

Vurderinger av miljøkonsekvenser av utslipp til Glomma fra landbasert produksjonsanlegg for laks



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Vurderinger av miljøkonsekvenser av utslipp til Glomma fra landbasert produksjonsanlegg for laks	Løpenr. (for bestilling) 6861-2015	Dato 12.5.2015
	Prosjektnr. Undernr. 15003	Sider 32
Forfatter(e) André Staalstrøm Torbjørn Martin Johnsen	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Marin biologi	Trykket NIVA
	Geografisk område Glomma	

Oppdragsgiver(e) Fredrikstad Seafood AS	Oppdragsreferanse Erik Heim
--	--------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Overvåkning av vannforekomstene utenfor Østerelva viser at disse sannsynligvis har moderat økologisk tilstand på grunn av relativt høye næringssalt-konsentrasjoner. På grunn av den korte transportveien ut gjennom estuariet, de turbulente forholdene som virvler algene rundt i vannmassene og de svake lysforholdene på grunn av partikler i elvevannet, vil ikke økt tilførsel av næringssalter føre til økt algevekst før i området utenfor Hvaler. Fordi det vil være lite partikler i utslippet til Fredrikstad Seafood og fordi avløpsvannet vil innlagres i nedre del av ferskvannslaget og fraktes utover med vann hvor det er høy oksygenkonsentrasjon, vurderes faren for redusert oksygenkonsentrasjon i saltkilen som følge av utslippet, som liten. Biotestforsøk har vist at planteplanktonet ute i Glommaestuariet er fosforbegrenset og økt tilførsel av fosfor vil derfor sannsynligvis gi økt algeproduksjon. Det vil således være viktigst å rense avløpet for fosfor framfor nitrogen. Det er i denne rapporten tatt utgangspunkt i to alternativer for fosforrensing på utslippet til Fredrikstad Seafood, alternativ 1 hvor det vil slippes ut 22,8 kg P/døgn og alternativ 2 hvor det vil slippes ut 11,8 kg P/døgn. I alternativ 1 vil mengden total fosfor som slippes ut, utgjøre hele 86 % av mengden som slippes ut fra de to renseanleggene for kommunalt avløpsvann til sammen. Av de to alternativene anbefaler vi alternativ 2.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Landbasert oppdrett 2. Eutrofikasjon 3. Oksygenforbruk 4. Estuarin sirkulasjon 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Land based aquaculture 2. Eutrophication 3. Oxygen demand 4. Estuarine circulation
---	---



André Staalstrøm
Prosjektleder



Kai Sørensen
Forskningsleder

**Vurderinger av miljøkonsekvenser av utslipp til
Glomma fra landbasert produksjonsanlegg for laks**

Forord

NIVA fikk rundt årsskiftet i oppdrag av Fredrikstad Seafood å vurdere et mulig nytt utslipp til Glomma fra landbasert produksjonsanlegg for laks. Landbasert lakseproduksjon gir mulighet til å kontrollere utslippene til resipienten på en helt annen måte enn tradisjonelle oppdrettsanlegg for laks i sjø, men samtidig er dette utslippet lokalisert i et område som allerede er belastet med store tilførsler av næringsalter.

Undertegnede har vært prosjektleder og ansvarlig for modellberegninger. I tillegg har Torbjørn Martin Johnsen deltatt i prosjektet og vært ansvarlig for vurderinger i forhold til eutrofi-problematikk. Kontaktperson hos Fredrikstad Seafood har vært Erik Heim.

Oslo, 21.4.2015

André Staalstrøm

Innhold

Sammendrag	6
Summary	7
1. Innledning	9
2. Glommaestuariet	10
2.1 Beskrivelse av området	10
2.2 Målinger i Glomma fra juni 2001	12
2.3 Målinger i Glomma november 2014	15
2.4 Temperatur i Glomma	18
3. Innlagringsdyp og primær fortytning	19
4. Spredning i Glommaestuariet	23
5. Beregning av oksygenforbruk	24
6. Eutrofi-problematikk	25
7. Samlet vurdering	30
Referanser	32

Sammendrag

Et utslipp i Glomma bør legges så dypt ned i ferskvannslaget som mulig. Det er ingen fordel å legge det i saltvannskilen fordi det tidvis kan føre til at partikler blir fraktet oppover i elva i kompensasjonsstrømmen. Det vil føre til økt risiko for at avløpsvannet havner langs bunnen i elva og oppholdstiden i elva øker med økt fare for sedimentering av partikler. Fordi sprangsjiktets dybde varierer mye i løpet av tidevannsyklusen og påvirkes av varierende vannføring i Glomma, anbefales det et utslippsdyp på omtrent 8 meter.

Ved et utslipp i Glomma må både lokale effekter og effekter ute i Glommaestuariet vurderes. Effektene nær utslippspunktet vil særlig være knyttet til partikulært organisk materiale som kan synke ned til bunnen og føre til økt oksygenforbruk når dette materialet nedbrytes. Effekter ute i estuariet vil være knyttet til eutrofi-problematikk. Overvåkning av vannforekomstene utenfor Østerelva viser at disse sannsynligvis har moderat økologisk tilstand på grunn av relativt høye næringssalt-konsentrasjoner.

Løste næringssalter vil fraktes utover med ferskvannet fra Glomma, og når etter hvert områder utenfor Hvalerøyene hvor vekstforholdene for planteplankton er gunstige. Her vil algene omsette næringssaltene og resultere i en oppbygging av algebiomasse. På grunn av den korte transportveien ut gjennom estuariet, de turbulente forholdene som virvler algene rundt i vannmassene og de svake lysforholdene på grunn av partikler i elvevannet, vil ikke økt tilførsel av næringssalter føre til økt algevekst før i området utenfor Løperen.

Utslippet til Fredrikstad Seafood vil i liten grad bestå av partikulært organisk materiale. En sammenligning med utslippene til de to renseanleggene for kommunalt avløpsvann fra Fredrikstad (Frevar) og Sarpsborg (Alvim), viser at mengden organisk materiale som vil slippes ut, er relativt lavt. Mengden organisk materiale fra Fredrikstad Seafood vil utgjøre 1000 person ekvivalent (p.e.), mens de to renseanleggene til sammen slipper ut organisk materiale tilsvarende ca. 34.000 p.e. Om den samme mengden fisk skulle produseres i en åpen mere uten rensing, ville det slippes ut organisk stoff tilsvarende omtrent 85.000 p.e.

Fordi det vil være lite partikler i utslippet til Fredrikstad Seafood og fordi avløpsvannet vil innlagres i nedre del av ferskvannslaget og fraktes utover med vann hvor det er høy oksygenkonsentrasjon, vurderes faren for redusert oksygenkonsentrasjon i saltkilen som følge av utslippet, som liten. Partikler i utslippet vil filtreres med et filter med maskevidde på 50 µm, og det vil derfor liten risiko for nedslamming nær utslippet.

Mengden total nitrogen som vil slippes ut fra Fredrikstad Seafood, vil tilsvare omtrent halvparten av den mengden som slippes ut fra Frevar, og omtrent 0,5 % av det som kommer med Glomma. Biotestforsøk har vist at planteplanktonet ute i Glommaestuariet er fosforbegrenset, og det vil således være viktigst å rense avløpet for fosfor framfor nitrogen. Det er i denne rapporten tatt utgangspunkt i to alternativer for fosforrensing på utslippet til Fredrikstad Seafood, alternativ 1 hvor det vil slippes ut 22,8 kg P/døgn og alternativ 2 hvor det vil slippes ut 11,8 kg P/døgn. I alternativ 1 vil mengden total fosfor som slippes ut, utgjøre hele 86 % av mengden som slippes ut fra de to renseanleggene for kommunalt avløpsvann til sammen. Av de to alternativene anbefaler vi alternativ 2.

Siden planteplanktonet utenfor Løperen er fosforbegrenset, vil økt tilførsel av fosfor sannsynligvis gi økt algeproduksjon. Men siden tilførselen fra renseanleggene sammen med utslippet fra Fredrikstad Seafood er relativt små i forhold til tilførselen fra Glomma, vil det være vanskelig å påvise eller beregne nøyaktig hvor stor denne økningen vil bli. Økningen i vekst av planteplankton vil i alle tilfeller forekomme i områder hvor vannet vil fraktes videre utover i havområdet og fortynnes med kyststrømmen.

Summary

Title: Environmental risk assessment for discharge to the Glomma River from land-based salmon production

Year: 2015

Author: André Staalstrøm and Torbjørn Martin Johnsen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6596-5

A discharge into the Glomma River should be positioned as deep in the freshwater layer as possible. There is no advantage to position the discharge in the salt wedge, because this can occasionally cause the particles to be carried upwards in the river in the compensation current. The risk for longer residence time for the waste water and sedimentation of particles will then be increased. Because the depth of the halocline varies during the tidal cycle and is affected by fluctuating water flow in the Glomma River, it is recommended that the discharge is positioned at about 8 meter depth.

An assessment of a discharge in the Glomma River must both take local effects and effects out in the Glomma Estuary into account. The effects close to the discharge point will be mainly be associated with the particulate organic material that can sink down to the bottom and lead to increased oxygen consumption when this material is degraded. Effects outside in the estuary will be linked to eutrophication. Monitoring of the water bodies outside river mouth shows that these probably have moderate ecological state due to the relatively high nutrient concentrations.

Dissolved nitrogen will be transported with the water flow in the Glomma River, and eventually reach areas outside the Hvaler Archipelago where growth conditions for phytoplankton are favorable. Here the phytoplankton take up the nutrients efficiently and this result in a growth of algae biomass. Because of the short transport path through the estuary, the turbulent conditions that move the plankton up and down in the water column and the low light conditions due to particles in the river water, increased supply of nutrients will not cause increased growth of phytoplankton until the area outside the Hvaler Archipelago.

The discharge from Fredrikstad Seafood will consist of a limited amount of particulate material. A comparison with the emissions of the two treatment plants for municipal wastewater from Fredrikstad (Frevar) and Sarpsborg (Alvim), shows that the amount of organic material that will be released, is relatively low. The amount of organic material from Fredrikstad Seafood will constitute 1.000 p.e., while the organic matter of two treatment plants correspond to approximately 34,000 p.e. If the same amount of fish had been produced in an open fish cage in the sea without cleaning, the discharge of organic matter would correspond to about 85.000 p.e.

Because the amount of particulate organic matter will be low in the discharge from Fredrikstad Seafood and because the waste water will have a neutral depth in the lower part of the freshwater layer where the oxygen concentration is high, the risk of decreased oxygen concentration in the bottom layer is considered to be low. Particulate matter in the discharge will be filtered with a mesh size of 50 μm . Thus the risk of smothering by sedimentation near the discharge pipe is considered to be low.

The amount of total nitrogen that will be discharged from Fredrikstad Seafood will be approximately equal to 50 % of what is discharged from Frevar, and about 0.5% of the total nitrogen that comes with the Glomma River. Experiments shown that the phytoplankton growth just outside the Glomma Estuary is limited by phosphorus. Thus it is more important to remove phosphorus rather than nitrogen from discharge to the area. In this report two alternatives for phosphorus treatment are mentioned. Alternative 1 will result in a discharge of 22,8 kg P/d, while alternative 2 will result in a discharge of 11,8 kg P/d. The amount of total phosphorus discharged in alternative 1 constitute 86% of the amount emitted from the

two treatment plants for municipal wastewater altogether. Of the two alternatives we recommend alternative 2.

Since phytoplankton outside the Hvaler Archipelago is phosphorous limited, the increased supply of phosphorus will probably cause increased phytoplankton production. To quantify or detect this increased growth will however be challenging, since the nutrient supply from both Fredrikstad Seafood and the waste water plants is small compared to the supply of nutrients with the Glomma River. The increase in the growth of phytoplankton will occur in areas where the water will be transported and diluted with the coastal current.

1. Innledning

Fredrikstad Seafood AS ønsker å starte opp landbasert produksjon av laksefisk i Fredrikstad. Anlegget vil hente vann fra vanninntak i Glomma. Under produksjonen vil vannet resirkulere internt, men det vil likevel være nødvendig å etablere et utslippspunkt i Glomma. Utslipet vil inneholde vann med forhøyede næringsstoffs-konsentrasjoner samt oppløst og partikulært organisk materiale, og det gir potensiale for uønskede effekter i resipienten i form av eutrofi (overgjødning).

De miljøaspektene som vil vurderes er:

1. Lave oksygenkonsentrasjoner i bunnvannet på grunn av nedbrytning av organisk materiale.
2. Uønsket algevekst som følge av overgjødning.

Anleggets fulle kapasitet når det er helt ferdig utbygd er 15 000 m³, men vannet vil resirkuleres. Det vil slippes ut 350 000 til 380 000 m³ vann årlig, som tilsvarer 11,2 til 12,0 L/s. Denne vannmengden vil inneholde 72 tonn nitrogen (TotN), 8 tonn fosfor (TotP) og organisk stoff med et biologisk og kjemisk oksygenforbruk (BOF) på 21 tonn oksygen årlig. I gjennomsnitt vil konsentrasjonen av nitrogen være 190 til 205 mg N/L, av fosfor 21 til 23 mg P/L og BOF 56 til 60 mg O/L. Saltholdigheten i anlegget vil ligge på 12 til 16 PSU (Practical salinity unit). I løpet av dette prosjektet har selskapet sett på løsninger for å redusere mengden fosfor som slippes ut, og et alternativ hvor det slippes ut 4 tonn fosfor blir også vurdert i denne rapporten. Partikler i utslippet fjernes med et finmasket filter, slik at partikulært organisk materiale som slippes ut vil ha en partikkelstørrelse mindre enn 50 µm.

