

8034-2024

Effekter av ekstremværet «Hans» på elver og fjorder

Resultater fra ekstra prøvetaking i Glomma, Drammenselva
samt i Indre og Ytre Oslofjord høsten 2023



Rapport

Løpenummer: 8034-2024

ISBN 978-82-577-7771-5
NIVA-rapport
ISSN 1894-7948

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

Øyvind Kaste
Prosjektleder

Hans Fredrik Braaten
Kvalitetssikrer

Hans Fredrik Braaten
Forskningsleder

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

www.niva.no

Norsk institutt for vannforskning

Tittel

Effekter av ekstremværet «Hans» på
elver og fjorder. Resultater fra ekstra
prøvetaking i Glomma,
Drammenselva samt i Indre og Ytre
Oslofjord høsten 2023

Sider

46 + vedlegg

Dato

12.12.2024

Forfatter(e)

Anette Engesmo, Øyvind Kaste,
Therese Harvey, Marianne Stave
Sekkenes, Kai Sørensen, Helene
Frigstad, Louise Valestrand

Fagområde

Overvåking

Distribusjon

Åpen

Oppdragsgiver(e)

Miljødirektoratet

Kontaktperson hos oppdragsgiver

Gunn Lise Haugestøl

Utgitt av NIVA

Prosjektnummer 200313.04

Oppdragsgivers utgivelse:

M-2880|2024

Sammendrag

I forbindelse med ekstremværet «Hans» som rammet store deler av Østlandet i august 2023, ble det tatt ekstra vannprøver i Glomma, Drammenselva samt gjennomført ekstra undersøkelser i Indre og Ytre Oslofjord. Flomprøvene fra elvene viste ingen ekstremt høye konsentrasjoner av partikler, organisk stoff eller næringssalter, men på grunn av de store vannføringene ble den totale stofftransporten likevel betydelig. De ekstra analysene av overflatevannet i Oslofjorden viste at fjorden var uvanlig mørk og hadde lav saltholdighet gjennom store deler av høsten. Det ble også observert flere store algeoppblomstringer da lysforholdene hadde bedret seg noe i etterkant av flommene. Resultatene understreker at store og repeterte flommer kan ha en betydelig effekt på miljøforholdene i Oslofjorden. For å kunne dokumentere dette er det derfor viktig at overvåkingsprogrammene kan inneha en fleksibilitet som tillater ekstra prøvetaking når slike ekstremværehendelser inntreffer.

Emneord: Elver, Oslofjord, overvåking, vannkvalitet

Keywords: Rivers, Oslofjord, monitoring, water quality

Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	5
Summary	6
1 Introduksjon	7
2 Materialer og metode	8
2.1 Glomma og Drammenselva	8
2.2 Indre og Ytre Oslofjord	9
3 Resultater	12
3.1 Glomma og Drammenselva	12
3.2 Indre og Ytre Oslofjord	27
4 Oppsummerende diskusjon	44
5 Referanser	46
6 Vedlegg	47
6.1 Satellittdata vs. <i>in situ</i> data	47

Forord

Da det ble klart at ekstremværet «Hans» kom til å medføre store flommer på Østlandet ble det besluttet å iverksette ekstra prøvetaking på stasjonene i Glomma og Drammenselva. To ekstra prøverunder ble gjennomført på hovedstasjonene som ellers overvåkes månedlig i regi av *Elveovervåkingsprogrammet*, som ledes av NIVA på oppdrag for Miljødirektoratet. Kostnadene til prøvetakingen ble i første omgang dekket av NIVA, men ble senere refundert av Miljødirektoratet. Selve prøvetakingen ble gjennomført av Rolf D. Vogt og Jacqueline Knutson ved NIVA.

I Oslofjorden ble det tatt ekstra prøver i august, september og oktober i forbindelse med pågående overvåkningsprogrammer, hhv: *Overvåkningsprogrammet i Indre Oslofjord* (finansiert av Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord), *Eutrofiovervåkningsprogrammet i Ytre Oslofjord* (finansiert av Fagrådet for Ytre Oslofjord) og *Havforsuringsprogrammet* (finansiert av Miljødirektoratet). Analyser av de ekstra prøvene ble finansiert av hhv. Statsforvalteren i Oslo og Viken, Statsforvalteren i Vestfold og Telemark, Miljødirektoratet og Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord. Prøvetakingen i Oslofjorden ble utført av Louise Valestrand, Jens Vedal, Susanne Jørgensen, Pipatthra Saesin, André Staalstrøm, Kai Sørensen og Anette Engesmo.

FerryBox-data ble visualisert av Anfisa Berezina og Elizaveta Protsenko. Satellittdata fra Europeiske kommisjonens Copernicus satellitter Sentinel-3A & 3B samt Sentinel 2A & 2B ble opparbeidet og visualisert av Therese Harvey og Pipatthra Saesin.

Miljødirektoratet har finansiert sammenstillingen av resultatene fra den ekstra prøvetakingen i elvene og i Oslofjorden i forbindelse med ekstremværet; først i form av et foreløpig NIVA-notat og deretter denne rapporten.

Kontaktpersoner i Miljødirektoratet har vært Gunn Lise Haugestøl, Gunnar Skotte og Pål Inge Synsfjell.

Oslo/Grimstad, 30. november 2024

Sammendrag

Ekstremværet «Hans» som rammet store deler av Østlandet fra 7. til 9. august 2023 skapte alvorlige skadeflommer, særlig i de øvre og midtre delene av Glomma- og Drammensvassdraget. I de nedre delene av elvene var responsen mer dempet, men også her ble det registrert vannføringer som tilsvarte mellom en 5-års og en 50-års flom. I tillegg til «Hans» var det ytterligere to styrtregnperioder i slutten av august og slutten av september som preget miljøet i Oslofjorden gjennom høsten. Disse hendelsene, sammen med vårfloppen, som også var kraftig, sørget for at 2023 ble karakterisert som et «ekstremt vått» år på Østlandet. Ferskvannstilførselen fra de største elvene med utløp til Ytre Oslofjord var 32 % høyere enn 2021, som anses som et normalår, og 72 % høyere enn 2022 som var et unormalt tørt år.

I forbindelse med flommene ble det i tilknytning til Elveovervåkingsprogrammet tatt ekstra vannprøver nederst i Glomma og Drammenselva 11. og 29. august. Flomprøvene viste ingen ekstremt høye konsentrasjoner av partikler, organisk stoff eller næringssalter, men på grunn av de store vannføringene ble den totale stofftransporten likevel betydelig. I Glomma var månedstransporten av fosfor og nitrogen i august 2023 den høyeste som er registrert siden ekstremflommen «Vesleofsen» i mai/juni 1995. Basert på kontinuerlige målinger av turbiditet ved sensorstasjonen i nedre Glomma samt empirisk sammenheng mellom turbiditet og totalt suspendert materiale (TSM) i vannprøver er det estimert at partikkeltransporten i Glomma sannsynligvis var i overkant av 12 000 tonn/døgn under flomtoppen etter «Hans». I løpet av tre uker i august dette året ble det anslagsvis transportert 150 000 tonn partikler ut med Glomma. Det tilsvarer omtrent 40% av den totale transporten i 2023.

Gjennom sensommeren og høsten 2023 ble det, i forbindelse med prøvetakningen til Havforsuringsprogrammet (FerryBox) og overvåkingsprogrammene i både Indre- og Ytre Oslofjord, gjennomført ekstra analyser av overflatevannet i hele Oslofjorden. Det ble også benyttet satellittdata fra Copernicus satellittene Sentinel 3 (300 m oppløsning) og Sentinel 2 (60 m oppløsning). Fjorden var uvanlig mørk og fersk (lav saltholdighet) gjennom store deler av høsten. Satellittdataene viser at det skjer raske forandringer i TSM, turbiditet og klorofyll-a konsentrasjonene og at det var store lokale forskjeller, særlig i områder med stor påvirkning fra land. Effekter fra elvene ses langt ut i fjorden med store partikkelskyer i vannmassene. Ettersom vannmassene blandes, minsker gradvis mengden partikler i overflaten, konsentrasjonene av TSM går ned og turbiditeten minsker. Når lysforholdene gradvis ble bedre, la dette sammen med næringsstoffene som ble tilført med flomvannet, grunnlag for en kraftig planteplanktonoppblomstring i oktober. Det ble observert uvanlig stor forekomst av ferskvannsarter blant plante- og dyreplanktonet i Indre Oslofjord, Mossesundet og Hvaler i etterkant av flommene. I tillegg til kortvarig forekomst av ferskvannsarter, er det også en mulighet for at stadig gjentatte flomepisoder med stor tilførsel av partikler, organisk stoff og næringsstoffer kan gi framvekst av nye, opportunistiske arter som er tolerante i forhold til omskiftende miljøbetingelser og reduserte lysforhold. Det kan også tenkes at leveområdene for bunnlevende planter og dyr i fjorden over tid kan bli endret som følge av økt sedimentasjon av partikler og organisk materiale fra land.

Selv om flommer er å betrakte som naturlige hendelser i ferskvannspåvirkete systemer som Oslofjorden, kan det tenkes at økt frekvens og intensitet av flommer som følge av klimaendringer vil gi gjentatte «forstyrrelser» som over tid kan føre til mer permanente endringer i økosystemenes struktur og funksjon. Det er derfor viktig at overvåkingsprogrammene, som til vanlig er basert på faste prøvetakingsrutiner, også kan inneha en fleksibilitet som tillater ekstra prøvetaking for å dokumentere effekter av ekstremvær eller andre ekstraordinære hendelser på berørte vannforekomster.

Summary

The extreme weather event "Hans" that affected large parts of Eastern Norway from 7 to 9 August 2023 caused serious damaging floods, especially in the upper and middle parts of the Glomma and Drammen watersheds. In the lower parts of the rivers, the response was more subdued, but also here water flows corresponded to between a 5-year and a 50-year flood. In addition to "Hans", there were two further periods with heavy rain in late August and late September that caused floods and affected the Oslofjord throughout the autumn. These events, together with the spring flood, which was also severe, caused 2023 to be characterized as an "extremely wet" year in Eastern Norway. The freshwater input from the largest rivers discharge into the Outer Oslofjord was 32% higher than in 2021, which is considered a normal year, and 72% higher than 2022, which was an unusually dry year.

In connection with the floods, additional water samples were taken in the Glomma and Drammenselva rivers on 11 and 29 August, as part of the River Monitoring Programme. The flood samples did not show any extremely high concentrations of particles, organic matter or nutrients, but due to the large water flows, the total element transport was still significant. In Glomma, the monthly transport of phosphorus and nitrogen in August 2023 was the highest recorded since the extreme flood "Vesleofsen" in May/June 1995. Based on continuous measurements of turbidity at the sensor station in Glomma and an empirical relationship between turbidity and total suspended matter (TSM) in water samples, it is estimated that the particle transport in Glomma was more than 12 000 tons/day during the flood peak after "Hans". During three weeks in August, an estimated 150 000 tons of particles were transported by Glomma. This corresponds to approximately 40% of the annual transport in 2023.

Throughout the late summer and autumn of 2023, additional analyses of surface water were conducted across the entire Oslofjord in connection with the sampling for the Ocean Acidification Program (FerryBox) and the monitoring programs in both the Inner and Outer Oslofjord. Satellite data from the Copernicus satellites Sentinel 3 (300 m resolution) and Sentinel 2 (60 m resolution) were also used. The fjord was unusually dark and fresh (low salinity) through much of the autumn. The satellite data show rapid changes in TSM, turbidity, and chlorophyll-a concentrations, with significant local differences, especially in areas with substantial influence from land. The effects from the rivers are seen far out into the fjord with large particle clouds in the water masses. As the water masses mix, the amount of particles in the surface gradually decreases, TSM concentrations go down, and turbidity decreases. As light conditions gradually improved, this, along with the nutrients brought in by the floodwaters, laid the foundation for a strong phytoplankton bloom in October. An unusually high occurrence of freshwater species among phytoplankton and zooplankton was observed in the Inner Oslofjord, Mossesundet, and Hvaler following the floods. In addition to the short-term presence of freshwater species, there is also a possibility that repeated flood episodes with large inputs of particles, organic matter, and nutrients could lead to the emergence of new, opportunistic species that are tolerant of changing environmental conditions and reduced light conditions. It is also possible that the habitats for bottom-dwelling plants and animals in the fjord could be altered over time due to increased sedimentation of particles and organic material from land.

Although floods effects are considered normal in freshwater-influenced systems such as the Oslofjord, it is possible that increased frequency and intensity of floods due to climate change will cause repeated "disturbances" that over time may lead to more permanent changes in the structure and function of the fjord ecosystems. It is therefore important that monitoring programs, which are usually based on fixed sampling routines, can also have the flexibility to allow for additional sampling to document the effects of extreme weather or other extraordinary events on affected water bodies.

1 Introduksjon

I løpet av de siste femti årene har hyppigheten og intensiteten av kortvarig nedbør økt på de fleste norske målestasjoner (Førland og Dyrddal 2018). Ekstremværet «Hans» som rammet store deler av Østlandet fra 7. til 9. august 2023 bidro sterkt til at året som helhet ble klassifisert som «svært vått» til «ekstremt vått» i de berørte regionene (Gangstø mfl. 2023). «Hans» bidro til den største flommen på Østlandet siden «Vesleofsen» i 1995 (Faafeng mfl. 1996). I motsetning til «Vesleofsen», som inntraff på våren og skyldtes en kombinasjon av snøsmelting og kraftig nedbør, rammet «Hans» på sensommeren og hadde derfor lite eller intet bidrag fra snøsmelting.

«Hans» skapte alvorlige skadeflommer, særlig i de øvre og midtre delene av Glomma- og Drammensvassdraget, hvor det på flere stasjoner ble registrert vannføringer som oversteg en 50-års flom. I de nedre delene av elvene var responsen mer dempet, men også her ble det registrert vannføringer som tilsvarte mellom en 5-års og en 50-års flom. I tillegg til flommen under «Hans», kom det ytterligere to flomtopper i elvene, i slutten av august og i slutten av september. De store flommene høsten 2023 medførte stor transport av ferskvann, partikler, organisk materiale og næringsstoffer til kysten, og i første rekke til Oslofjorden hvor både Glomma (**Figur 1**) og Drammenselva munner ut.



