

7919-2023

Utredninger av tungmetallutslipp til Vefsnfjorden



Rapport

Løpenummer: 7919-2023

ISBN 978-82-577-7655-8
NIVA-rapport
ISSN 1894-7948

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

Andre Staalstrøm
Prosjektleder/
Hovedforfatter

Evgeniy Yakushev
Kvalitetssikrer

Ailbhe Lisette Macken
Forskningsleder

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

www.niva.no

Norsk institutt for vannforskning

Tittel norsk/engelsk

Utredninger av tungmetallutslipp til
Vefsnfjorden
Investigations of heavy metal
emissions to the Vefsnfjord

Sider

34 + vedlegg

Dato

12.10.2023

Forfatter(e)

André Staalstrøm
Henrik Jonsson
Magnus Norling

Fagområde

Hydrologi og
oseanografi

Distribusjon

Åpen

Oppdragsgiver(e)

Alcoa Mosjøen

Kontaktperson hos oppdragsgiver

Maren Seljenes Lauritzen

Utgitt av NIVA

220141

Sammendrag

I denne rapporten beskrives modellering av tungmetaller i Vefsnfjorden med modellverktøyet Sedflex. Ser man på tilførsel i mengde per år, så dominerer Vefsna, som er den helt klart største kilden til tungmetaller til Vefsnfjorden. Ser man derimot på konsentrasjon i utslippet har avrenning fra deponiet ved Rynes svært mye høyere verdier enn de andre utslippene. Utslippet av kvikksølv fra deponiet påvirker konsentrasjonen i hele Vefsnfjorden i stor grad. Konsentrasjonen av kvikksølv i vannsøylen kan reduseres med hele 15 % og over 10 % i sedimentene i hele fjorden innenfor Rynes om avrenningen fra deponiet ble fjernet. Basert på modellresultatene så konkluderes det med at utslippet fra Alcoa Mosjøen påvirker metallkonsentrasjon i sediment og vannmassene i Vefsnfjorden i liten grad sammenlignet med tilførsel fra Vefsna.

Emneord: Tungmetaller, SedFlex, Sediment, Blåskjell

Keywords: Heavy metals, SedFlex, Sediment, Mussels

Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	5
Summary	6
1 Introduksjon	7
2 Tilførsel til Vefsnfjorden	8
3 SedFlex modellen	12
3.1 Beskrivelse av modellen	12
3.2 Modelloppsett for Vefsnfjorden	12
3.1 Sirkulasjon i Vefsnfjorden	13
4 Redegjøre for miljøpåvirkning av tungmetallutslipp til vann	16
4.1 Måling av tungmetaller i Vefsnfjorden	16
4.2 Modellering av tungmetaller i Vefsnfjorden	18
4.3 Tungmetaller i vannmassene og i blåskjell	19
5 Utslippsreducerende tiltak for tungmetallutslipp til vann	21
5.1 Produksjon	21
5.2 Metallnivåer i inngangsmaterialene oksid, koks og bek	21
5.3 Vannfluks og utslippspunkter	23
5.4 Utslipp fra enkeltkilder	25
5.5 Eksterne utslippskilder	29
5.6 Mulige tiltak	31
6 Oppsummering	32
7 Referanser	34
8 Vedlegg A Inngangsparametere til SedFlex	35

Forord

I dette prosjektet har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) bistått Alcoa Mosjøen med utredningskrav om tungmetallutslipp til Vefsnfjorden. André Staalstrøm har vært prosjektleder og ansvarlig for modellering av metaller med SedFlex¹ modellen. Magnus Norling har programmert SedFlex i rammeverket Mobius² og har bistått med modelloppsettet. Henrik Jonsson vært ansvarlig for utredninger rundt utslipp fra Alcoa Mosjøen og andre kilder i området. Kontaktperson ved Alcoa har vært Maren Seljenes Lauritzen.

Oslo, 14. desember 2023

¹ Modellen kan lastes ned fra: <https://github.com/NIVANorge/Mobius/tree/master/Applications/SedFlex>

² Les mer om Mobius her: <https://github.com/NIVANorge/Mobius#the-mobiview-graphical-user-interface>

Sammendrag

I denne rapporten beskrives modellering av tungmetaller i Vefsnfjorden med modellverktøyet Sedflex. Fjorden er delt inn i fem delområder: området utenfor Vefsnas elveutløp, området utenfor Mosjøen, indre Vefsnfjorden, midtre Vefsnfjorden og ytre Vefsnfjorden. Utslippene som er vurdert er elva Vefsna, Alcoa med utslipp utenfor Mosjøen, deponi ved Rynes og de to renseanleggene Bordvedneset og Kullstad.

Ser man på tilførsel i mengde per år, så dominerer Vefsna, som er den helt klart største kilden til tungmetaller til Vefsnfjorden. Ser man derimot på konsentrasjon i utslippet har avrenning fra deponiet ved Rynes svært mye høyere verdier enn de andre utslippene. Konsentrasjonen av sink og nikkel fra utslippet til Alcoa har signifikant høyere konsentrasjon enn det som måles i Vefsna.

SedFlex modellen er kalibrert opp mot målinger av tungmetaller i sedimentene, og modellen gir sedimentkonsentrasjoner i riktig størrelsesorden i hele modellområdet. For arsen, kobber, nikkel og bly viser observasjonene at det er det signifikant økende trend utover i fjordsystemet. Den samme trenden finnes igjen i modelldataene, men i mindre grad.

Utslipet fra Alcoa har liten betydning for sedimentkonsentrasjonene i fjorden. Hvis utslippet fjernes helt så ville konsentrasjonen av nikkel rett utenfor Mosjøen blitt redusert med en halv prosent. For de andre metallene er virkningen enda lavere. Dette skyldes at utslippet fra Alcoa er lite sammenlignet med tilførselen fra Vefsna. Hvis vi holder kvikksølv utenfor, så er også andelen av metaller i sedimentene som stammer fra deponiet ved Rynes godt under 1 %. Men ser en på andelen av kvikksølvet i sedimentene så kan opp til 12 % stamme fra deponiet.

Blåskjell (*Mytilus edulis*) egner seg godt for å vurdere hvor mye miljøgifter det er i vannmassen. I dette prosjektet foreslås det at målet for blåskjell i Vefsnfjorden er at metallkonsentrasjonene er lavere enn PROREF-verdien slik det er definert innenfor Miljødirektoratets overvåkningsprogram «Miljøgifter i kystområdene» (Milky). Konsentrasjon av kadmium, krom, kvikksølv og nikkel i vannmassen i Vefsnfjorden må reduseres for at dette målet skal nås. Kvikksølv må reduseres med hele 70 %. Krom og nikkel må reduseres med 21 % og kadmium med 6 %. Hvis en ser hele Vefsnfjorden ut til Kvitneset under ett, vil ikke reduksjon i utslippet fra Alcoa kunne bidra til å nå dette målet, siden Alcoa høyst bidrar med 0,2 % av konsentrasjonen i vannmassen, basert på SedFlex modellresultatene. Rett utenfor Alcoa sitt utslipp bidrar Alcoa med opp til 1,3 % av konsentrasjonen i vannmassen.

Utslipet av kvikksølv fra deponiet påvirker konsentrasjonen i hele Vefsnfjorden i stor grad. Konsentrasjonen av kvikksølv i vannsøylen kan reduseres med hele 15 % og over 10 % i sedimentene i hele fjorden innenfor Rynes om avrenningen fra deponiet ble fjernet.

Summary

This report describes the modeling of heavy metals in the Vefsnfjord with the Sedflex modeling tool. The fjord is divided into five sub-areas: the area outside Vefsna river outlet, the area outside Mosjøen, the inner Vefsnfjord, the middle Vefsnfjord and the outer Vefsnfjord. The discharges assessed are the river Vefsna, Alcoa with discharge outside Mosjøen, the landfill at Rynes and the two sewage water treatment plants Bordvedneset and Kullstad.

Considering the supply in quantity per year, the river Vefsna dominates, which is by far the largest source of heavy metals to the Vefsnfjord. On the other hand, considering the concentrations in the various discharges, runoff from the landfill at Rynes has much higher value than the other discharges. The concentration of zinc and nickel from the discharge to Alcoa has a significantly higher concentration than what is measured in Vefsna river.

The SedFlex model is calibrated against measurements of heavy metals in the sediments, and the model provides sediment concentrations in the correct order of magnitude in the entire model area. For arsenic, copper, nickel and lead, the observations show that there is a significantly increasing trend out in the fjord system. The same trend is found in the model results, but to a lesser degree.

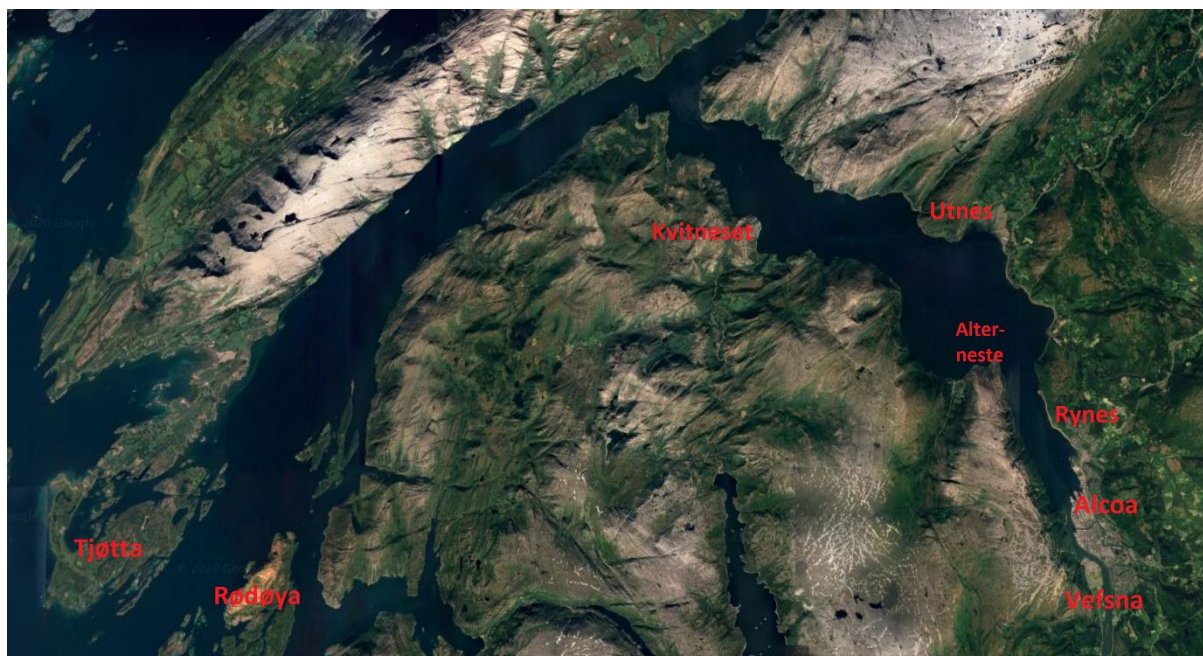
The discharge from Alcoa has little significance for the sediment concentrations in the fjord. If the discharge is removed completely, the concentration of nickel just outside Mosjøen would be reduced by half a percent. For the other metals, the effect is even lower. This is because the emissions from Alcoa are small compared to the supply from river Vefsna. If we exclude mercury, then the proportion of metals in the sediments originating from the landfill at Rynes is also well below 1%. But if you look at the proportion of mercury in the sediments, up to 12% can originate from the landfill.

Mussels (*Mytilus edulis*) are well suited for assessing the amount of environmental toxins in the water. In this project, it is proposed that the target for mussels in the Vefsnfjord is that the metal concentrations are lower than the PROREF value as defined within the Milkys programme. The concentration of cadmium, chromium, mercury and nickel in the water mass in the Vefsnfjord must be reduced if this target is to be reached. Mercury must be reduced by as much as 70%. Chromium and nickel must be reduced by 21% and cadmium by 6%. Considering the entire Vefsnfjorden to Kvitneset as one, a reduction in emissions from Alcoa will not be able to contribute to achieving this goal, since Alcoa contributes at most with 0.2% of the concentration in the water mass, based on the SedFlex model results. Right outside Alcoa's discharge, Alcoa contributes up to 1.3% of the concentration in the water mass.

The release of mercury from the landfill greatly affects the concentration in the entire Vefsnfjord. The concentration of mercury in the water column could be reduced by as much as 15% and over 10% in the sediments in the entire fjord within Rynes if the runoff from the landfill was removed.

1 Introduksjon

Vefsnfjorden er ca. 45 km lang fra Mosjøen og til munningen mellom Rødøya og Tjøtta (Figur 1). Denne rapporten fokuserer på fjordens indre deler fra Alcoa Mosjøen og til Kvitneset. Fjorden ut til Alterneset som ligger ca. 6 km fra utløpet av Vefsna er omtrent 1200 m bred, før fjorden vider seg ut.



Figur 1. Oversiktskart over Vefsnfjorden.

I denne rapporten skal vi svare ut på to av de utredningskrav som Miljødirektoratet stiller til Alcoa Mosjøen i forbindelse med endret tillatelse etter forurensingsloven. Det første er å redegjøre for miljøpåvirkning av tungmetallutslipp til vann, hvor det skal ta hensyn til hvordan utslippet blandes inn i vannmassene og hvordan forskjellige effekter vil påvirke utslippetets spredning. Vi modellerer åtte tungmetaller med modellen SedFlex for å gi grunnlag for disse vurderingene:

- Arsen (As)
- Kadmium (Cd)
- Krom (Cr)
- Kobber (Cu)
- Kvikksølv (Hg)
- Nikkel (Ni)
- Bly (Pb)
- Sink (Zn)

Det andre utredningskravet er å se på utslippsreducerende tiltak for tungmetallutslipp til vann, hvor det skal fokuseres på de fire tungmetallene krom, nikkel, sink og kadmium. Det er gjort en systematisk gjennomgang av alle inngangsmaterialer på verket, i første omgang av koks, bek og aluminiumoksid. NIVA har gjennomført en på anlegget hvor eksisterende renseanlegg og andre avbøtende forurensingstiltak gjennomgås. I denne rapporten vil aktuell renseteknologi på anlegget sammenlignes med gjeldende BAT-krav for aluminiumsmelteverk iht. industriutslippsdirektivet. Andre kilder i området har også blitt vurdert, hvor Vefsna er den helt klart største.

