

Utslipp av rensert prosessvann fra karbonfangstanlegg til Eidangerfjorden



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

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

NIVA Region Vest

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

NIVA Danmark

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

Internett: www.niva.no

Tittel Utslipp av rensed prosessvann fra karbonfangstanlegg til Eidangerfjorden.	Løpenummer 7421-2019	Dato 14.10.2019
Forfatter(e) Sissel Brit Ranneklev, Jarle Molvær (Molvær Resipientanalyser) og Morten T. Schaanning.	Fagområde Miljøgifter - marin	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Telemark	Sider 20 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Multiconsult	Oppdragsreferanse Vegard Meland
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 190002

<p>Sammendrag</p> <p>Fortynning, innlagring og spredning av rensed prosessvann fra Norcems mulige anlegg for fullskala karbonfangst til Eidangerfjorden er beregnet med modellverktøyet Visual Plumes. Prosessvannet inneholder i hovedsak støv, totalt organisk karbon (TOC), SO₂, NO_x, metaller (blant annet kvikksølv) og dioksiner. Tilførsler av støv, TOC, SO₂, NO_x og forsurende stoffer anses å ha marginal effekt på vannkvaliteten i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden. Konsentrasjonen av kvikksølv fra diffusor vil være godt under grenseverdier (AA-EQS) gitt i vannforskriften. Norcems utslipp på 40 g kvikksølv/år til Grenlandsfjordene vil være ett av de største fra landbasert industri i området. I forhold til totale tilførsler av kvikksølv til Grenlandsfjordene utgjør bidraget ca. 0,2 %. Tilførsler av dioksiner og furaner fra Norcem på 0,9 mg/år utgjør ca. 0,09 % av beregnede tilførsler til Langesundsfjorden fra Frierfjorden. Det er forhøyede konsentrasjoner av dioksiner i vannmiljøet i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden i dag, og tidligere målinger av dioksiner i fjordene indikerer at AA-EQS i vannsøyla er oversteget. Utslippet av dioksiner fra Norcem vil da ikke kunne fortynnes til konsentrasjoner under AA-EQS, dersom disse bakgrunnskonsentrasjoner legges til grunn for beregninger.</p>
--

Fire emneord	Four keywords
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dioksiner, kvikksølv 2. Næringssalter 3. Utslipp 4. Eidangerfjorden 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dioxines, mercury 2. Nutrients 3. Discharges 4. Eidangerfjorden

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

Sissel Brit Ranneklev
Prosjektleder

Marianne Olsen
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7156-0
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

**Utslipp av rensert prosessvann fra
karbonfangstanlegg til Eidangerfjorden**

Forord

Niva har vært underleverandør til Multiconsult ved Vegard Meland. Sissel Ranneklev og Morten T. Schaanning har utformet og skrevet rapporten, mens Jarle Molvær (Molvær Resipientanalyse) har utført modelleringsarbeidet for fortynning, innlagring og spredning av prosessvannet. Marianne Olsen har kvalitetssikret rapporten i henhold til NIVAs prosedyrer.

Takk til Jarle og Vegard for godt samarbeid.

Oslo, 14.10.2019

Sissel Brit Ranneklev

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	9
2	Metode.....	9
2.1	Berørte vannforekomster.....	9
2.2	Prosessvannets kjemiske sammensetning.....	11
2.3	Beregning av utslippets fortynning, spredning og innlagring.....	14
2.4	Miljøkonsekvenser av stoffene i prosessvannet.....	14
2.4.1	Støv.....	14
2.4.2	Totalt organisk karbon (TOC).....	15
2.4.3	pH.....	15
2.4.4	NO _x	16
2.4.5	Metaller.....	16
2.4.6	Dioksiner.....	17
3	Konklusjon.....	18
4	Referanser.....	19
5	Vedlegg.....	21

Sammendrag

Norcem i Brevik er valgt av norske myndigheter som mulig anlegg for fullskala karbonfangst. Aker Solution sin aminteknologi er foretrukket for fangst og rensing av karbondioksid (CO₂). Fra anlegget vil CO₂ fraktes med båt som flytende naturgass til mottaksanlegg i Øygarden. CO₂-gassen vil deretter fraktes via rørledninger til geologiske formasjoner sørøst for Trollfeltet.

Røykgass fra CO₂-fangstanlegg vil kondenseres og renses før den blandes med kjølevann (sjøvann fra Eidangerfjorden) og føres ut på 40 meter i Eidangerfjorden via en diffusor. Kjølevannet vil ha en volumstrøm på 3400 m³/t, mens rensed kondensat vil ha en volumstrøm på 6 m³/t.

Fortynning, innlagring og spredning av prosessvannet ble beregnet ved hjelp av modellverktøyet Visual Plumes. Prosessvannet inneholder i hovedsak støv, totalt organisk karbon (TOC), SO₂, NO_x (hovedsakelig NO), metaller (blant annet kvikksølv) og dioksiner.

Volumstrømmen fra renseanlegget er betydelig mindre enn volumstrømmen fra kjølevannet. Dette resulterer i at rensed kondensat fortynnes ca. 600x før det når diffusor. Innlagringsdypet (primærfortynningen) er beregnet til å være på mellom 30 og 40 meters dyp, og under eufotisk sone. Sannsynligheten for gjennomslag av prosessvann til overflaten er liten. I primærfortynningen er fortynningen 30-50x. I 500 meter avstand fra diffusoren er fortynningen beregnet til å være 50-110x.

Forhøyede konsentrasjoner av blant annet kvikksølv, dioksiner og andre miljøgifter i sediment og biota er årsaken til at Eidangerfjorden og Langesundsfjorden i dag ikke oppnår miljømålet om god kjemisk tilstand i henhold til vannforskriften. I Langesundsfjorden er det i tillegg redusert siktedyp og forhøyede konsentrasjoner av nitrat, som medfører at økologisk tilstand er moderat. Mattilsynet har innført advarsel om inntak av enkelte arter av sjømat som følge av høye dioksinkonsentrasjoner i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden.

Årlige tilførsler av 271 kg støv pr. år og 632 kg TOC pr/år vil påvirke bakgrunnskonsentrasjonene ubetydelig, og tilførsler (kg/år) av disse stoffene anses å være marginale i en så stor kystnær vannforekomst som Eidangerfjorden. Mer informasjon om TOC-fraksjonens kjemiske sammensetning bør likevel innhentes. Utslipp av forsurende stoffer antas å ha marginale effekter på biota og vannkjemi. Forventet endring i pH på under 0,2 pH-enheter vil være innenfor naturlige variasjoner i vannmassene. Informasjon om eutrofitilstanden i Eidangerfjorden er mangelfull. Det antas at utslippet av NO_x omdannes til NO₃ i vannmassene. Påslaget av NO_x vil påvirke bakgrunnskonsentrasjonen av NO₃-N i Langesundsfjorden marginalt. Det forventes at økologisk tilstand ikke forringes ytterligere ved disse tilførslene.

Konsentrasjonene av kvikksølv vil være godt under grenseverdier (AA-EQS) gitt i vannforskriften i utslippspunktet fra diffusor, selv etter et påslag av en høy bakgrunnskonsentrasjon på 2 ng/l av kvikksølv i Eidangerfjorden. Utslipet av 40 g kvikksølv/år fra Norcem til sjø utgjør om lag 0,2 % av samlet utslipp til Grenlandsfjordene, men utslippet vil likevel være av de største enkeltutslipp fra landbasert industri til Grenlandsfjordene.

Det er forhøyede konsentrasjoner i av dioksiner i vannmiljøet i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden idag. Målte konsentrasjoner fra passive prøvetakere og høyvolum vannprøvetakere indikerer at grenseverdier (AA-EQS) gitt i vannforskriften for dioksiner er oversteget i vannfasen i Eidangerfjorden. Utslipet av dioksiner fra Norcem vil dermed ikke kunne fortynnes til konsentrasjoner under AA-EQS, dersom disse bakgrunnskonsentrasjoner legges til grunn for

beregninger. Det er tidligere beregnet at tilførsler av dioksiner fra Frierfjorden over Breviksterskelen er 1 g/år, og de beregnede tilførslene på 0,9 mg/år fra Norcem utgjør da ca. 0,09 % av disse tilførslene til de ytre av Grenlandsfjordene.

Summary

Title: Discharges of treated process water from a carbon capture plant to the Eidangerfjord.

Year: 2019

Author(s): Sissel Brit Ranneklev, Jarle Molvær (Molvær Resipientanalyser) og Morten T. Schaanning.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7156-0

Norcem in Brevik is selected by Norwegian authorities as test facility for full scale carbon capture. Aker Solution's amine technology is selected for capture and purification of carbon dioxide (CO₂). Captured CO₂ from the plant will be transported by ships as liquefied gas to facilities in Øygarden. The CO₂ will then be piped out for storage in geological formations southeast of the Troll field.

Flue gas from the CO₂ capture plant will condensate and be purified in a treatment plant before it is mixed with cooling water (sea water from the Eidangerfjord) and discharged via a diffuser at 40 meters depth in the Eidangerfjord. The cooling water will have a volume flow of 3 400 m³/h, while treated condensate will have a volume flow of 6 m³/h.

