

Memo to:

Mona Schanche; Nordic Rutile AS
Kenneth Nakken Angedal, Nordic Rutile AS

Memo No:

Nrutile 1006-2020

From:

Environmental Risk Assessment
and Preparedness

Date:

10.06.2020

Prep. By:

Line Sverdrup, DNV GL

Verified by:

Lucy Brooks, Tor Jensen, DNV GL

DOKUMENTASJON FOR MILJØEGENSKAPER TIL STOFFET SIBX SAMMENDRAG

Nordic Rutile AS forbereder en søknad til Miljødirektoratet om endring av prosesskjemikalier i utslippstillatelsen forbundet med optimalisert utvinningsprosess for rutil og granat fra Engebøfjellet i Sunnfjord kommune i Sogn og Fjordane. Avgangsmasser fra utvinningen er planlagt deponert i ytre del av Førdefjorden. Prosessvann med rester av prosesskjemikalier følger med avgangen når denne slippes ut på om lag 300 meters dyp i fjorden.

Bedriften planlegger å søke om endre bruken av kjemikalier ved å erstatte gjeldende kjemikalier med følgende: samleren xantat (SIBX, $C_5H_9OS_2Na$, CAS: 25306-76-5), skummeren Chemical Dowfroth*400 Flotation Frother (Dow400, $[C_3H_8O_2]_n$, CAS: 25322-69-4) og flokkuleringsmiddelet Magnafloc 5250 ($-CH_2CHCONH_2-$, CAS:9003-05-8). Av disse stoffene har Miljødirektoratet bedt om mer dokumentasjon for egenskaper ved SIBX, spesifikt knyttet til gjennomføring av en langtidstest for marin fisk, ny beregning av terskelnivå for biologiske effekter (PNEC), etablering av en mer sensitiv analysemetode for SIBX, gjentak av en utlekkingstest i laboratorieskala, og nye beregninger for å illustrere fordeling og fortynning av SIBX i vannmassene. Det ble i tillegg bedt om vurdering av hvordan SIBX vil kunne akkumulere i planter i marint miljø, samt mulige indirekte effekter på opptak av tungmetaller i organismer.

Nordic Rutile har nå gjennomført alle de etterspurte studiene, og resultatene rapporteres her. Langtidstest for marin fisk viste lav giftighet ($NOEC > 10 \text{ mg/L}$). Ny beregning av terskelnivå for biologiske effekter (PNEC) førte til en revidert PNEC på $3,4 \mu\text{g/L}$ på basis av tilgjengelige økotoksikologiske data og anbefalt sikkerhetsfaktor på 100. Denne PNEC er vurdert dekkende for både direkte og indirekte effekter av SIBX, dvs at det ikke vil forventes noen tilleggseffekt av SIBX på planter/næringskjeden eller på tungmetallakkumulering i konsentrasjonsnivåer under PNEC.

Sensitive analysemetoder for deteksjon av SIBX i sjøvann er nå etablert ved to norske laboratorier, og utlekkingstesten gjentatt slik at pålitelige verdier for binding til avgangsmasser og senere utlekking er tilgjengelig. Det er videre gjennomført spredningsmodellering for SIBX med modellen DREAM basert på planlagt bruk, lokal topografi og strømforhold gjennom et år med bruk av både relevante og svært konservative inngangsparametere.

Spredningsmodelleringene med relevante inngangsparameterne viser at utslippet av SIBX raskt fortynnes til en konsentrasjon langt under PNEC, og at influensområdet for utslippet er begrenset til plumen i umiddelbar nærhet av utslippsunktet. Det er også gjennomført modellberegninger med konservative utslippsparametere (ingen binding til avgangen og lav nedbrytningsgrad i resipienten) for å illustrere et worst case, og i disse scenariene er det fortsatt kun overskridelse av PNEC i et fåtall gridceller ($50\text{m} \times 50\text{m} \times 10\text{m}$) rundt utslippspunktet. På basis av informasjon om stoffets nedbrytning og biotransformasjon vil morstoffet (SIBX) være dimensjonerende for miljørisiko. Siden SIBX vil hydrolyseres raskt i organismer forventes ikke næringskjedeeffekter.

DNV GLs vurdering er at miljøegenskapene til SIBX og stoffets spredning i resipienten ved planlagt bruk i Førdefjorden nå er tilstrekkelig kartlagt. Miljørisiko knyttet til planlagt bruk og utslipp av SIBX er lav.

1 BAKGRUNN

Nordic Rutile AS ønsker å benytte kjemikallet natrium isobutyl xantat (SIBX) i utvinningen av rutil og granat fra Engebøfjellet. Stoffet hører til xantat-gruppen av kjemikalier og som er svært utbredt innen gruveindustri der de benyttes som samlere i flotasjonsprosesser (oppredningsprosesser) av metallisk sulfidholdig malm. Na-xantater består av en hydrokarbonkjede og en polar sidegruppe. Xantatenes selektivitet mot ulike typer malm bestemmes til dels av lengden av den polare sidegruppen og minker med økende lengde. SIBX benyttes sammen med Dowfroth 400 for flotasjon av pyrittpartikler. Partiklene festes til luftbobler og samles i et skum på overflaten hvor de så kan fjernes fra rutilen.

Prosessvann med rester av prosesskjemikalier følger med avgangen når denne slippes ut på om lag 300 meters dyp i fjorden. Vannvolumet i det indre bassenget kan grovt anslås til 600 000 m³ vann og det er god vannutskifting. Det planlegges en årlig deponering av omkring 1 274 580 tonn avgangsmasse (tørrstoff) og 409 000 m³ prosessvann (iblandet sjøvann). Dette tilsvarer daglig deponering av omkring 3 490 tonn avgangsmasse og 1120 m³ prosessvann (Nordic Mining, 2020).

Nordic Rutile hadde i 2018-2019 flere møter med Miljødirektoratet der krav til kunnskapsgrunnlaget for de nye tilsetningsstoffene har blitt diskutert, og har tidligere presentert resultater for økotokstester, bionedbrytbarhetstester og bindingstester gjennomført for både SIBX og avgangsmasser hos Aquateam COWI AS (se DNV GL, 2019). I et brev oversendt i desember 2019 (Miljødirektoratet, 2019) stilte Miljødirektoratet en rekke konkrete krav til ytterligere dokumentasjon på skjebne og effekter av SIBX under betingelser relevante for Førdefjorden som underlag for en utslippstillatelse.

Foreliggende notat gir en oversikt over nye resultater, beregninger og modelleringer som Nordic Rutile har generert for å kartlegge miljøegenskapene til SIBX. Rapporter som beskriver testarbeider og modelleringer er vedlagt (noen ettersendes da de ikke finnes i endelig signert utgave).

1.1 Spørsmål fra Miljødirektoratet

I brevet fra Miljødirektoratet ligger en rekke forutsetninger for godkjenning av SIBX i produksjonsprosessen. Disse forutsetningene er listet under, med referanse til hvor i dokumentet hvert element er diskutert. Nye studier underbygger robuste modellberegninger for SIBX-konsentrasjoner i fjorden som er sammenholdt med terskelverdi for miljøeffekter for å vurdere influensområdet for utslippet.

1. Bedriften må revidere PNEC for SIBX. Dette er gjort i av DNV GL kapittel 2.6.

2. Bedriften må foreta en langtidstest for toksisitet hos marin fisk, OECD TG210 på arten *Cyprinodon variegatus*. En lavere temperatur bør vurderes for å reflektere forholdene i Førdefjorden, eventuelt bør dette tas med i diskusjonen av resultatene. Testen ble gjennomført i 2020 ved DHI og er presentert i kapittel 2.4. Videre er en kronisk marin copepodetest også gjennomført som del av å øke kunnskapsgrunnlaget for økotoksitet. Testen er presentert i kapittel 2.5.

3. Analysemetoden for SIBX er ikke følsom nok. Denne må forbedres, da gapet mellom følsomheten og aktuelle konsentrasjoner av stoffet er for stort. Analysemetode på µg/L nivå er nå etablert ved to norske laboratorier, som beskrevet i kapittel 2.1.

4. Utlekkingstesten av avgangsmasser er ikke pålitelig og må gjentas så snart en mer følsom analysemetode er etablert. Ny test er gjennomført hos SINTEF og resultatene presentert i 2.2 og 2.3

5. På bakgrunn av stoffets giftighet og mulig persistens må bedriften skaffe en bedre oversikt over hvordan SIBX vil fordeles og fortynnes i vannmassene. Spredningsmodelleringer (DREAM, SINTEF) for ulike scenarier er vist i kapittel 4. Inngangsparametre til modellen er diskutert i kapittel 3.

6. Eventuell akkumulering av SIBX i planter, og effekten SIBX har på opptak av tungmetaller i organismer, er nevnt i dokumentasjonen fra bedriften. Dette gjelder imidlertid ferskvann, og må derfor vurderes for marint miljø og tas med i tilbakemelding/søknad om endringer i tillatelsen. Disse vurderingene ligger i kapittel 2.8 og 2.9.

1.2 Gjennomførte studier med SIBX

Studier som er gjennomført med SIBX i forbindelse med Nordic Rutiler utslippssøknad er listet i Tabell 1. Nye studier siden forrige rapportering er diskutert i detalj i kapittel 2 og kapittel 4.

Tabell 1. Gjennomførte studier med SIBX i kronologisk rekkefølge fra 24.01.2019 til dags dato. Studiene som er benyttet som underlag for inneværende vurdering er uthevet i tabellen. Dokument # 1-19 er tidligere oppsummert eller oversendt til Miljødirektoratet.

