgende måte (Black and Allen 1999).



Kort beskrevet kan vi si at metallisk bly reagerer med oksygen og det dannes blyoksid som reagerer med CO₂ i et fuktig miljø og det dannes et lag av basisk blykarbonat, hydrocerusitt (PbCO₃ Pb(OH)₂) som ved videre eksponering av CO₂ omdannes til vanlig blykarbonat, cerusitt (PbCO₃). Ved nærvær av svoveldioksid omdannes patinaen til blyulfitt som videre oksideres til blyulfat. Det er derfor vanlig å observere at patina på metallisk bly eksponert for luft etter en tid består nesten utelukkende av blyulfat (Black and Allen 1999).

Metallisk bly fra prosjektilrester som er skutt inn i jordsmonnet vil etter en tid bli omgitt av et lag eller skorpe som i hovedsak består av blyulfat og blykarbonater. I et nær nøytralt til svakt basisk miljø, slik det er i de viktigste deponiområdene i Hjerkinn skytefelt, vil disse blyforbindelsene være svært lite løselig og skorpedannelsen vil effektivt beskytte blyfragmentene for videre tilgang på oksygen. Resultatet er at korrosjonshastigheten reduseres til et meget lavt nivå (eventuelt stanser opp) etter den første skorpedannelsen, og sjansen for utlekkingen av løste blyforbindelser fra prosjektilrestene vil bli redusert til et minimum så lenge skorpelaget ikke blir ødelagt ved forsyrelser av deponiet. Dette er en av de viktigste årsakene til de lave blykonsentrasjonene i skytefeltets bekker, men det er også flere.

Det er rimelig å anta at blyioner, særlig i den første oksidasjonsfasen, vil kunne tilføres markvannet. I et nøytralt til svakt basisk miljø er imidlertid bindingskapasiteten for blyioner i jorda svært sterk og sjansen for at de kommer ut i åpne bekker er svært liten (Sauve *et al.* 2000). Det er spesielt tilstedeværelsen av mineraler som apatitt, Mn-oksider, Fe-oksider og Al-oksider som gjør at blyioner bindes effektive i jorda, men organisk materiale i humussjiktet er også en viktig kompleksbinder (Chen *et al.* 1997, Reilly *et al.* 2003). Tilstedeværelsen av apatitt vil kunne føre til dannelsen av blyfosfater (f.eks pyromorfitt, Pb₅(PO₄)₃Cl) som i størrelsesorden er 44 ganger mindre løselig og betydelig mer geokjemisk stabil over et langt større pH-område enn blyoksider, blyulfater og blykarbonater (Traina and Laperche 1999). Mineralgruppen apatitt (f.eks. hydroksylapatitt, Ca₅(PO₄)₃OH) er den vanligste fosformineralgruppen i jord og blant de mest stabile mineralgrupper i nøytral til alkalisk miljø (Traina and Laperche 1999). Disse forfatterene har vist at tilstedeværelsen av apatitt kan føre til at blysalter og bly adsorbent til metalloksider løses, og at det dannes nesten uløselige

blyforbindelser i form av ulike forbindelser innen pyromorfitt-gruppen ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}$) på følgende måte:



Denne reaksjonsligningen viser at utfellingen av pyromorfitt raskt vil redusere konsentrasjonen av løst Pb. Tilsetningen av apatitt til blyforurenset jord har derfor vært benyttet som et effektivt tiltak for å redusere biotilgjengeligheten av bly i jordsmonnet (Laperche *et al.* 1997). Apatitt finnes i alle landets sedimentære bergarter som bærer av det nødvendige fosforinnhold for plantevekst (Neumann 1985). I skytefeltet er metamorfe sedimentære bergarter (og løsavsetninger dannet av disse) vanlig, og apatitt er derfor et viktig mineral som påvirker blyets mobilitet i nedbørfeltet. De reaksjonsprodukter som dannes mellom løste bly-ioner og apatitt avhenger av løsningsens pH-verdier (Chen *et al.* 1997). I Hjerkinns skytefelt har vannet i de områdene som er mest belastet med blyholdige prosjektiler en nær nøytral til svakt basisk reaksjon. I et slikt miljø har Chen *et al.* (1997) vist at løst Pb^{2+} kan reagere med apatitt og danne svært lite løselige forbindelser slik som hydrocerusitt ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) og flere bly-fosforforbindelser som hydrokso- og fluoro-pyromorfitt, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$ og karbonerte hydrokso fluoro-pyromorfitt ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})$). Alle disse reaksjonsproduktene er nesten uløselig og de bidrar til at løste blyioner svært sjelden når bekkene i skytefeltet. Det er imidlertid også rimelig å forvente at en del bly bindes til metalloksider og organisk materiale i jorda, men bindingstyrken er ikke så sterk for disse forbindelsene som hos de overnevnte pyromorfitt-forbindelsene (Sauve *et al.* 2003). Det er derfor rimelig å anta at bly i bekkene er bundet i eroderte blymineraler fra nedbørfeltet, enten naturlig forekommende (f.eks i feltspat, Swain 1978) eller som mineraler dannet ved korrosjon av prosjektilrester. Dette stemmer godt overens med at blykonsentrasjonene i bekkene ikke samvarierte signifikant med konsentrasjonene av TOC og jernoksider.

