

Bruk av Xantat ved Nussir.

Oppdatert tilleggsinformasjon for forbruk og konsekvenser ved bruk av xantat i kobberflotasjonen ved Nussir, som vedlegg til søknad om utslippstillatelse.

Dato denne versjon:	2020-09-22
Dato forrige versjon:	2019-07-10
Dato for søknad om utslippstillatelse:	2011-10-17
Distribusjon:	Miljødirektoratet
Kontaktperson Nussir ASA:	Øystein Rushfeldt



Figur 1: Xantat-flotasjon av kobbermalm fra Nussir utført ved NTNU (2015).

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	2
2	Om SIBX.....	2
2.1	Økotoksikologi	4
2.1.1	Fisk	4
2.1.2	Planter.....	4
2.1.3	Økotoksikologiske resultater	5
2.2	Nedbrytning.....	5
2.3	Nedbrytningskinetikk	6
2.3.1	Salinitetspåvirkning.....	7
3	Bruk og forbruk av xantater	8
3.1	SIBX og alternative kjemikalier	9
3.2	Beregning av forbruk.....	10
4	Xantatfordeling til produkter	2
4.1	Xantat til deponi	2
4.2	Beregninger av xantat-konsentrasjon til deponi	3
5	Kjemikalieovervåking	4
5.1	Forbruksovervåking.....	4
5.2	Overvåkning av overskuddsmasse.....	4
6	Kommentarer.....	5
7	Diskusjon og konklusjon	5
8	Referanser.....	7
9	Vedlegg	8

Sammendrag

Nussir ASA planlegger i sin gruvevirksomhet å benytte xantater som samlere i flotasjon av kobberminerale. Det finnes flere typer xantater, med større eller mindre grad av forskjellige kjemiske egenskaper.

Miljødirektoratet har i sin tillatelse etter forurensningsloven avventet ytterligere kunnskapsinnhenting fra flere bedrifter for å gi endelig tillatelse til bruk av xantat i flotasjonsprosessen. Det har derfor vært av stor betydning for Nussir ASA i løpende dialog med Miljødirektoratet å legge frem ny kunnskap og nye resultater for hvordan bruk og forbruk av xantatene vil bli utført, samt hvordan bruken av xantater vil kunne påvirke de naturlige biologiske systemene i området rundt gruvevirksomheten. Tilgjengelig litteratur har blitt brukt for å finne ut hvordan fisk (bl.a. regnbueørret) påvirkes av xantater, og i tillegg er det blitt utført laboratorieforsøk hvor blant annet alger og krepsdyr er blitt testet for ulike xantater. Litteratur er også brukt aktivt for å forstå den kjemiske oppbygningen av xantater, nedbrytningskinetikk og salinitetspåvirkning med tanke på at Nussir vil anvende sjødeponi. Nedbrytningen er svært avhengig av pH og temperatur, i Repparfjorden hvor pH ligger rundt 8 og hvor temperaturen varierer mellom 4 – 7.5°C grader er halveringstiden antatt å være omtrent 15 dager. Nye studier av samlere i sjøvann viser at det ved lave konsentrasjoner av xantat ikke vil være særlig stor grad av adsorbering (<4%).

Det er også utført omfattende arbeid i forhold til antatt bruk og forbruk av xantater og foretatt undersøkelser som viser hvilke fordelinger av kobberminerale som finnes i prøver tatt fra Nussir- og Ulverygg-malmen. Nussir ønsker med hensyn til miljøet å ha et så lavt forbruk av kjemikalier som mulig, deriblant xantat. I tillegg er det gjort beregninger for hvor mye xantater som vil følge til deponi. Rapporten inneholder også en utredning for hvordan kjemikalieovervåkingen vil foregå, både ved forbruk og i overskuddsmassene. Resultatene viser at sannsynliggjorte konsentrasjoner av xantater som vil bli brukt i flotasjon ligger langt under tiltaksgrensene for økotoksikologi, og at SIBX vil være et godt valg. Xantatet er særlig effektivt, og fordi det er utelukkende kobbersulfider i Nussir- og Ulveryggen-malmen så vil ikke selektivitet være av stor betydning.

Samtidig med kunnskapsunderlag fra Nussir er det også gjort tilgjengelig for Miljødirektoratet betydelig ny kunnskap fra øvrige bedrifter som søker om ny eller videreført bruk av xantat. Vi anser den samlede innsatsen fra bedriftene å være av så vidt god kvalitet og størrelse i omfang at det nå foreligger et godt grunnlag for å bringe prosessen til ende.

1 Bakgrunn

I miljødirektoratets dokument «Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for Nussir ASA» med tilhørende tillatelses-nummer 2016.0051.T gitt den 15. januar 2016, står det at xantatene «avventer utredning».

Xantater brukes i flotasjonen av kobbermineraler. Flotasjon er en skilleprosess som benytter en suspensjon av vann og mineraler der luftbobler tilsettes. Kjemikaliene som tilsettes adsorberes på kobbermineralene og gjør disse aerofile slik at de fester seg på luftboblene og flyter til overflaten der de kan skilles fra de andre mineralene i bergarten.

Nussir ASA søker å bruke opp mot 300 kg/døgn ved maksimal produksjon (døgnsnitt av 2 millioner tonn malm per år) og 50 gram xantat per tonn malm som går inn på verket. Antatt gjennomsnittlig forbruk er halvparten, omtrent 25 gram xantat per tonn malm.

Versjon 2 av dokumentet er utarbeidet etter møte med Miljødirektoratet 27. august 2020 der de formidlet ønsker om oppdatering av det originale dokumentet basert på forskning utført det siste året. Spesifikt er følgende nytt:

- PNEC er tatt med i rapporten i tillegg til EC/LC.
- Nye forskningsresultater for EC verdier for fisk og krepsdyr er implementert.
- Nyutviklet analysemetode for deteksjon av lave verdier av SIBX er tatt med.
- Ny forskning på halveringstid av SIBX i sjøvann er tatt med.

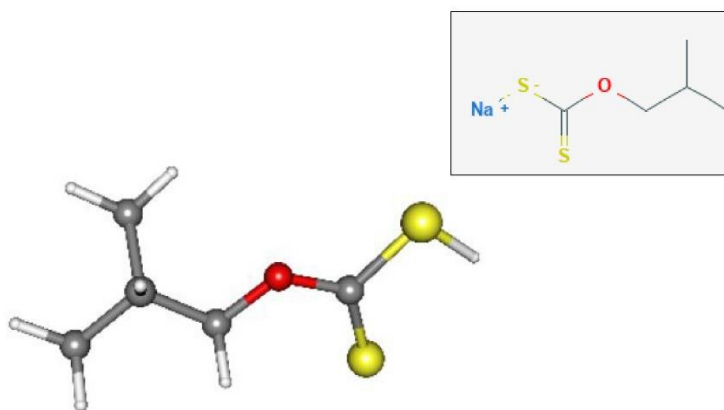
2 Begrep og forkortelser

Følgende begrep og forkortelser er brukt i rapporten:

- PEC – Predicted Environmental Concentration – antatt konsentrasjon i miljøet. Dette er den konsentrasjonen man ved hjelp av beregninger og analyser beregner at vil forekomme i en gitt mottaker.
- PNEC – Predicted No Effect Concentration – antatt null effekt konsentrasjon. Dette er den konsentrasjonen man antar at ikke har noen innvirkning på miljøet.
- Xantat (også kalt xantogenat) er et salt med formel: $\text{ROCS}^{-2}\text{M}^{+}$ (R = alkyl; $\text{M}^{+} = \text{Na}^{+}, \text{K}^{+}$). De forskjellige xantatene er omtalt i kap 3.

