

# Miljøpåvirkning fra Borregaards prosessavløpsvann til Glomma



# 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](http://www.niva.no)

|  |                             |                      |
|--|-----------------------------|----------------------|
| Tittel<br>Miljøpåvirkning fra Borregaards prosessavløpsvann til Glomma                 | Løpenummer<br>7570-2021     | Dato<br>4.2.2021     |
| Forfatter(e)<br>Sissel B. Ranneklev, André Staalstrøm, Markus Lindholm og Øyvind Garmo | Fagområde<br>Forurensninger | Distribusjon<br>Åpen |
|  | Geografisk område<br>Viken  | Sider<br>33          |

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Oppdragsgiver(e)<br>Borregaard AS | Oppdragsreferanse<br>Lena Ulvan og Kjersti Garseg Gyllensten |
|                                   | Utgitt av NIVA<br>Prosjektnummer 200302                      |

|   |
|---|
| <p>Sammendrag</p> <p>Borregaard har utslipp av prosessavløpsvann til Glomma fra områder rett oppstrøms Sarpsfossen og ned til Melløs kai. Miljøpåvirkning fra regulerte utslippskomponenter i prosessavløpsvannet ble vurdert etter fortykning og innblanding i Glomma. Fortykning av prosessavløpsvannet ble beregnet med to ulike tilnærminger; fra vannføringen i Glomma og med modellen Visual Plumes. Resultater viste at miljøpåvirkning av næringssalter, metaller, salter, klorat og toluen var marginale. For AOX kunne NIVA ikke gjøre noen miljøvurdering, da informasjon er mangelfull. Borregaards utslipp av lettomsattelig organisk materiale, målt som KOF og BOF hadde betydelig effekter på vannmiljøet. Framvekst av lammehaler, målt som indeksen HBI-HBI2, danner matter av bakteriekolonier som dekker til bunnsubstratet i elva, som direkte eller indirekte påvirker ASPT og PIT indeksene.</p> |
|---|

|  |   |
|--|---|
| <p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modellering</li> <li>2. Industrielt prosessavløpsvann</li> <li>3. Miljøpåvirkninger</li> <li>4. Biotilgjengelighet til kobber</li> </ol> | <p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelling</li> <li>2. Industrial discharges</li> <li>3. Environmental effects</li> <li>4. Bioavailability of copper</li> </ol> |
|--|---|

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

*Sissel Ranneklev*  
Prosjektleder/Hovedforfatter

*Marianne Olsen*  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7305-2  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

# **Miljøpåvirkning fra Borregaards prosessavløpsvann til Glomma**

## Forord

Sissel B. Ranneklev har vært prosjektleder. Hun har skrevet sammen rapporten og hatt ansvaret for vurdering gjort i forhold til miljøeffekter fra metaller, AOX, toluen, salt og klorat. André Staalstrøm har beregnet fortykning og spredning av Borregaards prosessavløpsvann til Glomma. Markus Lindholm har hatt ansvaret for vurdering av biologiske kvalitetselementer opp mot Borregaards utslipp av næringssalter og BOF/KOF. Øyvind Garmo har beregnet biotilgjengelighet av kobber i Glomma.

Marianne Olsen har kvalitetssikret rapporten med bistand fra Tor Erik Eriksen og Maia Røst Kile på vurderinger gjort med hensyn til de biologiske kvalitetselementene.

Kontaktpersoner hos Borregaard har vært Lena Ulvan og Kjersti Garseg Gyllensten.

Takk for godt samarbeid!

Oslo, 4.2.2021

*Sissel Brit Ranneklev*

---

---

# Innholdsfortegnelse

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduksjon</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>Metode</b> .....  | <b>14</b> |
| 2.1      | Beregning av fortytning av prosessavløpsvann i Glomma .....                            | 14        |
| 2.2      | Beregning av biotilgjengelig kobber .....  | 16        |
| <b>3</b> | <b>Resultater</b> .....  | <b>17</b> |
| 3.1      | Beregnet fortytning og konsentrasjoner av regulerte utslippskomponenter i Glomma ..... | 17        |
| 3.2      | Miljøpåvirkning av prioriterte og vannregionspesifikke stoffer i Glomma .....          | 19        |
| 3.2.1    | Utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b. ....   | 19        |
| 3.2.2    | Utslippspunkt 2 («Spraytørka») .....   | 21        |
| 3.3      | Miljøpåvirkning av «andre stoffer» i Glomma.....                                       | 21        |
| 3.3.1    | AOX.....   | 22        |
| 3.3.2    | NaCl .....   | 22        |
| 3.3.3    | NaClO <sub>3</sub> .....   | 22        |
| 3.3.4    | Toluen.....  | 22        |
| 3.4      | Miljøpåvirkning av de biologiske kvalitetselementene .....                             | 23        |
| 3.4.1    | Bunndyr .....  | 23        |
| 3.4.2    | Begroingsalger .....   | 25        |
| 3.4.3    | Heterotrof begroing.....   | 27        |
| 3.5      | Beregnet biotilgjengelig kobber .....  | 28        |
| <b>4</b> | <b>Oppsummering og konklusjon</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>5</b> | <b>Referanser</b> .....  | <b>32</b> |

---

# Sammendrag

Borregaard har utslipp av prosessavløpsvann fra områder rett oppstrøms Sarpsfossen til Melløs kai ved Sandesund. Avløpsvannet vil innblandes og fortynnes med vannmassene i Glomma, og den maksimale fortynninga som kan oppnås er begrenset av vannføringen i Glomma. I 80 % av tiden så er vannføringen i Glomma mellom 350 og 1 297 m<sup>3</sup>/s, med medianverdi på 548 m<sup>3</sup>/s.

Prosessavløpsvann som slippes ut fra området rett oppstrøms Sarpsfossen og ned til Miljøfabrikken vil blandes inn raskt og godt på grunn av turbulent strøm, og det er i dette området Borregaard har sine største utslipp. Her ble fortynningen beregnet med grunnlag i vannføringen i Glomma. I prosessutslippspunktet ved Melløs kai («Spraytørka») er strømmen mer laminær, og innblandingen av prosessavløpsvannet blir derfor mindre effektivt. Fortynning og spredning av prosessavløpsvannet fra «Spraytørka» ble beregnet med modellen Visual Plumes.

Borregaards prosessavløpsvann består av følgende regulerte utslippskomponenter:

- Organisk materiale (BOF og KOF)
- Næringssalter (tot N og tot P)
- Metaller (Cd, Hg, Ni, Pb, As, Cr, Cu og Zn)
- Salter (NaCl og CaSO<sub>4</sub>)
- Klorat (NaClO<sub>3</sub>)
- Toluen
- AOX («adsorbable organic halids»)

Konsentrasjonene av Borregaards utslippskomponenter i Glomma ble beregnet med ulike fortynninger, 427x (lav) og 1 582x (høy), og ved bruk av Visual Plumes, som viste f.eks. at fortynninga fra utslippspunkt «Spraytørka» var ca. 50x, 100 m nedstrøms.

Resultater viste at konsentrasjoner av metallene i området Sarpsfossen til Miljøfabrikken var godt under grenseverdier gitt i vannforskriften (AA-EQS) etter innblanding i Glomma. Av metallene er Borregaards utslipp av Cu størst (kg/år), og ved 26x fortynning av prosessavløpsvannet vil konsentrasjonene bli under AA-EQS. I en stor elv som Glomma som i dette området også er turbulent, vil en slik fortynning skje nær (< 50 m) fra utslippspunktet.

I utslippspunktet «Spraytørka», var konsentrasjonene av metallene, med unntak av Cd, under AA-EQS ca. 50 m fra utslippspunktet. For Cd må prosessavløpsvannet fortynnes ca. 60x før konsentrasjonen blir lik AA-EQS. Dette tilsvarer om lag 150 m fra utslippspunktet til Glomma. Da Borregaards utslipp av Cu er av de største, ble det gjort en beregning av biotilgjengeligheten til Cu i Glomma. Fortynningsberegninger av prosessavløpsvannet indikerer at kobberkonsentrasjonen i Glomma vil være lavere enn EQS etter full innblanding, uansett vannføring. Et estimat av biotilgjengeligheten til Cu i Glomma tilsier at en konsentrasjon på 22,5 µg/l fortsatt vil være lav nok til å beskytte de fleste artene, noe som tilsvarer at prosessutslippsvannet fortynnes 8x. Fortynning på 8-25x forventes innenfor 50 m fra utslippspunktene.

For Borregaards regulerte utslippskomponenter, NaCl, NaClO<sub>3</sub>, toluen og AOX hvor det ikke er utarbeidet grenseverdier i henhold til vannforskriften, ble det innhentet toksisitetsdata og annen informasjon fra litteratur og databaser.

For AOX-stoffene som har en rekke uheldige miljøegenskaper, ble det søkt i litteratur etter toksisitetsdata, men relevant informasjon ble ikke funnet. Miljøvurdering av Borregaards utslipp av AOX til Glomma kunne da ikke gjennomføres.

---

Borregaards utslipp av NaCl var lavt, tilsvarende 0,06 promille (‰), og langt under definisjonen av maksimumsgrense for det man definere som «ferskvann».

Konsentrasjonen av klorat i prosessavløpsvannet var godt under nivåer for oppgitte konsentrasjoner hvor man kan forvente kroniske og toksiske effekter på vannlevende organismer.

Borregaard benytter toluen i produksjonen, og stoffet er flyktig og har lavere tetthet enn vann, slik at det vil ligge som en film på vannoverflaten, ved turbulens i vannmassene vil stoffet i stor grad fordampe. Beregnede konsentrasjoner av toluen i prosessavløpsvannet vil være akutt toksisk for vannlevende organismer, selv etter et estimat på at 20 % av stoffet fordampes før utslipp til Glomma. Utslipet av toluen i Glomma (utslippspunkt 23b) har imidlertid god og rask innblanding, og allerede ved ca. 10x fortyning av prosessavløpsvannet vil konsentrasjonene komme under nivåer hvor kroniske toksiske effekter kan oppstå. Slik fortyning forventes innenfor 50 m fra utslippspunktet.

De biologiske kvalitetselementer bunndyr (ASPT-indeks), begroingsalger (PIT-indeks) og heterotrof begroing (HBI- og HBI2-indeks) fanger opp belastninger fra Borregaards utslipp av næringssalter og såkalt lettomsattelig løst organisk materiale, målt som BOF og KOF. I overvåkingsstasjonen oppstrøms Borregaard er den økologiske tilstanden for disse kvalitetslelementene i hovedsak «Svært god» eller «God». Rett nedstrøms Sarpsfossen forverres tilstanden, og miljømålet om god økologisk tilstand i henhold til vannforskriften oppnås ikke for de biologiske kvalitetselementene utenfor Borregaard.

Hovedårsaken til at de biologiske kvalitetselementene ikke oppnår miljømålet om «God» økologisk tilstand, er forårsaket av Borregaards utslipp av lettomsattelig organisk materiale som tas opp av den heterotrofe bakterien *Sphaerotilus natans* («lammehaler»), målt som HBI- og HBI2-indeks. Den trådformede bakterien med evnen til å feste seg til fast materiale langs elvebunnen har dannet tykke matter av bakteriekolonier. Bakteriene vokser raskt og forbruker opp oksygenet i substratet og vannmassene rundt. De tykke mattene med bakteriekolonier hindrer videre elvevannet i å strømme inn i løsmassene og tilføre nytt oksygen. Dette påvirker forholdene for bunndyrfaunaen som lever i vannsjiktet i den siste centimeteren av vannet over bunnssubstratet. I siste rapport ble det bemerket at antall bunndyr som normalt lever i bunnssubstratet (børstemark og larver av fjærmygg) var variabelt og til dels få. Redusert ASPT-indeks ses da i sammenheng med de til dels tykke lagene av heterotrof begroing på bunnen.

Eutrofieringsindeks, PIT, for begroingsalger er primært påvirket av fosfor, og faller fra "God" tilstand oppstrøms Sarpsfossen, til "Moderat" utenfor Borregaard. Hovedårsak til at tilstanden forverres utenfor Borregaard antas å være forårsaket av lammehaler som under nedbrytning vil tilføre næringssalter slik samfunnet av begroingsalger favoriserer framvekst av eutrofierte arter. Av de tre biologiske kvalitetselementene anvendt i overvåkingen utenfor Borregaard har trolig HBI2 mest relevans, da den umiddelbart speiler Borregaards utslipp av lettomsattelig løst organisk materiale, ved framveksten av lammehaler, som direkte og indirekte påvirker indeksene ASPT og PIT.

Av Borregaards regulerte utslippskomponenter til vann er det utslippet av løst lettomsattelig organisk materiale, målt som BOF og KOF, som har den største negative miljøpåvirkning på vannmiljøet utenfor Borregaard. De andre regulerte utslippskomponentene ble godt fortynt og innblandet i Glommavann. Etter innblanding i vannmassene var de fleste konsentrasjonene, med unntak av Cd, under AA-EQS ca. 50 m fra utslippspunktene. For Cd ble konsentrasjoner i prosessavløpsvannet lik AA-EQS ca. 150 m fra utslippspunktet til Glomma.

---

## Summary

Title: Environmental impacts of Borregaard's process wastewater in Glomma

Year: 2021

Author(s): Sissel B. Ranneklev, André Staalstrøm, Markus Lindholm og Øyvind Garmo

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7305-2

Borregaard has discharges of process wastewater from areas directly upstream of Sarpsfossen to Melløs quay at Sandesund. The wastewater will be mixed and diluted with the water in Glomma, and the maximum dilution that can be achieved is limited by the water flow in Glomma. In 80 % of the time, the water flow in Glomma is between 350 and 1 297 m<sup>3</sup>/s, with a median value of 548 m<sup>3</sup>/s.

Process wastewater discharged upstream of Sarpsfossen to "Miljøfabrikken" will be mixed quickly and well due to turbulent flow, and it is in this area that Borregaard has its largest discharges. In this area, the dilution was calculated based on the water flow in Glomma. At the process discharge point at Melløs quay ("Spraytørka"), the flow is more laminar, and the mixing of the process wastewater therefore becomes less efficient. Dilution and dispersion of the process wastewater from the "Spraytørka" was calculated using the Visual Plumes model.

Borregaard's process wastewater consists of the following regulated discharge components:

- Organic material (BOF and KOF)
- Nutrients (tot N and tot P)
- Metals (Cd, Hg, Ni, Pb, As, Cr, Cu, and Zn)
- Salts (NaCl and CaSO<sub>4</sub>)
- Chlorate (NaClO<sub>3</sub>)
- Toluene
- AOX ("adsorbable organic halids")

The concentrations of Borregaard's discharge components in Glomma were calculated with different dilutions, 427x (low) and 1 582x (high), and using Visual Plumes, which showed e.g. that the dilution from the discharge point "Spraytørka" was approximately 50x, 100 m downstream.

