

---

RAPPORT

---

## Tilleggsutredning forurensningssituasjonen Indre Sørfjorden



Kunde: Sunnhordland Kraftlag AS

Prosjekt: Opo flaumkraftverk

Prosjektnummer: 28584001

Dokumentnummer: 28584001 – R11

Rev.: 01

## Sammendrag:

Rapporten er utarbeidet med sikte på å styrke kunnskapsgrunnlaget for vurdering av om et flomkraftverk med utløp i Kleivavika, i havnebassenget i Odda, kan medvirke til endring av den marine forurensningssituasjonen i Indre Sør fjorden. Området som er vurdert med hensyn til mulig fysisk og kjemisk effekt av ny flomtunnel, er spesielt knyttet til arealet i havnebassenget der vannføringene fra en ny flomtunnel kan påvirke strømretninger og strømhastigheter, samt i de to områdene i fjorden hvor det er aktuelt med deponier av sprengsteinmasser (deponi Stranda og deponi Sør fjordsenteret).

Rapporten beskriver historikk og status på forurensningssituasjonen i fjorden, samt dagens miljøtilstand.

På bakgrunn av gjennomførte strømningsberegninger med et tunnelutløp i Kleivavika, er risiko for reaktivering av forurensede bunnsedimenter vurdert og mulige avbøtende tiltak diskutert. Likeledes er geotekniske vurderinger knyttet til de to foreslåtte deponiene omtalt, inkludert mulige avbøtende tiltak.

Det foreligger et omfattende kunnskapsgrunnlag for miljøsituasjonen i fjorden, ikke minst fra det Statlige overvåkingsprogrammet som pågikk fra 1979-2012.

Vedlagt rapporten finnes resultater fra en kartlegging av forurensningssituasjonen i sedimenter i havnebassenget som ble gjennomført i mars 2018. Videre er det vedlagt rapporter som beskriver flere geotekniske undersøkelser og vurderinger fra perioden 1999-2017 for de foreslåtte deponiområdene ved Stranda og Sør fjordsenteret.

## Rapportstatus:

- Endelig  
 Utkast  
 Arbeidsdokument

<b>Utarbeidet av:</b> Jannike Gry B. Jensen, Halvard Kaasa, Jan-Petter Magnell	<b>Sign.:</b>
<b>Kontrollert av:</b> Halvard Kaasa	<b>Sign.:</b>
<b>Prosjektleder:</b> Jan-Petter Magnell	<b>Prosjekteier:</b> Karel Grootjans

## Revisjonshistorikk:

Rev.	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av
01	2018-04-06	Opprettet etter kommentarer fra SKL		
00	2018-03-22	Utkast til oppdragsgiver		

# Innholdsfortegnelse

1	Innledning .....	5
2	Forurensning av Sørfjorden .....	5
2.1	Et tilbakeblikk .....	5
2.2	Utslippstillatelser og rapporterte utslipp .....	6
2.2.1	Tyssdal avløpsanlegg .....	6
2.2.2	TiZir Titanium & Iron AS.....	7
2.2.3	Boliden Odda, fjellhalldeponier .....	7
2.2.4	Avløpsanlegget Holmen AR .....	7
2.2.5	Boliden Odda AS.....	8
2.2.6	Noralf AS/Boliden Odda AS, Aluminiumfluoridfabrikken.....	8
2.2.7	Odda Smelteverk .....	9
2.3	Diffuse utslipp.....	10
2.3.1	Jordforurensning i Odda.....	11
2.3.2	Kvantifisering av tungmetalltilførsler i indre del av Sørfjorden, Hardanger.....	14
2.3.3	Analyseresultater fra tomten til Odda smelteverk, og fra Opo .....	15
3	Miljøtilstand.....	16
3.1	Sedimenter i havnebassenget .....	16
3.2	Vannkvalitet Sørfjorden.....	18
3.2.1	Statlig overvåkingsprogram (Miljødirektoratet, 2013) .....	18
3.2.2	Tiltaksrettet overvåking av kystvann (NIVA, 2016 og 2018) .....	18
3.3	Status bunndyr og fisk.....	19
3.3.1	Statlig overvåkingsprogram (Miljødirektoratet, 2013) .....	19
3.3.2	Tiltaksrettet overvåking av kystvann (NIVA, 2016 og 2018) .....	20
3.4	Oppsummering miljøtilstand indre Sørfjorden.....	20
3.5	Kostholdsråd .....	20
4	Strømninger i havnebassenget.....	21
4.1	Dagens forhold.....	21
4.2	Med tunnelutløp i Kleivavika .....	22
5	Konsekvensene av enkelttiltak mht. fare for reaktivering av miljøgifter.....	28
5.1	Utløp Kleivavika .....	28
5.2	Deponi Sørfjordsenteret og Deponi Stranda.....	29
6	Mulige avbøtende tiltak.....	30
6.1	Tiltak deponier.....	30
6.2	Tiltak utløp tunnel (anleggsfase).....	30
6.3	Tiltak mot flomerosjon .....	31

---

6.3.1	Tildekking .....	31
6.3.2	Strømretning på flomvann .....	31
7	Referanser .....	32
8	Vedlegg .....	33

# 1 Innledning

Denne rapporten er utarbeidet for Sunnhordland Kraftlag (SKL), med sikte på å styrke kunnskapsgrunnlaget for vurdering av om et flomkraftverk med utløp i Kleivavika, i havnebassenget i Odda, kan medvirke til endring av den marine forurensningssituasjonen i Indre Sjøfjorden.

Omtalt område er avgrenset til havnebassenget ved Odda sentrum og ut til Tyssedal (se kart i Figur 1). Området som er vurdert med hensyn til mulig fysisk og kjemisk effekt av ny flomtunnel, er spesielt knyttet til arealet i havnebassenget der vannføringene fra en ny flomtunnel kan påvirke strømretninger og strømhastigheter, samt i de to områdene i fjorden hvor det er aktuelt med deponier av sprengsteinmasser (deponi Stranda og deponi Sjøfjordsenteret).

## 2 Forurensning av Sjøfjorden

### 2.1 Et tilbakeblikk

Forurensning av Sjøfjorden har en historie som strekker seg tilbake til begynnelsen av 1900-tallet, da tungindustri ble etablert i Odda-området. Først ble Odda smelteverk anlagt i Odda sentrum i 1908 (karbid-produksjon), deretter D.N.N. Aluminium i Tyssedal i 1916 (aluminiumproduksjon) og til slutt Det norske Zinkkompani på Eitrheimsneset i 1929 (sinkproduksjon). Utslippene til fjorden økte med økende produksjon, og sinkverket hadde sine største utslipp til fjorden i 1985. Det ble da sluppet ut nesten 1 tonn kvikksølv, 1835 tonn sink, 773 tonn bly og nesten 24 tonn kadmium ([www.miljodirektoratet.no](http://www.miljodirektoratet.no)). I tillegg var det tidvis store utslipp av tjærestoffer (PAH) fra aluminiumfabrikken i Tyssedal før den ble nedlagt i 1982, og fra Odda smelteverk (nedlagt i 2002).

Omfattende utslipp fra industrien over tid, både til luft og vann, medførte at Miljødirektoratet (tidligere SFT og Klima- og forurensningsdirektoratet) opprettet et Statlig overvåkingsprogram for Sjøfjorden og deler av Hardangerfjorden i 1979. Programmet ble avsluttet i 2012. NIVA har vært sentral i flere ti-år i dette arbeidet med miljøovervåking av Sjøfjorden, og et betydelig rapportmateriale er tilgjengelig. I følge faktaark *Miljøovervåking i Sjøfjorden* har NIVA utarbeidet mer enn 100 fagrapporter om miljøtilstanden i Sjøfjorden (se Vedlegg 1).

I 1986 ble det iverksatt tiltak som innebar at avfall fra Boliden Odda AS ble fraktet til fjellhaller lokalt for videre lagring. Utslipp av tungmetaller til sjø avtok merkbart etter dette.

Utslipet av oksygenforbrukende nitrogenforbindelser fra Odda smelteverk, førte til ekstremt dårlige oksygenforhold i Sjøfjordens indre del. Nedleggelsen av smelteverket høsten 2002 medførte at primærutslippene av oksygenforbrukende stoffer stoppet, og dette førte igjen til en umiddelbar bedring i oksygenforholdene.

Det er tidligere bemerket at forhøyede konsentrasjoner av DDT og dets nedbrytningsprodukter er observert i blåskjell i senere år. Dette er sannsynligvis forbundet med mye nedbør og utvasking av forurensede jordpartikler fra gamle kilder på land som stammer fra frukt dyrkingsområdene langs fjorden (NIVA, 2016), samt høyere pH i nedbør (mindre sur nedbør) og derfor mer løst organisk karbon i overflatevann, som kan transportere DDT ut av jorda (NIVA, 2016). Tidvis er det påvist forekomster av PCB i fjordbassenget, og dette kan sannsynligvis spores tilbake til utslipp fra murpuss/maling fra kraftstasjonen i Tyssedal (NIVA, 2003).

Forurensningssituasjonen i Sjøfjorden har ført til at Mattilsynet første gang advarte mot konsum av sjømat fra området i 1973, på grunn av forurensning med bl.a. kadmium, bly og kvikksølv.

Det er gjennomført en del tiltak for å redusere påvirkningen på fjorden, bl.a. tildekking av sedimenter i Eitrheimsvågen (1992), lagring av restprodukter i fjellhaller (1986), samt reduserte

utslipp til luft og vann fra industrien (løpende). Selv om utslippene av miljøgifter til luft og vann fra industrien er sterkt redusert de senere årene, har de akkumulerte utslippene over lang tid medført at overflatejord og havnebassenget fortsatt er sterkt forurenset. Det er så langt konkludert med at kildekontrollen ikke er tilstrekkelig avklart for å iverksette tiltak knyttet til lekkasje av miljøgifter fra sedimentene.

## 2.2 Utslippstillatelser og rapporterte utslipp

Figur 1 gir en oversikt over utslippspunkter fra avløpsanlegg og industribedrifter i indre del av Sør fjorden. Informasjonen er hentet fra [www.miljostatus.no/kart](http://www.miljostatus.no/kart). Oversikt over utslippene er hentet fra bedriftenes rapporterte utslipp som finnes på [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no).



Punkt	Navn på virksomhet	Kommentar
1	Tyssdal avløpsanlegg	Nedlagt 2016
2	TiZir Titanium & Iron AS	Tidligere DNN, K/S Ilmenittsmelteverket AS, Tinfos Titan&Iron, Eramet Titan&Iron.
3	Boliden Odda, fjellhalldeponier	Oppstart 1986
4	Holmen AR (Odda kommune)	Startet 2016
5	Boliden Odda AS	Felles tillatelse som i pkt.3 Tidligere Norzink og Outokumpu Norzink
6	Noralf AS	Også registrert som Boliden Odda AS, Aluminiumfluoridfabrikken
7	Odda smelteverk AS	Nedlagt 2002

Figur 1. Oversikt over avløpsanlegg og virksomheter med utslipp til Indre Sør fjorden.

### 2.2.1 Tyssdal avløpsanlegg

Dette anlegget var et konvensjonelt avløpsanlegg som ble driftet av Odda kommune, og som ble nedlagt i 2016.

## 2.2.2 TiZir Titanium & Iron AS

Selskapet har hatt utslippstillatelse siden 2003. Tillatelsen gjelder en årlig produksjon av inntil 250 000 tonn TiO<sub>2</sub>-slagget og 135 000 tonn jern, i tillegg til deponier og mellomlagringsplass for slaggmateriale. I vilkårene har de tillatelse til å slippe ut vann med partikler, noen tungmetaller og PAH til sjø (se tabell under). Bedriften har også tillatelse til utslipp til luft av støv og enkelte tungmetaller (Zn, Pb, Hg, Cd og Cr).

I perioden juni 2011 – desember 2015 hadde bedriften midlertidig tillatelse til noe høyere utslipp av flere av komponentene. Utslipper til sjø ligger på ca. 35-40 m dyp.

Bedriften er også pålagt gjennom utslippstillatelsen å bidra til overvåking av miljøforholdene i Sørfjorden/Hardangerfjorden. Data fra overvåking skal registreres i databasen Vannmiljø, samt sendes Miljødirektoratet årlig.

Utdrag fra virksomhetens utslippstillatelse og rapporterte utslipp til sjø av noen av de regulerte utslippskomponentene for perioden 2000-2016, er vist i tabellen under.

Utslippskomponent	Utslippsgrense sjø (løpende årsmiddel)	Rapporterte utslipp til sjø 2000-2016	Kommentar
Suspendert stoff	100 t/år	Ca. 20-75 t/år	Nedadgående trend
Sink (Zn)	5 t/år	Ca. 2,3-10 t/år	Nedadgående trend
Kvikksølv (Hg)	1 kg/år	Ca. 0,4-1,3 kg/år	
Bly (Pb)	230 kg/år	Ca. 130-300 kg/år	
Kadmium (Cd)	3 kg/år	Ca. 0,8-4,6 kg/år	
PAH16	250 kg/år	13 kg/år	Kun rapportert i 2016

Utdrag fra virksomhetens utslippstillatelse og rapporterte utslipp til luft av noen av de regulerte utslippskomponentene for perioden 2000-2016, er vist i tabellen under.

Utslippskomponent	Utslippsgrense luft (løpende årsmiddel)	Rapporterte utslipp til luft 2000-2016	Kommentar
Støv	127 t/år	Ca. 23-110 t/år	Nedadgående trend
Sink (Zn)	10 t/år	Ca. 0,7-9,5 t/år	Nedadgående trend
Bly (Pb)	600 kg/år	Ca. 25-585 kg/år	Nedadgående trend
Kvikksølv (Hg)	4 kg/år	Ca. 1,9-4,3 kg/år	
Kadmium (Cd)	5 kg/år	Ca. 0,5-5,9 kg/år	
Krom (Cr)	60 kg/år	17-43 kg/år	Kun rapportert i 2016

TiZir har også utslipp av en del andre stoffer, både til sjø og luft, og totale vannmengder som blir sluppet ut er i størrelsesorden 8-10 000 000 m<sup>3</sup>/år.