Figur 1. Flompåvirket vann ved Glommas utløp i Fredrikstad i august 2023. Foto: Louise Valestrand/NIVA

Det ble tatt ekstra vannprøver nederst i Glomma og Drammenselva under de to flomtoppene i august 2023. På marin side ble det tatt ekstra vannprøver på en rekke stasjoner i Indre og Ytre Oslofjord både i august, september og oktober. I tillegg er det tilgjengelige sensordata fra Glomma, FerryBox-systemet på M/S Color Fantasy (Oslo-Kiel fergen), samt satellittdata fra den aktuelle perioden. Denne rapporten inneholder en oppsummering av resultatene fra de ekstra prøvene som ble tatt i ferskvann og sjø i forbindelse med «Hans» og de etterfølgende flommene høsten 2023.

2 Materialer og metode

2.1 Glomma og Drammenselva

2.1.1. Vannføringsdata

Vannføringsdata per døgn ble hentet ut fra NVEs database (Sildre.no) for de to elvene Glomma og Drammenselva for perioden 1990 til 2023. For Glomma ble målestasjonen ved Solbergfoss brukt. For Drammenselva valgte man å bruke data fra målestasjonen ved Døvikfoss i stedet for Mjøndalen bru. Grunnen er at Mjøndalen bru kun har vært i drift siden juni 2004, mens Døvikfoss har måledata tilbake til 1990. Informasjon om flomnivåer for hver målestasjon er hentet ut fra NVE, se **Tabell 1** under. Dette ble brukt til å kategorisere flommene basert på vannføringsdata.

Tabell 1. Kategorisering av flomnivåer ved stasjoner i Glomma og Drammenselva. Kilde: NVE

Flomnivå	Vannføring (m ³ /s)	
	Glomma (v/Solbergfoss)	Drammenselva (v/Døvikfoss)
50-årsflom (rødt nivå)	3492	2030
5-årsflom (oransje nivå)	2677	1310
Middelflom (gult nivå)	2235	980

2.1.2. Vannprøver

Det ble tatt ekstra vannprøver nederst i Glomma og Drammenselva 11. og 29. august. Prøvene ble tatt på hovedstasjonene som benyttes i Elveovervåkingsprogrammet (Kaste mfl. 2024). For å dokumentere eventuelle horisontale forskjeller i vannkjemi, ble det på begge datoene tatt tre parallelle prøver ved ulike punkter på tvers av elvene. Det viste seg at det var neglisjerbare forskjeller mellom de tre parallelle prøvene.

Alle prøver ble analysert etter samme metodikk og med de samme parameterne som i Elveovervåkingsprogrammet (Kaste mfl. 2024).

2.1.3. Sensordata

Som en del av Elveovervåkingsprogrammet er det etablert sensorstasjoner på tre lokaliteter i Glommavassdraget; ved Svanfoss i Vormå, ved Kråkfoss i Leira og ved Baterød i Glomma rett oppstrøms Sarpsfossen. Stasjonene overvåker vanntemperatur, pH, konduktivitet, turbiditet og cDOM fluorescens som gir et tilnærmet mål på vannets innhold av farget organisk materiale (humusstoffer). Sensorovervåking med høy tidsoppløsning (hver time) er viktig for å dokumentere effekter av klimahendelser på vannkvaliteten i elvene. I denne rapporten er det presentert data for konduktivitet, turbiditet og cDOM-data for de nevnte tre stasjonene i 2023.

2.2 Indre og Ytre Oslofjord

2.2.1. Ekstra prøvetaking

Ekstra prøvetaking i Oslofjorden i forbindelse med flommene på Østlandet sensommeren og høsten 2023 ble gjennomført i forbindelse med annen prøvetaking i følgende overvåkningsprogrammer: Havforsuringsprogrammet (finansiert av Miljødirektoratet), Overvåkningsprogrammet i Indre Oslofjord (finansiert av Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord) og Eutrofiovervåkningsprogrammet i Ytre Oslofjord (finansiert av Fagrådet for Ytre Oslofjord).

Hvilke stasjoner og programmer som var involvert er oppsummert i **Figur 2**. En kort sammenfatning av hvilke ekstra analyser som ble utført er oppsummert under. For utfyllende prøvetaknings- og analysemetodikk, se rapporter fra overvåkningsprogrammene (Engesmo m.fl. 2024 og Valestrand m.fl. 2024).

I forbindelse med **Indre Oslofjord-programmet** ble det samlet ekstra vannprøver på følgende datoer:

- 11.08.2023: Prøver for bestemmelse av cDOM fluorescens¹ fra overflatevannet ved ti stasjoner.
- 29.08.2023: Prøver for bestemmelse av cDOM fra overflatevannet ved ti stasjoner, vannprøver til bestemmelse av klorofyll-a, løst organisk karbon (DOC) og løste næringssalter på stasjon Im2 i Drøbaksundet, samt turbiditet, total nitrogen (Tot-N) og total fosfor (Tot-P) på ti stasjoner.
- 11.09.2023: Prøver for bestemmelse av cDOM fra overflatevannet ved ti stasjoner, vannprøver til bestemmelse av klorofyll-a, DOC og løste næringssalter på stasjon Im2 i Drøbaksundet (**Figur 2**), samt turbiditet, Tot-N og Tot-P på ti stasjoner.
- 23.10.2023: Prøver for bestemmelse av cDOM fra overflatevannet ved ti stasjoner.

I forbindelse med **Ytre Oslofjord-programmet** ble det samlet ekstra vannprøver på følgende datoer:

- August-toktet ble gjennomført fra 14.-16. august og på samtlige stasjoner ble det samlet vann fra 0 m som ble analysert for klorofyll-a, turbiditet, DOC og cDOM. I tillegg ble cDOM analysert fra 2 m.
- September-toktet ble gjennomført fra 18.-20. september og på samtlige stasjoner ble det samlet vann fra 0 m som ble analysert for klorofyll-a, turbiditet og DOC.
- Prøvetakningen i Grenlandsområdet 19.10.2023 ble utvidet til å også inkludere prøver for bestemmelse av klorofyll-a og DOC på fem stasjoner.
- Prøvetakningen i Hvalerområdet 31.10.2023 ble utvidet med to ekstra stasjoner (ID-2 og R-5, **Figur 2**) og det ble samlet ekstra vannprøver fra 0 m som ble analysert for klorofyll-a, turbiditet, DOC og cDOM, samt at cDOM ble analysert fra 2 m.

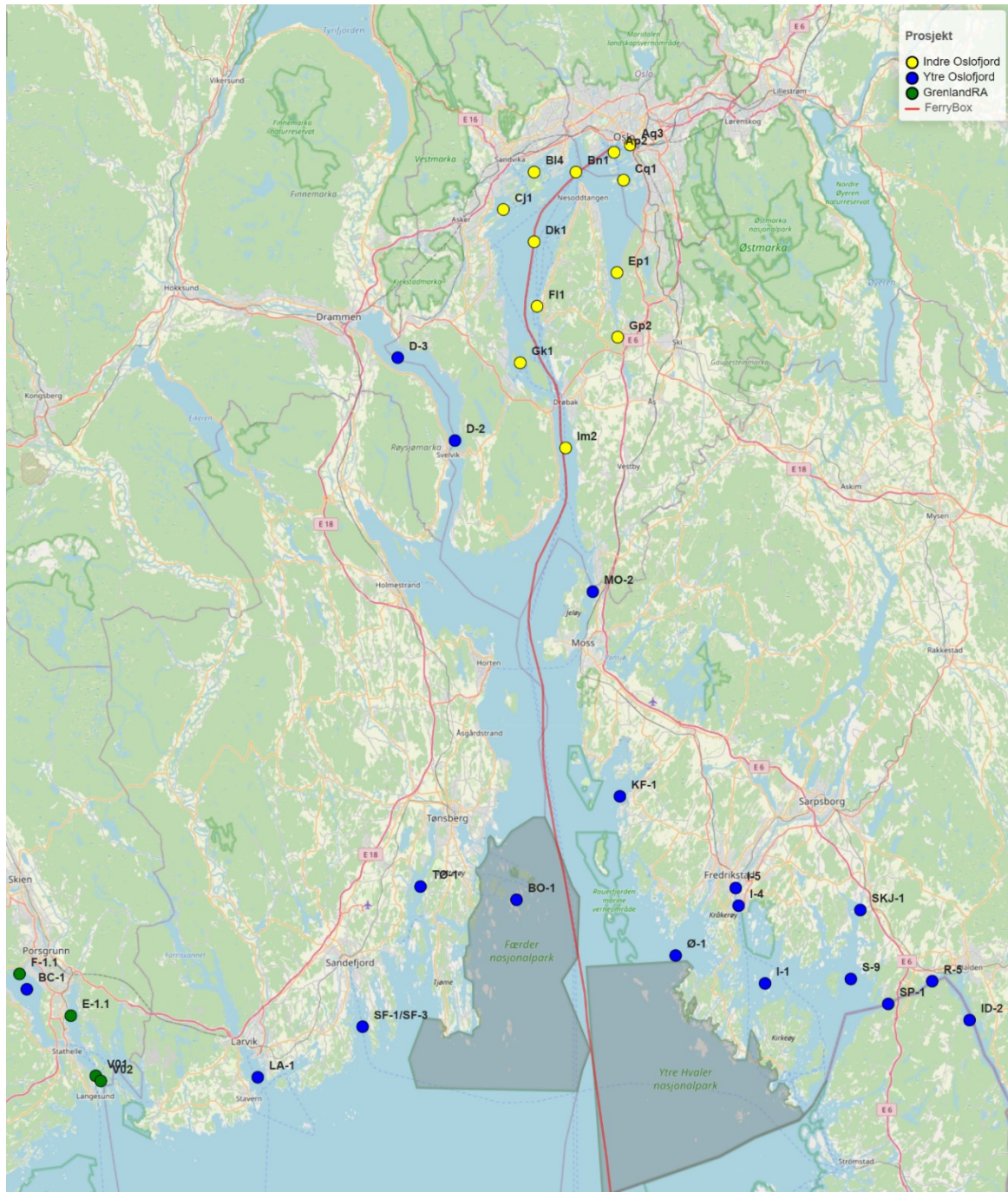
I forbindelse med **Havforsuringsprogrammet** ble det samlet inn ekstra vannprøver med FerryBox-systemet om bord på M/S Color Fantasy på følgende datoer:

- 13.08.2023: ekstra vannprøver til bestemmelse av cDOM, klorofyll-a, DOC og næringssalter fra fire stasjoner.
- 17.08.2023: ekstra vannprøver til bestemmelse av cDOM, klorofyll-a, DOC, TSM og næringssalter fra fem stasjoner.
- 23.08.2023: ekstra vannprøver til bestemmelse av cDOM, klorofyll-a, DOC og næringssalter fra fem stasjoner.

¹ Benevnes hovedsakelig som cDOM videre i rapporten, selv om den fullstendige betegnelsen er cDOM fluorescens (fDOM). cDOM er den fargede delen av løst organisk materiale, som absorberer sterkest i den blå delen av lysspekteret og gir fjorden mørk farge

- 29.08.2023: ekstra vannprøver til bestemmelse av cDOM fra to stasjoner og klorofyll-a, DOC og næringssalter fra tre stasjoner.
- 20.09.2023: ekstra vannprøver til bestemmelse av cDOM, klorofyll-a, DOC og næringssalter fra fem stasjoner.

Alle resultater er innrapportert til Vannmiljø sammen med resterende data fra de respektive programmene.



Figur 2. Vannmassestasjoner der data er inkludert i flomanalysene. Det er inkludert stasjoner fra følgende overvåkningsprogrammer: Indre Oslofjord (gult), Ytre Oslofjord (blått), Tiltaksrettet overvåking for Porsgrunn og Bamble kommune (grønt). I tillegg er FerryBox-transektet inkludert i rødt. Verneområder er avgrenset med grønne linjer.

2.2.2. Data fra FerryBox

I tillegg til ekstra prøveinnsamling i felt, er det benyttet sensordata fra FerryBox-systemet om bord på M/S Color Fantasy, som går i rute mellom Kiel og Oslo og er i Oslofjorden annenhver dag. Dette gir høyfrekvente data som er ideelle for å følge ekstremhendelser som flom. Det er verdt å merke seg at skipet går midtfjords, dvs. et stykke unna elveutløpene, slik at påvirkninger fra flomvann skal være betydelige før de detekteres. Vanninntaket er på ca. 4-5 meters dyp så ferskvannslag med økt innhold av partikler og oppløst organisk materiale må være relativt dypt for å bli detektert.

Ferrybox-dataene som er vist i denne rapporten inkluderer salinitet, cDOM fluorescens, turbiditet og klorofyll-a-fluorescens. Dataene for hele 2023 er tatt med for å gi sammenligningsgrunnlag for flomperioden.

2.2.3. Satellittdata

Det er inkludert satellittdata fra Copernicus satellitten Sentinel-3² med 300 m oppløsning der TSM og turbiditet er beregnet fra OLCI sensoren (Ocean and Land Colour Instrument). Data fra Copernicus satellitten Sentinel-2 har høyere oppløsning på 60 m og kan brukes mer tett mot land. Det er viktig å påpeke at på dager med skydekke (som når det regner) vil satellittbildene kun vise skyer, altså har man kun satellittdata fra periodene mellom ekstremværhendelsene. På skyfrie dager kan man se den geografiske spredningen i fjorden over tid. Den geografiske spredningen av TSM, klorofyll-a og turbiditet vises i Oslofjorden for høsten 2023. Tidsserier for stasjonsdata med Sentinel-3 satellittdata sammen med *in situ* målinger viser endring over tid fra våren til oktober 2023. Bemerk at alle resultater er relative, da ekstreme verdier i fjorden kan ligge utenfor området som algoritmene er kalibrert for. De absolutte verdiene er derfor usikre, men bildene illustrerer likevel den relative forandringen.

Store mengder partikler og organisk materiale i vannet som en effekt av flomhendelser påvirker satellitt-signaler. Algoritmene for klorofyll-a klarer da ikke å skille mellom partikler/organisk materiale (humus-stoffer) og klorofyll-a, så geografisk spredning av klorofyll-a i denne perioden kan være misvisende og vise falske forhøyde nivåer. Derfor vises tidsserier med klorofyll-a - basert på data fra Sentinel-3 sammen med *in situ* data som kan verifisere satellittdataene. Turbiditet fra satellitt gir en god indikasjon på hvor grumsete vannet er. På samme måte som FerryBox-data gir også satellittdata høyfrekvente data som kan brukes til å følge endringer, i tillegg til *in situ* målingene for å studere tilførsler fra land. Satellittdata gir derfor også et komplementerende bilde av hva som skjer geografisk på samme tidspunkt og over et større område under en periode med ekstremvær.