Dilution, neutral buoyancy of the plume (initial dilution), and dispersion of the process water were estimated using the model tool Visual Plumes. The process water contains dust, total organic carbon (TOC), SO₂, NO_x (mainly NO), metals (including mercury) and dioxins.

The volume flow from the treatment plant is significantly less than the volume flow from the cooling water. As a result, the treated condensate is diluted approximately 600x before it reaches the diffuser. The initial dilution is estimated to be at 30- and 40-meters depth, and below the euphotic zone. The probability that the process water will reach the surface is small. At 30- and 40-meters depth (initial dilution), the dilution is 30-50x. At 500 meters from the diffuser, the dilution is estimated to be 50-110x.

Elevated concentrations of mercury, dioxins and other pollutants in sediment and biota are the reason why the Eidangerfjord and Langesundsfjord do not achieve good chemical status in accordance with the Water Framework Directive. In the Langesundsfjord, moderate ecological status is achieved due to reduced secchi depth and elevated concentration of nitrate. As a result of high dioxin concentrations, warnings on consumption of certain species of seafood have been issued in the Eidangerfjord and Langesundsfjorden.

Annual discharges of 271 kg of dust and 632 kg of TOC per year will have a negligible effect on the background concentrations of these substances, and the fluxes (kg/year) in such a large coastal water body as the Eidangerfjord. More information on the chemical composition of the TOC fraction should nevertheless be obtained. Discharges of acidifying substances are assumed to have marginal effects on biota and water chemistry. Expected changes in pH below 0,2 units will be within natural variations. Information on the eutrophic state in the Eidangerfjord is incomplete. It is supposed that the discharges of NO_x are converted to NO₃ in the water column. The discharge of NO_x will not change the background concentrations of NO₃-N in the Langesundsfjord, and ecological status is not expected to deteriorate further.

The concentrations of mercury will be well below limit value (AA-EQS) given in the Water Framework Directive at the point of discharge from the diffuser, and even after the application of a high background concentration of 2 ng/l of mercury in the Eidangerfjord. The discharges of 40 g of mercury/year from Norcem to the sea account for about 0,2 % of the total discharges to the Grenland fjords, but the discharge will be one of the largest single point discharges from land-based industry to the Grenland fjords.

There are elevated concentrations of dioxins in the aquatic environment in the Eidangerfjord and Langesundsfjorden today. Measured concentrations from passive sampling and high-volume water samplers indicate that limit values (AA-EQS) for dioxins are exceeded in the water column in the Eidangerfjord. As a result, the discharges of dioxins from Norcem cannot be diluted to concentrations below AA-EQS, if these background concentrations are used for calculation. It has previously been estimated that the flux of dioxins over the Brevik sill from the Frierfjorden to the outer Grenland fjords is 1 g/year, and the calculated inflows of 0.9 mg / year from Norcem constitute approx. 0.09% of these infusions.

1 Introduksjon

På tross av mindre bruk av olje og gass som energikilder, energieffektivisering, reduserte utslipp av CO₂ til luft og redusert klinker-produksjon i forhold til sement, har sementindustrien en av verdens største utslipp av karbondioksid (CO₂). Største kilde til CO₂ er fra dekarbonatiseringen av kalkstein som er hovedråvaren i produksjonen. Den nest største kilden til CO₂ skyldes energiforbruket og er avhengig av energikilden. Fra et klimaperspektiv er det behov for og ønske om å redusere utslippet av CO₂ fra sementindustrien. Det arbeides internasjonalt med utvikling av ulike teknologier for karbonfangst og lagring, såkalt Carbon Capture and Storage (CCS), slik at CO₂-utslippene fra sementindustrien reduseres ytterligere (Barker m.fl. 2009; Hills m.fl. 2016).

Sementindustrien står for ca. 2 % av CO₂-utslippene til luft i Norge. Norcem Heidelberg i Brevik har en årsproduksjon på ca. 1,3 millioner tonn sement. To tredjedeler av energiforbruket er fra forbrenning av avfallsbasert brensel (hovedsakelig restavfall fra husholdninger), mens resterende er fra forbrenning av kull som energikilde. Utslipet av CO₂ fra Norcem Brevik var i 2017 oppgitt til ca. 880 000 tonn (www.norskeutslipp.no). Etter at et konseptstudium ble gjennomført i 2017, ble Norcem i Brevik valgt av norske myndigheter som mulig anlegg for fullskala karbonfangst. Et forprosjektstudium for fullskala CO₂-fangst fra fabrikken ble startet opp i 2018, hvor Norcem valgte Aker Solution sin aminteknologi for fangst og rensing av CO₂. Fra fabrikken vil rensed CO₂ fraktes med båt til mottaksanlegg for CO₂, Naturgassparken i Øygarden. Fra Øygarden vil CO₂-gassen fraktes i rørledning for permanent lagring i geologiske formasjoner sørøst for Trollfeltet (<https://www.gassnova.no/no/Documents/Norcem.pdf>).

Etablering av karbonfangstanlegg skal konsekvensutredes og utslipp til blant annet vann skal utredes. Fra Aker Solution sitt anlegg for CO₂-fangst vil stoffer/komponenter i røykgassen kondenseres ut, slik at stoffer som i dag går til luft vil slippes ut via prosessvann til kystvann nær bedriften. Kondensatet vil behandles i et renseanlegg, da det inneholder en rekke miljøfarlige stoffer. Før utslipp til kystvann vil rensed kondensat blandes med kjølevann. Utslipet av prosessvannet (rensed kondensat og kjølevann) vil være på 40 meters dyp i Eidangerfjorden.

Med bakgrunn i informasjon fra Aker Solution, Norcem og Multiconsult har NIVA beregnet fortykning, innlagring og spredning av prosessvannet, samt definert influensområdet for utslippet hvor overskridelser av grenseverdier i henhold til vannforskriften kan inntreffe. Endringer i pH, tilførsler av støv, TOC, næringssalter (NO_x), metaller (inkludert kvikksølv) og dioksiner fra utslippsvannet er vurdert.

2 Metode

2.1 Berørte vannforekomster

Utslipet av prosessvannet fra CO₂-fangstanlegget til Norcem Brevik vil være til vannforekomsten Eidangerfjorden (Vannforekomst Id: 0110010600-C), **Figur 1**. Eidangerfjorden, som en av Grenlandsfjordene, har vært en av de prioriterte områdene i norske miljømyndigheters handlingsplan for forurenset sjøbunn (St.meld.nr 14, 2006-2007, www.regjeringen.no).

Konsentrasjonene av flere miljøgifter¹ er forhøyede i sediment og biota i Eidangerfjorden. Det har vært størst oppmerksomhet knyttet til dioksiner og kvikksølv og Mattilsynet fraråder konsum av visse typer sjømat fra Eidangerfjorden på grunn av forhøyede konsentrasjoner av dioksiner (www.miljostatus.no/grenlandsfjordene).



Figur 1. Kart som viser Eidangerfjorden og Langesundsfiorden. Planlagt utslippspunkt fra Norcem i Eidangerfjorden er tegnet inn i svart trekant. Kart (E. Lund, NIVA).

Eidangerfjorden oppnår ikke miljømålet om god økologisk og kjemisk tilstand i henhold til vannforskriften. Årsakene skyldes at grenseverdier (EQS, se **Tabell 1** for forklaring) til en rekke ulike vannregionspesifikke og prioriterte stoffer er overskredet i sediment og biota (www.vann-nett.no).

¹Med miljøgifter menes her vannregionspesifikke stoffer som vurderes under økologisk tilstand og prioriterte stoffer som bestemmer kjemisk tilstand i vannforskriften.

I 2015 inngikk Eidangerfjorden i et koordinert, tiltaksrettet overvåkingsprogram utarbeidet for 11 industribedrifter i Grenlandsfjordene (Fagerli m.fl. 2016). Norcem Brevik deltok ikke i dette overvåkingsprogrammet, da bedriften ikke har hatt utslipp til vann. I dag har Renor, Norsk Gjenvinning Industri og Heistad renseanlegg utslipp til Eidangerfjorden. Resultater fra overvåking i Eidangerfjorden i 2015 viste forhøyede konsentrasjoner av vannregionspesifikke og prioriterte stoffer i sediment og biota (blåskjell). Bløtbunnsfauna ble undersøkt, og viste god tilstand, men god økologisk tilstand ble ikke oppnådd på grunn av overskridelser av vannregionspesifikke stoffer i sediment (PAH-stoffer, trifenylytinn, PCB₇, sink og arsen). Konsentrasjoner av vannregionspesifikke stoffer i blåskjell var alle under oppgitte grenseverdier. For prioriterte stoffer var det overskridelser av grenseverdier for kvikksølv, dioksiner, heksaklorbensen og PAH-stoffer i sedimenter, og tributyltinn og kvikksølv i blåskjell. Grenseverdier for dioksiner ble ikke overskredet i blåskjell. Konsentrasjoner av miljøgifter i biota og sediment har vært overvåket i lang tid i Eidangerfjorden. I rapporten til Fagerli m.fl., (2016) er det sammenstilt overvåkingsdata fra Eidangerfjorden fra 1970-tallet, og den viser at for heksaklorbensen og dekalorbifenyl (PCB-209) har det vært en kraftig nedgang i torskelerver. For dioksiner og kvikksølv foreligger det ikke slike tidstrender i Eidangerfjorden. I Frierfjorden hvor problemer med dioksiner er størst, har man sett en nedgang av disse stoffene i biota siden 1980-tallet, men i mye mindre grad enn for andre stoffer hvor også utslipp har opphørt eller avtatt. Dioksinene er tungt nedbrytbare og de har lang levetid i miljøet. Det antas at det vil ta flere tiår før tilførsler av nytt rent materiale til overflatesedimentene dekker over dioksinene i sedimentene slik at de blir utilgjengelig for biota og ikke går inn i den akvatiske næringskjeden.