#	Utført av	Studie	Kommentar
1	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of SIBX to Microtox	Initielle studier av SIBX
2	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of SIBX to <i>Skeletonema costatum</i>	EC10 benyttet (for PNEC)
3	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of SIBX to <i>Acartia tonsa</i>	Initielle studier av SIBX
4	Aquateam COWI AS	Chronic toxicity Calanoid copepod early-life stage test with <i>Acartia tonsa</i> - SIBX	Denne testen møtte ikke gyldighetskriteriene.
5	Aquateam COWI AS	Biodegradation of SIBX, OECD 306	27% nedbrytning etter 28 dager
6	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of SIBX after 306 to <i>Acartia tonsa</i>	Initielle studier av SIBX
7	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of Tailings to Microtox	Tester med SIBX i avgang.
8	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of Tailings to <i>Skeletonema costatum</i>	Tester med SIBX i avgang.
9	Aquateam COWI AS	Acute toxicity of Tailings to <i>Acartia tonsa</i>	Tester med SIBX i avgang.
10	Aquateam COWI AS	Chronic toxicity calanoid copepod early-life stage test with <i>Acartia tonsa</i> - tailings	Tester med SIBX i avgang.
11	Aquateam COWI AS	Biodegradation of tailings, OECD 306	Tester med SIBX i avgang.
12	Aquateam COWI AS	Biodegradation Marine Aerobic Simulation Test for Tailings	Tester med SIBX i avgang.
13	Aquateam COWI AS	Biodegradation Marine Anaerobic Simulation test for Tailings L/S 10	Tester med SIBX i avgang.
14	Aquateam COWI AS	Preparation of Tailings for Laboratory testing, Nordic Mining	Laboratorie-skala forsøksoppsett med avgang/prosessvann
15	Aquateam COWI AS	Bindings test SIBX to Tailings	Sorpsjon og utlekkingsstest, denne hadde for lav deteksjonsgrense.
16	DNV GL	Miljøegenskaper til prosesskjemikalier i Nordic Rutiler produksjon av rutil og granat.	Oppsummerende notat til Mdir
17	DHI	Effect of SIBX on the early life stages of the marine fish, sheepshead minnow <i>Cyprinodon variegatus</i>) and the marine copepod <i>Acartia tonsa</i>.	Kronisk marin fisketest samt repetisjon av kronisk <i>Acartia tonsa</i> test. EC10 fra disse er benyttet for beregning av PNEC
18	Institute for Energy Technology	Degradation of sodium isobutyl xanthate (SIBX) in marine water.	1. Etablering av analysemetode. 2. Nedbrytningsstudie i marint vann ved 10 grader.
19	SINTEF	Adsorption/desorption studies of SIBX	1. Etablering av analysemetode. 2. Etablering av Kd for skjebne- og utlekkingsvurderinger
20	SINTEF	DREAM simulations in Førdefjorden with relevant input parameters for sorption and degradation.	SIBX konsentrasjoner i fjorden gjennom et år med utslipp.
21	DNV GL	Litteraturstudier: 1. Effekter av xantater på giftighet av metaller. 2. Akkumulering av xantater i marine planter.	Konklusjoner er trukket inn i vurdering av PNEC.

2 PRESENTASJON AV GJENNOMFØRTE STUDIER

I dette kapitlet presenteres og diskuteres studier som er gjennomført for å besvare Miljødirektoratets spørsmål.

2.1 Etablering av sensitive metoder for deteksjon av SIBX

Det er nå etablert analysemetodikk som kvantifiserer SIBX i konsentrasjoner ned til 1 ug/L i sjøvann ved to norske laboratorier, dvs godt under den etablerte PNEC.

Metoden er basert på væskekromatografi koplet til et massespektrometer. Både SINTEF og IFE har implementert metodikken som del av Nordic Rutils utviklingsarbeid. Metode og resultater er tilgjengelige i rapportene fra hhv IFE (2020) (Vedlegg 2) og SINTEF (2020) (Vedlegg 3, ettersendes).

2.2 Binding av SIBX til avgangsmasser

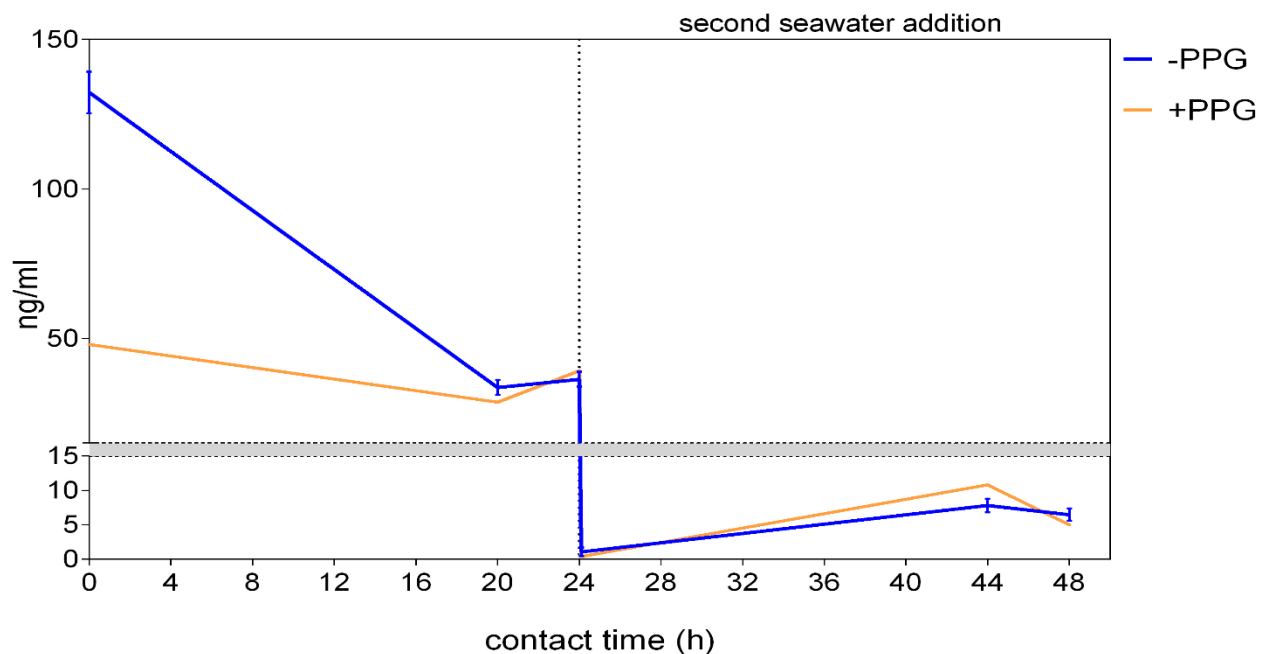
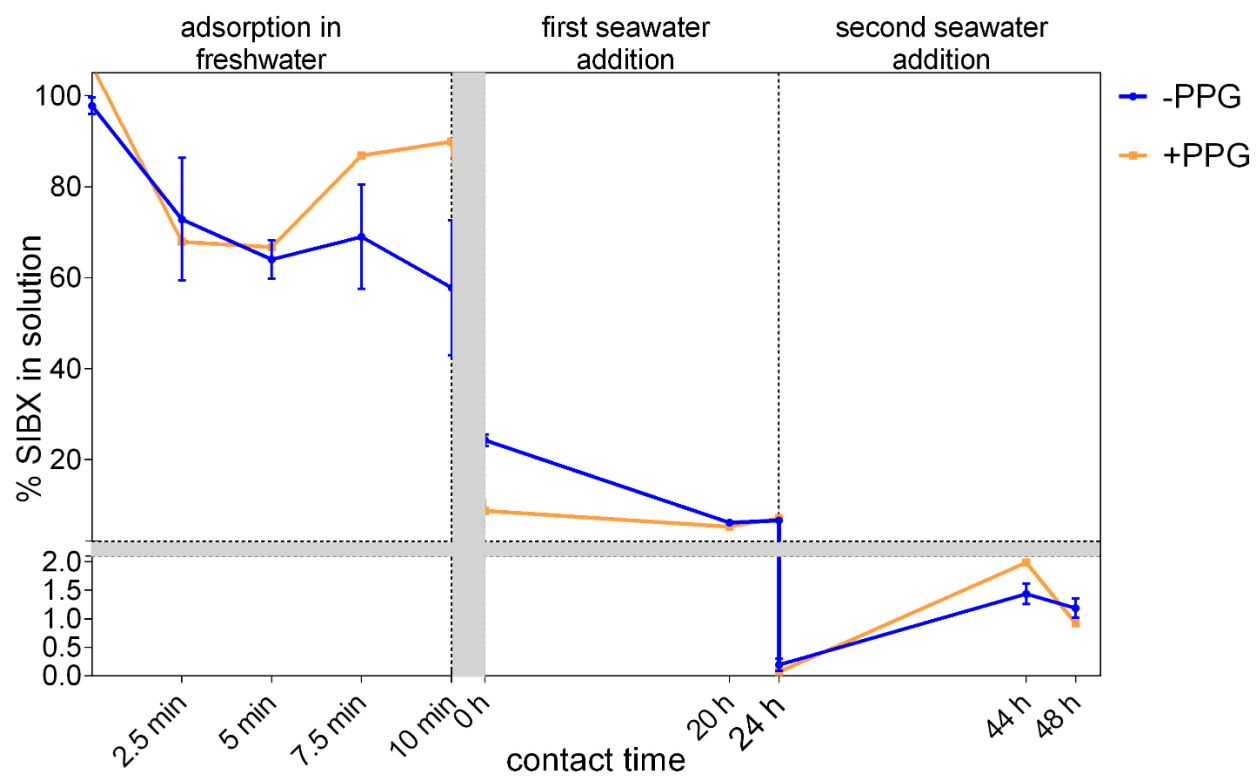
For modellsimuleringer av stoffets fordeling og fortynning i fjorden er den initielle fordelingskoeffisienten mellom avgangens partikulære fase og vannfasen (K_d) en nøkkelparameter. Dette avgjør om SIBX frigis initielt til vannsøylen eller følger partiklene til deponiet.

Laboratorieforsøk ved Aquateam COWI viste en adsorpsjon på >80 % av tilsatt SIBX, men kunne ikke gi en faktisk fordelingskoeffisient da deteksjonsgrensen for SIBX var for lav. Miljødirektoratet ba derfor om at testen ble gjentatt.

Studiet hos Aquateam ble gjennomført med ca. 10 ganger høyere dosering enn det som er planlagt brukt, og var derfor ikke helt representativt. Ved gjentak av tilsvarende forsøk ved SINTEF ble det brukt relevant dosering. Forsøket (beskrevet i detalj i SINTEF (2020)) ble gjennomført som en småskala flotasjonsprosess ved først å tilsette SIBX i en ferskvannsfraksjon med omrøring og gjennombobling, og så etter 10 minutter tilsette sjøvann for 24 timers videre kontakttid med omrøring. Relevant binding av SIBX til avgang ble beregnet fra observert sorpsjon før denne vannfraksjonen ble fjernet og nytt sjøvann tilsatt. Det ble da gjenfunnet 7 % SIBX i væskefraksjonen som er relevant for utslipp, dvs at 93 % av SIBX var bundet i avgangen (Figur 1).

