

# Kartlegging av radioaktive stoffer i Oslofjorden



## RAPPORT

## Hovedkontor

Økernveien 94  
0579 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00

## NIVA Region Sør

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

## NIVA Region Innlandet

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

## NIVA Region Vest

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

## NIVA Danmark

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

Internett: [www.niva.no](http://www.niva.no)

Tittel Kartlegging av radioaktive stoffer i Oslofjorden	Løpenummer 7884-2023	Dato 11.08.2023
Forfatter(e) Anders Ruus, Deborah Oughton (NMBU), Bjørnar Beylich, Pipatthra Saesin, Gunhild Borgersen, Simon Jerome (NMBU), Lindis Skipperud (NMBU), Marit Nandrup Pedersen (NMBU), Karl Andreas jensen (NMBU)	Fagområde Miljøgifter - marin	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Indre Oslofjord	Sider 24 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for strålevern og atomikkerhet (DSA)	Kontaktperson hos oppdragsgiver Tanya Helena Hevrøy/ Marte Varpen Holmstrand
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 220178

<p>Sammendrag</p> <p>DSA har ønsket å undersøke om utslipp av radioaktive stoffer fra helsesektoren kan gjenfinnes i miljøet og om I-131 tas opp og/eller oppkonsentreres i Oslofjorden. Det ble ikke funnet I-131 eller Tc-99m i biota i detekterbare mengder. Dette tyder på lavt opptak, og liten tilknyttet risiko for organismer i Oslofjorden. Lave konsentrasjoner av Tc-99m og I-131 ble målt i noen vannprøver, samt I-131 i noen sediment prøver. Lu-177 ble ikke detektert i noen prøver. Disse observasjonene er ikke i konflikt med strømningsmønsteret i området, men partiklene skal også rekke å sedimentere til bunnen, tidsnok til at deteksjon er mulig (I-131 har halveringstid på 8 døgn). Selv med fordeling av prøvene over fire ulike prøveinnsamlingstidspunkter ble det for lang tid mellom prøvetaking og måling, med så lave konsentrasjoner av kortlevde radionuklider. Med så lave nivåer må man i fremtiden ta sikte på færre prøver og enda kortere tid mellom prøvesamling og måling, kanskje ved å fokusere på et mindre geografisk område. Resultatene gir et innblikk i situasjonen før en forventet økning i bruk av nukleærmedisin ved sykehusene.</p>
--

Fire emneord	Four keywords
<ol style="list-style-type: none"> <li>Nukleærmedisin</li> <li>Radioaktive stoffer</li> <li>Utslipp</li> <li>Kartlegging</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Nuclear medicine</li> <li>Radioactive substances</li> <li>Emissions</li> <li>Mapping</li> </ol>

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

*Anders Ruus*  
Prosjektleder/Hovedforfatter

*Sondre Meland*  
Kvalitetssikrer

*Morten Jartun*  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7620-6  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

# **Kartlegging av radioaktive stoffer i Oslofjorden**

## Forord

Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) har ønsket å undersøke om utslipp av radioaktive stoffer fra helsesektoren kan gjenfinnes i miljøet, med bakgrunn i liten kunnskap om hvordan radioaktive stoffer fra nukleærmedisin beveger seg og eventuelt oppkonsentrerer i miljøet. DSA ønsker med dette å undersøke om I-131 tas opp og/eller oppkonsentrerer i Oslofjorden. Dessuten ønskes en oversikt over andre relevante radioaktive stoffer i miljøet.

NIVA har gjennomført denne undersøkelsen på oppdrag fra DSA, med Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), som underleverandør.

NMBU har analyserte alle prøvene for radionuklider. Marit Nandrup Pedersen har utført måling av kortlevende isotoper, og Simon Jerome og Karl Andreas Jensen har hatt ansvar for Tc-99 målingene. André Staalstrøm har bidratt i hydrografiske vurderinger. Kvalitetssikring ved Sondre Meland og Morten Jartun

Oslo, August 2023

*Anders Ruus*

---



# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon.....</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrunn og formål .....	7
<b>2</b>	<b>Materiale og metode.....</b>	<b>9</b>
2.1	Prøvetakingsprogram.....	9
2.2	Prøveinnsamling .....	10
2.3	Analyse av prøver.....	14
<b>3</b>	<b>Resultater og diskusjon .....</b>	<b>15</b>
3.1	Hydrogafi i prøvetakingsområde .....	15
3.1.1	Vannstrøm i Vestfjorden .....	15
3.1.2	Kriterier for vannprøvetaking basert på salinitetsprofil og strømforhold på observasjonstidspunkt .....	16
3.2	Radionuklider i prøvene.....	18
<b>4</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>24</b>

## Sammendrag

Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) har ønsket å undersøke om utslipp av radioaktive stoffer fra helsesektoren kan gjenfinnes i miljøet, med bakgrunn i liten kunnskap om hvordan radioaktive stoffer fra nukleærmedisin beveger seg og eventuelt oppkonsentrerer i miljøet. DSA ønsker med dette å undersøke om I-131 tas opp og/eller oppkonsentrerer i Oslofjorden. Dessuten ønskes en oversikt over andre relevante radioaktive stoffer i miljøet.

Det ble ikke funnet I-131 eller Tc-99m i biota i detekterbare mengder. Dette tyder på lavt opptak, og liten tilknyttet risiko for organismer i Oslofjorden. Lave konsentrasjoner av Tc-99m og I-131 ble målt i noen vannprøver, samt I-131 i noen sediment prøver. Lu-177 ble ikke detektert i noen prøver. Disse observasjonene er ikke i konflikt med strømningsmønsteret i området, men partiklene skal også rekke å sedimentere til bunnen, tidsnok til at deteksjon er mulig (I-131 har halveringstid på 8 døgn). Selv med fordeling av prøvene over fire ulike prøveinnsamlingstidspunkter ble det for lang tid mellom prøvetaking og måling, med så lave konsentrasjoner av kortlevde radionuklider. Med så lave nivåer må man i fremtiden ta sikte på færre prøver og enda kortere tid mellom prøvesamling og måling, kanskje ved å fokusere på et mindre geografisk område. Resultatene gir et innblikk i situasjonen før en forventet økning i bruk av nukleærmedisin ved sykehusene.

## Summary

Title: Mapping of radioactive substances in the Oslofjord

Year: 2023

Author(s): Anders Ruus, Deborah Oughton (NMBU), Bjørnar Beylich, Pipatthra Saesin, Gunhild Borgersen, Simon Jerome (NMBU), Marit Nandrup Pedersen (NMBU), Karl Andreas Jensen (NMBU), Lindis Skipperud (NMBU)

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7620-6

The Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA) wanted to investigate whether emissions of radioactive substances from the health sector can be found in the environment, based on little knowledge about how radioactive substances from nuclear medicine distribute and possibly concentrate in the environment. DSA wishes to investigate whether I-131 is taken up and/or is concentrated in the Oslofjord. An overview of other relevant radioactive substances in the environment was a secondary objective.

No detectable amounts of I-131 or Tc-99m were found in the biota samples. This indicates low uptake, and little associated risk for organisms in the Oslo Fjord. Low concentrations of Tc-99m and I-131 were measured in some water samples, as well as I-131 in some sediment samples. Lu-177 was not detected in any samples. These observations are not in conflict with the pattern of water currents in the area, however the particles must also settle to the bottom, in time for detection to be possible (I-131 has a half-life of 8 days). Even with distribution of the samples over four different sample collection times, with such low concentrations of short-lived radionuclides, the time between sampling and measurement was too long. With such low levels, in the future one must aim for fewer samples and an even shorter time between sample collection and measurement, perhaps by focusing on a smaller geographical area. The results give an insight into the situation before an expected increase in the use of nuclear medicine at the hospitals.

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn og formål

I nukleærmedisin brukes radionuklider både til undersøkelser og behandlinger av pasienter, og sykehusene i Norge har tillatelse til bruk og utslipp av radioaktive stoffer. Det forventes en økning fremover, ettersom nukleærmedisinske undersøkelser/behandlinger utvikles.

Som regel slippes alt av radioaktive stoffer brukt ved pasientbehandling til fjorder og havet via avløp. Avløpsvannet fra Radiumhospitalet går til VEAS renseanlegg i Slemmestad. Utslipp herfra skjer på 32 - 55 meters dyp i Vestfjorden i Oslofjorden.

Ved det nye Oslo Universitetssykehus HF skal det som en del av utviklingen av Radiumhospitalet bygges en ny klinikk som skal stå ferdig i 2023/ 2024. Radiumhospitalet er ifølge DSA den største kilden til utslipp av kunstige radioaktive stoffer i Norge og OUS forventer en økning med bruk av nukleærmedisin inntil 5 ganger i 2030, sammenlignet med i dag. I den nye klinikken skal det skal etableres pasientrom for pasienter som behandles med radioaktivt jod (I-131). Radioaktivt jod er den radionukliden som slippes ut fra sykehusene som bidrar mest til stråling til miljøet. Radiumhospitalet skal derfor installere forsinkelsestanker i et eget areal inne på sykehuset der avløpsvann samles opp i forsinkelsestankene i en periode til strålingen er kraftig redusert, før det slippes videre. Dette vil føre til en vesentlig reduisering av utslipp av radioaktivt jod.

Det er ifølge DSA tidligere vist at i Tromsø-sundet tok blæretang opp I-131 fra utslipp fra sykehus (Gwynn & Kiel Jensen, 2019). På bakgrunn av dette prosjektet utførte DSA et pilotprosjekt for å undersøke om radioaktive stoffer sluppet ut fra Radiumhospitalet kan gjenfinnes ved VEAS renseanlegg, og foreløpige resultater viser at flere radioaktive stoffer brukt i nukleærmedisin ble målt i det rensede vannet. Resultatene viste konsentrasjoner av I-131 i både inntaks- og uttaksvannet og at konsentrasjonen var høyest i prøvene fra fredag, lørdag og søndag (i samsvar med når jod brukes på sykehusene). Målingene viste også konsentrasjoner av andre radionuklider; dvs. I-123, Tc99m (technetium; metastabil) og Lu-177 (Lutetium).

DSA har derfor ønsket å undersøke om utslipp av radioaktive stoffer fra helsesektoren kan gjenfinnes i miljøet. Per i dag vet man lite om hvordan radioaktive stoffer fra nukleærmedisin beveger seg og eventuelt blir oppkonsentrert i miljøet. I tillegg til radioaktivt jod, som brukes mye i dag, kan det forventes flere nye legemidler hvor det er kunnskapsmangel om stoffenes oppførsel i miljøet (som f.eks. Lu-177). Med dette har DSA ønsket å undersøke om I-131 tas opp og/eller oppkonsentrer i Oslofjorden. DSA har også ønsket også å få en oversikt over andre relevante radioaktive stoffer i miljøet. Hensikten skal være å gjøre en kartlegging i 2022, før Radiumhospitalet vil være ferdig i 2023/24.

Formålet med undersøkelsen er derfor å gjøre en kartlegging av konsentrasjonene av radioaktive stoffer i Vestfjorden i Oslofjorden, spesielt området rundt VEAS renseanlegg. Stoffer som undersøkes er nevnt i **Tabell 1**.



**Tabell 1.** Radioaktive stoffer, og deres halveringstid, som inngår i foreliggende undersøkelse.

Stoff	Halveringstid
I-131	8 dager
Lu-177	6,65 dager
Tc-99m	6 timer
Tc-99	211 000 år

## 2 Materiale og metode

### 2.1 Prøvetakingsprogram

DSA ønsket målinger av I-131 og andre relevante isotoper i prøver av vann, sediment og biota fra stasjoner plassert i gradienter fra utslippspunkt i Vestfjorden, i tillegg til gradienter langs kysten fra VEAS. Sykehusene administrerer jod til pasienter på fredager som blir over helgen. Andre radioaktive stoffer som Tc-99m og Lu-177 brukes også, og disse pasienter drar hjem rett etter behandling. Det tar omtrent 8 timer før avløpsvannet fra Radiumhospitalet når Oslofjorden, via renseanlegget. Derfor er det et poeng at prøver skulle samles tidlig, snarere enn senere, i uken.

I følge DSA skulle prøvetakingsprogrammet inneholde:

**Marinstasjoner** med prøvetaking i Vestfjorden, nær utslippspunktet. Disse stasjonene skulle inneholde:

- 14-16 prøvetakingsstasjoner (med koordinater) i økende avstand til utslippspunktet (800 meter ut i fjorden).
- Stasjoner i retning nord og sør for utslippspunktet da tidevannsstrømmer beveger vannet i begge retninger i sundet (samme dybde-kurve).
- Stasjoner i retning østover med økende dyp fra utslippspunkt.
- Prøver av biota ved et utvalg av de nærmeste stasjoner (hvilken art avhengig av tilgjengelighet).
- Om mulig måling av radioaktivitet i bein og muskel av fisk.
- Sedimentprøver (overflateprøver 0-2cm).

**Kyststasjoner** i begge retninger fra VEAS-anlegget ved Slemmestad. Disse stasjonene skulle inneholde:

- 6-8 prøvetakingsstasjoner (med koordinater) i økende avstand til utslippspunktet.
- Stasjoner i retning nord og sør for utslippspunktet.
- Vannprøver skulle tas ved alle stasjoner.
- Prøver av biota skulle tas ved alle kyststasjoner.
- Prøver av biota måtte inkludere, der mulig, blæretang og blåskjell (brukes som bioindikatorer for kontaminering da de har en høy affinitet for jod). Radioaktivitet oppkonsentreres i bløtvev som innvoller i blåskjell og nyvekst/ytterlig blad i blæretang.

På begge typer stasjoner skulle det:

- Måles på I-131, Lu-177 og Tc-99m.
- Måles Tc-99 i tang og sediment fra noen kyst- og marinstasjoner.

## 2.2 Prøveinnsamling

For samtlige stasjoner ble det lagt opp til at innsamlede prøver ble levert på laboratoriet på NMBU samme dag, eller tidlig neste morgen.

En oversikt over stasjoner og prøver er gitt i **Tabell 2** og **Tabell 3**.

Innsamling av vann og sediment på marinestasjoner ble gjennomført 22.-23. august 2022 med F/F Trygve Braarud med mannskap, og Gunhild Borgersen og Pipatthra Saesin fra NIVA.

Det ble tatt vannprøver (1 L) og sedimentprøver på 16 stasjoner (**Figur 1**). Alle vannprøvene ble tatt først (22.8). Vannsøyleprofilen fra Braaruds CTD (Conductivity, Temperature, Depth) ble studert *in-situ* for å finne rett dyp å ta vannprøvene, men det ble ikke observert noe tydelig utslippssky («plume»). Vannprøvene ble tatt på 35-43 m dyp (se f.ø. kapittel 3.1).

Sedimentprøver fra øvre 0-2 cm ble tatt med kjerneprøvetaker (Gemini corer) på de samme 16 stasjonene, og oppbevart i 20 mL og 100 mL beholdere. Sedimentprøver fra 6 stasjoner ble tatt på slutten av dagen 22.8, mens de øvrige 10 stasjonene ble tatt neste dag (23.8), se **Tabell 4** og **Tabell 5**. Både vannprøvene og sedimentprøvene ble levert til NMBU med Jetpack onsdag morgen (24.8).