Fra tidligere tider har DNN, K/S Ilmenittsmelteverket AS, Tinfos Titan&Iron, og Eramet Titan&Iron drevet verket i Tyssedal, og antas å ha hatt tilsvarende utslipp, både til luft og sjø.

## 2.2.3 Boliden Odda, fjellhalldeponier

Tillatelsen beskrevet under pkt. 2.2.5 gjelder for både fjellhalldeponiene og virksomheten på Eitrheimsneset.

## 2.2.4 Avløpsanlegget Holmen AR

Dette avløpsanlegget som ligger på Indra Lindeneset (markert med 4 i Figur 1), blir driftet av Odda kommune og hadde sin oppstart i 2016. Avløpet herfra går urensset ut til sjø. Her er det måling og rapportering på utslipp av fosfor, nitrogen, suspendert stoff og biologisk oksygenforbruk (BOF5).

## 2.2.5 Boliden Odda AS

Boliden Odda AS fikk i 2005 utslippstillatelse for virksomheten ved sinkverket på Eitrheimsneset og avfallsdeponering i fjellhalldeponiet. De fastsatte vilkårene gjelder en årlig produksjon av inntil 350 000 tonn sink, 1 100 tonn kadmium metall, 400 000 tonn svovelsyre og 6 500 tonn kobber sement.

Utslppsledningen ligger på ca. 30 m dyp, øst for Eitrheimsneset. De har også tillatelse til utslipp til luft av bl.a. støv og tungmetaller. Bedriften plikter også å bidra til overvåking av miljøtilstanden i resipienten.

Utdrag fra virksomhetens utslippstillatelse og rapporterte utslipp til sjø av noen av de regulerte utslippskomponentene for perioden 2000-2016 er vist i tabellen under.

Utslippskomponent	Utslippsgrense sjø (løpende årsmiddel)	Rapporterte utslipp til sjø 2000-2016	Kommentar
Sink (Zn)	6000 kg/år	Ca. 1300-24000 kg/år	Nedadgående trend
Kadmium (Cd)	80 kg/år	Ca. 25-300 kg/år	Etter 2007; ca. 30 kg/år
Kobber (Cu)	110 kg/år	Ca. 10-110 kg/år	Svakt nedadgående trend
Bly (Pb)	230 kg/år	Ca. 20-4800 kg/år	Etter 2004; ca. 30 kg/år
Kvikksølv (Hg)	3 kg/år	Ca. 0,3-27 kg/år	Etter 2005; < 1 kg/år

I tillegg har de utslipp av en del andre parametre, som f.eks. mangan (ca. 70-200 t/år).

Utdrag fra virksomhetens utslippstillatelse og rapporterte utslipp til luft for noen av de regulerte utslippskomponentene for perioden 2000-2016 er vist i tabellen under.

Utslippskomponent	Utslippsgrense luft (løpende årsmiddel)	Rapporterte utslipp til luft 2000-2016	Kommentar
Sink (Zn)	16 t/år	Ca. 1,7-22 t/år	Nedadgående trend
Kadmium (Cd)	40 kg/år	Ca. 7-55 kg/år	Nedadgående trend
Kobber (Cu)	60 kg/år	Ca. 8-95 kg/år	Nedadgående trend
Bly (Pb)	140 kg/år	Ca. 20-75 kg/år	323 kg i 2003
Kvikksølv (Hg)	7 kg/år	Ca. 0,5-17 kg/år	
Støv	6 t/år	0,2-15 t/år	Etter 2004; < 2 tonn

Tidligere har Norzink og Outokumpu Norzink drevet verket, og antas å ha hatt tilsvarende utslipp, både til luft og sjø.

## 2.2.6 Noralf AS/Boliden Odda AS, Aluminiumfluoridfabrikken

Boliden Odda AS (aluminiumfluoridfabrikken) fikk i 2004 tillatelse til utslipp i forbindelse med produksjon av aluminiumfluorid, og tillatelsen ble sist endret 27. juni 2016. De fastsatte utslippsvilkårene er basert på en produksjon av inntil 45 000 tonn aluminiumfluorid og 115 000 tonn anhydritt pr. år. Anhydritt blir dels videreforedlet til et salgbart produkt og dels sluppet ut i Sørfjorden.

Gipsslurry skal ledes ut til 30 meters dyp i Sørfjorden, sammen med noe av avløpet.

Virksomheten har også tillatelse til utslipp til luft av støv, fluorider og kvikksølv. Bedriften skal overvåke hvordan utslipp påvirker økologisk og/eller kjemisk tilsand i vannforekomsten, i henhold til vannforskriftens bestemmelser. Data skal registreres i databasen Vannmiljø, og oversendes Miljødirektoratet.



Utdrag fra virksomhetens utslippstillatelse og rapporterte utslipp til sjø for noen av de regulerte utslippskomponentene for perioden 2005-2016 er vist i tabellen under.

Utslippskomponent	Utslippsgrense sjø (løpende årsmiddel)	Rapporterte utslipp til sjø 2005-2016	Kommentar
Fluorider	1 200 tonn/år	Ca. 770-1600 t/år	
Anhydritt	25 000 tonn/år		
Arsen (As)	200 kg/år	Ca. 13-166 kg/år	
Bly (Pb)	1 000 kg/år	Ca. 160-3600 kg/år	Nedadgående trend
Kadmium (Cd)	25 kg/år	Ca. 2-25 kg/år	Nedadgående trend
Kobber (Cu)	800 kg/år	Ca. 25-1200 kg/år	Nedadgående trend
Krom (Cr)	300 kg/år	Ca. 8-250 kg/år	Nedadgående trend
Kvikksølv (Hg)	3 kg/år	Ca. 0,5-2 kg/år	
Sink (Zn)	1 500 kg/år	Ca. 260-2500 kg/år	Nedadgående trend

Utdrag fra virksomhetens utslippstillatelse og rapporterte utslipp til luft for noen av de regulerte utslippskomponentene for perioden 2005-2016 er vist i tabellen under.

Utslippskomponent	Utslippsgrense luft (løpende årsmiddel)	Rapporterte utslipp til luft 2005-2016	Kommentar
Støv	ingen grense på årlige mengder	Ca. 1,6-8,7 t/år	Nedadgående trend
Fluorider	300 kg/år	Ca. 30-800 kg/år	
Kvikksølv	3 kg/år	Ca. 0,7-4 kg/år	Stigende trend

De høye utslippene av bly til vann i 2010 skyldes høye nivåer av bly i råvareleveranser ([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)). Noralf AS har også utslipp av f.eks. aluminium (i størrelsesorden 50 t/år).

## 2.2.7 Odda Smelteverk

Denne industribedriften, som ble startet i 1908 og som har bidratt til betydelig forurensning av Sørfjorden, ble nedlagt i november 2002. Bostyret hadde siste tilsynskontroll fra SFT (nå Miljødirektoratet) i 2005. Her ble det bl.a. påpekt at mellomlagring av diverse avfall og råvarer utgjør en fare for forurensning, samt at deponiet (Hjellotippen) ikke var tildekket/avsluttet og utgjorde en viss forurensningsfare. På den gamle smelteverkstomta ligger betydelige mengder forurensning i grunnen som sakte lekker ut til Sørfjorden.

Odda smelteverk gjennomførte i 1993-94 tiltak for å redusere sine utslipp til sjø (NIVA, 1996), og har rapportert følgende utslipp:

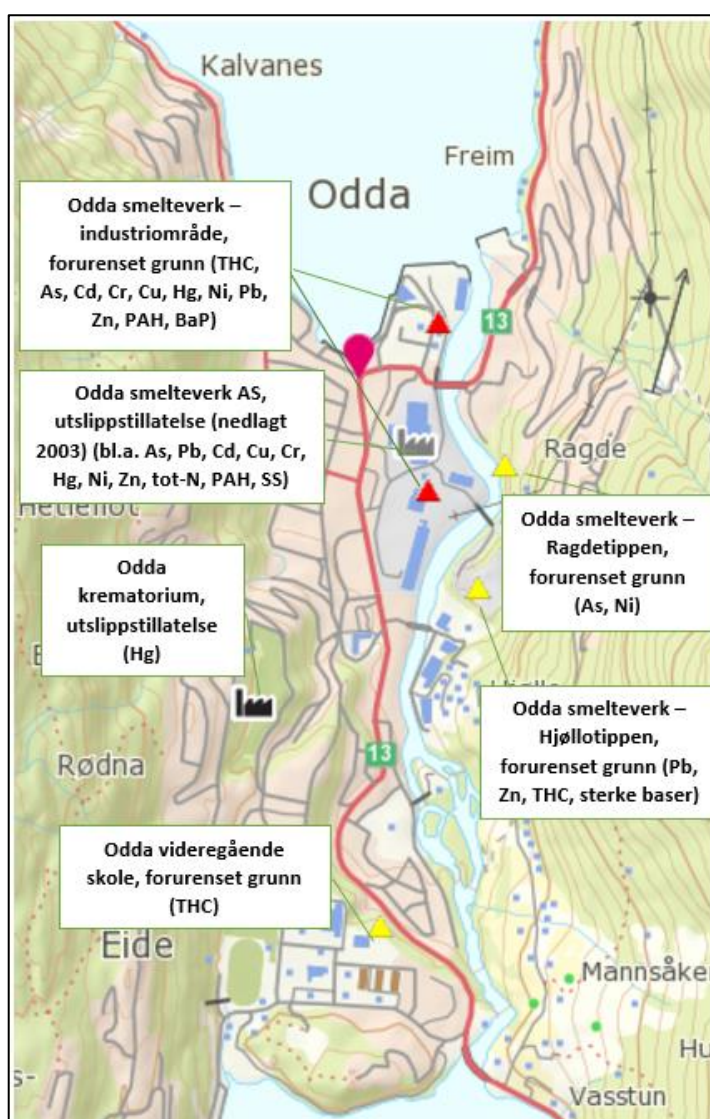
Utslippskomponent	Utslipp 1990 (NIVA, 1996)	Utslipp 1994 (NIVA, 1996)	Utslipp til sjø 1995-2002 ( <a href="http://www.norskeutslipp.no">www.norskeutslipp.no</a> )	Utslipp til luft
Kadmium (Cd)	400 kg/år	41,7 kg/år	Ca. 5-20 kg/år	Ca. 1-30 kg/år
Kobber (Cu)	1100 kg/år	239 kg/år	Ca. 140-350 kg/år	Ca. 2,5-6 kg/år
Kvikksølv (Hg)	9 kg/år	6,7 kg/år	Ca. 0,1-4 kg/år	0,01-0,1 kg/år
Bly (Pb)	5500 kg/år	299 kg/år	Ca. 95-410 kg/år	Ca. 11-55 kg/år
Sink (Zn)	3900 kg/år	934 kg/år	Ca. 270-2000 kg/år	Ikke rapportert
PAH	16000 kg/år	2600 kg/år	Ca. 800-2600 kg/år	Ikke rapportert
Cyanid (CN <sup>-</sup> )		3100 kg/år	Ca. 12000-60000 kg/år	Ikke rapportert
Suspendert stoff (SS)		56903 t/år	Ca. 37000-60000 t/år	
Støv				Ca. 50-150 t/år

## 2.3 Diffuse utslipp

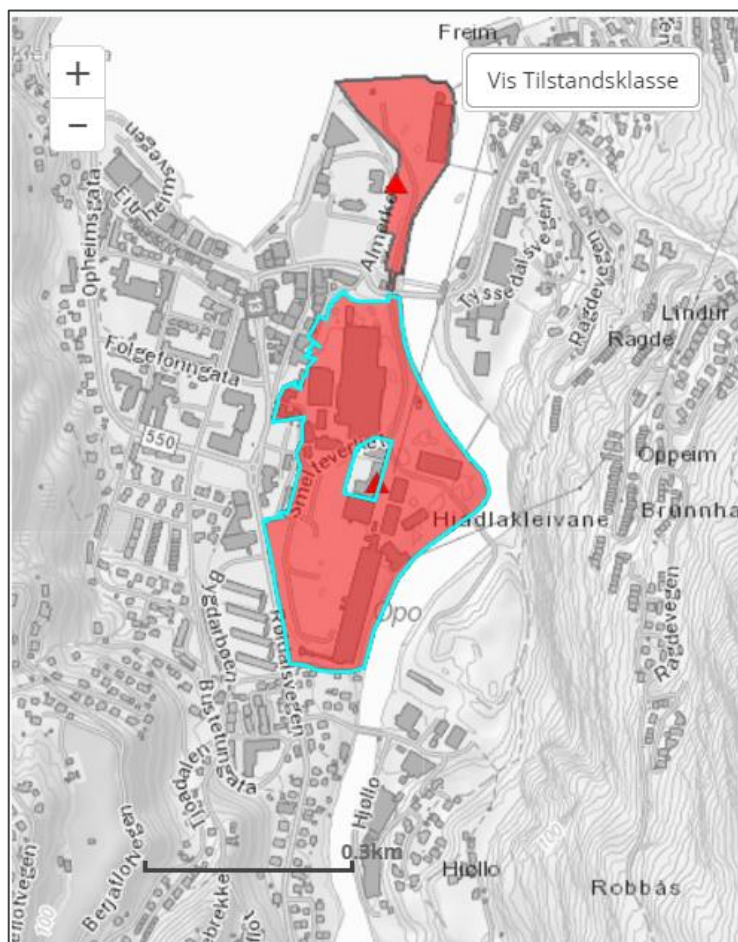
Som vist i *Fagrapport for forurensning og vannkvalitet* (Sweco, 2017A) utarbeidet i forbindelse med konsekvensutredningen for Opo flaumkraftverk, er det områder langs Opo og i Odda sentrum som er betydelig forurensnet, og som sannsynligvis bidrar til diffus tilførsel av forurensning til Sør fjorden.

I tillegg til utslippene av metaller m.m. til vann, beskrevet i avsnitt 2.2, er det også diverse utslipp til luft fra de omkringliggende industrivirksomhetene. En del av dette må forventes å ende opp i Sør fjorden, enten som direkte nedfall, eller som avrenning fra landområder.

Det var en kraftig flom i Opo høsten 2014, hvor det er sannsynlig at denne kan ha ført til noe utvasking av gamle forurensete masser fra områder på land, tilknyttet tidligere Odda Smelteverk (se Figur 2 og Figur 3).



