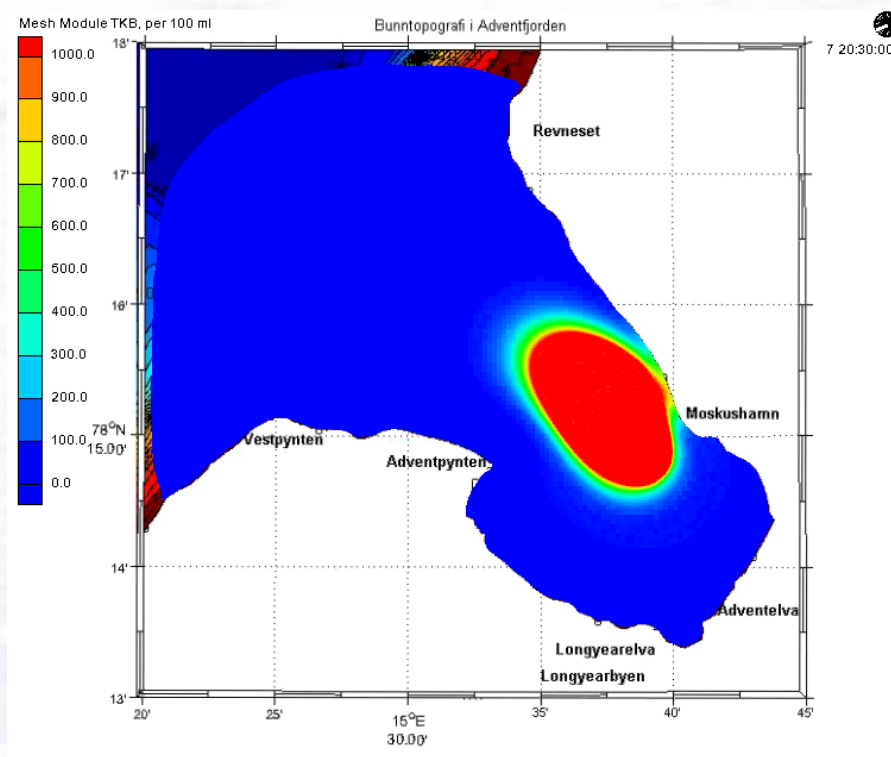


## Avløp fra Longyearbyen til Adventfjorden

Miljøfaglige vurderinger



**Forside-illustrasjon: Simulering med modellen RMA4, hvor termo-tolerante koliforme bakterier er utslippsmateriale. Figuren viser maksimal utbredelse mot nordvest. Rød farge viser forringet vannkvalitet, i henhold til SFTs kriterier for badevann (friluftsbad) (SFT, 2005).**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rapporttittel / Report title</b><br>Avløp fra Longyearbyen til Adventfjorden. Miljøfaglige vurderinger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                            |
| <b>Forfatter(e) / Author(s)</b><br>Øyvind Leikvin<br>Anita Evenset                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Akvaplan-niva rapport nr / report no</b><br>4535 - 1                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Dato / Date</b><br>18.12.2009                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Antall sider / No. of pages</b><br>46 + vedlegg                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Distribusjon / Distribution</b><br>Gjennom oppdragsgiver                                                                                                |
| <b>Oppdragsgiver / Client</b><br>Sysselmannen på Svalbard                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>Oppdragsg. referanse / Client's reference</b><br>Halvard R. Pedersen                                                                                    |
| <b>Sammendrag / Summary</b> <p>Ved hjelp av modellen Visual Plumes og inngangsdata til denne fremskaffet ved feltmålinger, kan vi slå fast at utslippsvannet fra Longyearbyen ofte får gjennomslag til overflaten. Dette vil skje i umiddelbar nærhet av utslippspunktet (10 - 20 m) og fortrinnsvis i perioden fra slutten av september til juni. Utslippspunktet ser ut til å være gunstig med tanke på retningen til resipientstrømmen i dyplaget, som er ut av Adventfjorden. Hvis det er ønskelig med hyppigere innlagring av utslippsvannet vil det hjelpe å finne et punkt med litt kraftigere bunnstrøm enn den som ble målt ved utslippspunktet. Ifølge strømmålinger og modellering med sirkulasjonsmodellen RMA2 kan det være sterkere strøm nordvest av dagens utslippspunkt (ca. 1 km utover i fjorden), men dette må verifiseres gjennom nøyaktige målinger før eventuelle tiltak iverksettes.</p> <p>Gjennombrudd til overflate av et urensset avløp kan gi uheldige estetiske virkninger, spesielt i tilfeller hvor strømmen fører utslippet inn til land. Primærrensing vil i stor grad redusere eventuelle estetiske effekter. Primærrensing vil også føre til at en viss andel miljøgifter holdes tilbake av filteret, og således ikke føres ut i fjorden.</p> <p>Modelleringen med partikkelmodellen RMA4 i et antatt overflatelag i smeltesesongen indikerer at et urensset utslipp vil kunne forringe vannkvaliteten (TKB) i de nærmeste par km fra utslippspunktet. Det ser ikke ut som om bakteriene vil kunne nå selve Longyearbyen i særlig grad. Med ugunstig vindretning derimot, vil dette også kunne være mulig.</p> <p>Den organiske belastningen fra utslippet vil sannsynligvis påvirke bunnfaunaen lokalt ved utslippspunktet, men det forventes at effektene vil begrense seg til et relativt lite område. Økt tilførsel av næringssalter vil føre til en viss økning i primærproduksjonen, men det forventes ikke merkbart negative effekter som en følge av dette.</p> |                                                                                                                                                            |
| <b>Prosjektleder / Project manager</b><br><br><br><br>Anita Evenset                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Kvalitetskontroll / Quality control</b><br><br><br><br>Roger Velvin |



# INNHOLDSFORTEGNELSE

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FORORD .....                                                                          | 2  |
| 1 INNLEDNING .....                                                                    | 3  |
| 1.1 Områdebeskrivelse .....                                                           | 3  |
| 1.2 Tidligere undersøkelser .....                                                     | 4  |
| 2 BESKRIVELSE AV UTSLIPP .....                                                        | 6  |
| 3 METODER .....                                                                       | 7  |
| 3.1 Vurdering av strømbilde ved hjelp av hydrografi- og strømmålinger .....           | 7  |
| 3.1.1 CTD-data .....                                                                  | 7  |
| 3.1.2 Strømmålinger .....                                                             | 9  |
| 3.2 Utslippets skjebne, modellering med Visual Plumes .....                           | 10 |
| 3.2.1 Kartlegging av strømbilde og utslipp (advektivt) ved hjelp av modellering ..... | 12 |
| 4 RESULTATER .....                                                                    | 16 |
| 4.1 Hydrografi .....                                                                  | 16 |
| 4.2 Strøm .....                                                                       | 16 |
| 4.2.1 SD6000 .....                                                                    | 17 |
| 4.2.2 ADCP .....                                                                      | 21 |
| 4.3 Utslippsmodellering med Visual Plumes (vertikalt) .....                           | 24 |
| 4.3.1 Inngangsdata .....                                                              | 24 |
| 4.3.2 Beregning av innlagringsdyp for avløpsvann .....                                | 24 |
| 4.3.3 Fortynning av avløpsvann .....                                                  | 25 |
| 4.3.4 Sensitivitetsanalyse .....                                                      | 26 |
| 4.4 Sirkulasjonsmodellering med RMA2 .....                                            | 28 |
| 4.4.1 Øvre vannmasse (brakkvannslag i smeltesesongen) .....                           | 28 |
| 4.4.2 Nedre lag (under brakkvannslag eller vindpåvirket lag) .....                    | 30 |
| 4.4.3 En homogen vannmasse (uten vind eller med is) .....                             | 33 |
| 4.5 Utslippsmodellering med RMA4 (horisontalt) .....                                  | 36 |
| 4.6 Havstrømmer: modell- vs. observasjonsresultater .....                             | 38 |
| 4.6.1 Overflatelag .....                                                              | 38 |
| 4.6.2 Dypere vannmasser .....                                                         | 39 |
| 5 KONSEKVENSVURDERING .....                                                           | 40 |
| 5.1 Organisk belastning .....                                                         | 41 |
| 5.2 Miljøgifter .....                                                                 | 42 |
| 6 KONKLUSJONER OG AVBØTENDE TILTAK .....                                              | 45 |
| 7 REFERANSER .....                                                                    | 46 |
| 8 VEDLEGG .....                                                                       | 47 |
| 8.1 Strømhastigheter .....                                                            | 47 |

## Forord

---

I forbindelse med revisjon av avløpet fra Longyearbyen til Adventfjorden ønsker Sysselmannen på Svalbard en vurdering av utslippet og miljøtilstanden i Adventfjorden for å vurdere om det er behov for rensing av avløpet. Sysselmannen ønsker en vurdering av alternative rensetiltak og eventuelt forslag til plassering av et renseanlegg. Som grunnlag for vurderingene skal det gjennomføres modelleringer som beskriver strømbildet og innblandingen av utslippet i Adventfjorden.

Sysselmannen har med bakgrunn i dette engasjert Akvaplan-niva til å gjennomføre de miljøfaglige vurderingene. Alle vurderinger og modelleringer skulle i utgangspunktet gjennomføres basert på resultater fra tidligere undersøkelser og tilgjengelig litteratur og data. Det viste seg imidlertid at datagrunnlaget for strøm- og hydrografi i Adventfjorden var såpass dårlig at det ble nødvendig å utføre nye målinger. Feltarbeidet ble gjennomført i perioden juni – august 2009 i samarbeid med Universitetssenteret på Svalbard (UNIS). Akvaplan-niva takker Sysselmannen ved Halvard R. Pedersen, Longyearbyen Lokalstyre ved Håkan Eriksson og UNIS ved Frank Nilsen og Tor Gammelsrød for godt samarbeid i prosjektet. En stor takk rettes også til Vigdis Tverberg ved Norsk Polarinstitutt for hjelp med å stille historiske CTD-data fra UNIS tilgjengelig.

Tromsø 12.03.2010



Anita Evenset,

Prosjektleder

# 1 Innledning

---

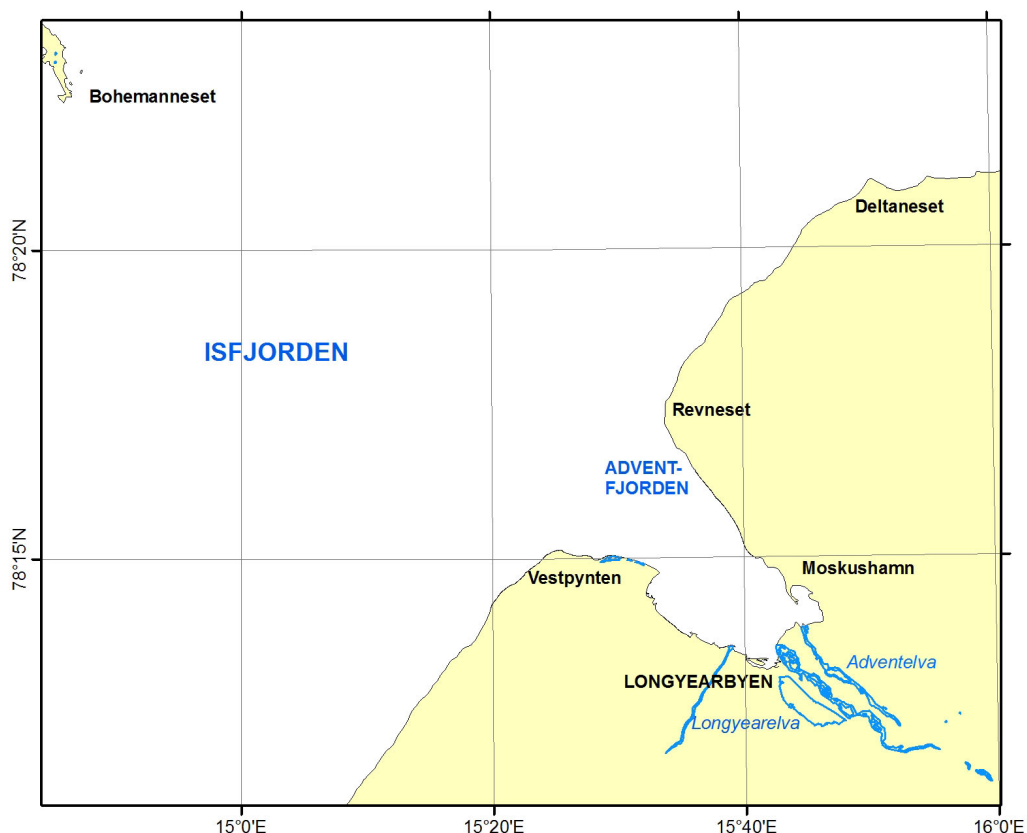
Avløpsvann fra bosettingen i Longyearbyen går i dag urensset ut i Adventfjorden. Før 2005 var det 4 utslippsledninger i Adventfjorden (Bykaia, Energiverket, Brannstasjonen og Sjøskrenten). I 2005 ble antall ledninger redusert til 2 ved at ”Energiverket” og ”Brannstasjonen” ble samlet og pumpet til hovedutslippsledningen. Utslipptet ble da plassert nær Longyearbyen. I 2008 ble alle utslippene samlet og ført med en ca. 3 km lang ledning over mot nordsiden av Adventfjorden. Dagens utslipp ligger nær Moskushamn, og er på ca. 50 m dyp.

Sysselemanden på Svalbard ønsket å vurdere hva samling av utslippene, samt den økte belastningen kan bety for det marine miljø i Adventfjorden. I tillegg ønsket de en vurdering av om rensing av kloakk vil bli nødvendig i fremtiden. Akvaplan-niva ble engasjert for å gjøre de miljøfaglige vurderinger, og følgende problemstillinger er vurdert i rapporten:

- Mulig og sannsynlig forurensing fra utslipp til sjø (organisk belastning og miljøgiftsbelastning).
- Vurdering av dagens resipienttilstand
- Modellering av utslipp (spredning og mulig innlagring)
- Strømbilde for Adventfjorden og dens viktigste vannmasser
- Utslippets virkninger på økosystemet i Adventfjorden
- Behov for rensing
- Fremtidig overvåking

## 1.1 Områdebeskrivelse

Isfjorden, som ligger på vestkysten av Svalbard, er øygruppens største fjordkompleks. Flere mindre fjorder, bl.a. Adventfjorden, går ut fra selve Isfjorden. Adventfjorden er ca. 7 km lang og 3 – 5 km bred og ligger på sørsiden av Isfjorden (Figur 1). Fjorden har ingen terskel. Relativt mye uorganisk materiale blir tilført fra breer og elver. Høy sedimentasjon av uorganiske partikler fører til en uttynning av næringsinnholdet i sedimentet og betydelig fysisk forstyrrelse. En høy sedimentasjonsrate kan også føre til en fortynning av miljøgifter som tilføres sedimentene, slik at lave konsentrasjoner måles til tross for at de totale tilførselene kan være betydelige. Dette er viktig å være klar over ved undersøkelser av miljøstatus i glasialt påvirkede fjorder.



Figur 1. Kart som viser Adventfjorden og Isfjorden.

Longyearbyen ligger innerst i Adventfjorden. Det er i dag ca. 2000 fastboende i Longyearbyen. I tillegg har byen et betydelig antall gjestedøgn som følge av turisme. Turisttrafikken er størst på våren/sommeren, og det er således i denne perioden de største utslippene vil foregå. Svalbard lokalstyre planlegger å installere matavfallskverner i samtlige husholdninger i Longyearbyen innen 1/7-10. Dette vil innebære en økning i mengden organisk avfall som føres ut i Adventfjorden.

## 1.2 Tidligere undersøkelser

Akvaplan-niva har tidligere gjennomført flere undersøkelser i Adventfjorden. I 1992 ble 3 stasjoner innerst i Adventdalen undersøkt med hensyn til bunndyr og sedimenter (Holthe *et al.* 1994). Resultatene viste små indikasjoner på menneskeskapte (antropogene) påvirkninger. I 1998 ble 3 stasjoner fra Adventpynten og innover, samt 1 stasjon midtfjords undersøkt (Cochrane *et al.* 2001). De biologiske analysene avdekket en viss organisk påvirkning utenfor kloakkutslippet ved Longyearbyen. I 2005 ble organisk belastning og bunnfauna undersøkt på 4 stasjoner i Adventfjorden (Velvin *et al.* 2006). Resultatene viste at artsmangfoldet i bløtbunnsfaunaen var lavt i innerste del av fjorden. Organisk innhold og metallkonsentrasjoner i bunnsedimentene var gjennomgående lave, og miljøtilstanden var i hovedtrekk den samme som ble dokumentert både i 1994 og 1998 til tross for økte utslipp fra flere fastboende og gjestdøgn. Konklusjonen fra de gjennomførte undersøkelsene er at bunndyrsamfunnet er forstyrret men samtidig stabilt over tid. Det påpekes imidlertid i alle



undersøkelser på at det kan være vanskelig å skille antropogene påvirkninger fra naturlige miljøforstyrrelser i områder som er påvirket av glacial sedimentering.

Det har også vært utført flere undersøkelser av status med hensyn til miljøgifter i sedimenter i Adventfjorden. Holte *et al.* (1994) registrerte høye konsentrasjoner av PAH i sediment fra Adventfjorden, men forholdsvis lave konsentrasjoner av pesticidene lindan og DDT. Cochrane *et al.* (2001) konkluderte med at miljøgiftnivåene i sediment samlet inn utenfor bosettingene i Longyearbyen, med noen unntak, var lave i forhold til industrielle områder i fastlands-Norge. Nivåene utenfor bosettingene var imidlertid høyere enn i åpne havområder utenfor Svalbard. Evenset *et al.* (2006) og Evenset *et al.* (2009) målte forhøyde konsentrasjoner av hydrokarboner i sediment fra Adventfjorden, men relativt lave konsentrasjoner av klororganiske forbindelser, tributyltinn (TBT) og metaller.

## 2 Beskrivelse av utslipp

Longyearbyen Lokalstyre har oppgitt at utslippspunktet for avløpsvann ligger på 50 m dyp omtrent i posisjonen: 78 14.815 N og 15 39.102 E. Røret ligger hevet ca. 1 m over havbunnen.

Vanninntaket som blander ut kloakken består av smeltevann fra breer. Det er et relativt høyt vannforbruk i Longyearbyen (Tabell 1), og vanlige utslippsmengder antas å være et sted mellom 400 og 900 m<sup>3</sup>/døgn.

Asplan-viak har gjennomført en vurdering av miljøgifter i avløpsvann fra Longyearbyen (Nedland 2009). I vurderingen har de lagt til grunn at det er 2040 fastboende i Longyearbyen, og at det er gjennomsnittlig 250 turister på besøk, dvs. at det i gjennomsnitt slippes ut 2290 pe<sup>1</sup> til Adventfjorden.