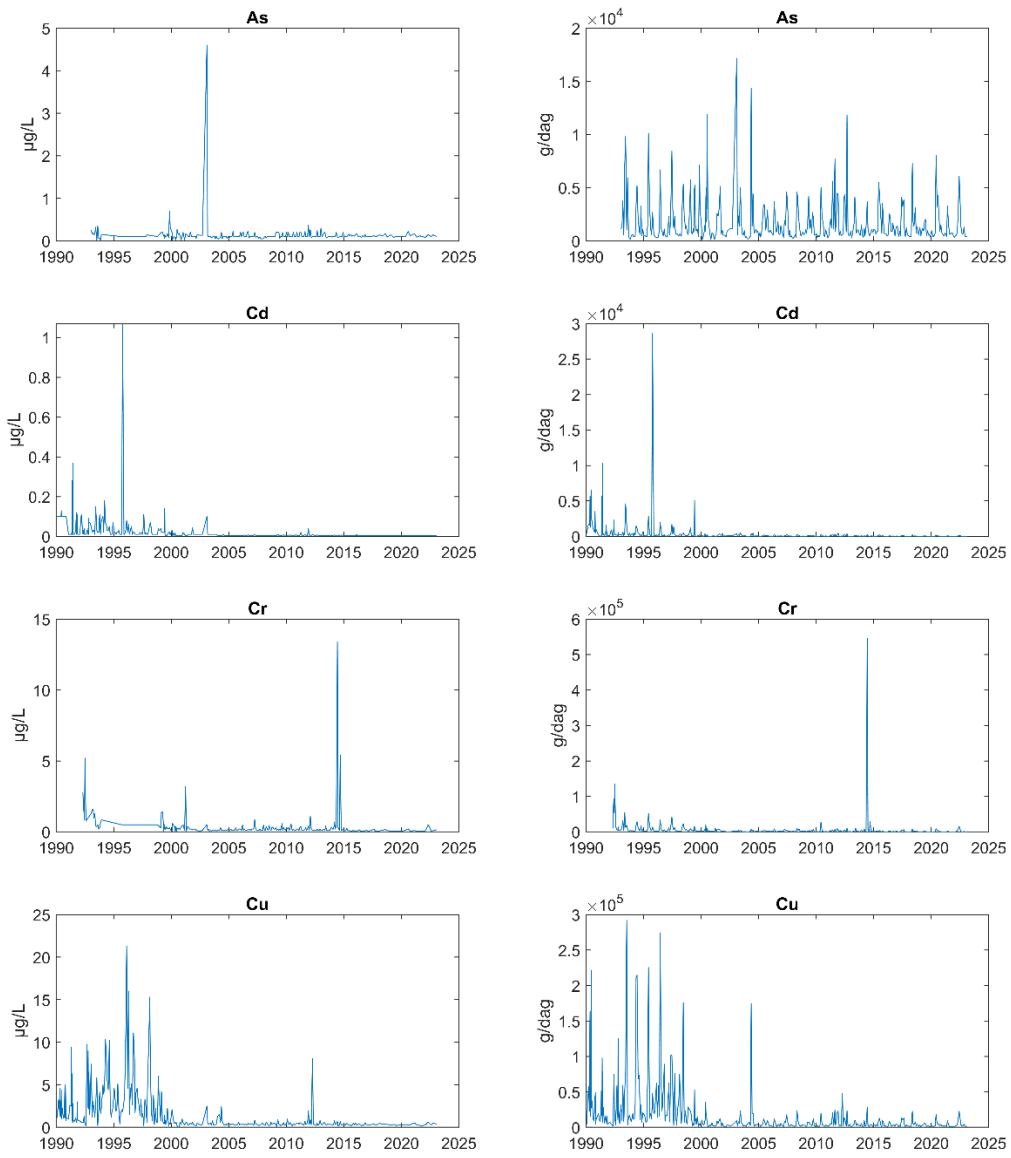
2 Tilførsel til Vefsnfjorden

De tilførslene som har vært vurdert i denne rapporten er

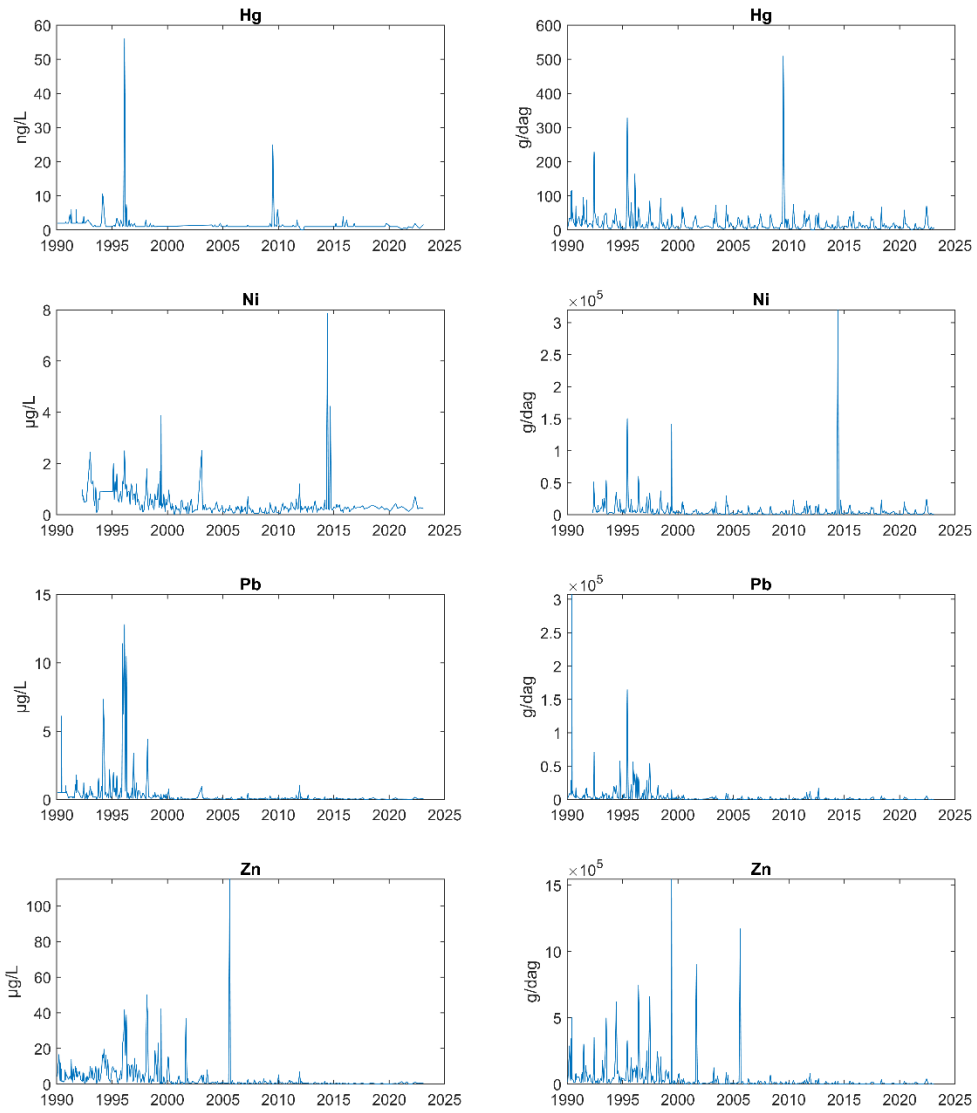
- Vefsna
- Avrenning fra deponiene på Rynes
- Renseanleggene Bordvedneset og Kullstad
- Alcoa

Alcoa Mosjøen har tre deponier med utslipp på Rynes: Formoen og Lille Åsnevdal som begge er avsluttet, samt Store Åsnevdal som er aktivt. I tillegg samles sigevann fra SHMIL (renset) og kommunens avsluttede deponi. Disse blandes før utslipp til fjorden.

For Vefsna har transporten av metaller blitt beregnet ved å multiplisere målinger fra elveovervåkingsstasjonen Vefsna (65.7424°N, 13.2266°E) og vannføring fra målestasjonen Laksfors. Konsentrasjon og fluks for de åtte metallene er vist i Figur 2 og Figur 3. Det er verdt å merke seg at for noen av parameterne er fluks til Vefsnfjorden betydelig større før ca. 2000 enn seinere. Dette gjelder for eksempel for kadmium og kobber. Vi har ikke gjort noe forsøk på å forklare dette i denne rapporten.



Figur 2. Konsentrasjoner målt i Vefsna og beregnet fluks for As, Cd, Cr og Cu.



Figur 3. Konsentrasjoner målt i Vefsna og beregnet fluks for As, Cd, Cr og Cu.

For de to renseanleggene er det benyttet typiske konsentrasjoner av metaller for renseanlegg i Nord-Norge siden det ikke fins målinger. For sigevann fra deponiet på Rynes fins det en til to målinger fra enkelte år, men hovedsakelig fra deponiene til Alcoa. Tilførselen til fjorden er basert på disse målingene og nedbørsdata. I Tabell 1 vises gjennomsnittlig transport til fjorden fra elva, deponiet, renseanleggene og Alcoa. Som det fremgår av tabellen er Vefsna den helt klart største kilden til metaller til Vefsnfjorden, med unntak av kvikksølv. Tilførsel av kvikksølv fra deponiet er nesten like stor som tilførselen fra Vefsna.

Tabell 1. Sammenligning av gjennomsnittlig transport til Vefsnfjorden.

Tilførsel (g/dag)	VEFSNA	RYNES	RA	ALCOA
As	1763	67.2	5.2	3
Cd	45.5	6.7	0.3	1.4
Cr	1616	16.6	8.2	21.2
Cu	4847	75.7	87.9	1.3
Hg	9.7	7.7	0.12	0.13
Ni	3966	110.8	18.3	64.5
Pb	441	14.8	6.5	10.8
Zn	6463	53.6	268.2	178.5

I Tabell 2 vises de konsentrasjonene som er brukt for å beregne tilførsel fra fjorden. Som det fremgår fra tabellen så er konsentrasjonene inne i deponiet svært mye høyere enn i de andre kildene.

Tabell 2. Sammenligning av konsentrasjon av metaller i de viktigste kildene.

Kons. (µg/L)	Vefsna	Deponi Rynes	Renseanlegg	Alcoa Mosjøen	Kystvannet
As	0.12	109	1.03	0.02	0.15
Cd	0.003	4	0.05	0.008	0.03
Cr	0.11	14	1.63	0.13	0.10
Cu	0.33	113	17.48	0.01	0.30
Hg	0.001	8	0.02	0.001	0.001
Ni	0.27	165	3.63	0.39	0.50
Pb	0.03	12	1.3	0.07	0.20
Zn	0.44	65	53.3	1.08	1.50

For å modellere metaller i Vefsnfjorden er det i tillegg til tilførslene nødvendig å spesifisere konsentrasjonen i kystvannet på utsiden av fjorden. Det er benyttet tall fra Veileder 97:03 som angir bakgrunnsverdier, siden det mangler målinger fra kystvannet (se Tabell 2). Verdiene som legges inn i kystvannet vil ha stor betydning for konsentrasjonene inne i fjorden.

3 SedFlex modellen

3.1 Beskrivelse av modellen

SedFlex er en dynamisk multi-media fugasitets-boks-modell for spredning, lagring og nedbryting av miljøgifter i fjorder og fjordsedimenter. At den er multi-media betyr at den regner ut konsentrasjoner av miljøgiftene i tre forskjellige media: i vann, suspenderte partikler og i sedimentene. At den er dynamisk betyr at den regner ut endringer over tid, hvor konsentrasjoner av miljøgifter ikke umiddelbart blir borte selv om man tar bort utslippskilder. Den regner ut gjennomsnittlige konsentrasjoner over større områder enn det man gjør i en full 3D-modell, noe som gjør at den er lettere å sette opp, kjører mye raskere og er derfor godt egnet til å utforske scenarier.

Modellen ble utviklet i forbindelse med modellering av miljøgifter i forskjellige fjorder i Norge. Armitage et al. (2005) brukte SedFlex for å modellere PAH i Sunndalsfjorden. Modellkonseptet er beskrevet av Saloranta et al. (2006). Barton (2008) og Næs et al. (2009) bruker SedFlex for å modellere dioksiner i Grenland og bruker resultatene i kost-nytte analyse av tiltak mot forurensede sedimenter.

3.2 Modelloppsett for Vefsnfjorden

I SedFlex er Vefsnfjorden delt inn i fem bokser (se Figur 4). Den første boksen har vi kalt «Elveutløp» og den har to lag, et for 0-10 m og et for 10m til bunn. Tilførsel fra Vefsna går inn i det øverste laget og et av renseanleggene (Bordvedneset) har utslipp i det nederste laget. Rett utenfor Alcoa er det en boks som er kalt «Mosjøen» som har tre lag fra 0-10m, fra 10-50m og fra 50m til bunn. Alcoa har utslipp til overflatelaget i denne boksen og et av renseanleggene (Kullstad) har utslipp til mellomlaget. Utenfor ligger boksen «Indre Vefsnfjorden» som går ut til ca. halvveis mellom Rynes og Altneset, som har tre lag. Utslipet fra deponiet på Rynes går ut i mellomlaget i denne boksen. Boksen «Midtre Vefsnfjorden» går ut til Utnes og har tre lag. Den ytterste boksen heter «Ytre Vefsnfjorden» og strekker seg ut til Kvitneset. Denne boksen har et overflatelag fra 0-10 m og et lag som går fra 10m og ned til bunn.

