



# OVERVÅKING AV AVRENNING FRA NEDLAGTE SKYTE- OG ØVINGSFELT

*Årsrapport for 2016*

**Hovedkontor**

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

**NIVA Region Sør**

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

**NIVA Region Innlandet**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**NIVA Region Vest**

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

Tittel Overvåking av avrenning fra nedlagte skyte- og øvingsfelt. Årsrapport for 2016	Løpenummer 7153-2017 FBSE-2017/06 FB Arkiv nr. 2012/3353	Dato 22.05.2017
Forfatter(e) Øyvind Garmo	Fagområde Miljøgifter - ferskvann	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norge	Utgitt av NIVA

Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg	Oppdragsreferanse Harry Hellebust
	Heftenr.:

**Sammendrag**

I 2016 ble avrenningen fra 16 nedlagte skyte- og øvingsfelt (SØF) overvåket med prøvetakingsrunder vår, sommer og høst. Ved Gimlemoen, Avgrunnsdalen, Banemyra, Steinkjersannan, Tittelsnes, Nesje Fort og Gurulia/Bue Nebb har det blitt gjennomført tiltak for å redusere utlekking av tungmetaller, og tre-fire års overvåking indikerer fallende nivåer i avrenning fra de tre sistnevnte SØFene. Marka, Fredrikstad, Børja, Ørskogfjellet, Melbu, Skarsteindalen, Kjoselvdalen, Kvenvikmoen og Nyborgmoen var ikke ferdigryddet i 2016. Gimlemoen og Avgrunnsdalen er SØFene hvor det er størst fare for overskridelser av vannforskriftens miljøkvalitetsstandarder for tungmetallkonsentrasjoner i vann. Analyser er gjennomført på ufiltrerte prøver, med unntak av feltene Børja, Kjoselvdalen og Nyborgmoen. Vi anbefaler avslutning av overvåking ved Tittelsnes, Nesje og Steinkjersannan, og vi anbefaler at videre overvåking ved Ørskogfjellet, Melbu, Skarsteindalen og Kvenvikmoen kan vente til gjennomføring av tiltak.

Fire emneord	Four keywords
1. Militære skytefelt	1. Military shooting ranges
2. Bly	2. Lead
3. Metaller	3. Metals
4. Forurensning	4. Pollution



Øyvind Garmo  
Prosjektleder



Elisabeth Lie  
Forskningsleder

**Overvåking av avrenning fra nedlagte skyte- og  
øvingsfelt  
Årsrapport for 2016**

## Forord

Forsvarsbygg Skifte Eiendom er i ferd med å sanere og avhende en rekke skyte- og øvingsfelt som Forsvaret ikke lenger bruker. Det har blitt etablert et program for overvåking av forurensning i overflateavrenningen fra disse feltene. Hensikten er å skaffe til veie data for vurdering av behovet for tiltak som begrenser spredning av forurensning i vann, samt følge opp effekten av tiltak i etterkant. NIBIO (tidligere Bioforsk) har overvåket vannkvaliteten fra 2010 og t.o.m. våren 2014. NIVA tok over i mai 2014.

Undertegnede har vært prosjektansvarlig hos NIVA og har sammen med Geir Dahl-Hansen (Akvaplan-niva) og Espen Lund tatt de fleste vannprøvene i 2016. COWI ved hhv. Øystein Løvdal og Arild Vatland har tatt vannprøvene i Fredrikstad og på Gimlemoen. Espen Lund har laget kartene og Mette-Gun Nordheim har laget figurene.

Hamar, 22. mai 2017

*Øyvind Garmo*

---



# Innholdsfortegnelse

<b>1 Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Prøvetaking og analyse</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Resultater</b> .....	<b>10</b>
3.1 Resultater fra overvåking av SØF som har blitt ryddet.....	10
3.1.1 Gimlemoen.....	10
3.1.2 Avgrunnsdalen .....	14
3.1.3 Tittelsnes .....	17
3.1.4 Nesje Fort.....	20
3.1.5 Gurulia og Bue-Nebb .....	23
3.1.6 Banemyra .....	28
3.1.7 Steinkjersannan.....	31
3.2 Resultater fra overvåking av SØF som ikke var ferdigryddet i 2016.....	35
3.2.1 Marka.....	35
3.2.2 Fredrikstad (Gansrød og Pernes).....	38
3.2.3 Børja .....	42
3.2.4 Ørskogfjellet.....	45
3.2.5 Melbu/Haugtuva .....	48
3.2.6 Skarsteindalen .....	51
3.2.7 Kjoselvdalen.....	54
3.2.8 Kvenvikmoen.....	57
3.2.9 Nyborgmoen .....	60
<b>4 Diskusjon</b> .....	<b>63</b>
<b>5 Konklusjon</b> .....	<b>64</b>
<b>6 Litteratur</b> .....	<b>65</b>

## Sammendrag

Overvåkingen i 2016 har bestått av to-tre runder med innhenting av vannprøver for bestemmelse av vannkjemiske variabler og tungmetaller i overflateavrenning fra følgende 16 nedlagte skyte- og øvingsfelter: Gimlemoen, Avgrunnsdalen, Tittelsnes, Nesje, Gurulia/Bue-Nebb, Banemyra, Steinkjersannan, Marka, Fredrikstad, Børja, Ørskogfjellet, Melbu/Haugtuva, Skarsteindalen, Kjoselvdalen, Kvenvikmoen og Nyborgmoen. Hensikten med undersøkelsene er å innhente data for vurdering av behovet for tiltak som begrenser spredning av forurensning i vann, samt følge opp effekten av tiltak i etterkant.

På Tittelsnes, Nesje, Steinkjersannan og i Avgrunnsdalen har feltene blitt ryddet, og det foreligger tre-fire år med overvåkingsdata siden tiltakene ble avsluttet. Resultatene fra Tittelsnes og Nesje indikerer at utlekkingen av tungmetaller er fallende, mens det ikke var noen trend i resultatene fra Steinkjersannan og Avgrunnsdalen. Tungmetallnivåene var etter forholdene lave med unntak av i Avgrunnsdalen, der miljøkvalitetsstandardene i vannforskriften var overskredet. Det er ingen tegn til at situasjonen ved Avgrunnsdalen vil endre seg på kort sikt, men det kan være fornuftig å følge opp utviklingen. Overvåkingen ved Tittelsnes, Nesje og Steinkjersannan kan avsluttes fordi tilstanden etter tiltak er dokumentert gjennom tre-fire år med overvåking, og fordi tungmetallnivåene etter forholdene var lave. På Gimlemoen, Banemyra, i Fredrikstad og Marka er det gjennomført tiltak i løpet av de siste to årene, og det anbefales å fortsette overvåkingen. I Gurulia/Bue Nebb har tungmetallnivåene vært relativt høye, men ser ut til å være nedadgående. Det er dessuten planlagt gjennomført tiltak i myrområdet i Gurulia, og overvåkingen her bør fortsette.

Ved Ørskogfjellet, Melbu, Skarsteindalen og Kvenvikmoen har det ikke blitt gjennomført tiltak for å redusere tungmetallnivåer i avrenning. Nivåene ved de tre sistnevnte feltene er lave. Det foreligger tilstrekkelig med data til å dokumentere situasjonen for eventuelle tiltak. Videre overvåking kan utsettes til tiltaksperioden. Kjoselvdalen, Nyborgmoen og Børja har heller ikke blitt ryddet, men her bør overvåkingen fortsette for å styrke datagrunnlaget.

## Summary

Title: Monitoring of runoff from disused shooting ranges – Annual report for 2016

Year: 2017

Author: Øyvind Garmo

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-6888-1

Monitoring in 2016 comprised two-three rounds of water sampling for determination of water chemical variables and heavy metals in surface run-off from the 16 following disused ranges for military shooting and exercise: Gimlemoen, Avgrunnsdalen, Tittelsnes, Nesje, Gurulia/Bue-Nebb, Banemyra, Steinkjersannan, Marka, Fredrikstad, Børja, Ørskogfjellet, Melbu/Haugtuva, Skarsteindalen, Kjoselvdalen, Kvenvikmoen og Nyborgmoen. The aim is to collect data that can be used to assess the need for curbing aquatic pollution and to document the effect of measures taken.

The ranges at Tittelsnes, Nesje, Steinkjersannan and Avgrunnsdalen have been cleared, and data from three-four years of follow-up monitoring are available. The results from Tittelsnes and Nesje indicate that the leaching of heavy metals is declining, while there is no trend in the results from Steinkjersannan and Avgrunnsdalen. Levels of heavy metals were low except in Avgrunnsdalen where environmental quality standards were exceeded. The situation at Avgrunnsdalen is not likely to change in the short term, but it could be advisable to continue with monitoring activities. Monitoring at Tittelsnes, Nesje and Steinkjersannan can be terminated because the state is documented through three-four years of monitoring, and because levels were relatively low. At Gimlemoen, Banemyra, Fredrikstad, and Marka clean-up operations have been undertaken less than two years ago. Continued monitoring of these ranges is recommended. Heavy metal levels have been relatively high at Gurulia/Bue-Nebb, but appears to decline. Further clean-up operations are planned in the Gurulia bog and monitoring should continue.

At Ørskogfjellet, Melbu, Skarsteindalen, and Kvenvikmoen clean-up operations to lower heavy metal levels in runoff have not been effected. Levels at the latter two ranges are low. There are sufficient data to document the situation prior to clean-up. Further monitoring can be postponed until clean-operations commence. The ranges at Kjoselvdalen, Nyborgmoen, and Børja have not been cleared, but here further monitoring should be undertaken to collect more data.

# 1 Innledning

I 2005 ble 27 skyte- og øvingsfelt (SØF) utrangert av Forsvaret. Etter mange års bruk kan det ha blitt akkumulert betydelige mengder tungmetaller i jordsmonn og skytevoller. Mesteparten av tungmetallene kommer fra bruk av håndvåpen. I utrangerte SØF har det hovedsakelig blitt brukt kobber-mantlede blyprosjektiler som inneholder omtrent 60 % bly, 30 % kobber, 7 % antimon og 3 % sink (masse/masse) (Strømseng and Ljønes, 2002). Disse har havnet i skytevoller der slike har vært bygd. I mange av feltene har det også foregått feltskyting, som kan gi mer spredt forurensning fordi prosjektilene fordeler seg over et større område. I noen av feltene har det også blitt brukt våpentyper som kan gi blindgjengere (udetonerte missiler eller granater).

Av de 27 SØF er 23 overført til Forsvarsbygg Skifte eiendom for miljøsanering og avhending. Miljøsaneringen ved de første feltene startet i 2009, og arbeidet skal etter planen avsluttes i 2018. I følge Forsvarsbygg skal det i perioden 2014-2017 saneres 2-4 SØF per år. For å vurdere tiltakenes effekt på vannkvalitet, ble det i 2010 etablert et overvåkingsprogram med årlig rapportering av resultater (Amundsen, 2011, 2012, Garmo, 2015, 2016, Gjemlestad and Haaland, 2013, 2014). Denne årsrapporten omhandler feltene som ble overvåket i 2016.

Konsentrasjonen av tungmetaller i avrenningen blir vurdert ved å sammenligne med grenseverdier gitt i **Tabell 1** (antimon er et halvmetall, men blir for enkelhets skyld inkludert i samlebetegnelsen «tungmetaller» i denne rapporten).

**Tabell 1.** Gjeldende grenseverdier (miljøkvalitetsstandarder) i vannforskriften for konsentrasjon av tungmetaller og grenseverdi for antimon i drikkevannsforskriften.

Metall	Grenseverdi (µg/l)	Litteratur
Bly	1,2*	<a href="https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446/">https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446/</a>
Bly	14**	<a href="https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446/">https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446/</a>
Kobber	7,8	Miljødirektoratet (2016)
Sink	11	Miljødirektoratet (2016)
Antimon	5***	Mattilsynet (2011)

\*Årsgjennomsnitt «biotilgjengelig konsentrasjon».

\*\*Maksimalgrense av løst bly (dvs. filtrert gjennom membranfilter med porestørrelse 0,45 µm eller tilsvarende fraksjonering)

\*\*\* Dette er drikkevannsnormen. Den er trolig lav nok til å beskytte akvatiske organismer. Laboratorieforsøk med dyreplankton, alger og fisk har ikke dokumentert effekter ved lavere antimonkonsentrasjoner enn 113 µg/l (Swedish Chemicals Agency, 2008).

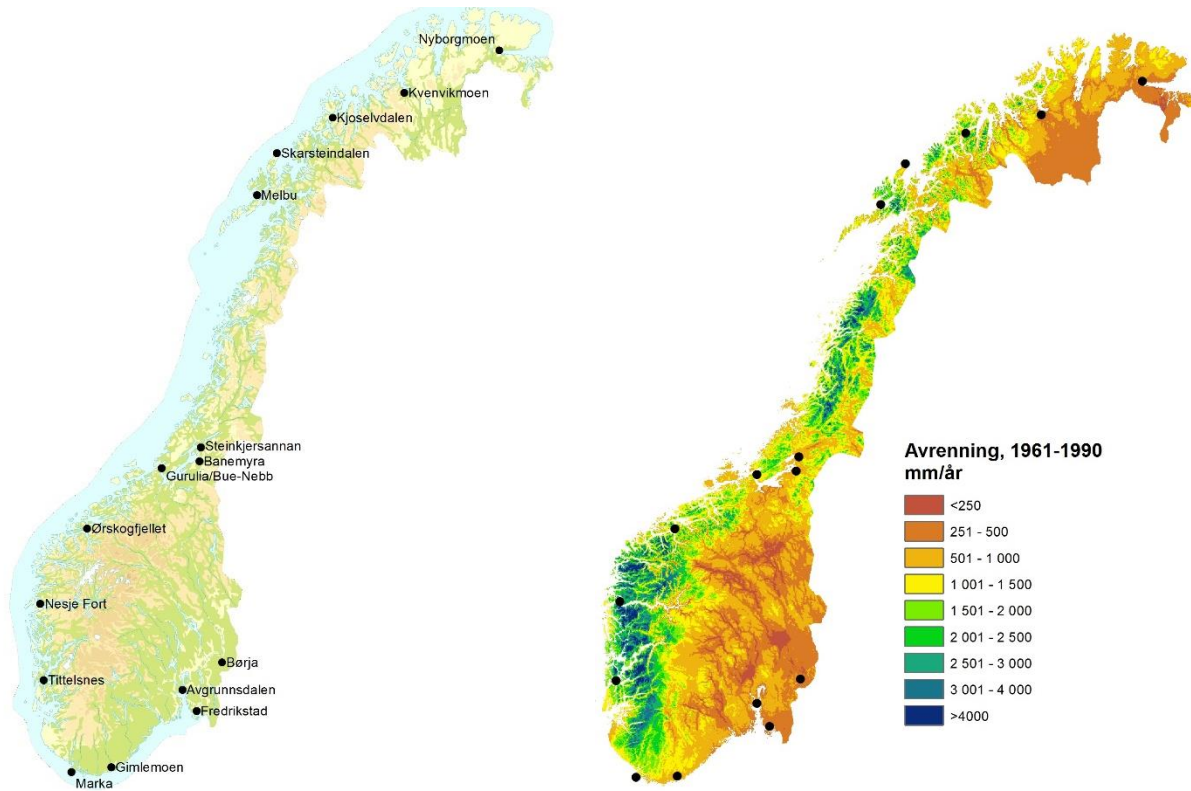
Biotilgjengelig konsentrasjon av bly ( $[Pb_{biotilgjengelig}]$ ) ble beregnet med ligning 1 (European Commission, 2014, 2011). Her skulle egentlig blykonsentrasjon ( $[Pb_{målt}]$ ) vært målt i filtrert prøve. Det samme gjelder konsentrasjonen av organisk karbon ( $[TOC]$ ). Manglende filtrering vil vanligvis ikke gi lavere estimert  $[Pb_{biotilgjengelig}]$  siden størstedelen av det organiske materialet i avrenningen som regel er i løst eller kolloidal fraksjon, og løst konsentrasjon av bly er lik eller lavere enn totalkonsentrasjon. Videre så er ligning 1 bare validert i vann der konsentrasjonen av DOC er lavere enn 17 og kalsium høyere enn 2 mg/l, og pH er mellom 6,0 og 8,5. Det ble derfor ikke tatt hensyn til evt. ytterligere reduksjon av biotilgjengelighet ved konsentrasjoner av TOC over 17 mg/l. Ligning 1 ble brukt også i tilfeller der pH og kalsiumkonsentrasjon falt utenfor valideringsområdet, men kommenteres i slike tilfeller i teksten (se Kapittel 3).

$$[Pb_{biotilgjengelig}] = [Pb_{målt}] \times \frac{1,2}{1,2+1,2([TOC]-1)} \quad (1)$$

Grenseverdiene for kobber og sink er hhv. vesentlig høyere og lavere enn gamle grenseverdier (Andersen et al., 1997). Det kan endre seg dersom det vedtas at konsentrasjonene kan korrigeres for biotilgjengelighet (Garmo et al., 2015).

Det vil også bli gitt grovestimat av massetransport av tungmetaller fra SØF basert på årsmiddelavrenning (30 års gjennomsnitt, NVE), omtrentlig størrelse på nedbørfelt og målte metallkonsentrasjoner. Estimert massetransport er beheftet med stor usikkerhet pga. få prøver og manglende vannføringsdata, og bør kun betraktes som grove overslag. De 16 feltene som var med i overvåkingen i 2016 er vist i

**Figur 1** sammen med gjennomsnittlig avrenning i de aktuelle områdene.



**Figur 1.** Skyte- og øvingsfelt prøvetatt i 2016. Kartet til høyre viser gjennomsnittlig avrenning per år (data fra NVE).

Behovet for videre overvåking vil bli vurdert på grunnlag av mengden overvåkingsdata som foreligger og på målte tungmetallkonsentrasjoner i avrenningen. I SØF der tungmetallnivåene er lave og der overvåkingen etter tiltak har pågått i tre år eller mer, vil anbefalingen bli at overvåkingen kan avsluttes. I SØF som ikke har blitt ryddet, men der tungmetallnivåene likevel er lave, anses det som tilstrekkelig dokumentasjon på tilstanden før tiltak dersom det foreligger to år eller mer med overvåkingsdata.

## 2 Prøvetaking og analyse

Feltene som ble undersøkt i 2016 var Avgrunnsdalen, Tittelsnes, Nesje, Gurulia/Bue-Nebb, Steinkjersannan, Gimlemoen, Banemyra, Marka, Fredrikstad (Gansrød og Pernes), Børja, Ørskogfjellet, Melbu/Haugtuva, Skarsteindalen, Kjoselvdalen, Kvenvikmoen og Nyborgmoen. De 7 førstnevnte feltene har blitt ryddet, og tiltakene er overfladisk beskrevet under resultatene for hvert enkelt felt. I de resterende 9 feltene pågikk det fortsatt tiltak i 2016 (Marka, Fredrikstad) eller tiltak er ikke påbegynt. Prøvetakingen ved Gimlemoen og Fredrikstad ble i 2016 gjennomført av hhv. Øystein Løvdal og Arild Vatland (begge COWI). I disse og de øvrige 14 feltene ble det gjennomført 3 prøvetakningsrunder i perioden april – november. Avrenningen i de fleste feltene har blitt overvåket tidligere, og prøvetakingspunktene er hovedsakelig de samme som Bioforsk/Forsvarsbygg har etablert tidligere (se tidligere årsrapporter). Unntak er Kjoselvdalen, Nyborgmoen og Børja der overvåkingen startet først i 2016. Tanken bak plasseringen av punktene er å kunne spore de viktigste forurensningskildene, fastslå bakgrunnsnivåer av stoffer som forekommer naturlig, vurdere om tiltakene har påvirket tungmetallnivåene, og å bestemme tungmetaller i avrenning ut av feltene.

Prøvetakingen bestod av å fylle én 0,5 l plastflaske. Grums fra bunnen og vann fra overflaten ble forsøkt unngått. I 2016 ble alle prøvene analysert av Eurofins. Analyseprogrammet bestod av støttevariabler (ledningsevne, pH, turbiditet, konsentrasjon av TOC, kalsium og jern) og tungmetaller (antimon, kobber, bly, sink og, i noen tilfeller, nikkel, kadmium og mangan). Støttevariablene er med fordi de gir viktig informasjon om metallenes mobilitet i feltet og hvor biotilgjengelig metallene er for akvatiske organismer. I de tre feltene som ikke har blitt overvåket før (Børja<sup>1</sup>, Kjoselvdalen og Nyborgmoen), ble vannprøvene filtrert gjennom et membranfilter med porestørrelse 0,45 µm før bestemmelse av tungmetaller. Filtreringen ble gjort på laboratoriet. De resterende vannprøvene ble analysert på ufiltrert prøve. I delkapitlene for hvert enkelt SØF blir det gitt en beskrivelse av hovedegenskapene til vannet basert på støttevariablene. Terminologien her er basert på vannforskriften (Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanddirektivet, 2013). Tungmetallene (inkludert antimon som egentlig er et halvmetall) er med fordi prosjektilene lekker metaller når de forvitrer.

---

<sup>1</sup> Det har vært vannovervåking her før, men ikke de samme stasjonene.

---

## 3 Resultater

### 3.1 Resultater fra overvåking av SØF som har blitt ryddet

#### 3.1.1 Gimlemoen

Gimlemoen SØF ligger i Kristiansand kommune, like nord for Kristiansand sentrum. Arealet på 7083 daa var eid av Forsvaret, men ble høsten 2015 overdratt til Kristiansand kommune. Gimlemoen ble etablert som et militært område i 1864, og det er antatt at skyte- og øvingsfeltet i skogsområdene nord for leiren ble tatt i bruk som SØF kort tid etter dette. Feltet har bestått av minst fire håndvåpenbaner, panservernrakett(PV)-bane, luftmålbane, håndgranatbane, et åpent øvingsområde for nærkrigsøvelser og en sivil leirduebane. Skytebaner og øvingsområder har vært lokalisert fra øverst i vassdraget ved Kyrjtjønn, og helt ned til Øvre Jegersbergvann. I tilknytning til disse var det etablert bygninger, skivebuer, standplasser, voller, gjerder, strømforsyning og skilt som i stor grad ble fjernet i 2008-2009. Skytefeltet ble rustet opp på begynnelsen av 1980-tallet og var i bruk av Forsvaret fram til 2003. Området består av skogsterreng med lyng, løv- og barskog, myrområder, bratte skråninger og et vassdrag med flere vann.

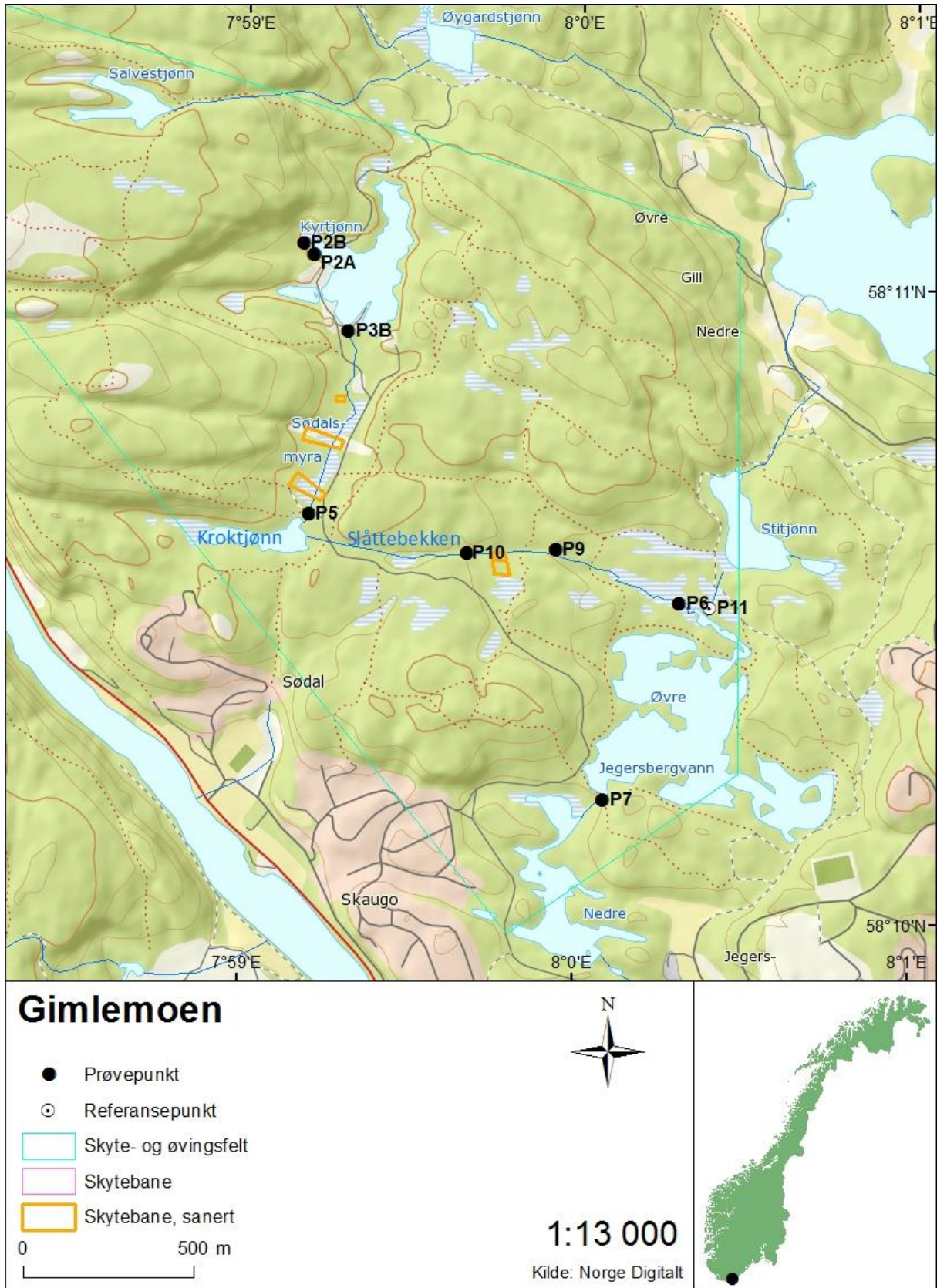
I 2005 ble noe av skytevollmassene fjernet, og i 2008 ble forurenset jord fjernet ved Elgbanen og ved skoleskytebanen ved Kyrjtjønn. I 2014 og 2015 ble det fjernet store mengder forurenset masse fra fire lokaliteter (COWI, 2013a, 2013b, 2013c). Vannet renner fra Kyrjtjønn hvor det var skoleskytebane med målområde vest for vannet. Her er punktene P2B og P2A plassert (**Figur 2**). Det er dessuten et punkt P3B i utløpet av Kyrjtjønn. Vannet renner videre sørover forbi en tidligere pistolbane, elgbane/MG-bane og kortholdsbane. Punkt P5 er plassert i bekken nedstrøms disse ved innløpet til Kroktjønn. Herfra renner Slåttebekken østover gjennom det som tidligere var leirduebane nærøvingsområde og luftmålbane. Punkt P10 og P9 er plassert hhv. oppstrøms og nedstrøms leirduebanen. Punkt P6 og P7 er plassert hhv. nær innløpet og i utløpet av Øvre Jegersbergvann, mens referansepunktet P11 er plassert i bekken fra Stitjønn.

I 2016 ble det gjennomført vannprøvetakingsrunder den 12. mai, 30. august og 24. november. I mai ble vannføringen anslått til å være noe lavere enn normalt for årstiden. I august var vannføringen omtrent som normalt, mens den var høy i november. Av spesielle forhold kan nevnes at vannstanden sommeren 2016 var svært lav i Øvre jegerborgvann pga. lekkasje i demningen. Vannet var kalkfattig (kalsium 2-3 mg/l) hadde pH 6-6,7 og var humøst (TOC 5-10 mg/l). Vannet ved P2B skilte seg ut ved å være betydelig surere og brunere enn ved de andre stasjonene. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

Det renner lite vann gjennom punktene P2B og P2A, men konsentrasjonen av antimon og bly var høye. Bly var høyest ved P2B (45 -56 µg/l), mens antimon var høyest ved P2A (4-6 µg/l). Ved utløpet av Kyrjtjønn (P3B) varierte antimonkonsentrasjonen i området 0,85-0,99 µg/l mens blykonsentrasjonen var 5,7-8,0 µg/l. Nivåene var altså relativt stabile til tross for forskjellen i vannføring mellom prøvetakingsrundene. Fra P3B til P5 var det ca. 25 % økning i bly- og antimonkonsentrasjonen. Det var mindre forskjeller på nivåene mellom P5, P10, P9 og P6, men med innblandingen fra Stitjønn skjer det en fortykning slik at nivåene ved utløpet av Øvre Jegersbergvann (P7) var betydelig lavere. Kobber viste samme trend, mens forskjellene var mindre for sink. Tungmetallnivåene var lavere enn under anleggsperioden (**Figur 3**). Konsentrasjonen av beregnet biotilgjengelig bly var nær grenseverdien i Slåttebekken, men lavere ved utløpet av Øvre Jegersbergvann (P7). Det samme gjaldt kobber og sink. Sistnevnte var imidlertid forhøyet også ved referansepunktet, noe som indikerer at det også er andre kilder til sink enn korroderende prosjektiler. Antar man volumveide middelveier på 0,6, 3,5 og 2,0 og 2,4 µg/l av hhv. antimon, bly, kobber og sink, og gjennomsnittlig avrenning på 100 l/s ved punkt P7, blir beregnet massetransport omtrent 2 kg antimon, 11 kg bly, 6 kg kobber og 7,5 kg sink.

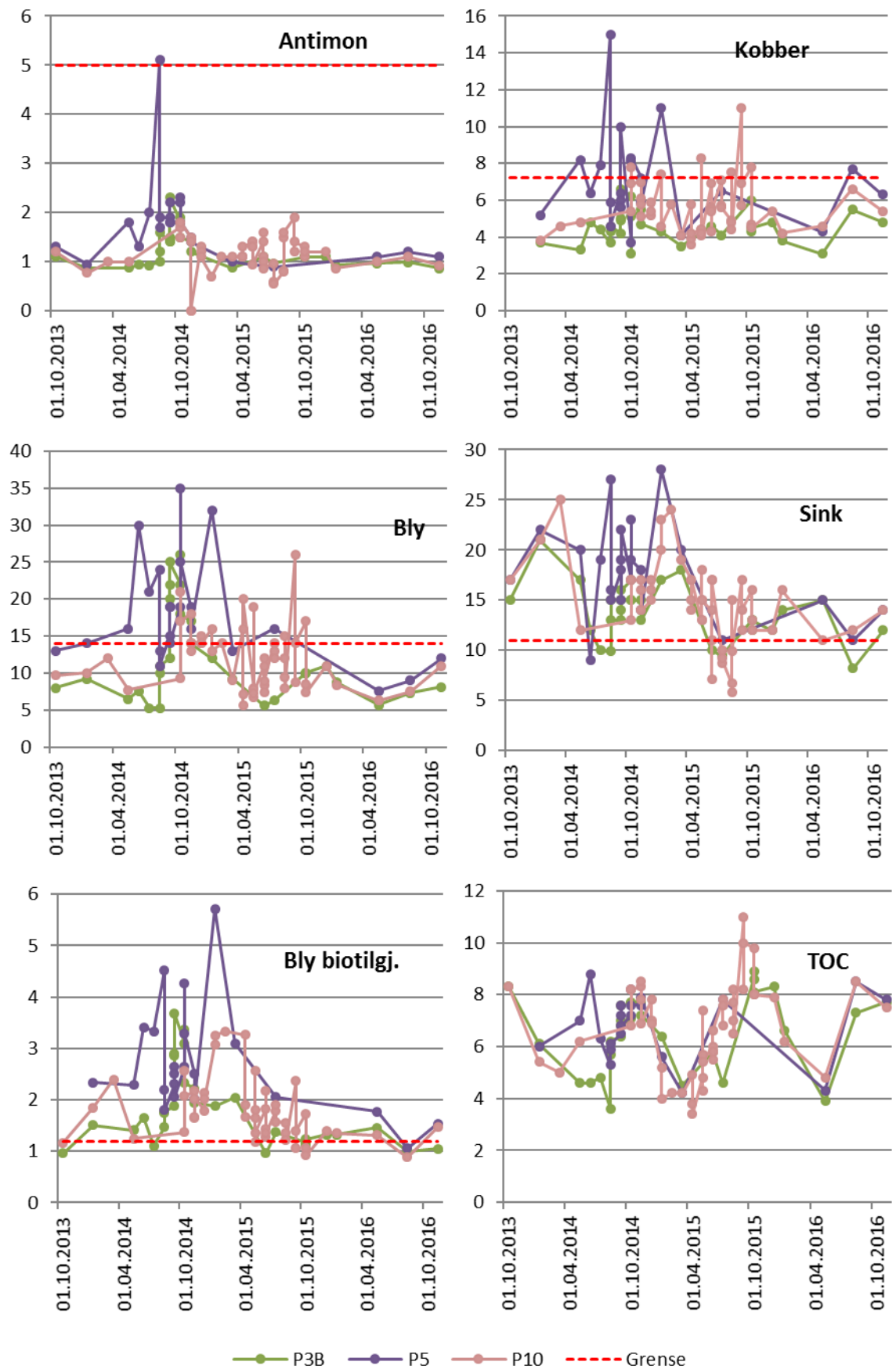
Overvåkingen bør fortsette i 2017 for å følge opp effekten av gjennomførte tiltak.