Bunnfaunaprøver ble tatt 29.8 med en van Veen grabb/skraper på de tre stasjonene nærmest utslippspunktet (Nord1, Øst1 og Sør1). Flerbørstemark (polychaeta) ble plukket ut av grabben med pinsett og lagt på egne beholdere. På stasjon Nord1 var det generelt lite børstemark, og den frittlevende arten *Glycera* sp. dominerte volummessig. På stasjon Øst1 var det noe mer børstemark (halvfull beholder), og også her dominerte *Glycera* sp., men det var også endel individer av familien Lumbrineridae. På stasjon Sør1 ble det observert mye dyr (helt full beholder), og det ble samlet inn *Glycera* sp., Lumbrineridae og *Aphrodita* sp. (gullmus). Bunnfaunaprøvene ble levert til NMBU dagen etter prøvetaking (30.8).

Torsk ble tatt i bunntål fra F/F Trygve Braarud 17. august 2022, og ble utført i samarbeid med prosjektet «Miljøgifter i en urban fjord» som NIVA utførere på oppdrag fra Miljødirektoratet. Prøver av muskel og skjelett sendt til NMBU på 21. august og analysert dagen etter.

Kyststasjoner ble prøvetatt 19-20. september. På hver stasjon ble det tatt en vannprøve, prøve av toppskudd av blæretang; som representere siste veksts, samt en prøve av bløtvevet fra 11 til 23 blåskjell. Antallet blåskjell og mengden blæretang ble justert til å passe i forhåndsveid beholder slik at analysene kunne utføres raskest mulig. Alle prøvene fra kyststasjoner ble kjørt rett til NMBU og analysene begynte samme dag som de ble samlet inn, og første målingene ble ferdig innen 24 timer (grunnet mange prøver ble noen analysert påfølgende dag). Alle vannprøver ble samlet inn samme dag for å gi best mulig geografisk informasjon om eventuelle funn av radioaktive stoffer.

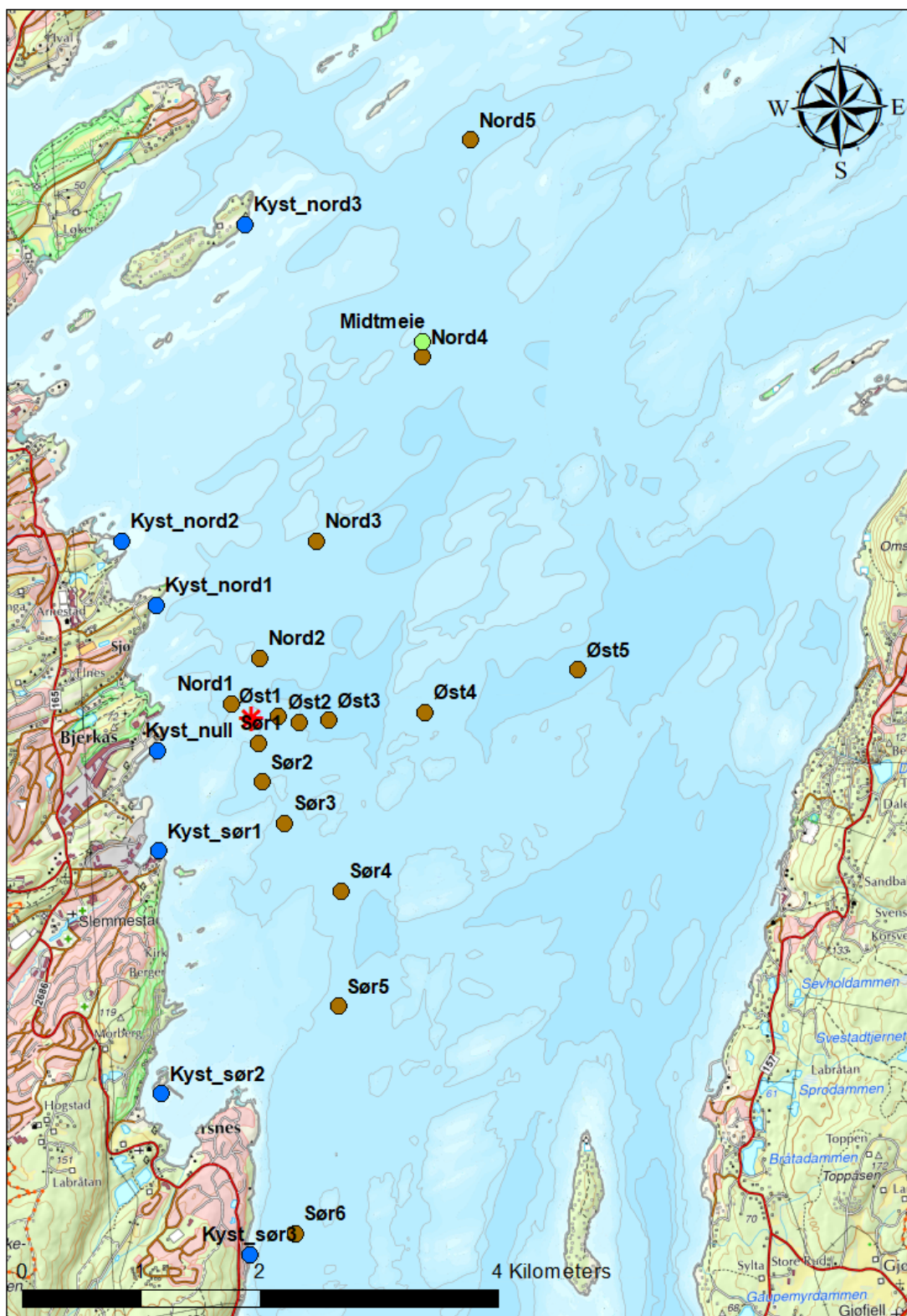
**Tabell 2.** Oversikt over stasjoner for innsamling av sedimentprøver. \*På stasjon Nord1, Øst1 og Sør1 ble det også tatt bunnprøver for innsamling av flerbørstemark (polychaeta)

stasjonnavn	Sediment- snitt	Breddegrad	Lengdegrad
Nord1*	0-2cm	59,79400	10,51300
Nord2	0-2cm	59,79738	10,51743
Nord3	0-2cm	59,80612	10,52621
Nord4	0-2cm	59,81982	10,54288
Nord5	0-2cm	59,83611	10,55074
Sør1*	0-2cm	59,79100	10,51700
Sør2	0-2cm	59,78805	10,51731
Sør3	0-2cm	59,78488	10,52057
Sør4	0-2cm	59,77971	10,52869
Sør5	0-2cm	59,77101	10,52797
Sør6	0-2cm	59,75397	10,52073
Øst1*	0-2cm	59,79300	10,52000
Øst2	0-2cm	59,79253	10,52308
Øst3	0-2cm	59,79260	10,52759
Øst4	0-2cm	59,79304	10,54197
Øst5	0-2cm	59,79595	10,56500
Kyst_null		59,79061	10,50183
Kyst_nord1		59,80155	10,50219
Kyst_nord2		59,80646	10,49721
Kyst_nord3		59,83011	10,51674
Kyst_sør1		59,78304	10,50170
Kyst_sør2		59,76474	10,50124
Kyst_sør3		59,75243	10,51393
Midtmeie		59,81982	10,54288
utslippspunkt		59,79287	10,515976

**Tabell 3.** Oversikt over prøvetyper, antall og tidspunkt for prøvetaking.

prøvetype	antall	innsamlingsdato
vannprøver	16	22.08.2022
sedimentprøver	16	22-23.08.2022
blåskjell	7	19-20.09.2022
Blæretang	7	19-20.09.2022
overflatevann	7	20.08.2022
Bunnfauna	3	29.08.2022
Torsk muskel	15	17.08.2022
Torsk rygggrad	15	17.08.2022





**Figur 1.** Kart med alle prøvetakingsstasjoner: Marinstasjoner (brune; vann og sediment), kyststasjoner (blå; blåskjell, blæretang og vann) og stasjon for innsamling av torsk (grønn). Rød stjerne angir utslippspunktet fra VEAS.

**Tabell 4.** Oversikt over vannprøvene fra marinestasjonene (tidspunkt og vanndyp).

Stasjon	Prøve nr vannprøve	Dato vannprøve	Tidspunkt vannprøve	Prøvedyp vannprøve
NORD5	1	22.08.2022	09:51	40
NORD4	2	22.08.2022	10:14	40
NORD3	3	22.08.2022	10:27	40
ØST5	4	22.08.2022	10:40	43
ØST4	5	22.08.2022	11:00	39
SØR4	6	22.08.2022	11:14	38
SØR5	7	22.08.2022	11:24	38
SØR6	8	22.08.2022	11:41	38
SØR3	9	22.08.2022	12:25	38
SØR2	10	22.08.2022	12:37	35
SØR1	11	22.08.2022	12:48	36
ØST1	12	22.08.2022	13:00	36
ØST2	13	22.08.2022	13:10	37
ØST3	14	22.08.2022	13:24	37
NORD1	15	22.08.2022	13:40	37
NORD2	16	22.08.2022	13:52	37

**Tabell 5.** Oversikt over sedimentprøvene (estimert tidspunkt og vanndyp).

Stasjon	Prøvenr 20 ml beholder	Stasjonsdyp sedimentprøve	Dato sediment prøve	Skudd nr gemini	Estimert tidspunkt sedimentprøve
NORD5	46	70	22.08.2022	1	14:30
NORD4	47	70	22.08.2022	2	14:45
NORD3	48	76-77	22.08.2022	3	15:00
ØST5	49	124	22.08.2022	4	15:15
ØST4	50	72	22.08.2022	5	15:30
SØR4	59	77	23.08.2022	16	11:50
SØR5	60	101	23.08.2022	17	12:10
SØR6	61	87	23.08.2022	18	12:30
SØR3	58	78	23.08.2022	15	11:30
SØR2	57	62	23.08.2022	13+14	11:10
SØR1	53	60	23.08.2022	9	09:50
ØST1	54	99	23.08.2022	10	10:10
ØST2	55	102	23.08.2022	11	10:30
ØST3	56	102-103	23.08.2022	12	10:50
NORD1	52	64	23.08.2022	8	09:30
NORD2	51	68	22.08.2022	6+7	16:00

## 2.3 Analyse av prøver

Samtlige prøver ble analysert for gamma-emitterene I-131, Lu-177 og Tc-99m. Vann (1 liter) ble overført til Marinelli-beger og målt på Ge-detektorer (Germanium-halvleder), med telleid fra 0.5-15 timer. Alle andre prøver ble tatt direkte på forhåndsveide telleglass og ble målet vha Nal-detektor (natriumiodid scintillasjon). Alle Nal prøver ble målt to ganger; 30 min - 1 time per prøve for Tc-99m (halveringstid 6 timer), og igjen etter et par dager med 2 timer per prøve for å øke deteksjonsgrense for I-131 (halveringstid 8 dager). Tørrvekt av sediment ble beregnet etter gamma-målinger. En rekke prøver ble også sammenslått og målt over natt på Ge-detektor for å screene for Lu-177 (halverings tid 6,65 dager) og andre radionuklider. Deteksjons- og kvantifiseringsgrenser er beregnet etter Curie 1968, basert på variasjon i bakgrunnsmålinger ( $\sigma$ ), hvor deteksjonsgrensen tilsvarende  $4,65 \cdot \sigma$  og kvantifiseringsgrensen  $14,1 \cdot \sigma$ .

Tangprøver fra samtlige kyststasjoner (7 stk) og 16 stk sedimentprøver fra marinstasjonerse (**Figur 1**) ble analysert for Tc-99 (halveringstid 211 000 år) på NMBU vha. ICP-MS (induktivt koblet plasma og massespektrometri; Agilent Technologies, Inc., Triple quadropole).

Analyse: Prøvene ble løst opp under trykk med salpetersyre, fordampet til tørrhet og på nytt i fortynnet ( $\sim 1$  M)  $\text{HNO}_3$ . Tc-99m tracer (fra en Tc-99m/Mo-99 generator) ble tilsatt prøvene før Tc ble separert ut av prøvene ved hjelp av TEVA resin. Tc ble absorbert på TEVA-resinet, som så ble vasket med ytterligere 1 M  $\text{HNO}_3$ . Tc ble eluert fra TEVA-resinet med 12 M  $\text{HNO}_3$ . For å bergene utbyttet ble eluatet/løsningen først analysert ved å bruke en automatisert NaI(Tl)-brønndetektor for å måle Tc-99m. Løsningen ble deretter dampet inn til tørrhet og så løst på nytt i en liten mengde fortynnet  $\text{HNO}_3$ , for deretter å bli gjort alkalisk med ammoniakkløsning. Den alkaliske løsningen ble deretter målt for Tc-99 ved hjelp av ICP-MS på masse 99 i 3 forskjellige modus i) i  $\text{NH}_3$  gass, ii) i  $\text{O}_2$  gass og iii) masseforskjøvet i  $\text{O}_2$  gass.

Beregning: Det kjemiske utbyttet ble bestemt ved enkel forholdberegning mellom Tc-99m i de analyserte prøvene og den originale mengde tilsatt Tc-99m, etter korrigerende av bakgrunns målinger, veiing og desintegrasjon. For ICP-MS-målingene ble (1) instrumentbakgrunn og (2) bakgrunn fra Tc-99m-løsning trukket fra hver måling av prøve. Aktivitetskonsentrasjoner ble beregnet fra målinger i hver av de forskjellige modusene (i - på masse i  $\text{NH}_3$ , ii - på masse i  $\text{O}_2$ , og iii - masse forskjøvet i  $\text{O}_2$ ). Deteksjonsgrense og bestemmelsesgrense ble beregnet i henhold til ISO 11929. Resultatene ble rapportert enten å være under deteksjonsgrensen, under bestemmelsesgrensen eller som et positivt resultat. Det ble brukt en sikkerhetsfaktor på  $k = 2$ .

## 3 Resultater og diskusjon

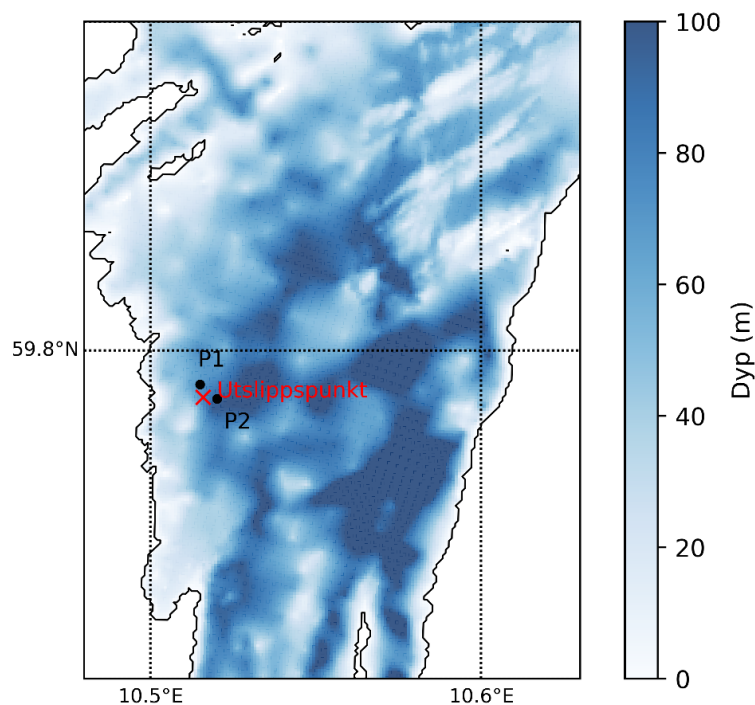
### 3.1 Hydrogafi i prøvetakingsområde

#### 3.1.1 Vannstrøm i Vestfjorden

Vannsøylen i Indre Oslofjord kan deles i 3 lag: 1) overflatelaget (ca. 0-20 m), som er hovedsakelig vindpåvirket, 2) det mellomliggende laget (ca. 20-50 m) hvor tidevannet spiller en viktig rolle, og 3) bunnlaget (under 50 m) hvor batymetri begrenser strømmen. De forskjellige dominerende kreftene i hvert lag påvirker forskjellige retninger av strømmen. I følge Lepland et al. (2010) kan sedimentakkumuleringsraten (SAR) i indre Oslofjord variere fra 0 til 2,6 mm/år, eller høyere, i indre fjord.