Alle parameterne som er brukt i modellen er listet opp i Vedlegg A.



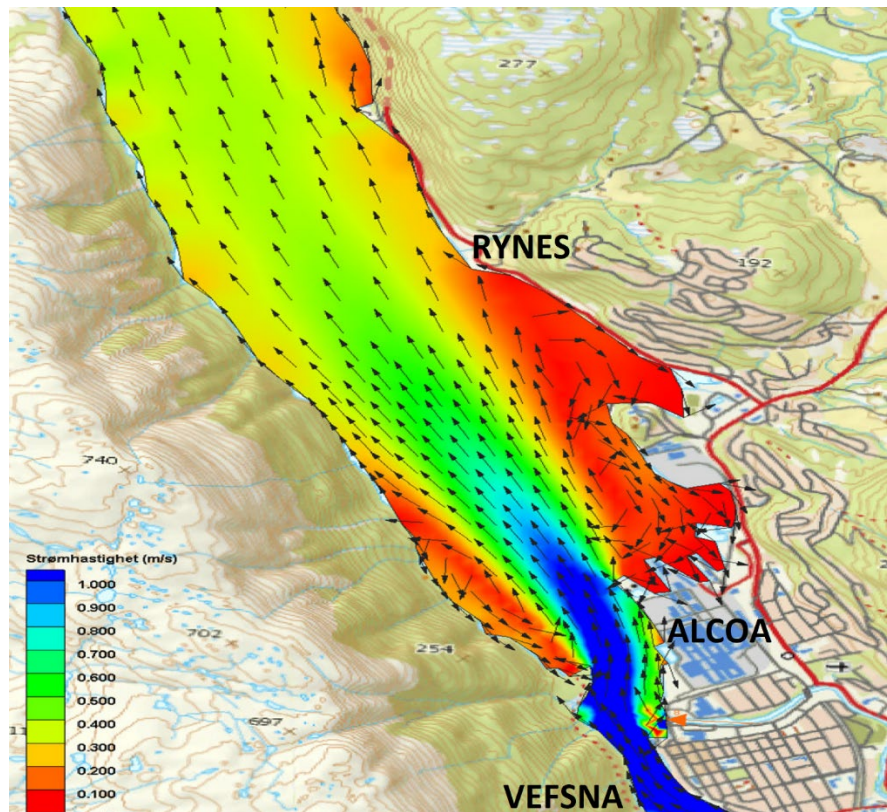
Figur 4. Kart over av Vefsnfjorden. De røde linjene er grenser for de fem boksene i SedFlex-modellen. Utslippspunktet til Alcoa er markert med oransj prikk. De lilla prikkene er omtrentlig utslippspunkt for rensanleggene Bordvedneset og Kullstad. De grå prikkene er blåskjellstasjoner. Utslipet for deponiet på Rynes er ved punkt B3.

3.1 Sirkulasjon i Vefsnfjorden

Innerst i fjorden har elva Vefsna sitt utløp, med et nedbørsfelt på 4228 km². Bortsett fra noen av sideelvene så er ikke vassdraget regulert, som gjør at vannføringen har en naturlig høy variasjon. Når ferskvann renner ut i en fjord fører dette til det som kalles estuarin sirkulasjon. Ferskvannet fra Vefsna er lettere enn saltvannet i fjorden, og legger seg som et ferskvannslag i overflaten som beveger seg ut mot havet. Strømmen i Indre Vefsnfjorden sitt overflatelag er vist i Figur 5, og det er tydelig at elva påvirker strømmen i mesteparten av denne delen av fjorden. På grunn av friksjon så drar det ferske overflatelaget med seg saltvann fra vannmassene rett under ferskvannslaget. Dette resulterer i at volumtransporten og saltholdigheten i overflatelaget blir høyere. Det saltvannet som rives med vil fortynde konsentrasjon av stoffer i ferskvannslaget. I denne rapporten vil målinger av hvor stor andel ferskvann det er i overflatelaget brukes for å beregne fortykning av elvevannet, og dermed også fortykning av utslippet til Alcoa som blandes inn i elvevannet rett ved munningen.

I SedFlex er Vefsna lagt inn med en vannføring på 170 m³/s. Staalstrøm et al. (2020) beregnet at overflatevannet i fjorden innenfor Alterneset består av ferskvann fra Vefsna blandet med ca. en tredjedel

med saltvann fra laget under. Derfor er det lagt inn en oppadgående strøm på 60 m³/s til overflatelaget. Dette er fordelt med 40 m³/s i Indre Vefsnfjorden og 10 m³/s i hver av de to bassengene Mosjøen og Elveutløpet. Denne vannmassen trekkes inn fra mellomlaget i Midtre Vefsnfjorden, som henter dette vannet fra bassengene utenfor.



Figur 5. Overflatestrømmen i indre del av Vefsnfjorden. Fargeskalaen angir strømstyrke mens pilene viser retningen. Data er hentet fra et modelloppsett med SMS-modellen (Molvær, 2010).

Fra strømmønsteret vist Figur 5 er det tydelig at elvestrømmen ut fra Vefsna skaper en bakevje utenfor Alcoa. I SedFlex er dette lagt inn ved at det er en volumstrøm i overflatelaget på 580 m³/s som går fra indre Vefsnfjorden til bassenget Mosjøen, videre til bassenget Elvemunningen og ut i fjorden igjen.

På toppen av den estuarine sirkulasjonen og bakevjeeffekten er det lagt inn en volumstrøm fram og tilbake horisontalt mellom alle boksene basert på areal og en typisk strømstyrke. Molvær (2010) målte strøm i 10 m dyp utenfor Alcoa og i 95 % av tiden var strømstyrken der under 2 cm/s. I overflatelaget er derfor den typiske strømstyrken satt til 2 cm/s. I 10-50 m er den satt til 1,5 cm/s og i de dypeste laget til 0,5 cm/s. Det fins ikke observasjoner som kan brukes til å vurdere hvor riktig disse antagelsene er, men dette er typiske strømstyrker enn finner i slike fjordområder.

Tabell 3. Transport som er lagt inn i SedFlex modellen for Vefsnfjorden. Enheten på volumstrømmene er m³/s. Tallene i hver rad er transporten ut av boksen i første kolonne og til boksen i første rad. Som et eksempel så er transporten fra Elveutløp 0-10m til Indre 0-10 m 886 m³/s. Transport motsatt vei er 116 m³/s. For hver boks skal summen av transport inn og ut være null. Unntaket er de boksene som står i forbindelse med de ytre områdene. Vefsna har en volumstrøm på 170 m³/s inn i Elveutløp 0-10m. Det ytre havområdet har en transport på 60 m³/s inn i boksen Ytre 10-bunn. Dette er det som kalles den estuarine sirkulasjon. Elvetilførsel og estuarin sirkulasjon balanseres av overflatestrømmen ut til havet.

	Elve- utløp 0-10m	Elve- utløp 10- bunn	Mo- sjøen 0-10m	Mo- sjøen 10- 50m	Mo- sjøen 50- bunn	Indre 0-10m	Indre 10- 50m	Indre 50- bunn	Midtre 0-10m	Midtre 10- 50m	Midtre 50- bunn	Ytre 0-10m	Ytre 10- bunn
Elveutløp 0-10m	0	0	350	0	0	886	0	0	0	0	0	0	0
Elveutløp 10-bunn	10	0	0	635	0	0	316	0	0	0	0	0	0
Mosjøen 0-10m	940	0	0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0
Mosjøen 10-50m	0	635	10	0	0	0	316	0	0	0	0	0	0
Mosjøen 50-bunn	0	0	0	0	0	0	0	190	0	0	0	0	0
Indre 0-10m	116	0	696	0	0	0	0	0	1295	0	0	0	0
Indre 10-50m	0	326	0	326	0	40	0	0	0	610	0	0	0
Indre 50-bunn	0	0	0	0	190	0	0	0	0	0	480	0	0
Midtre 0-10m	0	0	0	0	0	1065	0	0	0	0	0	2180	0
Midtre 10-50m	0	0	0	0	0	0	670	0	0	0	0	0	1110
Midtre 50-bunn	0	0	0	0	0	0	0	480	0	0	0	0	2790
Ytre 0-10m	0	0	0	0	0	0	0	0	1950	0	0	0	0
Ytre 10-bunn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1170	2790	0	0
Sum Inn	1066	961	1056	961	190	2107	1302	670	3245	1780	3270	2180	3900
Sum Ut	1236	961	1056	961	190	2107	1302	670	3245	1780	3270	1950	3960
Differ- ranse	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-230	60

4 Redegjøre for miljøpåvirkning av tungmetallutslipp til vann

I denne redegjørelsen skal det tas hensyn til hvordan utslippet blandes inn i vannmassene og hvordan strømninger, tidevann, sedimentering, årstidsvariasjoner o.l. vil påvirke utslippets spredning. Vi har modellert spredning av de åtte metallene arsen, kadmium, krom, kobber, kvikksølv, nikkel, bly og sink. SedFlex er kalibrert opp mot målinger av metaller i sedimentene. For å klassifisere metaller i sedimenter skal grenseverdier fra Miljødirektoratets veileder M-608 benyttes (Pettersen, 2016) som er vist i Tabell 4. Grenseverdier for konsentrasjon i vannmassen er vist Tabell 5.

Tabell 4. Grenseverdier for metaller i sediment. Enheten er mg/kg i tørrvekt.

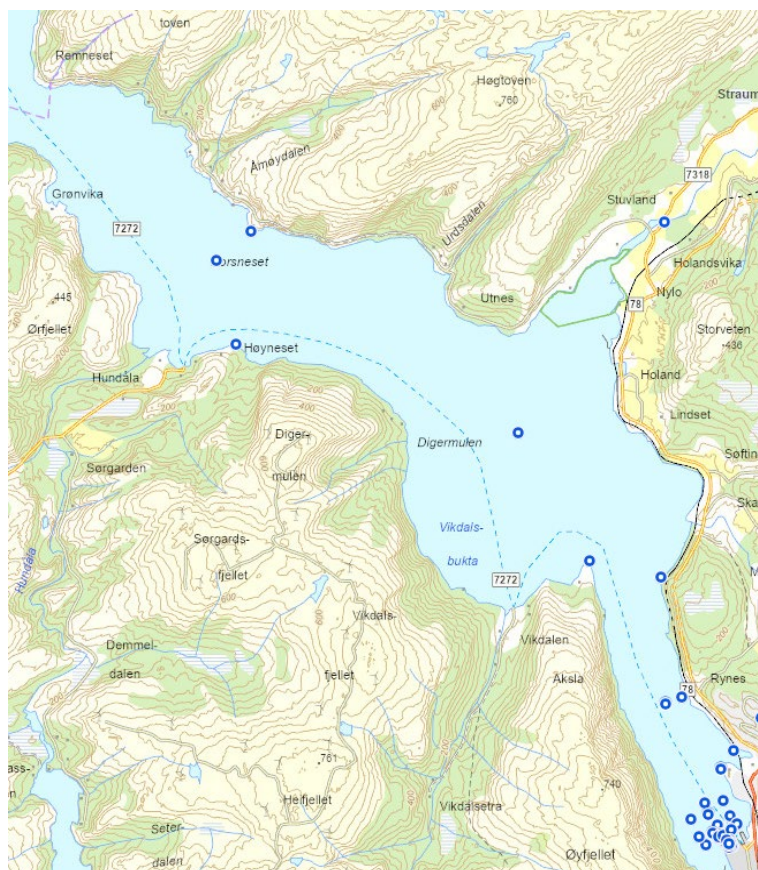
Metall	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
As	<15	15-18	18-71	71-580	>580
Cd	<0.2	0.2-2.5	2.5-16	16-157	>157
Cr	<60	60-620	620-6000	6000-15000	>15000
Cu	<20	20-84		84-147	>147
Hg	<0.05	0.05-0.52	0.52-0.75	0.75-1.45	>1.45
Ni	<30	30-42	42-271	271-533	>533
Pb	<25	25-150	150-1480	1480-2000	>2000
Zn	<90	90-139	139-750	750-6690	>6690

Tabell 5. Grenseverdier for metaller i vannmassen. Enheten er µg/L.

Metall	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
As	<0.15	0.15-0.6	0.6-8.5	8.5-85	>85
Cd	<0.03	0.03-0.2	0.2-0.45	0.45-4.5	>4.5
Cr	<0.1	0.1-3.4	3.4-35.8	35.8-358	>358
Cu	<0.3	0.3-2.6		2.6-5.2	>5.2
Hg	<0.001	0.001-0.047	0.047-0.07	0.07-0.14	>0.14
Ni	<0.5	0.5-8.6	8.6-34	34-67	>67
Pb	<0.02	0.02-1.3	1.3-14	14-57	>57
Zn	<1.5	1.5-3.4	3.4-6	6-60	>60

4.1 Måling av tungmetaller i Vefsnfjorden

Sedimentmålinger har blitt lastet ned fra Vannmiljø. Plassering av målepunktene er vist Figur 6. Metaller i sedimentene er klassifisert etter grenseverdiene i Tabell 4. Hvis gjennomsnittet av målinger i hver boks legges til grunn er det kun arsen i sedimentene som ikke får tilfredsstillende klassifisering, og det er da i de to ytterste modellboksene klassifiseringen ikke er tilfredsstillende. Det fins flest målinger rett utenfor Mosjøen og her forekommer det høye målinger av nikkel, sink, kobber og arsen.



