

Vurdering av miljøeffekter fra utslipp av thallium til sjø fra Boliden Odda



Hovedkontor

Økernveien 94
0579 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Vurdering av miljøeffekter fra utslipp av thallium til sjø fra Boliden Odda	Løpenummer 7730-2022 Ny versjon av rapport 7694-2022 ISBN 978-82-577-7430-1	Dato 15.03.2022
Forfatter(e) Henrik Jonsson, Anders Ruus, André Staalstrøm	Fagområde Miljøgifter - marin	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestland	Sider 32 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Boliden Odda AS Eitrheim 5750 ODDA	Kontaktperson hos oppdragsgiver Agnar Målsnes
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 210107

Sammendrag

Rapporten gir en samlet miljøvurdering av Bolidens utslipp av thallium (Tl) til Sjørfjorden. Utslipet forventes utelukkende å gå til sjø som vannløselig Tl(I), men selv tett opp mot utslippet ligger Tl(I) lavere enn *PNEC marin* i vannprøver. Målte vannkonsentrasjoner er omtrent som forventet basert på utslippskonsentrasjon og modellert fortykning av utslippet. Tl(I) sedimenterer hovedsakelig i vannvolumet øst for Eitrheimsneset. Det er ikke identifisert Tl(I) over *PNEC sediment* på stasjoner i Sjørfjorden, men spesiering av thallium i sediment er fortsatt usikker. Beregninger gir en forventning om at 13% av totalt thallium i sedimenter foreligger som biotilgjengelig Tl(I). Thalliumanalyser i blåskjell og tang viser at Tl(I) har begrenset bioakkumuleringspotensial omtrent som andre tungmetaller. Vurderingen viser at spill fra lossing av sink-konsentrat på kai er en viktig kilde til thalliumforurensing i Sjørfjorden. Som konklusjon er det i 2021 ikke framkommet data som peker i retning at thalliumutslippet gir toksiske effekter i biota. Analyser i vann- og sedimentprøver viser derimot, at utslippet fra Boliden kan spores over store deler av Sjørfjorden. Noen inngangsdata som er brukt i vurderingen, særlig spesiering av thallium i sediment, bør imidlertid revurderes.

Fire emneord	Four keywords
1. Thallium 2. Miljøkonsekvensvurdering 3. Fortynningsmodellering 4. Sjørfjorden	1. Thallium 2. Environmental impact assessment 3. Dilution modelling 4. Sjørfjorden

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Henrik Jonsson
Prosjektleder

Morten Jartun
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7466-0
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

**Vurdering av miljøeffekter fra utslipp av
thallium til sjø fra Boliden Odde**

Forord

Den foreliggende vurderingen av forventede miljøeffekter fra utslipp av thallium til sjø i Sørfjorden er utarbeidet for Boliden Odde a.s.

Kontaktperson i Boliden har vært Agnar Målsnes.

Seniorforsker Henrik Jonsson har vært hovedressurs og prosjektleder i NIVA, med bidrag fra seniorforsker/professor II Anders Ruus. Oseanograf André Staalstrøm har gitt støtte i forbindelse med fortynningsmodellering med Visual Plumes. Rapporten er kvalitetssikret og godkjent av forskningsleder Morten Jartun.

Bakgrunnen for miljøvurderingen er et utredningskrav fra Miljødirektoratet.

Rapporten er en revisjon av tidligere utgitt NIVA-rapport 7694-2022.

Oslo, mars 2022

Henrik Jonsson

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	6
1 Introduksjon	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Metode	7
1.3 Begrensninger i undersøkelsen.....	7
2 Kilder og renseanlegg	9
3 Utslippets utbredelse	10
3.1 Utslippskonsentrasjoner og mengder.....	10
3.2 Dagens hovedutslipp	10
3.2.1 Modellverktøy og simulert scenario.....	10
3.2.2 Simulert spredning og fortykning.....	11
3.3 Dagens utslipp til Eitrheimsvågen.....	14
3.3.1 Inngangsdata og modellverktøy	14
3.3.2 Simulert spredning og fortykning.....	16
3.4 Fremtidig utslipp	16
3.4.1 Forventet utslippskonsentrasjon og utslippsmengde	16
3.4.2 Forventet innblanding	17
4 Miljøkonsekvensvurdering	18
4.1 Utslippets skjebne i miljøet.....	18
4.2 Bakgrunnskonsentrasjon	19
4.3 Toksitetester og toksisk terskelkonsentrasjon	21
4.4 Feltkonsentrasjoner 2021	23
4.4.1 Stasjoner og analyser	23
4.4.2 Potensial for giftpåvirkning på sjøbunnen	25
4.4.3 Potensial for giftpåvirkning i vannsøylen	27
4.4.4 Bioakkumuleringspotensial	28
5 Samlet vurdering og konklusjon	30
6 Referanser	31
Vedlegg	i
Vedlegg A: Analyserapport sediment & biota.....	i
Vedlegg B: Sjøvannsanalyser.....	ii
Vedlegg C: Rapport toksisitetstester.....	iii

Sammendrag

Det er gjennomført en samlet miljøvurdering av Bolidens utslipp av thallium til Sjørfjorden. Vurderingen er basert på målte utslippkonsentrasjoner, modellert spredning av utslippet, forventet skjebne av thallium i sjø, og feltanalyser i vann, sediment og biota.

Thalliumutslippet fra Boliden forventes utelukkende å gå til sjø som vannløselig og biotilgjengelig Tl(I). Toksisk terskelkonsentrasjon for Tl(I) i kystvann (*PNEC marin*) er hentet fra en tidligere publisert miljørisikoanalyse av Tl(I)-forbindelser, mens *PNEC sediment* er beregnet fra fordelingskoeffisient for Tl(I) til uorganiske partikler (K_d) og *PNEC marin*. Toksiske terskelkonsentrasjoner viser at thallium er blant de mest giftige tungmetallene, med *PNEC marin* i samme størrelsesorden som arsen og bly, og beregnet *PNEC sediment* i samme størrelsesorden som kvikksølv og kadmium.

Vannprøver analysert i 2020 og 2021 viser at vannkonsentrasjoner av Tl(I) i Sjørfjorden ligger lavere enn *PNEC marin*, selv tett opp mot utslippet. Målte vannkonsentrasjoner er stort sett som forventet basert på gjennomsnittlig utslippkonsentrasjon og modellert fortykning av utslippet.

Sedimentanalyser peker mot at sedimentering av Tl(I) er spesielt intens i vannvolumet øst for Eittheimsneset. Det er ikke klarlagt hva som ligger bak dette, men en trolig (del)forklaring er at Tl(I) oksideres til Tl(III) på overflaten av manganoksider, som synker mot sjøbunnen. Thalliumanalyser i sediment har ikke sett på spesiering av thallium. Fordelingen mellom vannløselig og biotilgjengelig Tl(I), og uløselig og ikke-biotilgjengelig Tl(III) er estimert fra thalliumnivåer i tidligere norske sedimentundersøkelser, og fra beregnet bakgrunnskonsentrasjon Tl(I) i sediment. Beregningene gir en forventning om at 13% av totalt thallium målt i sedimenter er biotilgjengelig Tl(I), mens resterende 87% er ikke-biotilgjengelig Tl(III). Basert på at dette er det i 2021 ikke analysert potensielt toksiske thalliumkonsentrasjoner i sedimentprøver fra Sjørfjorden. Det er imidlertid usikkerhet knyttet til (preliminær) *PNEC sediment*, og spesielt til spesiering av thallium i sediment fra Sjørfjorden.

Thalliumanalyser i blåskjell og tang viser at Tl(I) har begrenset bioakkumuleringspotensial omtrent i samme størrelsesorden som andre tungmetaller. Thallium er ikke analysert i fisk.

Analysene i både vann- og sedimentprøver viser at spill fra lossing av sink-konsentrat på kai i Eittheimsvågen er en viktig kilde til thalliumforurensning i Sjørfjorden. Analysene viser også, at selv om analyserte og til dels beregnede thalliumkonsentrasjoner ikke er giftige, kan utslippet fra Boliden spores over store deler av Sjørfjorden både i vann og sediment.

Som konklusjon er det i 2021 ikke påvist data som peker i retning at thalliumutslippet fra Boliden gir toksiske effekter for biota. Noen inngangsdata som er brukt i vurderingen bør imidlertid revurderes, det gjelder særlig spesiering av thallium i sediment.

Summary

Title: Vurdering av miljøeffekter fra utslipp av thallium til sjø fra Boliden Odda
Year: 2022
Authors: Henrik Jonsson, Anders Ruus, André Staalstrøm
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7466-0

An overall environmental impact assessment of Boliden's emissions of thallium to the Sjørfjorden has been carried out. The assessment is based on measured discharges, dilution modelling, the expected fate of thallium in the marine environment, and chemical analyses in water, sediment and biota.

The discharge from Boliden is expected to go to sea exclusively as water-soluble and bioavailable Tl(I). Toxic threshold concentration for Tl(I) in coastal waters (*PNEC seawater*) is taken from a previously published environmental risk analysis of Tl(I) compounds, while a preliminary *PNEC sediment* is calculated in this study from *PNEC seawater* and the partition coefficient for Tl(I) to inorganic particles (K_d). Toxic thresholds rank thallium among the most toxic heavy metals, with *PNEC seawater* in the same order of magnitude as arsenic and lead, and *PNEC sediment* in the same order of magnitude as mercury and cadmium.

Water samples analysed in 2020 and 2021 show that water concentrations of Tl(I) in the Sjørfjorden are far lower than PNEC marine, even close to the discharge. Measured water concentrations are more or less as expected based on the average discharge concentration, and on modelled dilution of the discharge plume.

Sediment analyses indicate that settling of Tl(I) is particularly intense in the waters east of the Eitrheimsneset. A probable explanation is that Tl(I) becomes oxidized to Tl(III) on the surface of manganese oxides, which then settle on the seabed. Thallium analyses have not investigated speciation of thallium in sediment samples. The distribution between water-soluble and bioavailable Tl(I), and insoluble and non-bioavailable Tl(III) is estimated from reported thallium levels in Norwegian sediment surveys, and from a calculated background concentration of Tl(I) in sediment. An expected 13% of total thallium measured in sediments is bioavailable Tl(I), while the remaining 87% is non-bioavailable Tl(III). Based on this being true, potentially toxic thallium concentrations have not been analysed in sediment samples from the Sjørfjorden in 2021. There is however still some uncertainty associated with the calculated (preliminary) *PNEC sediment*, and particularly with the speciation of thallium in the sediments of the Sjørfjorden.

Thallium analyses in mussels and seaweed show that Tl(I) has limited bioaccumulation potential in approximately the same order of magnitude as other heavy metals. Thallium levels in fish have not been examined.

Analyses in both water and sediment samples show that unloading of zinc concentrate on the quay in the Eitrheimsvågen represent an important source of thallium pollution in Sjørfjorden. The analyses also show that even though thallium levels are not toxic, the discharge from Boliden can be traced over large parts of the Sjørfjorden in both water and sediment.

In conclusion, data produced in 2021 do not indicate toxic effects in marine organisms that can be linked to thallium emissions from Boliden. Some input data used in the assessment should however be re-evaluated, most notably the speciation of thallium in the sediments.

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Boliden Odda har i sin siste virksomhetstillatelse (sist endret 17.november 2020) fått et utredningskrav på miljøeffekter fra bedriftens utslipp av thallium. Utredningen skal som et minimum inkludere:

- En oversikt over de ulike kildene til utslippet.
- En oversikt over utslippsmengder og konsentrasjoner per utslippspunkt.
- En vurdering av utslippets utbredelse basert på spredningsberegninger.
- En vurdering av effekten av utslippet på vannkvalitet, sediment og biota.

Boliden Odda har bedt Norsk institutt for vannforskning (NIVA) om å gjennomføre en undersøkelse som svarer opp mot utredningskravet. Forslag på utredningsprogram er tidligere oversendt Miljødirektoratet fra enkeltpersonforetaket Weisses Haus for kommentar¹. Foreslått utredningsprogram hadde fokus på Bolidens hovedutslipp på den østre siden av Eitrheimsneset (**Figur 1**), hvor alle utslippsstrømmer fra bedriften vil gå ut i fremtiden i henhold til krav i oppdatert virksomhetstillatelse. I foreslått utredningsprogram var det også lagt opp til nye toksisitetstester med thallium i marine organismer.

Miljødirektoratets tilbakemelding på oversendt utredningsprogram av 12.oktober 2020 stiller krav om også å inkludere dagens utslipp til Eitrheimsvågen i vurderingen.

1.2 Metode

Det gis en samlet miljøvurdering av Bolidens utslipp av thallium til Sørfjorden basert på utslippskonsentrasjoner, modellert spredning av utslippet fra bedriftens utslippspunkter hhv. i Eitrheimsvågen og på den østre siden av Eitrheimsneset (**Figur 1**), forventet skjebne av thallium i sjø, og feltanalyser i vann, sediment og biota.

Det er etablert nye feltstasjoner for prøvetaking av vann, sediment og biota innenfor primærfortynningsonen av utslippet til Eitrheimsvågen, samt i en gradient i retning mot Bolidens hovedutslipp på den østre siden av Eitrheimsneset. Undersøkelsen har vært begrenset til lokaliteter hvor blåskjell og tang vokser naturlig, det har ikke vært mulig på forkant å bestemme avstand mellom forskjellige stasjoner i en tenkt fortynningsgradient ut fra utslippet. Biotastasjonene har derfor bestemt hvor det er tatt vann- og sedimentprøver.

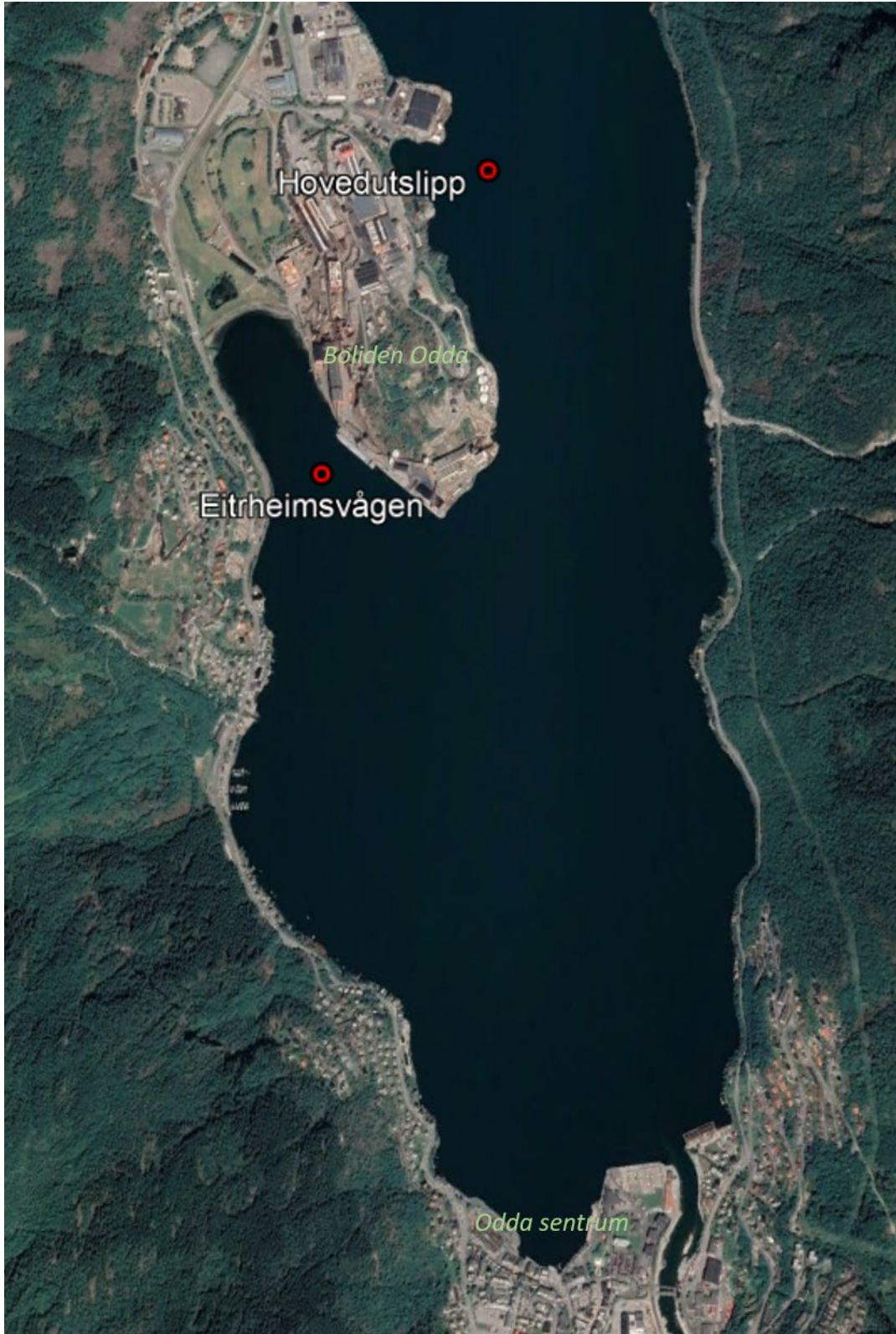
Primærfortynning av Bolidens utslipp til Eitrheimsvågen er modellert med Visual Plumes. Spredning av utslippet over større avstander er antatt identisk med tidligere gjennomført, hydrodynamisk modellering av Sørfjorden (UNI Research 2015).

1.3 Begrensninger i undersøkelsen

Undersøkelsen ser bare på thallium i bedriftens punktutslipp til sjø. Diffuse utslipp av thallium er formål for separat utredning og inngår derfor ikke i denne undersøkelsen.

Kjemiske analyser i vann, sediment og biota kvantifiserer totalt thallium og skiller derfor ikke mellom Tl(I) og Tl(III).

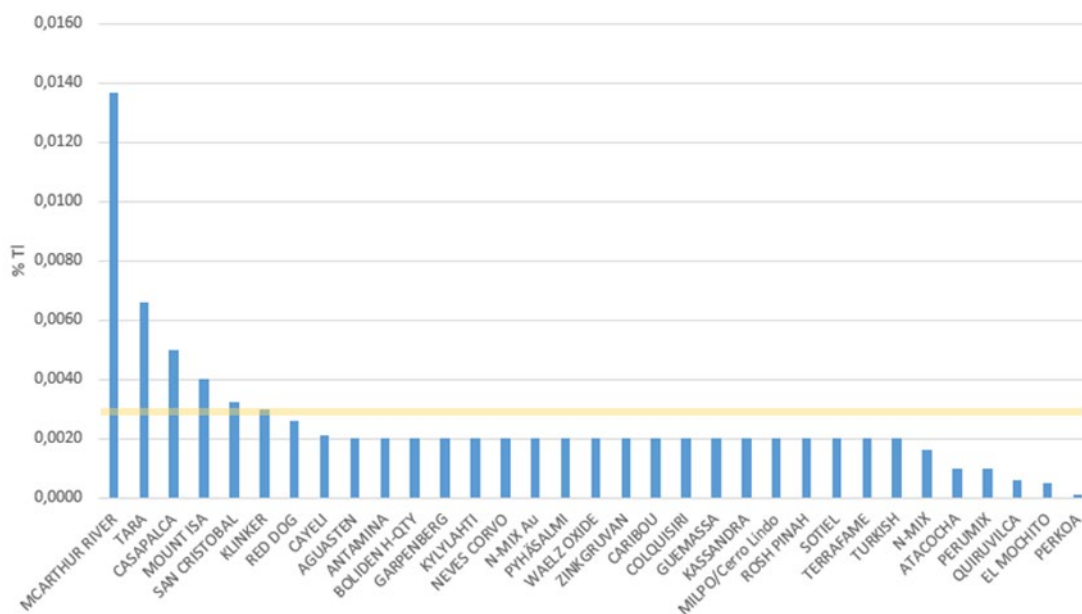
¹ Utredningsprogram for utslipp av thallium fra Boliden Odda. Weisses Haus 2020-09-20.



Figur 1. Lokalisering av Bolidens Oddas utslippspunkter for thallium til sjø i den sørlige del av Sør fjorden.

2 Kilder og renseanlegg

Eneste kilde til thalliumutslippet fra Boliden Odda er sink-konsentrat (sinksulfid med ca. 50% Zn). Sinksulfid ankommer Boliden med skip og er inngangsmateriale til bedriftens produksjon av sink, kadmium og kobbersement. Det tilsettes ingen thallium-holdige produkter i prosessen, og utslippet skyldes derfor utilstrekkelig rensing av thallium i bedriftens rensesystemer. Råstoffene som brukes i Odda har et gjennomsnittlig thalliuminnhold i området 0,002 til 0,003 vektprosent thallium (**Figur 2**).



Figur 2. Oversikt thalliuminnhold i sinkråvarer som finnes i markedet. Gjennomsnittlig thalliuminnhold i prosent i råstoffer som brukes i Odda er markert med gul linje i figur.

Boliden har tre anlegg for rensing av tungmetaller, hhv. VR I, VR II og Hg VR. Vannmengden i de forskjellige anleggene måles kontinuerlig.