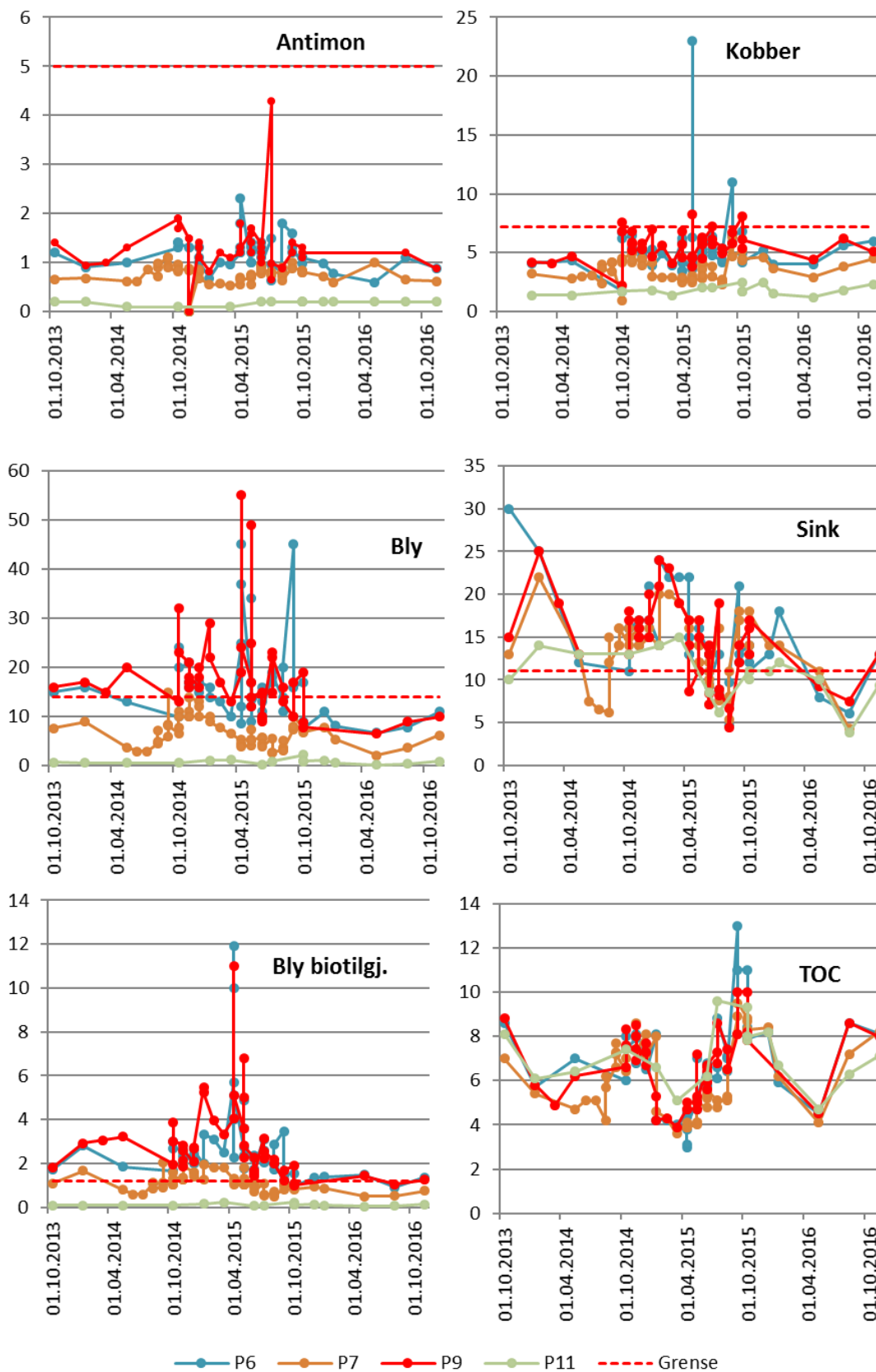


Figur 2. Gimlemoen skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.





Figurtekst og flere paneller på neste side.



**Figur 3.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Gimlemoen. Resultatene fra punkt P2B og P2A er ikke med i figuren, men er tabulert i vedlegg A. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.1.2 Avgrunnsdalen

Avgrunnsdalen SØF ligger i Hurum kommune i Buskerud og var i bruk fra 1917 til 2003. Det har blitt skutt med håndvåpen, mitraljøser og panservernvåpen. Det har dessuten blitt sprengt en del fjell i området. Feltet ligger i en trang dal med bratte sidevegger. Dallbunnen består av myr. Det ble gjennomført grundige miljøundersøkelser i 2007 (Nordal, 2007a), og tiltaksplan ble utarbeidet i 2012 (Weholt, 2012a). Det ble gjennomført oppryddingstiltak i 2013, men myra ble ikke sanert. Omtrent 500 meter vest for SØF ligger sivile skytebaner (Fuglemyra) som også har avrenning til bekken som renner ut i Rødbyvannet. Feltet og prøvepunktene er vist i **Figur 4**. Punkt A er plassert i myrbekk som mottar avrenning fra det som var målområde for stridsskytebanen, og det som eventuelt måtte komme fra den nyere stripeskytebanen (den nordligste banen som er indikert i kartet). Punkt B og B2 ved utløpet av myra er plassert i vann som renner hhv. inn og ut av sedimentasjonsbasseng. Punkt C i bekk representerer samlet avrenning ut av Avgrunnsdalen (før samløp med bekk fra Bunntjern). Punkt C1 er plassert i bekk etter samløp mellom bekker fra bl.a. Bunntjern og Avgrunnsdalen, men før avrenning fra Fuglemyra blandes inn. Punkt C2 er i bekk etter innblanding fra Fuglemyra, mens punkt D ligger i utløpet til Rødbyvannet.

Ved prøvetakingen i mai var det middels med vann i bekkene. Det var ingen snøsmelting i feltet. I juni var det kraftig regnvær og høy vannføring under prøvetakingen. I oktober var vannføringen lavere enn i juni, men høyere enn i mai. Vannet var gjennomgående kalkfattig (kalsium 1-3 mg/l), surt (pH 5-6) og humøst (TOC > 7 mg/l). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

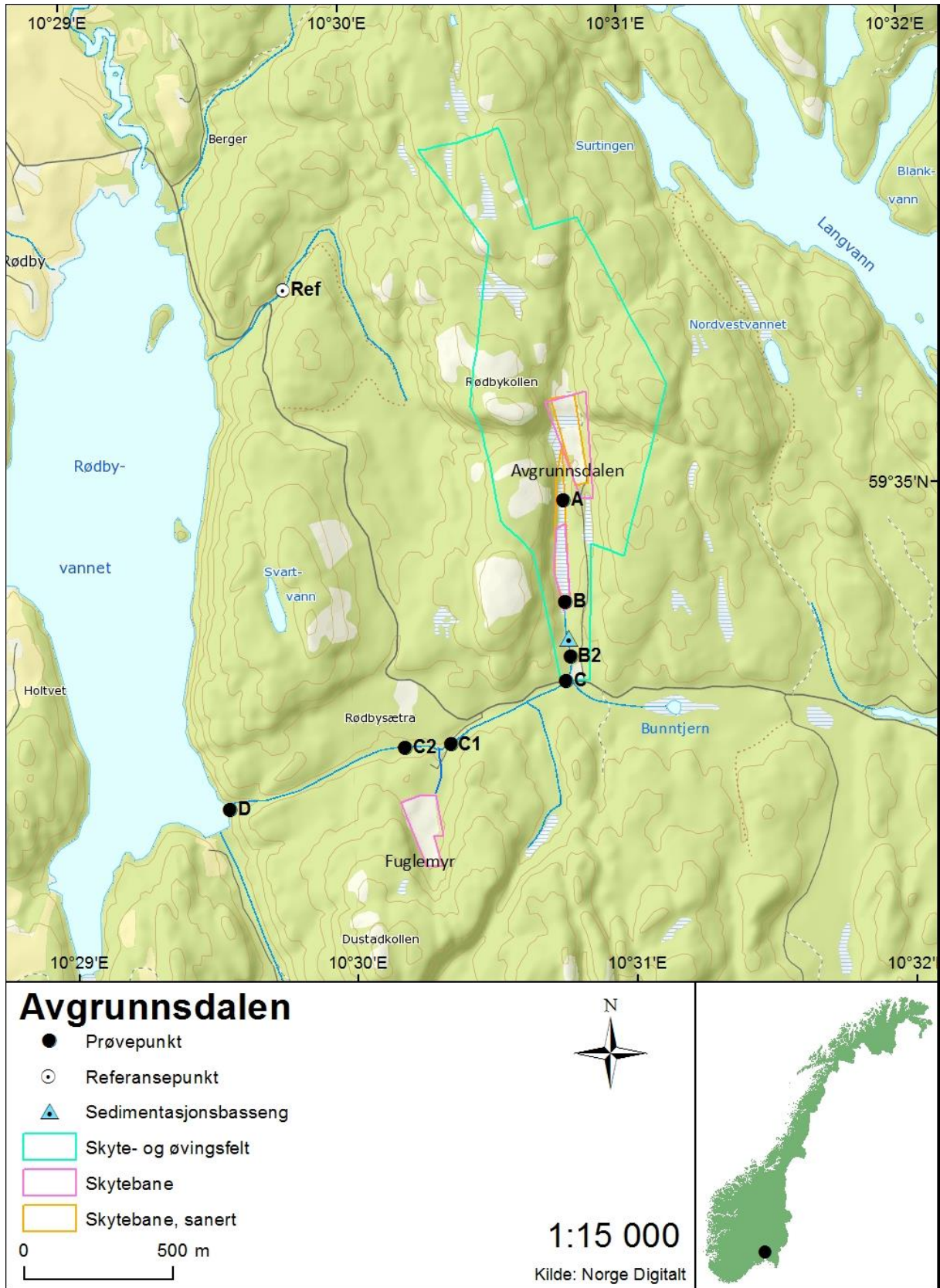
Det var høye nivåer av kobber og bly i avrenningen (**Figur 5**). De høyeste konsentrasjonene av kobber, bly og antimon ble målt ved utløpet av myra (B), mens konsentrasjonen av sink var høyest i utløpet av sedimentasjonsbassenget (B2). Det var imidlertid små forskjeller mellom nivåene ved punkt B og B2, så metallene blir i liten grad fjernet i sedimentasjonsbassenget. Konsentrasjonene blir noe fortynnet nedover i vassdraget, spesielt mellom punktene C (ut av Avgrunnsdalen) og C1 (før samløp med bekk fra Fuglemyr), men derfra og til utløpet i Rødbyvannet er det kun små endringer. Det tyder på at bidraget fra skytebanene på Fuglemyr er ubetydelig sammenlignet med det som kommer fra SØF. Metallnivåene i 2016 var omtrent som i de to foregående årene. Tiltakene har ikke hatt noen tydelig effekt på konsentrasjonene i avrenning.

Konsentrasjonene av kobber, sink og beregnet biotilgjengelig bly<sup>2</sup> var høyere enn grenseverdiene ved punkt C (ut av Avgrunnsdalen), men ikke ved punkt D (inn i Rødbyvannet). Blykonsentrasjonene ved punkt C var 15-20 ganger høyere enn i referansen til tross for at blynivået i sistnevnte også var relativt høyt. Dette viser at det militære SØF er hovedkilden til bly i avrenningen fra Avgrunnsdalen. Kobbernivået var også mye høyere enn i referansen, mens forskjellen var mindre for sink. Årsavrenningen ut av Avgrunnsdalen (punkt C) har blitt estimert til 313 220 m<sup>3</sup> (Nordal, 2007a). Antar man volumveide middelveier på 2,3, 17 og 13 µg/l av hhv. antimon, bly og kobber, blir beregnet massetransport omtrent 0,7 kg antimon, 5 kg bly og 4 kg kobber.

Tungmetallkonsentrasjoner og estimert massetransport har vært relativt stabil i tre år etter tiltak, og det er ingen grunn til å vente at situasjonen vil endre seg i nær framtid. Det kan være fornuftig å følge utviklingen videre pga. de relativt høye tungmetallnivåene.

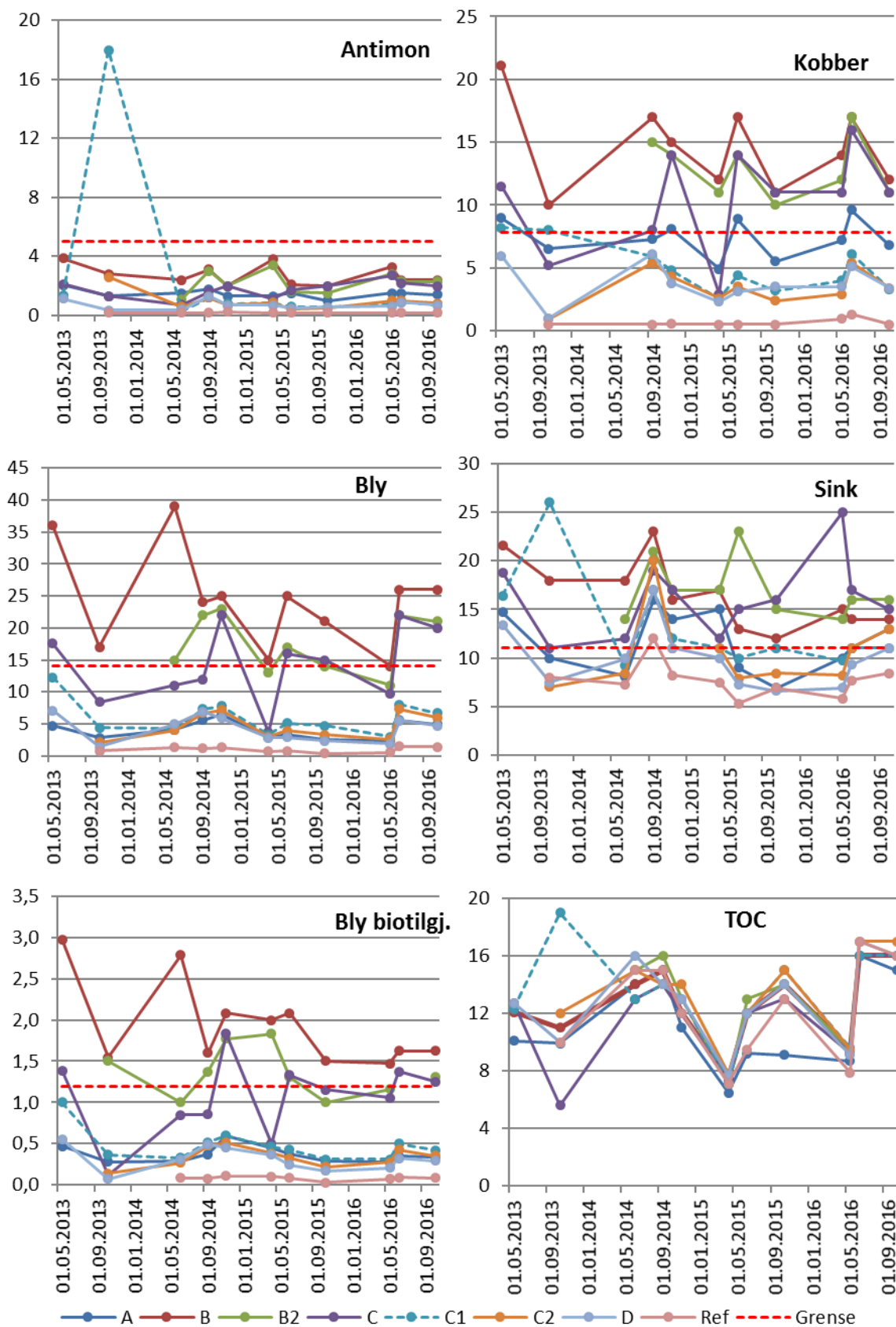
---

<sup>2</sup> pH og kalsiumkonsentrasjon var imidlertid tidvis i underkant av området som ligning 1 er validert for.



Figur 4. Avgrunnsdalen skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.





**Figur 5.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) i Avgrunnsdalen. Grensene er definert i Tabell 1.

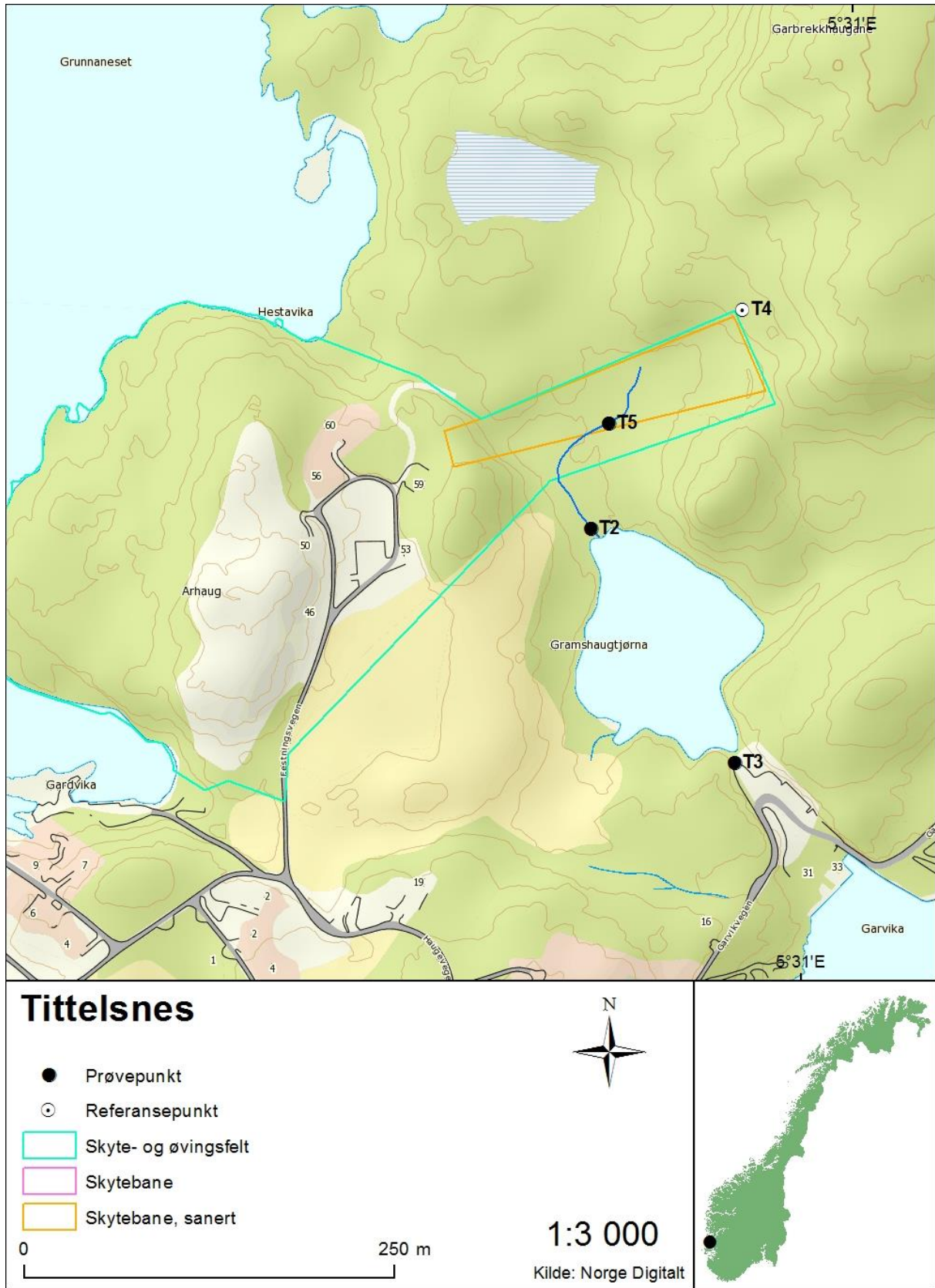
### 3.1.3 Tittelsnes

Tittelsnes fort ble etablert av tyskerne i 1941 og ligger i Sveio kommune i Hordaland. Det har vært skutt med håndvåpen i Tittelsnes SØF fra 1950-tallet og fram til år 2005. Feltet ligger i småkupert og barskogkledd terreng like ved fjorden (**Figur 6**). I tidsrommet 2012-2013 ble tiltak for å redusere spredning av tungmetaller gjennomført (fjerning av forurenset masse, bygging av sedimentasjonsbasseng, etablering av siltskjørt i Gramshaugtjørna) (Haker, 2013a, 2013b). Vannet renner fra lia med bekken/siget hvor referansen (T4) er plassert, og over den tidligere skytebanen. Punktet T5 representerer det som tidligere var innløpet til sedimentasjonsbassenget, men det ble fylt igjen på senhøsten 2015. Det som var punkt T6 (ut av sedimentasjonsbassenget) og T1 (under vei) i tidligere rapporter, har ikke lenger samme plassering etter at sedimentasjonsbassenget ble fjernet og presenteres ikke her. Bekkeløpet inn i Gramshaugtjørna var imidlertid uendret. Punkt T2 representerer innløpet Gramshaugtjørn, mens T3 er plassert i bekken som renner ut av samme tjern og inn i Garvika.

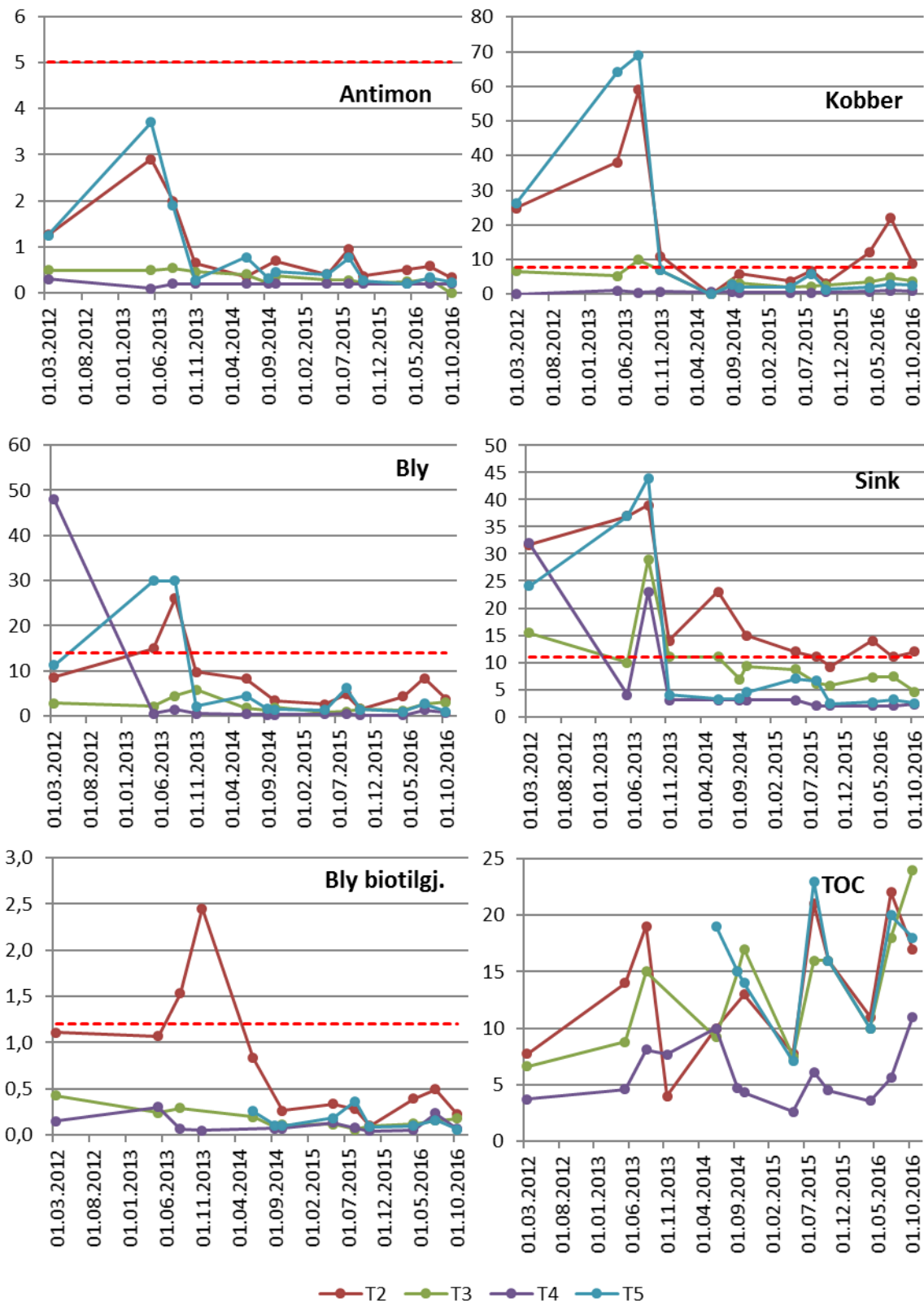
Ved alle tre prøvetakingsrundene (april, juli, oktober) var det lav vannføring i feltet pga. lite nedbør. Vannet var svært humøst med TOC-konsentrasjon > 15 mg/l, men lavere ved referansestasjonen. Vannet var klarere under vårrunden. Vannet var kalkfattig, og pH var tilnærmet nøytral. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

Ved innløpet til sedimentasjonsbassenget (T5, som tilsvarende gamle T1) var tungmetallkonsentrasjonene betydelig lavere enn før erstatning av forurenset masse. Det tyder på at det lekker ut betydelig mindre mengder enn før. pH er også høy noe som bidrar til å redusere mobiliteten til bly, kobber og sink. Ved innløpet (T5) til det som var sedimentasjonsbassenget, var blykonsentrasjonen omtrent som i 2015. Målte antimon- og sinkkonsentrasjoner ved T5 har sunket noe de siste tre årene. Det ingen tegn til at metallene blir fjernet fra vannfasen lenger ned i vannveien (T2 og T3) (**Figur 7**). Konsentrasjonene av antimon, kobber, sink og beregnet biotilgjengelig bly var lavere enn grenseverdiene i 2016. Konsentrasjonene av antimon, kobber, sink ved referansestasjonen (T4) har pleid å være lavere enn kvantifiseringsgrensen. Blykonsentrasjonen var 2-6 ganger høyere ut av Gramshaugtjørna (T3) enn ved referansen (T4). Årlig middelavrenning er beregnet til 65 l/s/km<sup>2</sup>, som gir middelvannføring på ca. 8,6 l/s ved T3. De målte konsentrasjonene kan tyde på at massetransporten ut av Gramshaugtjørna (ved T3) er i størrelsesorden 0,1 kg antimon, 0,6 kg bly, 1,1 kg kobber og 1,8 kg sink.

Tre år med overvåking viser at tiltakene har hatt effekt. Det er antydning til synkende trend for antimon og sink, og tungmetallkonsentrasjonene er lavere enn miljøkvalitetsstandardene. Tilstanden er tilstrekkelig dokumentert og overvåkingen kan avsluttes.



Figur 6. Tittelsnes skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 7.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Tittelsnes. Grensene er definert i Tabell 1.



### 3.1.4 Nesje Fort

Nesje fort ligger ved innløpet til Sognefjorden i Hyllestad kommune, Sogn og Fjordane. Fortet ble etablert av tyskerne i 1940/1941. Det har ikke vært skyteaktivitet i feltet siden 2005. Nesje SØF ligger i småkupert, myrlendt terreng med furuskog og to mindre dammer (**Figur 8**). Tiltaksplan ble utarbeidet i 2011 (Fedje, 2011), og opprydningstiltak i form av fjerning og erstatning av forurenset masse foregikk fra vår 2012 til vår 2013. Vannet i feltet renner sørvestover og ut i Solsvika. Det er to referansestasjoner der vannet antas å være upåvirket av militær aktivitet («N7 Ref inn» og «N4 Ref 2011»). Punkt N1 er plassert i et sig som mottar avrenning fra det som før tiltak var skytevoll for 200 metersbanen. Punkt N3 ligger i bekk som renner ut fra Nesjevatnet. Punkt «N5 kort» er plassert i avrenning fra det som var kortbane og 100-metersbane. Punkt N6 ut er plassert rett nedstrøms demningen i utløpsbekken og representerer samlet avrenning ut av feltet.

Ved det to første prøvetakingsrundene i april og juli 2016 var vannføringen omtrent som normalt får årstiden. Den 21. oktober var vannføringen svært lav pga. lite nedbør mange dager før prøvetaking. Vannet er gjennomgående kalkfattig ( $\text{Ca} < 2 \text{ mg/l}$ ), surt ( $\text{pH} 4\text{-}5$ ) og svært humøst ( $\text{TOC} 10\text{-}50 \text{ mg/l}$ ). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

De høyeste tungmetallkonsentrasjonene ble påvist i avrenning fra det som før saneringen var målområdet til 200 m banen (N1) og i vannet som renner ut av Nesjevatnet (N3) (**Figur 9**). Nivåene av bly, antimon og kobber var høyest i oktober da vannføringen var svært lav, mens det motsatte var tilfelle for sink. Hverken antimon, kobber, sink eller beregnet biotilgjengelig bly<sup>3</sup> oversteg grenseverdiene. De målte konsentrasjonene har falt siden 2013 noe som indikerer synkende trend.

Blynivået var betydelig lavere i avrenningen fra det som før var 100 m bane og kortbane (N5 kort). Samlet avrenning ut av feltet (N6) hadde heller ikke like høye konsentrasjoner som N1 (målområde 200-metersbane) og N3 (ut av Nesjevatnet). Blykonsentrasjonene ved referansestasjonene (N7 og N4) var noe høyere enn det som er vanlig i ikke-forurenset overflatevann (Skjelkvåle et al., 1996).

Blykonsentrasjonene var 2-8 ganger høyere i vannet som renner ut av feltet (N6) enn i referansevannet (N7 Ref inn» og «N4 Ref 2011»). Antimon og kobber var også tydelig forhøyet, men hvor mye er uvisst fordi referansenivået delvis var under kvantifiseringsgrensen. Sinkkonsentrasjonene var mindre enn 2 ganger høyere enn referansenivået. Mye av blyavrenningen fra feltet kan tilskrives tidligere skyteaktivitet. Antar vi et årsmiddel på  $2,2 \mu\text{g/l}$  ut av feltet og en middelvannføring på  $16 \text{ l/s}$  (Fedje, 2011), så blir beregnet årsavrenning  $1,1 \text{ kg bly}$ . Kobberavrenningen kan være omtrent  $1,2 \text{ kg per år}$ .

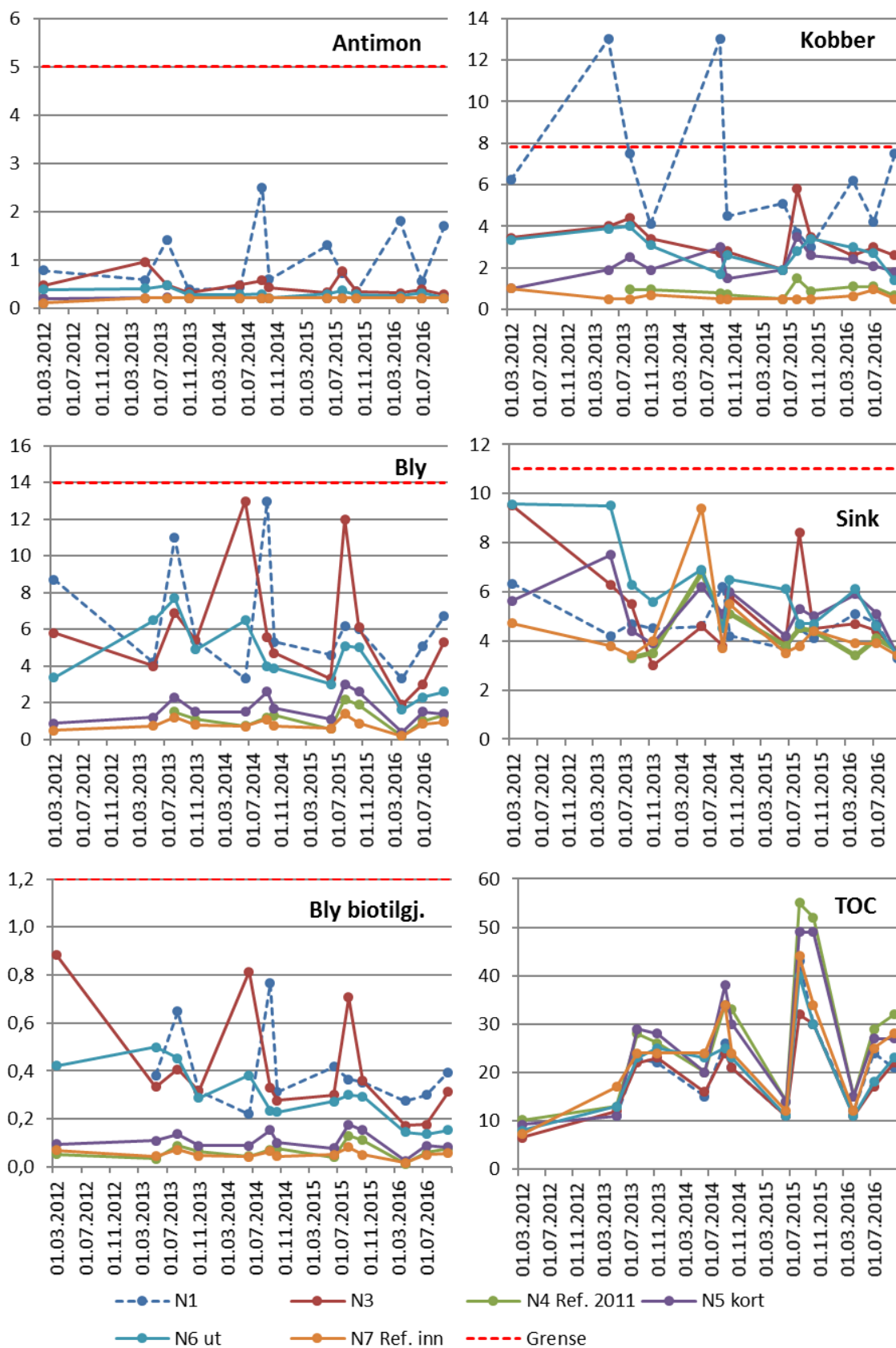
Det foreligger fire år med overvåkningsdata siden tiltak ble gjennomført. Målte tungmetallkonsentrasjoner er lavere enn miljøkvalitetsstandardene og indikerer synkende trend i tiden som har gått etter tiltaket, til tross for at de vannkjemiske forholdene legger til rette for høy mobilitet av metaller. Det anbefales å avslutte overvåkingen.