Figur 6. Plassering av målepunkter fra metaller i sediment hentet fra Vannmiljø-databasen.

Tabell 6. Målte sedimentkonsentrasjoner i hver boks i modellområdet basert på data fra Vannmiljø. Verdiene er klassifisert etter grenseverdiene Tabell 4.

Boks	n		Målte sedimentkonsentrasjoner (mg/kg/TS)							
			Cd	Cr	Ni	Zn	Pb	Hg	Cu	As
Elve- utløp	2 (Ni)	MAX	0.2	31.1	19.7	55.9	9.7	0.017	24.0	6.9
	3 (As)	MIN	0.2	20.6	17.6	38.4	6.1	0.008	16.6	6.0
	5 (øvrige)	AVG	0.2	24.8	18.7	46.5	7.3	0.012	19.3	6.3
Mosjøen	26 (As)	MAX	0.8	34.4	78.5	512	55.4	0.063	109	93.0
	27 (Ni)	MIN	0.1	0.3	13.9	28.0	5.8	0.003	6.4	3.0
	34 (øvrige)	AVG	0.2	23.3	25.8	80.9	16.8	0.023	27.1	9.2
Indre Vefsnfjord	3 (As, Ni)	MAX	0.2	40.2	26.0	69.9	16.0	0.031	29.6	19.0
	6 (øvrige)	MIN	0.1	0.3	25.0	61.0	12.0	0.019	23.0	11.0
		AVG	0.1	19.7	25.7	64.7	14.2	0.024	26.4	15.7
Midtre Vefsnfjord	3	MAX	0.1	0.3	37.0	69.9	28.0	0.032	28.0	30.0
		MIN	0.1	0.3	31.0	61.0	21.0	0.026	26.0	24.0
		AVG	0.1	0.3	34.0	64.7	25.0	0.029	27.0	27.7
Ytre Vefsnfjord	3 (As, Ni)	MAX	0.3	59.7	42.0	110	31.0	0.040	32.7	35.0
	6 (øvrige)	MIN	0.1	0.3	39.0	98.0	25.0	0.031	27.0	23.0
		AVG	0.2	29.6	41.0	102	27.0	0.036	29.9	29.0

4.2 Modelling av tungmetaller i Vefsnfjorden

SedFlex modellen er kalibrert opp mot målinger av tungmetaller i sedimentene. I Tabell 7 er modellerte metallkonsentrasjoner i sedimentene sammenlignet med observasjoner. De modellerte konsentrasjonene er av riktig størrelsesorden i alle boksene i modellen. For arsen, kobber, nikkel og bly er det signifikant økende trend utover i fjordsystemet. Den samme trenden finnes igjen i modelldataene, men i mindre grad.

Tabell 7. Sammenligning av målinger av metaller i sediment fra Tabell 6 (OBS.) og modellresultater fra SedFlex (MOD.). Modelldataene er middelverdien av de to øverste lagene i hver boks.

Område	As mg/kg		Cd mg/kg		Cr mg/kg		Cu mg/kg		Hg mg/kg		Ni mg/kg		Pb mg/kg		Zn mg/kg	
	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.	OBS.	MOD.
Elveut.	6.3	18.2	0.2	0.16	24.8	34.0	19.3	32.0	0.012	0.024	18.7	25.5	7.3	15.0	46.5	61.4
Mosj.	9.2	19.2	0.2	0.17	23.3	32.2	27.1	30.3	0.023	0.025	25.8	26.7	16.8	15.5	80.9	60.8
Indre	15.7	19.6	0.1	0.17	19.7	31.0	26.4	29.9	0.024	0.025	25.7	27.0	14.2	15.9	64.7	62.0
Midtre	27.7	20.9	0.1	0.18	0.3	28.4	27.0	29.1	0.029	0.024	34.0	28.3	25.0	17.2	64.7	65.8
Ytre	29.0	20.1	0.2	0.19	29.6	25.2	29.9	27.5	0.036	0.022	41.0	27.2	27.0	16.9	102.0	64.7

Det har blitt kjørt to modellscenarier hvor først alt utslipp har blitt fjernet og så har alt utslipp fra deponiet blitt tatt bort. Hensikten med disse scenariene var å se på hvor stor påvirkning disse to kildene har på metallkonsentrasjonene i fjorden. I Tabell 8 vises prosentvis reduksjon av metaller i sedimentene hvis utslippet fra Alcoa fjernes. Utslipp av nikkel fra Alcoa forårsaker opp mot en halv prosent av sedimentkonsentrasjonen rett utenfor Mosjøen. For de andre metallene og i resten av fjorden har utslippet fra Alcoa liten betydning for sedimentkonsentrasjonene. Dette skyldes at utslippet fra Alcoa er lite sammenlignet med tilførselen fra Vefsna.

Tabell 8. Prosentvis reduksjon av konsentrasjon i sedimentene hvis utslippet fra Alcoa fjernes. Enheten på tallene er %.

Område	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Elveutløp	0.11	0.00	0.12	0.06	0.00	0.39	0.20	0.08
Mosjøen	0.10	0.00	0.19	0.03	0.00	0.49	0.19	0.13
Indre	0.05	0.00	0.10	0.03	0.00	0.26	0.13	0.06
Midtre	0.00	0.00	0.07	0.03	0.00	0.14	0.06	0.03
Ytre	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.07	0.06	0.02

Tabell 9. Prosentvis reduksjon av konsentrasjon i sedimentene hvis utslippet fra deponiet ved Rynes fjernes. Enheten på tallene er %.

Område	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Elveutløp	0.66	0.61	0.18	0.31	9.88	0.31	0.13	0.05
Mosjøen	0.57	0.58	0.25	0.30	12.20	0.30	0.13	0.07
Indre	0.61	0.57	0.23	0.33	10.40	0.30	0.13	0.05
Midtre	0.24	0.00	0.11	0.14	4.15	0.11	0.06	0.02
Ytre	0.10	0.00	0.04	0.04	0.89	0.04	0.00	0.02

I Tabell 9 vises prosentvis reduksjon av metaller i sedimentene hvis utslippet fra deponiet ved Rynes fjernes. Dette utslippet er viktigere for sedimentene i fjorden enn utslippet fra Alcoa, men påvirker også i

relativt liten grad. Unntaket er kvikksølv i sedimentene hvor over 10 % stammer fra deponiet i fjorden innenfor Rynes.

4.3 Tungmetaller i vannmassene og i blåskjell

Blåskjell (*Mytilus edulis*) egner seg godt for å vurdere hvor mye miljøgifter det er i vannmassen. Et voksent blåskjell kan filtrere over 100 liter vann i døgnet (Strohmeier & Strand, 2021). De vil derfor ta opp miljøgifter. NIVA har gjennomført tiltaksorientert overvåking av Vefsnfjorden for Alcoa Mosjøen i 2021 (Øxnvad & Hjermann, 2022). Det ble analysert blåskjell fra seks stasjoner, hvor fem av disse er brukt i denne rapporten (se Figur 4 for plassering). I Tabell 10 vises resultatene fra blåskjell analysene fra 2021 sammenlignet med PROREF-verdien. Metodikk for å beregne PROREF verdien er beskrevet av Green et al. (2022). Kort fortalt så er PROREF basert på data fra 1991-2015 fra Milkys-programmet³, hvor stasjonene er sortert etter årlig medianverdi. Det ble plukket ut en gruppe stasjoner som hadde statistisk lavere medianverdi enn resten av stasjonene ved bruk av en t-test. PROREF-verdien er definert som 95 prosentilverdien for målingene fra denne gruppen av stasjoner. PROREF verdiene som er brukt er hentet fra tabell 27 i Green et al. (2022).

Her foreslås det at målet for blåskjell i Vefsnfjorden er at metallkonsentrasjonene er lavere enn PROREF med god margin, og i Tabell 10 sammenlignes verdiene med 90 % av PROREF verdien. Vi antar at det er en lineær sammenheng mellom konsentrasjon i vannmassen og i blåskjell, og vi har beregnet nødvendig reduksjon av tungmetaller i vannmassen for å oppnå målet. Konsentrasjon av kadmium, krom, kvikksølv og nikkel i vannmassen må reduseres. Kvikksølv må reduseres med hele 70 %. Krom og nikkel må reduseres med 21 % og kadmium med 6 %.

Tabell 10. Resultat for analyse av tungmetaller i blåskjell i Vefsnfjorden i 2021 (Øxnvad & Hjermann, 2022). Konsentrasjonen er mg/kg. Der konsentrasjonen er høyere enn 90% av PROREF verdien er verdien merket gult.

Metall	PROREF	Foreslått mål (0.9xPROREF)	B1 Finnvika	B3 Rynes	B7 Åsmulen	B2 Alter- neset	B4 Høy- neset	Gjennom- snitt	Nødvendig reduksjon %
As	2.503	2.253	2.20	2.20	2.50	1.60	2.00	2.10	
Cd	0.180	0.162	0.17	0.19	0.19	0.16	0.15	0.17	6
Cr	0.361	0.325	0.28	0.29	0.29	0.53	0.58	0.39	21
Cu	1.400	1.260	0.60	0.50	0.70	1.00	1.13	0.79	
Hg	0.012	0.011	0.012	0.017	0.019	0.017	0.027	0.02	70
Ni	0.290	0.261	0.20	0.20	0.20	0.55	0.43	0.32	21
Pb	0.195	0.176	0.09	0.09	0.11	0.17	0.17	0.13	
Zn	17.66	15.894	6.70	7.50	8.70	11.00	10.70	8.92	

For krom, kobber, nikkel, bly og sink er det en trend som viser at konsentrasjonen øker utover i fjordsystemet. Med SedFlex modellen kan denne trenden kun forklares ved at det settes en høyere verdi på konsentrasjonen ute i kystvannet, enn konsentrasjonen som er i kildene innerst i fjorden. Dette betyr at påvirkningen fra kystvannet er viktig.

³ «Miljøgifter i kystområdene» <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/miljoovervaking/overvakingsprogrammer/forurensning-og-klimagasser/miljogifter-langs-kysten/>

Vi har brukt SedFlex til å beregne hvor stor reduksjon det er mulig å oppnå ved å fjerne forskjellig utslipp til Vefsnfjorden. Vi har kjørt to hypotetiske scenarier hvor all tilførsel fra hhv. Alcoa og deponiet på Rynes er fjernet. Alcoa påvirker konsentrasjonen i Vefsnfjorden i liten grad, og det er kun lokalt at konsentrasjonen potensielt kan reduseres med mer enn en halv prosent.

Utslipet av kvikksølv fra deponiet påvirker konsentrasjonen i hele Vefsnfjorden i stor grad. Konsentrasjonen av kvikksølv kan reduseres med hele 15 % i hele fjorden innenfor Rynes om avrenningen fra deponiet ble fjernet.

Tabell 11. Mulig prosentvis reduksjon av konsentrasjon i vannmassen hvis all tilførsel fra hhv. Alcoa og deponiet på Rynes fjernes. Der reduksjonen er av en størrelsesorden som gjør at dette kan være relevant for å nå målene foreslått i Tabell 10, er cellene merket gult.

Stoff	Ingen avrenning fra Alcoa		Ingen avrenning fra deponi	
	Lokalt	Hele fjorden	Lokalt	Hele fjorden
As	0.29 %	0.06 %	1.01 %	0.34 %
Cd	0.53 %	0.08 %	0.50 %	0.18 %
Cr	0.32 %	0.09 %	0.41 %	0.11 %
Cu	0.18 %	0.04 %	0.59 %	0.19 %
Hg	0.55 %	0.11 %	14.90 %	5.37 %
Ni	1.29 %	0.24 %	0.51 %	0.17 %
Pb	0.61 %	0.11 %	0.16 %	0.06 %
Zn	0.28 %	0.05 %	0.08 %	0.03 %

5 Utslippsreducerende tiltak for tungmetallutslipp til vann

Bedriften skal redegjøre for mulige tiltak for å redusere utslipp av de 4 tungmetallene krom, nikkel, sink og kadmium. Bakgrunn for utredningskrav er økte metallnivåer i blåskjell i bedriftens overvåking i 2019.

5.1 Produksjon

Alcoa importerer aluminiumoksid (Al_2O_3 , «oksid»), koks og bek med skip til produksjon av primæraluminium. Oksid reduseres til aluminiummetall i totalt tre elektrolysehaller, mens koks og bek er inngangsstoffer i anodebakeriet. Råvarene bestilles sentralt hos Alcoa, som bruker samme underleverandører i konsernets samtlige smelteverk.

Koks og bek har opphav i fossilt karbon og derfor svært heterogen kjemisk sammensetning. Koks er et tørrstoff og framstilles ved tørrdestillasjon av steinkull og utgjør den faste massen i anodene, mens bek er tregtflytende og fungerer som bindemiddel. Organisk karbon inkl. PAH-forbindelser brennes av ved høye temperaturer i prosessen.

