

Vurdering av oksygenforholdene i resipienten til utslippet fra GE Healthcare Lindesnes



CORRIGENDUM

Korreksjon av den elektroniske versjonen av “Vurdering av oksygenforholdene i resipienten til utslippet fra GE Healthcare Lindesnes.” (NIVA RAPPORT 7085-2016).

Det ble i oktober 2017 oppdaget av GE Healthcare, Lindesnes Fabrikker, at det i den fysiske modelleringen av utslippets innblanding i resipienten var brukt feil diameter (0,6 m) på utslippsløpet. En slik feil medfører at alle videre beregninger og vurderinger er basert på feil grunnlag. Denne rapporten, basert på rørdiameter 0,2 m, er derfor en korrigeret og oppdatert versjon av tidligere rapport med samme rapportnummer.

Side 5: Sammenlignet med den første versjonen av denne rapporten er primærfortynning endret fra 41-710x til 76-609x, innlagringens avstand fra utslippspunktet er endret fra 5-80 m til 12-60 m, samt at innlagringsdypet har økt fra 35-23 m til 38-27 m.

Side 9: Tabell 2 er oppdatert med riktig rørdiameter (0,2 m).

Side 17: Tabell 5 er oppdatert med riktig rørdiameter (0,2 m).

Side 23 og 24: Figurer av innlagring og fortynning er oppdatert etter nye beregninger.

Side 25: Tabell 7 og Tabell 8 er oppdatert etter nye beregninger.

Side 26: Figur 13 er oppdatert etter nye beregninger.

Side 27: Figur 14 er ny.

Side 28: Beregningene viste at til tross for det relativt store utslippet av acetat, så er nedbrytningsraten så lav i forhold til fortynningshastigheten at oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet. Under lite gunstige hydrografiske forhold med langsom fortynning av utslippet, vil det kunne observeres en nedgang i oksygenkonsentrasjon i nærheten av utslippspunktet slik det ble gjort i januar 2016. Beregnet O₂ avvik basert på den gitte nedbrytningshastigheten og beregnet spredning og fortynning av utslippet var i samme størrelsesorden som feltmålingene av O₂ viste.

Selv om oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet, så vil acetatkonsentrasjonen være høy og mye høyere enn den naturlige konsentrasjonen i sjøvann. Acetat er en lett tilgjengelig energikilde for mikroorganismer og utslippet kan dermed øke sekundærproduksjonen i området. Dette kan være en viktigere konsekvens av en fremtidig utslippøkning enn økningen av oksygenforbruket. I fremtidig prøvetakning vil det være hensiktsmessig å få målt acetatkonsentrasjonen for å dokumentere utbredelsen av det påvirkede området.

I de oppdaterte beregningene har blant annet innlagringdypet endret seg til en dypere innlagring enn beregningene i den tidligere versjonen viste, og ingen av scenarioene hadde gjennomslag til overflaten. Korreksjon av NIVA RAPPORT 7085-2016 har likevel ikke medført store endringer i konklusjonen

Hamar, 08.11.2017

Anna Birgitta Ledang

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

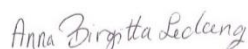
Tittel Vurdering av oksygenforholdene i resipienten til utslippet fra GE Healthcare Lindesnes.	Løpenr. (for bestilling) 7085-2016	Dato 23.09.2016
	Prosjektnr. Undernr. 15425	Sider Pris 30
Forfatter(e) Anna Birgitta Ledang Morten Schaanning	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) GE Healthcare Lindesnes Fabrikker	Oppdragsreferanse Siri Osestad
---	-----------------------------------

Sammendrag

Rapporten presenterer resultater fra en resipientundersøkelse for GE Healthcare Lindesnes utenfor Ramslandsvågen, Lindesnes, i 2016. Formålet var å undersøke i hvilken grad et acetatutslipp på 2445 tonn/år påvirker oksygenkonsentrasjonen i området. Sammenlignet med de omgivende vannmassene ble det i januar 2016 observert noe lavere konsentrasjoner av O₂ i en avstand på 100 m fra utslippspunktet. Den observerte reduksjonen på inntil 0,7 ml O₂/l var i relativt god overenstemmelse med den forventede reduksjonen som følge av nedbrytning av acetat i utslippsskyen med gitt nedbrytningshastighet på 0,1131/dag. Økt utslippsvolum vil kunne gi høyere konsentrasjon av acetat og økt oksygenforbruk i området rundt utslippspunktet, men vannutskiftingen er god og fortynningshastigheten tilstrekkelig til at betydelig oksygenmangel ikke vil oppstå i resipienten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Mandal-Lindesnes	1. Mandal-Lindesnes
2. Oksygenforbruk	2. Oxygen demand
3. Fjorddynamikk	3. Fjord dynamics
4. Utslipp	4. Discharge



Anna Birgitta Ledang

Prosjektleder



Kai Sørensen

Forskningsleder

**Vurdering av oksygenforholdene i resipienten til
utslippet fra GE Healthcare Lindesnes.**

Forord

NIVA fikk forespørsel av GE Healthcare, Lindesnes Fabrikker, ved Siri Osestad datert 8.10. og 3.12.2015 om å gi et tilbud på en resipientundersøkelse i forbindelse med bedriftens utslipp utenfor terskelen til Ramslandsvågen. En kontrakt mellom bedriften og NIVA ble signert 23. februar 2016.

Feltmålingene ble utført av Jarle Håvardtun og André Staalstrøm i januar 2016 og av Lise Ann Tveiten og undertegnede i februar 2016.

Analysene av oksygenprøvene ble utført ved NIVAs kjemilaboratorium NIVALab.

Undertegnede har hatt ansvaret for gjennomføringen av undersøkelsen og den fysiske modelleringen av utslippets innblanding i resipienten. Medforfatter Morten Schaanning har bistått med den kjemiske modelleringen og utarbeidelse av rapporten.

Kontaktperson ved bedriften har vært Siri Osestad.

Det ble i oktober 2017 oppdaget av GE Healthcare, Lindesnes Fabrikker, at det i den fysiske modelleringen av utslippets innblanding i resipienten var brukt feil diameter (0,6 m) på utslippsløpet. En slik feil medfører at alle videre beregninger og vurderinger er basert på feil grunnlag. Denne rapporten, basert på rørdiameter 0,2 m, er derfor en korrigert og oppdatert versjon av tidligere rapport med samme rapportnummer.

Hamar, 8. november 2017

Anna Birgitta Ledang

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
2. Materiale og metoder	10
2.1 Introduksjon	10
2.2 Nedbrytning av acetat	12
2.3 Datainnsamling og analyser	14
2.4 Strømforholdene	14
2.4.1 Innlagring og fortynning	16
3. Resultater og diskusjon	18
3.1 Oksygenmålinger	18
3.2 Modellberegninger	21
4. Oppsummering og konklusjon	28
5. Referanser	29
Vedlegg A.	30

Sammendrag

GE Healthcare AS (tidligere Amersham Health AS og før det Nycomed Amersham) startet med produksjon av røntgenkontrastmidler i 1973 og frem til 1986 ble avløps- og kjølevann ledet ut i Ramslandsvågen. For å lette belastningen fra oksygenforbrukende organiske stoffer ble det etablert i 1986 et nytt utslippssted på 40 m dyp utenfor terskelen til Ramslandsvågen. Produksjonsprosessen til bedriften medfører at acetat inngår som en vesentlig del av utslippet.

I 2008 ble det gjennomført en resipientundersøkelse av DNV for å vurdere om utslippet på dette tidspunktet hadde en effekt på oksygenivået i resipienten, og resultatet viste at oksygenivået ikke så ut til å være påvirket. I 2013 ble det av NIVA gjennomført en resipientundersøkelse som bl.a. viste oksygenminimum på 30-40 m dyp på alle stasjoner bortsett fra en referansestasjon og det ble anbefalt regelmessig oksygenmålinger.

NIVA har i 2016 gjennomført nye undersøkelser for å se på mulige effekter på oksygenkonsentrasjonen i området rundt utslippspunktet. I januar og i februar 2016 ble det tatt en rekke oksygenprofiler i området og det ble ved hjelp av modellverktøyet Visual Plumes (VP) gjort beregninger av oksygenforbruk i utslippsskyen etter innlagring og fortykning.

Utslipet skjer i pulser på 5 minutter med 15 minutters pause mellom hver puls. Utslippshastigheten er på 105-120 m³/time som gir et totalt utslipp på ca. 30 m³/time. Utslipet har en konsentrasjon av acetat på 11,3 g/l. Beregninger av fortykning og innlagring er gjort med modellverktøyet VP for dagens utslipp på 2445 tonn acetat/år, samt for to potensielle tilfeller med økte utslipp til hhv 6000 tonn/år og 9200 tonn/år.

I januar 2016 ble det observert et negativt avvik på vertikalprofilen for oksygen som ble tilskrevet nedbrytning av acetat fra utslippet. Avviket på inntil 0,7 ml O₂/l ble observert i en avstand på 100 m fra utslippspunktet. Tilstanden ville likevel blitt klassifisert som Svært god ifølge Veileder 02: 2013. I februar var det kun en stasjon like ved utslippspunktet (GE0) som hadde redusert oksygenkonsentrasjon.

For dagens utslipp på 2445 tonn/år, med et antall empiribaserte hydrografiske scenarier og horisontal strøm mellom 5 cm/s og 15 cm/s, beregnet VP innlagring mellom 27 m og 38 m dyp i avstand 12 m til 60 m fra utslippspunktet med en primærfortynning som varierer mellom 76x og 609x. Disse intervallene gjelder for sentrum av utslippsskyen. Det grunneste dypet ytterkanten av utslippsskyen vil nå, ble beregnet til å være mellom 15 og 20 m. Konsentrasjonen av acetat ved innlagring vil være mellom 19 og 148 mg/l. Videre fortykning (og nedbrytning) viste konsentrasjoner mellom 18 og 113 mg/l i avstand 100 m fra utslippspunktet. Det vil si at den forventede minste fortykningen ved innlagring for dagens utslipp med de gitte forutsetningene vil være på 76x med acetatkonsentrasjon på 148 mg/l, og 100 m fra utslippspunktet 100x med en konsentrasjon på 113 mg/l.

Sammenlignet med den første versjonen av denne rapporten er primærfortynning endret fra 41-710x til 76-609x, innlagringens avstand fra utslippspunktet er endret fra 5-80 m til 12-60 m, samt at innlagringsdypet har økt fra 35-23 m til 38-27 m.

Med en potensiell økning til 6000 tonn/år eller 9200 tonn/år, så vil den beregnede konsentrasjonen av acetat endres noe. Ved innlagring vil den være mellom 21 og 136 mg/l for 6000 tonn og mellom 22 og 115 mg/l for 9200 tonn. Ved en avstand på 100 m fra utslippspunktet er konsentrasjonen estimert til å være mellom 21 og 113 mg/l for 6000 tonn og mellom 22 og 102 mg/l for 9200 tonn.

Beregningene viste at til tross for det relativt store utslippet av acetat, så er nedbrytningsraten så lav i forhold til fortykningshastigheten at oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet. Under lite gunstige hydrografiske forhold med

langsom fortynning av utslippet, vil det kunne observeres en nedgang i oksygenkonsentrasjon i nærheten av utslippspunktet slik det ble gjort i januar 2016. Beregnet O_2 avvik basert på den gitte nedbrytningshastigheten og beregnet spredning og fortynning av utslippet var i samme størrelsesorden som feltnålingene av O_2 viste.

Selv om oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet, så vil acetatkonsentrasjonen være høy og mye høyere enn den naturlige konsentrasjonen i sjøvann. Acetat er en lett tilgjengelig energikilde for mikroorganismer og utslippet kan dermed øke sekundærproduksjonen i området. Dette kan være en viktigere konsekvens av en fremtidig utslippøkning enn økningen av oksygenforbruket. I fremtidig prøvetakning vil det være hensiktsmessig å få målt acetatkonsentrasjonen for å dokumentere utbredelsen av det påvirkede området.

Summary

Title: Assessment of the oxygen conditions in the discharge recipient from GE Healthcare Lindesnes.