---

<sup>3</sup> pH og kalsiumkonsentrasjon var imidlertid lavere enn området som ligning 1 er validert for.



Figur 8. Nesje Fort med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 9.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Nesje Fort. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.1.5 Gurulia og Bue-Nebb

Bue-Nebb og Gurulia skytebaner ligger i Rissa kommune i Sør-Trøndelag. Bue-Nebb ble tatt i bruk på slutten av 1800-tallet i forbindelse med opprettelsen av Hysnes fort, og målområdet var da en fjellvegg. Banen på Bue-Nebb ble lagt ned i 1975, og Gurulia ble da etablert som erstatning. Tiltaksplan ble utarbeidet i 2013 (Weholt, 2013). Gurulia var i bruk fram til oppryddingstiltak (fjerning av forurenset masse, bygging av sedimentasjonsbasseng) ble iverksatt i 2013. Høsten 2016 ble det fjernet mer forurenset masse i Gurulia. Banene ligger i småkupert, myrlendt terreng med noe blandingsskog. Feltene og prøvepunktene ved hhv. Gurulia og Bue-Nebb er vist i **Figur 10** og **Figur 11**. Vannet fra både Gurulia og Bue-nebb renner inn i Budalsbekken, men på forskjellige steder. Det antas at vannet ved de to referansestasjonene i Gurulia (V1 og V5) ikke er påvirket av militær aktivitet. Punkt V3 ligger i et sig som mottar avrenning fra det som tidligere var skytebanen i Gurulia. Punkt GLV-2 er plassert i bekk (samme bekk som V1) etter samløp med siget fra V3. Punkt V4 og V2 er vann som renner hhv. inn og ut av sedimentasjonsbassenget. Punktet V6 er plassert i bekk hvor avrenning fra Gurulia renner ut i Budalsbekken (**Figur 11**).

Punktene V1 og V3 ligger i bekker internt i det som var skytebanen på Bue-Nebb (V3 er plassert nedstrøms stikkrenne under vei). Punktene BNV-1 og V4 er plassert i vannet som renner hhv. inn og ut av sedimentasjonsbassenget, mens V2 representerer den samlede avrenningen fra Bue-Nebb. I tillegg er det plassert ett punkt (V5) i Budalsbekken nedstrøms der hvor avrenningen fra Gurulia og Bue-Nebb er innblandet. Det er også plassert en referansestasjon (Ref) i Budalsbekken oppstrøms samløpet med bekkene fra Gurulia og Bue-Nebb.

I april var det i både Gurulia og Bue-Nebb relativt høy vannføring pga. regn før og under prøvetaking. I juli og september var det derimot lav vannføring. Vannet i både Gurulia og Bue-Nebb SØF er kalkfattig til moderat kalkrik (2-6 mg/l) og er til dels svært humøst (TOC 10-30 mg/l). pH er moderat surt-nøytralt (6-7). Vannet i referansen (V1) i Gurulia og V3 ved Bue-Nebb er betydelig surere (pH rundt 5,0). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

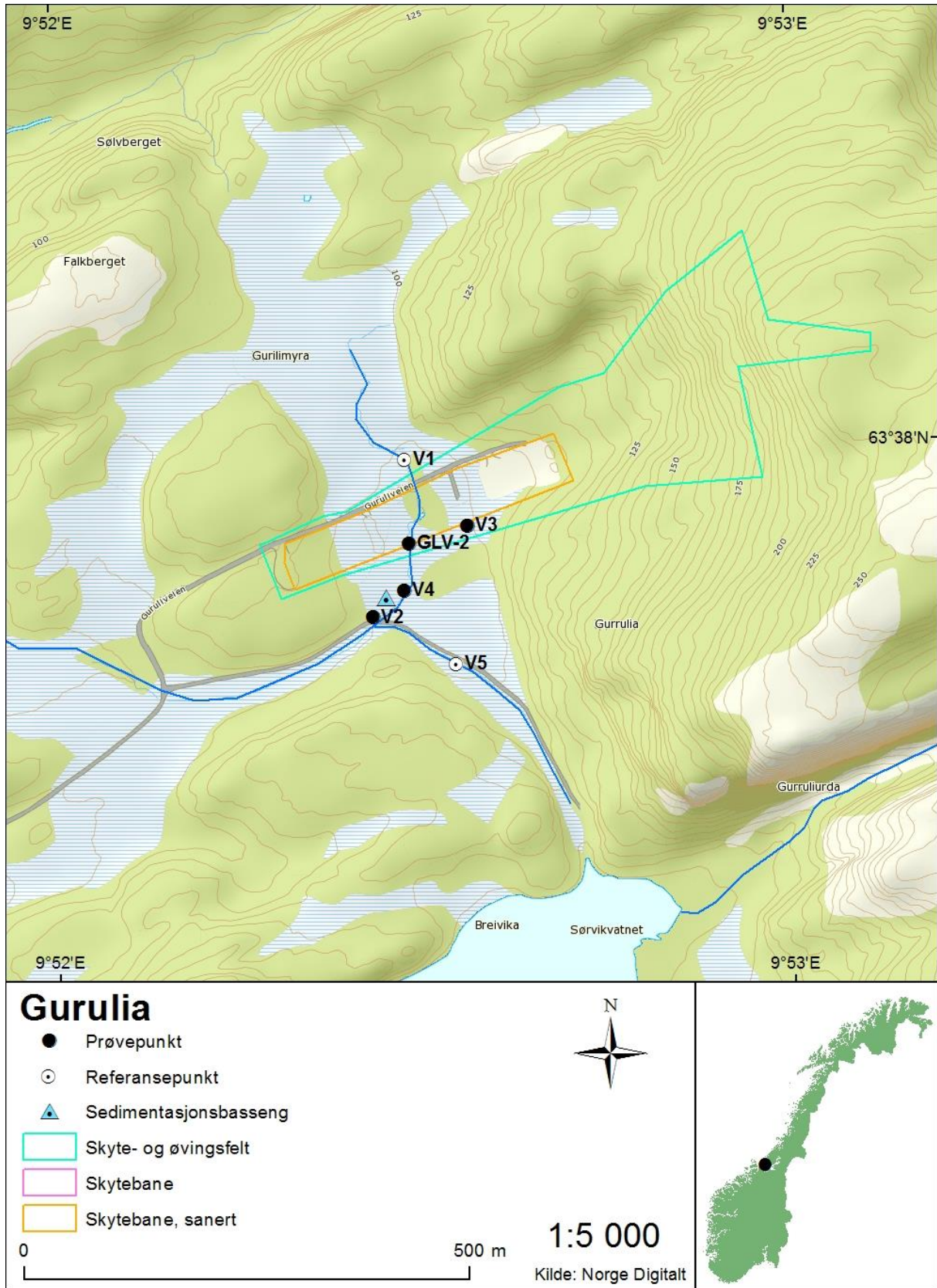
Nivåene av bly, kobber og antimon internt i Gurulia var over gjeldende grenseverdier (**Figur 12**). De målte konsentrasjonene har imidlertid blitt lavere siden 2013 og indikerer synkende trend. Sedimentasjonsbassenget gav ikke lavere konsentrasjoner i vannet som rant ut av feltet (V2). Det forurensete vannet fra Gurulia fortynnes en del før det renner ut i Budalsbekken (V6), og tungmetallnivåene ble redusert med 30-40 prosent. Nikkelkonsentrasjonene, som ble målt fordi det har blitt lagt olivin i sedimentasjonsbassengene, var lavere enn 2 µg/l i alle prøver (se Vedlegg A). Vannet ved punkt V1 som har blitt brukt som referanse, har noe forhøyet blynivå, mens konsentrasjonene ved den andre referansen, V5, var lavere.

Situasjonen i Bue-Nebb (**Figur 13**) er omtrent lik det som er beskrevet for Gurulia. Det var relativt høye nivåer internt i feltet, særlig ved punkt V1, men målte tungmetallkonsentrasjoner har blitt lavere siden 2013. Dette indikerer at oppryddingstiltakene har hatt effekt. Metallkonsentrasjonene i vannet som rant inn i sedimentasjonsbassenget (BNV-1) var omtrent like høye som i vannet som rant ut (V4). Lenger ned (V2) var konsentrasjonene 40-50 prosent lavere pga. fortynning.

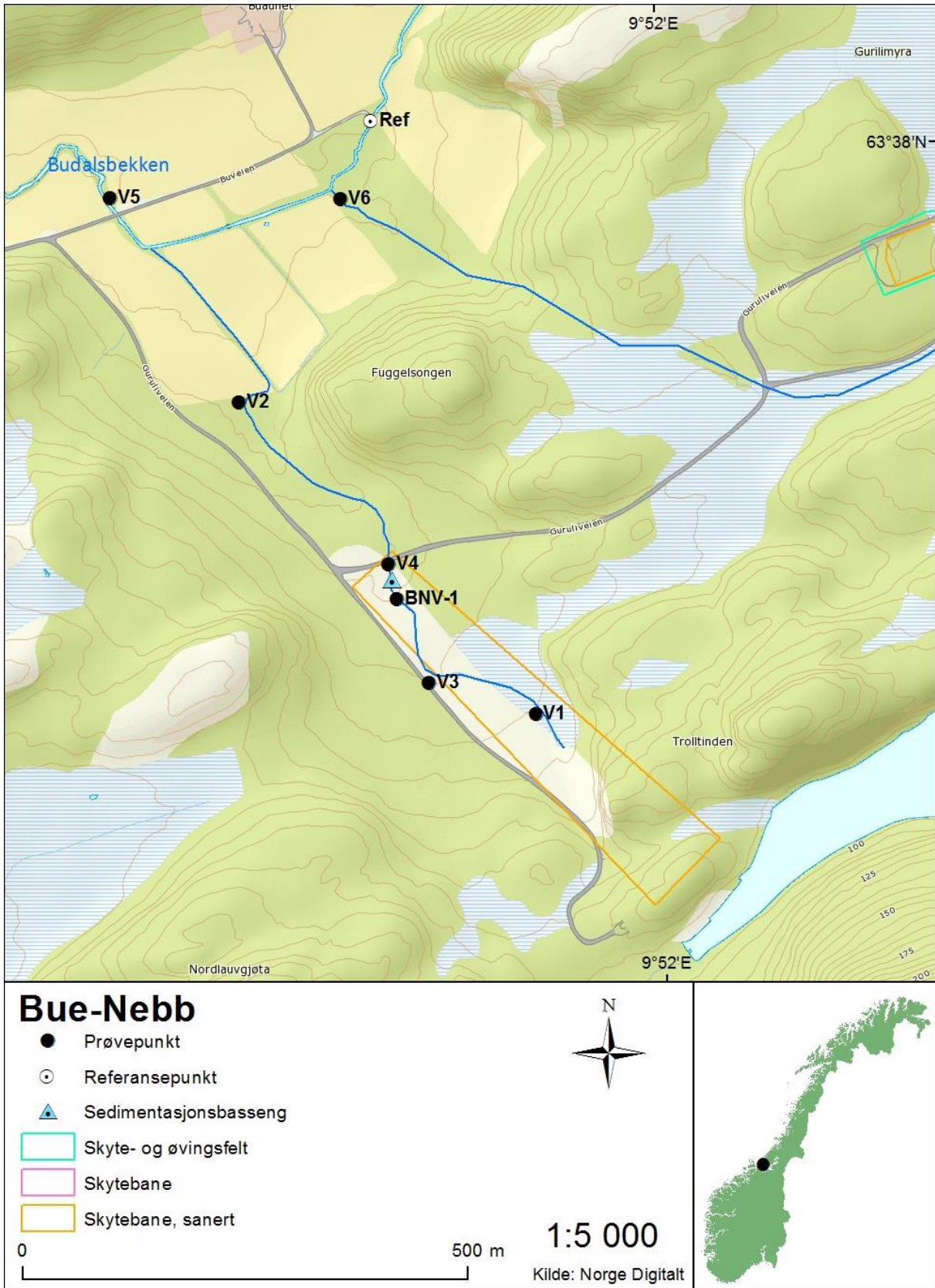
Tungmetallkonsentrasjonene i Budalsbekken oppstrøms samløp med avrenning fra Gurulia og Bue-Nebb (Ref) var lave. Den samlede avrenningen fra Gurulia og Bue-Nebb gav noe høyere konsentrasjoner i Budalsbekken (V5). Ved å multiplisere gjennomsnittskonsentrasjonene fra V5 for 2016 med beregnet avrenning (35 l/sek/km<sup>2</sup>) og cirka størrelse på nedbørfeltet (2.7 km<sup>2</sup>) (Amundsen, 2012) blir beregnet massetransport ca 800 g antimon, 5 kg bly og 6 kg kobber. Avrenning fra Bue-Nebb og Gurulia ser ut til å bidra omtrent like mye.

Overvåkingen i begge felt anbefales videreført i ett år til for å undersøke om konsentrasjonene fortsetter å falle.



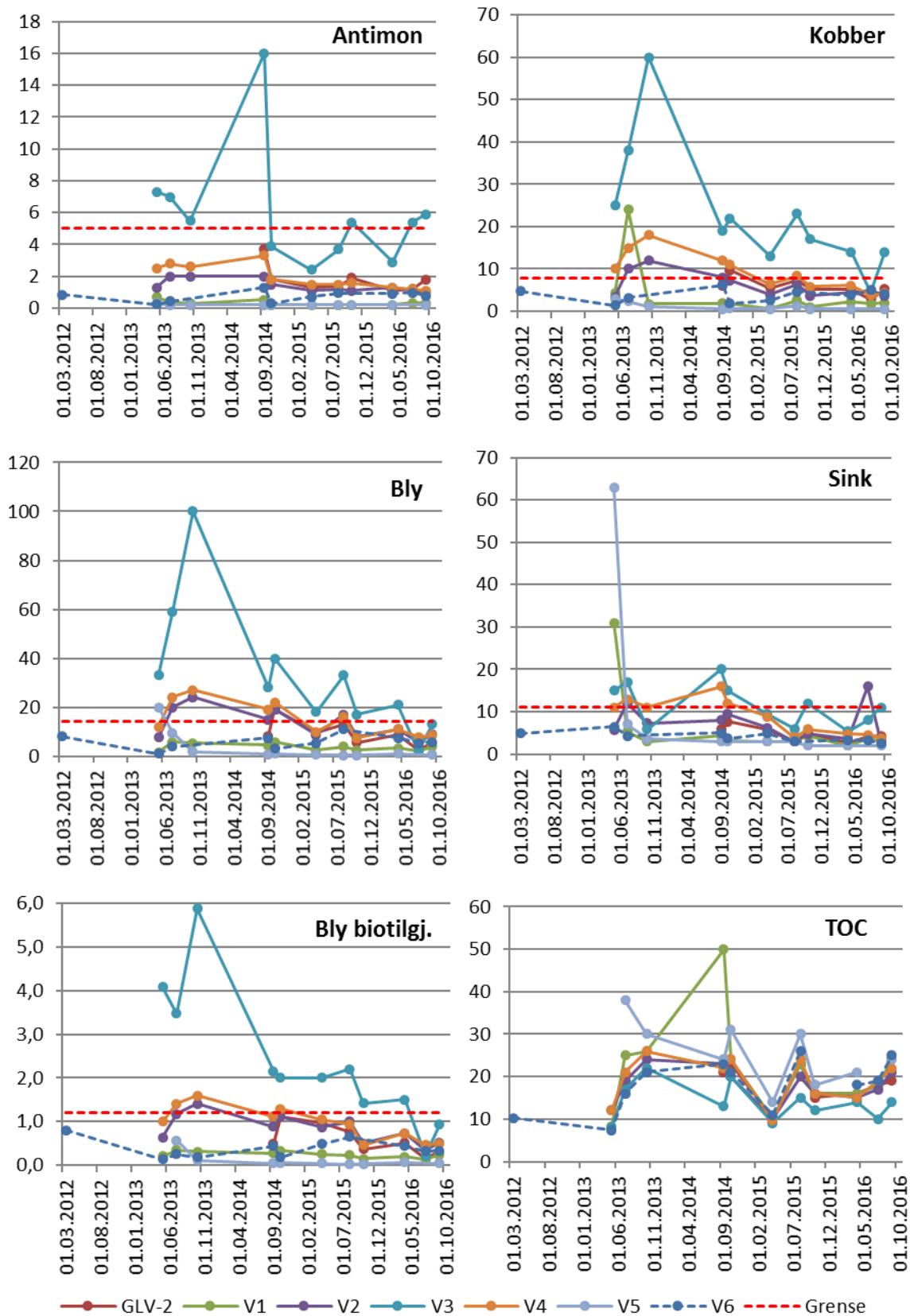


Figur 10. Gurulia skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.

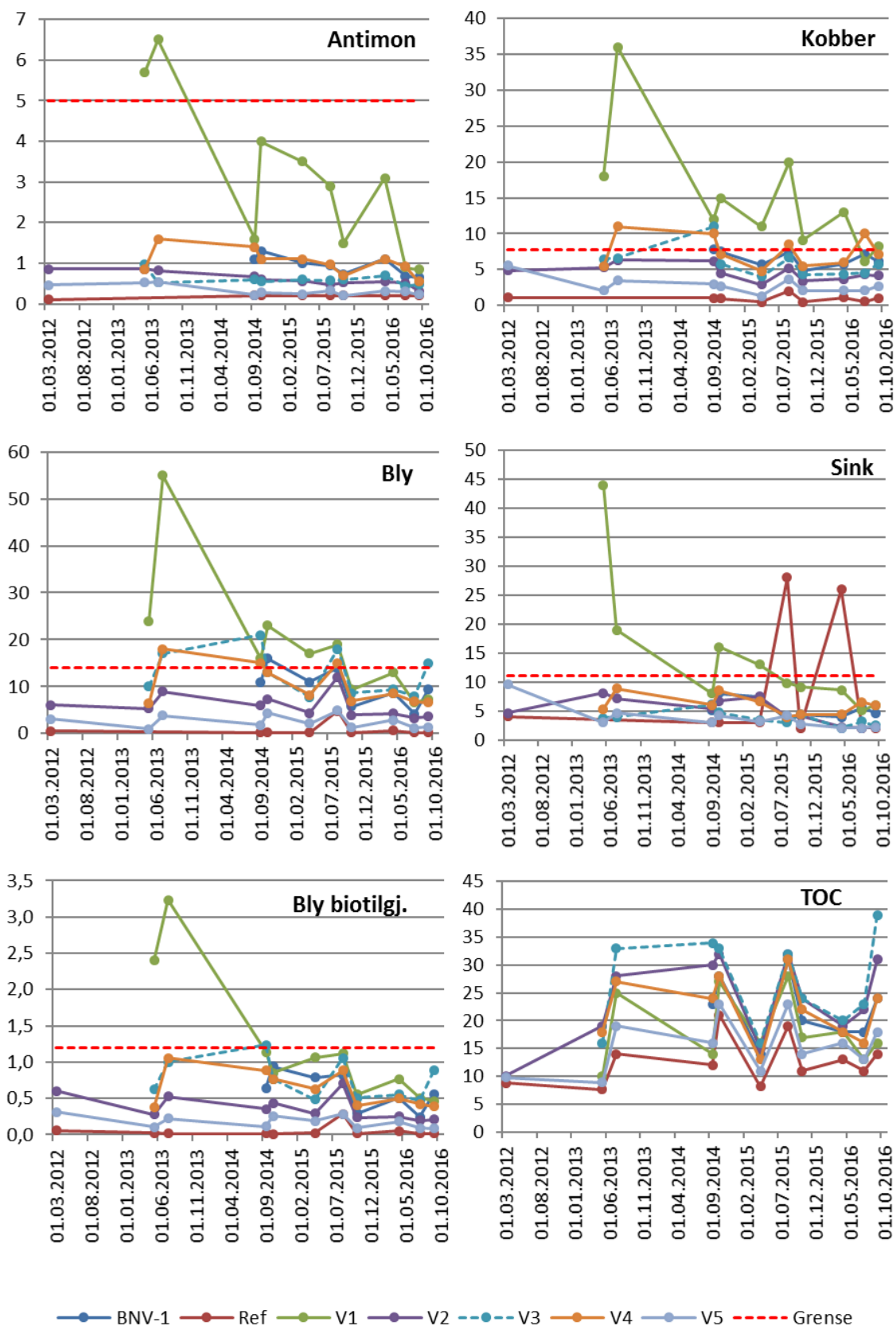


Figur 11. Bue-Nebb skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.





**Figur 12.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller (µg/l), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon (mg/l) i Gurulia. Grensene er definert i Tabell 1.



**Figur 13.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Bue-Nebb. Grensene er definert i Tabell 1.



### 3.1.6 Banemyra

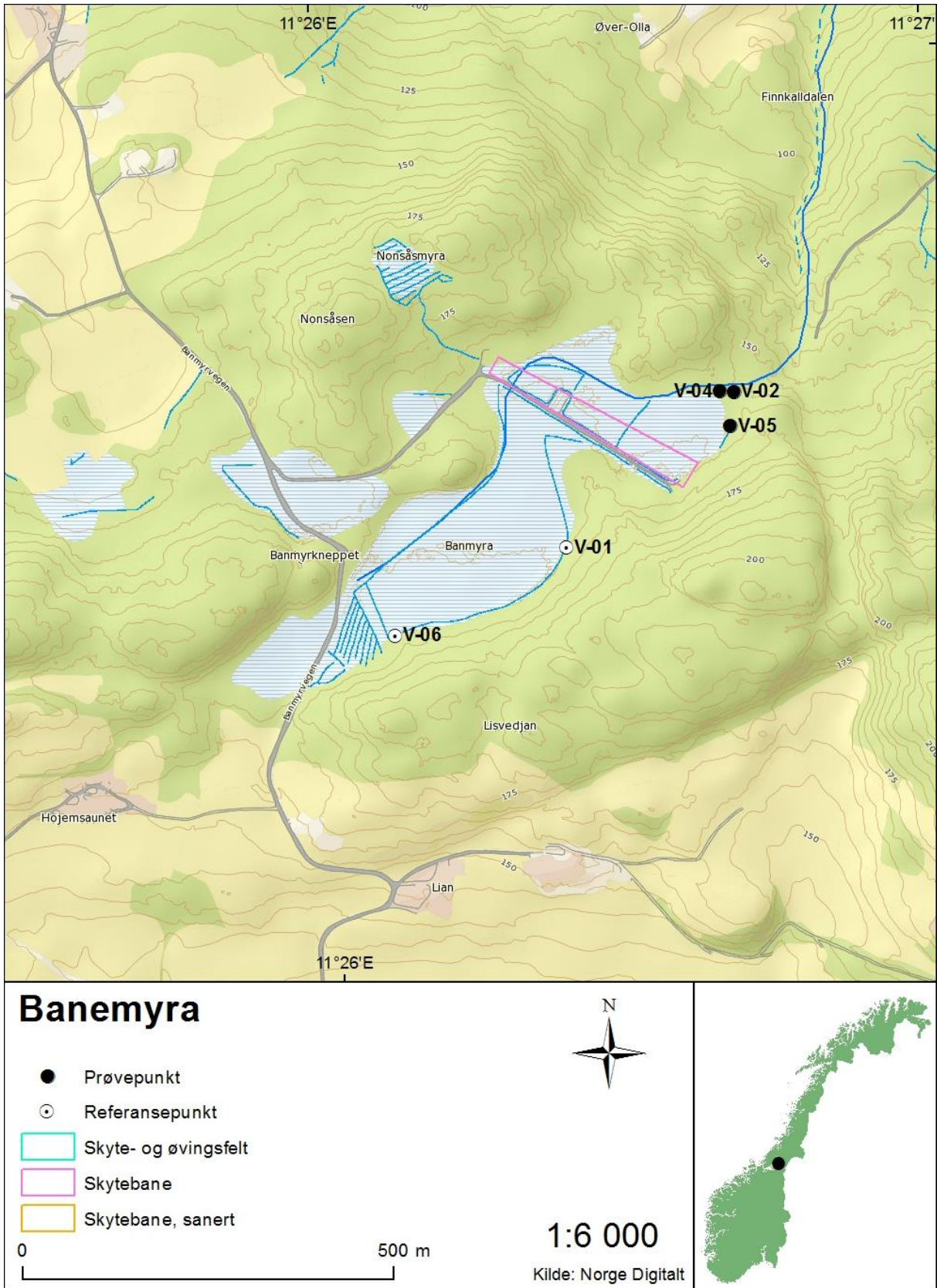
Banemyra skytebane ligger i Levanger kommune i Nord-Trøndelag. Det er en 300 m geværskytebane etablert i forbindelse med Rinnleiret Leir på begynnelsen av 1900-tallet. Skytebanen på Banemyra var en 300-meter bane, med standplass i nord-vest og målområde i sør-øst. Det var i tillegg opparbeidet standplasser på 100 og 200 meter avstand fra målområdet. Banen var i bruk til begynnelsen av 2000-tallet. Terrenget er myrlendt med noe blandingsskog. I følge Amundsen (2011) viste tidligere undersøkelser av grunnen at hele banearealet hadde et høyt innhold av tungmetaller. Lia øst for målområdet viste også høye verdier. Høsten 2015 ble forurensede masser fjernet fra baneløpet, skivevoll, kulefangervoll og skråning bak det som var målområdet. Feltet og prøvepunktene er vist i **Figur 14**. Vannet renner mot nordøst gjennom Finnkalldalen og ut i Rinnelva ca. 1 km nord for banen. Punktene V-06 og V-01 er referansestasjoner hvor vannet antas å være upåvirket av militær aktivitet. Punkt V-05 er et sig/bekk som mottar avrenning fra kulefangervollen, mens V-04 mottar avrenning fra standplasser og baneområdet. Punkt V-02 er plassert i bekk etter samløp mellom V-04 og V-05 og representerer samlet avrenning ut av feltet.

Vannføringen ble bedømt som normal for årstiden under prøvetakingsrundene i april og september. Det var lite snø og snøsmelting under vårrunden i april, men det hadde regnet noe dagene før. Under prøvetakingen i juli var vannføringen lav pga. en relativt tørr sommer. Vannet er kalkfattig til moderat kalkrikt (kalsium 2-7 mg/l), er moderat surt (pH 6-7) og humøst (TOC>10 mg/l). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

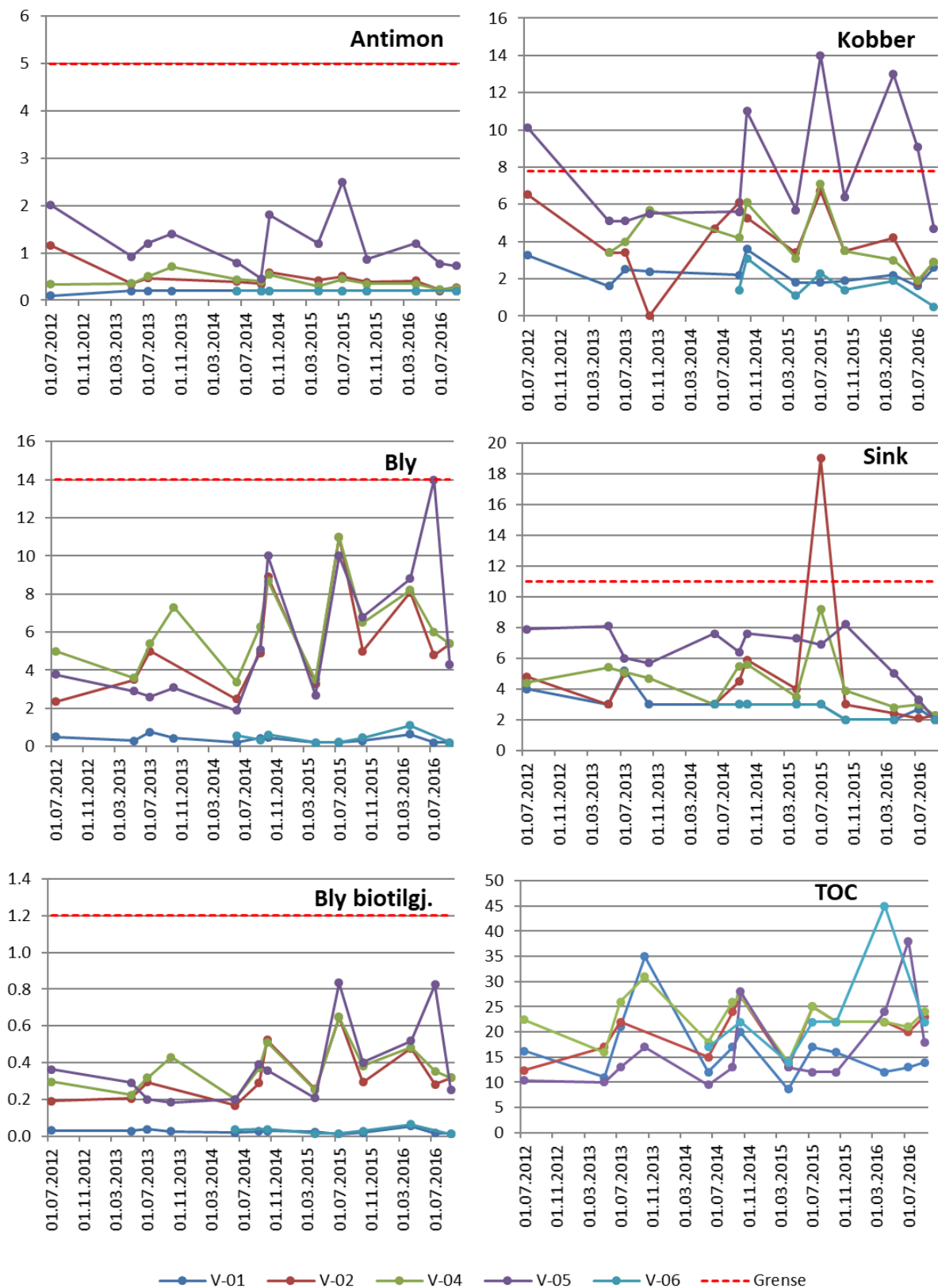
Vannet fra målområdet (V-05) hadde de høyeste nivåene av antimon og kobber, men blykonsentrasjonen var på omtrent samme nivå ved punkt (V-02, V-04 og V-05) (**Figur 15**). Det var relativt små forskjeller på konsentrasjonene i prøvene fra april, juli og september. Samlet sett var nivåene omtrent som i 2015. Grenseverdiene som gjelder i 2016 var ikke overskredet med unntak av kobberkonsentrasjonen ved punkt 5. Prøvene fra det antatt upåvirkede referanseområdet (V-01 og V-06) inneholder noe kobber.

Forholdet mellom metallkonsentrasjonene i avrenning (V-02) og referanse (V-01) var 12-27 for bly, men bare 1-2 for kobber. Antar man en gjennomsnittlig avrenning på 6 l/s (Amundsen, 2011) blir beregnet massetransport av bly ut av feltet ca. 1 kg bly i 2016. For de andre metallene er bidraget fra skyteaktivitet lite eller ikke kvantifiserbart.

Overvåkingen bør fortsette for å følge opp effekter av tiltakene i 2015.



Figur 14. Banemyra skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 15.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Banemyra. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.1.7 Steinkjersannan

Steinkjersannan SØF ligger i Steinkjer kommune i Nord-Trøndelag. Det har vært skytebaner i området siden 1700-tallet. Forsvarsbygg solgte eiendommen til kommunen i 2013 etter å ha sanert fire skytebaner. Fire skytebaner er fortsatt i bruk til ikke-militære formål. Feltet ligger ca 25 moh. Terrenget er flatt med en skogkledd lise i øst. Det er mye marin leire i området. Et grøftesystem har blitt gravd for å lede avrenning fra lia utenom SØF, og under saneringen i 2012/2013 ble det fjernet store mengder forurenset masse. Feltet og prøvepunktene er vist i **Figur 16**. Vannet i feltet renner vestover ut i elva Figgja og videre til fjorden. Punktene V-07, Ref2011 og Ref2015 er plassert i bekk/sig hvor vannet antas å være upåvirket av militær aktivitet. Blykonsentrasjonene ved de to førstnevnte punktene har imidlertid vært høye, og det er grunnen til at referansestasjonen har blitt flyttet lenger opp i bekken. Punkt V-08 er plassert i et sig som leder vann fra et gammelt målområde øst i lia. Punkt V-05 er plassert i et dressystem som samler vann fra det som tidligere var bane 5-8. Punkt V-03 i grøft på vestsiden av veien representerer samlet avrenning fra det som var bane 4, 5, 6, 7 og 8. Punkt V-02 er plassert i bekk etter samløp av vannet fra V-07 og V-08 (se over). Punkt V-09 representerer samlet avrenning ut i Figgja.