Results showed that the concentrations of the metals from Sarpsfossen to "Miljøfabrikken" were well below the environmental quality standards (AA-EQS) given in the EU Water Framework Directive (WFD)

after mixing in Glomma. Borregaard's discharges of Cu are one of the largest (kg/year), and 26x dilution of the process wastewater is necessary for the concentrations to be below AA-EQS. Such a dilution in a large river such as the Glomma, which in this area is also turbulent, will occur close (<50 m) from the discharge point.

At the discharge point "Spraytørka", the concentrations of the metals, except Cd, the concentrations after mixing were below AA-EQS approx. 50 m from the discharge point. For Cd, the process wastewater had to be diluted approx. 60x before the concentration equals to AA-EQS. This corresponded to about 150 m from the discharge point in Glomma.

As Borregaard's discharges of Cu are among the largest, the bioavailability of Cu in Glomma was calculated. Calculations estimated that Cu in the process wastewater will be lower than EQS after full mixing, regardless of water flow in Glomma. An estimate of the bioavailability of Cu in the Glomma indicates that a concentration of 22,5 µg/l will still be low enough to protect most species, which

---



corresponds to the process discharge water being diluted 8 times. Dilution of 8-25x is expected below 50 meters from the discharge points.

For Borregaard's regulated discharges of NaCl, NaClO<sub>3</sub>, toluene, and AOX where no environmental quality standards have been derived according to the EU WFD, data on toxicity and other information were obtained from literature and databases.

For the AOX substances that have several adverse environmental properties, searches for toxicity data were done, but no relevant information was found. An environmental assessment of Borregaard's discharges of AOX to Glomma could then not be carried out.

Borregaard's discharges of NaCl were low, corresponding to 0,06 ‰, and far below the definition of the maximum limit for what is defined as «fresh water». The concentration of chlorate in the process wastewater was well below levels where chronic and toxic effects in aquatic biota can be expected.

Borregaard uses toluene in production, and the substance is volatile and has a lower density than water, so that it will lie as a film on the water surface. In the event of turbulence in the water masses, the substance will to a large extent evaporate. Estimated concentrations of toluene in the process wastewater will be acutely toxic to aquatic organisms, even after an estimate that 20 % of the substance evaporates before discharge to the Glomma. However, the discharge of toluene in the Glomma (discharge point 23b) has good and rapid mixing. After approx. 10x dilution of the process wastewater, the concentrations will fall below levels where chronic toxic effects can occur. Such dilution is expected within 50 m from the discharge point.

The biological quality elements benthic macroinvertebrates (ASPT index), periphyton (PIT index) and heterotrophic growth (HBI and HBI2 index) capture loads from Borregaard's discharges of nutrients and so-called easily metabolizable dissolved organic material, measured as BOF and KOF. On the reference monitoring station upstream of Borregaard, the ecological status of these quality elements is classified as "High" or "Good". Directly downstream of Sarpsfossen, the ecological status deteriorates, and the environmental objective of "Good" ecological status according to the EU WFD is not achieved.

The main reason why the biological quality elements do not achieve the environmental objective of "Good" ecological status is caused by Borregaard's discharges of easily metabolizable organic material assimilated up by the heterotrophic bacterium *Sphaerotilus natans* ("sewage fungus"), as measured by means of the HBI-HBI2 index. The filamentous bacterium with the ability to adhere to solid material along the riverbed has formed thick mats of bacterial colonies. During growth the bacteria consume the oxygen in the sediments and the surrounding water masses. The thick mats with bacterial colonies prevent the river water from flowing into river bed sediments to supply new oxygen. This affects the conditions of the benthic fauna that live in the water surface above the sediments, and in the sediments. In the last monitoring report from the actual area, it was noted that the number of benthic faunae that normally live in the bottom sediments (oligochates and larvae of midges) was variable and partly low. Reduced ASPT index is hence associated with the extensive heterotrophic growth on the sediment surface.

The eutrophication index, PIT, for periphyton is primarily affected by phosphorus, falling from "Good" ecological status upstream of Sarpsfossen, to "Moderate" outside Borregaard. The main reason is assumingly the decay of the thick mats of the bacteria, that release a surplus of nutrients to the periphyton, hence favoring eutrophic species.

Of the three biological quality elements applied in monitoring outside Borregaard, HBI2 is probably most relevant, as it immediately reflects Borregaard's discharges of easily metabolizable organic

---

material, through the emergence of *Sphaerotilus natans*, which in turn, directly and indirectly affect the ASPT and PIT indexes.

Of Borregaard's regulated discharge components to water, it is the discharge easily metabolizable organic material, measured as BOF and KOF, that has the greatest negative environmental impact on the aquatic environment outside Borregaard. The other regulated discharge components were well diluted and mixed into Glomma. After mixing, most concentrations, except Cd, were below AA-EQS approx. 50 m from the discharge points. For Cd, the concentrations in the process wastewater were equal to AA-EQS about 150 m from the discharge point to Glomma.

# 1 Introduksjon

Borregaard er kategorisert under bransjen «Produksjon av papirmasse» i Miljødirektoratets database [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no) og anlegget er lokalisert i Sarpsborg kommune, nær Sarpsfossen i Glomma. Ut fra tømmer som råvare produserer Borregaard en rekke ulike høyforedledede og spesialiserte produkter. For mer informasjon om bedriften, se Borregaards hjemmeside ([www.borregaard.no](http://www.borregaard.no)).

Fra produksjonsprosessene har Borregaard en rekke utslippspunkter av prosessavløpsvann til Glomma. I **Tabell 1** gis en oversikt over utslippspunkter fra Borregaard til Glomma med tilhørende utslippskomponenter og utslippsmengder. I **Figur 1** vises plassering av de ulike utslippspunktene for prosessavløpsvann til Glomma.

**Tabell 1.** Oversikt over utslippspunkter fra Borregaard til Glomma, med tilhørende stoffer, sammensetninger og utslippsmengder. Alle data fra Borregaard.

| Utslipp til Glomma 2021 | Utslippspunkter til Glomma, se kart i egen arkfane |                 |                                      |   |                 |            | Menge         |
|-------------------------|--|-----------------|--------------------------------------|---|-----------------|------------|---------------|
|                         | 33   | 28/29           | 23b                                  | 14  | 14b             | 2          |               |
|                         | Anlegg   |                 |                                      |   |                 |            |               |
| Utslippskomponenter     | Opsund renseri                                     | Kokeri, Syrehus | Etanol, Lignin, Vanillin, Kloralkali | Blekeri, AOX-reaktor, Biokjel, Fine Chemicals, Exilva | Miljø-fabrikken | Spraytørka |               |
| KOF <sup>1</sup>        | 0,5  | 2,4             | 11                                   | 28  | 13              | 1          | 56 (t/d)      |
| BOF <sup>1</sup>        | 0,2  | 0,7             | 3                                    | 7   | 1               | 0,1        | 12 (t/d)      |
| VSS <sup>1</sup>        | 0,3  | 0,1             | 1                                    | 2   | 1               | -          | 3,9 (t/d)     |
| AOX <sup>2</sup>        | -  | -               | -                                    | 0,2   | -               | -          | 0,2 (t/d)     |
| Cu                      | -  | -               | 9                                    | 1   | 1               | -          | 11,6 (kg/d)   |
| TotP <sup>3</sup>       | 1  | -               | 5                                    | 6   | 9               | -          | 20,6 (kg/d)   |
| TotN <sup>3</sup>       | 2  | 5               | 26                                   | 248   | 119             | 1          | 401,1 (kg/d)  |
| AUORG <sup>4</sup>      | -  | -               | 4,2                                  | -   | -               | -          | 4,2 (t/d)     |
| Hg                      | -  | -               | 1                                    | -   | -               | -          | 1 (kg/år)     |
| As                      | 0,3  | 0,3             | 2                                    | 5   | -               | 0,4        | 8 (kg/år)     |
| Cd                      | 0,1  | 0,1             | 2                                    | 3   | 1               | 0,8        | 6 (kg/år)     |
| Cr                      | 4  | 4               | 24                                   | 161   | 27              | 2          | 222 (kg/år)   |
| Cu                      | 8  | 30              | 3461                                 | 669   | 379             | 12         | 4 559 (kg/år) |
| Ni                      | 3  | 8               | 28                                   | 243   | 58              | 1          | 339 (kg/år)   |
| Pb                      | 2  | 3               | 13                                   | 23  | 4               | 1          | 46 (kg/år)    |
| Zn                      | 25   | 89              | 353                                  | 510   | 202             | 13         | 1192 (kg/år)  |
| Toluen <sup>5</sup>     | -  | -               | 185                                  | -   | -               | -          | 185 (t/år)    |

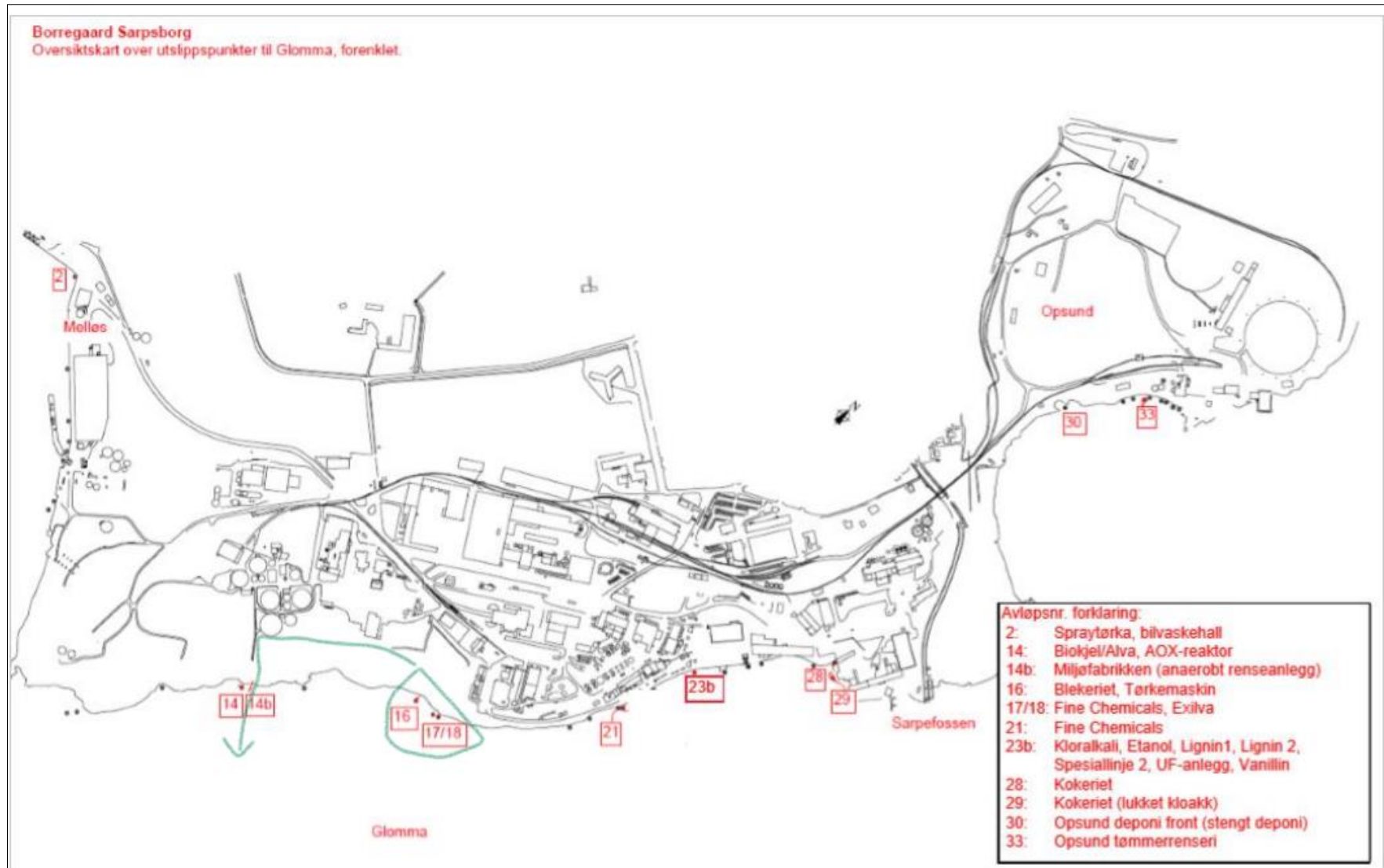
<sup>1</sup> Utslipp av organisk materiale målt som KOF (kjemisk oksygenforbruk) og BOF (biologisk oksygenforbruk); uoppløst organisk materiale, tap av partikler, fibre (tremasseprodukter) og biomasse fra anaerobt rensanlegg.

<sup>2</sup> AOX (adsorbable organic halogens), klororganiske forbindelser av ulike kjemisk struktur og sammensetning.

<sup>3</sup> TotP (Totalt fosfor) og TotN (Totalt nitrogen), næringssalter.

<sup>4</sup> Lakebløddning, bestående av NaCl 3,9 t/d, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1t/t og NaClO<sub>3</sub> 0,1t/d.

<sup>5</sup> Toluen (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>), organisk løsemiddel som er flyktig. Angitt mengde på 185 tonn er innkjøp pr. år.



**Figur 1.** Kart som viser en forenklet skisse av Borregaards utslippspunkter (med inntegninger for samling av utslippspunkter) for prosessavløpsvann til Glomma (Kilde: Borregaard).

NIVA har i lang tid overvåket vannmiljøet i Glomma som er tilknyttet Borregaards utslipp av prosessavløpsvann (Rustadbakken mfl. 2011; Ranneklev mfl. 2013; Bækken mfl. 2015; Lindholm mfl. 2016; Kile mfl. 2019), og arbeidet har fulgt mal for tiltaksorientert overvåking og rapportering (Ranneklev mfl. 2018) i henhold til vannforskriften. Det vil si at det mest følsomme biologiske kvalitetselement for belastningen har blitt overvåket, og ved utslipp av miljøgifter/stoffer, som i vannforskriften betegnes som vannregionspesifikke og prioriterte stoffer, har konsentrasjoner av disse blitt målt i vann. Innhentet overvåkingsdata har deretter blitt klassifisert i henhold til vannforskriftens fem klasser for økologisk tilstand og to klasser for kjemisk tilstand som vist under. Miljømålet i vannforskriften er minimum «God økologisk tilstand» og «God kjemisk tilstand».

| Økologisk tilstand | Kjemisk tilstand |
|--------------------|------------------|
| Svært god          | God              |
| God                |                  |
| Moderat            | Ikke god         |
| Dårlig             |                  |
| Svært dårlig       |                  |

Borregaards regulerte utslipp kan grovt inndeles i:

- Næringsalter (TotP og TotN),
- Organisk materiale (målt som KOF og BOF, bestående av uoppløst organisk materiale; tap av partikler, fibre (tremasseprodukter) og biomasse fra anaerobt renseanlegg),
- Prioriterte stoffer (Hg, Cd, Ni og Cd) med grenseverdier gitt i vannforskriften,
- Vannregionspesifikke stoffer (As, Cr, Cu og Zn) med grenseverdier gitt i vannforskriften, og
- Andre stoffer (AOX, NaCl, toluen, NaSO<sub>4</sub> og NaClO<sub>3</sub>) hvor det ikke er utarbeidet grenseverdier i henhold til vannforskriften. Målte konsentrasjonene av stoffene i vannmiljøet vurderes da med hensyn til f.eks. databaser for kjemikalier og fagfelleverderte tidsskrifter (Ranneklev mfl. 2018).