En personekvivalent (1 pe) tilsvarer et oksygenforbruk på 60 g pr døgn. Når BOF verdien fra Fredrikstad Seafood sitt utslipp gjøres om til samme enhet, så utgjør det et oksygenforbruk på litt mindre enn 60 kg pr døgn. Utslipet slik som det er beskrevet her, tilsvarer organisk stoff fra omtrent 1000 personer (p.e.). Fredrikstad Seafood vil produsere anslagsvis 75 tonn fisk per uke. I følge Klima- og forurensningsdirektoratet (2010) så vil produksjon av et tonn fisk ved bruk høy-energifôr føre til utslipp av organisk stoff tilsvarende en BOF verdi på 480 kg O₂ om dette ikke renses. Skulle tilsvarende mengde fisk blitt produsert i en åpen merd, så ville dette tilsvare omtrent 85.000 p.e.

Det vil være avgjørende for denne vurderingen hvor avløpsvannet havner i resipienten, og i hvor stor grad utslippet blir fortynnet med vannet i resipienten. Spredningen av dette utslippet må sees på i to forskjellige faser, først den primære spredningen av utslippsskyen i umiddelbar nærhet til utslippsrøret og deretter den videre spredningen av utslippet i elva og videre utover i resipienten. Først vil vi se på den primære spredningen av utslippsskyen og på hvilket dyp avløpsskyen innlagres havner på. For å vurdere dette, er det nødvendig å først studere hvordan saltholdighet varierer i resipienten. Resultater fra spredning av næringsalter og organisk stoff, vil bli brukt til å anslå mulig endret algevekst og oksygenforbruk, som videre vil vurderes opp mot de nåværende forholdene i Glommaestuariet.

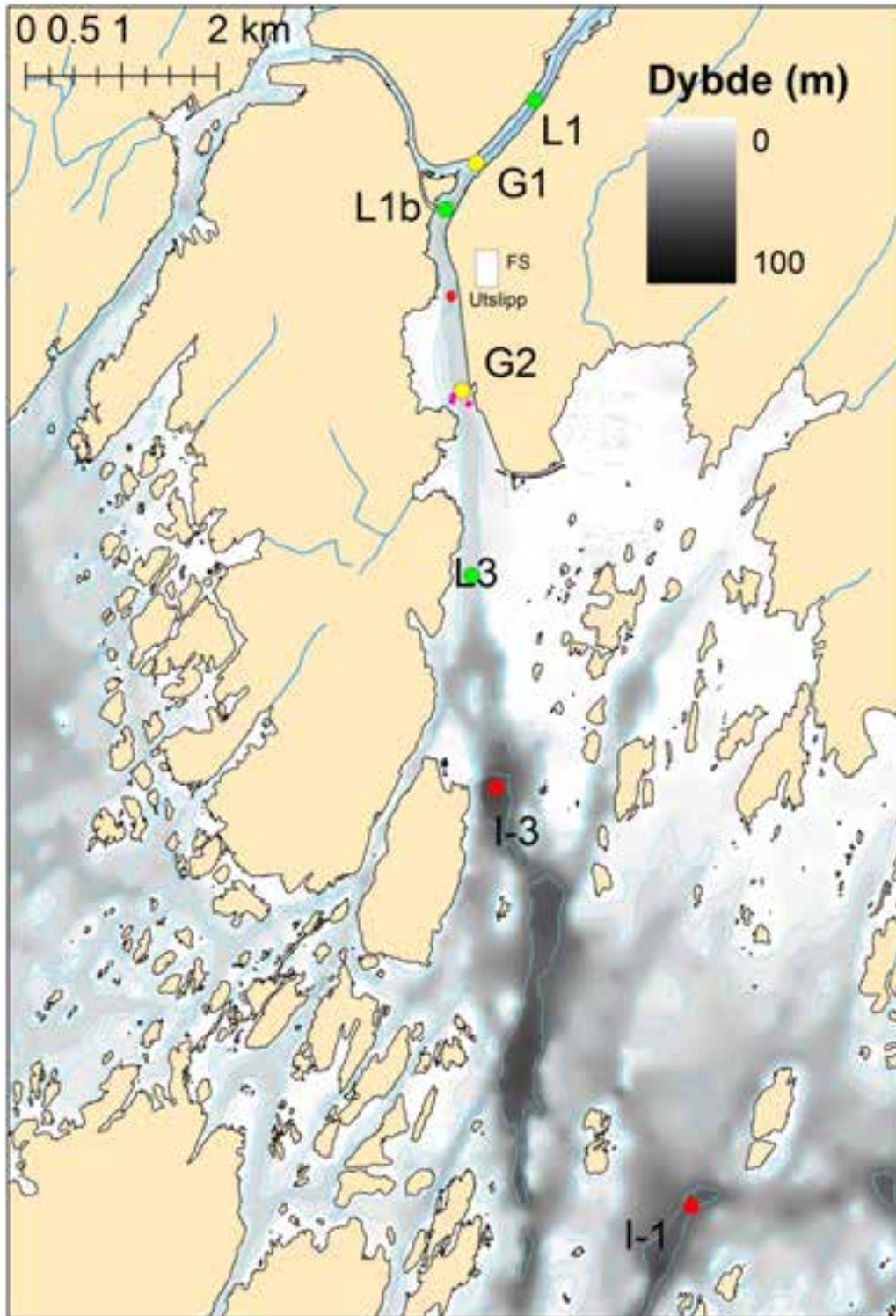
2. Glommaestuaret

2.1 Beskrivelse av området

Utslippspunktet vil befinne seg et utenfor Borg havn i Glomma. Elva Glomma renner ut i Hvaler, som noen ganger omtales som Glommaestuaret. Estuarier er områder hvor ferskvann fra elver møter sjøvann, og her foregår det intens blanding av disse vannmassene. Denne blandingen har stor betydning for vannkvalitet, vannkjemi og biologi. Ofte fins det i slike områder arter som er tilpasset de spesielle forholdene som fins her. I blandingssonen foregår det flere prosesser som har effekt på partikkeltransport. Partikler dannes og aggregerer, påvirket av biologiske og geokjemiske prosesser, som videre har konsekvenser for transport og oppholdstid for næringssalter og suspenderte partikler i estuaret.

Glommaestuaret ved utløpet av Glomma i Hvaler, er definert som et saltkile-estuarie. Det vil si at i elva er det et øvre lag med ferskvann som renner ut mot havet, og saltvannslag under dette som kan trenge langt opp i elva som en kile. Dette betyr at det langs bunn av elva kan strømme både oppover og nedover elva. Elva deler seg i to ved Fredrikstad (**Figur 1**). Det østre løpet er dypest med dyp ned mot 20 m. Det vestre løpet er grunnere med dyp på omtrent 10 m. I tilfeller med svært høy vannføring i Glomma kan det strømme ferskvann utover i hele vannsøylen. Dette kan også være tilfelle ved lavere vannføring i den delen av tidevannssyklusen når vannstanden synker.

Utslippspunktet fra Fredrikstad Seafood befinner seg i Glomma syd for Fredrikstad og det er flere eksisterende utslipp til Glomma i samme område (**Figur 1**). Det viktigste er Frevar som er renseanlegg for kommunalt avløpsvann fra Fredrikstad og Sarpsborg. I tillegg påvirkes området av utslippet fra kommunalt avløpsvann i Sarpsborg, Alvim. Frevar har sitt utslipp i nærheten av stasjon G2 i **Figur 1**, mens Alvim har utslipp lenger opp i elva.



Figur 1. Kart over Glommas utløp og deler av Hvaler. Fargeskalaen angir dybden. Dybde konturer er tegnet opp for utvalgte dyp. Det dype området fra stasjon L3 og til I-3 og videre sørover, kalles ofte Løperen. De grønne punktene angir hvor det har blitt målt øyeblikksprofiler av strøm og saltholdighet i 2001. Ved stasjon G1 har det vært utplassert profilerende strømmåler. De røde punktene angir stasjoner fra overvåkningsprogrammet for Ytre Oslofjord, men det er lite data på stasjon I-3. Utslippspunktene til Kronos og Frevar er markert med rosa prikker. Mulig posisjon for Fredrikstad Seafood sitt utslipp er markert med en rød prikk.

2.2 Målinger i Glomma fra juni 2001

I et tidligere forskningsprosjekt (ASTRI) (Nygaard et al, 2004), ble det 15. juni 2001 tatt profilerende målinger av temperatur, saltholdighet og strøm. Det ble foretatt målinger på tre stasjoner i elveløpet, stasjon L1 plassert før elva deler seg, stasjon L1b plassert i østre løp nedenfor der elva deler seg og på stasjon L3 plassert rett utenfor det østre elveutløpet (**Figur 1**). Resultater her er hentet fra en upublisert artikkel forfattet av K. Sørensen, B. Bjerkeng, J. Høkedal, A. Helland og G. Severinsen.

På stasjon L1 (**Figur 2**) er det 20 m dyp, og den 15. juni 2001 var det utstrømmende ferskvannslaget 10 m dypt med en gjennomsnittlig saltholdighet på 1.4 psu. De øverste 7 meterne var homogene med en strømhastighet på 0.9 m/s, og saltholdighet mellom 0.35 og 1.55 og en temperatur på 12.6°C. På 10 m er strømhastigheten 0 og saltholdigheten 22.1. En kompensasjonsstrøm med en saltholdighet på 27.5 går oppover elva i dybdeintervallet 10 -15 m. Den høyeste strømstyrken var her 0.1 m/s. Under 15 m strømmer det utover.

På stasjon L1b (**Figur 3**) som befinner seg 2 km lenger nedstrøms, var det den samme dagen et 7 m tykt ferskvannslag, med en gjennomsnittlig saltholdighet på 4.4 psu og en strømhastighet opp mot 0.9 m/s. Fra 7 m og ned til bunn var det en kompensasjonsstrøm med gjennomsnittlig saltholdighet på 27.2 og strømstyrke oppover elva på opp til 0.2 m/s.

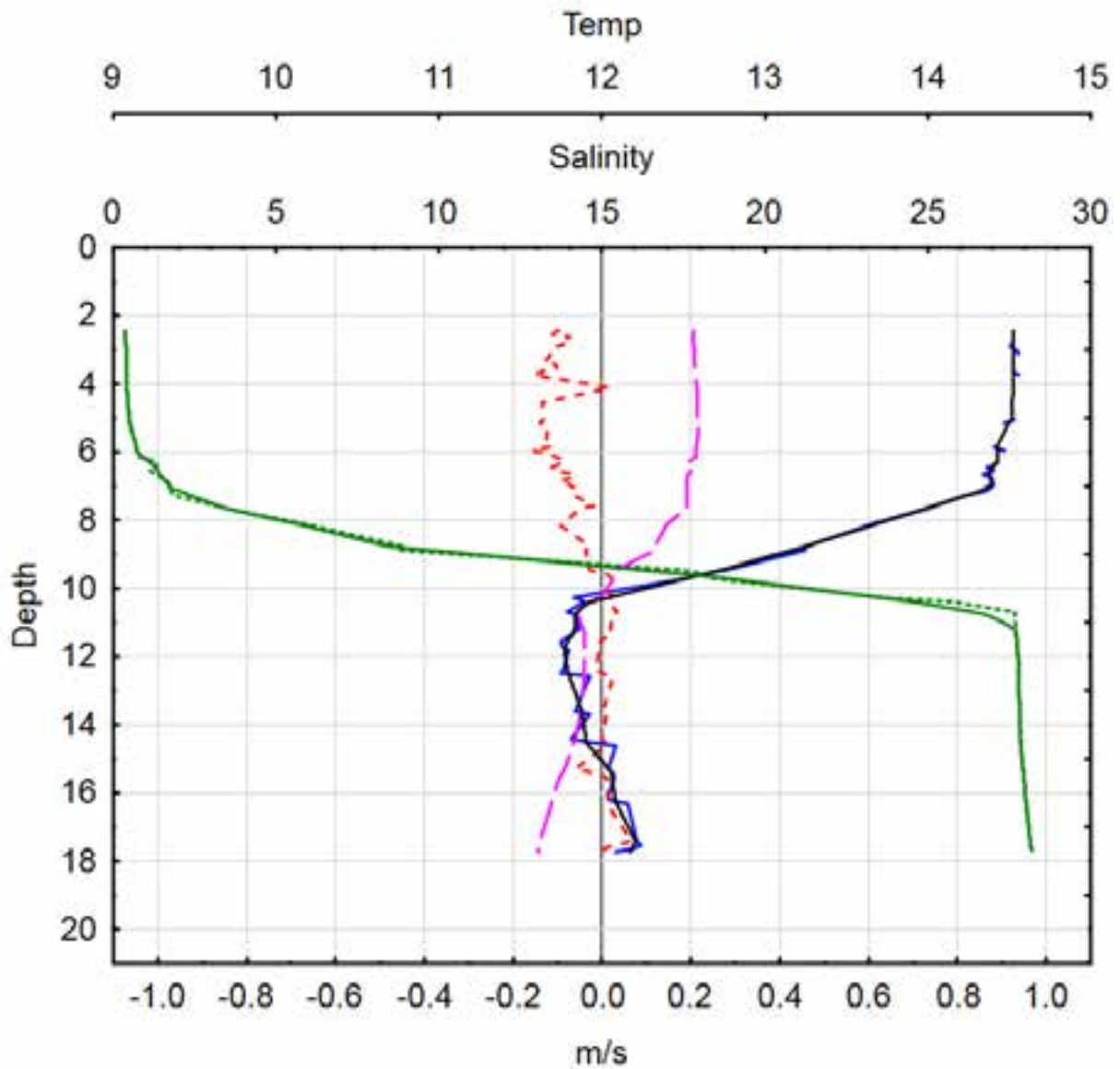
På stasjon L3 (**Figur 4**) rett utenfor østre elveutløp var det samme dagen et 5 m tykt ferskvannslag, med en gjennomsnittlig saltholdighet på 4.9 og en strømhastighet opp mot 0.5 m/s.