Konsentrasjonene av kobber var langt høyere enn bly og konsentrasjoner opp mot 2-3 $\mu\text{g/l}$ (tilsvarende SFTs tilstandsklasse II og III) ble observert i bekkene fra demoleringsfeltene, nedstrøms Haukberget og nedstrøms flyfeltet. Konsentrasjonene av kobber samvarierte godt med nikkell og sink i alle delfeltene. Gruvegrus er anrikt på disse metallene (Rognerud 2003) og en samvariasjon kan forventes i bekker som påvirkes av avrenning fra områder der denne finnes, men samvariasjonen var også god på stasjonene som ikke påvirkes av gruvegrus. Dette indikerer en samvariasjon også i den naturgitte geokjemien. I bekkene fra demoleringsplassene og i bekken fra flyfeltet er korrosjon av prosjektiler en årsak til de økte kobber og sink-konsentrasjonene (Grisungdalen). I motsetning til bly dannes det vanligvis ikke signifikante mengder av kobbersalter med nitrat, sulfat eller klorid i vann, men organisk materiale i form av løste humus- og fulvosyrer danner stabile komplekser med løst kobber ved relativt lave konsentrasjoner (Kabata-Pendias og Pendias 1984, Sauve *et al.* 2003). Derfor er løste organiske kobberforbindelser den viktigste kobberforbindelsen i vann over et stort intervall i pH-verdier (McBride and Blisak 1979, Sauve *et al.* 2000). Dette stemmer godt overens med våre resultater der konsentrasjonene av kobber samvarierte signifikant med TOC. Bindingen til "metalltransportøren" løst organisk materiale og dannelsen av en lite stabil skorpe av kobbersalter på metallrestene er hovedårsaken til at kobber er mer mobilt enn bly i skytefeltet.

I motsetning til mange andre tungmetaller mobiliseres sink relativt lett i jordsmonnet. Løseligheten er større i et surt enn i et basisk miljø og konsentrasjonene av sink er generelt negativt korrelert til kalsiumkonsentrasjonene (Tarvainen *et al.* 1997, Kabata-Pendias and Pendias 1984). Generelt sett er sink svakt korrelert til TOC i overflatevann i Skandinavia (Lydersen *et al.* 2002), men i et svakt basisk miljø kan andelen av løste organiske sinkforbindelser være betydelig og dette kan være en viktig faktor som gjør at sink også løses ut i betydelig grad også i et slikt miljø (Kabata-Pendias og Pendias 1984). Nikkel har også større løselighet i et surt enn i et basisk miljø, men organisk materiale har en stor evne til å binde løste nikkel-ioner (Kabata-Pendias and Pendias 1984). I regionale undersøkelser er det observert gode sammenhenger mellom konsentrasjoner av nikkel og TOC (Mannio *et al.* 1995, Tarvainen *et al.* 1997). Dette stemmer godt overens med våre resultater som viser at konsentrasjonene av sink og nikkel samvarierte signifikant med TOC.

Det er derfor klart at i de mest brukte områdene i Hjerkinns skytefelt er de relativt kalkrike bergartene og løsavsetningene, med et nøytralt til alkalisk miljø i vannfasen, hovedårsaken til at bekkene er lite til moderat forurenset av metaller. Det er imidlertid også andre forhold som er medvirkende til dette. Hjerkinns skytefelt ligger i regnskyggen fra fjellene i vest og har lave nedbørmengder, tynt humusdekke og lave temperaturer store deler av året. De lave konsentrasjonene av TOC i Hjerkinns bekker skyldes lav nedbrytning av organisk materiale i jorden som følge av lite nedbør og lav temperatur. De stedvise høye kalsiumkonsentrasjonene i feltet fører til utfelling (koagulering) av løste humusforbindelser. Dette er også en medvirkende årsak til de lave TOC konsentrasjonene i bekkene. Dette er forhold som bidrar til at konsentrasjonene ikke er spesielt høye for kobber og sink til tross for betydelige deponier i skytefelt. Dette er i god overensstemmelse med resultatene fra flere nordnorske skytefelt som har lignende naturgitte forhold som Hjerkinns (Rognerud 2003).

