

Hvordan påvirkes bunnfauna i en nordnorsk fjord av avgangsmasser fra en kobbergruve?

Anita Evenset, Hilde C. Trannum, Kristine B. Pedersen, Paul E. Renaud, Guttorm N. Christensen

Norge er en av få nasjoner i verden som tillater undersjøisk deponering av avgangsmasser fra gruvedrift. Tidligere tiders filosofi basert på «ute av syne, ute av sinn» er imidlertid ikke et argument som fungerer i dagens samfunn. Det har derfor vært et sterkt fokus på kunnskapsinnhenting knyttet til hvordan slik deponering påvirker marint miljø de senere år.

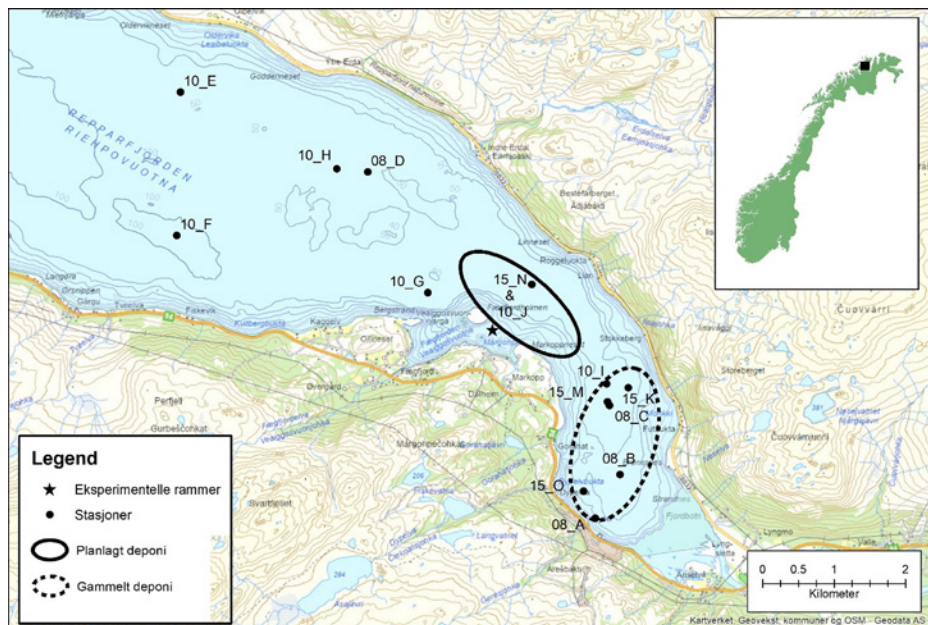
Den økende etterspørselen etter mineraler har økt interessen for mineralressurser over hele verden, både til tradisjonell bruk så vel som til utvikling av ny, grønn energiteknologi. I Norge er gruvedrift for tiden i en vekstfase og underlagt nye miljøreguleringer. Den viktigste miljøutfordringen for industriell gruvevirksomhet er produksjon av store mengder *avgangsmasser*. Dette er bergmasser som er igjen etter utvinning av de utvalgte metaller fra malmen. I kobbergruver utgjør overskytende masser ofte opp til 99 % av malmen. Avgangsmassene består av oppmalt stein med forhøyede konsentrasjoner av metaller, men kan også inneholde tilsatte prosesskjemikalier.

Avgangsmassene kan deponeres på land eller i sjø, og begge alternativer har effekter for omkringliggende miljø. Norge er en av få nasjoner som fortsatt drifter og etablerer

sjødeponier. Argumentet for å opprettholde denne praksisen er at avgangsmasser ofte er mer stabile på havbunnen enn på land, og det er lavere risiko for utlekking av potensielt skadelige metaller under vann sammenlignet med på land. Videre ligger mange av gruvene i Norge nært sjøen og en komplisert topografi gjør det ofte utfordrende å etablere sikre landdeponier. Utfordringer med deponi på land kan være støvspredding, risiko for skred og sur avrenning med påfølgende utlekking av metaller. Noen av disse utfordringene kan unngås ved deponering i sjø, så lenge deponiet etableres korrekt, dvs. i avgrensede dypområder med lite strøm og helst med lite oksygen.