I **Tabell 2** vises antatte påvirkninger fra Borregaards regulerte utslippskomponenter til Glomma med tilhørende parameter/indeks som overvåkes. Valg av biologiske kvalitetselementer for ulike påvirkninger og grenseverdier for vannregionspesifikke og prioriterte stoffer er gitt i Klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppen for vanddirektivet 2018).

**Tabell 2.** Utfyllende informasjon om Borregaards utslippskomponenter til Glomma. Begroingsalger, bunndyr og heterotrof begroing går under betegnelsen biologiske kvalitetselementer.

| Utslippskomponenter          | Påvirkning             | Parameter/indeks                        |
|------------------------------|------------------------|---|
| Næringsalter                 | Eutrofiering           | Begroingsalger/PIT-indeks               |
| Organisk materiale           | Organisk belastning    | Bunndyr/ASPT-indeks                     |
| Organisk materiale           | Organisk belastning    | Heterotrof begroing/HBI- og HBI2-indeks |
| Prioriterte stoffer          | Miljøgiftpåvirkning    | Konsentrasjoner av stoffene i vann/IU*  |
| Vannregionspesifikke stoffer | Miljøgiftpåvirkning    | Konsentrasjoner av stoffene i vann/IU*  |
| Andre stoffer                | Giftighet (toksisitet) | Konsentrasjoner av stoffene i vann/IU*  |

\* det er ikke utviklet indekser for disse stoffene.

Borregaard har startet med å omlegge sine overvann- og prosessavløpsutslipp til Glomma. På sikt skal alle overvann- og prosessavløpsutslipp samles til to større prosessutslippspunkter; «23 b» og «14 a/b», samt et mindre «2», som føres ut i Glomma. I 2018 ble utslippspunktet «23 b» samlet, som nå omfatter hovedavløp fra kloralkalifabrikken, etanol-, lignin- og vanillinfabrikken og overvann. I 2021 skal prosessutslipp fra blekeri og finkjemi, overvann og kjølevann flyttes til utslippspunkt «14 a/b».

Utslippspunktet «14 a/b» skal videre forlenges ut til Glomma. I 2021/2022 skal utslippspunkt «2» flyttes bak kiaskekaia og lengre ut i Glomma. Borregaard har gitt NIVA informasjon om utslippskomponenter, mengde utslipp (t/døgn eller kg/år) og vannmengde (L/s).

Borregaard ønsker at NIVA skal beregne fortynning og spredning av de regulerte utslippskomponenter fra prosessutslippspunktene «30», «28/29», «23b», «14 a/b» og «2» til Glomma. Videre skal miljøpåvirkningen av utslippskomponentene til Glomma vurderes. For kobber skal miljøgiftpåvirkning også vurderes mht. biotilgjengelighet. For vurdering av miljøpåvirkning har NIVA tatt utgangspunkt i påvirkninger og parametere som er beskrevet i **Tabell 2**. For utslipp av nærings saltene og organisk belastning har NIVA beregnet og vurdert fortynning og spredning av disse utslippskomponentene i lys av resultater fra de to siste overvåkingsrapportene i Glomma utenfor Borregaard (Lindholm mfl. 2016; Kile mfl. 2019). For miljøgiftpåvirkning/giftighet av de prioriterte og vannregionspesifikke stoffene er beregnede konsentrasjoner etter fortynning og spredning sammenlignet med grenseverdier i vannforskriften, samt målte konsentrasjoner i Glomma (Lindholm mfl. 2016; Kile mfl. 2019). For «andre stoffer» er giftighet (toksisitet) vurdert opp mot informasjon hentet fra andre kilder, da det ikke er utviklet grenseverdier for disse stoffene i vannforskriften.

## 2 Metode

### 2.1 Beregning av fortynning av prosessavløpsvann i Glomma

Prosessavløpsvann fra Borregaard vil innblandes og fortynnes med vannmassene i Glomma. Den maksimale fortynninga som kan oppnås for prosessavløpsvannet er begrenset av vannføringen i Glomma. Ved forhøyninger i bunntopografi og svinger i elva vil innblandingen være høyere enn i områder med en rett og flatbunnet elv. Ved utslipp av prosessavløpsvann nær en foss, vil utslippet fortynnes maksimalt i fossen. I **Figur 2** vises et flyfoto av en seksjon av Glomma hvor utslippspunktene, med unntak av utslippspunkt nr. 2 («Spraytørka», lavest vannmengde), er tegnet inn. Bildet er hentet fra Google Earth og viser at utslippspunkt nr. 33 har utløp ovenfor Sarpsfossen. Videre nedstrøms Sarpsfossen har Glomma grunne partier (ses som hvite «flekker» i elva) og innsnevringar som effektivt vil blande inn prosessavløpsvannet i Glommas elvevann. En kan anta at prosessavløpsvannet fra de røde utslippspunktene i **Figur 2** har oppnådd maksimal fortynning før det når den orange linjen merket «A-A» i Glomma. Utslippspunkt 33 blir i Sarpsfossen maksimalt fortynnet. Utslippspunkt nr. 2 («Spraytørka», ved Melløs kai) er plassert ca. 1 100 m nedstrøms linjen merket A-A i **Figur 2** (se **Figur 1** og **Figur 3** for plassering av utslippspunkt nr. 2). Vannmengden (L/s) i alle utslippspunktene er vist i **Tabell 3**.



**Figur 2.** Flyfoto av Glomma ovenfor Sarpsfossen og et stykke nedover. De røde prikkene viser plassering av de største prosessutslippspunktene (Kilde: Google Earth).

**Tabell 3.** Oppsummering av vannmengder for utslippspunktene av prosessavløpsvann.

| Utslippspunkt | Anlegg  | Vannmengde (L/s) | Plassering            |
|---------------|---|------------------|-----------------------|
| 33            | Opsund renseri  | 14               | Oppstrøms Sarpfossen  |
| 28/29         | Kokeri/Syrehus  | 84               | Oppstrøms A-A         |
| 23b           | Etanol, Lignin, Vanillin, Kloralkali                  | 377              | Oppstrøms A-A         |
| 14            | Blekeri, AOX-reaktor, Biokjel, Fine Chemicals, Exilva | 242              | Oppstrøms A-A         |
| 14b           | Miljø-fabrikken                                       | 103              | Oppstrøms A-A         |
| 2             | Spraytørka  | 6                | 1 100 m nedstrøms A-A |

Utslippspunktene oppstrøms for linjen «A-A» har en samlet vannmengde på 820 L/s eller 0,82 m<sup>3</sup>/s. Hvis vannføringen i Glomma betegnes  $Q_{elv}$  og vannmengden i utslippene er  $Q_{ut}$  så blir den maksimale oppnåelige fortyninga ( $f$ ):

$$f = \frac{Q_{elv}}{Q_{ut}} \quad (1)$$

I **Tabell 4** vises statistikk for vannføringen i Glomma over en periode på 50 år ([www.nve.no](http://www.nve.no), Solbergfoss), hvor maksimal-, snitt- og minste vannføring samt persentil-verdiene er beregnet. I tillegg er det beregnet maksimal fortyning av en vannmengde på 820 L/s (samlet vannmengde for prosessavløpsvannet) ved den gitte vannføringen på et gitt punkt i elva (nedstrøms linjen A-A, Figur 2). Persentil-verdien angir hvor stor andel av målte vannføringer som er under den angitte verdien. F.eks. når 75 persentilen er 850 m<sup>3</sup>/s så betyr det at 75 % av målingene av vannføringen er under denne verdien. Ut ifra **Tabell 4** kan vi lese at i 80 % av tiden så er vannføringen i Glomma mellom 350 og 1297 m<sup>3</sup>/s.

**Tabell 4.** Statistikk over vannføringen i Glomma for perioden 1964-2014. Maksimal, snitt- og minste vannføring er vist sammen med persentil-verdiene. I nederste rad er fortyning av en vannmengde på 820 L/s vist nedstrøms for linjen «A-A».

| Parameter                      | Maks-verdi | 95 pers. | 90 pers. | 75 pers. | Snitt-verdi | Median-verdi | 25 pers. | 10 pers. | 5 pers. | Minste-verdi |
|--------------------------------|------------|----------|----------|----------|-------------|--------------|----------|----------|---------|--------------|
| Vannføring (m <sup>3</sup> /s) | 3580       | 1545     | 1297     | 850      | 697         | 548          | 424      | 350      | 313     | 150          |
| Fortyning                      | 4366       | 1884     | 1582     | 1037     | 850         | 668          | 517      | 427      | 383     | 183          |

Prosessavløpsvannet, som har konsentrasjon  $C_{ut}$ , vil blande seg med  $f$  deler (ligning 1) Glommavann med bakgrunnskonsentrasjon  $C_{bak}$ . Konsentrasjon i Glomma,  $C$ , kan da beregnes:

$$C = \frac{C_{ut} + f \cdot C_{bak}}{1 + f} \quad (1)$$



Bakgrunnskonsentrasjonene er målt oppstrøms Sarpsfossen fra overvåkningsstasjonen i Miljødirektoratets Elveovervåkningsprogram (data fra 2017-2019 er hentet fra NIVAs database Aquamonitor<sup>1</sup>), og er vist i **Tabell 5**. I dette overvåkningsprogrammet måles ikke BOF og KOF, men TOC (totalt organisk karbon). BOF er beregnet ved å anta at 30 % av målt TOC er lett nedbrytbart (biotilgjengelig) og at resten er inert. Forenklet kan nedbrytning av biotilgjengelig TOC beskrives med denne kjemiske formelen:



Atomvekten til karbon (C) er 12 g/mol og for oksygen (O) er den 16 g/mol. Et mol med molekylet CH<sub>2</sub>O utgjør altså 12 g organisk karbon som reagerer med 32 g oksygen. Ut ifra dette kan mengden biotilgjengelig TOC anslås fra det biologiske oksygenforbruket:

$$\text{TOC}_{\text{BIO}} = (12/32) \text{BOF} \quad (3)$$

Det kjemiske oksygenforbruket, KOF, i elva er estimert ved å ta beregnet BOF og legge til oksygenforbruk fra nitrifikasjon av NH<sub>4</sub>. Det vil si at nitrifikasjon av 1 g NH<sub>4</sub> vil teoretisk forbruke 4,6 g O<sub>2</sub>. En beskrivelse av omgjøring av TOC til KOF/KOF er beskrevet i (Staalstrøm 2020).

## 2.2 Beregning av biotilgjengelig kobber

Metallenes fysisk-kjemiske tilstandsform (spesiering) og biotilgjengelighet for vannlevende organismer avhenger av vannkjemivariable som pH og konsentrasjon av kalsium og naturlig organisk materiale. I vanddirektivet valgte EU-kommisjonen å ta hensyn til dette i fastsettelsen av grenseverdier (AA-EQS, årsmiddelkonsentrasjon, ingen toksiske effekter) for tre av de fire metallene som er å finne på listen over prioriterte stoffer – kadmium, bly og nikkel. Årsmiddelkonsentrasjonen for disse tre metallene kan ikke overskride vanddirektivets AA-EQS dersom «kjemisk tilstand» skal klassifiseres som god<sup>2</sup>. Grensene (AA-EQS og MAC-EQS, maksimum tillatte konsentrasjon, beskytter mot kroniske effekter ved langtidseksponering) for metaller på prioritetslisten ble i vannforskriften satt lik grensene i vanddirektivet. Dette er bakgrunnen for at AA-EQS for bly og nikkel refererer til «biotilgjengelig konsentrasjon», og at EQS for kadmium er satt forskjellig for ferskvann med ulik hardhet.

Kobber er derimot å finne på vannforskriftens liste over vannregionspesifikke stoffer. For disse stoffene har EU gitt veiledning i fastsettelse av EQS, men har ikke satt øvre (eller nedre) grenser for selve tallverdiene. I vannforskriften er grensen for kobber i ferskvann (samme verdi både for MAC-EQS og AA-EQS) satt til 7,8 µg/l (filtrert prøve). Dette tallet er direkte hentet fra den frivillige risikovurderingen av kobber gjennomført av det Europeiske kobberinstituttet, og er ment å være beskyttende for 95 prosent av artene i vann med *EU-typisk vannkemi* av en slik beskaffenhet at kobber er relativt biotilgjengelig<sup>3</sup>. I arbeidet med denne risikovurderingen ble det også tatt i bruk modeller utviklet for ulike arter for å normalisere toksisitetsdata for effekten som vannkemi har på biotilgjengeligheten til kobber - en effekt som er minst like stor som for kadmium, bly og nikkel. Toksisitetsdata innhentet ved eksponering i ulike vannkjemier kunne da brukes til å lage statistiske fordelinger som viser de ulike artenes følsomhet for kobber ved en gitt vannkemi. Fra disse kan man for eksempel avlede et tall for hvilken konsentrasjon som vil være tilstrekkelig lav til å beskytte 95 % av artene ved en gitt vannkemi. Det er krevende å kjøre alle modellene som ble brukt i

<sup>1</sup> [www.niva.no/en/water-data-on-the-web/aquamonitor](http://www.niva.no/en/water-data-on-the-web/aquamonitor)

<sup>2</sup> Se European Parliament and Council of the European Union, 2013. DIRECTIVE 2013/39/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 August 2013.

<sup>3</sup> Se European Copper Institute, 2008. Voluntary risk assessment of copper, copper(II) sulphate pentahydrate, copper(I) oxide, copper(II) oxide, dicopper chloride trihydroxide (European Union risk assessment report). Verdien 7,8 µg/l ble estimert for elva Otter i England med pH = 8.1, hardhet = 165 mg/l CaCO<sub>3</sub> og DOC = 3.2 mg/l.

risikovurderingen. Det er imidlertid utviklet forenklede verktøy der kravet til input-data er redusert til de parameterne som har størst effekt. Bio-met, som er ett av disse verktøyene og basert på «Look-up» tabeller i Excel, har vist seg å gi prediksjoner som er i tilfredsstillende samsvar med modellverktøyet fra risikovurderingen som det Europeiske kobberinstituttet gjorde for EU (Peters mfl. 2020).

For å beregne biotilgjengelig kobber i Glomma ble vannkjemidata fra 2017-2019 hentet fra Miljødirektoratets Elveovervåkingsprogram som har en stasjon like oppstrøms Sarpsfossen (Kaste mfl. 2018; Gundersen mfl. 2019; Braaten mfl. 2020, ikke publisert). Her har det vært tatt prøver månedlig siden 1990, men kalsium og løst organisk karbon (DOC), som sammen med pH utgjør minimumskravet til input-parametere i Bio-met, har kun vært med siden 2017. Vannkjemidata ble derfor begrenset til perioden 1. januar 2017 til 31. desember 2019 (48 prøver).