Utslipet av prosessvann fra CO₂-fangstanlegget til Eidangerfjorden vil via strømmer og tidevann føres videre til Langesundsfjorden (Vannforekomst Id: 0110010801-C), **Figur 1**, som tilhører Grenlandsfjordene. I www.vann-nett.no er Langesundsfjorden klassifisert til å være i moderat økologisk tilstand og ikke god kjemisk tilstand. Moderat økologisk tilstand skyldes at miljømålet om god tilstand for bunnfauna (DI, tetthetsindeks som ikke anvendes lengre) og fysisk-kjemiske kvalitetselementer som siktedyp og næringssalter (nitrat, nitritt og totalfosfor) ikke ble nådd. I www.vann-nett.no var tilstand for vannregionspesifikke stoffer ukjent. Prioriterte stoffer som kvikksølv, DEHP og oktylfenol var overskredet i blåskjell. Dioksiner er i prinsippet også overskredet i Langesundsfjorden i biota, men disse stoffene inngikk ikke i vurdering av kjemisk tilstand før utgangen av 2018. Overskridelser av dioksiner er derfor ikke tatt med i klassifiseringen av kjemisk tilstand. Fagerli m.fl. (2016) fant konsentrasjoner av dioksiner i torskfilet/lever og klo/skallmat fra krabbe over grenseverdier gitt i vannforskriften. I rapporten konkluderer Fagerli m.fl. (2016) med at et hvert tiltak som iverksettes for å begrense utslipp til blant annet Eidangerfjorden og Langesundsfjorden vil være positivt for fjordsystemet. Dette er også i henhold til overordnede føringer i vannforskriften (www.lovdata.no).

2.2 Prosessvannets kjemiske sammensetning

Den forventede kjemiske sammensetningen i utslipp, utslippets størrelse (kg/år), samt vannmengdene til prosessvannet er gitt av Aker Solutions (NC03, 2019). Kjemisk sammensetning av stoffer og utslipp pr. år er gitt i **Tabell 1**. Vannmengde fra renseanlegget som behandler kondensatet er beregnet til å være 6 m³/time. Renset kondensat vil videre blande seg med sjøvann fra Eidangerfjorden som benyttes som kjølevann. Vannmengde fra kjølevannet er beregnet til å være 3 400 m³/time. Konsentrasjonen i utslippsledningen før videre innlagring og fortykning i Eidangerfjorden er beregnet etter følgende formel:

$$\text{Konsentrasjoner av stoffer i utslippsledning} = \frac{C_{avl\ddot{o}p} * 6m^3time^{-1} + C_{sj\ddot{o}} * 3400m^3time^{-1}}{(6 + 3400)m^3time^{-1}}$$

Beregnete konsentrasjoner av stoffer i utslippsledningen er gitt i **Tabell 1**. For noen stoffer er det lagt til et påslag fra bakgrunnskonsentrasjoner i sjøvannet ($C_{sj\ddot{o}}$). For dioksiner baserer bakgrunnskonsentrasjonene seg på målinger som er gjort av Cornelissen m.fl. (2012) og Allan, Schaanning, og Beylich (2011) i Eidangerfjorden. Det er manglende data over kvikksølv i kystvann, og det ble valgt en antatt høy bakgrunnskonsentrasjon (2 ng/l), da det er utfordringer med kvikksølv i Eidangerfjorden. I de største elvene i Norge, hvor konsentrasjonen antas å være høyere enn i kystvann, finner man sjeldent konsentrasjoner over 1 ng/l (Skarbøvik, m.fl. 2017). Utslipet av NO_x fra Norcem er i hovedsak som NO og NO_2 . Det er gjort en forenkling av NO_x -utslippet og det antas at begge N-fraksjonene oksyderes i vannmassene til NO_3 (Capone, m.fl. 2008). Ytterligere informasjon om valgte bakgrunnskonsentrasjoner for de ulike stoffene er vist i **Tabell 1**.

Tabell 1. Forventet kjemisk sammensetning og utslipp av stoffer fra rensanlegget som behandler kondensert vann fra CO₂-fangstanlegg. Antatte bakgrunnskonsentrasjoner i Eidangerfjorden og beregnede konsentrasjoner i utslippsrør med eventuelle påslag i bakgrunnskonsentrasjoner er gitt. Grenseverdier (Annual Average (årsgjennomsnitt)-Environmental Quality Standards, AA-EQS) for metaller og dioksiner er gitt i vannforskriften (www.lovdata.no). AA-EQS er synonymt med PNEC_{kronisk} konsentrasjoner (predicted no effect concentration), det vil si konsentrasjoner som ikke forventes å gi effekter på vannlevende organismer. I vannforskriften er det utarbeidet tilstandsklasser for NO₃-N i kystvann med saltholdighet over 18 psu (www.lovdata.no). I vannforskriften er miljømålet oppnådd når målte konsentrasjoner er under AA-EQS eller i tilstandsklasse II eller lavere. *Dioksinkonsentrasjoner er oppgitt som toksiske ekvivalenter TEQ/l. **Her er det beregnet at 1 del prosessvann fortynnes med henholdsvis 29 og 49 deler vann fra Eidangerfjorden. Se kap. 2.3 for beregning av fortynning ved innlagring.

Stoffer	Kg/år	Antatte bakgrunnskonsentrasjoner i Eidangerfjorden (µg/l)	Konsentrasjoner i prosessvann med eventuelle påslag av bakgrunnskonsentrasjoner før fortynning i Eidangerfjorden (µg/l)	Konsentrasjoner ved innlagringen, 30-50x fortynning av prosessvannet (µg/l) **	Grenseverdier (AA-EQS, for metaller og dioksiner) Tilstandsklasse nitrat (µg N/l)
Støv	271	1000 (Vurderes som «partikler» i vannsøykla, konsentrasjon av SS som ofte måles i sjøvann)	1007	~ 1000	Ingen grenseverdi
TOC	632	1000 (Schaanning, Staalstrøm og Berge 2014)	1019	~ 1000	Ingen grenseverdi
Dioksiner	9,0 10 ⁻⁷	*1,5 10 ⁻⁸ (Cornelissen m.fl. 2012; Allan, Schaanning, og Beylich (2011))	*4,51 10 ⁻⁸	~*1,6 10 ⁻⁸	*1,9 10 ⁻⁹
SO ₂	25 558	Ustabil i sjøvann, settes lik 0, vurderes i forhold til endringer i pH	856	-	Ingen grenseverdi
NO _x	1 579	30-130 µg N/l er benyttet ¹	186-628 ² (tilsvarer 42-142 µg N/l)	30-130	Tilstandsklasse II varierer med årstidene, fra 23 (sommer) til 125 (vinter).
HCL	632	Vurderes i forhold til pH-endringer	21	-	Ingen grenseverdi
HF	18	Vurderes i forhold til pH-endringer	0,6	-	Ingen grenseverdi
Hg	<0,04	0,002	0,003	~ 0,002	0,047
Cd + Tl	0,005	0,03 (Cd-konsentrasjoner målt i sjøvann fra 60 m dyp ved Solbergstrand forskningsstasjon i Oslofjorden)	0,0301	~ 0,03	0,2 ³
Sum 9 metaller	1	Settes lik 0,15 som er høyeste bakgrunnskonsentrasjoner for arsen (As) i vannforskriften (www.lovdata.no), og antas å være «verste tilfelle».	0,18	~ 0,15	0,15 ⁴

¹, data fra Langesundsfjorden Fagerli m.fl. (2016) og Moy m.fl. (2017). Nitratkonsentrasjoner varierer med årstidene. 30-130 µg N/l i form av nitrat er målt i Langesundsfjorden gjennom året. Konsentrasjoner i Langesundsfjorden er forhøyede, og vannforekomsten oppnår «Moderat» økologisk tilstand med hensyn til denne parameteren. NO₃-konsentrasjonen i Eidangerfjorden er ukjent.

², for konvertering fra NO₃-N til N multipliseres konsentrasjonen av NO₃-N med 0,2259. For konvertering fra N til NO₃-N multipliseres konsentrasjonen av N med 4,4268.

³, laveste grenseverdi for Cd er benyttet.

⁴, As som har laveste grenseverdi av metallene i vannforskriften er benyttet.

Prosessvannet i **Tabell 1** vil fortynnes videre via diffusor til Eidangerfjorden (kap. 2.3). Karlsen (2016) har tidligere beregnet den fortynning og temperatur som prosessvannet vil ha når det innlagres. Karlsens beregninger viste at det ble en lokal temperaturøkning på 1,3 °C nær utslippsstedet i et begrenset dybdeområde på ca. 5 meter mellom 33 meter og 39 meters dyp, og dette ble vurdert til å være miljømessig akseptabelt.