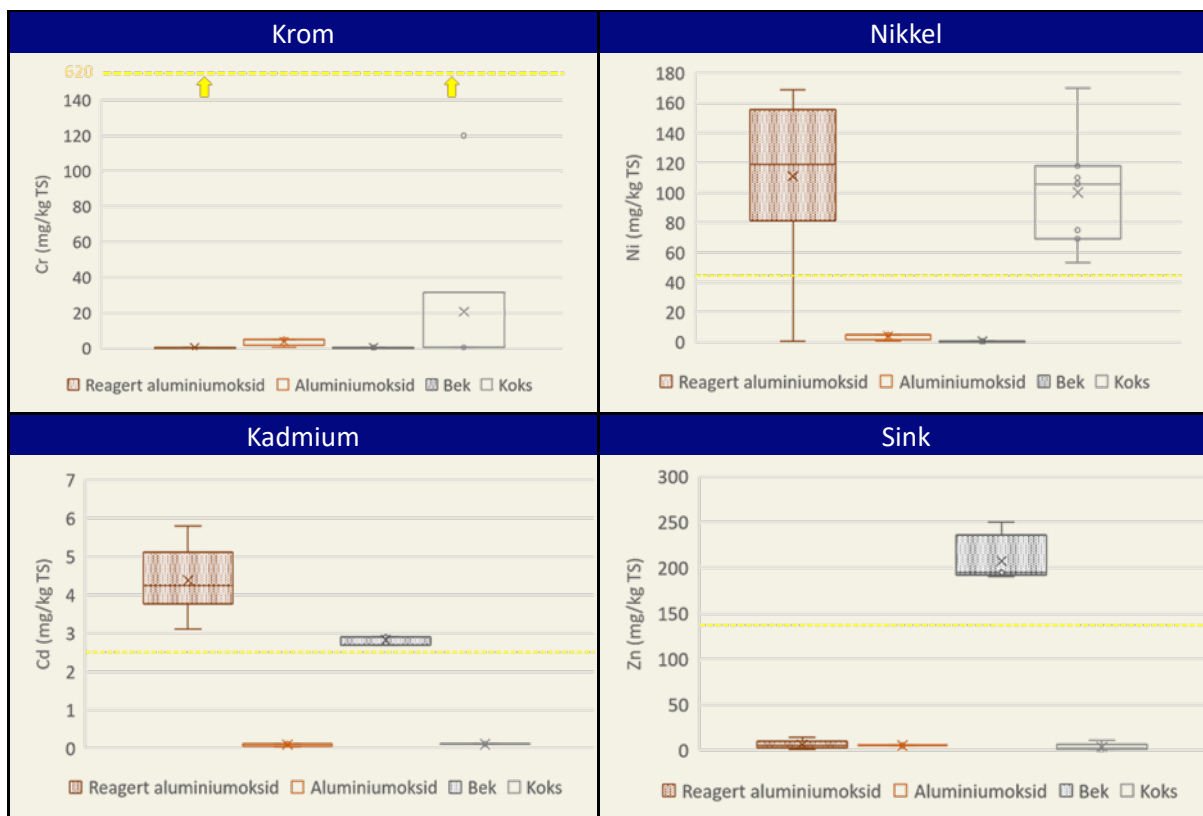
Alcoas produksjon av primæraluminium har siden 2018 vært stabil i underkant av 200 000 tonn pr år (gjennomsnitt 2018-2022: 199 120 tonn/år), tilsvarende øvre grense i gjeldende tillatelse. Forbruk av oksid beregnes med multiplikasjonsfaktor fra produsert mengde primæraluminium og er derfor også stabil. Basert på stabil produksjon av primæraluminium kan det også antas at forbruk av koks (ca. 200 000 tonn pr år) og bek (ca. 50 000 tonn pr år) til produksjon av prebake anoder har vært stabil gjennom de siste 5 årene.

5.2 Metallnivåer i inngangsmaterialene oksid, koks og bek

NIVA har analysert krom, nikkel, kadmium og sink i inngangsmaterialer som var til stede på verket høsten 2022. Analysene viser at koks (n=6) er hovedkilde til bedriftens utslipp av krom og nikkel, mens bek (n=3) er hovedkilde til utslipp av sink og kadmium.

Som forventet måles svært lave metallnivåer i oksid. Krom, nikkel, kadmium og sink ligger under deteksjonsgrensen i alle analyserte batcher, gjennomsnittskonsentrasjoner i oksid er estimert tilsvarende 50% av deteksjonsgrensen i enkeltanalyser.

Reagertoksid er aluminiumoksid som har passert gjennom bedriftens renseanlegg, enten et av GTC-anleggene i elektrolysehallerne, hvor oksid blir tilsatt for å gi bedre rensing av fluorid, eller i FTC-anlegget i anodebakeriet, hvor det renses for PAH-forbindelser og fluorid. Tungmetaller er analysert i totalt seks prøver med reagertoksid, en prøve fra FTC og øvrige fem prøver fra GTC. Analysene viser at reagertoksid akkumulerer kadmium og noe sink i FTC, og nikkel/kadmium i GTC (Figur 7).



Figur 7. Analyseresultater for krom, nikkel, sink og kadmium i inngangsmaterialer brukt til produksjon av primæraluminium hos Alcoa i Mosjøen. Gul linje indikerer øvre grense for tilstandsklasse 2 i sediment iht. Veileder M-608/2016 (revidert 30.10.2020).

5.3 Vannfluks og utslippspunkter

Klaringsbasseng og utslippspunkter inne på verksområdet er vist i Figur 8.

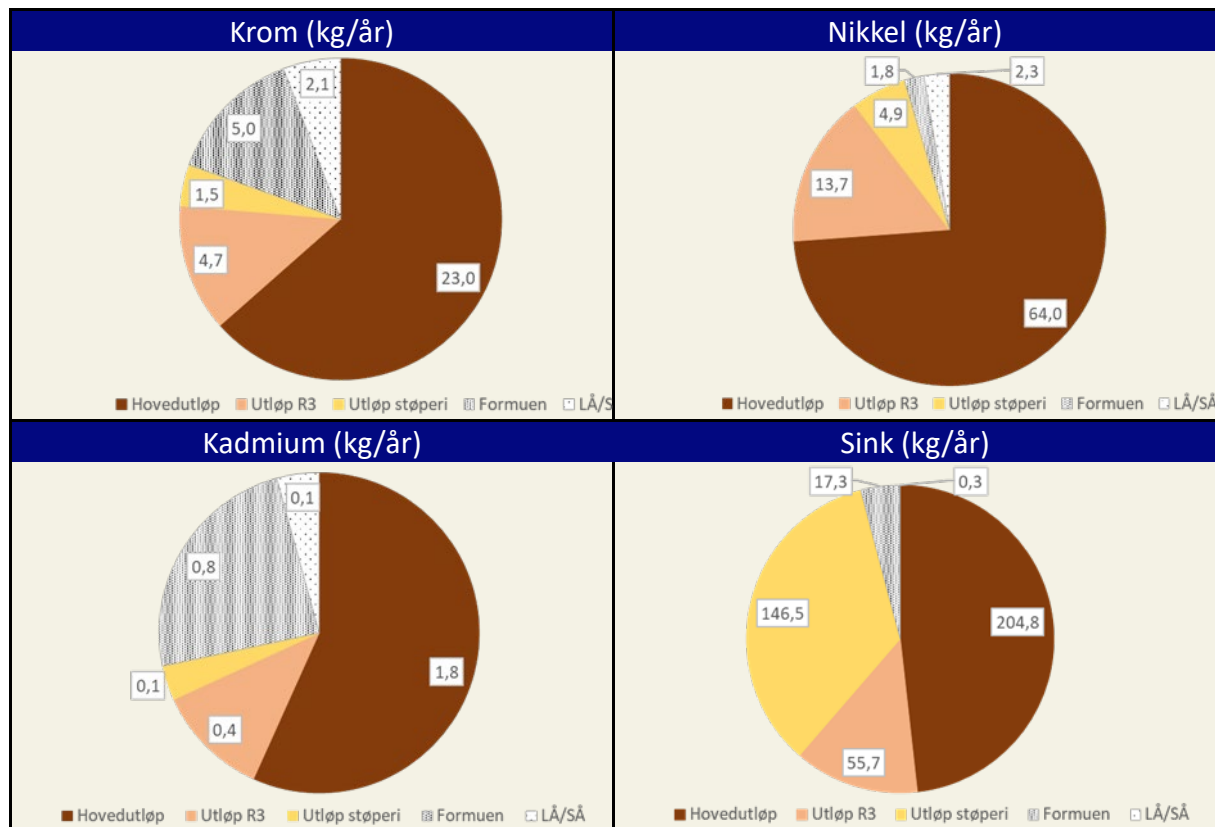


Figur 8. Skråblikk i nordlig retning over Alcoa Mosjøen. Klaringsbassenget er markert med gult område. Hovedutløp (gul stjerne) og separate utslippspunkter hhv. for støperi (S) og R3 er markert. Kart fra Google Earth.

5.4 Utslipp fra enkeltkilder

Beregnete utslippsmengder

Årlige utslipp av krom, nikkel, kadmium og sink til sjø er beregnet for de utslippspunkter som Alcoa måler på, henholdsvis fra utløpet av klaringsbasseng (hovedutløp), R3 og støperi, i tillegg til deponier på Formoen og Lille/Store Åsnevdal. Bidrag fra hovedutløpet dominerer for samlet utslipp av krom (63%), nikkel (74%), kadmium (57%) og sink (48%). For samlet utslipp av krom bidrar deponiene med 20%, og for kadmium 28%. Størst bidrag fra støperiet til samlet utslipp ses for sink (19%) (Figur 10).

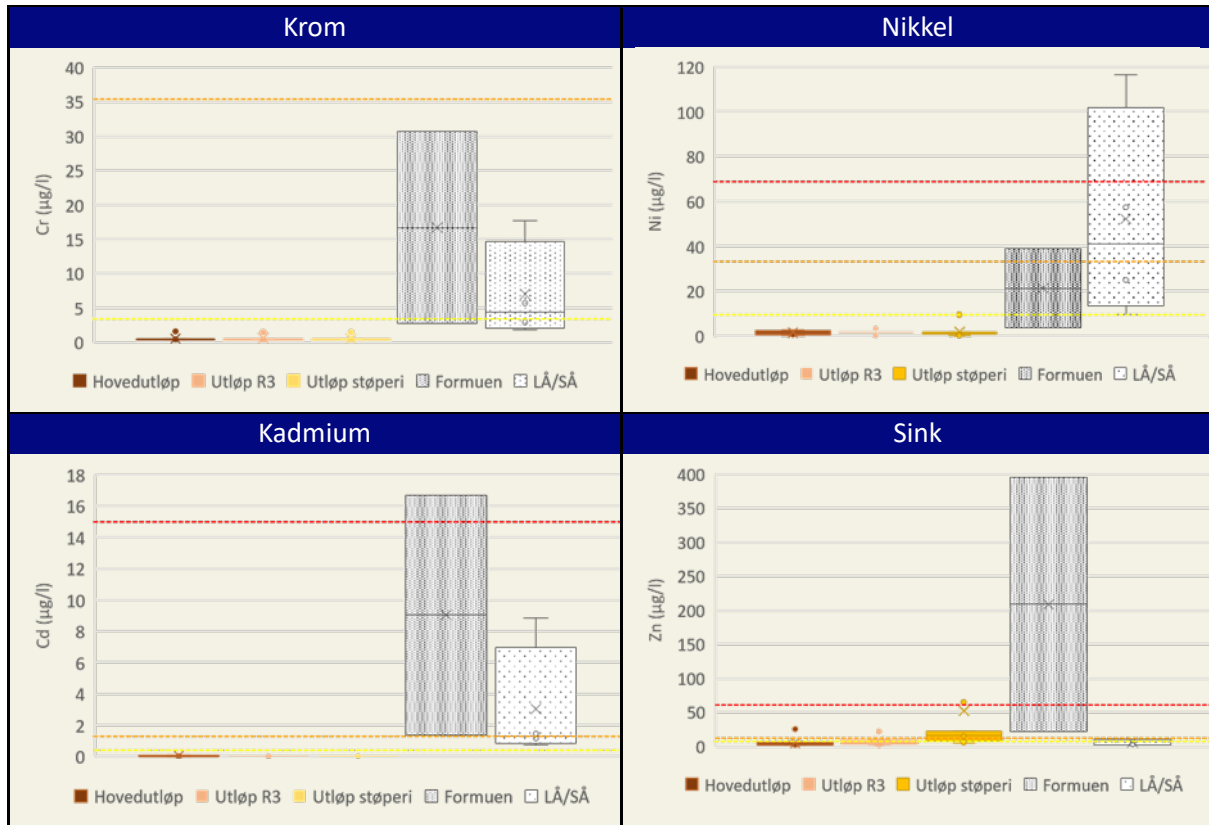


Figur 10. Beregnede årlige utslipp av krom, nikkel, kadmium og sink fra Alcoa i Mosjøen fordelt på enkeltkilder. n = 12 (hovedutløp, R3, støperi - månedlige målinger i 2021), n = 2 (Formoen - enkeltmålinger hhv. 2020 og 2022), n = 4 (Lille og Store Åsnevdal - enkeltmålinger hhv. 2019, 2020, 2021, 2022). Data fra Alcoa.

Målte utslippskonsentrasjoner

For målte utslippskonsentrasjoner tegnes et litt annerledes bilde enn for beregnede utslippsmengder. Høyest metallkonsentrasjoner går til sjø fra deponiene Formoen og Store/Lille Åsnevdal, med utslipp på ca. 40 meters dyp utenfor Rynes. For sink går nærmest gjennomgående akutt-toksiske konsentrasjoner til sjø, også for nikkel og kadmium er det målt akutt-toksiske konsentrasjoner i sigevannet. For utslipp fra deponiene er det tatt høyde for vannflukser, men ikke metallkonsentrasjoner i sigevannet fra øvrige deponier som går til sjø fra det samme utslippspunktet utenfor Rynes (aktivt deponi SHMIL og nedlagt kommunalt deponi). Utslippskonsentrasjoner fra Formoen og Store/Lille Åsnevdal er beregnet på grunnlag av 2-4 enkeltmålinger 2019-2022 og må derfor betraktes som preliminare.