- **VR I** går kontinuerlig og behandler prosessvann fra sinkverket. Utslippet fra VR I går til sjø på 35 meters dyp på østsiden av Eitrheimsneset, heretter kalt «hovedutslippet» (**Figur 1**). Vannmengde fra VR I har i perioden 2017-2021 i gjennomsnitt vært 3558 m³/døgn.
- **VR II** behandler overvann fra bedriftsområdet. VR II styres stort sett av nedbørsmengden og står i ro store deler av sommerhalvåret. Utslipp fra VR II går til sjø gjennom samme rør som renses prosessvann fra VR I (**Figur 1**). Vannmengde fra VR II har i perioden 2017-2021 i gjennomsnitt vært 1501 m³/døgn. Samlet vannmengde til bedriftens hovedutslipp i samme periode har derfor gjennomsnittlig vært 5059 m³/døgn (3558+1501).
- **Hg VR** er det minste renseanlegget hos Boliden Odda og behandler vann fra røsteanlegget. Utslipp fra Hg VR er ferskvannsbasert og går til sjø på 14 meters dyp i Eitrheimsvågen (**Figur 1**). Vannmengde fra Hg VR har i perioden 2017-2021 i gjennomsnitt vært 127 m³/døgn, imidlertid slippes sjøvannsbasert scrubbevann ut gjennom samme rør. Vannmengde fra scrubberen har i perioden 2018-2021 i gjennomsnitt vært 5256 m³/døgn, og samlet vannmengde til utslippspunkt Eitrheimsvågen er derfor beregnet til gjennomsnittlig 5383 m³/døgn (127+5256).

3 Utslippets utbredelse

3.1 Utslippskonsentrasjoner og mengder

Thallium måles hvert døgn i rensert vann fra Hg VR. Gjennomsnittlig konsentrasjon ut av Hg VR har siden 2018 vært 1479 µg/l totalt thallium. Etter rensing i Hg VR pumpes dette vannet inn på avløpsledningen fra vasketårnet for SO₂-rensing (våtscrubber). Her blir utslippet fra Hg VR fortynnet med sjøvann med en faktor 42 før vannet kommer ut i sjøen. Gjennomsnittlig utslippskonsentrasjon til Eitrheimsvågen er derfor beregnet til 35,2 µg/l totalt thallium (1479 delt på 42).

Vann fra VR I er analysert i fem separate døgnprøver tatt i mai-juni 2021, med gjennomsnittlig målt konsentrasjon 4,6 µg/l totalt thallium.

På grunn av svært lite nedbør i 2021 har VR II ikke blitt driftet i lange perioder, og det foreligger derfor kun en thalliumanalyse fra VR II. Målt konsentrasjon i august 2021 var 1,2 µg/l totalt thallium.

Tabell 1 viser målte thalliumkonsentrasjoner og beregnet årlig utslipp fra enkeltkilder. Årlig utslippsmengde fra Hg VR er beregnet fra vannmengder målt samme datoer som thallium (analyser hvert døgn). Årlige utslippsmengder fra VR I og VR II er beregnet fra gjennomsnittlig vannmengde pr døgn siden 2017. **Tabell 1** viser at samlet thalliumutslipp fra Boliden til 93% har opphav i bedriftens utslipp til Eitrheimsvågen mht. utslippsmengde I konsekvensvurderingen er derfor bedriftens utslipp til Eitrheimsvågen vektlagt.

Det vises til kapittel 4.1 for en diskusjon rundt forventet spesiering og løselighet av thalliumutslippet.

Tabell 1. Utslippskonsentrasjoner og utslippsmengder thallium fra Boliden Odda til Sørfjorden. Målte konsentrasjoner og beregnede utslippsmengder fra enkeltkilder er angitt som gjennomsnitt av alle tilgjengelige thallium-målinger siden 2018, med målt spenn (min-maks) i parenteser.

Kilde	Utslippspunkt	Utslippskonsentrasjon (µg/l)	Utslippsmengde (kg/år)	Antall analyser
VR I	Hovedutslipp	4,6 (3,0-5,9)	4,6 (3,7-8,0)	5
VR II	Hovedutslipp	1,2 (1,2-1,2)	0,6 (0,4-0,7)	1
Hg VR	Eitrheimsvågen	35,2 (0-204,6)	71,7 (59,6-89,3)	Hvert døgn

3.2 Dagens hovedutslipp

3.2.1 Modellverktøy og simulert scenario

Bergen Ocean Model (BOM) er en tredimensjonal, hydrodynamisk havmodell som bruker terrengfølgende vertikal koordinat og simulerer strømming drevet av tidevann, vind og elveavrenning. Den horisontale gridoppløsningen på 50 m impliserer at man kan modellere fenomen som har en utstrekning på noen hundre meter. I praksis vil dette si at modellen kun gir en approksimasjon av nærfeltspredningen de første 100 meter fra utslippet, men at oppløsningen er nøyaktig når man "zoomer ut" og ser på fenomen som er flere kilometer store.

Spredning og fortynning av et passivt, virtuelt fargestoff er modellert for en sommer- (juni 2010) og en høst-stratifisering (oktober 2010) for Sørfjorden ved hjelp av BOM. Fargestoffet slippes ut med en konstant volumrate på 35 m dyp fra et punkt tilsvarende dagens hovedutslipp (**Figur 1**). Spredningen i vannmassene er så fulgt i 30 døgn for hhv. et utslipp i sommer- og høstsesong (UNI Research 2016).

Modellert vannrate er et kontinuerlig utslipp på 60 liter pr sekund, tilsvarende 216 m³ pr time. I modellen er det lagt inn en konstant utslippstemperatur på 15°C, basert på Bolidens egne målinger som viser temperatur 15-17°C i vannrenseanleggene. Bolidens hovedutslipp er ferskvannbasert med en målt tetthet på 1,00265 kg/l. I simuleringene slippes det ut vann med en kunstig konsentrasjon satt til verdien 1,0 og fortynning kan derfor leses av rett fra figurene.

Tabell 2 viser basisdata brukt til hydrodynamisk modellering av Bolidens hovedutslipp. Det vises til UNI Research (2016) for en mer detaljert beskrivelse av gjennomførte modelleringer.

Tabell 2. Basisdata brukt til hydrodynamisk modellering av hovedutslippet fra Boliden Odda med Bergen Ocean Model.

Parameter	Inngangsdata modellering
Utslippskoordinater	60.092717° N, 6.539658° Ø
Utslippsdyp	-35 meter
Utslippsrate	60 liter pr sekund
Utslippstemperatur	15°C
Utslippets tetthet	1,00265 kg pr liter

3.2.2 Simulert spredning og fortynning

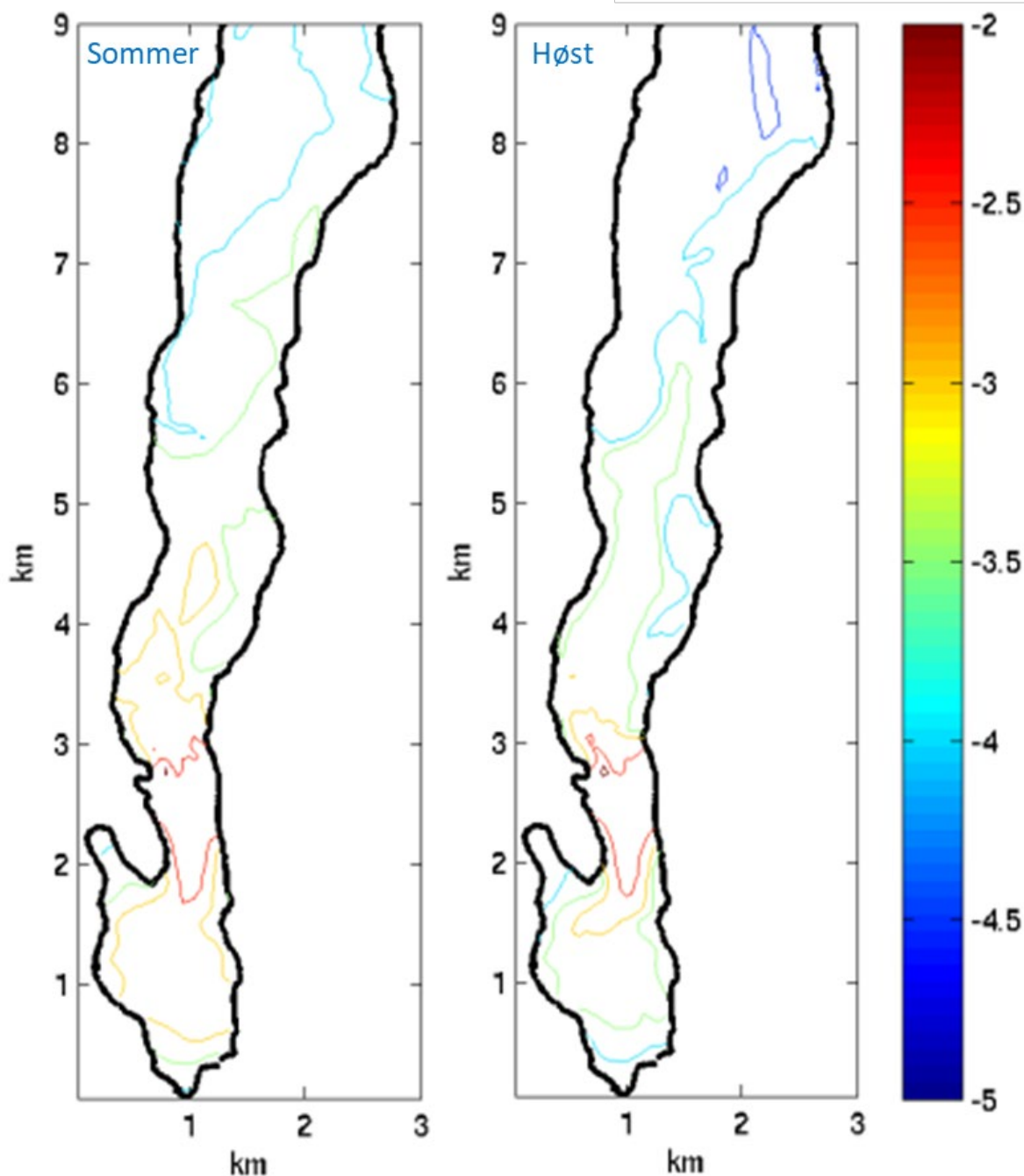
Resultatene viser at det er liten variasjon i spredningsmønsteret for utslipp hhv. i sommer- og høstsesong. Spredningen foregår både utover og innover fjorden fra utslippspunktet og spredningshastighetene er relativt like for de to periodene.

Figur 3 viser modellert fortynning som øyeblikksbilder i slutten av hver 30-dagers modelleringsperiode (hhv 30.06.2010 og 30.10.2010). Resultatene viser at 100x fortynning av utslippet (10^{-2} -konturen i **Figur 3**) oppnås innenfor ca. 100 meter fra utslippet uavhengig av sesong. Lave stoffkonsentrasjoner (stor grad av fortynning av utslippet) har generelt en høyere spredningshastighet enn høye stoffkonsentrasjoner (liten grad av fortynning av utslippet), dvs. at fortynning pr meter vannsøyle øker med økende avstand fra utslippet.

Transporten av konsentrasjoner fra Eitrheim og utover følger vestsiden av fjorden før den krysser over nord for Tyssedal og følger østsiden. Det er topografien som styrer denne transporten og resultatene er samsvarende både for juni og oktober simuleringene.

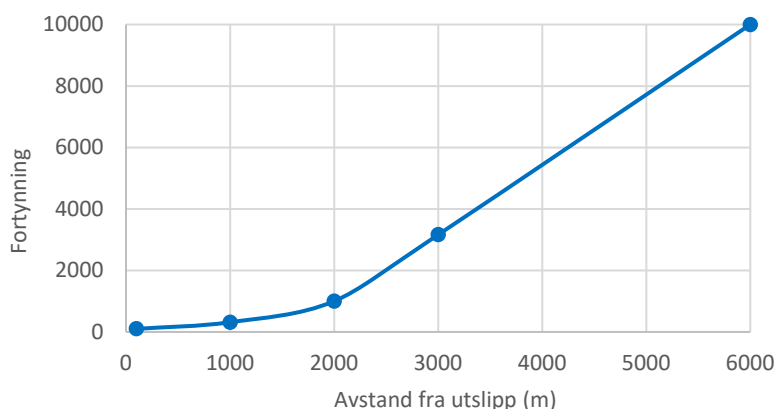
Modelleringene viser også at det hender at pakker med høyere konsentrasjoner blir løsrevet og beveger seg et stykke før de blir blandet ned. Dette gjør at en kan forvente å måle hopp i konsentrasjonen på enkelte målestasjoner.

Modelleringene viser også at det står en virvel i det indre fjordbassenget sør for Eitrheimsneset. Denne ser ut til å akkumulere opp konsentrasjonen og vil i løpet av en måned få verdier som er over 10^{-3} (1/1000) av utslippets konsentrasjon.



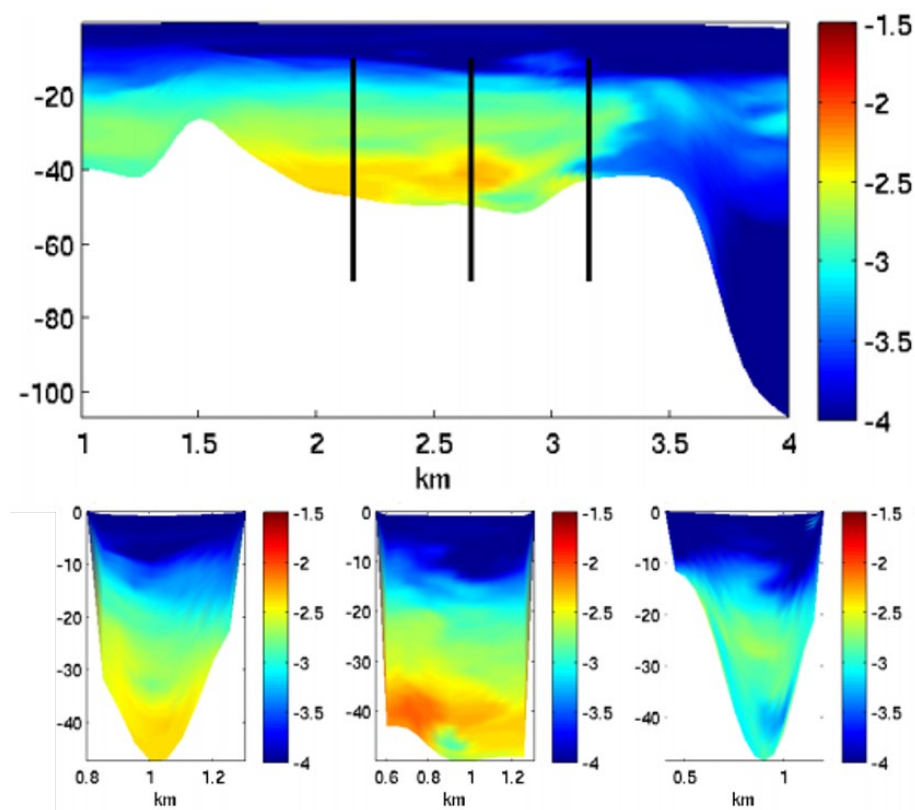
Figur 3. Øyeblikksbilder av konsentrasjoner i slutten av hver 30-dagers simuleringsperiode (hhv. 30.06.2010 og 30.10.2020). Venstre: Utslipp i sommersesong; Høyre: Utslipp i høstsesong. Fargeskalaen er logaritmisk, konturlinjer i figur viser modellerte konsentrasjoner tilsvarende hhv. 10^{-2} (tett opp mot utslippet) $10^{-2.5}$, 10^{-3} , $10^{-3.5}$, 10^{-4} og $10^{-4.5}$ av opprinnelig utslippskonsentrasjon. Fra UNI Research 2016.

Figur 4 viser fortykning som funksjon av avstand fra utslippet utlest fra **Figur 3**. Fortynningen følger to forskjellige ligninger, en ligning med relativt lavere spredningshastighet på avstand 100-2000 meter fra utslippet, og en annen ligning med relativt høyere spredningshastighet på avstand ≥ 2000 meter. For eksempel forventes 1000x fortykning av utslippet på avstand 2000 meter, men 2000x fortykning allerede på avstand ca. 2500 meter.

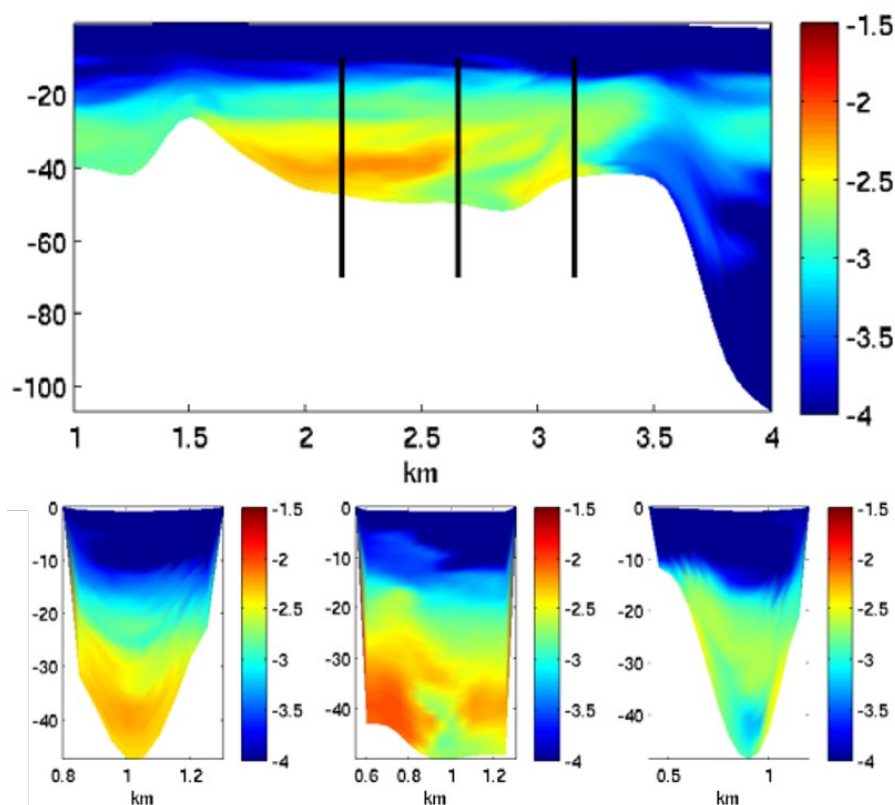


Figur 4. Fortynning som funksjon av avstand fra utslippet fra Boliden Odda.

Den største konsentrasjonen i vertikalen finnes i høyde med utslippspunktet, og det er lite av innlagringen som spres til vannmassene over sprangsjiktet. Dette tyder på at selve plumen blir blandet ned ganske raskt, trolig fordi kombinasjonen av tidevann og den termohaline sirkulasjon tilfører nok "rent" vann. Denne sirkulasjonen blir derfor styrt av ferskvannsavrenningen til fjorden. Forventet fortynning i overflatelaget er minst 1000x selv rett over utslippet (**Figur 5-Figur 6**), utslippet har derfor liten eller ingen påvirkning på overflatelaget i Sørfjorden.



Figur 5. Hydrodynamisk modellering av utslippet fra Boliden Odda i juni 2010. Øyeblikksbilde av konsentrasjoner etter 30 døgns simulering. Øvre bilde viser et sør-nord-snitt 150m øst for utslippspunktet. Nedre tre bilder viser vest-øst-snitt iht. markering i øvre bilde. Fargeskalaen er logaritmisk. Fra UNI Research (2016).



Figur 6. Hydrodynamisk modellering av utslippet fra Boliden Odde i oktober 2010. Øyeblikksbilde av konsentrasjoner etter 30 døgns simulering. Øvre bilde viser et sør-nord-snitt 150 m øst for utslippspunktet. Nedre tre bilder viser vest-øst-snitt iht. markering i øvre bilde. Fargeskalaen er logaritmisk. Fra UNI Research (2016).

3.3 Dagens utslipp til Eitrheimsvågen

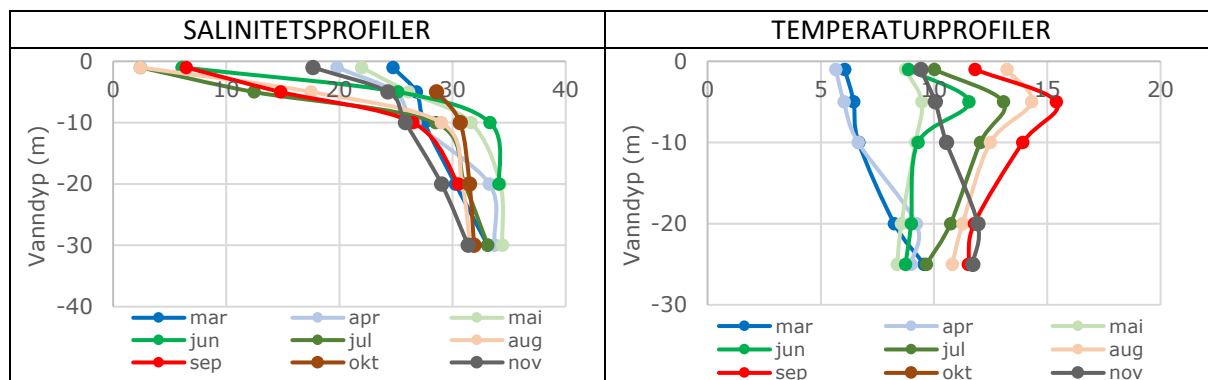
3.3.1 Inngangsdata og modellverktøy

Figur 1 viser beliggenhet av samlet utslippspunkt i Eitrheimsvågen for utslipp av rensert vann fra Hg VR og scrubbevann brukt til rensing av SO_2 i gasstårnet. Utslippet ligger på vanddyb ca. 15 meter omtrent midt i Eitrheimsvågen.

Fortynning av samlet utslipp til Eitrheimsvågen er simulert med den todimensjonale modellen Visual Plumes (VP), en forenklet men robust fortynningsmodell fra USEPA². VP er brukt til å tallfeste forventet innlagingsdyb og primærfortynning for utslipp gjennom hele året.

