

Forekomst og utslipp av seksverdig krom i sivevann fra Deponi 2.1 ved Glencore Manganese Norway AS, Mo i Rana



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: 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 Forekomst og utslipp av seksverdig krom i sigevann fra Deponi 2.1 ved Glencore Manganese Norway AS, Mo i Rana | Løpenr. (for bestilling) 6949-2016 | Dato 7.1.2016 |
| | Prosjektnr.Undernr. 15375 | Sider Pris 34 |
| Forfatter(e) Christian Vogelsang, August E Dessen Tobiesen, Kuria Ndungu, Jonny Beyer | Fagområde Deponiavrenning | Distribusjon Fritt |
| | Geografisk område Mo i Rana | Trykket NIVA |

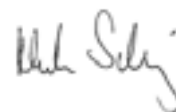
| | |
|--|-------------------|
| Oppdragsgiver(e) Glencore Manganese Norway AS v/Geir Ove Storheil | Oppdragsreferanse |
|--|-------------------|

| |
|--|
| <p>Sammendrag</p> <p>NIVA har gjennomført en kritisk gjennomgang og miljøfaglig vurdering av størrelsene, årsakene og mulige miljøkonsekvenser av utslipp av seksverdig krom fra Glencore Manganese Norway AS sitt Deponi 2.1 ved Mo Industripark (MIP). Utslippene ser ut til å ha økt betydelig etter 2009, sannsynligvis pga. en akselerering av kjemiske prosesser i de deponerte massene. Grunnet høy pH i sigevannet forelå mest sannsynlig denne krommengden hovedsakelig som Cr(VI), en kromform som er langt mer mobil og giftig enn Cr(III). Utlekkingen av krom til Mobekken har bidratt til at miljøtilstanden i bekken har blitt karakterisert som svært dårlig (tilstandsklasse V), selv om andre tungmetaller og PAH også gir den samme karakteristikken. I perioden 2010-2014 utgjorde kromtilførslene fra Deponi 2.1 størrelsesorden 60 % av den samlede kromtransporten i bekken, men den tyngste kjente forurensningsbelastningen med krom i Mobekken var i 2006. I tillegg til den planlagte overvåkingen foreslås det å undersøke sedimentene i bekken for å kunne vurdere betydningen av mulige rester av historiske utslipp av krom og andre miljøgifter som kan ligge i bekkesedimentet.</p> |
|--|

| | |
|---|--|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Krom 2. Metallurgisk industri 3. Ranfjorden 4. Landbasert deponi | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Chromium 2. Metal industry 3. Ranfjord 4. Landfill deposits |
|---|--|



Jonny Beyer
Prosjektleder



Morten Schaanning
Forskningsleder

**Forekomst og utslipp av seksverdig krom i sigevann
fra Deponi 2.1 ved Glencore Manganese Norway AS,
Mo i Rana**

Forord

Norske institutt for Vannforskning har på oppdrag fra Glencore Manganese Norway AS (Mo i Rana) gjennomført en vurdering av bedriftens miljøutslipp av seksverdig krom, med spesiell vekt på utslipp i sigevann og avrenning fra selskapets deponiområde. Vurderingen er utført med utgangspunkt i data og rapporter som er blitt forelagt fra bedriften samt i relevante rapporter og litteratur som er åpent tilgjengelig. NIVA har ikke foretatt egne feltundersøkelser i sammenheng med dette oppdraget. Prosjektdeltagere fra NIVA har vært Jonny Beyer (prosjektleder), Christian Vogelsang, August E Dessen Tobiesen, og Kuria Ndungu. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Geir Ove Storbeil.

Oslo, 7. januar 2016

Jonny Beyer

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 6 |
| 1. Bakgrunn | 7 |
| 2. Krom som miljøgift | 7 |
| 3. Beskrivelse av Deponi 2.1 | 8 |
| 3.1 Historikk og utforming av Deponi 2.1 | 8 |
| 3.2 Karakterisering av deponerte masser i Deponi 2.1 | 12 |
| 4. Avrenning fra Deponi 2.1 | 13 |
| 4.1 Karakterisering av sigevann fra Deponi 2.1 | 13 |
| 4.2 Historiske utslipp av seksverdig krom fra Deponi 2.1 | 17 |
| 4.3 Utslipp av seksverdig krom fra Deponi 2.1 etter tildekking | 19 |
| 4.4 Andre kilder til kromutslipp fra deponiområdet | 20 |
| 4.5 Mulige forklaringer til økte nivåer av Cr(VI) i sigevannet i Kum 2 | 20 |
| 5. Betydningen for Mobekken som resipient | 22 |
| 5.1 Beskrivelse av Mobekken | 22 |
| 5.2 Overvåking av Mobekken | 24 |
| 5.3 Miljøriskovurdering av krom i Mobekken | 25 |
| 5.4 Miljøriskovurdering av kromtilførslene til indre Ranfjorden | 27 |
| 6. Risiko for human helse | 27 |
| 6.1 Generelt om human helse og kromeksponering | 27 |
| 6.2 Spesifikt for kromutslippet fra Deponi 2.1 og deponiområdene ved MIP | 28 |
| 7. Nødvendighet av ytterligere tiltak | 29 |
| 8. Oppsummering og konklusjon | 30 |
| 9. Referanser | 30 |

Sammendrag

NIVA har gjennomført en kritisk gjennomgang og miljøfaglig vurdering av størrelsene, årsakene og mulige miljøkonsekvenser av utslipp av seksverdig krom fra Glencore Manganese Norway AS sitt Deponi 2.1 ved Mo Industripark (MIP).

De årlige utslippene av krom fra Deponi 2.1 ser ut til å ha økt betydelig etter 2009. I perioden 2010-2014 lå de grovt estimerte utslippene på 3,2-28,2 kg/år eller ca. 80 kg for hele perioden. Grunnet høy pH i sigevannet forelå mest sannsynlig denne krommengden hovedsakelig som Cr(VI), en kromform som er langt mer mobil og giftig enn Cr(III).

To ulike kjemiske prosesser ble vurdert som aktuelle for å forklare årsaken til den økende utlekkingen av krom etter 2009; 1) oksidasjon av Cr(III) i ferrokromslammet med Mn-hydroksider fra det overliggende silikomangan (SiMn)-slammet og 2) mobilisering av CrO_4^{2-} fra SiMn-slammene ved hjelp av SO_4^{2-} . Den første prosessen har sannsynligvis vært den dominerende. De meget høye utslippene i siste del av perioden før tildekkingen av deponiet henger sannsynligvis sammen med den store aktiviteten med tilkjøring av stabiliserende masser og mye anleggsvirksomhet direkte i deponiet.

Avslutning, tetting og dekking av Deponi 2.1 fram mot november 2014 synes å ha vært gjennomført på en god måte, som indikert ved meget lave sigevannsmengder og reduserte krom-konsentrasjoner under den gjennomførte overvåkingen i løpet av sommeren og høsten 2015. Etter alt å dømme vil ikke Deponi 2.1 lenger utgjøre noen signifikant kromkilde til miljøet.

Mobekken er primærresipient for sigevann fra Deponi 2.1. Men tilgjengelig overvåkningsdata indikerer at det historisk sett også har vært andre, og til tider viktigere, kilder til kromforurensningen av Mobekken. Et grovt estimat for perioden 2010-2014 antyder at krombidraget fra Deponi 2.1 utgjorde i størrelsesorden 60 % av den samlede kromtransporten i Mobekken (ca. 80 kg av ca. 137 kg totalt) når bidraget fra Deponi 2.1 sannsynligvis var størst.

Tilgjengelig overvåkningsdata fra Mobekken viser at vannmassene er så forurenset at den faller inn under tilstandsklasse V pga. høye konsentrasjoner av tungmetaller (inkludert krom) og PAH. Det er grunn til å anta at miljøtilstanden og biologien i Mobekken har vært markert negativt påvirket av de historiske forurensningstilførsler fra deponier og forurenset grunn ved MIP i en årrekke. Overvåkningsdataene er kun knyttet til vannprøver. Det foreslåtte overvåkningsprogrammet for MIP inkluderer undersøkelse av biota (bunndyr og fisk), som vil gi grunnlag for å gjennomføre en mer grundig vurdering av effektene i bekken. Det anbefales også gjennomføre en undersøkelse av sedimentene i bekken for å kunne vurdere betydningen av mulige rester av historiske utslipp av krom og andre miljøgifter som kan ligge i bekkesedimentet. Spesielt bør området nedstrøms MIP der bekken løper åpent vurderes nøye, også med hensyn til risiko knyttet til direkte kontakt med kromrikt støv.

På grunn av den store vannføringen i Ranaelven vil de høye kromkonsentrasjonene observert i Mobekken sannsynligvis kun hatt lokal betydning i vannmassene i Ranfjorden, men bidraget til forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller i sedimentene og i skjell kan ha vært av betydning.

Summary

Title: Occurrence and discharges of hexavalent chromium in leachate from Landfill 2.1 at Glencore Manganese Norway AS, Mo i Rana

Year: 2016

Author: Christian Vogelsang, August E Dessen Tobiesen, Kuria Ndungu, Jonny Beyer

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6684-9

NIVA has carried out a critical review and environmental expert assessment of the magnitudes, causes and possible environmental impacts of releases of hexavalent chromium from Landfill 2.1 of Glencore Manganese Norway AS ' at Mo Industrial Park (MIP).

Annual emissions of chromium from Landfill 2.1 seem to have increased significantly after 2009. In the period 2010-2014 the roughly estimated emissions were 3.2-28.2 kg/year or ca. 80 kg for the whole period. Due to the high pH in the leachate the main fraction of the chromium was most likely Cr (VI), a chromium form that is far more mobile and toxic than Cr (III).

Two different chemical processes were considered relevant to explain the reason for the increasing leaching of chromium after 2009; 1) oxidation of Cr (III) in the ferrochromium sludge with Mn hydroxides from the overlaying silikomangan (SiMn) sludge and 2) mobilization of CrO_4^{2-} from the SiMn sludge by SO_4^{2-} . The first process has probably been dominating. The very high emissions in the latter part of the period prior to the capping of the landfill was probably caused by the large activity connected to transportation of stabilizing masses and a lot of construction work directly on the landfill.

The termination, sealing and capping of Landfill 2.1 by November 2014 appear to have been successful, as indicated by very low leachate levels and reduced chromium concentrations observed during summer and autumn 2015. Probably, Landfill 2.1 will no longer pose any significant chromium source to the environment.

Mobekken is the prime recipient for leachate from Landfill 2.1. But available monitoring data indicate that historically there have also been other, and at times more important, sources of chromium contamination in Mobekken. A rough estimate for the period 2010-2014 suggests that the chromium contribution from Landfill 2.1 accounted for approximately 60 % of the total chromium transport in Mobekken (ca. 80 kg of ca. 137 kg total) during the period when the contribution from Landfill 2.1 probably was greatest.

Available monitoring data from Mobekken shows that the water is so polluted that it falls under the Environmental State Class V due to high concentrations of heavy metals (including chromium) and PAH. There is reason to assume that the environmental status and the biology in Mobekken have been significantly negatively affected by the historical releases of contaminants from landfills and contaminated ground at MIP for years. Monitoring data is only available for water samples. The proposed monitoring program for MIP includes examination of biota (benthic and fish), which will provide valuable data to conduct a more thorough assessment of the environmental effects in the stream. However, it is also advisable to conduct a survey of the sediments in the stream in order to assess the implications of potential remains of historical emissions of chromium and other contaminants that may reside in the stream sediment. In particular, the area downstream MIP where the creek runs open should be carefully considered, also with regard to the risks associated with direct contact with chromium-rich dust.

Due to the large water flow in Rana river, the high chromium concentrations observed in Mobekken, probably only had very local consequences out in the water bodies of the Ranfjord, but may have contributed to elevated concentrations of heavy metals in sediments and shellfish.

1. Bakgrunn

Miljødirektoratet har pålagt Glencore Manganese Norway AS med frist 15. januar 2016 å få gjennomført en uavhengig undersøkelse/vurdering av årsaken til utslipp av seksverdig krom fra selskapets deponiområde (med særlig vekt på Deponi 2.1), hvor store disse utlippene har vært, hva utlippene er nå, behovet for tiltak, samt å vurdere mulige eventuelle helse- og miljøkonsekvenser. Pålegget ble gitt 17/9-2015 og med hjemmel i forurensningsloven § 51. Glencore Manganese Norway AS (v. kontakt Geir Ove Storheil) tok kontakt med NIVA med sikte på å få utført undersøkelsen.

NIVA fikk i oppdrag å benytte eksisterende datamateriale fremskaffet av oppdragsgiver for å gjøre en kritisk gjennomgang og miljøfaglig vurdering av følgende forhold:

1. Årsaken til utslipp av seksverdig krom fra deponiet ved Glencore Manganese Norway AS.
2. Hvilken resipient som påvirkes av utslippet.
3. Størrelsen av de historiske utslipp av seksverdig krom fra deponiet.
4. Størrelsen av det nåværende utslippet av seksverdig krom fra deponiet.
5. Behovet for og aktuelle typer av avbøtende tiltak for utslippet av seksverdig krom fra deponiet.
6. Sannsynligheten for at utslippet av seksverdig krom har medført helse- eller miljøkonsekvenser.
7. Dersom de forelagte data blir vurdert som utilstrekkelige for å avklare en eller flere av de ovenfor nevnte problemstillingene skal NIVA tydeliggjøre disse manglene og foreslå supplerende undersøkelser som kan tjene til å komplettere kunnskapsgrunnlaget.

2. Krom som miljøgift

Grunnstoffet krom (Cr) er et innskuddsmetall med atomnummer 24. Det finnes ikke på elementær form i naturen, men danner lett mineralogiske forbindelser med andre stoffer. Krom forekommer i fem ulike valenser (oksidasjonstilstander) mellom Cr^{2+} og Cr^{6+} , men det er kun treverdig og seksverdig krom (Cr(III) og Cr(VI)) som danner stabile former og som derfor er av biologisk og miljøtoksikologisk betydning. Krom utgjør en hovedbestanddel i mange fargerike kromholdige mineraler. Krom-III fins vanligst i mineralet kromitt, og den viktigste bruk av kromittmalmen som blir utvunnet i dag er fremstilling av legeringen ferrokrom (FeCr) til produksjon av rustfritt stål. Andre produktområder der krom anvendes er innenfor skinn og lær, sement, ull, maling, tetningsmidler, treimpregnering, farget glassemballasje, emaljer og lignende. Forbindelser med treverdig krom er ofte uøselig i vann. Cr(III) er lite giftig (og er nødvendig som mikronæringsstoff). Cr(VI) er derimot svært giftig, delvis på grunn av at denne formen har lettere for å passere cellemembraner og dermed komme inn i celler hos organismer. Seksverdig krom danner dessuten mange forbindelser som er løselig i vann. Det meste av Cr(VI) som forekommer i miljøet er et resultat av menneskelig aktivitet. Luft, jord, vann og sediment kan bli forurenset som følge av ulike typer industrielle aktiviteter som gruvedrift og metallsmelting. Kromforurensning av jord, overflatevann og grunnvann kan typisk oppstå gjennom utslipp av industrielt avløpsvann eller ved utvasking av løselige Cr(VI) forbindelser fra avfallsdeponier med gruveavfall eller restprodukter fra smelteverksindustrien. For en faglig oversikt over toksikologien til krom henvises det til Goyer (1991).