Vannmassen kan altså deles inn i tre lag. Et ferskvannslag som strømmer kraftig utover. Et sprangsjikt hvor det også strømmer utover, men hvor saltholdigheten endres raskt med dypet. Et saltvannslag, kalt saltkilen, hvor det strømmer oppover i elva.

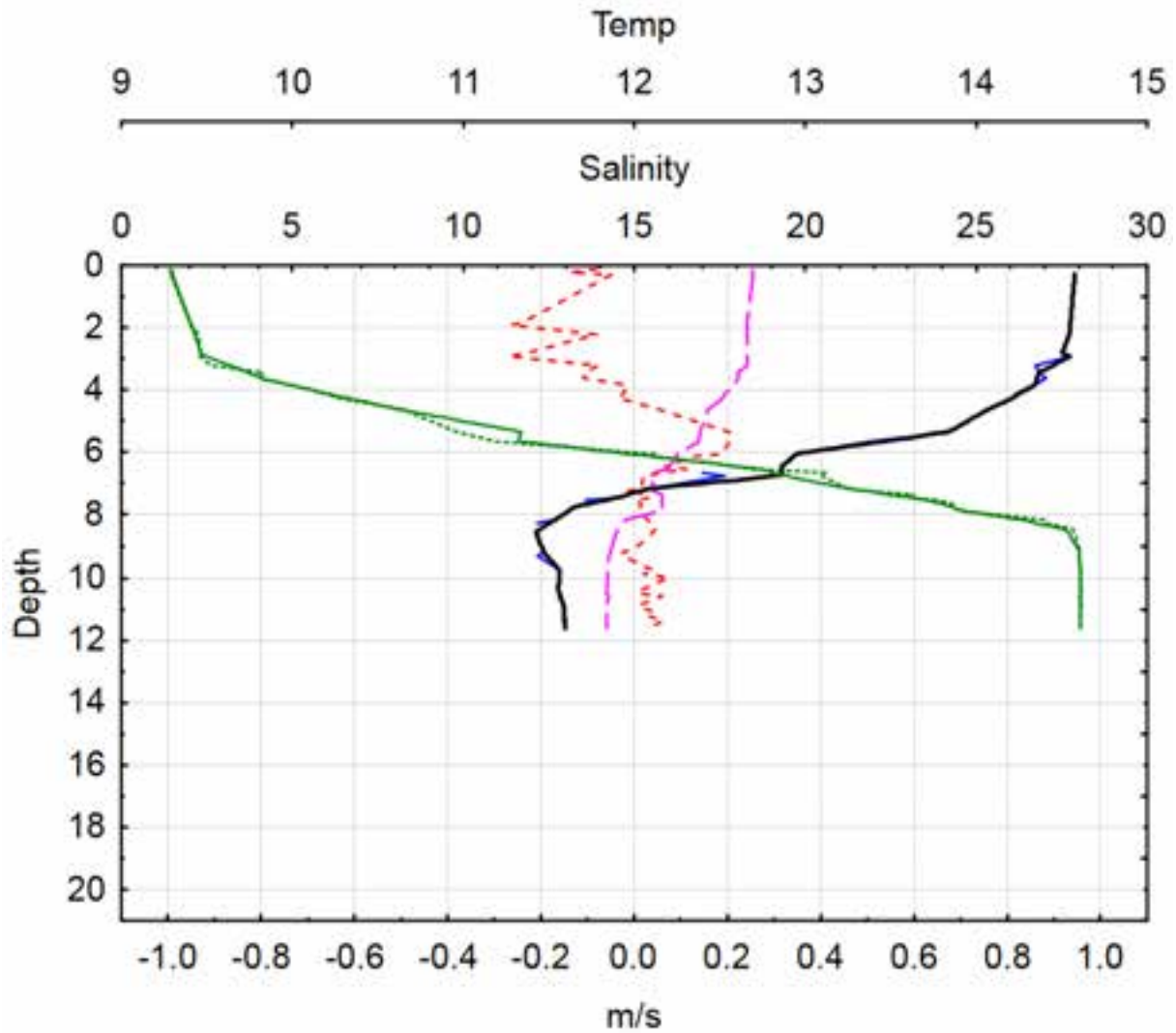
Nøkkelparameterne for de tre stasjonene, L1, L1b og L3 er samlet i **Tabell 1** nedenfor. Ferskvannslaget har en relativt konstant hastighet, helt til utenfor utløpet der det brer seg utover horisontalt i estuariet. På vei nedover elva blir det utstrømmende laget tynnere og får høyere saltholdighet etter hvert som underliggende saltvann blir blandet inn. Strømmen i saltkilen, det vil si den underliggende kompensasjonsstrømmen, blir svakere, får noe lavere saltholdighet og blir tynnere på vei oppover i elva. Vannføringen i Glomma målt på Solbergfoss var 900 m³/s den 15. juni 2001.

Tabell 1. Nøkkelparametere for sirkulasjon på tre stasjoner i Glommas østre utløp 15. juni 2001.

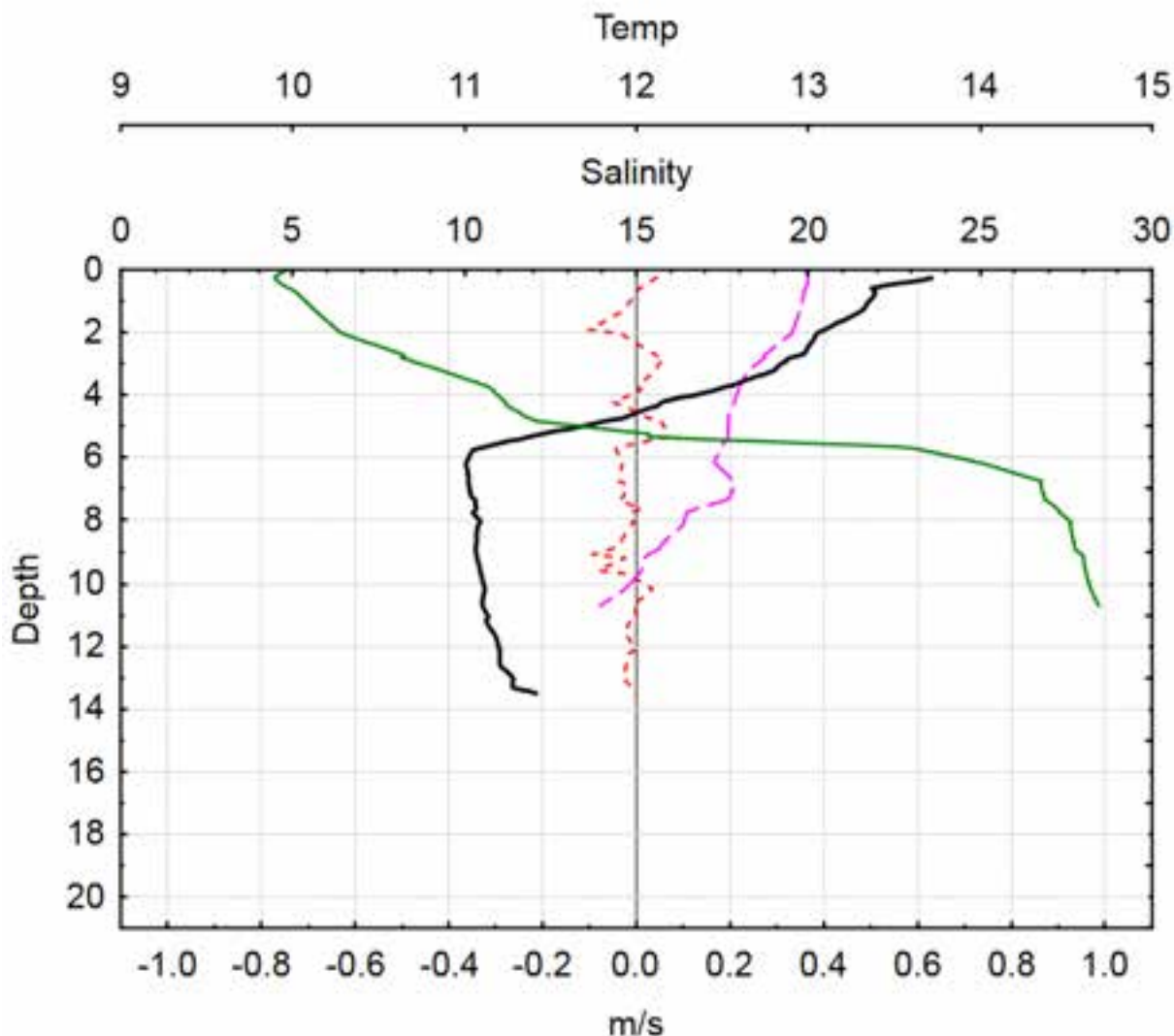
Stasjon	Saltholdighet i ferskvannslaget	Saltholdighet i saltkilen	Tykkelsen av øvre lag (m)	Strømstyrke i øvre lag (m/s)	Maksimal strømstyrke i saltkilen (m/s)
L1	1.4	26,5	10	0.9	0.1
L1b	4.4	27.2	7	0.9	0.2
L3	4.9	28,0	4	0.5	0.3



Figur 2. Profiler på stasjon L1 nedenfor Fredrikstadsbrua, hvor saltholdighet (grønn kurve), temperatur (rosa kurve), strøm i elveretningen (svart og blå kurve) og strøm på tvers av elva (rød kurve) er vist. Målingene ble foretatt 15. juni 2001 kl. 13:14-13:23 UTC.



Figur 3. Profiler på stasjon L1b nedenfor det punkt hvor elva deler seg, hvor saltholdighet (grønn kurve), temperatur (rosa kurve), strøm i elveretningen (svart og blå kurve) og strøm på tvers av elva (rød kurve) er vist. Målingene ble foretatt 15. juni 2001 kl. 12:35-12:44 UTC.



Figur 4. Profiler på stasjon L3 utenfor elveutløpet, hvor saltholdighet (grønn kurve), temperatur (rosa kurve), strøm i elveretningen (svart og blå kurve) og strøm på tvers av elva (rød kurve) er vist. Målingene ble foretatt 15. juni 2001 kl. 11:46-11:55 UTC.

2.3 Målinger i Glomma november 2014

De tidligere målingene som vi har sett på til nå gir bare et øyeblikksbilde. Strømmønsteret, og også spredningsmønsteret til partikler i elva, vil variere i tid med variasjon i vannføring i Glomma og med tidevannspumping på grunn av varierende vannstand ute i Glommaestuariet.

I perioden 7. november til 3. desember 2014 ble det foretatt kontinuerlige målinger av strøm med en profilerende strømmåler på stasjon G1 (**Figur 1**). I begynnelsen av perioden var vannføringen mer enn 1300 m³/s, mens den lavest vannføringen i perioden var omtrent 700 m³/s. Som forventet så er det en kraftig utadgående strøm i overflatelaget, med en dypere kompensasjonsstrøm oppover elva. Tykkelsen på overflatelaget varierer med vannføringen i Glomma. Vannstandsendringer på grunn av tidevann har stor betydning for variasjonen i strømmønsteret. Faktisk har tidevannet større påvirkning på om det strømmer utover helt ned til bunn, enn det vannføringen i Glomma har. Når det er høy vannføring blir faktisk strømmen langs bunn oppover elva kraftigere, mens det ved lavere vannføring kan strømme utover helt ned til bunn på fallende tidevann (**Figur 5**).

I posisjon G1 er det som sagt målt strøm med høy oppløsning vertikalt, det var målinger hver 0,5 m fra 16 m til 2 m dyp. I tillegg til dette er temperatur, saltholdighet og turbiditet målt i to dyp (2 og 15 m). Disse målingene har høy oppløsning i tid, det ble målt hvert 10. minutt. I denne måleperioden mangler det informasjon om hvordan temperatur, saltholdighet varierer med dypet. Spesielt saltholdigheten er viktig i denne sammenhengen, både med tanke på saltholdigheten til inntaksvannet og på beregning av innlagingsdypet til avløpsvannet.