Fra **Tabell 1** ser en at beregnede konsentrasjoner etter fortynning av kondensat med kjølevann er langt under AA-EQS for alle metallene, med unntak av arsen, som ble benyttet som «verste tilfelle» for «sum 9 metaller», selv før prosessvannet når diffusor og spres videre i Eidangerfjorden. For dioksiner og «sum 9 metaller» (arsen) må prosessvannet ytterligere fortynnes før konsentrasjoner blir lavere enn AA-EQS. For nitrat vil tilførslene gi et påslag til bakgrunnskonsentrasjonene i Eidangerfjorden. Konsentrasjonene av nitrat i Eidangerfjorden er ukjent, og det har blitt benyttet bakgrunnskonsentrasjoner fra Langesundsfjorden i beregningene, hvor økologisk tilstand er moderat på grunn av forhøyede nitratkonsentrasjoner sommer og vinter Fagerli m.fl. (2016) og Moy m.fl. (2017).

Videre vurderinger av alle stoffene er gjort i kap. 2.4.

2.3 Beregning av utslippets fortynning, spredning og innlagring

Modellverktøyet Visual Plumes er benyttet for beregning av fortynning, innlagring og spredning av prosessvannet via diffusoren til Eidangerfjorden. Diffusoren er beskrevet av Karlsen (2016) og i **Vedlegg**. Beregningene baserer seg på tre strømhastigheter ved 30 meter dyp (2, 5 og 10 cm/s) som henholdsvis avtar til 1, 3 og 6 cm/s ved 60 meter dyp. Det er videre benyttet medianverdier av 12 vertikalprofiler fra NIVA-data fra 1975-1989 over temperatur og salinitet, som viser en svak sjikting ved 30-60 m dyp. Detaljert beskrivelse av metode for beregning av fortynning, innlagring og spredning av prosessvannet via diffusoren til Eidangerfjorden er vist i **Vedlegg**.

Beregninger fra dette arbeidet viste at:

- For de tre valgte strømhastighetene vil innlagringsdyppet variere noe med den vertikale sjiktningen og strømhastigheten, men vil i hovedsak ligge mellom 30 m og 40 m dyp. Det vil ikke være gjennomslag til overflata av prosessvannet.
- Fortynningen etter diffusoren, fram til prosessvannet innlagres (primærfortynningen) er i størrelsesorden 30-50x som gjennomsnitt over tverrsnittet av prosessvannet («plumen»). Fortynning av avløpsvannet er
- I 500 m avstand fra diffusoren er fortynningen beregnet til å være 50-110x.

2.4 Miljøkonsekvenser av stoffene i prosessvannet

2.4.1 Støv

I fraksjonen som betegnes som støv oppgir Norcem at dette er mineralisk karbon, f.eks. karbonater, og de anser denne fraksjonen som inert. Dersom man antar at støvfraksjonen kan karakteriseres som suspendert stoff (SS) i vannsøyla vil tilførslene av prosessvannet med en konsentrasjon på 1007 µg/l være marginale i forhold til naturlige bakgrunnskonsentrasjoner som anses å være rundt 1000 µg/l i kystvann. Prosessvannet vil videre fortynnes 30-50x i primærfortynningen (før innlagringen), og allerede da vil konsentrasjonene være lik antatte bakgrunnskonsentrasjoner i Eidangerfjorden.

Videre vil prosessvannet fortynnes ytterligere 50-110x i ca. 500 meters avstand fra diffusoren. Et utslipp av 271 kg SS/år anses som lite i en så stor kystnær vannforekomst som Eidangerfjorden (Ranneklev m.fl. 2018).

2.4.2 Totalt organisk karbon (TOC)

Det er gitt begrenset informasjon om egenskapene og kjemisk sammensetning til TOC-fraksjonen. Ut fra FID-analyser (flammeionisasjonsdetektor) av avgassen vet man kun at TOC-fraksjonen inneholder organisk karbon som forbrenner i FID-detektoren. I kystvann er TOC-konsentrasjonene ofte rundt 1000 µg/l. Renset kondensat innblandet i kjølevann vil ha en TOC-konsentrasjon på rundt 1019 µg/l, og allerede da ha konsentrasjoner tilsvarende bakgrunnsverdier. I primærfortynningen vil prosessvannet fortynnes ytterligere 30-50x, og konsentrasjonen vil da være tilsvarende bakgrunnskonsentrasjoner på 1000 µg/l. Videre utover i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden vil prosessvannet fortynnes, og omlag 500 m fra utslippspunktet forventes ytterligere en 50-110x fortynning av prosessvannet.

Heistad renseanlegg har utslipp av organisk materiale lengre inn i Eidangerfjorden enn Norcems planlagte utslipp. Stoffene som renseanlegget slipper ut forbruker oksygen i vannmassene. I 2018 ble det rapportert inn utslipp av 40 tonn BOF₅ (biologisk oksygenforbruk) og 96 tonn KOF (kjemisk oksygenforbruk), (www.norskeutslipp.no). Renor har også utslipp av organisk materiale til Eidangerfjorden; ca. 100 kg TOC ble rapportert inn i 2018 (www.norskeutslipp.no). Norcems planlagte utslipp på 900 kg pr år av TOC-fraksjon bør ses i sammenheng med disse utslippene. Generelt antas et utslipp på 900 kg/år av TOC i en slik stor vannforekomst som Eidangerfjorden som marginal, dersom stoffet ikke inneholder miljøgifter som f.eks. polyaromatiske hydrokarboner (PAH) (Ranneklev m.fl. 2018).

Det anbefales at det innhentes ytterligere informasjon om den kjemiske sammensetningen til TOC-fraksjonen for å avklare om fraksjonen f.eks. vil forbruke oksygen i vannmassene, sedimentere (suspendert stoff, SS), inneholde PAH og hydrokarboner og/eller påvirker pH.

2.4.3 pH

Prosessvannet fra renseanlegget vil inneholde svoveldioksid (SO₂) som løses i vann til svovelsyrling (H₂SO₃) som videre vil oksideres til svovelsyre (H₂SO₄). I tillegg vil prosessvannet inneholde sterke syrer (HCl og HF), men mengdene er små og bidrar lite til reduksjon av pH sammenlignet med bidraget fra SO₂. Leverandøren av renseanlegget oppgir at pH vil være ca. 5-6 i prosessvannet fra renseanlegget. Dette prosessvannet (6 m³/h) vil innblandes kjølevannet med en pH på ca. 8,0-8,2 (3 400 m³/h), slik at det fortynnes ca. 600x. Videre vil prosessvannet fortynnes 30-50x ved innlagringsdypet. I en tidligere NIVA-rapport (Schaanning m.fl. 2014), ble det beregnet at 40-50x fortynning av et prosessvann med 60-80x høyere konsentrasjon av SO₂ enn konsentrasjonen oppgitt i **Tabell 1** (856 µg SO₂/l), ville oppnå et pH-avvik på mindre enn 0,2 pH-enheter etter 40-50x fortynning i sjøvann fra Karmsundet. Selv om saltholdigheten og bufferevnen i det aktuelle sjøvannet i Eidangerfjorden vil være noe lavere enn sjøvann fra Karmsundet, indikerer den tidligere beregningen at pH allerede ved utslippspunktet vil ha et avvik <0,2 pH-enheter. Forventet naturlig variasjon i åpne vannmasser vil være ± 0,3 pH-enheter, som skyldes endringer i temperatur, partialtrykk av CO₂, konsentrasjoner av oksygen og fytoplanktonproduksjon (Marion m.fl. 2011). En endring i pH på 0,5 pH-enheter forventes å ha marginale effekter på vannkjemi og biota (Knutzen 1981).