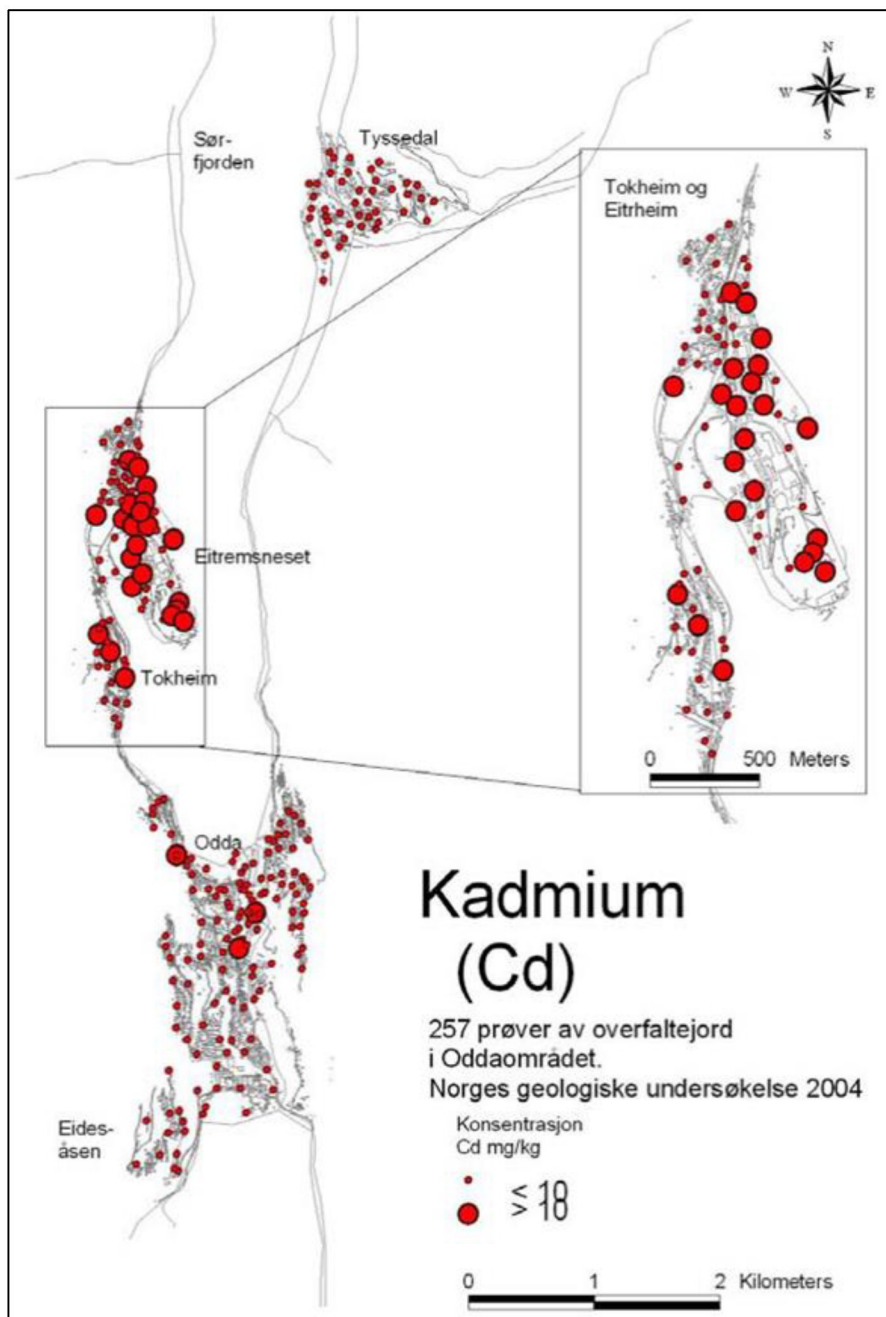
Figur 2. Kart som viser kjente eiendommer med forurenset grunn og bedrifter/industri med utslippstillatelse. Bearbeidet etter kart fra [www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no).



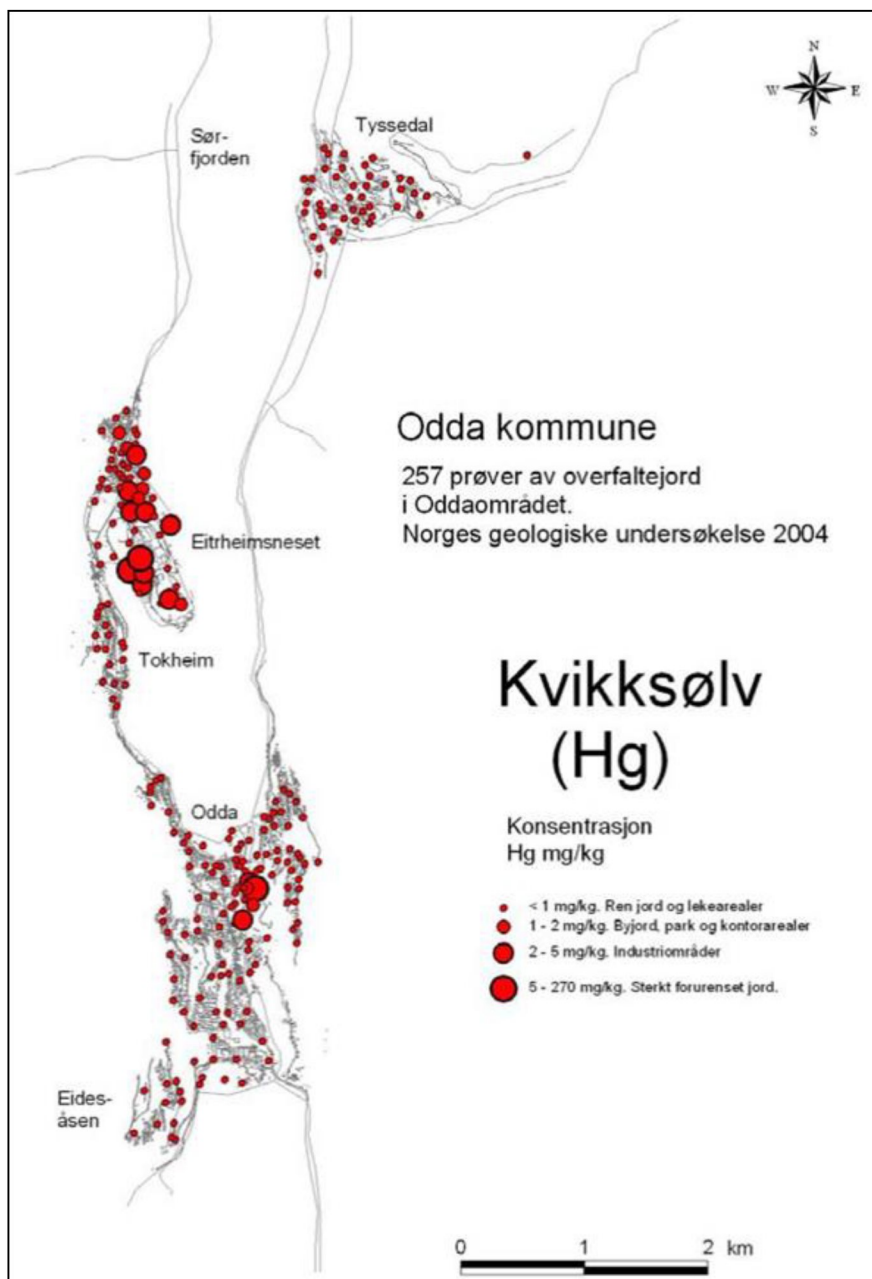
Figur 3. Kart som viser utbredelse av forurensning på den nedlagte smelteverkstoma (Odda smelteverk – industriområde, lokalitet ID: 4041). Kilde: [www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no).

### 2.3.1 Jordforurensning i Odda

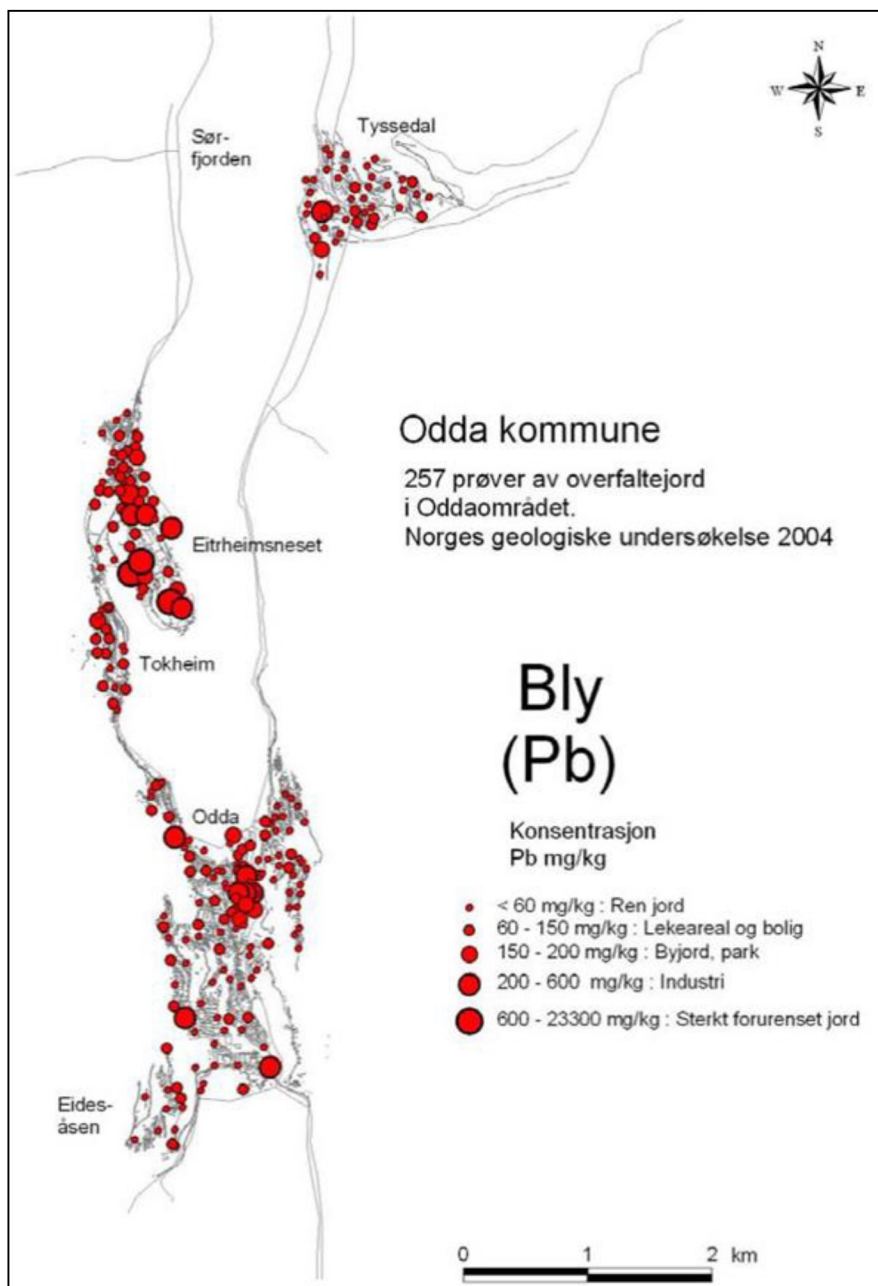
I NGU (2006) er det rapportert resultater fra 257 prøver av overflatejord tatt i 2003, i tilknytning til de tetttest bebygde områdene i Odda, og industriområdene rundt indre Sør fjorden. Resultatene viser at overflatejorda i Odda er til dels sterkt forurenset med tungmetaller (se eksempler på tungmetallregistreringer i Figur 4, Figur 5 og Figur 6). Rapporten beskriver videre at forurensningene lett vil spres med vind, regn, snørødding og ras. Disse diffuse tilførslene vil bidra til videre forurensning av sedimentene i Sør fjorden.



Figur 4. Oversiktskart som indikerer konsentrasjonen av kadmium i overflatejord i Oddaområdet. Kilde: NGU (2006).



Figur 5. Oversiktskart som indikerer konsentrasjonen av kvikksølv i overflatejord i Oddaområdet. Kilde: NGU (2006).



Figur 6. Oversiktskart som indikerer konsentrasjonen av bly i overflatejord i Oddaområdet. Kilde: NGU (2006).

### 2.3.2 Kvantifisering av tungmetalltilførsler i indre del av Sør-fjorden, Hardanger

I NIVA (2013) er det beskrevet at jordsmonnet i området rundt Sør-fjorden vil kunne være påvirket av lokale punktkilder via utslipp til luft og annen spredning av metallforurenset materiale, samt at utvasking av forurensete løsmasser vil kunne være en kilde til forurensning av fjorden via bekker og elver. Det påpekes videre at selv om målte konsentrasjoner i all hovedsak var relativt lave, blir tilførslene betydelige når årlig avrenningsvolum tas med i beregningene. Videre påpekes det i samme rapporten at det ble funnet høy utlekking av metaller (kadmium, kobber, bly og sink) fra

sedimentene, både i Eitrheimsvågen, innerst og midt i havnebassenget, samt fra sedimenter nordøst for Eitrheimsneset (i nærheten av tidligere jarosittutslipp). Undersøkelsene som ble gjennomført viste en betydelig transport av metaller fra de gamle, forurensede sedimentene og opp til sedimentoverflaten hvor kadmium og sink løses i vannfasen, og eventuelt felling igjen som sulfider. Undersøkelsen konkluderer også med at resultatene tyder på at det er betydelige kilder som ikke er kvantifisert enda (f.eks. avrenning fra tette flater, dreneringsledninger, atmosfærisk deposisjon).

### 2.3.3 Analyseresultater fra tomten til Odda smelteverk, og fra Opo

I rapport fra Hardanger Miljøsester (2014) er det analysert grunnvann og drensvann på industriområdet til tidligere Odda smelteverk. Rapporten gir analysedata og vurderinger av diffuse tilførsler av tungmetaller og nitrogen, og konkluderer med at det skjer en diffus avrenning av både tungmetaller og nitrogen til Opo.