I Vestfjorden er det rapportert og studert mange indre bølger/tidevann i flere år, og disse forekommer vanligvis i det mellomliggende vannsjiktet. De indre bølgene i Oslofjorden genereres ved den grunne (ca. 19 m) Drøbak-terskelen. Disse indre bølgene spiller en viktig rolle i dynamikken i fjorden, spesielt vertikalblanding og energi. Derfor er Vestfjorden mer «energisert» og har høyere vertikal diffusjonshastighet, enn i Bunnefjorden (Gade, 1970; Saesin, 2021; Staalstrøm et al., 2012; Staalstrøm og Rød, 2016). I tillegg er SAR i Vestfjorden, Særlig nær VEAS-utslippet, 0,2 cm/år (Bronzo et al., 2021).

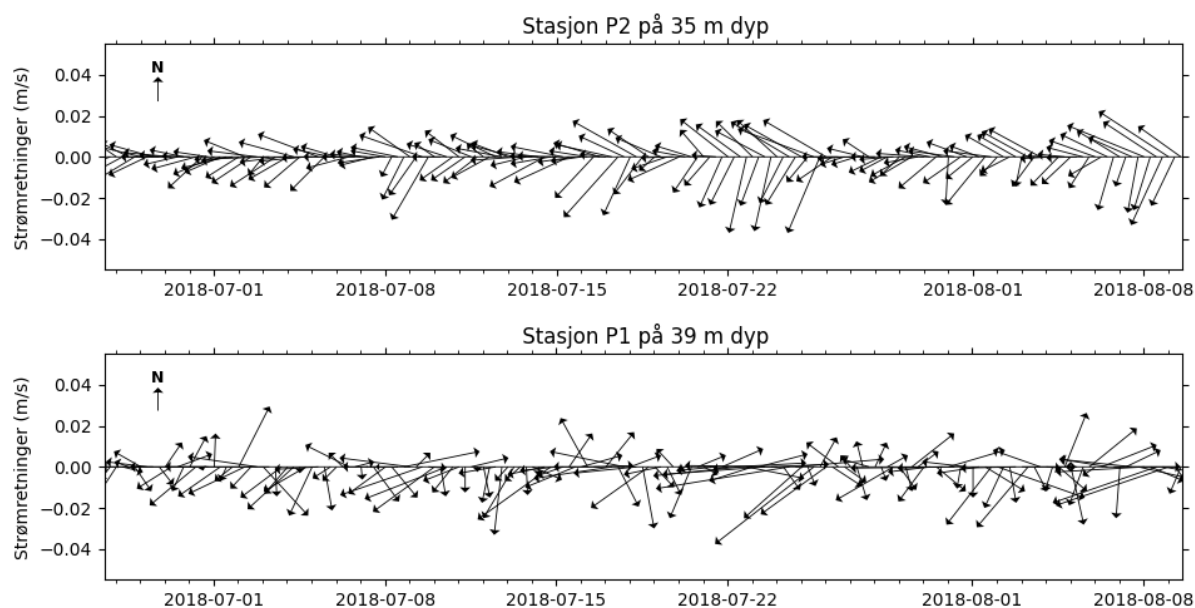
En observasjon nær VEAS-uttaket ble utført i løpet av juni-august 2018. Strømmen ble målt ved hjelp av «Acoustic Doppler Current Profilers» (ADCP). To observasjonsstasjoner, P1 og P2, ligger henholdsvis nord og øst for VEAS-utslippet (se **Figur 2**). Kun Måledybde nærmest 40 m (dypet for VEAS-utslippet) er nevnt for å beskrive strømmen rundt utslippet.



**Figur 2.** Stasjoner for observasjon av vannstrøm (P1 og P2) fra 2018, samt Utslippspunktet fra VEAS (rødt kryss).



**Figur 3** illustrerer strømretning hver 6. time ved P1 (på 39 m dyp) og P2 (på 35 m dyp) i observasjonsperioden. Resultatene viser at strømmen vanligvis flyter nordvestover og sørvestover, selv om det er stor variasjon ved P1. Geografi kan være en nøkkel for variasjonen ved P1. Grunnere vanddyb og plasseringen nærmere land påvirker retningen på strømmen ved P1. Ved P2 er det åpenbart at tidevann er en dominerende kraft på strømmen, ettersom strømmen flyter inn (nordvestgående) og ut (sørvestover) av fjorden hver 6. time, omtrent såkalte halvdøgnlige tidevann. Det kan konkluderes med at strømmen rundt VEAS-utslippet (ca. 40 m) vanligvis flyter frem og tilbake i løpet av et døgn. Strømtilstanden kan imidlertid avvike fra dette, da det er mange påvirkninger, f.eks. sesongvariasjoner, vind, tidevann, storskala trykkgradient og elveutslipp, som påvirker retningen på strømmen.



**Figur 3.** Observert vannstrøm juni-august 2018 ved stasjon P1 på 39 m dyp (øverste), og ved stasjon P2 på 35 m dyp (nedre). Vektorer indikerer strømretning hver 6. time.

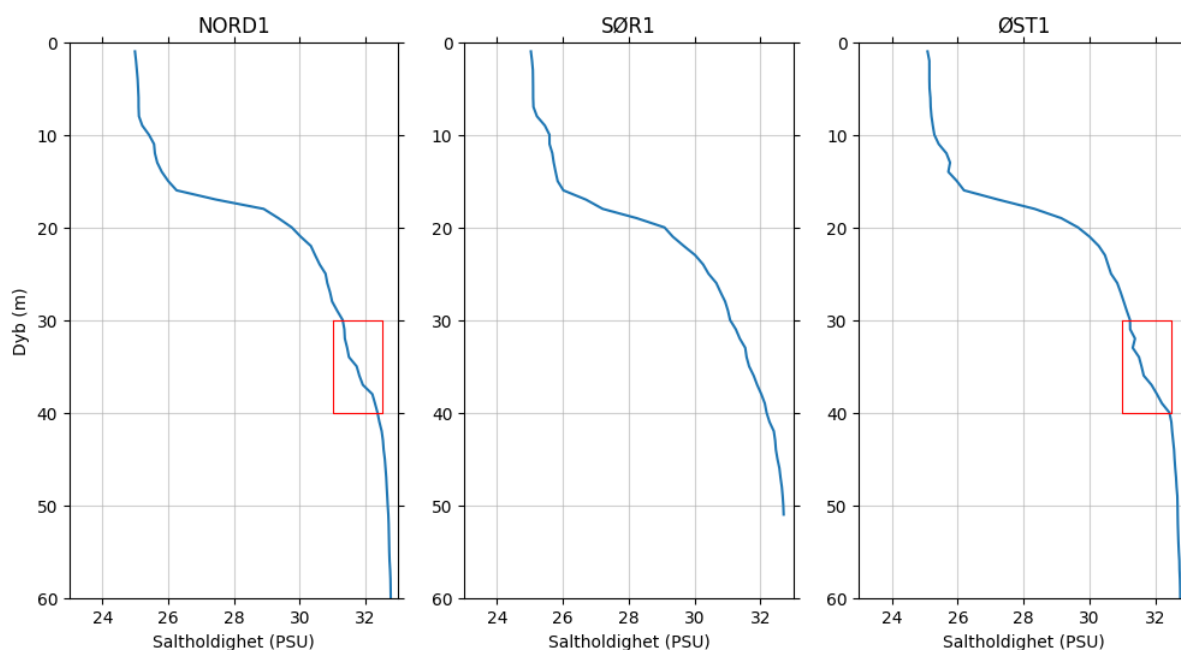
### 3.1.2 Kriterier for vannprøvetaking basert på salinitetsprofil og strømforhold på observasjonstidspunkt

Utslippsvann fra VEAS har relativt lav saltholdighet, sammenlignet med vannet i fjorden. Salinitet er en nøkkel som vi bruker til identifisering av utslippslaget. Utslipps-«Plumen» med lav saltholdighet forventes å ses høyere i vannsøylen, enn utslippspunktet, på grunn av utslippsvannets lavere oppdrift, sammenlignet med fjordvannet. Tidligere observasjoner Utløpslaget er imidlertid vanskelig å se, ifølge tidligere observasjoner nær utslippet. Her spiller høy vertikalblandingshastighet i fjorden en rolle for innblandingen av utslippsvannet i fjordvannet, derfor kan utslipps-«Plumen» raskt forsvinne.

Siden utslipp fra Radiumhospitalet skjer på ca. 40 m dyp, forventet vi at utslippet trolig kan spores mellom 30 og 40 m dyp. I de tilfeller hvor utslippslaget ikke kunne identifiseres, samlet vi inn vannprøver i en passende dybde, noe grunnere enn 40 m, basert på saltholdighetsprofilen.

Salinitetsprofilene og vannprøvene ble, som nevnt, tatt 22. august 2022. Utslippslaget viste seg knapt identifiserbart, spesielt på stasjoner langt fra utslippet. **Figur 4** viser saltholdighetsprofiler ved stasjon NORD1, SØR1 og ØST1 basert på CTD-målingene. Profilene viser de relativt lave saltholdighetene på 30- 40 m dyp ved NORD1 og ØST1 (i røde rektangler), som indikerer laget med utslippsvann. Fra profilene bestemte vi oss for å samle vannet på den største dybden av utslippslaget, der eventuelle konsentrasjoner av radionuklider forventes å være høyest.

Saltholdighetsprofiler på øvrige stasjoner finnes i **Vedlegg A**.



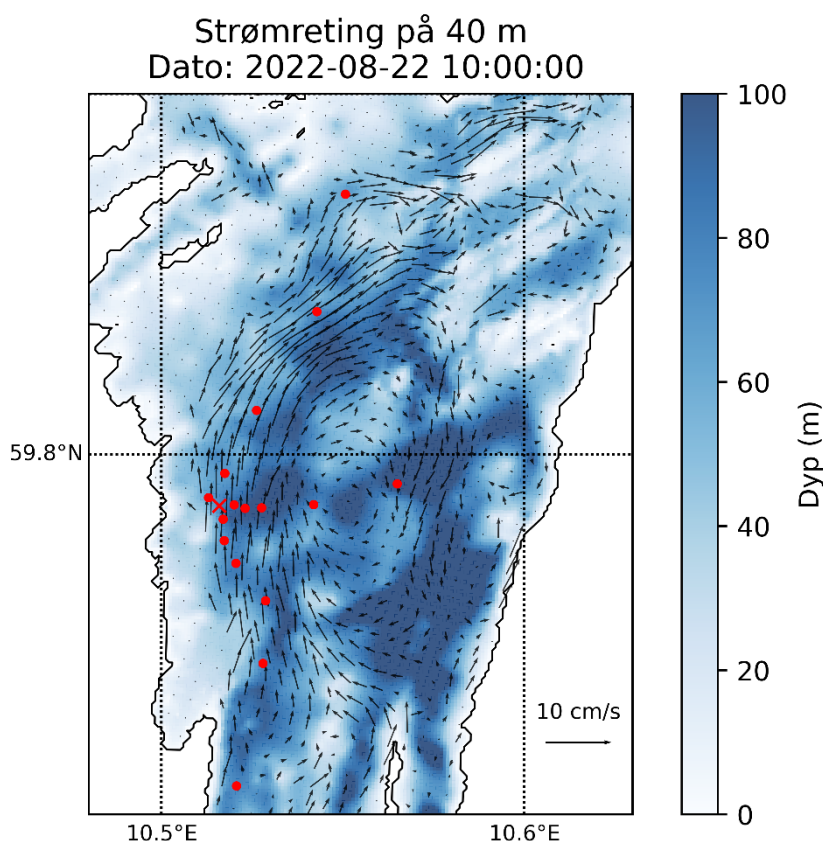
**Figur 4.** Salinitetsprofiler på stasjonene Nord1, Sør1 og Øst1, 22. august 2022. Røde rektangler viser laget med utslippsvann fra VEAS (relativt lav saltholdighet).

Utslippslaget kunne ikke ses ved stasjon SØR1 og det kunne knapt identifiseres på de øvrige stasjonene (liten endring i saltholdighet). At utslippslaget ikke kunne observeres ved SØR1 kan forklares av strømretning. En høyoppløselig numerisk modell, kalt «FjordOS», gir kan brukes til prediksjon (eller «hindcast») av strøm i hele Oslofjorden, med omtrent 50 m horisontal oppløsning og 42-lags vertikalt rutenett. Modellen er et godt verktøy for å undersøke vannstrømmen, spesielt det romlige aspektet. Mer spesifikt er «FjordOs» en høyoppløselig numerisk modell som beregner vannstand, strøm og hydrografi i Oslofjorden, som kan gi realistisk miljøinformasjon. Modellen ble utarbeidet i et samarbeid mellom Høgskolen i Sørøst-Norge, Meteorologisk institutt, NIVA og Forsvarets forskningsinstitutt. Den har også operative systemer som gir timevarsel og kan brukes til redning. Detaljer om modellen er å finne i Røed et al. (2016).

Resultatene fra modellen for 22. august 2022 viser at strømmen på 40 m dyp går nordover rundt VEAS-utslippet hele observasjonsdatoen. **Figur 5** illustrerer et øyeblikksbilde fra modellen kl. 10:00, da det oppsto relativt sterk nordgående strøm. Dette betyr at utslippsvann ble transportert nordover, og det er årsaken til at utslippslaget ikke kunne observeres ved SØR1. Høy innblandingshastighet i Vestfjorden er en viktig nøkkel for å forklare fraværet av et observerbart utslippslag på andre stasjonene, i større avstand fra utslippet. Utslippsvannet blandes raskt med fjordvannet og derfor er det vanskelig å skille utløpsvann fra sjøvann i saltholdighetsprofilene. I

tillegg antyder modellen at det er en sirkulasjon i Vestfjorden, som beveger seg med klokken, i denne tidsperioden. På denne geografiske skalaen vil sirkulasjonen som leses av modellen hovedsakelig være drevet av tidevann og topografi. I Oslofjorden er tidevann, vind og topografi tre hovedpådrivere for sirkulasjon. Vind er hovedpådriver i overflatelag. Tidevann og topografi er viktigere i de dypere vannlagene. Tidevann (inn- og utstrømning ved Drøbak) og topografi former strømrretningen.

Strøm i Vestfjorden ved 40 m dyp, på ulike klokkeslett den 22. august 2022, modellert v.h.a. «FjordOS»-modellen, er å finne i **Vedlegg B**.



**Figur 5.** Et øyeblikksbilde av vannstrømmene i prøvetaksområdet, fra FjordOS-modellen, ved 40 m dyp den 22. august 2022 kl. 10:00. Konturene viser batymetrien og vektorene er strømmene. Røde prikker viser vannprøvetaksstasjonene og det røde krysset viser utslippspunktet fra VEAS.