Bio-met versjon V5.0 ble brukt til å estimere hvilken årsmiddelkonsentrasjon av kobber som vil være tilstrekkelig lav til å beskytte 95 % av artene i en vannkjemi som Glomma ved Sarpsfossen. Estimater ble gjort for hver enkelt av de 48 vannprøvene. Beregnet tallverdi er da sammenlignbart med verdien på 7,8 µg/l, som er satt som EQS for kobber i vannforskriften i den forstand at forutsetningene er de samme. Forskjellen på tallene skyldes forskjell i vannkjemi mellom Glomma ved Sarpsfossen og elva Otter (se fotnote 2). Alle de 48 prøvene hadde pH, kalsiumkonsentrasjon og DOC-konsentrasjon innenfor spennet som Bio-met er validert for.

## 3 Resultater

### 3.1 Beregnet fortykning og konsentrasjoner av regulerte utslippskomponenter i Glomma

Konsentrasjoner av stoffene i prosessavløpsvannet ( $C_{ut}$ ), bakgrunnskonsentrasjoner av stoffer i Glomma ( $C_{bak}$ ), beregnede konsentrasjoner av stoffene i Glomma etter ulik fortykning, %-vis økning av stoffene og konsentrasjoner i avløpsvann fra Alvim renseanlegg (Figur 3) som ligger nedstrøms Borregaards utslippspunkter er vist i Tabell 5. Beregningene er gjeldende for utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b.

**Tabell 5.** Konsentrasjon av stoffer i Borregaards prosessutslippsvann ( $C_{ut}$ ).

Bakgrunnskonsentrasjoner ( $C_{bak}$ ) er målt oppstrøms Sarpsfossen, ved en målestasjon i elveovervåkingsprogrammet<sup>4</sup>. Konsentrasjoner av stoffer i Glomma etter innblanding av prosessavløpsvann fra Borregaard er beregnet ved å bruke ligning (1), ved to forskjellige fortykninger (427 og 1582). Prosentvis økning over bakgrunnskonsentrasjonen er beregnet ved de to ulike fortykningene. I kolonnen helt til høyre vises konsentrasjon i avløpsvann fra Alvim renseanlegg til Glomma ([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)).

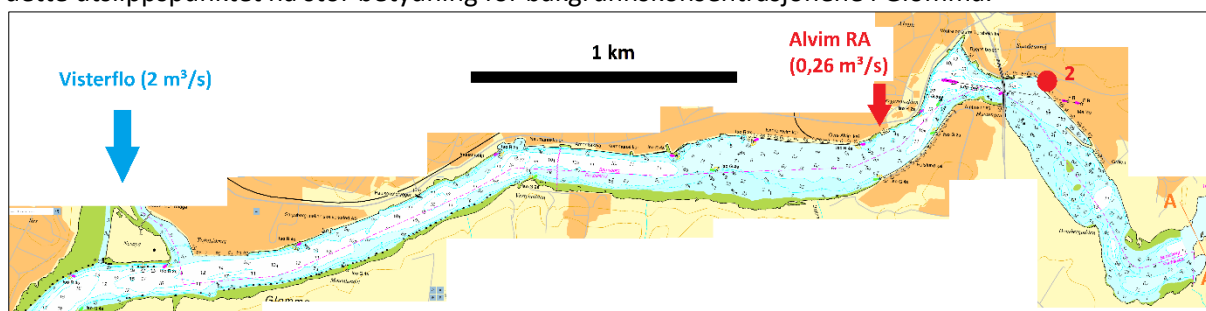
| Stoff | Enhet                | $C_{ut}$<br>(0,82 m <sup>3</sup> /s) | $C_{bak}$ | $C(f = 1582)$ | $C(f = 427)$ | % økning | ALVIM ra<br>(0,26 m <sup>3</sup> /s) |
|-------|----------------------|--------------------------------------|-----------|---------------|--------------|----------|--------------------------------------|
| KOF   | mg O <sub>2</sub> /L | 777                                  | 3,20      | 3,7           | 5,1          | 15-56    | 135                                  |
| BOF   | mg O <sub>2</sub> /L | 169                                  | 3,18      | 3,28          | 3,57         | 3-12     | 41                                   |
| AOX   | µg/L                 | 3166                                 | 5,0       | 7,0           | 12,4         | 40-148   | -                                    |
| TotP  | µg/L                 | 289                                  | 11,8      | 12,0          | 12,5         | 1-5      | 452                                  |
| TotN  | µg/L                 | 5647                                 | 520       | 523           | 532          | 1-2      | 28554                                |
| AUORG | mg/L                 | 59                                   | 0,001     | 0,038         | 0,139        | > 100    | -                                    |

<sup>4</sup> [www.niva.no/en/water-data-on-the-web/aquamonitor](http://www.niva.no/en/water-data-on-the-web/aquamonitor)

| Stoff              | Enhet | $C_{ut}$<br>(0,82 m <sup>3</sup> /s) | $C_{bak}$ | $C(f = 1582)$ | $C(f = 427)$ | % økning  | ALVIM ra<br>(0,26 m <sup>3</sup> /s) |
|--------------------|-------|--------------------------------------|-----------|---------------|--------------|-----------|--------------------------------------|
| Hg                 | µg/L  | 0,04                                 | 0,001     | 0,00102       | 0,00109      | 2-9       | 0,0185                               |
| As                 | µg/L  | 0,3                                  | 0,1600    | 0,1601        | 0,1605       | 0,05-0,20 | 1,016                                |
| Cd                 | µg/L  | 0,2                                  | 0,0100    | 0,0101        | 0,0105       | 1-5       | 0,038                                |
| Cr                 | µg/L  | 8,6                                  | 0,21      | 0,22          | 0,23         | 3-9       | -                                    |
| Cu                 | µg/L  | 175,8                                | 1,4       | 1,5           | 1,8          | 8-29      | 8,43                                 |
| Ni                 | µg/L  | 13,1                                 | 0,70      | 0,71          | 0,73         | 1-4       | 3,61                                 |
| Pb                 | µg/L  | 1,8                                  | 0,19      | 0,19          | 0,19         | 1-2       | 0,533                                |
| Zn                 | µg/L  | 45,6                                 | 4,19      | 4,22          | 4,29         | 1-2       | 54,05                                |
| Toluen*            | mg/L  | 7,2                                  | 0,001     | 0,006         | 0,018        | >100      | -                                    |
| TOC <sub>BIO</sub> | µg/L  | 63365                                | 1192      | 1231          | 1337         | 3-12      | 15375                                |
| NH4                | µg/L  | -                                    | 13,9      | -             | -            | -         | -                                    |

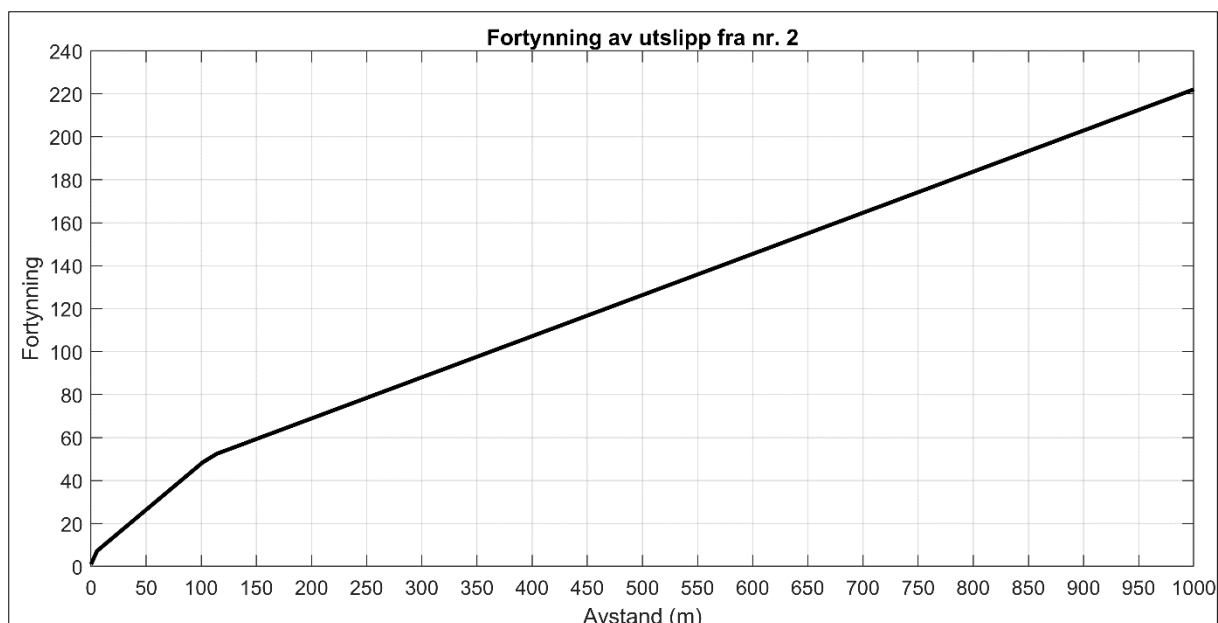
\* beregningene er overestimerte, årsak er beskrevet nærmere i kap. 3.3.4

Utslippspunkt nr. 2 («Spraytørka», ved Melløs kai) har en vannmengde på 6 L/s. Dette utslippspunktet ligger i Sandsund hvor Glomma er relativt bred og dyp. Dette utslippet vil derfor ikke blandes inn i Glommavannet like effektivt som de andre utslippspunktene. Plasseringen av utslippspunkt nr. 2 er vist i **Figur 3**. Vi har benyttet modellen Visual Plumes<sup>5</sup> til å beregne fortykning av prosessavløpsvann fra dette utslippspunktet. Resultatet er vist i **Figur 4**. Fra figuren kan man lese at fortykningen er ca. 25 og 220, henholdsvis 50 og 1 000 m fra utslippspunktet. Men siden vannmengden kun er 6 L/s vil ikke dette utslippspunktet ha stor betydning for bakgrunnskonsentrasjonene i Glomma.



**Figur 3.** Kart over Glomma fra Borregaard («A-A») til Visterflo. Utslippspunkt nr. 2 er vist med rød prikk. Omtrentlig plassering av utslippet til Alvim rensanlegg er tegnet inn med rød pil.

<sup>5</sup> <https://www.epa.gov/ceam/visual-plumes>



**Figur 4.** Beregnet fortynning utslippspunkt nr. 2 («Spraytørka»). I primærfortynningen vil prosessavløpsvannet fortynnes ca. 10x.

Renseanlegget Alvim har utslipp av blant annet Tot N, Tot P og organisk stoff. Nedstrøms utslippet til Alvim renseanlegg vil derfor konsentrasjonen av disse stoffene øke med 1-2 %. Videre har Visterflo en vannføring på ca. 2 m<sup>3</sup>/s, og dette vannet vil være med å fortynne konsentrasjonen av stoffene i elva, men siden vannføringen kun er 2 m<sup>3</sup>/s sammenlignet med 350-1 300 m<sup>3</sup>/s i Glomma, så vil ikke fortynning med vann fra Visterflo være målbart i Glomma.

Fra **Tabell 5** ser man at beregnede bakgrunnskonsentrasjoner av KOF og BOF i Glomma er tilnærmet like. Ut fra analysemetodene som anvendes for å bestemme KOF og BOF, vil alltid KOF-verdi være høyere enn BOF-verdi. Fra tidligere målinger av KOF og BOF i Glomma, ble BOF nedstrøms Sarpsfossen målt til å være < 3 mg O<sub>2</sub>/L og KOF < 15 mg O<sub>2</sub>/L (Rannekleiv mfl. 2012). I 2016 ble det gjort målinger av KOF og BOF i stasjonen til Elveovervåkingsprogrammet oppstrøms Sarpsfossen og etter alle utslippene til Borregaard i Glomma (Lindholm mfl. 2016). KOF-verdier varierte fra ca. 8 til 3 mg O<sub>2</sub>/L fra mai-oktober (gjennomsnitt ca. 4 mg O<sub>2</sub>/L). BOF-verdier ble målt en gang, og konsentrasjonene var i størrelsesorden 0,4- 0,8 mg O<sub>2</sub>/L. I ingen av overvåkingsprogrammene kunne man se påslaget fra Borregaards utslipp av organisk materiale målt som KOF og BOF. Beregnede bakgrunnskonsentrasjoner av BOF i Glomma er antagelig satt for høye (kun en måling), og beregnet BOF-konsentrasjon i Glomma etter Borregaards utslipp vil være overestimerte.

## 3.2 Miljøpåvirkning av prioriterte og vannregionspesifikke stoffer i Glomma

### 3.2.1 Utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b.

I **Tabell 6** (data er i hovedsak hentet fra **Tabell 5**) vises en oversikt over konsentrasjoner av prioriterte og vannregionspesifikke stoffer i Borregaards prosessavløpsvann, bakgrunnskonsentrasjoner i Glomma, konsentrasjoner ved lav (427) og høy (1582) fortynning i Glomma og grenseverdier gitt i Klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanddirektivet 2018). Beregningene er gjeldende for utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b.

**Tabell 6.** Konsentrasjon av stoffer i Borregaards prosessutslippsvann ( $C_{ut}$ ).

Bakgrunnskonsentrasjoner målt oppstrøms Sarpsfossen ( $C_{bak}$ ), ved en målestasjon i elveovervåkingsprogrammet<sup>6</sup>. Konsentrasjoner av stoffer i Glomma etter innblanding av prosessavløpsvann fra Borregaard er beregnet ved å bruke ligning (1), ved to forskjellige fortyninger (427 og 1582). Prosentvis økning over bakgrunnskonsentrasjonen er beregnet ved de to ulike fortyningene. AA-EQS og MAC-EQS er tatt fra Klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanddirektivet 2018).

| Stoff | Enhet | $C_{ut}$<br>(0,82 m <sup>3</sup> /s) | $C_{bak}$ | $C(f = 1582)$ | $C(f = 427)$ | % økning  | AA-EQS*<br>(µg/L) | MAC-EQS**<br>(µg/L) |
|-------|-------|--------------------------------------|-----------|---------------|--------------|-----------|-------------------|---------------------|
| Hg    | µg/L  | 0,04                                 | 0,001     | 0,00102       | 0,00109      | 2-9       | 0,05              | 0,07                |
| Ni    | µg/L  | 13,09                                | 0,7       | 0,71          | 0,73         | 1-4       | 4                 | 34                  |
| Pb    | µg/L  | 1,75                                 | 0,19      | 0,19          | 0,19         | 1-2       | 1,2               | 14                  |
| Cd    | µg/L  | 0,2278                               | 0,0100    | 0,0101        | 0,0105       | 1-5       | 0,08***           | 0,45                |
| As    | µg/L  | 0,2957                               | 0,1600    | 0,1601        | 0,1605       | 0,05-0,20 | 0,5               | 8,5                 |
| Cr    | µg/L  | 8,55                                 | 0,21      | 0,22          | 0,23         | 3-9       | 3,4               | Ingen verdi         |
| Cu    | µg/L  | 175,83                               | 1,42      | 1,53          | 1,83         | 8-29      | 7,8               | Ingen verdi         |
| Zn    | µg/L  | 45,60                                | 4,19      | 4,22          | 4,29         | 1-2       | 11                | Ingen verdi         |

\*, årsmiddelkonsentrasjon, ingen toksiske effekter.