Ved gjennomgang av analyseresultatene viser flere prøver fra ulike brønner at vannkvaliteten for flere av tungmetallene inkludert kvikksølv tilhører klassene III *Moderat tilstand* og IV *Dårlig tilstand* ifølge veileder M-608 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota (Miljødirektoratet, 2016).

Hardanger Miljøsester gjennomfører på oppdrag fra kommunen også løpende/månedlig overvåking av vannkvaliteten i Opo og en rekke andre vassdrag i kommunen. Analysene av vannprøver tatt ved utløpet av Sandvinvatnet og nederst i Opo ved Ragdebrua, viser at det skjer en avrenning fra land til Opo på denne strekningen. Vannprøvene tatt ved Ragdebrua viser at elva blir tilført ulike forurensinger fra områdene langs Opo. Et utvalg av analysedataene er vist i vedlegg 2.

De siste to årene har det vært gjort en del flomsikringsarbeid i elva som blant annet har medført graving i elvebunn og elvekanter. Analyseresultatene fra vannprøvene gir indikasjon på at dette arbeidet kan ha bidratt til mobilisering av noe av forurensningene som ligger i jorda langs elva.

Både prøver av grunnvann og av vannkvaliteten i Opo underbygger at det er et sig av forurensninger fra industriområdet via Opo til fjorden. Det samme kan en forvente skjer fra andre industriområder/deponiområder og ellers fra forurenset grunn innerst i Hardangerfjorden. På grunn av de betydelige forurensningene som ligger i jorda rundt havnebassenget i Odda, er det grunn til å regne med at tar lang tid før forurensningsnivået er tilbake til normale bakgrunnsnivåer, med mindre det iverksettes omfattende tiltak for å fjerne forurensningene eller forhindre utlekking.

### 3 Miljøtilstand

Miljøtilstanden i indre del av Sørfjorden er i stor grad påvirket av tidligere utslipp av miljøgifter (som omtalt under kapittel 2). Til tross for gjennomføring av tiltak for å begrense utslippene av miljøgifter fra industrien, vil disse ikke stoppe opp så lenge virksomhetene er i drift. De årlige utslippene vil fortsette i tråd med utslippstillatelsene gitt av miljømyndighetene. Belastningen på området er fortsatt stor.

I kapittel 3 er utslippstallene supplert med tilgjengelig kunnskap om innhold av ulike forurensinger i sedimentene, kunnskap om vannkvalitet, tilstanden for bunndyr og fisk, samt kostholdsråd fra Mattilsynet. NIVA har vært, og er fortsatt, svært sentrale i miljøovervåkingen av tilstanden i Sørfjorden.

#### 3.1 Sedimenter i havnebassenget

I diskusjonene om konsekvenser av å etablere et nytt utløp av ferskvann fra en flomtunell i Kleivavika, er det reist spørsmål om et slikt utløp av ferskvann kan medvirke til reaktivering av miljøgifter som ligger i bunnsedimentene i havnebassenget. For å etablere et bedre vurderingsgrunnlag enn det som så langt finnes, gjennomførte Hardanger Miljøsenster i mars 2018 en kartlegging av forurensningssituasjonen i sedimenter som eventuelt kan bli eksponert ved tilførsel av ferskvann fra en flomtunnel. En slik reaktivering betinger at vannmassene ned mot bunnen blir satt i bevegelse utover det som er dagens hydrauliske situasjon.

Figur 7 viser en oversikt over 16 prøvetakingsstasjoner for sedimenter tatt i mars 2018. Stasjon SØ7/2 ble valgt fordi den representerer en referansestasjon til tidligere prøvetakinger i det Statlige overvåkingsprogrammet, mens de andre stasjonene er spredt fordelt i det aktuelle influensområdet.

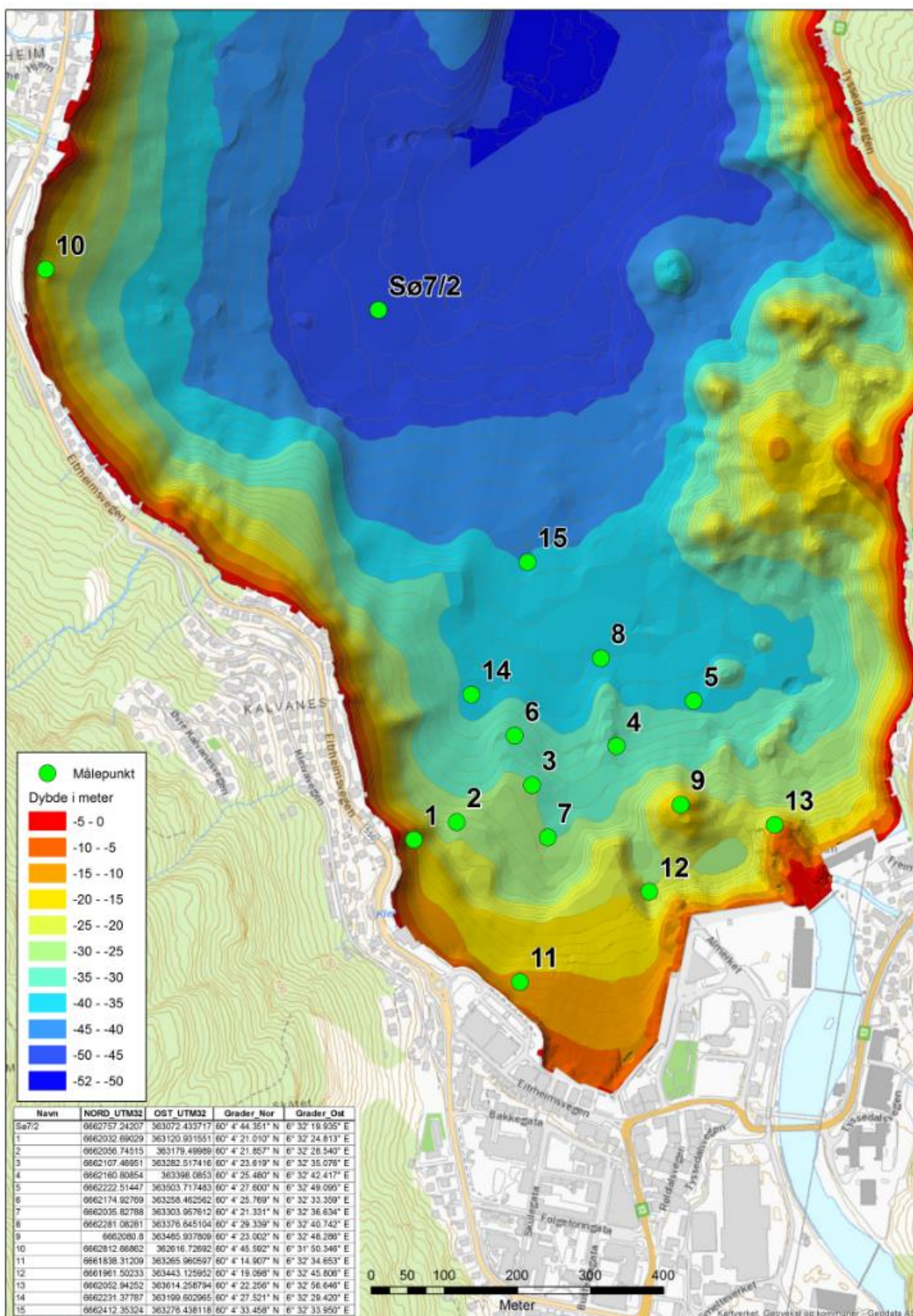
Prøvetaking av sedimenter ble utført med "core" eller "grab", avhengig av type bunnssubstrat. Ved alle punktene ble det tatt en overflateprøve (0-1 cm) for analyse av kornfordeling og TOC, samt en blandprøve (0-10 cm) for de øvrige analysene. I enkelte av punktene ble det også tatt prøve på 10-15 cm, samt 15-20 cm for å se forurensningene nedover i sedimentet.

Alle prøvepunktene ble analysert for metaller, PAH16, PCB7, DDT, TOC og kornfordeling. Alle analyseresultater er presentert i vedlegg 3. For oversikt over grenseverdier for klassifisering av miljøtilstand, vises det til Miljødirektoratets veileder M-608 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota (Miljødirektoratet, 2016).

Resultatene viser at sedimentene er sterkt (klasse IV) til meget sterkt forurenset (klasse V), av spesielt kobber, sink, bly og kvikksølv. I noen av prøvene er det også funnet lavere forurensningsnivåer av kadmium (klasse II-V), arsen (klasse I-IV), DDT (klasse I-III) og PCB (klasse I-III). Det er også funnet noe varierende, og til dels høye (klasse IV og V), konsentrasjoner av PAH-forbindelser i sedimentprøvene. Dette gjelder både enkeltforbindelser, samt PAH16. Unntaket er prøvene 5 og 13, som i stor grad er påvirket av Opo. Resultatene og nivåene fra denne undersøkelsen sammenfaller i stor grad med funnene i NIVA (2013 og 2016).

Kornfordelingsanalysene viser at ved alle stasjonene med unntak av stasjon 13 (utløpet av Opo), består toppsjiktet primært av leire, silt og finsand. Stasjon 13 er åpenbart påvirket av massetransport fra Opo, og dette kan en antakelig også se igjen på stasjon 5, som også har mer innslag av noe grovere sedimenter enn de øvrige stasjonene. Disse to stasjonene har også betydelige lavere innhold av organisk materiale (særlig stasjon 13).





Figur 7. Oversikt over prøvetakingsstasjoner for sedimenter, mars 2018. Dybden i fjorden er vist med konturlinjer for hver meter, og med ulik farge for ulike dybdeintervaller som angitt på figuren.

## 3.2 Vannkvalitet Sørfjorden

### 3.2.1 Statlig overvåkingsprogram (Miljødirektoratet, 2013)

Rapporteringen fra overvåkingen i Sørfjorden i 2012 (Miljødirektoratet, 2013), representerer siste året av den statlige initierte overvåkingen i Sørfjorden, administrert av Miljødirektoratet (tidligere Klima- og forurensningsdirektoratet). Dette programmet startet allerede i 1979, og omfattet undersøkelser av både blåskjell, fisk, vann og sedimenter, i både Sørfjorden og deler av Hardangerfjorden.

For vannkvaliteten oppsummeres de viktigste observasjonene i 2012 som følger:

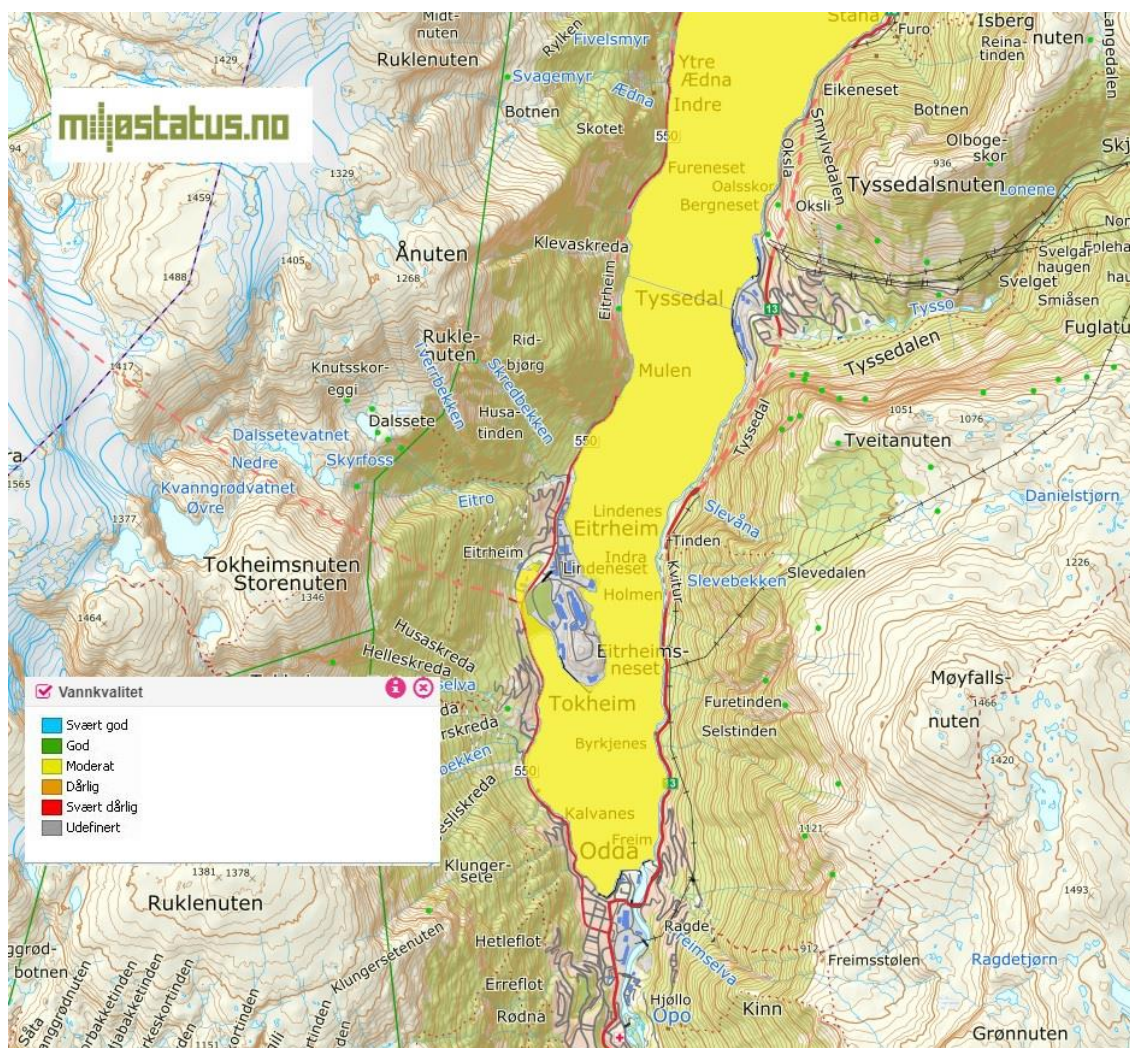
- *Årsgjennomsnitt for konsentrasjoner av sink i overflatevann tilsvarte moderat tilstand (Klasse III) ytterst i fjorden og dårlig (Klasse IV) innerst. Konsentrasjoner av kadmium tilsvarte i hovedsak god tilstand (Klasse II). Konsentrasjoner av kobber varierte lite mellom stasjoner og representerte i hovedsak moderat tilstand (Klasse III). Bly viste konsentrasjoner som i hovedsak tilsvarte god tilstand (Klasse II). Ved Digranes, Eitrheim, Havnebassenget og Lindenes tilsvarte årsgjennomsnittene av kvikksølv klasse I-II (bakgrunn til god).*
- *Sinkkonsentrasjoner varierte sterkt vertikalt i fjorden, med de høyeste konsentrasjonene i overflatevannet og nært bunnen.*
- *Nitrogenkonsentrasjonen varierte mye med tiden og dette er i hovedsak et resultat av varierende vannutskiftning.*
- *Oksygentilstanden i Sørfjorden varierte gjennom året og tilstanden for Havnebassenget var i hovedsak meget god. Resultatene viser at det fortsatt er noe oksygenforbruk pga. fortsatt utlekking av dicyandiamid fra hauger av dicykalk på bunnen av havnebassenget.*

Overvåkingen har vist en reduksjon i årsgjennomsnittet for sink i overflatevann i løpet av de siste 12 årene av overvåkingen (2000-2012) ved Digraneset (ca. midt i Sørfjorden), noe som antas å henge sammen med "Prosjekt Avløp" og reduksjon av metalltilførsler via overflatevann på Eitrheimsneset.