Year: 2016

Author: Anna Birgitta Ledang and Morten Schaanning

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6820-1

GE Healthcare AS (formerly Amersham Health AS and before that Nycomed Amersham) started with the production of X-ray contrast agents in 1973 to 1986, with waste water and cooling water led into Ramslandsvågen. To lighten the load of oxygen consuming material, a new discharge location at 40 m depth was established in 1986 outside the sill of Ramslandvågen. The same discharge location is used today, and acetate is a significant part of the discharge.

In 2008, a recipient survey of DNV was conducted to assess whether the discharge at that time had an effect on the oxygen level in the recipient and the result showed that the oxygen level did not seem to be affected. In 2013, a recipient survey was carried out by NIVA. This survey showed oxygen minimum at 30-40 m depth on all stations except a reference station and therefore regular sampling of oxygen measurements were recommended.

In 2016, NIVA conducted a new survey to look at possible effects on the oxygen concentration in the area around the emission point. In January and February 2016, a number of oxygen profiles were taken in the area and calculations of oxygen consumption in the emission cloud were estimated with the use of the modelling tool Visual Plumes (VP).

The discharge occurs in pulses of 5 minutes with a 15-minute break between each pulse. The emission rate is 105-120 m³/hour which gives a total emission of approx. 30 m³/hour. The emission has a concentration of acetate of 11.3 g/l. Calculations of the dilution and the vertical ascent of the plume have been done for today's emissions of 2445 tons/year of acetate, as well as for two potential cases with increased emissions to 6000 tons/year and 9200 tons/year.

In January 2016 a negative deviation of the vertical profile of oxygen was measured which was assumed related to the degradation of acetate from the discharge. The deviation of up to 0,7 ml O₂/l was observed around 100 m from the emission point. This oxygen condition would still be classified as Very Good according to the Veileder 02:2013. In February, there was only one station close to the emission point (GE0) that had reduced oxygen concentration.

For today's emissions, for several empirically-based hydrographic scenarios and horizontal currents between 5 cm/s and 15 cm/s, the VP tool calculated the vertical ascent of the discharge plume to reach between 27 m and 38 m depth, 12 m to 60 m from the emission point with a primary dilution ranging between 76x and 609x. These intervals apply to the center of the emission cloud. The shallowest depth the outer edge of the emission cloud would reach was estimated to be between 15 and 20 m. The concentration of acetate between 27 and 38 m depth will be between 19 and 148 mg/l. Further dilution (and degradation) showed concentrations between 18 and 113 mg/l at 100 m from the emission point.

Compared to the first version of this report, primary dilution has changed from 41-710x to 76-609x, storage distance from the emission point has changed from 5-80 m to 12-60 m, and the vertical ascent of the plume decreased from 35-23 m to 38-27 m.

With a potential increase of 6000 tons/year or 9200 tons/year, the calculated concentration of acetate will change. When reaching final depth after the vertical ascent of the discharge plume, the concentration will be between 21 and 136 mg/l for 6000 tons/year and between 22 and 115 mg/l for 9200 tons/year. At 100 m from the emission point, the concentration is estimated to be between 21 and 113 mg/l for 6000

tons/year and between 22 and 102 mg/l for 9200 tons/year.

Calculations showed that despite the relatively large discharge of acetate, the degradation rate is so low in relation to the dilution rate that the oxygen consumption will not be large enough to give a significant change in the oxygen concentration in the emission area. Under low favorable hydrographic conditions with slow dilution of the emissions, a decrease in oxygen concentration near the emission point could be observed, as done in January 2016. Calculated O₂ deviations based on the given decomposition rate and calculated dispersion and dilution of the emissions were of the same order of magnitude as the field measurements of O₂ showed.

Although the oxygen consumption will not be large enough to allow a significant change in oxygen concentration, the acetate concentration will be high and much higher than the natural concentration in seawater. Acetate is an easily accessible source of energy for microorganisms and the discharge can thus increase secondary production in the area. This could be a more important consequence of a future emission increase than the increase in oxygen consumption. In future sampling, it would be advisable to measure the acetate concentration to document the extent of the affected area.

1. Innledning

GE Healthcare AS (tidligere Amersham Health AS og før det Nycomed Amersham), heretter kalt bedriften, startet med produksjon av røntgenkontrastmidler i 1973 og frem til 1986 ble avløps- og kjølevann ledet ut i Ramslandsvågen (**Figur 1**). Det ble i 1985 påvist at utslippene av organiske stoffer førte til et betydelig oksygenforbruk (A/S Miljøplan, 1986) og for å lette belastningen ble det i 1986 etablert et nytt utslippssted på 40 m dyp utenfor terskelen til Ramslandsvågen. Gjennom produksjonsprosessene ved bedriften oppstår eddiksyre, som ved en pH typisk for sjøvannet vil uttrykkes som acetat, som en vesentlig del av utslippet. Acetat er et nedbrytbart stoff som vil kunne medføre øket oksygenforbruk i vannmasser påvirket av utslippet. Nedbrytsraten er i dette arbeidet antatt til å være på 0,1131 /dag og er oppgitt av bedriften.

Det er tidligere (2008) gjennomført en resipientundersøkelse av DNV for å vurdere om utslippet hadde effekt på oksygenivået i resipienten. Resultatet viste at oksygenivået i denne undersøkelsen ikke så ut til å være påvirket av utslippet (Garman og Glette, 2008).

I 2013 ble det av NIVA gjennomført en resipientundersøkelse for å beskrive den økologiske tilstanden for bløtbunnsfauna (Borgersen og Beyer, 2013). Stasjonene nærmest utslippet hadde henholdsvis god og svært god økologisk tilstand iht. NQI1-indeksen for bløtbunnsfauna. Begge stasjonene hadde svært høyt artsmangfold (>100 arter) og høy artsdiversitet. På stasjon BL2 var det høy dominans av flerbørstemarken *Heteromastus filiformis* og denne arten er regnet som opportunistisk. Dette bidro til at stasjonen fikk tilstand god. Stasjon BL2 hadde noe forhøyde TOC-verdier og mindre god (moderat) tilstand for organisk innhold i sediment. Det var usikkert i denne undersøkelsen om dette kunne knyttes til det organiske materialet i utslippet eller om det skyldes tilførsel av organiske partikler fra land eller fra strender med tang og tare. Sammenlignet med undersøkelsen fra 2003 (DNV) hadde det ikke skjedd noen endring i den økologiske tilstanden på stasjonen BL1. NQI1 og NQI2 hadde derimot gått noe ned på stasjon BL2, fra svært god i 2003 til god i 2013. De to stasjonene utenfor Ramslandsvågen oppfylte Vannforskriftens krav om god økologisk tilstand.

Et hovedmål med denne undersøkelsen var å gjøre feltmålinger for å finne ut i hvilken grad oksygenforholdene i resipienten påvirkes av nåværende utslipp av acetat. I 2015 var acetatutslippet på 2445 tonn/år. Videre skulle oksygenivået modelleres med tanke på fremtidig utslipp med en økning til 6000 tonn acetat og 9200 tonn acetat.

Tabell 1. Utslippsdata gitt fra bedriften.

Utslippskomponent	Total utslipp (tonn pr. år)	Maks tillatt utslipp (tonn pr. år)*	Tillatt utslipp pr. tonn produkt
Kontrastmiddel	22	75	14 kg
Løsemidler	128	300	50 kg
Acetat	2445	3600	800 kg

*: Tillatelse til virksomhet etter Forurensningsloven, sist oppdatert 18. februar 2013.

Tabell 2. Utslippsdata gitt fra bedriften.

Vannmengde (i pulser 5 min på/15min av)	105-120 m ³ /time (0,029-0,033 m ³ /sek)
Acetatmengde (tonn)	2445, vurderes økt til 6000 eller 9200
Acetatkonsentrasjon (g/l), ca.	11,3
Saltkonsentrasjon (g/l), ca.	32
Rørdiameter (m)	0,2
Utslippsdyp (m)	40
Rør avstand over bunn (m)	2
Utslippsmønster (minutt), utslipp-pause-utslipp	5-15-5
Temperatur (°C), ca.	20

2. Materiale og metoder

2.1 Introduksjon

I terskelfjorder generelt vil oksygenminimum ofte opptre i perioden september til april, men dette varierer fra fjord til fjord, og området fjorden tilhører. Utslippspunktet til bedriften er utenfor terskelen til Ramslandsvågen der strømforholdene og vannutskiftingen er vesentlig bedre enn innenfor terskelen.

Utslippspunktet ligger på 40 m ved 58°01,360' N, 07°07,057' Ø (WGS84) (jmf. stasjon Ge0 i **Figur 1** og **Figur 2**). Oksygenmålinger ble tatt med en profilerende oksygensensor ved to tidspunkter i januar og februar 2016. Disse målingene ble supplert med kjemiske analyser (Winkler titrering) av oksygen fra vannprøver ved 10 og 20 m. I tillegg til dette ble det målt temperatur og saltholdighet med en profilerende sonde (SAIV).

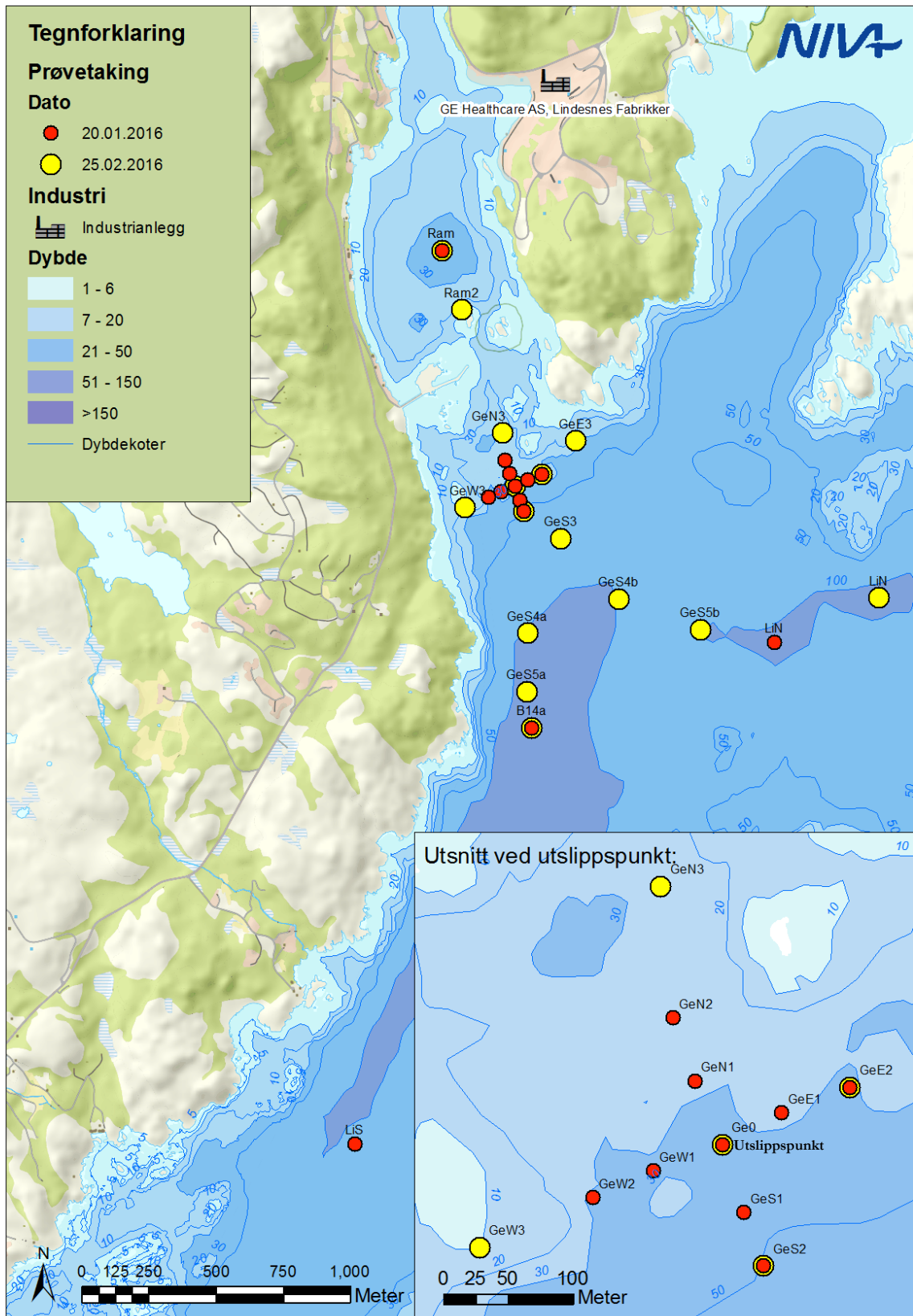
For å sikre at målinger skulle fange opp utslippsskyen, ble det i januar 2016 tatt målinger ved åtte stasjoner omkring utslippspunktet med en avstand på omtrent 50-100 m, vist i **Figur 2**. På grunnlag av resultater herfra ble det bestemt at ved nytt tokt i februar skulle det tas stasjoner i større avstand fra utslippet. Stasjonene LiN og LiS er referansestasjoner og antatt ikke påvirket av utslippet.