Krom i akvatiske økosystemer kan bioakkumulere i alger, vannplanter, virvelløse dyr og fisk. Opptak, akkumulering og effekter er avhengig av art, organisme størrelse, kjønn og utviklingsstadiet, samt av tilstedeværelse av andre forurensninger, vanntemperatur, pH, alkalitet og saltholdighet. Studier har vist at Cr(VI) kan gi miljøtoksiske effekter ved svært lave konsentrasjoner (mikrogram per liter området). Observerte effekter inkluderer redusert vekst og fotosyntese i alger og vannplanter, økt dødelighet, atferdsendringer og redusert vekst, svekket reproduksjon hos evertebrater, og svekket reproduksjon, DNA-skade og redusert overlevelse hos fisk.

Miljøeffekter av kromforurensning på naturlige populasjoner av landdyr er lite undersøkt. Undersøkelser om effekten av krom på landlevende dyr er hovedsakelig basert på toksikologiske tester gjort i laboratoriet på mus og rotter. Effekter observert på dyr i eksperimentelle doser gjennom mat, vann eller injeksjon er kreft, reproduksjonsskader, atferdsendringer og redusert vekst og overlevelse.

3. Beskrivelse av Deponi 2.1

3.1 Historikk og utforming av Deponi 2.1

Landdeponiet Deponi 2.1 ligger innenfor industriområdet som i dag heter Mo Industripark (MIP). MIP-området har en lang og kompleks industrihistorie og er spesielt sterkt preget av gruvedrift og smelteverksindustrielle aktiviteter.

I perioden fra 1955 til 1988 drev det statseide A/S Norsk Jernverk produksjon av råjern og stål i Mo i Rana. I 1988 ble smelteverksvirksomheten besluttet privatisert og bygd om til produksjon av ferrolegeringer (ferrosilisium), og driften ble videreført av ulike industrielle aktører: Rana Metall (senere Fesil Rana Metall) (fra 1989), Elkem (fra 1990), Brasilianske CVRD (senere Vale) (fra 2003) med omlegging til produksjon av manganlegeringer under navnet Rio Doce Manganese Norway og senere Vale Manganese Norway (fra 2009), før produksjonen i 2012 ble overtatt og videreført av dagens eiere Glencore Manganese Norway AS. Like i nærheten fins dessuten den gamle gruen i Mofjellet, som var i drift frem til 1987 og hvor Miljøteknikk Terrateam AS driver sin virksomhet i dag.

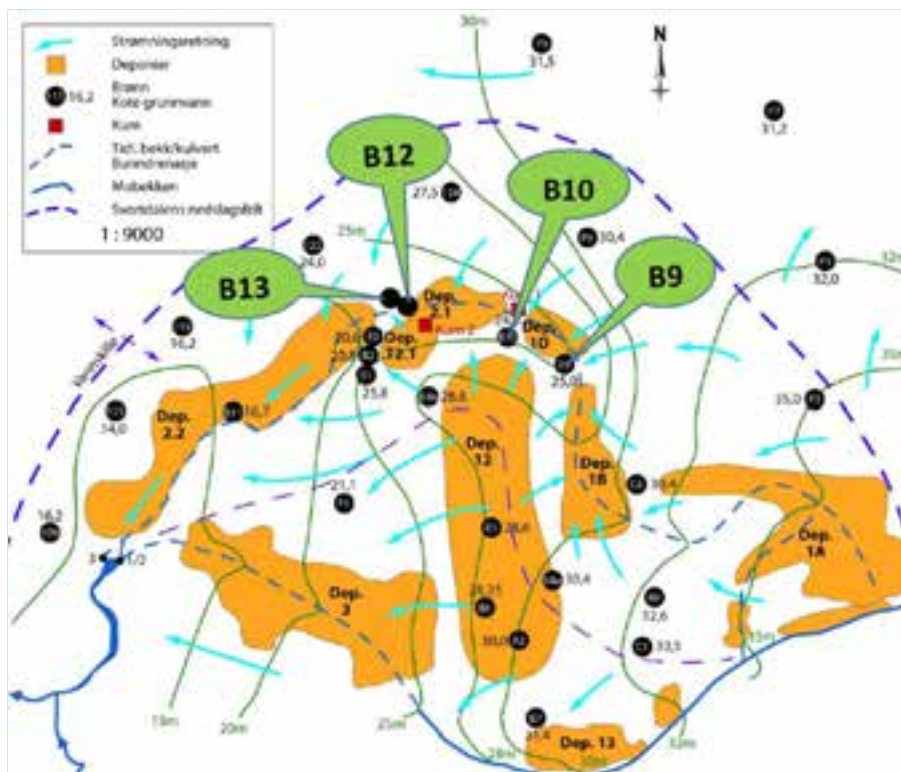
Området hvor Jernverket i Mo ble anlagt var opprinnelig avskåret av to ravinedaler; Svortdalen i nordvest og sentralt i området, og Møldalen i sørvest. Disse ravinedalene har gjennom årene blitt fylt igjen av en rekke store deponier for masser og restprodukter fra jernverksdriften og andre industrielle aktiviteter. Flere av disse er kategorisert som deponier for farlig avfall. En oversikt over plasseringen til deponiene i området Svortdalen/Møldalen, deriblant Deponi 2.1, er vist i **Figur 1-3**. En vurdering av forurensningssituasjonen ved disse deponiene og behovet for tiltak ble utført av Rambøll i 2005 (Grini 2005). Både den undersøkelsen og andre miljøundersøkelser som er utført ved MIP har påvist at MIP deponiene har vært en betydelig forurensningskilde for områdene nedstrøms, spesielt for ulike tungmetaller og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), og at denne tilførselen i store grad har skjedd via Mobekken. Denne bekken drenerer fjellsiden til Mofjellet og bekkens opprinnelige løp gikk gjennom Svortdalen. Bekkeløpet er gjennom årene blitt kraftig omlagt slik at bekken nå følger fjellsiden i ytterkant av MIP før den til slutt løper ut i Ranfjorden. Undersøkelser i området har vist at grunnvannet i området Svortdalen og Møldalen i hovedsak følger de gamle dalene mot vest, og at avrenning og sigevann fra deponiene i området Svortdalen/Møldalen ender i Mobekken. Mobekken mottar også avrenning fra andre deponier og forurensede arealer i området, samt pumpevann fra Mofjellet Berghaller. Undersøkelser har vist at vannet i Mobekken har vært preget av høye pH-verdier og et relativt høyt innhold av ulike forurensningsstoffer, primært ulike metaller (inkludert krom) og PAH (Grønning 2014).



Figur 1. Oversiktskart over Mo Industripark med Deponi 2.1 markert med rød ring. (Holmström, 2012 #1)



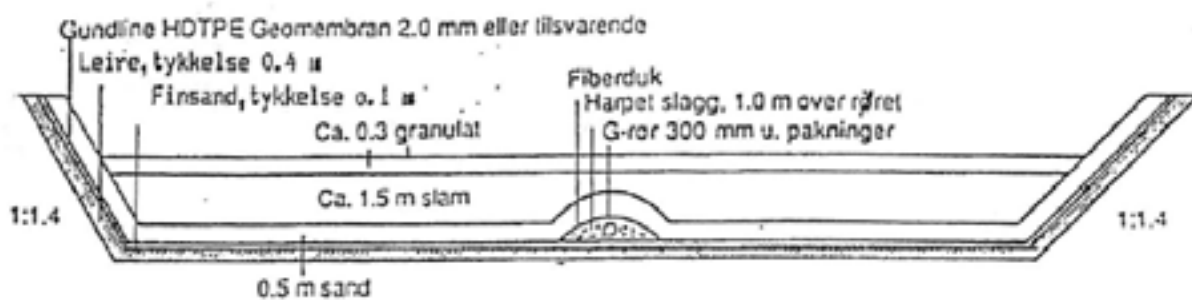
Figur 2. Oversiktsbilde som viser deponiområdet ved MIP i 2010, forut for tildekkningen av Deponi 2.1. Kilde: Glencore Manganese Norway.



Figur 3. Kart som viser lokaliseringen av de ulike deponiene i Svortdalen, samt sigevannskummer og grunnvannsbrønner (f.eks. B9, B10, B12 og B13) som benyttes for overvåking av utlekkingen fra deponiområdet. (Holmström, 2012 #1)

Deponi 2.1 ligger i det opprinnelige ravineområdet i Svortdalen, delvis over en nedplanert løsmasserygg og delvis over oppfylt (antatt) stålslag. Deponiet ble etablert i 1989 med dobbel bunntetting bestående av en 2 mm HDPE-membran over 0,4-0,5 m leire. Over membranen ble det etablert et drencsystem for kontrollert sigevannsoppsamling bestående av 300 mm drencrør i et 0,5 m tykt lag av drenerende masser (se **Figur 4**). Bunnen av deponiet ligger omtrent på kote +21-22, og deponiet ble bygget på i tre byggetrinn med oppføring av ny membran opp til ferdig reguleringsnivå på ca. kote +35 i 2002. I 2006 ble bunntettingen forlenget rundt hele deponiet. I tillegg til de drenerende massene i bunn av deponiet skal det etter sigende være lagt ut slag langs sidene for å øke den drenerende evnen ned til bunnen av deponiet. 3-4 m under bunntettingen på kote +17-18 ligger det en 600 mm dreneringsledning for Grunnvann. Målinger i kum 2 i januar 2005 rett nedstrøms (vest for) deponiet viste at grunnvannsnivå der da stod på omkring kote +19, og altså flere meter under deponiets bunn. Grunnvannstandsmålinger i brønn B10 utenfor deponiet viste betydelig høyere grunnvannstand (kote +24) enn dreneringsledningen, noe som tilsier høye grunnvannsgardienter ned mot deponiet med muligheter for grunnvannstrykk langs deponiets sider i nord og sør (Holmström et al. 2012), men det er lite trolig at grunnvannstanden står over membranen noen steder ved deponiet (Grini 2005).

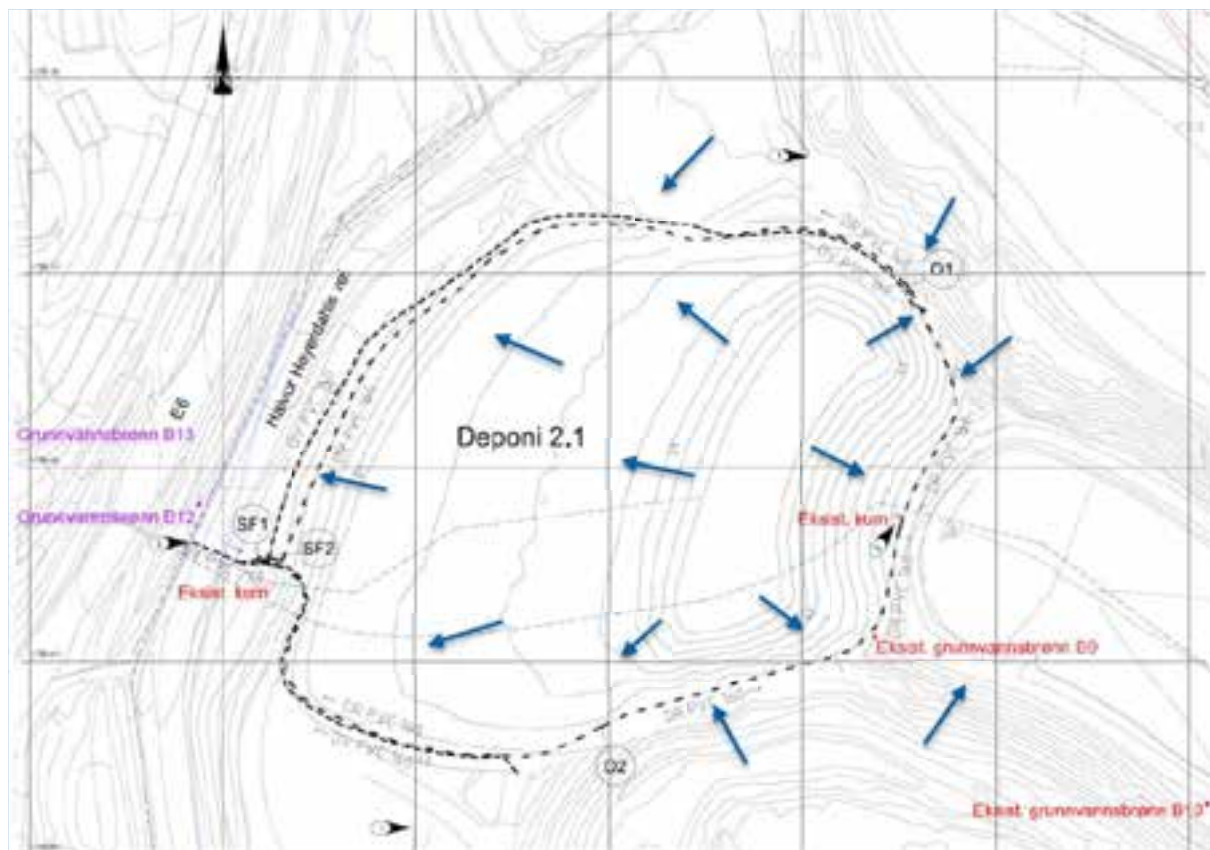
Deponeringen i Deponi 2.1 ble avsluttet i slutten av 2011. I 2013 og 2014 ble det kjørt inn stabiliserende slag-masser, og fra juni 2014 og fram til juni 2015 ble deponiet tildekket med doble membraner av HDPE og bentonitt med et beskyttende 0,3 m lag med sand over og under, etterfulgt av ulike lag for å sikre god drenering og et øvre vekstsjikt (se **Figur 5**). Med unntak av det øvre vekstsjiktet, var tildekkingen ferdig i november 2014. For en nærmere beskrivelse, se (Holmström et al. 2012). De doble membranene i toppen er sveiset sammen med bunnmembranene i ytterkanten av deponiet. Drenering gjennom topplaget samles i en dreneringsledning som ligger rundt hele deponiet, mens overvann som umiddelbart renner av deponioverflaten samles i en egen overvannsledning (se **Figur 6**).