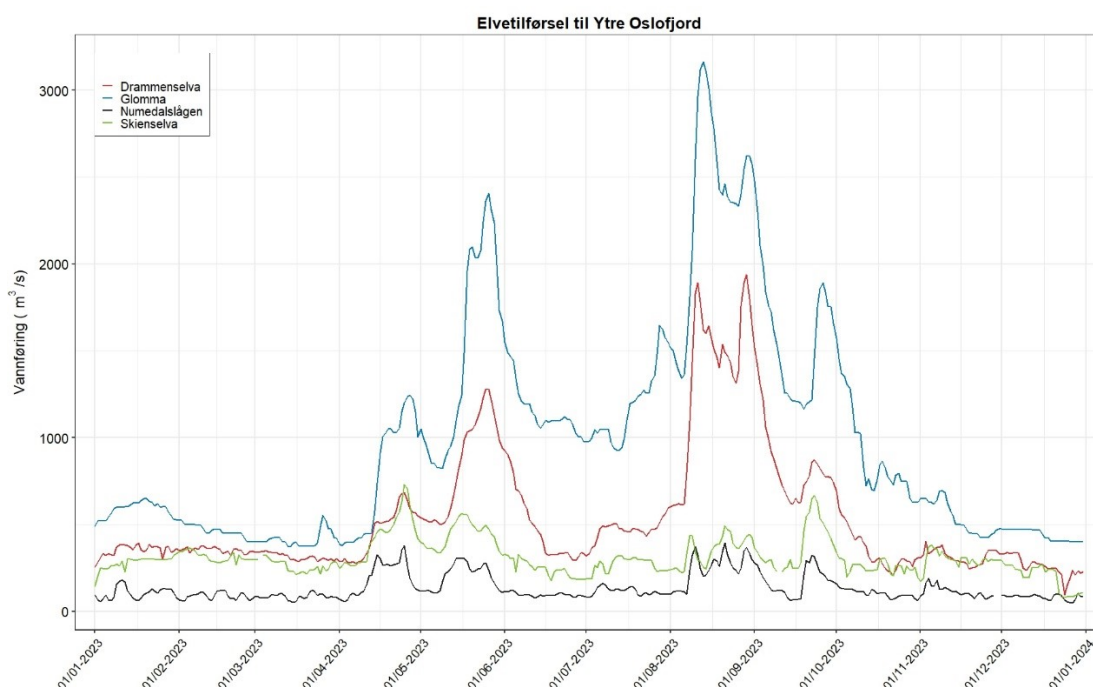
²Satellittdata fra Sentinel 3 er prosessert med ONNS atmosfæres-korreksjon og vannparameter-modell for bildene av TSM og klorofyll-a av HEREON i rammen for EU Horizon prosjektet AqualNFRA ([AqualNFRA Home](#)). Figurer med klorofyll-a og turbiditetsdata er prosessert med C2RCC atmosfæres-korreksjon og vannparameter-modell av Brockmann GmbH i rammen for Miljødirektoratets pågående utviklingsprosjekt 'Vannovervåking med satellitt (ØKOSAT)'. Sentinel 2 data er prosessert med C2RCC atmosfæres-korreksjon av NIVA. Alle resultater er preliminære og absolutte verdier skal ikke brukes uten at det er fokus på den relative forandringen.

3 Resultater

3.1 Glomma og Drammenselva

3.1.1. Vannføring i elvene

Vannføringen i de fire største elvene med utløp i Oslofjorden var generelt høy i 2023. Totalt sett var vannføringen 32 % høyere enn 2021, som anses som et normalår, og hele 72 % høyere enn 2022 som var ett svært tørt år på Østlandet. Det var en betydelig økning i vannføringen i Glomma og Drammenselva i begynnelsen av august som følge av ekstremværet «Hans». Det var i tillegg to perioder med kraftig nedbør etter «Hans» som resulterte i nye flomtopper i de to elvene (**Figur 3**). Den første flommen kom i slutten av august. Etter dette roet været seg i en periode, før det igjen kom kraftig nedbør i slutten av september. Disse tre hendelsene hadde en betydelig påvirkning på vannmiljøet i Oslofjorden store deler av høsten og vinteren 2023. Som **Figur 3** viser, var Numedalslågen og Skienselva lite berørt av «Hans» og flommene som fulgte etterpå.



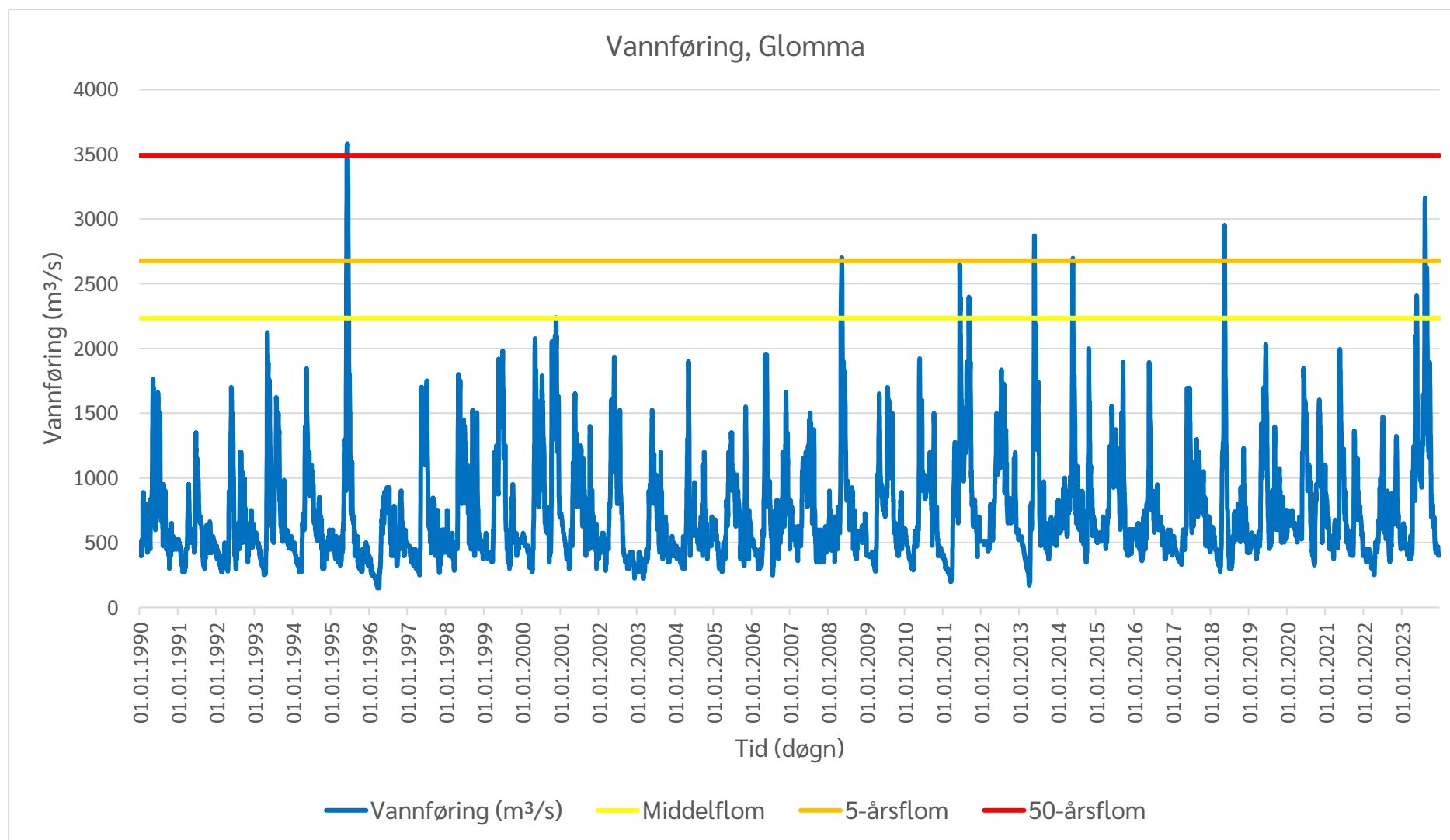
Figur 3. Vannføring i de fire største elvene Glomma, Drammenselva, Numedalslågen og Skienselva fra 2023. Data hentet fra sildre.nve.no; hhv. fra målestasjonene Solbergfoss (Drammenselva), Mjøndalen bru (Glomma), Holmfoss (Numedalslågen) og Skotfoss (Skienselva).

3.1.2. Sammenligning av flommen under «Hans» med tidligere flommer siden 1990

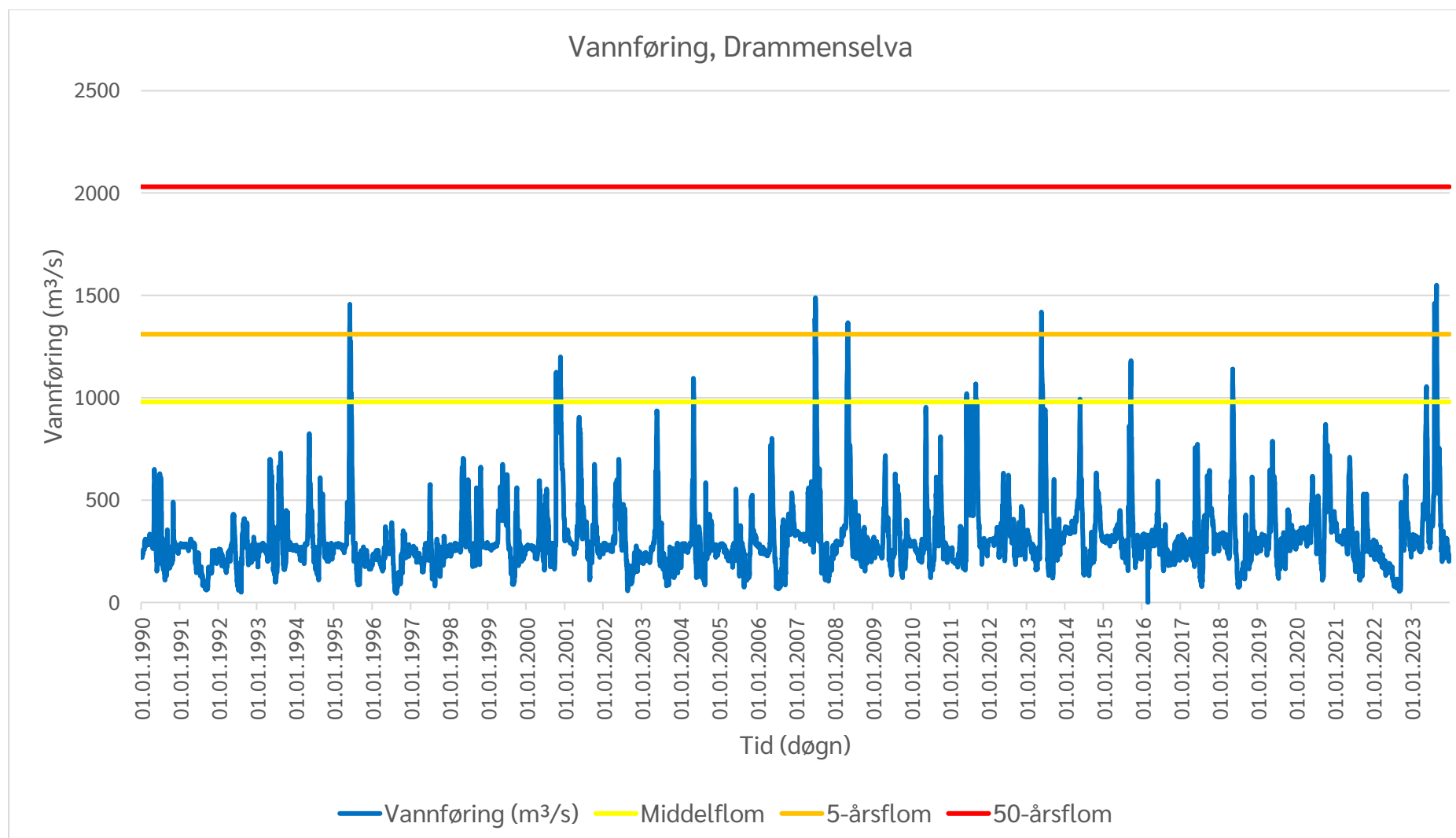
Vannføringen for Glomma (v/Solbergfoss) fra 1990 til 2023 er vist i **Figur 4**. Oversikten viser at det har vært seks 5-årsflommer (dvs. vannføring > 2677 m³/s) og en 50-årsflom (dvs. vannføring > 3492 m³/s) i perioden. Alle disse større flomhendelsene har funnet sted på vårparten (mai/juni) med unntak av «Hans» i august 2023. De største flomhendelsene på vårparten er ofte forårsaket av snøsmelting i kombinasjon med regn, til forskjell fra «Hans» som var en ren regnværsflom. Målingene i perioden viser én mindre flomhendelse for Glomma på høstparten som også skyldes en periode med mye nedbør. Det

var en middelflom (dvs. vannføring > 2235 m³/s) i september 2011 der den høyeste målingen på ett døgn viser en vannføring på 2398 m³/s. Til sammenligning ble det under «Hans» målt 3163 m³/s som høyeste døgngjennomsnitt. Flommen under «Hans» i 2023 hadde den nest høyeste registrerte vannføringen for Glomma siden 1990. Den høyeste vannføringen i perioden fant sted under 50-årsflommen «Vesleofsen» i mai/juni 1995, hvor det på det høyeste ble målt 3580 m³/s på ett døgn.

Vannføringen for Drammenselva (v/Døvikfoss) fra 1990 til 2023 er vist i **Figur 5**. Den viser at det har vært fem 5-årsflommer (dvs. vannføring > 1310 m³/s) og ingen 50-årsflommer (dvs. vannføring > 2030 m³/s) i denne perioden. Tre av disse flommene fant sted på vårparten (mai/juni), mens én flom ble registrert i juli 2007, i tillegg til «Hans» i august 2023. 5-årsflommen i juli 2007 var hovedsakelig en regnværsflom. Den høyeste døgnmålingen for denne flommen viste en vannføring på 1488 m³/s. Til sammenligning ble det under «Hans» målt en vannføring på 1461 m³/s. Svært kort tid etter at flomtoppen for «Hans» var nådd i Drammenselva, opplevde man en styrtregnperiode hvor store nedbørsmengder økte vannføringen på ny. De nye vannmengdene kom i tillegg til den allerede høye vannføringen forårsaket av «Hans». På det høyeste ble det målt 1550 m³/s på ett døgn, som er den høyeste døgnmiddelvannføringen som er registrert i Drammenselva siden 1990.