Tabell 1. Vannforbruk og avløpsmengde i Longyearbyen i 2008-09 (Nedland 2009):

|                                  | m <sup>3</sup> /døgn | liter/pe/døgn |
|----------------------------------|----------------------|---------------|
| Vannforbruk i 2008               | 767                  | 335           |
| Avløpsmengde fra 24/10 – 14/5-09 | 686                  | 299           |

I alt 7 prøver av avløpsvann ble analysert for innhold av fosfor og nitrogen, samt biologisk- og kjemisk oksygenforbruk (BOF<sub>5</sub> og KOF). Konklusjonen fra undersøkelsen til Asplan-viak var at innholdet av organisk stoff og næringsstoffer i avløpsvannet fra Longyearbyen var sammenlignbart med de nivåene man vanligvis finner i avløpsvann fra renseanlegg på fastlandet. En vannprøve ble analysert for olje og 7 prøver ble analysert for metaller. Tungmetallkonsentrasjonene i avløpsvannet var sammenlignbare med de som vanligvis finnes i annet norsk ubehandlet avløpsvann. Når det gjelder organiske miljøgifter så var nivåene generelt lave, men det ble funnet noe forhøyde konsentrasjoner av polyaromatiske hydrokarboner (PAH), Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) og Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) i en av de analyserte vannprøvene (kun 2 prøver ble analysert). Den samme prøven inneholdt også spor av oktylfenol, et stoff som skal være utfaset i Norge. For flere detaljer omkring utslippene vises det til Nedland (2009).

I tillegg til organisk materiale og næringssalter inneholder kommunalt avløpsvann en rekke ulike mikroorganismer (bakterier, virus osv), som i hovedsak stammer fra mennesker. Noen tarmbakterier er sykdomsfremkallende (patogene), mens den vanligste, *Escherichia coli* (*E.coli*), normalt ikke er det. Konsentrasjonen av termotabile koliforme bakterier (TKB) blir av SFT benyttet som indikator på fekal forurensning fordi de hyppigst forekommende sykdomsfremkallende tarmbakteriene har samme eller dårligere evne til å overleve i sjøvann. I tillegg er antall TKB enkelt å bestemme ved analyse (SFT, 2005). Det finnes ingen målinger av TKB fra avløpsvannet. En veiledende konsentrasjon av TKB i avløpsvann er mellom 1\*10<sup>6</sup> og 5\*10<sup>6</sup> bakterier per 100 ml avløpsvann (Molvær, 2010). I modelleringene ble det benyttet en verdi på 2\*10<sup>6</sup> bakterier per 100 ml avløpsvann, da kloakken regnes som godt fortynnet med avløpsvann.

<sup>1</sup> 1 pe = 60 g BOF<sub>5</sub> pr. døgn. (EU). Det vil si at en organisk tilførsel som har et gjennomsnittlig forbruk av 60 g oksygen pr. døgn i 5 dager tilsvarer 1 personekvivalent (pe).

## 3 Metoder

---

### 3.1 Vurdering av strømbilde ved hjelp av hydrografi- og strømmålinger

#### 3.1.1 CTD-data

Hydrografimålinger ble gjennomført den 3. august 2009 for å identifisere eventuelle lagdelinger og grensesjikt i vannsøylen. Resultatene fra hydrografimålinger kan også benyttes direkte som inngangsdata til modellen Visual Plumes (se kapittel 3.2). Instrumentet som ble brukt var en SAIV 204 STD-O. Saltholdighetsmålingene viste for lave verdier, og derfor kan ikke absoluttverdiene brukes. Av denne årsak velger vi å ikke vise profilene i rapporten. Likevel gir profilene på hver stasjon verdifulle kvalitative opplysninger om eventuelle lagdelinger, og de viktigste resultater fra denne analysen er gjengitt i kapittel 4.1.

UNIS har stilt sine datasett til rådighet, og 20 hydrografiprofiler fra Adventfjorden og nærområdet fra tidsrommet 1994 til 2009 ble funnet frem. I tillegg har vi selv utført en CTD-profil i 2005. Oversikt over disse profilene er gitt i Tabell 2 og Figur 2. Fordelingen på årets måneder er vist i Tabell 3.

Tabell 2. Oversikt over historiske hydrografistasjoner som har blitt brukt som inngangsdata til modellering med Visual Plumes

| Stasjon | Tid<br>(yyyy-mm-dd) | Posisjon    |             | Maks<br>målingsdyp<br>[m] | Opphav        |
|---------|---------------------|-------------|-------------|---------------------------|---------------|
|         |                     | Breddegrad  | Lengdegrad  |                           |               |
| CTD_1   | 1994-09-12          | 78 14.94 N  | 15 00.02 E  | 202                       | UNIS          |
| CTD_2   | 1994-09-17          | 78 15.63 N  | 15 01.74 E  | 204                       | UNIS          |
| CTD_3   | 1994-09-28          | 78 15.07 N  | 15 00.37 E  | 222                       | UNIS          |
| CTD_4   | 1994-12-06          | 78 14.87 N  | 15 00.25 E  | 199                       | UNIS          |
| CTD_5   | 1994-12-06          | 78 22.05 N  | 15 29.37 E  | 234                       | UNIS          |
| CTD_6   | 1995-08-20          | 78 15.59 N  | 15 01.86 E  | 195                       | UNIS          |
| CTD_7   | 1996-08-30          | 78 19.98 N  | 15 36.35 E  | 162                       | UNIS          |
| CTD_8   | 1999-05-06          | 78 21.07 N  | 15 31.65 E  | 204                       | UNIS          |
| CTD_9   | 1999-09-08          | 78 14.81 N  | 15 11.10 E  | 237                       | UNIS          |
| CTD_10  | 2001-05-18          | 78 17.7 N   | 15 18.7 E   | 253                       | UNIS          |
| CTD_11  | 2001-05-27          | 78 16.7 N   | 15 19.8 E   | 217                       | UNIS          |
| CTD_12  | 2003-11-15          | 78 18.36 N  | 15 25.54 E  | 253                       | UNIS          |
| CTD_13  | 2003-11-16          | 78 19.85 N  | 15 18.74 E  | 256                       | UNIS          |
| CTD_14  | 2007-04-17          | 78 15.57 N  | 15 16.70 E  | 223                       | UNIS          |
| CTD_15  | 2007-07-17          | 78 18.334 N | 15 32.267 E | 45                        | UNIS          |
| CTD_16  | 2007-07-18          | 78 18.334 N | 15 32.267 E | 46                        | UNIS          |
| CTD_17  | 2007-07-20          | 78 14.116 N | 15 17.419 E | 44                        | UNIS          |
| CTD_18  | 2008-04-16          | 78 13.8 N   | 15 38.9 E   | 50                        | UNIS          |
| CTD_19  | 2008-04-23          | 78 13.8 N   | 15 38.8 E   | 45                        | UNIS          |
| CTD_20  | 2009-11-19          | 78 14.593 N | 15 36.304 E | 71                        | UNIS          |
| CTD_21  | 2005-09-29          | 78 14.56 N  | 15 37.23 E  | 67                        | Akvaplan-niva |

Tabell 3. Fordeling av historiske CTD-profiler brukt i VP-modelleringen, på årets måneder

| Måned     | Antall |
|-----------|--------|
| Januar    |        |
| Februar   |        |
| Mars      |        |
| April     | 3      |
| Mai       | 3      |
| Juni      |        |
| Juli      | 3      |
| August    | 2      |
| September | 5      |
| Oktober   |        |
| November  | 3      |
| Desember  | 2      |
| Sum       | 21     |

### 3.1.2 Strømmålinger

Strømforhold ble målt over en drøy måned (en full tidevannssyklus) ved hjelp av 4 rigger med strømmålere i Adventfjorden. Lokalisering av stasjoner er gitt i (Tabell 4) og Figur 2. SM3 ble plassert der vi ut fra opplysninger fra oppdragsgiver antok at utslippspunktet for kloakk ligger. Opplysninger vi mottok på et senere tidspunkt viste imidlertid at det faktiske utslippspunktet lå ca. 300 m fra strømmålerens posisjon.

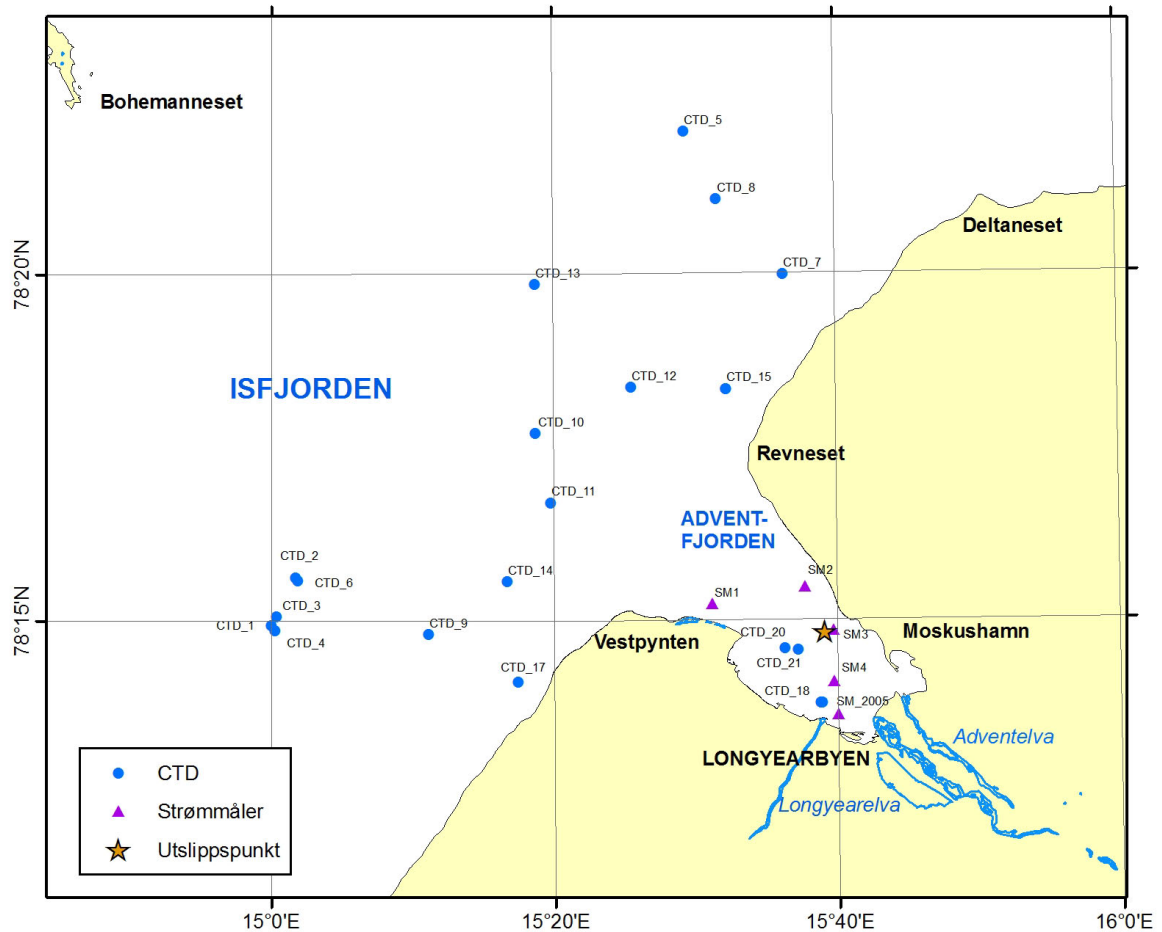
Strømmålinger fra omtrent samme dyp på flere posisjoner vil bidra til å kartlegge strømbildet i den ønskede vanndybde. Videre vil målinger fra flere dyp kunne avsløre lagdelinger i vannmassene og/ eller hastighetsskjær i vannsøylen. Verdier for strømhastighet nær utslippspunktet ble brukt som inngangsdata i modelleringen med Visual Plumes.

På stasjon SM1 var det plassert en rotormåler fra Sensordata (SD 6000) på 15 m dyp. På SM2 var det plassert en profilerende ADCP fra Nortek (400kHz), som målte kontinuerlig oppover i vannsøylen i 2 m tykke celler. På SM3 og SM4 var det to identiske rigger med en rotormåler på 6 m dyp og en rotormåler 4 m over havbunnen.

Merk at de to målertypene baseres på ulike måleprinsipper (rotor og akustiske lydpuiser) og forventes å gi noe ulike resultater. Rotormålerne har en nedre terskelverdi som gjør at resultatene vil underestimere strømstyrken i områder med svak strøm. Erfaring tilsier at de profilerende akustiske målerne ofte viser noe høyere verdier enn det rotormålerne gjør for sammenlignbare strømforhold.

Tabell 4: Oversikt over de 4 strømmålerrieggene

| Stasjonsnavn | Måleperiode (2009) | Måledybder [m] | Breddegrad  | Lengdegrad  |
|--------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|
| SM1          | 26.juni – 1.august | 15             | 78 15.232 N | 15 31.206 E |
| SM2          | 2.juli – 1.august  | 7: 2:51        | 78 15.471 N | 15 37.731 E |
| SM3          | 26.juni – 1.august | 6 og 51        | 78 14.840 N | 15 39.724 E |
| SM4          | 26.juni – 1.august | 6 og 50        | 78 14.100 N | 15 39.724 E |



Figur 2. Kart som viser posisjoner for strøm- og hydrografimålinger utført av UNIS og Akvaplan-niva 1994-2009 i Adventfjorden og Isfjorden. Utslippspunkt for kloakk er vist med stjerne.

### 3.2 Utslippets skjebne, modellering med Visual Plumes

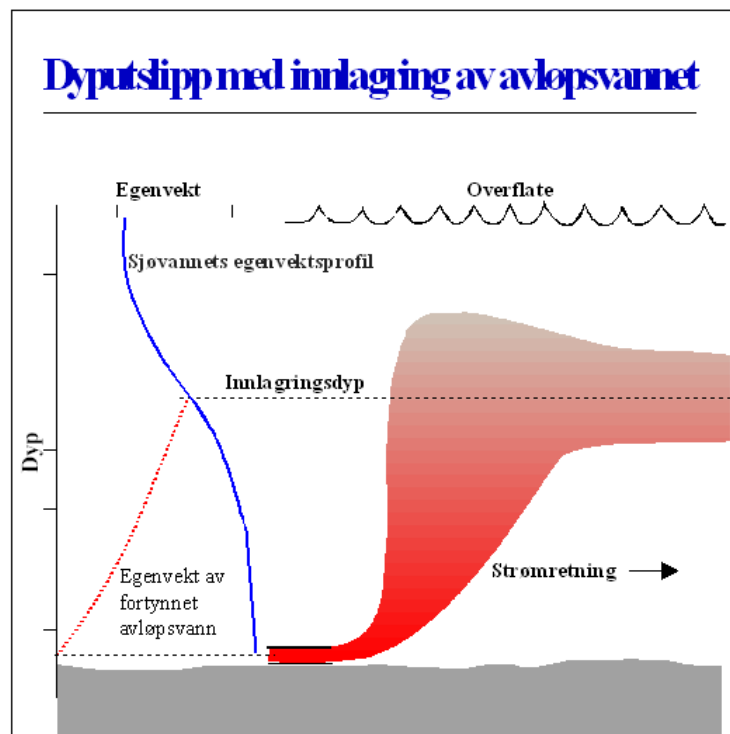
Dersom avløpsvannet er lettere enn sjøvann, vil det begynne å stige mot overflaten samtidig som det fortynnes raskt med omkringliggende sjøvann. Hvis sjøvannet har en stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av avløpsvann og sjøvann øker, samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvann avtar. Dermed kan blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring i et gitt dyp (se Figur 3). Da har ikke blandingsvannmassen lenger noen positiv oppdrift, men har fortsatt vertikal bevegelsesenergi og vil vanligvis stige noe forbi "likevektsdypet", for deretter å synke tilbake og innlagres. I fjord- og kystområder er det vanligvis en vertikal sjiktning i sjøvannet, og dersom utslippet legges tilstrekkelig dypt kan det fortynnede avløpsvannet innlagres uten å nå opp til overflaten. Etter innlagringen vil avløpsvannet spres med strømmen samtidig som det fortynnes videre.

Beregning av spredning av utslippsskyen, eventuelt innlagringsdyp og fortynning er gjort med den numeriske modellen Visual Plumes utviklet av U.S. EPA (Frick *et al.* 2001). Det er brukt anbefalte standardverdier for turbulent diffusjonskoeffisient i alle simuleringene. For beregningene av innlagringsdyp behøves opplysninger om:

1. ledningsdiameter
2. omtrentlig saltholdighet og temperatur til utslippsvann
3. vannmengder (typiske maksimums- og middelverdier)
4. vertikale profiler av saltholdighet og temperatur
5. strømforhold (hastighet og retning)

Opplysninger om ledningsdiameter og utslippsdata ble innhentet fra oppdragsgiver og Longyearbyen Lokalstyre. Som inngangsdata til modellsimuleringene bør det ideelt sett foreligge både hydrografi- og strømmålinger gjennom et helt år. Akvaplan-niva har fått tilgang til hydrografi-data innsamlet av UNIS i Adventfjorden og i umiddelbar nærhet av Adventfjorden fra 1994 og frem til november 2009. I tillegg til en egen utført profil (Velvin *et al.* 2006) foreligger det 20 profiler rimelig jevnt fordelt over året (se Tabell 3).

Hastigheten til strømmen har betydning både for innlagringsdypet og for spredningen av det fortynnede avløpsvannet. Strømforhold ble målt nær eksisterende utslippspunkt og typiske strømhastigheter og -retninger ble benyttet som inngangsdata til modelleringen (se kapittel 4.2).



Figur 3. 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).

### 3.2.1 Kartlegging av strømbilde og utslipp (advektivt) ved hjelp av modellering

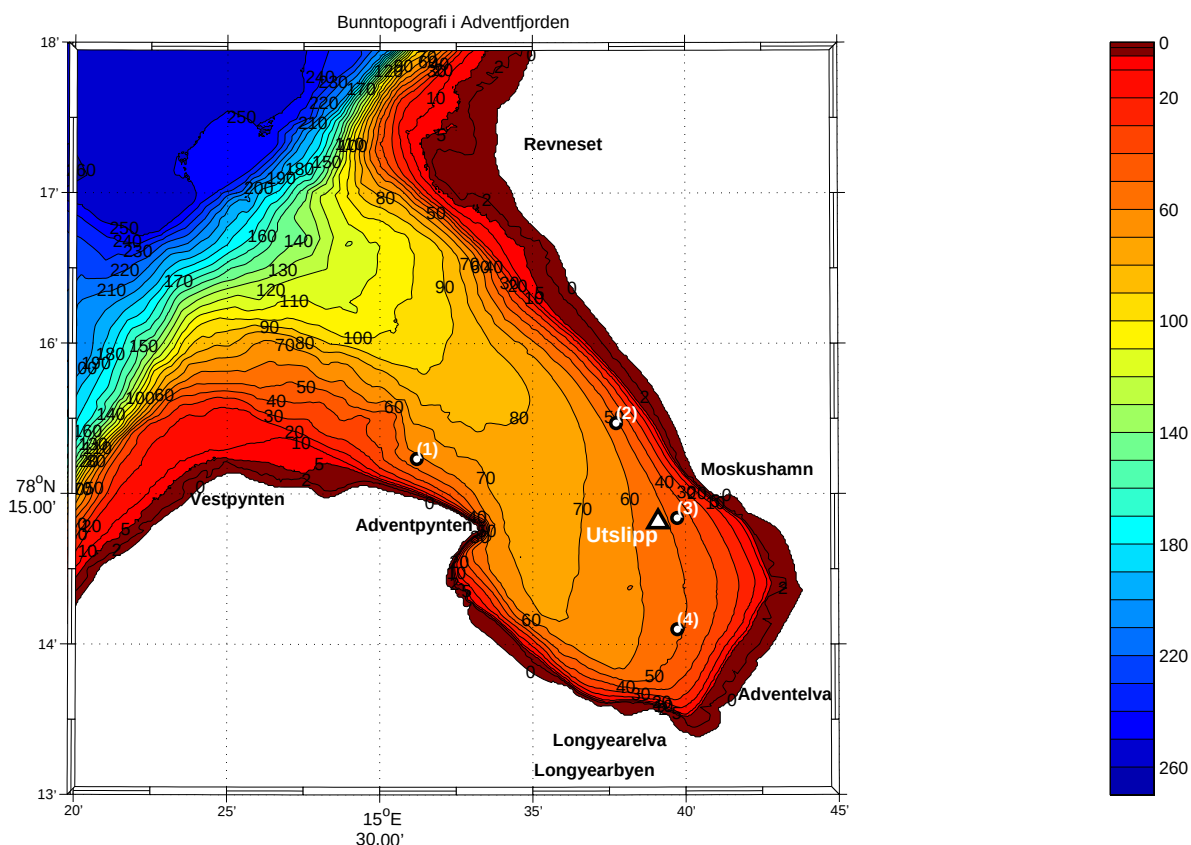
Modelleringen av strømbildet i Adventfjorden ble gjennomført med den todimensjonale hydrodynamiske sirkulasjonsmodellen RMA2. Denne bruker SMS (Surface-water Modeling System, <http://www.aquaveo.com/>) som brukergrenseflate og gridverktøy. Basislikningene i modellen er Navier Stokes likninger, som løses ved hjelp av en endelig-element-metode på et ustrukturert gitter. Her kan man dessuten påbygge transportmodellen RMA4, som bruker strømbildet fra RMA2 til å kartlegge partikkelspredning og fortykning.