For å beregne spredning og fortykning for dagens utslipp og mulig fremtidig økning ble modellverktøyet Visual Plumes (VP) brukt på et utslipp på 2445 tonn/år acetat (totalt utslipp i 2015), samt eventuelle fremtidige utslipp på 6000 tonn/år og 9200 tonn/år. Vannmengden i utslippet varierer med en utslippshastighet mellom 105 og 120 m³/time, og utslippet foregår i pulser. Det vil si at det vil være ett utslipp i fem minutter med en påfølgende pause på 15 minutter etterfulgt av ett nytt utslipp på 5 minutter. Det vil si at utslippet vil i løpet av én time være på ca. 30 m³. I modellen er det brukt en utslippsrate på 0,033 m³/s (tilsvarende 120 m³/time).

Oksygenforbruket ble beregnet basert på en nedbrytningshastighet oppgitt av bedriften til 0,113/dag.



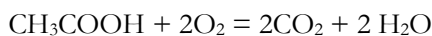
Figur 1. Kart over resipienten i og utenfor Ramslandsvågen samt inn- og utstrømningsnett markert med blå linjer i kartet. Utslippspunkt markert som rødt punkt.



Figur 2. Oversikt over Ramslandsvågen med stasjoner og utsnitt fra vannforekomsten Mandal-Lindesnes. De røde stasjonspunktene i kartet er fra toktet i januar 2016 og de gule er fra toktet i februar 2016. Utslipper er lokalisert ved stasjon Ge0.

2.2 Nedbrytning av acetat

Acetat i sjøvann antas brytes ned slik:

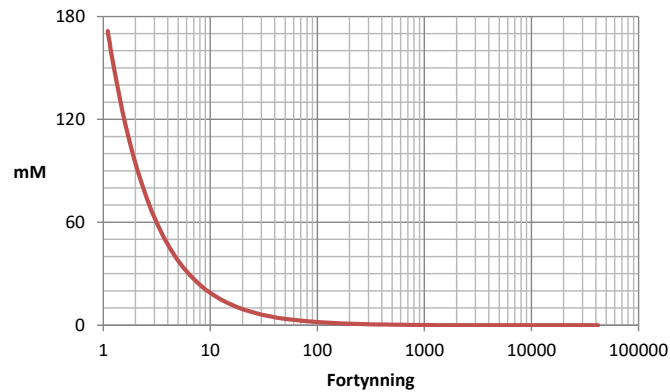


Etter denne reaksjonen vil det forbrukes 2 mol O₂ for hvert mol acetat fullstendig omdannet til CO₂ og vann. Med en utgangskonsentrasjon på 11300 mg/l acetat (189 mM) vil nedbrytning og fortynning gi en reduksjon i konsentrasjonen som vist i **Figur 3**. Nedbrytningen bidrar forsvinnende lite til redusert konsentrasjon. F.eks. ved 100x fortynning er konsentrasjonen av acetat redusert fra 189 til 1,89 mM som følge av fortynning. I tillegg er det tilført 100 x 8 mg/l O₂ (= 25 mmol) som etter ligningen over kan bryte ned 12,5 mmol acetat. Fordelt på det fortynnede utslippet gir dette en reduksjon av acetatkonsentrasjonen tilsvarende 0,125 mM. Nedbrytningen gir dermed en ytterligere reduksjon av acetatkonsentrasjonen fra 1,890 til 1,765 mM. Dette viser at sammenlignet med fortynning, bidrar nedbrytningen lite til reduksjonen av acetatkonsentrasjonen.

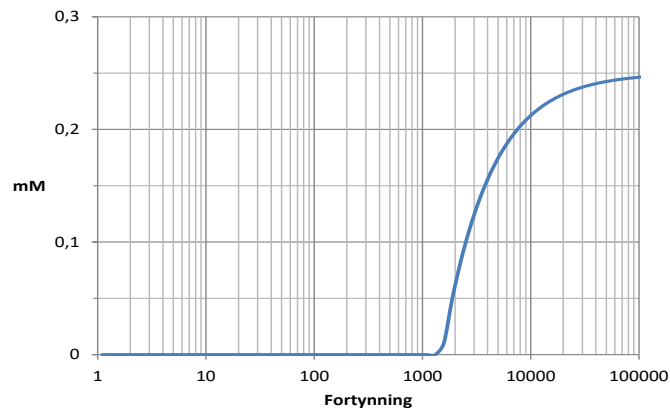
Acetatutslippet har imidlertid potensiale til å kunne forbruke store mengder oksygen i resipienten. **Figur 4** viser at dersom det ikke er kinetiske begrensninger har utslippet med 189 mM acetat kapasitet til å forbruke alt oksygen i en 1400x større vannmengde. Figuren viser at under disse forutsetningene ville utslippet måtte fortynnes ca. 3000x før konsentrasjonen av oksygen kommer over kriteriet for Svært god tilstand i dypvann.

Hvorvidt dette problemet er reelt eller ikke vil avhenge av hvor raskt nedbrytningen skjer sammenlignet med fortynningen. Fra bedriften har vi fått opplyst en nedbrytningsrate på 0,1131 /dag. For utslippet med konsentrasjon 189 mM acetat vil konsentrasjonen etter 30 dager være 5,6 mM og etter 62 dager vil den være nede i 0,125 mM (**Figur 5**, venstre). Denne konsentrasjonen vil fremdeles være stor nok til å forbruke alt oksygenet i resipientvann med 0,25 mM (8 mg/l) O₂. Etter så lang tid vil utslippet imidlertid være spredt over store avstander og fortynnet til langt lavere konsentrasjoner enn hva som kan beregnes fra den bakterielle nedbrytningsraten. Dette betyr at på lang sikt vil ikke O₂-forbruket i vannmasser med rester av dette utslippet være noe problem. Fortynningen vil være rask sammenlignet med nedbrytningen. På kort sikt kan dette være annerledes. Umiddelbart etter utslippet vil den gitte nedbrytningsraten tilsvare nedbrytning av 0,015 mM/min. Dette tilsvarer et forbruk av oksygen på 0,03 mM/min (0,96 mg pr. liter og minutt).

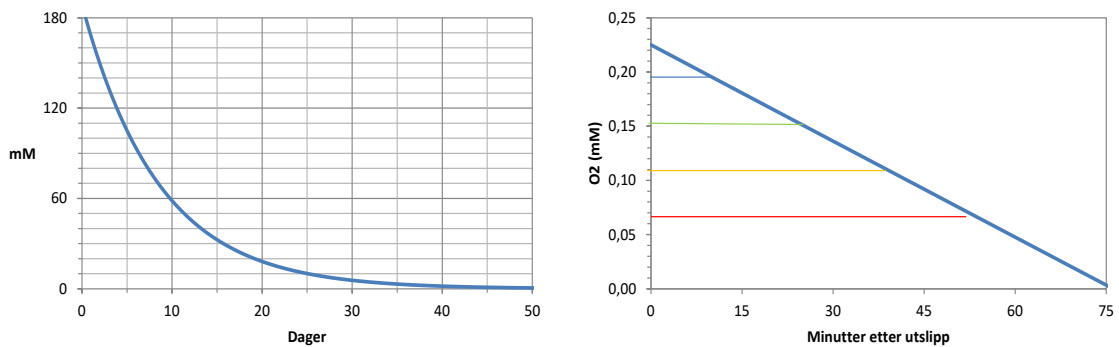
Ved 10x fortynning i resipientvann med 8 mg/l O₂ vil nedbrytning av acetat med den gitte nedbrytningsraten (0,1131/dag) føre til avtagende konsentrasjonen av O₂ til under grenseverdien for Svært god vannkvalitet (4,5 mg/l) i løpet av 10 minutter og «Svært dårlig» vannkvalitet etter 54 minutter (**Figur 5**, høyre). Dette viser at fortynningshastigheten er avgjørende for å kunne vurdere om, og i hvilken grad, utslippet vil påvirke oksygenforholdene i resipienten.



Figur 3. Teoretisk konsentrasjon av acetat ved fortytning og nedbrytning av utslipp med 189 mM acetat (=11300 mg/l). Beregningene er basert på at resipientvannet inneholder 8 mg/l O₂ som benyttes til fullstendig nedbrytning av acetat til CO₂ og vann. Bidraget fra nedbrytning er ubetydelig sammenlignet med bidraget fra fortytning (se tekst).



Figur 4. Teoretisk konsentrasjon av O₂ i utslippet etter fortytning og nedbrytning av utslipp med 189 mM acetat (=11300 mg/l). Beregningene forutsetter spontan nedbrytning til CO₂ og vann.



Figur 5. Venstre: Teoretisk nedbrytning av acetat i en vannmasse med konstant volum, overskudd O₂, nedbrytningshastighet på 0,1131/dag og startkonsentrasjon 189 mM acetat. Høyre: Initialt forbruk av O₂ i 10x fortynt utslipp med startkonsentrasjon 189 mM. Horisontale linjer tilsvarer grenseverdiene for de fem tilstandsklassene fra «Svært god» (over blå strek) til «Svært dårlig» (under rød strek) for oksygen i dypvann (Veileder 02:2013).

2.3 Datainnsamling og analyser

Feltarbeidet ble gjennomført ved ett tidspunkt i januar (25.1.2016) og ett tidspunkt i februar (25.2.2016). Ved begge toktene var det to personer fra NIVA og NIVAs egen båt ble brukt. I januar ble det tatt målinger ved 13 stasjoner og i februar ble det gjort målinger ved 15 stasjoner. Stasjonene i januar viste nokså like oksygenkonsentrasjoner, og det ble bestemt at det skulle tas målinger ved stasjoner ved større avstander fra utslippspunktet, slik at mulige oksygengradienter langs med transektene omkring utslippspunktet kunne fanges opp.

Den profilerende sonden som ble brukt var av type SAIV med en påmontert Rinko oksygen sonde. Det ble i tillegg tatt oksygenprøver og saltprøver for kalibrering av sonden. Fire vannprøver fra to forskjellige dyp fra to stasjoner ble tatt for å kalibrere oksygensonden. Oksygenprøvene ble hentet opp med Niskin-vannhenter ved 10 og 30 m, og deretter ble 250 ml oksygenflasker fylt med sjøvann og tilsatt reagenser (Winkler 1 og Winkler 2). Disse ble så levert til analyse (Winkler-titrering) neste dag hos NIVAlab. Saltprøvene ble hentet på samme vis som oksygenprøvene, men ikke konserverte. De ble tappet i en tett saltflaske og analysert i et salinometer hos NIVA. Oksygenkonsentrasjonene og saltholdigheten fra vannprøvene ble brukt til å kalibrere oksygen- og saltmålingene gjort med sonden. Spesifikasjoner om SAIV sonden er oppsummert i **Tabell 3**.

Tabell 3. Spesifikasjoner for SAIV sonden med RINKO oksygensensor.