3 Om SIBX

SIBX er en forkortelse for Sodium Isobutyl Xanthate (CAS No. 25306-75-6), som kan oversettes til det norske navnet «Natrium Isobutyl Xantat». Det korrekte oversatte norske ordet for xantat er xantogenat, dette ordet er sjelden brukt i bransjen og vil derfor heller ikke benyttes i denne rapporten. SIBX har den kjemiske formelen: $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{OS}_2\text{Na}$ (se molekylstruktur i Figur 2). Generelt, xantater har en heteropolar molekyl-struktur med en ikke-polar hydrokarbongruppe og en polar sulfidgruppe. En kjemisk overflatereaksjon danner en vannavstøtende film på mineraloverflaten, som tillater mineralpartikler å bæres av luftbobler til overflaten (NICNAS, 1995). SIBX har et langt kjede av karbon noe som gjør xantatet mer effektivt som kollektor sammenlignet med andre xantater som har kortere karbon-kjeder (ACD, 1972).



Figur 2: Molekylstrukturen til SIBX i 3D og 2D (øvre høyre hjørne). Rød farge indikerer oksygen, gul indikerer svovel, blå indikerer natrium, grå indikerer karbon og hvit indikerer hydrogen.

Interaksjonen som xantatet utfører ved flotasjon kan deles opp i to deler; mellom partikkeloverflaten og det ladede xantatet, og mellom den polare delen av xantatet og overflaten på luftbobla. Interaksjonen mellom xantatet og partikkeloverflaten vil bli sterkere ved økt ladning fra mineralet på partikkeloverflaten. Og/eller hvis xantationet har en større ladning ved stabilisering fra K^+ mot Na^+ , eller hvis strukturen på den polare enden er kortere eller mer forgreinet- i så tilfelle vil hydrokarbon-kjedene danne sterkere ladning på den ioniske enden (Michaud, 2014). Interaksjonen mellom xantatet og overflaten på luftbobla styres av to hovedfaktorer: stabiliteten eller rigiditet av luftboblas overflate og lengden av hydrokarbon-kjedet (Michaud, 2014). Jo lengre eller mer forgrenet hydrokarbon-kjedet er, jo bedre vil xantatet feste seg til luftboblas overflate. Disse kjemiske faktorene er viktig med tanke på xantatenes evne til å adsorbere og oppnå en høy gjenvinningsgrad.

SIBX er ioniserte anioniske samlere som er effektive og selektive i flotasjon av sulfid-mineraler. SIBX som andre xantater er antatt å adsorberes på sulfidoverflater ved kjemiske krefter dannet mellom den polare gruppen og mineraloverflaten, som resulterer i et sterkt hydrofobisk og uløselig metallxantat (Napier-Munn and Wills, 2005). I denne rapporten diskuteres xantater, med spesielt vekt på det valgte xantatet SIBX. Xantater som ofte brukes til sammenligning i bransjen er listet opp i Tabell 1.

Tabell 1: Oversikt over xantatkomplekser nevnt i rapporten.

Forkortelse	Kjemisk navn (engelsk)	Formel	CAS No.
SIBX	Sodium Isobutyl Xanthate	$(CH_3)_2CHCH_2OCS_2Na$	25306-75-6
SIPX	Sodium Isopropyl Xanthate	$(CH_3)_2CHOCS_2Na$	140-93-2
SEX	Sodium Ethyl Xanthate	$CH_3CH_2OCS_2Na$	40-90-9
KEX	Potassium Ethyl Xanthate	$CH_3CH_2OCS_2K$	140-89-6
KAX/PAX	Potassium Amyl Xanthate / Potassium Pentyl Xanthate	$CH_3(CH_2)_4OCS_2K$	2720-73-2

Det er sannsynlig at det vil brukes en promotør i tillegg til xantatet for å øke utvinning av gull og sølv. Dette vil inngå som en del av et flotasjonskjemikalium som blir spesialtilpasset til Nussir- og Ulveryggen malmene. Det er vanlig at kjemikalier tilpasses av kjemikalieleverandører til spesifikke malmer for å øke utvinning. I tilfelle kobberflotasjon er dette typiske et ditiofosfat, og vil være i størrelsesorden 5 g/tonn. 911 Metallurgist er et kanadisk firma bestående av metallurger og mineralprosessingeniører, og de skriver følgende om valg av xantat:

The decision about which xanthate to use is typically based on dosage and cost. We tend to observe similar metallurgical performance using any of the xanthates, you just need a lower dosage as you go up in strength (Michaud, 2014).

Etter PAX er SIBX antatt å være det sterkeste xantatet, det gir en antagelse om at SIBX sammenlignet med andre xantater krever en mindre dose for å oppnå samme styrke. Det følger deretter at ved en lengre karbonkjede lengde så blir et xantat mindre selektivt. Dette har ingen betydning for det oppredningstekniske ved Nussir- og Ulveryggen malmene i og med forekomstene består utelukkende av kobbersulfider.

3.1 Økotoksikologi

Hovedaspektet i denne rapporten er økotoksikologi, hvor en utredning for hvordan xantater vil kunne påvirke de naturlige biologiske systemene i dette området er utredet. Korte forklaringer på noen relevante begrep og betegnelser som er brukt i rapporten er lagt ved i Tabell 2.

Tabell 2: Forklaring av begrep og betegnelser.

Forkortelse/begrep	Forklaring
LC ₅₀	Letaldose 50. Dosen av et kjemisk stoff som dreper 50 % av populasjonen*.
EC ₅₀	Effektiv konsentrasjon. Den konsentrasjonen av et stoff som gir en spesifikk effekt under testbetingelser etter en bestemt tid i 50 % av organismene som testes*.
EC ₁₀	Effektiv konsentrasjon. Den konsentrasjonen av et stoff som gir en spesifikk effekt under testbetingelser etter en bestemt tid i 10 % av organismene som testes. Dette er en mer konservativ verdi enn EC ₅₀ over.
Triggerverdi, TV («Trigger Value»)	Triggerverdier er konsentrasjoner som, om overskredet, vil indikere et <i>potensielt</i> miljøproblem, og så "trigge" en administrerende respons, f.eks. videre undersøkelser og påfølgende videreutvikling av retningslinjene i henhold til lokale forhold. (Oversatt fra NWQMS (2000))
ECHA	European Chemicals Agency. Det europeiske kjemikaliebyrået.
PNEC	Predicted No Effect Concentration. Antatt null effekt konsentrasjon.

*indikerer definisjoner hentet fra (UiO).

SIBX har flere toksikologiske egenskaper i konsentrert form slik det fremstilles når det leveres fra fabrikk. Oppløst xantat kan danne metallkomplekser som lettere kan tas opp av fisk og planter grunnet xantatets kjemiske egenskaper.

3.1.1 Fisk

Studier viser at hydrofobiske komplekser kan antas å være mer biotilgjengelig enn hydrofile komplekser. En studie utført på regnbueørret ga resultater som tyder på at opptaket av hydrofobisk metyl kvikksølv er fem ganger større enn opptaket av uorganiske kvikksølvioner, og skjer gjennom gjellene (Block and Pärt, 1986). Xantater kan danne hydrofobiske sammensetninger med tungmetaller, avhengig av om xantatet er hydrofobisk eller hydrofilt. Et annet studie har sammenlignet åtte xantaters påvirkning på regnbueørret, og viser at SIBX ved en tidseksponering på 96 timer og en temperatur på 10°C har en LC₅₀ på 10-100 mg/l. Til sammenligning har SEX og PAX ved samme konsentrasjon en LC₅₀ på henholdsvis 10-50 mg/l og ~18 mg/l (Webb et al., 1976). Det er også rapportert om forhøyede konsentrasjoner av Hg²⁺ og redusert opptak av Mn²⁺ ved eksponering for høye konsentrasjoner av xantater på brunørret (Borg et al., 1988).