Figur 4. Lengdesnitt som viser prinsippene for deponiets oppbygging (fra(Holmström, 2012 #1))



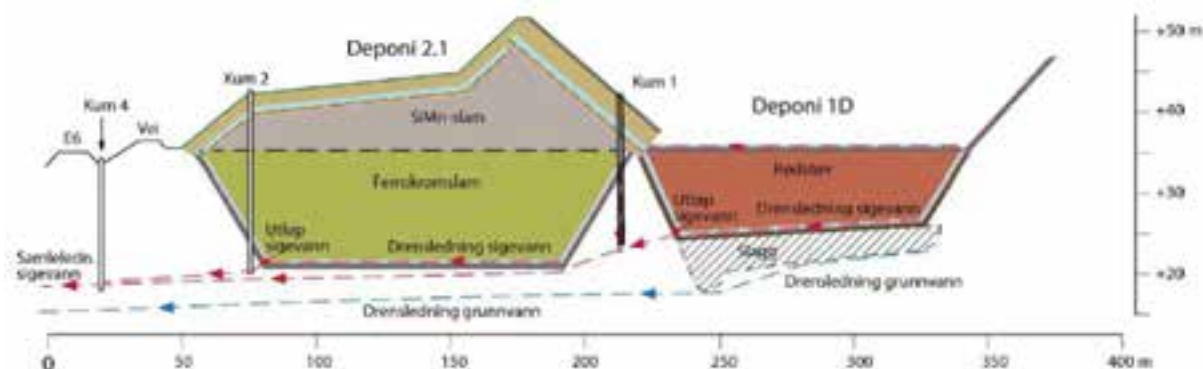
Figur 5. Bilde som viser hvordan terrengoverflaten til Deponi 2.1 fremtrer i dag etter at det impermeable toppdekket er lagt på og beplantet. Kilde: Glencore Manganese Norway.



Figur 6. Geografisk plassering og utstrekning av Deponi 2.1 med drens- og overvannsledninger. De blå pilene viser antatt dreneringsretning innenfor det avsluttede deponiet og grunnvannets antatte fallretning utenfor deponiet. Omarbeidet figur fra Storheil (2014). Original kartskisse utarbeidet av Norconsult.

3.2 Karakterisering av deponerte masser i Deponi 2.1

Deponi 2.1 ble tatt i bruk fra oktober 1989 for deponering av renseslam fra ferrokrom (FeCr)-produksjon. Da FeCr-deponeringen ble avsluttet i 2002 lå det 64.000 tonn FeCr-slam og 12.000 tonn FeCr-slagg i deponiet. Det foreligger ikke noen nærmere beskrivelse eller gjennomførte analyser av dette avfallet. Fra 2003 ble deponiet tatt i bruk av Rio Doce Manganese Norway AS (RDMN AS) for deponering av ca. 10.000 m³ SiMn-avfall per år (omtrent likt fordelt mellom slam, slagg og støv) over det tidligere deponerte Fe-Cr-avfallet. Se **Figur 7**. SiMn-slammet ble prøvetatt og kjemisk karakterisert i 2003, 2004, 2008, 2010 og 2011. Dette er et alkalisk finpartikulært (40 % < 2 µm; dvs. leire) røykslam fra smelteprosessen som felles ut med sulfat (Na₂SO₄). Slammet har god bufferkapasitet ((Holmström, 2012 #1), Vedlegg C). Resultatene for utvalgte komponenter er vist i **Tabell 1**.



Figur 7. Lengdesnitt gjennom deponiene 2.1 og 1D. Deponi 1D ligger oppstrøms Deponi 2.1. Plasseringen av overvåkningskummene 1, 2 og 4 og videre bortledning er også vist. (Holmstrøm 2015)

Tabell 1. Kjemisk karakterisering av SiMn-slam før deponering i Deponi 2.1. 2011a viser til vanlig SiMn-slam, mens 2011b viser til slam etter rengjøringsrutine av rensanlegget knyttet til RDMN sitt anlegg. Konsentrasjonsgrenser for farlig avfall er oppgitt i egen kolonne (fra (Holmstrøm, 2012 #1)).

| Parameter | Enhet | 2003* | 2004 | 2008 | 2010 | 2011a | 2011b | Farlig avfallsgrense |
|-----------|-------|-------|-------|------|---------|---------|---------|---|
| Cr | mg/kg | 200 | 23 | 5,79 | 12,6 | 33,2 | 33,2 | 1 000 (Cr ⁶⁺), 25 000 (Cr ³⁺) |
| Mn | mg/kg | - | - | - | 270 000 | 208 000 | 277 000 | - |
| PAH16 | mg/kg | 2 808 | 2 059 | - | - | 1 400 | 462 | 2 500 |
| TOC | % | - | - | - | 5 | - | - | 5 % for ordinært avfall |

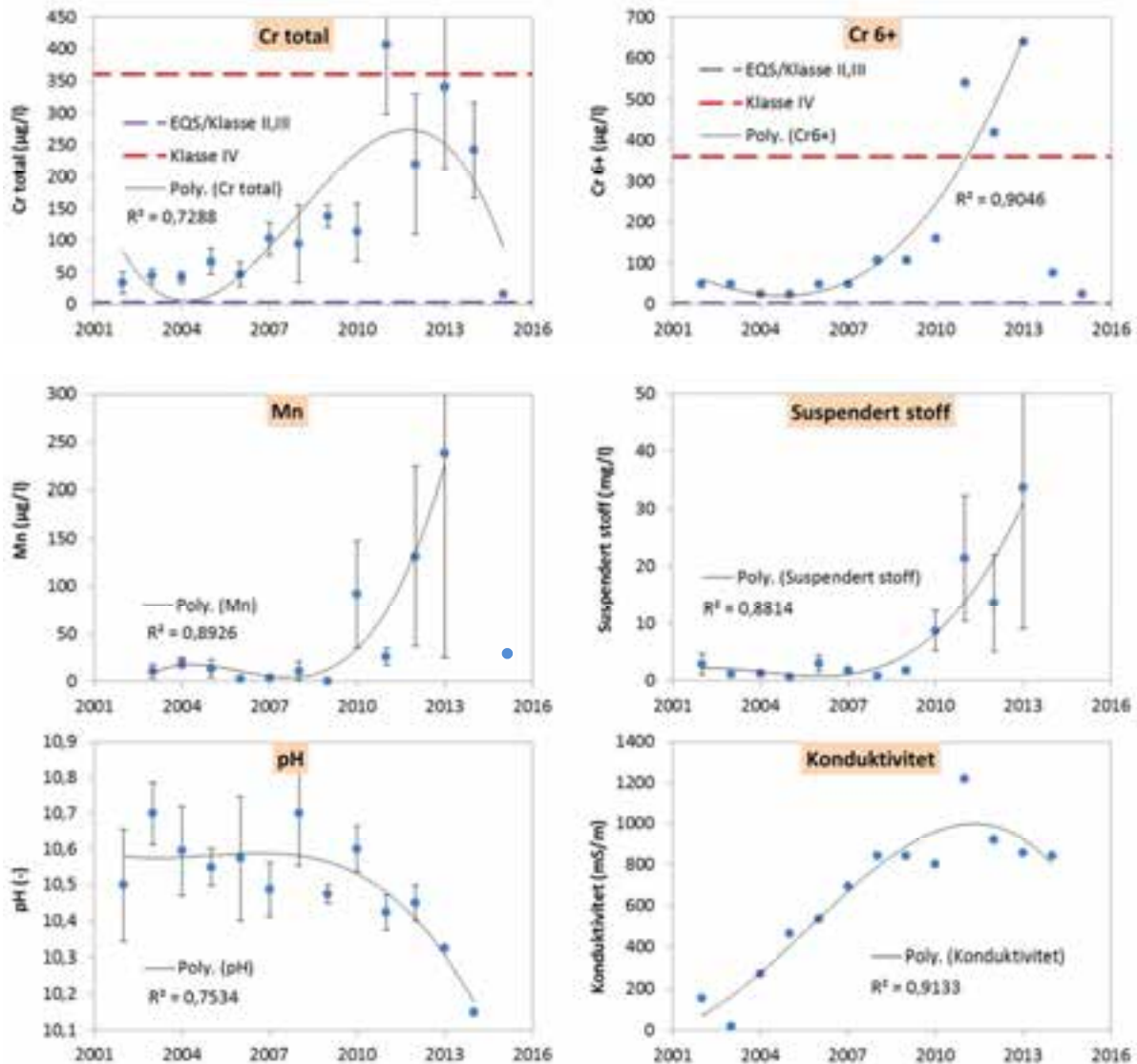
* Analyser av SiMn-slam brukt i utlekkingsstester i 2003 viste at innholdet av MnO var 13,9 %, SiO₂ 40,4 %, CaO 15,6 %, Al₂O₃ 26,2 % og MgO 4,77 %. Cr-konsentrasjonen i slammene var da 1050 mg/kg.

4. Avrenning fra Deponi 2.1

4.1 Karakterisering av sigevann fra Deponi 2.1

Det er plassert en rekke grunnvannsbrønner og sigevannskummer i deponiområdet for å kunne overvåke avrenningen fra de ulike deponiene (Figur 3). Kum 2 samler sigevann fra Deponi 2.1. Kum 1 samler sigevann fra deponi 1D, som ligger oppstrøms Deponi 2.1 og leder dette under Deponi 2.1, slik at det i utgangspunktet ikke skal påvirke sigevannet i kum 2 (se Figur 7). Sigevannet fra både kum 1 og kum 2 føres i lukket ledning til kum 4 og videre til kum 16 før utslipp til Mobekken. Med avslutningen og tildekkingen av Deponi 2.1 fra 2014/15 vil også dreneringsvann fra topplaget i de østligste delene av Deponi 2.1 ledes til kum 1. Deponi 1D ble avsluttet i 1998 og ble da sikret med toppdekke av mikrosilica, men er planlagt for etablering av ny deponering av SiMn-slam.

Figur 8 oppsummerer årlige gjennomsnittsverdier for utvalgte parametere målt på prøver fra kum 2 i perioden 2001-2014. Gjennomsnittsverdiene for Cr total er basert på kvartalsvise målinger, mens Cr⁶⁺ kun er målt én gang per år. Samtidig viser en sammenligning av måleverdiene for Cr total og Cr⁶⁺ i de samme prøvene at Cr⁶⁺ utgjør hovedtyngden av Cr total i prøvene (se Figur 9). Dette er også ventet, da løseligheten av Cr³⁺ er svært lav i det basiske pH-området. Dataene for Cr total og Cr⁶⁺ viser at EQS-verdiene på 3,4 µg/l for krom i ferskvann (lik for Cr total og Cr⁶⁺ og lik for årlig snitt [EQS-AA] og maksimal konsentrasjon [EQS-MAC]) er oversteget gjennom hele perioden (Figur 8).

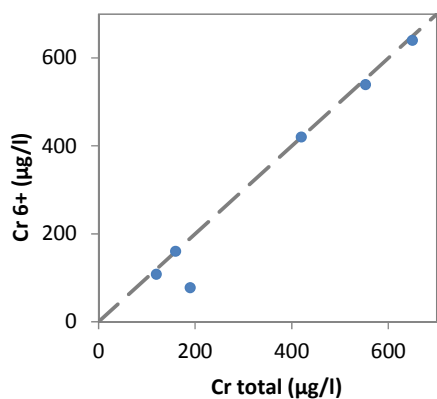


Figur 8. Analysedata på prøver fra kum 2 benyttet for overvåking av Deponi 2.1. Hvert målepunkt for Cr total, Mn, suspendert stoff og pH er årlige gjennomsnittsverdier av kvartalsvis prøver (kun 2 prøver i 2015), mens hvert målepunkt for Cr 6+ og konduktivitet viser resultatet fra én årlig prøve. For Cr 6+ så er verdiene under deteksjonsgrense for målemetoden i perioden 2002-2008. Gjennomsnittskonsentrasjonen av Mn i 2014 er utelatt fra figuren, men ble beregnet til å være 1650 µg/l. Tilsvarende så ble gjennomsnittskonsentrasjonen av Suspendert stoff i 2014 utelatt fra figuren, men ble beregnet til å være 588 mg/l. Feilbarrene angir usikkerheten i de årlige gjennomsnittsverdiene ($U = SD/N^{0,5}$; der SD er standardavviket til gjennomsnittet og N er antall målinger). Rådata er vist i **Vedlegg A**.

Mot slutten av perioden har også grenseverdien på 360 µg/l for tilstandsklasse IV (dårlig) blitt overskredet. Dataene antyder en klar og signifikant ($p = 0,0006-0,014$) økning i krom-utslippene gjennom perioden, og at det kan ha skjedd en endring i lekkasjeraten fra ca. 2007-2008. En sammenligning med analyseverdiene for Mn, suspendert stoff (SS), pH og konduktivitet i samme periode underbygger at utslippene fra Deponi 2.1 har endret seg gjennom perioden. Avrenningen av både Mn og SS har økt betydelig siden 2010 og økte fortsatt til ca. et halvt år etter tildekkingen av deponiet var avsluttet i november 2014. Selve arbeidet med tildekkingen kan i betydelig grad ha påvirket både sigevannsmengdene og konsentrasjonene av Cr i sigevannet. I den sist analyserte prøven i 2014 (4. kvartal) var konsentrasjonen av Mn hele 5700 µg/l og SS hele 2240 mg/l! Fra omtrent juni-juli 2015 og fram til september-oktober

2015 har sigevannsmengdene avtatt fra ca. 5-7 m³/time til <0,003 m³/time (ca. 99,95 % reduksjon) og var ikke registrerbar ved siste måling i november 2015 (se også **Figur 13**).

Økningen i Mn og SS fra 2010 ser ut til å være sammenfallende med en reduksjon i sigevannets pH, mens konduktiviteten (mål på vannets ledningsevne og innhold av løste salter) har økt relativt jevnt siden 2004. Det er nærliggende å anta at disse endringene har noe å gjøre med bruksendringene deponiet har vært gjennom. Det foreligger veldig begrenset med data fra perioden da deponiet ble brukt til deponering av FeCr-avfall (fram til 2002); to prøver fra kum 2 i juni 1996 og i juni 1997 viste Cr total-verdier på hhv. 120 µg/l og 14 µg/l, som ligger innenfor konsentrasjonsområdet som ble funnet for prøvene fram til 2010. Fra 2003 har det vært deponert SiMn-avfall i Deponi 2.1. Utlekkingsforsøk som er gjort med SiMn-slammet før deponering viser at avfallet lekker ut betydelige mengder salter (bl.a. klorider, fluorider og sulfat) (se **Boks 1** og **Tabell 2-4** her), noe som naturlig nok vil påvirke konduktiviteten i sigevannet. Selv om SiMn-slammet inneholder noe Cr (se **Tabell 2 i Boks 1**), var utlekkingen av Cr relativt begrenset i disse forsøkene. Men utlekkingen av løst organisk karbon (DOC) og Mn var betydelig. Betydningen av dette kommer vi tilbake til senere. Den sterke pH-avhengigheten til utlekkingen av Mn (se **Tabell 4 i Boks 1**) er spesielt interessant sett i lys av den observerte reduksjonen i pH i sigevannet fra Deponi 2.1 fra 2010 og den samtidige økningen i konsentrasjonen av Mn og Cr total/Cr 6+ (se **Figur 8**).



Figur 9. Forholdet mellom total krom (Cr total) og seksverdig krom (Cr 6+) i samme prøver hentet fra kum 2 i perioden 2009-2014. Mulig forklaring på avvikende prøve er gitt i avsnitt 3.1 under punkt 3.

Boks 1. Utlekkingstester med SiMn-slam.

Det er blitt gjennomført utlekkingsstester på SiMn-slammet før deponering i Deponi 2.1. Resultatene fra disse er oppsummert i **Tabell 2-4**. Generelt er utlekkingen lav fra slammet, og med unntak for fluorid (F⁻) og selen (ikke vist) stort sett innenfor grenseverdiene for farlig avfall satt i avfallsforskriften. Men det er verdt å bemerke at det skjer en viss utlekkning av mangan (Mn). Denne utlekkingen øker dramatisk med redusert pH (se **Tabell 4**), men SiMn-slammet har høy bufferkapasitet samtidig som dreneringsvannet i kum 2 er sterkt basisk (se pH i **Figur 4**).