### 3.2 Radionuklider i prøvene

Resultatene viste lave konsentrasjon av radionuklider i alle prøvene, med de alle fleste under deteksjonsgrensene. Bare I-131 og Tc-99m ble funnet, ingen Lu-177, og ingen andre radionuklider. I-131 ble detektert i seks av vannprøvene (0,02-0,08 Bq/L) og seks av sedimentprøvene (**Tabell 6; Vedlegg C**). De fleste sedimentprøvene var over deteksjonsgrensen (tilsvarende ca. 150 Bq/kg), men under kvantifiseringsgrensen (ca. 400 Bq/kg tørrvekt). I-131 ble funnet i vann både nord, øst og sør for før utslippspunktet (ikke på stasjonene lengst unna), hvilket kan forklares av strømmene som er modellert i området i det aktuelle tidsrommet (**Figur 5 og Vedlegg B**). **Figur 3** viser også at strømmene endrer seg gjennom døgnet. I sediment ble I-131 funnet øst og sør for utslippspunktet. Dette heller ikke i konflikt med strømningsmønsteret i området, men partiklene skal også rekke å sedimentere til bunnen, tidsnok til at deteksjon er mulig (I-131 har halveringstid på 8 døgn; **Tabell 1**).

Tc-99m ble detektert i 7 vannprøver (**Tabell 7**). Alle andre prøver var under deteksjonsgrensen, både Na-I målinger og lengere målinger på Ge-detektor. Aktivitetskonsentrasjoner har blitt korrigerte til prøvetakingstid.

**Tabell 6.** I-131 målt i vann (Bq/L) og sediment (Bq/kg tørrvekt) på de aktuelle stasjonene.

<b>I-131</b>		
<b>Stasjon</b>	<b>Vann (Bq/L)</b>	<b>Sediment (Bq/kg) dw</b>
<b>Nord 1</b>	0,05 ± 0,02	< LoQ
<b>Nord 2</b>	0,04 ± 0,02	< LoQ
<b>Nord 3</b>	< LoD	< LoQ
<b>Nord 4</b>	< LoD	< LoQ
<b>Nord 5</b>	0,08 ± 0,03	< LoQ
<b>Øst 1</b>	< LoD	< LoQ
<b>Øst 2</b>	< LoD	< LoQ
<b>Øst 3</b>	< LoD	489 ± 84
<b>Øst 4</b>	0,02 ± 0,01	529 ± 96
<b>Øst 5</b>	< LoD	305 ± 64
<b>Sør 1</b>	< LoD	< LoQ
<b>Sør 2</b>	0,05 ± 0,02	< LoQ
<b>Sør 3</b>	< LoD	536 ± 75
<b>Sør 4</b>	0,02 ± 0,01	524 ± 75
<b>Sør 5</b>	< LoD	422 ± 66
<b>Sør 6</b>	< LoD	-
<b>Kyst sør 1</b>	< LoD	-
<b>Kyst sør 2</b>	< LoD	-
<b>Kyst sør 3</b>	< LoD	-
<b>Kyst nord 1</b>	< LoD	-
<b>Kyst nord 3</b>	< LoD	-
<b>Kyst null</b>	< LoD	-

Aktivitetskonsentrasjon ved prøveinnsamling start (vann og sediment Øst 4,5 kl. 10:00 22/8/22; sediment Øst 3, Sør 3,4,5 kl. 10:00 23/8/22). LoD vann = 0,01 Bq/L (Ge-detektor); LoD sediment = 0,9 Bq, LoQ sediment = 2,8 Bq (NaI detektor; tilsvarer ca. 150 og 400 Bq/kg tørrvekt)

**Tabell 7.** Tc-99m målt i vann (Bq/L) på de aktuelle stasjonene.

<b>Tc-99m</b>	
<b>Stasjon</b>	<b>Vann (Bq/L)</b>
<b>Nord 1<sup>c</sup></b>	< LoD
<b>Nord 2<sup>c</sup></b>	< LoD
<b>Nord 3<sup>b</sup></b>	0,04±0,02
<b>Nord 4<sup>b</sup></b>	< LoD
<b>Nord 5<sup>b</sup></b>	< LoD
<b>Øst 1<sup>c</sup></b>	0,03±0,02
<b>Øst 2<sup>c</sup></b>	<LoD
<b>Øst 3<sup>c</sup></b>	0,04±0,02
<b>Øst 4<sup>b</sup></b>	0,07±0,03
<b>Øst 5<sup>b</sup></b>	<LoQ
<b>Sør 1<sup>c</sup></b>	<LoD
<b>Sør 2<sup>b</sup></b>	0,05±0,03
<b>Sør 3<sup>b</sup></b>	<LoQ
<b>Sør 4<sup>b</sup></b>	< LoD
<b>Sør 5<sup>b</sup></b>	0,03±0,02
<b>Sør 6<sup>b</sup></b>	< LoD
<b>Kyst sør 1<sup>a</sup></b>	<LoD
<b>Kyst sør 2<sup>a</sup></b>	0,03±0,02
<b>Kyst sør 3<sup>a</sup></b>	<LoD
<b>Kyst nord 1<sup>b</sup></b>	<LoD
<b>Kyst nord 3<sup>b</sup></b>	<LoD
<b>Kyst null<sup>a</sup></b>	<LoD

Aktivitetskonsentrasjon ved start av prøveinnsamling (LoD vann = 0,02 Bq/L; telleusikkerhet 30-70%). Alle resultater fra Ge-målinger. a - prøver målt innenfor 24 timer etter innsamlingen; b - mellom 24-48 timer; c – etter 48 timer.

Ingen biotaprøver inneholdt detekterbare mengder av noen stoffer. At I-131 ikke ble detektert i biota tyder på lavt opptak, og liten tilknyttet risiko for organismer i Oslofjorden fra utslipp av I-131. Sett i forhold til lave konsentrasjoner i vann og sediment, er disse resultatene i tråd med tidligere publiserte overføringsfaktorer (IAEA, 2014). Det var dessuten liten sammenheng mellom aktivitet funnet i vann og sediment, med bare to stasjoner hvor det ble detektert I-131 i både sediment og vann.

Lavt utslag av Tc-99m kan skyldes at det gikk for lang tid mellom prøveinnsamling og analyse, spesielt for noen av vannprøvene (1-8 ganger halveringstid). Men selv sediment- og biotaprøvene målt kort tid etter innsamlingen viste ingen Tc-99m over deteksjonsgrensen. Basert på gjennomsnitt av prøvene hvor det ble målt Tc-99m, har vi indikerte hvilke vannprøver som hadde forhøyet deteksjonsgrense på grunn av tid mellom innsamling og måling (**Tabell 7**).

Tc-99 (halveringstid 211 000 år) i marint miljø kan skyldes både utslipp fra sykehusene (Tc-99 er et desintegrasjonsprodukt av Tc-99m), eller utslipp fra nukleærbrensel-reprosesseringsanlegg i Europa (hovedsakelig Sellafield, UK og La Hague, Frankrike). Nivåene målt i sedimentprøvene (13-30 Bq/kg tørrvekt) og kysttang (13-27 Bq/kg våtvekt) fra Oslofjorden viser samme, eller lavere nivå enn tidligere publiserte resultater. Tidligere målinger rapporterer et gjennomsnitt av 30 Bq/kg våtvekt i tang før 1997, med en økning opp til 179 Bq/kg etter THORP-utslipp fra Sellafield, UK, sent på 1990-tallet (Brown et al. 1999). Det er ikke mulig å si om Tc-99 i Oslofjorden stammer fra sykehus, men det er i hvert fall ingen tydelige tegn til en økning i nærheten av utslippspunktet.

**Tabell 8.** Tc-99 målt i sediment (Bq/kg tørrvekt).

<b>Tc-99 i sediment</b>	
<b>Stasjon</b>	<b>Sediment (Bq/kg) dw</b>
<b>Nord 1</b>	29,4±4,3
<b>Nord 2</b>	14,6±2,5
<b>Nord 3</b>	<LoD
<b>Nord 4</b>	<LoD
<b>Nord 5</b>	13,1±2,8
<b>Øst 1</b>	13,7±2,5
<b>Øst 2</b>	<LoD
<b>Øst 3</b>	<LoD
<b>Øst 4</b>	10,5±2,2
<b>Øst 5</b>	9,3±1,9
<b>Sør 1</b>	<LoD
<b>Sør 2</b>	11,6±2,4
<b>Sør 3</b>	11,6±2,2
<b>Sør 4</b>	<LoD
<b>Sør 5</b>	<LoD
<b>Sør 6</b>	<LoD

Usikkerhet U =  $\sigma \cdot k$  (k=2)

**Tabell 9.** Tc-99 målt i Tang (Bq/kg våtvekt).**Tc-99 i tang - kyststasjoner**

Stasjon	Tang (Bq/kg) ww
Kyst null	<LoD
Kyst nord 1	14,0±2,4
Kyst nord 2	12,9±1,9
Kyst nord 3	20,9±3,0
Kyst sør 1	25,1±4,1
Kyst sør 2	<LoQ
Kyst sør 3	27,4±4,1

Uncertainty U = sigma\*k (k=2)

## 4 Konklusjon

Det ble ikke funnet I-131 eller Tc-99m i biota i detekterbare mengder. Dette tyder på lavt opptak, og liten tilknyttet risiko for organismer i Oslofjorden. Lave konsentrasjoner av Tc-99m og I-131 ble målt i noen vannprøver, samt I-131 i noen sediment prøver. Lu-177 ble ikke detektert i noen prøver. Disse observasjonene er ikke i konflikt med strømningsmønsteret i området, men partiklene skal også rekke å sedimentere til bunnen, tidsnok til at deteksjon er mulig (I-131 har halveringstid på 8 døgn). Selv med fordeling av prøvene over fire ulike prøveinnsamlingstidspunkter ble det for lang tid mellom prøvetaking og måling, med så lave konsentrasjoner av kortlevde radionuklider. Med så lave nivåer må man i fremtiden ta sikte på færre prøver og enda kortere tid mellom prøvesamling og måling, kanskje ved å fokusere på et mindre geografisk område. Resultatene gir et innblikk i situasjonen før en forventet økning i bruk av nukleærmedisin ved sykehusene.



## 5 Referanser

Bronzo L, Lusher AL, Schøyen M, Morigi C. 2021. Accumulation and distribution of microplastics in coastal sediments from the inner Oslofjord, Norway. *Marine Pollution Bulletin* 173.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113076>

Brown JE, Kolstad AE, Brungot AL, Lind B., Rudjord AL, Strand P, Føyn L. 1999. Levels of <sup>99</sup>Tc in Seawater and Biota Samples from Norwegian Coastal Waters and Adjacent Seas. *Marine Pollution Bulletin* 38: 560-571.

Gade HG. 1970. Hydrographic investigations in the Oslofjord, a study of water circulation and exchange processes. Bergen: University of Bergen.

Gwynn JP, Kiel Jensen L. 2019. Iodine-131 and other medical radioisotopes in *Fucus vesiculosus* in the marine environment around Tromsøya and in sewage from the University Hospital of North Norway in Tromsø. Teknisk document no. 15. Østerås: Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority

International Atomic Energy Agency (IAEA) 2014. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife (IAEA Technical Report Series 479), IAEA:Vienna.

Lepland A, Andersen T, Lepland A, Arp, HPH, Alve E, Breedveld GD, Rindby A. 2010. Sedimentation and chronology of heavy metal pollution in Oslo harbor, Norway. *Marine Pollution Bulletin* 60.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.04.017>

Røed LP, Kristensen NM, Hjelmevik KB, Staalstrøm A. 2016. A high resolution, curvilinear ROMS model for the Oslofjord – FjordOs technical report No. 2. METreport 4/2016.

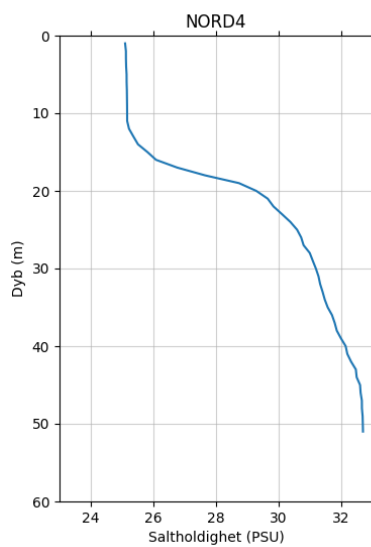
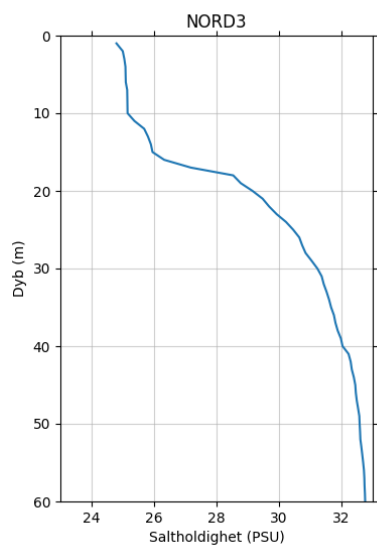
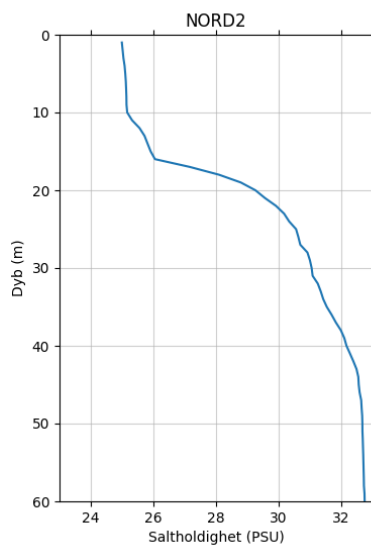
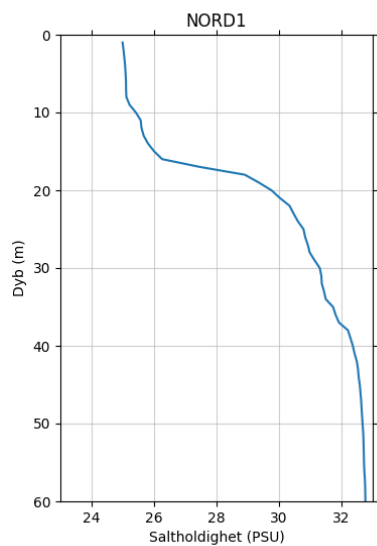
Saesin P. 2021. A study of water exchanges between the Bunnefjord and the Vestfjord, inner Oslofjord. MSc Thesis: Department of Geosciences, University of Oslo.

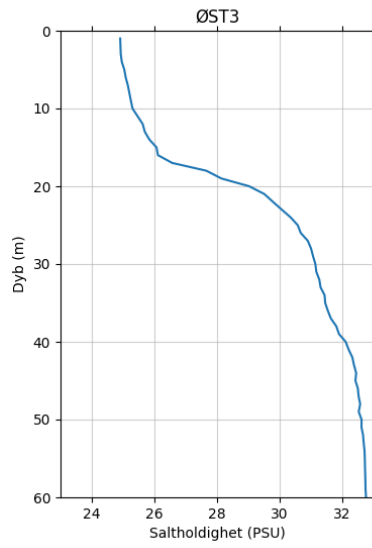
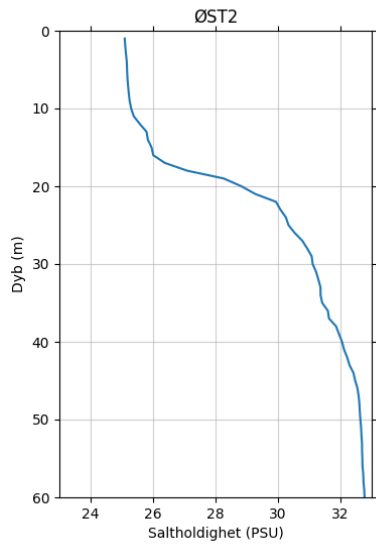
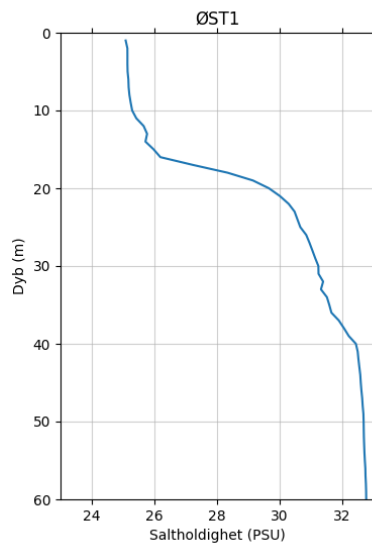
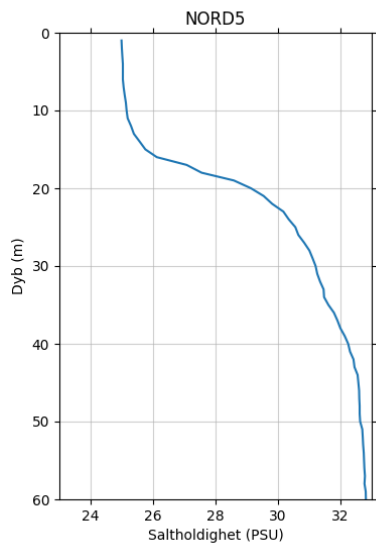
Staalstrøm A, Røed LP. 2016. Vertical mixing and internal wave energy fluxes in a sill fjord. *Journal of Marine System* 189:15–32.