3.1.2 Planter

Xantater er påvist å være skadelig for planteliv. Forsøk utført på andematfamilien (*L.minor*) viser at xantater tilsatt i ferskvann over tid blir tatt opp og akkumulert i plantene. Halveringstiden av SIBX uten

ferskvannsplanten ble målt til 3.01, med ferskvannsplanten ble verdien målt til 2.57. Til sammenligning ble SIPX målt med verdier på henholdsvis 3.46 og 1.16 (Xu et al., 1988). Resultatene viser tydelig veksthemming og dødelighet blant plantene ved eksponering for xantatene. I samme studie ble også xantatene testet på ferskvannsplanten *Daphnia magna* (D.magna). EC₅₀ verdiene ble funnet til å være 0.35 mg/l, 3.0 mg/l, 3.6 mg/l og 3.7 mg/l for henholdsvis SEX, KAX, SIPX og SIBX.

I Nivas notat om xantater nevnes det at ifølge National Water Quality Management Strategy (NWQMS) indikeres en triggerverdi på 0.05 mg/L SIPX i akvatiske systemer. Dette stemmer ikke, NWQMS (2000) noterer en triggerverdi på 0.05µg/L for SIPX og 5µg/L for SIBX for påvirkning av akvatiske systemer.

3.1.3 Økotoksikologiske resultater

Nussir ASA fikk i samarbeid med Nordic Mining AS utført økotoksikologiske tester på microtox, alger og krepsdyr ved bruk av xantatene SIPX, SIBX og PAX, av Aquateam COWI i 2019.

Etter testene ble det bestemt fra Nussirs side å satse på SIBX da dette xantatet var det som gav det minste miljøfotavtrykket av de som var aktuelle for vår flotasjonsprosess.

I etterkant viste deg seg at testene på *Acartia tonsa* ble konkludert ugyldig grunnet høy dødelighet i kontrollgruppen. Nordic Mining AS fulgte opp dette med å foreta nye tester ved DHI i Danmark som viste en EC₁₀ på 0,34 mg/l.

I tillegg satte Miljødirektoratet krav til Nordic Mining AS om at de måtte bruke en annen fiskesort, og det ble da gjort nye forsøk i regi av Nordic Mining. Denne fiskearten er Tannkarp *Cyprinodon Variegatus*. Det ble da utført tester på denne, også ved DHI, Danmark. Testen gav ingen signifikant effekt på høyeste konsentrasjon (mer enn 10 mg SIBX per liter sjøvann).

Resultatene er vist i Tabell 3 (full rapport kan leses i vedlegg A) og viser at xantatene er minst skadelig for krepsdyr. PAX er ifølge testene jevnt over det minst skadelige xantatet, etterfulgt av SIBX og SIPX.

Tabell 3: Økotoksikologiske tester utført med ulike xantater på ulike substanser.

Test	Fisk (<i>Cyprinodon Variegatus</i>)	Alger (<i>Skeletonema costatum</i>)	Krepsdyr (<i>Acartia tonsa</i>)
EC ₁₀ verdi	EC ₁₀ > 10 mg/l	EC ₁₀ = 0,53 mg/l	EC ₁₀ = 0,34 mg/l
Rapport	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, 2020	Test Report Acute Toxicity to <i>Skeletonema costatum</i> , Aquateam COWI, 2019	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, 2020

Man vil derfor bruke den laveste verdien, som er krepsdyr med EC₁₀ = 0,34 mg/l, i den videre beregning.

3.2 Nedbrytning

Nedbrytning av xantationet er komplisert og kan foregå ved tre ulike prosesser (NICNAS,1995)

1. I sur løsning brytes xantatene ned til alkalimetall kationer og xantat anioner. Løsningen utsettes for videre hydrolyse og danner xanthinsyre som brytes ned til karbonsulfid (CS₂) og alkohol.
2. Xantatene oksideres til dixantogen. Omfanget av denne reaksjon er liten og veldig pH-avhengig. Likevekt nås etter at ca. 5-10 % av xantatet er oksidert, hvor den mest omfangsrike reaksjonen skjer ved lavest pH.
3. I nøytrale og basiske løsninger, brytes xantatene ned ved hydrolytisk nedbrytning.

Ytterligere hydrolyse av natriumtritiokarbonat til natriumkarbonat, hydrogensulfid, karbondisulfid til karbondioksid og hydrogensulfid kan forekomme. Reaksjonen katalyseres av alkoholen dannet fra xanthinsyren og er selvakselererende. Generelt sett, ved nøytral og basisk pH brytes xantat ned ved den siste prosessen- hydrolytisk nedbrytning (SGS, 2011). Nedbrytningen er vist i Likning 1.



Nedbrytningsproduktene vil forekomme i meget lave konsentrasjoner, mye lavere igjen enn det som er regnet ut som PEC_{normal} for SIBX i kapittel 5.2 under. Det vil si at tilsvarende PNEC verdier for nedbrytningsproduktene må være mye lavere (altså toksisk effekt ved lavere konsentrasjoner, giftigere) enn det tilsvarende er for SIBX for at det skal ha en økotoksikologisk effekt.

Karbondisulfid, CS₂, er et nedbrytningsprodukt som spesielt nevnes da det er beskrevet som giftig for organismer. CS₂ volatiliserer lett, men går ikke videre lett i løsning i vann. I praksis kan det bety at mye av det CS₂ som er dannet allerede i prosessen, også vil fordampe i prosessanlegg, fortykker mv. CS₂ som dannes ved nedbrytning i deponiet, vil ikke så lett gå i løsning i vannet.

Da det er knyttet store usikkerhetsfaktorer til alle ledd av både teoretiske vurderinger og de fleste forsøk / tester man kan gjøre i laboratorieskala ift. in situ, vil disse bli enda større når man beveger seg «nedover» i nedbrytningsproduktene. Nussir foreslår derfor å inkludere enkelte nedbrytningsprodukter i overvåkingsprogrammet som skal utarbeides og innleveres til Miljødirektoratet i god tid før oppstart av gruvedriften.