2.3 Utlekking av SIBX fra avgangsmasser

Fra studien ved SINTEF er andelen SIBX som lekker ut beregnet til <2% (ca 1,3 %) av totalt tilsatt mengde i løpet av en periode på 24 timer med sjøvann/avgang i 1:10 forhold med kontinuerlig røring (SINTEF 2020). Forsøket illustrerer optimale desorpsjonsbetingelser. Som porevannskonsentrasjon tilsvarer dette 5-10 µg/L (Figur 1), dvs over PNEC som er 3,4 ug/L. Det er viktig å poengtere at dette ville representert konsentrasjonen i avgangsmassene i deponiet og rett over disse, altså et begrenset område langs bunnen tatt i betraktning at høy grad av SIBX fester seg til partikkeloverflaten og følger massen ned i deponiet. Som et konservativt scenario er det gjort modelleringer der all SIBX er antatt løst i vannfasen og ikke er bundet til partiklene, slik beskrevet nærmere i del 4.



Figur 1. Sorpsjons- og utlekkingsstudiet for SIBX i/fra avgangsmasser gjennomført ved SINTEF i 2020. De to første fasene (innblanding i ferskvann i 10 min og deretter 24 t etter innblanding av sjøvann) illustrerer prosesser i avgangen før utslipp og gir et mål på sorpsjon (totalt 93% sorpsjon). Tredje fase illustrerer desorpsjon etter utslipp, og viser at <2% resuspenderer/frigis til vannsøylen. Øverst: Løst SIBX som prosent av tilsatt mengde. Nederst: Konsentrasjoner gjennom sorpsjons- og desorpsjonsprosesser i sjøvann. Kilde: SINTEF, 2020

2.4 Kronisk marin fisketest

I henhold til krav fra Miljødirektoratet ble en kronisk fisketest gjennomført med den marine arten *Cyprinodon variegatus*, som er vanlig brukt i slike tester (se DHI, 2020). Dette er en tidlig livsstadie-test som starter med eksponering av fiske-egg, og følger utviklingen av disse organismene i ca 4 uker etter klekking (totalt 32 dager eksponering).

Testen ble gjennomført på DHI i Danmark. Den ble kjørt som semi-statisk (vannbytte tre ganger i uken) med filtrert sjøvann (32 PSU) tilsatt følgende SIBX konsentrasjoner: 0,1; 0,32; 1,0; 3,2 og 10 mg/L, i tillegg til en kontroll uten testsubstans.

Hver konsentrasjon ble testet med fire replikater, hvert med 20 befruktede egg ved teststart, og ved standard temperatur (25 °C) og lys (lys:mørkesyklus på 14:10 timer). Etter klekking, fra dag 6, ble dyrene fulgt opp daglig med mating (nyklekkede Artemia og flaket fiskefôr) og fjerning av fæces, matrester og døde dyr. Endepunkter i testen som ble notert underveis inkluderte klekking, overlevelse, og unormal adferd. Ved avslutning av testen ble dyrene bedøvet, målt og veid. Testen ble konkludert gyldig basert på standardens gyldighetskriterier og viste ingen statistisk signifikant effekt (ANOVA, Dunnett's test; $p > 0,05$) ved høyeste konsentrasjon (Figur 2).

Miljødirektoratet ba Nordic Rutil vurdere testing ved lavere temperatur for å reflektere forholdene i Førdefjorden, eller vurdere relevans av testen gjennomført under standard betingelser. DHI, som gjennomførte testen, ga en sterk anbefaling om å kjøre testen i henhold til standarden, dvs ved 25 °C og ikke ved lavere temperatur. DNV GL vurderer følgende elementer som relevante for en lavere temperatur:

- Potensielt lavere nedbrytning i eksponeringsmediet/høyere faktisk eksponering.
- Potensielle endringer i toksikokinetikk og toksikodynamikk.
- Potensielle endringer i binding/biotilgjengelighet i test matrix.

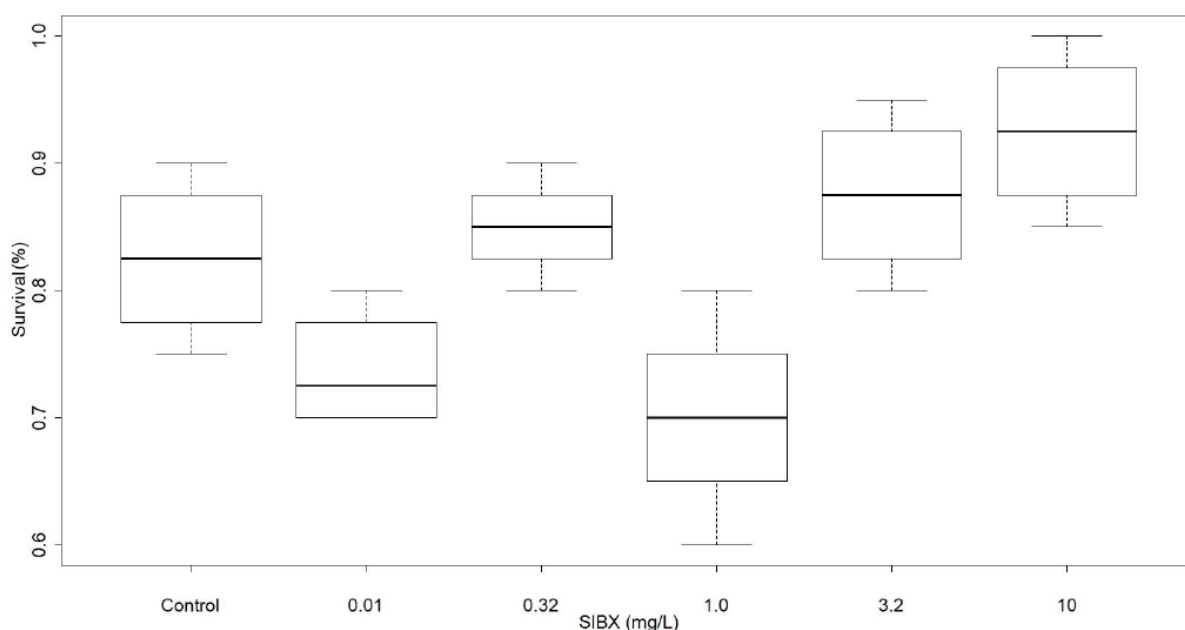
Det er i litteraturen ikke belegg for å mistenke at kjemikalier har en langt høyere giftighet ved lave sammenliknet med høye temperaturer, under ellers like betingelser. Metabolisme for både bakterier i vannet og vekselvarme testorganismer vil i utgangspunktet øke med økende temperatur, men det at alle organismer er tilpasset et visst temperaturområde gjør studier over et større temperaturintervall vanskelige.

For et overflateaktivt stoff som SIBX er bildet særlig komplekst. DNV GL har ikke funnet relevante studier med xantater med hensyn til temperatur, og skal derfor ikke spekulere i om giftigheten ville gått noe opp eller ned dersom den aktuelle arten kunne blitt testet ved 10 °C. Basert på studier med et andre stoffer forventes imidlertid relativt små forskjeller (se feks. Patra et al, 2015), og siden fisketesten viser såpass lav giftighet relativt til den verdien som er utslagsgivende for beregning av PNEC ($>30 \times$ høyere NOEC/EC10 enn for marine krepsdyr) konkluderes det med at usikkerhet knyttet til eksponeringstemperatur i dette tilfellet blir irrelevant.



Tannkarp *Cyprinodon variegatus*
(hjemmehørende i Amerika)

[http://www.tsusinvasives.org/home/
database/cyprinodon-variegatus](http://www.tsusinvasives.org/home/database/cyprinodon-variegatus)



Endpoint	NOEC (mg/L)	LOEC (mg/L)	EC/LC10 (mg/L)	EC/LC50 (mg/L)
Hatching success	10	>10	>10	>10
Total mortality	10	>10	>10	>10
Body length	10	>10	>10	>10
Body weight	10	>10	>10	>10

Figur 2. Resultater fra DHIs semi-statistiske, kroniske fisketest med arten *Cyprinodon variegatus* eksponert for SIBX i sjøvann (32 PSU). Det var ingen signifikant effekt ved høyeste testkonsentrasjon etter 32 dagers eksponering ved 25 °C. Øverst vises dose-respons for effekter på overlevelse som eksempel (1 på y-aksen tilsvarer 100% overlevelse). Testen startes med egg. Kilde: DHI, 2020.

2.5 Kronisk marin copepodetest

Den kroniske *Acartia tonsa* testen (ISO 16778) er også en tidlig livsstadie-test, utviklet for å måle toksisiteten til en kjemisk forbindelse eller vannprøve. Standard test temperatur er 20 °C men *A. tonsa* er en hoppekreps som også lever i kaldt marint- og brakkvann og er således en relevant testorganisme for Førdefjorden.