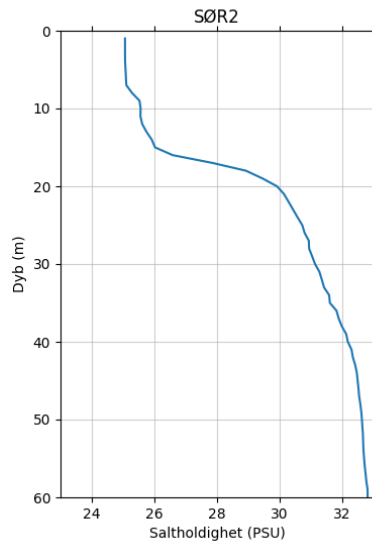
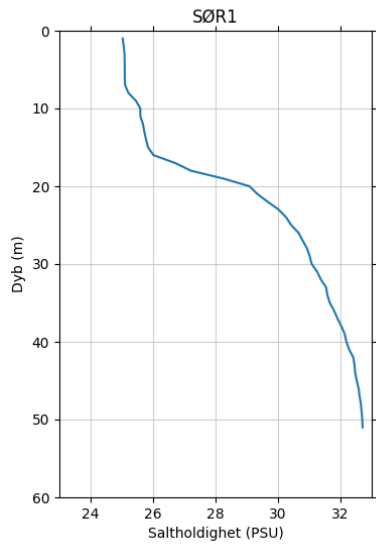
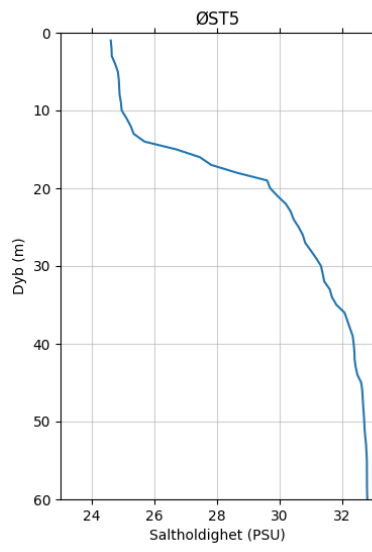
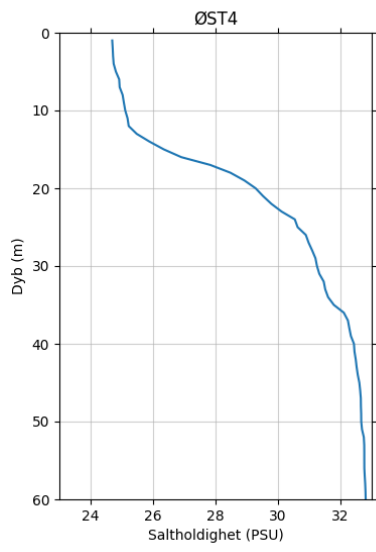
Staalstrøm A, Aas E, Liljebladh B. 2012. Propagation and dissipation of internal tides in the Oslofjord. *Ocean Science* 8:525–543.

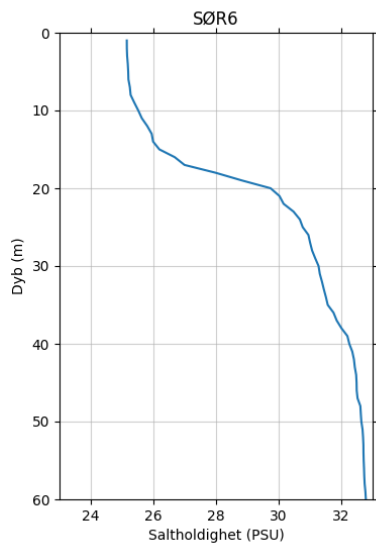
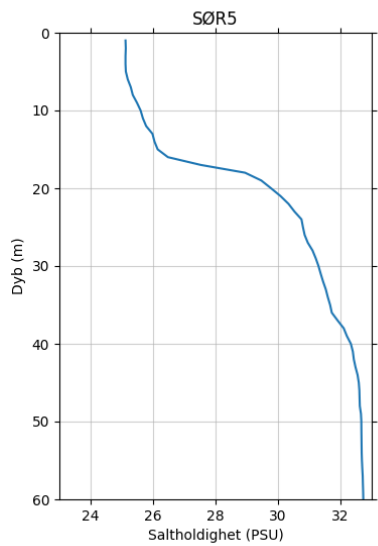
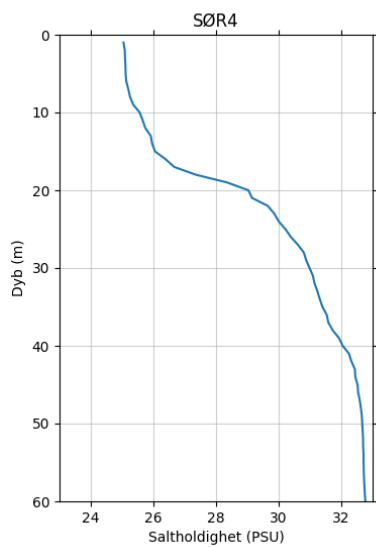
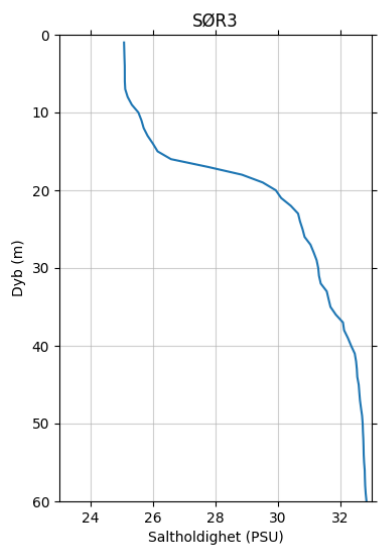
## Vedlegg A. Saltholdighetsprofiler

Dybdeprofiler av saltholdighet målt på de ulike prøvetakingsstasjoner for sjøvann.







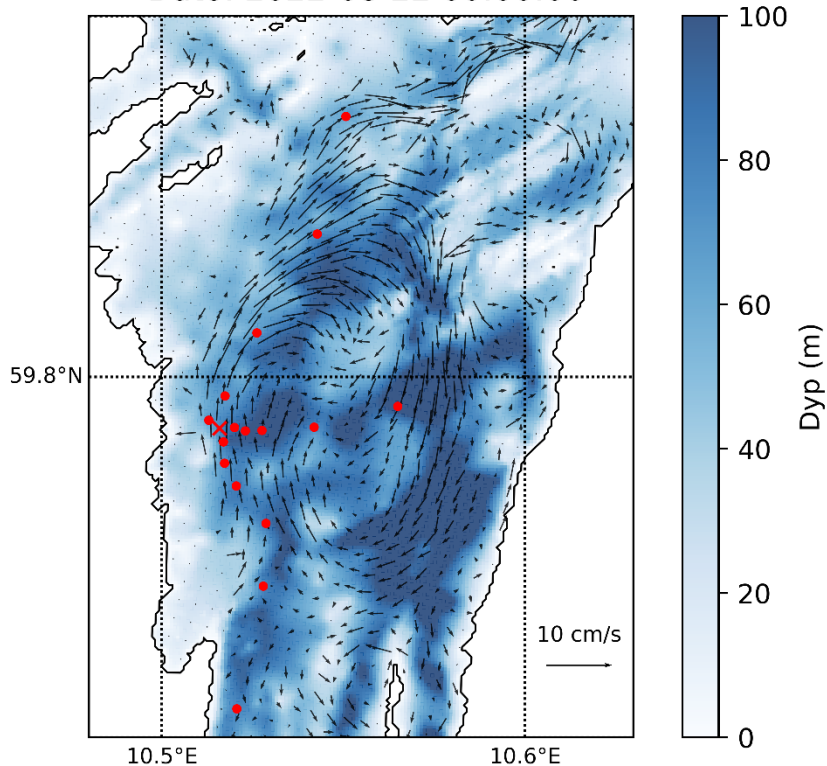


# **Vedlegg B. Modellert vannstrøm på 40m dyp**

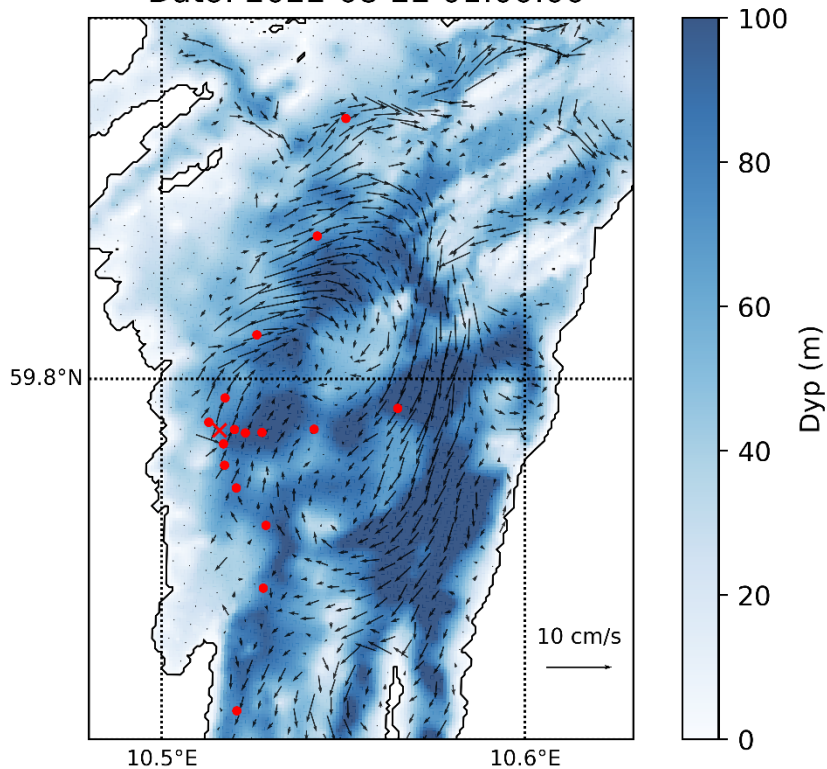
## **22.08.2022**

Strøm i Vestfjorden ved 40 m dyp, på ulike klokkeslett den 22. august 2022, modellert v.h.a. «FjordOS»-modellen

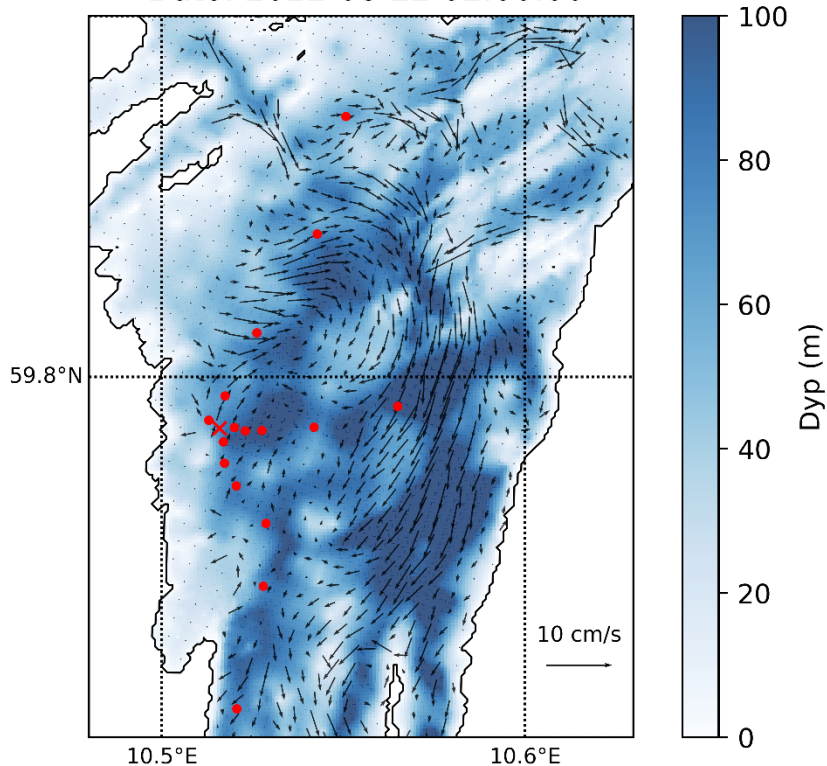
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 00:00:00



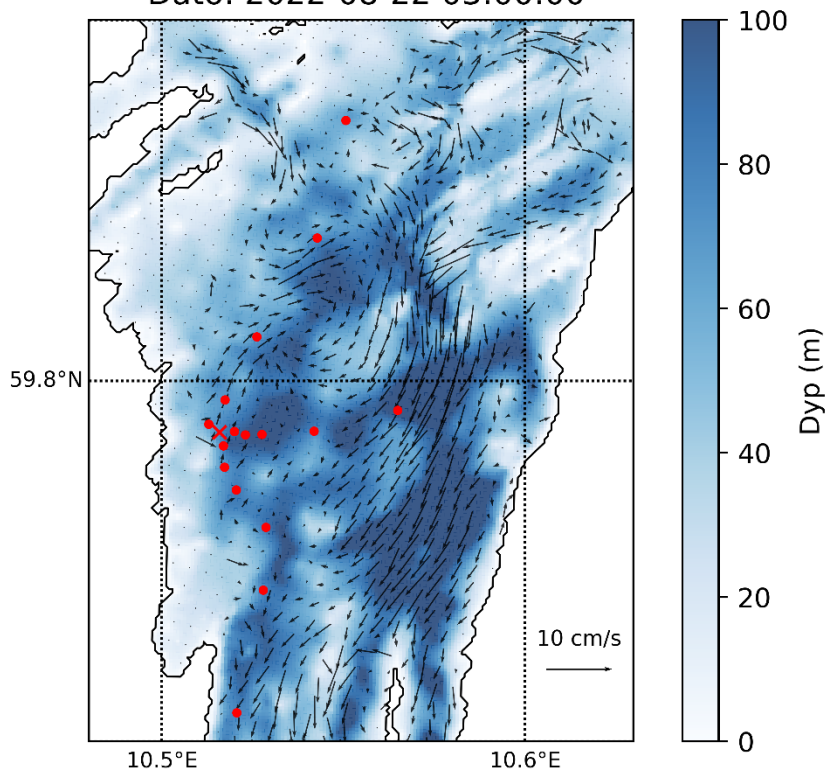
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 01:00:00



Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 02:00:00

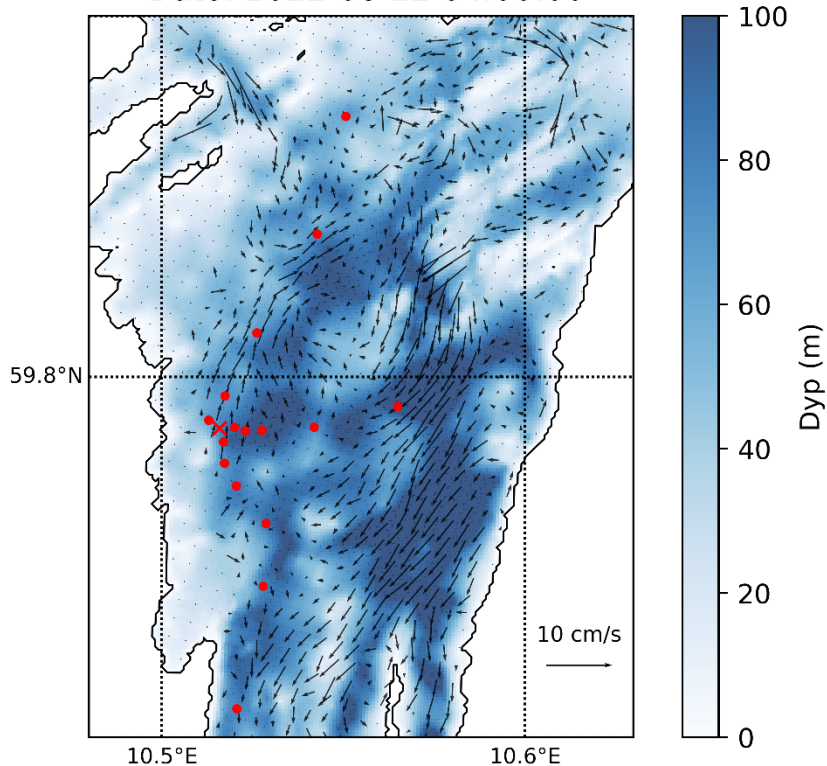


Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 03:00:00

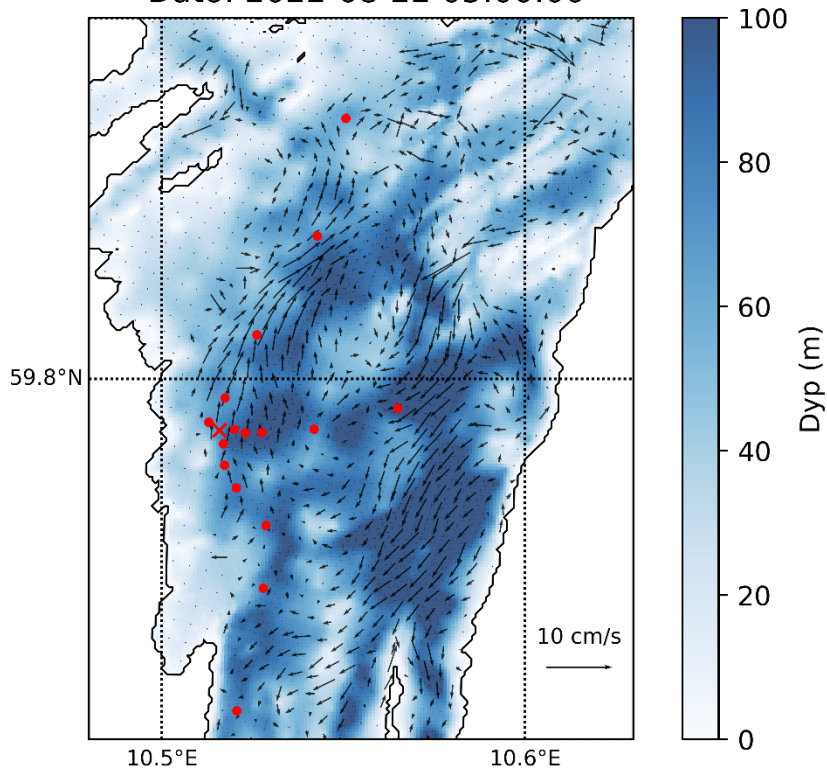




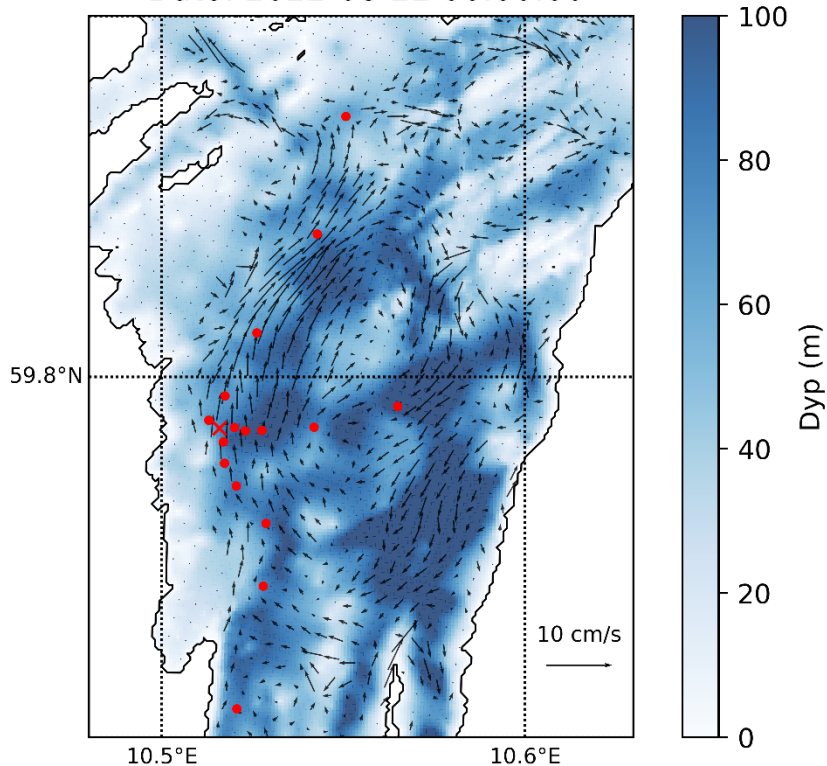
Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 04:00:00



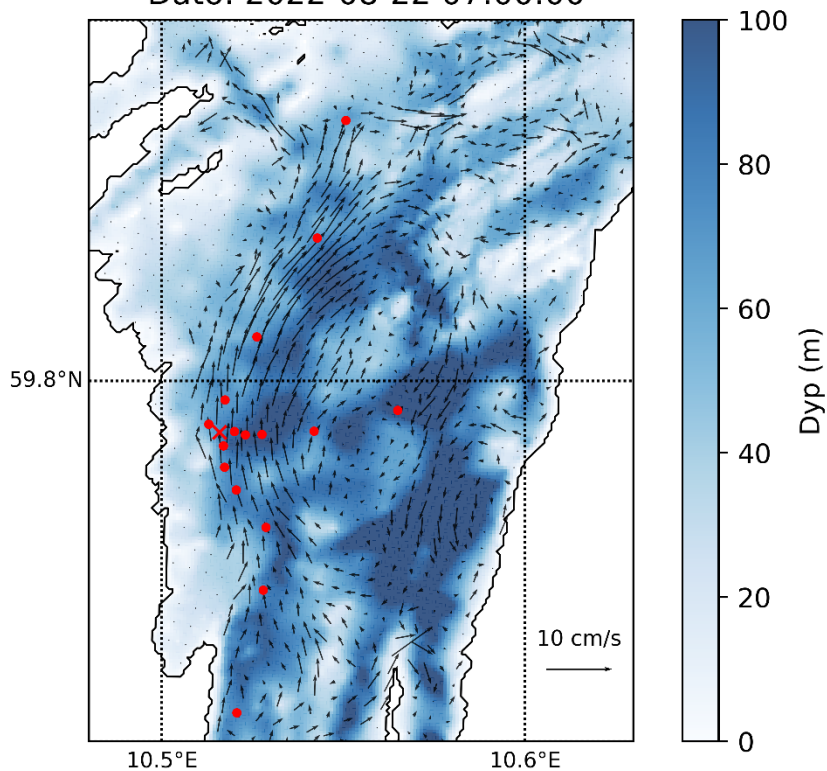
Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 05:00:00



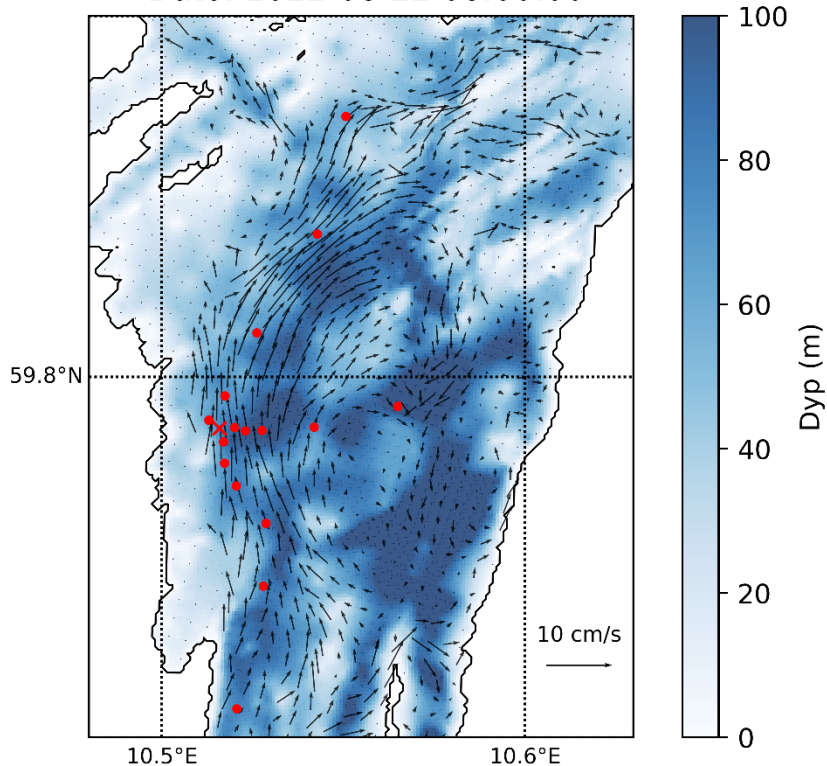
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 06:00:00



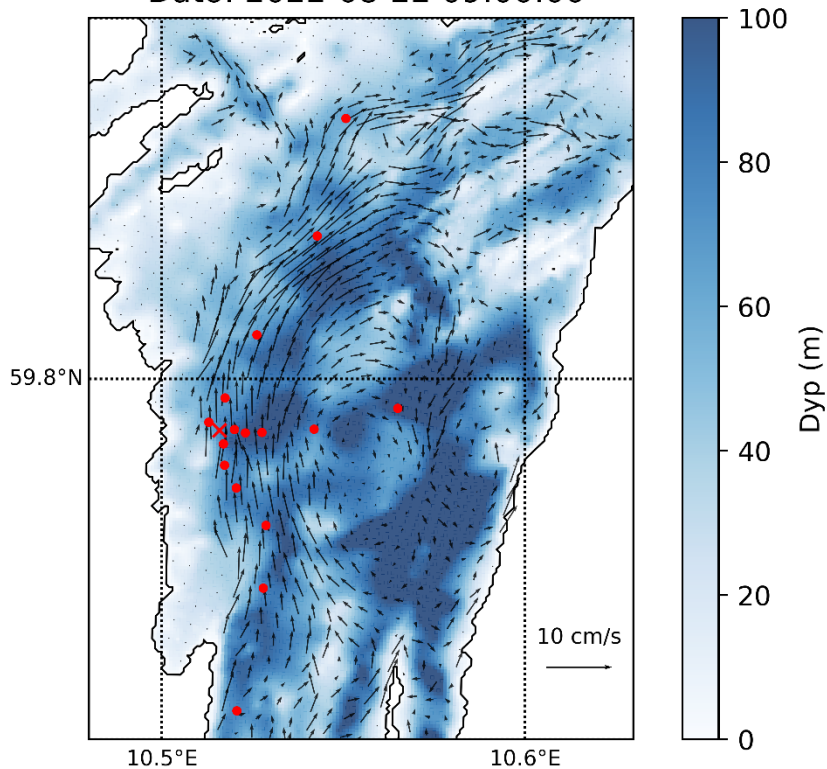
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 07:00:00



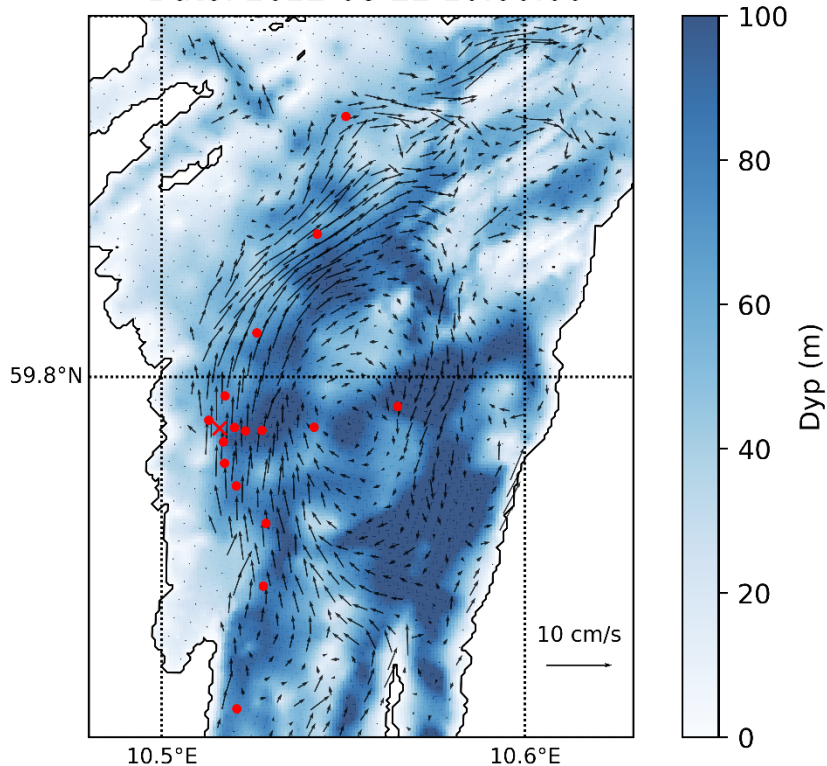
Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 08:00:00