\*\*, maksimum tillatte konsentrasjon, beskytter mot kroniske effekter ved langtidseksponering.

\*\*\*, for Cd er strengeste klassegrense i forhold til vannets hardhet valgt.

Resultater viser at konsentrasjonene av Hg og As i Borregaards prosessavløpsvann er lavere enn AA-EQS gitt i vanforskriften. Konsentrasjonene av Hg og As i prosessavløpsvannet vil da ikke være toksiske for vannlevde organismer i Glomma. Konsentrasjonene etter fortyning viser en økning i bakgrunnskonsentrasjoner på 3-9 % for Hg og 0,05-0,2% for As, som er betydelig lavere enn forventet måleusikkerhet til analytiske metoder for metaller som ofte settes til 20 %. Økningen i bakgrunnskonsentrasjonen av Hg og As vil da ikke være målbare i Glomma.

I utslippspunktene av prosessavløpsvann til Glomma, vil konsentrasjonene av Ni, Pb og Cd være lavere enn MAC-EQS, men høyere enn AA-EQS. Kroniske effekter på vannlevende organismer ved langtidseksponering vil forventes rett ved utslippspunktene til Glomma. Som forklart i kapittel 2.1 vil prosessavløpsvannet fortynnes raskt og godt i Glomma ved utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b. Konsentrasjonene av disse stoffene ved høy (1582) og lav fortyning (427) vil være under AA-EQS og tilnærmet lik bakgrunnskonsentrasjoner i Glomma. En meget begrenset kronisk effekt på vannlevende organismer vil da forventes nær utslippspunktet, men rask fortyning vil sikre at konsentrasjonene i Glomma blir godt under AA-EQS og tilsvarende lik bakgrunnskonsentrasjonene.

I vannforskriften mangler verdier for MAC-EQS for Cr, Cu og Zn. I Borregaards prosessavløpsvann er konsentrasjonene av disse stoffene betydelig høyere enn AA-EQS, og for Cu vil økningen i Glomma være størst (8-29 %). Ved fortyning lav (427) og høy (1582), vil derimot konsentrasjonene være godt under AA-EQS, og nær bakgrunnskonsentrasjoner i Glomma for alle tre metallene. For Zn og Cr må prosessavløpsvannet fortynnes henholdsvis 5 og 1,6x (beregnet fra ligning 1) for at konsentrasjonene skal bli lik AA-EQS. Slike lave fortyninger oppnås i korte avstander fra utslippspunktene i en elv som Glomma (se **Figur 4**, hvor fortyning har blitt høyere beregnet ved utslippspunkt 2). For utslippet av Cu som er ett av Borregaards største, og hvor bakgrunnskonsentrasjonene av Cu er høy, så vil

<sup>6</sup> [www.niva.no/en/water-data-on-the-web/aquamonitor](http://www.niva.no/en/water-data-on-the-web/aquamonitor)

prosessavløpsvannet måtte fortynnes 26x (beregnet fra ligning 1) for at konsentrasjonene i Glomma skal bli lik AA-EQS. Fra utslippspunkt 2 (**Figur 4**), som er et område i Glomma med lavere fortynning enn der hvor utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b er plassert, så vil en slik fortynning være oppnådd allerede ca. 50 meter fra utslippspunktet.

### 3.2.2 Utslippspunkt 2 («Spraytørka»)

I utslippspunkt 2 («Spraytørka») ble modellen Visual Plumes benyttet for å beregne fortynning av prosessavløpsvannet i Glomma. Dette er et av de mindre prosessavløpspunktene i Glomma med en vannmengde på 6 L/s. I **Tabell 7** vises beregnede (ligning 1) konsentrasjoner av utslippskomponenter i Glomma ved 25x fortynning som tilsvarer 50 m fra utslippspunkt 2 (se **Figur 4**).

**Tabell 7.** Beregnede konsentrasjoner av utslippskomponenter ved 25x fortynning i Glomma fra utslippspunkt 2. AA-EQS og MAC-EQS er tatt fra Klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanddirektivet 2018).

| Stoffer | $C_{ut}$<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | $C_{bak}$<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | Konsentrasjon i Glomma ( $\mu\text{g/L}$ )<br>(25x fortynning /50 m fra utslippspunkt 2) | AA-EQS<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | MAC-EQS<br>( $\mu\text{g/L}$ ) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|
| Ni      | 5,3                             | 0,7                              | 0,9  | 4                             | 34                             |
| Pb      | 5,3                             | 0,19                             | 0,4  | 1,2                           | 14                             |
| Cd      | 4,2                             | 0,01                             | 0,4  | 0,08*                         | 0,45                           |
| As      | 2,1                             | 0,16                             | 0,2  | 0,5                           | 8,5                            |
| Cr      | 10,6                            | 0,21                             | 0,4  | 3,4                           | Ingen verdi                    |
| Cu      | 63,4                            | 1,42                             | 3,8  | 7,8                           | Ingen verdi                    |
| Zn      | 68,7                            | 4,19                             | 6,7  | 11                            | Ingen verdi                    |

\*, for Cd er strengeste klassegrense i forhold til vannets hardhet valgt.

For alle stoffene med unntak av Cd, vil konsentrasjoner i Glomma være under AA-EQS, 50 meter fra utslippspunkt 2. For Cd vil må prosessavløpsvannet fortynnes 60x før konsentrasjonene blir lik AA-EQS. Dette tilsvarer om lag 150 m fra utslippspunkt 2 i Glomma. Konsentrasjoner som tilsvarer MAC-EQS blir oppnådd rett ved utslippspunktet, og da er prosessavløpsvannet fortynnet ca. 10x (**Figur 4**). Giftighet til Cd er avhengig av vannets hardhet («konsentrasjoner av  $\text{CaCO}_3$ ), og strengeste klassegrense for Cd er valgt, da informasjon om hardhet i Glomma mangler. Glomma er i dette området karakterisert med vanntype «moderat kalkrik» ([www.Vann-Nett.no](http://www.Vann-Nett.no)). Ved å eventuelt benytte en mindre strengere klassegrense (AA-EQS = 0,09  $\mu\text{g/L}$ ), vil fortynningsberegninger bli omtrent det samme, da det er liten forskjell i AA-EQS mellom den strengeste og nest strengeste klassegrensen.

### 3.3 Miljøpåvirkning av «andre stoffer» i Glomma

For stoffene AOX, NaCl/NaSO<sub>4</sub> (behandlet som «NaCl», inngår i utslippskomponent betegnet som «AUGORG» i **Tabell 5**), NaClO<sub>3</sub> (inngår i utslippskomponent betegnet som «AUGORG» i **Tabell 5**) og toluen er det ikke utarbeidet grenseverdier i vannforskriften. I **Tabell 8** vises konsentrasjoner i prosessavløpsvannet og fortynninger i Glomma (beregnet etter ligning 1, og tilsvarende som vist i **Tabell 5**, men delt opp for NaCl og NaClO<sub>3</sub>). Alle stoffene har prosessavløp til området «Opsund renseri til «Miljøfabrikken».

**Tabell 8.** Konsentrasjon av stoffer i Borregaards prosessutslippsvann ( $C_{ut}$ ).

Bakgrunnskonsentrasjoner ( $C_{bak}$ ) til toluen, NaClO<sub>3</sub>, NaCl og er satt til 1  $\mu\text{g/L}$ , som betegnes som «lave», da forekomst av disse stoffene i Glomma forventes å være lave. for AOX er bakgrunnskonsentrasjon satt til 5  $\mu\text{g/L}$  fra tidligere målinger oppstrøms Sarpsfossen. Konsentrasjoner av stoffer i Glomma etter innblanding av prosessavløpsvann fra Borregaard er beregnet ved å bruke

ligning (1), ved to forskjellige fortyninger (427 og 1582). Prosentvis økning over bakgrunnskonsentrasjonene er beregnet ved de to ulike fortyningene.

| Stoff              | Enhet | $C_{ut}$<br>(0,82 m <sup>3</sup> /s) | $C_{bak}$ | $C(f = 1582)$ | $C(f = 427)$ | % økning |
|--------------------|-------|--------------------------------------|-----------|---------------|--------------|----------|
| AOX                | mg/L  | 3,2                                  | 0,005     | 0,007         | 0,01         | 40-148   |
| NaCl               | mg/L  | 59                                   | 0,001     | 0,038         | 0,139        | > 100    |
| NaClO <sub>3</sub> | mg/L  | 1,4                                  | 0,001     | 0,002         | 0,004        | > 100    |
| Toluen             | mg/L  | 7,2                                  | 0,001     | 0,006         | 0,018        | > 100    |

### 3.3.1 AOX

AOX («adsorbable organic halids») er en samlebetegnelse for stoffer som f.eks. dannes når «tremasse» reagerer med klor under kjemiske prosesser. I prosessen kan det også dannes klororganiske stoffer med kjent kjemisk struktur. AOX er en vanlig forekommende komponent i avløpsvann fra treforedlingsindustrien, og den har ikke en kjent fast kjemisk struktur og sammensetning. Mange av stoffene som dannes er giftige, de brytes sakte ned og de kan bioakkumulere (Ribeiro mfl. 2020). Det er begrenset kunnskap om langtids- og kortidseffekter av stoffene. Det ble gjort et enkelt litteratursøk for å kunne finne informasjon om «grenseverdier» for AOX, men litteraturen var av eldre årgang (Craig mfl. 1990), informasjon finnes i andre sektorer og industrier enn treforedling som har også har utslipp av AOX og studiene var ikke tilpasset norske forhold (Sun mfl. 2007; Ranganathan, Jeyapaul, og Sharma 2007; Fang mfl. 2016). For vurdering av toksisitet kan det eventuelt vurderes å utføre toksisitetstester av prosessavløpsvannet.

### 3.3.2 NaCl

Prosessutslippsvannet til Borregaard har en konsentrasjon av NaCl på 59 mg/L. Omregnet til promille tilsvarer dette 0,06 promille (‰). Dette er saltkonsentrasjoner som er langt under det man vanligvis finner i ferskvann, hvor maksimumsgrense for betegnelsen «ferskvann» er satt til 0,5 promille ‰. Utslipet av NaCl fra Borregaard er da ubetydelig med hensyn til vannmiljøet i Glomma.

### 3.3.3 NaClO<sub>3</sub>

Borregaards prosessutslippsvann inneholder klorat (NaClO<sub>3</sub>), som er et oksidasjonsmiddel som benyttes i treforedlingsindustrien til bleking. Konsentrasjonen av klorat i Borregaards prosessutslippsvann er 1,4 mg/L, og ved videre fortyning Glomma er konsentrasjonene ca. 2-4 µg/L. ECHA<sup>7</sup> har vurdert giftigheten til klorat i ferskvann i forbindelse med harmonisering av merking og klassifisering av kjemikalier i EU. Resultater fra flere studier av en rekke ulike ferskvannarter indikerte at akutte toksiske effekter kan oppstå ved konsentrasjoner av NaClO<sub>3</sub> over 74 mg/L. I det samme studiet ble det beregnet at kroniske effekter vil kunne oppstå ved konsentrasjoner høyere enn 10 mg/l. Konsentrasjonen av klorat i prosessavløpsvannet var godt under disse nivåene, og utslippet av klorat anses da å ha liten miljømessig betydning i Glomma.

### 3.3.4 Toluen

Toluen er et løsemiddel som anvendes i Borregaard sin produksjon. Toluen er flyktig og har lavere tetthet enn vann og vil da foreligge som en film på vannoverflaten. Det antas at en betydelig andel av stoffet fordampes under prosessen, og i fra tidligere studier (Laake 1991; Berge 1999) ble det beregnet at minst 20 % av stoffet fordampet i produksjonen hos Borregaard. Toluen brytes relativt raskt ned, og en halveringstid på 30 dager i vannmiljøet benyttes ofte i risikovurderinger. Potensialet

<sup>7</sup> [https://echa.europa.eu/documents/10162/13626/clh\\_rep\\_sodium\\_chlorate\\_en.pdf/c4184cf9-96a7-e363-055c-52b0f8f492c8](https://echa.europa.eu/documents/10162/13626/clh_rep_sodium_chlorate_en.pdf/c4184cf9-96a7-e363-055c-52b0f8f492c8)

for bioakkumulering av toluen anses som lavt (Larsen, Farkas, og Boyd 2016). ECHA<sup>8</sup> beregnet at kroniske toksiske effekter av toluen i ferskvann vil kunne oppstå ved konsentrasjoner over 0,68 mg/l. Akutt giftighet beregnet for invertebrater og fisk var i konsentrasjonsområdet 3,8-5,5 mg/l. Beregnet konsentrasjon på 7,2 mg/l av toluen i prosessavløpsvannet er overestimert (**Tabell 8**), da vi har beregnet at alt innkjøpt toluen (185 t/år) ledes til prosessavløpsvannet. Dersom 20 % av innkjøpt toluen fordampes i prosessen, vil konsentrasjonen i prosessavløpsvannet bli 5,7 mg/l. Konsentrasjonen av toluen i prosessavløpsvannet, før utslipp til Glomma kan være akutt giftig, men i utslippspunkt 23b hvor toluen slippes ut, vil innblanding med Glommavann og fortykning skje raskt, og kun ca. 10x fortykning er nødvendig for at prosessavløpsvannet vil ha konsentrasjoner som er under 0,68 mg/l. Beregnede konsentrasjoner etter innblanding i Glomma vil være fra 0,006 til 0,018 mg/l, som er langt lavere enn 0,68 mg/l hvor kroniske toksiske effekter kan oppstå.

### 3.4 Miljøpåvirkning av de biologiske kvalitetselementene

Det er brukt tre ulike biologiske kvalitetselementer i overvåkingen på den berørte strekningen av Glomma: bunndyr (ASPT-indeks), begroingsalger (PIT-indeks) og heterotrof begroing (HBI- og HBI2-indeks). Nedenfor drøftes Borregaards prosessavløpsvannutslipp med hensyn til disse tre biologiske kvalitetselementene.

#### 3.4.1 Bunndyr

Overvåking av bunndyrfaunaen har vært gjennomført en rekke ganger siden 2009 etter standard prosedyre, og dataene er brukt til beregning av ASPT-indeksen, som reflekterer omfanget av utslipp som reduserer oksygenkonsentrasjonen i vannet. Direkte effekter er knyttet til utslipp av organisk stoff, som via bakteriell respirasjon reduserer oksygenkonsentrasjonen. Indirekte effekter kan være assosiert med utslipp av næringssalter som fosfor, som virker drivende for algeveksten som i sin tur bidrar til reduserte oksygennivåer når det skal brytes ned.