Relevante hydrografiske inngangsdata er hentet fra stasjon Lind1 i indre del av Sørfjorden (NIVA 2021). **Figur 7** viser salinitets- og temperatur-profiler brukt til simulering av utslippet til Eitrheimsvågen. Basisdata brukt til simuleringene er vist i **Tabell 3**. Vannrate og ΔT i utslippet er basert på Bolidens egne målinger i 2021. Samlet saltholdighet i utslippsvannet bestemmes av blandingsforholdet mellom sjøvannsbasert scrubbevann ($219 \text{ m}^3/\text{time}$), og ferskvannsbasert utslipp fra Hg VR ($5,3 \text{ m}^3/\text{time}$).

² <https://www.epa.gov/ceam/visual-plumes>



Figur 7. Hydrografiske profiler brukt til spredningsmodellering av dagens utslipp til Eitrheimsvågen (Figur 1). Måledata fra stasjon Lind1 (NIVA 2021).

Tabell 3. Basisdata for fortynningsmodellering av dagens utslipp til Eitrheimsvågen med Visual Plumes.

Parameter	Inngangsdata modellering
Utslippskoordinater	60.0861°N, 6.53335°Ø
Utslippsdyp	-14m (utslippsrøret opphengt 1m fra sjøbunnen)
Utslippsvinkel	30° sett fra sjøbunnen
Diameter utslippsrør	36 cm (indre mål)
Utslippsrate	62,3 liter/sekund konstant volumrate (samlet utslipp fra Hg VR og scrubber)
Utslippstemperatur	9,46 - 14,84°C absolutt utslippstemperatur (kontinuerlig ΔT 2,0°C sammenlignet med inntaksvannet)
Utslippsvannets saltholdighet	27,84 - 32,92 psu (samlet utslipp fra Hg VR og scrubber)

Strømdata brukt til simulering av dagens utslipp til Eitrheimsvågen er hentet fra strømmålinger på østsiden av Eitrheimsneset (UNI Research 2015). For relevante vanddyb viser målinger strømhastigheter <1 cm/s gjennom hele året. Til simuleringene er det brukt målt årsgjennomsnitt for vanddyb -5m, -10m og -20m i henhold til **Tabell 4**. Strømstyrke i overflaten er antatt identisk med målt strømstyrke på vanddyb -5 meter. Strømmodellering viser en transport av overflatelaget i Sørfjordens indre del som går med klokken, med en innadgående strøm langs den østre, og en utadgående strøm langs den vestre delen av Sørfjorden (UNI Research 2015). Basert på dette er det i simuleringene brukt fast strømretning 150 grader for vanddyb 0-20 meter, det vil si at utslippet spres utover mot Eitrheimsneset i retning mot sørøst.

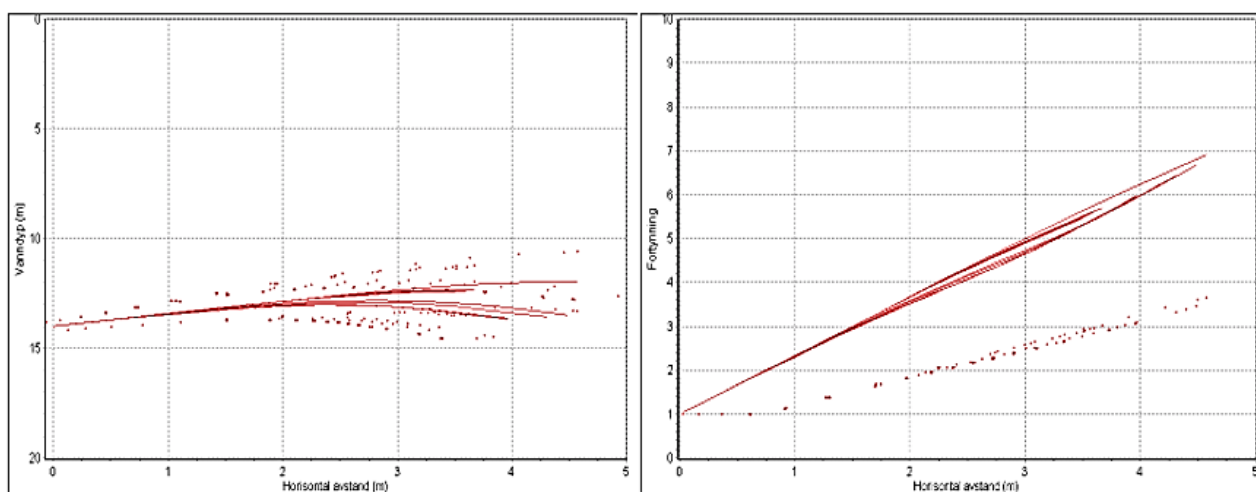
Tabell 4. Strømprofil brukt til simulering av utslippet til Eitrheimsvågen. Data fra UNI Research (2015).

Vanddyb	Strømstyrke (cm/s)	Strømretning
0	0,66	150°
-5m	0,66	150°
-10m	0,41	150°
-20m	0,34	150°

3.3.2 Simulert spredning og fortykning

Figur 8 viser simuleringresultater av utslippet til Eitrheimsvågen i sammendrag. Utslipet er begrenset oppvarmet (2°C) og har omtrent lik saltholdighet som resipientvannet. Oppdriften er derfor begrenset og plumen forventes innlagret på vanddyb 12-14 meter på avstand <5 meter fra utslippet. Primærfortynning av utslippet når plumen innlagres er tilsvarende lav (5-7x gjennom hele året)

Etter innlagring forventes utslippet til Eitrheimsvågen fortennet tilsvarende hovedutslippet på østsiden av Eitrheimsneset iht. **Figur 4**. Forventet fortykning av utslippet til Eitrheimsvågen er derfor 100x på avstand 100 meter, og 1000x på avstand 2000 meter.



Figur 8. Simulert spredning (venstre) og primærfortynning (høyre) av utslippet til Eitrheimsvågen gjennom et helt år. Heltrukken linje – Senterlinje i plumen; Stiplet linje – Utkant av plumen.

3.4 Fremtidig utslipp

3.4.1 Forventet utslippskonsentrasjon og utslippsmengde

I fremtiden vil utslipp fra VR I, VR II og Hg VR samles til et utslippspunkt på østsiden av Eitrheimsneset omtrent hvor dagens hovedutslipp er lokalisert (**Figur 1**). Utslipp av scrubbevann vil derimot fortsatt gå til sjø i Eitrheimsvågen.

Boliden Odda forventer at økt produksjonsramme til 350 000 tonn sink pr år (P350) vil gi en årlig økning med 95 000 m³ vann som skal renses i Hg VR. Isolert for Hg VR vil P350 innebære ca. 5% økning av volumraten sammenlignet med i dag. Vannmengder som renses i hhv. VR I og VR II forventes ikke å påvirkes av P350.

I vurderingen er det tatt utgangspunkt i målte thalliumkonsentrasjoner i de forskjellige utslippsstrømmer iht. **Tabell 1**. Det betyr at vi i vurderingen går ut fra at rensing av thallium ikke vil påvirkes av P350. Samlet utslippsmengde thallium forventes derfor å øke fra dagens ca. 75 kg/år (årlig gjennomsnitt siden 2011) til ca. 216 kg/år etter gjennomføring av P350, tilsvarende en økning med 185%.

Tabell 5 viser forventet utvikling av volumrate, utslippskonsentrasjon og årlig thalliumutslipp til sjø fra Boliden Odda før og etter gjennomføring av P350. Isolert bidrag fra Hg VR til samlet thalliumutslipp forventes øke fra dagens 91%, til 97% etter gjennomføring av P350.

Tabell 5. Forventet utvikling av volumrate, utslippskonsentrasjon og årlig thalliumutslipp til sjø fra Boliden Odda før og etter gjennomføring av P350.

Rensesystem	Volumrate (liter/sekund)		Thallium ($\mu\text{g/l}$)		Thallium (kg/år)	
	I dag	P350	I dag	P350	I dag	P350
VR I	41,2	41,2	4,6	4,6	6,0	6,0
VR II	17,4	17,4	1,2	1,2	0,7	0,7
Hg VR	1,5	4,5	35,2	35,2	68,4	208,9
Samlet	60,0	63,0			75,0	215,5

3.4.2 Forventet innblanding

Tabell 5 viser at samlet volumrate til sjø på østsiden av Eitrheimsneset øker fra dagens 60 liter pr sekund, til 63 liter pr sekund etter gjennomføring av P350. Spredningssimuleringer beskrevet i kapittel 3.1, hvor det er brukt kontinuerlig utslippsrate 60 liter pr sekund, anses derfor å være representativ også for fremtidig utslipp fra samme område.

Fremtidig, samlet utslipp på østsiden av Eitrheimsneset forventes derfor fortynnet 100x på avstand 100 meter, og 1000x på avstand 2000 meter fra utslippet iht. **Figur 4**.

4 Miljøkonsekvensvurdering

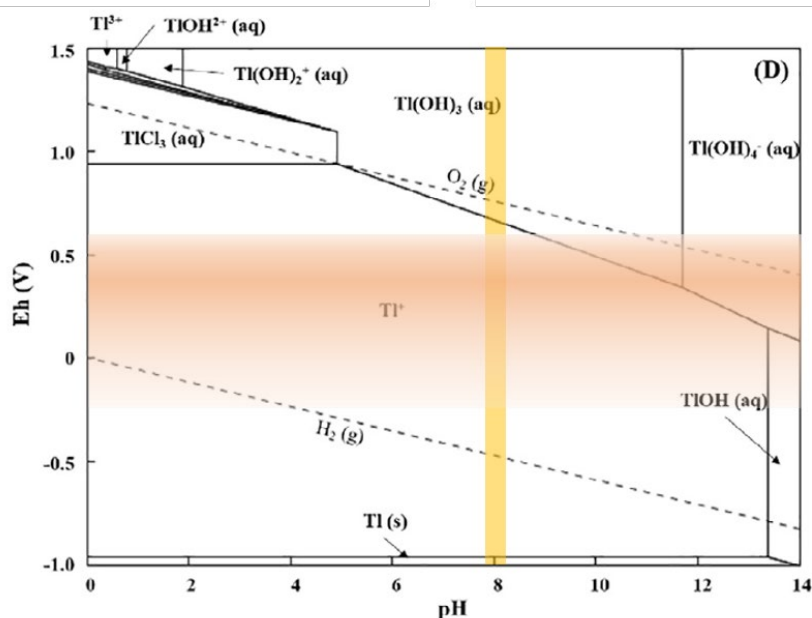
4.1 Utslippets skjebne i miljøet

Ionisk thallium foreligger enten som enverdig (redusert) og vannløselig Tl(I), eller treverdig (oksidert) og uløselig Tl(III). Utfelt Tl(III) er ikke biotilgjengelig og har tilsvarende lav giftighet. I vurderingen har vi derfor bare sett på forventede effekter av vannløselig Tl(I).

I vannrensprosessen hos Boliden Odda brukes natriumsulfid (Na_2S) for å felle tungmetaller, noe som gir et svært reduserende miljø i utslippet. Eventuelle rester Tl(III) blir redusert til Tl(I) ved kontakt med lett oksiderbare komponenter som finnes i stort overskudd i vannet som skal renses, for eksempel Fe^{2+} , Mn^{2+} og svoveldioksid (SO_2).

I praksis forventer vi derfor at thalliumutslippet fra Boliden Odda utelukkende går til sjø som vannløselig Tl(I). Løselighet av Tl(I) er for relevant temperaturspenn (0-20°C) rapportert til 10,9-19,7 gram Tl(I) pr liter, beregnet fra løselighet 27,0-48,7 gram $\text{Tl}(\text{I})_2\text{SO}_4$ pr liter³. Høyest registrert utslippkonsentrasjon til Eitrheimsvågen 204,6 $\mu\text{g/l}$ (**Tabell 1**) er derfor godt innenfor løselig konsentrasjon.

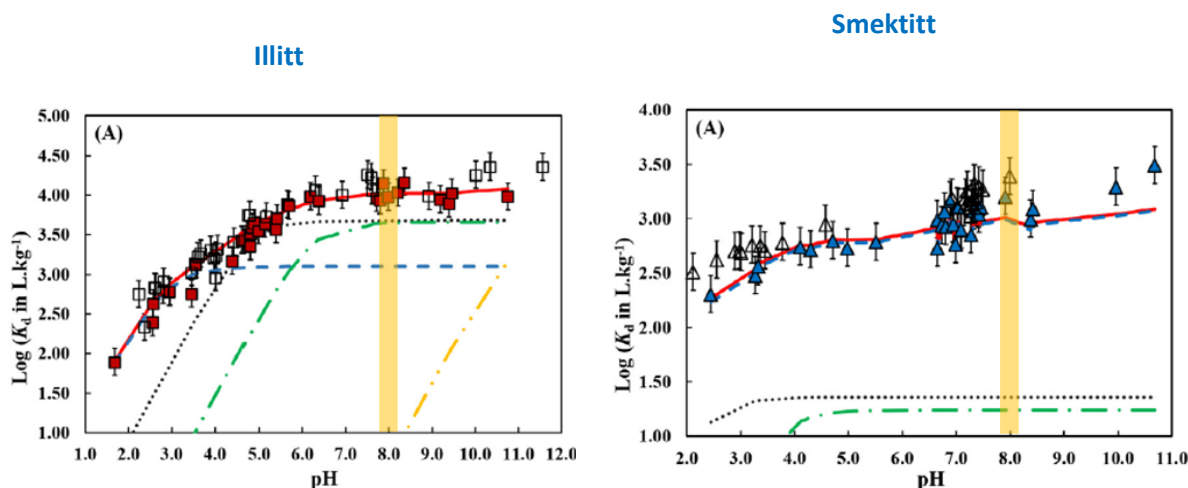
Elektrodepotensial (Eh) måles i volt og beskriver en løsnings evne til enten å oksidere (positiv elektrodepotensial) eller redusere (negativ elektrodepotensial) stoffer i løsningen. Elektrodepotensial for sjøvann med pH 8 er typisk 0,4-0,6 volt, men kan være svakt negativ i dypvann med lav oksygenmetning (Railsback 2006). **Figur 9** viser et Eh-pH-diagram for Tl(I)-H₂O systemet. Vi ser at for relevante pH- (7,8 til 8,2) og Eh-verdier (-0,2 til 0,6 V) foreligger thallium som vannløselig Tl(I). Dette bekreftes i kjemiske analyser av hhv. filtrerte og ufiltrerte sjøvannsprøver (Environment and Climate Change Canada 2020). I toksisitetstester gjennomført av DHI på Bolidens initiativ, med Tl(I) løst i naturlig (ufiltrert) sjøvann, tilsvarte målte thallium-konsentrasjoner 85-100% av nominell eksponeringskonsentrasjon (**Vedlegg C**), dvs. at nesten alt thallium var oppløst i vann.



Figur 9. Eh-pH diagram for Tl(I)-H₂O systemet, med relevante spenn for hhv. pH (7,8 til 8,2) og Eh (-0,2 til 0,6) markert i figur. Basert på Martin m.fl. 2018.

³ <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24833#section=Solubility>

Tl(I) har forholdsvis lav affinitet til uorganiske partikler. Basert på 6 forskjellige studier angir EPA (2005) forventet fordelingskoeffisient av Tl(I) til uorganiske partikler (K_d) til 1585 ($\text{Log } K_d$ 3,2). Til sammenligning er K_d for de 8 vanligst forekommende tungmetallene i miljøovervåkingsprosjekter (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) angitt til mellom 6607 for arsen, og 154 882 for bly (Miljødirektoratet 2014). Affinitet til uorganiske partikler rapportert av EPA er bekreftet i senere undersøkelser, for eksempel i Martin m.fl. 2018 hvor det er gjort forsøk med fyllosilikater (leirmineraler) i rene fraksjoner (hhv. smektitt og illitt). $\text{Log } K_d$ for Tl(I) ved en pH-verdi relevant for sjøvann (7,8-8,2) er rapportert til ca. 3,0 for smektitt, og ca. 4,0 for illitt (**Figur 10**). Som tungmetaller flest er thalliums affinitet til uorganiske partikler omvendt proporsjonal med partikkelstørrelse, det vil si thalliums affinitet til leir > silt >> sand (Jacobson m.fl. 2015).



Figur 10. Adsorpsjon av Tl(I) til leirmineraler som funksjon av pH. Venstre: adsorpsjon til illitt. Høyre: adsorpsjon til smektitt. pH-intervall relevant for sjøvann (7,8-8,2) er skygget i oransje farge. Basert på Martin m.fl. 2018.

Tl(I) er vist å ha lav affinitet til karbon i form av organiske partikler. Jacobson m.fl. (2015) rapporterer lavere bindingsevne for Tl(I) til humusrik jord (27,4% TOC), enn til jordprøver med høyt innhold av sand (opptil 77%), silt (68-70%) og leir (21-26%). Studien viser på en svak kompleksbinding mellom Tl(I) og organiske partikler. Fordeling av Tl(I) til organiske partikler anses derfor ikke relevant, og Tl(I) som ikke binder til uorganiske partikler vil derfor i praksis være biotilgjengelig.

Det er kjent at Tl(I) i sjøvann kan oksideres til uløselig Tl(III) på overflaten av utfelte manganoksider (Migaszewski & Gałuszka 2021). Boliden har store manganutslipp som går til sjø parallelt med Tl(I), mulig oksidering og utfelling av Tl(I) blir diskutert i kapittel 4.4.2.

4.2 Bakgrunnskonsentrasjon

Naturlig bakgrunnskonsentrasjon av thallium i sjøvann anses som forholdsvis konstant på forskjellige vanddyp og i ulike deler av verdenshavet. Rehkämper og Nielsen (2004) rapporterer 60 pmol/kg, tilsvarende 0,014 $\mu\text{g/l}$, som en representativ bakgrunnskonsentrasjon av thallium i verdenshavet.

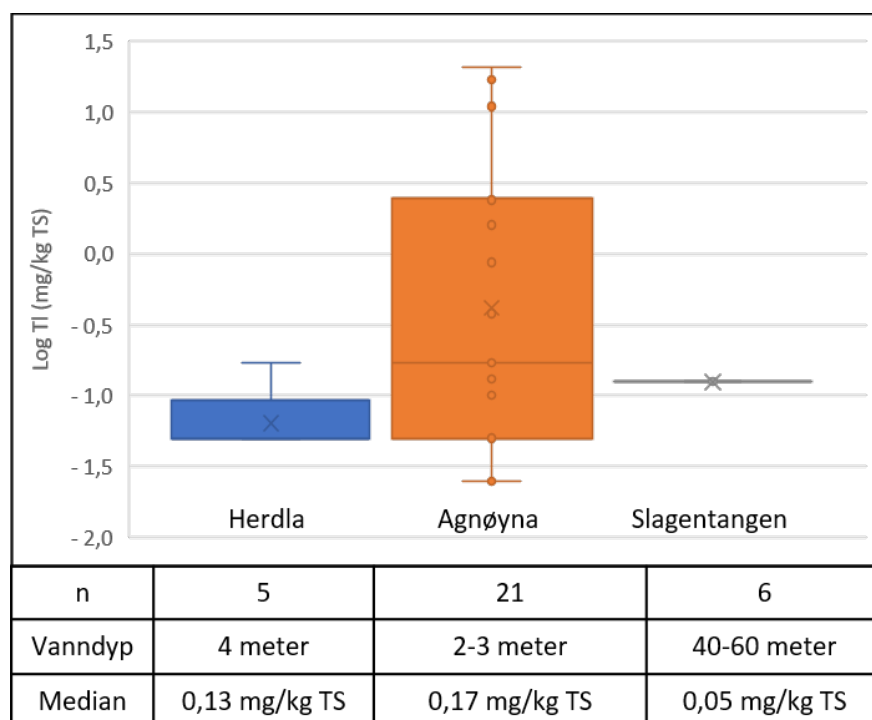
Bakgrunnskonsentrasjon av thallium i marine sedimenter varierer derimot innenfor et stort spenn og avhenger for eksempel av regional berggrunn, elvetilførsler og andel finstoff i sedimentene (Karbowska 2016). Bakgrunnskonsentrasjon av Tl(I) i sediment kan estimeres fra fordelingskoeffisient for Tl(I) til uorganiske partikler (K_d 1585 l/kg TS), og bakgrunnskonsentrasjon av Tl(I) i sjøvann. Som nevnt i foregående kapittel forventes thallium i sjøvann nærmest utelukkende å bestå av vannløselig og biotilgjengelig Tl(I). Bakgrunnskonsentrasjon av Tl(I) kan derfor estimeres til å være likt totalt

thallium i sjøvann, det vil si 0,014 µg/l. Bakgrunnskonsentrasjon av Tl(I) i sediment blir da 0,02 mg/kg TS, som altså ikke inkluderer utfelt Tl(III).

I Vannmiljø er det lagt inn totalt 32 registreringer av totalt thallium i sediment fra prøver som er hentet fra desember 2018, til mai 2020. Analysene er fordelt mellom tre forskjellige lokaliteter, to av disse ligger på avstand ca. 3 km fra hverandre i Hjeltefjorden (Vestland), og en ligger i ytre Oslofjord utenfor Slagentangen. Alle thalliumanalyser i Hjeltefjorden er gjort på sedimentprøver fra grunt vann (2-4 meter). På en av lokalitetene i Hjeltefjorden (Agnøyna) er det analysert totalt thallium opptil 21 mg/kg TS. Resultatet tolkes som at lokalitet Agnøyna åpenbart er forurenset med thallium (**Figur 11**).