2.4.4 NO_x

Det ble antatt at tilførslene av NO_x oksiderer i vannmassene til NO₃ (Capone, m.fl. 2008). Tilførsler av NO₃-forbindelser kan tas opp av alger i vannmassene som kan gi effekter i form av eutrofiering, som kan påvirke økologisk tilstand i Eidangerfjorden. I dag mangler det informasjon om eutrofitilstanden i Eidangerfjorden, og i www.vann-nett.no er kun moderat tilstand til tetthetsindeksen DI oppgitt, men den benyttes ikke til klassifisering av økologisk tilstand. I www.vann-nett.no gis det også informasjon om at det er behov for å styrke kunnskapsgrunnlaget for fastsettelse av tilstand i fjorden, og at det er igangsatt overvåking. I vannforekomsten antas det liten grad av påvirkning fra spredte avløp (kloakk) og middels grad av påvirkning fra renseanlegg. I tilgrensende vannforekomst, Langesundsfjorden er det forhøyede konsentrasjoner av nitrat og redusert siktedyp. Bakgrunnskonsentrasjonene for nitrat i Eidangerfjorden er satt lik konsentrasjonene i Langesundsfjorden. På grunn av høyere opptak av nitrat under vekstsesongen vil konsentrasjonene variere gjennom året. I sommermånedene vil nitratkonsentrasjonen være rundt 30 µg N/l, og om vinteren ca. 130 µg N/l, og disse verdiene er benyttet som bakgrunnsverdier i Eidangerfjorden. Disse konsentrasjonene tilsvarer moderat økologisk tilstand (øvre grense tilstandsklasse II har nitratkonsentrasjoner lik 23 µg N/l for sommermålinger og 125 µg N/l for vintermålinger). Valgte nitratkonsentrasjoner for Eidangerfjorden er antagelig forhøyede i forhold til faktiske konsentrasjoner, da man antar lav/moderat påvirkning av næringssalter fra avløpssystemer. Eidangerfjorden er samtidig en skjermet fjord (**Vedlegg**) som i liten grad er påvirket av tidevann, strømhastigheten er moderat og den er beskyttet mot bølgeeksponeringer (www.vann-nett.no), slik at miksing og utskiftning i vannsøyla vil være noe begrenset i forhold til en mer eksponert kystsoner. I prosessvannet fra Norcem vil konsentrasjonene med påslag fra bakgrunnsverdier være i rundt 42-141 µg N/l gjennom året. Uten påslag i bakgrunnsverdier vil prosessvannet før fortykning ha en konsentrasjon lik 12 µg N/l gjennom hele året. I primærfortynningen, innlagringsdypet, vil prosessvannet være fortynnet 30-50x. Konsentrasjonen her vil være tilsvarende lik de bakgrunnskonsentrasjoner som ble valgt for Eidangerfjorden, det vil si at tilførslene fra Norcem ikke er målbare i innlagringsdypet. Innlagringen av utslippet vil være ved 30-40 meters dyp, som er under eufotisk sone, hvor det ikke vil være primærproduksjon (fotosyntese). Prosessvannet vil videre fortynnes 50-110x i 500 meters avstand fra diffusoren.

Det er også utslipp av næringssalter fra Heistad renseanlegg til Eidangerfjorden. De rapporterer et utslipp av tot-P på 300 kg og tot-N på 38 tonn i 2018 (www.norskeutslipp.no). Norcems utslipp er på 1,5 tonn NO_x pr år, og i våre beregninger har vi antatt at alt NO_x omgjøres til NO₃-N i vannmassene.

Da det mangler informasjon om eutrofitilstanden i Eidangerfjorden er det stor usikkerhet knyttet til de valgte bakgrunnskonsentrasjonene av nitrat som ble benyttet. Generelt anses et utslipp på 1,5 tonn NO₃ pr år i en så stor kystvannforekomst som Eidangerfjorden å være marginale, og vil ikke påvirke økologisk tilstand.

2.4.5 Metaller

Konsentrasjonene av alle metallene med unntak av arsen som ble benyttet som «verste tilfelle» for «Sum 9 metaller» er godt under AA-EQS etter fortykning av kondensat med kjølevann. I primærfortynningen, innlagringsdypet, vil konsentrasjonen av arsen være godt under AA-EQS. Tilførslene (kg/år) av «Sum 9 metaller» og «Cd + Tl» anses som marginale. For kvikksølv, som antas å være av betydning i Grenlandsfjordene, og gitt beregning med antatt bakgrunnskonsentrasjon så vidt høy som 2 ng/l, var konsentrasjonene etter primærfortynningen langt lavere enn AA-EQS.

Som tidligere nevnt er det oppmerksomhet rettet mot kvikksølv i Grenlandsfjordene, da det har vært store tilførsler til fjordene. I 2018 ble Norsk Hydro pålagt av Miljødirektoratet å rydde opp i

Gunneklevfjorden, slik at videre spredning av kvikksølv og dioksiner opphører fra denne fjorden. Tiltak skal gjennomføres innen 2022.

Norcems tilførsler av kvikksølv til Eidangerfjorden antas å være 0,04 kg/år (40 g/år). Totale tilførsler av kvikksølv til Grenlandsfjordene ble i 2008 (Lydersen, Trasti, og Sageie 2010; Olsen 2012) beregnet til å være 14 kg/år. Største kilde var Skienselva, med tilførsler på 11 kg/år, mens renseanlegg tilførte ca. 2 kg/år, og var nest største kilde. Tilførsler fra landbasert industri til vann ble beregnet til å være 200 g/år. Fra Gunneklevfjorden, hvor tiltak skal iverksettes for å hindre videre spredning av kvikksølv og dioksiner, er netto eksport av kvikksølv til Frierfjorden og Skienselva beregnet til å være 500 g/år (Olsen 2012). I forhold til totale tilførsler av kvikksølv til Grenlandsfjordene utgjør Norcems tilførsler på 40 g/år ca. 0,2 %, men mer enn 20 % av utslippene fra landbasert industri til vann, siden det har vært utslippsreduksjoner fra landbasert industri siden 2008. Totale tilførsler av kvikksølv fra landbasert industri til vann i Norge ble beregnet til å være 12,24 kg i 2018 (www.norskeutslipp.no). Det er i dag overskridelser av kvikksølv i biota i Eidangerfjorden, og det har vært gjennomført og det skal gjennomføres tiltak for å redusere tilførslene til Grenlandsfjordene framover.

2.4.6 Dioksiner

Cornelissen m.fl. (2012) målte høyeste dioksinkonsentrasjoner på $1,5 \cdot 10^{-8}$ µg TEQ/l i Eidangerfjorden, og disse verdiene ble benyttet som bakgrunnskonsentrasjoner i videre beregninger. Når denne bakgrunnskonsentrasjonen av dioksiner i Eidangerfjorden er lagt til, vil prosessvannet før videre fortykning i Eidangerfjorden være $4,51 \cdot 10^{-8}$ µg TEQ/l. Grenseverdi, AA-EQS for dioksiner i vannforskriften er $1,9 \cdot 10^{-9}$ µg TEQ/l, og ca. 8x høyere enn valgt bakgrunnskonsentrasjon. Når bakgrunnskonsentrasjonen er høyere enn AA-EQS, vil konsentrasjonen i det rensede prosessvannet aldri bli lavere enn AA-EQS. I primærfortynningen vil konsentrasjonene av dioksiner i prosessvannet være lik den valgte bakgrunnskonsentrasjonen.

Det er store usikkerheter knyttet til den valgte bakgrunnskonsentrasjonen av dioksiner. Målinger av konsentrasjoner av dioksiner i vannfase kan ikke gjøres med konvensjonell prøvetakning, slik som man gjør når man fyller opp en flaske med vann og leverer den til laboratoriet. Bruk av passive prøvetakere og/eller prøvetakning og oppkonsentrering av store vannvolum må gjøres, da konsentrasjonene i vannfasen er så lave, i forhold til det som instrumenter i laboratoriet kan påvise i en vannprøve. Cornelissen m.fl. (2012), målte konsentrasjoner av dioksiner til $7-15 \cdot 10^{-9}$ µg TEQ/l i Eidangerfjorden og Ormerfjorden. Allan, Schaanning, og Beylich (2011), fant dioksiner i konsentrasjoner på $0,1-1 \cdot 10^{-9}$ µg/l i Eidangerfjorden (µg TEQ/l ble ikke beregnet, så målte konsentrasjoner i µg TEQ/l vil være lavere enn $0,1-1 \cdot 10^{-9}$ µg/l), og konkluderte med at konsentrasjonene tilsvarer nivåer i Frierfjorden. De anså partikkelbundne dioksiner til å være en risiko for biota som har tilhold i de dype områdene av Eidangerfjorden, og kildene antas å være fra resuspenderte eldre sedimenter. Bruk av passive prøvetakere og høyvolum vannprøvetakning er i dag ikke godkjente metoder for klassifisering av kjemisk tilstand, da metodene blant annet ikke er standardiserte, og det er store usikkerheter beheftet med metodene. I tillegg er det uklart hvorvidt konsentrasjoner som måles med disse metodene kan sammenholdes med grenseverdier gitt i vannforskriften.

Prosessvannet med påslag av bakgrunnskonsentrasjoner før primærfortynningen i Eidangerfjorden, har en beregnet dioksinkonsentrasjon som er 24x høyere enn AA-EQS. I primærfortynningen, hvor prosessvannet fortyknes 30-50x vil konsentrasjonene være tilsvarende bakgrunnskonsentrasjoner som er gitt. Norcems utslipp av dioksiner til Eidangerfjorden beregnes til å være 0,9 mg/år. Dette utslippet utgjør 0,09 % av transporten fra Frierfjorden over Breviksterskelen, som er anslått til å være 1 g/år (Olsen m. fl. 2015).

3 Konklusjon

Fra Norcems planlagte utslipp til Eidangerfjorden vil støv, TOC, forsurende stoffer (SO_2 , HCl og HF), næringsalter (NO_x), metaller (hovedsakelig kvikksølv) og dioksiner tilføres. Utslipet av rensset kondensat vil fortynnes godt (ca. 600x) med kjølevann (sjøvann fra Eidangerfjorden), siden volumstrøm av kjølevann er betydelig større enn rensset kondensat. Videre vil utslippet innlagres på 30-40 m dyp, som er under eufotisk sone. Fare for gjennomslag til overflata er lavt, og i primærfortynningen er fortynningen 30-50x. Videre utover fra utslippspunktet vil fortynningen øke, og forventes å være 50-100x ca. 500 m fra utslippspunktet til diffusoren.