Storranden er en løsmasseforekomst som inneholder store mengder sortert materiale og et betydelig grunnvannsmagasin (Forsvarsbygg 2006). På denne har ulike typer avfall fra aktiviteten i skytefeltet blitt deponert over en lang tidsperiode. Vannkvaliteten ble overvåket i grunnvannsbrønner. Oppholdstiden av vann i grunnvannsmagasinet var imidlertid til tider kort og dette er sannsynligvis årsaken til de store variasjonene i konsentrasjoner av metaller som ble målt i grunnvannsbrønnene i perioden 2004-2009. Brønnene var plassert slik at det er øvre del av grunnvannsmagasinet som blir prøvetatt, og det er her det ble forventet størst effekt fra utlekkingen av deponiene (Forsvarsbygg 2006). Varierende oppholdstid i grunnvannsmagasinet gjennom året og veksling mellom reduktivt og oksidativt miljø i deponiet var årsaken til de store variasjonene i metallkonsentrasjonene i brønnene. Likevel viste tidligere målinger i små bekker som starter i grunnvannsutslagene i forkant av løsmasseviften generelt lave metall konsentrasjoner (Rognerud *et al.* 2004). Brønnene sto i eller svært nær deponiene. Det er derfor rimelig å anta at tidvis høye konsentrasjoner av metallene i brønnene, som skjedde i perioder med liten vanngjennomstrømning, likevel ikke var av stor betydning når grunnvannet fra magasinet slo ut i dagen nedstrøm løsmasseviften. Fra og med 2011 skal 4 nye grunnvannsbrønner være operative rundt de nye etablerte deponiene hvor masser fra Haukberget banevoll er deponert.

5. Litteratur

- Black, L. and Allen G. C. 1999. Nature of lead patination. *Brit. Corr. J.* 34: 192-197.
- Chen, X., Wright, J. V., Conca, J L., and Peurrung, L.M. 1997. *Water Air Soil Pollut.* 98, 57-78.
- Chen, X., Wright, J. V., Conca, J L., and Peurrung, L.M. 1997. Effects of pH on heavy metal sorption on mineral apatite. *Environ. Sci. Technol.* 31, 624-631.
- Forsvarsbygg 2006. Hjerkinns PRO-Tilbakeføring av Hjerkinns skytefelt til sivile formål. Søknad om tiltak mot grunn- og vannforurensning. 36 s.
- Forsvarsbygg 2007. Hjerkinns PRO – Tilbakeføring av Hjerkinns skytefelt til sivile formål. Revidert søknad om tiltak mot grunn- og vannforurensning. 9 s.
- Forsvarsbygg 2010. Hjerkinns PRO- Miljørapport 2010. Miljødokumentasjon for gjennomføringsfas 1. Forsvarsbygg Utvikling Øst. Rapport 1-2010.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1984. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 315 p.
- Laperche, V., Logan, T. J., Gaddam, P. and Traina, S.J. 1997. *Environ. Sci. Technol.* 31, 2745-2753.
- Lydersen, E., Løfgren, S. and Arnesen R.T. 2002. Metals in Scandinavian surface waters: Effects of acidification, liming and potential reacidification. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.* 32: Issue 2 and 3. 295p.
- Mannio, J., Jarvinen, O., Tuominen, R. and Verta, M. 1995. Survey of trace elements in lake waters of Finnish Lapland using the ICP-MS technique. *Sci Tot. Environ.*, 160/161, 433-439.
- McBride, M. B., and Blasiak, J.J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 43, 866-880.
- Naumann, H. 1985. Norges mineraler. NGU-skrifter 68. Universitetsforlaget, Oslo. 278 s.
- Nilsen, O. og Wolff, F. C. 1989. Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Røros & Sveg-1:250 000. Norges Geologiske undersøkelse.
- O'Reilly, S. E. and Hochella, M.F. 2003. Lead sorption efficiencies of natural and synthetic Mn and Fe-oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 67: 4471-4487.
- Rognerud, S. 2002. Hjerkinns skytefelt. Konsentrasjoner av metaller i vannprøver innsamlet fra 20 bekker, 18. september 2001. NIVA-rapport LNR 4519-2002.
- Rognerud, S. 2003. Hjerkinns skytefelt 2002. Vannkvalitet og forurensningsgrad av metaller i vann og biota. NIVA-rapport LNR 4623-2003.
- Rognerud, S., Eli-Anne Lindstrøm, Ståvi, J. M. 2004. Vannkvalitet, forurensningsgrad av metaller og tiltaksplan mot forurensninger. NIVA-rapport 4781-2004.