I 17 av 32 analyser har thallium vært under deteksjonsgrensen, som har variert mellom 0,05 og 0,5 mg/kg TS. På de to lokalitetene i Hjeltefjorden hvor thallium har vært målbart i minst en sedimentprøve, er thallium her estimert til 50% av deteksjonsgrensen i enkeltanalyser. I alle 6 sedimentprøver analysert utenfor Slagentangen har thallium vært under deteksjonsgrensen 0,5 mg/kg TS, og her er thallium estimert til 25% av deteksjonsgrensen. Basert på disse antakelsene er median sedimentkonsentrasjon i hele datasettet (32 prøver) 0,13 mg/kg TS. Hvis medianverdien isteden beregnes med utgangspunkt i at sedimentprøver med thallium <LOD inneholder en konsentrasjon lik LOD (for eksempel resultat <0,5 mg/kg TS gir 0,5 mg/kg TS) blir medianverdien i samme datasett 0,17 mg/kg TS.

Basert på ovenstående anslås her en regional bakgrunnskonsentrasjon av totalt thallium i sediment fra Hardanger til 0,15 mg/kg TS. Av disse antas 0,02 mg/kg TS, tilsvarende ca. 13%, å være vannløselig og biotilgjengelig Tl(I) i henhold til det som er nevnt tidligere. Resterende 0,13 mg/kg TS, tilsvarende ca. 87%, er derfor uløselig og ikke biotilgjengelig Tl(III). I miljøkonsekvensvurderingen av thallium i sediment (kapittel 4.4.2) er det antatt en tilsvarende fordeling mellom Tl(I) og Tl(III).

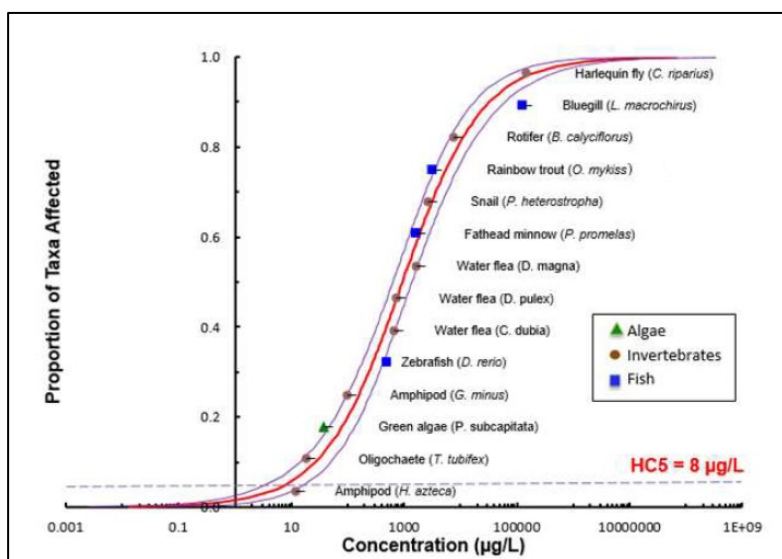


Figur 11. Thalliumkonsentrasjoner (logaritmisk skale) i sedimentprøver hentet fra tre forskjellige lokaliteter langs Norskekysten 2018-2022. Data fra Vannmiljø.

4.3 Toksitetester og toksisk terskelkonsentrasjon

Thalliums giftighet skyldes at eukaryote celler ikke klarer å skille $Tl(I)$ fra K^+ . Thallium overtar derfor kaliums posisjon i mange viktige fysiologiske prosesser inkludert ionepumper (Na^+/K^+ -ATPaser) som bestemmer cellens membranpotensial. Det er kjent at kalium i overskudd demper thalliums toksiske effekt (Galvan-Arzate & Santamaria 1998, Rickwood m.fl. 2015).

Environment and Climate Change Canada (2020) har gjennomført en miljørisikovurdering av vannløselige $Tl(I)$ -forbindelser. Basert på et stort antall toksitetstester er HC5 for $Tl(I)$ i ferskvann (akutt giftig konsentrasjon for 5% av alle ferskvannsorganismer) identifisert til $8 \mu\text{g/l}$ (**Figur 12**). Til beregning av PNEC bruker den kanadiske studien sikkerhetsfaktor 10 og lander derfor *PNEC limnisk* for $Tl(I)$ $0,8 \mu\text{g/l}$.



Figur 12. Species Sensitivity Distribution (SSD) konstruert fra akutte toksitetstester med ferskvannsorganismer. Fra Environment and Climate Change Canada (2020).

For marine organismer foreligger ikke tilstrekkelig data for å identifisere HC5 på samme måte. Den kanadiske studien beregner isteden *PNEC marin* på grunnlag av sikkerhetsfaktorer og ender opp med en verdi for $Tl(I)$ som er identisk med *PNEC limnisk*, dvs. $0,8 \mu\text{g/l}$. Mest sensitiv marin art brukt i toksitetstester er makroalgen *Ulva lactuca* (havsalat), med 48 timers EC_{50} $20 \mu\text{g/l}$. **Tabell 6** viser alle toksitetstester bak beregnet *PNEC marin* for $Tl(I)$ $0,8 \mu\text{g/l}$.

Boliden Odda har gjennomført egne toksitetstester på marine organismer i henhold til etablerte standardprotokoller (**Tabell 7**). Tester med thalliumforbindelsen $Tl(I)$ sulfat (Tl_2SO_4) er utført av DHI Danmark. I mikroalgen *Skeletonoma* sp. er NOEC identifisert til $8,2 \mu\text{g/l}$, mens EC_{50} i samme art er beregnet til $97,3 \mu\text{g/l}$. Nominelle testkonsentrasjoner er her korrigert fra kjemiske analyser av testvannet. LC_{50} i kopepoden *Acartia tonsa* er estimert til $>10\,000 \mu\text{g/l}$ basert på en preliminær *range finding test*. Til sammenligning er LC_{50} i samme art tidligere rapportert til $2400 \mu\text{g/l}$ (**Tabell 6**).

Resultatene bekrefter tidligere toksitetstester med marine organismer i det at alger (både mikro- og makroalger) står frem som betydelig mer sensitive overfor $Tl(I)$ enn marine dyr inkludert fisk, børstemark, hjuldyr, og forskjellige typer krepsdyr (reker, hoppekreps, amfipoder).

Til miljøkonsekvensvurderingen er det valgt å bruke *PNEC marin* for $Tl(I)$ på $0,8 \mu\text{g/l}$ i henhold til Environment and Climate Change Canada (2020). Giftighet av $Tl(I)$ i kystvann ligger dermed et sted

mellom arsen og bly (**Tabell 8**), og *PNEC marin* tilsvarer en konsentrasjon ca. 57x over naturlig bakgrunn for Tl(I) i sjøvann (0,014 µg/l)

Det foreligger ingen pålitelige toksisitetstester med sedimentlevende organismer eksponert for Tl(I). En preliminær verdi for *PNEC sediment* er beregnet fra *PNEC marin* ved å multiplisere med fordelingskoeffisient for Tl(I) til uorganiske partikler (Kd), i tråd med metodikk tidligere brukt i Miljødirektoratet (2014). *PNEC sediment* brukt i konsekvensvurderingen er beregnet til 1,29 mg/kg TS, som avrundes til **1,3 mg/kg TS**. Beregningen er basert på (*PNEC marin* 0,0008 mg/l * Kd 1585 l/kg TS) + naturlig bakgrunn Tl(I) 0,02 mg/kg TS (se foregående kapittel). Preliminær giftighet av Tl(I) i marine sedimenter ligger dermed et sted mellom kadmiem og kvikksølv (**Tabell 8**).

Tabell 6. Oversikt publiserte toksisitetstester i marine organismer, med effektkonsentrasjoner for Tl(I) oppgitt i µg/l. Fra Environment and Climate Change Canada (2020).

Test organism	Endpoint	Value (µg/L) ^a
Sheepshead minnow (<i>Cyprinodon variegatus</i>)	96 h LC ₅₀	21 000
Silverside (<i>Menidia menidia</i>)	96 h LC ₅₀	24 000
Brine Shrimp (<i>Artemia salina</i>)	48 h LC ₅₀	10 700
Brine Shrimp (<i>Artemia salina</i>)	24 h LC ₅₀	32 300
Mysid shrimp (<i>Americanmysis bahia</i>)	96 h LC ₅₀	3 480
Rotifer (<i>Brachionus plicatilis</i>)	24 h LC ₅₀	100 000
Copepod (<i>Acartia tonsa</i>)	96 h LC ₅₀	2 400
Amphipod (<i>Gammarus annulatus</i>)	96 h LC ₅₀	4 200
Sand shrimp (<i>Crangon septemspinus</i>)	96 h LC ₅₀	2 500
Grass shrimp (<i>Palaemonetes pugio</i>)	96 h LC ₅₀	5 600
Polychaete (<i>Neanthes arenaceodentata</i>)	96 h LC ₅₀	17 000
Green macroalga (<i>Ulva lactuca</i>)	48 h LOEC	10
Green macroalga (<i>Ulva lactuca</i>)	48 h LC ₅₀	20 ^b
Green macroalga (<i>Ulva lactuca</i>)	48 h LC ₅₀	23 ^b

Tabell 7. Resultater fra toksisitetstester gjennomført av DHI Danmark. Marine organismer i ufiltrert, naturlig sjøvann er eksponert for thallium sulfat Tl(I) sulfat (Tl₂SO₄). For komplett testrapport vises til **Vedlegg C**.

Organisme	NOEC (µg/l)	LOEC (µg/l)	EC10 (µg/l)	EC50 (µg/l)
Skeletonema sp.	8,2	24,0	12,6	97,3
Acartia tonsa	-	-	100-1000	>10 000

Tabell 8. Giftighetsgrenser for **thallium** brukt i miljøkonsekvensvurderingen, sammenlignet med tungmetaller med etablerte EQS-verdier i kystvann og sediment (Veileder M608).

Stoff	EQS AA kystvann (µg/l)	EQS sediment (mg/kg TS)
Kvikksølv (Hg)	0,047	0,52
Kadmium (Cd)	0,2	2,5
Arsen (As)	0,6	18
Thallium (Tl)	0,8^a	1,3^b
Bly (Pb)	1,3	150
Kobber (Cu)	2,6	84
Sink (Zn)	3,4	139
Krom (Cr)	3,4	620
Nikkel (Ni)	8,6	42

^a Environment and Climate Change Canada (2020).

^b Denne studien (preliminær verdi).

4.4 Feltkonsentrasjoner 2021

4.4.1 Stasjoner og analyser

Thallium (totalt thallium) er i 2021 analysert i totalt 49 prøver, fordelt mellom:

- 26 vannprøver med overflatevann
- 4 vannprøver med bunnvann
- 10 sedimentprøver
- 5 blåskjellprøver (samleprøver, hele organismer)
- 4 grisetangprøver (samleprøver, hele planter)

Vannanalyser er gjennomført på ufiltrerte vannprøver av Hardanger Miljøsenster med deteksjonsgrense for totalt thallium 0,02-0,05 µg/l.

Sedimentanalyser er gjennomført av NILU med deteksjonsgrense for totalt thallium <0,99 mg/kg TS.

Biotaanalyser (blåskjell, grisetang) er gjennomført av NILU med deteksjonsgrense for totalt thallium <0,006 mg/kg våtvekt.

For alle matriser hvor thallium har vært lavere enn deteksjonsgrensen er prøven estimert til å inneholde 50% av oppnådd deteksjonsgrense i enkeltanalyser.

Figur 13 viser lokalisering av alle feltstasjoner brukt i 2021. **Tabell 11** gir en oversikt over alle thalliumanalyser gjennomført i 2021, med koordinater, prøvetakingstidspunkt, antall analyser og ansvarlig analyselaboratorium.

For detaljer knyttet til analyseprotokoller og metodikk vises Vedlegg A (thalliumanalyser i sediment og biota) og til siste overvåkingsrapport for thalliumanalyser i vann (NIVA 2021).



Figur 13. Oversikt feltstasjoner 2021. Stasjoner i gul skrift er nye stasjoner i 2021 hvor fokus har vært på thalliumanalyser i vann, sediment og biota. Stasjoner i hvit skrift inngår i løpende miljøovervåking av Hardangerfjorden. Utslippspunkter fra Boliden Odde er markert med en rød ring. Kart fra Google Earth.

Tabell 9. Oversikt feltstasjoner og prøvetakingsdatoer for thalliumanalyser i 2021. HM – Hardanger Miljøsenster.

Stasjonsnavn	Koordinater	Prøvemateriale	Antall prøver (dato)	Analyselab
Under kai	60.086836 N 6.534087 Ø	Vann (bunnvann)	1 (11.05.2021)	HM
		Sediment	1 (11.05.2021)	NILU
		Blåskjell	1 (11.05.2021)	NILU
Utenfor kai	60.086644 N 6.533868 Ø	Vann (bunnvann)	1 (11.05.2021)	HM
		Sediment	1 (11.05.2021)	NILU
		Blåskjell	1 (11.05.2021)	NILU
		Grisetang	1 (11.05.2021)	NILU
Ved utslipp	60.08620 N 6.53335 Ø	Vann (bunnvann)	1 (11.05.2021)	HM
		Sediment	1 (11.05.2021)	NILU
		Blåskjell	1 (11.05.2021)	NILU
		Grisetang	1 (11.05.2021)	NILU
Syretanker	60.088000 N 6.541300 Ø	Vann (bunnvann)	1 (11.05.2021)	HM
		Sediment	1 (11.05.2021)	NILU
		Blåskjell	1 (11.05.2021)	NILU
		Grisetang	1 (11.05.2021)	NILU
APold REF	60.149008 N 6.544638 Ø	Blåskjell	1 (11.05.2021)	NILU
		Grisetang	1 (11.05.2021)	NILU
Lind1	60.095830 N 6.541883 Ø	Vann (overflatevann)	9 (månedlig jan-sep)	HM
		Sediment	1 (24-25.03.2021)	NILU
SØ7/2	60.081380 N 6.538253 Ø	Vann (overflatevann)	9 (månedlig jan-sep)	HM
		Sediment	1 (24-25.03.2021)	NILU
S22sør	60.113480 N 6.553530 Ø	Vann (overflatevann)	3 (jan, jul, sep)	HM
S1/4	60.117335 N 6.546674 Ø	Vann (overflatevann)	5 (feb, mar, mai, jul, sep)	HM
		Sediment	1 (24-25.03.2021)	NILU
S2/5	60.166330 N 6.561667 Ø	Sediment	1 (24-25.03.2021)	NILU
SØ10	60.088550 N 6.543167 Ø	Sediment	1 (24-25.03.2021)	NILU
S16	60.404001 N 6.435502 Ø	Sediment	1 (24-25.03.2021)	NILU

4.4.2 Potensial for giftpåvirkning på sjøbunnen

Tabell 10 viser målte konsentrasjoner totalt thallium i sedimentprøver i 2021. Fra målte data er toksikologisk relevant Tl(I) estimert til 13% av totalt thallium, i henhold til det som ble diskutert i kapittel 4.2. Basert på preliminær *PNEC sediment* 1,3 mg/kg TS (kapittel 4.3) hadde ingen av sedimentstasjonene i 2021 (beregnet) innhold av Tl(I) som er potensielt giftig for bunnfauna.

Høyest sedimentkonsentrasjon er i 2021 målt inne i Eitrheimsvågen på stasjon «Under kai». Prøven er tatt i forbindelse med lossing av sink-konsentrat fra ankommende skip 11.mai 2021. Under kai finnes spor av nesten 100 år med lossing av råvarer til bedriften, det er derfor usikkert om målt thalliumkonsentrasjon i 2021 kan kobles direkte til pågående lossing, eller som en langtidseffekt av sedimenterte råvarer under kaien. Uansett viser resultatet at spill av sink-konsentrat fra kai representerer en viktig kilde til thalliumutslipp fra Boliden.

Øvrige 9 stasjoner hadde i 2021 målte sedimentkonsentrasjoner i området 0,99-1,82 mg/kg TS, med et noe forhøyet nivå (1,37-1,82 mg/kg TS) på de tre stasjoner som ligger på østsiden av Eitrheimsneset (hhv. *Syretanker*, *SØ10* og *Lind1*), og på stasjon *S1/4* utenfor Tyssedal. Disse stasjonene ligger langs utslippsplumens forventede fortynningslinje, både for utslippet til

Eitrheimsvågen og hovedutslippet på østsiden av Eitrheimsneset (se kapittel 3.2-3.3), og resultatene tolkes som at thallium som slippes ut fra Boliden sedimenterer her. Det kan være flere årsaker til at thallium sedimenterer i dette området, for eksempel:

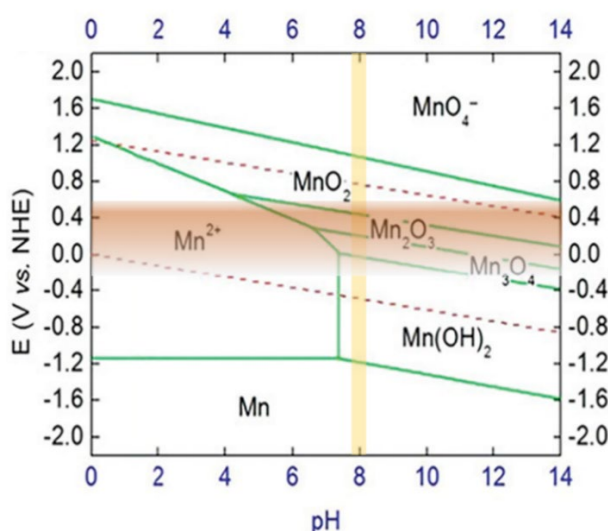
- Uorganiske partikler (finstoff) fra Opo kolliderer med utslippsplumen fra Boliden og binder til vannløselig Tl(I), som synker sammen med finstoffet.
- Utslippsplumen fra Eitrheimsvågen kolliderer med hovedutslippet på østsiden av Eitrheimsneset som inneholder et stort overskudd mangan (Mn^{2+}). Som nevnt i kapittel 4.1 kan vannløselig Tl(I) oksideres til uløselig Tl(III) på overflaten av manganoksidpartikler og derfor felle ut sammen med disse.

Det er selvfølgelig også mulig å tenke seg en kombinasjon av disse, i tillegg til andre faktorer. For eksempel er det verdt å merke seg, at Tl(I) ser ut å sedimentere i et område hvor det er modellert virvler som vedvarer over tid (se kapittel 3.2.2).

Som nevnt i innledningen klarer ikke den kjemiske analysen å skille mellom Tl(I) og Tl(III), det er derfor vanskelig å konkludere hvilken mekanisme som eventuelt dominerer. Hvis Tl(I) felles ut sammen med mangan burde det for eksempel finnes en korrelasjon mellom disse to metallene i sedimentprøver, men mangan er ikke analysert i 2021.

Figur 14 viser at mangan ved pH og redokspotensial relevant for sjøvann kan foreligge i 4 forskjellige former, hhv. $Mn(IV)O_2$, $Mn(III)_2O_3$, $Mn(II,III)_3O_4$ og $Mn(II)(OH)_2$, mens negativt ladet mangan oksid (permanganat, $Mn(VII)O_4^-$) ikke er relevant i sjøvann. Fordi Mn(II) ikke kan reduseres ytterligere fremstår Mn(III)- og spesielt Mn(IV)-oksider som mest relevante for oksidering av vannløselig Tl(I) til uløselig Tl(III). Til forskjell fra Tl(I) er ikke Tl(III) en biotilgjengelig form av thallium, og utfelling av Tl(III) vil derfor i praksis ha en detoksifiserende effekt på utslippet.

Basert på målte sedimentkonsentrasjoner, og på de antakelser og beregninger som er presentert her, forventes ikke toksiske effekter på sjøbunnen fra thalliumutslippet fra Boliden. Dette er i tråd med senere års analyser av bunnfauna i Sørfjorden, som viser minst god tilstand på samtlige sedimentstasjoner (NIVA 2019 og 2016). Det er imidlertid vist at indeksene for bløtbunnsfauna ikke er veldig følsomme for miljøgiftpåvirkning (NIVA 2013). Det er også fortsatt noe usikkerhet knyttet til beregnet *PNEC sediment*. Vurderingen har ikke sett nærmere på hvilke(n) mekanisme(r) som ligger bak sedimentering av Tl(I) i vannmassene øst for Eitrheimsneset, det er derfor også usikkerhet knyttet til fordeling mellom biotilgjengelig Tl(I) og ikke biotilgjengelig Tl(III) i sedimentene.



Figur 14. Eh-pH-diagram for mangan- H_2O systemet, med relevante spenn for pH (7,8 til 8,2) og Eh (-0,2 til 0,6) markert i figur. Basert på Gao m.fl. 2021.

Tabell 10. Målte konsentrasjoner totalt thallium, og beregnet TI(I) i sedimentprøver 2021, sortert etter økende avstand fra Bolidens utslipp i Eitrheimsvågen. Biotilgjengelig TI(I) er estimert til 13% av totalt thallium. *Blå bakgrunn* – sedimentkonsentrasjon lavere enn preliminær PNEC sediment. Målt totalt thallium fra NILU.

Stasjon	Avstand fra utslipp (m)	Vanddyb (m)	Målt totalt TI (mg/kg TS)	Beregnet TI(I) (mg/kg TS)
Ved utslipp	1	15	1,18	0,15
Utenfor kai	65	9	1,00	0,13
Under kai	90	8	5,51	0,72
Sø7/2	590	45	1,17	0,15
Syretanker	670	16	1,37	0,18
SØ10	800	50	1,47	0,19
Lind1	1600	56	1,82	0,24
S1/4	4100	118	1,58	0,21
S2/5	9800	297	1,06	0,14
S16	51 300	841	0,99	0,13

4.4.3 Potensial for giftpåvirkning i vannsøylen

Tabell 11 viser målte thalliumkonsentrasjoner i sjøvannprøver i sammendrag. Som nevnt tidligere antas alt thallium i sjøvann å være vannløselig og biotilgjengelig TI(I). **Tabell 11** sammenligner også målt med forventet TI(I) i vannsøylen, beregnet fra gjennomsnittlig utslippskonsentrasjon til Eitrheimsvågen (35,2 µg/l), og fortykning av utslippet i henhold til simuleringer presentert i kapittel 3.2.2. Fortykningsfaktor brukt til beregning av forventet vannkonsentrasjon TI(I) er uavhengig av hvilket vanddyb prøven er hentet fra (0-15 meter).