Sjødeponering påvirker likevel kystmiljøet på flere måter: høy sedimentasjon (bunnfelling), lite næring (lite organisk karbon i steinmasser), endringer i bunnsubstratet, endringer

i bunntopografi, økt konsentrasjon av partikler i vannsøylen mm. Organismer i vannsøylen kan få problemer med oksygenopptak dersom gjeller tettes av mye partikler. Både vannlevende og bunnlevende organismer kan også få mekaniske skader på gjeller, hud og fødeorganer dersom partiklene er skarpkantede eller nålformede. I tillegg kan metaller og eventuelle kjemikalier som benyttes i prosessen der ønsket metall skilles fra malmen være giftige for marine organismer. Lokalt, dvs. innen selve deponiområdet, vil all bunnfauna konstant begraves. Også i randsonen, mellom deponiet og normal sjøbunn, vil bunnfauna påvirkes av sedimentasjon, noe som kan gi seg utslag i redusert biologisk mangfold og endringer i artssammensetning. Noen av disse effektene kan vedvare også etter at deponeringen avsluttes. Til tross for at sjødeponering har en lang historikk i Norge har kunnskapen om påvirkning på



det marine miljø vært begrenset, og omfanget og varighet av negative effekter har i liten grad vært forsket på. Dette er bakgrunnen for at det de siste 10 årene har vært gjennomført flere større forskningsprosjekter for å kartlegge miljø-konsekvenser og -effekter av nye og historiske sjødeponier. I regi av Framsenterets flaggskip «Miljøkonsekvenser av næringsvirksomhet i nord» (MIKON) ble prosjektene FIMITA **F**ate and **I**mpact of **M**ine **T**ailings on marine **A**rctic ecosystem) og PAMERA (Incorporating **P**ollutant **A**vailability and **M**obility in **E**nvironmental **R**isk **A**ssessment **M**anagement **T**ools), som har fokusert på historisk og fremtidig planlagt sjødeponi i Repparfjorden, gjennomført. Noen hovedfunn fra disse prosjektene oppsummeres i denne artikkelen.

Deponering av gruveavfall i Repparfjorden

Begge prosjektene ble gjennomført ved bruk av Repparfjorden i Finnmark som case. I Repparfjorden ble kobber utvunnet fra 1972–1978.

↗ Kart som viser områder for gammelt og planlagt nytt deponi, samt stasjoner for prøvetaking av sediment og bunnfauna. Området hvor eksperimentelle bokser var utplassert er vist med stjerne.

← Gamle Follidal verk, som drev gruvevirksomhet i Repparfjorden på 1970-tallet, med Ulveryggen i bakgrunnen.

Foto: Geir Dahl-Hansen

Avgangsmassene ble da deponert på relativt grunt vann, innenfor en terskel på havbunnen, i den indre del av fjorden. Ny gruvevirksomhet er planlagt med mulig oppstart i 2023, og et nytt sjødeponi skal etableres i midtre del av fjorden. Gruveselskapet Nussir ASA fikk i 2015 utslippstillatelse fra Miljødirektoratet til deponering av opp til to millioner tonn avgangsmasse per år i fjorden. Det nye deponiet forventes å dekke et område på om lag 4,9 kvadratkilometer.