- Rognerud, S. 2007. Hjerkinnskytefelt 2001 – 2006. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. NIVA-rapport Lnr. 5439-2007. 24s.
- Rognerud, S. 2009. Hjerkinnskytefelt 2001-2008. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. NIVA-rapport Lnr. 5482-2009. 25s + vedlegg.
- Rognerud, S. 2010. Hjerkinnskytefelt 2001-20010. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. Niva rapport L.nr.5918-2010. 31s.
- Rognerud, S. 2011. Hjerkinnskytefelt 2001-2009. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. Niva rapport L.nr.6123-2011. 32s.
- Roseth, A, et al. 2003. Forsvarets bruk av Hjerkinnskytefelt i perioden 1923 - 2003. Forsvarets etterlatenskaper av farlig karakter. Blindgjengere og eksplosivrester. FLO/Land/Våpensystemavdelingen.
- Sauve, S., Hendershot, W., and Allen, H. E. 2000. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on pH, total metal burden, and organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 34: 1125-1131.
- Sauve, S., Manna, S., Turmel, M-C., Roy, A.G. and Courchesne, F. 2003. Solid-Solution partitioning of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn in the organic horizons of a forest soil. *Environ. Sci. Technol.* 37: 5191-5196.
- Skjelkvåle, B. L. et al. 1999. Heavy metal surveys in Nordic lakes, harmonised data for regional assessment of critical limits. SNO-report 4039-99.73 sider.
- Stumm, W. and Morgan, J. J. 1970. *Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters.* Wiley-Interscience, New York. 583p.
- Swaine, D.J. 1978. Lead in the environment. *J. Proc. Royal Soc. New South Wales.* 111: 41-47.
- Tarvainen, T., Lahermo, P., and Mannio, J. 1997. Sources of trace metals in streams and headwater lakes in Finland. *Water Air Soil Pollut.*, 94, 1-32.
- Traina, S.J. and Laperche, V. 1999. Contaminant bioavailability in soils, sediments, and aquatic environments. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 3365-3371.

Vedlegg

Tabell 1. Konsentrasjoner av metaller i grunnvannsbrønnene på Storranden (2004-2008), 2009 i tab.2).