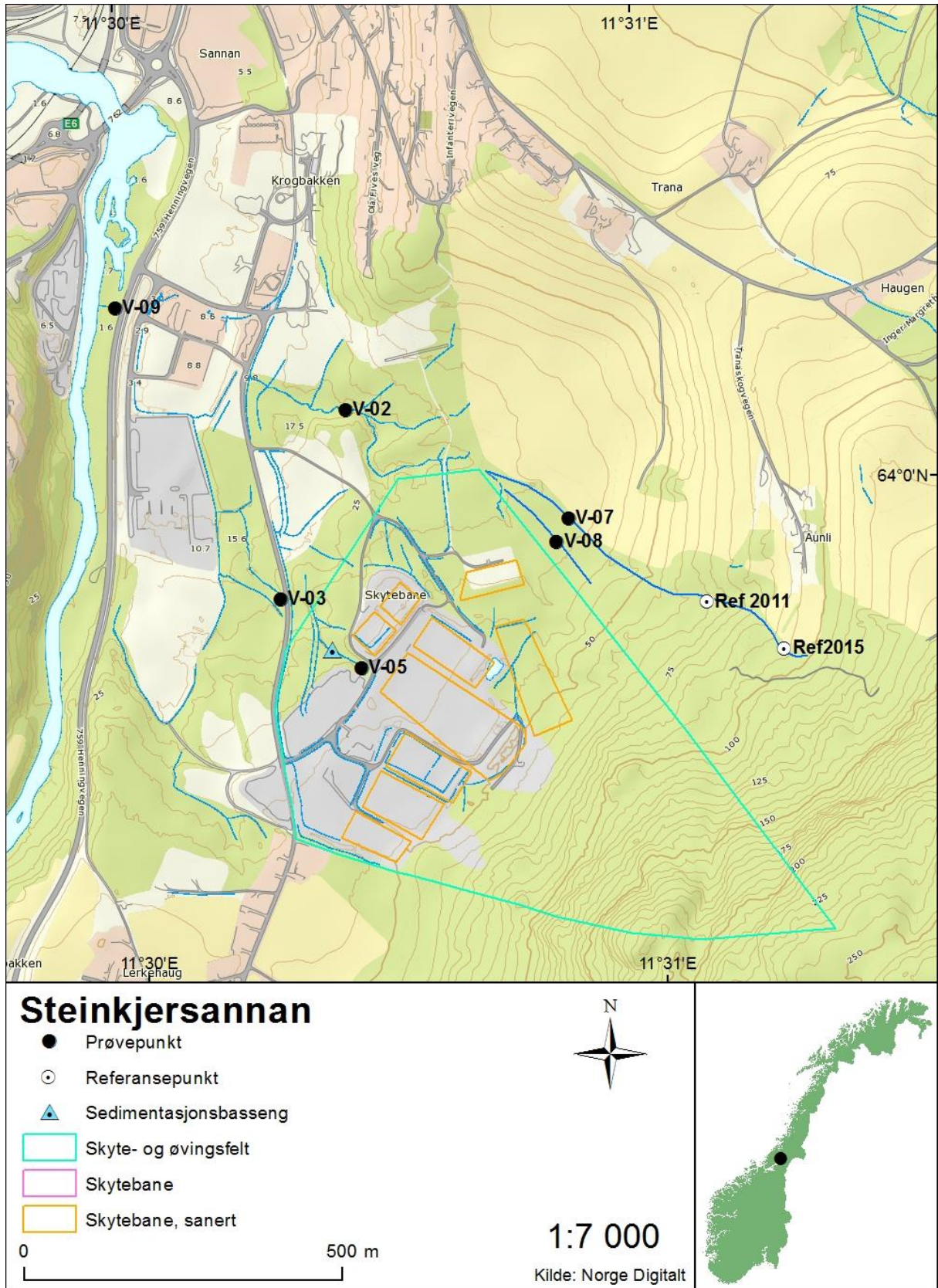
Under prøvetakingsrunden i april var vannføringen middels høy som følge av regn (snøsmeltingen var over). I juli og september var det lav vannføring i bekkene. Vannet var svakt basisk (pH 7-8) og kalkrikt (kalsium 20-60 mg/l, referansebekken hadde betydelig lavere kalsiumnivå). Turbiditeten var høy, spesielt i april. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

Sinknivåene var lave sammenlignet med de fleste andre SØF omtalt i denne rapporten (**Figur 17**). Antimonkonsentrasjonene var relativt lave ved de fleste punktene, men klart høyere enn i referansebekken. Kobberkonsentrasjonen var lavere enn 6 µg/l unntatt ved den mest påvirkede stasjonen (V-05) hvor den var 11 µg/l i april. Også blykonsentrasjonene har vært lave sammenlignet med andre SØF. Unntak er under episoder med høy vannføring og i deler av referansebekken (Ref 2011 og nedstrøms) der bly ofte har vært over grenseverdien til tross for at vannet antas å være upåvirket av skyteaktivitet. Andre metaller har ikke vist forhøyet nivå i referansebekken, noe som tyder på at det også finnes andre blyforurensingskilder enn prosjektiler i nedbørfeltet. Totalkonsentrasjonen av bly er styrt av mengden partikler i suspensjon og konsentrasjonen av organisk materiale som, i dette systemet med grøfter og leire, er sterkt avhengig av vannføring (**Figur 18**, se f.eks. Halvorsen, 2015 for en grundigere diskusjon av dette emnet). Det samme gjelder for de andre tungmetallene, men i noe mindre grad. Den store variasjonen gjør det vanskelig å si om det har skjedd en endring etter tiltakene.

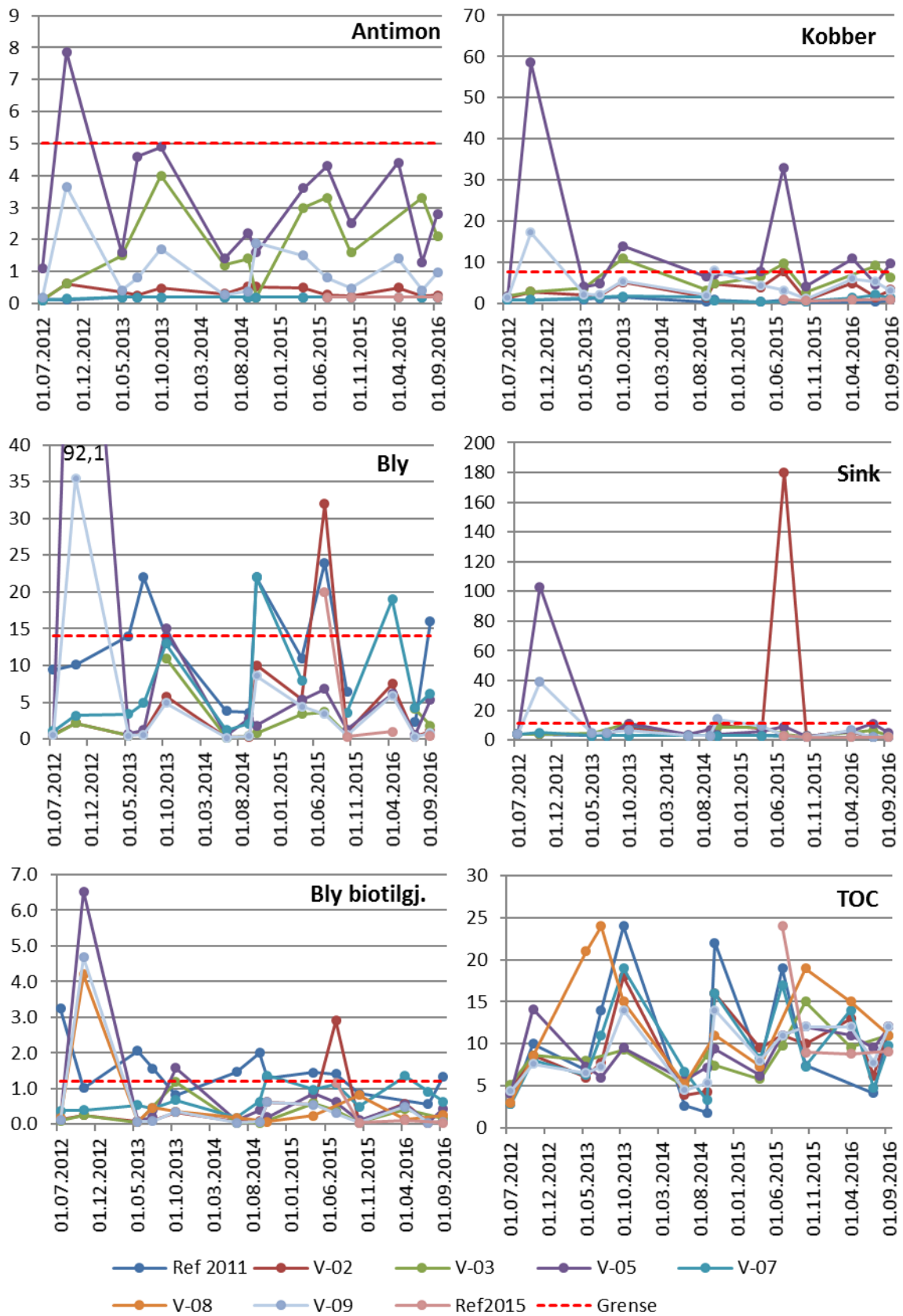
Forhøyede antimonnivåer tyder på at det fortsatt transporteres tungmetaller fra SØF til Figgja. Prøvene fra Ref2011 og V-07 tyder på at det også finnes andre kilder til blyforurensing i området enn korroderende prosjektiler. Utlekkingen av kobber og sink ser ut til å være lav. Beregnet årlig tilførsel til Figgja blir omtrent 0,6 kg antimon, 2,5 kg sink, 3 kg kobber, og 1,5 kg bly dersom man multipliserer målte konsentrasjoner med middelavrenning på 20 l/s ved V-09 (Amundsen, 2012). I praksis kan massetilførselen være betydelig høyere fordi konsentrasjonene ser ut til å øke betydelig med økende vannføring. Dersom dette også gjelder ved svært høy vannføring, så vil det aller meste av massetransporten skje under flomepisoder. Den 13. juli 2015 ble det f.eks. målt 102 mm nedbør i løpet av én time i nærliggende Ogdal ("Meteorologene," 2015), noe som vil ha medført en voldsom økning i vannføring og turbiditet i bekkene.

Det foreligger fire år med overvåkningsdata siden tiltak ble gjennomført. Nivåene har ikke endret seg merkbart siden tiltaket, men konsentrasjonene av løst metall er lave. Det anbefales derfor å avslutte overvåkingen.

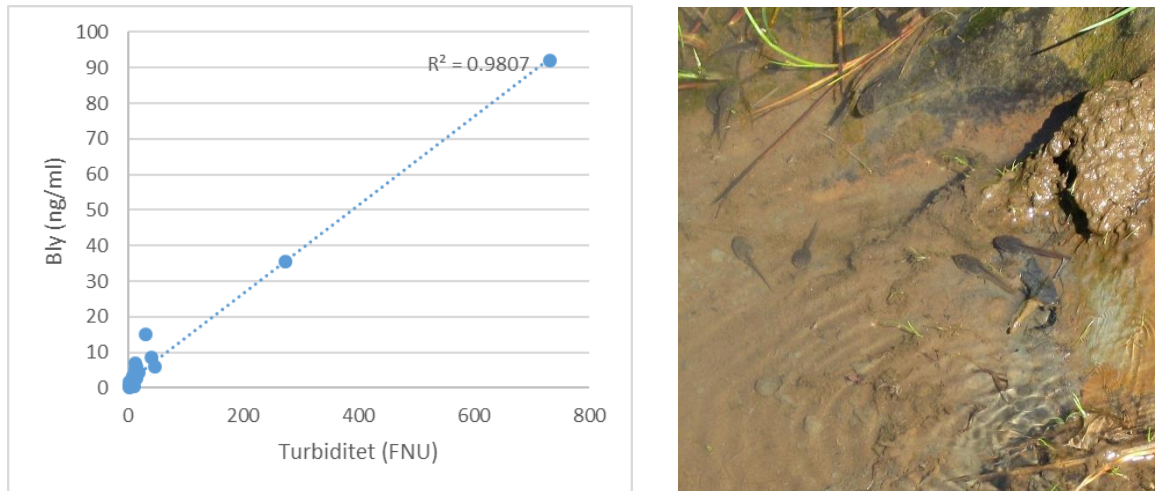




Figur 16. Steinkjersannan skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 17.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Steinkjersannan. Grensene er definert i Tabell 1.



**Figur 18.** Konsentrasjon av bly som funksjon av turbiditet i prøver fra punkt V-05 (venstre). Bilde av rumpetroll og leire ved punkt 5 (høyre).

## 3.2 Resultater fra overvåking av SØF som ikke var ferdigryddet i 2016

### 3.2.1 Marka

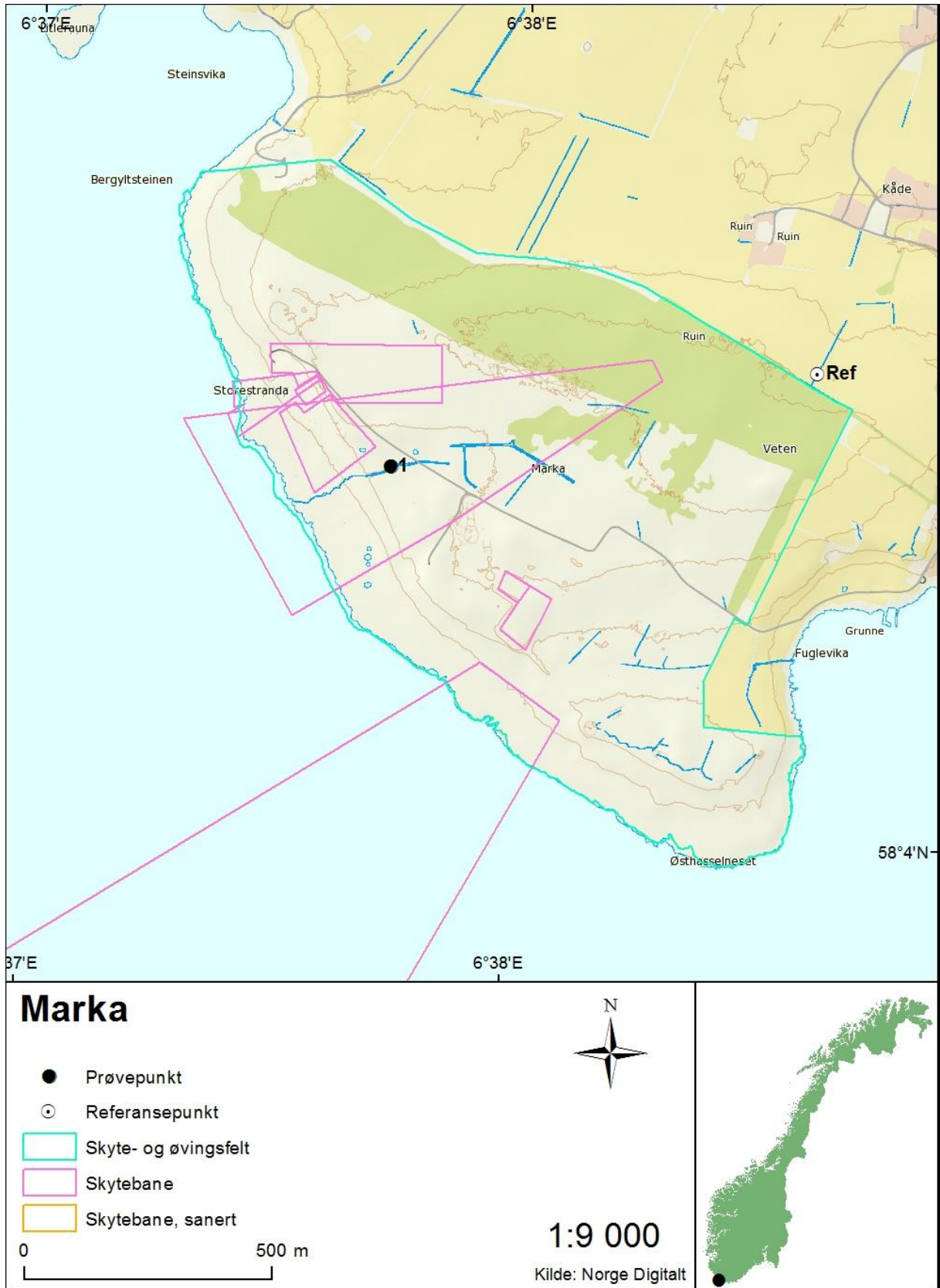
Marka SØF ligger i Farsund kommune i Vest-Agder sør for Lista flystasjon. Området ble utbygd av tyskerne i 1942 som en del av forsvarsverket til flystasjonen. Etter krigen ble Marka brukt som SØF for Luftforsvaret og Luftvernartilleriet. Marka er et flatt område beliggende ved havet, og strandlinja er en del av Liststrendene landskapsvernområde. Feltet og prøvepunktene er vist i (**Figur 19**). Punkt 1 er plassert i bekk som renner ut i sjøen. Referansestasjonen fra tidligere overvåking var dårlig egnet pga. lite vann og jordbrukspåvirkning og ble ikke prøvetatt i 2016. Det pågikk oppryddingstiltak bl.a. fjerning av blindgjengere i Marka SØF i perioden april til november.

I april ble det ikke tatt vannprøve pga. oppryddingstiltakene som foregikk. Den 7. juli ble vannføringen oppfattet som normal for årstiden, mens vannføringen 18. oktober var høy pga. mye nedbør den dagen (oktober var ellers en tørrere måned enn normalt). Det var lite strøm og mye vegetasjon i bekkleiet ved punkt 1. Bekken var bred, men grunn og sakteflytende. På bunnen var det mye utfelt jern. Vannet var i 2016 ionerikt (sjosalter) humøst (6-7 mg/l TOC) og hadde pH omtrent 6,0. Turbiditeten og jernkonsentrasjonene var høye. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

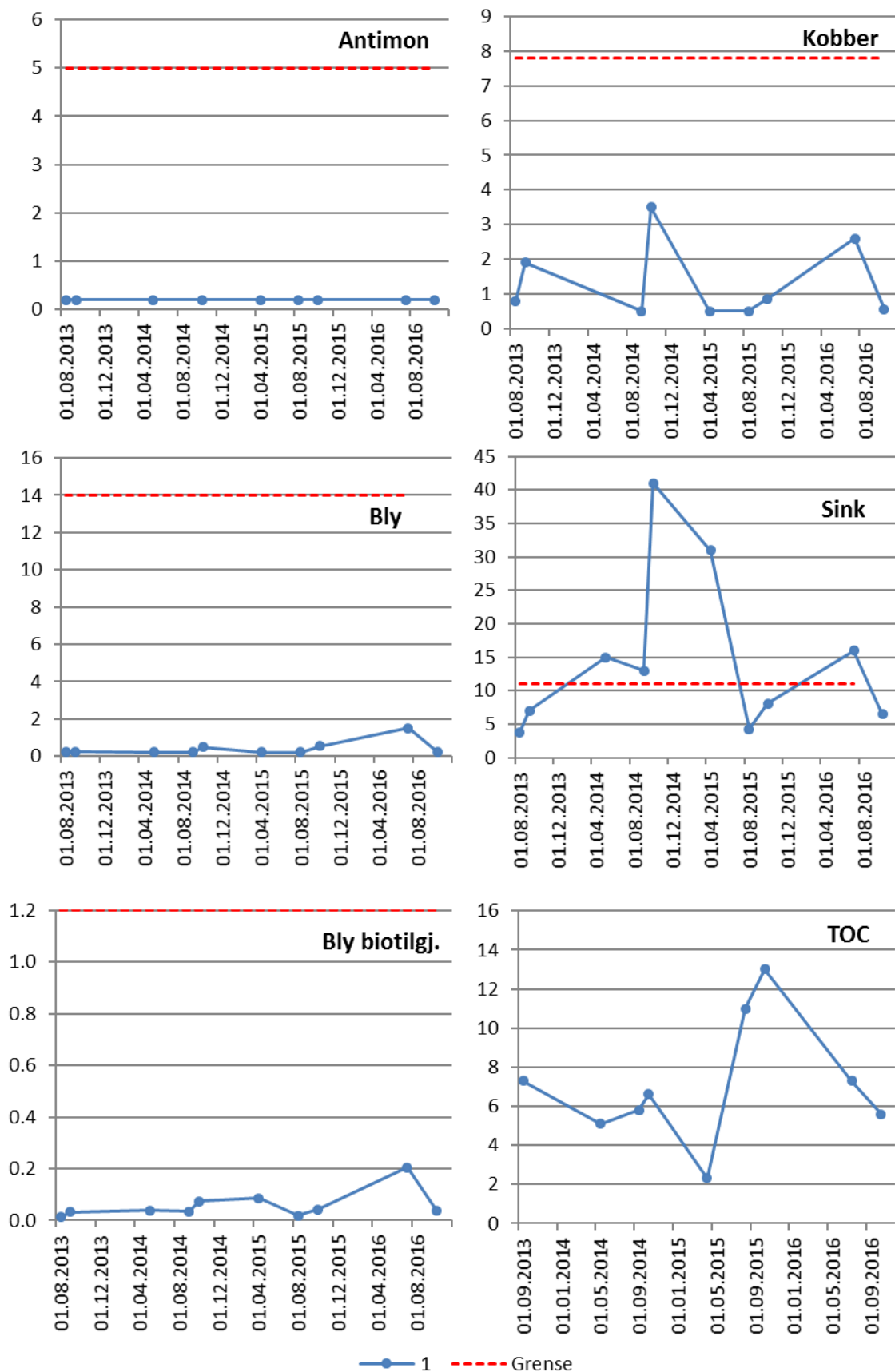
Konsentrasjonene av antimon og kobber var lave, men blykonsentrasjonen i juli var noe høyere enn før (**Figur 20**). Det kan ha sammenheng med aktiviteten i feltet. Normal årsmiddelavrenning er beregnet til 26,7 l/s/km<sup>2</sup>. De målte konsentrasjonene kan tyde på massetransporten ut av feltet er omtrent 100 g bly, 200 g kobber og 1,3 kg sink. Antimonkonsentrasjonen var lavere enn kvantifiseringsgrensen. Det er ikke mulig å si hvor mye av avrenningen som kan tilskrives militære aktiviteter, men det er uansett små mengder siden konsentrasjonene var så lave. Den lave mobiliteten av bly og antimon kan skyldes forekomsten av jernoksider som er kjent for å binde opp disse stoffene (Ackermann et al., 2009; Clausen et al., 2011). Det er lite overflateavrenning i området, og det er noe usikkert i hvilken grad avrenning fra skytebanene fanges opp i punkt 1.

Det er ingenting som tyder på at tidligere skyteaktivitet i feltet gir utlekking av tungmetaller. Det anbefales å videreføre overvåkingen i 2017 for å verifisere at tungmetallnivåene holder seg lave også etter oppryddingstiltakene.





Figur 19. Marka skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 20.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller (µg/l), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon (mg/l) ved Marka. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.2.2 Fredrikstad (Gansrød og Pernes)

Gansrød og Pernes SØF ligger i Fredrikstad kommune i Østfold. Skytefeltet bestod av 8 baner med baneløp. Det eldste anlegget er området for bruk av krumbanevåpen i Gansrødbukta. Eldre kart viser at det på slutten av 1800-tallet var en skytelinje for kalibrering av kanoner og testskyting av ammunisjon i dette området. Den mest intensive bruksperioden var trolig under utdanningen av kontingentene for Tysklandsbrigaden på slutten av 40-tallet frem til midten av 50-tallet. Det har vært noe bruk av banene frem til ut på 2000-tallet, men etter 2005 har virksomheten vært lav. Det er baner både for håndvåpen og panservernvåpen. Mer informasjon om bruk av og tiltaksplan for de ulike banene er beskrevet i (COWI, 2015; Weholt, 2009, 2010, 2012b).

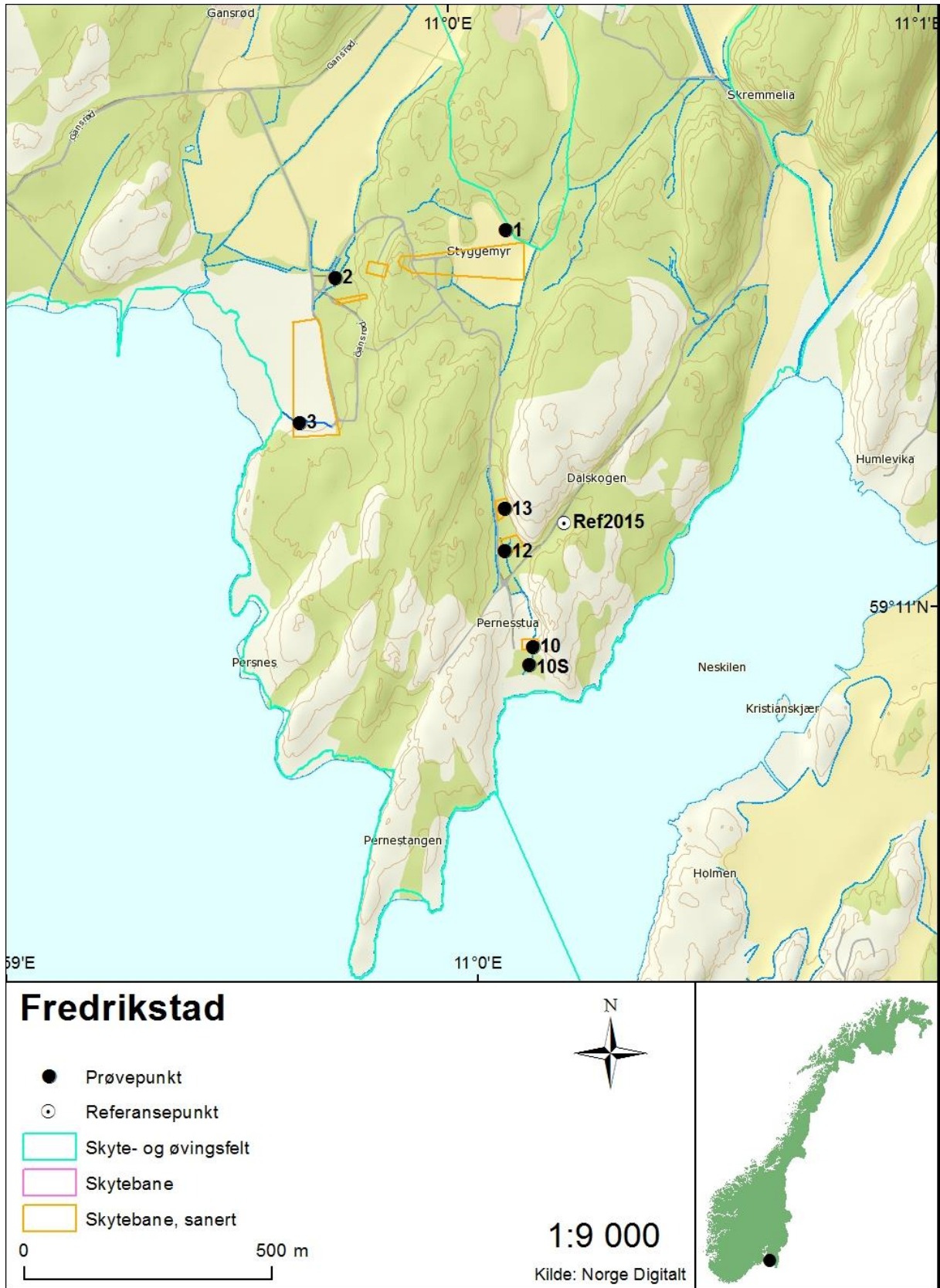
Områdene rundt skytebanene er kupert med mye bart fjell, skrinne mark og spredte furutrær. Feltet grenser i sør til Øra naturreservat. To baner ble ryddet i 2010 (H6 og H8) og 4 baner (H7, G9, G10 og G11) ble ryddet høsten 2016 (mellom etter prøvetaking i august, men før prøvetaking i november). Feltet og prøvepunktene er vist i (**Figur 21**). Punktet Ref2015 var ny referansestasjon fra og med april 2015. Denne er plassert i sig/bekk som renner langs stien. Det gamle referansepunktet ble flyttet fordi vannet var sterkt påvirket av jordbruksavrenning. Prøvepunkt 1 er plassert i et sig som mottar avrenning fra målområdet til bane G9. Punkt 2 er plassert i et sig som mottar avrenning fra det som var bane H8. Punkt 3 er plassert i en bekk som mottar avrenning fra det som var målområdet for 200-metersbanen (H6). Dette er prøvepunktene ved Gansrød. Ved Pernes er punkt 13 plassert i et sig som mottar avrenning fra kortholdsbanen G13. Punkt 12 er plassert i sig som mottar avrenning fra kortholdsbanen G12. Punkt 10 er plassert i bekk som mottar avrenning fra bane G10, mens punkt 10S representerer samlet avrenning fra banene ved Pernes (G10, G12 og G13) til Neskilen.

Alle punktene unntatt 3 og 10S har til tider så lav vannføring at det kan være vanskelig å få fylt prøveflasken uten å virvle opp grums fra bunnen. Prøvene ble derfor tatt på regnværsdager da vannføringen var noe høyere enn normalt for årstiden. Likevel var det ikke mulig å ta prøver fra alle punktene på de tre datoene (29. april, 4. august og 24. november). Ved de fleste punktene hadde vannet pH mellom 6 og 7. Unntaket er punkt 1 som hadde surere vann (pH < 6,0). Vannet var moderat kalkrikt. Konsentrasjonen av TOC var relativt høy ved de fleste stasjoner (5 mg/l eller høyere). Det samme gjaldt turbiditeten. Det var altså mye partikler i vannet. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

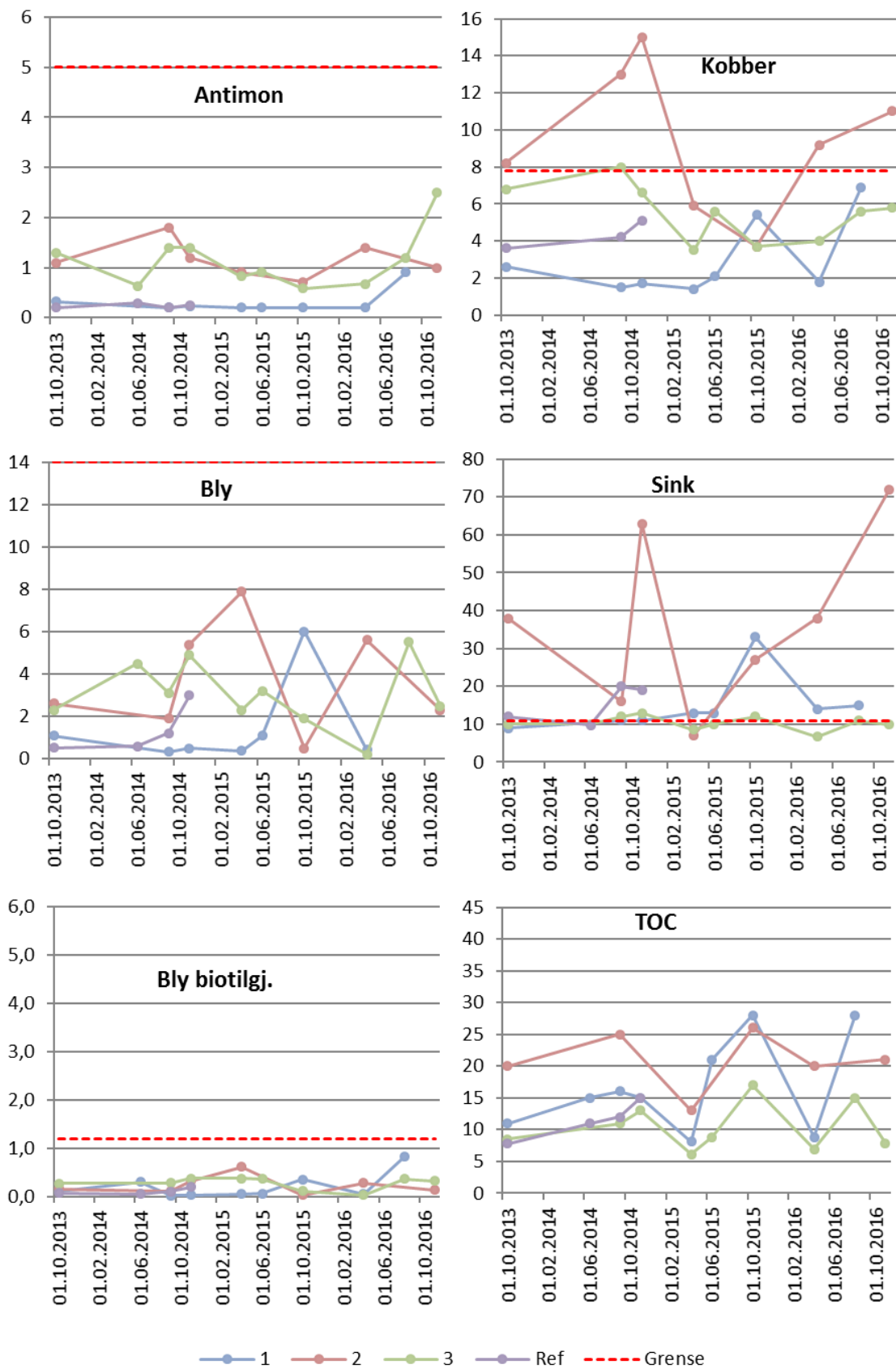
Tungmetallnivåene var lave og under gjeldende grenseverdier både ved Gansrød (**Figur 22**) og Pernes (**Figur 23**). Sink var et unntak, men nivåene av dette metallet var ikke vesentlig høyere enn i den antatt upåvirkede referansen. Det ble dessuten gjort en høy enkeltmåling av bly i prøve fra punkt 13 (04.08.2016). Det er ingen trend i målte konsentrasjoner siden 2013.

Punktene 3 og 10S representerer avrenning til fjorden. Overflateavrenningen er lav og konsentrasjonene er lave, men noe høyere i prøver med høy turbiditet. Det er derfor vanskelig å estimere tungmetallutlekking. Dersom man tar utgangspunkt i målte konsentrasjoner i overflateavrenning (ca 1 µg/l antimon, 3 µg/l bly, 5 µg/l kobber og 12 µg/l sink), og antar at normal avrenning er 10,2 l/s/km<sup>2</sup> og samlet nedbørfelt ca. 1 km<sup>2</sup> blir estimert årsavrenning ca. 0,5 kg antimon, 1 kg bly, 2 kg kobber og 5 kilo sink.

Overvåkingen bør fortsette i 2017 for å følge opp tungmetallnivåene etter tiltak.