Begge disse RMA-modellene er utviklet av Norton, King and Orlob (1973), Resource Management Associates (RMA) og WES Coastal & Hydraulics Laboratory. Modellverktøyet er velprøvd og fungerer bra i henhold til dokumentasjon fra bl.a. USA (Donnell *et al.* 2005).

#### 3.2.1.1 Inngangsdata

Inngangsdata til RMA2-modelleringen er bunntopografi, strøm, hydrografi, tidevann og ferskvannstilførsel fra land. Det er også mulig å sette opp vind som drivkraft. For RMA4 er nødvendige inngangsdata utslippets posisjon og dets konsentrasjon eller mengde i utslippspunktet.

Detaljert bunntopografi (primærdata) er skaffet fra Statens Kartverk, Sjøkartverket. Disse er fremstilt, sammen med utslippspunkt og posisjoner for strømmålerpigger, i Figur 4.



Figur 4. Bunndata i Adventfjorden skaffet fra Statens Kartverk, Sjøkartverket (primærdata). Utslippspunkt (hvit trekant) og strømmålerpigger (sorte punkter) inntegnet. Fargeskalaen har benevnelsen meter (dybde).



Tidevannsdata fra Longyearbyen er også skaffet fra Statens Kartverk, Sjøkartverket. De har tatt utgangspunkt i faktiske vannstandsmålinger fra Ny-Ålesund, og implementert en faseforskyvning på ca. 15 minutter (tidevannssignalet når Longyearbyen ca. 15 minutter før Ny-Ålesund).

De to største elvene i Adventfjorden er tatt med i modelleringene, nemlig Adventelva og Longyearelva. Data for elvetilførsel har vi fått fra NVE (Sund, 2008). De har feltnmålinger fra Endalselva. En grov tilnærming har vært å skalere opp Adventelvas og Longyearelvas vannføring opp mot Endalselvas, ved å sammenligne deres nedbørsarealer. Her er mange feilkilder som for eksempel andelen av isbre og smelting av denne, som det ikke er tatt høyde for, men en grov beregning er foretatt. Gjennomsnittlig vannføringen for Endalselva juli 2000 var på ca.  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tilsvarende verdier for Longyearelva og Adventelva er estimert til 5 og  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Strømmålingene som ble utført på 4 stasjoner i Adventfjorden vil først og fremst kunne gå inn som valideringsdata. Det kunne også vært mulig å "drive" modellen med slike data, men det er ikke blitt gjort i denne fasen.

Utslipet som når opp til overflaten er modellert med transportmodellen RMA4, og er lokalisert til punktet som er gjengitt i Figur 2 (stjerne) og Figur 4 (trekant). Oppdragsgiver informerer at denne plasseringen er noe unøyaktig og kan muligens avvike med opptil et par hundre meter.

Vi har simulert med et utslipp på  $9,6 \text{ l/s}$  avløpsvann, som er en relativt høy verdi, ifølge Longyearbyen Lokalstyre. Dette gir en utslippsmengde av TKB på ca.  $100 - 500 \cdot 10^6/\text{s}$ , i følge veiledende konsentrasjoner av avløpsvann gitt i kapittel 2. Dødeligheten til TKB-bakteriene avhenger mye av temperatur og sollys. Dødeligheten øker med mer sollys og varme. Sommerstid i Adventfjorden gir mye sol, men ikke så mye varme. Ifølge EUs avløpsdirektiv (SFT, 2005), vil dødeligheten være slik at bakteriepopulasjonen blir redusert med en tierpotens etter 3-5 timer ( $T_{90}$ ).

For simuleringer av overflatevannet velger vi en konservativ verdi for dødeligheten til TKB-bakteriene på en tierpotens hver 6. time.

Spredningssimuleringer med RMA4 for scenarioene med dypvann eller én homogen vannmasse er ikke foretatt, da utslippet ikke vil fylle hele den aktuelle vannsøylen på en tilnærmet homogen måte. Vi får som regel enten et relativt klart definert innlagingsdyp, eller så går utslippet til overflaten.

### **3.2.1.2 Modelloppsett**

Det er blitt modellert for sommersituasjon med brakkvannslag i overflaten og en dypere homogen vannmasse. I tillegg er en vintersituasjon med ett homogent vannlag simulert. Det er mulig å sette vind på førstnevnte, og la overflatelaget være vindpåvirket. Situasjonen med ett homogent vannlag kan karakterisere en vannmasse vinterstid, uten vind eller med isdekke (men uten at det tas hensyn til friksjon mellom is og vann).

Modellen for sommersituasjonen simulerer det øverste og det nedre laget hver for seg. Overflatelaget antas å være et tynt brakkvannslag i de øverste 3 m. Denne tykkelsen er funnet fra CTD-målinger foretatt av Akvaplan-niva 2. august 2009 (se kapittel 4.1). Modellen blir drevet av tidevann (data fra Statens Kartverk, Sjøkartverket) og vanntilførsler fra Advent- og Longyearelva. Det er i denne omgang ikke blitt simulert med vind. Bunnfriksjonen varierer med dybden, og er størst ved grunt vann.

Utslippets spredning i overflatelaget med RMA4-modellen simuleres fra utslippspunktet gitt i Figur 2 og Figur 4. Vi har valgt TKB som utslippsmateriale, fordi det ifølge SFT er den

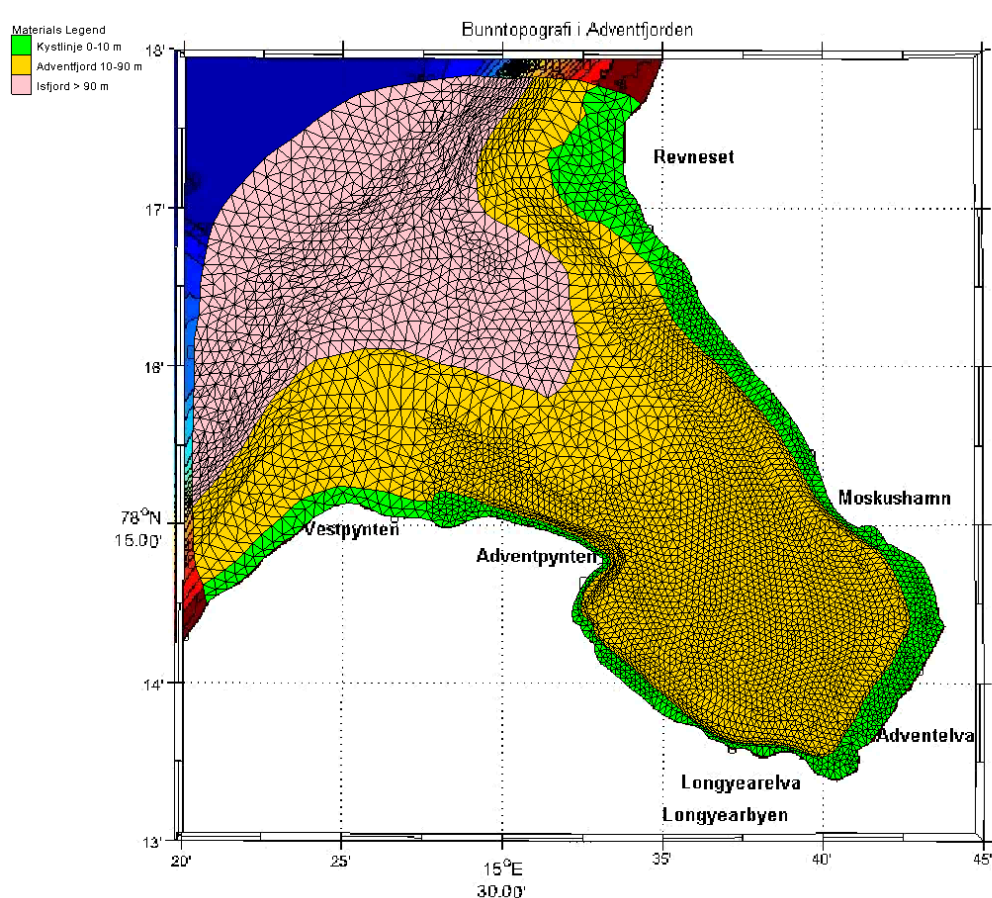
viktigste indikatoren på avløpsvann (SFT, 2005). TKB er beskrevet nærmere i kapittel 2, kapittel 3.2.1.1 og i den ovenfor nevnte referanse.

Dypvannslaget antas å strekke seg fra 10 m dybde og ned til bunnen. Her er det kun tidevann som driver dynamikken i modellen.

Det mellomliggende lag (3 – 10 m) antas å være et mellomsjikt mellom dypvanns- og overflatelag.

Modellen for vintersituasjonen simulerer ett homogent vannmasselag som strekker seg hele veien fra havbunnen til overflaten. Her er det tidevannet som hovedsakelig driver dynamikken, men et svært lite bidrag fra Adventelva ( $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) er inkludert.

Det ustrukturerte griddet i modellene har en oppløsning på ca. 50 m ved land innerst i Adventfjorden og omtrent 200 m ved utløpet (se Figur 5). Tidssteget er satt til 30 minutter.



Figur 5. Skisse over det ustrukturerte griddet i modellkjøringen med ett homogent vannlag. De andre modellkjøringene har tilsvarende gridoppløsninger. De ulike farger viser ulike dybdenivåer med ulike bunnfriksjonsverdier etc.

### **3.2.1.3 Begrensninger angående modelloppsettet**

Fordi modelloppsettet har hydrodynamikk i 2D og de ulike lagene blir modellert hver for seg, kan ikke modellverktøyet vårt ta hensyn til vekselvirkninger innbyrdes mellom de forskjellige lag eller gradienter innenfor hvert lag. Dette betyr at vertikale hastighetsskjær og medrivning mellom vannmasser ikke blir tatt med i simuleringene. Dette betyr også at det ikke blir satt opp tilhørende kompensasjonsstrømmer i laget under det utovergående elvevannslaget, som antas å være betydelig i indre del av Adventfjorden. Det er forsøkt å fjerne noe av denne effekten ved å gå så dypt som til 10 m for øverste grense til dypvannet.

Ingen barokliniske effekter (endring av tetthet horisontalt) som for eksempel effekter av jordrotasjonen på tynne vannlag er inkludert i den barotropiske 2D-modellen.

For dypvannet om sommeren og for vintersituasjonen med ett homogent vannlag var det nødvendig å skru opp bunnfriksjonen og viskositeten til vannet for å få modellene til å konvergere. Konsekvensene ble at strømmene fikk noe lavere absoluttverdier på hastighetene..

Det er i dette prosjektet ikke tatt med vind i modellberegningene. Dermed får ikke modellens overflatelag vind som direkte drivkraft. Det blir heller ikke implementert oppstuvning av Ekman-lag med tilhørende vindinduserte geostrofiske strømmer (som nok er en effekt av noe mindre betydning). Dette kan eventuelt inkluderes i en senere fase i dette prosjekt, hvis ønskelig.

## 4 Resultater

---

### 4.1 Hydrografi

De 11 CTD-profilene som ble utført av Akvaplan-niva 3. august 2009 i Adventfjorden viste for lave saltverdier, og vi begrenser oss av den grunn til å beskrive lagdelingen med ord.

Brakkvannslaget med ferskvann fra først og fremst Adventelva fløt oppå det mer salte og tyngre vannet som kommer inn fra Isfjorden. Tykkelsen på brakkvannslaget var omtrent 2-4 m jevnt over hele fjorden, men tetthetsgradienten ble litt svakere da man beveget seg utover i fjorden.

Under brakkvannslaget så det ut til å være et mellomsjikt der tettheten økte jevnt ned til ca. 40 m. Fra 40 m dybde og nedover i vannsøylen var vannmassen generelt mer homogen.

### 4.2 Strøm

Nær bunnen viste stasjon SM4 svak, men stabil nordgående strøm (se Figur 10). Ved SM3 hadde retningen til strømmen dreid mot nordvest (Figur 8). Ved SM2 nær bunnen hadde strømmen fremdeles retning mot nordvest (Figur 13), ut av Adventfjorden. Ved å se på andre historiske målinger, ser vi at strømmen på sydsiden av Adventfjorden (se punktet SM\_2005 i Figur 2), har hovedretning mot sydøst i det dype laget (Velvin *et al.* 2006). Disse observasjonene indikerer at vi har en strøm i de dypere lag i Adventfjorden som følger bunnkonturene inn i fjorden på sydsiden, inn mot bunnen av fjorden, dreier så nordover og vestover, for til slutt å strømme ut langs skråningen mot nord, ut mot Isfjorden igjen.

Ved overflaten er retningene til strømmen mer variabel, og det er tydelig at vind og tidevann er viktigste drivkrefter her. Ved SM1 er det resultantstrøm ut av Adventfjorden (Figur 6). Ved SM2 er det en klar resultantstrøm ut av fjorden (Figur 11) slik som i det dype lag, mot nordvest. Ved SM3 er det noe overraskende en kraftig komponent mot syd, i tillegg til en mindre komponent mot vest (Figur 7). Overflatestrømmen ved SM4 viser først og fremst hastighetskomponenter mot nordøst og mot syd-sydvest (Figur 9).

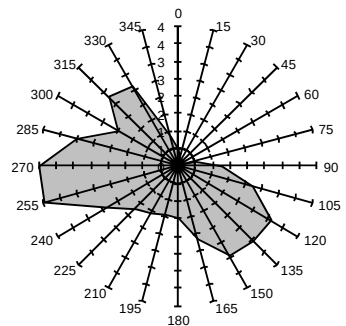
Strømhastigheter på de ulike stasjonene er presentert i Tabell 5 - Tabell 9, samt i Vedlegg 8.1.

#### 4.2.1 SD6000

Tabell 5. Registreringer av strøm på 15 m dyp på stasjonen SM1, 26. juni – 3. august 2009.

| Rigg 1 (15m dyp)                                              |                   |      |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|------|
|                                                               | Hastighet (cm/s.) | Temp |
| Max                                                           | 19                | 6,55 |
| Min                                                           | 0,4               | 1,75 |
| Gj.snitt                                                      | 4,4               | 3,7  |
| % av målinger > 10 cm/s                                       | 2 %               |      |
| % av målinger < 10 > 3 cm/s                                   | 70 %              |      |
| % av målinger < 3 > 1 cm/s                                    | 27 %              |      |
| % av målinger < 1 cm/s                                        | 1 %               |      |
| 95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. = | 8,07              |      |
| Residual strøm                                                | 1,3               |      |
| Residual retning                                              | 228               |      |

Rigg 1 (15m dyp)  
vanntransport ( $l/(s \cdot m^2)$ )

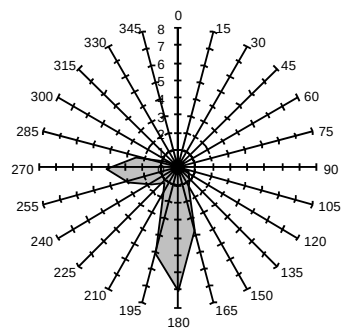


Figur 6. Vanntransport på 15 m dyp på stasjon SM1, 26. juni – 3. august 2009

Tabell 6. Registreringer av strøm på 6 m dyp på stasjonen SM3, 26. juni – 3. august 2009.

| Rigg 3 (6m dyp)                                               |                   |      |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|------|
|                                                               | Hastighet (cm/s.) | Temp |
| Max                                                           | 23,8              | 7,1  |
| Min                                                           | 0                 | 2,95 |
| Gj.snitt                                                      | 3,6               | 4,8  |
| % av målinger > 10 cm/s                                       | 4 %               |      |
| % av målinger < 10 > 3 cm/s                                   | 39 %              |      |
| % av målinger < 3 > 1 cm/s                                    | 48 %              |      |
| % av målinger < 1 cm/s                                        | 9 %               |      |
| 95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. = | 9,2               |      |
| Residual strøm                                                | 2,1               |      |
| Residual retning                                              | 209               |      |

**Rigg 3 (6m dyp)**  
**vanntransport ( $l/(s \cdot m^2)$ )**

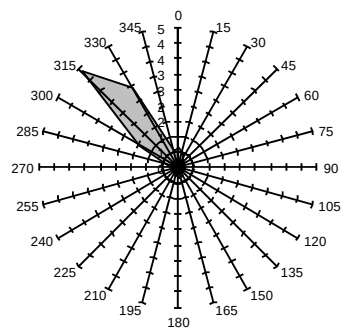


Figur 7. Vanntransport på 6 m dyp på stasjon SM3, 26. juni – 3. august 2009

Tabell 7. Registreringer av strøm 4 m over bunn på stasjonen SM3, 26. juni – 3. august 2009.

| Rigg 3 (4m over bunn)                                         |                   |      |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|------|
|                                                               | Hastighet (cm/s.) | Temp |
| Max                                                           | 15,6              | 4,8  |
| Min                                                           | 0,2               | 1,85 |
| Gj.snitt                                                      | 1,4               | 3,1  |
| % av målinger > 10 cm/s                                       | 1 %               |      |
| % av målinger < 10 > 3 cm/s                                   | 3 %               |      |
| % av målinger < 3 > 1 cm/s                                    | 7 %               |      |
| % av målinger < 1 cm/s                                        | 88 %              |      |
| 95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. = | 2,6               |      |
| Residual strøm                                                | 0,6               |      |
| Residual retning                                              | 330               |      |

Rigg 3 (4m over bunn)  
vanntransport ( $l/(s \cdot m^2)$ )

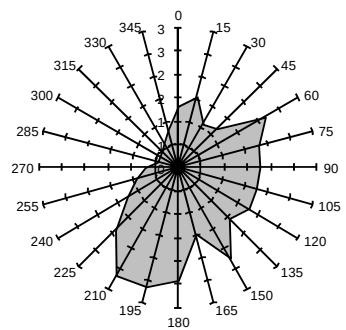


Figur 8. Vanntransport 4 m over bunn på stasjon SM3, 26. juni – 3. august 2009

Tabell 8. Registreringer av strøm på 6 m dyp på stasjonen SM4, 26. juni – 3. august 2009.