st	dato	pH	TOC mgC/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
br.1	18.08.2004	6,69	0,47	3,28	1,35	0,097	5,93	0,003	2,36	1,27	0,139	0,023	66,9
br.1	26.06.2006			3,52	1,07	23,4	43,1	12,3	1000	16,8	11,0	0,330	243
br.1	25.10.2006	7,17	0,56	2,60	0,920	0,240	4,40	0,009	1,50	1,60	0,840	0,100	65,0
br.1	10.07.2007	6,55	0,43	3,28	1,29	1,30	15,9	0,010	8,98	2,51	0,170	0,020	98,0
br.1	20.09.2007	6,41	0,57	3,07	1,16	0,050	8,88	0,010	4,31	2,55	0,130	0,030	74,0
br.1	03.07.2008	6,39	0,51	2,89	1,04	0,300	8,25	0,005	3,74	1,10	0,061	0,030	76,6
br.1	07.10.2008	6,45	0,69	3,02	1,01	3,70	31,3	0,220	26,7	5,47	0,974	0,060	148
br.2	18.08.2004	6,78	0,69	3,31	0,319	2,25	4,37	1,15	52,7	2,38	1,06	0,019	57,8
br.2	26.06.2006			5,18	0,050	0,880	2,59	0,320	15,7	1,80	3,38	0,240	29,4
br.2	25.10.2006	7,31	0,54	2,60	0,170	0,120	1,10	0,005	0,45	0,370	0,110	0,100	33,0
br.2	10.07.2007	6,74	0,54	2,83	0,322	0,400	1,69	0,039	1,80	1,10	0,180	0,020	59,1
br.2	20.09.2007	6,71	0,55	2,74	0,256	0,050	1,26	0,005	0,29	0,530	0,032	0,050	39,1
br.2	03.07.2008	6,60	0,71	2,39	0,283	4,93	6,57	2,09	57,8	3,50	1,050	0,030	52,3
br.3	18.08.2004	6,42	5,6	4,09	0,217	0,991	13,8	5,72	384	1,29	3,81	0,272	104
br.3	26.06.2006			2,49	0,010	0,200	2,34	0,084	2,93	0,60	5,45	0,230	26,2
br.3	25.10.2006			1,80	0,120	2,70	8,10	1,20	160	3,00	1,50	0,230	22,0
br.3	10.07.2007	6,64	1,8	2,47	0,561	15,8	34,4	8,75	0,529	11,3	7,33	0,230	153
br.3	20.09.2007	6,59	2,8	2,88	0,346	0,300	13,5	0,656	69,6	1,10	0,577	0,090	125
br.3	03.07.2008	6,59	1,7	2,84	1,22	10,1	50,7	6,22	1180	8,63	5,63	0,220	205
br.3	03.07.2008	6,59	1,7	2,84	1,22	10,1	50,7	6,22	1180	8,63	5,63	0,220	205
br.4	18.08.2004	7,17	3,2	34,9	0,209	0,082	14,6	0,862	78,8	1,25	0,396	0,159	19,2
br.4	26.06.2006	5,9	2,0	1,36	0,090	0,360	10,1	0,100	21,0	2,00	2,99	0,200	66,2
br.4	25.10.2006	7,86	2,4	28,0	0,21	6,90	14,0	13,0	180	32,0	6,30	0,310	30,0
br.4	10.07.2007	7,00	2,2	22,7	0,304	24,6	29,0	12,7	0,308	27,5	5,70	0,280	191
br.4	20.09.2007	6,97	0,43	18,3	0,024	0,200	1,41	2,01	62,1	1,10	0,455	0,090	20,6
br.4	03.07.2008	7,02	1,6	22,7	0,208	15,8	21,5	8,93	155	16,6	5,54	0,240	197
br.4	07.10.2008	6,91	1,8	22,2	0,265	1,40	11,8	3,77	81,8	8,61	17,1	0,670	115
br.5	18.08.2004	7,23	0,26	5,64	0,009	0,344	2,02	0,087	8,11	1,15	0,655	0,038	2,80
br.5	26.06.2006	6,68	0,62	3,01	1,30	0,050	6,38	0,005	2,46	1,10	0,11	0,020	76,8
br.5	25.10.2006	7,69	0,24	5,10	0,020	0,740	1,50	0,082	2,70	1,30	0,75	0,100	4,00
br.5	10.07.2007	7,07	0,49	4,03	0,036	2,00	3,67	1,24	15,0	5,70	1,44	0,100	57,5
br.5	20.09.2007	7,03	1,9	5,14	0,031	1,10	5,86	0,690	71,2	3,55	1,50	0,060	19,0
br.5	03.07.2008	7,02	0,76	4,03	0,010	0,460	1,57	0,200	3,35	1,10	0,253	0,070	15,0
br.5	07.10.2008	6,73	3,1	4,12	0,110	0,800	6,61	0,170	27,8	2,50	3,53	0,200	25,3
br.6	26.06.2006	6,86	0,67	2,56	0,220	0,050	1,04	0,005	0,63	0,48	0,230	0,050	34,3
br.6	25.10.2006	6,78	6,5	6,40	0,840	30,0	93	30,0	3400	55,0	12,0	1,60	340
br.6	10.07.2007	6,30	1,4	2,91	0,180	19,6	55,4	9,04	414	27,4	5,06	0,850	79,1
br.6	20.09.2007	6,30	2,6	2,85	0,056	0,900	8,2	0,832	79,5	4,08	0,457	0,270	22,2
br.6	03.07.2008	6,44	0,94	2,73	0,130	12,0	39,9	5,81	368	18,9	3,90	1,10	59,5
br.7	18.08.2004	7,15	0,27	4,07	0,001	0,169	0,587	0,020	1,11	0,486	0,623	0,065	1,40
br.7	25.10.2006	7,38	0,2	2,70	0,012	0,830	2,3	0,290	14,0	1,60	3,10	0,270	4,60
br.7	10.07.2007	7,13	0,23	4,72	0,036	4,30	16,1	2,11	46,0	12,2	1,29	0,060	110
br.7	20.09.2007	6,97	0,26	4,09	0,010	0,580	6,24	0,547	23,9	1,20	1,84	0,030	21,5
br.7	03.07.2008	6,89	0,30	4,53	0,076	2,10	6,64	0,922	29,5	2,18	1,85	0,100	63,9
br.7	07.10.2008	6,96	0,61	4,11	0,130	2,50	20,1	1,84	277	6,16	2,38	0,270	136
br.8	18.08.2004	6,25	0,56	163	9,20	0,144	379	0,129	1830	166	6,35	0,277	4500
br.8	25.10.2006	6,65	2,1	2,00	0,140	0,720	18	0,160	30,0	3,10	2,10	0,220	100
br.8	10.07.2007	4,33	0,68	97,1	2,30	2,30	2800	0,640	3090	292	2,85	0,1	12000
br.8	20.09.2007	4,37	0,57	88,7	33,7	0,600	2390	0,180	2530	222	1,830	0,03	12400
br.8	03.07.2008	4,38	0,72	67,3	29,7	0,880	2300	0,220	2230	211	2,700	0,32	11030
br.8	07.10.2008	4,47	0,97	78,1	30,6	0,650	2740	0,005	2480	243	2,710	0,2	11200

Tabell 2. Vannanalyser for 2007 – 2011.

