

Memo to: Ivar Fossum/Nordic Mining

Memo No: PP079572/ LINSVE

From: DNV GL

Date: 2014-01-31

Copied to: Henrik Jonsson, Tor Jensen

Prep. By: Line Emilie Sverdrup

Kommentarer vedrørende miljørisiko ved deponering av fine mineralpartikler i Førdefjorden

Bakgrunn

Naturvernforbundet har i et brev til Klima- og miljødepartementet datert 14. januar 2014 påpekt en mangel i konsekvensutredningen for den planlagte gruveaktiviteten i Engebøfjellet i at miljørisiko knyttet til nanofraksjonen av titandioksidpartikler (TiO_2 , mindre enn 100 nm) i gruveavfallet ikke er særskilt vurdert.

Naturvernforbundets viser til at "Dei siste åras internasjonale forskning rundt miljøskade frå TiO_2 -nanomateriale i sjø viser at det er ein så stor risiko for skade på fjordens økosystem at det omsøkte utslippet av avgangsmasse i Førdefjorden frå Engebøgruva bør bli avvist også på dette grunnlaget."

Naturvernforbundet refererer i sitt brev til Klima- og miljødepartementet og til den økte oppmerksomhet som nanopartikler har fått de siste årene, både i norsk og internasjonal sammenheng, og har ellers hovedfokus på de ulike typer effekter nanopartikler av titandioksid kan ha. Det vises også til at strømforholdene i området gir et stort spredningspotensial for de minste partiklene i utslippet.

Nordic Mining, som står bak søknaden om gruve drift ved Engebø, har bedt DNV GL om å bistå med en vurdering av det planlagte utslippet av titandioksidpartikler i nanostørrelse for å belyse konsekvenser av dette i Førdefjorden. DNV GL har basert inneværende vurdering på tilgjengelig kvantitativ informasjon om eksponeringsforhold knyttet til utslippet og dokumenterte effekter av titandioksid i nanopartikkelform. I tillegg er de kvalitative (ibøende) egenskapene til titandioksid nanopartikler drøftet både i forhold til skjebne i miljøet og hvilke type effekter som kan forventes innenfor influensområdet. Beregnede konsentrasjoner og effektdata er videre sammenliknet med erfaringsdata fra utslipp av tilsvarende og liknende partikler i marint miljø.

Tilgjengelig informasjon om gruveutslippet

Som for alle typer gruveutslipp til sjø forventes utslippet fra Engebø å gi et arealbeslag. Arealbeslaget omfatter selve sjødeponiet samt det området rundt som forventes å bli påvirket av utslippet. Det er i konsekvensutredningen lagt til grunn et deponiareal tilsvarende $4,4 \text{ km}^2$ etter avsluttet drift, og deponiarealet vil da utgjøre ca. 5 % av sjøbunnarealet i Førdefjorden øst for terskelen ved Svanøy (Asplan Viak/NIVA 2009).

Partikkelfraksjon. Råstoffet i Engebøfjellet er rutil og utvinningsprosessen og det resulterende utslippet er godt karakterisert. Nordic Mining har gjort en siktekurve med forventet

partikkelstørrelsesfordeling for gruveavfallet tilgjengelig for Naturvernforbundet, som har brukt den som utgangspunkt for sine mengdeberegninger.

Utslippsmengder. Det er riktig som Naturvernforbundet refererer at avgangen fra Engebøgruva kan være i størrelsesorden 100 tonn/år med titandioksid i størrelsesfraksjonen <100 nm. Utslippskonsentrasjonene er imidlertid lave.

Utslippsforhold. Det er planlagt utslipp fra avgangsrør som vil følge havbunnen ned til en begrenset høyde over bunnen, for å minimalisere spredning av partikler. Strømforholdene i området er kartlagt, men det pågår fortsatt målinger for å verifisere tidligere målinger og optimalisere både utslipp og modellberegninger knyttet til partikkeltransport i området.