Forventet vannkonsentrasjon TI(I) er opptil 0,48 µg/l tett opp mot utslippet, tilsvarende en opptil 34x høyere konsentrasjon enn naturlig bakgrunn for TI(I) i sjøvann (0,014 µg/l), men fortsatt lavere enn *PNEC marin* 0,8 µg/l. På stasjon S1/4 ca. 4,1 km fra utslippet i Eitrheimsvågen er forventet TI(I) 0,02 µg/l, tilsvarende 1,4x naturlig bakgrunn i sjøvann.

Målt TI(I) er i samme størrelsesorden som forventet TI(I), med unntak for de to stasjoner som ligger nærmest utslippet hvor målt TI(I) er 16-19x lavere enn forventet TI(I). Vannprøven som er tatt rett over utslippet i Eitrheimsvågen (stasjon «Ved utslipp») var en av totalt 4 stasjoner i 2021 hvor TI(I) var under deteksjonsgrensen 0,05 µg/l. TI(I) er på disse stasjonene estimert til å være 50% av deteksjonsgrensen, det vil si 0,025 µg/l (i **Tabell 11** avrundet til 0,03 µg/l). At det ikke er kvantifisert thallium i vannprøven fra utslippspunktet kan egentlig bare forklares med at dykkeren som har samlet inn vannprøven ikke har klart å fange opp utslippsplumen.

Høyest TI(I) målt i vannprøver har i 2021 vært 0,31 µg/l, tilsvarende <40% av *PNEC marin*. Prøven med høyest TI(I) er tatt rett over sjøbunnen på stasjon «Under kai». På øvrige stasjoner var TI(I) målt i vannprøver 0,025-0,06 µg/l i 2021. På de stasjoner som også er analysert i 2020 (NIVA 2021) er resultatene stort sett sammenlignbare.

Som konklusjon er det hverken i 2020 eller 2021 målt vannkonsentrasjoner TI(I) over *PNEC marin* 0,8 µg/l. På feltstasjoner utenfor Eitrheimsvågen er målte thalliumkonsentrasjoner i vannprøver omtrent som forventet basert på fortykningsmodellering av utslippet fra Boliden. Høyest vannkonsentrasjon i 2021 er målt under kai i forbindelse med lossing av sink-konsentrat. Samme stasjon oppviser også høyest målt sedimentkonsentrasjon i 2021 og resultatene viser derfor, at thallium bundet til sink-konsentrat har noe mobilitet. I tråd med hva som ble konkludert i foregående kapittel viser undersøkelsene, at spill i forbindelse med lossing fra kai er en viktig kilde til thalliumforurensing i Sørfjorden. Forhøyet thalliumkonsentrasjon i vannprøven indikerer at vannløselig TI(I) spres fra sjøbunnen til vannsøylen. Thallium foreligger i sinkkonsentrater typisk som thalliumsulfid (TI(I)₂S).

Løselighetskonstanten er for thalliumsulfid oppgitt til å være 6×10^{-22} , tilsvarende en løselighet av Tl(I) fra Tl(I)₂S ved likevekt på ca. 22 µg/l⁴.

Tabell 11. Målt Tl(I) i sjøvannsprøver 2021, sortert etter økende avstand fra utslippet i Eitrheimsvågen. *Blå bakgrunn* – vannkonsentrasjon (målt/forventet) lavere enn PNEC marin 0,8 µg/l. Forventet fortykning er beregnet iht. **Figur 4**. Vannkonsentrasjoner i gul skrift er estimert til 50% av oppnådd deteksjonsgrense i enkeltanalyser. Målt Tl(I) fra Hardanger Miljøsenster.

Stasjon	Prøvedyp (m)	Avstand fra utslipp (m)	Forventet fortykning (x)	Forventet Tl(I) (µg/l)	Målt Tl(I) (µg/l)
Ved utslipp	15	1	76	0,48	0,03
Utenfor kai	9	65	92	0,40	0,03
Under kai	8	90	98	0,37	0,31
Sø7/2	0	590	218	0,18	0,02-0,06
Syretanker	16	670	237	0,16	0,06
Lind1	0	1600	727	0,06	0,03-0,05
S22sør	0	3800	5021	0,02	0,03
S1/4	0	4100	5698	0,02	0,03-0,05

4.4.4 Bioakkumuleringspotensial

Bioakkumuleringspotensial av Tl(I) er beregnet fra målte konsentrasjoner i vann- og biotaprøver (henholdsvis blåskjell og grisetang) tatt fra samme stasjoner. Det er ikke analysert Tl(I) i vannprøver fra referansestasjonen (APold Ref, **Figur 13**). Til beregning av bioakkumuleringsfaktor (BAF) er thallium her estimert å være lik naturlig bakgrunnskonsentrasjon av Tl(I) i sjøvann (0,014 µg/l).

Resultater fra biotaanalysene er vist i **Tabell 12** sammen med målte vannkonsentrasjoner og beregnet BAF. Akkumulerte thalliumnivåer i blåskjell og tang har i 2021 gitt sammenlignbare resultater, unntatt i direkte tilknytning til utslippet i Eitrheimsvågen. Analysert thalliumnivå i blåskjell som vokser på selve utslippsrøret (12 µg/kg VV) er ikke høyere enn på øvrige stasjoner, mens grisetang som vokser på sjøbunnen noen meter fra røret viser desidert høyest thalliumnivå i datasettet (132 µg/kg VV). Resultater fra øvrige stasjoner gir ingen indikasjon på signifikante forskjeller mellom blåskjell og tang hva gjelder bioakkumuleringspotensial av Tl(I).

Samlet viser biotaanalysene begrenset bioakkumulering av Tl(I). Med tangprøven som er tatt under utslippspunktet fjernet fra datasettet varierer BAF 68-720 l/kg, med gjennomsnittsverdi 385 l/kg. Medianverdi for hele datasettet inkludert tangprøven under utslippet er 429 l/kg og det anslås her en preliminær BAF-verdi for Tl(I) **400 l/kg**. Preliminær BAF er i samme størrelsesorden som øvrige tungmetaller (Miljødirektoratet (2014)), og langt under terskelnivået 2000 l/kg som definerer bioakkumulerende stoffer i REACH. Med utgangspunkt i BAF 400 l/kg har grisetang som vokser under utslippsrøret vært eksponert for en gjennomsnittlig vannkonsentrasjon Tl(I) 0,33 µg/l, dvs. en tilsvarende konsentrasjon som er analysert under kai.

Som konklusjon forventes ikke signifikant bioakkumulering av Tl(I) i blåskjell og tang, basert på analyser på 6 forskjellige stasjoner. Resultatene understreker utfordringen med å tolke vannanalyser, som uttrykker øyeblikksbilder mens biota gir et mer integrert bilde over tid. Thallium er ikke analysert i fisk, det er derfor uklart om preliminær BAF også gjelder fisk og andre organismer.

⁴ https://www.solubilityofthings.com/water/ions_solubility/ksp_chart.php

Tabell 12. Målte thalliumkonsentrasjoner i biota 2021, med bioakkumuleringsfaktor (BAF) beregnet fra Tl(I) målt i vannprøver på samme stasjoner. *Blå bakgrunn* – målt vannkonsentrasjon lavere enn PNEC marin. Vannkonsentrasjoner i gul skrift er estimert til 50% av oppnådd deteksjonsgrense i enkeltanalyser. Kursive vannkonsentrasjoner er estimert til å være lik naturlig bakgrunn for Tl(I) i sjøvann (0,014 µg/l). Data fra NILU (biota) og Hardanger Miljøsenster (vann, unntatt stasjon APold Ref).

Stasjon	Organisme	Thallium biota (µg/kg VV)	Tl(I) sjøvann (µg/l)	BAF (l/kg)
Ved utslipp	Blåskjell	12	0,03	480
Under kai	Blåskjell	21	0,31	68
Utenfor kai	Blåskjell	18	0,03	720
Syretanker	Blåskjell	12	0,06	203
APold Ref	Blåskjell	6	0,01	429
Ved utslipp	Grisetang	132	0,03	5280
Utenfor kai	Grisetang	9	0,03	360
Syretanker	Grisetang	12	0,06	203
APold Ref	Grisetang	7	0,01	500
				Median: 429
				Gjennomsnitt ^a: 385 ^a

^a Gjennomsnittsverdien inkluderer ikke beregnet BAF i grisetang fra stasjon «Ved utslipp».

5 Samlet vurdering og konklusjon

Det er gjort en samlet miljøvurdering av Bolidens utslipp av thallium til Sørfjorden basert på målte utslippkonsentrasjoner, modellert spredning av utslippet, forventet skjebne av thallium i sjø, og feltanalyser i vann, sediment og biota. Det er etablert nye feltstasjoner for prøvetaking av vann, sediment og biota i en gradient fra Eitrheimsvågen i retning mot den østre siden av Eitrheimsneset.

I vannrensprosessen hos Boliden Odda brukes natriumsulfid (Na_2S) for å felle tungmetaller, noe som gir et svært reduserende miljø i utslippet. Vi forventer derfor at thalliumutslippet utelukkende går til sjø som vannløselig og biotilgjengelig Tl(I).

Toksisk terskelkonsentrasjon for Tl(I) i kystvann (*PNEC marin*) er hentet fra en tidligere publisert miljørisikoanalyse av Tl(I)-forbindelser, mens *PNEC sediment* er beregnet fra fordelingskoeffisient for Tl(I) til uorganiske partikler (K_d) og *PNEC marin*. Toksiske terskelkonsentrasjoner viser at thallium er blant de mest giftige tungmetallene, med *PNEC marin* i samme størrelsesorden som arsen og bly, og beregnet *PNEC sediment* i samme størrelsesorden som kvikksølv og kadmium.

Tl(I) har lavere affinitet til uorganiske partikler enn mange andre tungmetaller. Fordelingskoeffisient av Tl(I) til uorganiske partikler (K_d) er i vurderingen satt til 1585 l/kg (Log K_d 3,2 l/kg). Studier viser at Tl(I) ikke fordeles til organiske partikler.

Thalliumanalyser i sediment har ikke sett på spesiering av thallium. Fordelingen mellom vannløselig og biotilgjengelig Tl(I), og uløselig og ikke biotilgjengelig Tl(III) er estimert fra thalliumnivåer i tidligere norske sedimentundersøkelser, og fra beregnet bakgrunnskonsentrasjon Tl(I) i sediment. Beregningene gir en forventning om at 13% av totalt thallium målt i sedimenter er biotilgjengelig Tl(I), mens resterende 87% er ikke biotilgjengelig Tl(III). Basert på at dette stemmer er det i 2021 ikke analysert potensielt toksiske thalliumkonsentrasjoner i sedimentprøver fra Sørfjorden. Det er imidlertid usikkerhet knyttet til (preliminær) *PNEC sediment*, og spesielt til spesiering av thallium i sediment fra Sørfjorden.

Vannprøver analysert i 2020 og 2021 viser at vannkonsentrasjoner Tl(I) i Sørfjorden ligger langt lavere enn *PNEC marin*, selv tett opp mot utslippet. Målte vannkonsentrasjoner er stort sett som forventet basert på gjennomsnittlig utslippkonsentrasjon og modellert fortynning av utslippet.

Sedimentanalyser peker mot at sedimentering av Tl(I) er spesielt intens i vannvolumet øst for Eitrheimsneset. Det er ikke klarlagt hva som ligger bak dette, men en trolig (del)forklaring er at Tl(I) oksideres til Tl(III) på overflaten av manganoksider, som synker mot sjøbunnen.

Thalliumanalyser i blåskjell og tang viser at Tl(I) har begrenset bioakkumuleringspotensial omtrent i samme størrelsesorden som andre tungmetaller. Thallium er ikke analysert i fisk.

Analyser i både vann- og sedimentprøver viser at spill fra lossing på kai i Eitrheimsvågen er en viktig kilde til thalliumforurensing i Sørfjorden. Analysene viser også, at selv om analyserte og til dels beregnede thalliumkonsentrasjoner ikke er giftige, kan utslippet fra Boliden spores over store deler av Sørfjorden både i vann og sediment.

Som konklusjon er det i 2021 ikke framkommet data som peker i retning mot at thalliumutslippet fra Boliden gir toksiske effekter i vannsøyle, sediment eller biota. Noen inngangsdata som er brukt i vurderingen bør imidlertid revurderes, det gjelder særlig spesiering og biotilgjengelighet av thallium i sediment.

6 Referanser

Environment and Climate Change Canada (2020). Draft Screening Assessment Thallium and its compounds, September 2020.

(<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluating-existing-substances/draft-screening-assessment-thallium-compounds.html>)

EPA (2005). Partition coefficients for metals in surface water, soil, and waste. JD Allison & TL Allison. EPA/600/R-05/074, July 2005.

(https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=524539&Lab=NERL)

Galvan-Arzate & Santamaria (1998). Thallium toxicity. Toxicology Letters 99: 1-13.

([https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(98\)00126-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(98)00126-X)).

Gao J, Tao H, Liu B (2021). Progress of Nonprecious-Metal-Based Electrocatalysts for Oxygen Evolution in Acidic Media. Advanced Materials Vol. 33, Issue 31, 24.juni 2021.

(<https://doi.org/10.1002/adma.202003786>).

Jacobson AR, McBride MB, Baveye P, Steenhuis TS (2015). Environmental factors determining the trace-level sorption of silver and thallium to soils. Sci Total Environ 345(1-3), 191-205.

(<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.027>).

Karbowska (2016). Presence of thallium in the environment: sources of contaminations, distribution and monitoring methods. Environ. Monit. Assess. 188 (11): Article 640.

(<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5647-y>)

Martin LA, Wissocq A, Benedetti MF, Latrille C (2018) Thallium (Tl) sorption onto illite and smectite: Implications for Tl mobility in the environment. Geochimica et Cosmochimica Acta 230, 1–16.

(<https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.03.016>)

Migaszewski ZM, Gałuszka A (2021). Abundance and fate of thallium and its stable isotopes in the environment. Rev Environ Sci Biotechnol 20, 5–30.

(<https://doi.org/10.1007/s11157-020-09564-8>).

Miljødirektoratet (2014). Kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder. Rapport M-241 2014.

(<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M241/M241.pdf>)

NIVA (2021). Overvåking av kystvann i vannområde Hardanger 2020. NIVA Rapport 7609-2021.

(<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2753541>)

NIVA (2019). Overvåking av kystvann i vannområde Hardanger 2018. NIVA Rapport 7338-2019.

(<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2595741>)

NIVA (2016). Tiltaksrettet overvåking av kystvann i vannområdet Hardanger 2015. NIVA Rapport 6996-2016.

(<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2382713>)

NIVA (2013). Klassifisering av miljøtilstand i industrifjorder – hvor godt samsvarer miljøgifter og bløtbunnsfauna? NIVA Rapport 6594-2013.

(<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2366481>)

Railsback B (2006). Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry. Characterization of solutions by pH and Eh - a data-based view.

(<http://railsback.org/Fundamentals/8150RedoxPlot07P.pdf>)

Rickwood CJ, King M, Huntsman-Mapila P (2015). Assessing the fate and toxicity of Thallium I and Thallium III to three aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 115, 300-308. (<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.024>)

Rehkämper M, Nielen SG (2004). The mass balance of dissolved thallium in the oceans. *Marine Chemistry* 85, 125-139. (<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2003.09.006>).

UNI Research (2015). Strømmålinger i Sørfjorden i Hardanger. ISSN 1890-5153

UNI Research (2016). Numerisk simulering av spredning i Sørfjorden. Report No. 33, 15.mars 2016.

Vedlegg

Vedlegg A: Analyserapport sediment & biota

NIVA v/Henrik Jonsson

Deres ref./Your ref.:

Vår ref./Our ref.:
HTU/MSE/O-111014

Kjeller,
21. juni 2021

Analyserapport

Vi viser til mottak av prøver for analyse.

Vedlagt oversendes målerapport U-6462-21.

Med hilsen

Aasmund F. Vik

Aasmund Fahre Vik
Forskningsdirektør, Miljøkjemi

Hilde Th. Uggerud
Hilde Th. Uggerud
Seniorforsker

Vedlegg: Målerapport U-6462-21

Deltaker i CIENS og Miljøalliansen / Associated with CIENS and the Environmental Research Alliance of Norway
ISO-sertifisert etter / ISO certified according to NS-EN ISO 9001

NILU
P.O. Box 100
NO-2027 KJELLER, Norway
Phone: +47 63 89 80 00/Fax: +47 63 89 80 50
Besøk/visit: Instituttveien 18, 2007 Kjeller

NILU Tromsø
Polarmiljøsentret / The Polar Environmental Centre
NO-9296 TROMSØ, Norway
Phone: +47 77 75 03 75/Fax: +47 77 75 03 76
Besøk/visit: Hjalmar Johansens gt. 14, 9007 Tromsø

e-mail: nilu@nilu.no
nilu-tromso@nilu.no
Internet: www.nilu.no
Bank: 5102.05.19030
Foretaksnr./Enterprise no. 941705561

Vennligst adresser post til NILU, ikke til enkeltpersoner/Please reply to the institute.

Målerapport nr. U-6462-21

Oppdragsgiver: NIVA v/Henrik Jonsson

Prosjektnummer: O-111014

Prøveinformasjon:

Prøvetype: Blåskjell, Tang, Sediment

Prøven mottatt: 26.05.21

Kommentar: NILU har ingen spesielle kommentarer til prøvens tilstand ved mottak.

Analyser:

Utført av: Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
N-2027 KJELLER

Målemetode: NILU-U-112: Forskrift for bestemmelse av elementer i geologisk materiale med ICPMS.

NILU-U-111: Forskrift for bestemmelse av elementer i biologisk materiale med ICPMS

Måleusikkerhet: Laboratoriet vil oppgi måleusikkerhet for de ulike metallene på forespørsel.

Prøvetaking:

Ansvar: Kunde

Prøvetakingsmetode: Kunde

Sted:

Kommentar:

Kommentarer:

Kontaktperson: Hilde Th. Uggerud

Godkjenning: Kjeller, 21. juni 2021

Hilde Th. Uggerud

Hilde Th. Uggerud
Seniorforsker, Miljøkjemi

Vedlegg: Analyseresultater: 1 side
Målerapporten og vedleggene omfatter totalt 3 sider.

Måleresultatene gjelder bare de prøvene som er analysert. Denne rapporten skal ikke gjengis i utdrag, uten skriftlig godkjenning fra laboratoriet.

Oppdragsgivers prøveidentifikasjon er angitt i målerapporten for hver enkelt prøve. Analyseresultatene i rapportvedlegget er gitt med varierende antall gjeldende siffer. Siden det vanligvis er vanskelig å spesifisere total måleusikkerhet bedre enn 10%, anbefales det ikke å benytte mer enn 3 gjeldende siffer ved vurdering eller i presentasjon av resultatene.

Et minus "-" foran måleresultatet betyr at det er mindre enn deteksjonsgrensen for analysemetoden. Er måleresultatet oppgitt som f.eks. "-0,01", betyr det at deteksjonsgrensen for metoden er 0.01.