Tabell 2. Resultater fra ristetester (L/S=10) på SiMn-slam ((Holmström, 2012 #1), vedlegg C).

| Parameter | Enhet | Utlekkingsdata | | | Grenser i avfallsforskriften | | |
|-----------|-------|----------------|--------|--------|------------------------------|--|---------------|
| | | 2004 | 2011a | 2011b | Inert avfall | Farlig avfall som kan deponeres sammen med farlig avfall | Farlig avfall |
| Cr | mg/kg | 0,0032 | <0,005 | <0,005 | 0,5 | 10 | 70 |
| Mn | mg/kg | 0,0005 | 0,328 | 0,83 | - | - | - |
| DOC | mg/kg | - | 100 | 306 | 500 | 800 | 1 000 |

Tabell 3. Resultater fra kolonnetester³ (L/S=0,1) på SiMn-slam ((Holmström, 2012 #1), vedlegg C).

| Parameter | Enhet | Utlekkingsdata | | | Grenser i avfallsforskriften | | |
|-----------------|-------|----------------|--------|--------|------------------------------|--|---------------|
| | | 2010 | 2011a | 2011b | Inert avfall | Farlig avfall som kan deponeres sammen med farlig avfall | Farlig avfall |
| Cr | mg/l | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,1 | 2,5 | 15 |
| Mn | mg/l | 0,000024 | 0,0085 | 0,013 | - | - | - |
| DOC | mg/l | 233 | 112 | 133 | 160 | 250 | 320 |
| SO ₄ | mg/l | 860 | 596 | 236 | 1500 | 7 000 | 17 000 |
| Cl ⁻ | mg/l | 222 | 451 | 798 | 460 | 8 500 | 15 000 |
| F ⁻ | mg/l | 116 | 164 | 88 | 2,5 | 40 | 120 |
| pH | - | - | 11,7 | 12,2 | - | >6 | - |

Tabell 4. Resultater fra utlekkingsstest ved ulike pH⁴ (L/S=10) på SiMn-slam ((Holmström, 2012 #1), vedlegg C).

| Parameter | Enhet | Utlekkingsdata | | |
|-----------------|----------|----------------|-------|--------|
| | | pH 4,7 | pH 7 | pH 9,6 |
| Cr | mg/kg ts | <2 | <0,05 | 0,014 |
| Mn | mg/kg ts | 126 000 | 4 400 | 14,6 |
| DOC | mg/kg ts | 451 | 290 | 476 |
| SO ₄ | mg/kg ts | 7 110 | 6 590 | 6 570 |
| Cl ⁻ | mg/kg ts | 730 | 690 | 457 |
| F ⁻ | mg/kg ts | 64 | 62,2 | 103 |

Utført i henhold til NS-EN 12457 Utlekking-samsvarsprøve av utlekkning av granulært anfallsmateriale og slam. Eluat analysert etter risting i 24 timer.

² Forholdet mellom væske (Liquid) og tørrstoff (Solids) i testen var 10, dvs. 10 liter vann per kilo faststoff. Et slikt forhold mellom væske og tørrstoff er antatt å tilsvare ca. 500 års utlekkning ((Holmström, 2012 #1), vedlegg C).

³ Utført i henhold til CEN 14 405 Up-flow percolation test. Analyse av eluat når en vannmengde tilsvarende L/S 0,1 har blitt pumpet gjennom kolonnen med SiMn-slammet.

⁴ Testet i henhold til SIS-CEN/TS 14997 Påvirkning av pH på utlekkning med kontinuerlig pH-kontroll. Eluat analysert etter omrøring i 48 timer.

4.2 Historiske utslipp av seksverdig krom fra Deponi 2.1

Estimatene av den årvisse avrenning av Cr^{6+} fra Deponi 2.1 (se **Figur 10**) er basert på måleverdiene av total Cr i de kvartalsvise prøvene tatt i kum 2 og sigevannmengdene som har passert gjennom denne kummen i samme periode;

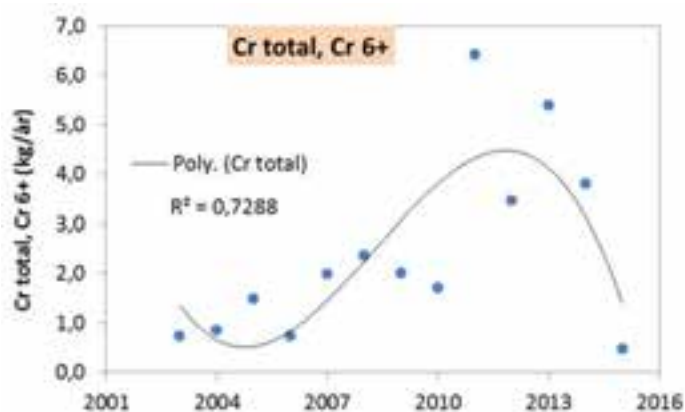
$$\text{Årsavrenning Cr} = Q_{kv1} \cdot C_{Cr,total,kv1} + Q_{kv2} \cdot C_{Cr,total,kv2} + Q_{kv3} \cdot C_{Cr,total,kv3} + Q_{kv4} \cdot C_{Cr,total,kv4}$$

, der Q_{kv1} er volumavrenningen i 1. kvartal og $C_{Cr,total,kv1}$ er konsentrasjonen av Cr total i prøven fra 1. kvartal.

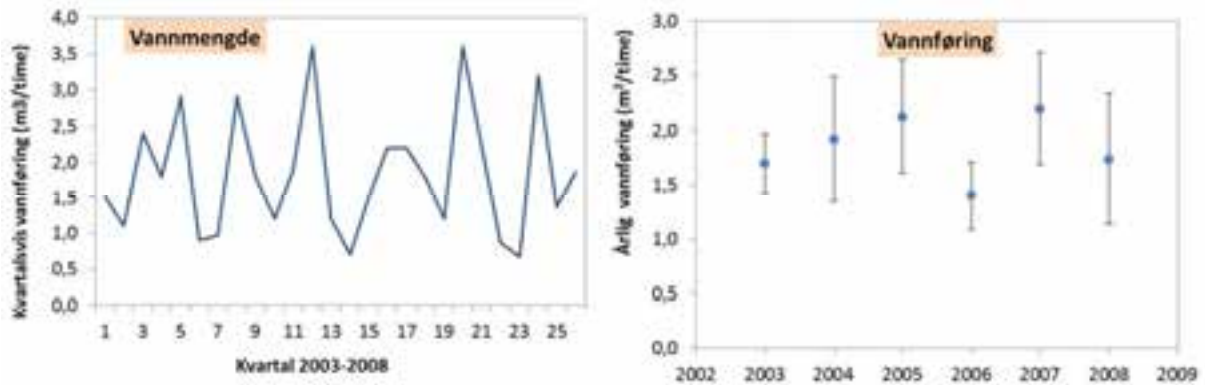
På grunnlag av den sterke sammenheng mellom målt total Cr og Cr^{6+} , kan man anta at $\text{Cr total} = \text{Cr}^{6+}$. Ut fra disse beregningene har **det estimerte utslippet av Cr^{6+} vært på 0,7-6,4 kg/år i perioden 2005-2014 og det samlede utslippet har vært 28,5 kg.**

Fra andre kvartal i 2003 og fram til og med andre kvartal i 2009 ble vannmengdene målt i kummen. Målingene ble utført ved at teknikeren, som gikk ned i Kum 2 for å ta prøver, beregnet strømmingen ut fra tiden det tok å fylle en bøtte med kjent volum. Med kun 4 målinger i året gir det et relativt usikkert estimat for faktiske sigevannvolumer. Vannmengdene har variert betydelig gjennom hele denne perioden (0,7-3,6 m^3/time), som vist i **Figur 11** for de kvartalsvise målingene og de årgjennomsnittlige beregnede vannmengdene med angitt usikkerhet i snittet. Det er således interessant at det ser ut til å være en rimelig god lineær positiv korrelasjon mellom målt vannmengde og konsentrasjon av total-krom, i hvert fall opp til vannmengder opp til drøyt 2 m^3/time , som vist i **Figur 12**. Dessverre har vi ikke datoer for vannmengdemålingene, dermed har det ikke vært mulig å vurdere eventuell påvirkning av nedbør og snøsmelting på vannmengdene i denne perioden. Fra og med tredje kvartal 2009 og fram til fjerde kvartal 2014 har vannmengdene blitt satt lik snittet av de årlige gjennomsnittlige vannmengdene i perioden 2006-2008 (1,8 m^3/time). Dette samsvarer også godt med snittet for hele perioden 2003-2008 (1,85 m^3/time).

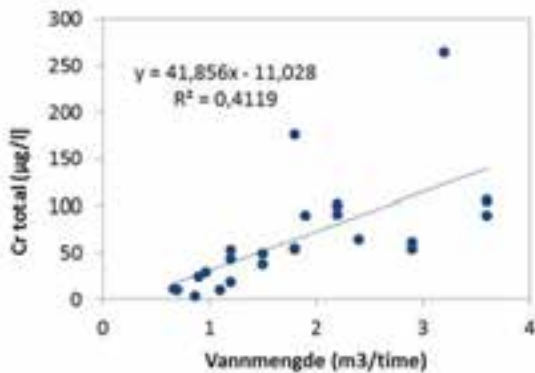
I perioden fra april til november 2015 har igjen sigevannsmengdene i kum 2 blitt bestemt, nå ved hjelp av elektronisk utstyr (Portable level-velocity logger, fabrikat Stingray, Grayline instruments inc.) for måling av vannmengde, vannhøyde og temperatur. Sigevannsmengdene ble målt i seks perioder og er vist i **Figur 13** sammen med nedbøren og snødybden i de samme periodene. Selv om deponiet hadde vært tildekket siden november 2014 (med unntak av det øverste organiske laget, som kom på plass i juni 2015), holdt sigevannsmengdene seg stabile og høye, tilsynelatende uavhengig av korttidsnedbørshendelser fram til sommeren 2015, hvoretter de har blitt redusert betydelig og i dag ser ut til å være tilnærmet fraværende. Dette indikerer at den helt dominerende vannmengden inn til kum 2 har passert gjennom de deponerte massene, og at gjennomstrømningshastigheten er svært langsom.



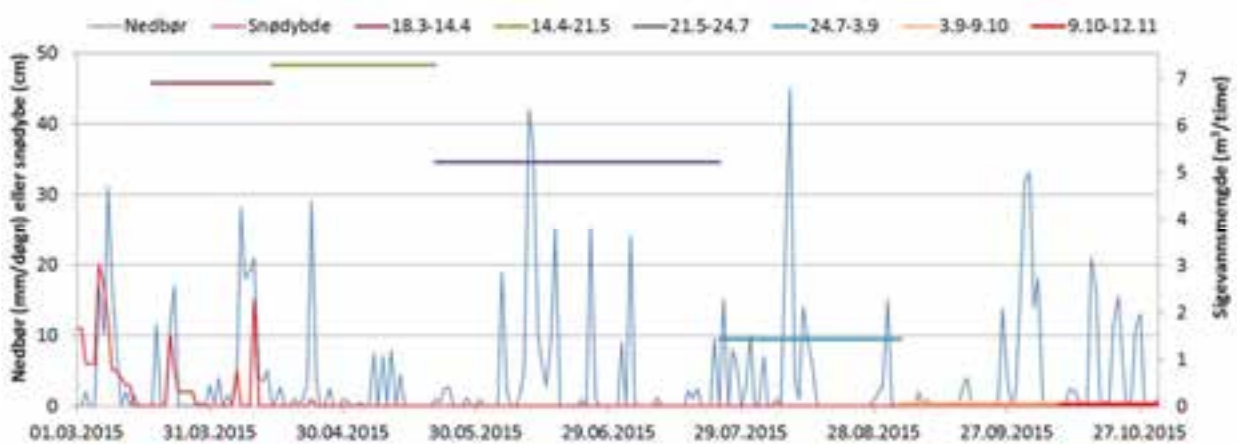
Figur 10. Estimert årlig avrenning av krom (Cr total , Cr^{6+}) fra Deponi 2.1 i perioden 2003-2015.



Figur 11. Kvartalsvis vannføring målt i kum 2 i perioden 2003 til 2008 når vannmengden gjennom kum 2 ble målt (venstre delfigur) og beregnet årlig gjennomsnittsvannføring basert på de samme måledataene. Feilbarrene angir usikkerheten i årgjennomsnittet beregnet ut fra formelen $STD / (\# \text{ målinger})^{0,5}$, der STD er standardavviket for målingene.

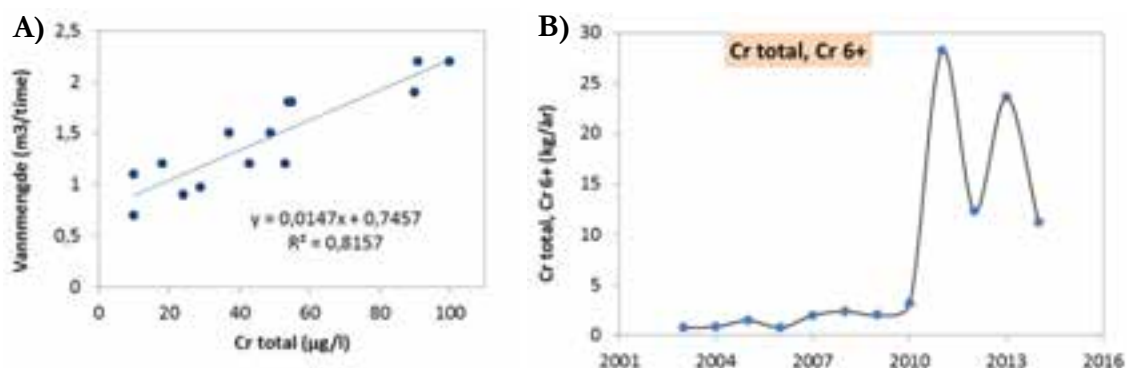


Figur 12. Sammenhengen mellom målt vannmengde i kum 2 og konsentrasjon av total-krom i prøver tatt samtidig.



Figur 13. Nedbør og snødybde målt ved meteorologisk institutts målestasjon Mo i Rana III i perioden 2005-2015 (Kilde: eklima.no), samt vannmengdemålinger i kum 2 i samme periode.