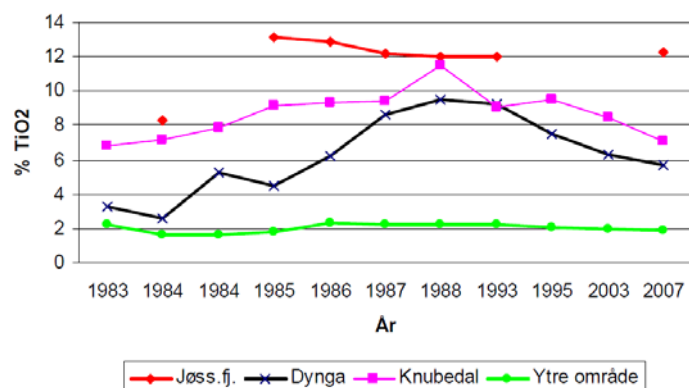
Utslippsberegninger. Partikkeltransportberegninger for finfraksjonen av gruveavfall i marint miljø er utfordrende, da de minste partiklene har en tendens til å flokkulere/aggregere slik at partikkelstørrelsesfordelingen i utslippet endres utover i utslipps/fortynningsforløpet. Jo større partiklene er, desto raskere vil de sedimentere. Det pågår modellutvikling hos SINTEF for å optimalisere partikkelspredningsmodellen for utslippene i Førdefjorden. Som et konservativt utgangspunkt er det i denne vurderingen tatt utgangspunkt i mengdeberegningene til Naturvernforbundet og det er antatt at nanopartikkelkonsentrasjonen av TiO_2 består i vannmassene etter utslipp. I fjorden vil organismer kunne eksponeres for partikkelskyen som gradvis fortynnes i vannmassene.

Utslippskonsentrasjon: Med et utslipp på 100 tonn/år utgjør konsentrasjonen i utslippsrøret ca. 2 mg/L (0,011 tonn/time i et utslippsvolum på 5588 tonn/time). Forholdene ved utslippsstedet gir en rask fortykning av utslippet slik at konsentrasjonen 50 meter nedstrøms utslippet er 1/30 av konsentrasjonen i røret; dette tilsvarer 0,07 mg/L (70 μ g/L). Videre fortykning innenfor det definerte deponiområdet vil raskt gi konsentrasjoner av TiO_2 -nanopartikler på ng/L-nivå.

Det er riktig som Naturvernforbundet skriver i sitt brev, at partikler av nanostørrelse i sin frie form ved høy strømføring kan transporteres flere km fra utslippspunktet. Utslippsforholdene i Førdefjorden i kombinasjon med lokale strømforhold og topografi gjør imidlertid at konsentrasjonene så langt unna vil være svært, svært lave. Både naturlig flokkulering og bruk av flokkuleringsmidler må påregnes å gi utfelling av finfraksjonen nærmere kilden.

Forventet skjebne i miljøet

Titandioksid brytes ikke ned etter utslipp, men vil etter sedimentering på havbunnen bli del av sedimentet. I områder med titandioksidholdig berggrunn gir naturlig forvitring og utvasking en høy bakgrunnskonsentrasjon av titandioksid i fjordsediment. For eksempel var konsentrasjonen av TiO_2 i finstoffet (<0,063 mm) rundt 2 % i områdene utenfor Jøssingfjorden (og endret seg lite under perioden det ble deponert avfall fra Titania gruver i Dyngadypet) (DNV, 2008).



Førdefjordens sediment er naturlig vist å inneholde om lag 4,5 g/kg Ti (0,75 % TiO₂), hvor en stor andel av partiklene vil være i nanostørrelse (NIVA, 2007).

Titandioksidpartikler er vist å kunne akkumulere i filtrerende organismer (som blåskjell) som er direkte eksponert for partikkelskyen, men det skjer ingen videre oppkonsentrering i næringskjeden (dvs effekten er størst lokalt). Ved utslipp i marint miljø vil aktivitet og biotilgjengelighet til titandioksidpartikler påvirkes av både høy ionestyrke og tilstedeværelse av partikulært organisk materiale i sjøvann.

Konklusjon: Titandioksid brytes ikke ned i marint miljø. Organismer eksponeres enten direkte ved å oppholde seg i partikkelskyen fra utslippet eller ved filtrering av vann fra denne. Til en viss grad kan titandioksid overføres mellom trofiske nivå (for eksempel fra plante- til dyreplankton), men det skjer ingen oppkonsentrering i næringskjeden.