### 3.2.2 Tiltaksrettet overvåking av kystvann (NIVA, 2016 og 2018)

Undersøkelsene er en oppfølging av kravene til norske bedrifter om overvåking i henhold til vannforskriften, og er et samordnet overvåkingsprogram for kystvann i vannområde Hardanger, på vegne av flere av kommunene og industribedriftene som sokner til vannområdet. Det er gjennomført omfattende prøvetaking i 2015 (NIVA, 2016), og med noe redusert omfang i 2017 (NIVA, 2018).

Resultatene av undersøkelsen i 2015 viste at vannkvaliteten i Sørfjorden var moderat (klasse III). Vannprøvetaking fra Sørfjorden er fulgt opp med målinger én gang pr måned, og resultatene viste svingninger gjennom året (NIVA, 2018). Tilstandsklassifiseringen av konsentrasjoner av sjøvann viste i hovedsak årlige gjennomsnittskonsentrasjoner i tilstandsklasse II (god tilstand), men unntak for sink på samtlige stasjoner (tilstandsklasse IV – dårlig), og for bly på stasjon SØ7/2 (klasse III – moderat).



Figur 8. Rapportert tilstandsklassifisering for vannforekomst Sør fjorden indre del. Kilde: [www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no).

### 3.3 Status bunndyr og fisk

#### 3.3.1 Statlig overvåkingsprogram (Miljødirektoratet, 2013)

I undersøkelsene beskrevet i avsnitt 3.2.1, ble det også samlet inn prøver av biota som ble analysert for en rekke miljøgifter. De viktigste observasjonene fra 2012, viste at gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i torsk fra Sør fjorden tilsvarte klasse II *Moderat forurenset* (obs. gammelt klassifiseringssystem), at innholdet av kvikksølv i dypvannsfisk var høyt, og at innhold av bly i lever av brosme var høyere enn i andre norske fjorder som er undersøkt tidligere.

Metallanalyser av blåskjell viste ingen forhøyede/lave konsentrasjoner av kobber, sink, kadmium, og bly (klasse 1-II), men noe forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner (klasse II-III).

### 3.3.2 Tiltaksrettet overvåking av kystvann (NIVA, 2016 og 2018)

I undersøkelsene beskrevet i avsnitt 3.2.2, ble det også samlet inn prøver av biota som ble analysert for en rekke miljøgifter.

Resultater fra indre Sjøfjorden i 2015 viste få arter av både alger og dyr, med sparsomme forekomster, slik at økologisk tilstand for makroalger ble angitt som *dårlig*. For bunnfaunaen ble det i indre Sjøfjorden funnet et noe artsfattig samfunn, med *god* til *moderat* tilstand. Konsentrasjoner av DDT i blåskjell overskred grenseverdien for god tilstand, og det ble observert stor variasjon i kvikksølvinnholdet mellom individuelle brosmer og samtlige oversteget verdien som er tillatt for å omsette som sjømat innenfor EU.

Sammenlignet med undersøkelser fra 1980- og 1990-tallet har tilstanden forbedret seg i hele det undersøkte området, både for makroalger og bunnfaunaen. Det synes imidlertid som at tilstanden i Sjøfjorden fortsatt har et forbedringspotensial.

Prøvene av blåskjell som ble tatt i 2017, viste fortsatt en overskridelse av grenseverdier for DDT på flere av stasjonene, men likevel var konsentrasjonene av flere av metallene blant de laveste som er observert etter 1980-årene (NIVA, 2018).

## 3.4 Oppsummering miljøtilstand indre Sjøfjorden

De ulike undersøkelsene som er gjort i Odda og Sjøfjorden, viser at området er sterkt preget av forurensning, særlig av utslippene fra de ulike industrivirksomhetene som har hatt og har utslipp til både luft og vann i området. Store deler av grunnen/jorda i Odda er forurenset, ikke bare på selve industriområdene, men også i boligområdene. Dette stammer nok både fra direkte deponering og indirekte (støvnedfall). Disse massene er igjen bidragsyter til diffuse utslipp til både Opo og sjøen, via nedbør som renner gjennom massene.

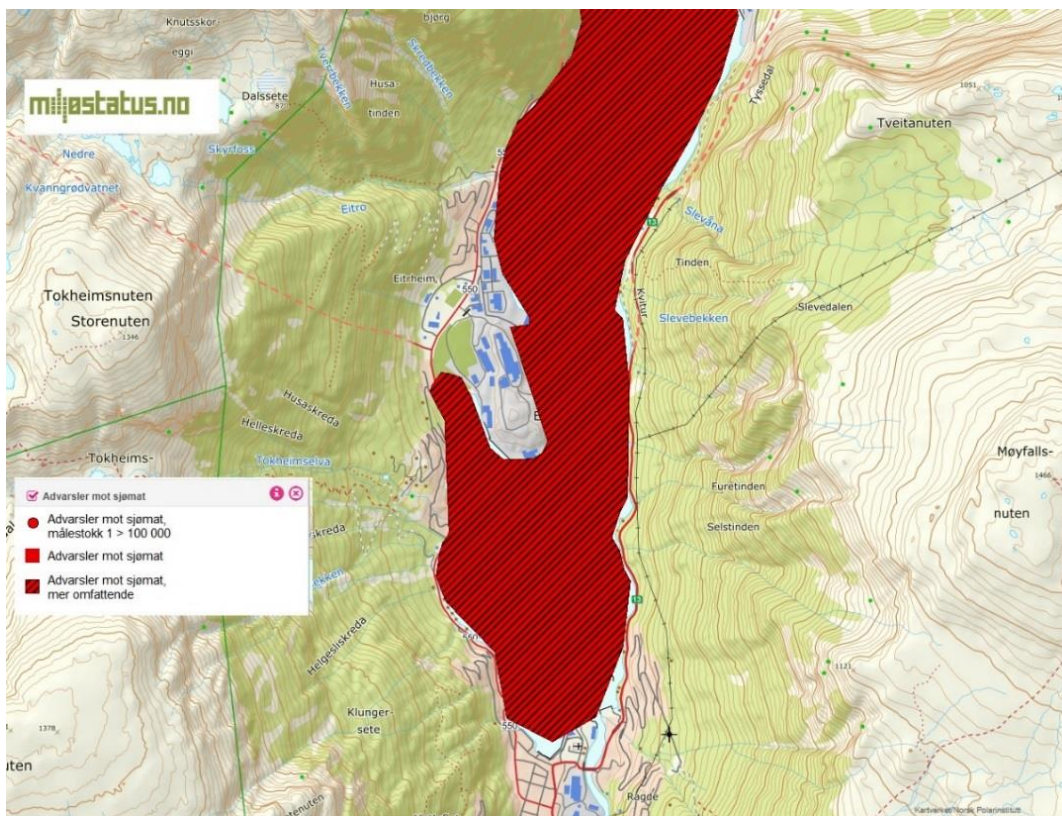
Videre har det vært, og fortsatt pågår, store utslipp til vann. Dette er regulert i de enkelte bedriftenes utslippstillatelser, gitt av miljømyndighetene. I forbindelse med disse tillatelsene, har de også et pålegg om overvåking av miljøtilstanden i resipienten/fjorden. Videre er det vedtatt et overvåkingsprogram for kystvann i vannområde Hardanger (2017-2021) i henhold til vannforskriften, og i samarbeid med bedriftene som er pålagt overvåking av resipienten. Denne overvåkingen viser at sedimentene i hele Sjøfjorden innenfor Tyssedal er forurenset, og at tilstanden karakteriseres som *Dårlig* til *Svært dårlig*. Vannkvaliteten er noe bedre, men er fortsatt *Moderat* til *Dårlig*, særlig innerst i havnebassenget.

Jevnlige episoder med stor vannføring i Opo og høye strømningshastigheter utover i havnebassenget medfører med stor sannsynlighet omrøring i de forurensete bunnsedimentene i området ut for elveutløpet. I vurderingen knyttet til de gjennomførte sedimentundersøkelsene i havnebassenget i 2018 (vedlegg 3) skriver også Hardanger Miljøseniter:

«Prøvepunktene ved utløpet av Opo-elven (punkt 13, 5 og 8) er blant de minst forurensete. Dette kan være som følge av utsedimentering av rene masser på toppen, eller at forurensete masser her er vasket vekk fra havbunnen, og transportert lenger ut i fjorden.»

## 3.5 Kostholdsråd

Mattilsynet vurderte sine kostholdsråd sist i 2013 for Sjøfjorden ([www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no)). Advarslene går ut på å ikke spise lange fisket i Sjøfjorden eller spise skjell plukket fra Sjøfjorden. I tillegg bør ikke gravide og ammende generelt spise krabber, hummer eller stasjonær fisk fanget i Sjøfjorden. Dette grunnet at sjømaten er forurenset med kadmium, bly, kvikksølv, dioksiner og PCB.



Figur 9. Kart som viser områder med advarsler mot sjømat. Kilde: [www.miljostatus.no/kart](http://www.miljostatus.no/kart).

## 4 Strømninger i havnebassenget

### 4.1 Dagens forhold

Strømningene i fjordsystemet påvirkes av bølger og vind, men mer viktig av tidevann og vanntilførsel fra større elver som Opo. Uni Research har gjort en numerisk modellering av strømningsforhold i Sør fjorden (Thiem et al, 2012). I Sør fjorden modellerte de forholdene i fem snitt, der det innerste lå ved Tyssedal. Strømningsmønsteret ble studert i tre perioder (vinter, vår og høst), og resultatene viste store variasjoner i strømf forholdene i disse periodene, både i horisontalen og i vertikalen.

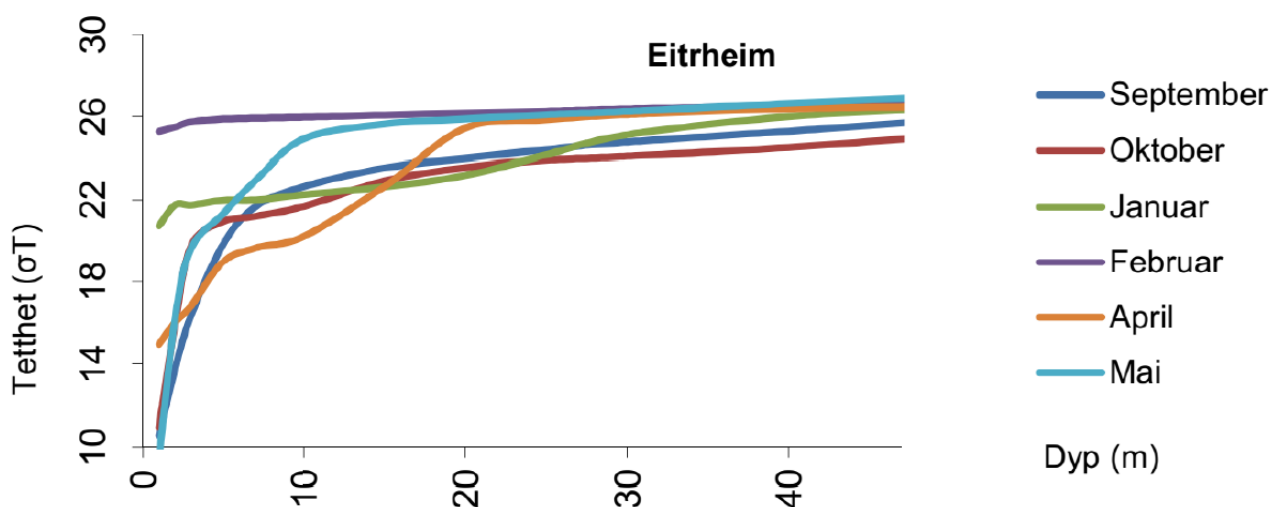
I 2015 gjorde Uni Research strømmålinger i Sør fjorden, med de innerste målingene ved Eitrheimsneset (Haave et al, 2015). Studien var den første som kartlegger strømf forholdene i fjorden med direkte målinger fra innerst i fjorden ved Eitrheimsneset nord og ut til Bøvre. Hovedstrømsystemene vinter, vår og høst ble studert, i tillegg til strømhastigheter i overflatelaget og rundt sprangsjiktet. Resultatene bekreftet langt på vei de tidligere numeriske simuleringene, og ga et godt grunnlag for ytterligere å forbedre den numeriske modellen. Imidlertid var det ikke midler til en mer detaljert måling av strømning ved bunnen, og dette er noe som Uni Research foreslår utføres i en oppfølgende studie. Også modellresultatene fra 2012 indikerte at det ville være interessant med mer kunnskap om forholdene langs bunnen. Noen av simuleringene viste forholdsvis høye utadgående hastigheter ved bunnen, hastigheter som vil kunne medføre fare for reaktivering av bunnmateriale på utsatte steder. Dette ble ansett spesielt interessant i snittet inne ved Tyssedal.