Tilførsler av støv anses som akseptable. For TOC-utslippet bør informasjon om kjemisk sammensetning fremskaffes. Dersom TOC-fraksjonen ikke inneholder noen miljøfarlige stoffer, anses tilførselene av TOC som ubetydelige i forhold til naturlig bakgrunnskonsentrasjoner av TOC. De forsurende stoffene som slippes ut antas å ha marginale effekter på vannkjemi og biota. Endring i pH vil være innenfor det som forventes å være naturlige variasjon.

Informasjon om eutrofitilstand i Eidangerfjorden er mangelfull, og moderat økologisk tilstand er satt med bakgrunn i et biologisk kvalitetselement (tetthetsindeksen DI) som ikke benyttes til å klassifisere tilstand. I tilgrensende vannforekomst, Langesundsfjorden, er konsentrasjonene av $\text{NO}_3\text{-N}$ forhøyede både sommer og vinter, og siktedyp er redusert. Det antas at utslippet av NO_x fra Norcem vil oksyderes til $\text{NO}_3\text{-N}$ i kontakt med vann. Utslipet av 1,5 tonn $\text{NO}_3\text{-N}$ pr. år vil tilføre 12 $\mu\text{g N/l}$ fra prosessvannet gjennom året. I primærfortynningen, innlagringsdypet, vil prosessvannet på 12 $\mu\text{g N/l}$ fortynnes 30-50x, og innlagringen vil være under eufotisk sone. I 500 meters avstand fra diffusoren vil prosessvannet fortynnes ytterligere 50-110x. I 500 m meters avstand vil påslaget av nitrogen være marginalt i forhold til bakgrunnskonsentrasjoner. Det forventes ikke at økologisk tilstand endres som følge av disse tilførselene.

Ved innblanding av rensset kondensat til kjølevann vil konsentrasjonene av kvikksølv og de andre metallene være under AA-EQS før vannmassene når diffusorens utslippspunkt (As som «Sum 9 metaller» i primærfortynningen). Fra Gunneklevfjorden skal det iverksettes tiltak for å redusere utslipp av 500 g kvikksølv/år (og dioksiner) til Frierfjorden, som videre vil påvirke Eidangerfjorden og Langesundsfjorden. Med et utslipp på 40 g kvikksølv/år til Grenlandsfjordene vil Norcem være ett av de største fra landbasert industri i området. Sett i forhold til totale tilførsler av kvikksølv til Grenlandsfjordene utgjør Norcems tilførsler derimot ca. 0,2 %.

Det er forhøyede konsentrasjoner av dioksiner i vannmiljøet i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden. Konsentrasjoner som måles i vannfase, sedimenter og biota er forhøyede og over grenseverdier gitt i vannforskriften. I tillegg er det innført advarsler om inntak av sjømat som følge av høye dioksinkonsentrasjoner. Fra Breviksterskelen i Frierfjorden er det beregnet et utslipp på 1 g/år av dioksiner til Langesundsfjorden. Tilførselene på 0,0009 g/år fra Norcem utgjør ca. 0,09 % av disse tilførselene. Det er betydelige analytiske utfordringer knyttet til målinger av konsentrasjoner av dioksiner i sjøvann. Den bakgrunnskonsentrasjonen som er benyttet i denne rapporten er beregnet fra passive prøvetakere og høyvolum vannprøvetakere som ikke er standardiserte metoder, og det er knyttet store usikkerheter til disse metodene. Det er også uklart i hvilken grad disse målte konsentrasjonene kan sammenholdes med grenseverdier (AA-EQS) gitt i vannforskriften. Da bakgrunnskonsentrasjonene av dioksiner i Eidangerfjorden ser ut til å være høyere enn AA-EQS i vannforskriften, vil ikke prosessvannet bli fortynnet slik at konsentrasjoner blir lavere enn AA-EQS i denne vannforekomsten.

4 Referanser

- Allan, I., M. Schaanning og B. Beylich. 2011. «Dioxins associated with suspended particulate matter in the Grenlandsfjords (Norway)». *NIVA rapport 6144*, s. 47.
- Barker, D.J., S.A. Turner, P.A. Napier-Moore, M. Clark og J.E. Davison. 2009. «CO₂ Capture in the Cement Industry». *Greenhouse Gas Control Technologies* 9 1 (1): 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.014>.
- Capone, D.G., D.A. Bronk, M.R. Mulholland og E.J. Carpenter. 2008. *Nitrogen in the Marine Environment*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372522-6.X0001-1>.
- Cornelissen, G., K. Amstaetter, A. Hauge, M. Schaanning, B. Beylich, J.S. Gunnarsson, G.D. Breedveld, A.M.P. Oen og E. Eek. 2012. «Large-Scale Field Study on Thin-Layer Capping of Marine PCDD/F-Contaminated Sediments in Grenlandfjords, Norway: Physicochemical Effects». *Environmental Science & Technology* 46 (21): 12030–37. <https://doi.org/10.1021/es302431u>.
- Fagerli, C.W., A. Ruus, G. Borgersen, A. Staalstrøm, N. Green, D.Ø. Hjermand og J.R. Selvik. 2016. «Tiltaksrettet overvåking av Grenlandsfjordene i henhold til vannforskriften. Overvåking for konsortium av 11 bedrifter i Grenland. Løpenr. (for bestilling) 7049-2016 Prosjektnr. Undernr. 14357 Dato 10.06.2016 Sider Pris 211 Forfatter(e) Camilla With Fagerli, Anders Ruus, Gunhild Borgersen,
- Frick, W.E., P.J.W., Roberts, L.R., Davis, J. Keyes, D.J., Baumgartner og K. P. George. 2001. *Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)*. Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.
- Hills, T., D. Leeson, N. Florin og P. Fennell. 2016. «Carbon Capture in the Cement Industry: Technologies, Progress, and Retrofitting». *Environmental Science & Technology* 50 (1): 368–77. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03508>.
- Karlsen, T.A., 2016. Norcem-prosjektet CO₂ fangst. Bistand med kjølevannsledninger og utslipp til resipient. Cowi-prosjekt AD81533-001, dok. 2. 39 sider.
- Knutzen, J. 1981. «Effects of decreased pH on marine organisms». *Marine Pollution Bulletin* 12 (1): 25–29. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(81\)90136-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(81)90136-3).
- Lydersen, E., A. Trasti og J. Sageie. 2010. «Tilførsler av næringsstoffer, metaller og andre miljøgifter til Grenlandsfjordene 2008.» HiT skrift nr 3/2010, ISBN 978-82-7206-312-1.
- Marion, G. M., F. J. Millero, M. F. Camões, P. Spitzer, R. Feistel, og C.-T. A. Chen. 2011. «pH of seawater». *Marine Chemistry* 126 (1): 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2011.04.002>.
- Marion, G. M., F. J. Millero, M. F. Camões, P. Spitzer, R. Feistel, og C.-T. A. Chen. 2011. «pH of seawater». *Marine Chemistry* 126 (1): 89–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marchem.2011.04.002>.
- Moy, F., H.C. Trannum, L.J. Naustvoll, C.W. Fagerli, og K.M. Norderhaug. 2017. «ØKOKYST – delprogram Skagerrak.» Årsrapport 2016. Miljødirektoratets rapport. M-727 2017. 60 s.

NC03, 2019. Norwegian CCS Demonstration Project Norcem FEED, Document nr. NC03-AKER-S-RA-0001.

Olsen, M. 2012. «På vei mot rein fjord i Grenland- sluttrapport fra Prosjekt BEST». Rapport 1/2012, 77 s., Fylkesmannen i Telemark.

Olsen, M., M. Schaanning, E. Eek, og K. Næs. 2015. «Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden.» NIVA-rapport 6922, 192 s.

Ranneklev, S.B., S. Haande, M. Walday og M. Grung. 2018. «Eksempelsamling for tiltaksorientert overvåking». Miljødirektoratet, M-997, 84 s. + vedlegg.

Schaanning, M., A. Staalstrøm og J.A. Berge. 2014. «Vurdering av miljøeffekter av sjøvannsutslipp fra SO2 rensesanlegg ved Hydro Karmøy». NIVA-rapport 6684.

Skarbøvik, E., I. Allan, P. Stålnacke, T. Høgåsen, I. Greipsland, J.R. Selvik, L.B. Schanke og S. Beldring. 2016. Elvetilførsler og direkte tilførsler til norske kystområder i 2015. Miljødirektoratet M-634.

5 Vedlegg

Beregninger av fortykning og konsentrasjoner

Prosessvannet fra renseanlegget utgjør 6 m³/h og dette blandes med 3400 m³/h av sjøvann hentet fra 90 m dyp i Eidangerfjorden. Den samlede vannmengden slippes til fjorden gjennom en diffusor på 40 m dyp i Eidangerfjorden. For en nærmere beskrivelse vises til Cowis rapport (Karlsen 2016).

Prosessvannet fra renseanlegget fortyknes dermed med sjøvann i to omganger. Først beregnes fortykning og konsentrasjoner ved blanding med 3400 m³ sjøvann, og deretter innlagring og fortykning ved utslipp til Eidangerfjorden.

Utslipsledningen: fortykning med 3400 m³ sjøvann

Analysen er rettet mot kvikksølv og dioksiner. Tabell 1 viser konsentrasjoner av disse stoffene.