| Rigg 4 (6m dyp)                                               |                   |      |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|------|
|                                                               | Hastighet (cm/s.) | Temp |
| Max                                                           | 24                | 6,85 |
| Min                                                           | 0                 | 2,25 |
| Gj.snitt                                                      | 3,5               | 4,4  |
| % av målinger > 10 cm/s                                       | 2 %               |      |
| % av målinger < 10 > 3 cm/s                                   | 42 %              |      |
| % av målinger < 3 > 1 cm/s                                    | 51 %              |      |
| % av målinger < 1 cm/s                                        | 5 %               |      |
| 95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. = | 7,6               |      |
| Residual strøm                                                | 0,8               |      |
| Residual retning                                              | 151               |      |

**Rigg 4 (6m dyp)**  
**vanntransport ( $l/(s \cdot m^2)$ )**



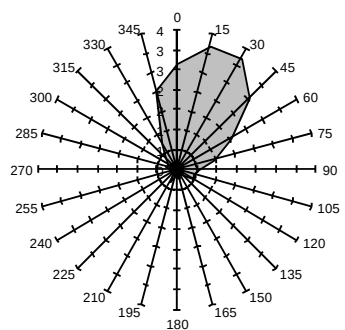
Figur 9. Vanntransport på 6 m dyp på stasjon SM4, 26. juni – 3. august 2009



Tabell 9. Registreringer strøm 4 m over bunn på stasjonen SM4, 26. juni – 3. august 2009.

| Rigg 4 (4m over bunn)                                         |                   |      |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|------|
|                                                               | Hastighet (cm/s.) | Temp |
| Max                                                           | 15,4              | 5,25 |
| Min                                                           | 0,2               | 1,9  |
| Gj.snitt                                                      | 2,1               | 3,2  |
| % av målinger > 10 cm/s                                       | 1 %               |      |
| % av målinger < 10 > 3 cm/s                                   | 20 %              |      |
| % av målinger < 3 > 1 cm/s                                    | 15 %              |      |
| % av målinger < 1 cm/s                                        | 64 %              |      |
| 95-prosentil (95 % av målinger ligger mellom 0 og ant cm/s. = | 6,73              |      |
| Residual strøm                                                | 1,1               |      |
| Residual retning                                              | 22                |      |

Rigg 4 (4m over bunn)  
vanntransport ( $l/(s \cdot m^2)$ )

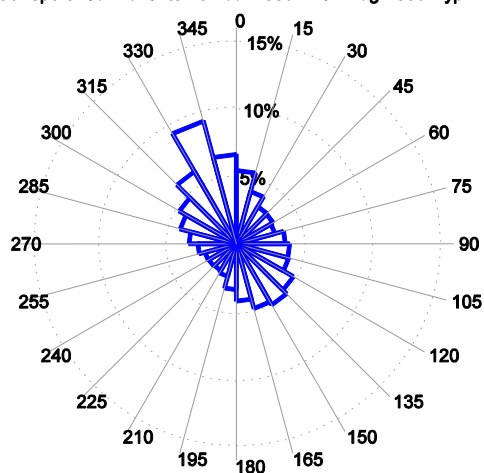


Figur 10. Vanntransport 4 m over bunn på stasjon SM4, 26. juni – 3. august 2009

#### 4.2.2 ADCP

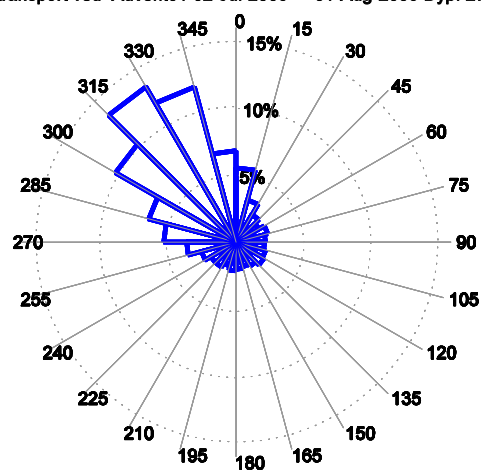
ADCP-profileren målte i 2 m tykke celler oppover i vannsøylen, fra ca. 5 m over havbunnen (Tabell 10). Tre datasett har blitt plukket ut. Det er øverste celle med brukbare resultater, tilsvarende gjennomsnittlig 7 m dybde (Figur 11), i tillegg til 27 m dybde (Figur 12) og 51 m dybde (Figur 13). Den siste dybden er den dypeste målingen fra ADCP-måleren.

Roseplott for transport ved Advent01 02-Jul-2009 - 01-Aug-2009 Dyp: 7m, ADCP



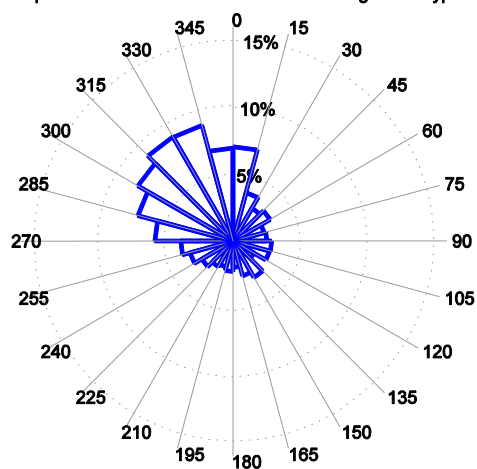
Figur 11. Vanntransport (prosentvis fordeling) på 7 m dyp på stasjon SM2, 2. juli 2009 – 3. august 2009

Roseplott for transport ved Advent01 02-Jul-2009 - 01-Aug-2009 Dyp: 27m, ADCP



Figur 12. Vanntransport (prosentvis fordeling) på 27 m dyp på stasjon SM2, 2. juli 2009 – 3. august 2009

Roseplott for transport ved Advent01 02-Jul-2009 - 01-Aug-2009 Dyp: 51m, ADCP



Figur 13. Vanntransport (prosentvis fordeling) på 51 m dyp på stasjon SM2, 2. juli 2009 – 3. august 2009

Tabell 10: Oversikt over statistiske verdier fra utvalgte måleceller

| Dyp                             | 7 m  | 27 m | 51 m |
|---------------------------------|------|------|------|
| Max [cm/s]                      | 53,3 | 35,3 | 31,6 |
| Min [cm/s]                      | 0    | 0    | 0,3  |
| Gjennomsnitt [cm/s]             | 10,6 | 10,1 | 9,9  |
| % andel < 10 [cm/s]             | 45   | 44   | 45   |
| % andel <3 , 10>[cm/s]          | 44   | 48   | 47   |
| % andel <1 , 3> [cm/s]          | 7    | 7    | 7    |
| % andel <1 [cm/s]               | 1    | 1    | 1    |
| 95 percentil                    | 23,2 | 21,1 | 19,9 |
| Residualstrøm [cm/s]            | 1,3  | 4,4  | 3,3  |
| Residualretning (kompassgrader) | 4    | 323  | 326  |

## 4.3 Utslippsmodellering med Visual Plumes (vertikalt)

Vi har foretatt modellering med gjennomsnittlige verdier for resipientstrøm og utslippsflukser for å finne scenarioer som er representative for typiske drifts- og resipientforhold. Deretter har vi endret noen av de viktigste parameterne, for å se hvilke som er avgjørende for om vi får innlagring i vannsøylen eller ikke. Det er størst sannsynlighet for gjennomslag til overflaten ved svak strøm og med mye, varmt og ferskt utslippsvann.

### 4.3.1 Inngangsdata

For å kunne bruke modellen Visual Plumes trenges opplysninger om selve utslippet, utslippsrøret og resipienten.

I hovedmodelleringen velges en relativ høy utslippsverdi, nemlig 830 m<sup>3</sup>/døgn, tilsvarende 9.6 l/s.

Utslippet kan pumpes ut i intervaller, for eksempel på 5 minutter, med en fluks på 19 l/s. Dette er det ikke tatt høyde for i modelleringen, men inngår i sensitivitetsanalysen i kapittel 4.3.4.

Den indre rørdiameteren til utslippsrøret er 180 mm.

Det finnes ingen temperaturmålinger på utslippsvannet nær utslippspunktet. En stikkmåling gjennomført i november 2009 viste at temperaturen like ved der røret går ned i vannet før den ca. 3 km lange undervannsledningen var omtrent 7 °C. Et vesentlig temperaturfall forventes i løpet av transporten på 3 km. En temperatur på 2 °C ved utslippspunktet vurderes som sannsynlig. Denne vil imidlertid variere noe i løpet av året.

En saltholdighet på 1.9 promille, basert på en måling av avløpsvannet i april 2008, ble benyttet i modelleringen.

Strømdata til input i modellen er fra bunnen ved stasjon SM3. Resipientstrømmen her var 1.4 cm/s, i gjennomsnitt, med retning mot nordvest. I modelleringen ble verdien 2 cm/s brukt, fordi rotormåleren ikke klarer å fange opp strøm mellom 0 og 1 cm/s, og setter denne til 0. Derfor vil gjennomsnittshastigheten være noe større enn indikert av måleren.

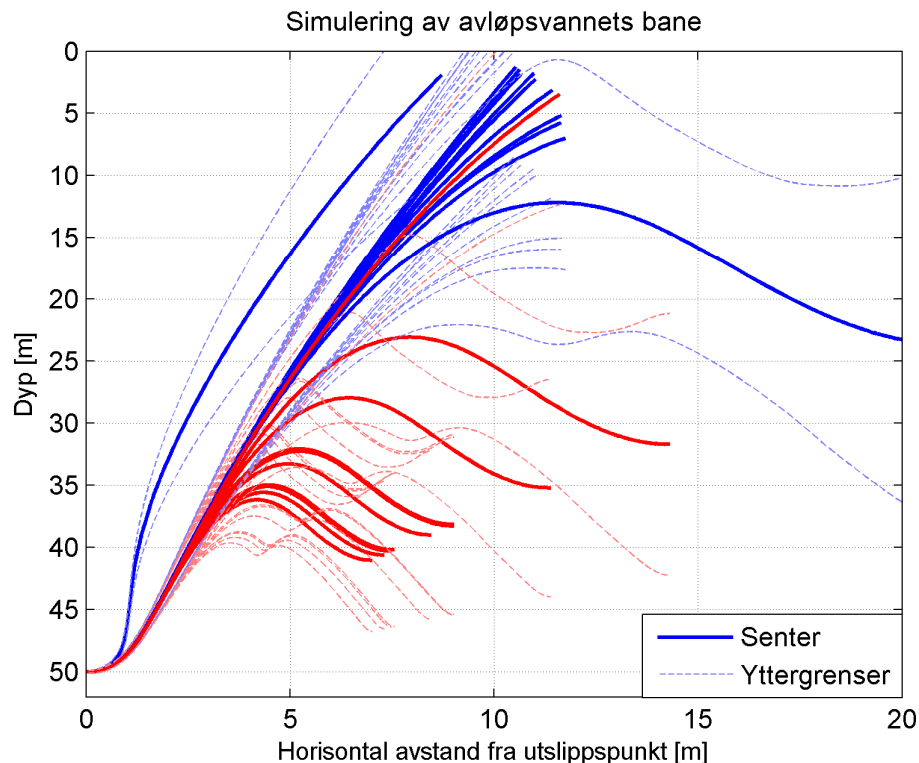
For hydrografi ble profiler fra stasjonene vist i Tabell 2 brukt.

### 4.3.2 Beregning av innlagringsdyp for avløpsvann

Resultater fra hovedmodellering er vist i Figur 14. Strålebanene (senterlinjen i ”skyen” med fortynnet avløpsvann) viser to forskjellige forløp for initialfasen etter utslipp. Det vanligste er at vannet først stiger og deretter synker noe ned før det innlagres. Øvre og nedre grense av hver ”sky” er også vist i figuren. Noen av profilene fortsetter mot overflaten. Disse profilene skyldes som regel oseanografiske forhold i perioden fra oktober til juni. Avløpsvannet er da såpass mye lettere enn resipientvannet, i tillegg til at resipientvannet er svært homogent og gjennomblandet gjennom hele vannsøylen, at det vil få gjennomslag til overflaten. Ferskvannslaget på toppen er enten svært tynt eller helt borte. Gjennomslaget til overflaten skjer selv om utslippet plasseres så dypt som 50 m.

Det er en vinterprofil som gir innlagring, basert på hydrografidata fra desember 1994, like utenfor Adventfjorden. Denne kan sees med blått der senteret av skyen blir innlagret på ca. 24 m dyp. Yttergrensene til skyen går nesten helt opp til overflaten, til ca. 2 m dybde, men når ikke helt opp til overflaten (se Figur 14).

Profilene fra sommermånedene juli, august og september viser innlagring på ganske dypt vann. Sentrene på disse skyene havner på ca. 32 - 42 m dybde, mens yttergrensene ligger mellom 15 og 47 m. Ett unntak er en profil fra 29. september 2005, som er den eneste røde CTD-profilen ("sommerprofil") i Figur 14, med gjennomslag til overflaten.

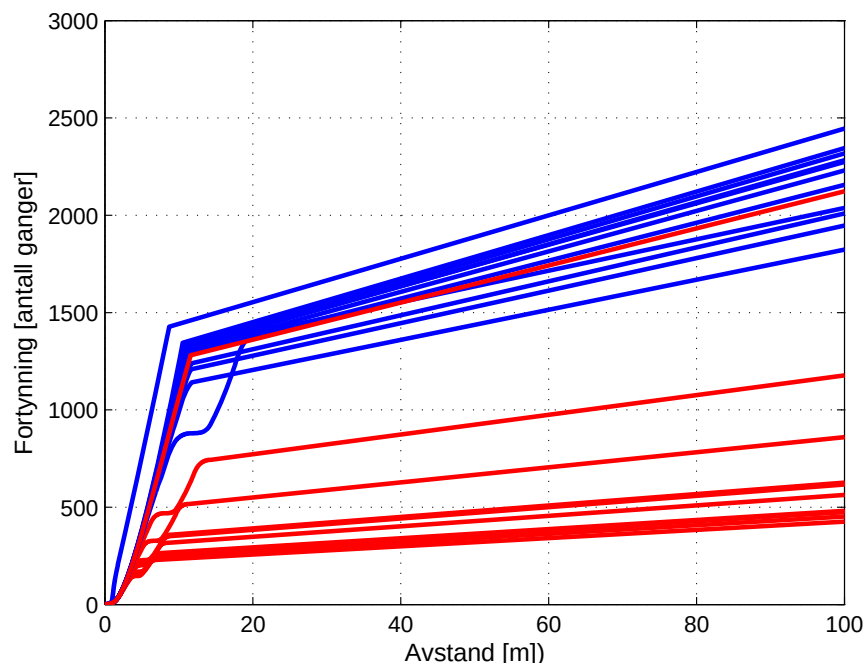


Figur 14. Strålebaner for utslipp fra 50 m med gjennomsnittlige verdier for resipientstrøm og utslippsfluks. Heltrukne linjer viser senter til skyene av utslippsvann, mens stiplede linjer viser topp og bunn av skyene. Det er gjort simuleringer med 21 forskjellige hydrografiprofiler for utslippet. Rødt indikerer hydrografiprofiler fra perioden mellom juni og oktober, mens blått indikerer resten av året.

#### 4.3.3 Fortynning av avløpsvann

Visual Plumes-modellen gir også verdier på fortynning i ulike avstander fra utslippskilden. Fortynning med inngangsdata og parametre som gitt i kapittel 4.3.1, er vist i Figur 15. Ved bruk av gjennomsnittsstrøm i resipienten og gjennomsnittsmengde på utslippet simulerer modellen at utslippsvannet blir fortynnet ca. 1200-1450 ganger før det når opp til overflaten. Dette vil skje i en horisontal avstand på ca. 10 m.

Utslippene med innlagring blir vesentlig mindre fortynnet, etter å ha tilbakelagt 10 m, horisontalt. Anslagsvis 250 - 500 ganger blir det innlagrede utslippet fortynnet. Etter innlagringen eller gjennomslaget til overflaten, er fortynningen mindre effektiv. I løpet av de neste 10 m (altså mellom 10 og 20 m) blir utslippsvannet ca. 50 -100 ganger ytterligere fortynnet. Det er tydelig at utslippene som har nådd overflaten, fortynnes noe mer effektivt enn de som er innlagret i vannsøylen, når man beveger seg bort fra utslippspunktet.



Figur 15. Fortynning med avstand fra utslippet, simulert med gjennomsnittelig verdier for utslippsfluks og resipientstrøm.

#### 4.3.4 Sensitivitetsanalyse

Flere testkjøringer av modellen Visual Plumes har blitt utført for å få oversikt over hvilke parametre som er viktigst for en eventuell innlagring av avløpsvannet.

I kapittel 4.3.1 ble det vurdert at maksimal utslippsmengde kan ligge på ca. 10,4 l/s (tilsvarer 900 m<sup>3</sup>/døgn). Samtidig, ved kvalitativ vurdering av strømhastigheten ved nederste instrument ved stasjon SM3, anslås en svak strøm ved denne posisjonen til å være ca. 0,5 cm/s. Med slike "worst case scenario" verdier, vil utslippet gå til overflaten ved 12 av de 21 brukte profilene.

En analyse av økte utslippsflukser med resipientstrøm på 2 cm/s er gitt i Tabell 11. Økt utslippsfluks gir større sjanse for gjennomtrengning til overflaten. Men innenfor størrelsesordenen til Longyearbyen, ser ikke utslippsmengden ut til å være viktig. Dette kan også indikere at en løsning med flere diffusorer for å få mindre utslippsskyer ikke vil være så effektivt, når det gjelder potensiale for innlagring av avløpsvann i vannsøylen.

Tabell 11: Sensitivitetsanalyse for utslippsmengde med hensyn på innlagring

| Utslippsmengde [l/s] | Antall gjennomslag til overflate | Antall innlagringer |
|----------------------|----------------------------------|---------------------|
| 3                    | 11                               | 10                  |
| 5                    | 11                               | 10                  |
| 6.9                  | 11                               | 10                  |
| 9.6                  | 11                               | 10                  |
| 10.4                 | 12                               | 9                   |
| 15                   | 12                               | 9                   |
| 19                   | 12                               | 9                   |

Ved havbunnen på stasjon SM2, der målingene ble gjennomført med en ADCP, ble det målt en gjennomsnittshastighet på ca. 10 cm/s. Ved å bruke en gjennomsnittlig utslippsmengde og denne kraftigere strømmen, gikk skyen av utslippsvann til overflaten bare i 3 av utslippsscenarioene, mens de resterende 18 scenarioene ble innlagret. Her ble utslippsskyen fortynnet 8 000 – 45 000 ganger etter 1 000 m, sammenlignet med 20 000- 95 000 ved hovedmodelleringen i kapittel 4.3.1. Vi får altså mindre effektiv fortynning per distanse ved å øke hastigheten på resipientstrømmen, men større sjanse for innlagring.

Ved å bruke en mellomting mellom strømmen funnet ved SM3 og SM2, på 5 cm/s, fikk 7 utslippsscenarioer gjennomslag til overflaten, og de resterende 14 fikk innlagring.

Det har også blitt testet for følsomheten for økningen i temperatur og saltholdighet til utslippsvannet.