st	dato	pH	TOC mg/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
1	10.07.2007	7,28	4,2	5,98	0,02	0,92	3,56	0,053	0,44	1,2	0,04	0,2	4,78
2	10.07.2007	7,48	3,6	6,06	0,16	0,93	7,21	0,09	2,58	1,8	0,082	0,2	35,9
5	10.07.2007	7,1	5,2	3,54	0,008	0,89	2,37	0,15	4,87	0,8	0,416	0,1	2,93
6	10.07.2007	6,91	5,5	2,29	0,007	0,9	2,15	0,15	3,23	0,79	0,12	0,08	1,8
9	10.07.2007	6,94	2,7	1,38	0,004	0,77	0,77	0,09	4,94	0,38	0,039	0,02	0,63
11	10.07.2007	6,95	1	1,58	0,15	0,63	15,8	0,02	2,69	0,5	0,089	0,02	21,6
15	10.07.2007	6,85	1,4	1,07	0,01	0,78	1,7	0,057	2,59	0,44	0,437	0,05	3,33
17	10.07.2007	7,58	3,4	6,11	0,01	0,82	2,14	0,058	5,14	0,52	0,025	0,02	1,3
18	10.07.2007	7,61	1,9	6,09	0,007	0,1	1,14	0,052	3,27	0,1	0,01	0,02	0,74
21	10.07.2007	7,5	1,7	5,45	0,002	0,05	0,45	0,03	1,4	0,09	0,008	0,02	0,55
26	10.07.2007	7,37	4,1	5,29	0,007	0,1	1,75	0,079	5,26	0,47	0,13	0,08	1,7
28	10.07.2007	6,29	0,33	0,24	0,003	0,05	0,09	0,02	4,93	0,08	0,081	0,02	0,53
29	10.07.2007	7,59	2,1	6,08	0,006	0,1	0,74	0,057	2,78	0,24	0,02	0,02	0,62
30	10.07.2007	7,68	2,1	7,76	0,048	0,05	1,85	0,12	6,3	0,1	0,024	0,02	1,7
37	10.07.2007	6,27	0,42	0,14	0,008	0,05	0,33	0,02	1,6	0,02	0,053	0,02	0,44
38	10.07.2007	6,3	0,47	0,16	0,01	0,05	0,71	0,02	1,8	0,07	0,041	0,02	0,84
HFK-ned	10.07.2007	7,31	3,4	6,78	0,023	0,1	1,61	0,071	71	0,4	0,065	0,02	2,1
HFK-opp	10.07.2007	7,46	1,9	6,03	0,006	0,05	0,6	0,031	31	0,1	0,01	0,02	0,93
br.1	10.07.2007	6,55	0,43	3,28	1,29	1,3	15,9	0,01	8,98	2,51	0,17	0,02	98
br.2	10.07.2007	6,74	0,54	2,83	0,322	0,4	1,69	0,039	1,8	1,1	0,18	0,02	59,1
br.3	10.07.2007	6,64	1,8	2,47	0,561	15,8	34,4	8,75	0,529	11,3	7,33	0,23	153
br.4	10.07.2007	7	2,2	22,7	0,304	24,6	29	12,7	0,308	27,5	5,7	0,28	191
br.5	10.07.2007	7,07	0,49	4,03	0,036	2	3,67	1,24	15	5,7	1,44	0,1	57,5
br.6	10.07.2007	6,3	1,4	2,91	0,18	19,6	55,4	9,04	414	27,4	5,06	0,85	79,1
br.7	10.07.2007	7,13	0,23	4,72	0,036	4,3	16,1	2,11	46	12,2	1,29	0,06	110
br.8	10.07.2007	4,33	0,68	97,1	2,3	2,3	2800	0,64	3090	292	2,85	0,1	12000
1	20.09.2007	7,31	2	7,32	0,02	0,05	1,66	0,086	0,83	0,58	0,049	0,07	4,35
2	20.09.2007	7,44	1,7	7,71	0,073	0,05	2,63	0,054	1,8	0,89	0,027	0,1	28,5
5	20.09.2007	7,19	2,2	4,6	0,003	0,05	1,21	0,099	8,36	0,27	0,039	0,03	1,4
6	20.09.2007	7	2,2	3,01	0,003	0,05	0,863	0,085	5,42	0,28	0,023	0,03	0,92
9	20.09.2007	7,06	1,5	2,2	0,003	0,05	0,343	0,032	3,14	0,2	0,02	0,03	0,32
11	20.09.2007	6,36	0,69	2,38	0,965	0,05	52,2	0,005	14,6	2,04	0,076	0,03	167
15	20.09.2007	6,99	0,61	1,74	0,003	0,05	0,26	0,043	2,13	0,08	0,024	0,03	0,53
17	20.09.2007	7,48	1,1	8,64	0,005	0,05	0,561	0,02	1,4	0,1	0,009	0,03	1
18	20.09.2007	7,57	0,81	7,82	0,006	0,05	0,457	0,033	2,67	0,02	0,003	0,03	0,46
21	20.09.2007	7,55	0,63	6,77	0,003	0,05	0,355	0,005	0,22	0,02	0,006	0,03	0,47
26	20.09.2007	7,42	1,4	6,4	0,003	0,05	0,656	0,039	4,77	0,2	0,01	0,03	0,69