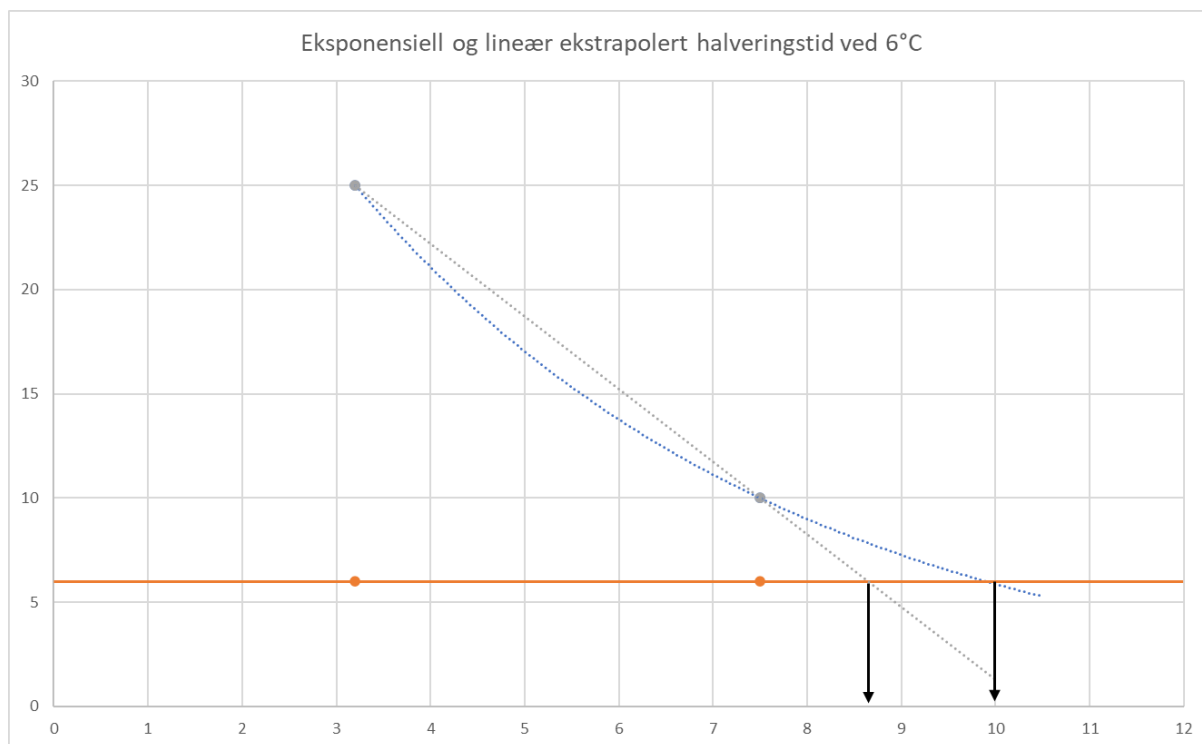
3.3 Nedbrytningskinetikk

I Akvaplan-Nivas rapport 4973-02 «Marin grunnlagsundersøkelse i Repparfjorden, Finnmark 2010-2011» kommer det frem at Repparfjorden har en pH på 8. Temperaturmålinger utført i perioden juni-oktober i 2010 viser en temperaturøkning på bunn av fjorden fra 4°C i juni til 7.5°C i slutten av oktober (AkvaplanNiva, 2011) . I en studie gjort på bionedbrytning av ulike xantater ved en pH på 7.4 og en temperatur ved 25°C, viser resultatene at SIBX har en halveringstid på 3.20 døgn. Til sammenligning har SIPX og SEX ved samme betingelser en halveringstid på henholdsvis 5.24 og 1.85 døgn (Chen et al., 2010).

IFE har gjort en studie i 2020¹ der de så på nedbrytingen av SIBX i marint miljø. Utgangspunktet for testen var sjøvann, mørke og en temperatur på ca. 10°C. De fant en halveringstid på 7,5 dager, men hadde noen utfordringer ift. en antatt adsorpsjon av xantat på prøveglassene.

Det er derfor rimelig å anta at halveringstiden til SIBX i den noe kjøligere Repparfjorden vil være noe lengre enn de 7,5 dagene IFE fant. SIBX har en halveringstid på 3,2 døgn ved 25°C og 7,5 døgn ved 10°C. Dersom man ekstrapolerer både lineær og eksponentielt fra de to kjente punktene, får man resultatene som vist i Figur 3 under.

¹ Degradation of sodium isobutyl xanthate (SIBX) in marine water, 2020.02.24, IFE



Figur 3 Graf som viser ekstrapolerte trendlinjer fra de to kjente punktene på 10 og 25°C. Blå prikket linje representerer eksponentiell vekst og treffer 6° linjen på ca 10 døgner, mens grå prikket linje representerer lineær vekst og treffer 6° linjen på ca 8,6 døgner.

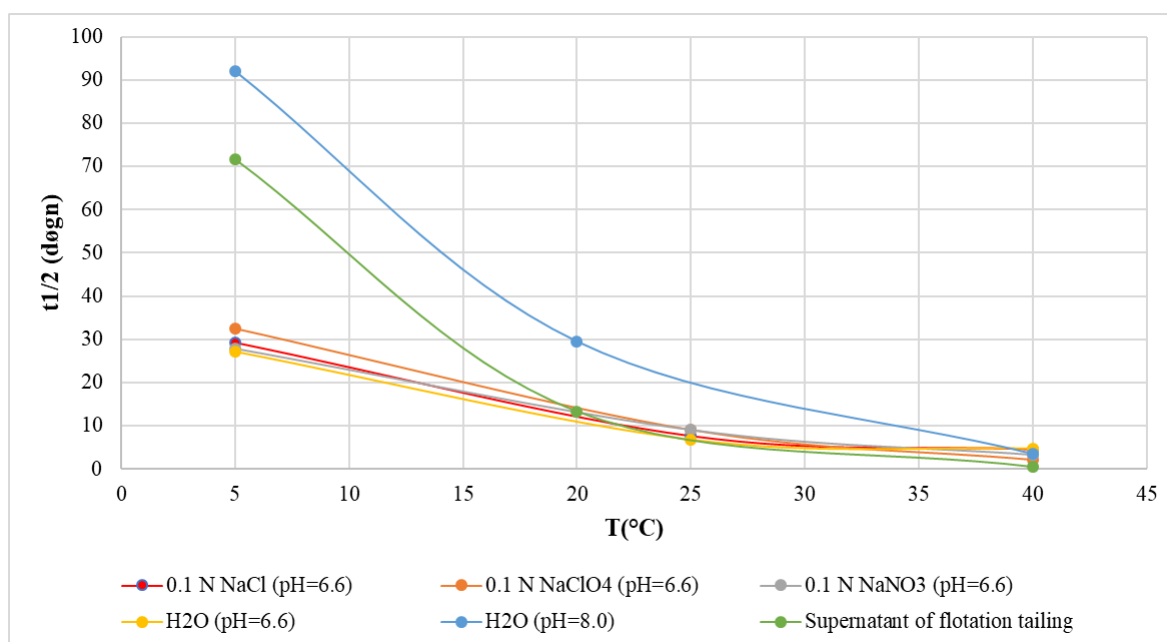
Det gir da en halveringstid mellom 8,6 og 10 dager. Vi velger derfor det mest konservative estimatet på 10 dager.

3.3.1 Salinitetspåvirkning

I Nussir ASAs begrunnelse for utslippstillatelse står det følgende:

I oppredningsprosessen brukes ferskvann, mens avgangen er planlagt sluppet ut i sjø. Sjøvann inneholder store mengder salter, og det er ikke kjent om bindingen av SIPX til overflater er like sterk i marint miljø som for ferskvann. Dersom det skjer overflatereaksjoner, som ionebytting, vil SIPX kunne løses ut i vannet, og dermed gi en høyere konsentrasjon i vannfasen enn NIVA legger til grunn i sin uttalelse (Miljødirektoratet, 2016).

I samme studie hvor det fremgår at nedbrytningskinetikken til xantater er temperatur- og pH-avhengige, er halveringstiden til SEX testet for salinitetspåvirkning. Resultatene fra testene er vist i Figur 4. Studiet viser at salinitet bidrar til en liten økning i halveringstid – fra 650 timer til 700 timer ved 0.1 N NaCl ved 5°C og pH 6.6, og at halveringstiden reduseres i tilfeller ved «supernatant of flotation liquids» (den gjenværende væsken ved sedimentering av overskuddsmassen) fra 2200 til 1700 timer ved pH=8 og en temperatur på 5°C (Sun and Forsling, 1997).



Figur 4: Halveringstid av xantatet SEX utført i ulike medier, data fra (Sun and Forsling, 1997).

Beregninger utført av NIVA baserer seg på den totale mengden xantat som følger overskuddsmassen, hvor det antas at all xantat løses opp, uavhengig av salinitet. Kort fortalt er beregningene i notatet NIVA (2012) slik: 24 mg SIPX brukes for hver kg malm (24 ppm), og 1% av dette følger overskuddsmassen (0,24 ppm). Videre er det valgt en konservativ høy partikkelmengde på 100 mg/l i vannmassene nær bunnen av fjorden. $100 \text{ mg/l} * 0,24 \text{ ppm} = 100 \text{ mg/l} * 0,24 * 10^{-6} = 0,024 \text{ } \mu\text{g/l}$ SIPX i vannfasen. Konsentrasjonen av xantatet kan ikke bli høyere enn dette, gitt riktig tallgrunnlag. Denne beregningen antas å være lik for xantatet SIBX.

Ingen artikler hvor det testes hvorvidt xantater påvirkes av ionebytting eller andre overflatereaksjoner er blitt funnet. Men en studie gjort av Wang et al. (2015) viser at lave konsentrasjoner av NaCl (<0.1M) gir en synkende induksjonstid ved økende NaCl konsentrasjon, mens det ved høye NaCl konsentrasjoner skjer en motsatt trend hvor induksjonstiden øker kraftig ved økende konsentrasjon av ioner. Videre følger det at salinitet (NaCl) kan redusere adsorbering av xantat på sulfidmineraler (KAX på sinkblende) grunnet konkurrerende adsorbering av salter på partikkeloverflaten. Det presiseres her at dette er i tilfeller hvor xantat tilføres i en saltvannspulp og ikke etter at xantatmolekylene har adsorbert på overflaten i ferskvann før det deponeres i saltvann.