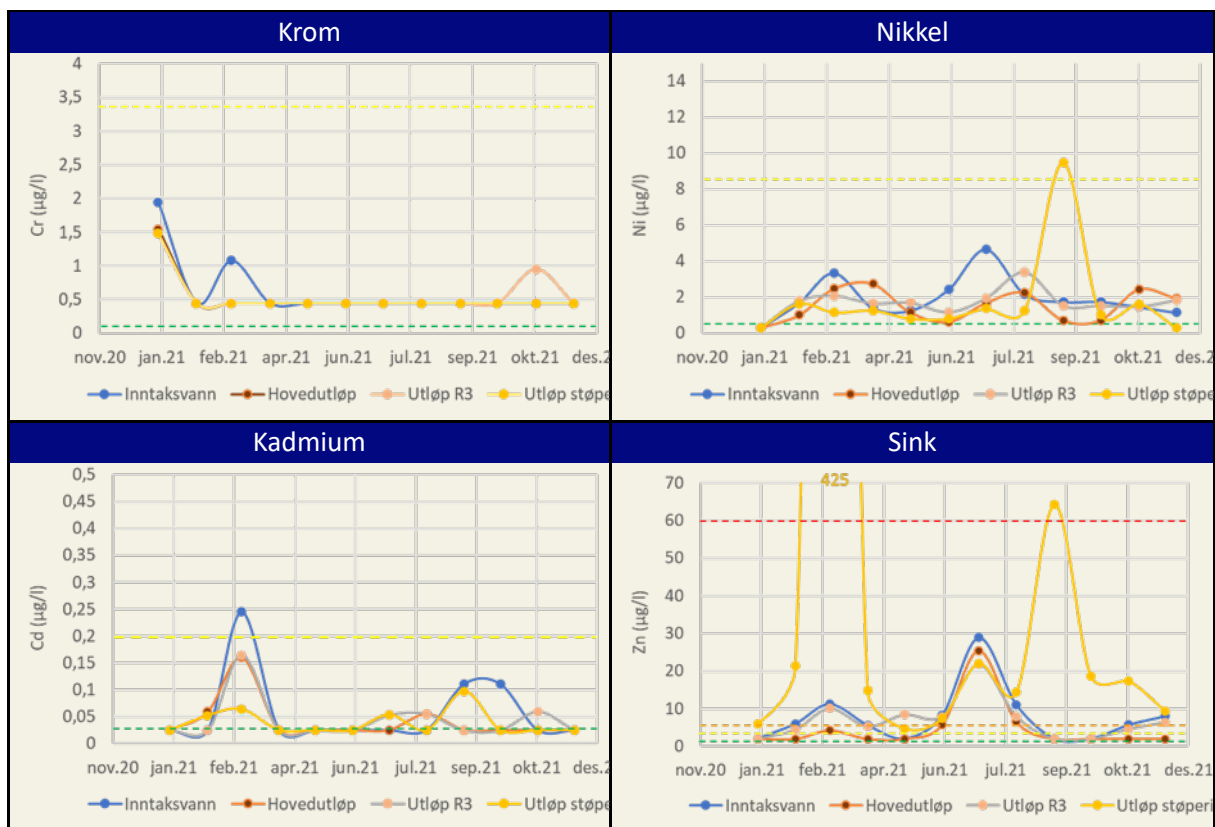
Utslippspunkter med opphav inne på verket (hovedutløp, R3 og støperi) har konsentrasjoner i tilstandsklasse 2 («god») for krom, kadmium og nikkel, unntatt en enkeltmåling for nikkel fra støperiet som er i tilstandsklasse 3 («moderat»). For sink (Figur 11) ligger målinger fra støperiet gjennomgående i tilstandsklasse 4 («dårlig») eller 5 («svært dårlig»), for øvrige kilder inkl. inntaksvannet ligger sink i tilstandsklasse 2 («god») eller 3 («moderat»).



Figur 11. Målte utslippskonsentrasjoner for krom, nikkel, kadmium og sink fra Alcoa i Mosjøen fordelt på enkeltkilder. n = 12 (hovedutløp, R3, støperi - månedlige målinger i 2021), n = 2 (Formoen - enkeltmålinger hhv. 2020 og 2022), n = 4 (Lille og Store Åsnevdal - enkeltmålinger hhv. 2019, 2020, 2021, 2022). Gul, oransje og rød linje indikerer øvre grense hhv. for tilstandsklasse 2, 3 og 4 i kystvann iht. Veileder M-608/2016 (revidert 30.10.2020). For kadmium er det brukt grenseverdier for utslipp til marin resipient med ≥ 200 mg CaCO₃ pr liter sjøvann. Data fra Alcoa.

Figur 12 viser hele målserien fra 2021 for kilder inne på verket. Inntaksvannet inneholder gjennomgående konsentrasjoner (langt) over naturlig bakgrunn for sjøvann. Tilsvarende, eller lavere konsentrasjoner krom, nikkel og kadmium måles i utslippet fra klaringsbassenget (hovedutløp) og utslippspunkt R3. Utslipp fra støperiet inneholder i perioder høyere, eller mye høyere konsentrasjoner av sink og nikkel, sammenlignet med inntaksvannet. Samlet er altså støperiet eneste utslippskilde inne på verket som gir netto metallutslipp (sink, nikkel) til sjø, samtidig er metallkonsentrasjoner i inntaksvannet flere ganger høyere enn i utslipp fra klaringsbassenget og utslippspunkt R3.

For å sikre et stabilt saltinnhold i sjøvannet er sjøvannsinntaket lagt på ca. 10 meters dyp sentralt i havnebassenget (Figur 13). Alle tre utslippspunkter med opphav inne på verket (hovedutløp, R3, støperi) går ut i sjøoverflaten, NIVA har i en tidligere undersøkelse (Molvær 2010) kartlagt fjordsirkulasjon i Vefsnfjordens indre deler og vist på flere bakevjer i overflatelaget opp mot kaianleggene inkl. havnebassenget hvor sjøvannsinntaket ligger. Det er derfor trolig at sjøvann resirkuleres og at metallkonsentrasjoner derfor bygges opp over tid i havnebassenget.



Figur 12. Målte utslippskonsentrasjoner for krom, nikkel, kadmium og sink fordelt på enkeltkilder hos Alcoa i Mosjøen. n = 12 (månedlige målinger i 2021). Grønn, gul, oransje og rød linje indikerer øvre grense hhv. for tilstandsklasse 1, 2, 3 og 4 i kystvann iht. Veileder M-608/2016 (revidert 30.10.2020). For kadmium er det brukt grenseverdier for utslipp til marin resipient med ≥ 200 mg CaCO₃ pr liter sjøvann. Data fra Alcoa.

I havnebassenget vil det også være oppvirvling fra skipspropeller fra fartøy som anløper/avgår Mosjøen havn. I perioden 2015-2022 ankom i gjennomsnitt 305 fartøy hvert år til Mosjøen havn, gjennomsnittlig dypgående for anløpende fartøy var 5,8 meter⁴. Oppvirvling av sjøbunnsedimenter er i henhold til risikoveilederen for forurenset sediment⁵ begrenset til vandndyp opptil 20 meter. Havnebassenget har vandndyp 10-11 meter, det vil si at gjennomsnittlig vannsøyle mellom skipspropeller og sjøbunn er ca. 5 meter. Det er store båter som anløper Mosjøen (gjennomsnittlig lengde 94 meter) og store krefter i sving. Det må derfor forventes en god del oppvirvling av sjøbunnsedimenter inne i havnebassenget i forbindelse med anløp og avgang, og at sedimentene derfor regelmessig flyttes rundt i havnebassenget. Dette bekreftes av store mengder sand som pumpes inn sammen med sjøvannet.

Sedimentanalyser på totalt 23 stasjoner i havnebassenget innenfor dybdekote 20 meter i 2011 viser at sjøbunnen stort sett hadde god kjemisk status med hensyn til innhold av krom, nikkel, kadmium og sink (Figur 13). På to stasjoner analysert i 2011 var det overskridelser av grenseverdien for nikkel, på to andre stasjoner overskridelser av grenseverdien for sink. Havneområdet i Mosjøen ble mudret i 2016, i første omgang for å fjerne historisk forurensing av PAH-forbindelser. Det er ikke gjennomført sedimentanalyser i havneområdet i etterkant av mudringen, sedimentene kan derimot forventes å inneholde lave metallnivåer som resultat av mudringstiltaket i 2016.

Som konklusjon er utslipp fra støperiet eneste kilde inne på verket som gir netto tilførsler av tungmetaller (sink og nikkel) til resipienten. Det er trolig at tungmetaller inkl. krom, nikkel, kadmium og sink resirkuleres

⁴ <https://kystdatahuset.no/>

⁵ <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m409/m409.pdf>

i havnebassenget. Noe tungmetall vil også importeres fra oppvirvlet sediment fra fartøy som anløper/avgår havnen, etter mudringstiltaket i 2016 forventes sedimentene derimot ikke å være kontaminert med tungmetaller. Kjemisk analyse av inntaksvannet, som typisk ligger i tilstandsklasse 2 («god») for krom, nikkel og kadmium bekrefter det. Tilstandsklasse 3-4 for sink i inntaksvannet understreker at bedriftens utslipp av sink, og særlig fra støperiet, forventes å gi størst miljøpåvirkning i resipienten.



Figur 13. Sedimentstasjoner 2009-2011 i havneområdet analysert for innhold av krom, nikkel, kadmium og sink. Kjemisk status med hensyn til samme metaller er indikert med fargekode: blå – god, og rød – ikke god. Alcoas sjøvannsinntak (vanddyb ca. 10 meter) er markert med grønn firkant.

Avvik og uhellsutslipp

Det er rapportert flere uhellsutslipp i senere år med relevans for økte metallnivåer målt i blåskjell i 2019.

Januar-februar 2017 (totalt 6 døgn): utslipp av 4800 m³ sigevann fra deponiet i Store Åsnevdal i forbindelse med et haveri på pumpestasjonen.

29.oktober 2018: utslipp av 290 m³ sigevann fra deponiet i Store Åsnevdal i forbindelse med et haveri på pumpestasjonen. Samlet for begge uhellsutslippene fra Store Åsnevdal (5090 m³) anslås metallutslipp tilsvarende 42 døgn med normal drift. Som vist i Figur 2 utgjør deponiene i Store/Lille Åsnevdal en liten kilde med hensyn til årlige utslippsmengder, Figur 3 viser derimot høye konsentrasjoner fra deponiene.

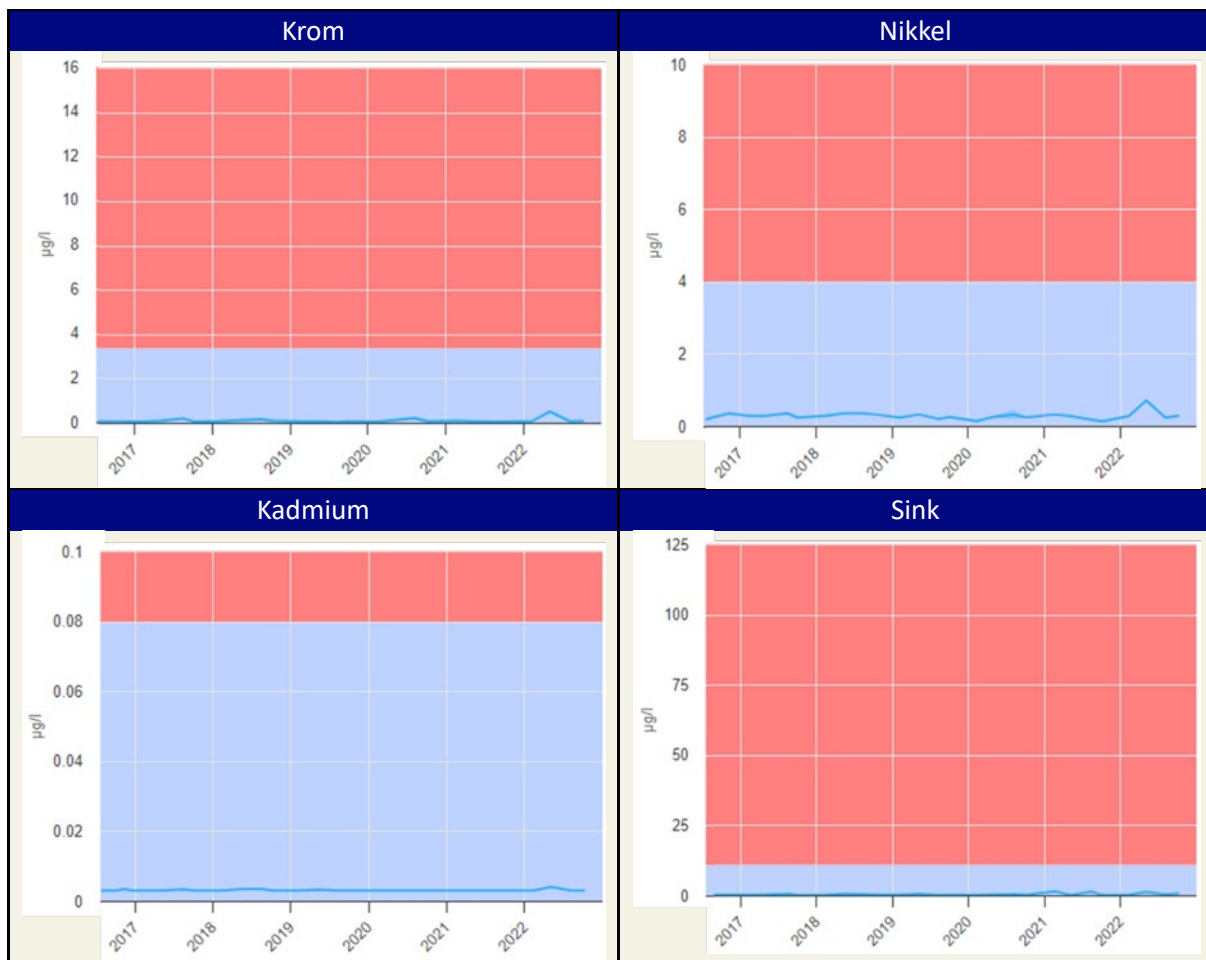
Juli 2019: mudring av klaringsbassenget inne på anlegget. Tiltaket førte til kraftig økte utslipp av PAH-forbindelser.