Figur 4. Vannføring i Glomma ved Solbergfoss fra 01.01.1990 til 31.12.2023. Horisontale linjer viser flomnivået for middelflom (gult nivå), 5-årsflom (oransje nivå) og 50-årsflom (rødt nivå) for målestasjonen.



Figur 5. Vannføring i Drammenselva ved Døvikfoss fra 01.01.1990 til 31.12.2023. Horisontale linjer viser flomnivået for middelflom (gult nivå), 5-årsflom (oransje nivå) og 50-årsflom (rødt nivå) for målestasjonen.

3.1.3. Resultater fra vannprøver under flommen

Konsentrasjoner

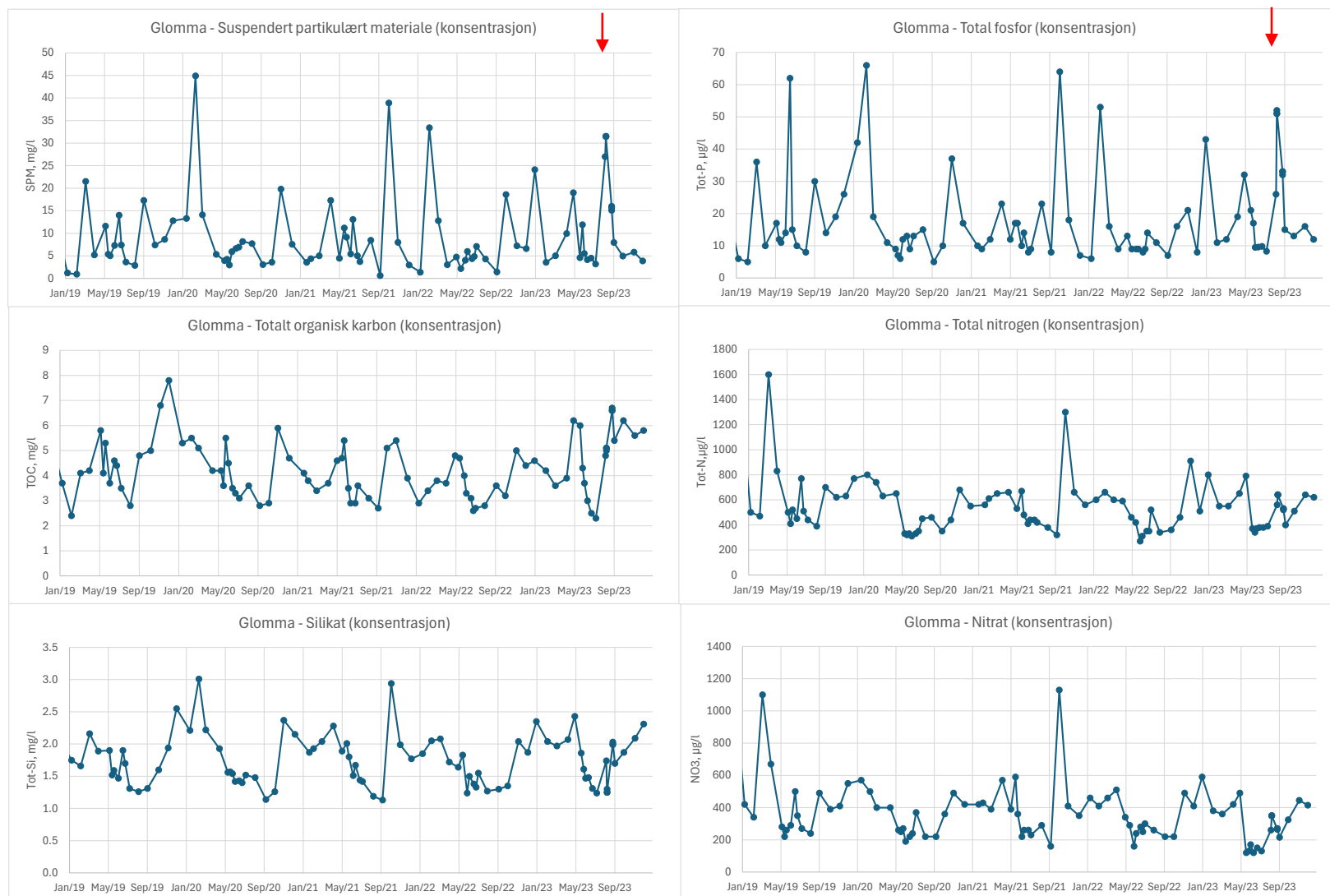
Flomprøvene som ble tatt i Glomma 11. og 29. august viste ingen ekstremt høye konsentrasjoner av partikler, organisk stoff eller næringssalter dersom en sammenligner med 5-års perioden 2019-2023 (**Figur 6**). Konsentrasjonene av Tot-N og nitrat (NO_3) viste en forholdsvis liten respons under «Hans», noe som skyldes at nitrogen, i motsetning til fosfor, i liten grad bindes til partikler.

Prøvene som ble tatt i Drammenselva under «Hans» viste markerte topper i konsentrasjon av TSM, totalt organisk karbon (TOC) og Tot-P (**Figur 7**). For TSM og TOC var det de høyeste konsentrasjonene som er målt de siste fem årene. Konsentrasjonene av nitrogen og silikat, som begge er viktige stoffer for vekst av marint planteplankton, var moderate til lave sammenlignet med andre målinger den siste 5-års perioden. Men på grunn av den høye vannføringen under og etter «Hans» var transporten fra elv til sjø likevel betydelig (se neste avsnitt).

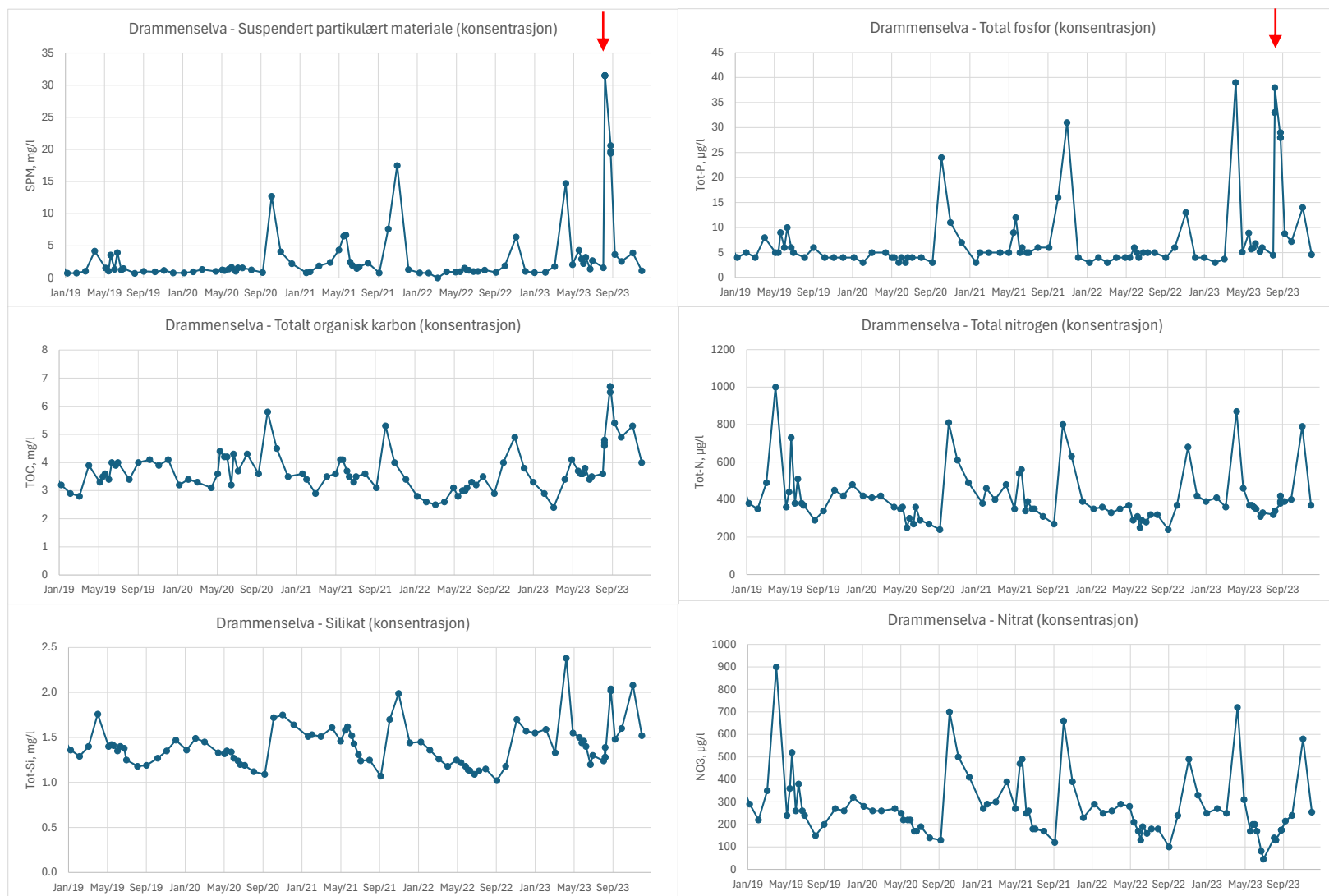
Transport

I Glomma var transporten av TSM, TOC, totalt silikat (Tot-Si), Tot-P og Tot-N i august 2023 den høyeste månedstransporten som er registrert den siste 5-års perioden (**Figur 8**). Dersom en tar med hele overvåkingsperioden fra 1990, hadde august den høyeste månedstransporten av Tot-P og Tot-N som er registrert siden «Vesleofsen» i 1995 (**Figur 10**). Også transporten av silikat var inne på «topp 10 listen» over de høyeste månedstranportene siden 1990.

Drammenselva viste mye av det samme bildet, med månedstransporter av TSM, TOC, Tot-Si og Tot-P i august 2023 som var de høyeste som er registrert den siste 5-års perioden (**Figur 9**). Dersom en ser lenger tilbake, var månedstransporten av Tot-Si den nest høyeste som er registrert siden 1999 og månedstransporten av Tot-P den tredje høyeste som er registrert siden 1990 (**Figur 10**). Også transporten av Tot-N i august 2023 var inne på «topp 10 listen» over de høyeste målingene siden 1990.



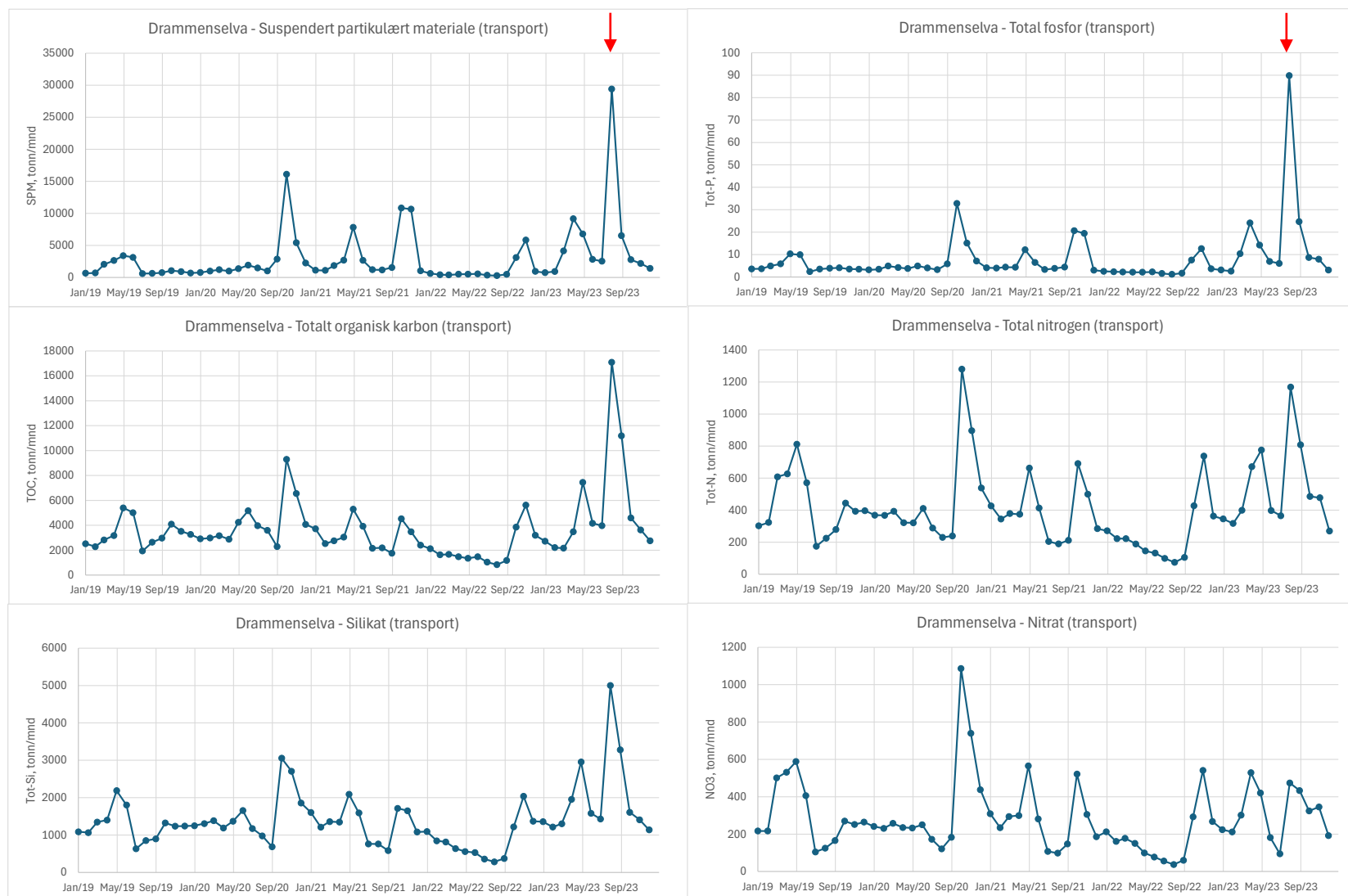
Figur 6. Målte konsentrasjoner av partikler, organisk stoff og næringsstoffer i Glomma v/Sarpsfossen i perioden 2019-2023. Data fra Elveovervåkingsprogrammet. Rød pil viser tidspunktet for flommen etter «Hans».