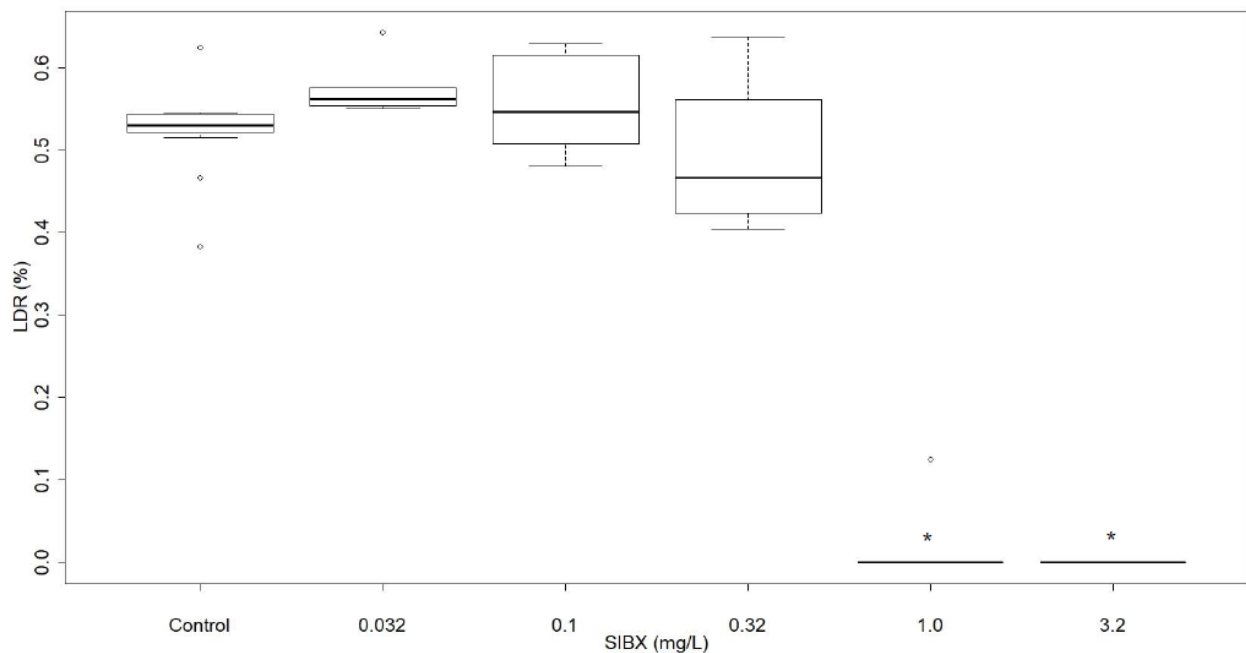
Etter å ha gjennomført to tester med denne arten ved Aquateam COWI i 2018-2019, hvor begge ble konkludert ugyldige på grunn av høy dødelighet i kontrollen, ble nok en test gjennomført ved DHI i Danmark i 2020 (DHI, 2020).

Testen starter med eksponering av *A. tonsa* egg, og følger utviklingen av larvene etter klekking, via nauplii stadiet og fram til 40-80% av kontrollgruppen har nådd copepodittstadiet.

Den ble kjørt som semi-statisk (vannbytte på 3. dag) med filtrert sjøvann (32 PSU) tilsatt følgende SIBX konsentrasjoner: 0,032; 0,1; 0,32; 1,0; 3,2 mg/L, i tillegg til en kontroll uten testsubstans. Testens varighet ble 6 dager.

Hver testkonsentrasjon ble testet med 6 replikater, hvert med 60-90 egg ved teststart, mens det for kontrollen ble benyttet 12 replikater. Testen ble gjennomført med lys:mørkesyklus på 16:8 timer. Som mat ble dyrene gitt algen *Rhodomonas salina* i en tetthet på 50000 celler/mL.

Endepunkter i testen er klekking, overlevelse og larveutvikling (LDR – Larval Development Ratio). Ved avslutning av testen ble dyrene bedøvet, målt og veid. Testen ble konkludert gyldig basert på standardens gyldighetskriterier, og det ble beregnet en EC10 for mest følsomme endepunkt (overlevelse) på 0,34 mg/L (Figur 3).



Endpoint	NOEC (mg/L)	LOEC (mg/L)	EC/LC10 (mg/L)	EC/LC50 (mg/L)
Hatching success	3.2	>3.2	>3.2	>3.2
Early-life stage mortality	0.32	1.0	0.34 (0.27 - 0.41)	0.58 (0.49 - 0.68)
Larval development ratio (LDR)	0.32	1.0	0.36 (0.23 - 0.50)	0.63 (0.50 - 0.62)

Figur 3. Resultater fra DHIs kroniske test med krepsdyret *Acartia tonsa* eksponert for SIBX i sjøvann (32 PSU). Etter 6 dagers eksponering ved 20 °C var dødelighet og larveutvikling de mest sensitive endepunktene i testen. Øverst vises dose-respons for effekter på LDR, som er andelen egg som har utviklet seg til copepodittstadiet. Kilde: DHI, 2020.

2.6 Giftighet og Predicted No Effect Concentration (PNEC)

Nordic Rutile har fått gjennomført omfattende økotoksikologisk testing av SIBX som underlag for vurdering av miljøpåvirkning. I tillegg til tidligere rapporterte studier (DNV GL, 2019), hvor både kjemikaliet og avgangen er testet med organismer fra ulike trofiske nivåer, er datasettet nå styrket med gjennomføring av de kroniske testene med marine invertebrater og fisk (DHI, 2020). Disse testene, sammen med et tidligere gjennomført studie med algen *Skeletonema costatum* (Aquateam COWI, 2019), utgjør et robust og høyst relevant datasett for vurdering av langtidseffekter i marint miljø (Tabell 2).

I henhold til ECHA skal PNEC baseres på EC₅₀ eller EC₁₀-verdier fra det mest sensitive endepunktet fra økotoksteter over tre trofiske nivåer, uavhengig av vannkvalitet. Avhengig av datagrunnlaget skal det videre benyttes en sikkerhetsfaktor i størrelsesorden fra 10 – 10 000 (ECHA, 2008).

ECHA anbefaler en sikkerhetsfaktor på 100 i kombinasjon med den laveste EC₁₀-verdien fra tre kroniske tester som er representative for tre trofiske nivåer. For SIBX representeres de tre trofiske nivåene av testing på marine arter av fisk (*Cyprinodon variegatus*), krepsdyr (*Acartia tonsa*) og alger (*S.costatum*). Det er krepsdyrtesten som blir utslagsgivende for toksisitet med EC₁₀ = 0,34 mg/L. EC₁₀ verdien for fisk og alger tilsvarer henholdsvis >10 mg/L og 0,53 mg/L.

På basis av resultatene for giftighet av SIBX og ECHAs guidance for sikkerhetsfaktorer (kroniske tester på tre trofiske nivåer) kan det konkluderes med en PNEC på **3,4 µg/L**.

Tabell 2. Kroniske marine økotoksikologiske tester som er benyttet for beregning av PNEC for SIBX.

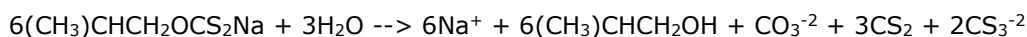
Test	Art	EC10 (mg/L)*
Marin alge (ISO 10253)	<i>Skeletonema costatum</i>	0,53 mg/L
Marin invertebrat (ISO 16778)	<i>Acartia tonsa</i>	0,34 mg/L
Marin fisk (OECD 210)	<i>Cyprinodon variegatus</i>	>10 mg/L

*EC10 anses mer robust enn NOEC, fra et statistisk/usikkerhetsperspektiv.

2.7 Nedbrytning av SIBX i marint miljø

2.7.1 Biotransformasjon

Xantater er generelt ustabile og kan brytes raskt ned i løsning til karbon disulfid (CS₂) og en alkohol. Nedbrytningen skjer hovedsakelig ved hydrolyse. Fra litteraturen er det kjent at nedbrytningshastigheten øker med økende konsentrasjon og ved temperaturer over 20°C. Nedbrytningsmekanismen er også pH-avhengig og går ned ved høyere pH. Shen et al. (2016) har vist at nedbrytning ved SIBX ved pH 8 (dvs relevant for marint miljø) er i henhold til følgende reaksjon:



Studiet gjennomført ved IFE (2020) hadde som mål å karakterisere nedbrytningsgrad samt identifisere eventuelle nye metabolitter under nedbrytning av SIBX i kaldt sjøvann. Studiet ble gjennomført med vann fra Førdefjorden inkubert i mørket ved 10 °C. Det ble gjort en analysescan (massespektrometer) jevnlig over en inkubasjonsperiode på fire uker for å identifisere nedbrytningsprodukter. En prøve oppbevart i 36 dager viste lave nivåer av en ukjent forbindelse med molekylformel C₃H₉OS₂, men utover karbon disulfid ble det ikke funnet metabolitter i konsentrasjoner relevant for vurderingen. (IFE, 2020).

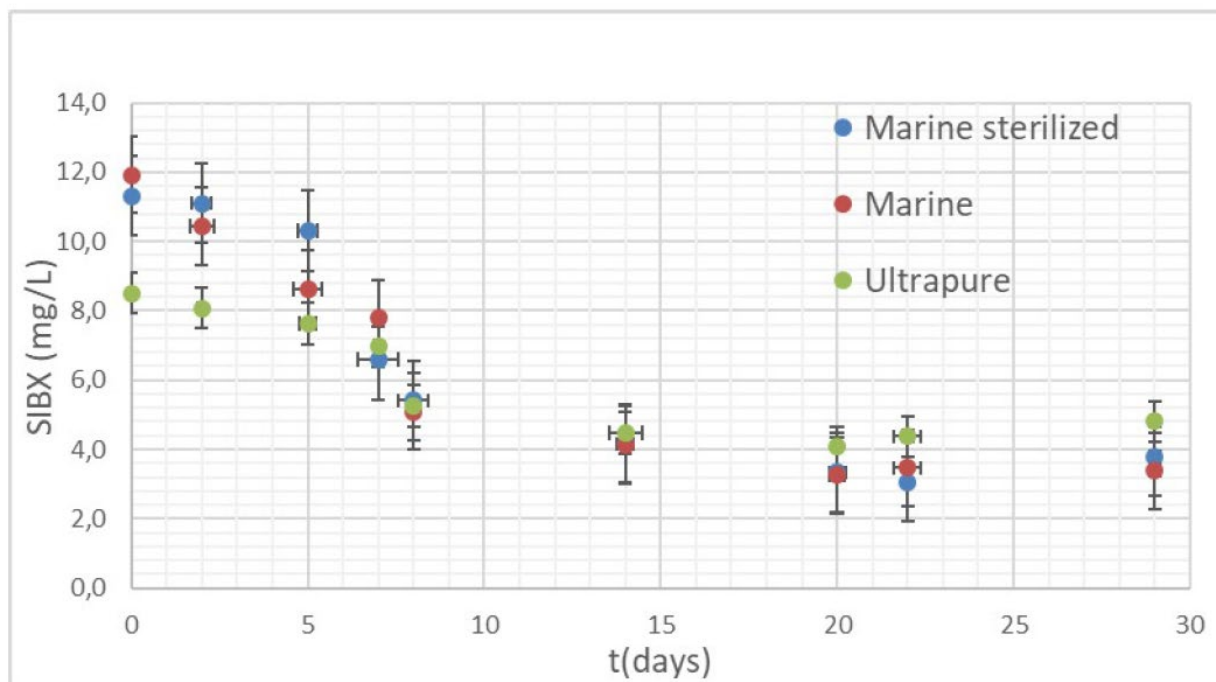
På basis av informasjon om nedbrytningsgrad og biotransformasjon er morstoffet (SIBX) konkludert som dimensjonerende for miljørisiko.