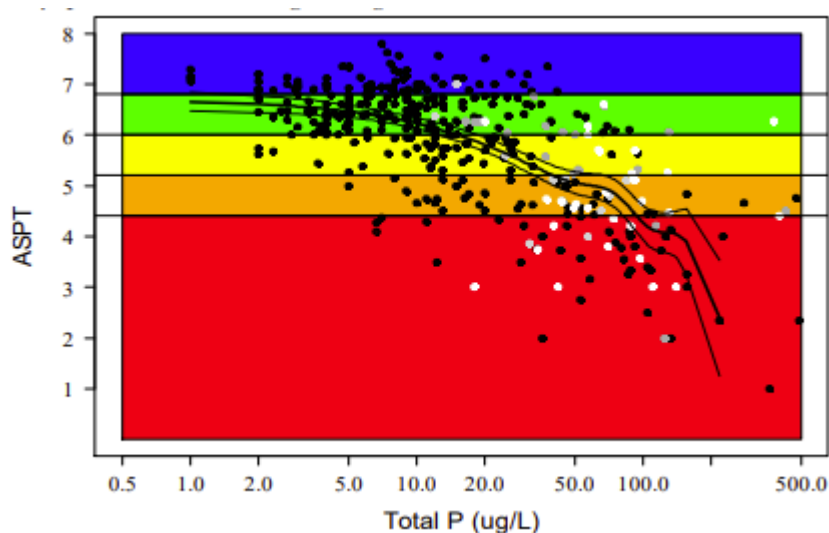
Siden denne rapporten ser etter mulige dose-respons-sammenhenger, kan det være interessant å skissere hva man har av kunnskap om dette med hensyn til ASPT. Eriksen, mfl. (2015) sammenstilte data for ASPT versus total P ( $\mu\text{g/L}$ ) for et større antall norske elver, som ga en grov dose-respons-sammenheng. Grunnen til at ikke organisk stoff (for eksempel KOF eller BOF) ble brukt, er at datamengden for disse parameterne er begrenset. 12  $\mu\text{g}$  tot P ble identifisert som en omtrentlig terskelverdi for når ASPT-indeksen krysser grensen god/moderat (dvs. miljømålet i vannforskriften, **Figur 5**). Det er imidlertid viktig å ha klart for seg at forholdet mellom ASPT og tot P kun er «indirekte», og at det ikke er et lineært forhold mellom fosforkonsentrasjon og bunndyrfaunaens artssammensetning (slik også plottet viser) – om så var, hadde man ikke behøvd biologiske kvalitetselementer. Flere forurensningsvariabler kan virke sammen, og temporale forskjeller i utslippskonsentrasjoner fra måling til måling vil fanges opp i biologiske responser. Det gjelder spesielt for mulige dose-respons-sammenheng mellom ASPT og tot P, fordi tot P kun indirekte bidrar til reduserte oksygenkonsentrasjoner i vannet (ved å fremme økt algevekst, som krever oksygen ved nedbrytning). Samtidig er ASPT-indeksen basert på en lang rekke arter (nærvær/fravær) fra forskjellige funksjonelle dyregrupper, som har til dels helt ulik økologi.

Lettomsettelig løst organisk stoff ville ganske sikkert gitt en mer robust dose-respons-relasjon overfor ASPT, fordi nedbrytning av organisk stoff direkte reduserer oksygenkonsentrasjonen. Å lage en dose-respons-kurve for en slik relasjon forutsetter imidlertid mer data enn man i dag har tilgang til. Konklusjonen er at en dose-respons-sammenheng med relevans for Borregaards utslipp i nedre Glomma ikke kan påvises.

---

<sup>8</sup> <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/15538/6/1>





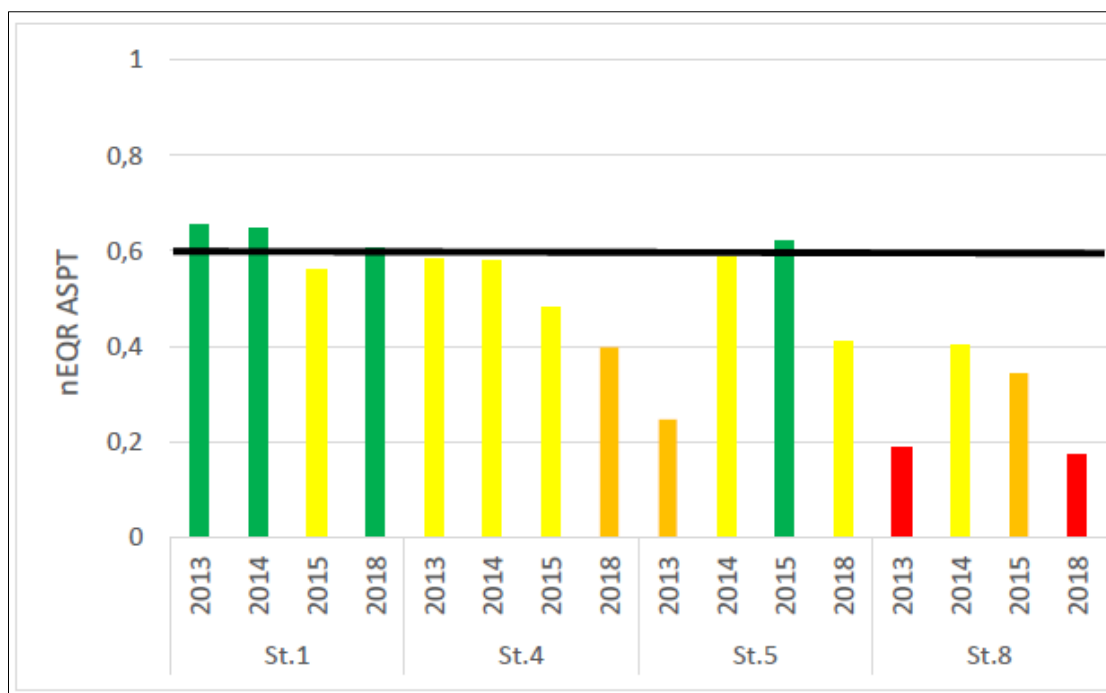
**Figur 5.** Dose-respons-kurve for ASPT av bunndyr ved økende konsentrasjon av totalt P. Kurven gir en omtrentlig terskelverdi omkring 12 µg tot P (fra Eriksen, mfl. 2015).

Overvåkingsprogrammene til Lindholm mfl. (2016) og Kile mfl. (2019) som ligger til grunn for vurderingen av de biologiske kvalitetselementene, har benyttet seg av overvåkingsstasjoner i Glomma som vist i **Figur 6**.



**Figur 6.** Overvåkingsstasjoner i Glomma for de biologiske kvalitetselementene.

I NIVAs overvåkingsrapport for Borregaard fra 2018 Kile mfl. (2019) er det gitt en oversikt over ASPT for årene 2013, 2014, 2015 og 2018 (**Figur 7**). For St 1 (oppstrøms Sarpsfossen) har indeksen vist god tilstand i tre av fire år, og moderat (men nær grensen til god) det fjerde året. På de to stasjonene utenfor Borregaards utslipp blir verdiene klart lavere. Særlig dårlig tilstand etter ASPT viste stasjon 8, men det er noe økt usikkerhet knyttet til denne stasjonen, som er stilleflytende og ikke helt i tråd med klassifiseringsveilederens anbefalinger.



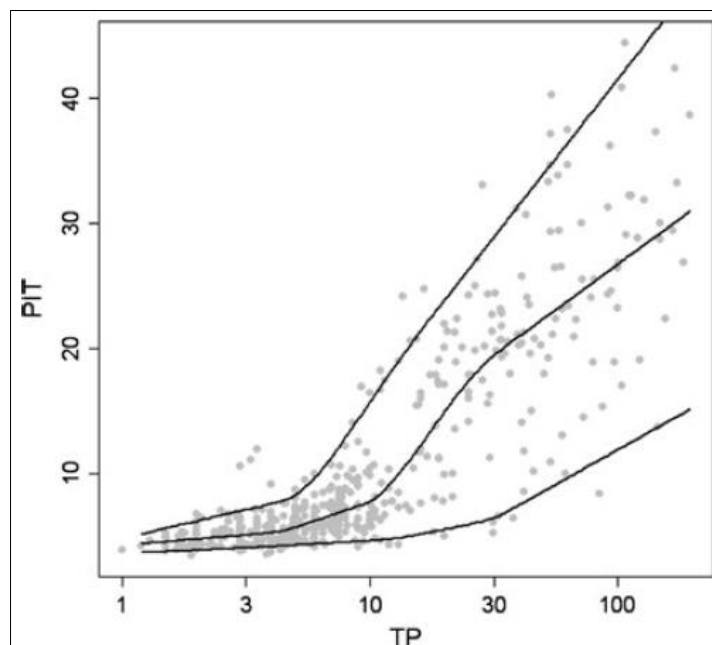
**Figur 7.** ASPT for fire stasjoner i nedre Glomma, for årene 2013, 2014, 2015 og 2018 (Kile mfl. (2019)).

De fallende ASPT-verdiene utenfor Borregaard må som argumentert ovenfor sannsynligvis knyttes til utslippene av lettomsattelig løst organisk stoff, heller enn til tot P. Organisk stoff vil direkte påvirke oksygennivåene i vannet, og i mer ekstreme tilfeller (som i nedre Glomma) fremme omfattende bakteriell begroing og matter av lammehaler på bunnen. Det finnes enkeltmålinger av oksygenkonsentrasjoner fra elvevannet, for eksempel i Lindholm mfl. (2016). Ved en vanntemperatur på 6° C var oksygenkonsentrasjonen 11 mg/L på dagtid, som riktignok tilsier oksygenmetning og ikke tilsier at utslippene fører til reduserte oksygennivåer. Observasjoner fra andre land har imidlertid vist at oksygenkonsentrasjoner svinger gjennom døgnet, og at den kan bli signifikant lavere om natten i vassdrag med forhøyet bakteriell respirasjon, i alle fall i vassdrag med høyere vanntemperaturer (Tor Erik Eriksen, NIVA pers. med.). De fallende ASPT-verdiene forbi utslippssonene med tilgang til lettomsattelig løst organisk stoff i Glomma ved Borregaard ville være konsistent med dette. Bunndyrfaunaen lever i vannsjiktet langs den siste centimeteren av vannet over bunnsstratet, og i dette laget kan oksygennivåene avvike fra øvre deler av vannsøylen, selv om det er vanskelig å måle. Redusert ASPT må også sees i sammenheng med de til dels tykke lagene av heterotrof begroing på bunnen. Bunndyr er avhengige av å kunne søke tilflukt mellom stein og grus under flomepisoder, for ikke å bli skylt nedover og ut av elva. Lindholm mfl. (2016) målte oksygenkonsentrasjoner i bunnsstratet ulike steder på grusørene, og disse viste betydelig reduserte nivåer (punktelt ned mot 1 mg O<sub>2</sub>/l). Årsaken er etter alt å dømme at lammehalene hindrer elvevannet i å strømme inn i løsmassene på bunnen slik det normalt skal. I NIVAs siste overvåkingsrapport for Borregaard (Kile mfl. 2019) bemerkes det også at bunndyr som normalt lever i bunnsstratet (børstemark og larver av fjærmygg) var ujevnt og til dels lite å finne i prøvene. Observasjonen ble forklart med redusert oksygen i bunnsstratet.

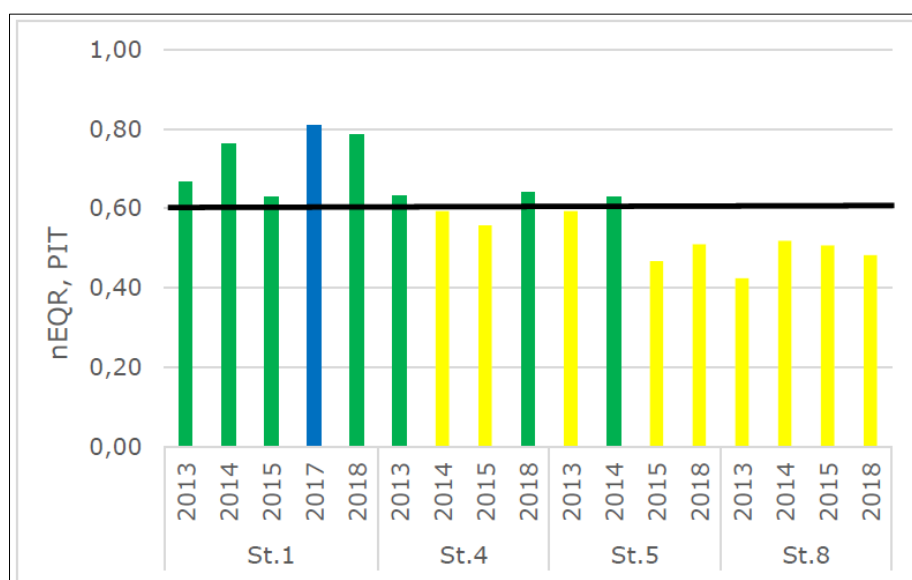
### 3.4.2 Begroingsalger

Vannforskriften anbefaler videre bruk av en eutrofieringsindeks, PIT, for begroingsalger i elver påvirket av utslipp av næringsalter, og da primært fosfor. Indeksen baserer seg på kartlegging av arter, som gis en tallverdi i tråd med graden av følsomhet for eutrofiering. Basert på dette kan vannforekomstens økologiske tilstandsklasse fastsettes. Klassifiseringen vil være noe forskjellig på grunn av vannstype (for klassifisering av PIT er Ca-konsentrasjon bestemmende), men av Klassifiseringsveilederens (Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanndirektivet 2018) fremgår det

at miljømålet i de fleste elver vil ligge ved PIT-verdier fra 14 til 16. For vanntypen i nedre Glomma er grenseverdien 16. En dose-respons-kurve for tot P versus PIT (**Figur 8**) viser at denne verdien tilsvarer ca. 12  $\mu\text{g}$  tot P/L. Ikke alle år har data for tot P fra den aktuelle strekningen av Glomma, men Lindholm (mfl. 2016) presenterer data analysert månedlig fra tre stasjoner (Stasjon 1, Stasjon 4b og Stasjon 6). Om våren lå nivåene > 20  $\mu\text{g}$  tot P/L, men gjennom sommeren holdt de seg stort sett > 10  $\mu\text{g}$ /L.



**Figur 8.** Dose-respons-kurve av totalt fosfor (TP) for PIT-indeksen, med median, 95 og 5 persentil (fra Schneider og Lindstrøm 2011).



**Figur 9.** Resultater for PIT-indeksen fra fire stasjoner i nedre Glomma, for årene 2013, 2014, 2015, 2017 og 2018. Økologisk tilstand faller fra 'god' på referansestasjonen oppstrøms Sarpsfossen (St.1) til moderat på de to nedre stasjonene (fra Kile m.fl. 2019).