28	20.09.2007	6,27	0,56	0,34	0,003	0,05	0,453	0,03	2,65	0,2	0,081	0,03	1,3
29	20.09.2007	7,62	0,8	8,75	0,003	0,05	0,342	0,01	0,48	0,02	0,003	0,03	0,45
30	20.09.2007	7,68	0,97	10,6	0,027	0,05	0,773	0,069	3,97	0,02	0,01	0,03	1,1
37	20.09.2007	6,39	0,29	0,24	0,003	0,05	0,27	0,005	0,58	0,08	0,02	0,03	0,56
38	20.09.2007	6,34	0,33	0,26	0,007	0,05	0,583	0,005	0,9	0,08	0,01	0,03	0,9
HFK-opp	20.09.2007	7,57	0,81	7,98	0,003	0,05	0,447	0,02	1,1	0,03	0,003	0,03	0,5
HFK-ned	20.09.2007	7,64	1,6	8,88	0,003	0,05	0,719	0,043	27,2	0,2	0,003	0,03	0,88
br.1	20.09.2007	6,41	0,57	3,07	1,16	0,05	8,88	0,01	4,31	2,55	0,13	0,03	74
br.2	20.09.2007	6,71	0,55	2,74	0,256	0,05	1,26	0,005	0,29	0,53	0,032	0,05	39
br.3	20.09.2007	6,59	2,8	2,88	0,346	0,3	13,5	0,656	69,6	1,1	0,577	0,09	125
br.4	20.09.2007	6,97	0,43	18,3	0,024	0,2	1,41	2	62,1	1,1	0,455	0,09	21
br.5	20.09.2007	7,03	1,9	5,14	0,031	1,1	5,86	0,69	71,2	3,55	1,5	0,06	19
br.6	20.09.2007	6,3	2,6	2,85	0,056	0,9	8,2	0,832	79,5	4,08	0,457	0,27	22
br.7	20.09.2007	6,97	0,26	4,09	0,01	0,58	6,24	0,547	23,9	1,2	1,84	0,03	22
br.8	20.09.2007	4,37	0,57	88,7	33,7	0,6	2390	0,18	2530	222	1,83	0,03	12400
1	03.07.2008	6,98	2,7	7,6	0,062	0,1	4,6	0,21	5,86	1,2	0,49	0,2	15,5
2	03.07.2008	7,36	1,9	8,34	0,329	0,05	5,86	0,05	3,21	1,6	0,064	0,33	68,5
5	03.07.2008	7,07	2,5	2,62	0,006	0,1	1,79	0,13	4,97	0,32	0,062	0,03	2,14
6	03.07.2008	6,97	2,6	1,81	0,003	0,1	1,16	0,11	3,89	0,3	0,029	0,03	1,1
9	03.07.2008	6,93	1,3	1,3	0,003	0,05	0,392	0,053	3,74	0,2	0,02	0,03	0,4
15	03.07.2008	6,72	0,53	0,73	0,009	0,1	0,28	0,037	2,17	0,09	0,036	0,03	0,39
17	03.07.2008	7,49	1,3	6,15	0,007	0,2	0,818	0,02	1,4	0,03	0,008	0,03	1,48
18	03.07.2008	7,48	1,1	5,36	0,005	0,05	0,699	0,03	1,2	0,03	0,006	0,03	0,48
21	03.07.2008	7,4	0,95	4,13	0,003	0,05	0,29	0,01	0,41	0,03	0,003	0,03	0,25
26	03.07.2008	7,32	1,4	4,06	0,006	0,1	0,877	0,046	3,78	0,2	0,02	0,03	0,62
28	03.07.2008	6,32	0,29	0,23	0,003	0,05	0,056	0,005	2,57	0,03	0,036	0,03	0,26
29	03.07.2008	7,45	1,4	5,55	0,007	0,2	0,582	0,03	1,4	0,1	0,007	0,03	0,44
30	03.07.2008	7,55	1,6	7,66	0,041	0,2	1,68	0,11	4,4	0,1	0,022	0,03	1,5
37	03.07.2008	6,42	0,4	0,12	0,006	0,05	0,417	0,01	1,3	0,07	0,076	0,03	2,53
38	03.07.2008	6,29	0,39	0,15	0,01	0,05	0,662	0,02	1,3	0,03	0,029	0,03	0,72
61	03.07.2008	6,85	1,1	1,52	0,16	0,05	13,8	0,01	2,6	0,37	0,06	0,03	19,3
HFK-opp	03.07.2008	7,48	1,1	5,36	0,005	0,05	0,699	0,03	1,2	0,03	0,006	0,03	0,48
HFK-ned	03.07.2008	7,47	1,2	5,44	0,2	0,2	1,5	0,03	3,05	0,07	0,01	0,03	0,93
br.1	03.07.2008	6,39	0,51	2,89	1,04	0,3	8,25	0,005	3,74	1,1	0,061	0,03	76,6
br.2	03.07.2008	6,6	0,71	2,39	0,283	4,93	6,57	2,09	57,8	3,5	1,05	0,03	52,3
br.3	03.07.2008	6,59	1,7	2,84	1,22	10,1	50,7	6,22	1180	8,63	5,63	0,22	205
br.4	03.07.2008	7,02	1,6	22,7	0,208	15,8	21,5	8,93	155	16,6	5,54	0,24	197