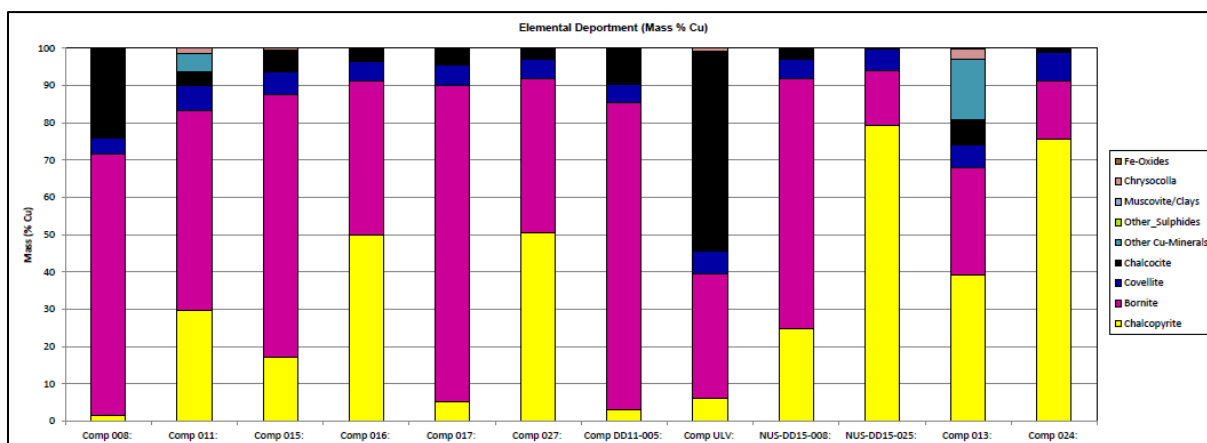
Rolf Arne Kleiv og Olga Ibragimova (professor og postdoktor ansatt ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim) har gjort undersøkelser på desorpsjon og nedbrytning av flotasjonskjemikalier før utslipp til sjø. Resultater fra forsøket viser at det innerste laget (monolaget) av kation kollektoren viser sterk absorpsjon og vil i liten grad (<4%) desorberes ved kontakt med sjøvann, og at ytterforliggende lag (multilag) viser større grad av desorpsjon (15-30%) - denne økningen av desorpsjon er økt sammenliknet med ferskvann/prosessvann (Ibragimova and Kleiv, 2018). Imidlertid vil ikke en lav konsentrasjon av samlerkonsentrasjoner gi multilagsdesorpsjon og man kan derfor konkludere med at xantatene i praksis ikke desorberes i særlig grad i sjøvann (Ibragimova, 2018b).

4 Bruk og forbruk av xantater

Xantater brukes i forbindelse med flotasjon. I produksjon av kobberkonsentrat er flotasjon helt essensielt da det ikke foreligger noen reelle alternative skillemetoder som gir like godt resultat. Det er gitt at Nussir til enhver tid søker å bruke så små mengder som mulig av alle kjemikalier, inkludert xantater. Hovedårsakene

til dette er miljø -og økonomiaspekter. Miljømessig er det ønskelig å bruke så lite kjemikalier som mulig, for å forhindre forurensning i størst mulig grad. Økonomisk er det et insentiv å redusere forbruket av kostbare kjemikalier til et minimum.

4.1 SIBX og alternative kjemikalier



Figur 5: Fordeling av kobbermineraller i prøver brukt i flotasjonsforsøk (Woodgrove, 2016).

Xantat er bransjestandard for utvinning av sulfider. Figur 5 viser en oversikt over fordelingen av kobbermineraller i prøver brukt i flotasjonsforsøk, hvordan kobberet er fordelt i ulike sulfider i Nussir og Ulveryggen malmene. Som Figur 5 illustrerer er omtrent alt kobberet fordelt på tre kobbersulfider: bornitt, kobberkis og kobberglans.

Bulatovics (2007) håndbok laget spesielt for flotasjonsreagenser oppsummerer de beste flotasjonskjemikaliene for hvert av de tre mineralene slik:

- Bornitt (Cu_3FeS_3):
Mercaptobenothiozoles and trithiocarbonates, together with xanthates with higher carbon are good bornite collector combinations.(Bulatovic, 2007, s.241).
- Kobberkis (Chalkopyritt, CuFeS_2):
Chalcopyrite from coarse-grained sulfide ores floats readily with xanthate collector in a pH- region 5-11.5.(Bulatovic, 2007, s.240).
- Kobberglans (Chalcocite/Chalcosine, Cu_2S):
Chalcosine floats well with xanthate collector with dithiophosphate or thionocarbamate as secondary collector.(Bulatovic, 2007, s.242).

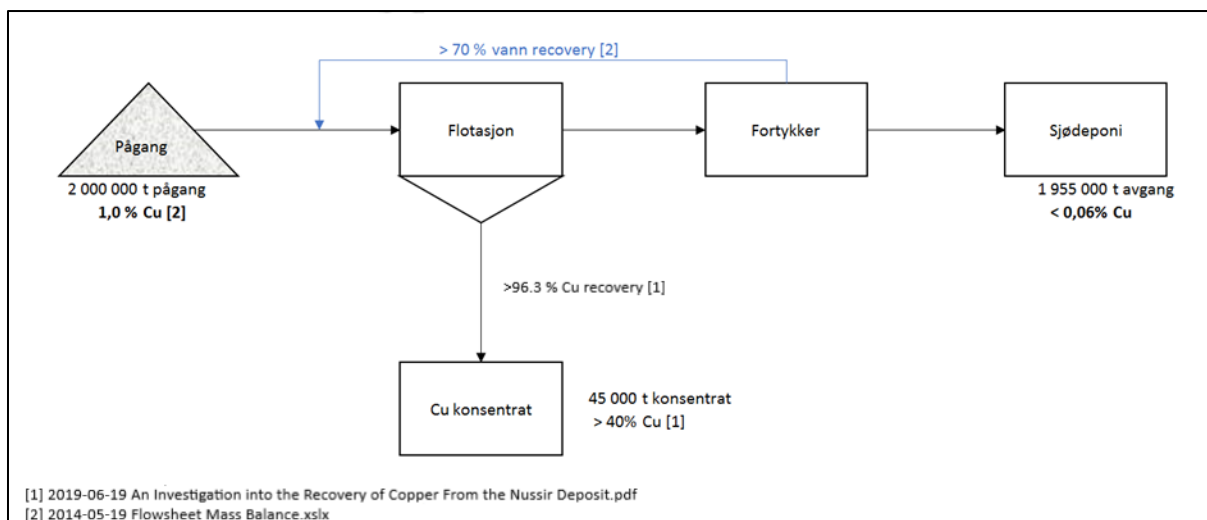
I professor Knut Sandsviks lærebok i oppredning står det følgende:

Xanthater og dithiofosfater har betydning fordi de spesifikt adsorberes på sulfider (Sandvik et al., 1999, s.245).

Dithiofosfater, nevnt i sitatet over, brukes hvis pH er meget lav- noe den ikke vil være i kobbermalmene fra Nussir og Ulveryggen forekomstene. Eller det kan brukes som tillegg til xantat for optimalisering. Reduksjon av pH vil ikke være aktuelt ettersom malmen inneholder mye dolomitt og kalsitt. Uavhengig av dette vil det i fremtiden være Nussir ASAs plikt å holde seg oppdatert på eventuelle nye kjemikalier som er mer miljøvennlige og vurdere om de kan tas i bruk. Dette er pålagt i utslippstillatelsen og i henhold til lovverket. Nussir har inngått samarbeid med professor i flotasjon, Hanumantha Roa Kota og hans PhD-student Priyanka

Dhar. De skal sammen vurdere mulighetene for utvikling av fremtidige forbedrede flotasjonskjemikalier og vurdere samlet miljøpåvirkning av disse.