Ved å øke temperaturen til utslippsvannet, vil utslippsvannet raskere stige mot overflaten, og gjennomslag kan lettere oppnås. Utslippsvannet kan muligens ha opp mot 20 grader før det skal ledes ca. 3 km i rør under vann, til utslippspunktet. Det antas at utslippsvannet ved utslippspunktet har en temperatur på maksimalt 10 °C. En stikkprøve foretatt av Longyearbyen Lokaltstyre i november 2009, gav ca. 7 °C på utslippsvannet rett før dette ble ledet i røret som gikk under vann, 3 km.

Modellberegninger med inngangsverdier som i hovedmodelleringen (se kapittel 4.3.1), viste at samme antall innlagringer ble funnet (10 av 21) selv om temperaturen på utslippsvannet ble variert mellom 0 og 20 °C.

Ved å øke saltholdigheten til utslippsvannet vil dette bli tyngre og øke sjansen for innlagring. Saltholdigheten ble økt gradvis fra den ene målingen som er å oppdrive på 1,9 opp til 35 promille, som er høyere enn resipientens saltholdighet. Resultater fra denne analysen er gitt i Tabell 12.

*Tabell 12. Sensitivitetsanalyse for saltholdighet angående innlagring.*

| Saltholdighet (promille) | Antall gjennombrudd | Antall innlagringer |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| 1.9                      | 11                  | 10                  |
| 3                        | 11                  | 10                  |
| 5                        | 11                  | 10                  |
| 10                       | 11                  | 10                  |
| 15                       | 10                  | 11                  |
| 20                       | 8                   | 13                  |
| 25                       | 6                   | 15                  |
| 30                       | 4                   | 17                  |
| 35                       | 0                   | 21                  |

Sensitivitetsanalysen forteller at hvis vi ønsker å legge forholdene til rette for mer innlagring av utslippsvannet, så vil det ikke hjelpe noe særlig å redusere utslippsmengden eller senke temperaturen på utslippsvannet.

Det vil hjelpe noe å øke saltholdigheten på utslippsvannet, men det skal tilføres svært mye sjøvann til utslippsledningen for at det skal kunne ha noen betydning.

Analysen har vist at innlagringen er svært følsom for hastigheten til resipientstrømmen. Ved å legge utslippet til en gunstig posisjon med god strøm, vil det kunne påvirke innlagringen betraktelig. Strømmålingene indikerer at bunnstrømmen intensiveres i samme retning, når vi beveger oss nordvestover fra SM3 mot SM2.

Et par viktige usikkerhetsmomenter bør nevnes for disse modellresultater:

- De fleste av hydrografidataene er tatt fra området like utenfor Adventfjorden. Brakkvannslaget forventes å være sterkere inne i Adventfjorden i sommermånedene, og det er generelt enklere å få innlagring
- Resipientstrømmen som er målt over en måned antas å representere hele års-syklusen i strømforhold. Det vil imidlertid være noe årstidsvariasjon i strømbildet, som funksjon av hydrografiske forhold og varierende drivkrefter.

Det er gjennomblandingen av vannmassene, som skyldes fravær av ferskvann/elvevann i overflaten kombinert med fravær av overflateoppvarming fra atmosfæren, som er årsak til at utslippet ikke blir innlagret i vinterperioden.

## 4.4 Sirkulasjonsmodellering med RMA2

Simuleringene ble kjørt for 30 dager, for juli måned 2009. 3 forskjellige vannlag ble modellert. Først ble modellen kjørt for et øvre lag, bestående av de øverste 3 m. Dette tynne øvre laget skal representere brakkvannslaget i sommerhalvåret, som hovedsakelig er forårsaket av elveavrenning fra Adventelva og Longyearelva. Deretter ble det simulert for et nedre lag, fra 10 m dybde og ned til havbunnen. Dette dypere laget forestilte en homogen vannmasse som ligger under det øverste brakkvannslaget eller under det øverste vindpåvirkede laget utenfor smeltesesongen. I den tredje simuleringen ble hele vannsøylen simulert, med antagelsen at hele vannmassen var homogen, som er typisk for vinterhalvåret. Dette forutsetter at det er vindstille eller at Adventfjorden er dekket av is.

### 4.4.1 Øvre vannmasse (brakkvannslag i smeltesesongen)

Nedenfor er resultater vist på den 6. dagen i simuleringsperioden (Figur 16), med et overflatelag på 3 m tykkelse. Denne illustrasjonen viser hastighetsvektorer med fargekonturer for strømmen ved synkende tidevann (vann på vei ut av Adventfjorden). Her ser vi sterkest strøm ved Adventpynten, ca. 0,2 m/s. Innerst i Adventfjorden og helt inne langs land er strømstyrken svak. Overalt er strømretningen mer eller mindre ut av Adventfjorden, mot nordvest og vest.

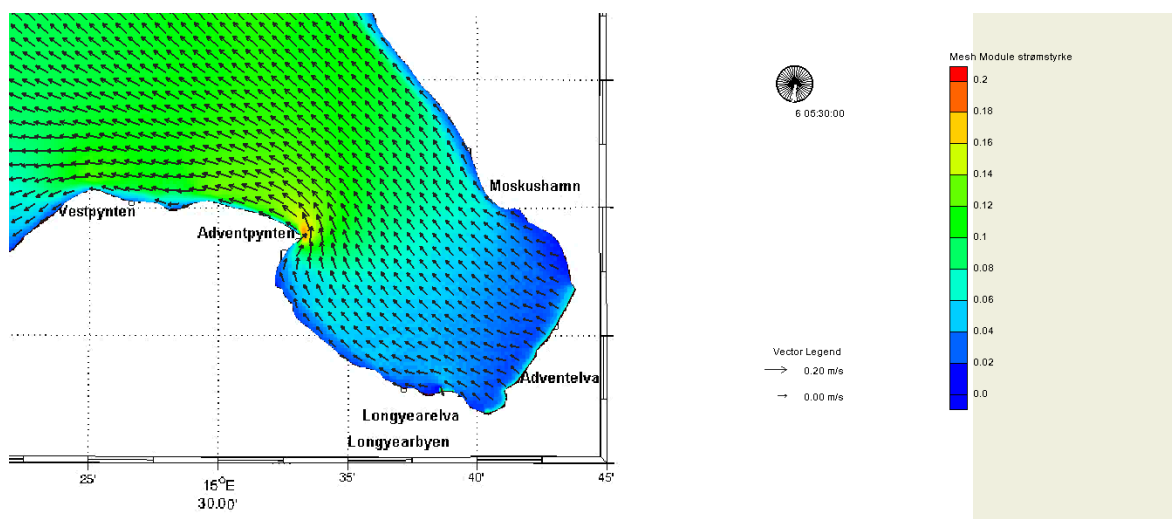
Ved lavvann inne i Adventfjorden (**Error! Reference source not found.**), er det svake strømmer i hele Adventfjorden. Bare elveutløpet fra Adventelva viser noe kraftigere strøm. Strømbildet viser også en antisyklonisk (med klokken) virvel inne i Adventfjorden, utenfor Moskushamn.

Når det går mot høyvann (fløende sjø, Figur 18), viser simuleringene noe av de samme strømstyrkene som ved synkende tidevann. Dessuten er det igjen kraftigst strøm ytterst i

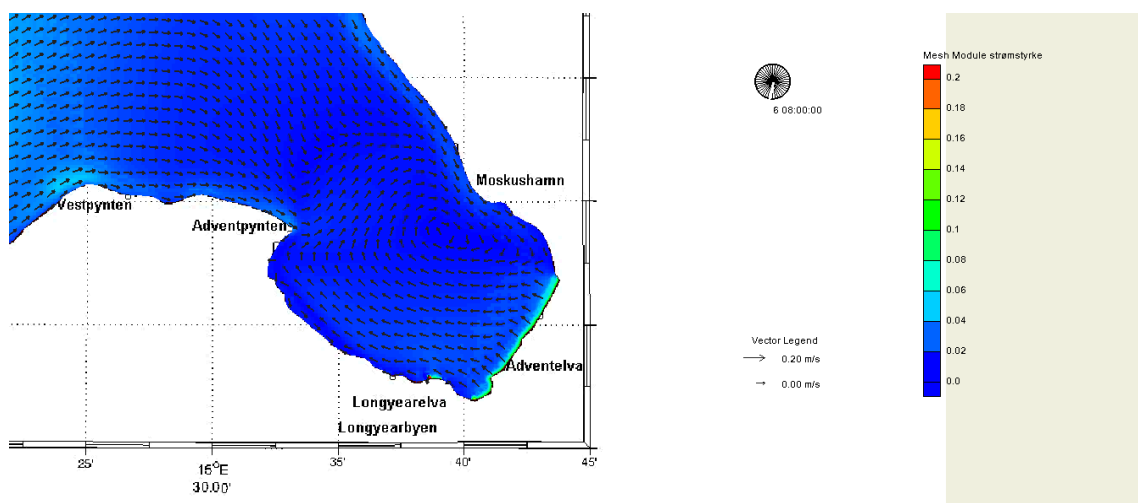


fjorden, og avtagende inn mot fjordbunnen. Denne gang er imidlertid retningsvektorene rettet innover i Adventfjorden. Det er nå ikke spesielt sterk strøm ved Adventpynten.

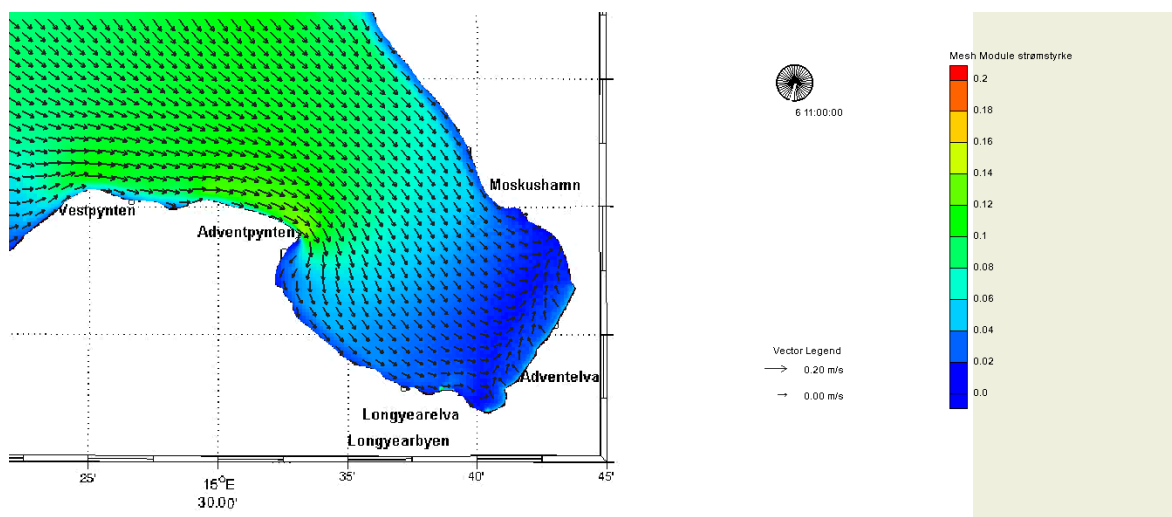
Ved flo er sjø det igjen svært svake strømmer inne i Adventfjorden og et komplisert strømmønster. Ifølge Figur 19 kan det bli satt opp to sykloniske virvler; en nordvest for Adventpynten og en lenger inne, utenfor kaiene til Longyearbyen.



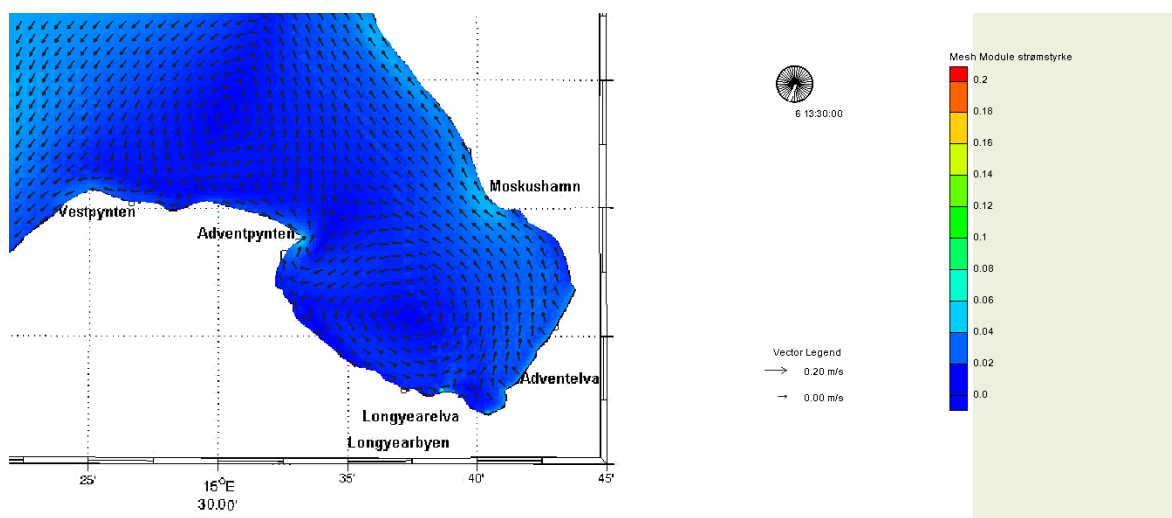
Figur 16. Resultater fra RMA2-modellering med et overflatelag på 3 m tykkelse, ved fallende tidevann i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 17. Resultater fra RMA2-modellering med et overflatelag på 3 m tykkelse, ved fjære sjø i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 18. Resultater fra RMA2-modellering med et overflatelag på 3 m tykkelse, med stigende tidevann i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 19. Resultater fra RMA2-modellering med et overflatelag på 3 m tykkelse, ved flo sjø i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).

#### 4.4.2 Nedre lag (under brakkvannslag eller vindpåvirket lag)

Ved å anta at laget under overflatelaget er homogent, kan vi se på simuleringer av dette vannet i 2D. Vi har valgt 10 m dybde som øvre grense for laget. I oppsettet for modelleringen ble det brukt relativt viskøst vann og relativt høy bunnfriksjon (se kapittel 3.2.1.3). Virkningene av dette er en sirkulasjon som legger vekt på de store mønstre i sirkulasjonen (noen småvirvler vil muligens falle bort). Videre blir trolig hastigheten på strømmen noe redusert i forhold til virkeligheten.

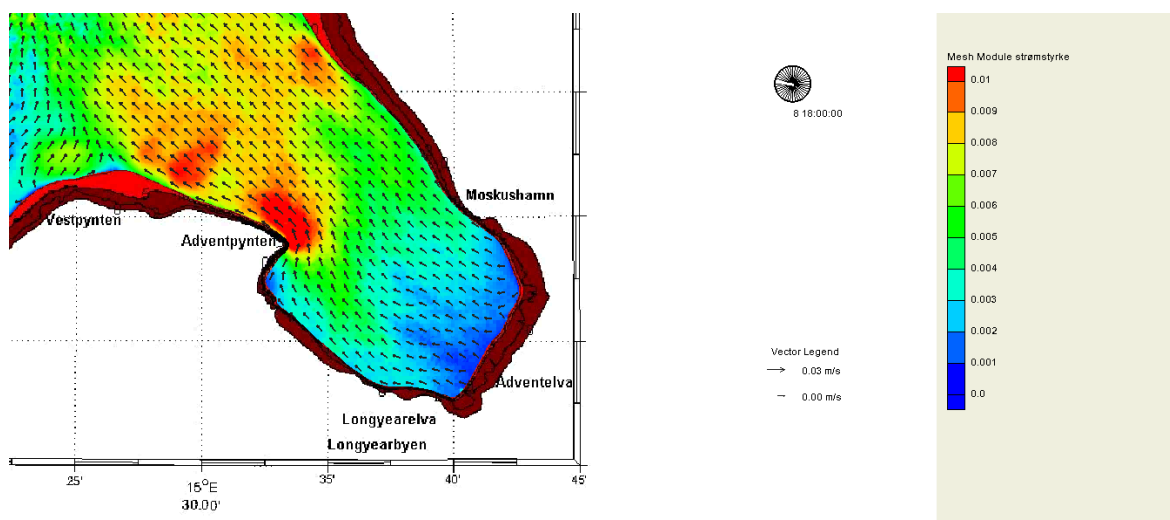
Vi velger derfor å ikke legge mye vekt på de absolutte verdiene til strømhastighetene, men heller fokusere på sirkulasjonsmønstre og relativ strømhastighet.

Ved synkende tidevann (vann på vei ut av Adventfjorden, Figur 20) er det sterkest strøm ved Adventpynten, ut av fjorden. Andre områder med sterkere strøm er mellom Adventpynten og Vestpynten og et område nordvest for Moskushamn. Innerst i Adventfjorden er strømstyrken svak. Overalt er strømretningen mer eller mindre ut av Adventfjorden, mot nordvest og vest.

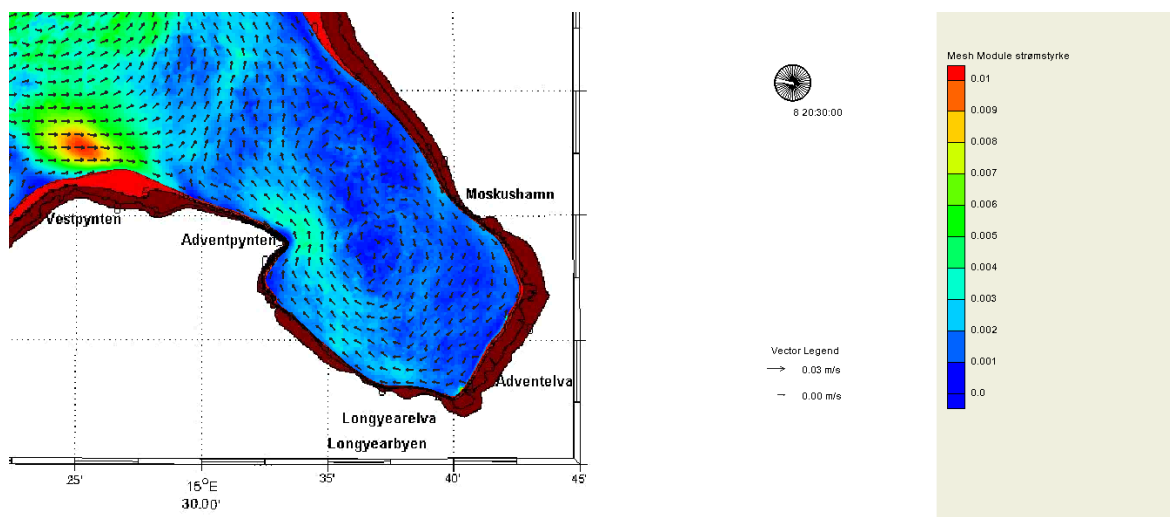
Ved lavvann inne i Adventfjorden (Figur 21), er det svake strømmer i hele Adventfjorden. Strømbildet er noe komplisert med en antisyklonisk virvel omtrent midt inne i Adventfjorden.

Når det går mot høyvann (fløende sjø, Figur 22), viser simuleringene noe av de samme strømstyrkene som ved synkende tidevann. Dessuten er det igjen kraftigst strøm ytterst i fjorden, og avtagende inn mot fjordbunnen. Denne gang er imidlertid er retningsvektorene rettet innover i Adventfjorden. Den ekstra intense strømmen ved Adventpynten uteblir også.