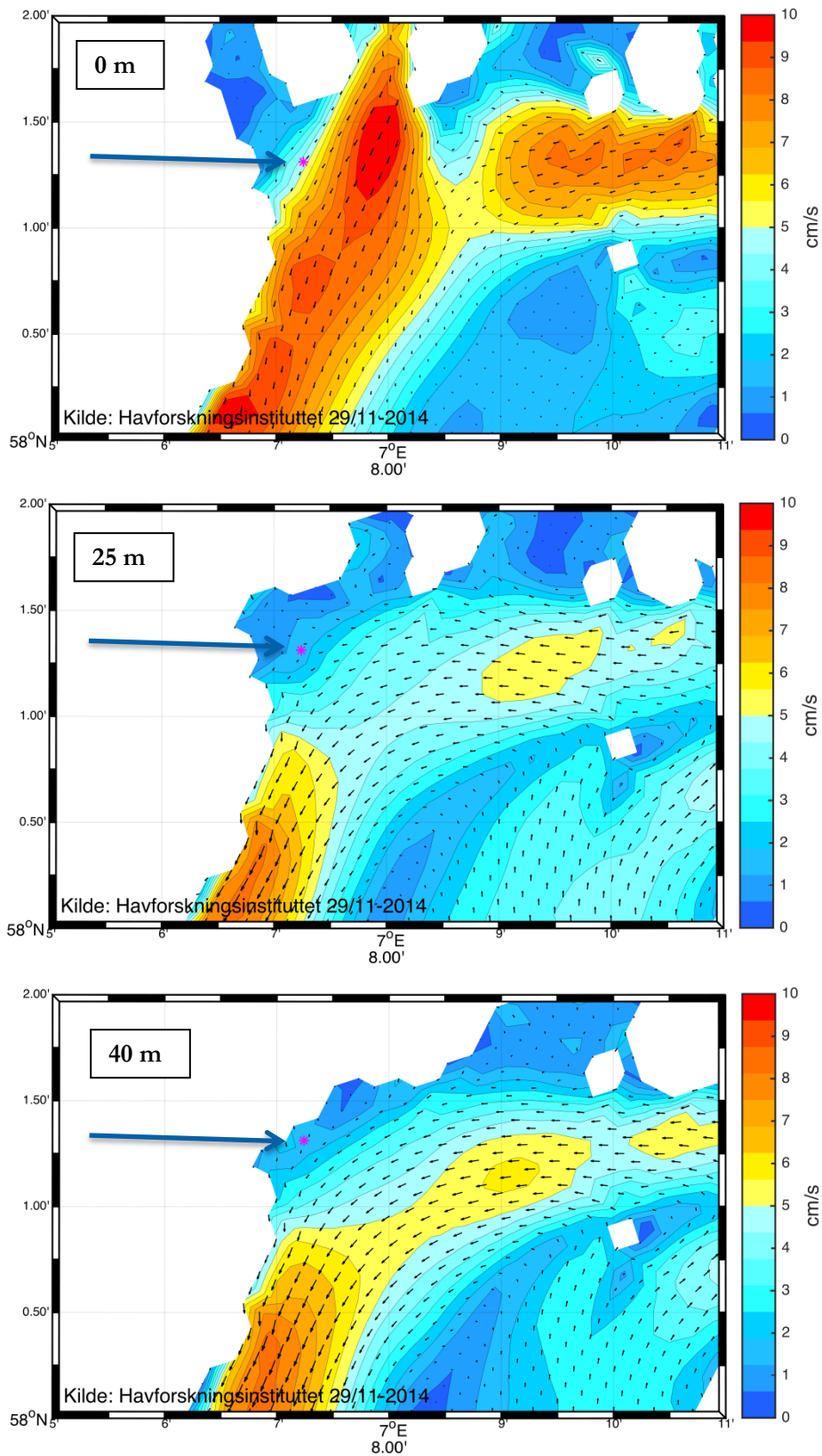
	Rekkevidde	Oppløsning	Nøyaktighet
Temperatur	-2 til 40 °C	0,001 °C	± 0,01 °C
Saltholdighet (beregnet fra konduktivitet, temperatur og dyp)	0 til 40 ppt	0,01 ppt	± 0,02 ppt
Trykk		0,01 dbar (m)	0,01 %
Oksygen, RINKO	0 til 200 %, 0 til 20 mg/l	0,01-0,4 %, 2 til 8 mikrog/l	± 2 %

2.4 Strømforholdene

Det er utført strømmålinger høsten 1992 og våren 1993 ved to målepunkter 50 m nordøst og 50 m sørvest for utslippspunktet (DNV-rapport, 1993). Strømmålingene ble gjort 5 m over bunn og 20-25 m under overflaten på begge stasjonene. Strømretningen varierte, men med dominans mot sørøst. I hele måleperioden på én måned, var 90 % av strømmålingene mindre enn 3 cm/s ved største dyp og 85-90 % av strømmålingene høyere opp i vannsøylen var under 10 cm/s.

Disse målingene var i god overenstemmelse med strømdata hentet fra en tredimensjonal havmodell fra Havforskningsinstituttet (HI) (**Figur 6**) som også viser sterkere strøm i overflatelaget enn i det dypere laget og at utslippspunktet er lokalisert i et område med nokså svak strøm sammenlignet med strømforholdene litt lenger ut.

Resultater hentet fra en annen tredimensjonal havmodell, Norkyst-800, viste sterkere strømhastigheter i området ved utslippspunktet under feltarbeidet 25. februar enn under feltarbeidet 20. januar. Med bakgrunn i dette er strømforholdene gitt i **Tabell 3** brukt som input i modellen Visual PLUMES.



Figur 6. Resultater fra en tredimensjonal havmodell i området utenfor Ramslandsvågen for 29. november 2014. Overflatestrøm (øverst), strøm i 20 m dyp (midten) og i 40 m (nederst). Utslippspunkt er markert med pil og en rød asterix. (Kilde: Jon Albreten, HI).

Tabell 4. Strøminput til Visual PLUMES. Alle tilfellene har retning 200 grader (strøm mot sørvest). Data fra Norkyst-800.

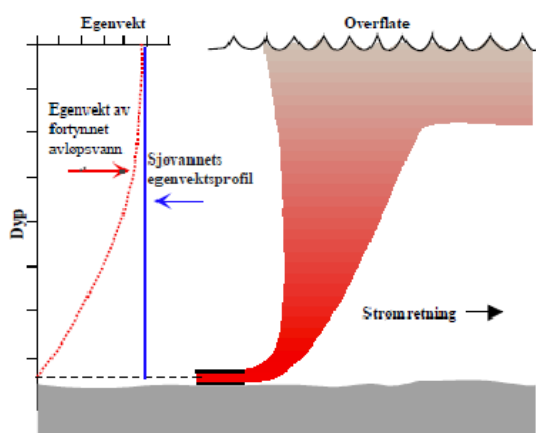
	Fart (cm/s)	«Farfield» strøm (cm/s)
20. januar 2016		
0 m,	5	10
20 m	2	5
41 m	2	6
25. februar 2016		
0 m,	15	20
20 m	5	10
41 m	6	12

2.4.1 Innlagring og fortytning

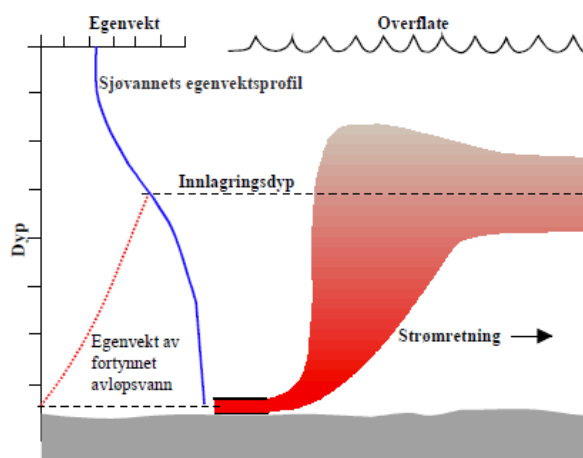
Den numeriske modellen Visual PLUMES (VP) er utviklet av U.S. EPA (Frick et al., 2001). I **Figur 7** er en prinsippsskisse av fortytningen og innlagringen av avløpsvannet vist. Når avløpsvannet blir sluppet ut og hvis dette er lettere enn det omliggende sjøvannet vil utslippet stige, mens det samtidig vil blandes med det omkringliggende sjøvannet og derfor etter hvert bli tyngre. Denne skyen vil ha positiv oppdrift, og på grunn av den kinetiske bevegelsesenergien vil den stige forbi dypet hvor det omkringliggende sjøvannet har samme tetthet, for så å synke ned igjen til dette dypet. I noen tilfeller kan avløpsvannet stige helt opp til overflaten og gi gjennomslag her (vist i **Figur 7**). Denne dynamikken kalles primær fortytning, og vil være avhengig av avløpsstrålens kinetiske energi og oppdrift og den er avgjørende for avløpsvannets spredning ved utslippspunktets umiddelbare nærhet. Etter innlagringen er fortytningen videre og transporten av avløpsvannet bestemt av turbulent diffusjon (blanding på grunn av tilfeldige bevegelser) og strømbevegelse. Denne delen av fortytningsfasen kalles sekundær fortytning.

I modellberegningen er den øvre grensen av vannmengdehastigheten lagt til grunn, det vil si $120 \text{ m}^3/\text{t}$ som tilsvarer $0,033 \text{ m}^3/\text{sek}$. Utslipet foregår i pulser på fem minutter, med påfølgende 15 minutters pause. Det vil si for et maksimalt utslipp vil det i løpet av fem minutter bli sluppet ut ca. 10 m^3 og i løpet av én time ca. 30 m^3 . Acetat utslipp i 2015 var totalt på 2445 tonn/år. Det er i tillegg gjort beregninger for to fremtidige potensielle utslipp på totalt 6000 tonn og 9200 tonn acetat/ år. Konsentrasjonen i utslippet skal være den samme ($11,3 \text{ g/l}$ ifølge målinger fra GE) og det er antatt at vannmengden økes til hhv $294 \text{ m}^3/\text{time}$ ($0,0810 \text{ m}^3/\text{s}$) og $451 \text{ m}^3/\text{time}$ ($0,1242 \text{ m}^3/\text{s}$) (**Tabell 4**). Det vil si at i løpet av fem minutter så vil vannmengden økes fra $9,9 \text{ m}^3$ til hhv. $24,3 \text{ m}^3$ og $37,3 \text{ m}^3$.

Dyputslipp uten innlagring av avløpsvannet



Dyputslipp med innlagring av avløpsvannet



Figur 7. Prinsippsskisse av fortytning og innlagring. Innlagring skjer når tettheten øker med dypet (til høyre). Ved en mer homogen vannmasse (til venstre) så vil det være gjennomslag til overflaten.

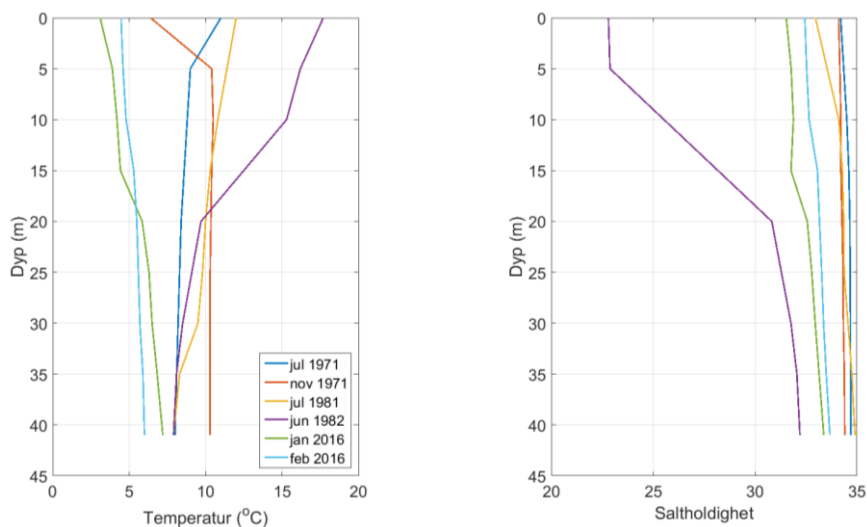
Tabell 5 Data om utslippet brukt i modellering med Visual PLUMES.