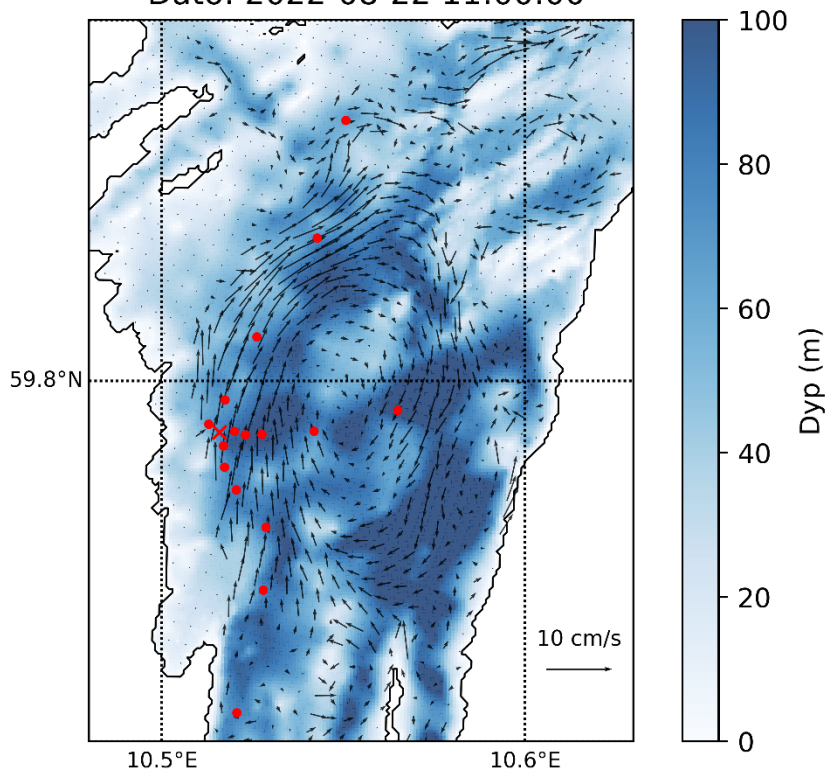
Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 09:00:00



Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 10:00:00

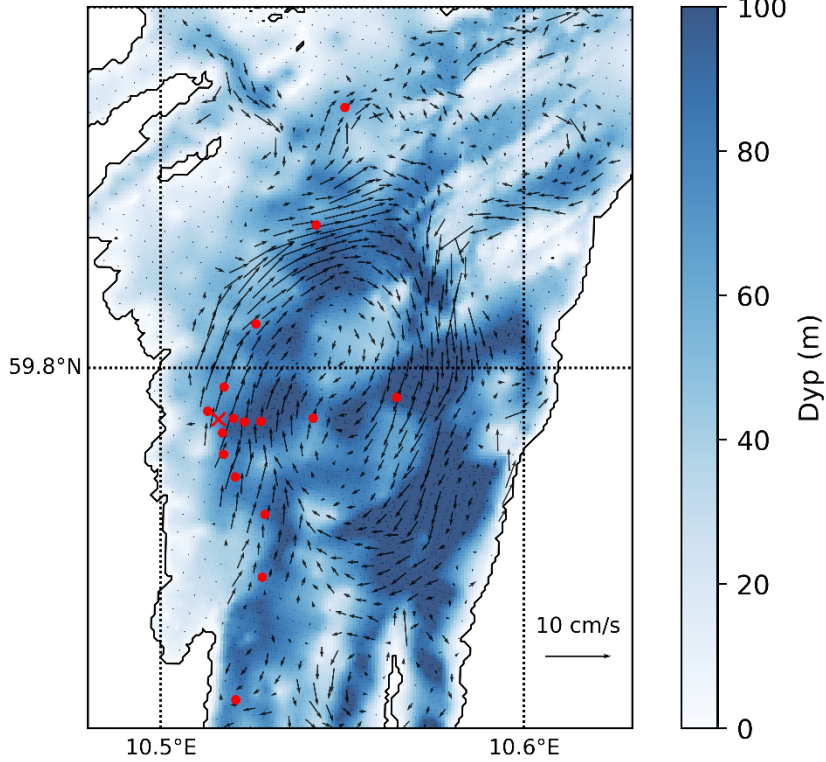


Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 11:00:00

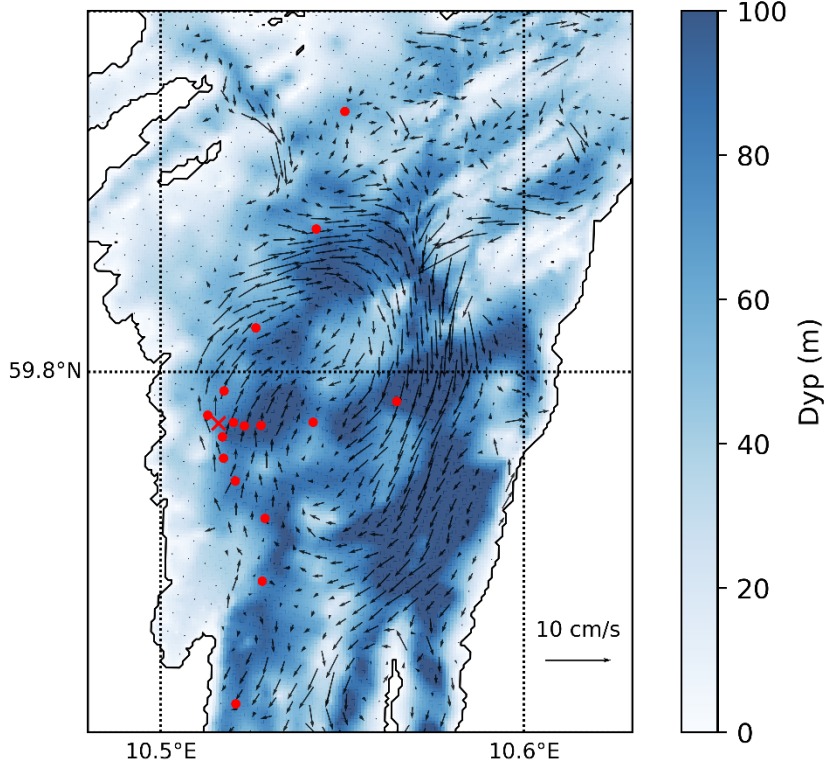




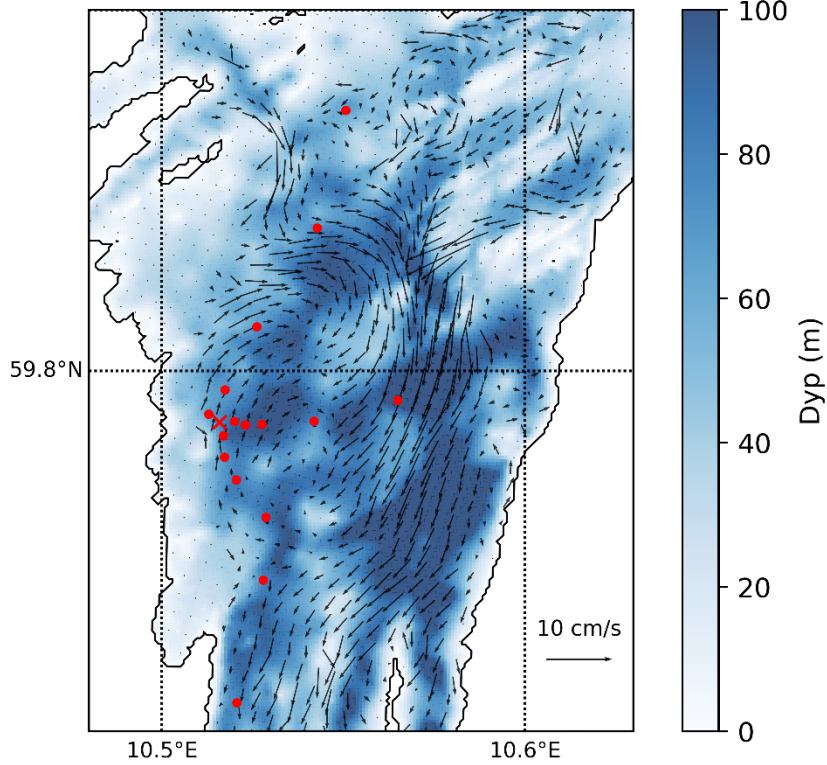
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 12:00:00



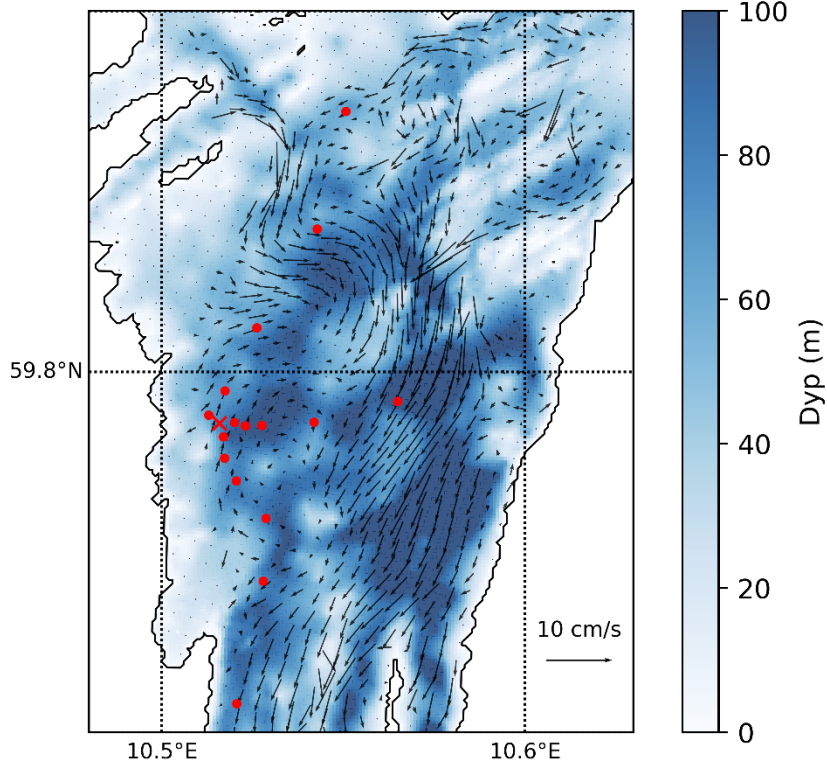
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 13:00:00



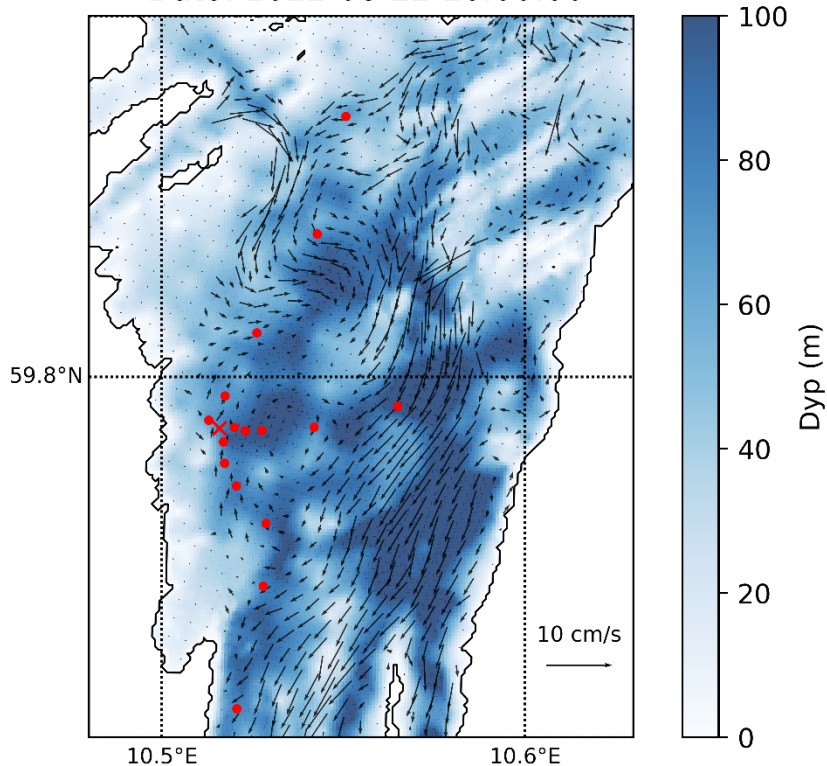
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 14:00:00



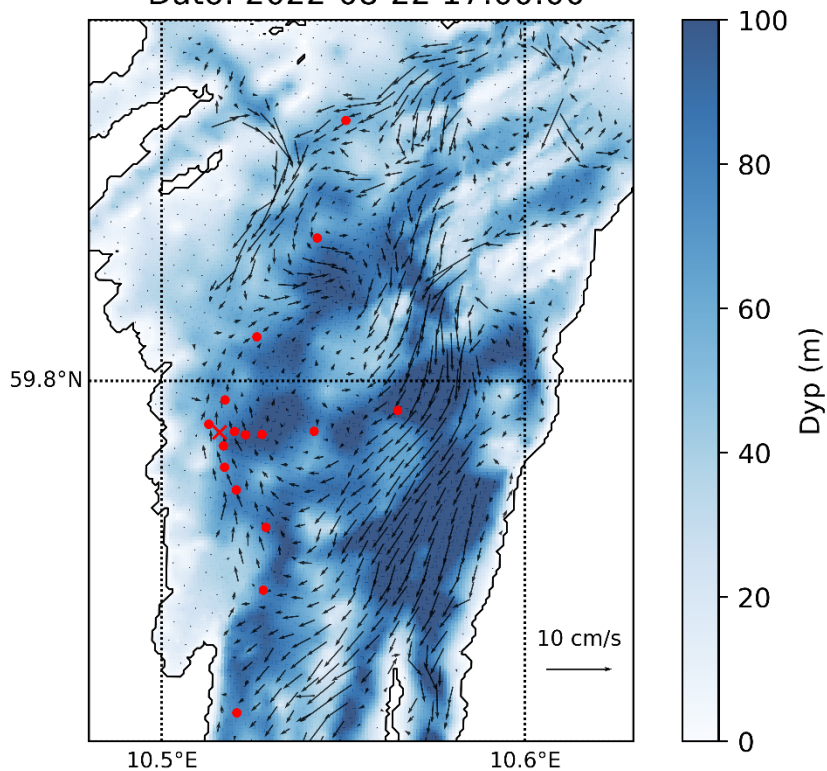
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 15:00:00



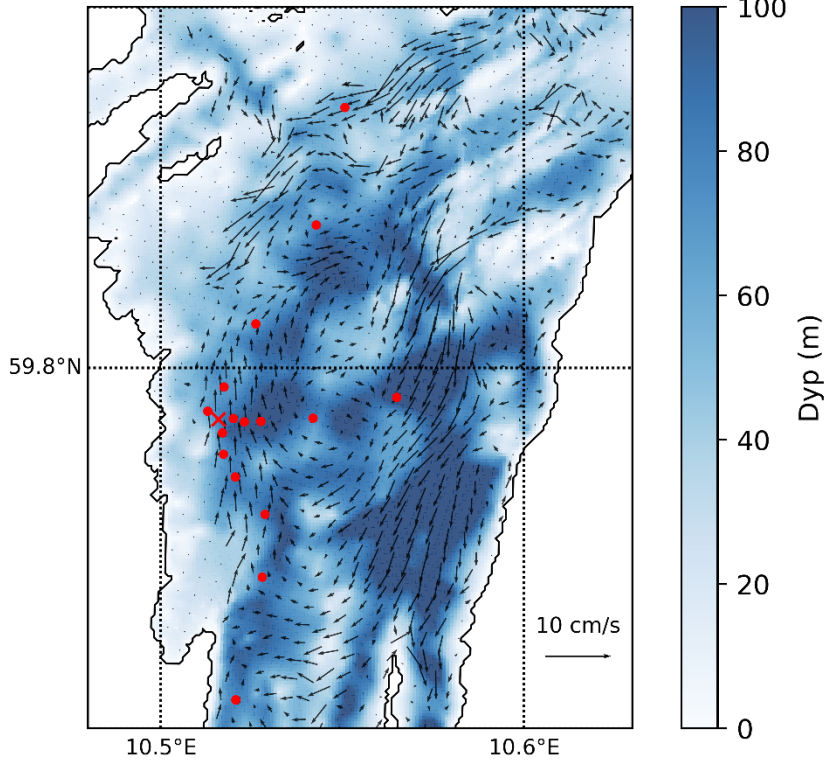
Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 16:00:00