Metaller i biologisk materiale

Prosjekt nr: O-111014
Rapport nr: U-6462-21



205 Tl [No Gas]

NILU ID	Matriks	Lab nr	Kundens prøveid	mg/kg		
---------	---------	--------	-----------------	-------	--	--

O-111014-2021-3-1	Blåskjell		Boliden, Vågen 2021, ved utslipp	0,012		
O-111014-2021-3-2	Blåskjell		Boliden, Vågen 2021, utenfor kai	0,018		
O-111014-2021-3-3	Blåskjell		Boliden, Vågen 2021, utenfor syretankene	0,012		
O-111014-2021-3-4	Blåskjell		Boliden, Vågen 2021, APold Ref.	0,006		
O-111014-2021-3-5	Blåskjell		Boliden, Vågen 2021, under kai	0,021		
O-111014-2021-3-6	Tang		Boliden, Vågen 2021, utenfor kai	0,009		
O-111014-2021-3-7	Tang		Boliden, Vågen 2021, ved utslipp	0,132		
O-111014-2021-3-8	Tang		Boliden, Vågen 2021, utenfor syretankene	0,012		
O-111014-2021-3-9	Tang		Boliden, Vågen 2021, APold Ref.	0,007		

mg/kg tørket materiale

O-111014-2021-3-10	Sediment		Boliden, Vågen 2021, 17147 SØ 7/2 Talli	1,17		
O-111014-2021-3-11	Sediment		Boliden, Vågen 2021, Lind 1 O-17147 24/3	1,82		
O-111014-2021-3-12	Sediment		Boliden, Vågen 2021, O-17147 S16 Tallium	0,99		
O-111014-2021-3-13	Sediment		Boliden, Vågen 2021, O-17147 S1/4, 24/3	1,58		
O-111014-2021-3-14	Sediment		Boliden, Vågen 2021, O-17147 S2/5, 24/3	1,06		
O-111014-2021-3-15	Sediment		Boliden, Vågen 2021, 17147 SØ 10 Tallium	1,47		
O-111014-2021-3-16	Sediment		Boliden, Vågen 2021, utenfor syretank	1,37		
O-111014-2021-3-17	Sediment		Boliden, Vågen 2021, ved utslipp	1,18		
O-111014-2021-3-18	Sediment		Boliden, Vågen 2021, under kai	5,51		
O-111014-2021-3-19	Sediment		Boliden, Vågen 2021, utenfor kai	1,00		

Vedlegg B: Sjøvannsanalyser



HARDANGER MILJØSENTER AS

Member of the Alex Stewart Group

ODDA - NORWAY

N-5750 Odda - Tel.: (+47) 53 65 03 80

E-mail: post@hm-as.no - www.hm-as.no

Org. no.: NO 956 368 189 MVA



Boliden Odda AS

ANALYSERAPPORT

Odda, 2021-06-16
Side 1/1

5750 Odda

Beskrivelse: 2021-1685
Oppdragsdato: 2021-06-11
Rapportkommentar: Prøvekampanje Vannrenseanlegg
Analyseperiode: 11-16.06.2021

Analyse	Enhet	Resultat	Resultat	Resultat	Resultat	Resultat	Standard
Prøveid		VRA1 20.05.21	VRA1 25.05.21	VRA1 01.06.21	VRA1 03.06.21	VRA1 08.06.21	
Kvikksølv	µg/l	0.015	0.024	0.012	0.014	0.011	NS-EN ISO 17852
Magnesium	µg/l	550000	380000	330000	260000	540000	NS-EN ISO 17294-2
Nikkel	µg/l	0.78	0.94	1.4	3.0	5.3	NS-EN ISO 17294-2
Mangan	µg/l	160000	63000	92000	67000	110000	NS-EN ISO 17294-2
Bly	µg/l	0.52	11	0.84	1.0	0.67	NS-EN ISO 17294-2
Kadmium	µg/l	0.38	2.6	0.90	1.0	1.9	NS-EN ISO 17294-2
Kobber	µg/l	0.61	2.7	1.6	1.2	2.0	NS-EN ISO 17294-2
Sink	µg/l	240	230	290	370	310	NS-EN ISO 17294-2
Arsen	µg/l	1.1	0.68	0.41	0.46	0.57	NS-EN ISO 17294-2
Thallium	µg/l	5.9	3.5	5.7	3.0	4.9	NS-EN ISO 17294-2
Sink filtrert	µg/l	176	249	186	108	139	NS-EN ISO 17294-2

Vennlig hilsen
Hardanger Miljøseniter AS

Kjersti Arnesen
Laboratorieingeniør
Denne rapporten er digitalt signert

Vi gjør oppmerksom på at akkrediteringen gjelder analyse av prøven(e) slik de(n) er mottatt på laboratoriet. Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene. Evt. kopiering av denne rapport skal gjengi HELE rapporten, kopiering av utdrag, hvor det nyttes vår logo eller signatur, skal skriftlig godkjennes av undertegnede. Del-resultater kan imidlertid benyttes i andre sammenhenger med henvisninger til denne rapport. Analyser merket med * er ikke akkreditert. Analyser merket med # er analysert av underleverandør. Opplysninger om bestemmelsesgrenser og måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet. Opplysninger om antall fortynninger og parallelle målinger utført for BOF ihht. metode NS-EN ISO 5815-1 fås ved henvendelse til laboratoriet.



HARDANGER MILJØSENTER AS

Member of the Alex Stewart Group

ODDA - NORWAY

N-5750 Odda - Tel.: (+47) 53 65 03 80

E-mail: post@hm-as.no - www.hm-as.no

Org. no.: NO 956 368 189 MVA



Boliden Odda AS

ANALYSERAPPORT

Odda, 2021-09-01
Side 1/1

5750 Odda

Beskrivelse: 2021-2573
Oppdragsdato: 2021-08-25
Rapportkommentar:
Analyseperiode: 25.08-01.09.2021

Analyse	Enhet	Resultat	Standard
Prøveid		VR2	
Kvikksølv	µg/l	<0.004	NS-EN ISO 17852
Magnesium	µg/l	6600	NS-EN ISO 17294-2
Nikkel	µg/l	1.9	NS-EN ISO 17294-2
Mangan	µg/l	1900	NS-EN ISO 17294-2
Bly	µg/l	0.47	NS-EN ISO 17294-2
Kadmium	µg/l	1.5	NS-EN ISO 17294-2
Kobber	µg/l	7.2	NS-EN ISO 17294-2
Sink	µg/l	78	NS-EN ISO 17294-2
Arsen	µg/l	0.12	NS-EN ISO 17294-2
Thallium	µg/l	1.2	NS-EN ISO 17294-2
Sink filtrert	µg/l	61	NS-EN ISO 17294-2

Vennlig hilsen
Hardanger Miljøseniter AS

Liv Reidun Ravnøy
Laboratorieingeniør
Denne rapporten er digitalt signert

Vi gjør oppmerksom på at akkrediteringen gjelder analyse av prøven(e) slik de(n) er mottatt på laboratoriet. Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene. Evt. kopiering av denne rapport skal gjengi HELE rapporten, kopiering av utdrag, hvor det nyttes vår logo eller signatur, skal skriftlig godkjennes av undertegnede. Del-resultater kan imidlertid benyttes i andre sammenhenger med henvisninger til denne rapport. Analyser merket med * er ikke akkreditert. Analyser merket med # er analysert av underleverandør. Opplysninger om bestemmelsesgrenser og måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet. Opplysninger om antall fortynninger og parallelle målinger utført for BOF ihht. metode NS-EN ISO 5815-1 fås ved henvendelse til laboratoriet.



HARDANGER MILJØSENTER AS

Member of the Alex Stewart Group

ODDA - NORWAY

N-5750 Odda - Tel.: (+47) 53 65 03 80

E-mail: post@hm-as.no - www.hm-as.no

Org. no.: NO 956 368 189 MVA



NIVA

ANALYSERAPPORT

Odda, 2021-06-19
Side 1/1

Beskrivelse: 2021-1313
Oppdragsdato: 2021-05-11
Rapportkommentar: Prøver Boliden
Analyseperiode: 11-20.05.2021

Analyse	Enhet	Resultat	Resultat	Resultat	Resultat	Standard
Prøveid		Utenfor kai	Utenfor syretanker	Under kai	Ved utslipp	
Kvikksølv	µg/l	0.11	0.52	0.41	1.2	NS-EN ISO 17852
Sink i sjøvann	µg/l	18	47	530	98	Intern metode (KJ-140)
Kadmium i sjøvann	µg/l	<0.1	0.15	0.88	0.52	Intern metode (KJ-140)
Kobber i sjøvann	µg/l	0.96	5.5	11	13	Intern metode (KJ-140)
Bly i sjøvann	µg/l	9.8	110	270	130	Intern metode (KJ-140)
Arsen i sjøvann	µg/l	2.0*	5.1*	8.1*	5.3*	Intern metode (KJ-140)
Krom i sjøvann	µg/l	<0.4*	0.72*	0.57*	0.52*	Intern metode (KJ-140)
Nikkel i sjøvann	µg/l	<0.4*	0.54*	0.67*	0.60*	Intern metode (KJ-140)
Thallium i sjøvann	µg/l	<0.05*	0.059*	0.31*	<0.05*	Intern metode (KJ-140)

Vennlig hilsen
Hardanger Miljøseniter AS

Åshild Oma
Laboratorieleder
Denne rapporten er digitalt signert

Vi gjør oppmerksom på at akkrediteringen gjelder analyse av prøven(e) slik de(n) er mottatt på laboratoriet. Resultatene gjelder bare de analyserte prøvene. Evt. kopiering av denne rapport skal gjengi HELE rapporten, kopiering av utdrag, hvor det nyttes vår logo eller signatur, skal skriftlig godkjennes av undertegnede. Del-resultater kan imidlertid benyttes i andre sammenhenger med henvisninger til denne rapport. Analyser merket med * er ikke akkreditert. Analyser merket med # er analysert av underleverandør. Opplysninger om bestemmelsesgrenser og måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet. Opplysninger om antall fortynninger og parallelle målinger utført for BOF ihht. metode NS-EN ISO 5815-1 fås ved henvendelse til laboratoriet.

Sjøvannsanalyser Hardanger Miljøsenster

Sjøprøver Lind1 (overflatevann)											
Målte verdier oppgitt i µg/l		Oppdater! 15.09.2021 CH									
Nedre deteksjonsgrense:		Zn <1,5	Cd <0,1	Cu <0,4	As <0,4*	Pb <0,4	Cr <0,4	Ni <0,4	Tl <0,05	Hg <0,004	
* : uakkreditert analyse											
Dato	Ordre nr.	Zn	Cd	Cu	As*	Pb	Cr	Ni	Tl	Hg	Siktedyp(m) SAIV
12.01.2021	2021-0062	8,40	<0,1	0,51	1,10	0,66	<0,4	<0,4	<0,05	<0,004	7
08.02.2021	2021-0317	9,60	0,13	0,54	1,40	0,57	<0,40	<0,4	<0,05	<0,004	13
08.03.2021	2021-0588	14,00	<0,1	0,45	0,76	1,60	<0,4	<0,4	<0,02	0,009	6
06.04.2021	2021-0854	10,00	<0,1	1,40	0,87	2,90	<0,4	<0,4	<0,05	0,011	6
11.05.2021	2021-1185	1,50	<0,1	0,43	0,71	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	<0,004	5,5
14.06.2021	2021-1690	12,00	<0,1	0,65	0,47	1,50	<0,4	<0,4	<0,05	0,020	6
12.07.2021	2021-2029	3,70	<0,1	<0,4	<0,4	0,42	<0,4	0,42	<0,05	0,015	5
09.08.2021	2021-2323	4,40	0,10	0,60	<0,4	0,60	0,40	0,40	0,05	<0,004	4
06.09.2021	2021-2726	3,40	<0,1	<0,4	0,51	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	<0,004	3,5
Sjøprøver SØ 7/2 (overflatevann)											
Målte verdier oppgitt i µg/l		Oppdater! 15.09.2021 CH									
Nedre deteksjonsgrense:		Zn <1,5	Cd <0,1	Cu <0,4	As <0,4*	Pb <0,4	Cr <0,4	Ni <0,4	Tl <0,05	Hg <0,004	
* : uakkreditert analyse											
Dato	Ordre nr.	Zn	Cd	Cu	As*	Pb	Cr	Ni	Tl	Hg	Siktedyp(m) SAIV
12.01.2021	2021-0062	7,40	0,10	0,49	1,30	0,45	<0,4	<0,4	0,06	<0,004	6
08.02.2021	2021-0307	8,30	0,14	0,43	1,40	0,49	<0,4	<0,4	<0,05	<0,004	9
08.03.2021	2021-0588	2,40	<0,1	0,42	0,54	<0,4	<0,4	0,40	0,02	0,006	6,5
06.04.2021	2021-0854	3,40	<0,1	0,88	0,53	1,40	<0,4	<0,4	<0,05	<0,004	5
11.05.2021	2021-1185	7,40	<0,1	1,40	<0,4	<0,4	<0,4	0,70	<0,05	<0,004	5
14.06.2021	2021-1690	<1,5	<0,1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	0,011	7,5
12.07.2021	2021-2029	25,00	<0,1	0,61	<0,4	0,88	<0,4	0,53	<0,05	0,015	3,5
09.08.2021	2021-2323	7,10	0,10	0,55	<0,4	0,80	0,40	0,40	<0,05	<0,004	3,5
06.09.2021	2021-2726	27,00	<0,1	0,85	<0,4	3,60	<0,4	<0,4	<0,05	<0,004	3,5
Sjøprøver S22sør (overflatevann)											
Målte verdier oppgitt i µg/l		Oppdater! 24.09.2021 CH									
Nedre deteksjonsgrense:		Zn <1,5	Cd <0,1	Cu <0,4	As <0,4*	Pb <0,4	Cr <0,4	Ni <0,4	Tl <0,05	Hg <0,004	
* : uakkreditert analyse											
Dato	Ordre nr.	Zn	Cd	Cu	As*	Pb	Cr	Ni	Tl	Hg	Siktedyp(m) SAIV
12.01.2021	2021-0064										7,00
08.03.2021	2021-0589	5,9	<0,1	0,46	0,96	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	0,01	4,50
12.07.2021	2021-2029	5,9	<0,1	<0,4	<0,4	0,57	<0,4	0,55	<0,05	0,014	4
06.09.2021	2021-2727	3,8	<0,1	<0,4	0,42	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	0,004	3,5
Sjøprøver S 1/4 (overflatevann)											
Målte verdier oppgitt i µg/l		Oppdater! 24.09.2021 CH									
Nedre deteksjonsgrense:		Zn <1,5	Cd <0,1	Cu <0,4	As <0,4*	Pb <0,4	Cr <0,4	Ni <0,4	Tl <0,05	Hg <0,004	
* : uakkreditert analyse											
Dato	Ordre nr.	Zn	Cd	Cu	As*	Pb	Cr	Ni	Tl	Hg	Siktedyp(m) SAIV
26.02.2021	2021-0469	11	0,11	<0,4	0,74	0,7	<0,04	<0,4	<0,4	<0,004	
08.03.2021	2021-0589	3,1	<0,1	0,43	0,95	<0,4	<0,4	0,67	<0,05	0,007	
11.05.2021	2021-1284	5,0	<0,1	<0,4	1,3	1,00	<0,4	<0,4	0,05	0,015	
12.07.2021	2021-2028	5,9	<0,1	<0,4	<0,4	0,57	<0,4	0,55	<0,05	0,014	
06.09.2021	2021-2727	5	<0,1	<0,4	0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	0,004	

Vedlegg C: Rapport toksisitetstester

Ecotoxicity characterisation of dithallium sulphate

Accredited test report No. BWL197

Acute toxicity testing of dithallium sulphate with
Skeletonema sp. and *Acartia tonsa*



Test results relate only to the item(s) tested.

The test report may only be reproduced in extract if the laboratory has approved the extract.

This report has been prepared under the DHI A/S Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management).



DANAK participates in the multilateral agreements for testing and calibration under the European co-operation for Accreditation (EA) and under the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) based on peer evaluation. The use of the accreditation mark on this test report documents that the service is provided as an accredited service under the company's DANAK accreditation.



Approved by

23-12-2020

X 

Approved by

Signed by: Anja Kamper

Ecotoxicity characterisation of dithallium sulphate

Acute toxicity testing of dithallium sulphate with
Skeletonema sp. and *Acartia tonsa*

Prepared for Weisses Haus
Represented by Henrik Jonsson



DHI Laboratory, Hørsholm Denmark

Project manager	Anja Kamper
Quality supervisor	Connie Seierø
Project number	11825484/ Weisses Haus
Approval date	2020-12-23
Revision	Final report / 11825484/ Weisses Haus / 2020-12-23
Classification	Confidential

CONTENTS

1	Introduction	1
2	Test item	1
3	Test methods	2
3.1	Preparation of stock solutions of the test item	2
3.2	Growth inhibition test with the marine algae <i>Skeletonema</i> sp.	2
3.3	Preliminary acute toxicity test with the crustacean <i>Acartia tonsa</i>	4
4	Statistical analysis	5
5	Chemical analysis	5
6	Test results	6
6.1	Growth inhibition test with the marine algae <i>Skeletonema</i> sp.	6
6.1.1	Results of the chemical analyses.....	6
6.1.2	Results of the growth inhibition test	7
6.2	Preliminary acute toxicity test with <i>Acartia tonsa</i>	7
7	Conclusion	8
8	References	9

APPENDICES

APPENDIX A

Safety Data Sheet and Certificate of Analysis

APPENDIX B

Chemical analyses of thallium

APPENDIX C

Primary data and statistical analysis from the ecotoxicological tests

1 Introduction

DHI has conducted an ecotoxicological characterisation of dithallium sulphate for Weisses Haus. The tests in this project were performed in compliance with ISO/IEC 17025 (2017) /1/.

The following test program was performed:

- Algal growth inhibition test with the marine algae *Skeletonema* sp. according to the ISO International Standard 10253 “Water quality – Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema* sp. and *Phaeodactylum tricornutum*” /2/.
- Screening of the acute toxicity to the marine copepod *Acartia tonsa* according to the ISO International Standard 14669 “Water quality - Determination of acute lethal toxicity to marine copepods (*Copepoda crustacea*)” /3/.

2 Test item

The test item information can be found in Table 2.1. DHI purchased the test item from Sigma-Aldrich and received it on 02 October 2020. It was stored at room temperature (20-25 °C) in a safely locked cupboard until use. The safety data sheet (SDS) and certificate of analysis (CoA) are included in Appendix A.

Table 2.1 Test item information

Name	Dithallium sulphate
Chemical name	Thallium (I) sulphate
Batch No.	MKCK9785
DHI ID No.	20-1251
CAS No.	7446-18-6
Molecular formula	Tl ₂ SO ₄
Molecular weight	504.83 g/mol
Purity	99.99%
Form	White powder
Solubility in water (20 °C)	4.87 g/100 mL
log_{pow}	5
Manufacturer	Aldrich
Product Number	204625

3 Test methods

3.1 Preparation of stock solutions of the test item

A stock solution of 100 mg/L dithallium sulphate in MQ-water (stock A) was prepared on 12 October 2020 by weighing out 100.34 mg of the test item and dissolving it in 1,000 mL of MQ-water. The stock solution was subsampled into minor volumes and stored at approx. 4 °C until use.

On the test days an appropriate second stock solution (stock B) was prepared by diluting stock A in algae growth medium for the growth inhibition tests with *Skeletonema* sp. and in the test medium for the test with *Acartia tonsa*.

3.2 Growth inhibition test with the marine algae *Skeletonema* sp.

The toxicity of the test item to the growth rate of the marine algae *Skeletonema* sp. was determined according to the ISO International Standard 10253 “Water quality – Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema* sp. and *Phaeodactylum tricornutum*” /2/.

A modification of the growth medium was made to reduce the content of EDTA. This precaution must be taken when testing metals according to a note in paragraph 7.1 (Preparation of growth medium) in ISO 10253. The advice is to follow the guidance regarding e.g. the algae growth medium in ISO 14442 /4/. According to this standard the EDTA content in the growth medium should be reduced to equal the content of Fe, Zn, Co and Cu present in the medium. Therefore, the concentration of 45 µmol EDTA in the ISO 10253 growth medium was reduced to 5 µmol EDTA, which equals the sum of the above mentioned four metals in the medium.

The test concentrations were prepared as dilutions of stock B described in Section 3.1 in algae growth medium. Nutrients and algae were added to each of the test mixtures according to the ISO standard with the modification of the reduced EDTA concentration. No algae were added to the test mixtures for blank control fluorescence measurements and for analysis of thallium.

The test was carried out from 3-7 November 2020 and the test conditions are summarized in Table 3.1. The test concentrations were chosen on basis of results found in a preliminary range-finding test (see Appendix C).

Table 3.1 Test conditions for the algal growth inhibition test with *Skeletonema* sp.

Standard	ISO 10253 /2/ with growth medium modifications according to ISO 14442 /4/
Test organism	<i>Skeletonema</i> sp. (clone: NIVA-BAC 1) ¹
Test organism source	Norwegian Culture Collection of Algae, NORCCA, maintained and owned by the Norwegian Institute for Water Research (NIVA) and the University of Oslo (UiO), Oslo Science Park, Gaustadalléen 21, Norway. The algae culture is maintained at a salinity of 28 PSU at DHI.

¹ The previous edition of the ISO 10253 suggested the use of *Skeletonema costatum*. Following a taxonomic review of the *Skeletonema* genus, several strains originally identified as *S. costatum* may in fact be other species. Therefore, the reference in the ISO 10253 changed to *Skeletonema* sp.

Standard	ISO 10253 /2/ with growth medium modifications according to ISO 14442 /4/
Test organism life stage	The alga is kept in log phase growth in the modified growth medium for at least 7 days before testing
Test duration	72 ± 2 hours
Test container	250-mL conical glass flask with air permeable lid, containing 100 mL test solution
Initial algal concentration	0.3 – 2.0 x 10 ³ cells/mL
Replicates	6 × laboratory control 3 × test concentration 1 × blank control of each concentration without algae added for fluorescence background 3× blanks without algae of each concentration for chemical analysis at t= 24, 48 and 72 hours
Method	Determination of specific growth rate by fluorescence measurements as a surrogate for biomass. Fluorescence is measured at the beginning of the test and after 24, 48 and 72 ± 2 hours of incubation in all replicates, except the replicates made for chemical analysis.
Endpoint	Growth rate
Laboratory control medium	Seawater (salinity 32 PSU) collected in the North Sea filtered through Millipore filters (10; 5.0; 0.5 and 0.22 µm), adjusted to a salinity of 28 PSU with Milli-Q water and heated to 73 °C. Nutrient stock solutions added according to ISO 10253 except for a reduction of EDTA from 45 µmol to 5 µmol /4/.
Test item stock solution	Stock solution A see description in Section 3.1. A stock solution B of 2.00 mg/L was prepared by diluting 10.0 mL stock A in 500 mL algae growth medium. pH in stock solution B was 8.2.
Nominal test concentrations	0; 1.0; 2.9; 8.2; 24; 65; 180 and 500 µg/L
Photoperiod	Constant fluorescent light
Light intensity	60-120 µmol×m ⁻² ×sec ⁻¹
Shaking	120 -140 rpm
Temperature	19 ± 1 °C
Initial pH	According to ISO 10253: 8.0 ± 0.2

Standard	ISO 10253 /2/ with growth medium modifications according to ISO 14442 /4/
pH in the test mixtures	At the initiation of the test: 8.2 At the termination of the test: 8.2 - 8.4
Validity criteria	Average growth rate in laboratory controls $\geq 0.9.d^{-1}$ pH increase in laboratory control ≤ 1.0 Control variation coefficient: $\leq 7\%$
Reference test	Verification of the algae sensitivity with 3,5-dichlorophenol (3,5-DCP)

3.3 Preliminary acute toxicity test with the crustacean *Acartia tonsa*

A preliminary screening of the toxicity of the test item to the marine copepod *Acartia tonsa* was determined according to the ISO International Standard 14669 “Water quality - Determination of acute lethal toxicity to marine copepods (Copepoda crustacea)"/3/.

The screening test was carried out from 14-16 October 2020 and the test conditions are summarized in Table 3.2. The test concentrations were prepared as dilutions of stock solution A (see Section 3.1) or stock solution B with laboratory control medium.