## 4.2 Med tunnelutløp i Kleivavika

Flomtunnelen med utløp i Kleivavika vil resultere i en spredning av ferskvannstilførselen innerst i Sørfjorden, med tilførsel både fra Opo og fra tunnelen. Norconsult har gjennomført modellberegninger av strømhastigheter i fjorden ved ulike vannføringer i tunnelen. Beregninger ble gjort med full drift i kraftverket (75 m<sup>3</sup>/s), med halv drift i kraftverket og med maksimal flomvannføring i tunnelen (500 m<sup>3</sup>/s). Rapporten finnes som vedlegg 4.

I rapporten fra Norconsult er det vist hvordan tunnelen er designet med et energidreperbasseng rett før utløpet. Dette vil gi i en reduksjon i vannhastighetene ut fra tunnelen. Når vannet fra tunnelen renner ut i det salte vannet i fjorden, vil det få en oppdrift fordi saltvannet er tyngre enn ferskvannet. Denne oppdriften fører til at vannstrålen ut fra tunnelen løftes mot overflaten og spres mer i bredden enn i dybden, og vil gi lavere hastigheter nedover i dypet.

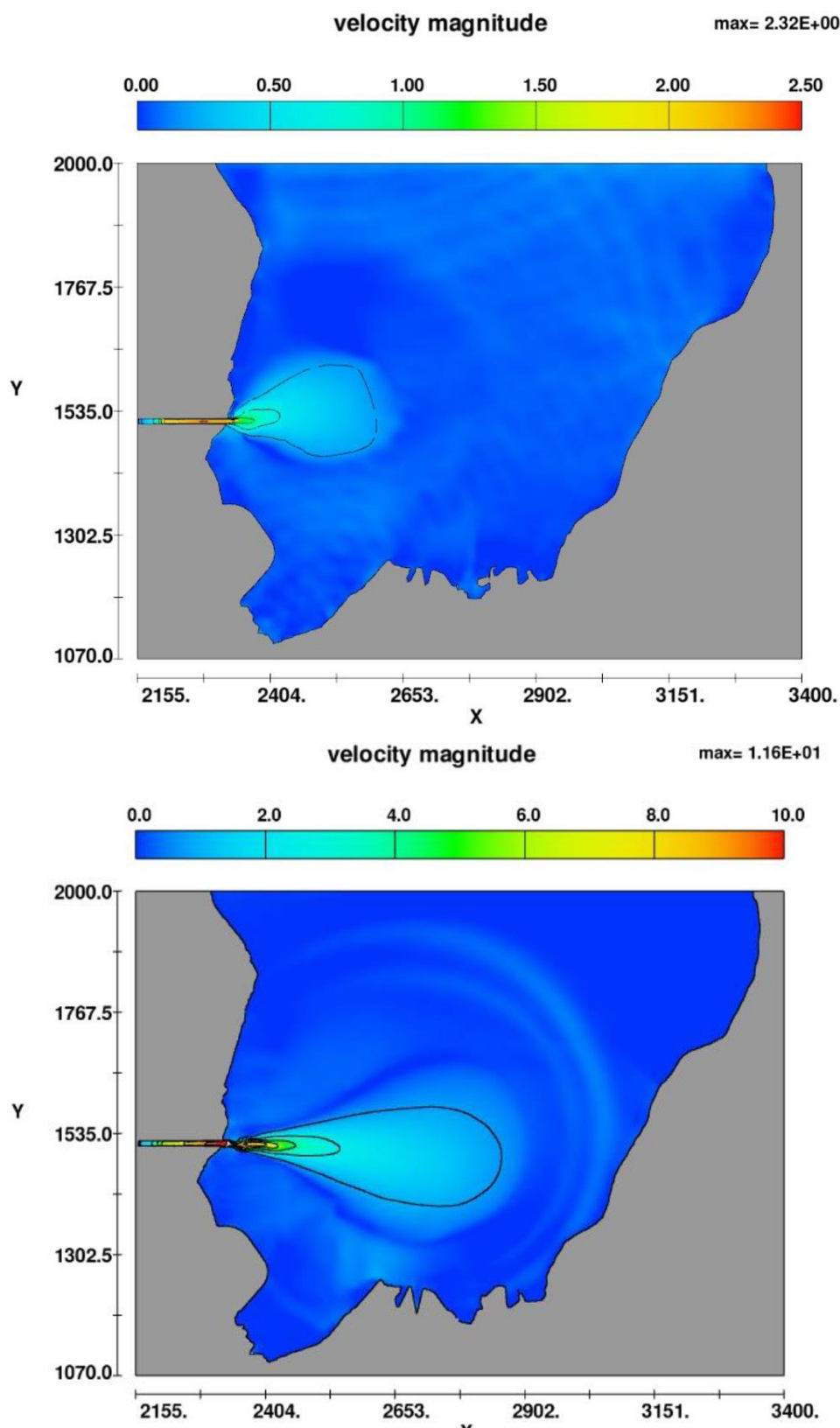
I modellen er saltholdighet i fjorden i ulike dyp lagt inn med utgangspunkt i observerte verdier ved Eitrheim hentet fra målingene til Uni Research (Haave et al, 2015). Tettheter nedover i dypet til ulike tider av året er vist i Figur 10. Ferskvann har tyngdetetthet på ca 1000 kg/m<sup>3</sup>. Nedover i dypet øker denne til ca 1026 kg/m<sup>3</sup>, med økende saltholdighet.



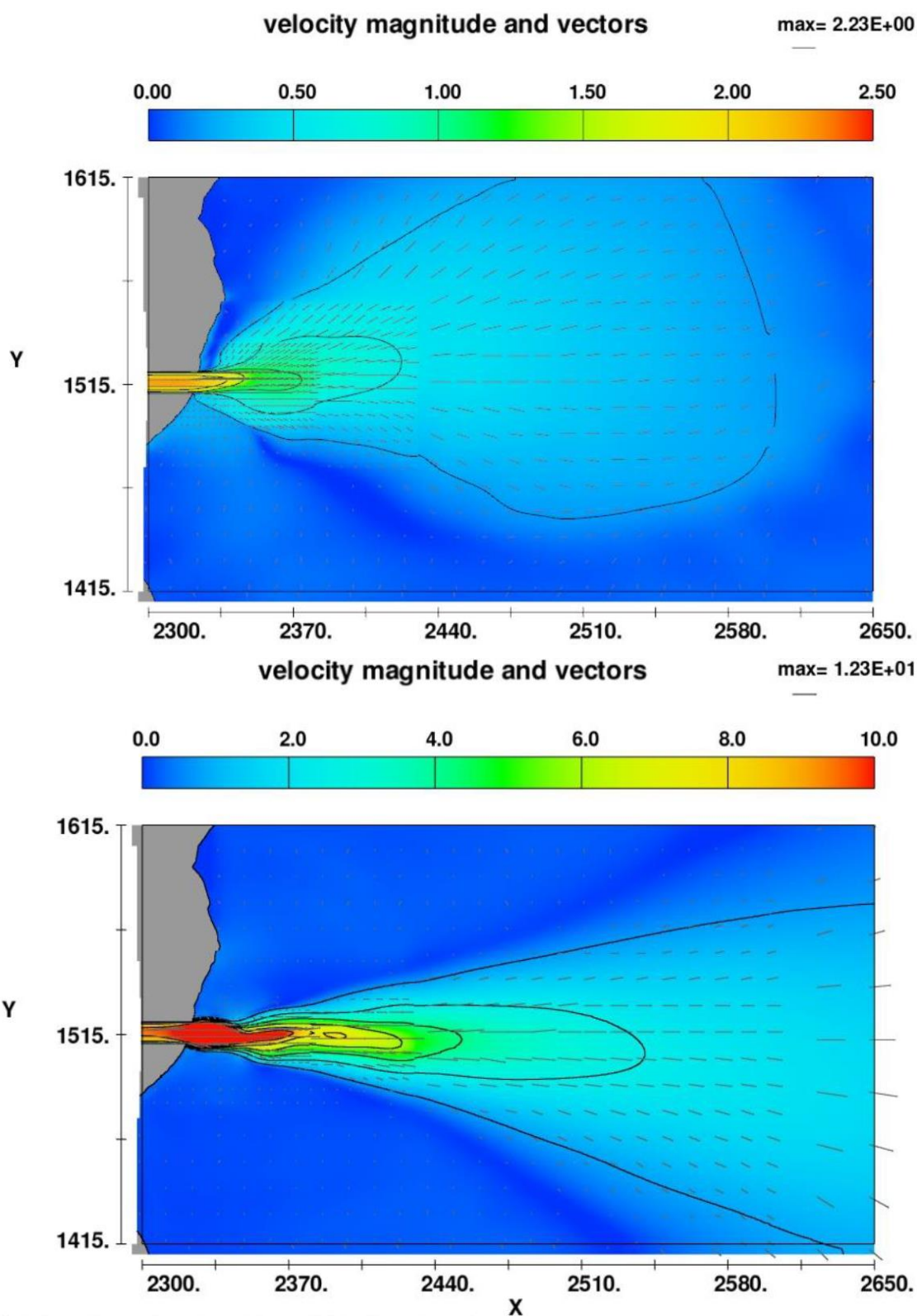
Figur 10. Tetthet målt ved Eitrheim, verdier på vertikal akse er tetthet minus 1000 kg/m<sup>3</sup> (kilde: Haave et al, 2015)

Det er under tatt med noen resultater fra modellberegningene til Norconsult, med full drift i kraftverket og med maksimal flomvannføring. Strømmens hastighet og retning ble beregnet fra tunnelutløpet og ca. 300 m utover.

I Figur 11 er det vist hastigheter i et lag rett under overflaten, på ca. 2 m dyp. Et utsnitt av kartene i Figur 11 nær tunnelutløpet er vist i Figur 12, med hastighetsvektorer som viser strømretningen. For å vise hastighetsfordelingen nedover i dypet er det laget vertikalsnitt i tunnelens lengderetning (Figur 13).

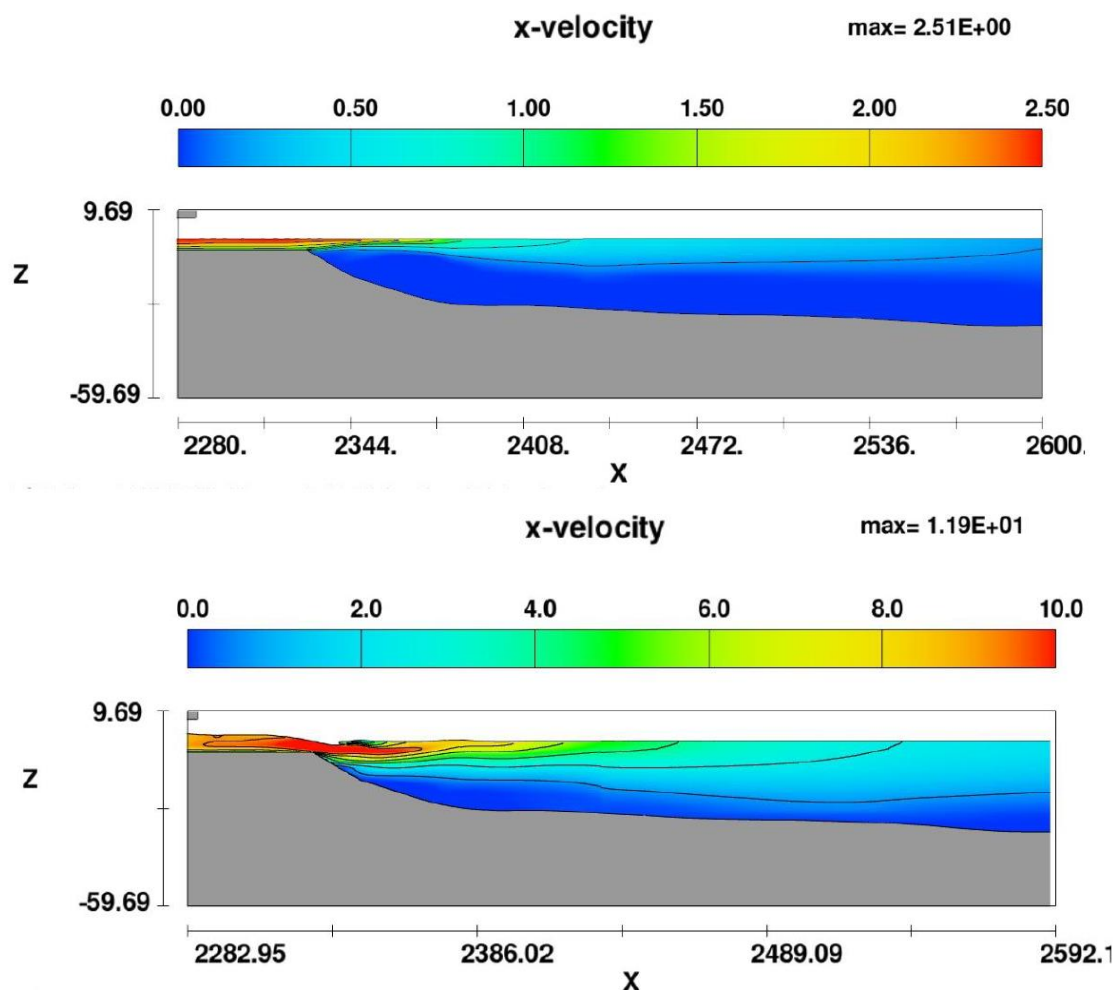


Figur 11. Oversiktskart som viser vannhastigheten (m/s) på ca. 2 m dyp. Vannføring i tunnelen 75 m<sup>3</sup>/s øverst og 500 m<sup>3</sup>/s nederst. (kilde: Norconsult).



Figur 12. Detaljkart med vektorer som viser vannhastigheten (m/s) på ca. 2 m dyp. Vannføring i tunnelen 75 m<sup>3</sup>/s øverst og 500 m<sup>3</sup>/s nederst. (kilde: Norconsult).