Vannmengdene våren 2015 var vesentlig høyere enn de som ble målt i perioden 2003-2008; 5,2-7,2 m³/time mot 1,9 m³/time. Sannsynligvis skyldes disse økte sigevannsmengdene arbeidet med tildekkingen, da det ble tilkjørt ca. 50.000 tonn stabiliserende slagmasser i tillegg til mye anleggstrafikk i deponiet. Dette arbeidet ble startet i 2013, men det er uvisst hvilken effekt dette har hatt på sigevannsmengdene i denne perioden siden det ikke foreligger vannmengdemålinger i perioden fra tredje kvartal 2009 og fram til 2015. Det var også i denne perioden man så en betydelig økning i utvaskingen av blant annet krom. I de to første prøvene fra 2015 var konsentrasjonen av Cr total relativt lav igjen, sammenlignet med perioden før tildekking. Men hvis det antas at det faktisk har vært en sammenheng mellom vannmengden og Cr-konsentrasjonen i sigevannet i perioden fra 2010 til og med 2014, blir det estimerte samlede utslippet av Cr⁶⁺ i denne perioden 78,5 kg (3,2-28,2 kg/år) (se **Figur 14 B**). Da er først vannmengden gjennom deponiet beregnet ut fra korrelasjonen mellom vannmengde ≤2,2 m³/time og Cr total (=Cr⁶⁺) vist i **Figur 14 A**, og så er denne vannmengden og den målte konsentrasjonen av Cr total blitt brukt til å beregne det samlede utslippet av Cr⁶⁺. Dette må anses som et meget usikkert estimat, men sannsynligvis nærmere det faktiske utslippet enn estimatet basert på den midlere vannmengden i perioden 2006-2008, som var på 20,8 kg (1,7-6,4 kg/år).



Figur 14. A) Forholdet mellom målte vannmengder ≤2,2 m³/time i kum 2 og samtidige konsentrasjoner av totalkrom i sigevann fra kummen i perioden 2003-2007. Det er utelatt én ekstremverdi fra 2007. **B)** Estimert utslipp av krom fra Deponi 2.1 i perioden 2003-2014 etter å ha justert utslippet for perioden 2010-2014 i hht. forholdet mellom krom total og vannmengde vist i A).

4.3 Utslipp av seksverdig krom fra Deponi 2.1 etter tildekking

NGI har estimert at avrenning fra Deponi 2.1 etter tildekking skulle være ca. 0,3 % av gjennomsnittsavrenningen i perioden 1996-2010, noe som skulle tilsa en avrenning på 0,0053 m³/time (Holmström et al. 2012). Glencore AS fikk i april 2015 montert et elektronisk utstyr (Portable level-velocity logger, fabrikat Stingray, Grayline instruments inc.) for måling av vannmengde, vannhøyde og temperatur. Resultatene av vannmengde målinger er gjengitt i **Tabell 2**. Tabellen viser høyere vannmengdemålinger enn antatt for perioden 2009-2014, men målinger fra september og oktober viser at det har skjedd en betydelig nedgang. Dette indikerer at toppdekket nå er tett og at avrenningen gjennom de deponerte massene i deponiet nå i all hovedsak har stoppet opp. Sigevannsprøver tatt 24. juli og 9. oktober 2015, viser at totalkrom-nivåene da var redusert til henholdsvis 0,018 og 0,013 mg/l. Fra mai 2015 til oktober 2015 var sigevannmengden redusert fra ca. 7000 l/h til ca. 3 l/h eller med ca. 99,96 %. Det tilsvarende årlige kromutslippet (se **Tabell 2**) var da redusert til ca. 0,3 g, eller 0,0012-0,010 % av de estimerte årlige utslippene for perioden 2005-2014.

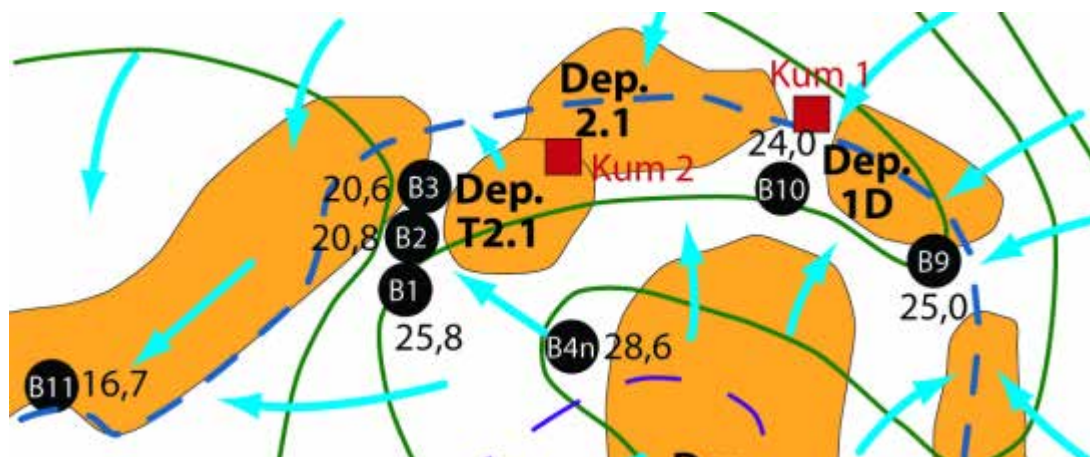
Tabell 2. Målte kromkonsentrasjoner og sigevannmengder fra Deponi 2.1 i Kum 2 i 2015.

| Dato | Avlest dato | | | | | |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 14.04.2015 | 21.05.2015 | 24.07.2015 | 03.09.2015 | 09.10.2015 | 12.11.2015 |
| Sigevann l/h | 6848 | 7239 | 5175 | 1386 | 2,92 | 0* |
| Krom kg/år | - | - | 0,82 | - | 0,0003 | - |

*Siste avlesning indikerte at sigevannsvolumet var tilnærmet null.

4.4 Andre kilder til kromutslipp fra deponiområdet

Det foreligger begrenset med data for å gjøre en grundig vurdering av de ulike mulige kildene til krom, men deponi 1D virker å være den viktigste kilden til krom utover Deponi 2.1. Deponi 1D ligger oppstrøms Deponi 2.1 (se **Figur 7** og **Figur 15**). Sigevann fra deponi 1D og Deponi 2.1 samles i kum 4 og føres så til kum 16 før det slippes ut i Mobekken. I perioden 1999-2003 var den gjennomsnittlige Cr total-konsentrasjonen i avrenningen fra deponi 1D (prøver fra kum 1) på hele 720 µg/l med en pH på 12,4. I samme periode var Cr total-konsentrasjonen i avrenningen fra Deponi 2.1 i området 10-83 µg/l (se **Vedlegg A**). I kum 16 ble det i 1997 funnet 213 µg Cr total/l (pH 12,3). Juni-prøven samme år fra Deponi 2.1 var på 14 µg/l. Avrenningsvolumet fra deponi 1D (ca. 20 m³/døgn) var estimert til å være omtrent halvparten av volumavrenningen fra Deponi 2.1 (ca. 40 m³/døgn). Denne avrenningen fra deponi 1D skjedde etter at deponiet ble avsluttet og tildekket i 1998. I rapporten til (Grønning 2014) ble det for 2013 rapportert et årlig Cr-utslipp på 1,3 kg/år, som gitt et årlig vannvolum på 6000 m³, tilsvarer 220 µg Cr/l.



Figur 15. Utsnitt av deponiområdet i Svordalen med grunnvannsbrønner (sorte) og sigevannskummer. Tallene ved siden av grunnvannskummene viser vanlig grunnvannsstand i brønnen. Utdrag fra (Holmström, 2012 #1).

4.5 Mulige forklaringer til økte nivåer av Cr(VI) i sigevannet i Kum 2

Avrenningen fra Deponi 2.1 kan deles inn i 4 hovedperioder:

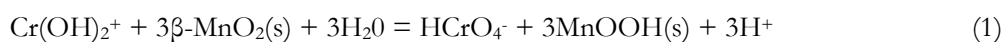
- 1) Fram til ca. 2005: I denne perioden virker det som avrenningen av Cr var relativt begrenset, dog ca. 1 kg/år.
- 2) Perioden 2005-2010: Etter 2005, og spesielt fra 2008, ser det ut til å skje en svak, gradvis økning i Cr-konsentrasjonen i sigevannet med et årlig utslipp på ca. 2-3 kg/år mot slutten av perioden.
- 3) Perioden 2011-2014: I denne perioden skjer det en plutselig og kraftig økning i kromkonsentrasjonene med et grovt estimert årlig utslipp på hele 10-28 kg. Andre halvdel av denne perioden er sannsynligvis sterkt påvirket av arbeidet med tildekkingen av deponiet.
- 4) 2015: Den første prøven i 2015 ble tatt i juli, og da var konsentrasjonen av krom vesentlig lavere og utslippet for 2015 ser ut til å ende på ca. 0,5 kg.

Det tok som nevnt ca. 6 måneder fra tildekkingen var avsluttet til sigevannsmengdene avtok. Det kan med andre ord være en betydelig forsinkelse i systemet, mye på grunn av den langsomme filtreringen gjennom

de finfordelte deponerte massene. Den kraftige økningen i både sigevannsmengder og konsentrasjoner av både Cr, Mn og SS i perioden med mye anleggsvirksomhet (se **Figur 8**), skyldes sannsynligvis at store mengder deponert masse ble skyflet på sammen med den økte vekten av stabiliseringsmasser og anleggstrafikk, som økte presset i deponiet. (Holmström et al. 2012) rapporterer at områder i Deponi 2.1 med manganslam er noe ustabile på grunn av meget høyt vanninnhold. Det er derfor nærliggende å tro at plutselig sammenbrudd av slike formasjoner har medført direkte utslipp av slike masser til sigevannssystemet, og at en slik hendelse er blitt fanget opp av prøvetakingen i Q4 2014. Dette bekreftes også av at Cr⁶⁺ kun utgjorde 41 % av Cr total, noe som kan tyde på at partikulært Cr(III) er inkludert i analysen.

Men det skjedde også en betydelig økning i krom-, Mn- og SS-konsentrasjonene forut for dette anleggsarbeidet. Det er flere mulige kilder til Cr⁶⁺ i sigevannet, men det er vanskelig å gi en enkel forklaring på den observerte forsinkete responsen. Generelt i Deponi 2.1 er det sannsynlig med 2 ulike kjemiske hovedprosesser:

1. **Oksidasjon av Cr(III) med Mn-hydroksider fra overliggende SiMn.** Cr(III) kan komme fra overliggende SiMn-slam eller fra Cr(III) i det opprinnelige deponiet. Kjemisk ser det ut som følger:



Reaksjonsligning (1) kan forklare observert økning i løst Cr og Mn og redusert pH. Ved *in situ* målt pH >10 vil nesten all løst krom foreligge som Cr(VI), ettersom løseligheten av Cr(OH)₃ ved denne pH er forventet å være mindre enn 10 µg/l (Rai et al. 1987). SiMn-slammet er rapportert å inneholde «MnO», derfor kan man forvente tilstedeværelse av Mn (Arp) enten direkte i slammet eller ved oksidasjon av Mn(II) (Post 1999). Dette gjør Cr(III)-oksidasjon med Mn (Arp 2014) til en relevant prosess. At man ikke straks ser en økning av Cr(VI) i sigevannet etter start av deponering av SiMn slammet kan ha sammenheng med at det i starten rett og slett er for lite SiMn slam til å ha betydning for de kjemiske prosessene. Dvs. at det tar tid før oksidert og løst Mn har trengt igjennom deponiet.

2. **Mulig mobilisering av CrO₄²⁻ ved hjelp av SO₄²⁻ fra SiMn-slammet.** CrO₄²⁻ kan være bundet til metalloksider i det opprinnelige deponiet, særlig Fe-hydroksid. Adsorpsjon av Cr(VI) ved gjeldende pH på 11 er forventet å være lav (Rai et al. 1989), men likevel relevant, særlig på grunn av det høye Cr-nivået i deponiet. Deponier med Cr inneholder variable mengder Cr(VI). Det er vanlig at man for denne type deponimasse behandler massene med FeSO₄ forut for deponering for kjemisk å redusere Cr(VI) til det mer immobile Cr(III) (Bulut et al. 2009) (Pettersson 2008). Det er uklart om en slik behandling av deponimasse ble gjennomført for Deponi 2.1. Uansett så har studier vist at Cr(VI) reduksjon ikke er total og at mindre mengder vil være tilbake selv etter FeSO₄-reduksjon.

Forut for tildekkingen var det en relativt lang responstid fra start av SiMn-slam-deponering til man observerte en respons i form av økte krom og mangan nivåer i sigevannet, dette kan ha to ulike, men samvirkende, forklaringer:

- 1) Mengden SiMn-slam deponert er i begynnelsen lavt og ujevnt fordelt. Økende mengder og bedre fordeling gir økt omfang av de kjemiske prosessene beskrevet i punkt 1 og 2 ovenfor inntil de blir synlig som økte konsentrasjoner av krom i sigevannet.
- 2) Forut for deponering av SiMn-slam så er de dypere delene av Deponi 2.1 trolig blitt anaerobe grunnet nedbrytning av organisk materiale. Under slike forhold vil bakterier kunne redusere jernoksider (Fe₂O₃) til jernhydroksid (Fe(OH)₂). Ved høy pH så er jernhydroksid lite løselig og vil derfor forbli i deponiet. Tilførsel av SiMn-slammet gir tilførsel av oksidert Mn (Arp 2014), som er vannløselig og vil drenere nedover i deponiet, først oksidere Fe(OH)₂, siden dette har lavere elektrode-potensial enn Cr(III). Først når all redusert jern er oksidert vil Cr(VI) bli dannet og lekke ut i sigevannet.