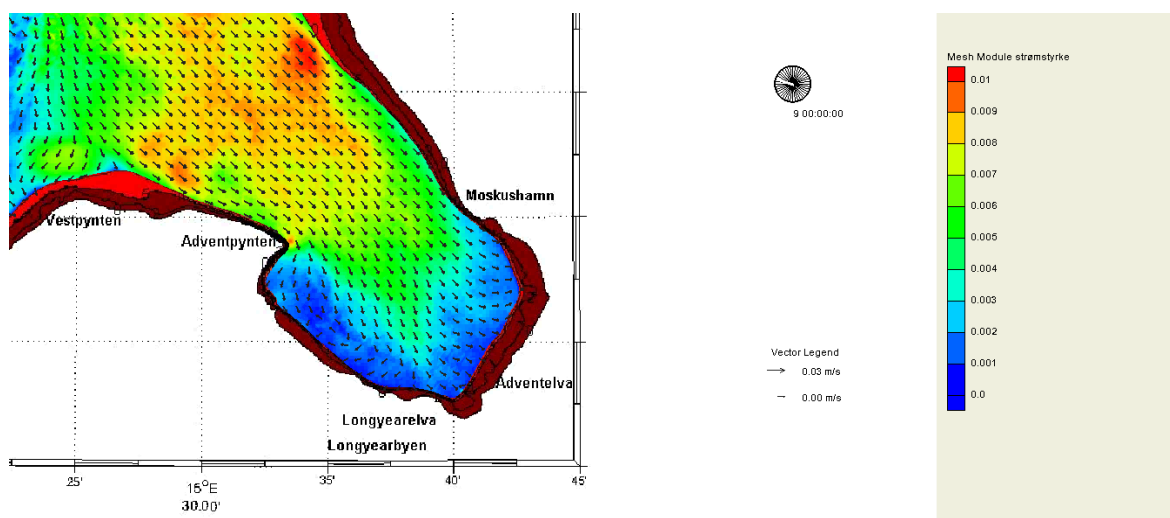
Ved flo er sjø det igjen svært svake strømmer inne i Adventfjorden og et komplisert strømmønster. Ifølge Figur 23 kan det bli satt opp svake virvler i fjorden, først og fremst i retning med klokken.



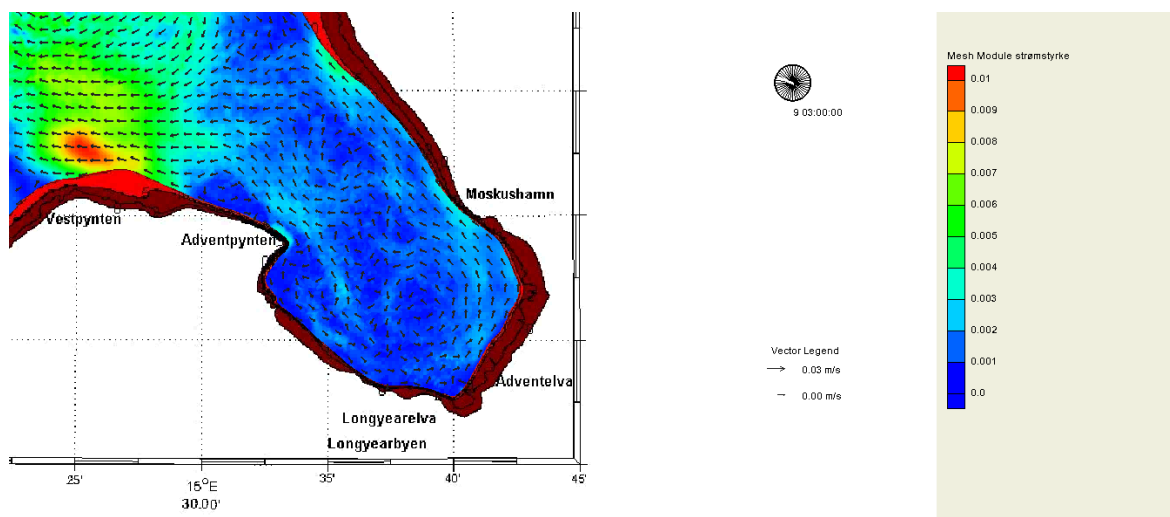
Figur 20. Resultater fra RMA2-modellering for et nedre lag fra 10 m dybde og ned til havbunnen, ved fallende tidevann i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 21. Resultater fra RMA2-modellering for et nedre lag fra 10 m dybde og ned til havbunnen, ved fjære sjø i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 22. Resultater fra RMA2-modellering for et nedre lag fra 10 m dybde og ned til havbunnen, ved stigende tidevann i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 23. Resultater fra RMA2-modellering for et nedre lag fra 10 m dybde og ned til havbunnen, ved flo sjø i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).

#### 4.4.3 Én homogen vannmasse (uten vind eller med is)

Ved å anta at hele vannsøylen er homogen, ser vi på et scenario som skal forestille fjorddynamikken når det ikke er elveavrenning eller oppvarming fra atmosfæren. Det er også en forutsetning at det ikke er vind, eller at det ligger is som et lokk over Adventfjorden. I tilfellet med is er ikke friksjon fra grensesjiktet mellom is og vann tatt med.

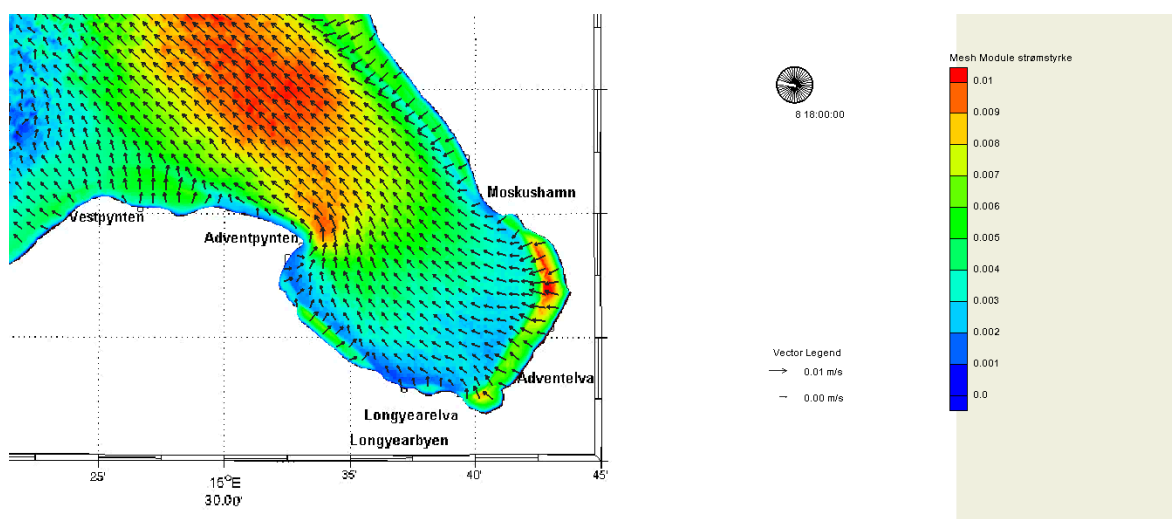
På samme måte som for simuleringene i kapittel 4.4.2 er vannet i simuleringene mer seigflytende og bunnfriksjonen grovere enn i virkeligheten, og vi vil legge vekt på strømmønstre og relative hastigheter.

Ved synkende tidevann (vann på vei ut av Adventfjorden, Figur 24) det sterkest strøm fra Adventpynten og videre ut i fjorden, hovedsakelig på dypere vann. Innerst i Adventfjorden er strømstyrken svak. På grunnområdene innerst ved land (< 10 m) er det generelt noe sterkere strøm med retning bort fra land og ut fra Adventfjorden. Ellers er strømretningen mer eller mindre ut av Adventfjorden, mot nordvest og vest.

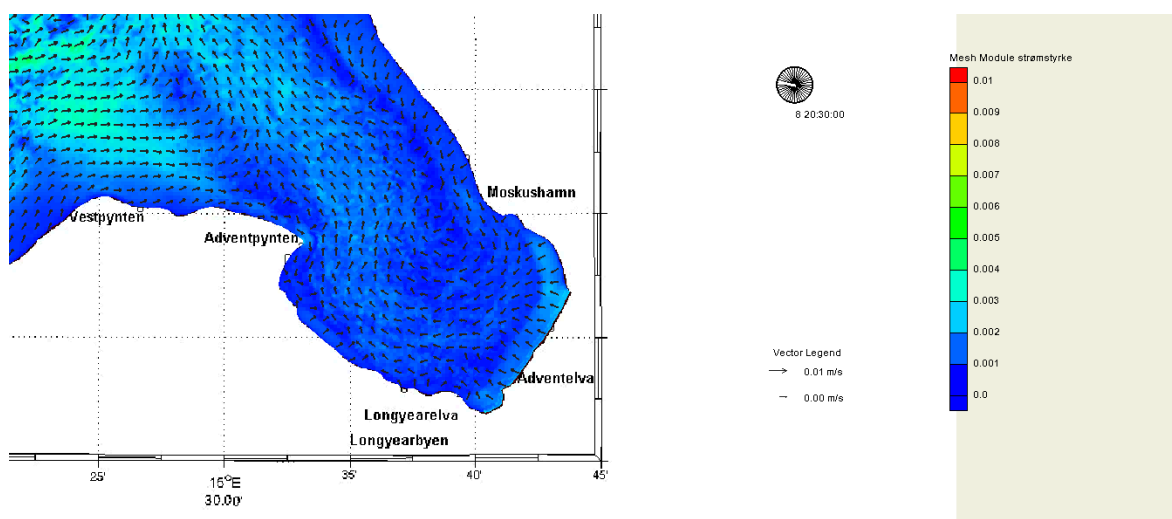
Ved lavvann inne i Adventfjorden (Figur 25), er det svake strømmer i hele Adventfjorden. Strømbildet er noe komplisert med en antisyklonisk virvel omtrent midt inne i Adventfjorden.

Når det går mot høyvann (fløende sjø, Figur 26), viser simuleringene så å si samme strømmønstre som ved synkende tidevann, bare at retningsvektorene er snudd motsatt vei. Igjen er det kraftigst strøm ytterst i fjorden, og avtagende inn mot fjordbunnen, med noe intensivering på grunnområdene inne ved land.

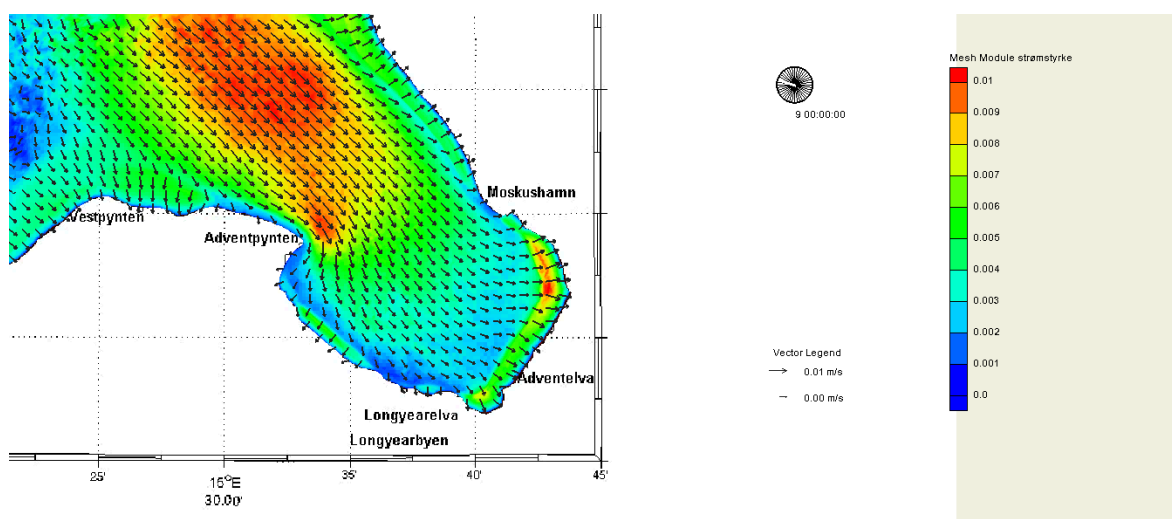
Ved flo er sjø det igjen svært svake strømmer inne i Adventfjorden, uten noe tydelig strømmønstre (Figur 27).



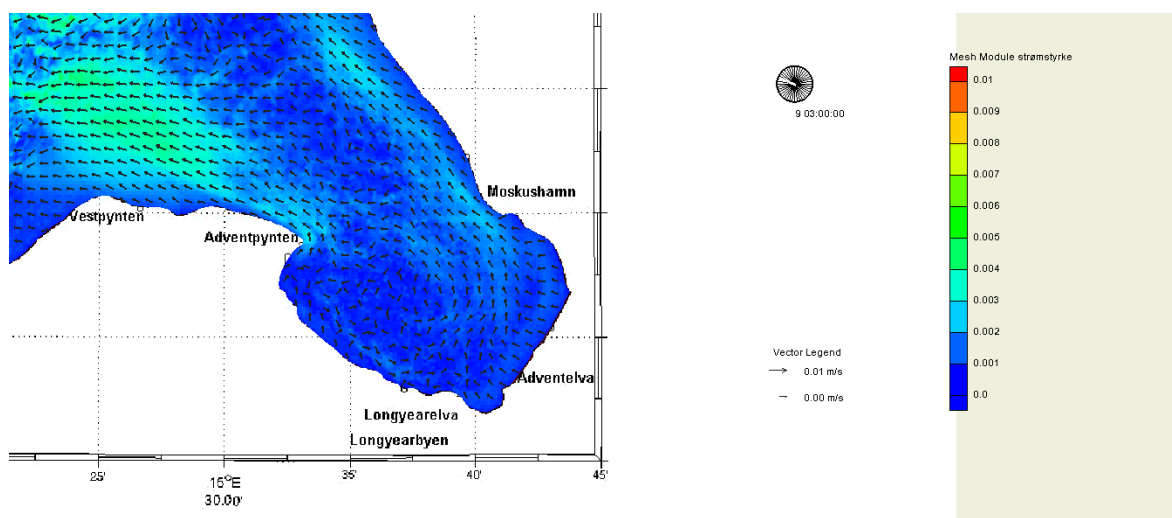
Figur 24. Resultater fra RMA2-modellering for hele vannsøylen ved fallende tidevann i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 25. Resultater fra RMA2-modellering for hele vannsøylen ved fjære sjø i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 26: Resultater fra RMA2-modellering for hele vannsøylen ved stigende tidevann i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



Figur 27: Resultater fra RMA2-modellering for hele vannsøylen ved flo sjø i Adventfjorden. Strømhastigheter er gitt med fargeintensitet (se skala til høyre (m/s) og med vektorpiler (retning og styrke)).



## 4.5 Utslippsmodellering med RMA4 (horisontalt)

RMA4-simuleringene bygger på løsningen av RMA2-kjøringene, og blir da også kjørt i 30 dager. Vi bruker ett døgn som oppstartsperiode i modellen.

Visual Plumes-modelleringen (kapittel 4.3.3) har vist at avløpsvannet som får gjennomslag til overflaten blir fortynnet ca. 1200 ganger på veien dit. Altså blir også TKB-nivåer fortynnet tilsvarende.

Tidssteget i modellen er på 30 minutter, og for å få utslippsmengde per tidssteg må utslippsmengene gitt i liter/sekund multipliseres med 1800. Med den opprinnelige konsentrasjonen på  $2 \cdot 10^6$  bakterier per 100 ml avløpsvann (se kapittel 2) ender vi da opp med en TKB-tilførsel til overflatelaget i Adventfjorden tilsvarende ca.  $3 \cdot 10^8$  bakterier per 30 minutter.

2 øyeblikksbilder fra RMA4-simuleringene er vist. Det ene gjengir maksimal forflytning av TKB mot nordvest (Figur 29), mens det andre viser maksimal forflytning av TKB mot sørøst (Figur 28).

Maksverdien (rødt) viser øverste grense for akseptert TKB-nivå i badevann, nemlig 1000 TKB/100 ml (SFT, 2005). Under 100 TKB/100 ml gir beste vannkvalitet i vurderingsgrunnlaget for friluftsbad.

Figur 28 viser at den nordvestre grensen for TKB med konsentrasjon over det aksepterte for friluftsbad, ligger ca. 2 km nordvest for utslippspunktet.

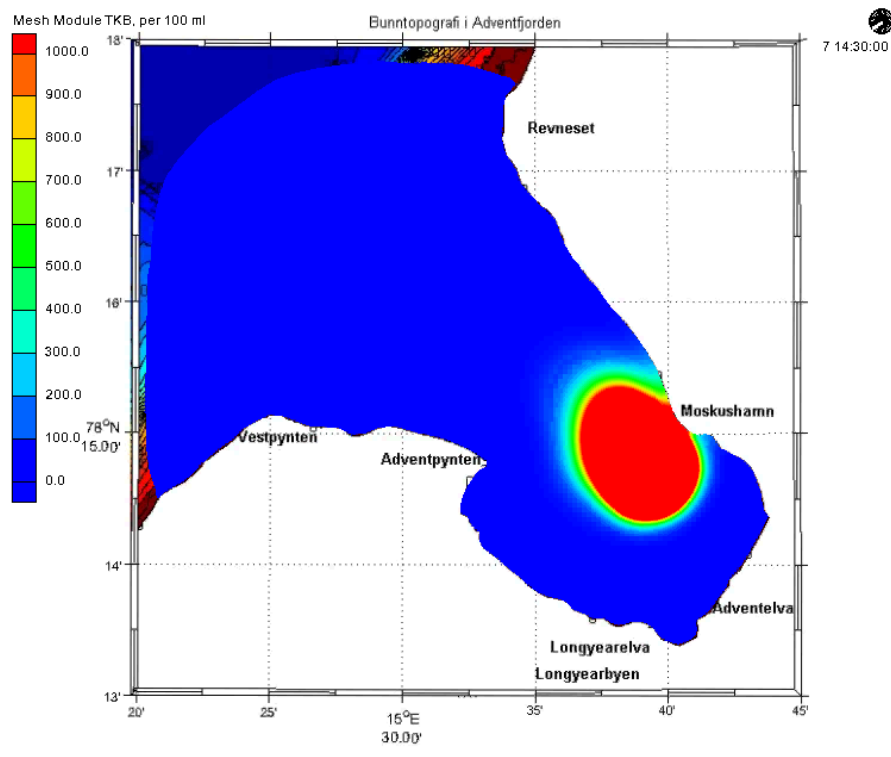
Figur 29 illustrerer maksimal rekkevidde til TKB mot sydøst. Den går ca. 1 km innover i Adventfjorden. TKB vil ikke, uten god hjelp av vind, kunne nå helt inn til Adventelvas utløp.

Rekkeviddene til TKB med konsentrasjon over 1000/100 ml mot vest og øst er også på omtrent 1 km. TKB ser ut til tidvis å kunne nå inn til land ved Moskushamn.