NIVA 6309-2012

B2	10.08.2011	7,16	6,9	3,96	0,010	0,2	3,01	130	10,3	0,91	0,02	<0,05	2,91
B3	10.08.2011	7,56	2,7	8,18	0,008	<0,1	1,12	57	40,8	0,4	<0,005	<0,05	1,6
B4	10.08.2011	7,31	2,3	7,96	0,010	0,1	1,21	20	1,4	0,23	<0,005	<0,05	0,63
HFK-opp	10.08.2011	7,69	1,4	6,83	0,009	<0,1	0,81	30	1,4	0,1	0,07	<0,05	0,56
HFK-ned	10.08.2011	7,70	1,6	6,94	<0,005	<0,1	0,843	31	5,13	0,2	<0,005	<0,05	0,65
Tjern - Storr.	10.08.2011	6,50	1,0	4,15	1,080	0,1	94,3	35	26,5	2,28	0,18	<0,05	164
Bekk - Storr.	10.08.2011	6,66	1,9	2,03	<0,005	<0,1	0,29	<10	0,2	0,1	0,007	<0,05	0,41
1	23.09.2011	7,29	2,8	4,85	0,007	0,1	1,63	10	0,34	0,88	0,103	0,07	3,05
2	23.09.2011	7,44	1,9	6,61	0,110	0,1	2,95	68	2,98	1,01	0,047	0,1	27,9
5	23.09.2011	7,20	2,5	3,64	0,006	0,1	1,28	94	5,31	0,42	0,028	<0,05	1,7
6	23.09.2011	7,04	2,5	2,17	<0,005	<0,1	1,03	81	3,38	0,37	0,039	<0,05	1,37
9	23.09.2011	7,11	2,0	1,96	<0,005	<0,1	0,512	54	3,53	0,32	0,024	<0,05	0,54
15	23.09.2011	7,02	0,7	1,90	<0,005	<0,1	0,926	20	1,5	0,27	0,097	<0,05	1,49
17	23.09.2011	7,59	1,5	7,39	<0,005	<0,1	0,768	10	1,4	0,22	0,008	<0,05	0,93
18	23.09.2011	7,61	1,1	6,67	0,008	0,2	0,689	36	2,47	0,21	0,028	<0,05	1,01
21	23.09.2011	7,52	0,9	5,55	<0,005	0,2	0,34	<10	0,34	<0,05	0,009	<0,05	0,54
26	23.09.2011	7,44	1,6	5,21	<0,005	0,1	0,83	43	4,97	0,31	0,012	<0,05	0,88
28	23.09.2011	6,48	0,3	0,28	<0,005	<0,1	0,19	30	3,62	0,33	0,07	<0,05	0,82
29	23.09.2011	7,60	1,0	7,38	<0,005	<0,1	0,526	10	0,78	0,23	0,033	<0,05	1,2
30	23.09.2011	7,66	1,5	8,03	0,010	0,1	1,04	87	4,73	0,2	0,013	<0,05	1,41
37	23.09.2011	6,52	0,3	0,17	<0,005	<0,1	0,16	<10	0,43	0,11	0,021	<0,05	0,4
38	23.09.2011	6,52	0,4	0,24	0,008	<0,1	0,901	20	1,3	0,16	0,02	<0,05	1,35
B1	23.09.2011	7,63	6,3	15,20	0,063	0,1	3,17	140	135	1,6	0,011	<0,05	9,07
B2	23.09.2011	7,23	4,5	3,79	0,007	0,2	1,52	51	3,48	0,58	0,01	<0,05	2,1
B3	23.09.2011	7,59	2,0	8,19	<0,005	<0,1	0,812	68	63,1	0,35	0,009	<0,05	0,85
B4	23.09.2011	7,17	2,3	7,41	0,006	0,1	0,828	280	15,5	0,32	0,024	<0,05	1,8
HFK-opp	23.09.2011	7,64	1,2	6,69	<0,005	<0,1	0,63	20	1,2	0,22	0,007	<0,05	0,95
HFK-ned	23.09.2011	7,63	1,2	6,73	<0,005	<0,1	0,666	20	3,81	0,22	0,01	<0,05	1,6
Tjern - Storr.	23.09.2011	6,87	0,8	4,29	0,777	<0,1	55,9	20	16,9	1,8	0,102	<0,05	121
Bekk - Storr.	23.09.2011	6,70	1,8	1,77	<0,005	<0,1	0,513	<10	0,2	0,22	0,01	<0,05	0,64

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 • post@niva.no