5. Betydningen for Mobekken som resipient

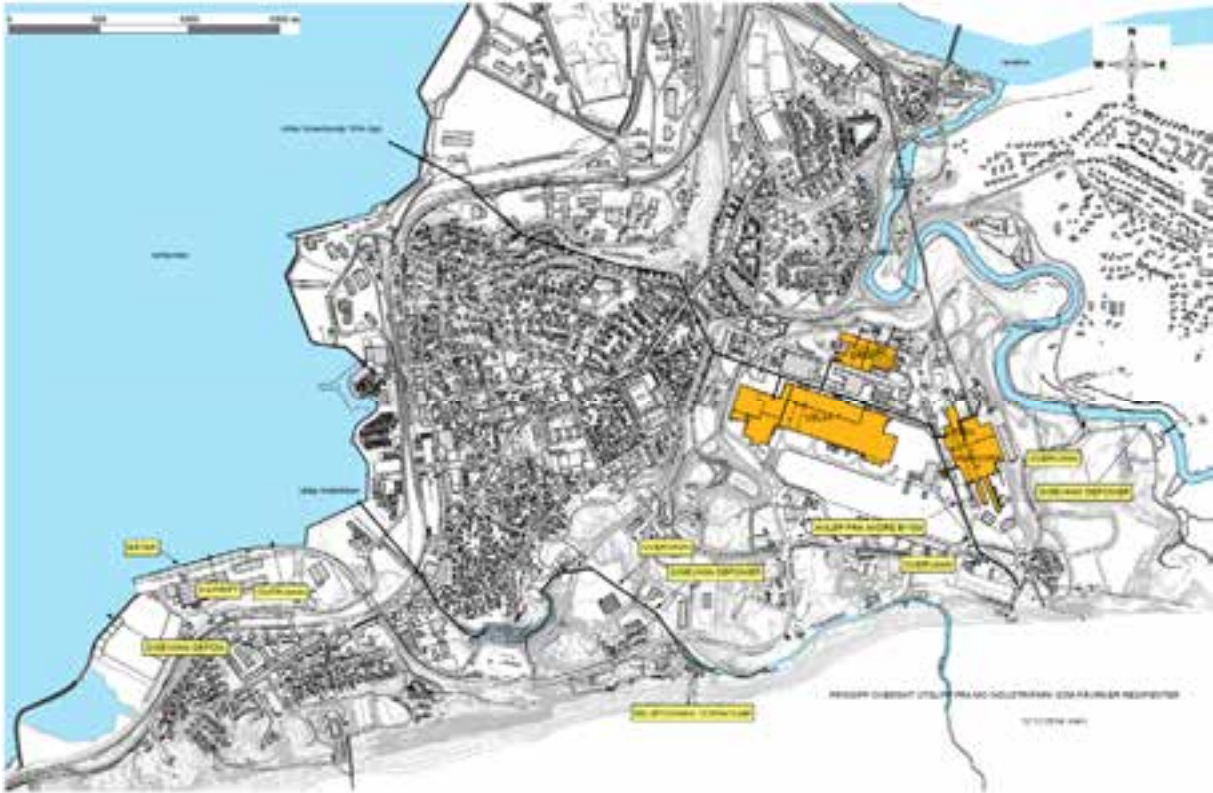
5.1 Beskrivelse av Mobekken

Mobekken kommer fra Mofjellet og gikk opprinnelig i Svortdalen, men er nå betydelig omlagt og overført til Mølnaldalen lenger vest, slik at bekkeleiet nå går langsmed foten av fjellsiden til Mofjellet i ytterkant av industriparken (se **Figur 16** og **Figur 17**). På dette 650 m lange strekket er bunnen av bekken tettet med membran for å unngå infiltrasjon til grunnen. Bekken renner videre i åpent, uttettet løp ned forbi gruveåpningen fra Mofjellet gruver der avløpsvann fra gruvene pumpes ut i Mobekken (Kvennås et al. 2015). Mobekken renner videre i kulvert med utløp i Svortdalen og bekken mottar i dette området både sigevann og overvann fra deponiområdene (se markert på **Figur 17**). Bekkeløpet krysser så over til vestsiden av E6 og her går bekken i åpent løp (se **Figur 19**) (her ligger også Kontrollstasjon Ov2) på et strekk som er 3-400 m langt gjennom et skogholt før bekken igjen går inn i kulvert og har skjult løp frem til utløpet i Ranfjorden (se **Figur 19**). Utløpet til Mobekken i Ranfjorden ligger i Mobekkleira som er området mellom Jernverkskaia (Rana Industriterminal) og havna ved Mo sentrum. Kartkoordinatene for Mobekkens utløpspunkt er øst-460921.646 og nord-7354536.523 (EU89, UTM-sone 33 posisjonssystem).

Vannføringen i bekken varierer fra tilnærmet tørr til normalvariasjon mellom 300 og 500 m³/time. Det er også målt ekstremverdier opp til 3 600 m³/time. Bekken kjennetegnes av svært kort reaksjonstid i forhold til nedbørsituasjonen (Grønning 2014).



Figur 16. Kart som viser bekkeløpet til Mobekken med dens mindre tilførselsbekker. Forbi området ved Mo Industripark er bekken kraftig omlagt i forhold til det opprinnelige bekkeløpet. Kilde: Google maps.



Figur 17. Oversiktskart for området ved MIP som viser Mobekkens åpne og lukkede strekk og markeringer for hvor i bekkeløpet vann fra sigevann- og overvannskummer blir tilført. Kilde: Glencore Manganese Norway.



Figur 18. Bilde sett mot vest fra området ved Handelsparken og Plantasjen (se også neste kartplansje). Sentralt på bildet ser man skogboltet ved E6 hvor bekkeløpet til Mobekken fremdeles går åpent. Kilde: Glencore Manganese Norway.



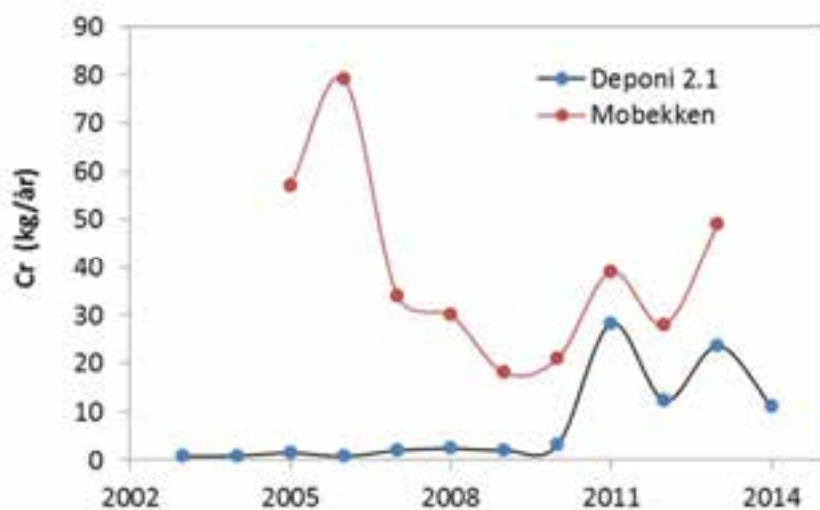
Figur 19. Kartutsnitt som viser detaljer fra Mobekkens nedre løp fra området ved Plantasjen til Ranfjorden. Sentralt på plansjen ser man det ca. 300 m lange strekket ved E6 der bekken går åpent. Kilde: Glencore Manganese Norway.

5.2 Overvåking av Mobekken

Per i dag tas det vannprøver 2 ganger i året av Mobekken ved prøvepunkter ovenfor utslippet av sigevann. Vannmengdemåling og prøver blir gjennomført 6 ganger i året i prøvepunkt 1, som fanger opp eventuelle tilførsler av sigevann fra Deponi 2.1 og Deponi 1D og avløpsvann fra Miljøteknikk Terrateam. Denne overvåkingen har pågått i 16 år (Grønning 2014). Det beregnede samlede utslippet av krom via Mobekken til Ranfjorden i perioden 2005-2013 er vist i **Figur 20** sammen med de estimerte utslippene fra Deponi 2.1 i perioden 2003-2014 hentet fra **Figur 14 B**. Utslippstallene indikerer at bidraget fra Deponi 2.1 til Mobekken fra lite i forhold til andre kilder fram til og med 2010, men at den observerte økningen i Mobekken i årene etter dette har vært forårsaket av sigevannet fra Deponi 2.1. Som nevnt er utslippsestimatene for Deponi 2.1 svært usikre, spesielt nettopp i perioden etter 2010. Men responsen i kromkonsentrasjonen i Mobekken ser ut til å følge endringene i de estimerte utslippene fra Deponi 2.1 ($R^2 = 0,8$ for den lineære korrelasjonen i perioden 2009-2013). Dette kan selvfølgelig være tilfeldig, men sammenhengen kan heller ikke utelukkes. Ut fra det samlede kromutslippet fra Deponi 2.1 i perioden 2010-2014 (ca. 80 kg; 3,2-28 kg/år) og en samlet grovt estimert kromtransport i Mobekken på 137 kg i samme periode (21-49 kg/år), har bidraget fra Deponi 2.1 utgjort i størrelsesorden 60 %.

Overvåkingen av Mobekken har utelukkende vært basert på vannprøver, men i forslaget til fremtidig overvåking forslås det å anvende passive prøvetakere for analyse av biotilgjengelig fraksjon av metaller og PAH, i tillegg til ufiltrerte vannprøver for vurdering av partikulær forurensning (Grønning 2014). Passive prøvetakere benyttes for å måle biotilgjengelig fraksjon av miljøgifter, som er den konsentrasjonen som kan tas opp i vannlevende organismer. Resultatene representerer dessuten konsentrasjoner over tid, og ikke en øyeblikksprøve, slik at usikkerheten i resultatene blir mindre. De passive prøvetakerne bør stå ute i minimum 2-4 uker før de analyseres.

Det er hittil ikke foretatt noen undersøkelser av innholdet av krom i sedimentprøver eller i biologiske prøver tatt i eller ved Mobekken. Det er heller ikke kjent om det tidligere er forsøkt å vurdere biologiske kvalitetselementer for å undersøke eller klassifisere økologisk tilstand av Mobekken innenfor det belastede området fra MIP og ned til Ranfjorden. Som beskrevet i det foreliggende forslaget til miljøovervåking ved MIP (Grønning 2014) har Norsk institutt for naturforskning (NINA) utarbeidet forslag til biologiske undersøkelser iht. vannforskriften både i Mobekken og i elva Tverråga. Forslaget omfatter en kartlegging av plante- og dyresamfunnet (biologiske kvalitetselementer), dvs. artssammensetning og mengde på samfunnsnivå. I Mobekken foreslås bunndyr som gjeldende kvalitetselement, samt at det ved en første gangs befarings vil utføres undersøkelser av ungfisk. Det vil også gjøres en vurdering av oppgangsforhold fra sjø og øvrig habitatkvalitet for laksefisk.



Figur 20. Årlig utslipp av total krom fra Deponi 2.1 sammenholdt med nivåene i Mobekken. Verdiene for Mobekken er hentet fra (Grønning 2014).

5.3 Miljøriskovurdering av krom i Mobekken

Selv om denne vurderingen i første rekke belyser miljøproblematikk knyttet til krom er det viktig å påpeke at også en rekke andre miljøforurensende stoffer lekker, eller har lekket, ut fra deponiene og annen forurenset grunn ved MIP. En samlet miljørisikovurdering vil således måtte ta hensyn til bidrag fra en blanding av miljøgifter bestående hovedsakelig av ulike tungmetaller og PAH.

Mobekken drenerer grunnvannet og sigevannet fra det aktuelle deponiområdet og utgjør både en resipient og den viktigste tilførselsåren til Ranfjorden for de stoffene som lekker ut. Som vist i **Figur 17** og **Figur 19** ligger mesteparten av Mobekken i kulvert fra området ved MIP til Ranfjorden. Bekken løper åpent i et ca. 3-400 m langt strekk ved siden av E6, og denne åpne delen ligger i tett skog (**Figur 18**). Rambøll utarbeidet i 2005 en risikovurdering og tiltaksplan for deponiområder og forurenset grunn ved MIP og gamle Mofjellet gruver (Grini et al. 2005). Undersøkelsen påviste at vannet i Mobekken var sterkt belastet av utlekking fra de forskjellige deponiene i området, noe som medfører at bekkevannet har høye pH verdier og tidvis svært høye konsentrasjoner (tilstandsklasse V) både av PAH og en rekke tungmetaller (Cu, Pb, Zn, Cd, As), og konsentrasjoner av krom opptil tilstandsklasse IV (Grini et al. 2005).

Ifølge Grini et al. (2005) har Rana kommune etablert følgende miljømål for Mobekken: «Mobekken må ikke representere noen form for helserisiko dersom barn eller dyr kommer i kontakt med vannet. Vannets pH-verdi må ned og innholdet av tungmetaller må reduseres. Mobekken skal ikke bidra med økt forurensning av Ranfjorden».

I herværende vurdering fokuseres det primært på krom, og som en miljøkonservativ tilnærming kan det legges til grunn at alt krom som lekker ut av Deponi 2.1 foreligger som Cr(VI). I forhold til vurderingen

som ble gjort av Grini et al. (2005), viser beregningene at utlekkingen av krom fra Deponi 2.1 økte betraktelig i perioden etter at Rambøll utførte sin undersøkelse i 2005. Beregningene indikerer at krom-utlekkingen fra Deponi 2.1 til Mobekken var størst i 2011 med mer enn 25 kg det året (se **Figur 20**). Som tidligere anmerket vedhefter det atskillig usikkerhet til disse beregningene. Den totale transporten av krom i Mobekken i perioden 2005-2013 ble nylig beregnet til 18-79 kg/år med en topp i 2006 (se **Figur 20**).

Basert på overvåkingsdata hos Grønning (2014) og en normal vannføring på 300 m³/h i Mobekken, vil den beregnede utlekkingen fra Deponi 2.1 for perioden 2005-2014 tilsi en gjennomsnittlig krom-konsentrasjon på 7-22 µg/l. Forslaget til EQS-verdier for Cr i ferskvann er 3,4 µg/l (**Tabell 3**). Samtlige forslag til konsentrasjonsgrenser for tilstandsklassene II-IV i ferskvann er også satt til 3,4 µg/l fordi det ikke er funnet noen vesentlig forskjell mellom akutt og kronisk giftighet av Cr, og fordi man ønsker å ta høyde for tilstedeværelse av Cr(VI) (Arp et al. 2014). Beregningen tilsier derfor at krom-konsentrasjonen i Mobekken har overskredet denne grenseverdien på 3,4 µg/l for hele perioden 2005-2014.

Applikasjonsfaktor for EQS-verdien på 3,4 µg/l er kun 3. Det innebærer at ved konsentrasjonsnivåer over 10 µg/l vil man forvente å se miljøtoksikologiske effekter av Cr(VI) i laboratoriestudier med testorganismer. Man kan derfor anta at Mobekken vil ha en redusert artsrikdom som følge av kromnivået, selv om dette hadde vært den eneste forurensingen som var til stede. Som nevnt over var også andre metaller og PAH til stede i høye konsentrasjoner (tilstandsklasse V), mens kromnivåene, som er beregnet i bekkevannet før tildekkingen ble gjennomført, tilsier tilstandsklasse V (**Tabell 3**). Det er derfor grunn til å anta at miljøtilstanden og biologien i Mobekken i en årrekke har vært markert negativt påvirket av de historiske forurensningstilførsler fra deponier og forurenset grunn ved MIP.

Tabell 3. Forslag til EQS-verdier og tilstandsklasser for Cr (uavhengig Cr(III) eller Cr(VI)) i ferskvann; foreslått av (Arp et al. 2014).

| | EQS-verdier | | Tilstandsklasse (µg/l) | | | | |
|----------------|----------------|-----------------|------------------------|-----|-----|-----|------|
| | AA-EQS µg/l | MAC-EQS µg/l | I | II | III | IV | V |
| Cr total/Cr 6+ | | | | | | | |
| Ferskvann | 3,4 | 3,4 | 0,1 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | >3,4 |
| Sjøvann | 3,4 | 36 | 0,1 | 3,4 | 36 | 358 | >358 |

Miljøriskovurderingen ovenfor har vært basert på analyseresultater fra vannprøver. Sedimentprøver eller biotaprøver fra bekken er hittil ikke vært undersøkt. Forurensningsnivået av krom og andre miljøgifter i bekkesedimentet i Mobekken bør undersøkes grundig, både oppstrøms og nedstrøms MIP. Målinger av krom innenfor det området nedstrøms for MIP der bekken løper åpent vil kunne belyse flere vesentlige forhold vedrørende krom:

- Hvor høyt er forurensningsnivået?
- Hvilken form av krom er dominerende, Cr(III) eller Cr(VI)?
- Er en vesentlig andel av krom tilført fra Deponi 2.1 og andre oppstrøms kilder blitt felt ut i bekken i forhold til det som er ført videre ned til Ranfjorden?
- Ligger det større mengder krom i bunnsedimentene som kan lekke ut over tid eller transporteres videre til Ranfjorden ved kraftig vannføring?
- Hvilken størrelsesfraksjon i bekkesedimentet inneholder mest krom?