Utslipp av acetat (tonn)	2445	6000	9200
Utslippshastighet (m ³ /s)	0,033	0,0810	0,1242
Strålehastighet (m/s)	1,1	2,7	4,14
Konsentrasjon av acetat	11300 mg/l (189 mM)		
Utslippsdyp	40 m		
Rørdiameter	0,2 m		
Nedbrytningsrate	0,1131 dag ⁻¹		
Utslippssaltholdighet	32 psu		
Utslippstemperatur	20 °C		

For å kunne beregne hvordan utslippet spres i resipienten er det nødvendig med hydrografiske data. Det er antatt at utslippet til bedriften er kjemisk likt gjennom året og det er brukt seks tilgjengelige sett av data fra ulike datoer (**Tabell 6** og **Figur 8**). Dataene representerer ulike hydrografiske situasjoner inkludert vertikale profiler fra tidligere undersøkelser (Molvær m.fl., 2004). En typisk sommersesong vil ha sterkere lagdeling på grunn av høyere andel ferskvann og høyere temperatur i overflatelaget enn en typisk vintersesong. Dette har betydning for innlagringen av utslippet.

Tabell 6. Datoene for målte vertikale profiler brukt som grunnlag for beregninger av spredning og fortykning. Dataene er gjengitt i Vedlegg A.

1: 14. juli 1971	3: 1. juli 1981	5: 20. januar 2016
2: 27. november 1971	4: 7. juni 1982	6: 25. februar 2016

**Figur 8.** Hydrografiprofiler for de seks tidspunktene som er brukt som input til Visual PLUMES.

3. Resultater og diskusjon

3.1 Oksygenmålinger

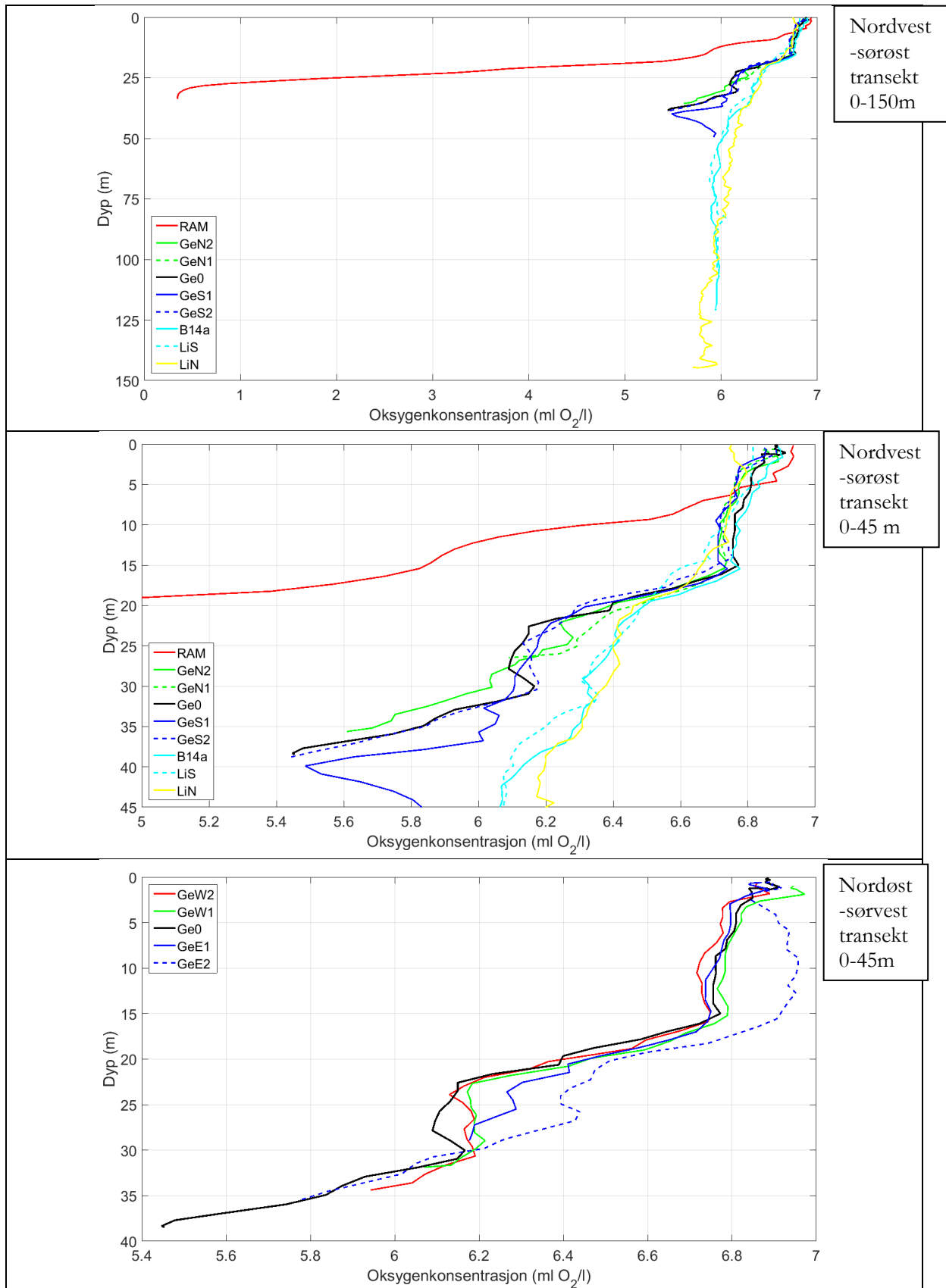
Målingene fra 20. januar 2016 er vist i **Figur 9**. Stasjonene lengst nord og lengst sør (B14a, LiS og LiN, se **Figur 2**) er ikke påvirket av utslippet, mens stasjonene GeN2 til GeS2 har noe lavere konsentrasjoner av oksygen fra 40 m og opp til ca. 20 m dyp. Stasjon GeS1 har 0,7 ml O₂/l lavere oksygenkonsentrasjon enn stasjon LiN ved 40 m dyp. Inne i Ramslandsfjorden ble det observert en gradvis avtagende oksygenkonsentrasjon fra 6 m og helt ned til bunnen på ca. 34 m der oksygenkonsentrasjon er i underkant av 0,4 ml O₂/l. Oksygenmålinger gjort i november 1971 (Liseth og Hambo, 1971), viste en tilsvarende situasjon med oksygenmangel under 25-30 m dyp. Målingen fra både januar 2016 og fra november 1971 tilsvarer Svært dårlig tilstand i Veileder 02:2013.

Stasjonene langs nordøst-sørvest transektet er alle lokalisert mindre enn 100 m fra utslippspunktet og alle synes påvirket av utslippet ved i et dybdeintervall fra 40 m opp til ca. 20 m. Påvirkningen er størst vest for utslippet, og minst ved stasjonen lengst øst (GeE2). Også de fire stasjonene nærmest utslippspunktet i nordvest-sørøst transektet (GeN2, GeN1, GeS1 og GeS2) har lavere oksygenkonsentrasjoner enn referansestasjonene i dette dybdeintervallet. Ved stasjon GeS2 er oksygenkonsentrasjonen ved 35 m dyp omtrent 0,5 ml O₂/l lavere enn ved stasjon LiN. Fra 30 m dyp er stasjonene GeE1 og GeE2 påvirket i litt mindre grad enn de andre stasjonene. I følge modelldata fra Norkyst-800 var det svakere strømforhold den 20. januar 2016. Svak strøm gir relativt lengre oppholdstid, større lokal nedbrytning av acetat og lavere konsentrasjoner av oksygen enn det en kan forvente ved sterkere strøm. Ingen påvirkning ble observert ved stasjon B14a, LiS og LiN (hhv. 922 m, 2,5 km og 1,1 km fra utslippspunktet).

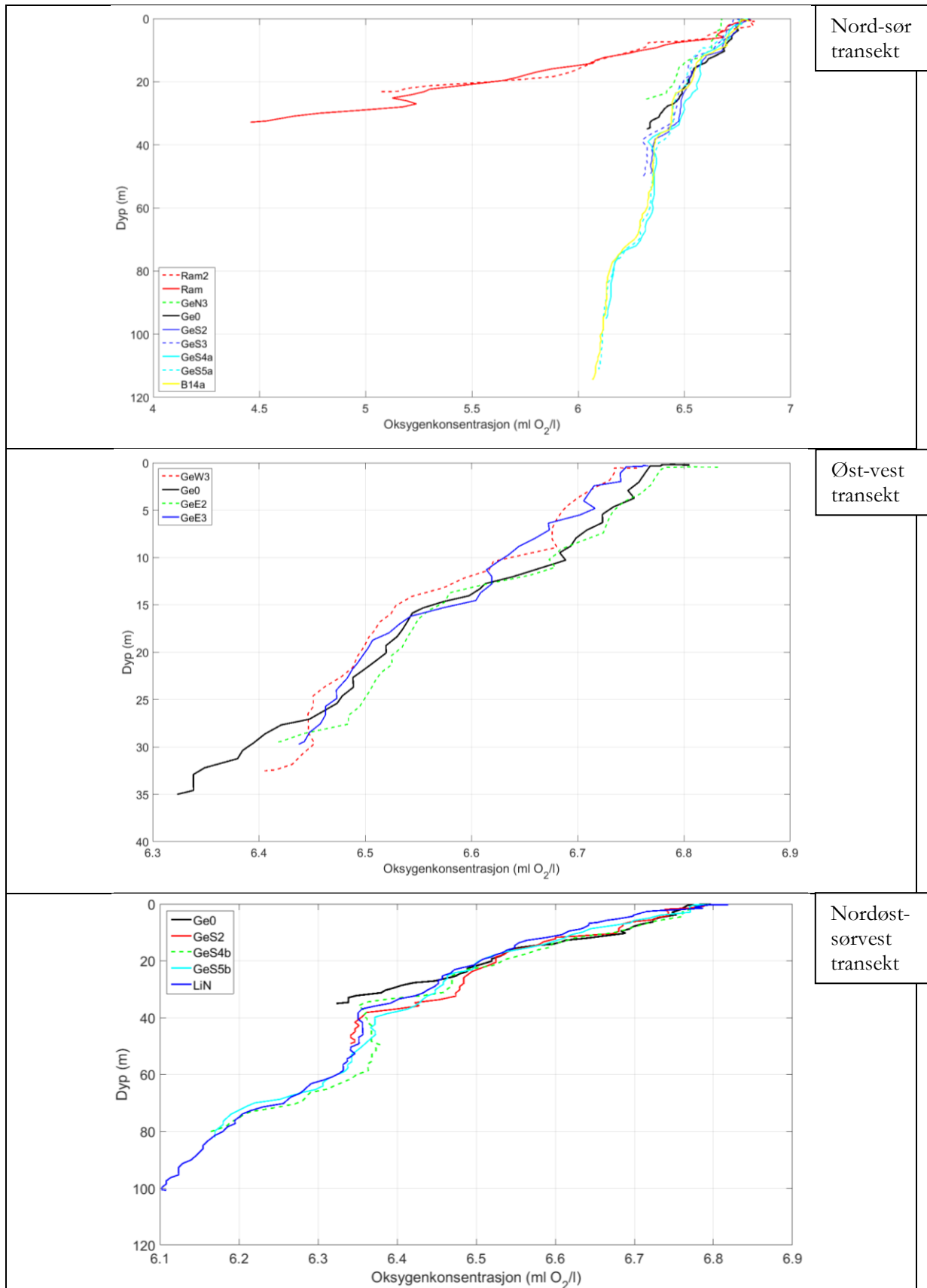
Målingene fra 25. februar 2016 er vist i **Figur 10**, og målingene fra stasjonene i Ramslandsfjorden (Ram og Ram2, øverst i **Figur 10**) viser at det har vært vannutskifting mellom disse to toktene i Ramslandsvågen. Oksygenkonsentrasjonen ved bunn i februar var oppe i 5-6 ml O₂/l mot 0,4 ml O₂/l i slutten av januar. En slik vannutskifting kan ikke forklare påvirkningen observert på oksygenprofilene rundt utslippet på 40m dyp, men det kan ikke utelukkes at de litt lavere oksygenkonsentrasjonene omkring 20 m dyp ved GeN3 (**Figur 10**, øverst) kan ha sammenheng med utstrømmende vann over terskelen på 14 m dyp.