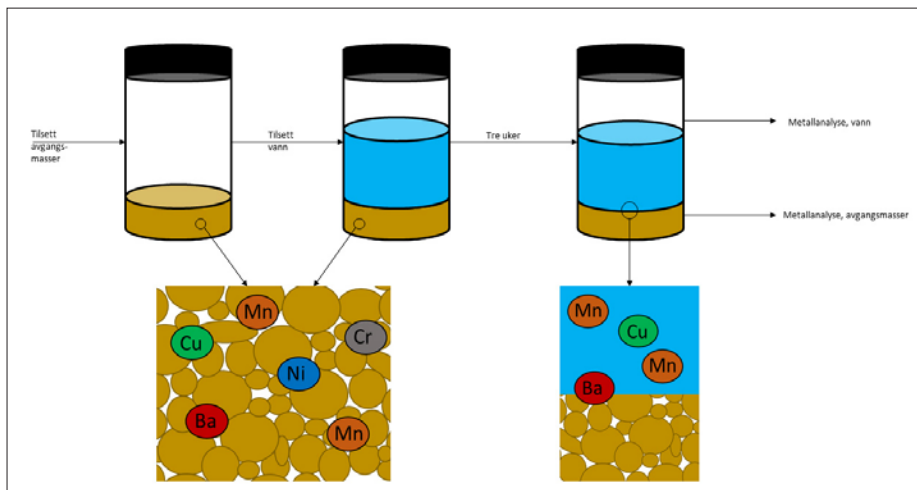
Nyere studier har dokumentert at avgangsmasser fra tidligere gruvevirksomhet fortsatt er eksponert for strøm den indre delen av fjorden. En kartlegging av *batymetri* (måling av dybden i innsjøer og hav) gjennomført av Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) viste at avgangsmassene i dag ligger som en rekke kjeglelignende strukturer som stikker ca. 10 meter opp fra havbunnen. På noen av kjeglene er det lite avsetning av nytt sediment, dvs. at de gamle avgangsmassene fremdeles er eksponert for sjøvann. En undersøkelse som ble gjennomført i regi av prosjektet Environmental Waste Management (EWM), ledet av UiT, Norges arktiske universitet, viste at metaller og partikler ble spredt til den midterste delen av fjorden i forbindelse med utslipp av avgangsmasser på 1970-tallet. Mindre enn 5 % av total mengde deponert kobber ble spredt, så mye er fremdeles igjen i selve deponiområdet. Etter opphør av gravedriften er det ikke

registrert spredning av metaller fra den indre delen av fjorden.

Utlekking av metaller

For organismer som lever i vannsøylen vil det først og fremst være partikler i vann og oppløste metaller som kan forårsake en negativ effekt. Det er imidlertid ikke nødvendigvis total konsentrasjon av metaller som har betydning for effekt på miljøet. Metaller kan foreligge i ulike former og være bundet på ulike måter i avgangsmassene. For å vurdere hvilke effekter metaller kan ha er det viktig å finne ut hvor stor andel av de potensielt skadelige metallene som finnes i en biotilgjengelig form, altså hvor mye som er tilgjengelig for opptak i marine organismer.

I PAMERA-prosjektet ble det gjennomført utlekkingsstester (se figur nedenfor) ved bruk av historiske avgangsmasser (fra 1970-tallet) og avgangsmasser som planlegges deponert i årene som kommer. Resultatene viste at avgangsmassene som planlegges deponert midtfjords lekker mindre biotilgjengelig kobber (10–20 %) og mangan (50 %) enn de historiske avgangsmassene (som i dag er iblandet naturlig sediment). Forskjellene skyldes ulikheter mellom malmen som ble utvunnet og den som skal utvinnes, samt forskjeller i utvinnings- og deponeringsprosess. Nussir planlegger å bruke et flokkuleringsmiddel (Magnafloc10) i utslippsfasen for å sikre raskere sedimentasjon. Forsøkene i PAMERA viste at dette vil redusere utlekkingen av metaller med opptil 35 %. Utlekkingstester viste



Skjematisert fremstilling av oppsett for utlekkingsstester.

videre at utlekking av metaller ikke vil resultere i vannkonsentrasjoner som medfører økologisk risiko utenfor deponiet. Forsøk med endringer av bl.a. temperatur, pH og saltholdighet viste at det er sannsynlig at klimaforandringer vil føre til økt utlekking av metaller i fremtiden, men at heller ikke fremtidige vannkonsentrasjoner vil utgjøre risiko for det marine miljøet utenfor deponiet.

Langtidseffekter på bunnsamfunn
Dyr som lever på havbunnen i eller i nærheten av deponiet vil utsettes for gruveavgang i vannsøylen og på bunnen via direkte kontakt, samt for løste metaller i overliggende vann eller i *porevann* (vann mellom sedimentkornene på bunnen). Ettersom Repparfjorden har et gammelt deponi er det et egnet sted for å studere hvordan bunndyrsamfunnet som ble begravd av avgangsmasser for nesten 40 år siden har kommet seg. For å undersøke status i det gamle deponiet ble det i regi av FIMITA og et par tidligere prosjekter tatt prøver av bunndyrsamfunn i det gamle deponiområdet og i en gradient utover i fjorden (se kartet på forrige side). På de samme stasjonene ble det tatt sedimentprøver for analyser av metaller. Både sediment- og bunndyrsprøver ble tatt ved bruk av en van Veen-grabb (0,1 kvadratmeter) (vist på neste side), og det ble samlet inn fire grabber for bunndyrsanalyser og en grabb for sedimentanalyser på hver stasjon. Prøvene ble tatt i sommersesongen over flere år (2008, 2010 og 2015),