Tabell 1. Konsentrasjoner i rensesvann og i sjøvann fra 90 m dyp i Eidangerfjorden, sammen med kriteriet AA-EQS.

Stoff	Prosessvann (<i>C_{avløp}</i>)	Sjøvann (<i>C_{sjø}</i>)	AA-EQS
Kvikksølv	761 ng/l	2 ng/l	47 ng/l
Dioksiner	0,0451 pg/l	0,015 pg/l	0,0019 pg/l

Konsentrasjonen i utslipsledningen beregnes som følger:

$$Cut = \frac{C_{avløp} * 6m^3h^{-1} + C_{sjø} * 3400m^3h^{-1}}{(6 + 3400)m^3h^{-1}}$$

For kvikksølv blir *C_{ut}*=3,34 ng/l, altså langt lavere enn AA-EQS.

For dioksiner blir *C_{ut}*= 0,0152 pg/l, altså langt høyere enn AA-EQS.

Allerede i avløpsledningen blir konsentrasjonen av kvikksølv betydelig lavere enn AA-EQS. Også for dioksiner blir konsentrasjonen nær sjøvannskonsentrasjonen. Denne er imidlertid valgt 8 ganger høyere enn AA-EQS.

Innlagring og fortykning i Eidangerfjorden

I Cowis rapport (Karlsen 2016) er det dimensjonert en diffusor for utslipp i 40 m dyp. Diffusoren er kort beskrevet i Tabell 2.

Tabell 2. Diffusor beskrevet i Cowis rapport

Lengde	46 m
Antall diffusorhull	23
Diameter på hull	150 mm
Avstand mellom hullene	2 m

For fire vertikale tetthetsprofiler fra 2014 (januar, april, juli, september) beregnet Cowi prosessvannets fortykning og innlagring. Det er imidlertid uklart hvor godt de fire tetthetsprofilene representerer tilstanden i Eidangerfjorden, hvilke strømhastigheter som er brukt og i hvilken avstand fra diffusoren den beregnede fortykning og innlagring gjelder

For å få en mer fullstendig oversikt over prosessvannets innlagring og fortykning har vi brukt modellen *Visual Plumes* (VP) (Frick m. fl. 2001). Som beskrivelse av diffusor og prosessvann er det brukt data i Tabell 1 og Tabell 2 kontrollert mot Cowis beregnede midlere strålehastighet i hullene (2,3 m/s). Det finnes ikke data som beskriver strømforholdene (hastighet og retning) omkring 40 m dyp i Eidangerfjorden. Basert på skjønn er det valgt å gjøre beregninger for tre strømhastigheter (Tabell 3).

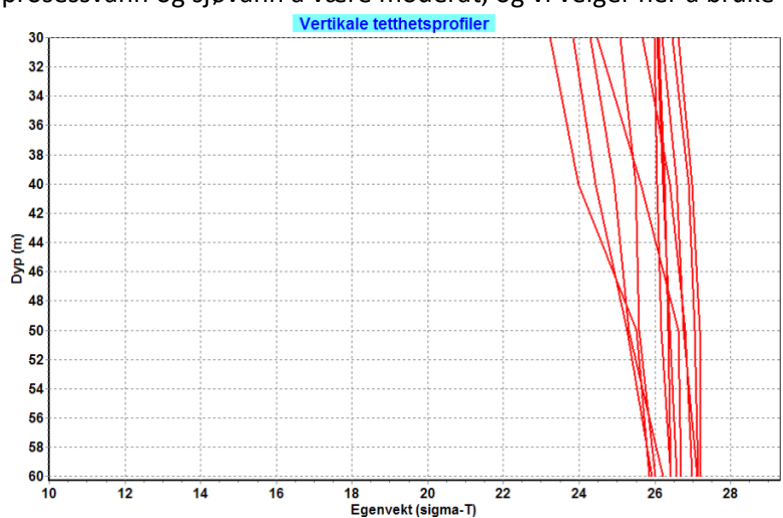
Tabell 3. Strømhastigheter brukt som beregningsgrunnlag i *Visual Plumes*.

Lav hastighet	30 m: 2 cm/s avtakende til 1 cm/s i 60 m dyp
Middels hastighet	30 m: 5 cm/s avtakende til 3 cm/s i 60 m dyp
Sterk strøm	30 m: 10 cm/s avtakende til 6 cm/s i 60 m dyp

Det er benyttet 55 vertikalprofiler for temperatur og salinitet målt i nordre del av Breviksfjorden, ca. 2 km sør for et framtidig sjøvannsinntak i 90 m dyp og en diffusor i 40 m dyp, men det er all grunn til å anta at dataene også beskriver tilstanden utenfor Norcem. Dataene er fra NIVAs miljøundersøkelser i tidsrommet 1975-1989. Målingene er ujevnt fordelt over året, med 5-9 målinger fra de aller fleste måneder, men bare en måling i januar. Som datagrunnlag for VP er det for hver måned beregnet medianen av temperatur og saltholdighet i hvert målte dyp mellom overflata og 90 m dyp. Med en diffusor i 40 m dyp er det tilstrekkelig å bruke data fra 30-60 m dyp i vertikalprofilene. De 12 tetthetsprofilene for 30-60 m dyp er vist i Figur 1. Den viser at det oftest er svak vertikal sjiktning.

Som salinitet i prosessvannet (3406 m³/h) brukes saliniteten målt i 90 m dyp, redusert med ca. 0,03 (psu) pga. ferskvannet fra selve (lavere salinitet enn sjøvannet) renseanlegget. Mange av vertikalprofilene går bare til 80-85 m dyp og da er saliniteten i 90 m valgt ved skjønn – litt høyere enn nederste måledyp. Som temperatur brukes 22 °C.

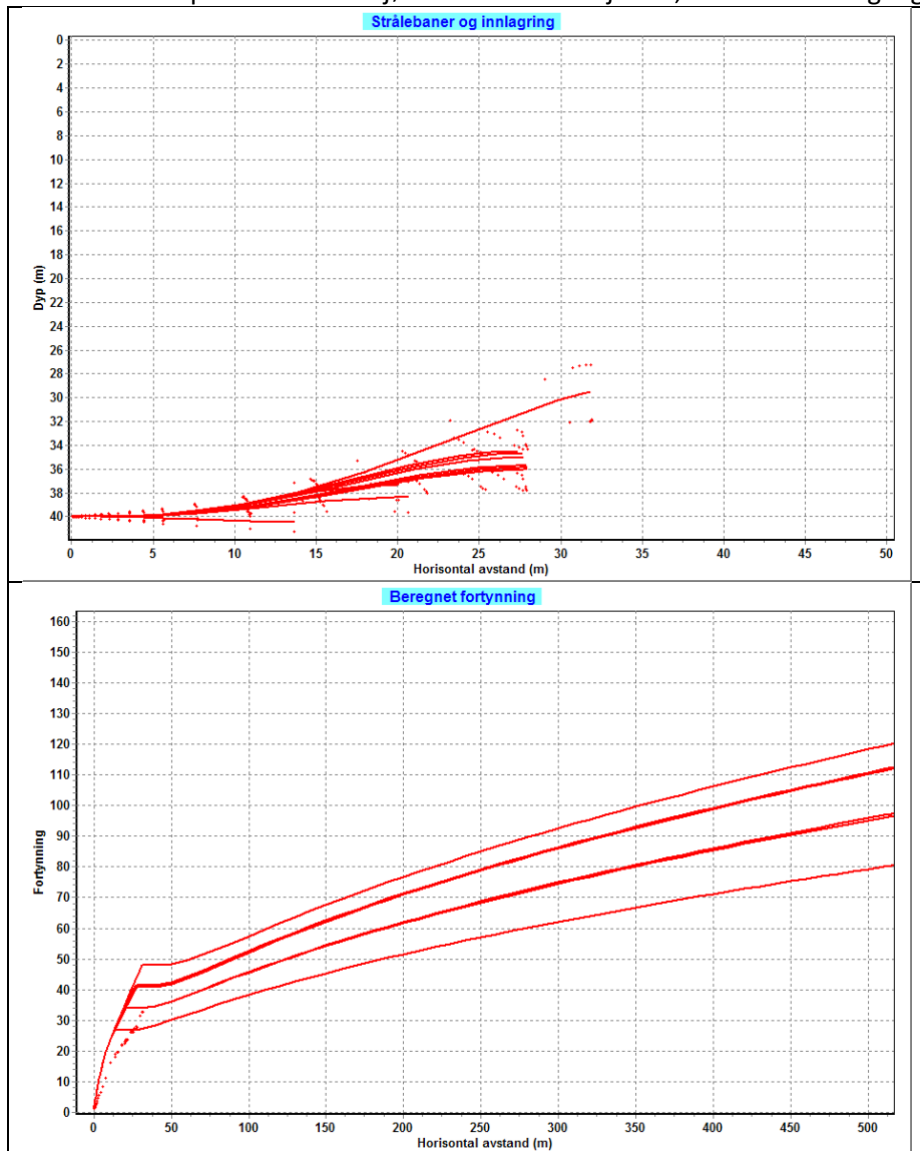
I en såpass skjermet fjord som Eidangerfjorden antas den naturlige turbulente blandingen mellom prosessvann og sjøvann å være moderat, og vi velger her å bruke koeffisienten 0,0003 m²/s.