4.2 Beregning av forbruk



Figur 6: Forenklet flytskjema over kobber og vann i verket (årlig).

Det er søkt om et maksimalt døgnmiddel på 300kg/døgn av xantat (tilsvarer omtrent 50g/tonn). Det gjennomsnittlige normalforbruket vil være under halvparten av dette ved en normaldosering på 25g/tonn. Dette kommer frem i korrespondansen mellom Nussir og Miljødirektoratet om forbruk av xantat (mars, 2015):

«Forbruk av xantat vil være 25 tonn ved påsetning på 1 million tonn malm på verk per år, og 50 tonn ved 2 millioner tonn malm per år. Utslipp av xantat til avgangen vil være under 5% av dette basert på erfaring fra tilsvarende prosesser, mens det øvrige følger konsentratet til smelteverk. Innholdet av xantat i avgangen i flotasjonsforsøkene ble forsøkt analysert i miljøstudiene, men det var under deteksjonsgrensen for analysen». (Se vedlegg B)

Med dette forbruket er det oppnådd gode flotasjonsresultater med en estimert utvinning på 96.3%

² Cu (SGS, 2019). Regnestykket for typisk et døgn blir som følger:

$$(25g \text{ SIBX}/\text{tonn} * 250 \text{ tonn/time} * 24 \text{ timer/døgn}) / (1000g/kg) = 150 \text{ kg SIBX/døgn}$$

Det årlige maksimalt tillatte kvantum blir da:

$$25g \text{ SIBX}/\text{tonn} * 2\,000\,000 \text{ tonn/år} * (1 \text{ tonn}/1\,000\,000 \text{ g}) = 50 \text{ tonn SIBX/år}$$

Det er normalt med malmvariasjoner som krever at man har fleksibilitet i forhold til maksimalbruk av SIBX. Gjennomsnittet vil over tid ligge på 25 g SIBX/tonn, men enkelte soner vil kunne kreve et høyere forbruk. Derfor er maksimalt døgnforbruk satt til 300 kg.

² Denne verdien er basert på Locked Cycle Tests utført av SGS Canada (2019).

5 Xantatfordeling til produkter

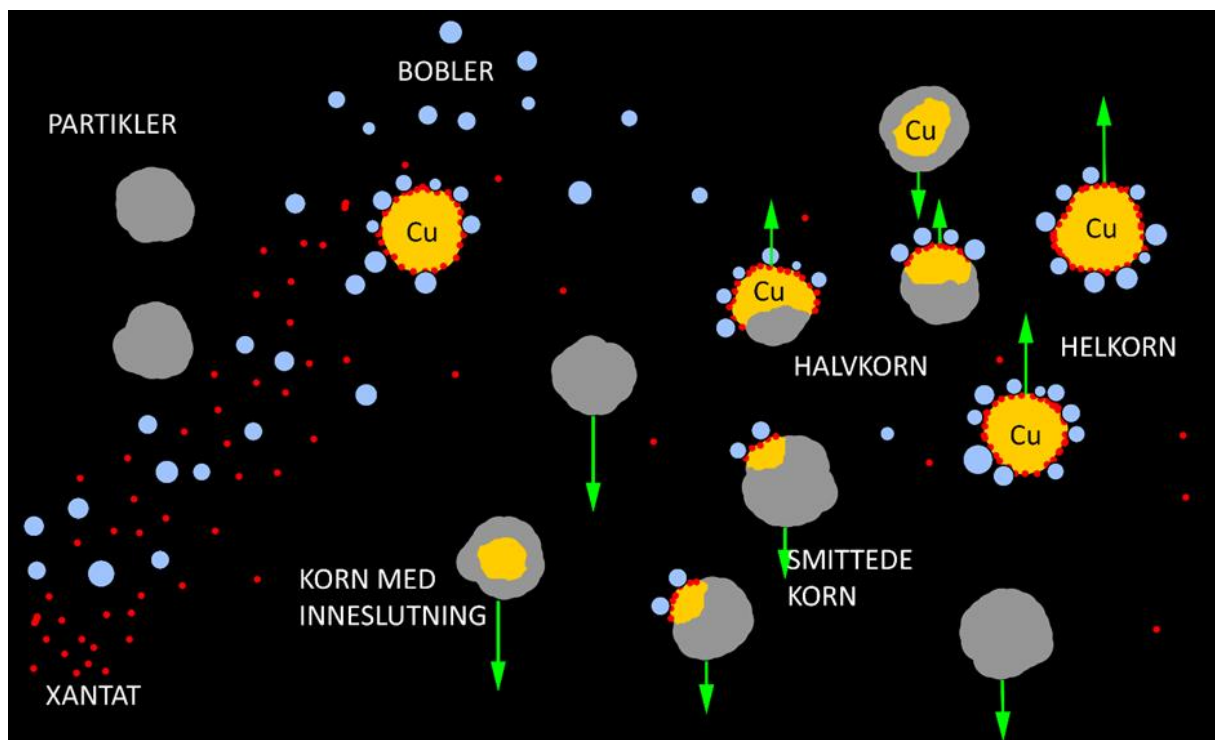
Ved en pågang på verket på maksimalt 2 millioner tonn, vil dette fordele seg med ca. 45 000 tonn konsentrat og 1 955 000 tonn overskuddsmasser som går til deponi (illustrert i Figur 6).

5.1 Xantat til deponi

For å kunne si noe om mengdene xantat som faktisk går til deponiet er det viktig å se på fordelingen av kjemikalet til konsentrat og til overskuddsmassene. Maria Thornhill, førsteamanuensis ved NTNU og underviser i miljøfag har følgende å si (parafrase):

«Når det gjelder xantat og avgang vil sulfidinnholdet i avgangen ha en del å si- da det kan være mulig for adsorpsjon av xantat på sulfidmineraler i avgangen. Hvor god frigjøring av sulfidmineralene i malmen er, vil sikkert også ha en påvirkning. Dvs. at mye vil være avhengig av avgangens sammensetning.»

Xantater er valgt fordi de har en sterk affinitet til sulfider og knytter sterke bånd til overflaten av partiklene. I en flotasjonsprosess vil omtrent alt xantat knytte seg til overflaten av sulfidene og feste seg til en eller flere luftbobler. Hvis løftekapasiteten er stor nok vil partikkelen bli transportert til overflaten, dette er illustrert med grønne piler i Figur 7. En konservativ sannsynliggjøring av xantat-fordeling mellom konsentrat og overskuddsmasse kan være å måle sulfidinnholdet. Da det omtrent ikke finnes andre sulfider enn kobbersulfider i Nussir- og Ulveryggen-malmene, kan dette representeres av utvinningsgraden av kobber. Denne utvinningsgraden er estimert til 96.3 % Cu (SGS, 2019). En stor andel av de 3.7 % kobbersulfider som ikke floterer er «ikke frimalte» korn - partikler som består av flere mineraler, hvor overflaten av partikkelen består av ingen eller lite sulfider (hhv. Partikler med inneslutning og smittede korn). På disse kornene vil det derfor være lite overflate tilgjengelig for xantatene til å feste seg på. Korn med inneslutninger av kobber vil eksempelvis bidra med kobber til overskuddsmassene, uten at det vil dra med seg overflatebundet xantat. Dette sannsynliggjør at under 5% av xantatet følger i overskuddsmassen. NIVAs (2012) anslag på 1 % kan i så måte være realistisk (basert på estimering av SEX som følger overskuddsmassen).



Figur 7: Grafisk fremstilling av xantatadsorpsjon på forskjellige partikkeltyper. Grafikk: Helge Rushfeldt.

Fra Nussir sin side³ har det vært konservativt anslått at maksimalt 5% av xantatet vil følge overskuddsmassen, basert på erfaring med andre xantater (bl.a. KAX) og deteksjonsgrense av analysemetoder (Woodgrove, 2016). Xantat som ikke er adsorbert og fortsatt befinner seg i vannfasen vil i stor grad bli gjenvunnet gjennom fortykkere, og brukt i prosessen igjen der de får nye sjanser til å binde seg til kobbersulfider (se Figur 6).