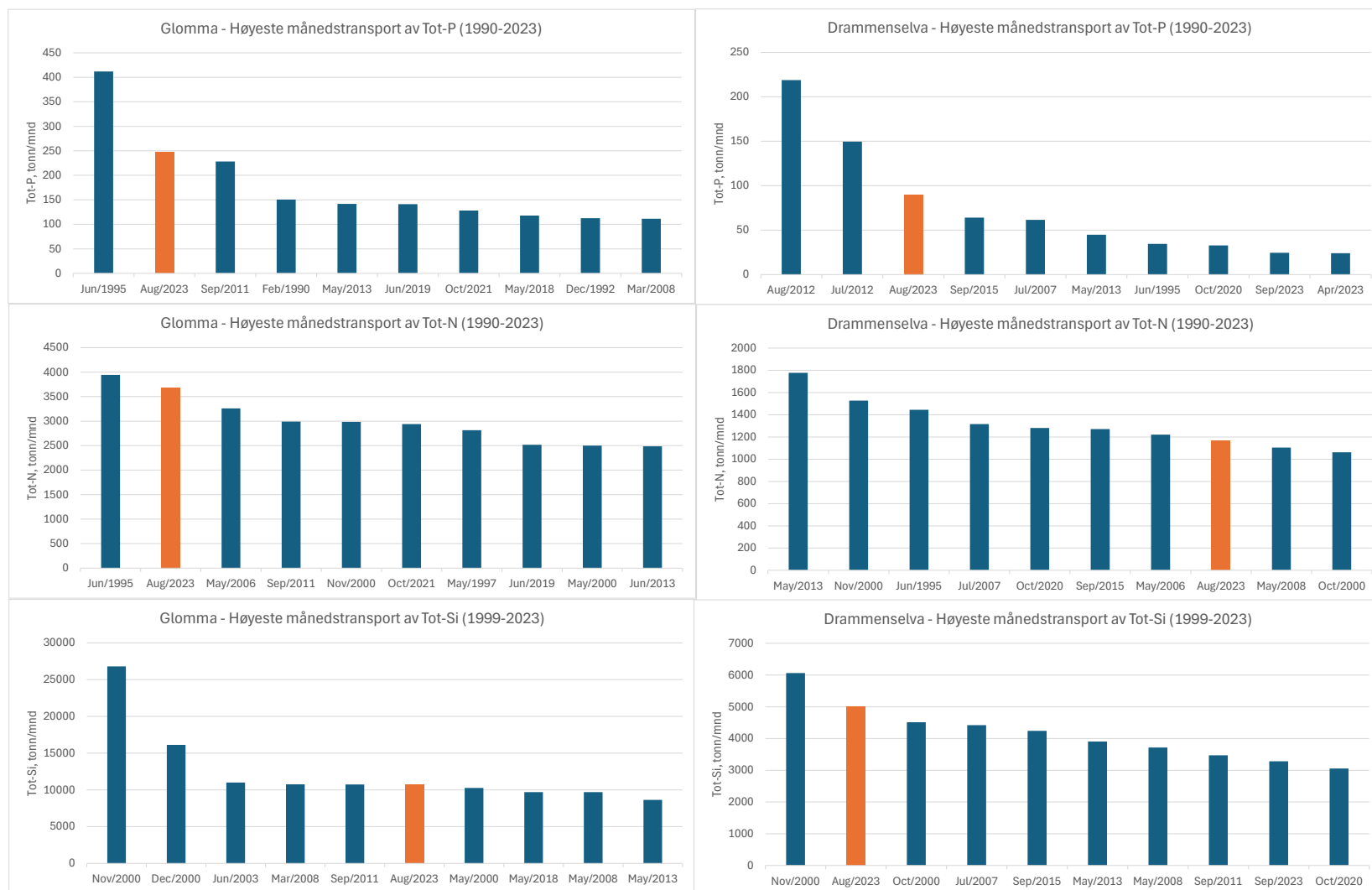
Figur 7. Målte konsentrasjoner av partikler, organisk stoff og næringsstoffer i Drammenselva v/Mjøndalen bru i perioden 2019-2023. Data fra Elveovervåkingsprogrammet. Rød pil viser tidspunktet for flommen etter «Hans».



Figur 8. Månedstransport av partikler, organisk stoff og næringsstoffer i Glomma v/Sarpsfossen i perioden 2019-2023. Data fra Elveovervåkingsprogrammet. Rød pil viser tidspunktet for flommen etter «Hans».



Figur 9. Månedstransport av partikler, organisk stoff og næringsstoffer i Drammenselva v/Mjøndalen bru i perioden 2019-2023. Data fra Elveovervåkingsprogrammet. Rød pil viser tidspunktet for flommen etter «Hans».



Figur 10 Rangering av de ti månedene i perioden 1990-2023 (1999-2023 for Si) med størst transport av partikler, organisk stoff og næringsstoffer i Glomma v/Sarpsfossen (venstre paneler) og Drammenselva v/Mjøndalen bru (høyre paneler). Månedstransporten i august 2023 (under «Hans») er markert med oransje farge. Tot-Si ble analysert med en annen metode før 1999 som ikke er direkte sammenlignbar med metodikken som er brukt senere.

3.1.4. Sensordata fra tre stasjoner i Glomma

Vorma ved Svanfoss

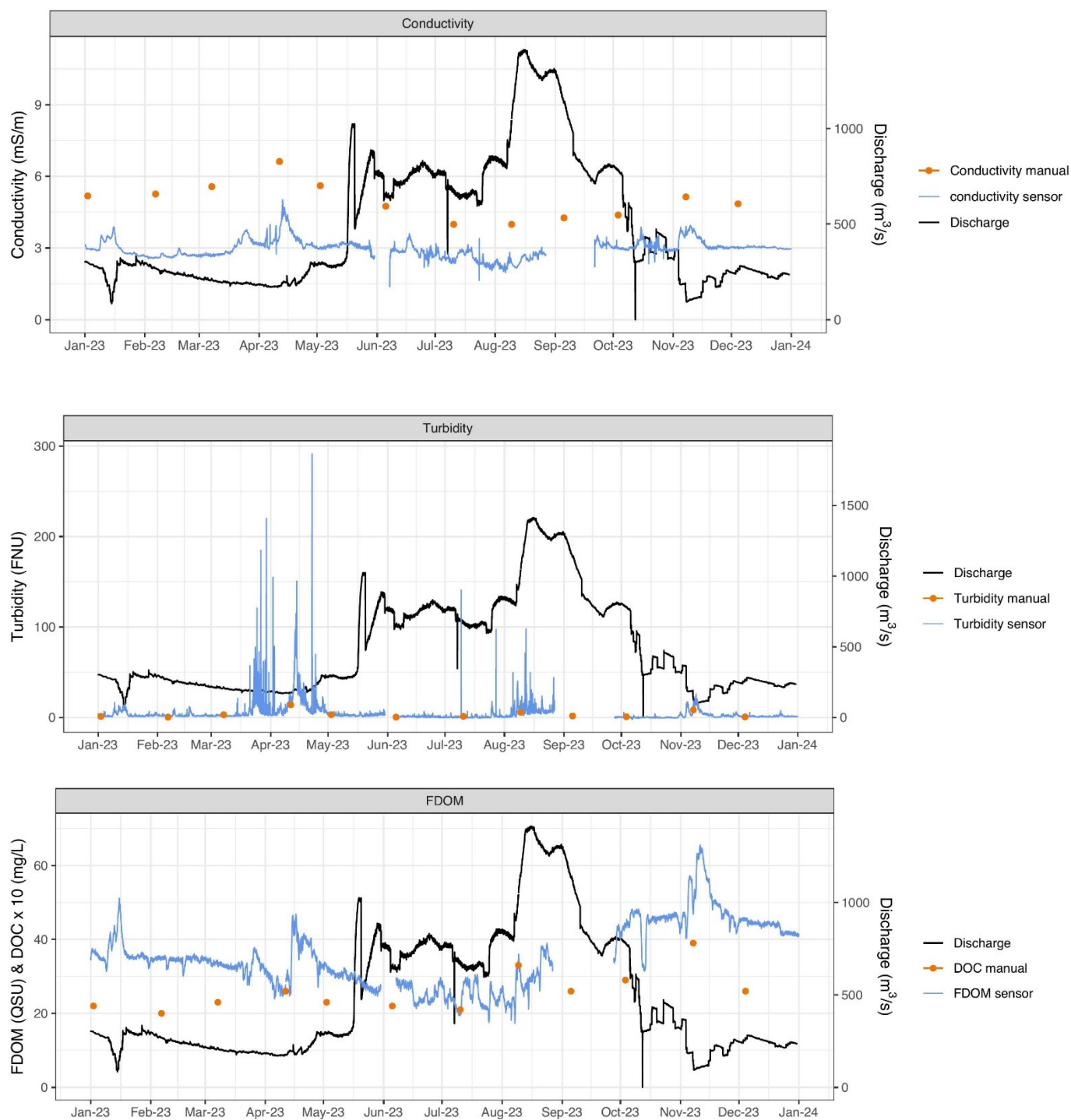
Vorma var preget av høy vannføring fra midten av mai til midten av oktober i 2023, med den mest dominerende flommen registrert i etterkant av «Hans» (**Figur 11**). Vannkvalitetsparameterne ble overraskende lite påvirket av flommen, trolig på grunn av det store innsjøvolumet og den dempende effekten av Mjøsa, som ligger rett oppstrøms sensorstasjonen. Det var en økning i turbiditet og cDOM i august, men nivåene var ikke spesielt høye sammenlignet med andre episoder på våren og senere på høsten dette året.

Leira ved Kråkfoss

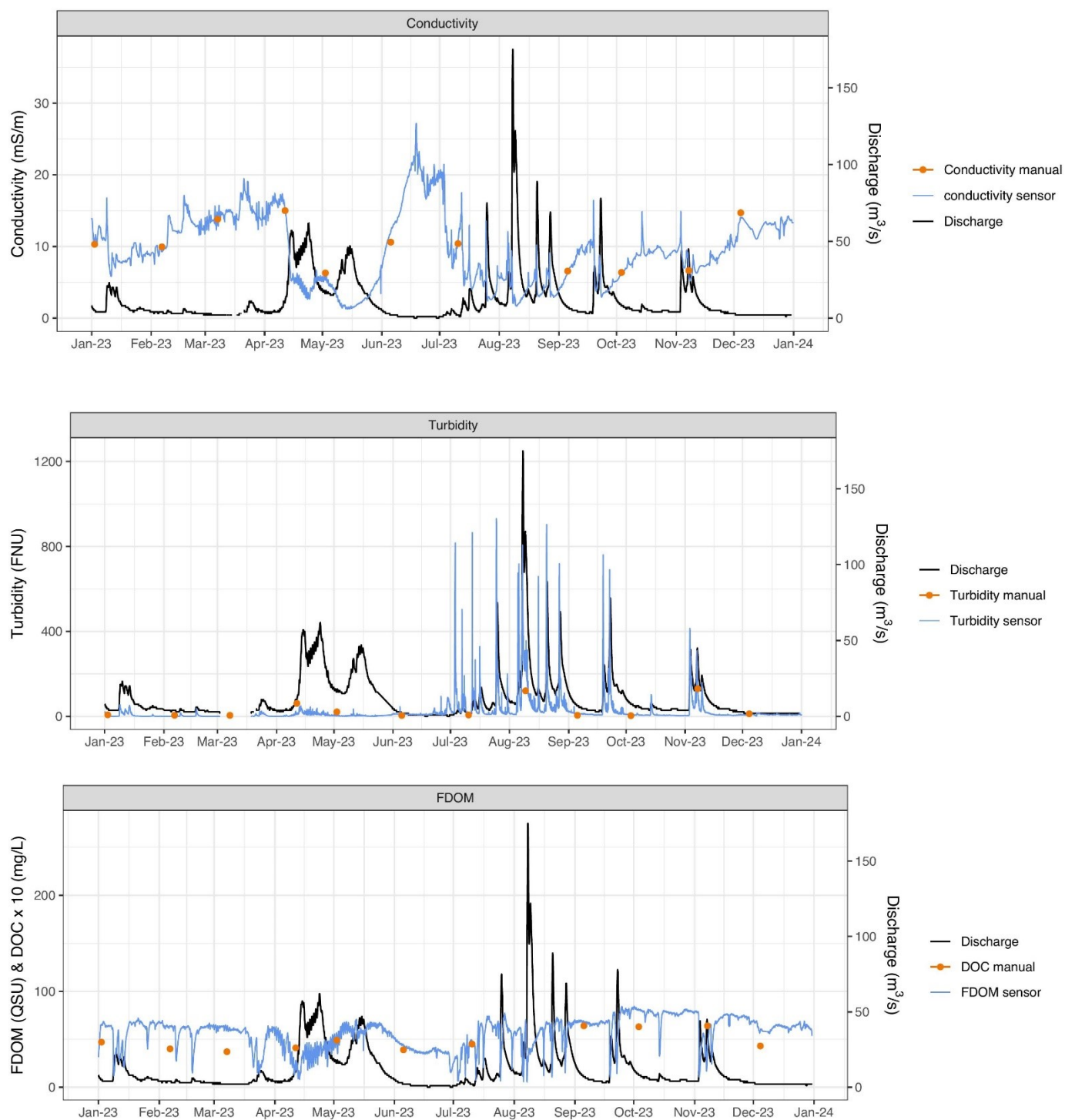
Leira reagerer raskt på nedbørshendelser, og ekstremværet under «Hans» forårsaket en tydelig flomtopp som var nesten dobbelt så stor som andre flommer dette året (**Figur 12**). Leira er sterkt leirpåvirket og turbiditetsverdiene er ofte høye, spesielt under flomepisoder. I 2023 var turbiditetsverdiene beskjedne om våren, men betydelig høyere under flommer fra juli og utover. Turbiditetsverdiene under «Hans» var, noe overraskende, ikke mye høyere enn verdier registrert under mindre flommer før og etter ekstremværehendelsen. I motsetning til turbiditet, viste både konduktivitets- og cDOM-verdiene et omvendt forhold til vannføring, noe som tyder på at løste ioner og organisk materiale ble fortynnet under flommene.