men samme standardiserte metoder ble benyttet alle år slik at resultatene er sammenlignbare. Sedimentprøvene ble analysert for en rekke metaller. Grabbprøvene som ble tatt for analyse av bunndyr ble siktet gjennom en sikt med hull på 1 mm for å skille bunndyr fra sediment. Gjenværende bunndyr ble deretter sortert til taksonomisk gruppe og identifisert til art. For hver bunndyrsprøve ble antall arter (artsrikdom) og antall individer registrert, og biomangfoldsindekser ble beregnet.

Analysen av sedimentprøver viste at konsentrasjonene av kobolt og bly var like i deponiområdet og i området utenfor terskelen som avgrensner deponiet. For andre metaller (arsen, krom, kobber, jern, mangan, nikkel og sink) ble det målt høyere konsentrasjoner i deponiområdet. Kobberkonsentrasjonene var fortsatt høye i sediment fra det gamle deponiet (opptil 291 mg/kg tørrvekt), og oversteg den norske miljøkvalitetsgrensen (84 mg/kg tørrvekt, verdi som angir grense mellom god og dårlig miljøtilstand). Disse funnene indikerer at overflatesedimentene i den indre delen av fjorden fortsatt er påvirket av gruveavgangen, omtrent 40 år etter nedstenging av graven.

Bunndyrsamfunnet var artsrikt i hele fjorden. Gjennomsnittlig artsrikdom per stasjon på 0,1 kvadratmeter varierte fra 48 arter på den innerste stasjonen innenfor terskelen til 135 arter på den ytterste stasjonen utenfor terskelen. Antall individer

per art varierte fra gjennomsnittlig 140 innenfor terskelen til 990 utenfor terskelen. Selv om dyrelivet innenfor terskelen ikke var alvorlig forstyrret, noe som kommer frem ved høyt arts mangfold, ble kobber identifisert som en betydelig strukturerende faktor for faunaen i fjorden. Faunasammensetningen syntes også å reflektere en viss grad av forstyrrelser innad i deponiområdet. Typisk opportunistiske og tolerante arter (det vil si arter som ofte dominerer i områder der sedimentet er forstyrret) som manglebørstemarkene *Capitella capitata* og *Chaetozone/Aphelochaeta sp.* var korrelert til kobber-gradienten. Dette var også tilfelle for muslingen *Macoma calcarea*, som dominerte på de to stasjonene som lå innerst i deponiområdet.

Resultatene fra FIMITA-prosjektet gjennomført i Repparfjorden samsvarer godt med andre studier som viser at til tross for at den første faunakoloniseringen etter at gruedriften har opphørt skjer raskt, kan avgangen til en viss grad påvirke faunaen i mange år etter at deponering opphører. Det er imidlertid viktig å påpeke at effekter ikke nødvendigvis vil være like for et nytt deponi, på grunn av ulikheter i produksjonsprosess og plassering. Det gamle deponiet ble etablert i et område der massene utsettes for strøm og bølger som kan føre til spredning av partikler og metaller. Det nye deponiet vil legges dypere i et område med lite strøm.

Reetablering av bunnsamfunn på deponerte avgangsmasser

Ettersom det nå planlegges oppstart i en ny gruve i Repparfjorden, med tilhørende sjødeponi, var det viktig å undersøke hvordan de nye avgangsmassene kan påvirke bunnfaunaen. I selve deponiområdet vil det bli lagt metervis med avgangsmasse. Dette vil føre til at all bunnfauna der begraves. I ytterkantene av deponiet vil det over et relativt stort område være tynnere lag med avgangsmasse over naturlig sediment. For å undersøke hvordan et tynnere lag avgangsmasse påvirker nyetablering (bunnslåing) av bunnfauna ble det i regi av FIMITA gjennomført et felteksperiment. Koloniseringen av bunnfauna skjer på to forskjellige måter: fra larver som frigjøres til vannsøylen og senere bunnskår, og fra individ som kryper fra naboområdene. Våre eksperimenter skilte ikke mellom disse mekanismene.