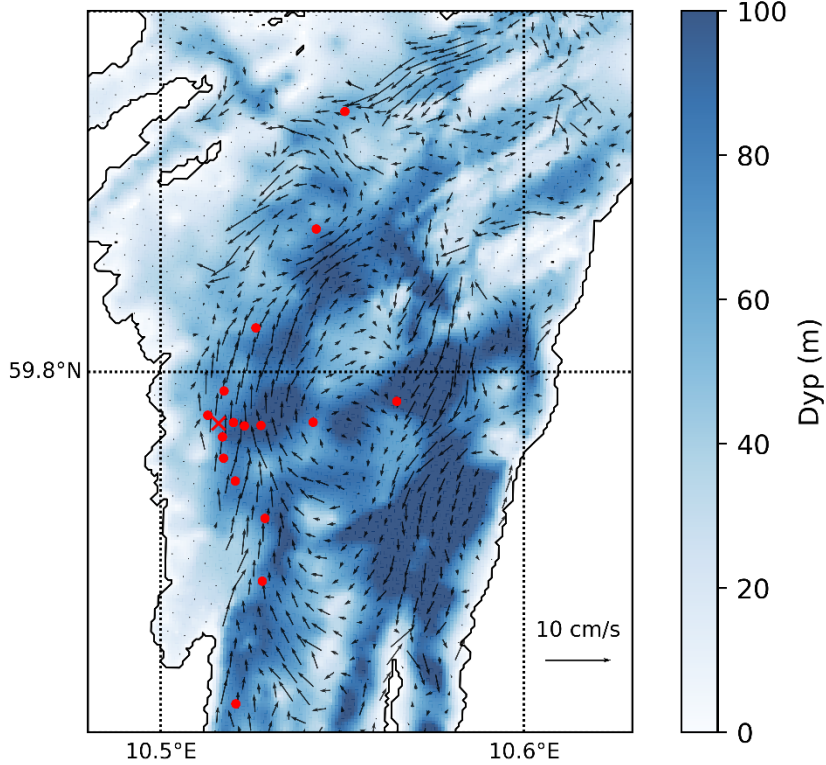
Strømreting på 40 m  
 Dato: 2022-08-22 17:00:00



Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 18:00:00

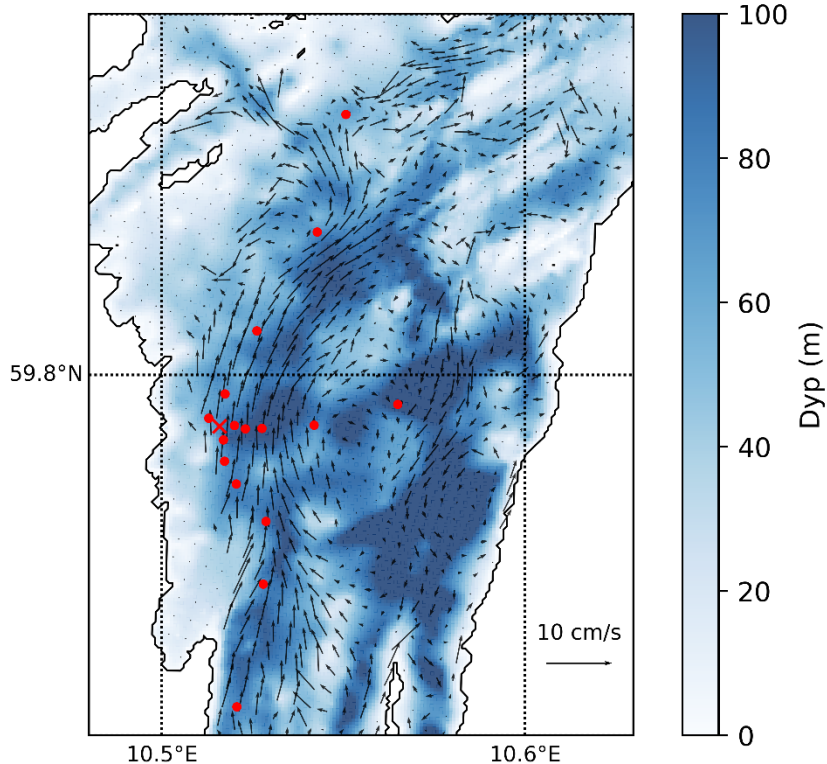


Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 19:00:00

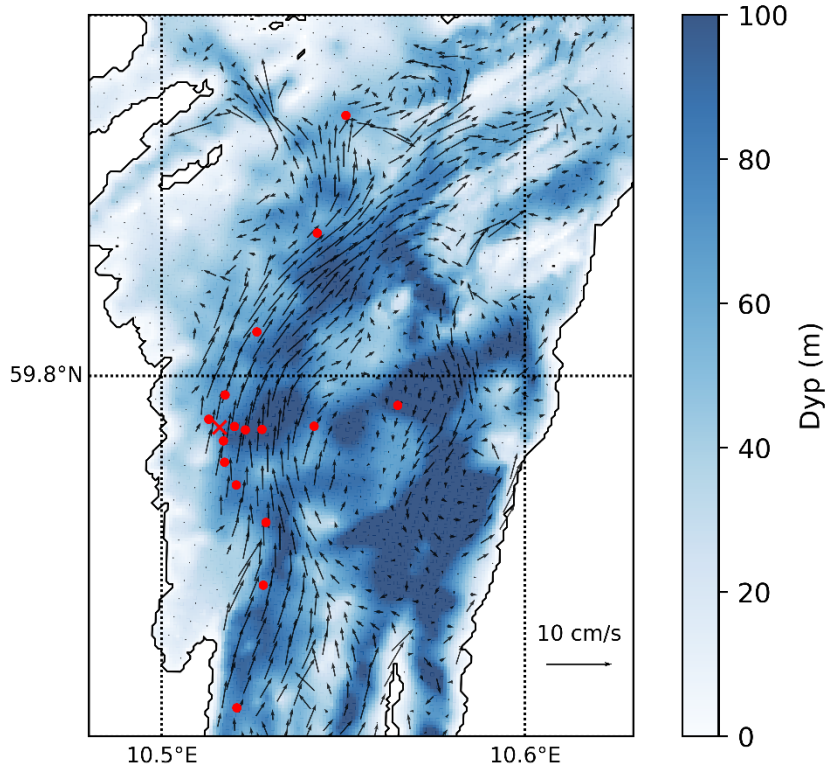




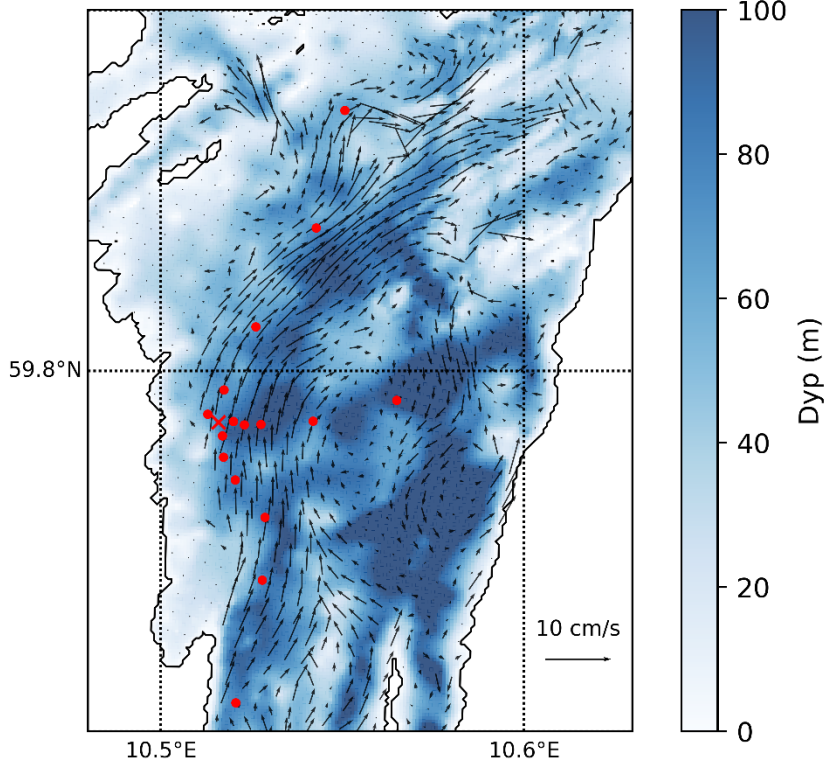
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 20:00:00



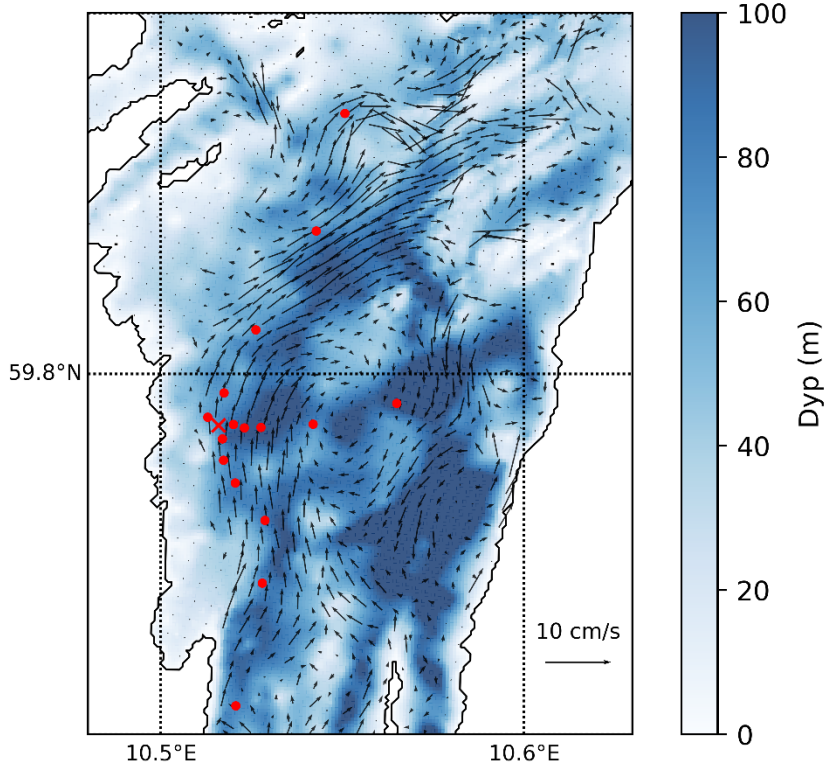
Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 21:00:00



Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 22:00:00

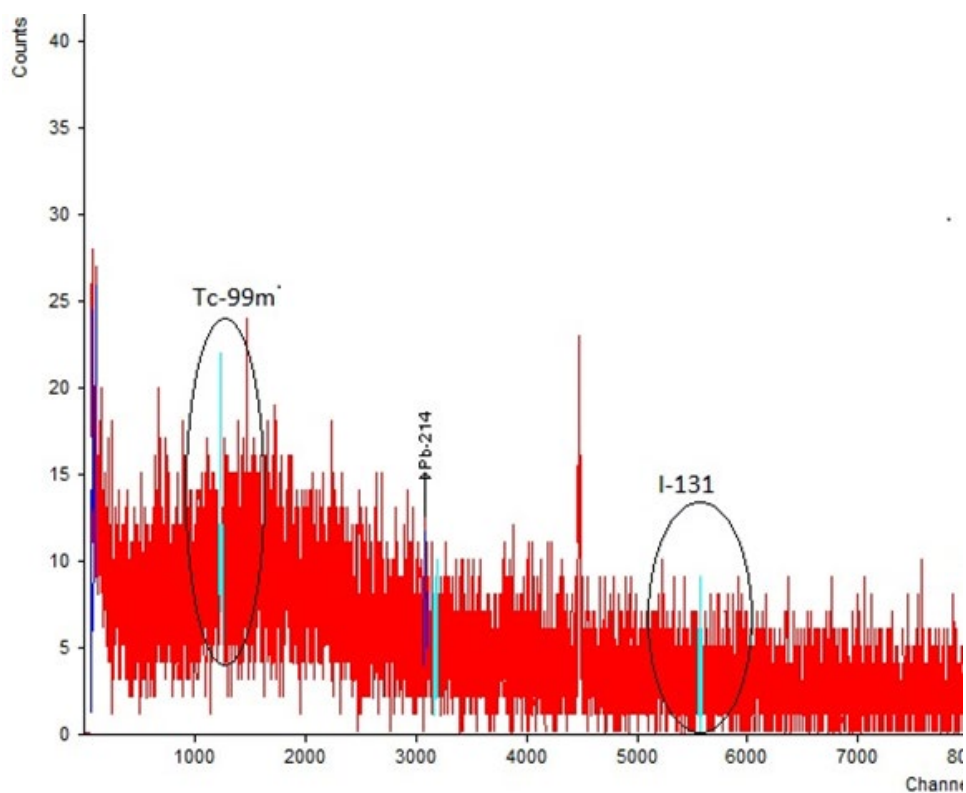
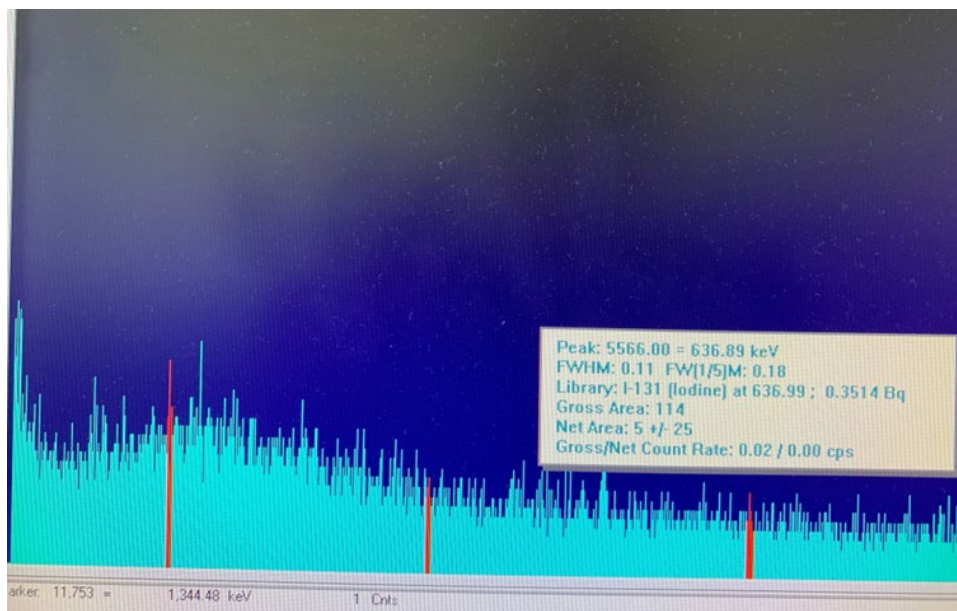


Strømreting på 40 m  
Dato: 2022-08-22 23:00:00



## Vedlegg C. Gamma-spektra fra vannprøve - Sør 2 (22.08.22).

Spektra viser både I-131 og Tc-99m-topper.



## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskingsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressurs spørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.



Norsk institutt for vannforskning

Økernveien 94 · 0579 Oslo  
Telefon: 02348 · Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) · [post@niva.no](mailto:post@niva.no)