I februar var det en mindre tydelig påvirkning enn hva som kunne ses i målingene fra januar. Stasjonen ved utslippspunktet skiller seg litt fra de andre, ved at den ved dyp under 26-27 m har noe lavere oksygenkonsentrasjon enn de andre stasjonene, både de nærmest (GeW3, GeS2) og de lenger unna (GeS3, GeS4a-b, GeS5a-b og LiN). Klart mindre påvirkning på Ge0 og fravær av indikasjoner på de andre stasjonene tyder på at de hydrografiske forholdene var mer gunstig i februar enn i januar.

I Veileder 02:2013 er oksygen brukt som en støtteparameter for å klassifisere tilstanden i en vannforekomst. Det er oksygen fra bunnvannet ved et forventet minimum gjennom ett år som brukes, og en oksygenkonsentrasjon over 4,5 ml O₂/l og en metning >65 % er klassifisert som Svært god. Alle målingene utført i området rundt utslippspunktet tilfredsstiller dette kravet.



Figur 9. Oksygenkonsentrasjon fra toktet 20. januar 2016. Øverst og i midten vises stasjonene fra nord (RAM) til sør (LiN). Nederst vises stasjoner langs et transekt fra nordøst (GeE2) til sørvest (GeW2).



Figur 10. Oksygenkonsentrasjon fra toktet 25. februar 2016. Øverst vist som et nord-sør transekt, i midten som et øst-vest transekt og nederst som et nordøst-sørvest transekt.

3.2 Modellberegninger

Modellberegningene i VP, presentert i **Figur 11**, **Figur 12** og i **Tabell 7**, viser at innlagringen av dagens utslipp (2445 tonn/år) er estimert til avstand 12-60 m fra utslippspunktet med en primærfortynning som varierer mellom 76x og 609x og mellom 27 m og 38 m dyp (sentrum av utslippsskyen). Før utslippsskyen når innlagringdyppet, vil den først kunne stige opp til ca. 20 m på grunn av dynamikken til et dypvannsutslipp (skissert i **Figur 7**). Det grunneste dyppet for ytterkanten av utslippsskyen er beregnet til mellom 15 og 20 m. Denne vertikale stigningen av utslippsskyen vil være mindre ved en sterkere strømsituasjon. Konsentrasjonen av acetat ved innlagring vil være mellom 19 og 148 mg/l (**Tabell 7**), og ved 100 m fra utslippspunktet mellom 18 og 113 mg/l.

I **Tabell 7** og i **Figur 11** viser beregningene at innlagringsdyppet vil øke noe ved en eventuell økning av utslippsmengden av acetat, og innlagringen vil skje ved en noe større avstand fra utslippspunktet. Den beregnede konsentrasjonen av acetat vil også endres noe. Ved innlagring vil den være mellom 21 og 136 mg/l for 6000 tonn/år og mellom 22 og 115 mg/l for 9200 tonn/år (**Tabell 7**). Ved en avstand 100 m fra utslippspunktet er konsentrasjonen estimert til å være mellom 21 og 113 mg/l for 6000 tonn/år og mellom 22 og 102 mg/l for 9200 tonn/år. Dette skyldes at fortynningen endres når utslippsvolumet økes (**Figur 13** og **Tabell 8**).

Oksygenprofilene i **Figur 9** (januar 2016) viste en oksygenpåvirkning i dybdeintervallet 20 til ca. 50 m i en avstand opp til 100 m fra utslippspunktet. Beregningene for denne situasjonen (nummer 5 i **Tabell 6**) ga en innlagring på 34-35 m dyp med en acetatkonsentrasjon på 108 mg/l og en acetatkonsentrasjon på 87 mg/l 100 m fra utslippspunktet. Dette tilsvarer et oksygenforbruk på hhv. 0,26 ml O₂/l og 0,31 ml O₂/l.

Oksygenprofilene i **Figur 10** (februar 2016) viste derimot liten eller ingen påvirkning. I følge modelldata fra Norkyst-800 var denne dagen i februar en dag med sterkere strømsituasjon enn strømsituasjonen ved prøvetakningen i januar 2016. Beregningene (nummer 6 i **Tabell 6**) viste en innlagring på 37 m med en acetatkonsentrasjon på 41 mg/l og en acetatkonsentrasjon på 39 mg/l 100 m fra utslippspunktet. Dette tilsvarer et oksygenforbruk på hhv. 0,13 ml O₂/l og 0,14 ml O₂/l. Innlagringsdyppet var omtrent det samme som for januar-situasjonen, men beregningene ga en betydelig større fortynning denne dagen (over 2.5x). Dette forklarer trolig årsaken til at det ikke er noe tydelig avvik i oksygenkonsentrasjonen denne dagen.

Basert på resultatene fra VP er fortynningshastigheten til den primære og den sekundære fortynningen av acetat beregnet ved innlagring og ved en avstand 100 m fra utslippspunktet (**Tabell 8** og **Figur 13**). Dette kan brukes i en sammenligning med forventet nedbrytning av acetat og det tilhørende oksygenforbruket i utslippsskyen. Dersom fortynningen går sakte sammenlignet med nedbrytningen vil det kunne føre til oksygenmangel i utslippsskyen. Beregningene viser at det tar 4-15 minutter for utslippsskyen å stige opp til innlagringsdyp. Sekundærfortynningen er langsommere og som vist i **Tabell 8** og i **Figur 13** kan det ta opptil 24 minutter før skyen har nådd en avstand på 100 m fra utslippspunktet. I dette tilfellet (24 minutter) var fortynningen rett under 100x. En slik fortynning, uten å ta i betraktning en nedbrytning, tilsvarer en acetat-konsentrasjon rett i overkant av 113 mg/l. Ettersom det i modellverktøyet VP er inkludert en nedbrytningsrate på 0,1132/dag vil beregningen av acetatkonsentrasjonen etter 24 minutter ha tatt høyde for både nedbrytning og fortynning. Differansen mellom fortynning uten nedbrytning og fortynning inkludert nedbrytning gir en nedbrytning av acetatkonsentrasjon på 0,6 mg/l. Dette tilsvarer et O₂-forbruk i løpet av en fortynningsperiode på 24 minutter på 0,45 ml O₂/l. Dette er i størrelsesorden tilsvarende det observerte avviket i januar 2016 (0,5-0,7 ml O₂/l), og nedbrytningsraten brukt i VP ser ut til å gi realistiske nedbrytningsverdier.

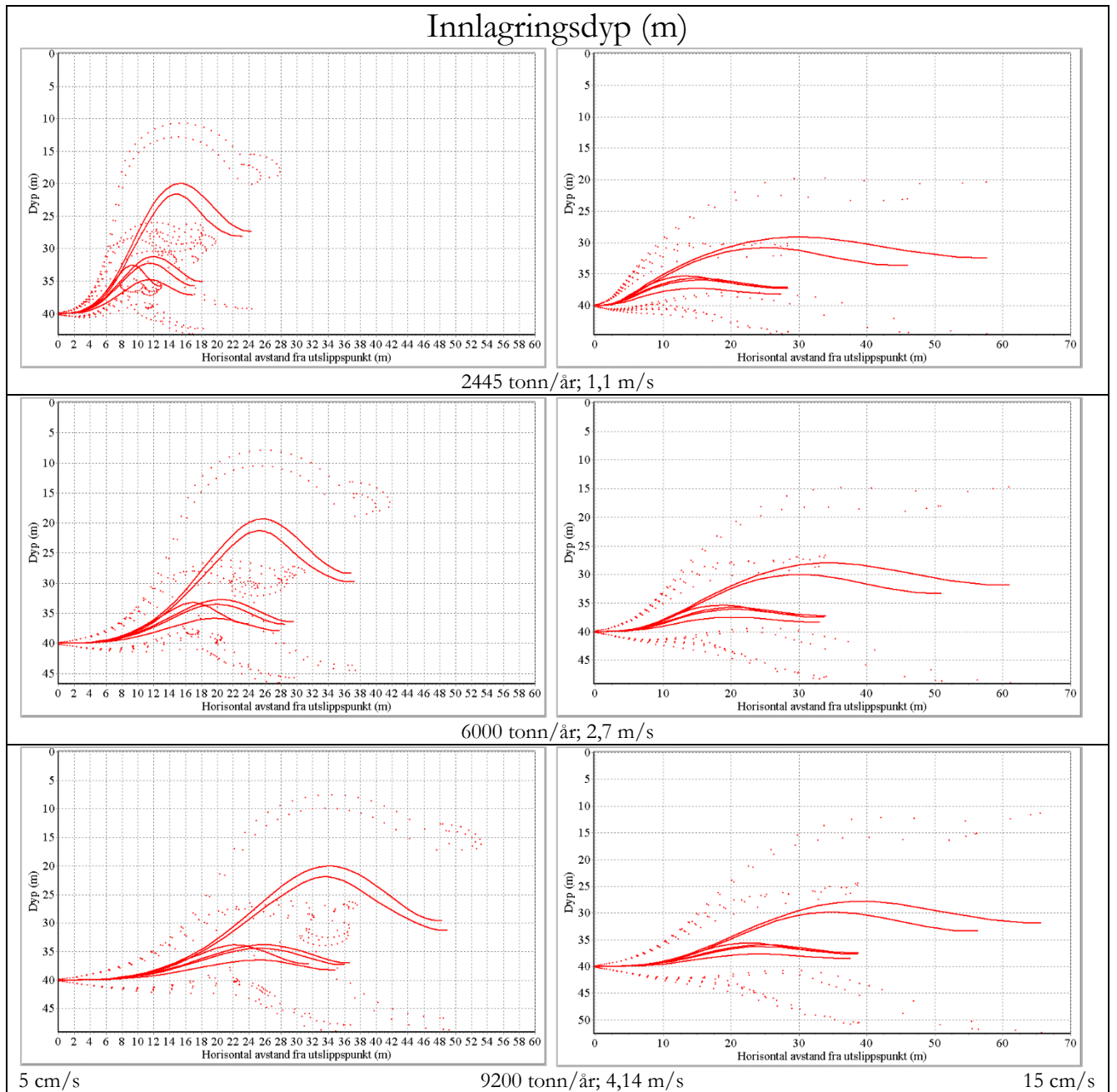
En beregning av nedbrytning av acetat gitt som et O₂-avvik med utgangspunkt i konsentrasjonen gitt i VP etter fortynning og nedbrytning er skissert i **Figur 14**. Denne viser at nedbrytningen av acetat med et tilsvarende O₂-forbruk er høyest innenfor minuttet etter utslippstidpunktet hvor acetatkonsentrasjonen fortsatt er høy. Etter ca. 10 minutter så vil O₂-avviket være tilnærmet 0. Tilsvarende er gjort for økt utslipp

(Figur 14), og det ser ikke ut til at et økt utslipp vil medføre til store endringer i O₂-forbruket. Etter 2,5 minutt vil O₂-forbruket være under 1 ml O₂/l for tilfellene 6000 tonn/år og 9200 tonn/år.