Table 3.2 Test conditions for the preliminary acute test with *Acartia tonsa*

Standard	ISO 14669 /3/
Test organism	<i>Acartia tonsa</i>
Test organism source	DHI Denmark (collected in the North Sea by the Danish Institute for Fisheries Research and has been cultured at DHI since 1987). Cultured at a salinity of 32 PSU.
Test organism life stage	Adults and copepodites
Test duration	48 hours
Test container	50-mL glass beaker with 25 mL test solution
Replicates in a preliminary test	4 × laboratory control 2 × test concentration
Test organisms/test container	5
Endpoint	Mortality
Laboratory control medium	Natural seawater (salinity 32 PSU) filtered through Millipore filters (10; 5.0; 0.5 and 0.22 μm) and heated to 73 °C.
Test item stock solution	Stock solution A see description in Section 3.1. Stock solution A was used to prepare the two highest test concentrations. Furthermore, it was used to prepare a stock solution B of 500 $\mu\text{g/L}$ by diluting 0.250 mL stock A in 50 mL laboratory control medium. Stock solution B was used to prepare the three lowest test concentrations. pH was 8.2 and adjustment was necessary.

Standard	ISO 14669 /3/
Nominal test concentrations	0; 1; 10; 100; 1,000 and 10,000 µg/L
Food regime	No food supplied during testing
Photoperiod	16:8 hours
Temperature	20 °C ± 2 °C
Initial pH	According to ISO 14669: 8.0 ± 0.3
pH in the test mixtures	At the initiation of the test: 8.2 At the termination of the test: 8.1
Validity criteria	Mortality in the laboratory control ≤10% Dissolved oxygen concentration ≥70% throughout the test Reference substance, 3,5-dichlorophenol, LC50 (48h) in the range 0.5-1.5 mg/L

4 Statistical analysis

All the statistical analyses of NOEC, LOEC, EC/LC10 and EC/LC50 were run using the free software R /5/.

In the algae test the LOEC/NOEC values were determined by use of the Dunnett's test /6/. The NOEC values ($p > 0.05$) were determined as the highest tested concentration, at which no significant negative effect was observed compared with the control. The LOEC ($t < 0$ and $p < 0.05$) is the concentration just above the NOEC.

To comply with the conditions of the Dunnett's test, the normality of the data was assessed but only by a visual description using a boxplot /7/. The variance was analysed with a Levene's test /8/.

When a significant effect was observed associated with a dose response, a Probit analysis was conducted to estimate the EC/LC10 and EC/LC50. The EC/LC values were calculated by use of the drc package in R /9/.

5 Chemical analysis

To verify the actual tested concentrations of dithallium sulphate in the algal growth inhibition test, samples were taken for chemical analysis of thallium. The molecular weight for thallium is 204.38 g/mol and for dithallium sulphate 504.83 g/mol, thallium represents 81.0% of the concentration of dithallium sulphate.

No samples were collected in the preliminary acute test with *Acartia tonsa*.

The samples were collected in 60-mL plastic bottles with 1ml nitric acid 40% for conservation and stored cold (4 °C) until shipment to ALS Denmark A/S. The analyses were performed as accredited analysis by ALS Scandinavia AB, Sweden, as subcontractor to ALS Denmark A/S. Based on these analyses, the recovery in

percentage of the nominal concentration were calculated for each analysed test concentration.

Although duplicate samples (A and B) were collected, only one of these samples was shipped for analysis. The other samples will be stored as spare samples and will be discarded after Weisses Haus approval of this report.

6 Test results

6.1 Growth inhibition test with the marine algae *Skeletonema* sp.

6.1.1 Results of the chemical analyses

For verification of the tested concentrations of dithallium sulphate in the algal growth inhibition test, duplicate samples from special prepared test containers were collected at the initiation of the test and at each measuring time (24h; 48h and 72h). The analysis made for thallium and details regarding conservation and storage see Section 5.

Samples taken at the initiation and termination of the test for estimating the effect concentrations were analysed and the report from the analytical laboratory can be found in Appendix B.

The actual measured concentrations of thallium compared to the nominal concentrations showed a recovery within the range 80-120% (85-100%). The estimation of the effect concentrations was therefore based on the nominal test concentrations.

The nominal concentrations of dithallium sulphate, the correlating nominal and actual measured concentrations of thallium, and the percent recovery can be found in Table 6.1.

Table 6.1 Results of the chemical analysis of thallium

Nominal concentration of dithallium sulphate (µg/L)	Nominal concentration of thallium (µg TI/L)	Actual measured concentration		Recovery in percent of the nominal TI conc.	
		t=0 hours (µg TI/L)	t=72 hours (µg TI/L)	t=0 hours %	t=72 hours %
0	0	0.0167	0.0166	-	-
1.0	0.810	0.801	0.807	99	100
2.9	2.35	2.17	2.24	92	95
8.2	6.64	5.95	6.12	90	92
24	19.4	18.3	17.0	94	87
65	52.7	48.1	48.0	91	91
180	146	129	133	88	91
500	405	358	346	88	85

6.1.2 Results of the growth inhibition test

The primary data and statistical analysis from the growth inhibition test with the test item, including the results of the preliminary range-finding test, are presented in Appendix C. All validity criteria prescribed in the ISO 10253 standard /2/ were fulfilled.

The reference test with 3,5-DCP (2020.10.20) performed with *Skeletonema* sp. resulted in an EC50 of 1.20 (1.16-1.24) mg/L, which is within the expected range (1.60 (1.00-2.20) mg/L) /2/. The result indicates good test procedures and normal sensitivity of the test organisms.

An overview of the mean growth rate and inhibition of *Skeletonema* sp. after 72 hours exposure to concentrations of the test item can be found in Table 6.2. The estimated effect concentrations based on all tested replicates are presented in Table 6.3.

Table 6.2 Growth rate and inhibition of *Skeletonema* sp. after exposure to dithallium sulphate.

Nominal test concentration (µg/L)	Growth rate mean (h ⁻¹)	Inhibition (%)
0	0.082	0
1	0.081	2
2.9	0.078	5
8.2	0.079	4
24	0.067	19
65	0.049	41
180	0.029	65
500	0.013	84

Table 6.3 Results of the *Skeletonema* sp. growth inhibition test after exposure to dithallium sulphate. In parentheses the 95% confidence intervals.

Test item	NOEC (µg/L)	LOEC (µg/L)	EC10 (µg/L)	EC50 (µg/L)
Dithallium sulphate	8.2	24	12.6 (8.54 - 16.6)	97.3 (82.9 -112)

6.2 Preliminary acute toxicity test with *Acartia tonsa*

The primary data and statistical analysis from the preliminary acute test with the test item are presented in Appendix C. No samples for chemical analysis were taken during the preliminary test. After an agreement with Weisses Haus no further testing of the acute toxicity of dithallium sulphate to *Acartia tonsa* should be performed.

All validity criteria prescribed in the ISO 14669 /3/ were fulfilled.

The reference test with 3,5-dichlorophenol (2020.09.30) resulted in a 48h LC50 of 0.74 (0.59-0.88) mg/L, which is within the validity criteria range 0.5-1.5 mg/L stated in ISO 14669 /3/. This indicates good test procedures and normal sensitivity of test organism.

An overview of the mortality of *Acartia tonsa* after 48 hours exposure to nominal concentrations of the test item can be found in Table 6.4. The estimated effect concentrations are presented in Table 6.5.

Table 6.4 Mortality of *Acartia tonsa* after 48 hours exposure to dithallium sulphate.

Nominal concentration (µg/L)	Mortality (%) in the preliminary acute test
0	0
1	0
10	0
100	10
1,000	10
10,000	30

Table 6.5 Results of the preliminary acute test with *Acartia tonsa* after 48 hours exposure to dithallium sulphate. Based on nominal test concentrations.

Test item	LC10 (µg/L)	LC50 (µg/L)
Dithallium sulphate	100-1,000	>10,000

7 Conclusion

The results obtained in the test with algae were used to derive the no observed effect concentration (NOEC), lowest observed effect concentration (LOEC) and the effect concentrations (EC) causing 10% and 50% effect in comparison with the laboratory control (i.e. EC10 and EC50).

The chemical analysis for thallium taken at the initiation and termination of the test showed a recovery of the nominal test concentrations within the range 80-120% and the estimation of the effect concentrations was therefore based on the nominal test concentrations.

The results obtained in the preliminary acute toxicity test with *Acartia tonsa* can only be used to give an idea of the lethal concentration range causing 10% and 50% effect in comparison with the laboratory control (i.e. LC10 and LC50). The effect concentrations are based on nominal test concentrations. After an agreement with Weisses Haus no further testing of the acute toxicity of dithallium sulphate to *Acartia tonsa* should be performed.

The validity criteria for all the tests performed were fulfilled.

Table 6.6 shows an overview of the effect concentrations obtained in the algae growth inhibition test and the preliminary crustacean test.

Table 6.1 Results from toxicity tests with dithallium sulphate. Effect concentrations are based on nominal test concentrations. In parentheses the 95% confidence intervals.

Test organism Guideline Endpoint	NOEC (µg/L)	LOEC (µg/L)	EC10/ LC10 (µg/L)	EC50/ LC50 (µg/L)
Algae, <i>Skeletonema</i> sp. ISO 10253 /2/ Growth rate	8.2	24	12.6 (8.54 - 16.6)	97.3 (82.9 -112)
Crustacean, <i>Acartia tonsa</i> preliminary test ISO 14669 /3/ Mortality	-	-	100-1,000	>10,000

8 References

- /1/ ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- /2/ ISO 10253 (2016): "Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema* sp. and *Phaeodactylum tricornutum*". Third edition. 2016.11.15.
- /3/ ISO 14669 (1999): "Water quality - Determination of acute lethal toxicity to marine copepods (*Copepoda crustacea*)". First edition. 1999.04.01.
- /4/ ISO 14442 (2006): "Water quality – Guidelines for algal growth inhibitions tests with poorly soluble materials, volatile compounds, metals and waste water". Second edition. 2006.04.01.
- /5/ R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- /6/ Frank Bretz, Torsten Hothorn and Peter Westfall (2010) (Dunnett's test), Multiple Comparisons Using R, CRC Press, Boca Raton.
- /7/ Fox, J. (2005) The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. Journal of Statistical Software, 14(9): 1–42
- /8/ Fox, J. and Weisberg, S. (2011) *An R Companion to Applied Regression*, Second Edition, Sage.
- /9/ Ritz, C (2010). Towards a unified approach to dose-response modelling in ecotoxicology. Environmental Toxicology & Chemistry, 29, 220–229.

APPENDICES

APPENDIX A

Safety Data Sheet and Certificate of Analysis

A Safety Data Sheet and Certificate of Analysis



www.sigmaaldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 6.1
Revision Date 24.10.2019
Print Date 28.10.2020

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifiers

Product name : Thallium(I) sulfate

Product Number : 204625
Brand : Aldrich
Index-No. : 081-003-00-4
REACH No. : A registration number is not available for this substance as the substance or its uses are exempted from registration, the annual tonnage does not require a registration or the registration is envisaged for a later registration deadline.

CAS-No. : 7446-18-6

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Merck Life Science ApS
Vandtårnsvej 62A,
DK-2860 SØBORG, DENMARK

Telephone : +45 43 56 59-20
Fax : +45 43 56 59-05
E-mail address : TechnicalService@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : +(45)-69918573 (CHEMTREC)
Ved akut udrykning og livsfare - 112

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008

Acute toxicity, Oral (Category 2), H300
Skin irritation (Category 2), H315
Specific target organ toxicity - repeated exposure (Category 1), H372
Long-term (chronic) aquatic hazard (Category 2), H411

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 Label elements


Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008

Aldrich- 204625

Page 1 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Pictogram	
Signal word	Danger
Hazard statement(s)	
H300	Fatal if swallowed.
H315	Causes skin irritation.
H372	Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure.
H411	Toxic to aquatic life with long lasting effects.
Precautionary statement(s)	
P273	Avoid release to the environment.
P301 + P310 + P330	IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER/doctor. Rinse mouth.
P302 + P352	IF ON SKIN: Wash with plenty of water.
P314	Get medical advice/ attention if you feel unwell.
Supplemental Hazard Statements	none

2.3 Other hazards

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

Formula	: O ₄ STI ₂
Molecular weight	: 504,83 g/mol
CAS-No.	: 7446-18-6
EC-No.	: 231-201-3
Index-No.	: 081-003-00-4

Component	Classification	Concentration
Thallic sulphate	Acute Tox. 2; Skin Irrit. 2; STOT RE 1; Aquatic Chronic 2; H300, H315, H372, H411 M-Factor - Aquatic Acute: 1	<= 100 %

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

Aldrich- 204625

Page 2 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Take victim immediately to hospital. Consult a physician.

In case of eye contact

Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labelling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No data available

SECTION 5: Firefighting measures**5.1 Extinguishing media****Suitable extinguishing media**

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Sulphur oxides, thallium oxides

5.3 Advice for firefighters

Wear self-contained breathing apparatus for firefighting if necessary.

5.4 Further information

No data available

SECTION 6: Accidental release measures**6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**

Wear respiratory protection. Avoid dust formation. Avoid breathing vapours, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust. For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions

Prevent further leakage or spillage if safe to do so. Do not let product enter drains. Discharge into the environment must be avoided.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

Aldrich- 204625

Page 3 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end use(s)

Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls

Avoid contact with skin, eyes and clothing. Wash hands before breaks and immediately after handling the product.

Personal protective equipment

Eye/face protection

Face shield and safety glasses Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of Regulation (EU) 2016/425 and the standard EN 374 derived from it.

Full contact

Material: Nitrile rubber

Minimum layer thickness: 0,11 mm

Break through time: 480 min

Material tested: Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

Splash contact

Material: Nitrile rubber

Minimum layer thickness: 0,11 mm

Break through time: 480 min

Material tested: Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Size M)

data source: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, phone +49 (0)6659 87300, e-mail sales@kcl.de, test method: EN374

If used in solution, or mixed with other substances, and under conditions which differ from EN 374, contact the supplier of the CE approved gloves. This recommendation is advisory only and must be evaluated by an industrial hygienist and safety officer familiar with the specific situation of anticipated use by our

Aldrich- 204625

Page 4 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



customers. It should not be construed as offering an approval for any specific use scenario.

Body Protection

Complete suit protecting against chemicals, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use a full-face particle respirator type N100 (US) or type P3 (EN 143) respirator cartridges as a backup to engineering controls. If the respirator is the sole means of protection, use a full-face supplied air respirator. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure

Prevent further leakage or spillage if safe to do so. Do not let product enter drains. Discharge into the environment must be avoided.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a) Appearance	Form: solid
b) Odour	No data available
c) Odour Threshold	No data available
d) pH	No data available
e) Melting point/freezing point	Melting point/range: 632 °C - lit.
f) Initial boiling point and boiling range	No data available
g) Flash point	Not applicable
h) Evaporation rate	No data available
i) Flammability (solid, gas)	No data available
j) Upper/lower flammability or explosive limits	No data available
k) Vapour pressure	No data available
l) Vapour density	No data available
m) Relative density	6,77 g/mL at 25 °C
n) Water solubility	No data available
o) Partition coefficient: n-octanol/water	log Pow: 5
p) Auto-ignition temperature	No data available
q) Decomposition	No data available

Aldrich- 204625

Page 5 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



- temperature
- r) Viscosity No data available
 - s) Explosive properties No data available
 - t) Oxidizing properties No data available

9.2 Other safety information
No data available

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity

No data available

10.2 Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions

No data available

10.4 Conditions to avoid

No data available

10.5 Incompatible materials

Strong oxidizing agents

10.6 Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Sulphur oxides, thallium oxides

Other decomposition products - No data available

In the event of fire: see section 5

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

LD50 Oral - Rat - 16 mg/kg

LD50 Dermal - Rat - 550 mg/kg

Remarks: Behavioral: Ataxia. Lungs, Thorax, or Respiration: Dyspnea. Skin and Appendages: Other: Hair.

Skin corrosion/irritation

No data available

Serious eye damage/eye irritation

No data available

Respiratory or skin sensitisation

No data available

Germ cell mutagenicity

No data available

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Aldrich- 204625

Page 6 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Reproductive toxicity

Overexposure may cause reproductive disorder(s) based on tests with laboratory animals.

Specific target organ toxicity - single exposure

No data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure

Ingestion - Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure.

Aspiration hazard

No data available

Additional Information

RTECS: XG6800000

The most characteristic symptom of thallium exposure is alopecia (loss of hair). Cutaneous effects may include dry, scaly skin and impairment of nail growth often resulting in the appearance of crescent-shaped strips across fingernails and toenails (Mees' line). Other symptoms in acute poisoning relate chiefly to the gastrointestinal tract, nervous system, skin, eyes, and cardiovascular system. Acute poisoning results in swelling of the feet and legs, arthralgia, vomiting, insomnia, hyperesthesia and paresthesia of the hands and feet, mental confusion, polyneuritis with severe pain in the legs and loins, partial paralysis of the legs, angina-like pains, nephritis, wasting and weakness, and lymphocytosis and eosinophilia. In chronic poisoning, central and peripheral nervous system abnormalities may persist including ataxia, tremor, incoordination, paralysis of extremities, endocrine disorders, memory loss, and psychoses may develop. To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

SECTION 12: Ecological information

12.1 Toxicity

Toxicity to fish	LC50 - Pimephales promelas (fathead minnow) - 0,86 mg/l - 96,0 h
Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates	EC50 - Daphnia magna (Water flea) - 2,2 mg/l - 48 h

12.2 Persistence and degradability

12.3 Bioaccumulative potential

Bioaccumulation	Lepomis macrochirus - 14 d - 80 µg/l(Thallic sulphate)
-----------------	---

Bioconcentration factor (BCF): 34

12.4 Mobility in soil

No data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

12.6 Other adverse effects

Very toxic to aquatic life with long lasting effects.

Aldrich- 204625

Page 7 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



Further information

Copyright 2018 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

The branding on the header and/or footer of this document may temporarily not visually match the product purchased as we transition our branding. However, all of the information in the document regarding the product remains unchanged and matches the product ordered. For further information please contact mlsbranding@sial.com.

Aldrich- 204625

Page 9 of 9

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

 Website: www.sigmaaldrich.com

 Email USA: techserv@sial.com

 Outside USA: eurtechserv@sial.com

Certificate of Analysis

 Product Name:
 Thallium(I) sulfate – 99.99% trace metals basis

Product Number:	204625
Batch Number:	MKCK9785
Brand:	ALDRICH
CAS Number:	7446-18-6
MDL Number:	MFCD00011278
Formula:	O4STI2
Formula Weight:	504.83 g/mol
Quality Release Date:	10 OCT 2019



Test	Specification	Result
Appearance (Color)	White	White
Appearance (Form)	Powder or Solid or Crystals	Powder
Gravimetric Analysis % Ti (With Chromate)	79.0 - 83.8 %	82.2 %
ICP Major Analysis Confirms Thallium Component	Confirmed	Conforms
Purity 99.99% Based On Trace Metals Analysis	Meets Requirements	Meets Requirements
Trace Metal Analysis	≤ 150.0 ppm	70.5 ppm
Silver (Ag)		8.8 ppm
Aluminum (Al)		0.7 ppm
Barium (Ba)		2.3 ppm
Calcium (Ca)		13.6 ppm
Chromium (Cr)		2.0 ppm
Copper (Cu)		1.1 ppm
Iron (Fe)		12.2 ppm
Magnesium (Mg)		2.3 ppm
Sodium (Na)		6.7 ppm
Antimony (Sb)		3.7 ppm
Strontium (Sr)		4.0 ppm
Titanium (Ti)		6.4 ppm
Zinc (Zn)		6.7 ppm

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

Version Number: 1

Page 1 of 2

SIGMA-ALDRICH®

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

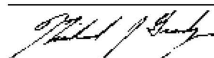
Website: www.sigmaaldrich.com

Email USA: techserv@sial.com

Outside USA: eurtechserv@sial.com

Certificate of Analysis

Product Number: 204625
Batch Number: MKCK9785



Michael Grady, Manager
Quality Control
Milwaukee, WI US

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

Version Number: 1

Page 2 of 2

APPENDIX B

Chemical analyses of thallium

B Chemical analyses of thallium

An overview of the Sample ID given by ALS Denmark A/S.

Nominal concentration of dithallium sulphate ($\mu\text{g/L}$)	t = 0 hours	t = 72 hours
0	1	9
1.0	2	10
2.9	3	11
8.2	4	12
24	5	13
65	6	14
180	7	15
500	8	16



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 1
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257342/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 0.0167	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

This version replaces version 2 due to an analysis error for sample 257350/20. The sample was contaminated by sample 257349/20 during the analysis run. Result of the re-analysis is 0.0166 µg/l. No other samples were affected by the contamination error.

In the re-analysis it was possible to lower LOR for sample 257342/20. Result of the re-analysis for this sample is 0.0167 µg/l.

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 2
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257343/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 0.801	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 3
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257344/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 2.17	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 4
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257345/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 5.95	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 5
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257346/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 18.3	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 6
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257347/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 48.1	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 7
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257348/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 129	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 8
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257349/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 358	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 9
Sampling date: 03.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257350/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 0.0166	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 10
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257351/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 0.807	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché

page 1 of 16

The laboratory is accredited by DANAK. The test results apply only to the tested sample(s). This analytical report may only be reproduced in its entirety, unless written approval. Information on measurement uncertainty can be found at www.alsglobal.dk.