En avklaring av disse spørsmål kan også ha betydning for vurderingen av risiko knyttet til human helse (diskuteres i neste kapittel).

5.4 Miljøriskovurdering av kromtilførslene til indre Ranfjorden

Mobekken renner ut i indre Ranfjorden ved Mobekkleira og forurensningen i bekkevannet vil her etter hvert fortynnes i fjordvannet. For krom i sjøvann er forslaget til AA-EQS (årlig gjennomsnittlig konsentrasjon) satt til 3,4 µg/l (se **Tabell 3**). Vannet fra Mobekken må derfor fortynnes rundt 10x (fra 22 µg/l) for man får en kromkonsentrasjon under AA-EQS for marint miljø. Basert på tilstandsklassifisering for kystvann (se **Tabell 3**) så vil nærområder til utslippet av Mobekken (<100x fortynning) ha en Tilstandsklasse IV. Ranaelven vil imidlertid med sin midlere vannføring på 670 000 m³/h ha et stort potensiale for fortynning av utslippet.

Miljøtilstanden i indre del av Ranfjorden preges av forurenset sjøbunn med relativt høyt innhold av tungmetaller og PAH. Området er dessuten belagt med kostholdsrad (Fylkesmannen 2009). NIVA har undersøkt miljøtilstanden i indre Ranfjorden en rekke ganger siden slutten av åttitallet (Bjerknes 1996; Green 1995; Green 1996; Green and Knutzen 1988; Green et al. 1994; Helland et al. 1994). I 2012 undersøkte NIVA forekomsten av miljøgifter i sedimenter og blåskjell i indre Ranfjorden og utførte en risikovurdering av forurenset sediment ved en rekke lokaliteter i området, blant annet utenfor Rana Industriterminal (RIT) i nærheten av Mobekkens utløp (Øxnevad and Bakke 2013). Undersøkelsen fant stedvis høye konsentrasjoner av PAH, bly og kobber i sedimenter. Analyser av krom i blåskjell viste sterkt forurenset tilstand (tilstandsklasse IV) ved stasjonen Rauberget og markert forurenset tilstand (tilstandsklasse III) ved Moholmen nær utløpet til Mobekken ved Mo sentrum (**Tabell 4**). Stasjonen Rauberget var lokalisert på nordvestsiden av indre Ranfjorden om lag 3 km unna Mo sentrum. Risikovurderingen konkluderte at de undersøkte områdene i indre del av Ranfjorden har sedimenter med miljøgifter i konsentrasjoner som overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sediment.

Tabell 4. Konsentrasjoner av metaller i blåskjell fra Ranfjorden. Tabellen er gitt farger henhold til Kljfs klassifiseringsystem (Molvær m.fl. 1997). Data fra (Øxnevad and Bakke 2013).

| | As | Cd | Cr | Cu | Hg | Hg | Ni | Pb | Zn | Fe |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. | µg/kg v.v. | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. | mg/kg L.V. |
| Toraneskalen | 13,33 | 1,75 | 6 | 16,66 | 0,13 | 16 | 10 | 9,17 | 258,3 | 3,58 |
| Bjørnbaevika | 9,00 | 0,6 | 1,65 | 6,5 | 0,05 | 10 | 1,7 | 1,8 | 95,0 | 370 |
| Moholmen | 10,00 | 1 | 15,33 | 10 | 0,087 | 13 | 8 | 8,67 | 220,0 | 3,26 |
| Rauberget | 12,86 | 1,36 | 32,14 | 12,86 | 0,12 | 17 | 22,14 | 4,43 | 228,6 | 3,36 |
| Kalvhagaberget | 10,77 | 0,23 | 5,54 | 10 | 0,107 | 14 | 4,46 | 2,61 | 146,2 | 1,69 |

6. Risiko for human helse

En reell vurdering av risiko for human helse er litt på siden av NIVAs kompetanseområdet. I dette kapittelet vil vi likevel kort belyse data og kunnskapsbehov som vi mener vil kunne være nyttig å ta med i betraktningen når risikoen for human helse av krom-utslippene fra Deponi 2.1 skal vurderes og hvilke tiltak som eventuelt skal anbefales (se **Kapittel 7**).

6.1 Generelt om human helse og kromeksponering

Grad av risiko for human helse knyttet til kromeksponering og kromforurensning avhenger både av hvilke type krom (treverdig eller seksverdig) som forekommer i den aktuelle matriks, hvilke mengde det er snakk

om og hvilken eksponeringsvei som er sannsynlig (hudkontakt, svelging, inhalering). Treverdige krom, Cr(III), er et essensielt mikronæringsstoff for mennesker og er nødvendig for viktige fysiologiske funksjoner, som metabolisering av sukker, protein og fett. Normalt får mennesker tilstrekkelig krom via føde og vann og inhalert luft, som inneholder små mengder krom. Gjennomsnittlig daglig inntak av krom er beregnet til å være 0,2 - 0,4 µg via luft, 2,0 µg via vann og 60 µg via mat. Daglig anbefalt opptak er 50 - 200 µg/dag for voksne (US EPA, <http://www3.epa.gov/airtoxics/hlthef/chromium.html>). Som for andre mikronæringsstoff er Cr(III) giftig i for store mengder. Akutt-tester med dyr viser at Cr(III) er moderat giftig (LD50 oralt inntak 500-5000 mg/kg, LD50 dermal eksponering 2 000 - 20 000 mg/kg, LC50 inhalasjon 2 000 - 20 000 mg/m³). US EPA har klassifisert Cr(III) til ikke å være kreftfremkallende. Treverdige krom skilles ut av kroppen hovedsakelig via urin.

Heksovalent krom, Cr(VI), er meget giftig og er også klassifisert av US-EPA som kreftfremkallende for mennesker (gjelder for eksponering via luft) (Epa 1998). Cr(VI) absorberes langt lettere av kroppen enn hva Cr(III) gjør. I motsetning til Cr(III) har ikke Cr(VI) noen kjent funksjon som mikronæringsstoff hos mennesker. Testing av akutt giftighet ved hjelp av dyreforsøk viser at Cr(VI) er ekstremt giftig ved inhalasjon (LC50 <200 mg/m³) og oralt (LD50 <50 mg/kg). Kroppen vår har imidlertid flere systemer som beskytter oss mot giftigheten til heksovalent. Hovedsakelig skjer denne beskyttelsen gjennom kjemisk reduksjon av Cr(VI) til Cr(III) i det sure miljøet i magesekken og som følge av funksjonen til bestemte avgiftningssystemer i cellene.

Kronisk hud eksponering for både Cr(III) og Cr(VI) kan forårsake permanent allergi og føre til såkalt allergisk kontakteksem, for Cr(VI) kan dette oppstå allerede ved lav belastning. Hudsensibiliseringsreaksjoner som følger av kromeksponering kan oppstå ved hudkontakt med krom-kontaminerte materialer som kontaminert jord eller krombehandlet skinn, og opptrer vanligst i yrker som innebærer en direkte eller miljømessig eksponering for krom. Også tilfeller av mer alvorlig miljørelatert kromforgiftning hos mennesker er kjent, blant annet fra Kina der forurenset brønnvann i nærområdet ved en fabrikk for kromlegeringer førte til forgiftning hos mennesker som brukte brønnene for drikkevann der Cr (VI) konsentrasjoner så høye som 20 mg/l ble målt, noe som ga en estimert daglig dose på 0,57 mg/kg-dag, noe som er drøyt 1 % av akutt dødelig dose (Zhang and Li 1987). Det er verdt å anmerke at den høyeste Cr(VI) verdien målt i sigevann fra Deponi 2.1 er 0,64 mg/l, en konsentrasjon som er om lag 30 ganger lavere enn i det nevnte kinesiske brønnvannet. Nivåene av krom i Mobekken er beregnet til å være i størrelsesorden 7-22 µg/l ved normal vannføring.

6.2 Spesifikt for kromutslippet fra Deponi 2.1 og deponiområdene ved MIP

Det har avgjørende betydning for risikoaspektet om krom foreligger som Cr(III) eller Cr(VI). Som diskutert i **Kapittel 4.5** blir det antatt at alt krom i sigevann fra Deponi 2.1 foreligger som Cr(VI), og konservativt sett kan dette også gjøres gjeldene for alt krom som forekommer i Mobekken mellom MIP og Ranfjorden, ettersom bekkevannets høye pH vil være en driver for at krom i bekkevannet vil foreligge som Cr(VI). Basert på rapporterte måleverdier var den totale tilførselen av Cr(VI) fra Deponi 2.1 til Mobekken i størrelsesorden 3-30 kg/år i perioden 2010-2014. Verdiene er imidlertid usikre. Deponi 2.1 utgjør dessuten ikke den eneste kilde til krom tilførsel til Mobekken, som altså fraktet i størrelsesorden 18-79 kg/år i perioden 2005-2013 med en topp i 2006 (Grønning 2014).

Nedstrøms for deponiområdene ved MIP renner Mobekken åpent ca. 3-400 m gjennom et skogholt ved siden av E6 som ligger relativt nært (få hundre meter fra) mange bolighus. Etter dette løper bekken videre i kulvert frem til utløpet ved Mobekkleira ved Mo sentrum. Det er relevant å vurdere om det nevnte skogområdet der Mobekken løper åpent er i vanlig bruk av mennesker, ettersom dette kan ha betydning for risikovurderingen av krom og annen forurensning i bekkevannet. Som følge av det høye forurensningsnivået er vannet i Mobekken å regne som uegnet for de fleste typer formål. Selv om denne delen av bekken er tett bevokst, er det ikke utenkelig at dette området benyttes f.eks. av barn i lek på grunn av sin nærhet til mye bebyggelse.

Drikking av forurenset bekkevann

I tilfelle av oralt inntak av vann fra Mobekken, er det lite sannsynlig at kromforurensningen alene vil utgjøre en akutt helsefare. Bekkevannet vil, som vist av undersøkelsen til Rambøll (Grini 2005), inneholde en blanding av ulike forurensningsstoffer i tilstandsklasse V, i tillegg til å være relativt sterkt alkalisk. Kromkomponenten i vannet er i samme størrelsesorden som er antatt å dekke menneskers dagsbehov for krom, dog i form av Cr(VI) i stedet for Cr(III), men kroppen har altså mekanismer (viktigst her er det svært sure miljø i magesaften) for omdanning av Cr(VI) til Cr(III). Antar vi at dagsbehovet for mennesker er 60 µg/dag og konsentrasjon av krom på 7-22 µg/l i Mobekken så må man drikke 2-3 liter bare for å dekke et normalt dagsbehov av krom.

Inhalering

Inhalering av Cr(VI), for eksempel som kromholdig støv, er generelt mer problematisk enn inntak via drikke. Dersom bekkesedimentet i Mobekken inneholder betydelig nivåer av krom og deler av bekkeløpet er tørt i perioder med lite nedbør, så kan det tenkes at støv fra bekkibunnen vil kunne føre til eksponering ved inhalering av kromkontaminert støv. Opptak av Cr(VI) via lungene regnes som den farligste eksponeringsveien for mennesker, ettersom inhalering av Cr(VI) er forbundet med risiko for lungekreft. Det foreligger imidlertid ikke noe datagrunnlag for å belyse en slik risiko for tilfellet Mobekken. Analyser av sedimenter fra Mobekken i det foreslåtte overvåkingsprogrammet for Mobekken vil kunne anvendes til å belyse/vurdere mulig helserisiko.

Spising av fisk, bær og skjell

Det er uvisst om det går fisk i Mobekken, men hvis det gjør det, vil denne kunne være en potensiell kilde til inntak av krom. Det samme kan eventuelle bær som vokser langs bekkeleiet.

Risiko-beregningene som ble utført av Øxnevad og Bakke (2013) viste at for området indre Ranfjorden så er det sedimentene i området utenfor Rana Industriterminal som har størst utlekking av metaller (kobber, bly og sink). Studien konkluderte også at sedimentene i alle delområdene i indre Ranfjorden utgjør en risiko for skade på human helse, og da først og fremst ved konsum av skjell fra området (Øxnevad og Bakke 2013).

7. Nødvendighet av ytterligere tiltak

Det er allerede gjennomført omfattende tiltak for å minimere avrenningen fra Deponi 2.1 (se **Kapittel 3.1**) og det er foreslått et eget overvåkingsprogram for å overvåke effekten av disse tiltakene (Holmstrøm 2015). Det er som nevnt allerede sett en betydelig effekt av tiltakene, både på mengde sigevann fra deponiet og på konsentrasjonen av Cr i sigevannet. Ytterligere tiltak ved Deponi 2.1 synes ikke å være nødvendig nå. Men det gjenstår å se om denne nedgangen også vil gi en markert nedgang i kromnivået i Mobekken, ettersom krombelastningen i denne resipienten er et resultat av tilførsler fra flere kilder innenfor området som drenerer til Mobekken.

Det foreslåtte overvåkingsprogrammet (Grønning 2014) inkluderer en rekke forhold i Mobekken, men ikke sedimentene. For å vurdere betydningen av mulige rester av tidligere utslipp av krom og andre miljøgifter i bekkesedimentet, bør disse undersøkes, både oppstrøms og nedstrøms MIP. Spesielt bør området nedstrøms MIP der bekken løper åpent vurderes nøye, også med hensyn til risiko knyttet til direkte kontakt (se **Kapittel 5.3**). Dersom nye data viser at slik eksponering kan skje så kan et avbøtende tiltak være å legge også den åpne delen av dagens bekkeløp (ved siden av E6) i kulvert. Alternativt skjerming (inngjerding) eller fjerning av forurensete masser og deponering i godkjent deponi.

8. Oppsummering og konklusjon

De årlige utslippene av krom fra Deponi 2.1 ser ut til å ha økt betydelig etter 2009. I perioden 2010-2014 var estimerte utslipp 3,2-28,2 kg/år eller ca. 80 kg for hele perioden. Grunnet høy pH i sigevannet forelå mest sannsynlig denne krommengden hovedsakelig som Cr(VI), en kromform som er langt mer mobil og giftig enn Cr(III).

To ulike kjemiske prosesser ble vurdert som aktuelle for å forklare årsaken til den økende utlekkingen av krom etter 2009; 1) oksidasjon av Cr(III) med Mn-hydroksider fra overliggende SiMn-slam og 2) mobilisering av CrO_4^{2-} fra SiMn-slammet ved hjelp av SO_4^{2-} . Den første prosessen har sannsynligvis vært den dominerende. De meget høye utslippene i siste del av perioden før tildekkingen av deponiet henger sannsynligvis sammen med den store aktiviteten med tilkjøring av stabiliserende masser og mye anleggsvirksomhet direkte i deponiet.

Avslutning og tetting av Deponi 2.1 med membraner synes å ha vært gjennomført på en god måte og elektronisk overvåking av sigevannmengden fra Deponi 2.1 høsten 2015 synes å tilsa at deponiet nå er helt tett med hensyn til inntrenging av vann. Om senere overvåking av sigevann fra Kum 2 bekrefter den nåværende tendens med minimalt med sigevann og lave konsentrasjoner av krom, så vil ikke Deponi 2.1 lenger utgjøre noen signifikant kromkilde til miljøet.