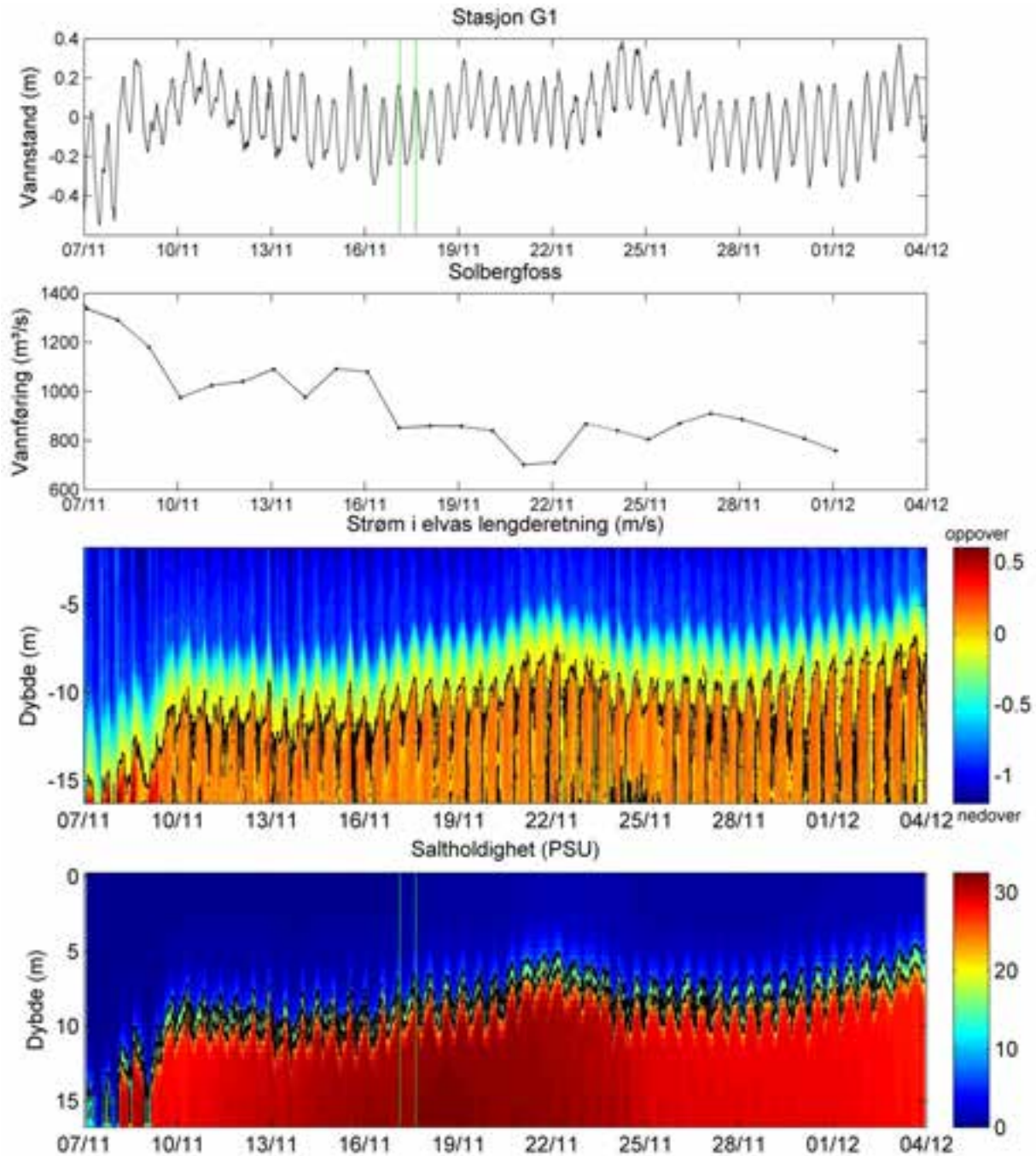
Den 15. juni 2001 ble det målt en profil av både strøm, saltholdighet og temperatur på stasjon L1 et stykke oppstrøms for stasjon G1 (**Figur 2**). Denne profilen har høy vertikal oppløsning, men gir bare et øyeblikksbilde i tid. Ved dette tidspunktet var vannføringen i Glomma omtrent 900 m³/s, og det var synkende vannstand, omtrent 1 time etter høyvann. Ved å anta at forholdet mellom strøm og saltholdighet/temperatur, vil være det samme også ved andre vannføringer i Glomma og i andre faser av tidevannssyklusen, kan saltholdighet og temperatur profilene beregnes ut fra strømprofilen. Bakgrunnen for denne antagelsen er at profilene til saltholdigheten og temperaturen er resultater av sirkulasjonen i elva, med ferskvann som strømmer utover og saltvann som trenger oppover elva langs bunn. Hvor god denne antagelsen er, vil kunne bestemmes ved å måle flere profiler samtidig med strømmålinger, men slike data er foreløpig ikke tilgjengelig.

Vi lar saltholdighetsprofilen $S(z)$ beskrives av 8 punkter definert ut ifra profilen målt på stasjon L1 og fra strømmålinger på stasjon G1. Et punkt plasseres i hver av de to dypene hvor det er målt saltholdighet, i 2 og 15 m. Et punkt plasseres over og under disse målepunktene hvor data ekstrapoleres. Data vil interpoleres basert på profilen på stasjon L1 i fire punkter mellom de to målepunktene. Plasseringen av disse punktene er basert på målt strømprofil på stasjon G1. Regneskjemaet for å beregne saltholdighetsprofilen er vist i

Tabell 2. Resultatet av beregningene er vist nederst i **Figur 5**.

Tabell 2. Regneskjema for å beregne saltholdighetsprofil mellom målinger i 2 og 15 m dyp.

Dyp (m)	Saltholdighet
0.0	$\max(0, S_2 - 0.05)$
2.0	S_2
$z_{u=-0.2} - 3.5$	$S_2 + (S_{15} - S_2) \cdot 0.5 / 28$
$z_{u=-0.2} - 1.5$	$S_2 + (S_{15} - S_2) \cdot 4.5 / 28$
$z_{u=-0.2}$	$S_2 + (S_{15} - S_2) \cdot 18 / 28$
$z_{u=-0.2} + 1.5$	$S_2 + (S_{15} - S_2) \cdot 27.5 / 28$
15.0	S_{15}
16.5	$S_{15} + 0.1$



Figur 5. Øverst vises vannstanden i Glomma på stasjon G1. Nest øverst vises vannføringen i Glomma målt ved Solbergfoss. Nest nederst vises strømmen i Glomma langs elvas lengderetning. Den positive retningen er definert oppover, så rød farge indikerer strøm oppover elva, mens blå farge indikerer strøm nedover elva. En svart konturlinje er tegnet der strømmen er 0. Nederst vises beregnet saltholdighet basert på målinger i 2 og 15 m. Konturlinjer er tegnet for saltholdighet på 10 og 20 psu.

2.4 Temperatur i Glomma

Temperaturen har ikke en like tydelig todelt profil i dypet slik som saltholdigheten har, men vi kan se fra **Figur 2** til **Figur 4** at temperaturen i ferskvannslaget er relativt homogen. Temperaturen i dette laget vil være tilnærmet lik temperaturen målt lenger opp i elva, siden vannmassene beveger seg raskt nedover elva. Det er foretatt kontinuerlige målinger i RID (Riverine Inputs and Direct Discharges) programmet ved Baterød vannverk fra april 2013 til i dag. Månedlig gjennomsnitt og standardavvik av målt temperatur fra denne stasjonen er gjengitt i **Tabell 3**.

Vannet i saltkilen er ikke like homogent, men varierer en del med dypet. Sesongvariasjonen i dette laget vil være mindre enn variasjonen i ferskvannslaget, og vil mest sannsynlig følge temperaturutviklingen i vannmassene ute i Glommaestuariet. Det ble i juni 2001 foretatt målinger på en stasjon i nærheten av I-1 og på stasjon L3 samme dag, og ved å sammenligne temperaturprofilen på disse to stasjonene ser vi at de er relativt like. Vi antar derfor at temperaturen målt på 10 m ved stasjon I-1 gir en god indikasjon på temperaturen i saltkilen utenfor Fredrikstad Seafood.

Tabell 3 angir månedlig middelerdi og standardavvik for temperaturen ved Baterød vannverk og ved 10 m dyp ved stasjon I-1. Som sagt så vil målingene fra RID programmet gi et godt estimat på temperaturen i ferskvannslaget mens målingene fra stasjon I-1 vil gi en noe mer usikker indikasjon på temperaturen i saltkilen. Usikkerheten er knyttet til at vannmassene beveger seg ganske sakte fra Glommaestuariet og oppover i saltkilen og at det ikke er usannsynlig at andre vannmasser med annen temperatur tidvis blandes inn i det vannet som strømmer oppover elva.

Tabell 3. Månedlig middelerdi og standardavvik for temperatur ved Baterød vannverk og fra 10 m dyp ved overvåkningsstasjon I-1. Dataene fra I-1 er målt i perioden mellom 2001 og 2014.

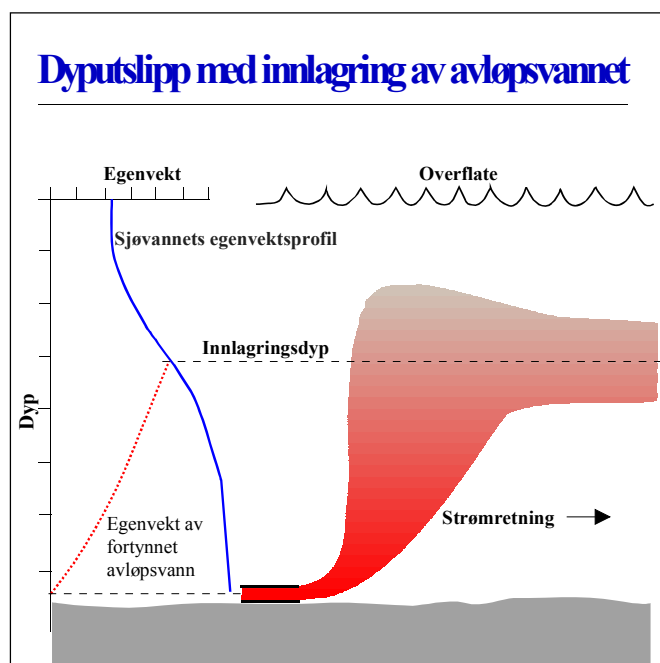
Måned	Baterød vannverk (°C)		I-1 ved 10 m (°C)	
	Gjennomsnitt	Standardavvik	Gjennomsnitt	Standardavvik
Januar	1,0	1,0	5,6	3,0
Februar	1,6	1,0	2,8	2,0
Mars	2,7	0,7	3,0	0,2
April	5,7	1,6	4,2	1,4
Mai	8,7	1,7	8,1	1,6
Juni	13,7	1,1	12,6	2,4
Juli	18,7	2,0	17,0	1,9
August	17,7	1,6	16,8	1,9
September	15,3	1,6	15,5	1,2
Oktober	9,8	1,5	13,1	0,8
November	5,9	1,2	9,8	1,5
Desember	2,5	1,1	6,7	2,9

3. Innlagringsdyp og primær fortykning

I hvilket dyp utslippsskyen havner på, det vil si hvilket innlagringsdyp utslippet vil ha, vil hovedsakelig være avhengig av vannmengden og saltholdigheten i utslippet, samt strømforhold og saltholdighet i resipienten.

Hvis utslippet slippes ut i saltvannslaget og er ferskere enn saltholdigheten i dette laget, vil det ha positiv oppdrift og stige opp mens saltvann blandes inn, og avløpsstrålens egenvekt øker. På vei oppover vil avløpsskya fraktes med vannstrømmen i saltkilen, som ofte er oppover elva, helt til det når sprangsjiktet og ferskvannslaget. Når egenvekten til avløpsstrålen er lik tettheten til vannet rundt på grunn av innblanding, har ikke lenger avløpsstrålen positiv oppdrift. Avløpsvannet vil likevel stige et stykke oppover, helt til all bevegelsesenergien i strålen er brukt opp, og den vil synke noe ned igjen til den når laget med samme egenvekt igjen. Vi sier at avløpsvannet har nådd sitt innlagringsdyp. **Figur 6** illustrerer dette, hvor stigende avløpsvann når sitt innlagringsdyp, og siden spres horisontalt. Til venstre for skissen av avløpsskyen, vises to grafer som henholdsvis viser egenvekten til resipienten (blå linje) og avløpsvannet (rød stiplet linje). Innlagringsdypet vil være omtrent hvor de to kurvene krysser hverandre. Vi har benyttet modellen Visual Plumes i denne rapporten (Frick et al., 2001).