Kile mfl. (2019) satte sammen data for PIT-indeksen fra 5 år med overvåking (2013, 2014, 2015, 2017 og 2018; **Figur 9**). Indeksen faller fra "god" tilstand på referansestasjonen oppstrøms Sarpsfossen (Stasjon 1), til "moderat" utenfor og nedstrøms Borregaards utslipp. I rapporten settes endringen

igjen i sammenheng med utslippene av organisk stoff. Produksjonen av betydelig bakteriell biomasse som heterotrof begroing og lammehaler vil, når det brytes ned, levere tilstrekkelig med næringsalter til at også begroingsalge-samfunnet endrer seg mot mer eutrofierte arter.

### 3.4.3 Heterotrof begroing

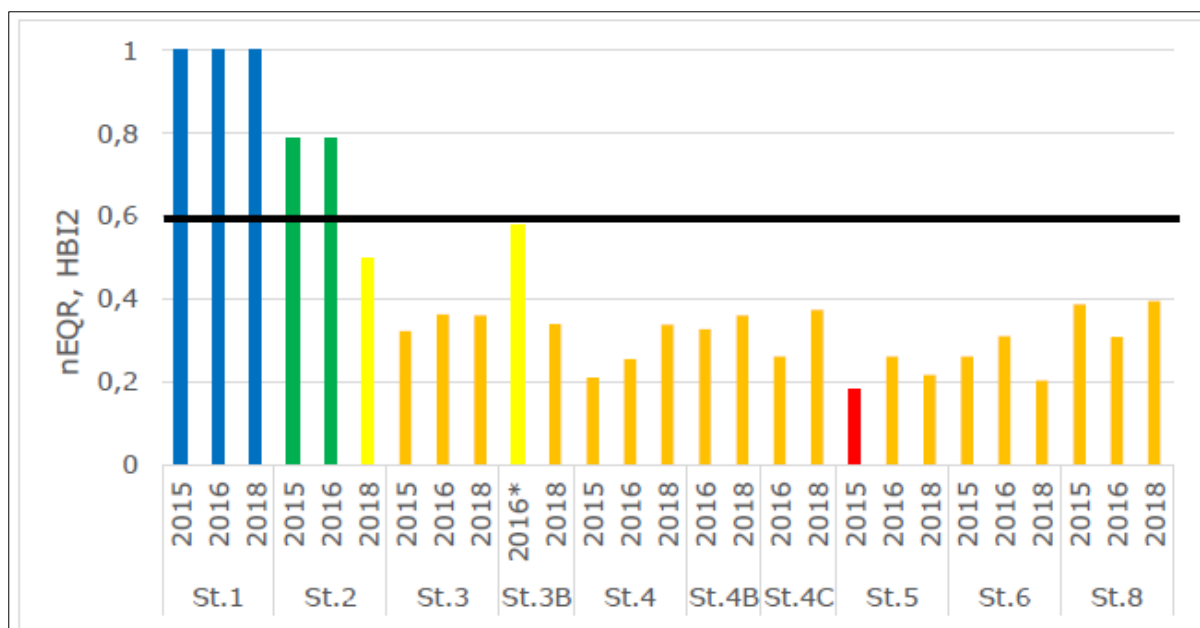
HBI2 indeksen tar utgangspunkt i forekomst av heterotrof begroing i vannet, knyttet til bakteriekolonier og sopp (soppen *Leptomitulactus* og/eller bakterien *Sphaerotilus natans*), som er vanlige i vann som mottar lettomsattelig løst organisk stoff. Indeksen er kvalitativ, med fire nivåer, fra mikroskopisk forekomst, tynt belegg, middels tykt belegg og tykt (5 cm) begroings-lag, som i kombinasjon med dekningsgrad legges til grunn for indeksverdier og klassifisering av økologisk tilstand.

HBI2 er utvilsomt den indeksen som har størst relevans i det aktuelle området, både fordi Borregaard står for betydelige utslipp av lettomsattelig løst organisk stoff, og fordi det i perioder av året er omfattende heterotrof begroing i den berørte delen av elva. Mangelen på data gjør imidlertid at det ikke finnes noen dose-respons-kurve for forholdet mellom konsentrasjon av lettomsattelig løst organisk stoff i vannmassene og mengden av heterotrof begroing, sagt annerledes finnes det ikke nok data til å kunne forutsi hvor mye heterotrof begroing en gitt konsentrasjon av KOF eller BOF vil føre til.

NIVA har innhentet prøver fra heterotrof begroing i 2015, 2016 og 2018, og (med enkelte unntak) fra alle de 10 prøvetakingsstasjonene som har vært etablert de senere år, og resultatene ble stilt sammen av Kile mfl. (2019), se også **Figur 10**). Mens økologisk tilstand på referansestasjonen oppstrøms Sarpsfossen (St. 1) var svært god, falt den raskt til moderat og dårlig etter hvert som vannmassene kommer inn ved Borregaards utslippspunkter. Kile mfl. (2019) bemerker imidlertid at heterotrof begroing og redusert miljøtilstand allerede begynner på St. 2 og 3, noe som stemmer med utslipp fra Borregaard i denne delen av Glomma. Likevel er det først nedstrøms Borregaards utslippspunkt (mellom St. 3b og St. 4) at indeksverdiene stabiliserer seg på "dårlig". Den dårlige tilstanden holder seg helt ned til St. 8. Imidlertid viste Kile m.fl. (ibid) til kartlegging av heterotrof begroing på stasjoner enda lenger nedstrøms, der tilstanden etter 2015 har bedret seg fra "dårlig" til "moderat" på to stasjoner, og de noterer at endringen i tid faller sammen med en reduksjon av Borregaards utslipp av KOF (8%) og BOF (13%).

Overvåking ved Unger fabrikker, nedstrøms Borregaard, ca. 6 km i luftlinje fra Visterflos utløp til Glomma benyttes HBI2-indeksen til overvåking av heterotrof begroing. I 2018 ble det ikke påvist makroskopiske forekomster av heterotrof i dette området, kun mikroskopiske forekomster (Torgersen og Værøy 2019). Dette indikerer at de lettomsattelige løste organiske stoffene fra Borregaard er brutt ned av biota i Glomma før vannmassene når Unger fabrikker.

Andre mekanismer kan se ut til å gjøre det vanskelig å gi noen stabil dose-respons-sammenheng. Lindholm mfl. (2016) tok ett transekt av BOF<sub>7</sub> fra vannsøyla ved alle 10 stasjoner, men det ble kun påvist en svak økning på den aktuelle strekningen. De fant også at KOF-verdiene ikke var målbart høyere nedstrøms utslippssonen enn på referansestasjonen (St. 1). I en elv som Glomma er fortynningsraten åpenbart for stor til at utslippene kan detekteres sikkert ved kjemisk analyse, selv om altså biota viser signifikante reaksjoner. Den forslagsvise forklaringen på de massive forekomstene av heterotrof begroing tross lave konsentrasjoner av BOF og KOF i vannmassene, er at lammehaler og bakteriekoloniene formår å absorbere ut mer organisk stoff også ved lave konsentrasjoner så lenge det stadig stryker forbi nye vannmasser langs bunnen.



Figur 10. Økologisk tilstand for 10 stasjoner i nedre Glomma ifølge HBI2-indeksen (fra Kile m.fl. 2019)

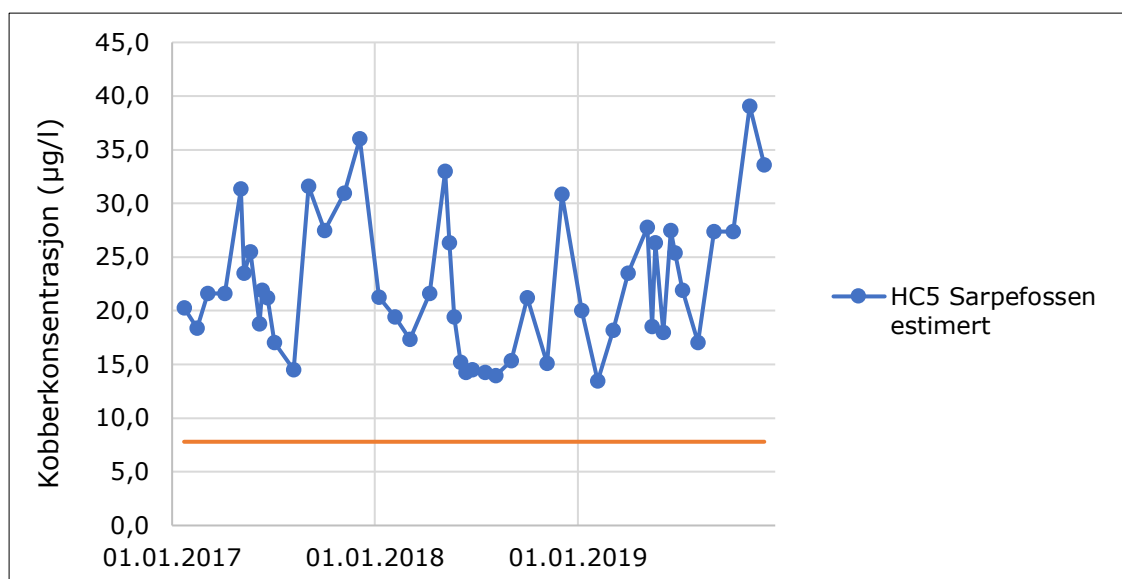
### 3.5 Beregnet biotilgjengelig kobber

Beregningen av biotilgjengelig konsentrasjon av kobber ble som nevnt i kapittel 2.2, er basert på målinger av pH, kalsiumkonsentrasjon og DOC-konsentrasjon. Variasjonen for disse parameterne er relativt lav nederst i et så stort vassdrag som Glomma (**Tabell 9**).

**Tabell 9.** Kvantiler registrert i overvåkingen av pH, kalsium og løst organisk karbon (DOC) i Glomma ved Sarpsfossen i perioden 2017-2019 (Sarpsfossen (Kaste mfl. 2018; Gundersen mfl. 2019; Braaten mfl. 2020, ikke publisert)

| Parameter | 10nde | 25te | Median | 75te | 90nde |
|-----------|-------|------|--------|------|-------|
| pH        | 7,01  | 7,11 | 7,23   | 7,34 | 7,44  |
| Ca-mg/l   | 4,6   | 5,2  | 5,5    | 5,8  | 6,1   |
| DOC-mg/l  | 2,5   | 3,0  | 3,7    | 4,8  | 5,5   |

Estimert konsentrasjon av kobber som vil være tilstrekkelig lav til å beskytte 95 % av artene i en vannkjemi som Glomma ved Sarpsfossen varierte mellom 13,5 og 39,1  $\mu\text{g/l}$  ut fra variasjonen i vannkjemi mellom de 48 prøvene (**Figur 11**). Gjennomsnittlig verdi var 22,5  $\mu\text{g/l}$ . Det betyr at biotilgjengeligheten til kobber i en vannkjemi som Glomma ved Sarpsfossen er ca. tre ganger lavere enn ved vannkjemien som EQS-verdien på 7,8  $\mu\text{g/l}$  er basert på.



**Figur 11.** Estimerte konsentrasjoner av kobber som er tilstrekkelig lave til å beskytte 95 % av artene gitt en vannkjemi som i Glomma ved Sarpsfossen. Den oransje linjen indikerer EQS (både AA-EQS og MAC-EQS) i vannforskriften.

## 4 Oppsummering og konklusjon

Borregaards prosessavløpsvann blir sluppet ut i Glomma gjennom flere utslippspunkt. Ett er plassert rett ovenfor Sarpsfossen, mens de største utslippene kommer ut på strekningen fra fossen og 1 300-1 400 m nedstrøms. Et mindre utslippspunkt er plassert i Sandesund rett oppstrøms for E6-broa (Melløs kai). Prosessavløpsvannet vil innblandes og fortynnes med vannmassene i Glomma, og den maksimale fortyninga som kan oppnås er begrenset av vannføringen i Glomma. Ved forhøyninger i bunntopografi og svinger i elva vil innblandingen være høyere enn i områder med en rett og flatbunnet elv. Flyfoto viser at strekningen under Sarpsfossen har flere grunne partier hvor strømmen blir turbulent, med det resultat at avløpsvannet effektivt blandes inn i Glommavannet. Kun et av utslippspunktene (Sandesund) føres ut i en del av elva hvor strømmen er mer laminær, og hvor innblandingen derfor er mindre effektiv. Fortyning av Borregaards prosessavløpsvann ble derfor beregnet med to ulike metoder: basert på vannføringen i Glomma, i området «Opsund renseri» til «Miljøfabrikken», mens fortyningen fra utslippspunktet «Spraytørka» ble beregnet med modellen Visual Plumes.

Glomma er en stor elv med høy vannføring, som kan variere fra 3 580 m<sup>3</sup>/s til 150 m<sup>3</sup>/s, men i 80 % av tiden så er vannføringen i Glomma mellom 350 og 1 297 m<sup>3</sup>/s, med medianverdi på 548 m<sup>3</sup>/s. Beregninger av fortyning av Borregaard sine utslippspunkter av prosessavløpsvann fra «Opsund renseri» til «Miljøfabrikken» ga en fortyning mellom 427 og 1582 i 80 % av tiden.

Ved utslippspunkt «Spraytørka», lengst nedstrøms er Glomma relativt bred og dyp. Dette utslippet vil da ikke blandes inn i Glommavannet like effektivt som de andre utslippspunktene. Beregninger viser at fortyningen av dette utslippet vil være omtrent 50 ganger ca. 100 m nedover elva, og omtrent 220 ganger ca. 1000 m nedover elva.

Konsentrasjonene av Borregaards regulerte utslippskomponenter i Glomma ble beregnet med to ulike fortyninger, høy (1582) og lav (427) i området «Opsund renseri» til «Miljøfabrikken», hvor Borregaard har sine største utslippspunkter.

Resultater viste at konsentrasjoner av Hg og As i Borregaards utslippspunkt var lavere enn grenseverdier (AA-EQS) gitt i vannforskriften, og ingen toksiske effekter av prosessavløpsvannet vil da forventes. For Ni, Pb og Cd er konsentrasjonene i prosessavløpsvannet under MAC-EQS, men høyere enn AA-EQS. Konsentrasjonene i ufortynnet prosessavløpsvann før fortynning i Glomma vil i teorien kunne gi kroniske toksiske effekter på vannlevende organismer, men ved både høy og lav fortynning av prosessavløpsvannet vil konsentrasjonene i Glomma være langt under AA-EQS og tilnærmet lik bakgrunnskonsentrasjoner i Glomma. For stoffene Cr, Cu og Zn er det ikke utarbeidet MAC-EQS i vannforskriften, og konsentrasjonene i prosessavløpsvannet var høyere enn AA-EQS. Etter fortynning, både høy og lav, var konsentrasjonene godt under AA-EQS. Av metallene er Borregaards utslipp av Cu størst (kg/år), og 26x fortynning av prosessavløpsvannet er nødvendig for at konsentrasjonene skal bli under AA-EQS. For Zn og Cr, må prosessavløpsvannet fortynnes henholdsvis 5x og 1,6x før konsentrasjoner blir under AA-EQS. Slike lave fortynninger oppnås ofte i primærfortynningen (rett utenfor utslippspunktet). Fra utslippspunkt «Spraytørka», som har en betydelig lavere innblanding og fortynning enn utslippspunkter oppstrøms, ble en fortynning på ca. 25x oppnådd 50 m fra utslippspunktet.