2.7.2 Nedbrytningsrate

Miljødirektoratet (2019) påpeker at SIBX muligens er persistent under betingelsene i Førdefjorden. For å bedre forstå nedbrytningsprosessen, samt fremskaffe en relevant halveringstid til spredningsmodellen, igangsatte Nordic Rutile den nevnte studien ved IFE. Mens Aquateams standardmetode for nedbrytning i sjøvann (OECD 306) viste 27% nedbrytning målt som mineralisering over 28 dager (Aquateam COWI, 2019b), fokuserte studiet ved IFE (2020) på primærnedbrytning av SIBX og videre identifisering av nedbrytningsproduktene.

IFE dokumenterte en initiell halveringstid for SIBX (primærnedbrytning) på ca 7 dager (Figur 4), både i sterilt og intakt sjøvann fra Førdefjorden inkubert i mørket ved 10 °C, samt i ionerbyttet vann. Resultatene

var forsåvidt på linje med studier i databasen til ECHA som viser en halveringstid i ferskvann ved hydrolyse på 11 dager ved 25°C, men resultatene var vanskelig å tolke. I sluttrapporteringen fra forsøket var det fortsatt uklart om en av hovedfaktorene for reduksjon av SIBX konsentrasjon var en artefakt av testoppsettet (sorpsjon til testbeholdere). Etter mye diskusjon ble det konkludert med at SIBX kan ha lang halveringstid i Førdefjorden, men nedbrytningen også kan skje raskere; det har ikke vært mulig å konkludere. For å illustrere utfallsrommet for ulike halveringstider av SIBX ble spredningsmodelleringer gjennomført med 7 dager halveringstid 25 dager halveringstid, og uten nedbrytning overhodet.



Figur 4. Resultater fra IFEs undersøkelse av nedbrytning og biotransformasjon av SIBX. Forsøket ble gjennomført med sterilt og intakt sjøvann fra Førdefjorden, inkubert i mørket ved 10 °C. I intakt sjøvann ble observert en halvering av SIBX-nivå første 7 dager, deretter en ny halvering fram til 20 dager inkubering, hvorefter nivået av SIBX flater ut. Det er usikkert hvorvidt reduserte konsentrasjoner over tid skyldes nedbrytning eller ikke. Kilde: IFE, 2020.

2.8 Akkumulering av SIBX i planter

DNV GL påpekte i en tidligere vurdering at mens ECHA har vurdert at SIBX ikke har potensial for bioakkumulering, basert på sin log K_{ow} (dvs modellerte data), så viser et studie av Xu et al. (1988) at xantater, inkludert SIBX, akkumuleres i ferskvannsplanten andemat (*Lemna minor*).

Som andre xantater er SIBX overflateaktivt. I det refererte studiet fra Xu et al. (1988) ble det funnet en akkumuleringsfaktor på rundt 1000. Studien viste at maksimale nivåer av xantater i plantevev ble nådd etter 24 timer, deretter var det en nedgang over de neste tre døgn som fulgte reduksjonen i eksponeringskonsentrasjoner (Xu, 1988). Fra resultatene er det ikke klart hvorvidt konsentrasjonene i planter reflekterte sorpsjon eller faktisk opptak. Uavhengig av dette viste studien bare moderat effekt på blad og rotvekst ved eksponering for en konsentrasjon på 10 mg SIBX/L.

Miljødirektoratet har bedt Nordic Rutil om å vurdere disse studienes relevans for marint miljø. DNV GL har ikke funnet studier som dokumenterer akkumulering i planter i marint miljø og vurderingen er derfor generisk. Den primære forskjellen ved ekstrapolering til marint miljø har vannet en langt høyere ionestyrke, dominert av NaCl. pH i sjøvann er også typisk høyere enn i ferskvannsstudier, men det nevnte studiet av Xu et al. ble gjennomført med en pH på 8.4, fullt ut relevant for marint miljø.

I og med at artssammensetningen i marint miljø er forskjellig fra ferskvann, og artene vil være tilpasset sitt lokale miljø, er det vanskelig å spekulere i hvorvidt akkumulering av SIBX her vil være høyere eller lavere. Marint miljø har høyere ionestyrke og dermed større konkurranse om bindeseter og transportkanaler enn i ferskvann. Det er derfor ingen grunn til å tro at SIBX akkumulerer i større grad i/på planter i marint miljø som en konsekvens av matriks (fysisk/kjemiske effekter) alene.

Det er kjent at overflateaktive stoffers effekt på organismer kan skyldes en kombinasjon av fysiske egenskaper (sorpsjon på overflater, flokkulering av små organismer (som alger)) og faktisk opptak med påfølgende systemiske effekter. For systemiske effekter vil giftigheten reflektere en kombinasjon av akkumulering og stoffets virkningsmekanisme. Fra data spesifikt for SIBX ser vi at stoffet er svært giftig for marine alger, med en EC10 på 0,53 mg/L dokumentert for arten *Skeletonema costatum* (Aquateam COWI, 2019).

Lewis (1990) gjennomførte en omfattende studie av surfaktanters effekter på alger. Han konkluderte blant annet med at effekter i felt typisk viste seg å være mindre enn forventet basert på laboratoriedata. Selv om disse sammenlikningene ble gjort for ferskvannssarter og ferskvannssamfunn synes det relevant å trekke inn da den etablerte PNEC for sjøvann er en faktor 150 lavere enn det nivået som faktisk gir effekt på alger i sjøvann. Selv om det kan finnes arter av marine alger og planter som akkumulerer SIBX i større grad enn *S. costatum*, og som av den grunn kan være mer følsomme, anses artsforskjeller dekket av denne sikkerhetsfaktoren.

Dersom Miljødirektoratets spørsmål var knyttet til indirekte konsekvenser i næringskjeden ved at alger inneholder høye nivåer av SIBX, så gjør vi oppmerksom på at den testen som er gjennomført med krepsdyr (*Acartia tonsa*) utføres i en setting med alger som får (DHI, 2020). De observerte giftighetsnivåene vil kunne avspeile en kombinasjon av eksponering via vannfasen og via inntak av kontaminerte alger. Akkumulering høyere opp i næringskjeden anses ikke sannsynlig. Fiskestudiet (DHI, 2020) viste som nevnt lav giftighet og avspeiler enten lavt opptak eller rask hydrolyse i vertebrater.

Det er DNV GLs vurdering at den fastsatte PNEC vil være dekkende for både direkte og indirekte effekter av akkumulering av SIBX i planter/alger i marint miljø, og spesifikt forventes det ikke effekter av akkumulering av SIBX der konsentrasjonen ligger under PNEC.

2.9 Mulig påvirkning av metallers biotilgjengelighet og deres akkumulering i organismer

Høye konsentrasjoner (16 mg/L) av natrium etyl xantat (SEX) og kalium isopropyl xantat (PAX) er vist å fremme bioakkumulering av tungmetaller i laboratorieforsøk med gjellelev fra ørret (Block og Pärt, 1986). Andre studier viser liknende effekter (Block et al., 1991, Block og Glynn, 1992).

Miljødirektoratet har bedt Nordic Rutile vurdere relevansen av disse studiene for marint miljø. DNV GL viser i den forbindelse til at slike effekter utelukkende er dokumentert for konsentrasjoner av SIBX som overstiger PNEC. Dette har sin forklaring i at det er en terskeverdi for at xantater kan opptre som medierende faktor i opptak av tungmetaller (Block, 1991) og denne er bestemt i området over 10^{-7} M, det vil si for konsentrasjoner av SIBX i størrelsesorden $>15 \mu\text{g/L}$. I den grad terskelnivået for mediering av tungmetalloptak vil endres i marint miljø forventest det, basert på den høyere ionestyrken og medfølgende konkurranse fra andre kationer i løsning, at effekten der vil være mindre.

Et studie av Borg et al. (1988) viste 2-3 ganger høyere opptak av kvikksølv i flere organer av ørret ved konsentrasjoner av xantater på 40-50 $\mu\text{g/L}$ relativt til en kontroll. Det vil si at dokumenterte effekter på tungmetallakkumulering i SIBX konsentrasjoner på >10 ganger PNEC er moderate. På basis av eksisterende informasjon konkluderer DNV GL med at det ikke forventes indirekte effekter av SIBX på tungmetalloptak i nivåer under PNEC.

3 USIKKERHET OG ROBUSTHETSVURDERINGER

Dette kapittelet diskuterer relevans av utførte studier for vurdering av spredning og fortynning av SIBX i Førdefjorden og usikkerhet knyttet til PEC beregninger (predicted environmental concentrations). Den beregnede PNEC (predicted no effekt concentration) er også kort kommentert.

3.1 Predicted Environmental Concentrations (PEC)

Basert på oppdatert kunnskap om miljørelevante egenskaper for SIBX er det gjennomført avanserte modellsimuleringer for spredning av SIBX i Førdefjorden for fire kombinasjoner av inngangsparametere som sammen representerer et utfallsrom som spenner fra et sannsynlig til et veldig konservativt utslippsscenario. Det er SINTEF som har gjennomført disse simuleringene, med bruk av modellen DREAM. Hver av modellsimuleringene er gjennomført over et helt år.

Sentralt for resultatene av spredningsmodelleringene står stoffets binding til avgangsmassene (K_d) og nedbrytningsrate i marint vann ved lave temperaturer ($t_{1/2}$). Sammen med stedegen topografi og lokale strømforhold i Førdefjorden avgjør disse egenskapene spredning og konsentrasjoner i fjorden.

3.1.1 Bindingsgrad

SIBX er overflateaktivt og brorparten av stoffet vil være bundet til avgangen etter utslippet. Nordic Rutile har gjennomført prosess-tekniske studier som basis for sine planer for utvinning fra Engebøfjellet. Under fullskala operasjon er målet å optimalisere doseringen slik at >90 % av SIBX bindes i avgangen (Nordic Mining, 2020).

Laboratorieskala forsøk ved Aquateam COWI viste en adsorpsjon på >80 %, men kunne ikke gi en faktisk K_d da deteksjonsgrensen for SIBX var for lav. I tilsvarende forsøk ved SINTEF i 2020 ble en sorpsjon på 93% observert i den fraksjonen som er relevant for utslipp.