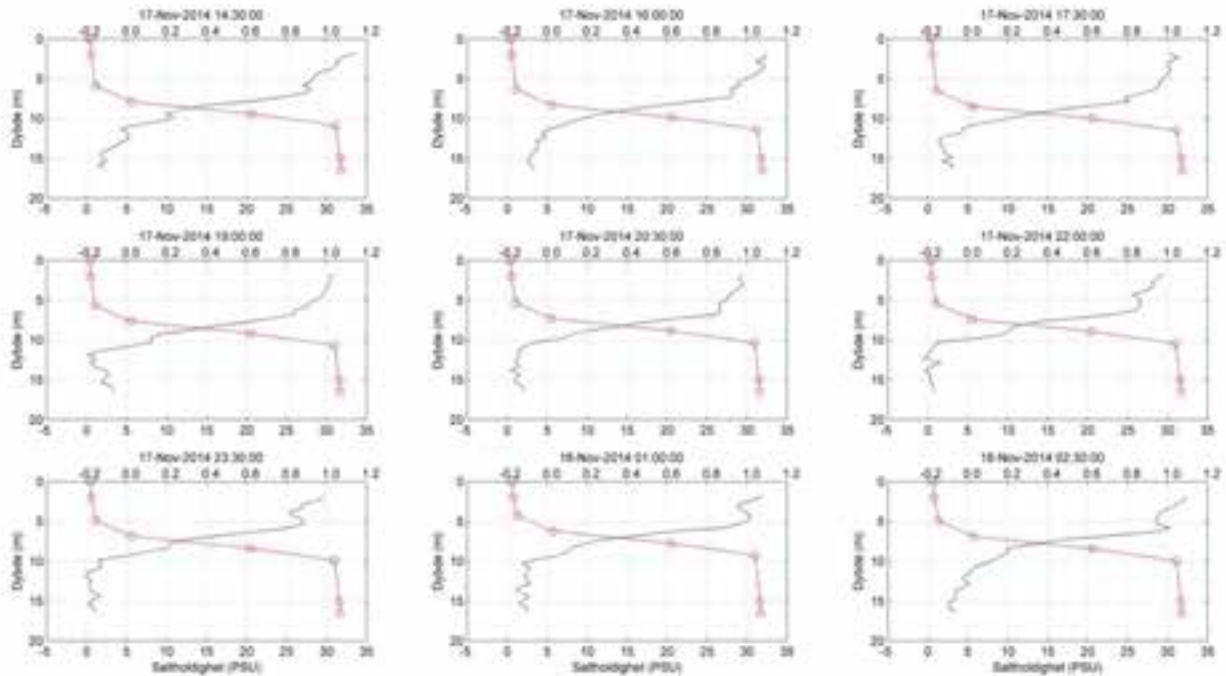
Sprangsjiktet og spesielt ferskvannslaget beveger seg hurtig nedover elva, og denne veien vil den innlagrede avløpsskya også bevege seg og deretter fraktes utover og spres videre utover i Glommaestuariet. Avløpsvannet fra anlegget vil ha en saltholdighet på 12 til 16 PSU. Saltholdigheten nær bunn vil kun være mindre salt enn dette ved høy vannføring i elva, når det strømmer utover helt ned til bunn. Hvis utslippet slippes ut i ferskvannslaget vil det synke litt ned, men ikke veldig mye, og fraktes utover med ellevannet.



Figur 6. Prinsippskisse som viser hvordan et dyputslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet (vertikal sjiktning).

Figur 7 viser hvordan saltholdighet og strømprofilen i elva varierer i løpet av en tidevannsyklus. Disse profilene er hentet fra **Figur 5**, en periode hvor vannføringen i elva var mellom 800-900 m³/s. I løpet av denne tidevannperioden varierte sprangsjiktets posisjon mellom omtrent 7 og 10 m. Ved enda lavere

vannføring kan sprangsjiktet posisjon bli enda grunnere (omtrent 5m). Strømprofilen viser at det hele tiden strømmer utover i ferskvannslaget og i sprangsjiktet strømmer utover, men at det i saltvannskilen strømmer oppover elva.



Figur 7. Saltholdighets- og strømprofiler gjennom tidevannssyklusen i en situasjon hvor vannføringen i Glomma er omtrent $900 \text{ m}^3/\text{s}$. Tidspunktene for profilen er markert som vertikale linjer på **Figur 5**. Saltholdigheten er tegnet som røde linjer med verdien markert på nedre x-akse. Strømmen er tegnet med svarte linjer hvor verdien er markert på øvre x-akse. Merk at på dette plottet er positiv strøm mot sjøen.

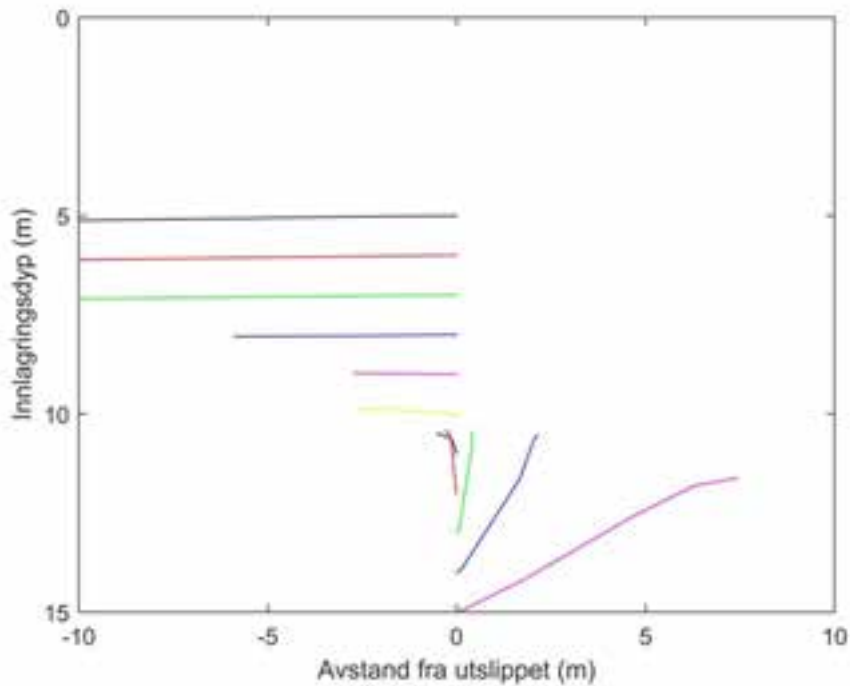
Programmet Visual Plumes beregner innlagringsdypet og også primærfortynningen til utslippet. I et eksperiment har vi lagt inn den første profilen i **Figur 7** (kl. 14:30), og beregnet innlagringsdyp og fortynning når utslippsdypet varierer mellom 5 og 15 m. I alle disse beregningene slippes det ut 12 L/s med avløpsvann gjennom et rør med diameter på 10 cm.

Når utslippet slippes ut i saltkilen så fraktes det oppover elva helt til det når sprangsjiktet (**Figur 8**). Avløpskyen er fortynnet 100 ganger i løpet av omtrent 5 m fra utslippet (**Figur 9**).

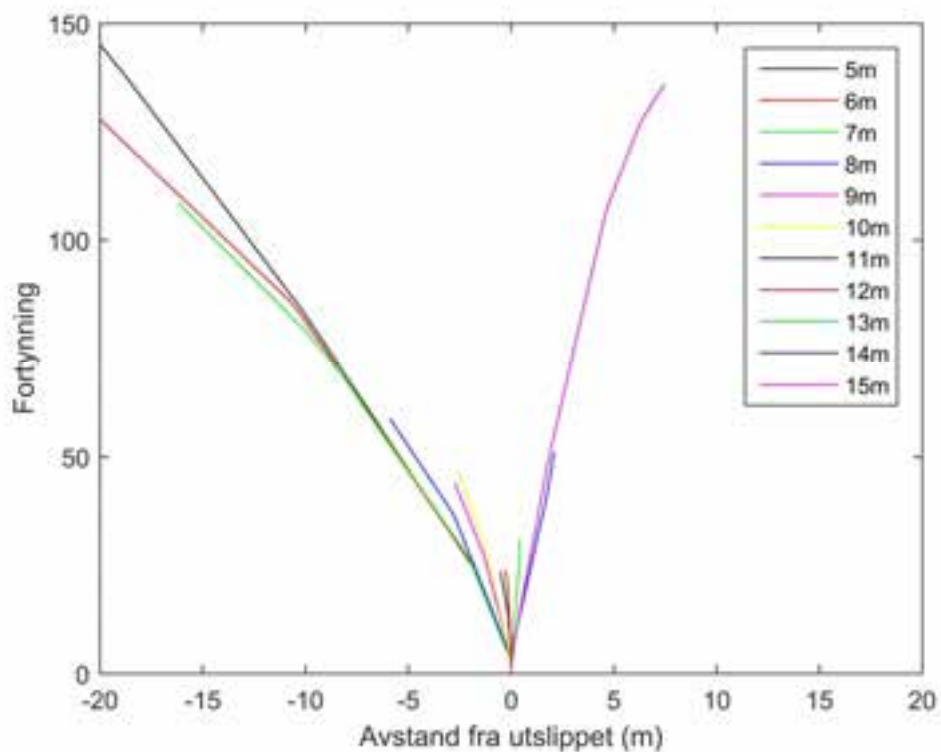
Når utslippet slippes ut i ferskvannslaget så synker det litt ned i vannsøylen, men i liten grad, og får et innlagringsdyp som er nær utslippsdypet (**Figur 8**). Fortynningen er i dette tilfellet noe lavere, men utslippet vil ha en fortynning på 100 i løpet av omtrent 15 m fra utslippsrøret (**Figur 9**).

Siden det er ønskelig at utslippet fraktes utover, så anbefaler vi å slippe det ut i overkant av sprangsjiktet, men samtidig så dypt som mulig. Med tanke på hvordan sprangsjiktets dybde varierer i løpet av tidevannssyklusen og med vannføringen i Glomma, så er et utslippsdyp på 6 til 8 m gunstig.

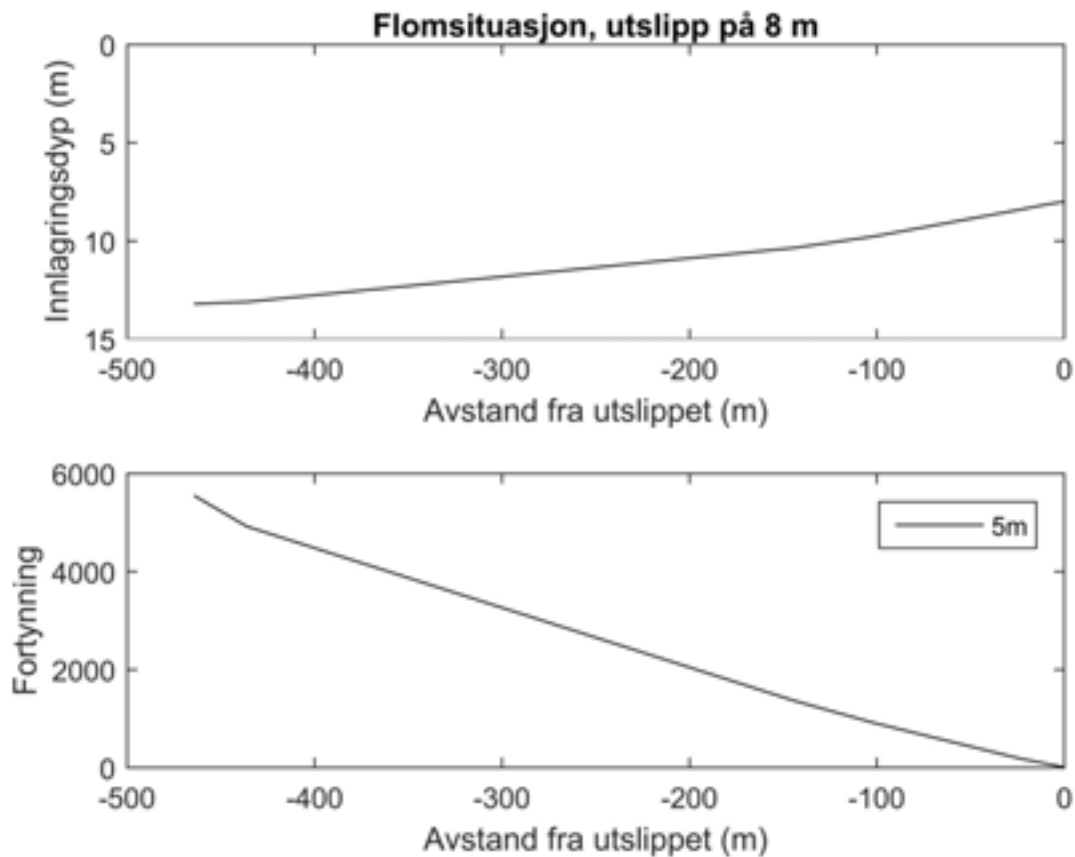
Underen flomsituasjon vil det strømme utover i hele vannsøylen. I en slik situasjon vil avløpskyen synke gradvis helt ned til bunn. Ved utslipp på 8 m dyp vil avløpskyen nå bunn 400-500 m fra utslippspunktet, og utslippet vil da være fortynnet omtrent 5000 ganger (se **Figur 10**). I slike flomsituasjoner vil det være gunstig at utslippet ikke er lagt for dypt.



Figur 8. Avløpsstråler ved forskjellig utslippsdyp. Negative tall på x-aksen angir avstand fra utslippsrøret nedover elva, mens positive tall er avstand oppover elva.



Figur 9. Fortynning av avløpsvannet som funksjon av avstanden fra utslippsrøret. Negative tall på x-aksen angir avstand fra utslippsrøret nedover elva, mens positive tall er avstand oppover elva.