For å simulere det som vil skje når den nye gruve er i drift var det viktig å benytte avgangsmasser som er så like de som vil bli produsert som mulig. Avgangsmassene som skal deponeres i fremtiden har en annen sammensetning enn de som ble deponert på 1970-tallet og selve produksjonsprosessen er også endret for å redusere miljøeffekter. Stein fra malmene som skal utvinnes de neste årene (Nussir, 80 % av volumet, og Ulveryggen, 20 % av volumet) ble derfor levert av Nussir ASA. Malmen ble bearbeidet ved

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) ved bruk av metoden som vil bli benyttet i den fremtidige produksjonsprosessen. Den ferske avgangsmassen var derfor lik avgangsmassen som vil bli deponert i Repparfjorden når gruvedriften starter igjen.

Naturlig sediment ble hentet inn nær Fæg fjordholmen som ligger like ved det nye deponiområdet (Figur 1). Sedimentet ble homogenisert og fordelt på 16 bokser som ble frosset ned ved -20°C i minimum 12 timer. Hensikten med nedfrysing var å ta livet av all eksisterende fauna. Ferske avgangsmasser ble deretter

plassert i ulike tykkelser på toppen av det naturlige sedimentet for å simulere økende avstand fra deponiet. Følgende behandlinger ble benyttet: 0 mm (kontroll), 6, 10 og 14,5 mm. Hver behandling besto av 4 bokser. Etter at avgangsmassene var spredt i boksene ble de frosset igjen i 24 timer, slik at de kunne senkes til havbunnen uten at sediment ble spredt i vannmassene. Boksene ble tilfeldig fordelt i fire aluminiumsrammer, med ett replikat av hver behandling (inkludert kontroll) i hver ramme. Rammene ble plassert på flat havbunn ca. 10 m fra hverandre på 18–20 m dyp ved Fæg fjordholmen. Tau ble festet til hvert hjørne av rammen og

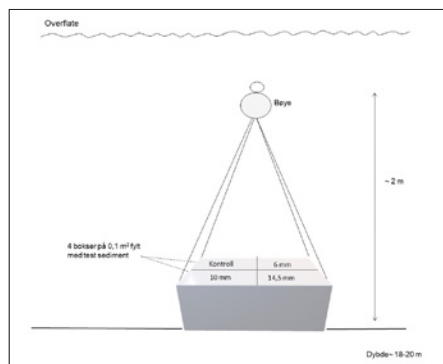


Seisma på feltarbeid i Repparfjorden (til venstre). Van Veen-grabb som ble benyttet til prøvetaking av sediment og bunndyr (til høyre).

Foto: Hilde Trannum

forbundet med en bøye ca. 2 meter over rammene. En skjematisk tegning av oppsettet er vist i figuren under.

Etter 15 måneder på havbunnen ble rammene lokalisert av dykkere som la et lokk på hver boks for å unngå