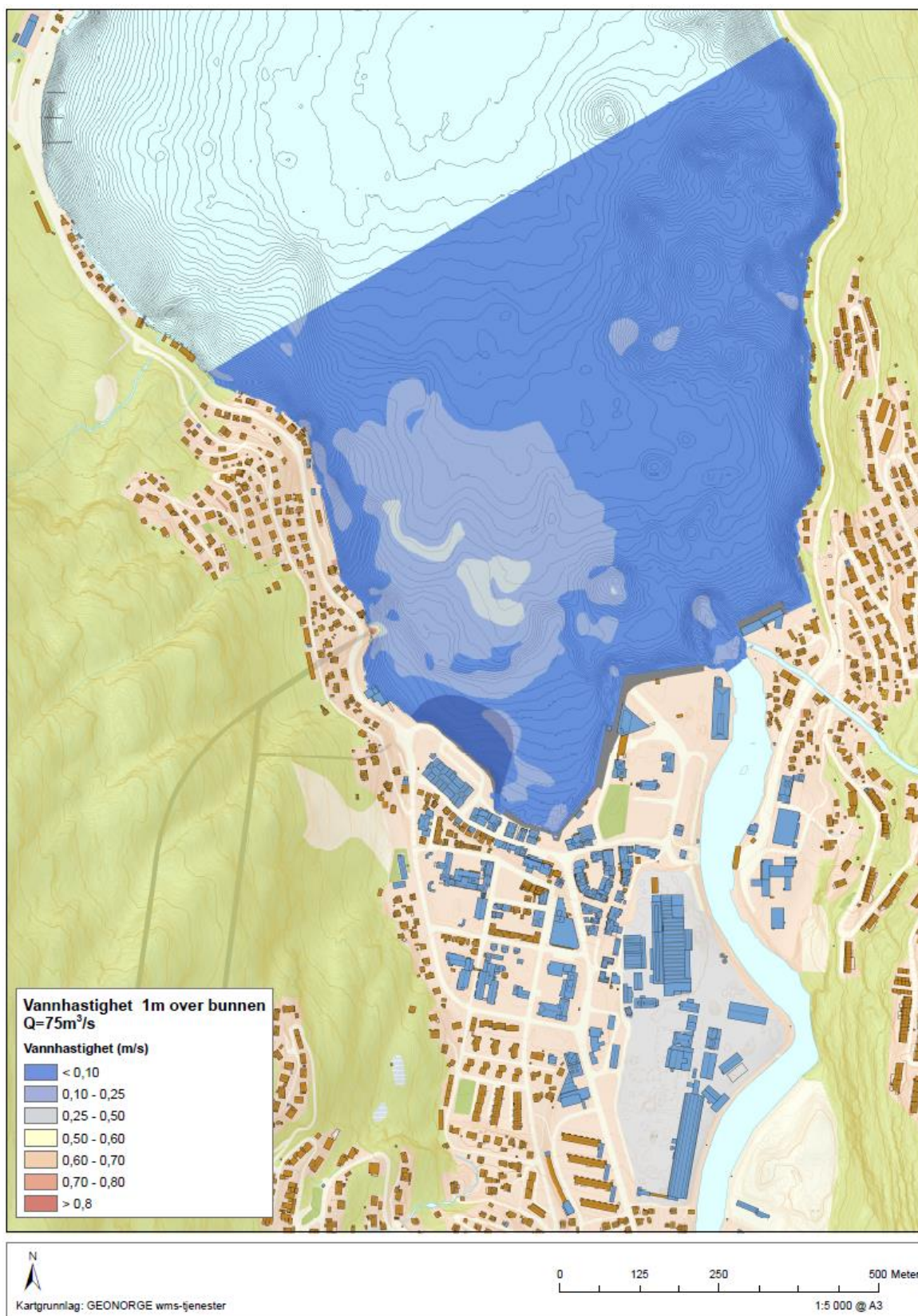




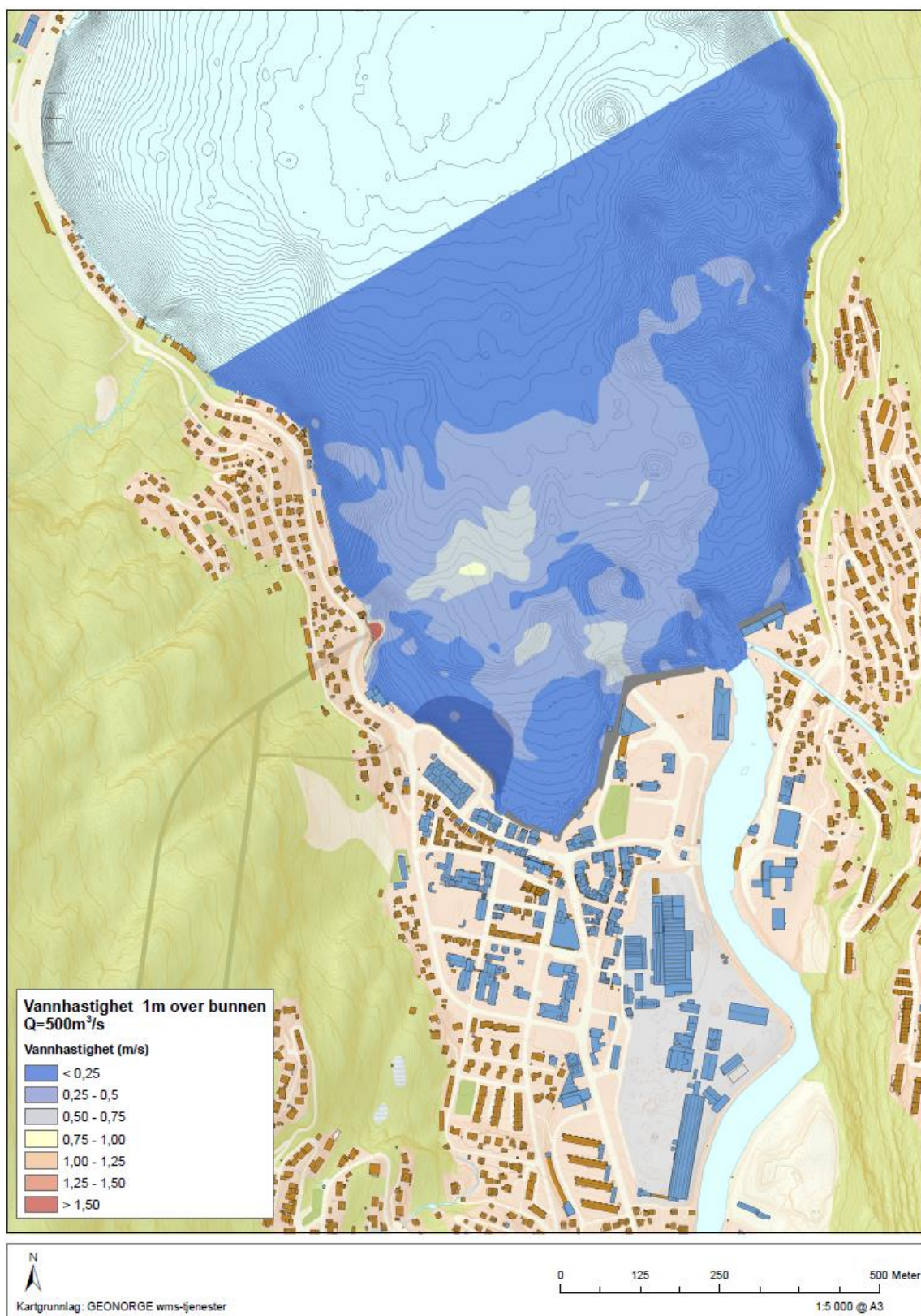
Figur 13. Vannhastigheten (m/s) i tunnelens senterlinje, fra utløpet og ca. 300 m utover. Vannføring i tunnelen 75 m<sup>3</sup>/s øverst og 500 m<sup>3</sup>/s nederst. (kilde: Norconsult).

Hastigheter nær bunnen ble i tillegg beregnet for hele det innerste området av Sørfjorden. Hastigheter 1 m over bunnen er vist på kartet i Figur 14 med full drift i kraftverket og i Figur 15 med full flomvannføring i tunnelen. Av modelltekniske årsaker kunne det ikke beregnes hastigheter nærmere bunnen enn 1 m. Beregningene viser at strømhastigheten 1 m over bunnen ikke overstiger 0,5 m/s ved vannføring 75 m<sup>3</sup>/s i tunnelen, og kun unntaksvis blir høyere enn 0,75 m/s ved full flomvannføring i tunnelen (500 m<sup>3</sup>/s).

I beregningene er det ikke inkludert noen vanntilførsel til fjorden fra Opo, noe som gjør resultatene over mot den østre siden av fjorden mer usikre. Dette er uansett et område som vil bli vesentlig mindre påvirket av vannet fra flomtunnelen, og spesielt i perioder med midlere og stor vannføring i Opo vil strømningshastighetene være dominert av vannføringen i elva.



Figur 14. Vannhastigheter (m/s) 1 m over bunnen, med full drift i kraftverket (75 m<sup>3</sup>/s). (kilde: Norconsult).



Figur 15. Vannhastigheter (m/s) 1 m over bunnen, med maksimal flomvannføring (500 m<sup>3</sup>/s). (kilde: Norconsult)

## 5 Konsekvensene av enkelttiltak mht. fare for reaktivering av miljøgifter

Sørfjorden har vært eksponert for miljøgifter i vel 100 år. Selv om utslippene til fjorden har avtatt merkbart siden begynnelsen av 1980-tallet, ligger gamle synder fortsatt gjemt i sedimentene. Økosystemet i fjorden er preget av dette, men er tilsynelatende i bedring.

Den omsøkte flomtunnelen og de to deponiene i fjorden vil i første rekke bli vurdert opp mot fare for spredning av eksisterende miljøgifter og mulig avbøtende tiltak for å forebygge dette. Langsiktige virkninger fra industriutslipp for det marine økosystemet vil vedvare så lenge utslippene fortsetter. Denne påvirkningen vil være tilstede uavhengig av en eventuell flomtunnel i Kleivavika.

### 5.1 Utløp Kleivavika

Utløpet fra flomtunnelen er planlagt i en bratt skråning der relativt lite bunnareal blir berørt. Utløpet er rettet slik at hovedstrømmen fra tunnelen raskt skal komme ut i området av fjorden med dypt vann. De forhøyningene på bunnen som primært er lokalisert ut for utløpet av Opo langs østsiden av fjorden, men også like til venstre for utløpet av Opo (jf. Figur 7), vil i svært liten grad kunne bli negativt påvirket av økte strømhastigheter ved bunnen som følge av tunnelen i Kleivavika. Fare for reaktivering av forurensede bunnsedimenter i en flomsituasjon er sannsynligvis større dersom tunnelen ikke etableres, siden bunnforholdene ut for utløpet av Opo er vesentlig grunnere enn ut for den planlagte tunnelen.

Sedimentprøvene som er tatt nå i mars 2018 (jf. kartet i Figur 7), viser at toppsjiktet i prøvene tatt ved stasjon 1 og 2 (planlagt utløp flomtunnel), i stor grad består av leire, silt og finsand. Sedimentprøvene viser også høye konsentrasjoner av både bly, kvikksølv, sink, kadmium og kobber (klasse IV-V).

Ved avledning av storflom via tunnelen, illustrert for 500 m<sup>3</sup>/s i Figur 13, vil hastigheten ved bunnen rett ut for utløpet kunne bli så høy at det vil være fare for en spredning av bunnsedimenter fra de første meterne utenfor tunnelutløpet.

Det er kjent metodikk for vurdering av fare for erosjon i bunnsedimenter i elv med rennende vann, der vannhastigheter, skjærspenninger og partikkelstørrelse inngår. For mulig erosjon i bunnsedimenter i fjorden er ikke denne metodikken nødvendigvis helt dekkende, men ved å se på de angitte grensene for begynnende erosjon for ulike kornstørrelser og vannhastigheter (Figur 16) kan dette være en brukbar indikasjon på mulig erosjonsfare i bunnsedimentene.

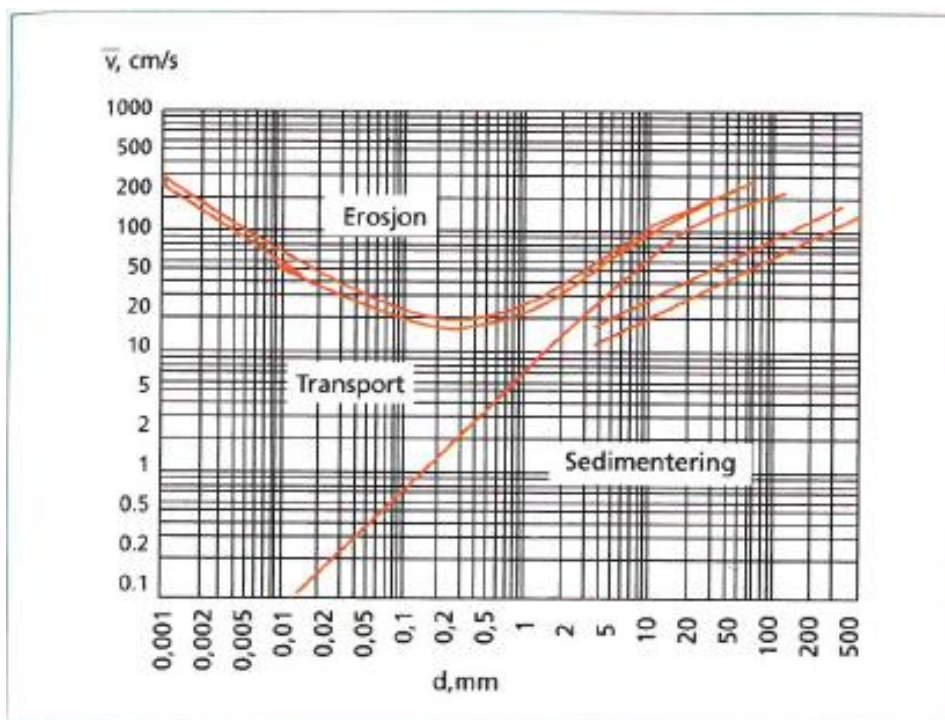
Grensen for begynnende erosjon for partikler med forskjellig kornstørrelse, som vist i Hjulstrøms diagram, gjelder for situasjoner med økende hastighet på vannet. Dette er generelt ikke tilfelle for vannhastighetene langs bunnen som avtar med avstanden fra tunnelutløpet.