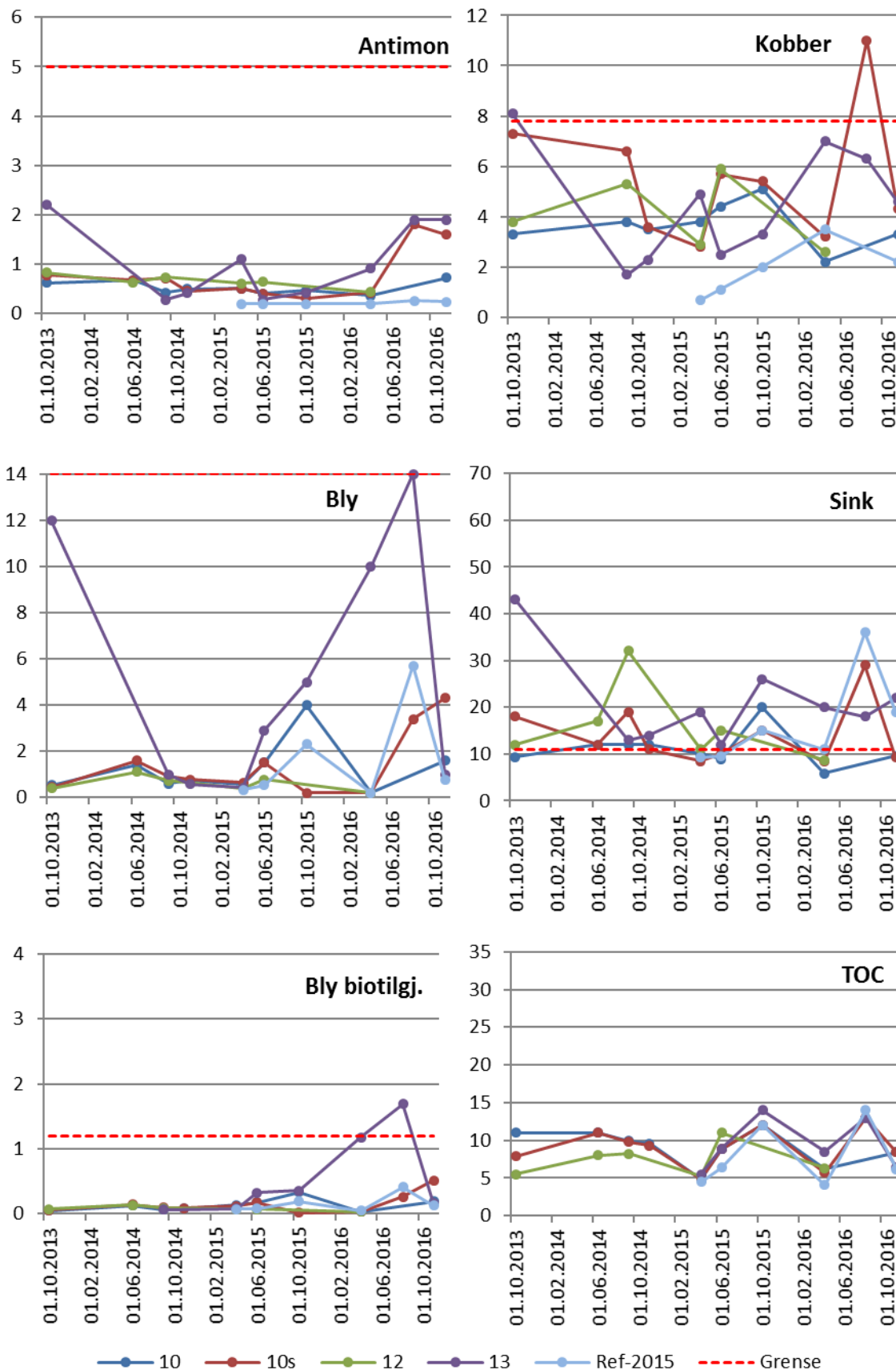


Figur 21. Fredrikstad skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016 (Gansrød og Pernes).



**Figur 22.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Gansrød, Fredrikstad. Grensene er definert i Tabell 1.





**Figur 23.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Penes, Fredrikstad. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.2.3 Børja

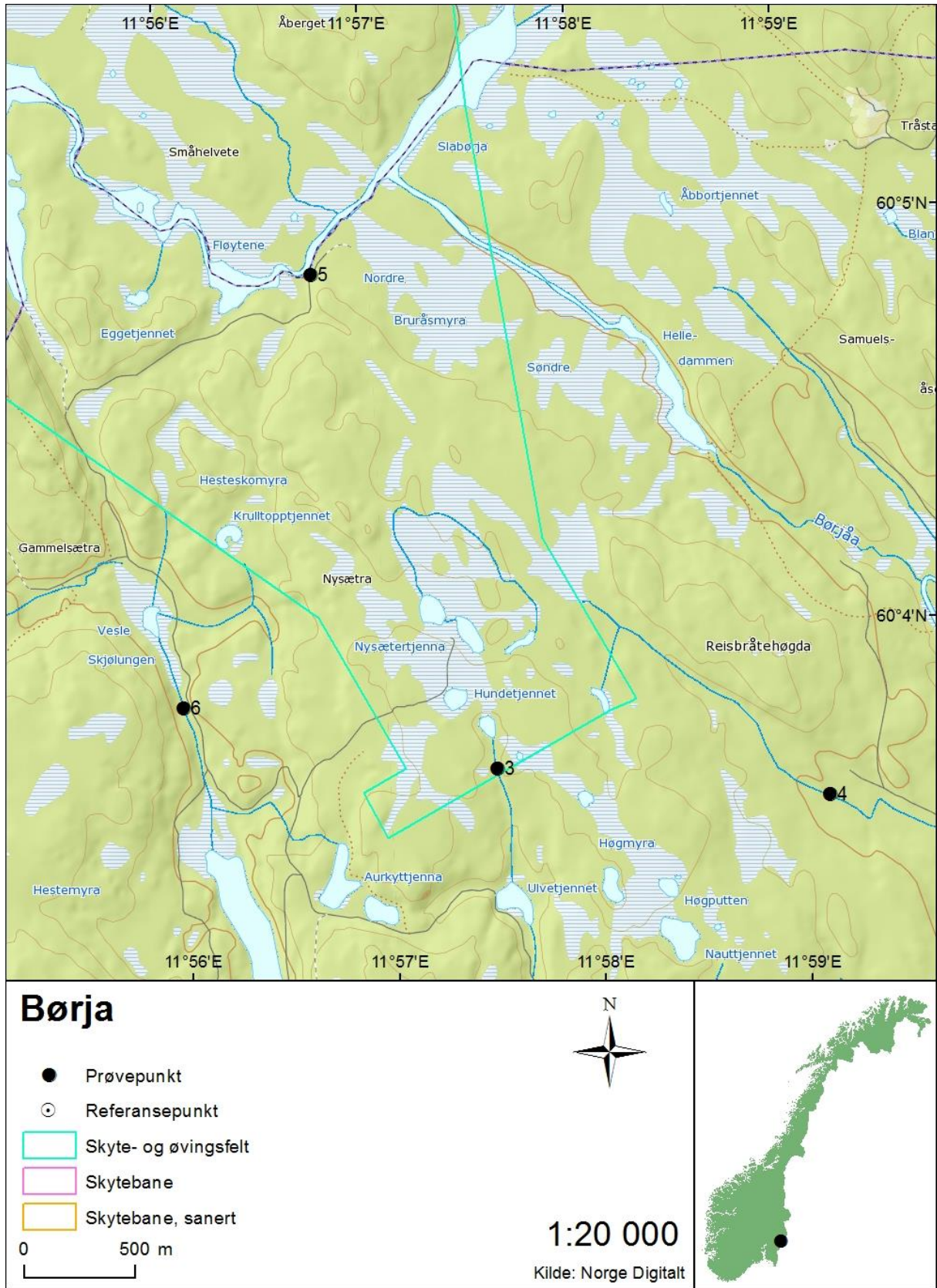
Børja SØF ligger i Eidskog kommune. Feltet ble etablert i 1958 og har vært brukt som luft-til-bakke mål fra fly, men kun med øvingsammunisjon. Målene har vært plassert i området rundt Nysættertjenna (**Figur 24**) Her har det også vært drevet nærøving med hånd- og avdelingsvåpen. I tillegg har feltet vært brukt til sprengningsøvelser og destruksjon av ammunisjon (Forsvarsbygg, 2005a). Det største og mest forurensede området drenerer til Østre Nysættertjenn og via en liten bekk videre til Vestre Nysættertjenn. Herfra er det ingen synlig overflateavrenning. Tidligere overvåking (Rognerud, 2005) og enkeltmålinger fra de to stasjonene som var med i tidligere overvåking (vedlegg C) viser at Nysættertjenna er forurenset med metaller. Noe forurensning kan også transporteres gjennom myr sørover (mot bekk med punkt 3) østover (mot bekk der punkt 4 er plassert) og vestover retning Vesle Sjølungen (Nordal, 2007b). Det har dessuten vært en demoleringsplass i nord som kan ha avrenning til Børjåa med punkt 5. Hensikten med overvåkingen ved Børja SØF i 2016 har vært å undersøke om grensene i Vannforskriften er overholdt i vannforekomster rundt de forurensede områdene. Prøvetakingspunktene (**Tabell 2**) ble valgt etter befaring av Forsvarsbygg og forfatteren 16.06.2016, og i samråd med Fylkesmannen i Hedmark. Hensikten med overvåkingen av Børja i 2016 var hovedsakelig å dokumentere nivåene i vannforekomstene (**Tabell 2**).

**Tabell 2.** Vannforekomster registrert i Vann-nett.

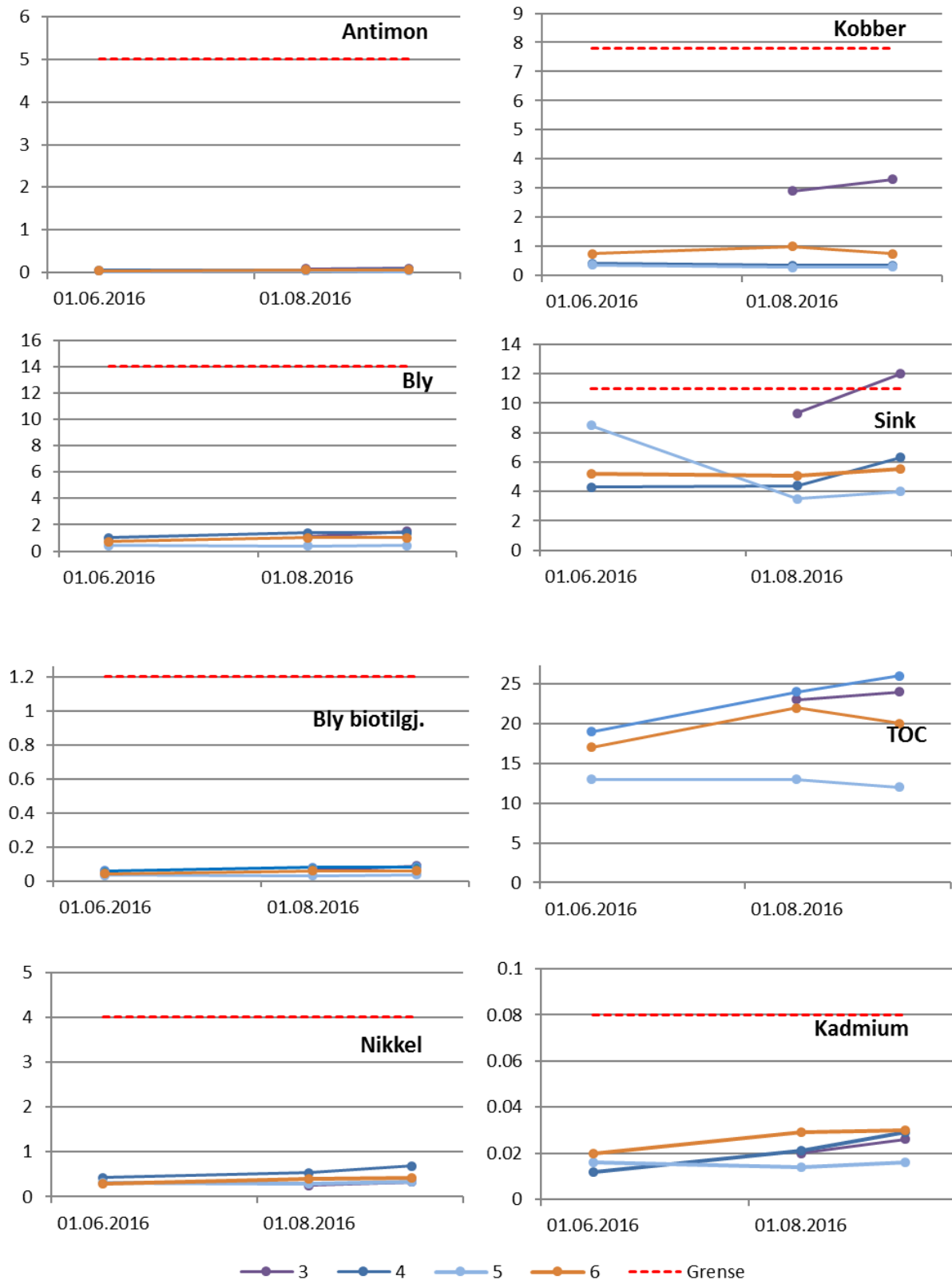
Punkt	Vannforekomst
3	Børjåa nedre del, bekkefelt (313-137-R)
4	Børjåa bekkefelt (313-127-R)
5	Børjåa (313-126-R)
6	Buåa øvre del (313-151-R)

Ved prøvetakingen i juni var det lav vannføring, og punkt 3 var tørrlagt. Under prøvetakingen i august og september var vannføringen noe høyere (høyest i september) pga. moderate mengder nedbør i dagene før prøvetaking. Vannet var svært kalkfattig (Ca 0,5-1,3 mg/l), surt (pH 4,3-5,6) og humøst (TOC 10-26 mg/l). Alle enkeltresultater er tabulert i vedlegg.

Prøvene fra punkt 3 hadde de høyeste antimon-, kobber- og sinknivåene (**Figur 25**). Bly- kadmium- og nikkelnivåene var relativt like ved punkt 3, 4 og 6, mens punkt 5 viste de laveste nivåene. Tungmetallkonsentrasjonene lå under grenseverdiene (med mulig unntak for bly siden ligning 1 ikke er validert for så bløtt og surt vann som man finner i Børja). Det er ikke åpenbart at blynivåene skyldes militær aktivitet siden verdiene ikke er vesentlig høyere enn det man har funnet i andre svært sure og brune vannforekomster (se f.eks. Lydersen et al., 2002). I 2017 vil overvåkingen av Børja bli utvidet med fem punkter, inkludert en antatt upåvirket referanse og de to forurensede Nysættertjenna. Punkt 3 vil bli erstattet av et nytt punkt nærmere Ulvetjennet.



Figur 24. Børja skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 25.** Konsentrasjon av tungmetaller (µg/l) i filtrerte (porestørrelse 0,45 µm) vannprøver, beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon (mg/l) ved Børja. Grensene for bly, kobber, sink og antimon er definert i Tabell 1. Grensene for nikkel og kadmium gjelder årsmidler.

### 3.2.4 Ørskogfjellet

Ørskogfjellet SØF ligger i Ørskog kommune i Møre og Romsdal og har vært brukt av Heimevernet siden 1950-tallet. Feltet bestod av totalt åtte baner, to av dem med standplass og skivebuer. De to nordvestligste banene som er indikert på kartet i **Figur 26** har aldri vært i bruk. På de andre banene har det vært skutt med håndvåpen og kanon av ymse kaliber. Bruken av feltet ble trappet ned på 1980-tallet og avsluttet i 1995. Området er myrlendt, og det har blitt gjort forsøk i feltet med tiltak for å hindre metallavrenning fra forurenset myr. Feltet har ikke blitt ryddet enda. Vannet i feltet renner retning nordvest, inn i bekken Kopen og videre ut i Svartløkelva, utløpselva fra Nysætervatnet (feltet og prøvepunktene er vist i **Figur 26**). Punkt P22 er plassert i bekken Kopen, men så høyt oppe at vannet kan antas å være lite påvirket av militær aktivitet. Punkt P3 er plassert i bekk som renner ut fra skytebane 1. Stasjon P7 mottar i tillegg avrenning fra skytebane 1 og 4. Punkt P21 er plassert i primærresipienten, bekken Kopen, og representerer samlet avrenning ut av feltet.

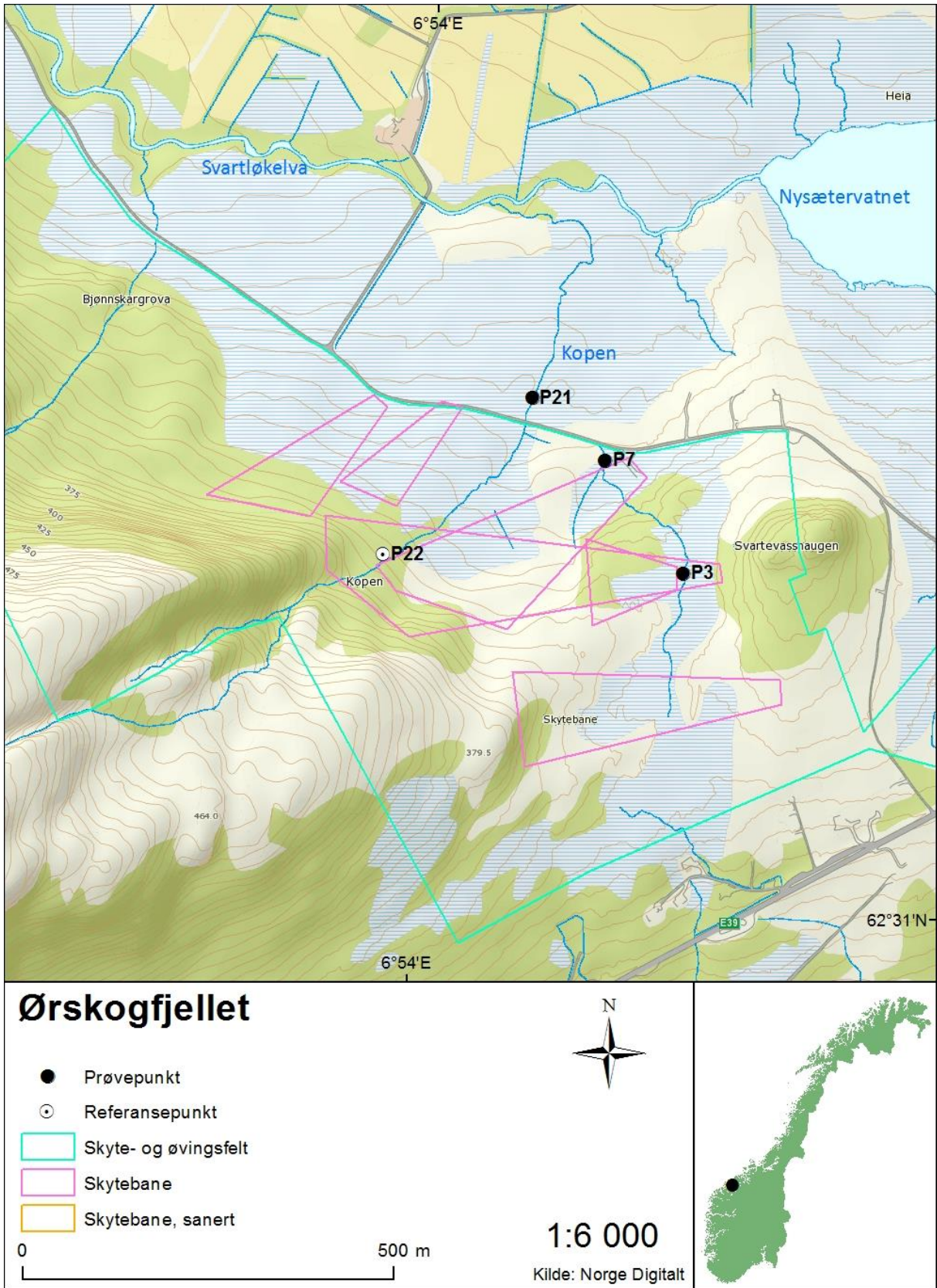
Ved prøvetakingen i april lå det fortsatt mye snø i feltet. Vannføringen var moderat pga. lav temperatur. Under julirunden ble vannføringen bedømt som normal for årstiden, mens det pga. lite nedbør var lav vannføring i oktober. Vannet var gjennomgående svært kalkfattig (kalsium < 1 mg/l), moderat surt (pH 5-6.5) mens humusinnholdet var varierende (TOC 2-20 mg/l). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A. Høstprøven fra P22 rant dessverre ut under transport til laboratoriet.

De høyeste tungmetallkonsentrasjonene ble påvist ved punkt P3 og noe lavere ved P7 (**Figur 27**). Ved P3 var nivåene av bly og kobber over grenseverdiene. Konsentrasjonene blir fortynnet lenger ned i nedbørfeltet. Ved punkt P21 er konsentrasjonene fortsatt forhøyet, men lavere enn grenseverdiene. Antimonnivået var lavt ved alle stasjonene, men tydelig høyere enn bakgrunn (stasjon P22). Konsentrasjonen av sink var lav ved alle punkter. Det er ingen klare trender i metallkonsentrasjoner for noen av punktene siden overvåkingen startet i 2010 (data fra 2010-2012 ikke vist). De siste to årene har sesongvariasjonen i konsentrasjonene av TOC og bly, som er nært korrelert, fulgt samme mønster med høyere verdier om sommeren enn høst og vår.

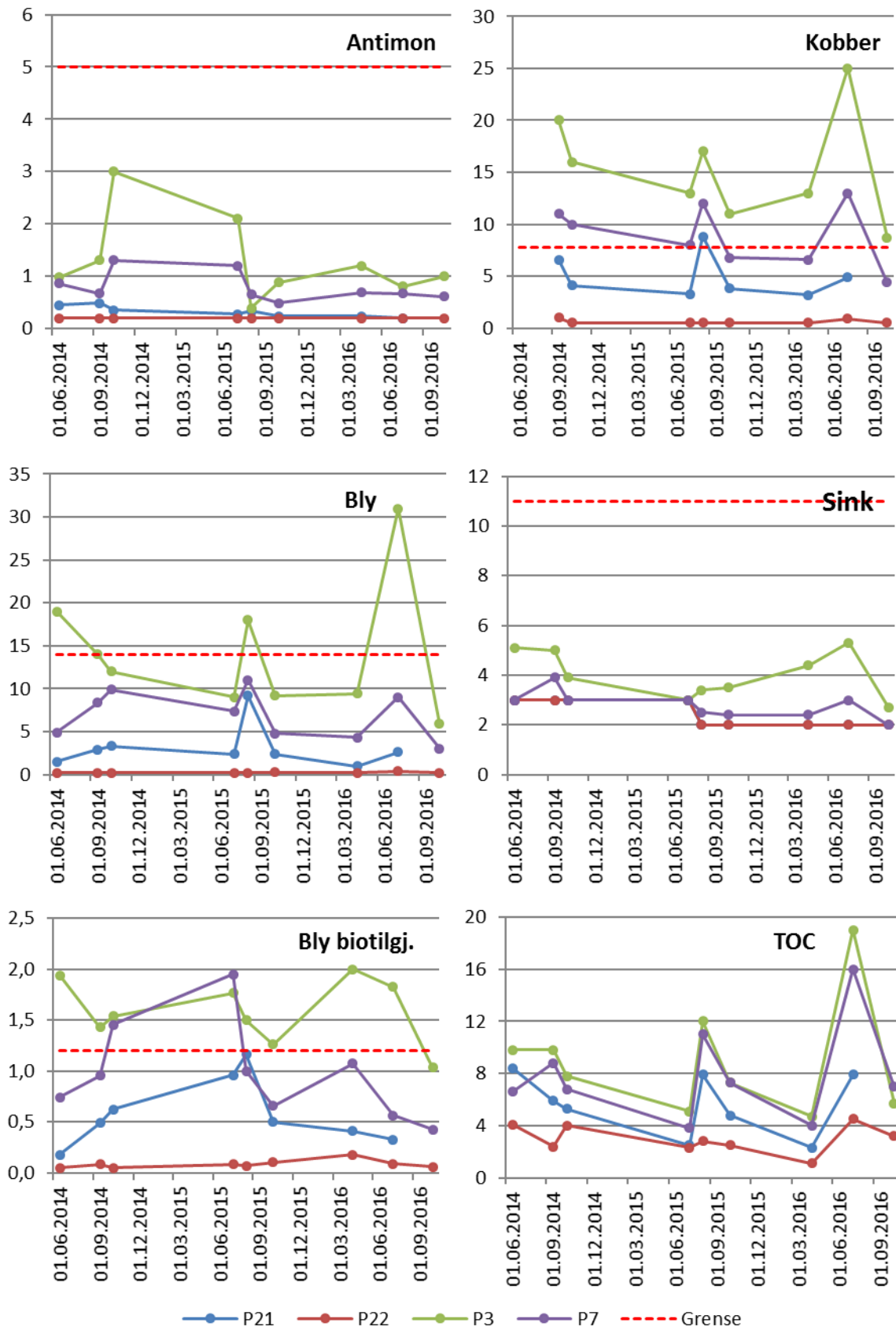
Ut av feltet (punkt P21) var konsentrasjonene av bly og kobber mange ganger høyere enn i referansen. Forhøyede nivåer av disse metallene samt antimon kan altså for en stor del tilskrives skyteaktivitet. Ved å multiplisere gjennomsnittskonsentrasjonene for 2016 (kun to prøver) med beregnet avrenning (65 l/sek/km<sup>2</sup>) og cirka størrelse på nedbørfeltet (0,56 km<sup>2</sup>) (Amundsen, 2012) blir beregnet massetransport 200 g antimon, 2 kg bly og 5 kg kobber.

Konsentrasjonene er høye sammenlignet med de fleste andre SØF i denne rapporten, men nivåene vil trolig ikke endre seg vesentlig før man eventuelt iverksetter tiltak. Videre overvåking kan derfor utsettes.





Figur 26. Ørskogfjellet skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 27.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Ørskogfjellet. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.2.5 Melbu/Haugtuva

Melbu/Haugtuva skytefelt ligger i Hadsel kommune i Nordland. Heimevernet har brukt feltet til skyting med håndvåpen fra 1950-tallet og fram til 2005 da forsvaret avsluttet sin aktivitet i området. To av de totalt 8 banene er fremdeles i bruk som sivile skytebaner. Et stort myrområde omgitt av slake åser med småvokst bjørkeskog ligger sentralt i feltet. Tiltak for å fjerne forurensede masser er planlagt, men ikke påbegynt. Feltet og prøvepunktene er vist i **Figur 28**. Vannet fra feltet renner sørover og samles i Melbuelva som renner ut i Hadsselfjorden ved Melbu. Punkt V32 er plassert i bekk med vann som antas å være upåvirket av militær aktivitet. Punkt V11 er plassert i bekk som mottar avrenning fra bane 8, 9 og 10. Bekken renner videre til punkt V29 hvor avrenning fra bane 3, 4, 5, 6 og 7 også har blitt blandet inn. Punkt V33 er plassert i bekk med avrenning fra bane 1 og 2. Punkt V28 er plassert i Melbuelva og representerer all avrenning ut av feltet. I 2015 ble i tillegg punktene V34 og V35 etablert, hvor sistnevnte er plassert omtrent på grensen til SØF. I tillegg ble det plassert ett punkt (V36) langt oppe i bekken (men nedstrøms stien) som renner inn i Melbuelva mellom V34 og V35.

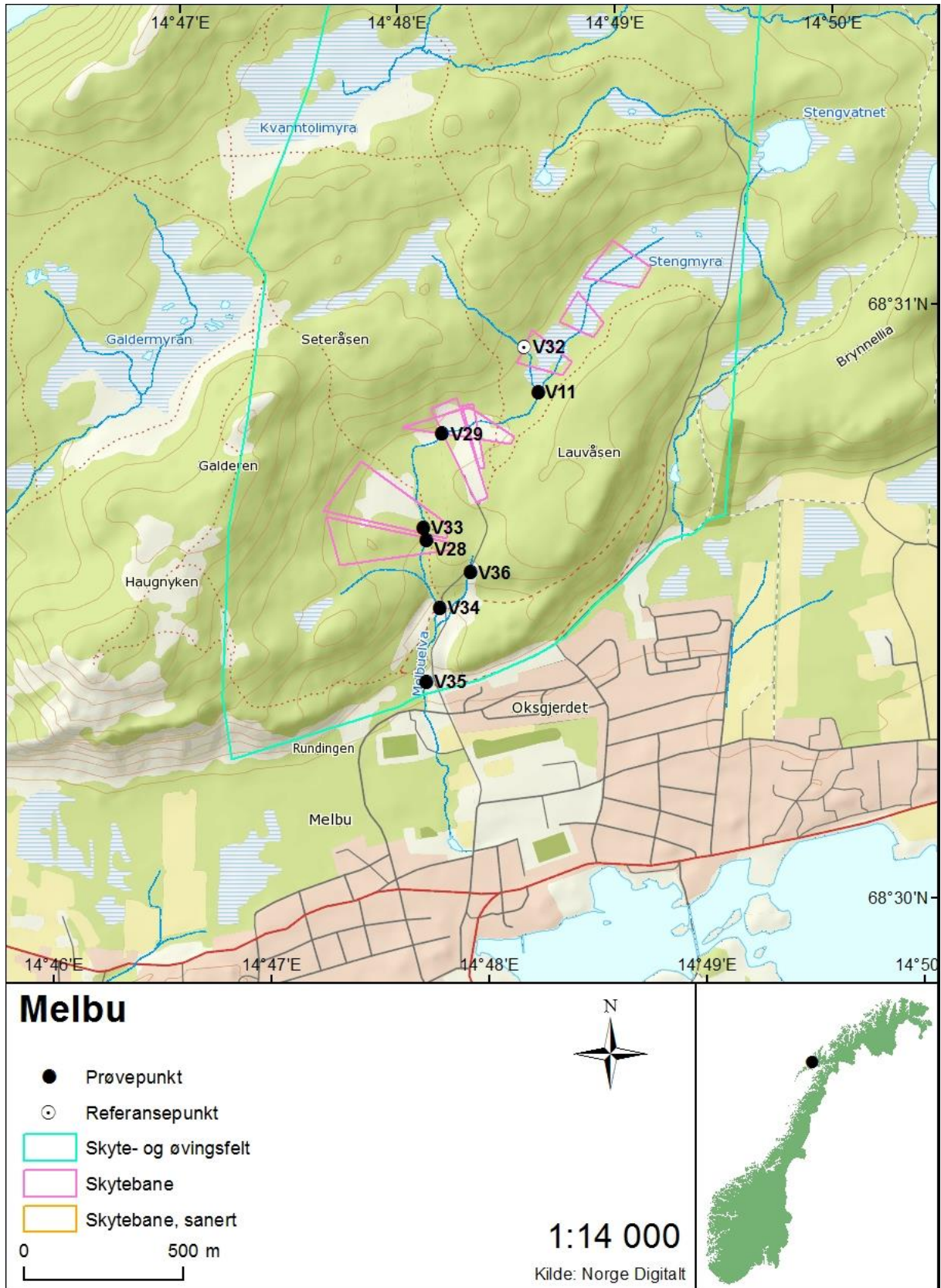
Prøvetakingsrundene ble gjennomført 29. mai, 14. juli og 23. september. Under vårrunden ble vannføringen bedømt som normal for årstiden. Snøsmeltingen var over. I august og september ble vannføringen også vurdert som normal. Vannet var kalkfattig (kalsium 1-4 mg/l), nesten nøytralt (pH 6,5-7) og klart (TOC 1-7 mg/l). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

Tungmetallkonsentrasjonene var lave og godt under grenseverdiene ved alle prøvetakingspunkter (**Figur 29**). Det er kun blynivåene ved antatt påvirkede stasjoner som gjennomgående er høyere enn kvantifiseringsgrenser og referansenivå. Det var små eller ingen forskjeller mellom blykonsentrasjonene ved V28 og punktene lenger ned (V34 og V35).

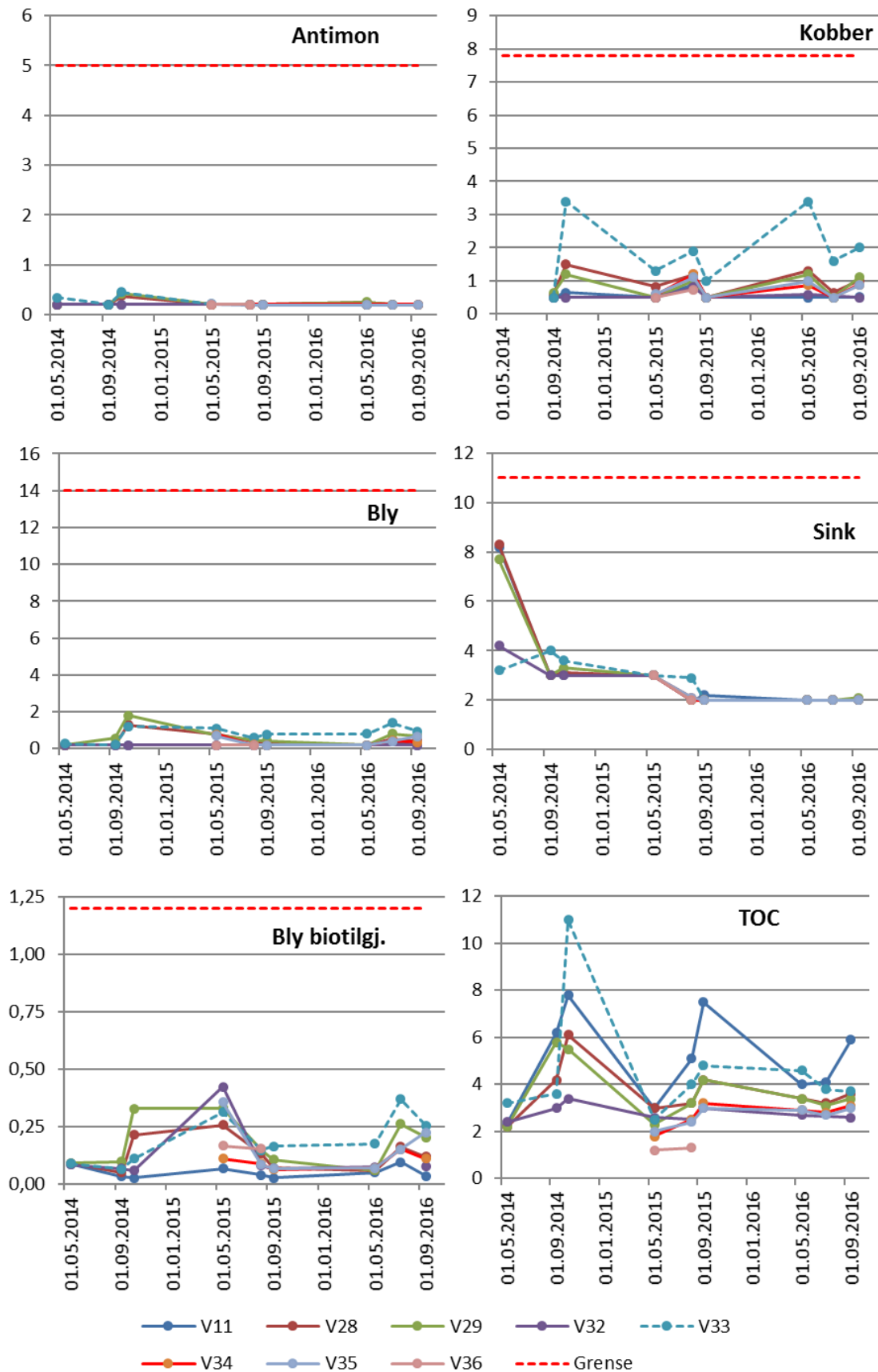
Antar man en gjennomsnittlig avrenning på 64,5 l/s (Amundsen, 2011) blir beregnet massetransport av bly ut av feltet ca. 0,9 kg/år. Av dette kan nok mesteparten tilskrives skyteaktivitet siden bly i referanseprøvene er lavere enn kvantifiseringsgrensen. Massetransporten av kobber, sink og antimon kan være hhv. 1,6 kg/år og mindre enn 5 og 0,4 kg/år.