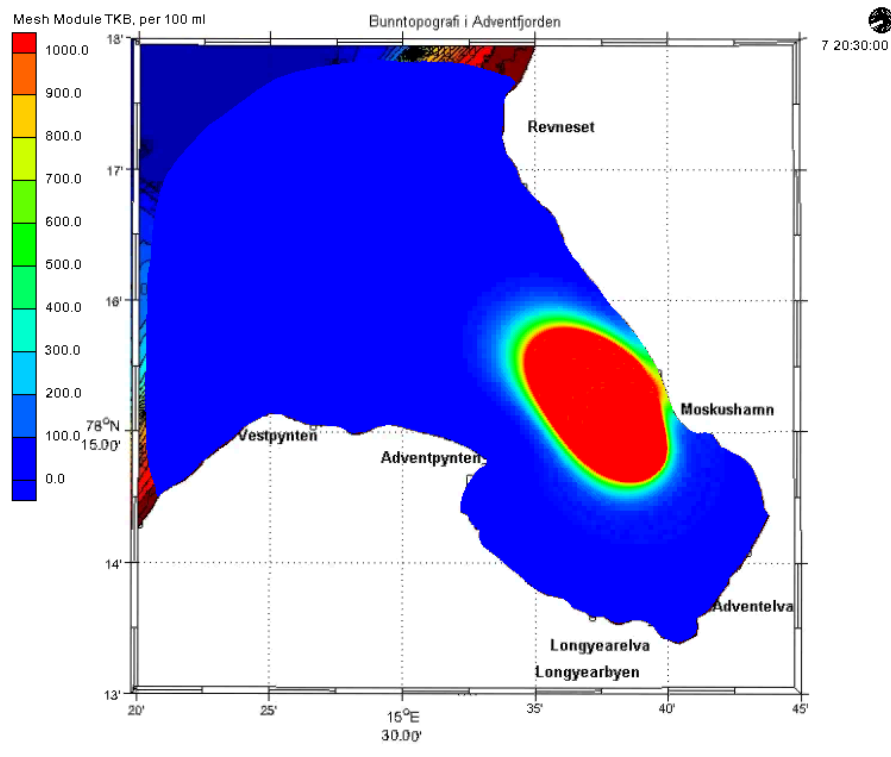
Simuleringer av utslippet når konsentrasjonen av TKB er halvert og nedbrytningstiden er fordoblet, er også foretatt. Utslippsskyen med konsentrasjon over 100 TKB/100 ml har da omtrent samme rekkevidde mot sørøst. Mot Moskushamn blir utslippsskyens rekkevidde redusert med et par hundre meter, og utslippet vil ikke nå helt til land. Mot nordvest er den største endringen. Her når utslippsskyen omtrent 400 - 500 meter kortere enn i Figur 29. Vi kan konkludere med at modellen er sensitiv overfor endringer i nedbrytningstiden, og noe følsom overfor endringer i bakterietallet. Videre illustrerer disse ekstramodellingene at spredningen av TKB i beste fall kan være noe mindre omfattende enn vist i Figur 28 og Figur 29.

Det er ikke simulert med vind. De vanligste vindretningene er ut av fjorden og inn i fjorden. Vinddraget vil ha stor innflytelse på det tynne overflatelaget (3 m). Rekkevidden til utslippsvannet og TKB i motsatt retning av vinden vil øke vesentlig avhengig av vindstyrken.





Figur 28. Snapshot fra utslippsmodellering med modellen RMA4. Rødt område strekker seg her maksimalt mot sørøst, etter nesten 8 dager med simulering. Fargeskalaen gjengir konsentrasjonen av TKB i modellingsøyeblikket.



Figur 29. Snapshot fra utslippsmodellering med modellen RMA4. Rødt område strekker seg her maksimalt mot nordvest, etter nesten 8 dager med simulering.

## 4.6 Havstrømmer: modell- vs. observasjonsresultater

### 4.6.1 Overflatelag

Angående overflatelaget ser modellen ut til å reprodusere noenlunde tilsvarende resultater som strømmålerne. Det er viktig å presisere at vind ikke er tatt med i simuleringene og dette vil være en stor usikkerhetsfaktor i forhold til reelle data i dette vindpåvirkede øverste laget på 3 m tykkelse. Både modell og observasjonsresultater viser stor variabilitet i retning og styrke, med en relativt høy gjennomsnittshastighet (10-20 cm/s). Begge viser at hovedregime for strømretninger er ut og inn av fjorden. Dette ser vi aller tydeligst i modellen, når kun tidevann og konstant elveavrenning er drivkrefter. Med inkludering av dynamiske vindkrefter, ville vi mest sannsynlig fått noe større variabilitet også i modellen.

Det ser ut som om simuleringene for overflatelaget gir en viss intensivering av strømstyrken når vi beveger oss mot nordvest fra utslippspunktet (SM3). Dette samsvarer med strømmålinger (se Figur 16 og Tabell 6 vs. Tabell 10 ).

Adventfjorden er en fjord som er bred nok til at jordrotasjonen kan ha effekt. Den barokline Rossbyradius gitt ved  $R$  kan beregnes til:

$$R = (g'H)^{1/2} / f = 872 \text{ m, der}$$

$$g = \text{tyngdeakselerasjon } (\approx 10 \text{ m/s}^2)$$

$$\rho_1 = \text{tetthet til sjøvann } (\approx 1026 \text{ kg/m}^3)$$

$$\rho_2 = \text{tetthet til elvevann } (\approx 1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$g' = \text{redusert tyngdeakselerasjon } (g(\rho_1 - \rho_2) / \rho_1 = 10 \text{ m/s}^2 * (1026 - 1000) \text{ kg/m}^3 / 1026 \text{ kg/m}^3)$$

$$H = \text{tykkelse til overflatelag (3 m)}$$

$$F = \text{Coriolis parameter } (10^{-4} \text{ s}^{-1})$$

Dette betyr at overflatelaget bestående hovedsakelig av elvevann fra Adventelva normalt vil svinge mot høyre, og klenge seg til nordsiden av Adventfjorden på vei ut mot Isfjorden. Modellen tar ikke for seg slike effekter, og vil derfor avvike på dette punkt, i forhold til observasjonsresultater.

Denne grove evalueringen tilsier at vi kan ha tillit til hovedtrekkene i overflatemodelleringen, men at vi bør legge til vind som drivkraft for å få mer realistiske scenarier. Ved å bruke vindmålinger fra for eksempel Longyearbyen Lufthavn vil resultatene sannsynligvis variere mer i tid, samtidig som hovedtrekkene med dominerende strøm rettet inn og ut fjorden vil bli forsterket, siden vinden hovedsakelig følger Adventdalen og Adventfjordens lengderetning. Da vil også utslippsmodelleringen med RMA4 bli mer realistisk (se kapittel 4.5).

#### 4.6.2 Dypere vannmasser

For det antatte homogene dyplaget viser modellsimuleringene og observasjonene mindre samsvar. Observasjonene fra strømmålerne nær bunnen viser at strømmen er svært retningsstabil (se Figur 8, Figur 10 og Figur 13). Strømregimet ser ut til å følge fjordens bunntopografi i retning mot klokken, der retningen ved Moskushamn for eksempel fortrinnsvis er mot nordvest.

Modellsimuleringene viser mer et strømmønster som tilsier at vannet blir pumpet ut og inn av Adventfjorden, når hele vannmassen ses under ett.

Årsaken til uoverensstemmelsene kan være at det antatte homogene dypere lag i virkeligheten er stratifisert. CTD-målinger fra Adventfjorden tatt 3. august tilsier at det er svak stratifisering i de dypere lag, om enn på langt nær så tydelig som ved overflaten (se kapittel 3.1.1). Årsaken til det stabile retningsregimet til strømmene i Adventfjorden på dypvannet under måleperioden i juli 2009 kan være at vinden har vært stabil med retning ut fra Adventdalen over en lengre periode. På den måten kan det ha blitt opprettet et Ekman-lag med tilhørende geostrofisk strøm langs nordsiden av Adventfjorden, mot Isfjorden. Disse strømmene vil fortrinnsvis følge bunnkonturene.

Modelleringene for det dypere vannlaget er en grov tilnærming, og resultatene vil ikke alltid samsvare med det reelle strømmønster. Den todimensjonale modellen med et tykt simuleringslag vil ikke være passende for å simulere utslipp som slippes ut og innlagres i ett spesielt dyp. Likevel vil modellens hydrodynamiske indikasjoner på at strømhastigheten øker lenger mot nordvest for eksisterende utslippspunkt etter all sannsynlighet stemme. Dette blir bekreftet av målinger fra ADCP-måleren ved stasjon 2 i forhold til strømmåleren ved bunnen ved stasjon 3 (se for eksempel resultater i Tabell 10 vs. Tabell 7).

Tidevannspumpingen inn og ut av Adventfjorden som modellen illustrerer er også til stede i observasjonsresultatene, men da i mindre tydelig omfang. Det er andre prosesser som også er viktige, som for eksempel geostrofisk strøm samt topografisk styring av strøm som nevnt ovenfor.

## 5 Konsekvensvurdering

---

Generelt har utslipp av avløpsvann og kloakk et potensial til å påvirke resipienten som mottar utslippet. Avløpsvannet fra Longyearbyen inneholder næringssalter som nitrat- og fosforholdige substanser. I tillegg er det en viss mengde termotolerante koliforme bakterier (tarmbakterier) i vannet. Ulike resipienttyper som åpen skjærgård, fjorder uten terskler, terskelfjorder, poller etc. har ulik evne til å motta og omsette tilførte næringssalter og organisk materiale. En kan derfor snakke om gode og dårlige resipienter, bestemt ved den mengden avløpsvann som kan tilføres uten at registrerbare, uønskede virkninger oppstår. Med uønskede virkninger menes blant annet nedslamming av bunnen, forsøpling av strandlinjen, eller forringelse av vannkvaliteten, det vil si virkninger som medfører skader på økosystemet eller konflikter i forhold til andre brukerinteresser (SFT 2005).

En marin resipients evne til å omsette næringssalter og organisk materiale er generelt bestemt ved kombinasjonen av:

- Strømforhold
- Vannutskiftning
- Størrelse (areal og volum)
- Bunntopografi
- Sjøtning av vannmassene
- Bunnfauna/flora

En sentral veileder for planlegging og gjennomføring av resipientundersøkelser knyttet til EUs avløpsdirektiv er SFTs veileder for resipientundersøkelser i fjorder og kystfarvann. Denne veilederen omfatter foreløpig områder på fastlands Norge (ikke Svalbard) og er delt inn i tre ulike områder:

- **Følsomme områder og nedbørsfelt til følsomme områder.** Inkluderer kysten fra svenskegrensen til Lindesnes, Grimstadvjordområdet ved Bergen og nedbørsfelt som drenerer til disse områdene.
- **Mindre følsomme områder.** Inkluderer øvrig kystfarvann og elvemunninger fra Lindesnes til Grense Jakobselv.
- **Normalområder.** Inkluderer øvrige ferskvannsføremønstre i Norge.

Det er først og fremst kommuner med avløpsanlegg i tettbebyggelse med samlet maksimal ukentlig belastning på over 10 000 personekvivalenter (pe) til sjø eller elvemunning som omfattes av veilederen, men i noen tilfeller er veilederen også relevant for tettbebyggelse mellom 2 000 og 10 000 pe (Tabell 13). Med hensyn til rensekrav er hovedregelen at avløpsvann til kystområder fra tettbebyggelse med mellom 10 000 og 150 000 pe skal gjennomgå sekundærrensing eller tilsvarende. Utslipp til kystfarvann (som for eksempel Adventfjorden) tilsvarende 2 000 – 10 000 pe skal gjennomgå passende rensing (Tabell 13). Passende rensing vil i de fleste tilfeller si primærrensing, dvs. at partikler over en viss størrelse fjernes før utslipp. Dette oppnås ved at avløpsvannet filtreres før utslipp eller at det går via en slamavskiller eller et flotasjonsanlegg. For å unngå negative estetiske effekter i fjorden er det å anbefale at utslippet i alle fall filtreres før det slippes ut.

Tabell 13. Krav til renseprosess og type resipient (SFT 2005).

| OMRÅDEINNDELING                                  | STØRRELSE PÅ TETTBEBYGGELSEN                      |                  |                                                            |                                                                 |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                                  | ≥ 2 000 - < 10 000 pe, med utslipp til            |                  | ≥ 10 000 pe, med utslipp til                               |                                                                 |
|                                                  | Ferskvann og elvemunning                          | Kystfarvann      | Ferskvann og elvemunning                                   | Kystfarvann                                                     |
| Følsomt område og nedbørsfelt til følsomt område | Sekundærrensing og fosforfjerning                 | Passende rensing | Sekundærrensing og fosforfjerning og evt. nitrogenfjerning | Sekundærrensing og evt. fosforfjerning og evt. nitrogenfjerning |
| Normalområde                                     | Sekundærrensing og evt. Fosforfjerning            | Passende rensing | Sekundærrensing og evt. fosforfjerning                     | Sekundærrensing                                                 |
| Mindre følsomt område                            | Sekundærrensing, evt. primærrensing <sup>1)</sup> | Passende rensing | Sekundærrensing <sup>1)</sup>                              | Sekundærrensing, evt. primærrensing                             |

1) Gjelder kun utslipp til elvemunning siden ferskvannsføremønstre ikke kan defineres som et mindre følsomt område

## 5.1 Organisk belastning

I prinsippet har næringssaltene et potensial til å gi økt algevekst i form av planteplankton i de frie vannmassene, samt av grønn- og brunalger i strandsonen. Om et område over lengre tid påvirkes av høy tilførsel av næringssalter vil produksjonen av alger synke ut til havbunnen og brytes ned. Om det er tilstrekkelig mengder med alger vil det i enkelte tilfeller bli mangel på oksygen til nedbrytningen av organisk materiale. Nedbrytningen vil da skje anaerobt av svovelbakterier. Dette er en situasjon som kan oppstå ved særdeles høy organisk belastning, og i områder der vannutskiftningen er redusert. Tidligere prøvetaking av sedimentet nært et av utslippspunktene for kloakk i Adventfjorden har ikke gitt indikasjoner på anaerobe forhold i sedimentene (Velvin *et al.* 2006; Evensen *et al.* 2006). Til tross for tilførsel av næringsstoffer gjennom hele året vil lysbegrensninger, samt vertikalblanding av vannmassene store deler av året begrense primærproduksjonen. Det vil således bare være om våren/sommeren at primærproduksjonen kan bli høy. Dette reduserer risikoen for akkumulering av alger på bunnen.

Generelt ønsker man at et kloakkutslipp lagres inne i vannmassene godt under overflata, samt at fortynningen av utslippet er så stor som mulig. Innlagring er viktig for at næringssaltene i utslippet ikke skal gi grobunn for algevekst i de øvre delene av vannsøyla, samt fordi avløpet også da transporteres bort fra strandsonen. Ved hjelp av modellen Visual Plumes og inngangsdata til denne fremskaffet ved feltnmålinger, kan vi slå fast at utslippsvannet fra Longyearbyen ofte får gjennomslag til overflaten. Dette vil skje i umiddelbar nærhet av utslippspunktet (10 - 20 m) og fortrinnsvis i perioden fra slutten av september til juni. Utslippsplumen blir typisk fortynnet ca. 1 300 ganger før de når overflaten, etter ca. 10 m horisontal vandring og 50 m vertikal vandring. I høst- og vintersesongen vil lysforholdene begrense algeproduksjonen, mens en viss økning i algeproduksjonen kan forventes i overflatelagene på våren. På grunn av en begrenset utslippsmengde og relativ rask fortynning av næringssaltene i fjorden forventes ikke økt algeoppblomstring å gi merkbare negative effekter i Adventfjorden. Det kan imidlertid oppstå uheldige estetiske effekter ved gjennomslag til overflaten, spesielt i tilfeller hvor strømmen fører vannmassene inn mot land. I sommerperioden (data tilgjengelig fra juli – midten av september) blir utslippsplumen

innlagret i vannsøylen, mellom 30 og 40 m dyp. Algeproduksjonen som i hovedsak foregår i de øvre deler av vannsøylen blir således i liten grad påvirket i denne perioden.

Bakterier i avløpsvann kan også forringe vannkvaliteten i resipienten, særlig hvis fortynningen er dårlig. Vi har sett at i størsteparten av året, så vil utslippsplumen få gjennomslag til overflaten. Simuleringer av TKB-bakterier og deres spredning/ fortynning i overflatelaget med modellene RMA2 og RMA4, viser at vannkvaliteten blir forringet i et område med en radius på ca. 1 - 2 km fra utslippspunktet (ikke akseptabel vannkvalitet ved friluftsbad (SFT, 2005)). Ettersom det ikke foregår noe bading av betydning i Adventfjorden verken sommer eller vinter er forringet vannkvalitet neppe et problem for badere, men det kan være viktig å være klar over ved utøvelse av andre aktiviteter i området. Ved innlagring vil ikke vannkvaliteten i overflatelaget forringes på samme måte.

## 5.2 Miljøgifter

Kommunalt avløpsvann kan i mange områder være en viktig kilde til miljøgifter i det marine miljø. Avløpsvann inneholder generelt ikke veldig høye konsentrasjoner av miljøgifter, men på grunn av at store mengder vann går ut via avløp kan den totale tilførselen likevel bli relativt stor (for eksempel Larsen *et al.* 2003; Kvennås & Nybakk 2009).

For metaller foreligger resultater fra 7 vannprøver, mens det for organiske miljøgifter kun foreligger resultater fra analyser av 2 prøver. Dette er selvfølgelig alt for lite til å trekke noen endelige konklusjoner vedrørende tilførsel av miljøgifter til Adventfjorden via avløpsvann. Hvis man antar at nivåene i de analyserte vannprøvene er representative for året som en helhet kan man beregne årlige utslipp av ulike miljøgifter til Adventfjorden via avløpsvann (Tabell 14). Antatte bakgrunnskonsentrasjoner av metaller i ferskvann (Andersen *et al.* 1997) er trukket fra konsentrasjonen i avløpsvann før tilførsler er beregnet. Flere prøver bør imidlertid analyseres før endelige konklusjoner omkring tilførsler via avløpsvann trekkes.

Tabell 15 viser de generelle konsekvensene fra de ulike stoffene og stoffgruppene i avløpsvann. I tillegg er det en kolonne som oppsummerer konsekvensene av avløpsvannet fra Longyearbyen.