5.2 Beregninger av xantat-konsentrasjon til deponi (PEC)

Nedenfor følger beregninger av SIBX-konsentrasjon til deponi, der det er gjort den mest konservative antakelse om at alt xantat som følger overskuddsmassen vil være tilgjengelig i vannfase (dvs. ingen overflatebundet xantationer). Dette gir et svært konservativt maksimalanslag, da det er forventet at en stor andel av SIBX vil være bundet til overflaten til overskuddsmassene.

Om 1 % eller 5 % SIBX følger overskuddsmassen vil årlig deponering av SIBX ved en konsentrasjon på 25 g SIBX/tonn bli som vist i Tabell 4.

Tabell 4 Oversikt over ulike SIBX konsentrasjoner i overskuddsmassen og tilhørende mengder SIBX til deponi.

% SIBX-konsentrasjon som følger overskuddsmassen	Årlig deponering av SIBX (kg/år)
1 %	500
5 %	2500

*Verdien for årlig deponering av SIBX er funnet ved likningen: $\text{Årlig deponering av SIBX} = C_{\text{SIBX/tonn}} \times \text{overgangsmasse (tonn/år)} \times \% \text{SIBX som følger overskuddsmasse} \times 1\text{kg}/1000\text{g}$ (der C er konsentrasjon).

³ Korrespondanse mellom Nussir og Miljødirektoratet gjengitt i kap. 3.2.

Ved en maksimal produksjon på 2 millioner tonn per år til prosessanlegget, vil overskuddsmassen bli på omtrent 1,95 millioner tonn og kunne inneholde normalt 500 kg SIBX og maksimalt 2500 kg. Konsentrasjonen av SIBX i overskuddsmassen vil da bli som vist i Tabell 5.

Tabell 5 SIBX beregninger

Tonn SIBX/år	Overskuddsmasse (tonn/år)	SIBX i deponi (tonn/tonn)	SIBX konsentrasjon i vannfasen (ppm)
0,5	1 950 000	$2,56 \times 10^{-7}$	0,26
2,5	1 950 000	$1,28 \times 10^{-6}$	1,28

*Partikkelmengden er funnet fra ligningen: $\text{partikkelmengde} = \text{tonn SIBX/år} / \text{overskuddsmasse (tonn/år)}$.

En konsentrasjon på 0,26 ppm SIBX i overskuddsmassen tilsvarer 260 µg SIBX/ kg overskuddsmasse. Gitt en høy partikkelmengde på 100 mg/l i vannfasen tilsvarer dette 0,026 µg SIBX/l regnet ut fra ligningen:

$$260 \mu\text{g SIBX} / \text{kg} * 100 \text{ mg} / \text{l} * (1 \text{ kg} / 10^6 \text{ mg}) = 0,026 \mu\text{g SIBX/l}$$

Ved 5 % SIBX som følger overskuddsmassene og maksimalt tillatte døgnmiddel (300 kg/døgn ved 250 tonn per time pågang = 50 g/tonn SIBX), med samme høye partikkelmengde (100 mg/l), blir konsentrasjonen tilsvarende 0,26 µg SIBX/l.

6 Kjemikalieovervåking

6.1 Forbruksovervåking

Nussir ASA søker å ha full kontroll på forbruk av alle kjemikalier.

Nussir ASA kommer til å bruke flere nivåer av sikkerhet rundt tilsats av kjemikalier:

1. Bulkmengde inn i prosess
2. Dosering ved doseringspumper
3. Flowmåling

Forbruket overvåkes ved at tilsetning av nytt kjemikalie i kretsen måles opp mot faktisk bruk og pågang i prosessen. Hvis det eksempelvis er brukt 1 m³ av en kjemikalie i prosessen, så må det tilsvarende etterfylles 1 m³ for å opprettholde nivået, man vil da kunne oppdage hvis det er et avvik mellom driftens rapporterte og faktiske forbruk.

Det vil også brukes doseringspumper. Disse doserer typisk et gitt volum per rotasjon og man kan derfor beregne forbruk kontinuerlig.

Videre vil det være flowmålere som overvåker faktisk volum og/eller massestrøm av det gitte kjemikalet.

Alt i alt vil dette kunne gi en meget presis dosering og overvåking av forbruket av kjemikalier generelt og xantater spesielt. Alt forbruk logges i tillegg på flere steder. Simultanforbruket vil logges i produksjonssystemene, både fra flowmålere og indirekte via rotasjon på doseringspumper. Forbruket vil også logges i innkjøpssystemet og i lagersystemet.

6.2 Overvåkning av overskuddsmassene

I litteraturen er det et overveldende flertall hvor det er brukt UV-absorbering for måling av xantater i løsning. Denne metoden er også relevant for SIBX. Xantater har en karakteristisk absorpsjon ved bølgelengdene 226

nm og 301 nm (Jones and Woodcock, 1973). Nedbrytningskomponentene har forskjellige absorpsjonsspekter og varierer med pH og temperatur.

Måling av UV-absorpsjon fungerer bra i høye xantatkonsentrasjoner, typisk 500 mg/l. Deteksjonsgrensen ligger i området 5 mg/l (SGS, 2011). Overskuddsmassen vil ha langt lavere konsentrasjon enn dette og UV-metoden vil med stor sannsynlighet ikke gi troverdige resultater. Ved så lave konsentrasjoner finnes det ingen fornuftige analyseringsmetoder med lav nok deteksjonsgrense som samtidig kan skille mellom xantationet og dets nedbrytningskomponenter. Dette er det konkludert med fra liknende kobbergruver (vedlegg C).

En maksimal SIBX-konsentrasjon i kobberkonsentratet er 1100 mg/kg (les: 1100 mg SIBX/ kg). Dette er potensielt en målbar konsentrasjon, men en stor andel av xantationet vil være overflatebundet til partiklene i konsentratet og skape stor usikkerhet i målingene. Følgende vil ikke differansen mellom forbruk og målt xantat i vannfasen av kobberkonsentratet tilsvare mengden SIBX som følger overskuddsmassen.

Både SINTEF og IFE har etablert ny analysemetodikk ift SIBX i vannfase. Metoden er basert på væskerkromatografi koblet til massespektrometer og kan måle i konsentrasjoner ned til 1 µg/l i sjøvann. Dette gir en mulighet til å måle nivåer av SIBX som nærmer seg PNEC, se kap 8.1. Dersom metoden viser seg over tid å gi pålitelige resultater, så vil denne kunne tas i bruk ved overvåking av deponiet.

7 Kommentarer

I avsnittet om bruk av xantat i Miljødirektoratets begrunnelse av utslippstillatelse står det følgende:

Gitt en partikkelmengde på 100mg/l vil konsentrasjonen i vannet bli opptil 0.125µg/l, noe som er lavere enn toksisk nivå. Utslipptet vil kunne variere, og det er derfor viktig med overvåking (Miljødirektoratet, 2016).

Partikkelmengden 100mg/l ble brukt som en konservativ partikkelkonsentrasjon for simulering av strømningsmodell utført av Akvaplan Niva i 2011. Dette er ikke nødvendigvis et representativt tall for faktisk spredning av avgang, og det følger at beregningene i utsagnet er høyt.

8 Diskusjon og konklusjon

I rapporten legges det frem EC₁₀ verdier for de forskjellige trofiske nivåene. I tillegg beregnes PNEC på grunnlag av disse for å kunne sammenligne med PEC.

ECHAs PNEC grenseverdiberegning baseres på det mest sensitive endepunktet fra enten EC₅₀ eller EC₁₀ testene som er utført for et gitt kjemikalie. I tillegg bakes det inn en sikkerhetsfaktor på mellom 10 og 10 000, avhengig av om man bruker EC₅₀ eller EC₁₀ mm. I Nussirs tilfelle brukes EC₁₀ og sikkerhetsfaktoren er derfor anbefalt av ECHA til å være 100.