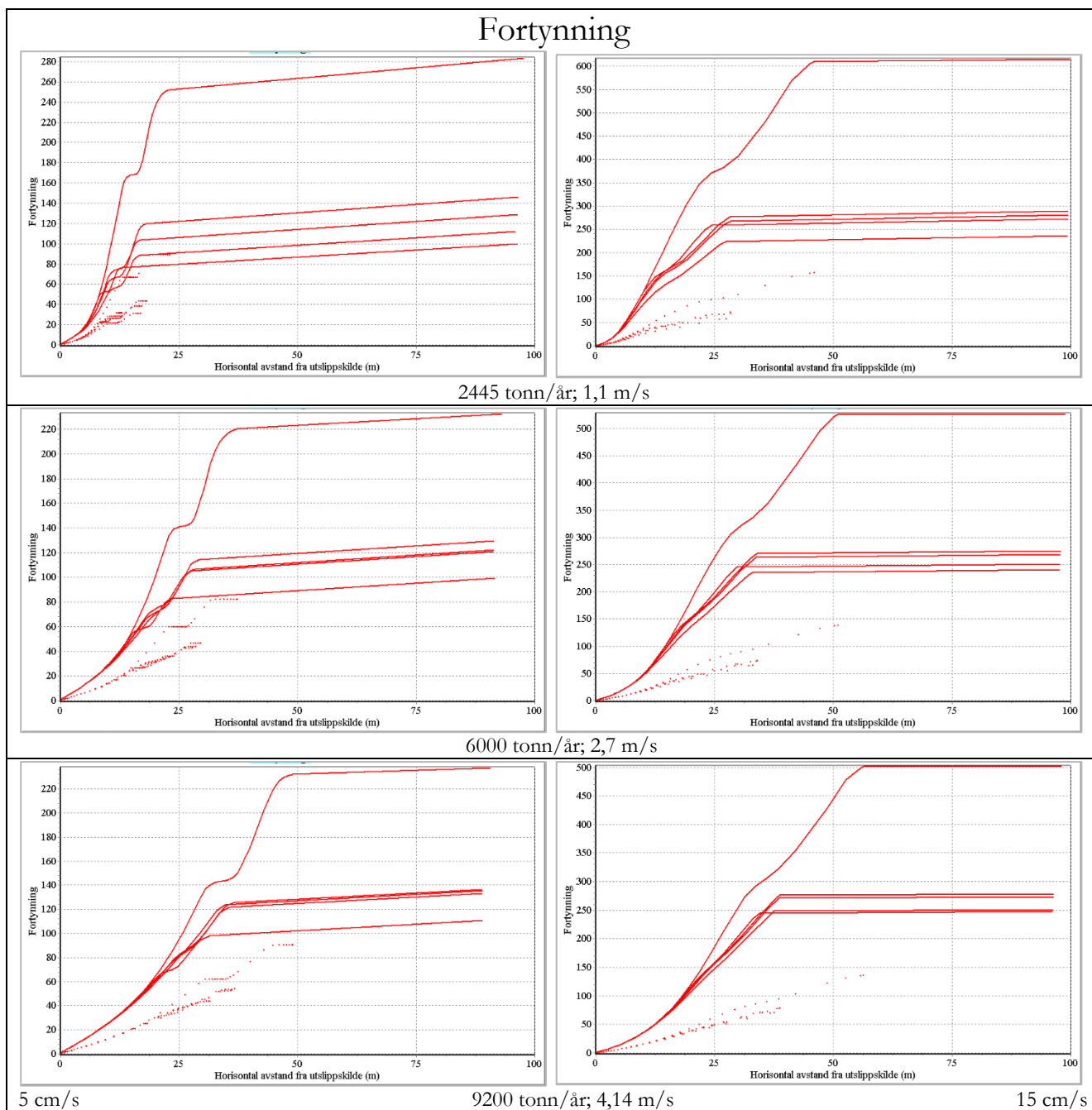
Utslippsmønsteret til bedriften er en 5 minutters puls som gir et volum på 9,9 m³ med en påfølgende pause på 15 minutter før en ny puls følger. I løpet av denne perioden vil fortynningen øke volumet av utslippsskyen til mellom 752-2851 m³. Dersom dette spres over en vertikal vannsøyle på 20 m, vil dette dekke et horisontalt område på 36 til 144 m². Ved en strømhastighet på 5 cm/s vil denne «pakken» rekke å forflytte seg ca. 45 m nedstrøms før neste «pakke» følger.

O₂-avviket vil ikke endres i noe særlig stor grad ved en utslippøkning slik den er antatt planlagt her, men volumet av de utslippspåvirkede vannmassene vil øke. Ved en tilsvarende vertikal utstrekning av utslippsskyen vil et årsutslipp på 6000 tonn gi et påvirket område fra 100 til 289 m², og for et utslipp på 9200 tonn/år vil et påvirket område være fra 169 til 441 m². På grunn av tidevann og endring i strømbildet og hydrografi kan en trolig anta at disse «vannpakkene» vil flyte sammen slik at området med forhøyet konsentrasjon av acetat potensielt vil kunne strekke seg over et relativt stort område. Som vist i **Figur 5** vil det etter for eksempel 10 dager etter utslipp av en liter vann med 11,32 g acetat, fremdeles være 3,6 g (60 mmol) acetat igjen i sjøen. Vannpakken vil da med strømhastighet på 5 cm/s kunne ha forflyttet seg mer enn 40 km fra utslippspunktet, men samtidig være så mye fortynnet at det ikke vil være mulig å måle noen økt konsentrasjon av acetat. Disse beregningene er sterkt forenklet, men kan tjene til å skalere problemet.

Selv om oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet, så vil acetatkonsentrasjonen være høy og vesentlig høyere enn den naturlige konsentrasjonen i sjøvann. Acetat er en lett tilgjengelig energikilde for mikroorganismer og utslippet kan dermed øke sekundærproduksjonen i området. Dette kan være en viktigere konsekvens av en fremtidig utslippøkning. Slike konsekvenser kan være mangeartede, men i utgangspunktet vil en øket sekundærproduksjon ikke være noe problem i dette området fordi vannutskiftingen og oksygenforholdene er gode både i vannmassene og formodentlig også langs bunnen. I fremtidig prøvetakning vil det være hensiktsmessig å få målt acetatkonsentrasjonen i området rundt utslippspunktet.



Figur 11. Innlagringsdyp beregnet med VP for dagens utslippsmengde og to alternativer for fremtidig økning. Den heltrukne linjen er innlagersdypet til sentrum av utslippsskyen, mens den stiplede linjen er innlagersdypet til ytterkantene av utslippsskyen. Innlagersdyp ved strømstyrke 5 cm/s med retning mot sørvest er vist til venstre. Strømstyrke på 15 cm/s er vist til høyre, med samme retning.



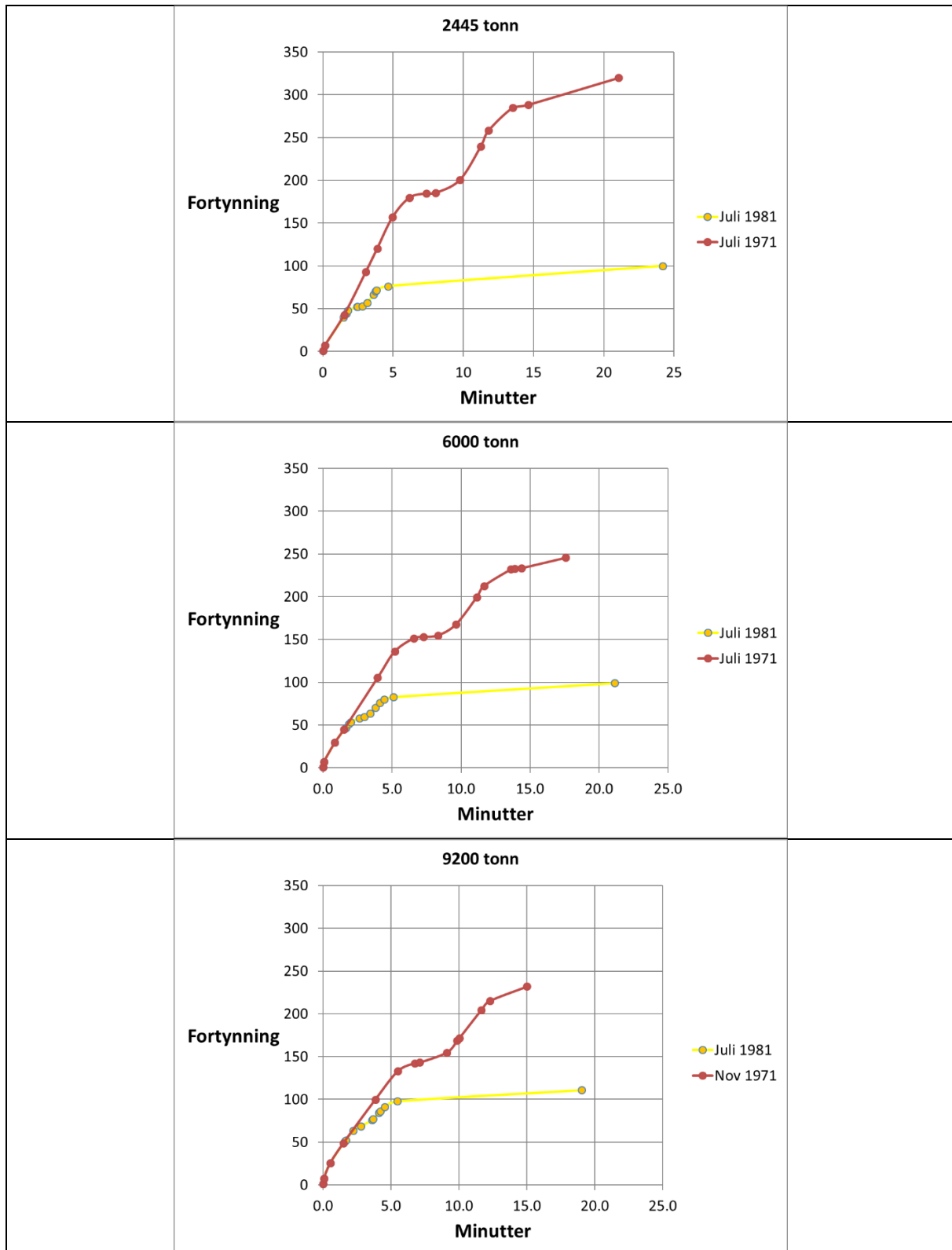
Figur 12. Primærfortynning og sekundærfortynning (til ca. 100 m fra utslippspunktet) beregnet med VP. De heltrukne linjene viser den gjennomsnittlige fortynningen for hele utslippsstrålen, mens de stiplede linjene viser fortynningen i sentrum av utslippsskyen. Dagens utslipp (2015) er vist øverst, et scenario på 6000 tonn/år utslipp er presentert i midten og et scenario på 9200 tonn/år er vist nederst. Strømstyrke på 5 cm/s og med retning mot sørvest vist til venstre, og strømstyrke på 15 cm/s med samme retning vist til høyre.

Tabell 7. Beregnet innlagringsdyp og konsentrasjon av acetat ved innlagring (primærfortynning) og ved 100 m avstand fra utslippspunktet (primær- og sekundærfortynning, jfr. **Figur 11** og **Figur 12**). Siste kolonne viser beregnet avvik i konsentrasjonen av oksygen.