Den usikkerhet som er knyttet til den tilgjengelige (vannløste) fraksjonen av SIBX i utslippet er belyst i DREAM modelleringene ved at disse er gjennomført med både høy og lav grad av binding (95%, 90% og 0% binding). Bindingsgrad har en lineær effekt på miljøkonsentrasjonene av SIBX. Nordic Rutile anser 90 % bindingsgrad som et robust konservativt estimat, dvs at 10 % av den forbrukte mengden av SIBX ender opp i vannmassene, og resten i deponiet/sedimentet.

3.1.2 Nedbrytning av SIBX etter utslipp

Nordic Rutile har som nevnt fått gjennomført flere studier for bedre å forstå nedbrytningskinetikk for SIBX i fjorden. Pr i dag er det likevel usikkert hvilken halveringstid som er mest relevant for modellering og faktisk skjebne i miljøet.

Spredningsmodellering med scenarier som representerer nedbrytning av SIBX med halveringstider på 25 og 7 dager, og et scenarie helt uten nedbrytning, gir et godt bilde av utfallsrommet for denne parameteren i forhold til forventede konsentrasjoner i fjorden. Resultatene viser at nedbrytningsgrad for SIBX i modellen selvsagt har en effekt på miljøkonsentrasjonene, men samtidig at lav eller ingen grad av nedbrytning ikke gir en opphopning av SIBX i fjorden. Dette skyldes stor grad av fortynning og utskiftning av vannmassene.

3.1.3 Tilførsler fra SIBX bundet i deponiet

I den grad en andel av SIBX er bundet i avgangen i deponiet kan noe av dette senere lekke ut og tilføres vannsøylen. DREAM kan ikke simulere dette. En standardisert utlekkingstest hos SINTEF antydte en utlekking på under 2 % og konsentrasjoner marginalt over PNEC. Som en svært konservativ tilnærming for å belyse utlekking fra deponiet ble det kjørt to utslippsscenarioer med 100% SIBX løst i vannfasen. Som vist i del 4 gir også et slikt scenario lav miljørisiko. Det forventes ikke at utlekking fra deponiet gir høyere vannkonsentrasjoner enn de beregnede nivåene fra modellsimuleringer med 100% SIBX initielt løst i vannfasen.

3.2 Predicted No Effect Concentrations (PNEC)

Det er fastsatt en PNEC basert på et robust og relevant datasett med kronisk giftighet for marine organismer som representerer tre trofiske nivåer. Siden disse testene representerer giftighet over lengre tids eksponering (fra 3 dager hos alger til 32 dager hos fisk) vil PNEC måtte sammenliknes med ekvivalente PEC verdier som representerer gjennomsnittskonsentrasjoner over flere døgn.

PNEC-verdien er beregnet med bruk av en sikkerhetsfaktor på 100, som tar høyde for effekter som forskjeller i følsomhet mellom arter og ekstrapolering fra laboratorieskala til betingelser i felt (lengre eksponeringstider, andre temperaturer, tilleggseffekter av andre stressfaktorer osv).

I tillegg til å fremskaffe nye økotoksikologiske data og revidere beregnet PNEC har Miljødirektoratet bedt Nordic Rutile om en vurdering av hvordan SIBX akkumuleres i planter i marint miljø, samt hvilken effekt stoffet har på opptak av metaller. Slike effekter må sees i perspektiv av den sikkerhetsfaktoren som allerede ligger inne i beregningen av PNEC. For SIBX finnes nå studier av god kvalitet med kroniske testresultater på marine arter fra tre trofiske nivåer; det er et svært godt datasett som representerer både marine alger eksponert direkte for SIBX via vannfasen og krepsdyr eksponert både direkte via vannfasen og indirekte via eventuell akkumulering i fôralger.

Basert på tilgjengelig litteratur og informasjon konkluderer DNV GL med at det ikke kan forventes noen tilleggseffekt av akkumulering av SIBX i eller på alger eller planter i marint miljø i konsentrasjonsnivåer under PNEC, slik det er diskutert i 2.8.

For indirekte effekter på tungmetallakkumulering i organismer så viser litteratordata at slike effekter opptrer først i konsentrasjonsnivåer over ca 15 µg SIBX/L, dvs godt over den beregnede PNEC, slik det er diskutert i 2.9.

Miljødirektoratet har også stilt spørsmål ved relevansen av økotoksikologiske tester gjennomført ved standard (20-25 °C) testtemperatur for det kalde vannet i Førdefjorden. DNV GL vurderer at også temperatur vil være dekket av den nevnte sikkerhetsfaktoren. Det presiseres imidlertid at effekter av lav temperaturen er tatt inn i vurderingene knyttet til miljøkonsentrasjoner (spredning og fortynning av SIBX i resipienten), hvor temperatur antas å ha en indirekte effekt grunnet lavere nedbrytningsrate.

4 UTSLIPPETS FORDELING OG KONSENTRASJONER I FØRDEFJORDEN

DREAM modellen versjon 11.0 gir et realistisk bilde av hvordan avgangen og SIBX fordeles i vannmassene i Førdefjorden. Modellen kjøres med utgangspunkt i lokal topografi og historiske data for strømforhold gjennom et helt år. Modelleringen gjøres i to steg, hvor man først ser på turbulent innblanding av avgangen i vannmassene (i plumen som utgjør de 37 meterne ned til fjordbunnen) og deretter følger partikler og løste kjemikalier i tidssteg på 3 timer i Førdefjorden gjennom året. Resultatene (konsentrasjoner av SIBX) beregnes i gridceller som er 50 x 50 m horisontalt og med 10 m dybde. For å kunne sammenlikne konsentrasjonene med den beregnede PNEC er det tatt utgangspunkt i døgnmiddelverdier (PNEC er beregnet basert på tester med mer enn 3 dagers eksponeringstid).

For å ta høyde for usikkerhet i datamaterialet slik det er diskutert i kapittel 3, og illustrere dette med et mulig utfallsrom, er det gjennomført spredningssimuleringer i modellen DREAM med både høy og lav bindigsgrad av SIBX til avgangsmassene og med både høy og moderat grad av nedbrytning som underlag for en vurdering av miljøkonsekvenser (Tabell 3).

Basert på tilgjengelig informasjon synes scenario S4 med 10 % SIBX er løst i vannfasen å være mest relevant for den planlagte aktiviteten. Det legges da til grunn en konservativ nedbrytningsrate (ingen nedbrytning) da det i en feltsituasjon alltid vil være en viss grad av nedbrytning/forsvinning. Scenario S2 og S3 illustrerer konsentrasjoner hvor man har maksimal utlekking av SIBX til vannmassene (100% løst og ingen sorpsjon til pyritt/avgang), modellert med to ulike halveringstider.

Resultatene fra S2 og S3 er helt usannsynlige, men utgjør en nyttig worst-case regneøvelse da en sekundær utlekking fra sedimentet ikke kan modelleres i DREAM. Forsøk viser at SIBX i stor grad bindes til avgangen og i liten grad lekker ut igjen (Figur 1). Dette, samt det faktum at avgangen i deponiet kontinuerlig dekkes av nye partikler, gjør at det trolig vil være lav grad av utlekking fra disse massene. Det siste scenariet, S1, illustrerer en kombinasjon av høy grad av sorpsjon og nedbrytning og kan derfor anses som et 'best case' i denne sammenhengen.

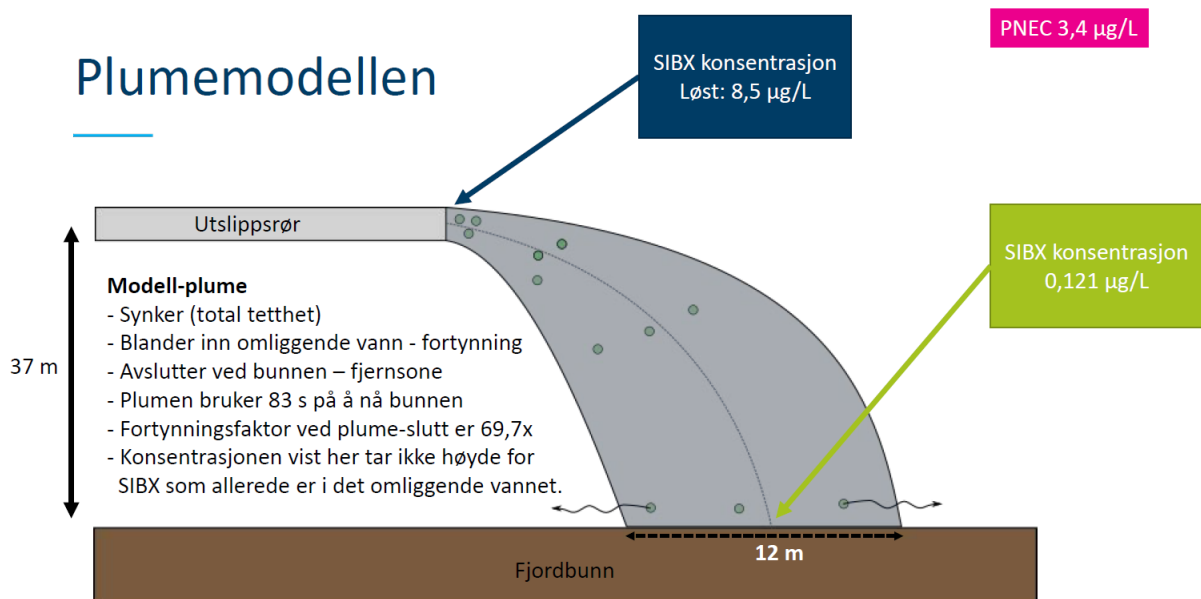
Tabell 3. Scenarier og nøkkelparametre benyttet for modellering av utslippene av SIBX i Førdefjorden. Scenariene er valgt for å dokumentere utfallsrommet knyttet til både konservative og mer realistiske inngangsparametre i DREAM modellen. Plumen utgjør et lite område nedenfor utslippspunktet (diameter på 12 m på fjordbunnen).