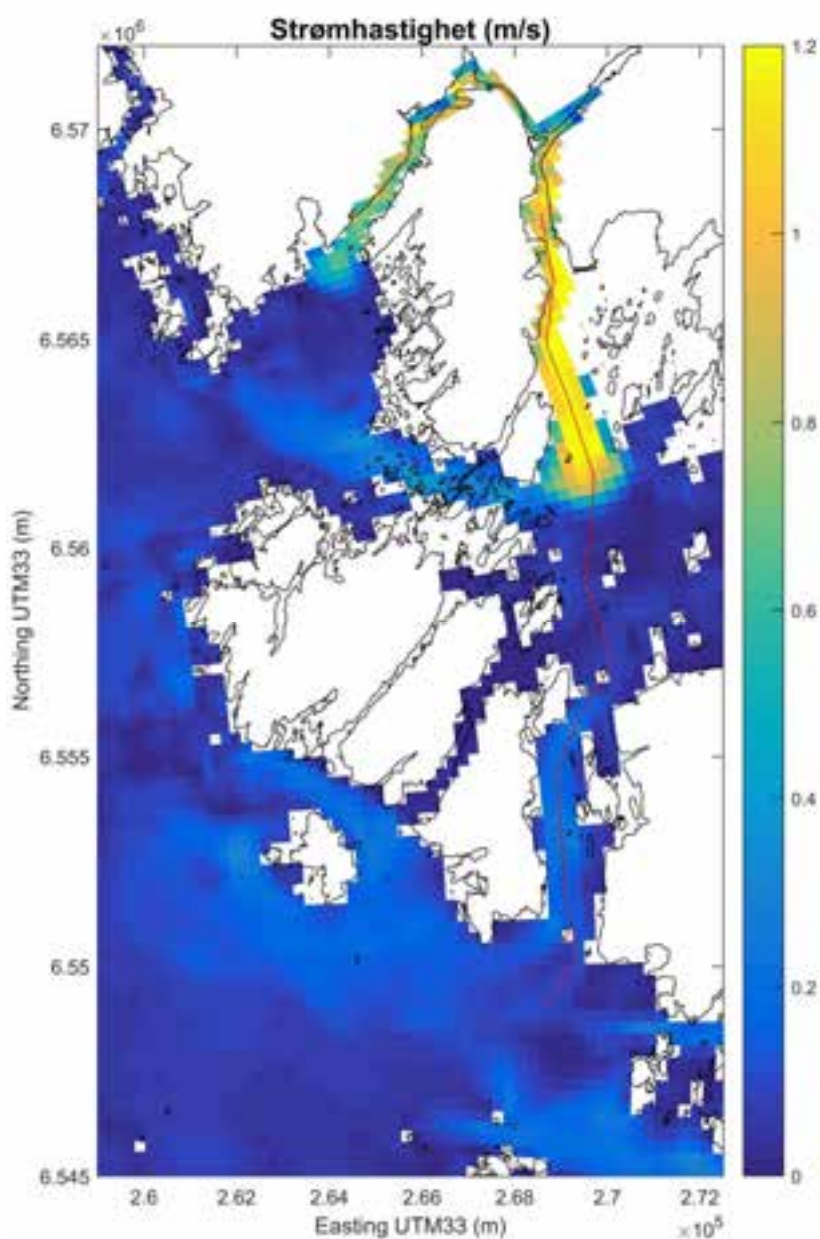


Figur 10. Avløpsstrålen i en flomsituasjon ved utslipp på 8 m.

Utslipet bør plasseres slik at det ikke kommer inn i inntaksledningene. Derfor bør det plasseres noen hundre meter nedstrøms i forhold til vanninntakene. I den delen av tidevannsyklusen hvor sprangsjiktet er grunnest kan noe av avløpsvannet enkelte ganger fraktes oppover elva. For å unngå påvirkning av inntaksvannet, bør utslippet plasseres et par meter grunnere enn inntaksdypet. Hvis utslippet plasseres på 6 m dyp, så vil det anslagsvis bruke 100 m på å synke to meter nedover, og det vil da være fortynnet omtrent 1000 ganger (se Figur 10).

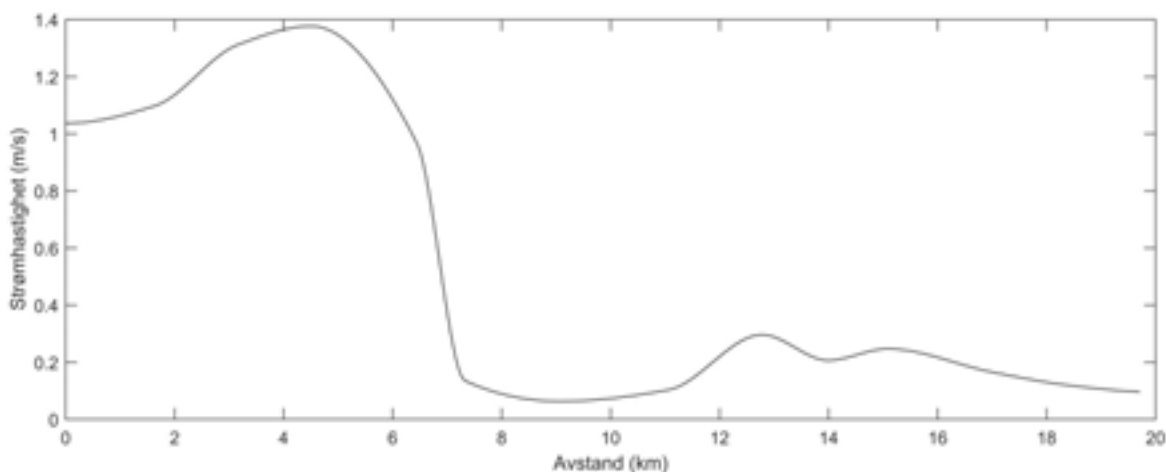
4. Spredning i Glommaestuariet

I et prosjekt finansiert av Regionalt Forskingsfond Oslofjorden utvikler Høgskolen i Buskerud og Vestfold, Meteorologisk Institutt og NIVA en ny havmodell for Oslofjorden (www.fjordos.no). Modellgriddet dekker hele Oslofjorden fra en linje som går fra Strømstad til Helgeroa og helt inn til Oslo og Drammen. Modellens horisontale oppløsning er omtrent 150 m i Glommaestuariet. Den veletablerte havmodellen ROMS benyttes (Haidvogel et al., 2008, Shchepetkin & McWilliams, 2005). Modellens inngangsdata er hentet fra operative modeller med grovere oppløsning, blant annet Norkyst-800 (Albretsen et al., 2011).



Figur 11. Strømhastigheten i overflatelaget i Glommaestuariet.

Figur 11 viser strømhastigheten i overflatelaget i Glommaestuariet basert på modellberegninger fra FjordOs modellen. Strømhastigheten i overflatelaget er rundt 1 m/s og høyere enn dette oppe i elva. På vei ut løperen er hastighetene på sitt laveste på omtrent 0.1 m/s mellom stasjon L6 og L14. Mellom stasjon L14 og L16 er strømmen høyere opp mot 0.25 m/s. En partikkel som slippes ut ved Fredrikstad Seafood vil bruke mellom 24 og 48 timer på å nå ut til stasjon L18 (se **Figur 14**), avhengig av hvordan transportveien er utover, og hvordan strømforholdene varierer. I **Figur 11** er det plottet en rød linje, og strømhastigheten langs denne linjen er vist i **Figur 12**. Transporttiden for en partikkel som blir fraktet utover langs denne linjen vil være 30 timer.



Figur 12. Typisk strømhastigheten i overflatelaget fra området utenfor Fredrikstad Seafood og helt ut til det åpne havområdet utenfor Løperen. Stasjon L18 (se **Figur 14**) befinner seg omtrent 20 km fra mulig utslippspunkt til Fredrikstad Seafood.

5. Beregning av oksygenforbruk

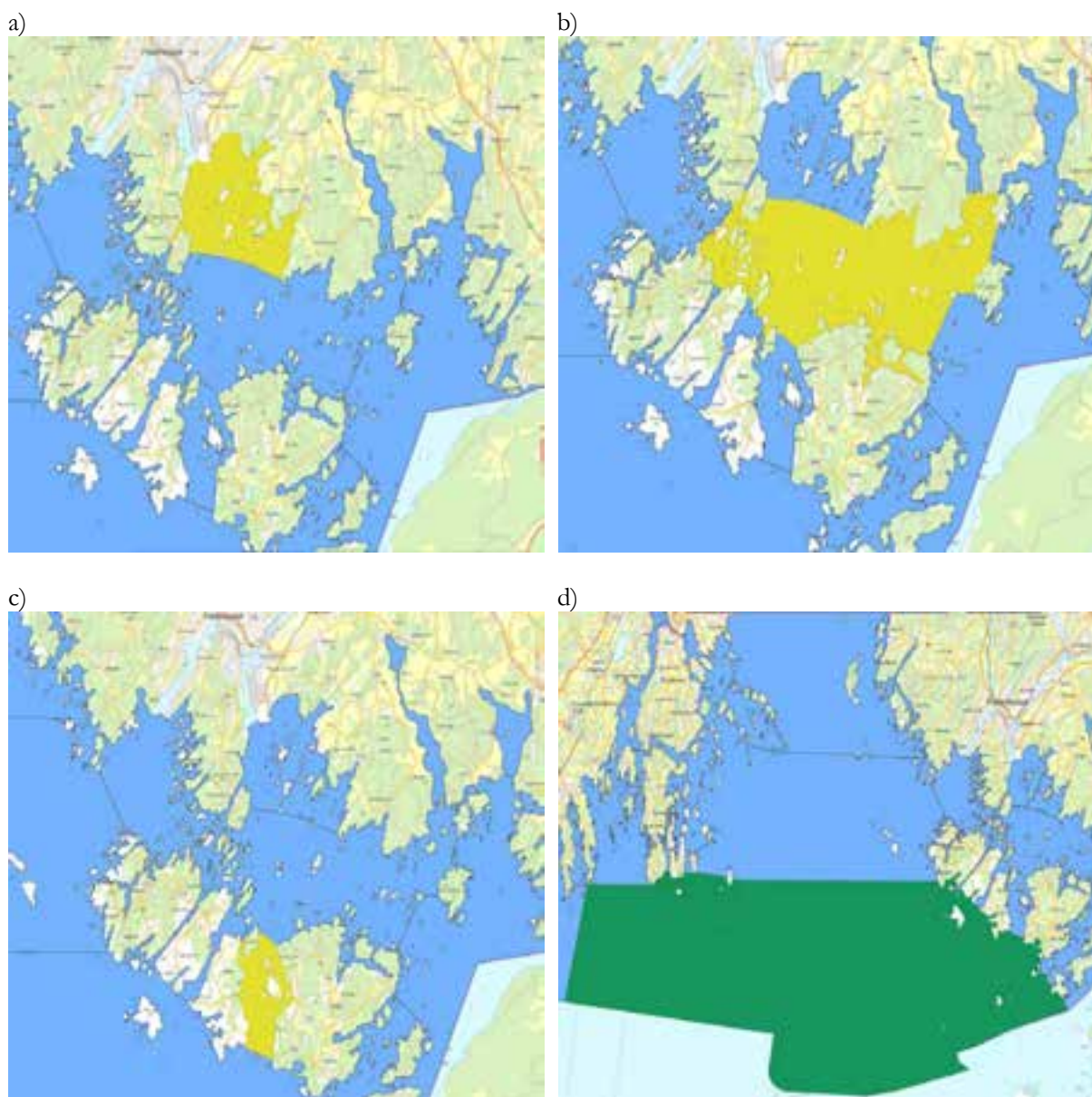
Anleggets fulle kapasitet når det er helt ferdig utbygd er 15 000 m³, men vannet vil resirkuleres. Det vil slippes ut 350 000 til 380 000 m³ vann årlig, som tilsvarer 11,2 til 12,0 L/s. Denne vannmengden vil inneholde 72 tonn nitrogen (TotN), 8 tonn fosfor (TotP) og organisk stoff med et biologisk og kjemisk oksygenforbruk (BOF) på 21 tonn oksygen årlig. I gjennomsnitt vil konsentrasjonen av nitrogen være 190 til 205 mg N/L, av fosfor 21 til 23 mg P/L og BOF 56 til 60 mg O/L. Saltholdigheten i anlegget vil ligge på 12 til 16 PSU (Practical salinity unit).

En personekvivalent (1 pe) tilsvarer et oksygenforbruk på 60 g pr døgn. Når BOF verdien fra Fredrikstad Seafood sitt utslipp gjøres om til samme enhet, så utgjør det et oksygenforbruk på litt mindre enn 60 kg pr døgn. Utslipet slik som det er beskrevet her, tilsvarer utslipp av organisk stoff fra omtrent 1000 personer (pe).

Det er viktig å unngå at utslippet havner i saltkilen, hvor det kan fraktes oppover elva å få en betydelig oppholdstid i Glomma. Hvis utslippet havner i ferskvannslaget vil oppholdstiden være lav, og det vil være høyt innhold av oksygen i vannet.

6. Eutrofiproblematikk

Hvalerområdet tilhører vannområdet Glomma sør for Øyeren og et utslipp ved Øraområdet helt i Glommas nedre del vil i hovedsak berøre de tre vannforekomstene Østerelva, Ramsøflaket-Østerelva og Løperen (**Figur 13** a, b og c), men også den østlige delen av vannforekomsten Torbjørnskjær utenfor Hvalerøyene (**Figur 13** d)). Vannforekomsten Østerelva tilhører vanntypen "Sterkt ferskvannspåvirket fjord" som er en vanntype som ikke inngår i det nasjonale klassifiseringssystemet for planteplankton (jfr. Veileder 02:2013). Søk i Vann-Nett, som er et nettbasert kartverktøy for bruk i forbindelse med vannforskriften, gir vannforekomsten Østerelva "Moderat" økologisk tilstand og er karakterisert som et risikoområde for eutrofi.



Figur 13. Vannforekomstene a) Østerelva, b) Ramsøflaket-Østerelva, c) Løperen og d) Torbjørnskjær markert med gult på kartutsnittene.