Dokumenterte effekter av titandioksidpartikler

De fleste effektstudier av titandioksidpartikler er gjennomført med kjemisk fremstilte partikler (størrelsesbestemte fraksjoner), og mange er gjennomført med en krystallform (anatase) som er mer reaktiv/giftig enn den formen som slippes ut i Førdefjorden (rutil). Forskjellen i reaktivitet mellom størrelsesfraksjoner og krystallformer kan knyttes til overflateegenskaper til partiklene (Yeo og Kang 2008; Teknologirådet). Effektnivåene som er funnet i litteraturen er derfor et konservativt utgangspunkt for vurdering av effekter i Førdefjorden.

Større partikler av rutil er i utgangspunktet regnet som inert, men de kan gi en fysisk effekt ved nedslamming av organismer der de deponeres lokalt.

Naturvernforbundet har i sitt brev vist til en rekke ulike effektstudier som viser skade på planteplankton, krepsdyr, fisk, muslinger, samt cellekulturer av sjøpattedyr. Studiene har vært gjennomført over både korte og lengre tids eksponering, og man har undersøkt både letale og sub-letale effekter. Det er ingen av de refererte studiene som påpeker helt nye egenskaper ved titandioksidpartikler som umuliggjør en vurdering av miljøeffekter for utslippene.

En omfattende oversikt over økotoksikologiske studier med titandioksid er gitt i en rapport fra US EPA (2010). Hovedmekanismen for giftighet av titandioksidpartikler er antatt å være dannelse av oksygenradikaler etter at nanopartiklene har kommet inn i organismenes celler. Dette gir en rekke skadelige sekundæreffekter (lipidoksidering, skade på makromolekyler i cellen – inkludert DNA). Muslinger og andre filtrerende organismer er særlig følsomme fordi de akkumulerer partikler i større grad enn andre, og fisk er følsom fordi ioneregulering over cellemembraner påvirkes, og særlig i gjellene.

Med unntak for en studie på fisk (Federici et al., 2007), er skadelige effekter av titandioksidpartikler observert først på mg/L-nivå. Federici et al. (2007) observert imidlertid skader på gjellene på yngel av regnbueørret ved konsentrasjoner helt ned til 0,1 mg/L. Forfatterne av fiskestudien observert ingen akkumulering av titandioksid i fisken og forklarte effektene med en fysisk adsorpsjon av partiklene på gjelleoverflaten og at de utøvet sin virkning der.

Hvilke effekter som kan forventes knyttet til utslipp av titandioksid nanopartikler, så vel som andre kjemikalier, vil avhenge av faktorer som konsentrasjon, tilstandsform og

biotilgjengelighet, type organisme og livsstadium, eksponeringsvei, og eksponeringstid. Det vil for alle kjemikalier likeledes finnes en nedre grense for negative effekter på miljøet. Fastsettelse av en slik nedre grense (terskelkonsentrasjon; PNEC) må baseres på kvalitet og kvantitet av tilgjengelige økotoksikologiske data, samt dokumenterte effektnivåer.

Konklusjon: Det er dokumentert effekter av nanopartikler av titandioksid ned til 0,1 mg/L (100 µg/L). Det er utført flere kroniske studier med alger og krepsdyr (dafnier), samt sub-letale studier med fisk.

Effektstudiene er gjort med kjemisk fremstilte nanopartikler, som vil være mer reaktive enn rutilpartikler i gruveavfallet. Å basere en miljørisikovurdering for gruveavfallet i Førdefjorden på resultater fra slike studier vil være svært konservativt.

Forventede effekter i Førdefjorden

Titandioksid akkumuleres i muslinger og til en viss grad i andre filtrerende organismer, men ikke i fisk. Det vil heller ikke skje noen oppkonsentrering av titandioksid i næringskjeden. Effekter forventes derfor kun lokalt i det området hvor terskelverdien for effekter overskrides.