Scenario	SIBX t½ i resipient	SIBX løst (%)	Simuleringsperiode	SIBX i utslipp (µg/L)	SIBX ved bunnen av plumen (µg/L)
S1	25 dager	5	1 år	4,3	0,06
S2	7 dager	100	1 år	85	1,2
S3	25 dager	100	1 år	85	1,2
S4 *	Ingen nedbrytning	10	1 år	8,5	0,12

*Dette scenariet vurderes som mest realistisk for utslippet.

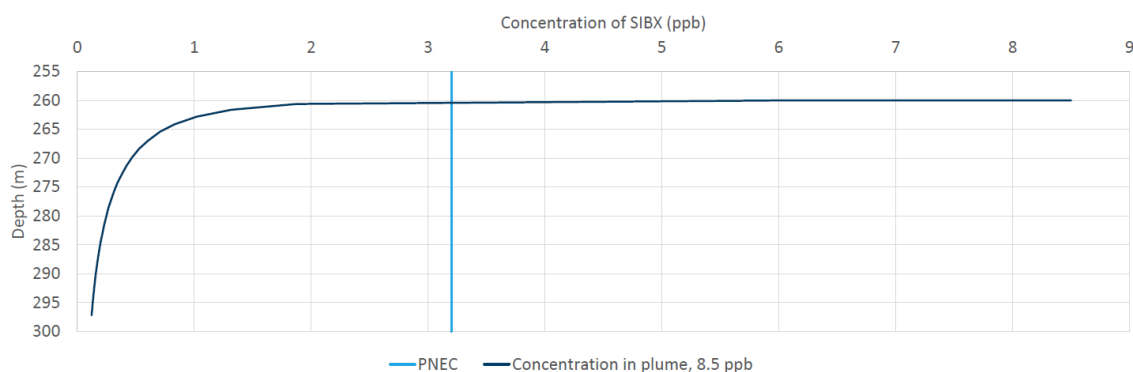
Resultatene fra de gjennomførte simuleringene viser at man oppnår en relativt stor initiell fortykning fra utslippsrøret og ned til bunn av fjorden (Figur 5). Plumen fordeles deretter videre i vannmassene dominert av lokale strømforhold og lokal topografi, og blandes med SIBX som tidligere er sluppet ut i fjorden.

Plumemodellen



5

SINTEF



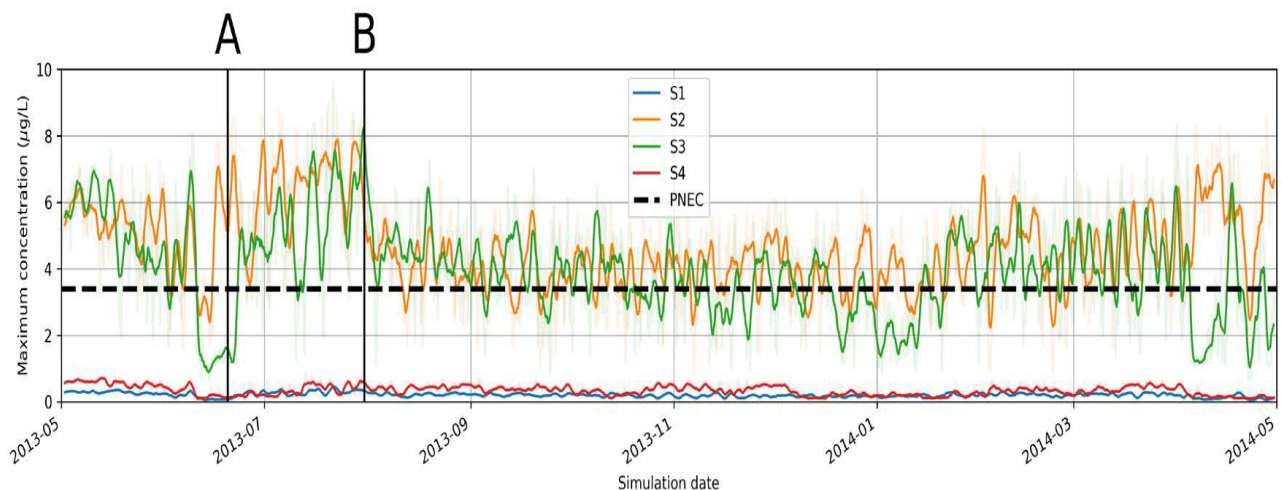
6

SINTEF

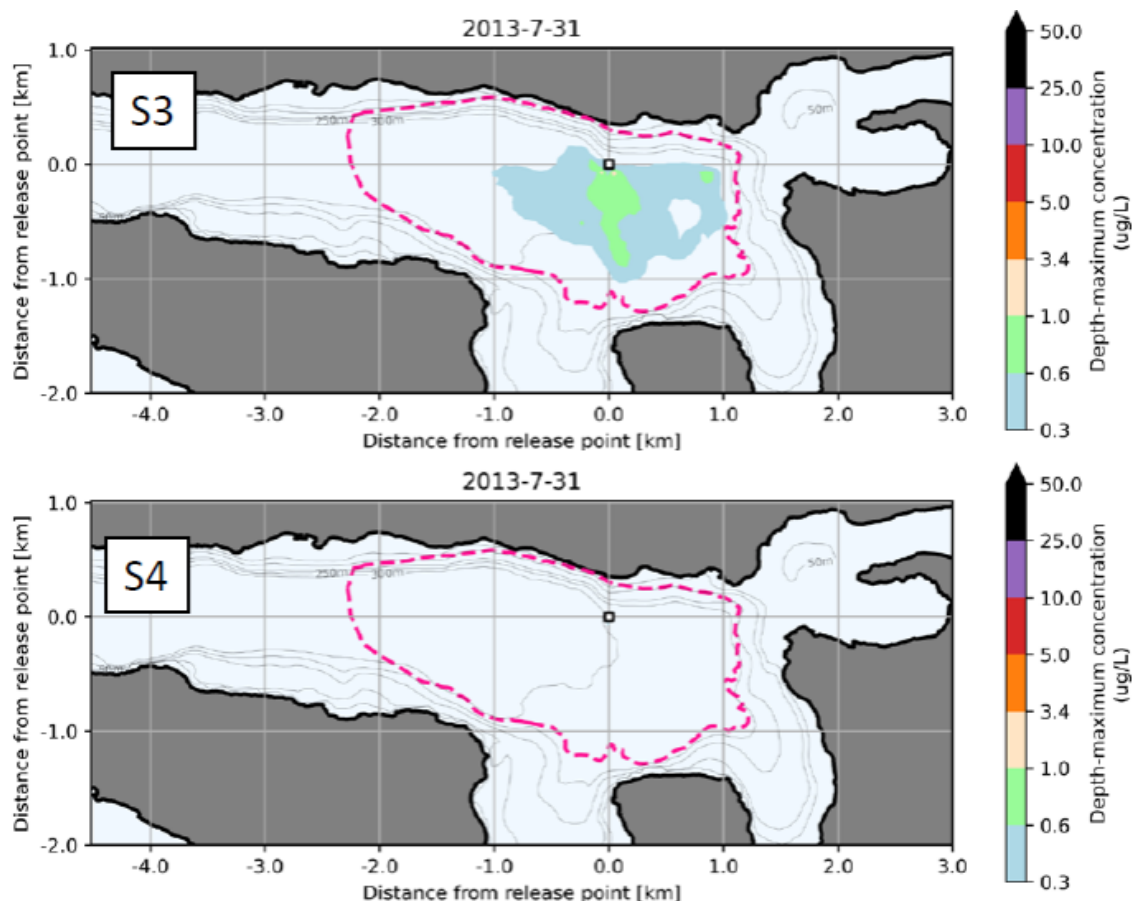
Figur 5. Øverst: Skissemessig presentasjon av turbulent innblanding av plumen for avgang fra Nordic Rutils utslipp i Førdefjorden for scenario S4 (10% løst). Konsentrasjoner av SIBX fortynnes ca 70 ganger i denne første fasen av utslippet. Nederst: Konsentrasjonsgradient i dybdeprofil for utslippet fra scenario S4. Kilde: SINTEF, 2020.

Alle modellerte scenarier gir en konsentrasjon av SIBX under PNEC allerede etter den initielle fortynningen av avgangen (Tabell 3). Figur 6 viser maksimale konsentrasjoner av SIBX (høyeste konsentrasjon i en enkelt gridrute) for hvert av de fire scenariene gjennom året. For den dagen som viste høyeste konsentrasjon (31. juli) er konsentrasjonsgradienten i horisontal (Figur 7) og vertikal (Figur 8) utbredelse vist som romlig referanse. Overskridelse av PNEC er kun observert i umiddelbar nærhet til utslippspunktet (Figur 7) og kun for de scenariene hvor alt SIBX initielt er løst i vannfasen. I hovedsak vil de høyeste konsentrasjonene opptre langs bunnen av fjorden (Figur 8). I perioder med dypvannsutskiftning (to ganger i løpet av «modellåret») vil det bli transport av SIBX også opp i høyere vannlag, men da i konsentrasjoner langt under PNEC.