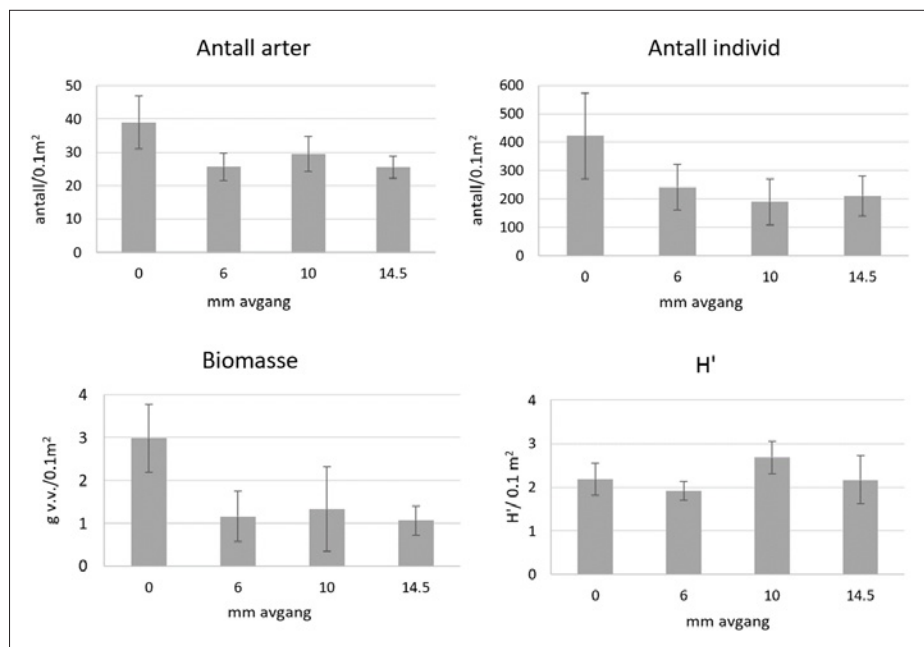


spredning av sediment når rammene ble tatt opp. Deretter ble rammene løftet opp i en båt med en kran. En eksperimentell periode på 15 måneder tillot en hel årlig syklus der yngel kunne etablere seg i boksene og ytterligere noen måneder for vekst. Etter innhenting ble sedimentet i hver boks siktet gjennom en 1 mm sikt for å samle opp bunndyrene. Disse ble veid og alle ble identifisert til art. Det ble også tatt ut sedimentprøver til analyse av metaller fra hver boks.

← Skjematisk fremstilling av rammene som ble plassert på sjøbunnen i rekoloniserings-forsøket.

De høyeste metallkonsentrasjonene ble målt i bokser med 10 eller 14,5 mm avgangsmasse. Tre av boksene med 6 mm avgangsmasse hadde ikke metallkonsentrasjoner som avvok fra de i kontrollboksene (0 mm avgangsmasse). Totalt ble 95 bunndyrsarter og 3588 individer registrert i boksene. Det ble registrert nyetablering av bunndyr i alle boksene, men et viktig funn var at det var en lavere re-etablering i bokser behandlet med gruveavgang enn i kontrollboksene. Både antall arter, antall individer og biomasse var lavere i de behandlede boksene. Leddormen *Dipolydora sp.* dominerte bunnfaunasamfunnet i boksene, men forekomsten var lavere i de behandlede boksene enn i kontrollboksene. I boksene med 14,5 mm avgangsmasse var det bare halvparten så mange *Dipolydora sp.* som i kontrollene. Andre arter som forekom i høyere antall i kontrollboksene enn i de behandlede var muslingene *Macoma calcarea*, *Parvicardium pinnulatum* og *Mya sp.*, og leddormen *Chone sp.*

Ulikhetene mellom behandlingene kan være forårsaket av giftighet på grunn av forhøyede nivåer av kobber eller andre metaller, og/eller



← Antall arter (artsrikdom), antall individer, biomasse og Shannon Wiener diversitetsindeks (H') registrert i hver behandling i felteksperimentet (gjennomsnitt pr. 0,1 m² +/- standardavvik). Stjerne indikerer behandling som var signifikant forskjellig fra kontrollen (0 mm avgangsmasse) (* $p < 0,05$, også ° $p < 0,1$ er indikert).

ulikheter i sedimenttype (kornstørrelse, partikkelfasong (skarpe versus runde partikler)) eller lavt organisk innhold. Boksene med avgangsmasser hadde noe mer finkornet sediment enn kontrollboksene, noe som kan gi færre habitatnisjer som er egnet for bunndyr.

Konklusjoner og anbefalinger
Utlekkingstester indikerte at vannkonsentrasjoner av metaller som kan påvirke marine organismer først og fremst vil forekomme innen deponiområdet. Både feltstudiet og eksperimentet viste imidlertid at avgangsmasser fra kobbergruven påvirker bunndyrsamfunn og at effekter kan spores i lang tid etter avslutning hvis avgangsmassene ligger eksponert. Bunnfaunaen i det gamle deponiet var likevel forholdsvis artsrik, så det er usikkert hva endringene betyr for økosystemet. Faunaen innen det planlagte deponiet vil åpenbart påvirkes av de store mengdene avgangsmasser som avsettes (ved nedgraving), men også i randsonen der det avsettes tynnere lag kan visse effekter forventes. Resultatene indikerte at forhøyede kobber-konsentrasjoner er en viktig påvirkningsfaktor. Studiene har vist at det er viktig å forstå den komplekse sammenhengen mellom kjemi, biologi, og dynamikk i fjordsystemet for å evaluere påvirkning fra sjødeponering.