Tabell 14. Beregnede årlige utslipp av metaller og organiske miljøgifter via avløpsvann fra Longyearbyen. Antatte bakgrunnskonsentrasjoner av metaller i ferskvann (Andersen et al. 1997) er trukket fra konsentrasjonen i avløpet før tilførsler er beregnet. Utrekningen er basert på analyser av 2 vannprøver (Nedland 2009), og er således høyst usikker. En årlig utslippsmengde på 280 000 m<sup>3</sup> er benyttet i beregningene.

| Stoff/stoffgruppe | Tilførsel i g/år |
|-------------------|------------------|
| As                | 560              |
| Cr                | 448              |
| Cu                | 24 052           |
| Ni                | 2 576            |
| Zn                | 41 860           |
| Pb                | 1 030,4          |
| Cd                | 36,4             |
| Hg                | 12,32            |
| Ag                | i.d.             |
| Cn                | i.d.             |
| Olje              | 448 000          |
| PAH               | 294              |
| PCB               | i.d.             |

i.d. = ikke detektert

Tabell 15. Avløpsvann. Stoffgrupper og miljøvirkninger samt konsekvenser av utslipp av avløpsvann fra Longyearbyen. Tabellen er modifisert fra Tabell 4 i SFT 2005. Konsekvensindeksen indikerer effekt av tiltaket.++++ meget stor positiv konsekvens, +++ stor positiv konsekvens, ++ middels positiv konsekvens, + liten positiv konsekvens, 0 ubetydelig / ingen konsekvens, ---- meget stor negativ konsekvens, --- stor negativ konsekvens, -- middels negativ konsekvens, - liten negativ konsekvens (Anon 1995).

| Stoff                                | Generelle konsekvenser                                                                                                                                                 | Adventfjorden - konsekvenser                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Konsekvens indeks |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Næringssalter (P og N)               | Økt vekst av planteplankton og alger<br>Økt forekomst av skadelige alger/ massiv forekomst av grønnalger<br>Effekter ved nedbrytning av plantemateriale (se neste rad) | Utslippene av P og N antas å være så begrenset at effektene av disse næringssaltene ikke anses som problematisk. Fortynningen av det relativt beskjedne utslippet antas å være stor.                                                                                                                                                   | 0                 |
| Organisk materiale                   | Økt begroing<br>Økt forbruk av oksygen<br>Endring i bunnfauna                                                                                                          | Utslipp av organisk materiale antas tidligere å ha ført til noe forhøyde TOC-verdier nært utslippspunktet. Bunnfaunaen viser også tegn til forstyrrelse, men det kan være vanskelig å skille effekter av organisk belastning fra effekter av naturlig høy sedimentasjon i dette området.                                               | -                 |
| Miljøgifter (PCB, PAH, metaller mm.) | Kroniske eller akutte giftvirkninger<br>Kostholdsråd og omsetningsforbud for marine organismer                                                                         | Avløpsvannet inneholder forhøyde konsentrasjoner av enkelte miljøgifter, og vil således være en kilde til miljøgifter til det marine miljø i Adventfjorden. Fortynningen av utslippet antas å være stor. Det antas ikke at mengdene som slippes ut er så store at de vil føre til kostholdsråd.                                        | -                 |
| Bakterier og virus                   | Hygieniske problemer ved bading og vannforsyning<br>Forurensere skalldyr                                                                                               | Forringet vannkvalitet vil sannsynligvis oppstå i nærområdet til utslippspunktet (bading anbefales ikke).                                                                                                                                                                                                                              | -                 |
| Partikulært materiale                | Nedslamming av bunn og strender<br>Skader bunnens flora og fauna<br>Estetisk skjemmende                                                                                | Den naturlige tilførselen av partikler er stor i dette området. Det anses som lite sannsynlig at tilførsler av partikler fra avløpsvann vil føre til store endringer ut over de som forårsakes av naturlig sedimentasjon. Gjennombrudd av avløpsvann med partikler til overflate vil imidlertid kunne gi estetisk skjemmende effekter. | --                |



## 6 Konklusjoner og avbøtende tiltak

---

Ved hjelp av modellen Visual Plumes og inngangsdata til denne fremskaffet ved feltmålinger, kan vi slå fast at utslippsvannet fra Longyearbyen ofte får gjennomslag til overflaten. Dette vil skje i umiddelbar nærhet av utslippspunktet (10 - 20 m) og fortrinnsvis i perioden fra slutten av september til juni. Utslippspunktet ser ut til å være gunstig med tanke på retningen til resipientstrømmen i dyplaget, som er ut av Adventfjorden. Hvis det er ønskelig med hyppigere innlagring av utslippsvannet, anbefales det å finne et punkt med kraftigere bunnstrøm enn den som ble målt ved SM3. Ifølge strømmålingsresultatene er det sannsynlig at man da bør flytte utslippet omtrent 1 - 1.5 km lenger mot nordvest. Simuleringer med den hydrodynamiske modellen RMA2 støtter observasjonsresultatene. For simulering både i øvre, nedre og det totale vannmasselag intensiveres hastigheten på strømmen når vi beveger oss lenger mot nordvest. Dette må imidlertid verifiseres gjennom nøyaktige målinger før eventuelle tiltak iverksettes.

Grunnet usikkerhet om måleinstrumentet vårt (bunn, SM3) faktisk representerer strømforholdene ved utslippspunktet nøyaktig (horisontalt avvik på omtrent 300 meter), bør det først verifiseres at man faktisk får gjennomslag til overflaten i den grad VisualPlumes-modellens resultater viser. En måte å få et sikrere svar på de faktiske strømforhold og om disse er gunstige for å hindre hyppige gjennomslag til overflaten er å foreta strømmålinger enda nærmere utslippspunktet. For å verifisere modellresultatene fra eksisterende utslippspunkt og spredning fra et eventuelt nytt utslippspunkt, kan det for eksempel også tilsettes et sporstoff til avløpsvannet, og så gjøre en visuell vurdering av gjennombrudd til overflaten av denne.

Gjennombrudd til overflate av et urensset avløp kan gi uheldige estetiske virkninger, spesielt i tilfeller hvor strømmen fører utslippet inn til land. Primærrensing vil i stor grad redusere eventuelle estetiske effekter. Primærrensing vil også føre til at en viss andel miljøgifter holdes tilbake av filteret, og således ikke føres ut i fjorden. Mange av de organiske miljøgiftene og metallene binder seg til partikler, og vil derfor finnes i svært lave konsentrasjoner i filtrert vann. Ved å slippe ut urensset kloakk vil man tilføre Adventfjorden miljøgifter, selv om mengden tilført trolig er relativt liten.

Modelleringen med partikkelmodellen RMA4 indikerer at et urensset utslipp vil kunne forringe vannkvaliteten (TKB) i de nærmeste par km fra utslippspunktet. Det ser ikke ut som om bakteriene vil kunne nå selve Longyearbyen i særlig grad. Med ugunstig vindretning derimot, vil dette også kunne være mulig.

Den organiske belastningen fra utslippet vil sannsynligvis påvirke bunnfaunaen lokalt ved utslippspunktet, men det forventes at effektene vil begrense seg til et relativt lite område. Økt tilførsel av næringssalter vil føre til en viss økning i primærproduksjonen, men det forventes ikke merkbart negative effekter som en følge av dette.

Vår anbefaling er at avløpet fra Longyearbyen bør filtreres før utslipp. Dette vil forhindre at uheldige estetiske effekter oppstår ved gjennombrudd til overflate. I tillegg vil en del bakterier og også partikkelbundne miljøgifter holdes tilbake. Svalbard er ikke omfattet av EUs avløpsdirektiv eller Vanddirektivet, men norske myndigheter ønsker å opprettholde en høy miljøprofil på Svalbard. Utslipp av totalt urensset avløpsvann er lite forenelig med en slik miljøprofil. Renseanlegget kan ligge i området hvor avløpsledningen føres ut i fjorden.

## 7 Referanser

---

**Andersen, J.R., J.L. Bratli, E. Fjeld, B. Faafeng, M. Grande, L. Hem, H. Holtan, T. Krogh, V. Lunde, D. Rosland, B.O. Rosseland & K.J. Aanes**, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT veiledning 97:04. TA 1468/1997.

**Anon**, 1995. Konsekvensanalyser. Del I. Prinsipper og metodegrunnlag. Nr. 140 i Vegvesenets håndbokserie. ISBN: 82-7207-398-6.

**Cochrane, S., K. Næs, J. Carroll, H.C. Trannum, R. Johansen & S. Dahle**, 2001. Marin miljøundersøkelse ved bosetningene Barentsburg, Longyearbyen og Pyramiden i Isfjorden, Svalbard. Akvaplan-niva rapport 414.1466. 57 s + vedlegg.

**Donnell, B., J. V. Letter, Jr, W. H. McAnally & W. A. Thomas**, 2005. Users Guide to RMA2 WES Version 4.5. U.S. Army, Engineering Research and Development Center Waterways Experiments Station, 277 s.

**Evenset, A., G.N. Christensen & R. Palerud**, 2006. Miljøgifter i marine sedimenter, Isfjorden, Svalbard 2005. Akvaplan-niva rapport 414.3341. 37 s + vedlegg.

**Evenset, A., G.N. Christensen & R. Palerud**, 2009. Miljøgifter i marine sedimenter i Isfjorden, Svalbard 2009. Undersøkelser utenfor Longyearbyen, Barentsburg, Pyramiden og Colesbukta. Akvaplan-niva rapport 4707-1.

**Holte, B., K. Næs, S. Dahle & B. Gulliksen**, 1994. Marine resipientundersøkelser ved Longyearbyen og Barentsburg, Svalbard. Bunndyrsamfunn og miljøgifter i bunnsedimenter. Akvaplan-niva rapport 412.94.402. 47s + vedlegg.

**Kvennås, M. & A. Nybakk**, 2009. Harstad havn. Supplerende undersøkelser. NGI-rapport 20081405-3.

**Larsen, L.-H., A. Evenset, I.A. Berg & N. Skjegstad**, 2003. Kartlegging av kilder til foruresning i Tromsø indre havneområde og Tromsøysund 2002 – 2003. Akvaplan-niva rapport 412.2508.02. 74 s.

**Molvær, J.**, 2010. Personlig kommentar.

**Nedland, K.T.**, 2009. Vurdering av miljøgifter i Longyearbyens avløpsvann. Asplan-viak notat 521802.

**Norton, W.R., L.P. King and G.T. Orlob**, 1973. A finite element model for Lower Granite Reservoir, Water Resources Engineers Inc., Walnut Creek. CA. Report to Walla Walla District, U.S. Army Corps of Engineers, 105 sider.

**SFT**, 2005. Resipientundersøkelser i fjorder og kystfarvann. EUs avløpsdirektiv. Versjon 3 – oppdatert i 2005. SFT TA-1890/2005. Statens Forurensningstilsyn, Oslo.

**Sund, M.**, 2008. Polar Hydrology. Norwegian Water Resources and Energy Directorate's work in Svalbard. NVE-rapport no. 2, 2008. 66 s.

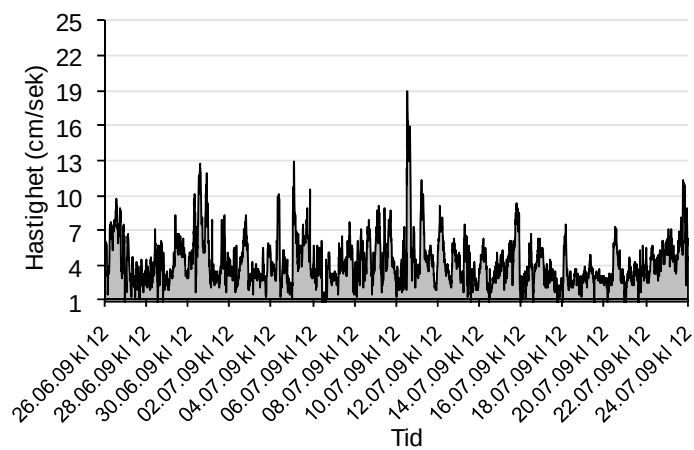
**Velvin, R., Evenset, A. og Christensen, N. G.**, 2006. Marin resipientundersøkelse ved Longyearbyen, Svalbard 2005. Bløtbunnsundersøkelse i Adventfjorden. APN 412.3369. Akvaplan-niva, Tromsø.

## 8 Vedlegg

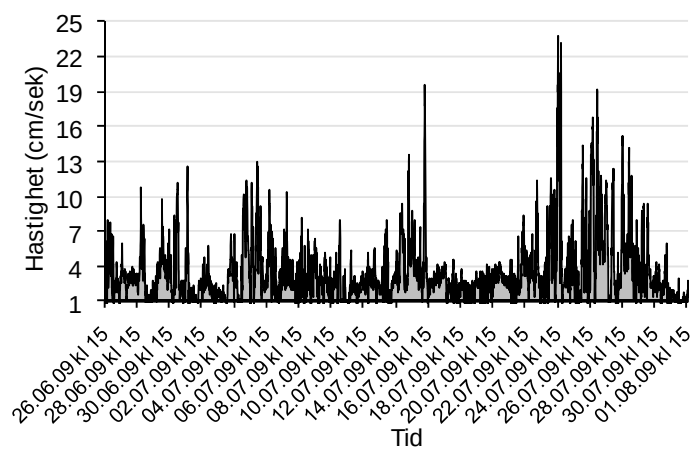
---

### 8.1 Strømhastigheter

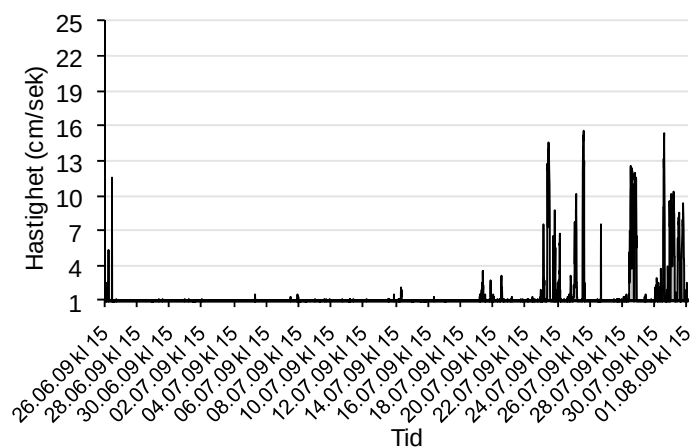
**Rigg 1 (15m dyp)**



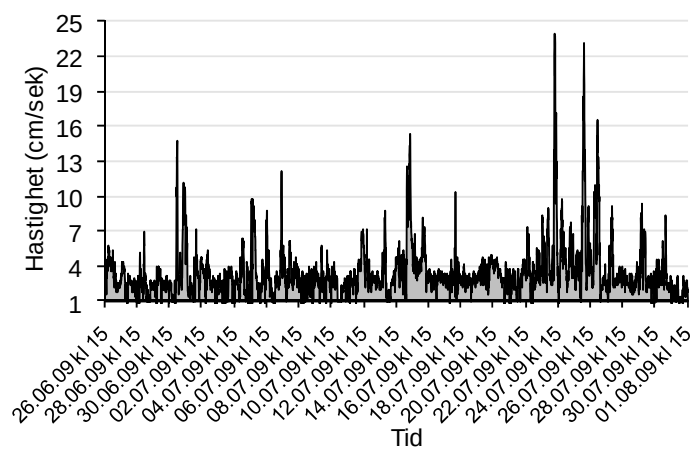
**Rigg 3 (6m dyp)**



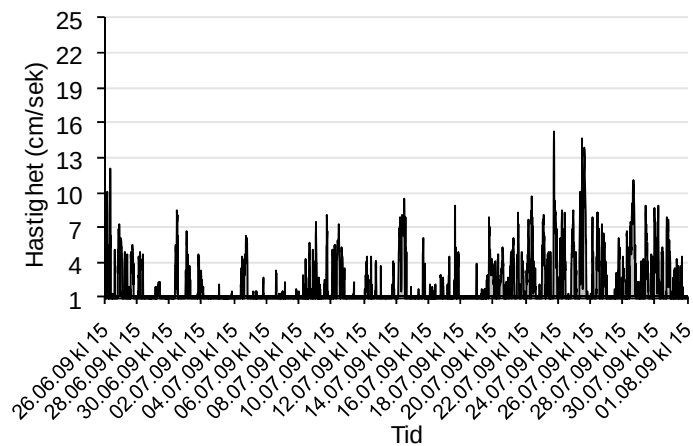
**Rigg 3 (4m over bunn)**



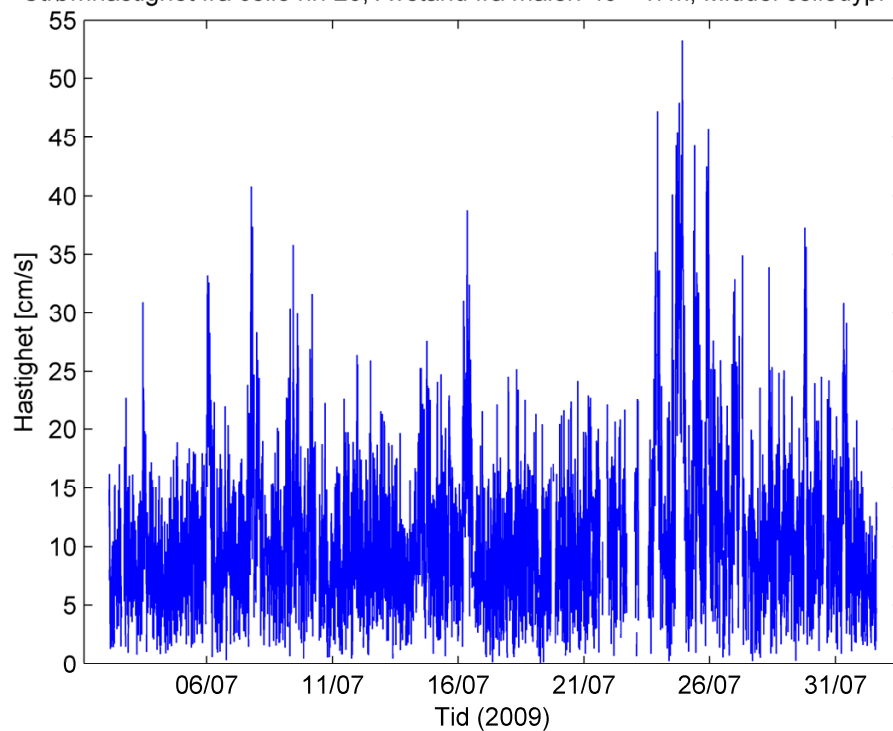
**Rigg 4 (6m dyp)**



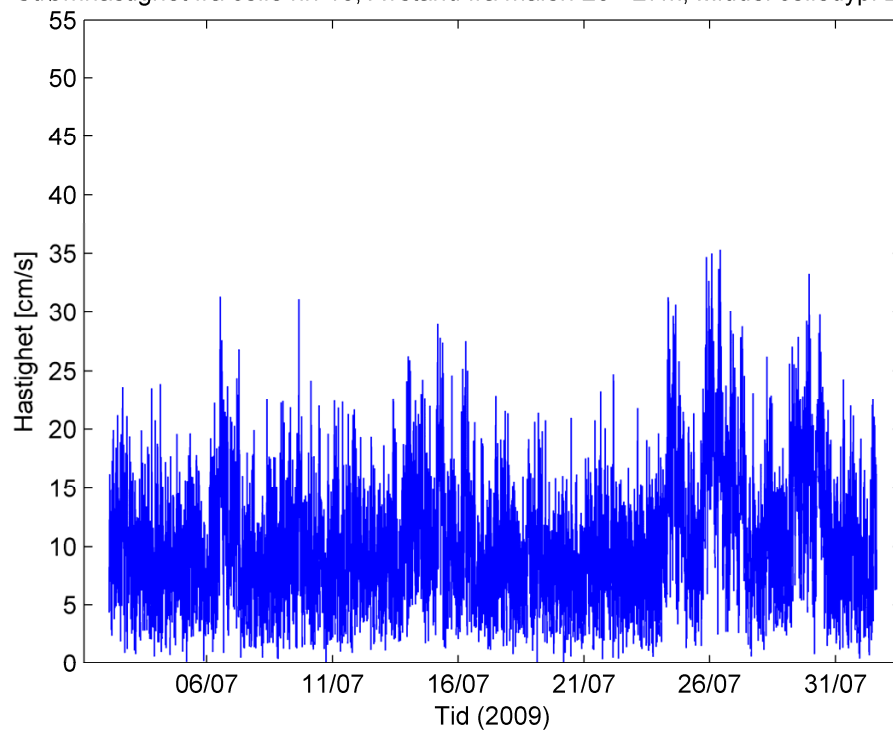
**Rigg 4 (4m over bunn)**



Strømhastighet fra celle nr. 23; Avstand fra måler: 45 - 47m; Middel celledyp: 7.09m



Strømhastighet fra celle nr. 13; Avstand fra måler: 25 - 27m; Middel celledyp: 27.09m



Strømhastighet fra celle nr. 1; Avstand fra måler: 1 - 3m; Middel celledyp: 51.09m