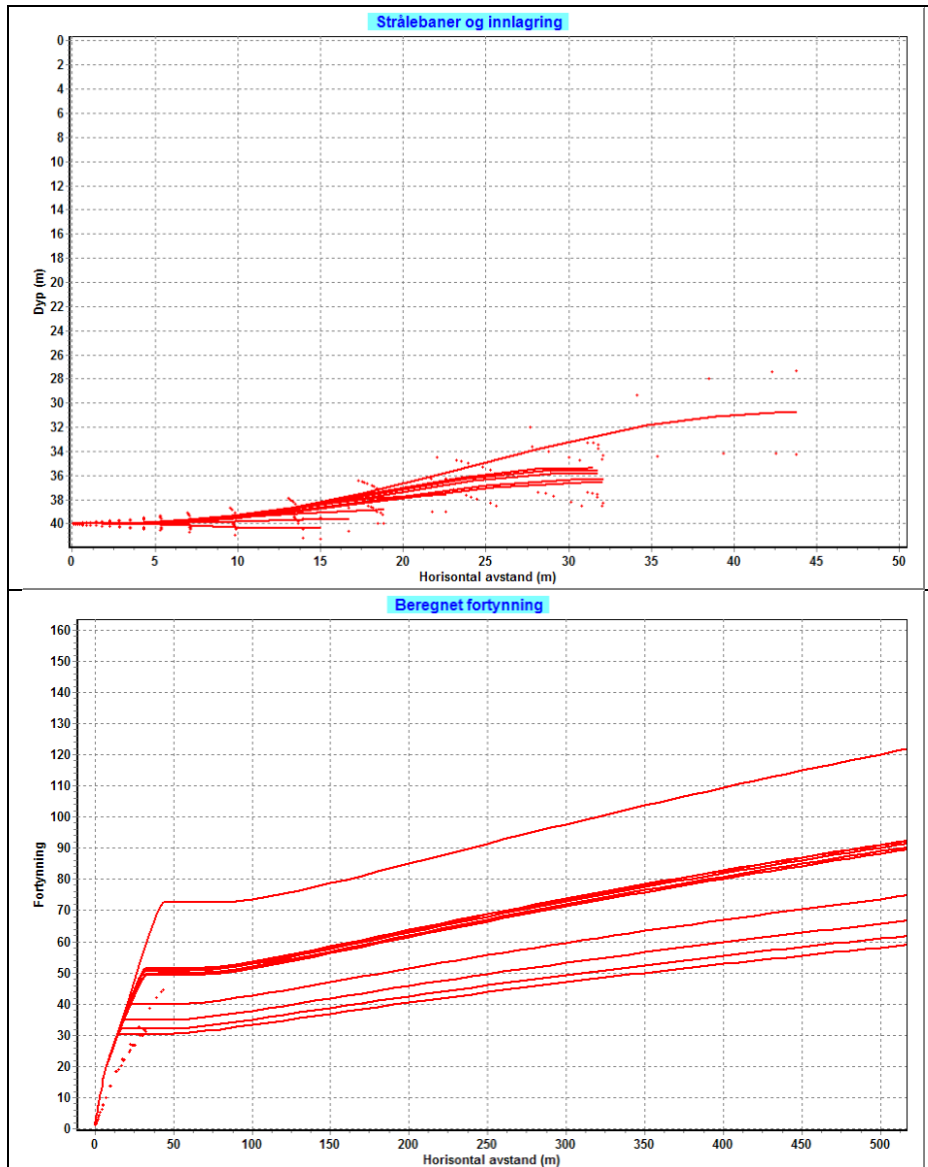
Figur 1. Tolv vertikale tetthetsprofiler².

² Egenvekten for 1 m³ sjøvann er her vist ved størrelsen sigma-t = egenvekt -1000

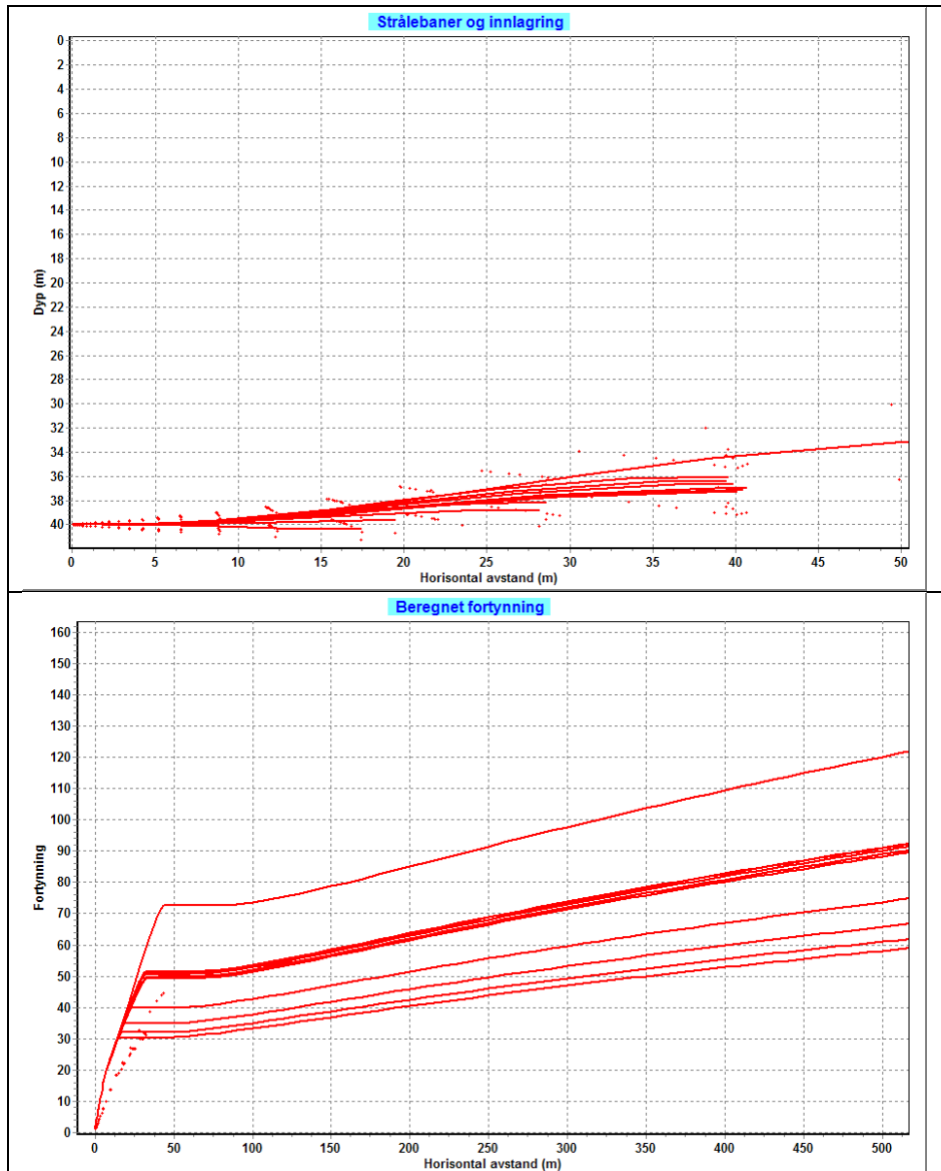
For de tre valgte strømhastighetene (jf. Tabell 3) viser Figur 2 – Figur 4 prosessvannets innlagring og fortynning etter utslipp gjennom diffusoren i 40 m dyp. Innlagringsdyppet varierer noe med den vertikale sjiktningen og strømhastigheten, men ligger i hovedsak mellom 30 m og 40 m dyp. Fortynningen fram til prosessvannet innlagres (primærfortynningen) sees som bratt stigende linjer til venstre i nedre figurer. Ved innlagring er fortynningen oftest 30-50x som gjennomsnitt over tverrsnittet av prosessvannet. Langs senterlinjen er fortynningen lavere, typisk med en faktor omkring 1,5. I 500 m avstand er fortynningen beregnet til oftest å være 50-110x. Konsentrasjonen av dioksiner er da praktisk talt lik sjøvannskonsentrasjonen, men fortsatt 8 ganger AA-EQS.



Figur 2. Beregninger av innlagring og fortynning ved svak strøm. I øvre figur er senter for den innlagrede vannmassen vist med heltrukne linjer, mens stiplingen illustrerer yttergrensene. I nedre figur illustrerer stiplingen fortynningen i sentrum av prosessvannet fram til innlagringen.



Figur 3. Beregninger av innlagring og fortytning ved middels strøm. I øvre figur er senter for den innlagrede vannmassen vist med heltrukne linjer, mens stiplingen illustrerer yttergrensene. I nedre figur illustrerer stiplingen fortytningen i sentrum av prosessvannet fram til innlagringen.



Figur 4. Beregninger av innlagring og fortytning ved sterk strøm. I øvre figur er senter for den innlagrede vannmassen vist med heltrukne linjer, mens stiplingen illustrerer yttergrensene. I nedre figur illustrerer stiplingen fortytningen i sentrum av prosessvannet fram til innlagringen.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no