Den dårlige økologiske tilstanden har sammenheng med at spesielt konsentrasjonene av fosfat (PO₄) og totalt fosfor (Tot-P) er angitt å være høye, men med en lav pålitelighetsgrad i påvirkningsanalysen som ligger til grunn for vurderingen av den økologiske tilstanden. En gjennomgang av tilgjengelige rådata viser at et datasett fra stasjonen I3 i juni 2006 med uvanlig høye konsentrasjoner av fosfat (PO₄) og totalt fosfor (Tot-P), synes å være gitt stor betydning i analysen for bedømming av økologisk tilstand. Lite andre rådata fra perioden juni-august som klassifiseringen bygger på, gjør at det avvikende datasettet i stor grad påvirker grunnlaget for klassifiseringen av vannmassene. I og med at datasettet fra juni 2006 avviker sterkt fra resterende analyser av fosfat og totalt fosfor fra samme stasjon, er det her valgt å utelukke dette datasettet i beregningene for fastsettelse av tilstand.

For stasjonene I1 og I3 (jfr. **Figur 1**) som ligger i henholdsvis vannforekomsten Østerelva og Ramsøflaket-Østerelva er det gjennom Aquamonitor (www.aquamonitor.no) hentet eksisterende data for næringsalter. For I1 er beregningene gjort på grunnlag av data fra 2005-2006, mens fra I1 er det benyttet data fra 2008-2014. På denne bakgrunn er det utarbeidet en tabell som viser gjennomsnittlige næringsalt-konsentrasjoner for sommerperioden juni-august, og på bakgrunn av grenseverdier for de ulike næringsaltene er det gjennomført en klassifisering.

Tabell 4). Vannforekomsten Løperen inngår ikke i denne tabellen fordi det ikke eksisterer nødvendige næringsalt- og biomassedata fra denne vannforekomsten.

Tabell 4. Gjennomsnittsverdier for saltholdighet og næringsalter for perioden juni-august i 2006 på stasjon I3 og perioden juni-august i 2008-14 på stasjon I1. Verdien for klorofyll a angir 90-persentil. Klassifiseringen er gjort i samsvar med Veileder 2:2013. Fargene angir tilstandsklasse basert på næringsalter. Grønt = Tilstandsklasse II "God". Gult = Tilstandsklasse III "Moderat". Orange = Tilstandsklasse IV "Dårlig".

Vannforekomst	Stasjon	Parameter						
		Salt-holdighet (gj.snitt)	Klf. a (µg/l)	NH ₄ -N (µg N/l)	NO ₃ (µg N/l)	Tot-N (µg N/l)	PO ₄ (µg P/l)	Tot-P (µg P/l)
Østerelva	I3	12	-	32	195	407	6	18
Ramsøflaket-Østerelva	I1	12	3,5	-	119	364	4	15

Fastsettelse av økologisk tilstand i overflatevann fastsettes på grunnlag av det biologiske kvalitetselementet planteplankton, og i det norske klassifiseringssystemet benyttes foreløpig kun parameteren klorofyll a i klassifiseringssammenheng. Det er også viktig å være oppmerksom på at klassifiseringen ved bruk av klorofyll a gjøres etter beregning av 90-persentil for klorofyll a (ikke gjennomsnittsverdier eller lignende) og at det er stilt klare krav om antallet innsamlinger som skal gjennomføres per vekstsesong, frekvensen innsamlingene skal ha og at innsamlingene skal foregå over minimum 3 år. Vannforekomsten Østerelva er som tidligere nevnt, ligger i en vanntype som ikke inngår i klassifiseringssystemet for planteplankton. For vannforekomsten Ramsøflaket-Østerelva tilfredsstiller ikke frekvensen i innsamlingene kravene satt i Veileder 02:2013, men på grunn av at innsamlingene her har gått over mange år med relativt god fordeling over året, kan det til en viss grad sies å være forsvarlig å beregne 90-persentil for klorofyll a. Resultatet av beregningene viser at 90-persentilen for klorofyll a blir 3,5 µg chl.a/liter som i henhold til Veileder 02:2013 gir "God" tilstand (jfr. **Tabell 4**).

Fysisk-kjemiske kvalitetselement slik som næringsalter, siktedyp og oksygen er kun støtteparametere som kan nedgradere den økologiske tilstanden i overflatevann basert på planteplankton, dvs. per i dag på grunnlag av klorofyll a-målinger. Hvis den økologiske tilstanden basert på klorofyll a er "Svært god" eller "God", kan fysisk-kjemiske kvalitetselement kun nedgradere tilstanden en klasse. Det viktige skillet i

klassifiseringen, er skillet mellom "God" og "Moderat" tilstand fordi hvis den økologiske tilstanden i en vannmasse får klassifiseringen "Moderat", betyr det at det skal igangsettes tiltak. I

Tabell 4 framgår det at for vannforekomsten Ramsøflaket-Østerelva gir tre av fire støtteparametere tilstandsklasse "Moderat" og dermed vil klassifiseringen for fysisk-kjemiske kvalitetsselement basert på næringssalter gi tilstandsklasse "Moderat". Det betyr at den økologiske tilstanden i overflatevannet for Ramsøflaket-Østerelva nedgraderes fra "God" til "Moderat".

Vannforekomsten Østerelva tilhører, som tidligere nevnt, vanntypen "Sterkt ferskvannspåvirket fjord" som det ikke er utarbeidet klassifiseringsgrenser for når det gjelder planteplankton. Basert på næringssalt-konsentrasjoner får også denne vannforekomsten tilstandsklasse "Moderat".

For vannforekomsten Løperen finnes det ikke tilgjengelige data for klassifisering. Under et forskningsprosjekt gjennomført i Hvalerområdet ble det i 2001 foretatt prøver på en rekke stasjoner fra området ovenfor Gamlebyen i Fredrikstad (st. L1) og helt ut forbi Hvalerøyene (st. L18), jfr. **Figur 14** som viser et satellittbilde av den relative fordelingen av partikler. I **Figur 15** kan en se hvordan nitratmengden i overflatevannet avtar samtidig som saltholdigheten øker etter hvert som vannet beveger seg utover fra nedre del av Glomma til havområdet utenfor Hvalerestuarieret. Samtidig som det ble tatt prøver for analyse av næringssalter, ble prøver for analyse av klorofyll a som er et indirekte mål for algebiomasse. Dette ble gjort for å se hvordan den tilførte næringen fra Glomma påvirket planktonalgeveksten utover i Hvalerestuarieret. **Figur 16** viser utviklingen av klorofyll a på 1 meter dyp i vannet mens det transporteres utover mot kyststrømmen. Klorofyll a-utviklingen viser at det ikke skjer noen algevekst under vanntransporten ut mot det åpne havområdet utenfor Hvaler. Det er først der hvor det dannes en frontsoner mellom Glommavann og kystvann at algeveksten skjer med oppbygging av algebiomasse og samtidig som næringssaltene forbrukes. Biotestforsøk gjennomført i 2001 viste at planteplanktonets vekst var fosforbegrenset både på L15 og L18. Dette tyder på at økte tilførsler av fosfat vil øke algeveksten i frontområdet utenfor Hvalerestuarieret.

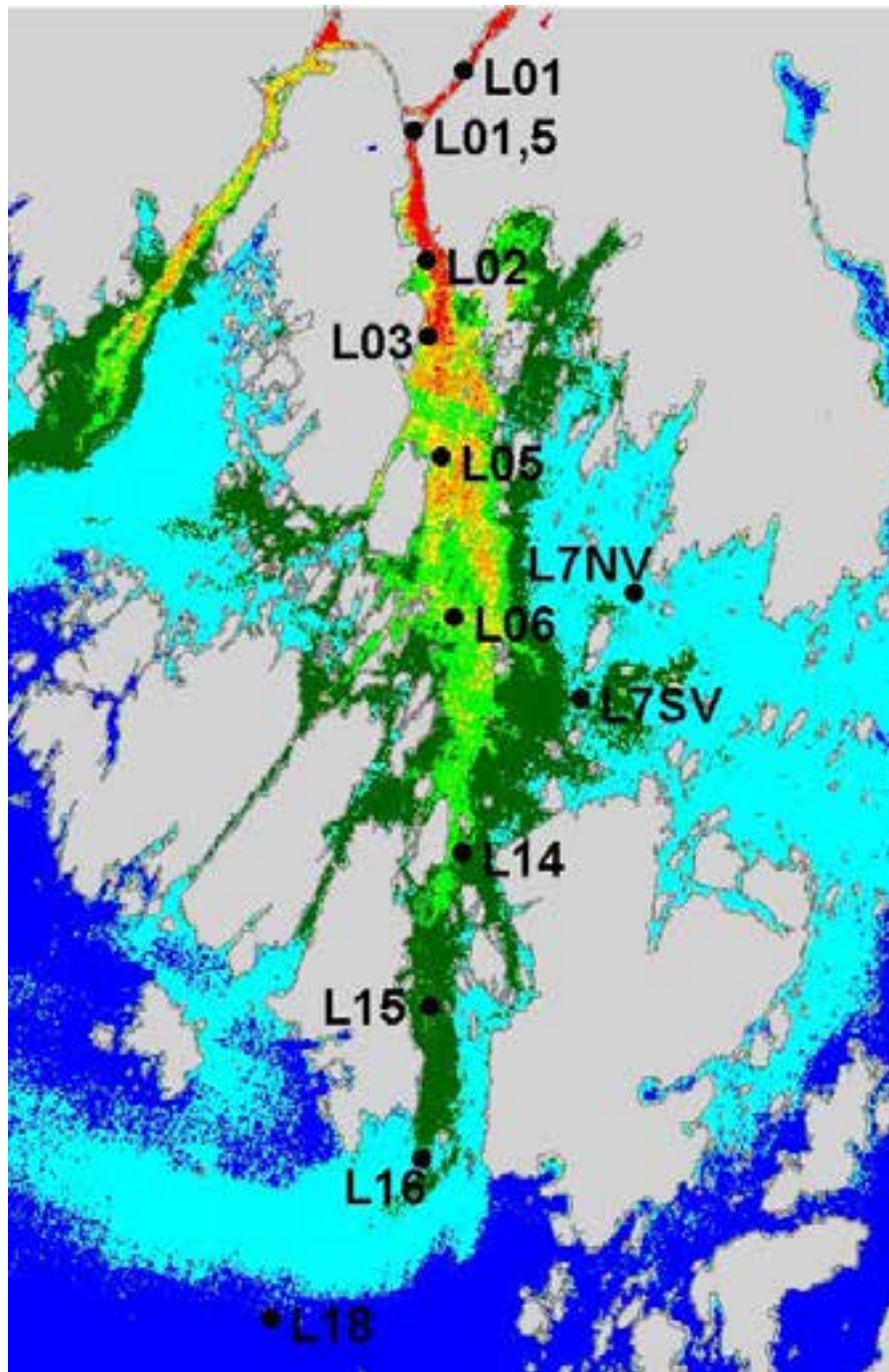
Vannets hastighet fra L01 til L03 er hastigheten målt til 1 m/s, deretter og ut mot Løperen avtar den til 0,1 m/s for så å øke igjen i Løperen til 0,25 m/s (se **Figur 11** og **Figur 12**). På grunnlag av dette er det beregnet at vannet transporteres fra L01 til L18 i løpet av 24-48 timer. På så kort tid klarer ikke planteplanktonet å ta opp og omsette næringssaltene som Glommavannet fører med seg og det er en av grunnene til at en ikke ser noen økning i algebiomasse målt som klorofyll a.

Dette sammen med at Glommavannet inneholder mye partikler som gjør det lite gjennomskinnelig. Alger er avhengige av lys for å gjennomføre sin primærproduksjon. Som en hovedregel sier en at algene har positiv primærproduksjon (produksjonen er høyere enn respirasjonen) ned til det dypet hvor bare 1 % av overflatelyset er igjen. Denne sonen kalles eufotisk sone. I **Figur 17** ser en at den eufotiske sonen ned til stasjon L6 var mindre eller lik ca. 4 m, men på stasjon L18 hadde den eufotiske sonen økt til det dobbelte. Dette betyr at det teoretisk sett kan foregå en oppbygging av algebiomasse kun i de øvre 4 meterne av vannsøylen de første 10 kilometerne på veien ut mot kyststrømmen. Dette sammen med at det er turbulent vann som hvirvler algene rundt i vannmassene, er en annen årsak til at det ikke skjer en oppbygging av algebiomasse gjennom estuarieret.

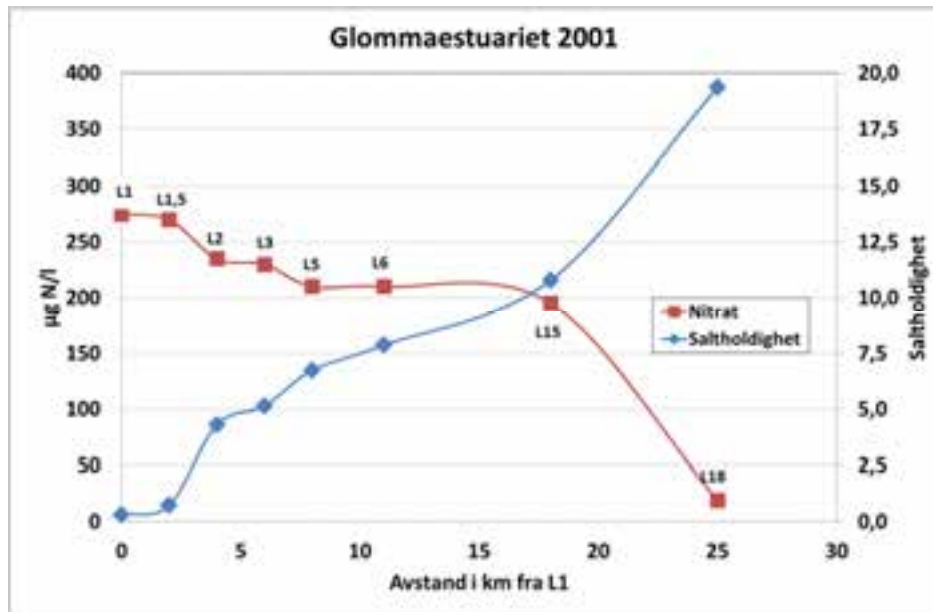
En siste årsak til at det ikke skjer en oppbygging av algebiomasse i det utstrømmende Glommavannet, er at vannet fører med seg ferskvannsalger som ikke kan vokse i marint miljø. Det betyr at ferskvannsalgene dør på vei utover i Hvalerestuarieret etter hvert som saltholdigheten øker. Etter hvert som saltvann blandes med ferskvann fra Glomma, tilføres marine alger, og disse algene vokser dårlig ved lave saltholdigheter. Når Glommavannet møter kyststrømmen og danner en front, vil saltholdigheten ha økt så mye at saltholdighetskravet til de marine planktonalgene er tilfredsstillt.