Med den målte kornfordelingen i toppsjiktet av sedimentprøvene tatt i mars 2018 (jf. vedlegg 3), der hovedmengden av sedimentene har en diameter mindre enn 0,125 mm, indikerer Hjulstrøms diagram at grensen for mulig begynnende erosjon betinger vannhastigheter på minst 0,3-0,4 m/s. Med de beregnede hastighetene 1 m over bunnen med full drift i kraftverket med 75 m<sup>3</sup>/s (Figur 13) synes det å være svært liten fare for reaktivering av miljøgifter som følge av tunnelutløpet i Kleivavika.

Med flomvannføring gjennom flomtunnelen, opp til maksimalt 500 m<sup>3</sup>/s, viser de beregnede hastighetene ved bunnen, maksimalt 0,75-1 m/s, (Figur 14) at det må kunne påregnes en viss fare

for reaktivering i enkelte områder ved maksimal vannføring i flomtunnelen. Dette er en situasjon som vil inntreffe forholdsvis sjelden, beregninger med vannføringsdata for periode 1998-2014 viser at dette bare ville ha funnet sted under flommen i oktober 2014 (Sweco, 2017C og Sweco, 2018). Flomtunnelen ville ha vært i bruk i gjennomsnitt 2 ganger pr år, og ofte i bare noen få timer og i nesten alle tilfellene i mindre enn ett døgn.

Mulige avbøtende tiltak er beskrevet i kapittel 6.



Figur 16. Hjulstrøms diagram (kilde: NVE, 2010).

## 5.2 Deponi Sørfjordsenteret og Deponi Stranda

Hovedutfordringen ved utfylling av sprengstein ved Sørfjordsenteret og Stranda, er at det øverste laget av løsmassene i mindre eller større grad kan bli fortrent, forskjøvet og suspendert i sjøvannet og deretter spredt utover i havnebassenget. Utfyllingen kan derved i tillegg til å misfarge sjøen en periode også gi en økt forurensning av vannmassene.

Det ble i 1999, i regi av Multiconsult, gjennomført grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering av flere lokaliteter i indre del av Sørfjorden. Rapporten fra undersøkelsene ved Sørfjordsenteret finnes i vedlegg 7, og rapporten fra undersøkelsene ved Egne Hjem, som tilsvarer planlagt deponi Stranda, i vedlegg 8.

For utfylling ved Sørfjordsenteret ble det i 2013 gjort ytterligere geotekniske vurderinger i regi av Norconsult, rapporten finnes i vedlegg 6.. I 2017 gjorde Norconsult nye boringer i sammenheng med en oppdatert vurdering av muligheten for å deponere tunnelmasser utenfor Sørfjordsenteret. Rapport fra undersøkelsene i 2017 finnes i vedlegg 5. Rapporten sammenligner også resultatene med undersøkelsene i regi av Multiconsult i 1999.

Undersøkelsene i 2017 viste relativt løst materiale i de øvre meter av løsmassene utenfor nåværende fylling ved Sørfjordsenteret. Norconsult oppsummerer at hoveddelen av materialet kan karakteriseres som dilatant, dvs med økende styrke med økt styrkemobilisering og påførte skjærtøyninger. Konsolideringen forventes å utvikles relativt raskt med betydelig komprimering av løsmassene og derav store setninger. Over tid vil porevolumet reduseres i de løst lagrede massene pga setningene. Det vil bidra også til økt styrke.

Undersøkelsen ved Egne Hjem fra 1999 konkluderte med at det er mulig å legge ut en fylling i det undersøkte området, med visse krav til metode, omfang og geometri.

For begge lokalitetene forutsettes det at detaljprosjektering av fyllingsmetode, utforming og sikkerhet om nødvendig suppleres med ytterligere undersøkelser og stabilitetsberegninger,

Av sedimentprøvene tatt vinteren 2018 (se avsnitt 3.1), representerer prøve 10 Deponi Stranda og prøve 11 Deponi Sørfjordsenteret. Kornfordelingsanalysene viser omtrentlig lik sammensetning, med høy grad av leire, silt og finsand. De kjemiske analysene viser også svært tilsvarende resultater, med høye konsentrasjoner av både kobber (kl. V), sink (kl. IV), bly (kl. V) og kvikksølv (kl. V). I prøve 10 (Deponi Stranda), er det også funnet PCB7 (kl. II) og DDT (kl. III).

## 6 Mulige avbøtende tiltak

I dette kapittelet presenteres metoder som kan redusere eventuell spredning av forurensninger som ligger i sjøbunnen der det er planlagt å deponere sprengstein, og der det er mulig at utløpet fra flomtunnelen kan påvirke bunnsedimentene.

### 6.1 Tiltak deponier

Som omtalt i fagrapportene fra KU-undersøkelsene (Sweco, 2017A og 2017B), kan deponiområdene avskjermes mot fjorden med siltgardin som fanger opp og hindrer spredning av fine partikler. Mye av forurensningene som eventuelt ligger i sjøbunnen er vanligvis partikkelbundet og ved hjelp av siltgardin kan oppvirvlede lette og små partikler stoppes med gardinveggen. Alternativt, eller i tillegg, kan en foreta overdekning med duk/subbus/sand før utlegging av masser.

Et annet moment ved etablering av deponier er å sjekke stabiliteten i sjøbunnen slik at en unngår ras av sprengstein og forurensede bunnmasser som følge av at grunnen under deponiet beveger seg.

Norconsult foreslår, i rapporten i vedlegg 6, dekking av bunnen med fiberduk eller sand, før deponering av masser. Som et alternativ foreslår Norconsult at deponiet «lukkes inne» av en permeabel siltgardin. Det er planlagt fylling fra lekter opp til kote – 4, og deretter utfylling fra land opp til endelig høyde ca. kote + 2. Med fylling fra lekter understreker Norconsult at innelukking av fyllingsområdet ikke kan gjøres 100 % effektiv, slik at tiltaket med dekking av bunnen før utfylling er ansett som best for å redusere spredning av bunnmateriale.

### 6.2 Tiltak utløp tunnel (anleggsfase)

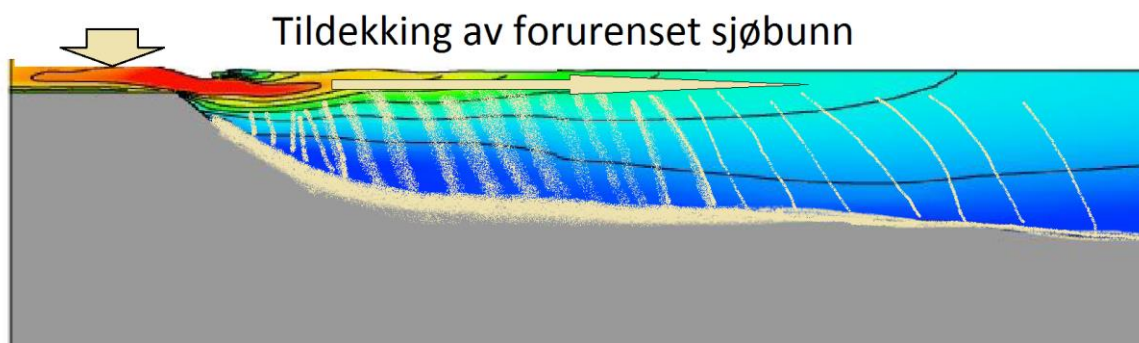
For å hindre spredning av partikkelbundet forurensning som eventuelt ligger i strandnære sedimenter i Kleivavika der tunnelutløpet kommer, kan det brukes siltgardin straks utenfor arealet som blir berørt av anleggsaktiviteten.

## 6.3 Tiltak mot flomerosjon

### 6.3.1 Tildekking

I driftsfasen av flomtunnel og flaumkraftverk er det beregnet at vannhastigheten ut fra tunnelen og ned mot sjøbunnen i og utenfor Kleivavika avtar raskt utover i havnebassenget. For å motvirke en eventuell erodering i finstoffet som ligger på bunnen kan en allerede ved første oppstart av denne tunnelen bidra til å dekke til sjøbunnen med egnede rene masser ved å tippe inn for eksempel silt, fin sand og grus i utløpskanalen før vannet fra tunnelen når sjøen. Dette er illustrert i Figur 17.

Tilførsel av slik sand og finstoff kan gjentas på ulike vannføringer og med ulike partikkelgradering med tanke på å etablere erosjonshud i alle aktuelle områder på sjøbunnen som kan være utsatt for erosjon fra tunnelutløpet. Ved hjelp av denne metoden og bruk av ulik partikkelstørrelse på grusen vil området nærmeste tunnelen få dekkisikt av grus og sand mens de fine sand- og siltpartiklene blir med litt lengre ut i havnebassenget før de sakte sedimenterer og dekker til de forurensede sedimentene. Sand og silt har egenvekt og kohesjonsegenskaper som i det aktuelle området danner en god erosjonshud på sjøbunnen.



Figur 17. Prinsipp for tilførsel av rene dekkmasser via innløp av ferskvann fra tunnel til innsjø eller marin fjord. Rene egnede masser med tilpasset kornstørrelse tilføres i kanal før utløp i sjøen, gul pil. Hydrauliske forhold i vannstrømmen bestemmer spredning av tilført masse.

Et mulig alternativ kunne være tildekking av bunnen ut for utløpet fra båt eller lekter. Dette vil imidlertid kunne øke reaktiveringsfaren i forbindelse med selve utførelsen, ved oppvirvling av bunnsedimentene når tildekkingsmassene treffer bunnen.

### 6.3.2 Strømretning på flomvann

Resultatene av vannhastighetssimuleringene viser lave hastigheter ned mot bunnen i havnebassenget. For ytterligere å redusere eventuell risiko for at de forurensede bunnsedimentene kan bli erodert, kan det vurderes å dreie tunnelutløpet slik at strømretningen på vannet blir mer nordlig, omtrent ut over prøvetakingspunktene 14 og 15 på Figur 7.

Utformingen bør være slik at vannstrømmen ut av tunnelen blir mest mulig laminær.

## 7 Referanser

Hardanger Miljøsenner, 2012- 2014. Gjennomgang av analyseresultater ifra overvåkning av tomten til tidligere Odda smelteverk I Odda kommune.

Haave, M., E. Bye-Ingebrigtsen og Ø. Thiem, 2015. Strømmålinger i Sørfjorden i Hardanger. Uni Research Miljø, SAM e-Rapport nr. 15-2015.

Miljødirektoratet, 2013. Overvåking av miljøforholdene i Sørfjorden 2012. Overvåkingsrapport, M15 - 2013. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport nr. 1150/2013. ISBN 978-82-577-6284-1.

Miljødirektoratet, 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder M-608/2016.

NGU, 2006. Jordforurensning i Odda. Rapport nr.: 2006.023. Norges Geologiske undersøkelser (NGU). ISSN 0800-3416.

NIVA, 2003. Miljøforholdene i Sørfjorden i 2002. Rapport 885/03, TA-nummer 1983/2003, ISBN-nummer 82-577-4349-1.

NIVA, 2013. Kvantifisering av tungmetalltilførsler i indre del av Sørfjorden, Hardanger. NIVA Rapport. ISBN 978-82-577-6188-2. L.nr 6453-2012.

NIVA, 2016. Tiltaksrettet overvåkning av kystvann i vannområde Hardanger 2015. NIVA Rapport. ISSN 1894-7948. L.nr 6996 – 2016.

NIVA, 2018. Overvåking av kystvann i vannområde Hardanger 2017. NIVA rapport L.nr. 7251-2018. ISBN 978-82-577-6986-4, ISSN 1894-7948. Datert 28.02.2018.

NVE, 2010. Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk. Tapir Akademisk Forlag, Trondheim. ISBN 978-82-519-2425-2

Sweco, 2017A. Fagrapport Forurensning og vannkvalitet. Konsekvensutredning Opo flaumkraftverk. Dok.nr. 28584001-R07. Datert: 04.10.2017.

Sweco, 2017B. Fagrapport Marine forhold. Konsekvensutredning Opo flaumkraftverk. Dok.nr. 28584001-R05. Datert: 05.10.2017.

Sweco, 2017C. Fagrapport Hydrologi og flom. Konsekvensutredning Opo flaumkraftverk. Dok.nr. 28584001-R01. Datert: 04.10.2017.

Sweco, 2018. KU Opo flaumkraftverk – virkninger på vannstands- og vannføringsforhold. Reviderte figurer og tabeller med omsøkt minstevannføring og endret innslagspunkt for åpning av flomtunnelen, samt bruk av minstevannføringsluken til tapping ved høye vannstander i Sandvinvatnet og med NVEs reviderte vannføringskurve for VM 48.1 Sandvenvatn. Notat datert 06.04.2018.

Thiem, Ø., H. Avlesen og A. Graham, 2012. Numerisk simulering av strøm i Sørfjorden. Uni Research Computing (Rapport nr. 29, 01.12.2012).



## 8 Vedlegg

Vedlegg 1 Miljøovervåking i Sørfjorden. NIVA faktaark. Hentet fra vannregion Hordaland på Vannportalen.

Vedlegg 2 Utdrag av analyseresultater Opo

Vedlegg 3 Analyseresultater fra sedimentundersøkelse i Sørfjorden indre del, mars 2018

Vedlegg 4 Strømning ved utløpet i Sørfjorden ved ordinær drift og under flom (Norconsult 2018)

Vedlegg 5 Geoteknisk datarapport, grunnundersøkelser ved Sørfjordsenteret i 2017 (Norconsult (2017)

Vedlegg 6 Utfylling ved Sørfjordsenteret. Geotekniske vurderinger (Norconsult 2013)

Vedlegg 7 Sørfjordsenteret. Grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering (Multiconsult/Noteby 1999)

Vedlegg 8 Småbåthavn Egne Hjem. Grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering (Multiconsult/Noteby 1999)