Nedre Glomma ved Baterød

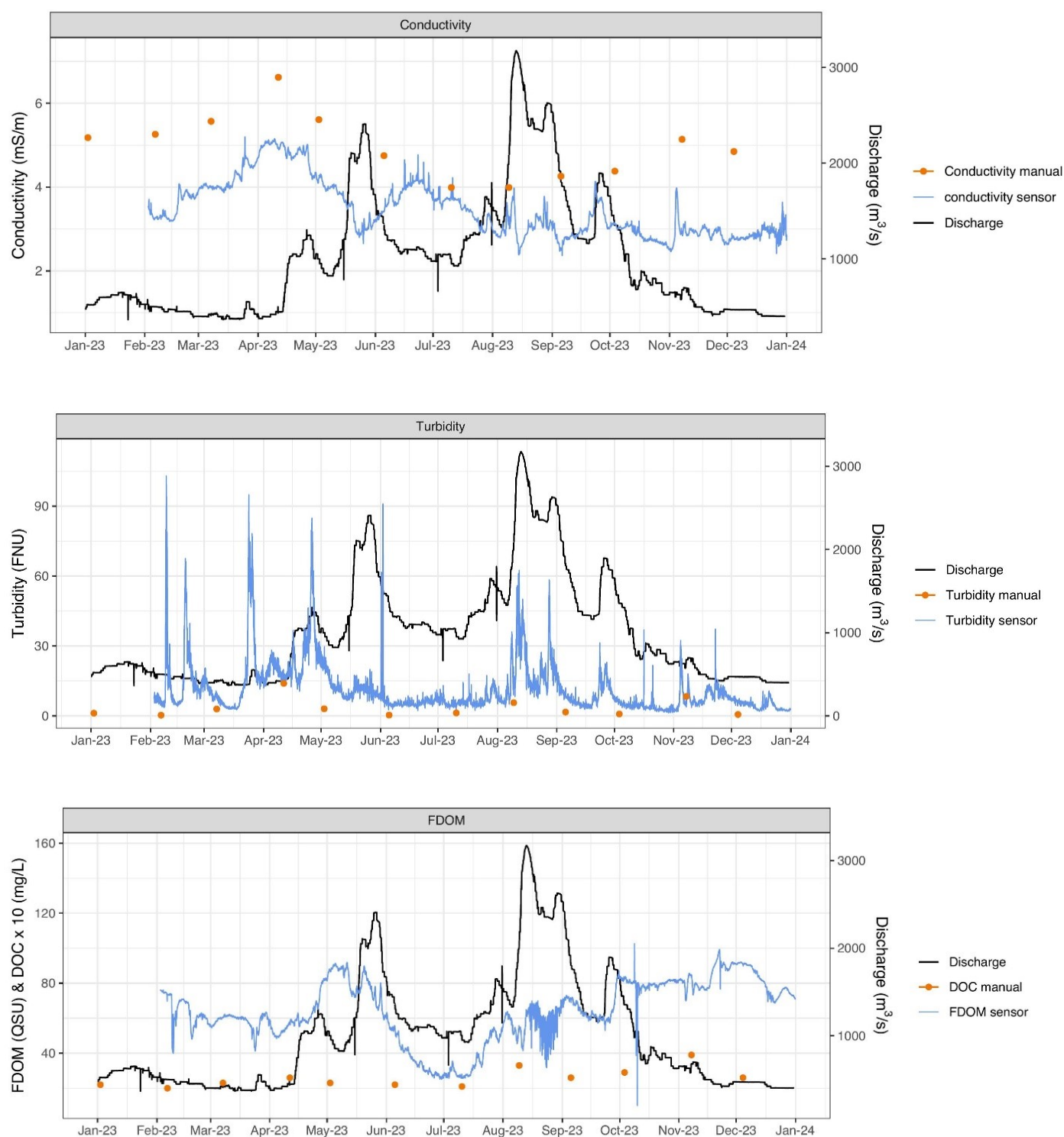
Den mest dominerende flommen i nedre Glomma i 2023 kom etter «Hans» (**Figur 13**). Hendelsen forårsaket en tydelig topp i turbiditet, men maksnivået var likevel lavere enn andre turbiditetstopper som ble registrert i andre deler av året. Konduktivitet viste i de fleste tilfeller et omvendt forhold til vannføring, mens cDOM stort sett fulgte et sesongmønster med et minimum i vekstsesongen om sommeren. At cDOM-signalet i Nedre Glomma viste en mindre direkte sammenheng med vannføringen enn i Leira, skyldes trolig at Glomma-stasjonen integrerer responsene fra et mye større nedbørfelt.



Figur 11. Sensordata fra Vorma ved Svanfoss i 2023. Konduktivitet (øverst), turbiditet (midten) og cDOM fluorescens (fDOM) (nederst) plottet sammen med vannføring fra NVEs stasjon 2.197.0 Ertesekken. Oransje prikker viser lab-målte data.



Figur 12. Sensordata fra Leira ved Kråkfoss i 2023. Konduktivitet (øverst), turbiditet (midten) og cDOM fuorescens (fDOM) (nederst) plottet sammen med vannføring fra NVEs stasjon 2.279.0 Kråkfoss. Oransje prikker viser lab-målte data.

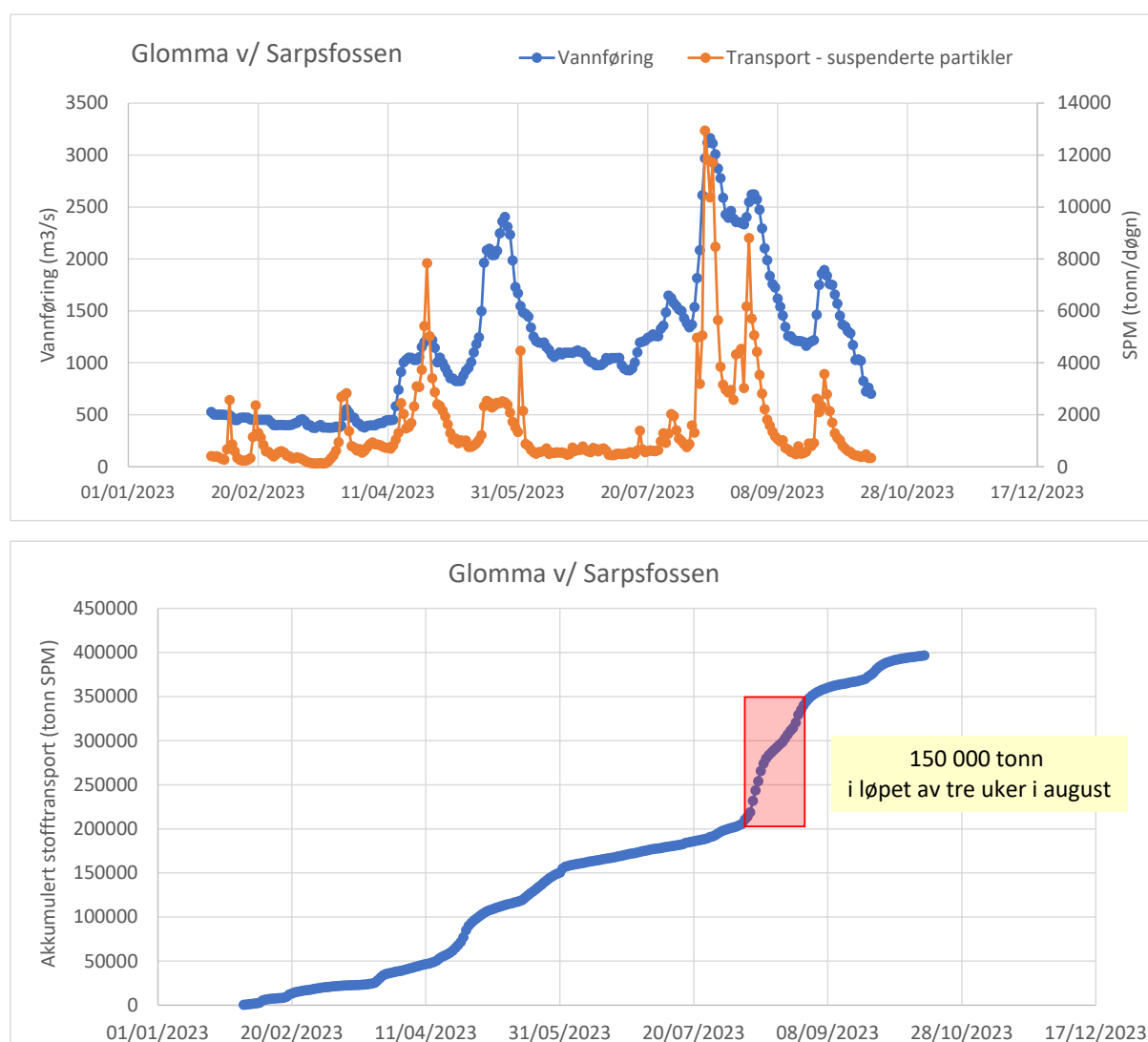


Figur 13. Sensordata fra Glomma ved Baterød i 2023. Konduktivitet (øverst), turbiditet (midten) og cDOM fluorescens (fDOM) (nederst) plottet sammen med vannføring fra NVEs stasjon 2.605.0 Solbergfoss. Oransje prikker viser lab-målte data.

Estimert døgntransport av partikler i nedre Glomma

De kontinuerlige målingene av turbiditet ved sensorstasjonene i nedre Glomma, samt lange tidsserier for turbiditet og TSM i vannprøver fra samme sted, gir en mulighet til å estimere transporten av suspenderte partikler i ulike faser av flommen som etterfulgte «Hans». Slike estimater er nyttige for å få et mål på hvor mye partikler Glomma fører med seg ut i Oslofjorden i løpet av slike store flommer.

Basert på målte data fra perioden 2018-2022 var det en god empirisk sammenheng mellom turbiditet og TSM i Glomma ($R^2=0,72$), og en enda bedre sammenheng i Drammenselva ($R^2=0,96$). Basert på det empiriske forholdet mellom turbiditet og TSM er det estimert døgntransport av suspenderte partikler i nedre Glomma fra 1. februar 2023 (datoen da Baterød-stasjonen kom i drift) til 15. oktober 2023 (**Figur 14**). Beregningene viser at partikkeltransporten i nedre del av Glomma sannsynligvis var i overkant av 12 000 tonn/døgn under den høyeste flomtoppen etter «Hans». Det innebærer en partikkeltilførsel til Oslofjorden som tilsvarer ca. 1000 lastebil-lass per døgn. I løpet av tre uker i august dette året ble det anslagsvis transportert 150 000 tonn partikler ut med Glomma. Det tilsvarer over 40% av den totale partikkeltransporten med Glomma i hele 2023 (Kaste mfl. 2024).



Figur 14. Estimert partikkeltransport i nedre Glomma på døgnbasis (øverst) og akkumulert gjennom året (nederst). Basert på sensor-målte turbiditetsdata fra Baterød og empirisk sammenheng mellom turbiditet og totalt suspendert materiale (TSM eller SPM) i vannprøver fra Glomma v/Sarpsfossen.