Det vises da til testene på de tre trofiske nivåene og de respektive EC₁₀ verdiene:

- | | |
|----------------------|-----------|
| 1. Marin Alge | 0,53 mg/l |
| 2. Marin Invertebrat | 0,34 mg/l |
| 3. Marin fisk | >10 mg/l |

Dette gir at det er verdien for Marin Invertebrat på 0,34 mg/l som er den mest sensitive. Det gir:

$$0,34 \text{ mg/l} / 100 (\text{sikkerhetsfaktor}) = 0,0034 \text{ mg/l} = \mathbf{3,4 \mu\text{g/l}}$$

PNEC for SIBX i vannfasen hos Nussir ASA er 3,4 µg/l

SIBX er et av flere xantater som brukes som kollektor i flotasjonsprosesser. Dets lange karbonkjede gjør det til en veldig effektiv kollektor, men også mindre selektivt enn enkelte andre xantater. De eneste sulfidene

som finnes i Nussir og ulverygg-malmene er kobbersulfider, dermed er den lavere selektiviteten til SIBX ikke et problem for Nussirs flotasjonsprosess.

Grunnlaget for beregningene i denne rapporten er i stor grad konservative. I utgangspunktet vil det bli brukt lite xantat: estimert gjennomsnittlig 25 g SIBX/tonn, maksimalt 50 g SIBX/tonn. Omtrent alt av SIBX som brukes i prosessen vil havne i kobberkonsentratet og ikke følge avgangen. SIBX som havner i deponiet vil hovedsakelig være overflatebundet til partikler som inneholder en liten overflate med sulfider. Utvinningsandelen av kobber i flotasjonsprosessen gir en konservativ indikasjon av hvor mye sulfider som følger avgangen, og vil være i området under 5 % av sulfidinnholdet i pågangen. Store deler av dette vil være smittede korn og korn med inneslutninger- overflater hvor svært lite eller ingen xantationer adsorberes. SIBX i vannfasen som potensielt ikke knyttes til partikler vil i de fleste tilfeller bli gjenbrukt i flotasjonsprosessen, da mer enn 70 % av prosessvannet resirkuleres.

Beregningene av xantatkonsentrasjonen til deponi viser at en sannsynlig konsentrasjon er 0,026 µg SIBX/l i vannfasen, noe som tilsvarer en konsentrasjon på 0,000 026 mg/l og ved maksimalt forbruk av SIBX og maksimal andel SIBX som følger avgangsmassen vil dette gi en konsentrasjon på 0,000 26 mg/l.

I beregningene er det antatt at xantationene er tilgjengelige i vannfasen, men det er mer sannsynlig at disse er overflatebundet til partiklene og blir begravet sammen med sedimentene. Dette gir dermed en ytterligere sikkerhetsfaktor ift. tilgjengelig xantat i vannmassene.

Totalt gir dette følgende oversikt:

- | | |
|------------------------------|---------------|
| • EC ₁₀ – Fisk | > 10 000 µg/l |
| • EC ₁₀ – Alger | 530 µg/l |
| • EC ₁₀ – Krepser | 340 µg/l |
| • PNEC | 3,4 µg/l |
| • PEC _{normal} | 0,026 µg/l |
| • PEC _{maks} | 0,26 µg/l |

Det er før gitt at dersom **PEC < PNEC**, så er man på sikker side.

Normalsituasjonen PEC_{normal} er 130 ganger mindre enn PNEC og dermed godt under.

Ekstremsituasjonen, ytterpunkts-verdien PEC_{maks}, er 13 ganger mindre enn PNEC.

Det kan dermed konkluderes med at de sannsynlige verdiene er langt lavere enn de verdiene som kan gi en påvirkning på livet i Repparfjorden.

9 Referanser

- ACD 1972. *AERO* Xanthate Handbook*, Amrican Cyanamid Company.
- AKVAPLANNIVA 2011. Konsekvenser for det marine miljøet i Repparfjorden ved etablering av sjø- eller landdeponi for gruveavgang fra Nussir og Ulveryggen i Kvalsund kommune, Finnmark.
- BLOCK, M. & PÄRT, P. 1986. Increased availability of cadmium to perfused rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Rich.) gills in the presence of the complexing agents diethyl dithiocarbamate, ethyl xanthate and isopropyl xanthate. *Aquatic toxicology*, 8, 295-302.
- 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 (*Salmo trutta*): studies on ethyl and isopropyl xanthate, diethyl- and diisopropyl dithiophosphate, dimethyl- and diethyldithiocarbamate and pyridinethione. *Archives of toxicology*, 62, 387-391.
- BULATOVIC, S. M. 2007. *Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: Volume 1: flotation of sulfide ores*, Elsevier.
- CHEN, S., GONG, W. & MEI, G. Study on biodegradation of alkyl xanthate collectors. 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2010. IEEE, 1-6.
- IBRAGIMOVA, O. & KLEIV, R. 2018. Application of a Rapid and Simple UV-Spectrophotometric Method for the Study of Desorption of Esterquat Collectors in Tailings–Seawater Systems. *Water*, 10, 1544.
- IBRAGIMOVA, O. K., R. A. 2018b. Equilibria and Kinetics of Flotation Chemical Sorption Reactions in Tailings–Seawater Systems. *Tailings 2018*.
- JONES, M. H. & WOODCOCK, J. T. 1973. Ultraviolet spectrometry of flotation reagents with special reference to the determination of xanthate in flotation liquors.
- MICHAUD, D. 2014. *Collectors Strength - Xanthate Family - Recovery Power* [Online]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/collectors-of-the-xanthate-family-vs-ph-and-recovery-power> [Accessed].
- MILJØDIREKTORATET 2016. Oversendelse av tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven - Nussir ASA.
- NAPIER-MUNN, T. & WILLS, B. A. 2005. Wills' mineral processing technology.
- NICNAS 1995. Sodium Ethyl Xanthate.
- NIVA 2012. Notat om Natrium isopropyl xantat (SIPX) som brukt i oppredningsprosessen ved Nussir ASA - potensielle toksiske effekter for det marine miljøet.
- NWQMS 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality: Volume 2 - Aquatic Ecosystems: 8.3.7.12 Organic sulfur compounds.
- SANDVIK, K. L., DIGRE, M. & MALVIK, T. 1999. *Oppredning: av primaere og sekundaere råstoffer*, Tapir.
- SGS 2011. An Investigation into Recovery og Copper from the Kvalsund Deposit.
- SGS 2019. An Investigation into the Recovery of Copper from the Nussir Deposit. Lakefield, Canada: SGS Minerals Services Lakefield.
- SUN, Z. & FORSLING, W. 1997. The degradation kinetics of ethyl-xanthate as a function of pH in aqueous solution. *Minerals engineering*, 10, 389-400.
- UIO. u.å. *Biologiske fagtermer fra A til Å* [Online]. Available: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/> [Accessed 21.03 2017].
- WANG, J., XIE, L., LIU, Q. & ZENG, H. 2015. Effects of salinity on xanthate adsorption on sphalerite and bubble–sphalerite interactions. *Minerals Engineering*, 77, 34-41.
- WEBB, M., RUBER, H. & LEDUC, G. 1976. The toxicity of various mining flotation reagents to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Water Research*, 10, 303-306.
- WOODGROVE 2016. Report on Pre-Feasibility Metallurgical Testwork: Nussir and Ulveryggen Copper Deposits.
- XU, Y., LAY, J. & KORTE, F. 1988. Fate and effects of xanthates in laboratory freshwater systems. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 41, 683-689.

10 Vedlegg

Vedlegg A – Xantat- testrapporter fra AquaTeam COWI på microtox, alger og krepsdyr.

Vedlegg B – Mail-korrespondanse med Miljødirektoratet angående xantat-forbruk.

Vedlegg C – Mail-korrespondanse med Jan Eric Sundkvist (Project Manager- Boliden Mineral)

Vedlegg D – NIVA notat (2012)