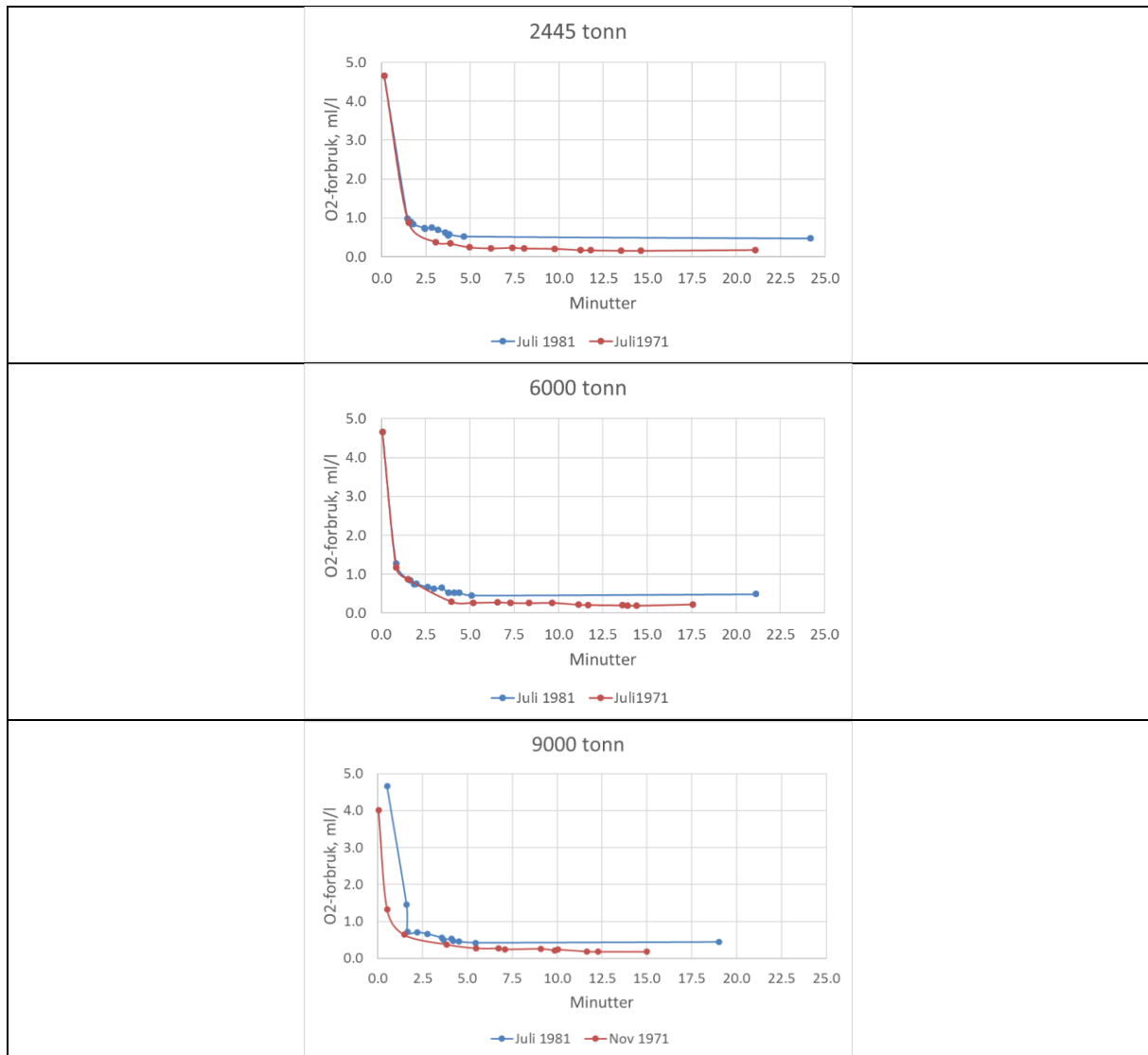
Tre utslippvolumer og to strømsituasjoner	Innlagringsdyp (m)		Konsentrasjon acetat (mg/l), ved innlagring		Konsentrasjon acetat (mg/l), 100 m		O2-avvik (ml/l), 100 m	
	min	max	min	max	min	max	min	max
2445 tonn; 5 cm/s	27	36	39	148	35	113	0,18	0,47
2445 tonn; 15 cm/s	33	38	19	50	18	48	0,07	0,14
6000 tonn; 5 cm/s	28	37	48	136	45	113	0,2	0,49
6000 tonn; 15 cm/s	33	38	21	47	21	46	0,09	0,13
9200 tonn; 5 cm/s	29	38	48	115	47	102	0,2	0,43
9200 tonn; 15 cm/s	33	38	22	45	22	45	0,09	0,19

Tabell 8. Primærfortynning over tid samt fortynningshastighet for de tre ulike utslippstilfellene. Sekundærfortynning er vist med den total tiden og den total fortynning ved 100 m avstand fra utslippspunktet. Gjennomsnittshastigheten her er for den videre fortynningen etter primærfortynningen. Intervallene representerer henholdsvis minimums- og maksimumsfortynningen for de seks hydrografitilfellene. Dette er for situasjonen med 5 cm/s strømhastighet.

	Primærfortynning			Sekundærfortynning, 100 m		
	Tidsintervall (min)	Fortynning	Gj.snitts hastighet (x/min)	Tidsintervall (min)	Fortynning	Gj.snitts hastighet (x/min)
2445 tonn	4,6-14,6	76-288	16-20	21,1-24,2	100-320	1,2-4,9
6000 tonn	5,1-14,4	83-234	16-22	17,6-21,1	99-246	1,02-3,8
9200 tonn	5,5-15	97-232	15-30	18,1-19	111-136	0,96-1,03



Figur 13. Fortynning vist over tid beregnet med VP for dagens utslipp på 2445 tonn/år (øverst), et utslipp på 6000 tonn/år (midten) og 9200 tonn/år (nederst). Beregninger er vist for profiler fra juli 1981, juli 1981 og november 1971 som gir lavest fortynning og høyest fortynning for 2445 og 6000 tonn/år, og for 9200 tonn/år (jmf. **Figur 12** og **Tabell 8**). Siste punkt på kurven er fortynning 100 m fra utslippspunktet og viser at fortynningshastigheten blir vesentlig mindre etter innlagring. Alle er for situasjonen med 5 cm/s strømhastighet.



Figur 14. Beregnet oksygenforbruk basert på fortykning og nedbrytning estimert i VP for dagens utslipp på 2445 tonn/år (øverst), et utslipp på 6000 tonn/år (midten) og 9200 tonn/år (nederst).

4. Oppsummering og konklusjon

NIVA har i 2016 gjennomført en undersøkelse i forbindelse med et acetatutslipp fra GE Healthcare, Lindesnes Fabrikker, for å se på mulige effekter på oksygenkonsentrasjonen i området rundt utslippspunktet. Utslipet skjer i pulser på 5 minutter med 15 minutters pause mellom hver puls. Utslippshastigheten er på 105-120 m³/time som gir et totalt utslipp på ca. 30 m³/time. Utslipet har en konsentrasjon av acetat på 11,3 g/l. Beregninger av fortytning og innlagring har blitt gjort med modellverktøyet Visual Plumes (VP) for dagens utslipp på 2445 tonn acetat/år, samt for to potensielle tilfeller med økte utslipp til hhv 6000 tonn/år og 9200 tonn/år.

I januar og i februar 2016 ble det tatt en rekke oksygenprofiler i området. I januar 2016 ble det observert et negativt avvik på vertikalprofilen for oksygen som ble tilskrevet nedbrytning av acetat fra utslippet. Avviket på inntil 0,7 ml O₂/l ble observert i en avstand på 100 m fra utslippspunktet. Tilstanden ville likevel blitt klassifisert som Svært god ifølge Veileder 02: 2013. I februar var det kun en stasjon like ved utslippspunktet (GE0) som hadde redusert oksygenkonsentrasjon.

For dagens utslipp, et antall empiribaserte hydrografiske scenarier og horisontal strøm mellom 5 cm/s og 15 cm/s, beregnet VP innlagring mellom 27 m og 38 m dyp i avstand 12 m til 60 m fra utslippspunktet med en primærfortynning som varierer mellom 76x og 609x. Disse intervallene gjelder for sentrum av utslippsskyen. Det grunneste dypet ytterkanten av utslippsskyen vil nå, ble beregnet til å være mellom 15 og 20 m. Konsentrasjonen av acetat ved innlagring vil være mellom 19 og 148 mg/l. Videre fortytning (og nedbrytning) viste konsentrasjoner mellom 18 og 113 mg/l i avstand 100 m fra utslippspunktet.

Sammenlignet med den første versjonen av denne rapporten er primærfortynning endret fra 41-710x til 76-609x, innlagringens avstand fra utslippspunktet er endret fra 5-80 m til 12-60 m, samt at innlagringsdypet har økt fra 35-23 m til 38-27 m.

Med en potensiell økning til 6000 tonn/år eller 9200 tonn/år, så vil den beregnede konsentrasjonen av acetat endres noe. Ved innlagring vil den være mellom 21 og 136 mg/l for 6000 tonn og mellom 22 og 115 mg/l for 9200 tonn. Ved en avstand på 100 m fra utslippspunktet er konsentrasjonen estimert til å være mellom 21 og 113 mg/l for 6000 tonn og mellom 22 og 102 mg/l for 9200 tonn.

Beregningene viste at til tross for det relativt store utslippet av acetat, så er nedbrytningsraten så lav i forhold til fortynningshastigheten at oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet. Under lite gunstige hydrografiske forhold med langsom fortytning av utslippet, vil det kunne observeres en nedgang i oksygenkonsentrasjon i nærheten av utslippspunktet slik det ble gjort i januar 2016. Beregnet O₂ avvik basert på den gitte nedbrytningshastigheten og beregnet spredning og fortytning av utslippet var i samme størrelsesorden som feltmålingene av O₂ viste.

Selv om oksygenforbruket ikke vil være stort nok til å kunne gi en betydelig endring i oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet, så vil acetatkonsentrasjonen være høy og mye høyere enn den naturlige konsentrasjonen i sjøvann. Acetat er en lett tilgjengelig energikilde for mikroorganismer og utslippet kan dermed øke sekundærproduksjonen i området. Dette kan være en viktigere konsekvens av en fremtidig utslippøkning enn økningen av oksygenforbruket. I fremtidig prøvetaking vil det være hensiktsmessig å få målt acetatkonsentrasjonen for å dokumentere utbredelsen av det påvirkede området.

5. Referanser

Albretsen, J., Sperrevik, A. K., Staalstrøm, A., Sandvik, A. D., Vikebø, F. and Asplin, L.. Fisken og Havet. NorKyst-800 Report No. I. User Manual and technical description. Nr. 2/2011. 42 s.

Borgersen, G., Beyer, J.. Resipientundersøkelse i og utenfor Ramslandsvågen, Lindesnes, 2013. NIVA-rapport6589-2013, 39 s.

DNV 1993. Marin resipientundersøkelse ved Ramslandsvågen 1992/1993. DNV rapport nr. 93-3697

DNV 2016. Miljøovervåking Ramslandsvågen og utenforliggende områder. DNV rapport nr. 2016-0179.

Garman, C., Glette, T.. Vurdering av resipient: Rapport til GE Healthcare. Rapport no.: 2008-0180.

Liseth, P., Hambo, B., 1971. Nyegaard & Co A/S. En vurdering av Ramslandsvågen som resipient for ny fabrikk for produksjon av røngtenkontrastmidlet Isopaque. NIVA-prosjekt O-202/70. Oslo

Molvær, J.. Vurdering av spredning kolibakterier fra utslippet fra Amersham Health til Ramslandsvågen. NIVA-rapport 4887-2004, 16 s.

Veileder 02:2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.

Vedlegg A.

	14.7.1971		2: 27.11.1971		3: 1.7.1981		4: 7.6.1982		5: 20.1.2016		6: 25.2.2016	
Dyp	Temp.	Salt.	Temp.	Salt.	Temp.	Salt.	Temp.	Salt.	Temp.	Salt.	Temp.	Salt.
0	11	34,2	6,4	34,1	12	32,96	17,7	22,8	3,1	31,53	4,5	32,44
5	9	34,35	10,4	34,16			16,2	22,88	3,9	31,77	4,6	32,53
10	8,8	34,5	10,5	34,21	10,8	34,11	15,3		4,2	31,88	4,8	32,65
15	8,6	34,6	10,4	34,21	10,3	34,28			4,4	31,76	5,3	33,06
20	8,4	34,65		34,25	10	34,35	9,7	30,82	5,9	32,56	5,5	33,16
25			10,3	34,32	9,8	34,37			6,3	32,78	5,6	33,27
30	8,2	34,68	10,3	34,33	9,5	34,56	8,5	31,76	6,5	32,95	5,7	33,36
35			10,3	34,38	8,3	34,75	8,1	32,05	6,8	33,14	5,9	33,49
41	8	34,7	10,3	34,4	7,9	34,9	7,9	32,2	7,2	33,37	6,0	33,67

Utslippsdypet er på 40 m og det er derfor brukt verdier fra 41 m dyp. For 1971 er data fra 41 m interpolert fra målinger 0-35 m og 50 m og for 1981-1982 er data fra 41 m ekstrapolert pga. manglende dyp. For 2016 er verdier ekstrapolert basert på målinger fra nærliggende stasjoner.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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