Tungmetallkonsentrasjonene var lave også i 2010 (Amundsen, 2011) og 2011 (Amundsen, 2012). Det er ingen grunn til å tro at situasjonen vil endre seg før det eventuelt blir anleggsaktivitet i feltet. Videre undersøkelser kan utsettes til feltet skal ryddes.





Figur 28. Melbu/Haugtuva skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 29.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Melbu/Haugtuva. Grensene er definert i Tabell 1.



### 3.2.6 Skarsteindalen

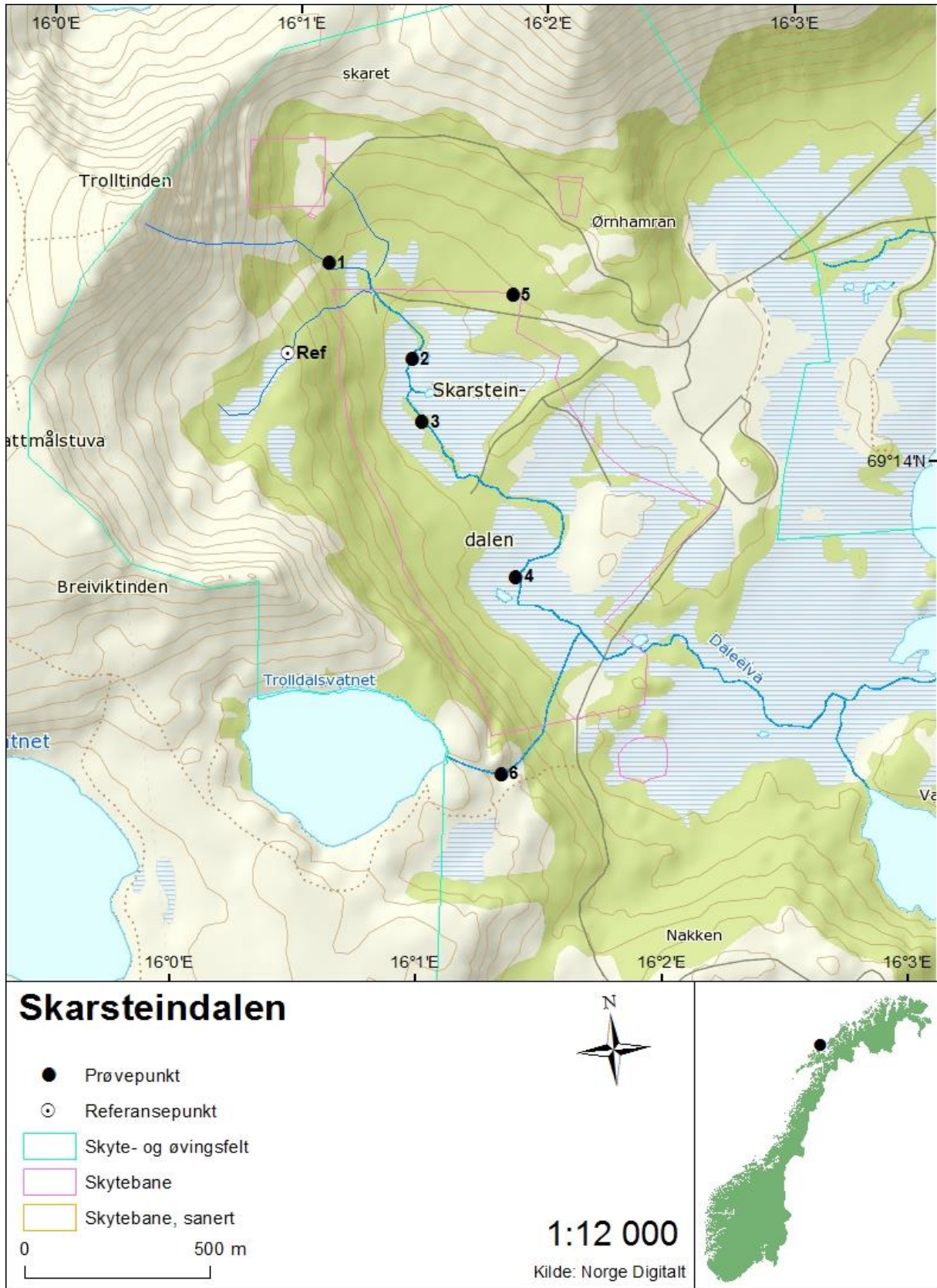
Skarsteindalen SØF ligger i Andøy kommune i Nordland. Det har blitt skutt med håndvåpen, panservernvåpen, 84 mm RFK og håndgranat i feltet. Mesteparten av skytingen har foregått i de myrlendte områdene i dalbunnen, men i dalsiden ved Trolltinden og Ørnhamran var det også baner for våpen som kan gi blindgjengere. Forsvaret trappet gradvis ned sin aktivitet fra 2003 og selve leiranlegget er nå solgt. Feltet er dominert av en myr som ligger omtrent 30 moh. Myren er i tre himmelretninger omgitt av relativt bratte fjell på 2-400 meters høyde. Vannet drenerer sør-østover via Daleelva til Storvatnet (**Figur 30**). Punkt 1 er plassert i en liten bekk som drenerer målområdet i dalsiden under Trolltinden. Punkt 5 er plassert i sig som drenerer målområdet under Ørnhamran. Punktene 2, 3 og 4 er plassert i Daleelva, mens punkt 6 er plassert i utløpsbekken til Trolldalsvatnet.

Prøvetakingsrundene ble gjennomført 30. mai, 15. juli og 24. september. Vannføringen ble bedømt som normal for årstiden ved alle tre anledninger. Vannets pH lå rundt 7,0 og var kalkfattig-moderat kalkrikt. Konsentrasjonen av TOC var rundt 3-6 mg/l bortsett fra ved punkt 6 hvor den var lavere (ca.1 mg/l). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

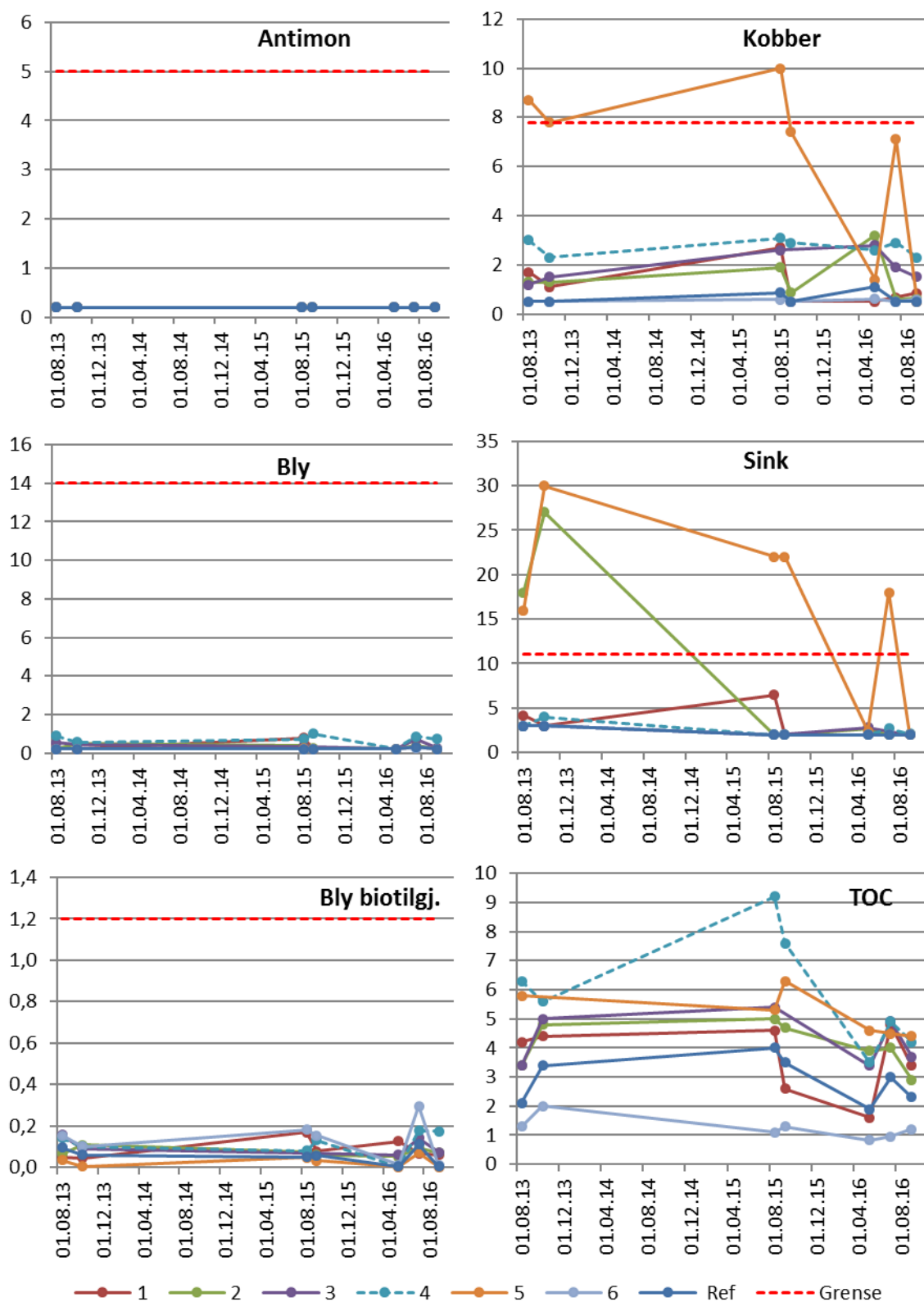
Konsentrasjonene av antimon var lavere enn kvantifiseringsgrensen ved alle stasjoner (**Figur 31**). Konsentrasjonene av bly var lave og godt under grenseverdiene. De høyeste blynivåene ble funnet ved punkt 4 som representerer samlet avrenning ut av dalen. Konsentrasjonen av kobber og sink ved punkt 5, som ligger i et sig hvor vannføringen vanligvis er svært liten, var høy. Bly- og antimonnivået har derimot ligget under kvantifiseringsgrensen. Det er derfor usikkert om de høye verdiene skyldes prosjektiler. En mulig forklaring er at metallene kommer fra korrosjon av tomhylser. Ved punkt 6 er tungmetallnivåene rundt kvantifiseringsgrensen eller lavere.

Med utgangspunkt i beregnet middelvannføring på 69 l/s (Gjemlestad og Haaland, 2014) og målte konsentrasjoner ved punkt 4, så blir beregnet massetransport av hhv. bly og kobber ut av feltet ca. 2,3 og 5,7 kg/år (ikke korrigert for bakgrunn siden denne var lavere enn kvantifiseringsgrensen).

Tungmetallkonsentrasjonene i avrenningen har vært lav i de tre årene feltet har blitt overvåket. Videre overvåking kan vente til oppryddingstiltak har blitt gjennomført.



Figur 30. Skarsteindalen skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 31.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller ( $\mu\text{g/l}$ ), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon ( $\text{mg/l}$ ) ved Skarsteindalen. Grensene er definert i Tabell 1.

### 3.2.7 Kjoselvdalen

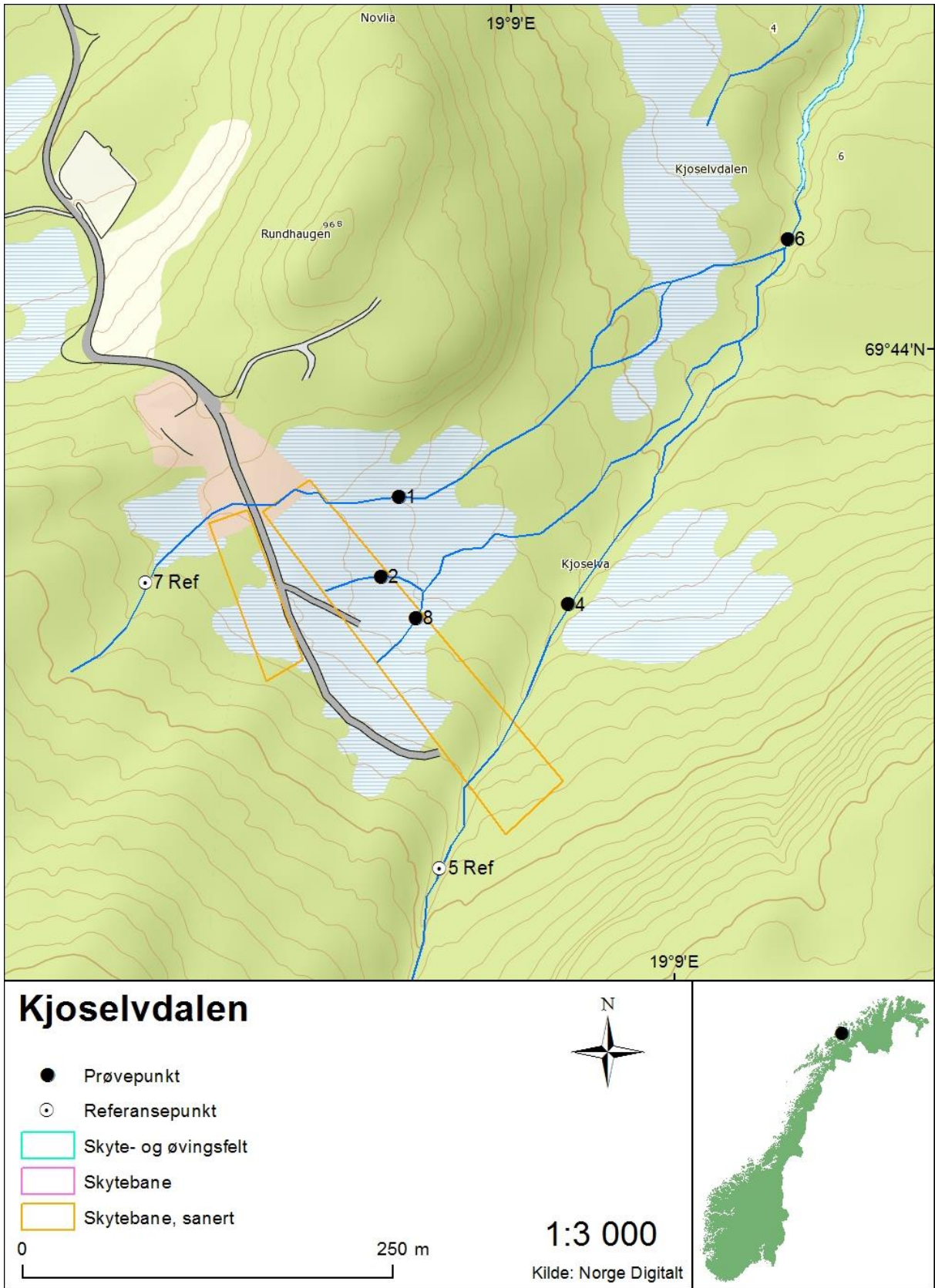
Kjoselvdal skytebane ligger på Tønsnes i Tromsø kommune. Den har tidligere vært tilknyttet Grøtsund Fort og Olavsvern. En 200-metersbane har vært brukt som gevær- og feltskytebanen siden 50-60-tallet. Det har vært øvd med håndvåpen, røykgranater og pyroteknisk ammunisjon (Forsvarsbygg, 2011). Det er også en 100-meters geværskytebane like ved som eies og drives av et skytterlag. I tillegg var det tidligere frittstående stålmål i terrenget bak 200-meters målområdet, men disse har blitt fjernet. Det har vært gjennomført en miljøteknisk grunnundersøkelse, og den viser at banen stedvis er svært forurensset av skyteaktiviteten (COWI, 2012). Oppryddingstiltak planlegges gjennomført i 2018. Skytebanene ligger i myrlendt terreng med torvmose, lyng, vierkratt og dvergbjørk. Kjoselva og tre små bekker renner gjennom baneområdet i retning nordøst (**Figur 32**). Bekkene renner etter hvert inn i Kjoselva som fortsetter ut i sjøen ved Tønsvika. Prøvepunktene ble valgt ut i samråd med Forsvarsbygg. Punktene 1 og 7 Ref ble plassert i bekk som renner gjennom standplassområdet. Punkt 2 og 3 ble plassert omtrent ved skytebanegrensen i bekk/sig som renner gjennom skytebanen. Bekken/siget med punkt 2 dreide sørover og fortsatte ikke nordøst som indikert i undersøkelsene referert til ovenfor. Tre punkter ble plassert i Kjoselva, nærmere bestemt oppstrøms målområdet (5 Ref), rett nedstrøms målområdet (4) og etter samløp med bekkene som renner gjennom baneområdet (6). Kjoselva er drikkevannskilde. Inntaket ligger i en kum ca. 200 meter nedstrøms skytebanen og blir prøvetatt jevnlig.

Prøvetakingsrundene ble gjennomført 30. mai, 20. juli og 28. september. Ved de to første rundene ble vannføringen vurdert som normal for årstiden (ingen snøsmelting), mens vannføringen i september var relativt lav. Vannet er kalkrikt etter norske forhold, med kalsium rundt 20 mg/l og pH ca 8,0. Unntak er punktene 3 og 8 som hadde noe lavere kalsium og pH. Prøvene fra punktene i myrområdet (1, 2 og 8) hadde moderate TOC-nivåer (ca 4 mg/l), mens punkt 7 Ref og Kjoselva hadde lave konsentrasjoner (2-3 mg/l). Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg B. Prøvene ble filtrert før analyse.

Analysene av tungmetaller viser relativt høye tungmetallkonsentrasjoner i prøvene fra punkt 2 og 8 (**Figur 33**). Det viser at det skjer noe utlekking fra målområdet ved 100 meter. Konsentrasjonene i bekken som renner gjennom standplassområdet var lave, men systematisk høyere ved punkt 1 (nedstrøms standplass) enn ved punkt 7 Ref (oppstrøms standplass). Konsentrasjonene var lave i Kjoselva og langt under grenseverdiene. Konsentrasjonen av antimon, kobber og sink øker imidlertid nedover elva (5 Ref < 4 < 6) noe som viser at forurensning som skyldes forvitring av prosjektiler, kan detekteres. Det er mulig at samme trend gjelder for bly men kvantifiseringsgrensen i analysene er for høy til at det kan dokumenteres. Gjennomsnittlig avrenning (1961-1990) er ifølge NVE 35,29 l/s/km<sup>2</sup>. Arealet av nedbørfeltet oppstrøms punkt 6 er ca. 2 km<sup>2</sup>. Beregnet massetransport som kan tilskrives skyteaktivitet blir da <0,3 kg antimon per år, 0,6 kg kobber og 0,7 kg sink. Bly var lavere enn kvantifiseringsgrensen (0,01 µg/l) i to av tre prøver. Beregnet årlig blytransport blir da i størrelsesorden 20 g.

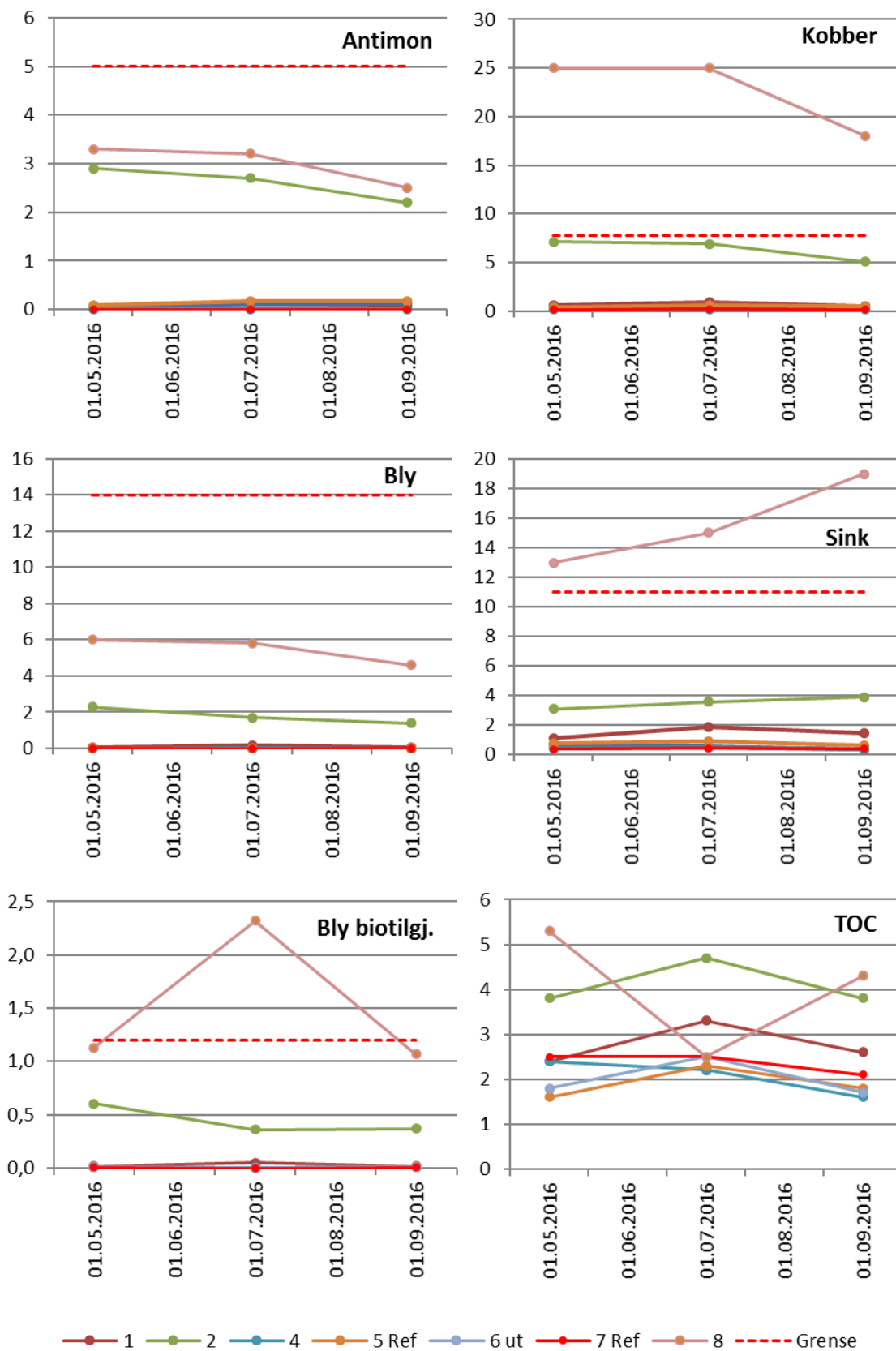
Det anbefales å fortsette overvåkingen til neste år for å styrke datagrunnlaget. Da bør man hvis mulig ta prøve under episoder med høy vannføring.





Figur 32. Kjoselvdal skytebane med punkter prøvetatt i 2016.





**Figur 33.** Konsentrasjon av tungmetaller (µg/l) i filtrerte prøver, beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon (mg/l) ved Kjoselvdal skytebane. Grensene er definert i Tabell 1.

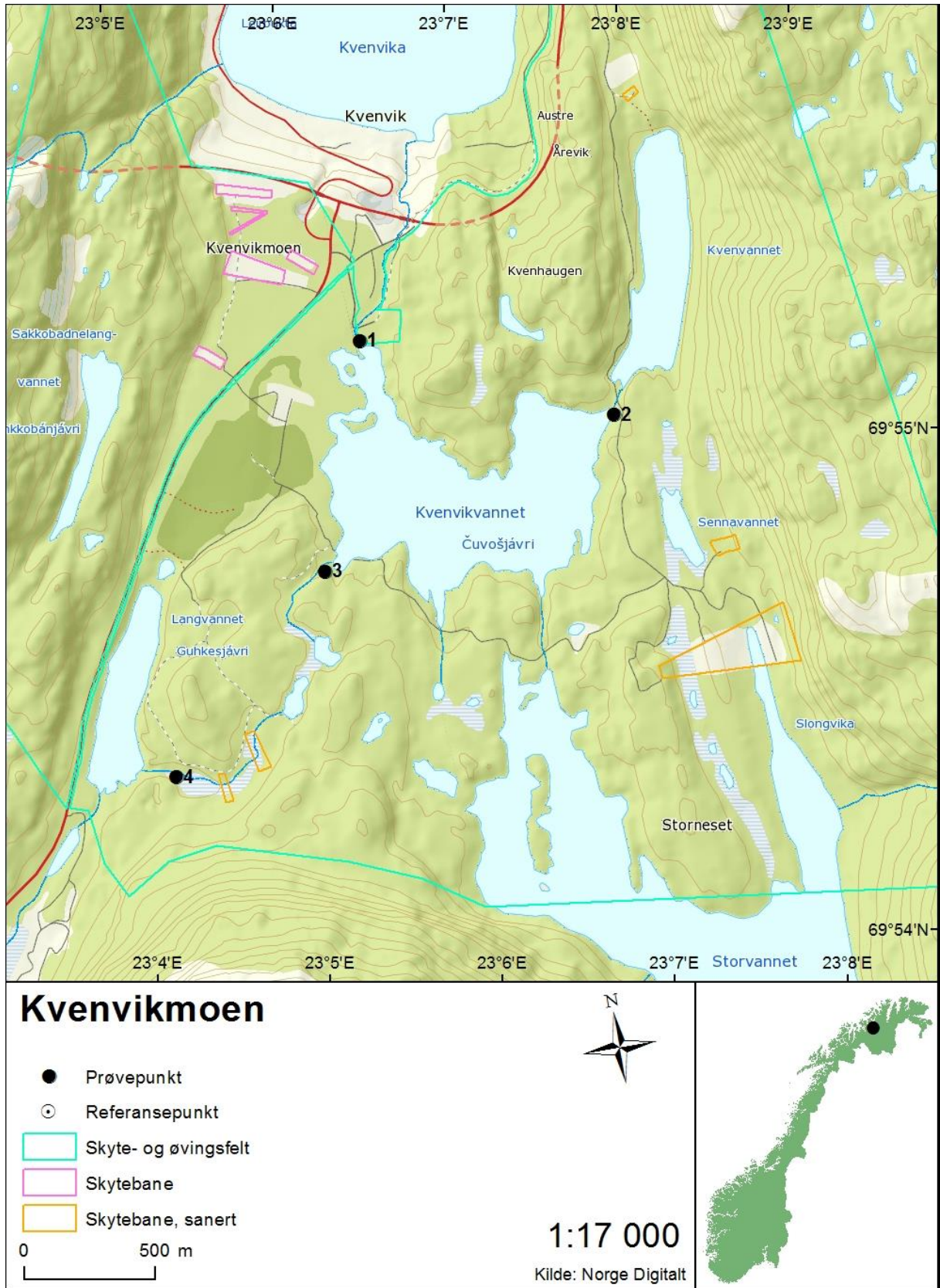
### 3.2.8 Kvenvikmoen

Kvenvikmoen i Alta kommune var opprinnelig et ammunisjonsdepot for tyskerne under andre verdenskrig, og ble siden bygget ut til SØF. Det har vært øvd med håndvåpen, håndgranater, panservernvåpen og eksplosiver for sprengning. Det er også flere aktive sivile skytebaner i området. Hovedsaneringen av SØF planlegges gjennomført i 2017, men søk med skytefelthund etter blindgjengere ble gjennomført alt i 2015. Feltet er småkupert. Området har flere innsjøer og preges av furuskog og noe bjørk. Langvannet og de to skytebanene øst for Langvannet drenerer sørvestover til Mattiselva. De andre innsjøene (og skytebanene) drenerer nordover til Kvenikelva og Kvenvika (**Figur 34**). Prøvetakingspunktene er identisk med dem som ble brukt i vannmoseovervåkingen i perioden 1998-2003 (Rognerud, 2005). Punkt 4 er plassert i en liten bekk som drenerer myr med to skytebaner. Punkt 2 er plassert i bekken som renner fra Kvenvannet (med tidligere skytebane i nord) til Kvenvikvannet. Punkt 3 tar en sørvestlig innløpsbekk til Kvenvikvannet, mens punkt 1 er plassert i utløpet.

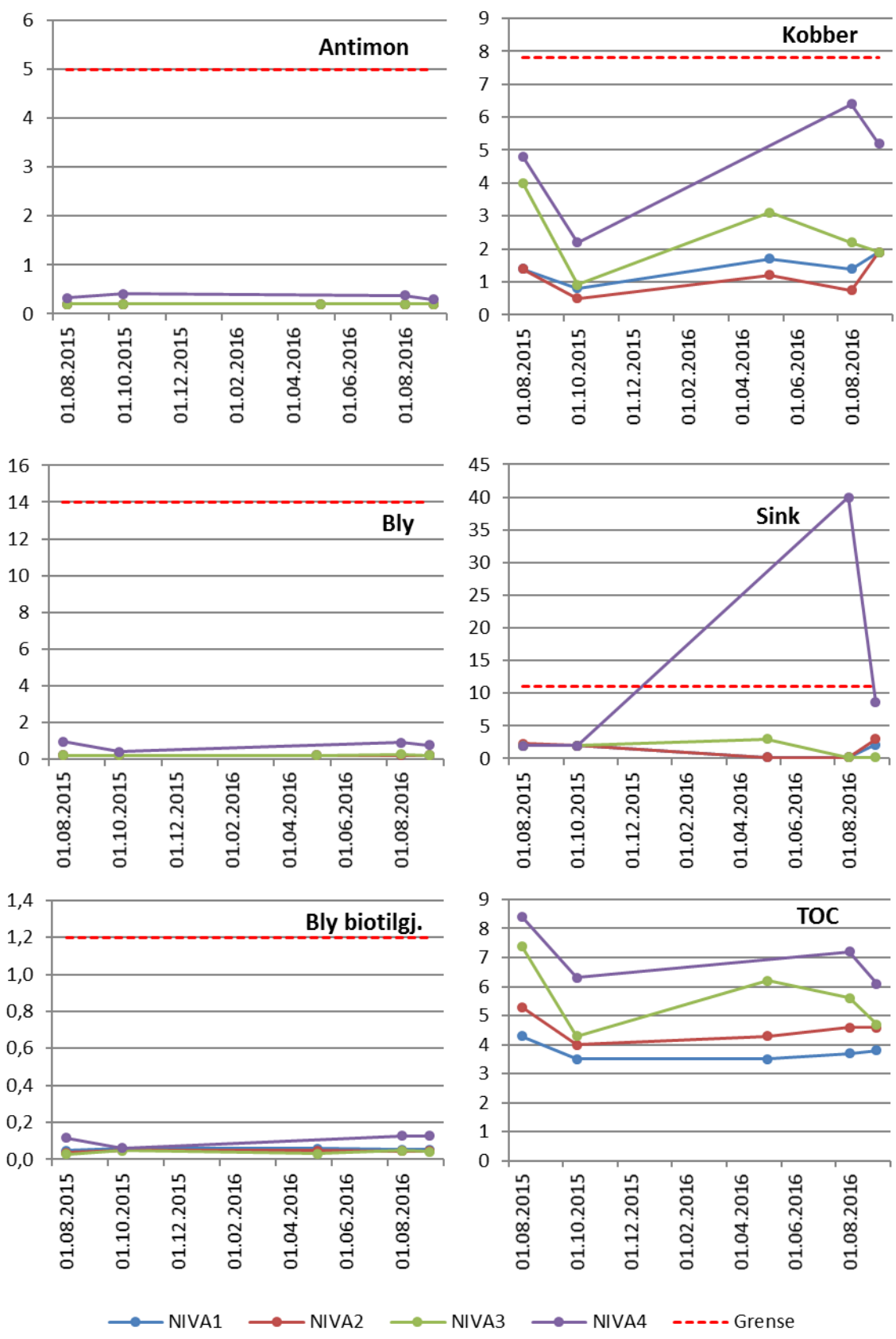
Prøvetakingsrundene i 2016 ble gjennomført 23. mai, 2. august og 26. september. Vannføringen ble bedømt som normal i mai (noe snøsmelting på fjellet) og august, og lav i september. Vannet var moderat kalkrikt, med kalsium mellom 5 og 10 mg/l og pH rundt 7,0. Konsentrasjonen av TOC var 4-8 mg/l. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg A.