5.5 Eksterne utslippskilder

Vefsna

Vefsna har utløp like ved Alcoa og gir størst bidrag av tungmetaller til Vefsnfjorden. Vefsna inngår i elveovervåkingsprogrammet og tungmetaller måles 4 ganger i året. Resultater fra målestasjon Vaapstenjeanoe (ca. 4 km oppstrøms Mosjøen lufthavn) viser ingen økning i tilførsler av tungmetaller via Vefsna i senere tid (Figur 14).

Vannregionen Vefsna består av ti elver og tre innsjøer, regionen ble ferdig behandlet med rotenon i 2012 og Vefsna ble friskmeldt som fri for lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* i 2017. Rotenon ($C_{23}H_{22}O_6$) har ikke innhold av de 4 tungmetaller som utredningen dreier seg om.



Figur 14. Metallkonsentrasjoner målt på stasjon Vaapstenjeanoe i Vefsna, ca. 4 km oppstrøms Mosjøen lufthavn. Blå og rød bakgrunnsfarge indikerer hhv. god og ikke god kjemisk status i ferskvann. Data fra Vannmiljø.

Andre deponier

SHMIL har deponi med urensset utslipp av sigevann til den samme lokaliteten utenfor Rynes som Alcoa slipper ut til. I samme område ligger et avsluttet kommunalt deponi som også slipper ut urensset sigevann utenfor Rynes, men som NIVA ikke har klart å finne analysedata fra.

Kommunale renseanlegg

Utløp fra to kommunale renseanlegg, hhv. Bordvedneset og Kulstad, går ut i samme vannområde som Alcoa har utslipp til. Begge renseanleggene betjener <10 000 pe og har derfor ikke krav på tungmetallanalyser i avløpsvannet. Som nevnt i utredningen om miljøpåvirkning av tungmetaller til vann er utslippkonsentrasjoner av tungmetaller i avløpsvannet fra Bordvedneset og Kulstad estimert som tilsvarende målt mediankonsentrasjon i avløpsvann fra renseanlegg i Nord-Norge med mekanisk rensning av avløpsvannet. Det er ikke grunn å mistenke at det har vært økte tungmetallutslipp fra Bordvedneset eller Kulstad i senere tid.

Annen industri

Lengst ut på kaianleggene foran Alcoa driver Veidekke siden 2001-2002 en asfaltfabrikk under deler av året. Asfalt består av 94–95 % steinmaterialer og 5–6 % bituminøst bindemiddel. Bitumen kan forventes å inneholde tungmetaller på nivå med bek (**Figur 1**), det er derimot ikke prosessutslipp til sjø fra fabrikk i Mosjøen.

På Nesbruket noen hundretalls meter foran Alcoa drev Bergene Holm frem til 2014 med treimpregnering. På den 12 ha store industritomten har det i senere tid vært gravearbeider med målsetning om å fjerne sterkt kontaminerte masser, aktuell status for arbeidene er derimot ikke kjent. Det er tidligere påvist forurensing av sink og nikkel i jordprøver fra tomten, og det er mistanke om forurensing av krom og kadmium. Samlet påvirkningsgrad i kontaminerte masser er satt til gult nivå (nivå 2)⁶. Sigevann fra kontaminerte masser Nesbruket rinner ut i indre deler av Vefsnfjorden. Det er ikke registrert flomhendelser i berørt område etter 2004⁷.

Mosjøen veveri var frem til nedlegging i 2008 nabobedrift til Alcoa. Veveriet hadde blant annet utslipp av opptil 50 kg krom pr år, nøyaktig utslippspunkt til sjø er derimot ikke kjent, ikke heller om bedriften har deponert kromholdig avfall i området som fortsatt lekker ut i Vefsnfjorden.

⁶ <https://grunnforurensning.miljodirektoratet.no/>

⁷ <https://temakart.nve.no/tema/Flomhendelser>

5.6 Mulige tiltak

Kilder inne på verket

Klaringsbassenget, som samler opp overvann og rensert vann fra elektrolysehaller (R1, R2) og anodebakeri har samlet volum ca. 5000 m³ (120*20*2 meter). Med vannrate 5000 m³ pr time gir det midlet oppholdstid en time for vannmasser som passerer gjennom bassenget. Utsynkingsrate for partikler i klaringsbassenget er ikke kjent, **Figur 4** viser derimot at metallkonsentrasjoner ut av klaringsbassenget (hovedutløp) typisk ligger i tilstandsklasse 2 for krom, nikkel og kadmium i kystvann og derfor ikke må renses ytterligere med hensyn til utslippkonsentrasjoner av disse metallene. Utslippkonsentrasjoner fra R3, som går til sjø i separat rør, inneholder tilsvarende konsentrasjoner krom, nikkel og kadmium og er derfor heller ikke nødvendig å renses ytterligere.

Figur 2 viser lave utslippmengder fra støperiet. Utslippkonsentrasjoner for sink og nikkel i analyserte prøver ligger derimot oftest i tilstandsklasse 4-5 for kystvann, tilsvarende akutt-toksiske utslippkonsentrasjoner. Utslipp fra støperiet går i dag urensert til sjø og består i et kontinuerlig utslipp av kjølevann, og med batchvise utslipp av vaskerester av utstøpt metall. Hvis teknisk mulig bør vaskevann fra støperiet ledes til klaringsbassenget, hvor partikulært materiale kan skilles ut, og hvor samlet utslippkonsentrasjon av sink og nikkel kan fortynnes med øvrige vannstrømmer.

Inntaksvannet fra havnebassenget inneholder ofte høyere metallkonsentrasjoner enn i Alcoas hovedutløp. Spesielt høye inntakskonsentrasjoner ses for sink, resultatene peker derfor mot at utslippsvannet resirkuleres og at metallkonsentrasjoner bygger seg opp i havneområdet over tid. Hvis mulig bør sjøvanninntaket derfor flyttes til en ny lokalitet utenfor havnebassenget. Her er det viktig å merke seg at Alcoa er avhengig av at inntaksvannet har høy og stabil salinitet.

Utslipp fra deponier

Figur 2 viser at utslipp fra deponiene på Formoen og Store/Lille Åsnevdal gir store bidrag til samlet utslipp av krom og kadmium. **Figur 3** viser at utslippkonsentrasjoner fra deponiene typisk ligger i tilstandsklasse 4-5 for nikkel, kadmium og sink, selv når vannflukser fra øvrige deponier i samme område regnes inn (aktivt deponi SHMIL, og nedlagt kommunalt deponi).

Rensing av sigevannet er derfor anbefalt før det går til sjø utenfor Rynes. Datagrunnlaget fra Alcoas deponier er imidlertid svært beskjedent, og samlet utslippkonsentrasjon til sjø med bidrag fra andre brukere er uoversiktlig. Det anbefales derfor i første omgang å få bedre kontroll på sigevannet fra Alcoas deponier Formoen og Store/Lille Åsnevdal, med hyppigere analyser inkl. kvantifisering av suspendert stoff, og metallanalyser i henholdsvis filtrert/ufiltrert sigevann. Sigevannet fra Alcoas deponier er svært alkalisk med typisk pH-verdi 11. Det må derfor antas at mesteparten av tungmetallene i sigevannet er utfelt. Det anbefales etablering av sedimentasjonsenhet med oppholdstid 1-2 døgn, hvor partikkelbundne tungmetaller kan skilles ut fra sigevannet før det slippes til sjø utenfor Rynes.

6 Oppsummering

I denne rapporten beskrives modellering av tungmetaller i Vefsnfjorden med modellverktøyet Sedflex. Fjorden er delt inn i fem delområder: området utenfor Vefsnas elveutløp, området utenfor Mosjøen, indre Vefsnfjorden, midtre Vefsnfjorden og ytre Vefsnfjorden. Utslippene som er vurdert er elva Vefsna, Alcoa med utslipp utenfor Mosjøen, deponi ved Rynes og de to renseanleggene Bordvedneset og Kullstad.

Ser man på tilførsel i mengde per år, så dominerer Vefsna, som er den helt klart største kilden til tungmetaller til Vefsnfjorden. Ser man derimot på konsentrasjon i utslippet har avrenning fra deponiet ved Rynes svært mye høyere verdier enn de andre utslippene. Konsentrasjonen av sink og nikkel fra utslippet til Alcoa har signifikant høyere konsentrasjon enn det som måles i Vefsna.

SedFlex modellen er kalibrert opp mot målinger av tungmetaller i sedimentene, og modellen gir sedimentkonsentrasjoner i riktig størrelsesorden i hele modellområdet. For arsen, kobber, nikkel og bly viser observasjonene at det er det signifikant økende trend utover i fjordsystemet. Den samme trenden finnes igjen i modelldataene, men i mindre grad.

Utslipet fra Alcoa liten betydning for sedimentkonsentrasjonene i fjorden. Hvis utslippet fjernes helt så ville konsentrasjonen av nikkel rett utenfor Mosjøen blitt redusert med en halv prosent. For de andre metallene er virkningen enda lavere. Dette skyldes at utslippet fra Alcoa er lite sammenlignet med tilførselen fra Vefsna. Hvis vi holder kvikksølv utenfor, så er også andelen av metaller i sedimentene som stammer fra deponiet ved Rynes godt under 1 %. Men ser en på andelen av kvikksølvet i sedimentene så kan opptil 12 % stamme fra deponiet.

Blåskjell (*Mytilus edulis*) egner seg godt for å vurdere hvor mye miljøgifter det er i vannmassen. I dette prosjektet foreslås det at målet for blåskjell i Vefsnfjorden er at metallkonsentrasjonene er lavere enn PROREF-verdien slik det er definert innenfor Milkys-programmet. Konsentrasjon av kadmium, krom, kvikksølv og nikkel i vannmassen i Vefsnfjorden må reduseres for at dette målet skal nås. Kvikksølv må reduseres med hele 70 %. Krom og nikkel må reduseres med 21 % og kadmium med 6 %. Hvis en ser hele Vefsnfjorden ut til Kvitneset under ett, vil ikke reduksjon i utslippet fra Alcoa kunne bidra til å nå dette målet, siden Alcoa høyst bidrar med 0,2 % av konsentrasjonen i vannmassen, basert på SedFlex modellresultatene. Rett utenfor Alcoa sitt utslipp bidrar Alcoa med opp til 1,3 % av konsentrasjonen i vannmassen.

Beregnet med SedFlex modellen så har utslippet av kvikksølv fra deponiet påvirker konsentrasjonen i hele Vefsnfjorden i stor grad. Konsentrasjonen av kvikksølv i vannsøylen kan reduseres med hele 15 % og over 10 % i sedimentene i hele fjorden innenfor Rynes om avrenningen fra deponiet ble fjernet.

Utslippskonsentrasjoner for krom, nikkel og kadmium ut av klaringsbassenget (hovedutløp) og fra renseanlegg R3 ligger typisk i tilstandsklasse 2 for kystvann og må derfor ikke renses ytterligere med hensyn til utslippskonsentrasjoner av disse metallene. Utslipp fra støperiet går i dag urensset til sjø, og her måles akutt toksiske utslippskonsentrasjoner av sink og nikkel. Hvis teknisk mulig bør vaskevann fra støperiet ledes til klaringsbassenget, hvor partikulært materiale kan skilles ut, og hvor samlet utslippskonsentrasjon av sink og nikkel kan fortynnes med øvrige vannstrømmer.

Utslippskonsentrasjoner fra Alcoas deponier på Formoen og Store/Lille Åsnevdal ligger i tilstandsklasse 4-5 for nikkel, kadmium og sink, selv når vannflukser fra øvrige deponier i samme område regnes inn. Datagrunnlaget for sigevann fra Alcoas deponier er svært beskjedent, det anbefales derfor i første omgang å få bedre kontroll på sigevannet, med hyppigere analyser, kvantifisering av suspendert stoff, og

metallanalyser i henholdsvis filtrert/ufiltrert sigevann. Det anbefales etablering av sedimentasjonsenhet, hvor partikkelbundne metaller kan skilles ut fra sigevannet.