Siden feltstudiet viste at det er høye metallkonsentrasjoner i sedimentet flere tiår etter at deponering ble

avsluttet, med en svak, men langvarig effekt på bunndyrsamfunnet, anbefales det at fremtidige deponi ved avslutning dekkkes med marin leire eller andre egnede materialer.

Litteratur:

- Andersson, M., Finne, T.E., Jensen, L.K., Eggen, O.A. 2018. Geochemistry of a copper mine tailings deposit in Repparfjorden, northern Norway. *Sci. Tot. Environ.* 644: 1219–1231.
- Pedersen, K. B., Jensen, P. E., Sternal, B., Ottosen, L. M., Henning, M. V., Kudahl, M. M., Junntila, J., Skirbekk, K., Frantzen, M. 2017. Long-term dispersion and availability of metals from submarine mine tailing disposal in a fjord in Arctic Norway. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25: 32901–32912
- Pedersen, K.B., Jensen, P.E., Sternal, B., Ottosen, L.M., Henning, M.V., Kudahl, M.M., Junntila, J., Skirbekk, K., Frantzen, M. 2018. Long-term dispersion and availability of metals from submarine mine tailing disposal in a fjord in Arctic Norway. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 25: 32901-32912. doi: 10.1007/s11356-017-9276-y.
- Pedersen, K.B., Lejon, T., Evenset, A. 2022. Tailored leaching tests as a tool for environmental management of sea. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 405.
- Pedersen, K.B., Lejon, T., Jensen, P.E., Ottosen, L.M., Frantzen, M., Evenset, A. 2022. Impacts of climate change on metal leaching and partitioning for submarine mine tailings disposal. *Marine Pollution Bulletin.* 2022, 184, 114197.
- Ramirez-Llodra, E., Trannum, H.C., Andersen, G.S., Baeten, N.J., Brooks, S.J., Escudero-Oñate, C., Gundersen, H., Kleiv, R.A., Ibragimova, O., Lepland, A., Nepstad, R., Sandøy, R., Schaanning, M.T., Shimmield, T., Yakushev, E., Ferrando-Climent, L., Høgaas, P.H. 2022. New insights into submarine tailing disposal for a reduced environmental footprint: Lessons learnt from Norwegian fjords. *Mar. Pollut. Bull.* 174: 113150.
- Ramirez-Llodra, E., Trannum, H.C., Evenset, A., Levin, L.A., Anderson, M., Finne, T.-E., Hilario, A., Flem, B., Christensen, G., Schaanning, M.T., Vanreusel, A., 2015. Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Mar. Pollut. Bull.* 97: 13–35.
- Trannum, H.C., Pedersen, K.B., Renaud, P.E., Christensen, G.N., Evenset, A. 2023. Recolonisation and recovery of an Arctic benthic community subject to mine-tailings deposits. *Journal of Sea Research* 191 (2023) 102327.



Anita Evenset har PhD i økotoksikologi. Hun er avdelingsdirektør for miljøavdelingen i Akvaplan-niva, og har mange års erfaring

med forskning knyttet til spredning og effekter av forurensning.

E-post: aev@akvaplan.niva.no



Paul E. Renaud har PhD marinbiologi. Han er forsknings- og utviklingssjef for klima og miljø hos Akvaplan-niva, og har spesialkompetanse

innen arktisk økologi.

E-post: per@akvaplan.niva.no



Hilde C. Trannum har PhD marinbiologi. Hun er seniorforsker hos Norsk Institutt for Vannforskning med hovedkompetanse innenfor bløtbunns-

økologi. Hun har flere års erfaring fra forskning og overvåking på effekter av gruveavgang.

E-post: hilde.trannum@niva.no



Guttorm N. Christensen har Master i ferskvannsbibliologi. Han er forsknings- og utviklingssjef for kystnær industri hos

Akvaplan-niva, og har lang erfaring fra undersøkelser om forurensning i ferskvann og marint miljø, samt forskning og utredning på sjødeponier.

E-post: gnc@akvaplan.niva.no



Kristine B. Pedersen har PhD i kjemi. Hun er seniorforsker hos Akvaplan-niva med mange års erfaring med grunn-

forurensning og utlekkings tester.

E-post: kbo@akvaplan.niva.no