Antimon og bly ble kun påvist ved punkt 4 og da i lave konsentrasjoner (**Figur 35**). De lave nivåene er i overensstemmelse med resultatene fra undersøkelsene i perioden 1998-2002. Konsentrasjonen av sink var også lav eller under kvantifiseringsgrensen ved alle stasjoner unntatt punkt 4 der verdien fra august var høy. Også i september var sinknivået noe forhøyet ved punkt 4 uten at det er klart hva som er årsaken (dessverre ingen data for maiprøven). Vannet fra alle fire prøvetakingspunkter inneholdt noe kobber som kan ha naturlige kilder siden berggrunnen i området inneholder kobber (i Kåfjord like ved ble det også utvunnet kobber i mange år). Tungmetalltransport som følge av forvitring av prosjektiler i feltet, er lav. Ved punkt 4 blir estimatet ca. 0,1 kg antimon og 0,3 kg bly.

Det foreligger data fra 2015 og 2016 i tillegg til data fra 1998-2003 (Rognerud, 2005). Videre overvåking kan utsettes til eventuelle tiltak skal gjennomføres.



Figur 34. Kvenvikmoen skyte- og øvingsfelt med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 35.** Totalkonsentrasjon av tungmetaller (µg/l), beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon (mg/l) ved Kvenvikmoen. Grensene er definert i Tabell 1.

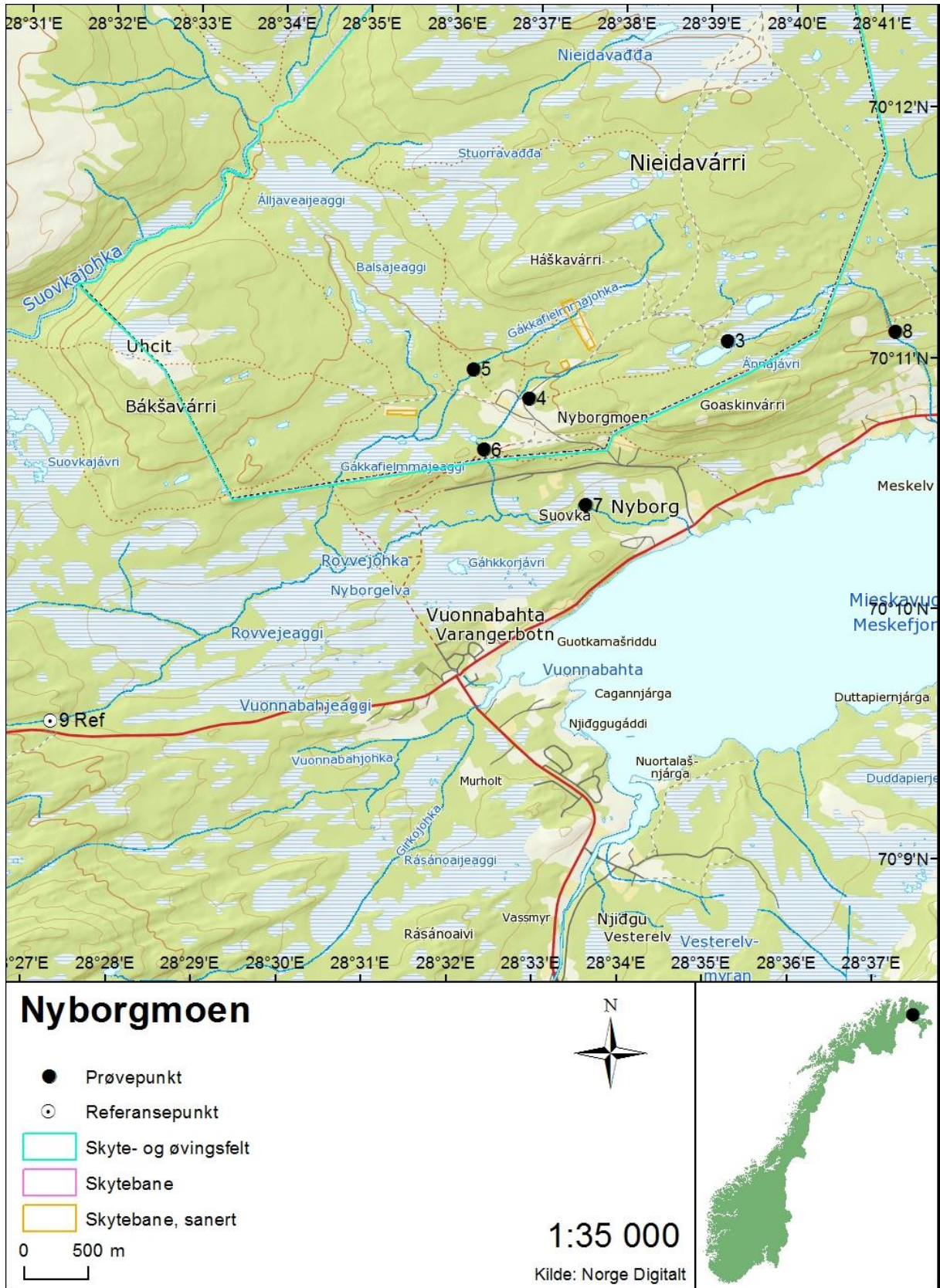
### 3.2.9 Nyborgmoen

Nyborgmoen SØF i Nesseby kommune har vært i bruk siden slutten av 1800-tallet. I feltet har det sannsynligvis vært øvd med de fleste våpentyper infanteriet har vært oppsatt med inkludert håndvåpen, 84 mm kanon, antitankvåpen og bombekaster. Feltet er stort (21 000 daa), og landskapet preget av småvokst bjørkeskog og myr. Prøvetakingspunktene ble valgt ut basert på en tilstandsvurdering i forbindelse med utrangering (Forsvarsbygg, 2005b) og befaring i mai 2016 (forfatteren). To bekker drenerer sørvestover gjennom et område med skytebaner og deponi (**Figur 36**). I disse bekkene ble punktene 4, 5 og 6 (nedstrøms deponitjern) plassert. I tillegg ble punkt 7 og et referansepunkt (9 Ref) plassert i Nyborgelva hhv. nedstrøms og oppstrøms samløp med nevnte to bekker. Punktene 3 og 8 plassert i et vassdrag som renner øst og sørover og drenerer en skytebane (bane 8) og en M72-bane (Forsvarsbygg, 2005b). Lenger opp i feltet finnes det håndgranatbane og antatt målområde for bombekaster, men pga. lang adkomst, mangel på overflateavrenning og antatt liten fare for forurensning ble det ikke plassert punkter i tilknytning til disse.

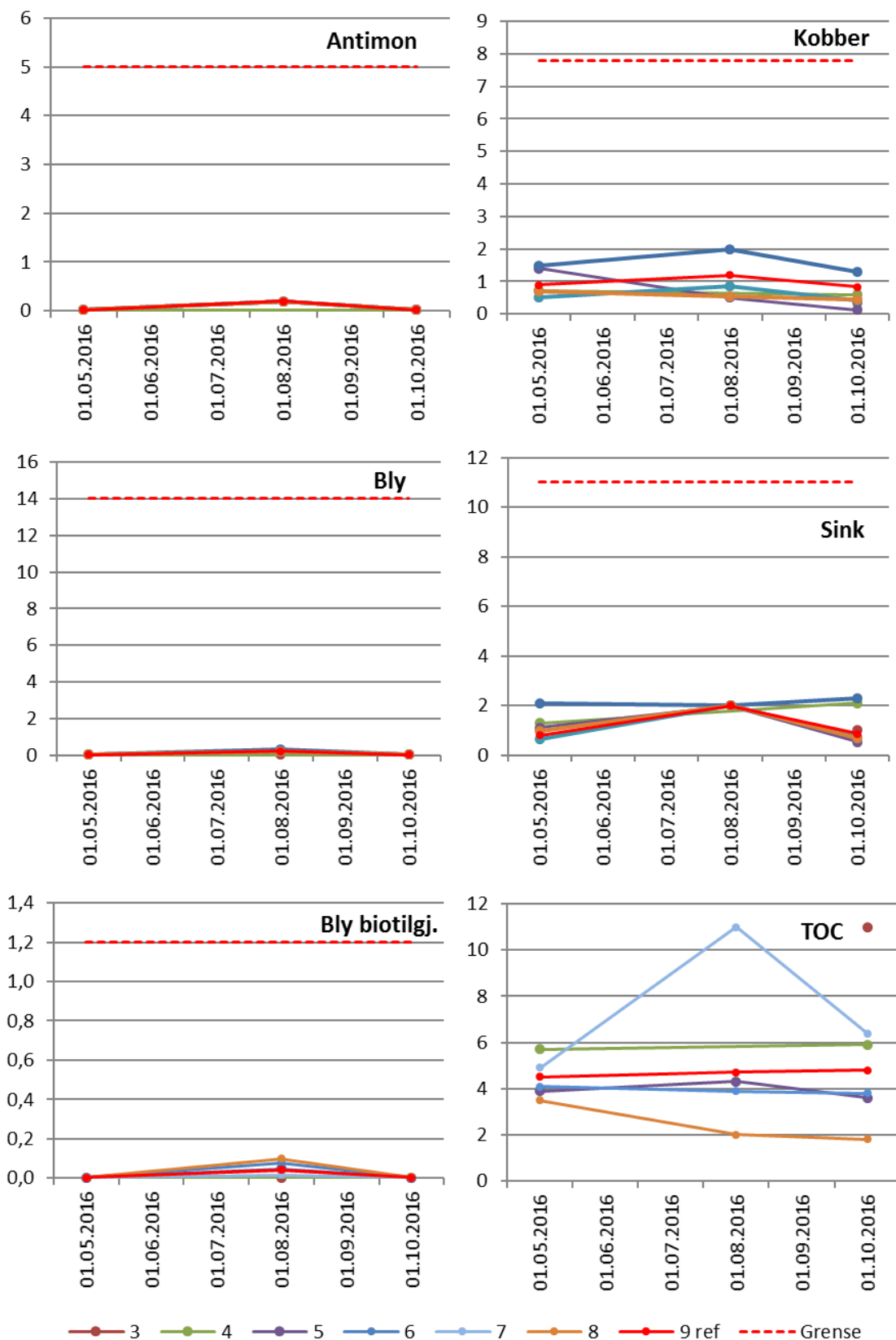
Prøvetakingsrundene i 2016 ble gjennomført 31. mai, 25. august og 11. oktober. Alle tre gangene ble vannføringen bedømt som normal for årstiden. Vannet var moderat kalkrikt, med kalsium mellom 5 og 18 mg/l og pH i overkant av 7,0. Konsentrasjonen av TOC var i de fleste tilfeller mellom 2-6 mg/l. Alle enkeltresultater fra 2016 er tabulert i Vedlegg B. Filtrede prøver?

Tungmetallkonsentrasjonene var lave i alle prøvene noe som indikerer liten utlekking av metaller (**Figur 37**). Konsentrasjonene (filtrede prøver) i prøvene tatt internt i feltet var ikke høyere enn i prøvene fra referansen (9 Ref). Nivåene var langt under grenseverdiene. Overvåkingen bør videreføres neste år for å øke datagrunnlaget.





Figur 36. Nyborgmoen skyte- og øvingsfelt (sørvestre del) med punkter prøvetatt i 2016.



**Figur 37.** Konsentrasjon av tungmetaller (µg/l) i filtrerte prøver, beregnet biotilgjengelig konsentrasjon av bly, samt totalkonsentrasjon av organisk karbon (mg/l) ved Nyborgmoen. Grensene er definert i Tabell 1.

## 4 Diskusjon

Overvåkingen i 2016 har bestått av to-tre runder med innhenting av vannprøver for bestemmelse av pH, TOC, turbiditet, kalsium og tungmetaller. Det er tungmetallkonsentrasjonene i rennende vann, og hvordan disse har blitt påvirket av militær aktivitet i nedbørfeltet, som er vektlagt i overvåkingen. Høye konsentrasjoner i eller ut av SØF sammenlignet med ved referansepunkter indikerer forurensningsgrad, hvor raskt prosjektilene korroderer, samt mobiliteten til tungmetallene i nedbørfeltet. Forholdet styres av en rekke faktorer: mengden av prosjektiler som er deponert, prosjektilenes størrelse og sammensetning, nedbørmengder, hvilke veier vannet tar gjennom jordsmonnet, samt egenskaper ved jordsmonnet og den vandige løsningen (Clausen et al., 2011; Knechtenhofer et al., 2003; Langmuir, 1997). Små prosjektilfragmenter, surt vann og mye løst organisk karbon kan gi høye konsentrasjoner av kobber, bly og sink i vannet. Det samme kan skje når det er mye suspenderte partikler i vannet, f.eks. som følge av høy vannføring eller gravearbeid i nedbørfeltet. Antimon kan oppføre seg annerledes fordi det i motsetning til kobber, sink og bly går i løsning som anion (Ackermann et al., 2009; Heier et al., 2004). Flere studier bl.a. i Norge har vist at episoder med høy vannføring kan medføre økte tungmetallkonsentrasjoner (Heier et al., 2009, 2010; Strømseng et al., 2009).

Det er altså mange forhold som kan påvirke avrenningen av tungmetaller fra de ulike SØFene. To fellestrekk ved feltene med høye konsentrasjoner i avrenningen (Avgrunnsdalen, Banemyra, Ørskogfjellet, Nesje, Gimlemoen) var relativt lav pH og høy TOC. En forklaring på dette er at lav pH og høy TOC øker korrosjonsraten til prosjektilene og mobiliteten til bly, kobber og sink.

Det ble gjort forsøk på å beregne årlig massetransport ut av feltene. I praksis har denne øvelsen bestått i å multiplisere gjennomsnittlig årsavrenning med omtrentlig størrelse på nedbørfelt og målte konsentrasjoner i tre enkeltprøver korrigert for bakgrunnskonsentrasjon. Det må bemerkes at massetransporten trolig er underestimert fordi de tre årlige prøvetakingsrundene har lav sannsynlighet for å sammenfalle med episodene med høyest vannføring. Verdiene skal derfor bare brukes til å gi en pekepinn på hvor store utslippene er, og til intern rangering av feltene. Beregnet totalutslipp av kobber fra alle SØF som ble undersøkt i 2016 var cirka 39 kg. Dette er en relativt liten mengde. Til sammenligning fører Raubekken, som er påvirket av gruveavrenning fra Løkken, årlig 10-30 tonn kobber ut i Orkla (Iversen, 2009). Beregnet utslipp av bly er av større interesse i så måte. Det største utslippet av bly (11 kg) ble beregnet for Gimlemoen, som forøvrig er samme estimat som for 2015 da det ble gjennomført tiltak og var langt hyppigere prøvetaking. Avgrunnsdalen (5 kg) og Gurulia/Bue-Nebb (5 kg) hadde nest høyest beregnet utslipp av bly. Samlet beregnet utslipp fra de 16 feltene var 31 kg bly. Til sammenligning har årlig norsk utslipp av bly til ferskvann fra industri og kloakk blitt estimert til rundt 500 kg (Berg et al., 2003). Skytebaner er dermed en betydelig kilde til bly når man sammenligner med annen menneskeskapt blyforurensning av vann.

I feltene som er beskrevet i kapittel 3.1 har de de mest forurensede massene blitt fjernet/erstattet, og det har blitt gjennomført ulike tiltak for å begrense utlekking av metaller. Ved Tittelsnes reduserte tiltakene raskt konsentrasjonen av metaller i avrenningen. Også ved Nesje og Gurulia/Bue-Nebb er det indikasjoner på synkende tungmetallnivåer. Ingen av sedimentasjonsbassengene hadde vesentlig innvirkning på metallkonsentrasjonene slik forholdene var ved prøvetakingsrundene i 2016. Bly er lite løselig, og det er ikke bare totalmengden av bly i feltet som er bestemmende for utlekkingen, men også spredningen og de fysiske kjemiske forholdene (se over). Dersom utlekkingen skal reduseres betydelig må trolig mer omfattende tiltak til, som f.eks. fjerne og erstatte også mindre forurensede masser, behandle jordsmonnet for å redusere mobiliteten, eller aktiv behandling av vannet. Negative effekter av forhøyede metallkonsentrasjoner i resipientene må ses i forhold til negative konsekvenser av omfattende inngrep i terrenget.

## 5 Konklusjon

- På Tittelsnes, Nesje, Steinkjersannan og i Avgrunnsdalen har feltene blitt ryddet, og det foreligger tre-fire år med overvåkingsdata siden tiltakene ble avsluttet. Resultatene fra Tittelsnes og Nesje indikerer at utlekkingen av tungmetaller er fallende, mens det ikke var noen trend i resultatene fra Steinkjersannan og Avgrunnsdalen. Tungmetallnivåene var etter forholdene lave med unntak av i Avgrunnsdalen, der miljøkvalitetsstandarder var overskredet. Det er ingen tegn til at situasjonen ved Avgrunnsdalen vil endre seg på kort sikt, men det kan være hensiktsmessig å følge opp utviklingen.
- På Gimlemoen, Banemyra, i Fredrikstad og Marka er det gjennomført tiltak i løpet av de siste to årene, og det anbefales å fortsette overvåkingen. I Gurulia/Bue Nebb har tungmetallnivåene vært relativt høye, men ser ut til å være nedadgående. Det er dessuten planlagt gjennomført tiltak i myrområdet i Gurulia, og overvåkingen bør fortsette.
- Ved Ørskogfjellet, Melbu, Skarsteindalen og Kvenvikmoen har det ikke blitt gjennomført tiltak for å redusere tungmetallnivåer i avrenning. Nivåene ved de tre sistnevnte SØFene er lave. Det foreligger tilstrekkelig med data til å dokumentere situasjonen før eventuelle tiltak og videre overvåking kan utsettes til tiltaksperioden.
- Ved Kjoselvdalen, Nyborgmoen og Børja bør overvåkingen fortsette for å styrke datagrunnlaget.

## 6 Litteratur

- Ackermann, S., Gieré, R., Newville, M., Majzlan, J., 2009. Antimony sinks in the weathering crust of bullets from Swiss shooting ranges. *Sci. Total Environ.* 407, 1669–1682.  
doi:10.1016/j.scitotenv.2008.10.059
- Amundsen, C.E., 2012. Vannovervåking ved nedlagte skyte- og øvingsfelt 2011 (Forsvarsbygg rapport SE 2012/08 No. SE 2012/08).
- Amundsen, C.E., 2011. Vannovervåking ved nedlagte skyte- og øvingsfelt 2010 (Bioforsk-rapport No. 169/2010).
- Andersen, J.R., Bratli, J.L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O., Aanes, K.J., 1997. Veiledning 97:04 (No. TA-1468/1997). Statens forurensningstilsyn (SFT), Oslo.
- Berg, T., Fjeld, E., Skjelkvåle, B.L., Steinnes, E., 2003. Relativ betydning av nasjonale metallutslipp i forhold til avsetning fra atmosfærisk langtransport og naturlige kilder (SFT-rapport TA-1950/2003 No. TA-1950/2003). Statens forurensningstilsyn, Oslo.
- Clausen, J.L., Bostick, B., Korte, N., 2011. Migration of Lead in Surface Water, Pore Water, and Groundwater With a Focus on Firing Ranges. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 41, 1397–1448.  
doi:10.1080/10643381003608292
- COWI, 2015. Skytebaner, Gansrød- og Pernesområdet, Fredrikstad kommune. Miljøteknisk grunnundersøkelse og tiltaksplan (Forsvarsbygg Skifte rapport No. FBSE-2015/10).
- COWI, 2013a. Gimlemoen SØF 2012 – miljøkartlegging og risikovurdering Kyrjtjøen (Forsvarsbygg Skifte rapport No. FBSE-2013/21).
- COWI, 2013b. Gimlemoen SØF 2012 – miljøkartlegging og risikovurdering Pistolbanen (Forsvarsbygg Skifte rapport No. FBSE-2013/20).
- COWI, 2013c. Gimlemoen SØF – miljøkartlegging og risikovurdering leirduebanen (Forsvarsbygg Skifte rapport No. FBSE-2013/19).
- COWI, 2012. Kjoselvdal skytebane, Tromsø kommune. Miljøteknisk grunnundersøkelse. (Forsvarsbygg Skifte rapport No. FBSE-2011/24).
- Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanddirektivet, 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver (Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanddirektivet - Veileder 02:2013 No. 02:2013). Direktoratgruppa for gjennomføringen av vanddirektivet.
- Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanddirektivet, 2010. Veileder 02:2009 Overvåking av miljøtilstand i vann. Veileder for vannovervåking i hht. kravene i Vannforskriften (No. Versjon 1.5). Direktoratgruppa for gjennomføringen av vanddirektivet.
- European Commission, 2014. Technical guidance to implement bioavailability-based environmental quality standards for metals.
- European Commission, 2011. Lead and its Compounds. EQS sheet.
- Fedje, E., 2011. Tiltaksplan Nesje SØR Hyllestad kommune (COWI-rapport No. 132821). COWI.
- Forsvarsbygg, 2011. Kjoselvdal skytebane - Tilstandsvurdering i forbindelse med utrangering. Faktaark 190201.
- Forsvarsbygg, 2005a. Børja skyte- og øvingsfelt - Tilstandsvurdering i forbindelse med utrangering. Faktaark.
- Forsvarsbygg, 2005b. Nyborgmoen skyte- og øvingsfelt - Tilstandsvurdering i forbindelse med utrangering. Faktaark.
- Garmo, Ø.A., 2016. Overvåking av avrenning fra nedlagte skyte- og øvingsfelt - Årsrapport for 2015 (NIVA-rapport No. 6948–2016). Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Garmo, Ø.A., 2015. Overvåking av avrenning fra nedlagte skyte- og øvingsfelt - Årsrapport for 2014 (NIVA-rapport No. 6786–2015). Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Garmo, Ø.A., Hertel-Aas, T., Ranneklev, S.B., Meland, S., 2015. Vurdering av biotilgjengelighetsmodeller som verktøy for karakterisering av resipienters sårbarhet for metallforurensing fra veg. *Vann* 3, 278–290.



- Gjemlestad, L.J., Haaland, S., 2014. Vannovervåking ved nedlagte skyte- og øvingsfelt 2013 (Bioforsk-rapport 9(72) No. 9(72)).
- Gjemlestad, L.J., Haaland, S., 2013. Vannovervåking ved nedlagte skyte- og øvingsfelt 2012 (Bioforsk-rapport 8(23) No. 8(23)).
- Haker, A., 2013a. Tittelsnes SØF, Sveio kommune. Tiltaksplan (COWI-rapport No. 138084). COWI.
- Haker, A., 2013b. Tittelsnes SØF, Sveio kommune. miljøteknisk grunnundersøkelse og risikovurdering (COWI-rapport No. 138084). COWI.
- Halvorsen, K., 2015. Metode for å korrigere analyseresultater for tungmetall i ufiltrerte vannprøver for bakgrunnsnivå fra suspendert leire. *Vann* 2, 137–151.
- Heier, L.S., Lien, I.B., Strømseng, A.E., Ljønes, M., Rosseland, B.O., Tollefsen, K.-E., Salbu, B., 2009. Speciation of lead, copper, zinc and antimony in water draining a shooting range--Time dependant metal accumulation and biomarker responses in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Sci. Total Environ.* 407, 4047–4055. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.03.002
- Heier, L.S., Meland, S., Ljønes, M., Salbu, B., Strømseng, A.E., 2010. Short-term temporal variations in speciation of Pb, Cu, Zn and Sb in a shooting range runoff stream. *Sci. Total Environ.* 408, 2409–2417. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.02.019
- Heier, L.S., Strømseng, A.E., Ljønes, M., 2004. Analyse og vurdering av ulike tilstandsformer til tungmetaller i avrenningsbekker fra skytebaner (FFI-rapport No. FFI-V/813/138.2). Forsvarets Forskningsinstitutt, Kjeller.
- Iversen, E.R., 2009. Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde, Meldal kommune. Undersøkelser i perioden 1.9. 2007 - 31.08. 2008 (NIVA-rapport OR-5855 No. OR-5855). Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Oslo.
- Knechtenhofer, L.A., Xifra, I.O., Scheinost, A.C., Flühler, H., Kretschmar, R., 2003. Fate of heavy metals in a strongly acidic shooting-range soil: small-scale metal distribution and its relation to preferential water flow. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166, 84–92. doi:10.1002/jpln.200390017
- Langmuir, D., 1997. *Aqueous Environmental Geochemistry*, 1st ed. Prentice Hall.
- Lydersen, E., Löfgren, S., Arnesen, R.T., 2002. Metals in Scandinavian surface waters: Effects of acidification, liming, and potential reacidification. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 32, 73–295. doi:10.1080/10643380290813453
- Mattilsynet, 2011. Veiledning til Drikkevannsforskriften (No. Versjon 3).
- Meteorologene: – Dette skjer bare i jungelen [WWW Document], 2015. . NRK. URL [http://www.nrk.no/trondelag/meteorologene\\_-\\_dette-skjer-bare-i-jungelen-1.12456104](http://www.nrk.no/trondelag/meteorologene_-_dette-skjer-bare-i-jungelen-1.12456104) (accessed 12.23.15).
- Miljødirektoratet, 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota (No. M608). Miljødirektoratet.
- Nordal, O., 2007a. Avgrunnsdalen skyte- og øvingsfelt, Del 1 Miljøutredning (Asplan Viak-rapport). Asplan Viak.
- Nordal, O., 2007b. Børja skyte- og øvingsfelt, Del 1 Miljøutredning. Asplan Viak.
- Rognerud, S., 2005. Overvåking av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 14 års overvåking (NIVA-rapport No. 4944–2005). Norsk institutt for vannforskning.
- Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, E., Traaen, T., Lien, L., Lydersen, E., Buan, A.K., 1996. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer (Statlig program for forurensningsovervåking, SPFO-rapport 677/96 No. 677/96). Statens forurensningstilsyn (SFT), Oslo.
- Strømseng, A.E., Ljønes, M., 2002. Miljøkartlegging av åtte skytebaner - Vurdering av potensialet for mobilisering av tungmetaller (FFI-rapport No. 2002/03877). Forsvarets Forskningsinstitutt, Kjeller.
- Strømseng, A.E., Ljønes, M., Bakka, L., Mariussen, E., 2009. Episodic discharge of lead, copper and antimony from a Norwegian small arm shooting range. *J. Environ. Monit.* 11, 1259–1267. doi:10.1039/B823194J
- Swedish Chemicals Agency, 2008. European Union Risk Assessment Report - Diantimony trioxide.
- Weholt, Ø., 2013. Tiltaksplan med risikovurderinger Gurulia og Bue-Nebb SØF (COWI-rapport No. A012660). COWI.

- Weholt, Ø., 2012a. Avgrunnsdalen skyte- og øvingsfelt. Tiltaksplan med risikovurderinger (COWI-rapport No. A027343). COWI.
- Weholt, Ø., 2012b. Skytebaner, Gansrød, Fredrikstad kommune. Miljøteknisk grunnundersøkelse (COWI-rapport No. A019002). COWI.
- Weholt, Ø., 2010. Gansrød skytefelt. 200 meter bane og kortholdsbane. Fredrikstad kommune. Sluttrapport (COWI-rapport No. 128762). COWI.
- Weholt, Ø., 2009. Gansrød skytefelt, 200 meter bane. Fredrikstad kommune (COWI-rapport No. 128762). COWI.

## Vedlegg A.

**Tabell A.** Vannkjemi og metallkonsentrasjoner i ufiltrerte prøver fra 13 skyte- og øvingsfelter prøvetatt i 2016.

Prøvereferanse	Kode	Prøvedato	pH	Kond. 25°C	Turb.	TOC	Pb	Cu	Ni	Zn	Sb	Fe	Ca
				mS/m	FNU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Avgrunnsdalen	A	09.05.16	5,9	3,32	0,51	8,7	2,4	7,2		10	1,5	200	1,8
Avgrunnsdalen	A	27.06.16	5,7	2,86	0,69	16	5,6	9,6		11	1,5	480	1,9
Avgrunnsdalen	A	27.10.16	5,5	3,51	0,61	15	5,0	6,8		13	1,4	610	2,2
Avgrunnsdalen	B	09.05.16	5,4	3,13	0,33	9,5	14	14		15	3,3	220	1,7
Avgrunnsdalen	B	27.06.16	5,7	2,80	1,1	16	26	17		14	2,4	660	2,0
Avgrunnsdalen	B	27.10.16	5,6	3,46	0,56	16	26	12		14	2,4	660	2,3
Avgrunnsdalen	B2	09.05.16	5,6	2,98	0,33	9,5	11	12		14	2,8	230	1,7
Avgrunnsdalen	B3	27.06.16					22	17		16	2,3	730	2,1
Avgrunnsdalen	B4	27.10.16	5,6	3,51	0,72	16	21	11		16	2,3	650	2,3
Avgrunnsdalen	C	09.05.16	5,8	3,17	0,45	9,2	9,7	11		25	2,7	220	2,0
Avgrunnsdalen	C	27.06.16	5,9	2,90	0,98	16	22	16		17	2,2	760	2,2
Avgrunnsdalen	C	27.10.16	5,7	3,54	0,66	16	20	11		15	2,0	620	2,5
Avgrunnsdalen	C1	09.05.16	5,3	3,00	0,39	9,6	3,0	4,0		9,7	0,79	220	1,3
Avgrunnsdalen	C1	27.06.16	5,4	3,01	1,2	16	8,0	6,1		11	0,88	640	1,6
Avgrunnsdalen	C1	27.10.16	5,1	3,60	0,69	16	6,7	3,3		11	0,74	670	1,7
Avgrunnsdalen	C2	09.05.16	5,4	2,97	0,99	9,5	2,6	2,9		8,2	< 1,0	220	1,5
Avgrunnsdalen	C2	27.06.16	5,4	3,01	1,3	17	7,3	5,4		11	0,99	640	1,8
Avgrunnsdalen	C2	27.10.16	5,2	3,62	0,79	17	6,0	3,4		13	0,84	700	1,9
Avgrunnsdalen	D	09.05.16	5,4	2,96	0,34	9,1	1,9	3,5		6,9	0,61	280	1,3
Avgrunnsdalen	D	27.06.16	5,5	3,10	1,3	17	5,5	5,1		9,3	0,88	640	1,9
Avgrunnsdalen	D	27.10.16	5,3	3,67	0,99	16	4,7	3,4		11	0,69	720	2,0
Avgrunnsdalen	Ref	09.05.16	5,1	2,70	0,91	7,9	0,55	0,95		5,8	< 0,20	270	0,88
Avgrunnsdalen	Ref	27.06.16	4,8	2,82	0,83	18	1,5	1,3		7,7	< 0,20	550	0,95
Avgrunnsdalen	Ref	27.10.16	4,8	3,30	0,55	16	1,4	< 0,50		8,4	< 0,20	680	1,1
Banemyra	V-01	22.04.16	6,9	9,53	0,70	13	< 0,20	1,6		2,7	< 0,20	520	7,5
Banemyra	V-01	04.07.16	6,4	6,51	0,19	12	0,64	2,2		< 2,0	< 0,20	380	4,8
Banemyra	V-01	29.09.16	6,8	9,42	0,71	14	< 0,20	2,6		< 2,0	< 0,20	390	7,5
Banemyra	V-02	22.04.16	7,1	9,35	2,0	20	4,8	1,8		2,1	0,22	1200	10
Banemyra	V-02	04.07.16	6,5	6,66	1,3	22	8,1	4,2		2,4	0,41	1100	6,6
Banemyra	V-02	29.09.16	7,3	7,65	1,4	23	5,4	2,9		2,3	0,27	940	9,1
Banemyra	V-04	22.04.16	6,9	9,44	2,6	21	6,0	1,9		< 2,0	0,23	1500	11
Banemyra	V-04	04.07.16	6,3	6,43	1,2	22	8,2	3,0		2,8	0,35	1000	5,9
Banemyra	V-04	29.09.16	6,9	7,60	1,7	24	5,4	2,9		2,3	0,25	870	6,7
Banemyra	V-05	22.04.16	6,8	11,1	4,8	38	14	9,1		3,3	0,77	7400	16
Banemyra	V-05	04.07.16	6,7	12,2	3,4	24	8,8	13		5,0	1,2	2800	17
Banemyra	V-05	29.09.16	7,0	10,8	7,7	18	4,3	4,7		< 2,0	0,73	2400	15
Banemyra	V-06	22.04.16	5,7	6,52	4,5	45	1,1	1,9		< 2,0	< 0,20	6900	8,9
Banemyra	V-06	29.09.16	6,5	9,12	4,9	22	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	2000	11
Bue-Nebb	BNV1	21.04.16	5,9	6,21	1,2	18	8,6	5,8	< 0,50	3,9	1,1	750	2,8
Bue-Nebb	BNV1	04.07.16	7,1	11,2	1,7	18	4,2	7,2	1,6	5,6	0,68	820	6,9
Bue-Nebb	BNV1	28.09.16	7,1	11,7	4,6	24	9,5	6,1	1,3	4,6	0,65	1900	9,8
Bue-Nebb	Ref	21.04.16	5,9	5,55	0,79	13	0,65	1,1	< 0,50	26	< 0,20	400	1,9
Bue-Nebb	Ref	04.07.16	7,0	8,41	1,1	11	< 0,20	0,52	1,3	< 2,0	< 0,20	380	3,8
Bue-Nebb	Ref	28.09.16	7,4	8,54	0,94	14	< 0,20	1,0	< 0,50	< 2,0	< 0,20	620	5,3