Samlet sett betyr dette at betydelige utslipp av oppløste næringssalter til det øvre vannlaget i den nedre delen av Glomma vil påvirke næringssaltkonsentrasjonene i det utstrømmende vannet, men vil normalt i liten grad påvirke planktonalgenes biomasse i vannmassene som transporteres ut mot kyststrømmen. Først når det næringssaltrike Glommavannet treffer kyststrømmen utenfor Hvalerestuarieret, vil det dannes

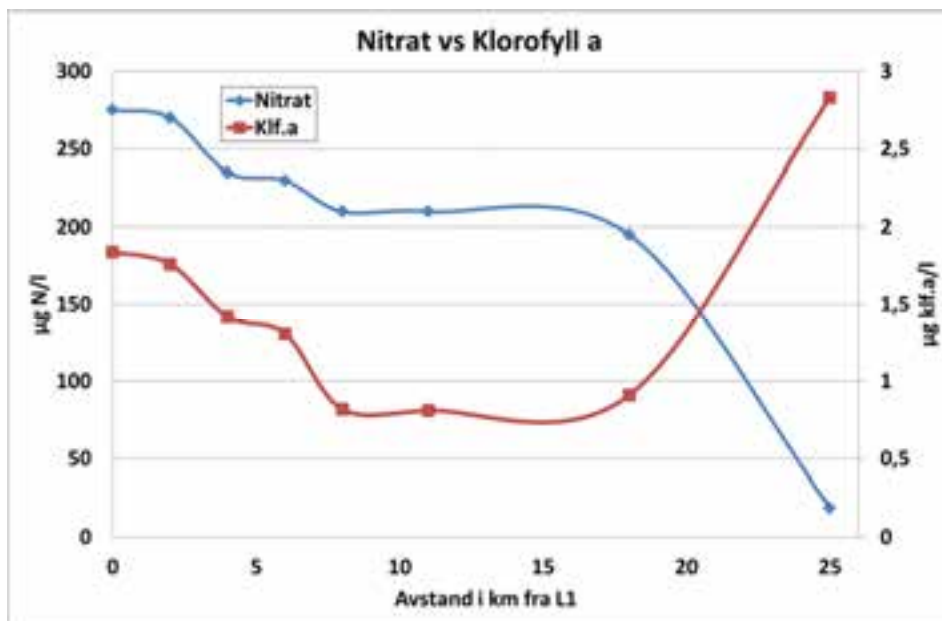
en front hvor vannets transporthastighet reduseres betydelig og algene vil da opp og omsette næringssaltene til algebiomasse, og jo mer næringssalter, dess mer alger vil det bli produsert. Denne produksjonen vil imidlertid skje i åpent havområde utenfor Hvalerestuarieret hvor havstrømmer og strømmer dannet av vind vil transportere algene bort fra området samtidig som det skjer en fortykning.



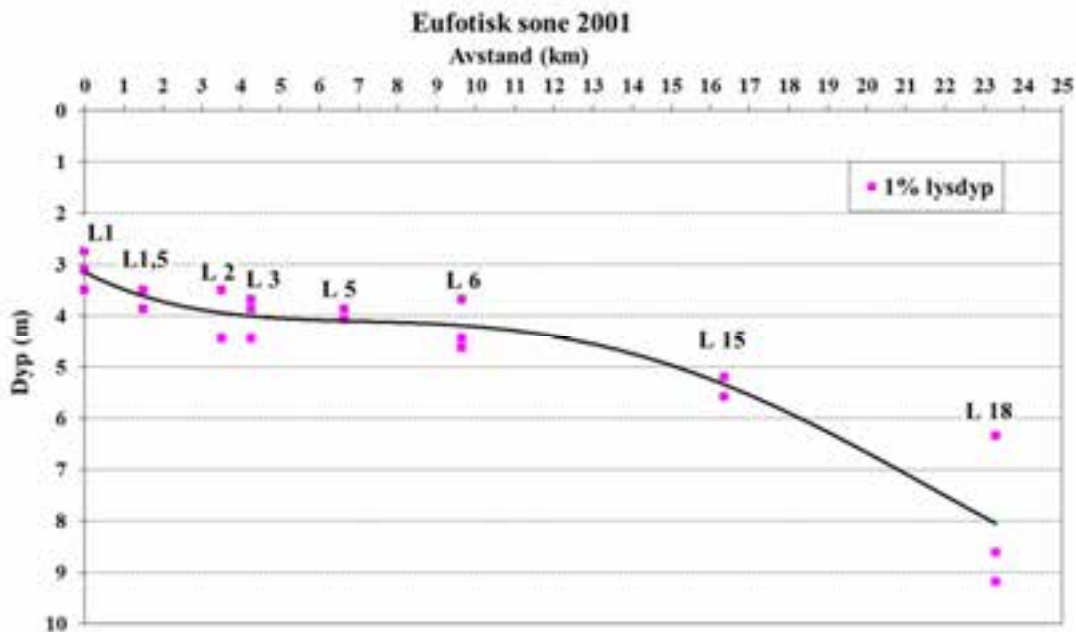
Figur 14. Glommaestuarieret med markering av prøvetakingsstasjoner under forskningsprosjekt i 2001. Fargeskalaen viser relative fordeling av partikler i overflaten basert på satellittmålinger. Stasjoner fra ASTRI prosjektet er markert. Stasjon I-1 befinner seg litt nordvest for stasjon L7SV.



Figur 15. Nitratkonsentrasjoner og salinitet på 1 m dyp fra stasjon L1 ved Gamlebyen i Fredrikstad til L18 utenfor Hvalerøyene 14. juni 2001.



Figur 16. Utviklingen av nitrat og klorofyll a på 1 m dyp fra stasjon L1 ved Gamlebyen i Fredrikstad til L18 utenfor Hvalerøyene 14. juni 2001.



Figur 17. Eufotisk sone fra L1 til L18 juni 2001. Data er fra ASTRI prosjektet.

7. Samlet vurdering

Et utslipp i Glomma bør legges så dypt ned i ferskvannslaget som mulig. Det er ingen fordel å legge det i saltvannskilen fordi det tidvis kan føre til at partikler blir fraktet oppover i elva i kompensasjonsstrømmen. Det vil føre til økt risiko for at avløpsvannet havner langs bunnen i elva og oppholdstiden i elva øker med økt fare for sedimentering av partikler. Fordi sprangsjiktets dybde varierer mye i løpet av tidevannsyklusen og påvirkes av varierende vannføring i Glomma, anbefales det et utslippsdyp på omtrent 6 til 8 meter.

Ved et utslipp i Glomma må både lokale effekter og effekter ute i Glommaestuarier vurderes. Effektene nær utslippspunktet vil særlig være knyttet til partikulært organisk materiale som kan synke ned til bunnen og føre til økt oksygenforbruk når dette materialet nedbrytes. Effekter ute i estuarier vil være knyttet til eutrofiprosblematikk. Overvåkning av vannforekomstene utenfor Østerelva viser at disse sannsynligvis har moderat økologisk tilstand på grunn av relativt høye nærings salt-konsentrasjoner.

Løste næringsalter vil fraktes utover med ferskvannet fra Glomma, og etter hvert nå områder utenfor Hvalerøyene hvor vekstforholdene for planteplankton er gunstige. Her vil algene omsette nærings saltene og resultere i en oppbygging av algebiomasse. På grunn av den korte transportveien ut gjennom estuarier, de turbulente forholdene som virvler algene rundt i vannmassene og de svake lysforholdene på grunn av partikler i elvevannet, vil ikke økt tilførsel av nærings salt føre til økt algevekst før i området utenfor Løperen.

Utslipet til Fredrikstad Seafood vil i liten grad bestå av partikulært materiale. **Tabell 5**, som gir en sammenstilling av utslippet sammenlignet med tilførselen fra Glomma og de to renseanleggene for kommunalt avløpsvann fra Fredrikstad (Frevær) og Sarpsborg (Alvim), viser at mengden organisk materiale som vil slippes ut, er relativt lavt. Mengden organisk materiale fra Fredrikstad Seafood vil utgjøre 1000 p.e., mens de to renseanleggene til sammen slipper ut organisk materiale tilsvarende ca. 34.000 p.e.

Om den samme mengden fisk skulle produseres i en åpen merd uten rensing, ville det slippes ut organisk stoff tilsvarende omtrent 85.000 p.e., basert på tall fra Klima- og forurensningsdirektoratet (2010).

Fordi det vil være lite partikler i utslippet til Fredrikstad Seafood og fordi avløpsvannet vil innlagres i nedre del av ferskvannslaget og fraktes utover med vann hvor det er høy oksygenkonsentrasjon, vurderes faren for redusert oksygenkonsentrasjon i saltkilen som følge av utslippet, som liten. Partikler i utslippet vil fjernes med et filter med maskevidde på 50 µm, og det vil derfor liten risiko for nedslamming nær utslippet.

Mengden total nitrogen som vil slippes ut fra Fredrikstad Seafood, vil tilsvare omtrent halvparten av den mengden som slippes ut fra Frevar, og omtrent 0,5 % av det som kommer med Glomma. Biotestforsøk har vist at planteplanktonet ute i Glommaestuarier er fosforbegrenset, og det vil således være viktigst å rense avløpet for fosfor framfor nitrogen. Det er i denne rapporten tatt utgangspunkt i to alternativer for fosforrensing på utslippet til Fredrikstad Seafood (se **Tabell 5**). I alternativ 1 vil mengden total fosfor som slippes ut, utgjøre hele 86 % av mengden som slippes ut fra de to rensianleggene for kommunalt avløpsvann til sammen. Av de to alternativene i **Tabell 5** anbefaler vi alternativ 2 hvor det slippes ut omtrent 11,8 kg P/døgn.

Siden planteplanktonet utenfor Løperen er fosforbegrenset, vil økt tilførsel av fosfor sannsynligvis gi økt algeproduksjon. Men siden tilførselene fra rensianleggene sammen med utslippet fra Fredrikstad Seafood er relativt små i forhold til tilførselen fra Glomma, vil det være vanskelig å påvise eller beregne nøyaktig hvor stor denne økningen vil bli. Økningen i vekst av planteplankton vil i alle tilfeller forekomme i områder hvor vannet vil fraktes videre utover i havområdet og fortynnes med kyststrømmen.

Tabell 5. Sammenstilling av nøkkeltallene til tilførsel av næringssalter og organisk stoff fra flere kilder. (* mangler data)

Parameter	Glomma (antar 700 m ³ /s)	Frevar	Alvim	Fredrikstad Seafood alt. 1	Fredrikstad Seafood alt. 2
TotN	44 tonn N /d	0,44 tonn N/d	*	0,21 tonn N/d	0,21 tonn N/d
TotP	1,3 tonn P/d	17,6 kg P/d	8,9 kg P/d	22,8 kg P/d	11,8 kg P/d
BOF5	200 tonn O ₂ /d	1.300 kg O ₂ /d	753 kg O ₂ /d	60 kg O ₂ /d	60 kg O ₂ /d
p.e.	3,3 millioner	21.700	12.600	1.000	1.000
NH4	1,6 tonn N/d	*	*	7,7 kg N/d	7,7 kg N/d

Referanser

Albretsen, J., Sperrevik, A., Staalstrøm, A., Sandvik, A., Vikebø, F., & Asplin, L. (2011). NorKyst-800 Report No. 1, User Manual and technical descriptions. Fisken og Havet, 2-2011, 46 sider.

Frick, W., Baugartner, D., Davis, L., George, K., & Roberts, P. (2001). Dilution Models for Effluent Discharges. Athens Georgia, USA: Environmental Division US. Environmental Protection Agency.

Haidvogel, D. B. et al. (2008). Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modelling system. *J. Comput. Phys.*, 227(7), 3595-3624.

Klima- og forurensningsdirektoratet. (2010). Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø . TA-2749.

Shchepetkin, A.F., & McWilliams, J. (2005). The Regional Ocean Modelling System (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following coordinate ocean model. *Ocean Modelling*, 9, 347-404.

Nygaard, Solheim, Andersen, Oredal, Sørensen, Høkedal, Tobiesen, Lømsland, Johnsen, Helland og Bjerkeng (2004) Sluttrapport – Strategisk institutt program 1999-2003 (ASTRI). Prosjekt 131657/S30, datert 31. mars 2004.

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 • post@niva.no