Legend:
<: less than end >: greater than

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 11
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257352/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 2.24	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 12
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257353/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 6.12	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 13
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257354/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 17.0	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 14
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257355/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 48.0	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyche



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 - 18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 15
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257356/20			
Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 133	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030

Majken Maria Løyché

Majken Løyché



DHI A/S
Agern Allé 5
2970 Hørsholm
Att.: Anja Kamper - EAT

ALS Denmark A/S
Bakkegårdsvej 406 A
DK-3050 Humlebæk
Telefon: +45 4925 0770
www.alsglobal.dk

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Printed: 22-12-2020
Version: 3
Sample Received: 11-11-2020
Analysis Period: 11-11-2020 -
18-11-2020
Work Order: 613052

Project: 11825484
Location: DHI
Client Sample ID: 16
Sampling date: 06.11.2020
Matrix: Vand - Havvand
Collected by: Rekv.
Client: DHI A/S, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm

Laboratory Sample ID.: 257357/20

Parameter	Result	Unit	Method
Thallium, Tl	*1 346	µg/l	ICP/SFMS SS EN ISO 17294-2: 2016

Comment

No comment

Subcontractor

*1 ALS Scandinavia AB, SWEDAC 2030



Majken Løyche

APPENDIX C

Primary data and statistical analysis from the ecotoxicological tests

C Primary data and statistical analysis from the ecotoxicological test

C.1 Algal growth inhibition test with *Skeletonema* sp.

C.1.1 Calculations

The fluorescence measurements of algal biomass were tabulated according to the test item concentrations and exposure periods. For each concentration, a graph was plotted indicating the log mean cell density against time. A linear curve indicates exponential growth rate, whereas levelling of the curve indicates that cultures have entered stationary phase.

- The average specific growth rate, μ , was calculated for each test group with a regression analysis using the least squares method through the LINEST Excel® function as follow:

$$\mu = \frac{\sum(\mu_x - \bar{\mu})(t_x - \bar{t})}{\sum(\mu_x - \bar{\mu})^2} \quad (C.1)$$

Where:

- μ_x : Ln of the observed measured fluorescence at t_x (0 h, 24 h, 48 h and 72 h)
- $\bar{\mu}$: Ln of the estimated fluorescence at t_x (0 h, 24 h, 48 h and 72 h)
- The average laboratory control specific growth rate μ_c was used to calculate the percentage of inhibition ($I\mu_i$) for each individual test flask according to the equation:

$$I\mu_i = \frac{(\mu_c - \mu_i) \times 100}{\mu_c} \quad (C.2)$$

Where:

- $I\mu_i$: percentage of growth inhibition for test flask i
- μ_i : growth rate for test flask i
- μ_c : the mean growth rate for the laboratory control

The percentage inhibition ($I\mu_i$) for each test bottle was plotted against test concentrations on a logarithmic scale. The data were tested using a Probit method and by analysis of variance to find EC10, EC50 and NOEC/LOEC respectively (see Section 4, Statistical analysis).

C.1.2 Results of the preliminary range-finding test

The test concentrations in the definitive test were chosen based on a preliminary range-finding test (Table C. 1).

Table C. 1 Experimental data – inhibition of the growth rate after 3 days of exposure in the control and the tested nominal concentrations of dithallium sulphate.

Replicate No.	Control	1 µg/L	10 µg/L	100 µg/L	1,000 µg/L	10,000 µg/L
1	3.8%	-1.1%	6.4%	72.8%	100%	100%
2	1.2%	-0.8%	17.7%	54.0%	100%	100%
3	-3.6%	-	-	-	-	-
4	-2.7%	-	-	-	-	-
5	-1.6%	-	-	-	-	-
6	2.8%	-	-	-	-	-
Mean	0%	-1%	12%	63%	100%	100%
Significance ¹⁾	-			***	***	***

1) Signif. codes: ≥ 0****; ≥ 0.001***; ≥ 0.01 **, ≥ 0.05 ., ≤ 1 ' '

C.1.3 Primary data on fluorescence measurements in the definitive test

Table C. 2 Raw data of the fluorescence (RFU) generated in the algal growth inhibition test with the test item. The blanks were prepared exactly as the dilution series but without algae added.

Nominal concentration	Replicate	0 hour	22.0 hours	46.0 hours	70 hours
Control	A	1.9	2.3	40.4	254
Control	B	1.9	1.8	24.7	156
Control	C	1.9	3.1	44.0	353
Control	D ¹⁾	1.9	1.4	13.7	85.5
Control	E	1.9	4.0	48.8	340
Control	F	1.9	3.2	38.7	247
Control blank		0.8	0.5	0.5	0.4
1.0 µg/L	A	1.9	3.8	43.0	335
1.0 µg/L	B	1.9	3.5	36.7	265
1.0 µg/L	C	1.9	2.6	20.5	213
1.0 µg/L blank		0.8	0.5	0.5	0.3
2.9 µg/L	A	1.9	4.6	50.6	394
2.9 µg/L	B	1.9	3.7	33.9	229

Nominal concentration	Replicate	0 hour	22.0 hours	46.0 hours	70 hours
2.9 µg/L	C	1.9	2.6	13.6	125
2.9 µg/L blank		0.8	0.5	0.5	0.4
8.2 µg/L	A	1.9	3.8	26.9	225
8.2 µg/L	B	1.9	4.7	34.2	269
8.2 µg/L	C	1.9	3.6	31.5	277
8.2 µg/L blank		0.8	0.5	0.5	0.4
24 µg/L	A	1.9	2.2	18.7	94.8
24 µg/L	B	1.9	3.1	19.1	111
24 µg/L	C	1.9	3.0	20.9	89.5
24 µg/L blank		0.8	0.5	0.5	0.4
65 µg/L	A	1.9	2.6	12.0	32.0
65 µg/L	B	1.9	2.2	9.3	27.2
65 µg/L	C	1.9	2.0	8.0	26.2
65 µg/L blank		0.8	0.5	0.5	0.4
180 µg/L	A	1.9	1.5	3.0	5.1
180 µg/L	B	1.9	1.8	3.6	6.9
180 µg/L	C	1.9	1.7	5.1	12.4
180 µg/L blank		0.8	0.5	0.5	0.4
500 µg/L	A	1.9	1.0	2.0	3.4
500 µg/L	B	1.9	1.0	2.6	2.1
500 µg/L	C	1.9	1.0	2.1	3.3
500 µg/L blank		0.8	0.5	0.4	0.4

1) This result was considered an outlier and not included in the calculations.

C.1.4 Physical parameters

Table C. 3 Measurements of pH in the algal growth inhibition test with the test item.

Nominal concentration	Day 0 - pH	Day 3 - pH
0 µg/L	8.2	8.3
1.0 µg/L	8.2	8.4
2.9 µg/L	8.2	8.4
8.2 µg/L	8.2	8.3
24 µg/L	8.2	8.3
65 µg/L	8.2	8.2
180 µg/L	8.2	8.2
500 µg/L	8.2	8.2

Table C. 4 Physical parameters – temperature monitoring in the test period.

Mean (°C)	Standard deviation (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
19.4	0.10	19.2	19.7

C.1.5 Statistical analysis – Determination of effect concentrations after exposure to dithallium sulphate

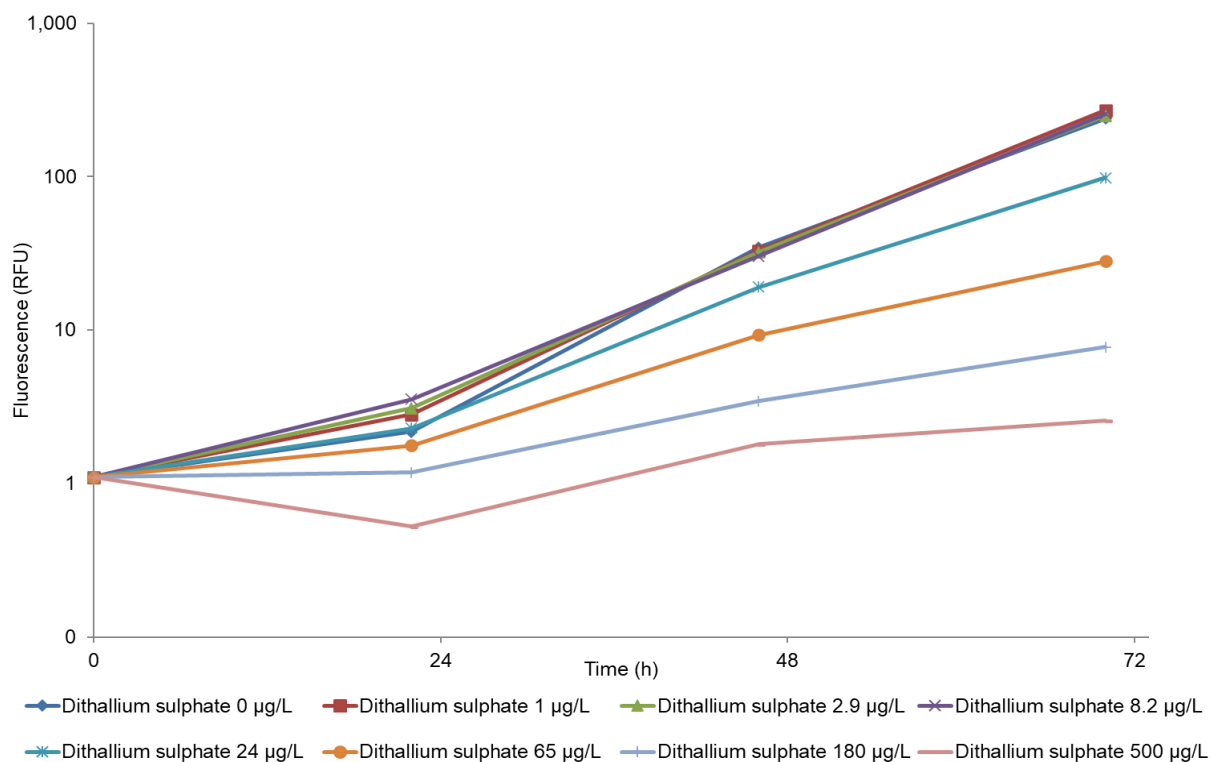


Figure C. 1 Fluorescence versus time in test with *Skeletonema* sp. exposed to different concentrations of dithallium sulphate.

Table C. 6 Growth rate endpoint, estimations of NOEC and LOEC, Dunnett's test.

Endpoint	NOEC	LOEC	Unit
Growth rate	8.2	24	µg/L

C.1.5.2 Inhibition of the growth rate of *Skeletonema* sp.

Table C. 7 Experimental data – inhibition of the growth rate after 3 days of exposure in the tested concentrations of dithallium sulphate.

Replicate No.	Control	1.0 µg/L	2.9 µg/L	8.2 µg/L	24 µg/L	65 µg/L	180 µg/L	500 µg/L
1	-1	-3	-5	6	18	39	72	82
2	7	1	4	3	18	41	68	89
3	-5	6	16	2	21	42	55	82
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-3	-	-	-	-	-	-	-
6	2	-	-	-	-	-	-	-
Mean	0	2	5	4	19	41	65	84

C.1.5.3 Results of the Probit analysis

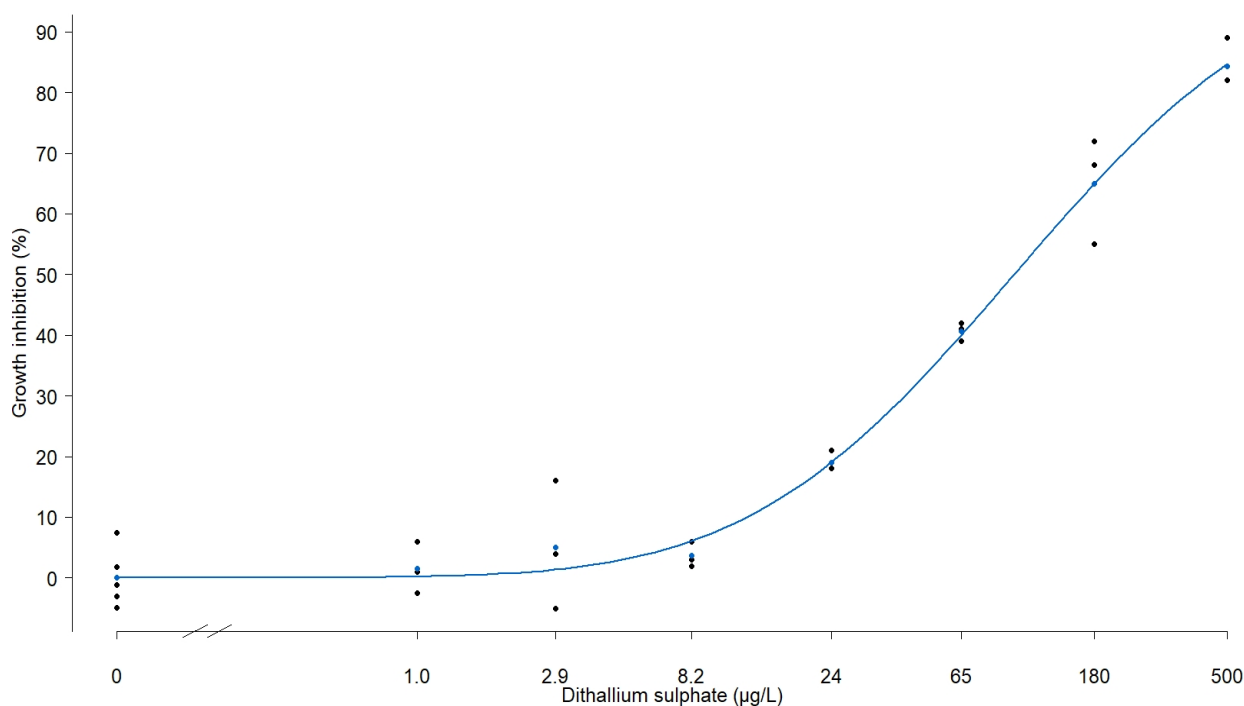


Figure C. 3 Effect of dithallium sulphate on the growth rate after 3 days of exposure. In blue, the dose response curve established by use of the free software R. The blue points correspond to the average inhibition per concentration. The black points correspond to the inhibition per replicate.

Table C. 8 Growth rate endpoint, estimations of EC10 and EC50 with 95% confidence intervals in parentheses, Probit analysis.

Endpoint	EC10 ($\mu\text{g/L}$)	EC50 ($\mu\text{g/L}$)
Growth rate	12.6 (8.54 - 16.6)	97.3 (82.9 - 112)

C.1.6 Validity criteria

Table C. 9 Validity criteria for the growth inhibition test with *Skeletonema* sp. according to ISO 10253 /2/.

Criteria	Target value	Fulfilled
Control pH increase during test	≤ 1.0 (observed: 0.1)	Yes
Control specific growth rate	> 0.9 per day (observed: 2.0 per day)	Yes
Control variation coefficient	$\leq 7\%$ (observed: 4.8 %)	Yes

C.2 Preliminary acute test with *Acartia tonsa*

C.2.1 Calculations

Mortality was tabulated according to the test item groups, laboratory control group and exposure periods.

- Mortality (M) expressed as Survival (S, with S=1-M)

$$S = 1 - \sum_R \frac{Dead_{te,r}}{Live_{t0,r}} \quad (C.3)$$

Where:

- R: number of replicates used for each test group.
- Dead te, r: number of dead copepods at the endpoint (te), in each replicate (r).
- Live t0, r: number of live copepods at t0, in each replicate (r).
- Inhibition effect

When an effect of the test item was observed on S, the respective means of the S were used to calculate the percentage inhibition (I) for each test group according to the equation:

$$I = \frac{(\mu_c - \mu_i) \times 100}{\mu_c} \quad (C.4)$$

Where:

- I: percentage of M inhibition for test group i
- μ_i : M for test group i
- μ_c : the mean M for the laboratory control

The percentage inhibition (I) for each test group was tested using a Probit method to find LC10 and LC50.

C.2.2 Primary data on mortality

Table C. 10 Daily observation of the total number of live and dead copepods in the preliminary acute test with the test item.

Date		14 October 2020 (Start)											
Nominal concentration (µg/L)	Initial number of copepods	Number of live copepods						Number of dead copepods					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Control	20	5	5	5	5	-	-	0	0	0	0	-	-
1	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
10	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
100	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
1,000	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
10,000	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-

Date		15 October 2020 (24 hours)											
Nominal concentration (µg/L)	Initial number of copepods	Number of live copepods						Number of dead copepods					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Control	20	5	5	5	5	-	-	0	0	0	0	-	-
1	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
10	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
100	10	5	4	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-
1,000	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
10,000	10	4	5	-	-	-	-	1	0	-	-	-	-

Date		16 October 2020 (48 hours)											
Nominal concentration (µg/L)	Initial number of copepods	Number of live copepods						Number of dead copepods					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Control	20	5	5	5	5	-	-	0	0	0	0	-	-
1	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
10	10	5	5	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
100	10	5	4	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-
1,000	10	4	5	-	-	-	-	1	0	-	-	-	-
10,000	10	3	4	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-

C.2.3 Physical parameters

Table C. 11 Measurement of pH, salinity and dissolved oxygen during the acute test.

Date	14 October 2020 (Start)		
Nominal concentration (µg/L)	Oxygen (% sat)	Salinity (PSU)	pH
Control	100	32	8.2
1	100	32	8.2
10	100	32	8.2
100	100	32	8.2
1,000	100	32	8.2
10,000	100	29	8.2

Date	16 October 2020 (48 hours)	
Nominal concentration (µg/L)	Oxygen (% sat)	pH
Control	99	8.1
1	99	8.1
10	99	8.1
100	99	8.1
1,000	99	8.1
10,000	99	8.1

Table C. 12 Physical parameters – temperature monitoring in the test period.

Mean (°C)	Standard deviation (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
19.5	0.1	19.2	19.6

C.2.4 Statistical analysis – Determination of lethal concentrations after exposure to dithallium sulphate

C.2.4.1 Determination of the effect on mortality with dithallium sulphate

Table C. 13 Experimental data of the mortality rate (number of dead adults per concentration) in the control and the tested concentrations of the test item.

Nominal concentration (µg/L)	No. of copepods exposed	No. of dead copepods 24h	No. of dead copepods 48h	Mortality 24h (%)	Mortality 48h (%)
Control	20	0	0	0	0
1	10	0	0	0	0
10	10	0	0	0	0
100	10	1	1	10	10
1,000	10	0	1	0	10
10,000	10	1	3	10	30

C.2.4.2 Results of the Probit analysis

The following statistical estimation of the LC values have been made only with the purpose of illustrating the results obtained. A preliminary test is made with fewer replicates (10-20 animals) and a larger factor (10) between concentrations, compared to a definitive test with 20-30 animals and a factor between concentrations of ≤ 2 .

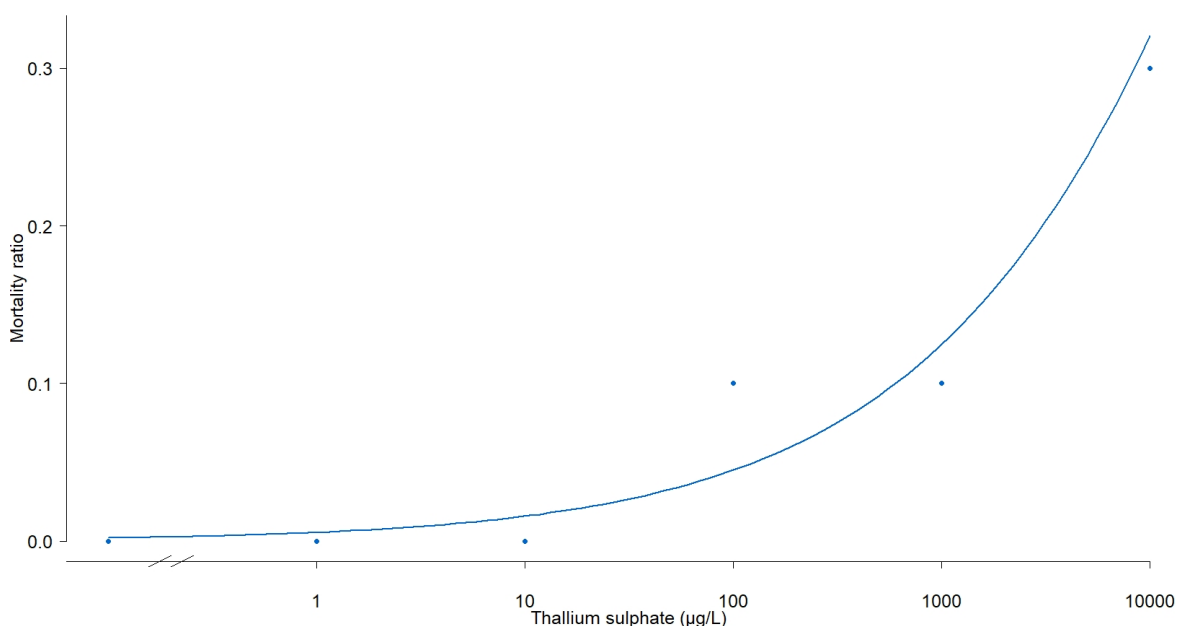


Figure C. 4 Effect of dithallium sulphate on the mortality after 48 hours of exposure. The blue points correspond to the average mortality per concentration.

Table C. 14 Mortality in the preliminary acute test, estimations of LC10 and LC50. 95% confidence intervals could not be calculated.

Endpoint	LC10 (µg/L)	LC50 (µg/L)
Mortality	100-1,000	>10,000

C.2.5 Validity criteria

Table C. 15 Validity criteria of the test according to the ISO 14669 /3/ in the acute test with *Acartia tonsa*.

Criteria	Target value	Fulfilled
Control mortality rate	$\leq 10\%$ (observed: 0%)	Yes
Dissolved oxygen	$\geq 70\%$ (observed: $\geq 99\%$)	Yes
Reference substance, 3,5-DCP, LC50 _{48 h}	0.5-1.5 mg/L (observed: 0.74 (0.59-0.88) mg/L)	Yes

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressurs spørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.



Norsk institutt for vannforskning

Økernveien 94 • 0579 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no