Mobekken er primærresipient for sigevann fra Deponi 2.1. Tilgjengelige overvåkningsdata indikerer at det historisk sett har vært andre, og til tider viktigere, kilder til kromforurensningen av Mobekken. Et grovt estimat for perioden 2010-2014, da bidraget fra Deponi 2.1 sannsynligvis var størst, antyder at krombidraget fra Deponi 2.1 utgjorde i størrelsesorden 60 % av den samlede kromtransporten i Mobekken (ca. 80 kg av ca. 137 kg totalt).

Tilgjengelige overvåkningsdata fra Mobekken viser at vannmassene er så forurenset at den faller inn under tilstandsklasse V pga. høye konsentrasjoner av tungmetaller (inkludert krom) og PAH. Det er grunn til å anta at miljøtilstanden og biologien i Mobekken i en årrekke har vært negativt påvirket av forurensningstilførsler fra deponier og forurenset grunn ved MIP. Overvåkningsdataene er kun knyttet til vannprøver. Det foreslåtte overvåkningsprogrammet for MIP (Holmstrøm 2015) inkluderer undersøkelse av biota (bunndyr og fisk), som vil gi verdifulle data for å gjennomføre en mer grundig vurdering av effektene i bekken. Det vil også være fornuftig å gjennomføre en undersøkelse av sedimentene i bekken for å kunne vurdere betydningen av mulige rester av historiske utslipp av krom og andre miljøgifter som kan ligge i bekkesedimentet. Spesielt bør området nedstrøms MIP der bekken løper åpent vurderes nøye, også med hensyn til risiko knyttet til direkte kontakt.

På grunn av den store vannføringen i Ranaelven, vil de høye observerte kromkonsentrasjonene i Mobekken sannsynligvis kun ha hatt helt lokal betydning ute i vannmassene i Ranfjorden, men bidraget til forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller i sedimentene og i skjell kan ha vært betydelig.

I forhold til human helse er det sannsynligvis primært inhalering av krom-rikt støv, som kan være en potensiell utfordring, men det foreligger ingen data som underbygger en slik bekymring.

9. Referanser

Arp, H. P. N., Anders Ruus, Ailbhe Macken Og Adam Lillicrap (Niva). 2014. Kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder. Miljødirektoratet M-241.

- Bjerknes, V. 1996. Stofftilførsler fra Ranelva til Ranfjorden: bedømmelse av vannkvalitet i Ranavassdraget. Norsk institutt for vannforskning.
- Bulut, U., A. Ozverdi, and M. Erdem. 2009. Leaching behavior of pollutants in ferrochrome arc furnace dust and its stabilization/solidification using ferrous sulphate and Portland cement. *Journal of Hazardous Materials* **162**: 893-898.
- Epa. 1998. Toxicological review of hexavalent chromium (CAS No. 18540-29-9). Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). U.S. Environmental Protection Agency.
- Fylkesmannen. 2009. Forvaltningsplan for vannregion Nordland for planperioden 2010 – 2015. Fylkesmannen i Nordland.
- Goyer, R. 1991. Toxic effects of metals, p. 623-680. *In* M. Amdur, J. Doull and C. Klaassen [eds.], Casarett and Doull's Toxicology - The basic science of poisons. McGraw-Hill, Inc., USA.
- Green, N. W. 1995. Ranfjorden 1992/93: grunntvannssamfunn. Norsk institutt for vannforskning.
- . 1996. Overvåking i Ranfjorden: undersøkelse av miljøgifter i organismer 1994 og planteplanktons respons på forurensede ferskvannstilførsler 1993. Norsk institutt for vannforskning.
- Green, N. W., and J. Knutzen. 1988. Undersøkelse i Ranfjorden etter arsenutslipp 29. februar 1988. Norsk institutt for vannforskning.
- Green, N. W., J. Knutzen, and L. Berglind. 1994. Undersøkelse av miljøgifter i organismer fra Ranfjorden 1992. Norsk institutt for vannforskning.
- Grini, R. S., Gilde, T., Gjelsvik, V., Kvitsand, H.M.L., Mengshoel, P.O., . 2005. Mo Industripark - Risikovurdering og vurdering av behov for tiltak ved deponier og forurenset grunn lokaliteter. , p. 45. Rambøll Norge AS, Trondheim.
- Grønning, H. M. 2014. Mo Industripark AS - Overvåkingsprogram for resipienter, grunnvann og overvann ved Mo Industripark, p. 43. NGI.
- Helland, A., B. Rygg, and K. Sørensen. 1994. Ranfjorden 1992/1993: hydrografi, sedimenterende materiale, bunnsedimenter og bløtbunnsfauna. Norsk institutt for vannforskning.
- Holmstrøm, P. 2015. Glencore Manganese Norway AS Deponi 2.1, Mo Industripark - Forslag til overvåkingsprogram deponi 2-1, p. 13. Structor Geomiljø AS.
- Holmström, P., S. N. Ulla, and T. Pabst. 2012. Søknad for avslutning og etterdrift av Deponi 2.1, p. 160. NGI.
- Kvennås, M., G. Okkenhaug, and T. Pabst. 2015. Miljøriskovurdering - farlig avfallsdeponi Mofjellet Berghaller, p. 72. NGI.
- Pettersson, L. 2008. Reduksjon av krom(VI) i stoff fra ferrokromframstilling Behandling av ulike stofftyper med jern(II)sulfat (<http://epubl.ltu.se/1402-1617/2008/005/LTU-EX-08005-SE.pdf>) (in Swedish). Masters Thesis. Luleå tekniska universitet.
- Post, J. E. 1999. Manganese oxide minerals: crystal structures economic and environmental significance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**: 3447-3454.
- Rai, D., L. E. Eary, and J. M. Zachara. 1989. Environmental Chemistry of Chromium. *Sci Total Environ* **86**: 15-23.
- Rai, D., B. M. Sass, and D. A. Moore. 1987. Chromium(III) Hydrolysis Constants and Solubility of Chromium(III) Hydroxide. *Inorg Chem* **26**: 345-349.
- Storheil G.O. 2014. Overvåkingsprogram for deponi 2.1 Glencore Manganese Norway AS, Dok.id: HK.4.2.18, 4 sider.
- Zhang, J., and X. Li. 1987. Chromium pollution of soil and water in Jinzhou. *J Chin Prevent Med* 262-264.
- Øxnevad, S., and T. Bakke. 2013. Kartlegging av miljøgifter i sedimenter og blåskjell i indre Ranfjorden i 2012. Risikovurdering av forurenset sediment utenfor kaiområdene. Norsk Institutt for Vannforskning.

Vedlegg A Rådata overvåkning av avrenning fra Deponi 2.1 (kum 2)

| | Vannmengde | | | | Gj.snitt | stdev | Usikkerhet | | Utslipp |
|------|------------|------|------|------|----------|-------|------------|----|---------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | | | | | |
| | m3/h | m3/h | m3/h | m3/h | | | | | |
| 2002 | - | - | - | - | | | | | |
| 2003 | 1,5 | 1,1 | 2,4 | 1,8 | 1,70 | 0,55 | 0,27 | 16 | 14 952 |
| 2004 | 2,9 | 0,9 | 0,97 | 2,9 | 1,92 | 1,13 | 0,57 | 30 | 16 844 |
| 2005 | 1,8 | 1,2 | 1,9 | 3,6 | 2,13 | 1,03 | 0,52 | 24 | 18 696 |
| 2006 | 1,2 | 0,7 | 1,5 | 2,2 | 1,40 | 0,63 | 0,31 | 22 | 12 319 |
| 2007 | 2,2 | 1,8 | 1,2 | 3,6 | 2,20 | 1,02 | 0,51 | 23 | 19 334 |
| 2008 | 2,2 | 0,87 | 0,67 | 3,2 | 1,74 | 1,19 | 0,59 | 34 | 15 250 |
| 2009 | 1,37 | 1,86 | 1,8 | 1,8 | 1,70 | - | - | | 14 955 |
| 2010 | 1,27 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,67 | | | 53 | 14 654 |
| 2011 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,80 | | | 66 | 15 811 |
| 2012 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,80 | | | 66 | 15 811 |
| 2013 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,80 | | | 66 | 15 811 |
| 2014 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,80 | - | - | | 15 811 |
| 2015 | 6,8 | 7,2 | | | 7,04 | | | | |
| | Cr total | | | | Gj.snitt | stdev | Usikkerhet | | Utslipp |
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | | | | | |
| | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | | |
| 1996 | - | 120 | - | - | 120 | - | - | | - |
| 1997 | - | 14 | - | - | 14 | - | - | | - |
| 2002 | 83 | 30 | 12 | 10 | 34 | 34 | 17 | 50 | - |
| 2003 | 49 | 10 | 64 | 54 | 44 | 24 | 12 | 27 | 0,74 |
| 2004 | 54 | 24 | 29 | 61 | 42 | 18 | 9 | 22 | 0,84 |
| 2005 | 55 | 18 | 90 | 105 | 67 | 39 | 19 | 29 | 1,48 |
| 2006 | 43 | 10 | 37 | 100 | 48 | 38 | 19 | 40 | 0,74 |
| 2007 | 91 | 175 | 53 | 90 | 102 | 52 | 26 | 25 | 1,98 |
| 2008 | 100 | 3 | 11 | 264 | 95 | 121 | 61 | 64 | 2,37 |
| 2009 | 190 | 120 | 120 | 120 | 138 | 35 | 18 | 13 | 2,00 |
| 2010 | 75 | 210 | 7 | 160 | 113 | 90 | 45 | 40 | 1,70 |
| 2011 | 620 | 280 | 170 | 553 | 406 | 215 | 108 | 27 | 6,41 |
| 2012 | 54 | 398 | 5 | 420 | 219 | 220 | 110 | 50 | 3,47 |
| 2013 | 60 | 431 | 219 | 650 | 340 | 257 | 128 | 38 | 5,38 |
| 2014 | 317 | 401 | 57 | 190 | 241 | 150 | 75 | 31 | 3,80 |
| 2015 | 18 | 13 | | | 16 | 4 | | | 0,47 |
| | Cr6+ | | | | Gj.snitt | stdev | Usikkerhet | | Utslipp |
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | | | | | |
| | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | | |
| 2002 | - | - | - | 50 | 50 | - | - | | - |
| 2003 | - | - | - | 50 | 50 | - | - | | 0,75 |
| 2004 | - | - | - | <50 | 25 | - | - | | 0,42 |
| 2005 | - | - | - | <50 | 25 | - | - | | 0,47 |
| 2006 | - | - | - | 50 | 50 | | | | 0,62 |
| 2007 | - | - | - | 50 | 50 | | | | 0,97 |
| 2008 | - | - | - | 108 | 108 | | | | 1,65 |
| 2009 | - | - | - | 108 | 108 | - | - | | 1,62 |
| 2010 | - | - | - | 160 | 160 | - | - | | 2,34 |
| 2011 | - | - | - | 539 | 539 | - | - | | 8,52 |
| 2012 | - | - | - | 420 | 420 | - | - | | 6,64 |
| 2013 | - | - | - | 640 | 640 | - | - | | 10,12 |
| 2014 | - | - | - | 77 | 77 | - | - | | 1,22 |
| 2015 | 25 | 25 | | | 25 | | | | |

Christian Vogelsang:
Benyttet snittet av
målingene i 2006-2008

Christian Vogelsang:
Satt til halve det.gr.

| | Mn | | | | Gj.snitt | stdev | Usikkerhet | Utslipp |
|------|----------------------|------|------|------|----------|-------|------------|---------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | | | | |
| | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | g/år |
| 2002 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | 2 | 1 | 28 | 10 | 15 | 8 | 0,15 |
| 2004 | 17 | 36 | 15 | 11 | 20 | 11 | 6 | 0,33 |
| 2005 | 40 | 3 | 10 | 0 | 13 | 18 | 9 | 0,25 |
| 2006 | 1 | 2 | 7 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0,03 |
| 2007 | 9 | 1 | 3 | 1 | 4 | 4 | 2 | 0,07 |
| 2008 | 41 | 1 | 1 | 0 | 11 | 20 | 10 | 0,16 |
| 2009 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 2010 | 5 | 5 | 117 | 240 | 92 | 112 | 56 | 1,34 |
| 2011 | 43 | 21 | 37 | 3,5 | 26 | 18 | 9 | 0,41 |
| 2012 | 412 | 18 | 49 | 44 | 131 | 188 | 94 | 2,07 |
| 2013 | 876 | 18 | 45 | 12 | 238 | 426 | 213 | 3,76 |
| 2014 | 731 | 22 | 147 | 5700 | 1650 | 2718 | 1359 | 19,55 |
| | pH | | | | Gj.snitt | stdev | Usikkerhet | Utslipp |
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | | | | |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | - | - | 10,5 | 10,5 | - | - | - |
| 2003 | - | - | 10,8 | 10,6 | 10,7 | - | - | - |
| 2004 | 10,5 | 10,9 | 10,8 | 10,2 | 10,6 | 0,3 | 0,2 | - |
| 2005 | 10,4 | 10,8 | 10,5 | 10,5 | 10,6 | 0,2 | 0,1 | - |
| 2006 | 10,5 | 10,9 | 10,6 | 10,3 | 10,6 | 0,3 | 0,1 | - |
| 2007 | 10,4 | 10,5 | 10,6 | 10,5 | 10,5 | 0,1 | 0,1 | - |
| 2008 | 10,4 | 11,0 | 11,0 | 10,4 | 10,7 | 0,3 | 0,2 | - |
| 2009 | 10,7 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,5 | 0,1 | 0,1 | - |
| 2010 | 10,9 | 10,6 | 10,7 | 10,2 | 10,6 | 0,3 | 0,1 | - |
| 2011 | 10,4 | 10,4 | 10,5 | 10,4 | 10,4 | 0,0 | 0,0 | - |
| 2012 | 10,3 | 10,4 | 10,6 | 10,5 | 10,5 | 0,1 | 0,1 | - |
| 2013 | 10,3 | 10,4 | 10,4 | 10,2 | 10,3 | 0,1 | 0,0 | - |
| 2014 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,0 | 10,2 | 0,1 | 0,0 | - |
| | Konduktivitet | | | | Gj.snitt | stdev | Usikkerhet | Utslipp |
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | | | | |
| | mS/m | mS/m | mS/m | mS/m | mS/m | mS/m | mS/m | - |
| 2002 | - | - | - | 153 | 153 | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | 21,5 | 21,5 | - | - | - |
| 2004 | - | - | - | 274 | 274 | - | - | - |
| 2005 | - | - | - | 465 | 465 | - | - | - |
| 2006 | - | - | - | 537 | 537 | - | - | - |
| 2007 | - | - | - | 691 | 691 | - | - | - |
| 2008 | - | - | - | 842 | 842 | - | - | - |
| 2009 | - | - | - | 842 | 842 | - | - | - |
| 2010 | - | - | - | 802 | 802 | - | - | - |
| 2011 | - | - | - | 1221 | 1221 | - | - | - |
| 2012 | - | - | - | 920 | 920 | - | - | - |
| 2013 | - | - | - | 858 | 858 | - | - | - |
| 2014 | - | - | - | 841 | 841 | - | - | - |

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no