I utslippspunkt «Spraytørka», som er ett av de mindre prosessavløpspunktene til Borregaard, vil konsentrasjonene av Ni, Pb, As, Cr, Cu og Zn være under AA-EQS ca. 50 m fra utslippspunktet. For Cd må prosessavløpsvannet fortynnes ca. 60x før konsentrasjonene blir lik AA-EQS. Dette tilsvarer om lag 150 m ut fra utslippspunktet til Glomma. Konsentrasjoner lik MAC-EQS blir oppnådd rett ved utslippspunktet ved ca. 10x fortynning.

Med unntak av Cu og Cd, ble metallene i prosessavløpsvannet fortynnet til konsentrasjoner godt under AA-EQS rett utenfor utslippspunktene i Glomma. Målinger av metaller oppstrøms og nedstrøms Borregaards utslippspunkter har vist at konsentrasjonene av alle metallene er godt under AA-EQS (Lindholm mfl. 2016; Kile mfl. 2019), og påslag i bakgrunnskonsentrasjonene i Glomma fra Borregaards utslipp, selv Cu, har ikke vært målbart.

Da Borregaards utslipp av Cu er av de største, ble det gjort en beregning av biotilgjengeligheten til Cu i Glomma. Fortynningsberegninger av prosessavløpsvannet indikerer at kobberkonsentrasjonen i Glomma vil være lavere enn EQS etter full innblanding, uansett vannføring. I nærhet til utslippspunkt må det imidlertid påregnes at kobber kan ha en negativ effekt på følsomme arter. En konsentrasjon på 176 µg/l i prosessvannet fra utslippspunktene 33, 28/29, 23b og 14a/b, tilsier at utslippet må fortynnes ca. 25 ganger for å komme under EQS på 7,8 µg/l. Et estimat av biotilgjengeligheten til kobber i Glomma tilsier at en konsentrasjon på 22,5 µg/l fortsatt ville være lav nok til å beskytte de fleste artene, noe som tilsvarer at prosessutslippsvannet fortynnes 8 ganger. Fortynning på 8-25x forventes under 50 meter fra utslippspunktene.

For Borregaards regulerte utslippskomponenter, NaCl, NaClO<sub>3</sub>, toluen og AOX hvor det ikke er utarbeidet grenseverdier i henhold til vannforskriften, ble det innhentet toksisitetsdata og annen informasjon fra litteratur og databaser.

Mange av AOX-stoffene har en rekke uheldige egenskaper; de er giftige, lite nedbrytbare og de kan bioakkumulere. For AOX ble det søkt i litteratur etter toksisitetsdata, og relevant informasjon ble ikke funnet. Litteratur som ble funnet var enten foreldet eller mindre egnet i forhold til Borregaards produksjon. Miljøeffekter av AOX i Glomma kan da ikke vurderes.

Borregaards utslipp av NaCl var lavt, tilsvarende 0,06 promille (‰), og langt under definisjonen av maksimumsgrense for det man definere som «ferskvann» (0,5 promille (‰)). Utslipet av NaCl fra Borregaard anses da å være ubetydelig med hensyn til vannmiljøet i Glomma.

Konsentrasjonen av klorat i prosessavløpsvannet var godt under nivåer for oppgitte konsentrasjoner hvor man kan forvente kroniske og toksiske effekter på vannlevende organismer. Utslipet av klorat anses da å ha liten miljømessig betydning i Glomma.

Borregaard benytter toluen til ekstraksjon, stoffet er flyktig og har lavere tetthet enn vann, slik at det vil ligge som en film på vannoverflaten. En betydelig og ukjent andel av toluen fordampes under produksjonen. Konsentrasjoner som ble beregnet i prosessavløpsvannet var da overestimerte. Beregnede konsentrasjoner av toluen i prosessavløpsvannet vil være akutt toksisk for vannlevende organismer, selv etter et estimat på at 20 % av stoffet fordampes. Utslipet av toluen i Glomma fra utslippspunkt 23b har god og rask innblanding i Glomma, og kun 10x fortykning av prosessavløpsvannet er nødvendig for at konsentrasjonene blir under nivåer hvor toksiske effekter kan oppstå. Det antas at Borregaards utslipp av toluen har marginal betydning på vannmiljøet i Glomma.

De biologiske kvalitetselementer bunndyr (ASPT-indeks), begroingsalger (PIT-indeks) og heterotrof begroing (HBI- og HBI2-indeks) fanger opp gjennom året belastninger fra Borregaards utslipp av næringsalter og såkalte lettomsattelig løst organisk materiale, målt som BOF og KOF. Utslippene av tot P i en så vidt stor elv er ikke store nok til å kunne forklare de betydelige svekkede tilstandsverdiene for biologiske indikatorer. Borregaard har også utslipp av tot N, men nitrogen skal, i henhold til Klassifiseringsveilederen, ikke brukes i vurdering av eutrofiering med mindre det er sannsynliggjort at fosfor ikke er begrensende næringsstoff. Det er en økologisk sjelden situasjon, og gjelder uansett ikke i Glomma. I overvåkingsstasjonen oppstrøms Borregaard (St.1) er den økologiske tilstanden for disse kvalitetselementene i hovedsak «Svært god» eller «God». Rett nedstrøms Sarpsfossen forverres tilstanden, og miljømålet om god økologisk tilstand i henhold til vannforskriften oppnås ikke for de biologiske kvalitetselementene.

Hovedårsaken til at de biologiske kvalitetselementene ikke oppnår miljømålet om «God» økologisk tilstand, er forårsaket av utslipp av lettomsattelig organisk materiale, som via bakteriell respirasjon reduserer oksygenkonsentrasjonen i vannet og sedimentene. Det er ikke utviklet en dose-respons kurve for lettomsattelig løst organisk materiale i form av KOF og BOF og de biologiske kvalitetselementene som respondere på disse parameterne, da datamengden for disse parameterne mangler.

De fallende ASPT-verdiene utenfor Borregaard må sannsynligvis knyttes til utslippene av lettomsattelig løst organisk stoff, som fremmer omfattende begroing av lammehaler som tildekker bunnssubstratet og reduserer oksygenivåene i vannet og sedimentene. Lindholm mfl. (2016) målte oksygenkonsentrasjoner i bunnssubstratet ulike steder utenfor Borregaard, og disse viste betydelig reduserte nivåer (punktelt ned mot 1 mg O<sub>2</sub>/l). Årsaken er antagelig forårsaket av at lammehalene hindrer oksygenrikt ellevannet i å strømme inn i løsmassene og tilføre frisk oksygen. Den siste overvåkingen utenfor Borregaard (Kile mfl. 2019) ble det også bemerket at bunndyr som normalt lever i bunnssubstratet (børstemark og larver av fjærmygg) var i ujevnt antall og til dels få.

Eutrofieringsindeks, PIT, for begroingsalger i elver påvirket primært fosfor, faller fra "God" tilstand oppstrøms Sarpsfossen, til "Moderat" utenfor Borregaard. Hovedårsak til at tilstanden forverres utenfor Borregaard antas å skyldes framveksten av lammehaler som under nedbrytning vil tilføre næringsalter slik samfunnet av begroingsalger favoriserer framvekst av eutrofierte arter.

Av de tre biologiske kvalitetselementene anvendt i overvåkingen utenfor Borregaard har trolig HBI2 mest relevans, da den umiddelbart speiler Borregaards utslipp av lettomsattelig løst organisk materiale, ved framveksten av lammehaler, som dirket og indirekte påvirker ASPT og PIT. Likevel er det ikke i dag, av mangel på KOF og BOF-målinger ikke mulig å angi noen entydig dose-responssammenheng for framveksten av lammehaler. Økologisk tilstand med HBI2 som indeks holder seg betydelig under miljømålet på alle stasjoner som har vært benyttet i overvåkingen på den aktuelle strekningen. Det noteres imidlertid at HBI2 viser bedre økologisk tilstand på strekningen ned mot Visterflo. Det tilsier at elvas selvrensingsevne gjør at det blir stadig mindre KOF og BOF i vannmassene i dette området.

Konklusjonen er altså at det er bedriftens utslipp av KOF og BOF som for øyeblikket pekes ut som årsak til redusert økologisk tilstand i elva på den aktuelle strekningen.



## 5 Referanser

- Berge, J.A. 1999. «Miljøvurdering av et uhellsutslipp av toluen til Glomma ved Sarpsborg». NIVA rapport-3982, 9s.
- Braaten, H.F.V., C.B. Gundersen, Ø. Kaste, J. Sample, D.Ø. Hjermann, M.D. Norling, J.LG. Calidonio, I. Allan, og L. Nizzetto. 2020. «The Norwegian river monitoring programme 2019 – water quality status and trends». Miljødirektoratet M-1817, s. 87.
- Bækken, T, M.R. Kile, E. Lund, og A. Rustadbakken. 2015. «Tiltaksrettet overvåking i Glomma 2014 – Utslipp fra Borregaard». NIVA-rapport 6766-2015, 50 s.
- Craig, G.R., P.L. Orr, J.L. Robertson, og W.M. Vrooman. 1990. «Toxicity and bioaccumulation of AOX and EOX». *Pulp and Paper Canada -Ontario-*. 91. 9-14.
- Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanndirektivet. 2018. «Veileder 02:2018. Klassifi sering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.»
- Direktoratsgruppen for vanndirektivet. 2018. «Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.»
- Eriksen, T.E, M. Lindholm, M.R. Kile, A.L. Solheim, og N. Friberg. 2015. «Vurdering av kunnskapsgrunnlag for vurdering av leirpåvirkede elver». NIVA rapport-7354.
- Fang, Changling, Dongxue Xiao, Wenqian Liu, Xiaoyi Lou, Jun Zhou, Zhaohui Wang, og Jianshe Liu. 2016. «Enhanced AOX Accumulation and Aquatic Toxicity during 2,4,6-Trichlorophenol Degradation in a Co(II)/Peroxymonosulfate/Cl<sup>-</sup> System». *Chemosphere* 144 (februar): 2415–20. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.030>.
- Gundersen, C., Ø. Kaste, J. Sample, H.F.V. Braaten, J.R. Selvik, D.Ø. Hjermann, M.D. Norling, og J.LG. Calidonio. 2019. «The Norwegian river monitoring programme – water quality status and trends in 2018». Miljødirektoratet M-1508- 2019, 94 s.
- Kaste, Ø., E. Skarbøvik, I. Greipstad, C. Gundersen, K. Austnes, L.B. Skancke, J.LG. Calidonio, og J. Sample. 2018. «The Norwegian river monitoring programme – water quality status and trends 2017». Miljødirektoratet M-1168, s. 101.
- Kile, M.R., J.L Kemp, E.K. Andersen, E. Lund, S. B. Ranneklev, og J. Thaulow. 2019. «Tiltaksrettet overvåking av Glomma ved Borregaard 2018». NIVA-rapport 7340-2019, 48 s.
- Larsen, P.O., B. Farkas, og H.B. Boyd. 2016. *Toluene*. Miljøstyrelsen.
- Lindholm, M., M. R. Kile, E. Lund, J. Thaulow, og M.H. Myren. 2016. «Tiltaksrettet overvåking av Glomma ved Borregaard 2016». NIBIO-Rapport 7100-2016, 50 s.
- Laake, M. 1991. «Utslipp av toluen og kopper fra vanillin-produksjon til Glomma». NIVA rapport-2652, 14 s.
- Peters, Adam, Charlotte Nys, Graham Merrington, Frederik Verdonck, Stijn Baken, Christopher A. Cooper, Frank Van Assche, Christian Schlekot, og Emily Garman. 2020. «Demonstrating the Reliability of Bio-met for Determining Compliance with Environmental Quality Standards for Metals in Europe». *Environmental Toxicology and Chemistry* 39 (12): 2361–77. <https://doi.org/10.1002/etc.4883>.
- Ranganathan, K., S. Jeyapaul, og D. C. Sharma. 2007. «Assessment of Water Pollution in Different Bleaching Based Paper Manufacturing and Textile Dyeing Industries in India». *Environmental Monitoring and Assessment* 134 (1–3): 363–72. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9628-z>.
- Ranneklev, S. B., M. R. Kile, T. Bækken, og E. Lund. 2013. «Tiltaksrettet overvåking i Glomma – Utslipp fra Borregaard». NIVA-rapport 6579-2013, 35 s.
- Ranneklev, S. B., J. Molvær, E. Lund, H. Edvardsen, M.R. Kile, T.E. Eriksen, og A. Rustadbakken. 2012. «Undersøkel sesprogram for vurdering av nytt utslippspunkt og innblandingssone for avløpsvann til Glomma fra Borregaard Foto: Espen». NIVA-rapport 6437-2012.
- Ranneklev, S.B., S. Haande, M. Walday, og M. Grung. 2018. «Eksempelsamling for tiltaksorientert overvåking». Miljødirektoratet M-997, s. 84.

- Ribeiro, J.P., C.C. Marques, I. Portugal, og M.I. Nunes. 2020. «AOX Removal from Pulp and Paper Wastewater by Fenton and Photo-Fenton Processes: A Real Case-Study». *Energy Reports* 6 (februar): 770–75. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.068>.
- Rustadbakken, A., T. Bækken, M.R. Kile, og T. Haugen. 2011. «Økologisk tilstand i Glomma nedenfor Sarpsfossen 2009-2010 - undersøkelser i forbindelse med Borregaards utslipp av organisk materiale». NIVA-rapport 6099-2010, 30 s.
- Schneider, Susanne C., og Eli-Anne Lindstrøm. 2011. «The Periphyton Index of Trophic Status PIT: A New Eutrophication Metric Based on Non-Diatomaceous Benthic Algae in Nordic Rivers». *Hydrobiologia* 665 (1): 143–55. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0614-7>.
- Staalstrøm, A. 2020. «Modellering av miljøtilstand i indre Oslofjord sett i lys av utslippstillatelser og befolkningsutvikling». NIVA-rapport 7493-2020, 118 s.
- Sun, Ying-xue, Feng Zhang, Ke-li Wang, og Ping Gu. 2007. «[Adsorbable organic halogen compounds and bio-toxicity in hospital wastewater treatment]». *Huan Jing Ke Xue= Huanjing Kexue* 28 (10): 2219–22.
- Torgersen, P., og N. Værøy. 2019. «OVERVÅKNING I 2018 FOR UNGER FABRIKKER AS». COWI-rapport AO94347, 17 s.

## 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 samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)