Hva slags type effekter, og konsekvensen av disse fra utslippene i Førdefjorden avhenger av konsentrasjonen som organismene utsettes for. Utslipet fra Engebø utsettes for en stor initiell fortykning, og konsentrasjonen av titandioksidpartikler i størrelsesfraksjonen <100 nm 50 m nedstrøms utslippet er ca. 70 µg/L. Dette er allerede lavere enn samtlige observerte effektnivåer for kjemisk fremstilte nanopartikler i laboratoriestudier.

Sedimentene i Førdefjorden inneholder pr i dag naturlig høye konsentrasjoner av TiO₂-partikler i nanostørrelse, og en naturlig oppvirvling og påfølgende strømtransport av disse må forventes å kunne påvirke organismer i vannsøylen ikke ulikt det som kan forventes for det tilførte gruveavfallet. Det synes basert på dette usannsynlig at utslipp av titandioksidpartikler i nanostørrelse vil gi effekter utover det allerede definerte arealbeslaget på 4,4 km².

Erfaring fra tidligere utslipp titandioksid-nanopartikler til sjø

Når en vurderer de miljømessige effektene av gruveavgang på det marine miljøet gjennomføres det en rekke studier etter pålegg fra forurensningsmyndighetene. Slike studier inkluderer totalbelastningen på ulike samfunn (bløtbunnssamfunn, fisk osv) og konsentrasjoner av ulike stoffer i sedimenter, vannmasser eller biota. Erfaring fra en rekke studier er blitt samlet i en rapport for Klif (nå Miljødirektoratet), se Bergverk og avgangsdeponering - Status, miljøutfordringer og kunnskapsbehov (TA-2715). Bløtbunnssamfunnet består av dyregrupper som muslinger, krepsdyr, børstemark og pigghuder (som er større enn 1mm), og har vist seg meget godt egnet til å detektere selv små endringer som følge av ytre påvirkning. Naturlig nok vil det være en betydelig effekt på bløtbunnssamfunnet i den aktive delen av et deponi (den delen som mottar avgangen). Graden av effekt kan relateres til tykkelsen på avgangen, eller hvor raskt nedslammingen finner sted. En rekke studier viser at det er selve nedslammingen som gir effekter, og dette vil eventuelt maskere mindre effekter fra andre kilder i et deponi. I forbindelse med Titanias utslipp av TiO₂-partikler fra deres ilmenittforekomst ved Jøssingfjorden er det gjort en rekke studier over en 20-års periode. Konsentrasjon av TiO₂ har blitt målt i bunnsedimentene,

inklusive i finstoffet (< 0,063mm). Nanopartikler er ikke spesielt vurdert, men det er ingen indikasjon i det materialet som er samlet inn gjennom 20 år som tilsier at de effektene som er påvist kan relateres til konsentrasjoner av TiO₂. Det er imidlertid påvist en sammenheng mellom mengde finstoff (uavhengig av konsentrasjon av TiO₂), vanddyp og tilstand til bløtbunnssamfunnet. Samme forhold er registrert ved andre deponier som for eksempel i Frænfjorden, hvor avgang fra Hustadmarmor (Omya) deponeres; nedslamming i deponiet gir betydelig effekter på bløtbunnssamfunnet, noe som selvfølgelig er forventet. I utkanten av deponiet er det det biologiske mangfoldet høyt selv om det er målt en nedslamming som tilsvarer økt tilførsel av sedimenter på 5 mm/år. Også i Frænfjorden er det en korrelasjon mellom dyp, finstoff og bløtbunnssamfunn.

Konklusjon: I de studiene som er gjennomført i forbindelse med mineraldeponering i norske fjorder har en lagt vekt på å studere totalbelastningen avgangen har på miljøet. Ved Titania er det gjennomført en rekke studier over en 20-års periode. Nanopartikler har aldri blitt studert som en egen forurensningskilde. Det er imidlertid ikke påvist endringer i bløtbunnssamfunnet som kan relateres direkte til konsentrasjon av finpartikulært TiO₂. Registrerte endringer i bunnfaunaen har vært knyttet til endringer i kornstørrelse, dvs nedslamming og vanddyp. Det er lagret et stort datamateriale fra Titania og det bør være mulig å analysere datene enda mer inngående for å vurdere eventuelle endringer som kan relateres til TiO₂.