7 Referanser

- Armitage, J., Saloranta, T. & Abelsen, R. (2005) Simulating the Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Sunndalsfjord. NIVA rapport 5113-2005. 35 sider. <http://hdl.handle.net/11250/212999>.
- Barton, D. (2008) SedFlex – uncertainty analysis of remediation cost for contaminated marine sediments. NIVA rapport 5320-2008. 41 sider. <http://hdl.handle.net/11250/213432>.
- Green, N. W., Schøyen, M., Hjermann, D. Ø., Øxnevad, S., Ruus, A., Grung, M., Beylich, B., Lund, E., Tveiten, L., Jenssen, M. T. S., Håvardstun, J., Ribeiro, A. L., Doyer, I. & Bæk, K. (2022). Contaminants in coastal waters of Norway 2019. NIVA-rapport 7741-2022. M-1894. 198 sider + vedlegg. <https://hdl.handle.net/11250/2997095>.
- Molvær, J. (2010) Vefsnfjorden. Beskrivelse av hydrofysiske forhold i fjordens indre del. NIVA rapport 5939-2010. 23 sider. <http://hdl.handle.net/11250/214891>.
- Næs, K., Saloranta, T., Nilsson, H., Cornelissen, G. & Broman, D. (2005). Undersøkelser for å styrke modeller knyttet til beslutningsstøtte for tiltak mot forurensede sedimenter i Grenlandsfjordene. NIVA rapport 5737-2009. 122 sider. <http://hdl.handle.net/11250/214375>.
- Pettersen, R. (2016). Veileder. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. M-608. 13 sider. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M608/M608.pdf>.
- Saloranta, T., Armitage, J., Næs, K., Cousins, I., & Barton, D. (2006). SF-tool multimedia model package: Model code description and application examples from the Greenland fjords. NIVA rapport 5216-2006. 44 sider. <http://hdl.handle.net/11250/213237>
- Staalstrøm, A., Mengeot, C., & Øxnevad, S. (2020). Vurdering av utslipp av krom og nikkel i indre del av Vefsnfjorden. NIVA-rapport 7546-2020, 17 sider. <https://hdl.handle.net/11250/2711597>.
- Strohmeier, T. & Strand, Ø. (2021, 29. juni). Tema: Blåskjell. De nasjonale forskningsetiske komiteene. <https://www.etikkom.no/FBIB/Temaer/Redelighet-og-kollegialitet/Fusk-og-plagiering>.
- Øxnevad, S., & Hjermann, D. Ø. (2020). Tiltaksorientert overvåking av Vefsnfjorden i 2019. Overvåking for Alcoa Mosjøen. NIVA-rapport 7462-2020 (<http://hdl.handle.net/11250/2646265>).
- Øxnevad, S., & Hjermann, D. Ø. (2022). Tiltaksorientert overvåking av Vefsnfjorden i 2022. Overvåking for Alcoa Mosjøen. NIVA-rapport 7714-2022, 33 sider+vedlegg. <https://hdl.handle.net/11250/2982344>.

8 Vedlegg A Inngangsparametere til SedFlex

Her vises parameterfilen for SedFlex modellen. Filen leses og editeres av programmet MobiView.

```
# Parameter file generated for model SedFlex, containing modules (SedFlex
abiotic V0.2) at 2023-11-29 13:48:39
```

```
index_sets:
```

```
"Compartment" : {"River_surf" "River_deep" "Mosjoen_surf" "Mosjoen_imd"
"Mosjoen_deep" "Inner_surf" "Inner_imd" "Inner_deep" "Middle_surf"
"Middle_imd" "Middle_deep" "Outer_surf" "Outer_deep"}
```

```
"Boundary compartment": {"Vefsna" "Ocean"}
```

```
"Chemical": {"As" "Cd" "Cr" "Cu" "Hg" "Ni" "Pb" "Zn"}
```

```
parameters:
```

```
# System (no index sets) #
```

```
"Start date" :      # [1000-01-01, 3000-01-01] The start date is inclusive
```

```
1990-01-01
```

```
"End date" :      # [1000-01-01, 3000-01-01] The end date is inclusive
```

```
2022-12-31
```

```
{ module "SedFlex abiotic" version "0.2"
```

```
  # Atmosphere (no index sets) #
```

```
  "Air-side mass transfer coefficient" :      # (m/day) [0, 1000]
```

```
  100
```

```
  "Water-side mass transfer coefficient" :      # (m/day) [0, 10]
```

```
  1
```

```
  "Scavenging ratio" :      # (dimensionless) [0, 2000000] The ratio
between a raindrop's volume to the volume of air it sweeps through when
falling
```

```
  200000
```

```
  "Volume fraction of aerosols" :      # (dimensionless) [0, 1e-10]
```

```
  4e-12
```

```
  "Particle dry deposition rate" :      # (m/day) [0, 200]
```

```
  25
```

```
  "Residence time of the atmospheric compartment": # (day) [0.1, 10]
```

```

0.5

"Volume of the atmospheric compartment" :      #(m3) [100000,
1000000000000]

120000000000

# Water compartment ("Compartment") #

"Water surface area" :      #(m2) [0, 361900000000000] Surface area
covered by water compartment

925000 900000 720000 520000 420000 2830000 2600000 2000000 2490000
2000000 1790000 20120000 17000000

"Water effective height" :      #(m) [0, 10984] Vertical thickness of
water compartment

10 40 10 40 50 10 40 200 10 40 280 10 400

"POC concentration" :      #(mg/m3) [0, 1000] Particulate organic
carbon concentration

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

"DOC concentration" :      #(mg/m3) [0, 10000] Dissolved organic
carbon concentration

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

"BC concentration" :      #(mg/m3) [0, 100] Black carbon (soot)
concentration

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

"Inorganic concentration" :      #(mg/m3) [0, 1000] Particulate
inorganic concentration

1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000

"Density of suspended inorganic" :      #(kg/L) [0, 10] Mass density
of dry material

2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6

"POC settling velocity" :      #(m/day) [0, 20] Also applies to BC and
mineral particles

0.525 0 1.157 8.467 0 1.157 5.095 0 0.466 0.466 0 0.466 0

"Degradation in water" :      # Whether or not chemicals can
react/degrade in this water compartment

false false false false false false false false false false false
false false

```

```

    "Is below" :      #(dimensionless) [0, 9999] The numerical index of
the other water compartment that this water compartment is below. If this
is a surface layer, set the number to 10000

    10000 0 10000 2 3 10000 5 6 10000 8 9 10000 11

    # Sediment compartment ("Compartment") #

    "Sediment surface area" :      #(m2) [0, 3619000000000000] Surface area
covered by the sediments of this compartment

    25000 900000 200000 100000 420000 230000 600000 2000000 490000 210000
1790000 3120000 1700000

    "Sediment effective height" :      #(m) [0, 10] Thickness of the
sediment layer

    0.1 0.05 0.1 0.05 0.05 0.1 0.05 0.05 0.1 0.05 0.05 0.1 0.05

    "Sediment porosity" :      #(dimensionless) [0, 1]

    0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86 0.86

    "Sediment inorganic density" :      #(kg/L) [0, 10] Mass density of
dry inorganic material

    2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6 2.6

    "Sediment POC volume fraction" :      #(dimensionless) [0, 0.2]
Fraction of solid sediments that is particulate organic carbon

    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

    "Sediment BC volume fraction" :      #(dimensionless) [0, 0.1]
Fraction of solid sediments that is black carbon (soot)

    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

    "Sediment DOC concentration" :      #(mg/m3) [0, 1000000]
Concentration in pore water

    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

    "POC mineralization half-life" :      #(day) [0, 100000]

    30000 30000 30000 30000 30000 30000 30000 30000 30000 30000 30000
30000 30000

    "Burial velocity" :      #(m/day) [0, 5e-06]

    3.29e-07 3.29e-07 7.12e-07 1.64e-06 1.97e-06 7.12e-07 1.64e-06 1.97e-
06 7.12e-07 1.1e-06 1.32e-06 1.1e-06 1.32e-06

    "Resuspension velocity" :      #(m/day) [0, 3e-05]

    2.087e-06 2.087e-06 3.091e-06 3.893e-06 3.4e-07 3.091e-06 1.279e-06
3.24e-07 3.698e-06 1.223e-06 2.92e-07 1.223e-06 2.92e-07

```

```

    "Sediment-water mass transfer coefficient" :      # (m/day) [0, 0.05]
Also applies to DOC

    0.0024 0.0024 0.0024 0.0024 0.0024 0.0024 0.0024 0.0024 0.0024 0.0024
0.0024 0.0024 0.0024

    "Degradation in sediment" :      # Whether or not chemicals can
react/degrade in this sediment compartment

    false false false false false false false false false false false
false false

    # Chemicals ("Chemical") #

    "(log10) Octanol-water partitioning coefficient":
#(dimensionless) [-3, 10] Reference value at 25°C

    -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100

    "(log10) Octanol-air partitioning coefficient":      #(dimensionless)
[-3, 14] Reference value at 25°C

    -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100

    "(-log10) Henry's law constant":      #(-log10(kPa m3/mol)) [-5, 10]
Reference value at 25°C

    -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100

    "(log10) POC-water partitioning coefficient in water" :
#(log10(L/kg(OC))) [-3, 12]

    -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100

    "(log10) POC-water partitioning coefficient in sediments" :
#(log10(L/kg(OC))) [-3, 12]

    -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100

    "(log10) inorganic-water partitioning coefficient (Kd) in water":
#(log10(L/kg(min))) [-3, 12]

    5.9 3.6 4.1 4.9 5.6 5.6 5.9 5.9

    "(log10) inorganic-water partitioning coefficient (Kd) in sediments":
#(log10(L/kg(min))) [-3, 12]

    4.6 3 4.6 4.2 3.7 4.1 4.4 4.1

    "Estimate the POC-water partitioning coefficient in water" :      # If
true, ignore the above value, and estimate  $K_{POC} = b \cdot K_{OW}^a$ , where a and b
are given in the KOC approximation parameter group

    false false false false false false false false

    "Estimate the POC-water partitioning coefficient in sediments" :      #
If true, ignore the above value, and estimate  $K_{POC} = b \cdot K_{OW}^a$ , where a and
b are given in the KOC approximation parameter group

```

```

false false false false false false false false
"Molecular weight" :      #(g/mol) [0, 10000]
74.922 112.411 51.996 63.557 200.59 58.693 207.2 65.38
"Degradation half-life in water" :      #(day) [1, 100000] Reference
value at 25°C
1000000000 1000000000 1000000000 1000000000 1000000000 1000000000
1000000000 1000000000
"Degradation half-life in sediments" :      #(day) [1, 10000000000]
Reference value at 25°C
4170000000 4170000000 4170000000 4170000000 4170000000 4170000000
4170000000 4170000000
"Internal energy change of the OA phase" :      #(kJ/mol) [-300, 300]
Often equivalent to enthalpy of phase change
0 0 0 0 0 0 0 0
"Internal energy change of the OW phase" :      #(kJ/mol) [-300, 300]
Often equivalent to enthalpy of phase change
0 0 0 0 0 0 0 0
"Internal energy change of the AW phase" :      #(kJ/mol) [-300, 300]
Often equivalent to enthalpy of phase change
0 0 0 0 0 0 0 0
"Toxic equivalent factor" :      #(dimensionless) [0, 50]
1 1 1 1 1 1 1 1
# KOC approximation (no index sets) #
"K_POC a parameter" :      #(dimensionless) [0.1, 10] From the
approximation  $K_{POC} = b \cdot K_{OW}^a$  if used
1
"K_POC b parameter" :      #(dimensionless) [0, 10] From the
approximation  $K_{POC} = b \cdot K_{OW}^a$  if used
0.35
"K_DOC a parameter" :      #(dimensionless) [0.1, 10] From the
approximation  $K_{DOC} = b \cdot K_{OW}^a$ 
1
"K_DOC b parameter" :      #(dimensionless) [0, 10] From the
approximation  $K_{DOC} = b \cdot K_{OW}^a$ 
0.08

```

```

"K_BC a parameter" :      #(dimensionless) [0.1, 10] From the
approximation  $K_{BC} = b \cdot K_{OW}^a$ 

1.6

"K_BC b parameter" :      #(dimensionless) [0, 10] From the
approximation  $K_{BC} = b \cdot K_{OW}^a$ 

0.0398

"K_aerosol a parameter" :      #(dimensionless) [0.1, 10] From the
approximation  $K_{aerosol} = b \cdot K_{OA}^a$ 

1

"K_aerosol b parameter" :      #(dimensionless) [0, 10] From the
approximation  $K_{aerosol} = b \cdot K_{OA}^a$ 

3.8

# Atmospheric background ("Chemical") #

"Background atmospheric concentration":      #(g/m3) [0, 100000000]

0 0 0 0 0 0 0 0

# Boundary background ("Chemical" "Boundary compartment") #

"Background concentration in boundary" :      #(g/m3) [0, 100000000]

0 0.00015

0 3e-05

0 0.0001

0 0.0003

0 1e-06

0 0.0005

0 0.0002

0 0.0015

# Initial concentrations ("Chemical" "Compartment") #

"Initial concentration in water" :      #(g/m3) [0, 100000000]

0.00015 0.00015 0.00015 0.00015 0.00015 0.00015 0.00015 0.00015
0.00015 0.00015 0.00015 0.00015 0.00015

3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-05 3e-
05 3e-05

0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001
0.0001 0.0001 0.0001

```


0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003 0.003
0.003 0.003

1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06 1e-06
06 1e-06

0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005 0.0005
0.0005 0.0005 0.0005

2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05 2e-05
05 2e-05

0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015 0.0015
0.0015 0.0015 0.0015

"Initial concentration in sediments" : #((variable)) [0,
100000000]

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

"Unit of initial sediment concentration" : # [g_per_m3_wet,
g_per_kg_dry, g_per_g_toc]

g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet

g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet

g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet

g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet

g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet

g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet

```
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
```

```
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
g_per_m3_wet g_per_m3_wet g_per_m3_wet
```

```
# Flow rates ("Compartment" "Compartment") #
```

```
"Flow rate" :      #(m3/s) [0, 10000]
```

```
0 0 350 0 0 886 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 635 0 0 316 0 0 0 0 0 0
940 0 0 0 0 116 0 0 0 0 0 0 0
0 635 10 0 0 0 316 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 190 0 0 0 0 0
116 0 696 0 0 0 0 0 1295 0 0 0 0
0 326 0 326 0 40 0 0 0 610 0 0 0
0 0 0 0 190 0 0 0 0 0 480 0 0
0 0 0 0 0 1065 0 0 0 0 0 2180 0
0 0 0 0 0 0 670 0 0 0 0 0 1110
0 0 0 0 0 0 0 480 0 0 0 0 2790
0 0 0 0 0 0 0 0 1950 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1170 2790 0 0
```

```
# Boundary flows ("Compartment" "Boundary compartment") #
```

```
"Flow to boundary":      #(m3/s) [0, 10000]
```

```
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
```

```
0 0
0 0
0 2305
0 4060
"Flow from boundary":      #(m3/s) [0, 10000]
170 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 0
0 2075
0 4000
} # end of module "SedFlex abiotic"
```



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.