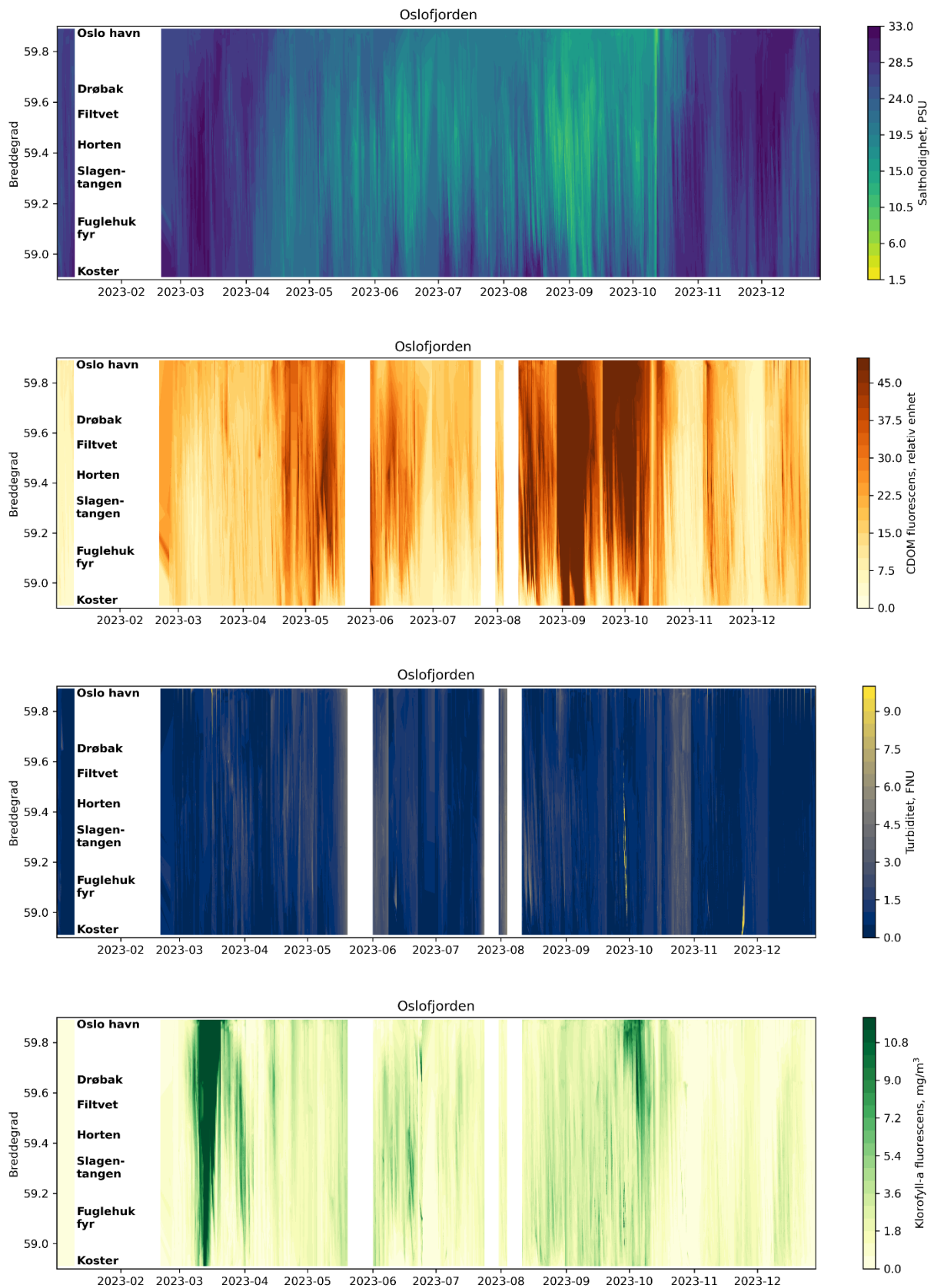
3.2 Indre og Ytre Oslofjord

3.2.1. FerryBox

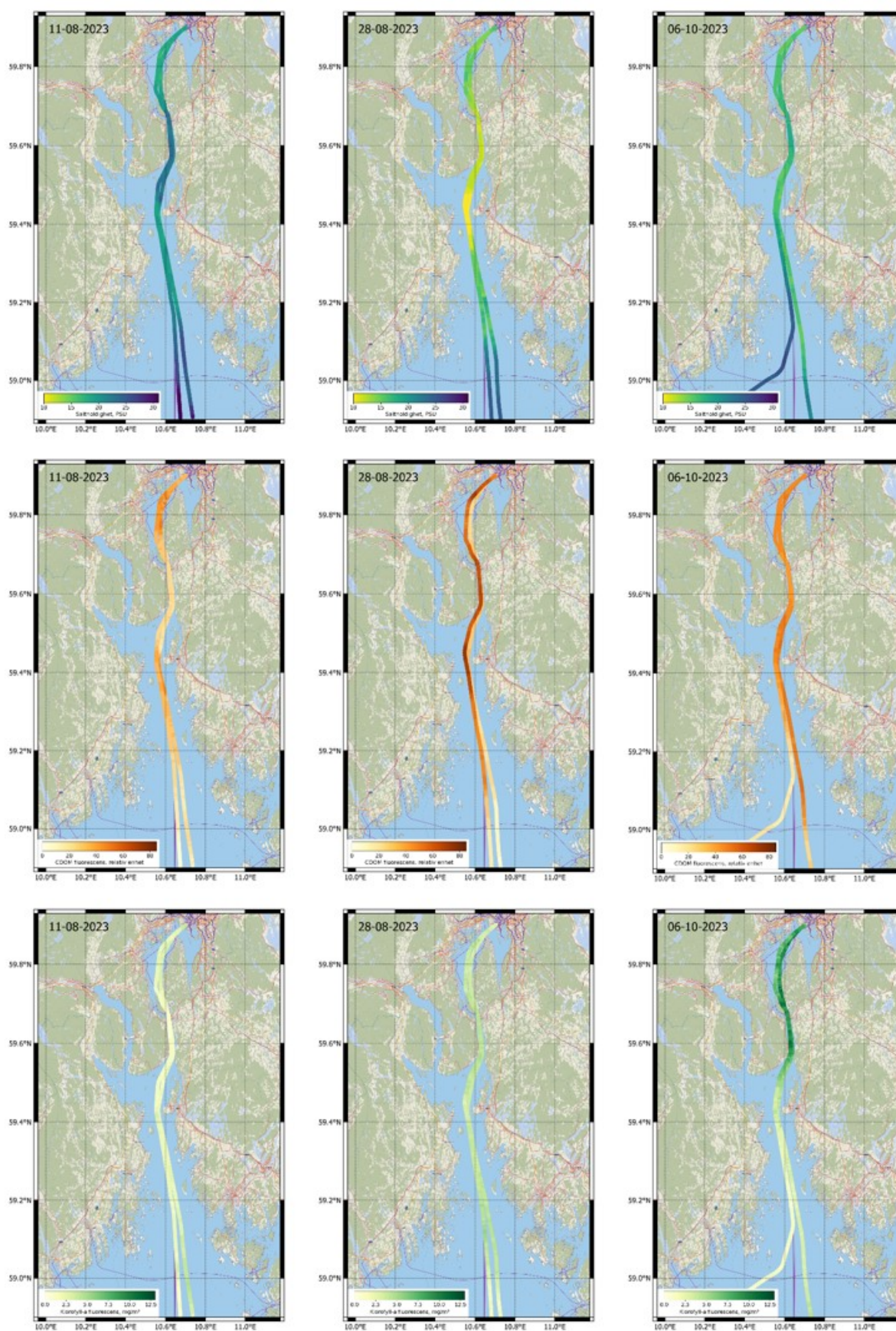
Data fra FerryBox-systemet viser at fjorden hadde lav salinitet og var mørk (altså høye verdier av cDOM) rundt flomperiodene (**Figur 15**). Oslofjorden er generelt meget ferskvannspåvirket, og midtfjords ligger vanligvis saliniteten på rundt 25 PSU, selv om perioder med lavere saltholdighet er vanlig. Likevel var det lange perioder i løpet av 2023 der saltholdigheten var usedvanlig lav, helt nede i rundt 10 PSU. Spesielt gjelder dette slutten av august, store deler av september og begynnelsen av oktober.

Det observeres en tydelig sammenheng mellom saltholdighet og mengden farget stoff i vannet (målt som cDOM). Som vist i **Figur 16** starter det med lav saltholdighet den 11.08.2023 i Indre Oslofjord og ved Moss-Breiangen, som begge er områder med sterk elvetilførsel. Det er også i de samme områdene at cDOM fluorescens er høyest. På dette tidspunktet har ikke vann fra Glomma nådd midtfjords ennå. Derimot mot slutten av august er det generelt lav saltholdighet i hele fjorden, samtidig som det er målt høy cDOM fluorescens. Generelt kan man si at der det er lav saltholdighet, er det høye cDOM fluorescens-verdier. Dette er fordi det fargede stoffet i stor grad er humus-stoffer (gulstoff) som fraktes ut med ellevann. Ellevannet inneholder også en betydelig mengde partikler, noe som ses på turbiditetsmålingene.

Selv om flomvannet førte med seg store mengder næringsstoffer, bidro de samtidige tilførsene av partikler og humusstoffer til å redusere mengden og kvaliteten på lyset slik at algeveksten ble hemmet. Dette så ut til å være tilfellet i den første tiden etter «Hans»-flommen august. Men etter hvert som ferskvannet ble blandet med saltvann, og cDOM og partikler ble fortynnet, kunne man se at klorofyll-a verdiene økte og at det til slutt endte opp med betydelige algeoppblomstringer i september og oktober (**Figur 15** og **Figur 16**).



Figur 15. Måledata for salinitet (øverst), etterfulgt av cDOM fluorescens, turbiditet og klorofyll-a-fluorescens (nederst) fra FerryBox-systemet om bord på M/S Color Fantasy, over tid (x) i 2023 fra Koster til Oslo Havn mellom 58,9-59,9 °N (y).



Figur 16. Utvikling av saltholdighet i PSU (øverst), cDOM fluorescens i mg/m^3 (midten) og klorofyll-a fluorescens i mg/m^3 (nederst) fra FerryBox den 11.08.2023, 28.08.2023, og 06.10.2023.

3.2.2. Satellitt

Et satellittbilde fra Copernicus satellitten Sentinel-3 over Oslofjorden den 2. september 2023, etter den andre kraftige nedbørsperioden, viser stor ferskvannspåvirkning fra Drammenselva til Drammensfjorden og fra Glomma til Hvaler med tydelige partikkelskyer som strekker seg langt ut i Oslofjorden (**Figur 17**).



Figur 17. Satellittbilde fra Copernicus satellitten Sentinel-3 over Oslofjorden den 2. september 2023.

En tidsserie med satellittbilder fra slutten av august til slutten av september 2023 (**Figur 18**) viser elvepåvirkningen som relative konsentrasjoner av TSM. Det synes tydelige partikkelskyer av ferskvann med høye TSM-verdier fra Glomma som sprer seg ut i fjorden via Hvaler den 24/8 og 2/9. Hvaler-området er betydelig ferskvannspåvirket med høy variabilitet i TSM. Det var f.eks. lavere TSM-konsentrasjoner i midten av september, dvs. mellom de to siste flommene. Høye verdier i indre Oslofjord er tydelig i starten av august og i starten av september, mens Drammensfjorden har veldig høye TSM-verdier stort sett gjennom hele perioden, men tydeligst etter kraftig nedbør. Numedalslågen som renner ut i Larviksfjorden er mindre påvirket av flommer denne høsten, men den indre delen viser likevel høye TSM-verdier enn ute i den åpne delen.

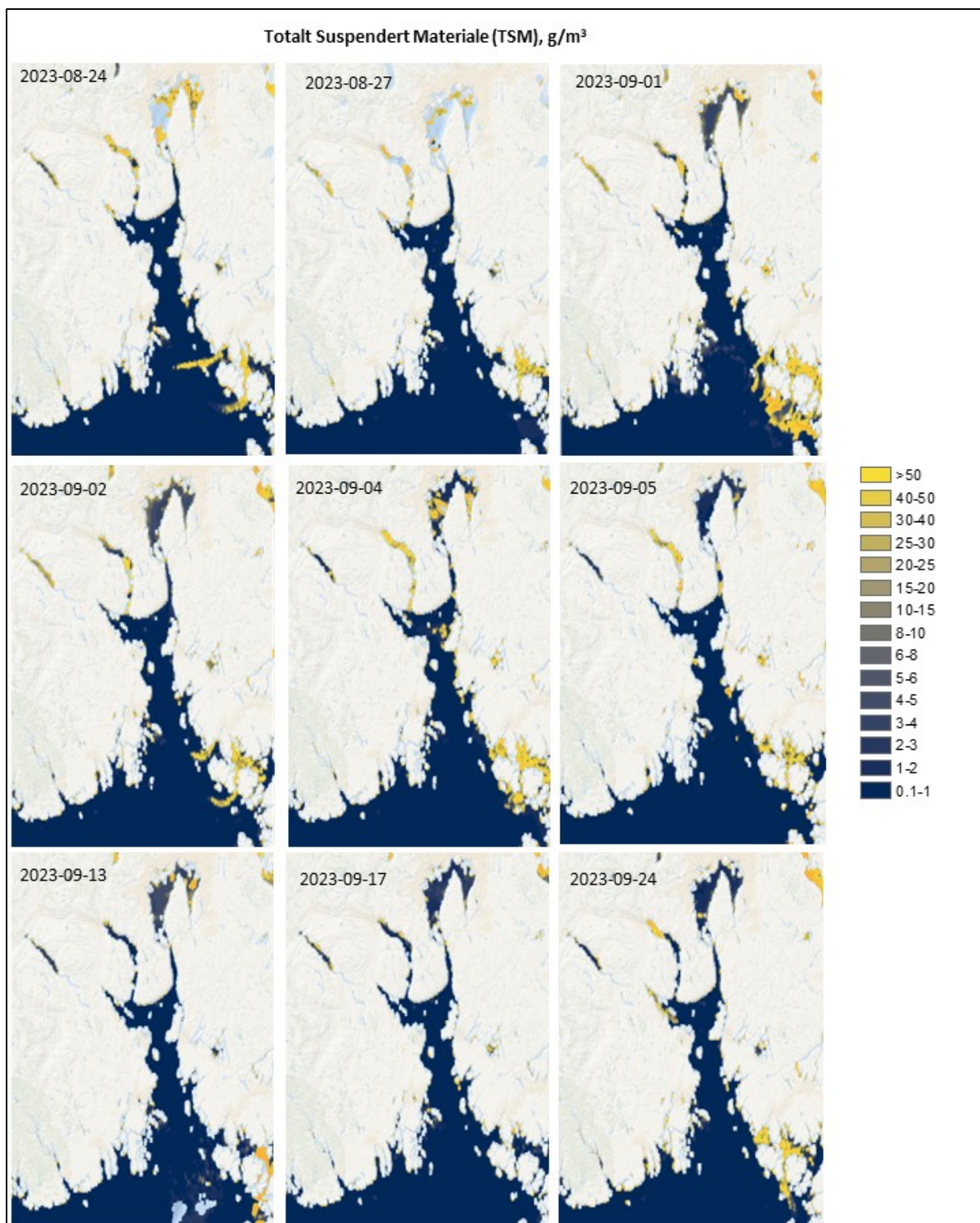
Tilsvarende tidsserie med klorofyll-a data fra Sentinel-3 satellitten (**Figur 20**) viser på en lignende utvikling for planteplankton, som også støttes av de ekstra vannprøvene og FerryBox data. Klorofyll-a data i Hvaler fra midten av september viser høye verdier i den østre delen samt for stasjonene i samme område i Hvaler (**Figur 30**). Det var stor variasjon i klorofyll-a konsentrasjonene i indre Oslofjord, med høye verdier i slutten av august og starten av september, lavere verdier i midten av september (13/9, 17/9) for så å øke igjen mot slutten av måneden (24/9). Den samme variasjonen ses i vannprøvene. For Drammenfjorden er satellittdata litt vanskeligere å tolke, dette er fordi klorofyll-a signalet blir sterkt påvirket av partikler og organisk materiale. Satellitt-signalet viser en kraftig oppblomstring i Drammensfjorden i slutten av September (24/9), men fordi dette ikke er bekreftet av vannprøver kan man ikke med sikkerhet si at dette var en algeoppblomstring. Det kan være et eksempel på når algoritmen ikke klarer at skille mellom partikler/organisk materiale og klorofyll-a.