Konklusjon

Nanopartikler har på linje med andre kjemikalier en konsentrasjonsavhengig effekt. Når man skal vurdere konsekvenser av et nanopartikelutslipp må derfor utslippet kvantifiseres og sammenliknes med effektnivåer som er funnet i kontrollerte økotoksikologiske studier. Kjemisk fremstilte nanopartikler er typisk mer reaktive enn det man finner for gruveavfall fra rutil, og bruk av studier hvor slike partikler er benyttet gir derfor et konservativt utgangspunkt for å vurdere effekter i Førdefjorden.

Kjemisk fremstilte, størrelsesdefinerte titandioksid nanopartikler er vist å gi effekter på akvatiske organismer ned til en konsentrasjon på 100 µg/L. For utslippet av titandioksidpartikler i størrelsesfraksjonen <100 nm er konsentrasjonen i vannmassene 50 m fra utslippspunktet i Førdefjorden konservativt estimert til 70 µg/L. Det vil herfra skje en videre fortykning av utslippet både knyttet til flokkulering og utfelling av nanopartikler og fortykning i vannsøylen.

Sediment i Førdefjorden inneholder naturlig høye nivåer av titandioksidpartikler, inkludert partikler i nanostørrelse, som stammer fra forvitring av bergartene i området. Organismer i området vil være eksponert for disse partiklene ved naturlig oppvirvling og påfølgende transport i vannsøylen. Erfaringer fra overvåking av titandioksidholdig gruveavfall til sjødeponi i Jøssingfjorden, knyttet til utslipp fra Titania gjennom 20 år, viser at utslipp av titandioksidpartikler, hvor finstoff-fraksjonen inneholder en betydelig andel nanopartikler, ikke har gitt effekter på organismer utover selve deponiområdet. Det synes derfor lite sannsynlig at utslippene av nanopartikler fra Engebøfjellet skulle ha påvirkning utover det som allerede identifisert i konsekvensutredningen.

Referanser.

Asplan Viak og NIVA (2009) Reguleringsplan med konsekvensutredning for utvinning av rutil i Engebøfjellet i Naustdal kommune. Høringsutkast datert mai 2009.

DNV (2008) Resipientundersøkelse Jøssingfjorden 2008. DNV-rapp. Nr. 2008-0089.

Federici, G; Shaw B-J; Handy, R-D (2007) Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): gill injury, oxidative stress, and other effects. *Aquatic Toxicology* **84**; 415-430.

Naturvernforbundet (2014) Nanopartiklar – risiko ved utslepp av gruveavfall i Førdefjorden. Brev til Klima- og miljødepartementet datert 14. januar 2014.

NIVA (2007) Dyrelivet på bunnen av Førdefjorden og bunnsedimentenes sammensetning. Undersøkelser i 2007. NIVA-rapport. Ikke datert.

<https://www.naustdal.kommune.no/Filnedlasting.aspx?MIId=154&FillId=32>

Teknologirådet (2007) <http://teknologiradet.no/nanoteknologi/risiko-ved-metalloksider/>

US EPA (2010) Nanomaterial Case Studies: Nanoscale titanium dioxide in water treatment and in topical sunscreen. US EPA report EPA/600/R-09/057F dated November, 2010.

http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&ved=0CDkQFjAC&url=http%3A%2F%2Fofmpub.epa.gov%2Ffeims%2Ffeimscomm.getfile%3Fp_download_id%3D499980&ei=FcvXUo-mN4Wp4ASA_YCwBw&usq=AFOjCNGt22wrpRq95GiS5ZIPFF2RH2-FWQ&bvm=bv.59568121,d.bGE

Yeo, M-K; Kang, M (2012) The biological toxicities of two crystalline phases and differential sizes of TiO₂-nanoparticles during zebrafish embryogenesis development. *Molecular & Cellular Toxicology* **4**; 317-326. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13273-012-0039-z#page-1>

Vennlig hilsen

For DNV GL



Line Emilie Sverdrup, PhD

Principal Specialist