Prøvereferanse	Kode	Prøvedato	pH	Kond. 25°C	Turb.	TOC	Pb	Cu	Ni	Zn	Sb	Fe	Ca
Bue-Nebb	V1	21.04.16	6,2	8,71	0,50	18	13	13	< 0,50	8,6	3,1	450	4,9
Bue-Nebb	V1	04.07.16	6,7	16,0	4,3	13	6,6	6,1	1,5	5,1	0,90	1300	16
Bue-Nebb	V1	28.09.16	7,0	14,6	5,9	16	7,4	8,3	1,4	6,0	0,84	1500	14
Bue-Nebb	V2	21.04.16	5,9	6,13	1,8	19	4,3	3,7	< 0,50	2,2	0,55	720	2,5
Bue-Nebb	V2	04.07.16	7,0	11,4	2,2	22	3,3	4,3	2,6	2,0	0,51	1200	6,3
Bue-Nebb	V2	28.09.16	7,0	9,22	2,0	31	3,6	4,2	1,5	2,2	0,31	1500	6,6
Bue-Nebb	V3	21.04.16	4,9	5,23	0,26	20	9,4	4,4	< 0,50	< 2,0	0,70	850	1,1
Bue-Nebb	V3	04.07.16	5,4	6,84	1,0	23	8,0	4,5	1,7	3,2	0,44	1300	1,6
Bue-Nebb	V3	28.09.16	5,3	5,85	0,95	39	15	5,8	1,4	2,5	0,47	3100	1,7
Bue-Nebb	V4	21.04.16	6,3	7,09	2,8	18	8,5	6,0	1,3	4,4	1,1	760	3,8
Bue-Nebb	V4	04.07.16	7,5	15,4	6,4	16	6,8	10	4,1	6,5	0,92	1600	14
Bue-Nebb	V4	28.09.16	7,2	11,6	3,4	24	6,6	7,2	2,6	5,9	0,55	1500	11
Bue-Nebb	V5	21.04.16	6,1	6,31	2,0	16	2,9	2,1	< 0,50	< 2,0	0,32	580	2,7
Bue-Nebb	V5	04.07.16	7,1	9,80	2,1	13	1,2	2,1	1,4	< 2,0	0,30	520	4,7
Bue-Nebb	V5	28.09.16	7,0	10,8	0,96	18	1,4	2,7	0,80	2,2	0,23	750	7,3
Fredrikstad *	1	04.08.16	6,0	6,10	19	28	14	6,9		15	0,91	4700	
Fredrikstad	1	29.04.16	5,5	11,9	4,5	8,8	0,43	1,8		14	< 0,20	2600	3,9
Fredrikstad *	10	04.08.16	6,9	14,2	94	14	6,4	17		39	1,3	3500	
Fredrikstad	10	29.04.16	7,1	17,7	4,4	6,2	< 0,20	2,2		5,8	0,36	270	12
Fredrikstad	10S	04.08.16	7,0	14,0	28	13	3,4	11		29	1,8	1200	
Fredrikstad	10S	29.04.16	7,2	17,9	6,3	5,7	< 0,20	3,2		8,3	0,42	200	12
Fredrikstad	12	29.04.16	6,8	13,2	2,7	6,3	< 0,20	2,6		8,7	0,43	520	9,5
Fredrikstad	13	04.08.16	6,3	10,6	31	13	22	6,3		18	1,9	6000	
Fredrikstad	13	29.04.16	6,5	11,2	6,9	8,5	10	7,0		20	0,91	1900	7,1
Fredrikstad	2	29.04.16	7,0	34,4	5,5	20	5,6	9,2		38	1,4	610	36
Fredrikstad	3	04.08.16	6,7	11,1	11	15	5,5	5,6		11	1,2	760	
Fredrikstad	3	29.04.16	6,8	13,9	6,2	6,9	< 0,20	4,0		6,7	0,68	190	9,6
Fredrikstad *	Ref-2015	04.08.16	6,5	11,0	67	14	5,7	4,7		36	0,26	4600	
Fredrikstad	Ref-2015	29.04.16	6,4	11,1	13	4,1	< 0,20	3,5		11	< 0,20	560	6,5
Gimlemoen	P10	12.05.16	6,3	4,75	0,31	4,8	6,3	4,6		11	1,00	190	2,4
Gimlemoen	P10	30.08.16	6,5	4,03	0,83	8,5	7,5	6,6		12	1,1	690	2,3
Gimlemoen	P11	12.05.16	6,0	5,22	0,23	4,7	< 0,20	1,2		10	< 0,20	56	2,1
Gimlemoen	P11	30.08.16	6,3	4,81	0,40	6,3	0,37	1,8		3,8	< 0,20	88	1,7
Gimlemoen	P2A	12.05.16	6,8	5,98	0,76	4,4	19	6,3		11	5,8	160	4,1
Gimlemoen	P2A	30.08.16	7,1	5,58	1,4	8,1	17	8,0		7,5	4,1	410	4,8
Gimlemoen	P2B	30.08.16	5,3	3,66	0,77	16	56	14		7,7	2,5	700	1,3
Gimlemoen	P3B	12.05.16	5,7	4,46	0,30	3,9	5,7	3,1		15	0,85	96	1,6
Gimlemoen	P3B	30.08.16	6,2	3,55	0,52	7,3	7,3	5,5		8,2	0,99	340	1,3
Gimlemoen	P5	12.05.16	6,0	4,67	0,48	4,3	7,6	4,3		15	0,97	160	2,2
Gimlemoen	P5	30.08.16	6,2	3,85	0,99	8,5	9,0	7,7		11	1,2	730	2,0
Gimlemoen	P6	12.05.16	6,4	4,81	0,42	4,5	6,7	4,0		8,0	1,1	190	2,7
Gimlemoen	P6	30.08.16	6,7	4,31	0,97	8,6	7,9	5,6		6,1	1,1	810	2,6
Gimlemoen	P7	12.05.16	6,3	5,04	0,21	4,1	2,1	2,9		11	0,60	58	2,3
Gimlemoen	P7	30.08.16	6,7	4,40	0,87	7,2	3,7	3,8		4,3	0,65	310	2,1
Gimlemoen	P7	24.11.16	6,3	4,98	2,5	8,2	6,2	4,5		15	0,62	240	2,3
Gimlemoen	P9	12.05.16	6,4	4,75	0,24	4,5	6,5	4,4		9,2	1,0	170	2,5
Gimlemoen	P9	30.08.16	6,8	4,21	0,94	8,6	9,0	6,2		7,5	1,2	750	2,5
Gurulia	GLV-2	21.04.16	5,2	5,66	0,40	16	8,7	5,1	< 0,50	2,6	1,1	390	1,3
Gurulia	GLV-2	04.07.16	6,6	8,22	0,69	18	2,6	2,8	1,1	4,0	1,2	420	3,9
Gurulia	GLV-2	28.09.16	7,0	7,27	2,7	19	5,3	5,2	< 0,50	4,3	1,8	730	5,1

Prøvereferanse	Kode	Prøvedato	pH	Kond. 25°C	Turb.	TOC	Pb	Cu	Ni	Zn	Sb	Fe	Ca
Gurulia	V1	21.04.16	4,7	5,28	0,59	16	3,3	2,2	< 0,50	< 2,0	< 0,20	340	0,63
Gurulia	V1	04.07.16	4,7	6,76	0,30	18	2,3	1,8	1,2	3,5	0,34	300	1,9
Gurulia	V1	28.09.16	5,2	5,12	0,21	24	4,0	2,0	0,56	3,1	0,33	570	0,92
Gurulia	V2	21.04.16	5,5	6,09	0,87	15	11	4,4	< 0,50	3,7	1,3	390	1,7
Gurulia	V2	04.07.16	6,8	9,68	1,5	17	5,9	4,9	0,86	16	1,1	940	5,5
Gurulia	V2	28.09.16	6,8	8,17	1,8	21	8,8	3,7	0,82	3,0	1,0	1200	4,9
Gurulia	V3	21.04.16	5,6	6,66	0,77	14	21	14	< 0,50	5,4	2,9	370	1,7
Gurulia	V3	04.07.16	6,8	12,6	2,2	10	2,2	4,5	1,3	8,0	5,4	1400	7,0
Gurulia	V3	28.09.16	6,9	9,44	5,7	14	13	14	0,83	11	5,9	1100	6,9
Gurulia	V4	21.04.16	5,4	5,81	2,3	15	11	6,1	< 0,50	4,7	1,3	370	1,6
Gurulia	V4	04.07.16	6,3	8,57	2,0	19	7,9	3,8	1,8	4,5	1,2	1300	3,9
Gurulia	V4	28.09.16	6,6	7,44	3,1	22	8,4	4,3	< 0,50	3,8	1,1	2000	4,7
Gurulia	V5	04.07.16	5,4	5,03	0,26	21	1,0	0,60	< 0,50	< 2,0	< 0,20	490	2,4
Gurulia	V5	28.09.16	6,7	9,07	0,64	24	0,61	< 0,50	< 0,50	< 2,0	< 0,20	950	7,4
Gurulia	V6	21.04.16	5,4	5,89	0,60	18	7,5	3,8	0,69	3,3	0,91	480	1,7
Gurulia	V6	04.07.16	6,8	9,30	5,0	19	5,4	5,0	1,2	3,2	0,98	1000	4,6
Gurulia	V6	28.09.16	6,7	7,69	1,1	25	5,7	4,2	1,1	2,6	0,80	1100	4,2
Kvernvikmoen	NIVA1	23.05.16	7,2	6,01	0,16	3,5	< 0,20	1,7		< 2,0	< 0,20	5,8	5,8
Kvernvikmoen	NIVA2	23.05.16	7,3	7,18	0,18	4,3	< 0,20	1,2		< 2,0	< 0,20	15	6,2
Kvernvikmoen	NIVA3	23.05.16	7,2	9,00	0,26	6,2	< 0,20	3,1		3,0	< 0,20	43	13
Kvernvikmoen	NIVA1	26.09.16	7,5	6,03	0,18	3,8	< 0,20	1,9		2,1	< 0,20	4,1	5,8
Kvernvikmoen	NIVA2	26.09.16	7,7	7,39	0,18	4,6	< 0,20	1,9		3,0	< 0,20	10	6,5
Kvernvikmoen	NIVA3	26.09.16	7,5	9,30	0,25	4,7	< 0,20	1,9		< 2,0	< 0,20	39	12
Kvernvikmoen	NIVA4	26.09.16	7,4	7,53	0,29	6,1	0,77	5,2		8,6	0,29	140	8,2
Kvernvikmoen	NIVA1	22.08.16	7,6	5,97	0,20	3,7	< 0,20	1,4		< 2,0	< 0,20	8,8	5,9
Kvernvikmoen	NIVA2	22.08.16	7,7	7,15	0,24	4,6	< 0,20	0,75		< 2,0	< 0,20	18	7,4
Kvernvikmoen	NIVA3	22.08.16	7,2	9,90	0,42	5,6	0,27	2,2		< 2,0	< 0,20	95	14
Kvernvikmoen	NIVA4	22.08.16	7,1	7,09	0,48	7,2	0,91	6,4		40	0,38	180	8,9
Marka SØF	1	07.07.16	5,8	25,5	33	7,3	1,5	2,6		16	< 0,20	8800	7,4
Marka SØF	1	18.10.16	6,3	28,9	44	5,6	< 0,20	0,57		6,5	< 0,20	16000	11
Melbu Skytefelt	V11	29.05.16	6,5	5,93	0,36	4,0	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	170	1,8
Melbu Skytefelt	V11	14.07.16	6,4	6,46	0,54	4,1	0,39	< 0,50		< 2,0	< 0,20	220	2,4
Melbu Skytefelt	V11	23.09.16	6,6	5,59	0,87	5,9	< 0,20	0,51		< 2,0	< 0,20	200	1,7
Melbu Skytefelt	V28	29.05.16	6,8	6,21	0,25	3,4	< 0,20	1,3		< 2,0	0,24	97	1,8
Melbu Skytefelt	V28	14.07.16	9,1	6,65	0,50	3,2	0,52	0,65		< 2,0	< 0,20	130	2,3
Melbu Skytefelt	V28	23.09.16	7,0	5,91	0,77	3,6	0,43	1,0		< 2,0	< 0,20	130	1,8
Melbu Skytefelt	V29	29.05.16	6,6	5,93	0,44	3,4	< 0,20	1,2		< 2,0	0,25	81	1,6
Melbu Skytefelt	V29	14.07.16	6,6	6,38	0,49	3,1	0,81	< 0,50		< 2,0	< 0,20	120	2,1
Melbu Skytefelt	V29	23.09.16	6,8	5,67	0,86	3,4	0,69	1,1		2,1	< 0,20	120	1,6
Melbu Skytefelt	V32	29.05.16	6,8	5,70	0,12	2,7	< 0,20	0,58		< 2,0	< 0,20	31	1,4
Melbu Skytefelt	V32	23.09.16	7,0	5,39	0,72	2,6	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	47	1,4
Melbu Skytefelt	V33	29.05.16	6,5	7,11	0,26	4,6	0,80	3,4		< 2,0	< 0,20	140	2,1
Melbu Skytefelt	V33	14.07.16	6,5	7,47	0,45	3,8	1,4	1,6		< 2,0	< 0,20	140	2,5
Melbu Skytefelt	V33	23.09.16	6,7	6,59	0,78	3,7	0,94	2,0		< 2,0	< 0,20	120	1,9
Melbu Skytefelt	V34	29.05.16	7,0	6,58	< 0,1	2,9	< 0,20	0,87		< 2,0	< 0,20	74	2,1
Melbu Skytefelt	V34	14.07.16	6,9	6,94	0,37	2,8	0,42	< 0,50		< 2,0	< 0,20	71	2,5
Melbu Skytefelt	V34	23.09.16	7,1	6,27	0,77	3,1	0,34	0,88		< 2,0	< 0,20	100	2,0
Melbu Skytefelt	V35	29.05.16	7,0	6,88	0,15	2,9	< 0,20	0,99		< 2,0	< 0,20	79	2,3
Melbu Skytefelt	V35	14.07.16	7,0	7,45	0,38	2,7	0,41	< 0,50		< 2,0	< 0,20	66	2,9
Melbu Skytefelt	V35	23.09.16	7,2	6,67	0,99	3,0	0,67	0,87		< 2,0	< 0,20	240	2,5



Prøvereferanse	Kode	Prøvedato	pH	Kond. 25°C	Turb.	TOC	Pb	Cu	Ni	Zn	Sb	Fe	Ca
Nesje	N1	28.04.16	6,3	9,46	1,5	12	3,3	6,2		5,1	1,8	410	6,4
Nesje	N3	28.04.16	5,4	7,00	0,77	11	1,9	2,6		4,7	0,31	330	1,9
Nesje	Ref2011	28.04.16	4,5	7,07	0,89	15	< 0,20	1,1		3,4	< 0,20	720	0,78
Nesje	N5 kort	28.04.16	4,7	7,39	0,90	15	0,39	2,4		5,9	< 0,20	660	1,1
Nesje	N6 ut	28.04.16	5,2	7,17	0,80	11	1,6	3,0		6,1	0,25	340	1,6
Nesje	N7 Ref	28.04.16	4,3	7,66	0,63	12	< 0,20	0,65		3,9	< 0,20	370	0,64
Nesje	N1	05.07.16	4,7	7,14	0,55	24	5,1	4,2		4,7	0,55	560	1,1
Nesje	N1	21.10.16	6,2	7,06	0,86	21	6,7	7,5		3,3	1,7	830	5,5
Nesje	N3	05.07.16	5,8	7,27	0,85	17	3,0	3,0		4,4	0,38	390	1,9
Nesje	N3	21.10.16	5,4	5,90	3,8	22	5,3	2,6		3,5	0,28	910	1,5
Nesje	N4 Ref2011	05.07.16	4,4	8,45	1,3	29	1,0	1,1		4,1	< 0,20	570	1,1
Nesje	N4 Ref2011	21.10.16	4,6	5,87	1,8	32	1,3	0,68		3,6	< 0,20	2100	0,68
Nesje	N5 kort	05.07.16	4,5	8,50	0,80	27	1,5	2,1		5,1	< 0,20	670	1,2
Nesje	N5 kort	21.10.16	4,6	5,83	0,40	27	1,4	1,8		3,4	< 0,20	910	0,79
Nesje	N6 ut	05.07.16	5,2	7,32	0,60	18	2,3	2,7		4,6	0,31	510	1,8
Nesje	N6 ut	21.10.16	5,1	5,68	0,33	23	2,6	1,4		3,4	< 0,20	790	1,3
Nesje	N7 Ref	05.07.16	4,3	8,19	0,44	25	0,85	0,96		3,9	< 0,20	510	0,72
Nesje	N7 Ref	21.10.16	4,4	5,74	1,2	28	0,96	< 0,50		3,4	< 0,20	700	0,49
Skarsteindalen	1	31.05.16	7,3	11,0	0,18	1,6	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	7,0	9,8
Skarsteindalen	1	15.07.16	7,0	8,86	0,44	4,8	0,33	0,67		< 2,0	< 0,20	110	6,8
Skarsteindalen	1	24.09.16	7,1	10,2	0,91	3,4	< 0,20	0,85		< 2,0	< 0,20	80	9,2
Skarsteindalen	2	31.05.16	6,8	7,74	0,14	3,9	< 0,20	3,2		2,7	< 0,20	83	4,7
Skarsteindalen	2	15.07.16	7,1	7,99	0,41	4,0	0,37	0,59		< 2,0	< 0,20	69	6,2
Skarsteindalen	2	24.09.16	7,2	8,86	1,7	2,9	< 0,20	0,63		< 2,0	< 0,20	48	6,5
Skarsteindalen	3	31.05.16	6,9	7,55	0,20	3,4	< 0,20	2,8		2,8	< 0,20	78	4,4
Skarsteindalen	3	15.07.16	7,0	8,06	0,47	4,9	0,69	1,9		< 2,0	< 0,20	97	5,9
Skarsteindalen	3	24.09.16	7,0	8,87	0,72	3,7	0,27	1,5		< 2,0	< 0,20	73	6,3
Skarsteindalen	4	31.05.16	6,9	8,02	0,40	3,5	< 0,20	2,6		< 2,0	< 0,20	79	4,7
Skarsteindalen	4	15.07.16	6,8	8,48	0,42	4,9	0,86	2,9		2,7	< 0,20	120	5,8
Skarsteindalen	4	24.09.16	7,0	8,72	0,61	4,2	0,73	2,3		2,1	< 0,20	110	6,1
Skarsteindalen	5	31.05.16	6,5	6,21	0,16	4,6	< 0,20	1,4		2,4	< 0,20	6,1	9,0
Skarsteindalen	5	15.07.16	6,5	6,53	0,23	4,5	0,31	7,1		18	< 0,20	17	1,8
Skarsteindalen	5	24.09.16	7,2	11,2	0,58	4,4	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	2000	11
Skarsteindalen	6	31.05.16	6,9	6,38	0,14	0,83	< 0,20	0,62		< 2,0	< 0,20	2000	2,5
Skarsteindalen	6	15.07.16	6,7	6,33	< 0,1	0,95	0,28	< 0,50		< 2,0	< 0,20	18	2,6
Skarsteindalen	6	24.09.16	7,1	6,61	0,61	1,2	< 0,20	0,59		< 2,0	< 0,20	2,7	3,0
Skarsteindalen	Ref	31.05.16	6,8	6,53	< 0,1	1,9	< 0,20	1,1		< 2,0	< 0,20	27	3,9
Skarsteindalen	Ref	15.07.16	6,9	7,55	0,26	3,0	0,33	< 0,50		< 2,0	< 0,20	65	5,5
Skarsteindalen	Ref	24.09.16	7,1	8,19	0,58	2,3	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	37	6,3
Steinkjersannan	V-02	03.07.16	8,0	32,8	1,7	6,2	0,30	1,5		< 2,0	0,22	150	47
Steinkjersannan	Ref2011	03.07.16	7,4	15,8	0,36	4,1	2,3	0,50		< 2,0	< 0,20	22	16
Steinkjersannan	Ref2011	28.09.16	7,5	8,62	0,66	12	16	1,0		< 2,0	< 0,20	180	7,1
Steinkjersannan	Ref2015	21.04.16	5,9	4,24	1,1	8,8	1,0	0,90		< 2,0	< 0,20	220	1,3
Steinkjersannan	Ref2015	28.09.16	6,3	6,07	1,1	9,1	0,44	1,1		< 2,0	< 0,20	61	2,4
Steinkjersannan	V-02	21.04.16	7,0	13,7	17	13	7,5	5,0		5,6	0,49	830	18
Steinkjersannan	V-02	28.09.16	8,0	27,9	2,5	12	1,1	3,4		< 2,0	0,26	310	41
Steinkjersannan	V-03	21.04.16	7,5	18,4	42	9,6	4,1	9,3		6,4	3,3	2100	30
Steinkjersannan	V-03	28.09.16	8,0	26,5	17	11	1,8	6,3		3,5	2,1	1200	42
Steinkjersannan	V-05	21.04.16	7,1	15,9	15	11	6,1	11		6,1	4,4	1200	23
Steinkjersannan	V-05	03.07.16	7,5	43,9	4,5	9,5	0,60	4,7		11	1,3	550	83

Prøvereferanse	Kode	Prøvedato	pH	Kond. 25°C	Turb.	TOC	Pb	Cu	Ni	Zn	Sb	Fe	Ca
Steinkjersannan	V-05	28.09.16	7,4	22,4	14	12	5,3	9,8		4,9	2,8	1300	36
Steinkjersannan	V-07	21.04.16	6,3	5,12	1,1	14	19	1,4		< 2,0	< 0,20	210	3,1
Steinkjersannan	V-07	03.07.16	7,3	12,8	1,6	4,7	4,3	2,2		2,3	< 0,20	130	11
Steinkjersannan	V-07	28.09.16	7,4	8,45	0,39	9,8	6,2	1,4		< 2,0	< 0,20	100	6,4
Steinkjersannan	V-08	21.04.16	6,5	15,6	2,2	15	2,2	3,7		13	< 0,20	2700	16
Steinkjersannan	V-08	28.09.16	7,6	23,8	19	11	2,8	4,8		18	< 0,20	5800	35
Steinkjersannan	V-09	21.04.16	7,4	17,0	46	12	5,9	6,1		6,8	1,4	2000	25
Steinkjersannan	V-09	03.07.16	8,0	33,4	5,8	7,8	0,32	5,3		< 2,0	0,42	660	48
Steinkjersannan	V-09	28.09.16	7,8	30,3	6,6	12	0,78	3,2		2,4	0,97	780	44
Tittelsnes	T1	07.07.16	7,6	58,0	12	23	2,2	4,3		2,9	0,83	2200	120
Tittelsnes	T2	07.07.16	6,7	11,4	1,3	22	8,4	22		11	0,58	670	8,2
Tittelsnes	T2	27.04.16	6,8	14,7	5,6	11	4,3	12		14	0,51	660	13
Tittelsnes	T2	20.10.16	6,9	9,50	2,6	17	3,8	8,9		12	0,34	1100	7,5
Tittelsnes	T3	07.07.16	6,3	7,35	0,83	18	2,6	4,8		7,4	0,31	520	2,9
Tittelsnes	T3	27.04.16	6,4	8,38	1,0	10	1,2	3,6		7,3	0,25	220	3,0
Tittelsnes	T3	20.10.16	6,1	7,65	1,6	24	3,0	3,8		4,6	< 0,20	1900	3,6
Tittelsnes	T4	27.04.16	7,2	11,2	0,51	5,6	1,3	1,1		< 2,0	< 0,20	84	2,8
Tittelsnes	T4	07.07.16	6,9	13,5	< 0,1	3,6	< 0,20	0,78		< 2,0	< 0,20	46	3,8
Tittelsnes	T4	20.10.16	6,6	11,6	0,44	11	0,73	0,97		2,3	< 0,20	230	3,4
Tittelsnes	T5	07.07.16	6,4	9,02	0,36	20	2,7	2,8		3,1	0,34	450	3,2
Tittelsnes	T5	27.04.16	6,7	11,6	3,1	10	0,97	1,9		2,7	0,20	210	5,6
Tittelsnes	T5	20.10.16	6,9	10,9	0,40	18	0,99	2,5		2,5	0,24	300	6,1
Tittelsnes	T6	07.07.16	6,7	9,49	0,98	21	3,7	5,0		3,5	0,56	460	4,3
Ørskogfjellet	P21	29.04.16	6,1	2,23	0,20	2,3	0,95	3,2		2,0	0,23	99	0,64
Ørskogfjellet	P21	05.07.16	6,6	2,21	0,40	7,9	2,6	4,9		< 2,0	< 0,20	170	0,84
Ørskogfjellet *	P21	22.10.16					3,5	13		22	0,49	930	7,4
Ørskogfjellet	P22	29.04.16	6,1	2,27	0,12	1,1	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	14	0,59
Ørskogfjellet	P22	05.07.16	6,2	1,78	0,16	4,5	0,41	0,90		< 2,0	< 0,20	16	0,45
Ørskogfjellet	P22	22.10.16	6,3	1,90	< 0,1	3,2	< 0,20	< 0,50		< 2,0	< 0,20	10	0,51
Ørskogfjellet	P3	29.04.16	5,4	2,04	0,18	4,7	9,4	13		4,4	1,2	170	0,44
Ørskogfjellet	P3	05.07.16	5,9	2,38	0,46	19	31	25		5,3	0,80	300	1,0
Ørskogfjellet	P3	22.10.16	5,5	2,18	0,19	5,7	5,9	8,7		2,7	1,0	100	0,35
Ørskogfjellet	P7	29.04.16	5,9	2,21	1,6	4,0	4,3	6,6		2,4	0,69	160	0,69
Ørskogfjellet	P7	05.07.16	6,4	2,78	0,34	16	9,0	13		3,0	0,67	380	1,7
Ørskogfjellet	P7	22.10.16	6,4	3,01	0,20	7,0	3,0	4,4		< 2,0	0,61	260	1,6

\*Resultatene er ikke presentert i figurene i hoveddelen av rapporten.

## Vedlegg B.

**Tabell B.** Vannkemi og metallkonsentrasjoner i filtrerte prøver fra Kjoselvdalen og Nyborgmoen.

Prøverefranse	Kode	Prøvedato	pH	Kond. 25°C	Turb	TOC	Pb-filt.	Cu-filt.	Zn-filt.	Sb-filt.	Fe-filt.	Ca-filt.
				mS/m	FNU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Kjoselvdalen	1	30.05.16	7,8	13,1	0,22	2,4	0,038	0,57	1,1	0,032	57	18
Kjoselvdalen	1	20.07.16	7,8	13,6	0,67	3,3	0,16	0,87	1,9	0,098	120	20
Kjoselvdalen	1	28.09.16	7,8	14,5	0,36	2,6	0,040	0,51	1,5	0,094	110	20
Kjoselvdalen	2	30.05.16	7,2	6,01	0,29	3,8	2,3	7,1	3,1	2,9	20	4,8
Kjoselvdalen	2	20.07.16	7,4	6,83	0,22	4,7	1,7	6,9	3,6	2,7	29	6,9
Kjoselvdalen	2	28.09.16	7,5	7,35	<0,1	3,8	1,4	5,1	3,9	2,2	28	6,8
Kjoselvdalen	3	30.05.16	7,0	5,62	0,11	4,9	2,1	12	9,4	3,2	38	4,5
Kjoselvdalen	4	30.05.16	7,7	11,5	<0,1	2,4	0,021	0,27	0,71	0,063	2,3	16
Kjoselvdalen	4	20.07.16	7,9	13,6	0,13	2,2	<0,010	0,38	0,54	0,10	2,9	22
Kjoselvdalen	4	28.09.16	8,0	15,2	<0,1	1,6	<0,010	0,29	0,37	0,12	1,5	22
Kjoselvdalen	5-Ref	30.05.16	7,8	11,7	<0,1	1,6	<0,010	0,19	0,41	<0,020	2,3	16
Kjoselvdalen	5-Ref	20.07.16	7,9	13,7	0,17	2,3	<0,010	0,20	0,53	<0,020	3,0	22
Kjoselvdalen	5-Ref	28.09.16	8,0	15,4	0,18	1,8	<0,010	0,19	0,40	<0,020	1,8	23
Kjoselvdalen	6 ut	30.05.16	7,7	11,6	<0,1	1,8	0,021	0,36	0,78	0,078	3,2	15
Kjoselvdalen	7 ut	20.07.16	7,9	13,1	0,14	2,5	<0,010	0,61	0,90	0,17	7,1	21
Kjoselvdalen	8 ut	28.09.16	7,9	14,4	0,24	1,7	<0,010	0,45	0,66	0,17	5,7	21
Kjoselvdalen	7-Ref	30.05.16	7,8	14,5	<0,1	2,5	0,017	0,21	0,38	<0,020	2,4	20
Kjoselvdalen	7-Ref	20.07.16	8,0	15,9	0,21	2,5	<0,010	0,22	0,46	<0,020	5,7	25
Kjoselvdalen	7-Ref	28.09.16	7,9	16,2	0,32	2,1	0,013	0,21	0,43	<0,020	7,0	24
Kjoselvdalen	8	30.05.16	7,1	5,06	<0,1	5,3	6,0	25	13	3,3	37	3,3
Kjoselvdalen	8	20.07.16	7,2	5,28	0,12	2,5	5,8	25	15	3,2	41	4,5
Kjoselvdalen	8	28.09.16	7,4	5,64	0,56	4,3	4,6	18	19	2,5	42	4,3
Nyborgmoen	4	31.05.16	7,1	7,01	0,27	5,7	<0,010	0,73	1,3	<0,020	8,8	5,2
Nyborgmoen	5	31.05.16	7,5	9,93	0,41	3,9	0,014	1,4	1,1	<0,020	16	8,7
Nyborgmoen**	5	25.08.16	7,7	12,3	0,59	4,3	<0,20	<0,50	<2,0	<0,20	38	13
Nyborgmoen	6	31.05.16	7,2	12,2	0,27	4,1	0,023	1,5	2,1	0,021	18	13
Nyborgmoen**	6	25.08.16	7,5	14,9	0,79	3,9	0,30	2,0	<2,0	<0,20	59	18
Nyborgmoen	7	31.05.16	7,3	8,45	0,36	4,9	<0,010	0,52	0,62	<0,020	68	7,7
Nyborgmoen**	7	25.08.16	7,2	8,21	0,80	11	<0,20	0,86	<2,0	<0,20	210	8,1
Nyborgmoen	8	31.05.16	7,2	9,35	0,27	3,5	<0,010	0,70	0,97	<0,020	5,5	8,4
Nyborgmoen**	8	25.08.16	7,3	12,2	0,48	2,0	<0,20	0,54	<2,0	<0,20	10	12
Nyborgmoen	9 Ref	31.05.16	7,1	4,64	0,31	4,5	<0,010	0,90	0,79	<0,020	20	3,7
Nyborgmoen**	9 Ref	25.08.16	7,2	4,90	0,73	4,7	<0,20	1,2	<2,0	<0,20	60	4,3
Nyborgmoen	3	11.10.16	6,9	8,91	0,92	11	0,028	0,36	1,0	<0,020	17	9,1
Nyborgmoen	4	11.10.16	7,3	9,27	0,35	5,9	<0,010	0,60	2,1	<0,020	11	7,4
Nyborgmoen	5	11.10.16	7,5	12,0	0,28	3,6	<0,010	0,13	0,53	<0,020	14	10
Nyborgmoen	6	11.10.16	7,3	15,3	0,26	3,8	0,014	1,3	2,3	0,027	12	17
Nyborgmoen	7	11.10.16	7,3	10,0	0,49	6,4	<0,010	0,41	0,74	<0,020	92	9,7
Nyborgmoen	8	11.10.16	7,1	12,0	0,23	1,8	<0,010	0,46	0,70	<0,020	4,2	12
Nyborgmoen	9 Ref	11.10.16	7,1	5,03	0,49	4,8	<0,010	0,84	0,86	<0,020	23	4,5

\*\*Ufiltrert prøve

## Vedlegg C.

**Tabell C1.** Vannkjemi og metallkonsentrasjoner i filtrerte prøver fra Børja.

Prøveref.	Kode	Prøvedato	pH	TOC	Pb-filt.	Cd-filt.	Cu-filt.	Cr-filt.	Ni-filt.	Zn-filt.	Sb-filt.	Fe-filt.	Ca-filt.	Mn-filt.
				mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l
Børja	3	03.08.16	4,3	23	1,1	0,020	2,9	0,22	0,25	9,3	0,080	510	0,47	9,7
Børja	3	26.09.16	4,6	24	1,5	0,026	3,3	0,25	0,33	12	0,090	660	0,56	13
Børja	4	16.06.16	5,3	19	1,0	0,012	0,41	0,68	0,42	4,3	0,041	850	0,99	11
Børja	4	03.08.16	4,9	24	1,4	0,021	0,32	0,74	0,53	4,4	0,054	1200	1,3	15
Børja	4	26.09.16	5,0	26	1,4	0,029	0,35	0,81	0,68	6,3	0,072	1600	1,3	19
Børja	5	16.06.16	5,4	13	0,39	0,016	0,36	0,25	0,31	8,5	0,048	480	0,80	27
Børja	5	03.08.16	5,4	13	0,43	0,014	0,27	0,24	0,28	3,5	0,049	420	0,87	23
Børja	5	26.09.16	5,6	12	0,43	0,016	0,30	0,27	0,34	4,0	0,048	480	0,92	25
Børja	6	16.06.16	5,0	17	0,73	0,020	0,74	0,40	0,30	5,2	0,052	600	0,94	14
Børja	6	03.08.16	4,8	22	1,0	0,029	1,0	0,48	0,40	5,1	0,066	910	1,3	15
Børja	6	26.09.16	5,2	20	1,0	0,030	0,74	0,46	0,42	5,5	0,066	940	1,2	18

**Tabell C2.** Vannkjemi og metallkonsentrasjoner i ufiltrerte prøver fra Børja (ikke presentert i figur i hoveddel av rapporten).

Prøveref.	Kode	Prøvedato	pH	TOC	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Zn	Sb	Fe	Ca	Mn
				mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l
Børja	1	16.06.16	5,3	33	11	0,22	41	<0,5	1,8	28	0,23	1300	0,96	15
Børja	2	16.06.16	5,0	15	1,8	0,09	21	<0,5	1,4	30	0,38	580	0,67	20



**Skifte eiendom/Norsk institutt for vannforskning**