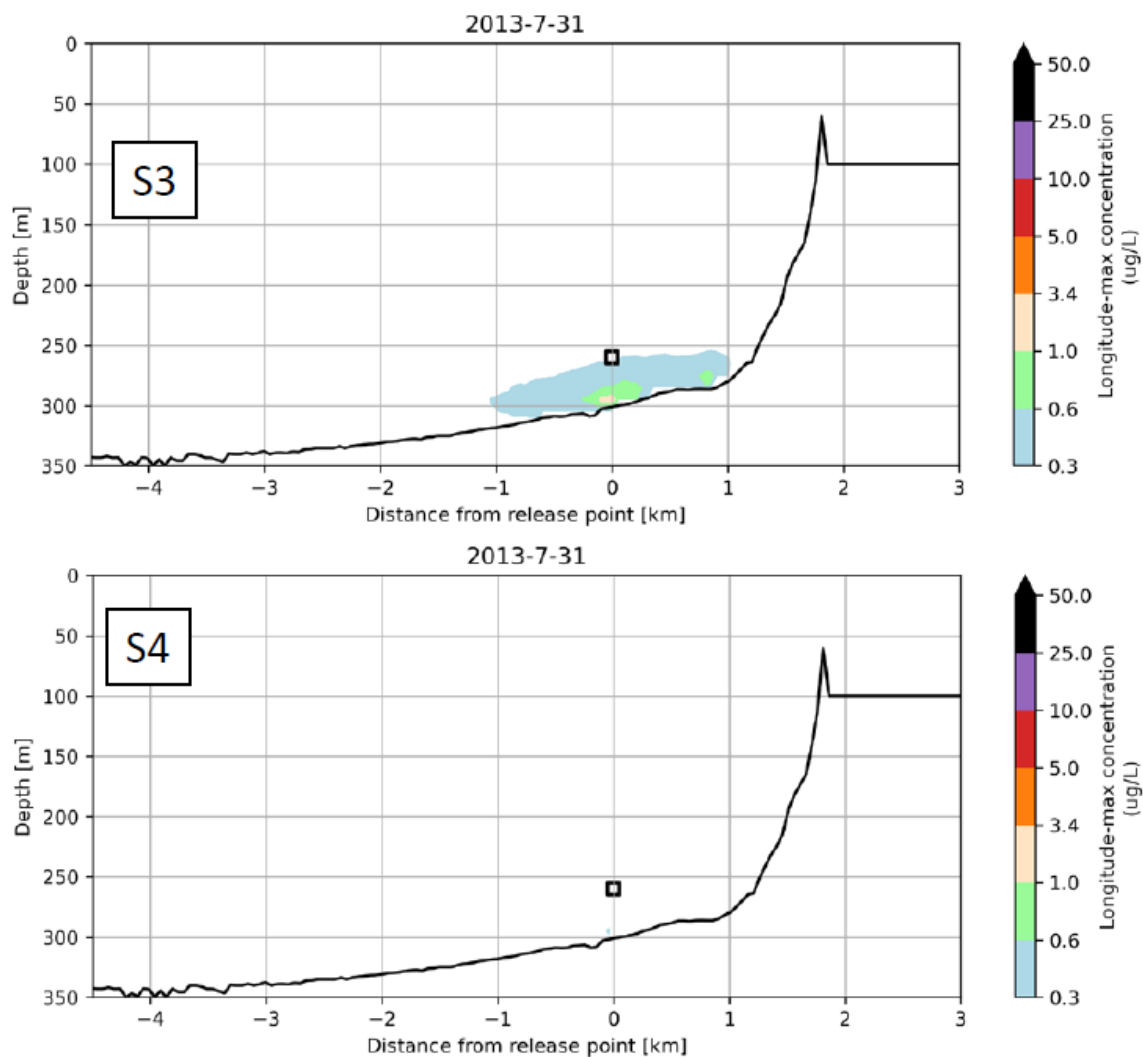
For scenario S4, som DNV GL anser som mest relevant, vil et fåtall gridruter i modellen ha konsentrasjoner over 0.3 µg/L, det vil si 10 ganger lavere enn PNEC. For scenario S3, hvor alt SIBX som er tilsatt avgangen tilføres fjordvannet, vil influensområdet som overskrider PNEC være begrenset til selve plumen for 1-2 gridceller innenfor deponiområdet (Figur 7 og 8, for detaljer se SINTEF, 2020b).



Figur 6. Relative verdier for maksimale døgnmiddelkonsentrasjoner av SIBX for hver av de fire modellerte scenariene. Disse verdiene representerer den enkeltruten (50x50x10 m) i modellgridet med høyest modellert konsentrasjon og som ligger i umiddelbar nærhet av utslippspunktet. S4 er ansett som et representativt scenario for planlagt aktivitet. Kilde: SINTEF, 2020



Figur 7. Influensområde for DREAM modellsimuleringer for utslippskonsentrasjoner av SIBX for scenariene S3 (konservativt worst case hvor all SIBX er antatt løst i utslippet) og S4 (et representativt scenario). PNEC er 3,4 µg/L og overskrides kun for S3 i umiddelbar nærhet av utslippet (ikke synlig på denne skala). Kilde: SINTEF, 2020.



Figur 8. Dybdeprofil for DREAM modellsimuleringer med utslippskonsentrasjoner av SIBX for scenariene S3 (konservativt worst case hvor all SIBX er antatt løst i utslippe) og S4 (et representativt scenario). PNEC er 3,4 ug/L og overskrides kun for S3 i umiddelbar nærhet av utslippet (ikke synlig på denne skala). Kilde: SINTEF, 2020.

5 KONKLUSJONER

Miljøriskovurdering av kjemikalier er basert på deres iboende egenskaper som persistens, toksisitet og bioakkumuleringspotensial, i tillegg til informasjon om spredning og fordeling i resipienten. Risikokarakterisering er ofte basert på forholdet mellom konsentrasjonen av kjemikallet i miljøet («predicted environmental concentration», PEC) og den laveste konsentrasjonen før en uønsket effekt av kjemikallet oppnås («predicted no effect concentration», PNEC). Svært forenklet anses det området hvor man har $PEC/PNEC > 1$ å kunne være berørt mht miljøeffekter.

Miljødirektoratet har stilt en rekke spørsmål knyttet til giftighet, skjebne og forventede miljøkonsentrasjoner av stoffet natrium isobutyl xantat (SIBX), som planlegges brukt i produksjonen av rutil og granat fra Engebøfjellet. Mye av stoffet forventes bundet i avgangen, men den fraksjonen som er løst vil tilføres vannmassene i Førdefjorden. Dette notatet presenterer gjennomførte studier og resultater som belyser de etterspurte aspektene av giftighet og skjebne i marint miljø, samt beregning av forventede miljøkonsentrasjoner i resipienten.

Basert på eksisterende og ny informasjon er det konkludert med en PNEC for stoffet på $3,4 \mu\text{g/L}$, som vil ta høyde for både direkte og indirekte effekter av SIBX i miljøet. Egenskapene til SIBX tilsier at stoffet ikke vil akkumuleres i næringskjeden, og relevant eksponering skjer derfor via vannfasen.

Spredningsmodelleringer med modellen DREAM, gjennomført av SINTEF, er gjort for ett relevant, to konservative og et 'best case' utslippsscenario. DREAM modellen kjøres med utgangspunkt i lokal topografi og historiske data for strømforhold gjennom et helt år. Resultatene viser at selv de konservative utslippscenariene (lav sorpsjon til avgangen) gir konsentrasjoner over PNEC kun i umiddelbar nærhet av utslippspunktet inne i deponiet.

DNV GL karakteriserer derfor miljørisiko for planlagt bruk og utslipp SIBX i Førdefjorden som lav.

6 REFERANSER OG VEDLEGG

Kilde	Vedlegg?
Aquateam COWI. 2019. Test Report Acute toxicity to <i>Skeletonema costatum</i> Toxicity Test Results for the Test Substance SIBX (Sodium isobutyl xanthate). Test report dated 24.01.2019.	Tidligere oversendt
Aquateam COWI. 2019b. Biodegradation (OECD 306) test results for SIBX. Test report dated 14.05.2019.	Tidligere oversendt
Block M, Pärt P. 1986. Increased availability of cadmium to perfused rainbow trout (<i>Salmo gairdneri</i> , Rich.) gills in the presence of the complexing agents diethyl dithiocarbamate, ethyl xanthate and isopropyl xanthate. <i>Aquatic Toxicology</i> 8 : 295–302.	
Block M, Glynn AW, Pärt P. 1991. Xanthate effects on cadmium uptake and intracellular distribution in rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) gills. <i>Aquatic Toxicology</i> 20 : 267-284.	
Block M, Glynn AW. 1992. Influence on xanthates on the uptake of ^{109}Cd by Eurasian dace (<i>Phoxinus phoxinus</i>) and rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). <i>Environmental Toxicology and Chemistry</i> 11 : 873-879.	

Borg K, Gottofrey J, Tjälve H. 1988. Effects of some chelating agents on the uptake and distribution of $^{203}\text{Hg}^{2+}$ in the brown trout (<i>Salmo trutta</i>): studies on ethyl and isopropylxanthate, diethyl- and diisopropylthiophosphate, dimethyl- and diethylthiocarbamate and pyridinethione. Archives of Toxicology 62 :387-391.	
Block, M. 1991. Distribution of cadmium in an octanol/water system in the presence of xanthates and diethylthiocarbamate. Environmental Toxicology and Chemistry 10 : 1267-1272.	
DHI. 2020. Effect of Sodium Isobutyl Xanthate (SIBX) on the early life stages of the marine fish, sheepshead minnow (<i>Cyprinodon variegatus</i>) and the marine copepod <i>Acartia tonsa</i> . DHI report dated 24.02.2020.	Vedlegg 4
DNV GL. 2019. Miljøegenskaper til prosesskjemikalier i Nordic Rutiles produksjon av rutil og granat. Rapport datert 18.07.2019.	
ECHA 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.10: Characterisation of dose (concentration) -response for environment. Guidance document datert Mai, 2008.	
IFE. 2020. Degradation of sodium isobutyl xanthate (SIBX) in marine water. Report dated 24.02.2020	Vedlegg 2
Lewis, MA. 1990. Chronic toxicities of surfactants and detergent builders to algae: A review and risk assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety 20 (2): 123-140.	
Miljødirektoratet. 2019. Angående vurdering av aktuelle kjemikalier. Brev datert 09.12.2019.	
Nordic Mining. 2020. Engebø Rutile and Garnet: Froth Flotation Reagent Dosage and Consumption. Project Reference: 06. Comminution and Processing. Rapport ENG-001-006-011 datert 30.05.2020.	Vedlegg 1 fra Nordic Mining
Patra RW, Chapman JC, Lim RP, Gehrke PC, Sunderam R. 2015. Interactions between water temperature and contaminant toxicity to freshwater fish. Environmental Toxicology and Chemistry 34 (8): 1809-1817.	
Shen Y, Nagarai DR, Farinato R, Somasundaran P. 2016. Study of xanthate decomposition in aqueous solutions. Minerals Engineering 93 : 10-15.	
SINTEF. 2020. Sodium isobutyl xanthate attachment onto flotation feed: Determination of partitioning coefficient (Kd) in freshwater and desorption in seawater. (Resultater og konklusjoner oversendt fra Antonio Sarno i epost datert 08.06.2020 med tittel «Summary SIBX results»)	Vedlegg 3 Ettersendes
SINTEF. 2020 b. Fate modelling for SIBX in the Førde fjord.	Vedlegg 5 Ettersendes
Xu Y, Lay JP, Korte F. 1988. Fate and effects of xanthates in laboratory freshwater systems. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 41 :683-689.	