Satellittbilder med høyre oppløsning er fra Sentinel-2 satellitten. Denne satellitten produserer ikke bilder like hyppig, men vi har tatt med tre så godt som skyfrie dager i perioden og fokuserer på noen områder som er kraftig påvirket fra land (**Figur 20**). I området utenfor Glomma den 2. september synes

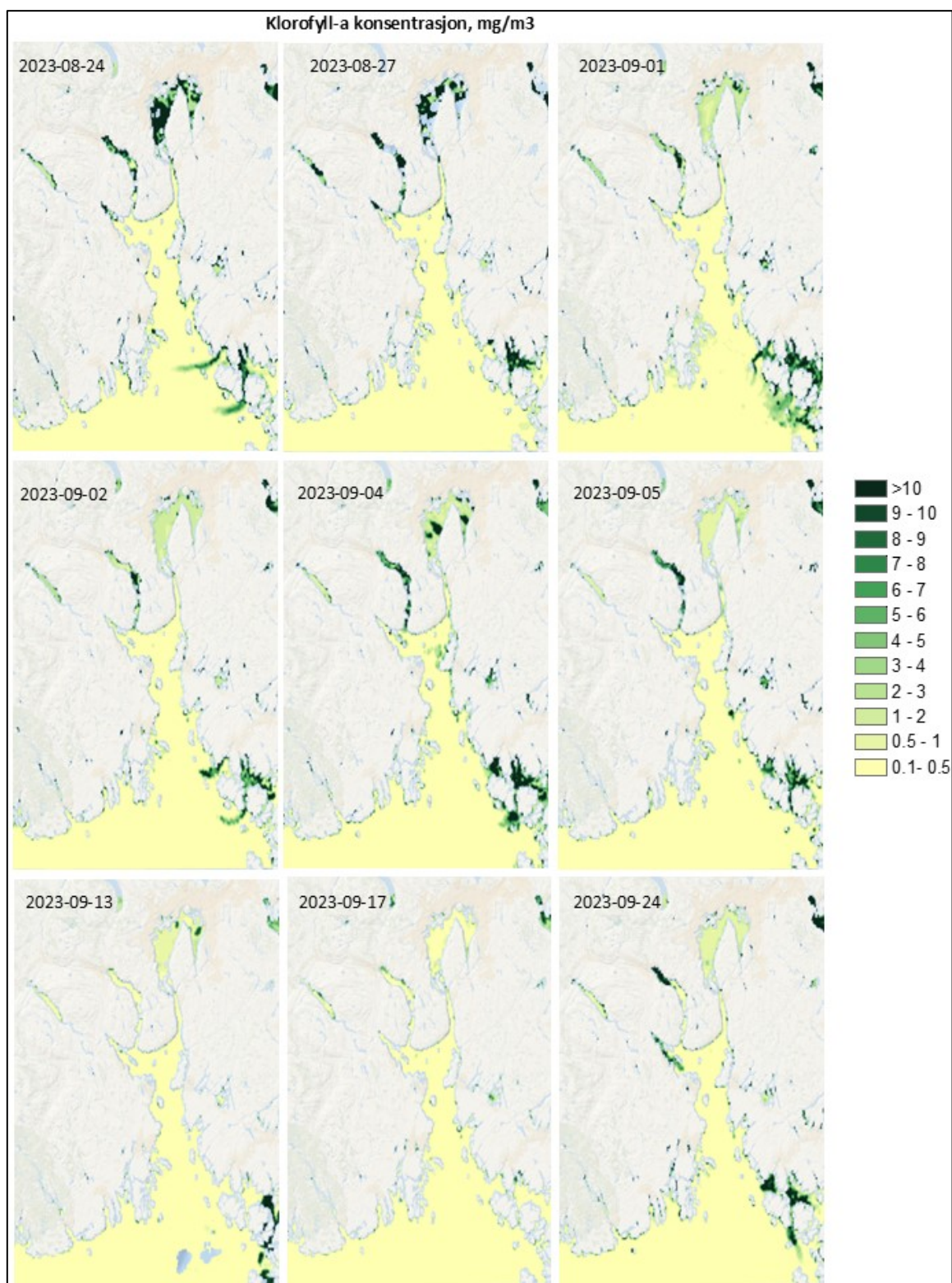
en tydelig økning i turbiditet med kraftige partikkelskyer i vannmassen som viser at et stort område påvirkes av ferskvann. Situasjonen var om lag den samme 10 dager senere, den 12. september.

Ytterligere en uke senere har ferskvannslaget blandet seg med saltvann og påvirkningen fra Glomma er mindre synlig. Både indre del av Drammensfjorden og Larviksfjorden er påvirket av høy turbiditet med partikkelskyer som strekker seg mot sør i Drammensfjorden og utover i Larviksfjorden. Her var påvirkningen størst den 2. og 19. september, mens den var mindre den 12. september.

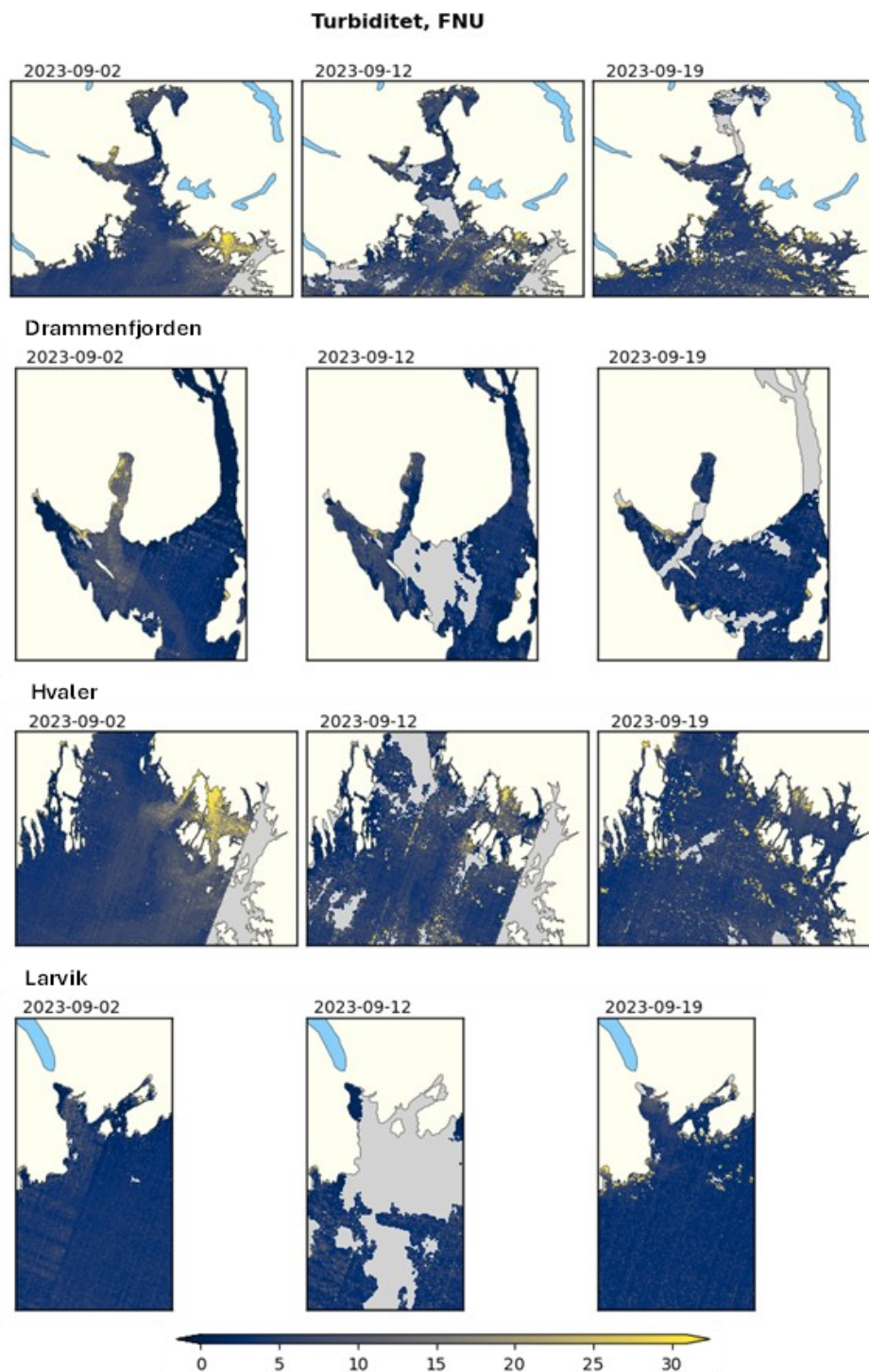
Satellittdata vises også i figurer sammen med *in situ*-data for overvåkningsstasjoner i ulike deler av Oslofjorden for turbiditet og noen stasjoner for klorofyll-a (**Vedlegg 6.1, Figur 34**). Ofte sammenfaller satellittdata med *in situ*-målinger, men satellittdata kan på skyfrie dager også komplementere med hyppigere data.



Figur 18. Tidsserie av bilder fra Copernicus satellitten Sentinel-3 OLCI data med konsentrasjon av totalt suspendert materiale (TSM) (g/m³) i august og september 2023 (ONNS prosessert). Alle resultater er relative, da ekstreme verdier i fjorden kan ligge utenfor området som algoritmene er kalibrert for. De absolutte verdiene er derfor usikre, men bildene illustrerer likevel den relative forandringen.



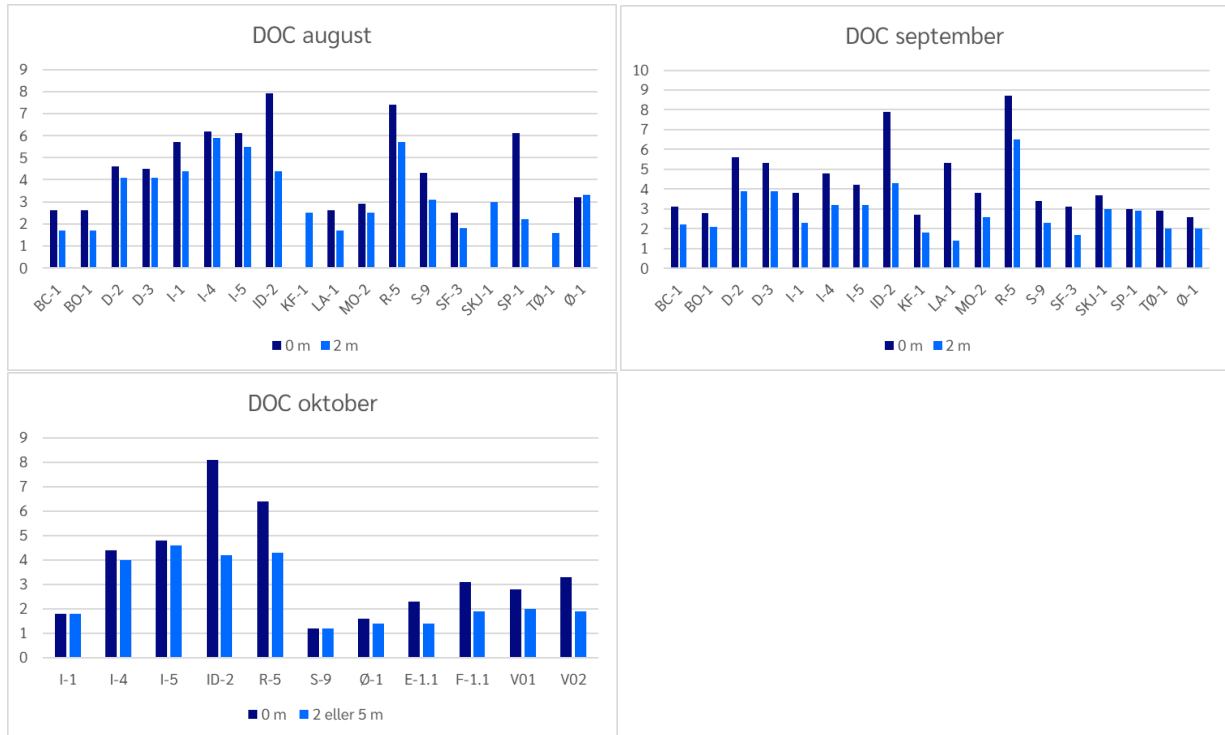
Figur 19. Tidsserie av bilder fra Copernicus satellitten Sentinel-3 OLCI data med konsentrasjon av klorofyll-a (mg/m³) i september 2023 (ONNS prosessert). Alle resultater er relative, da ekstreme verdier i fjorden kan ligge utenfor området som algoritmene er kalibrert for. De absolutte verdiene er derfor usikre, men bildene illustrerer likevel den relative forandringen.



Figur 20. Tidsserie av bilder fra Copernicus satellitten Sentinel-2 MSI data med Turbiditet (FNU) i september 2023 (C2RCC prosessert). Gråfargede felt er områder uten data som er dekket av skyer. Alle resultater er relative, da ekstreme verdier i fjorden kan ligge utenfor området som algoritmene er kalibrert for. De absolutte verdiene er derfor usikre, men bildene illustrerer likevel den relative forandringen.

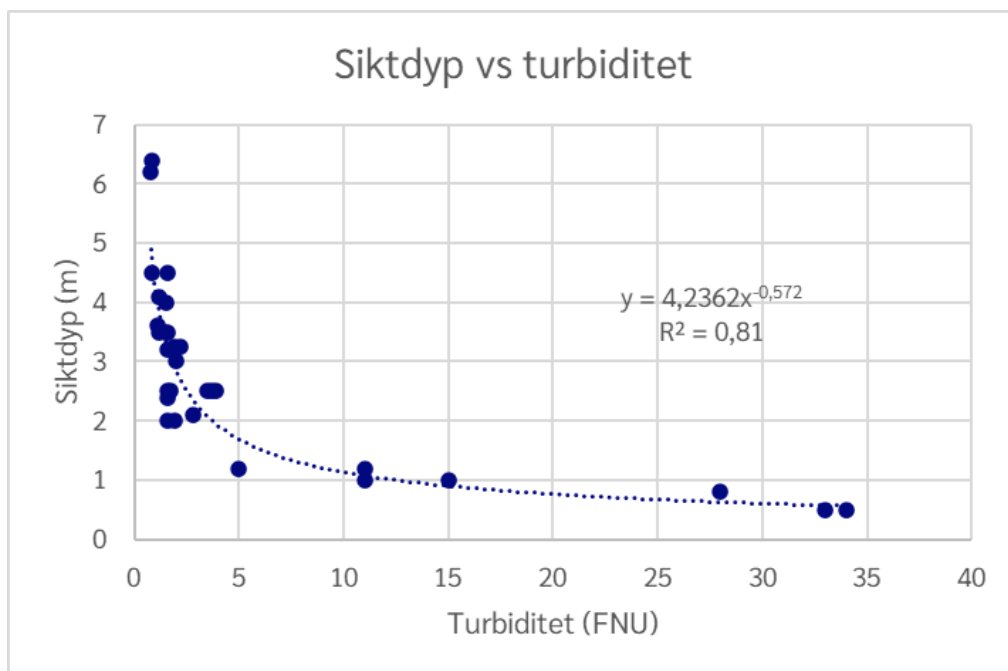
3.2.3. Siktdyp og lysforhold

Det samles inn prøver for DOC i programmene i både Indre- og Ytre Oslofjord. I Ytre Oslofjord ble mengden DOC i overflatelaget (0 meter) og 2 meter sammenlignet (**Figur 21**). Her ser man at det er høyere konsentrasjoner av DOC i 0 meter laget gjennom høsten, spesielt der det er betydelig ferskvannspåvirkning.

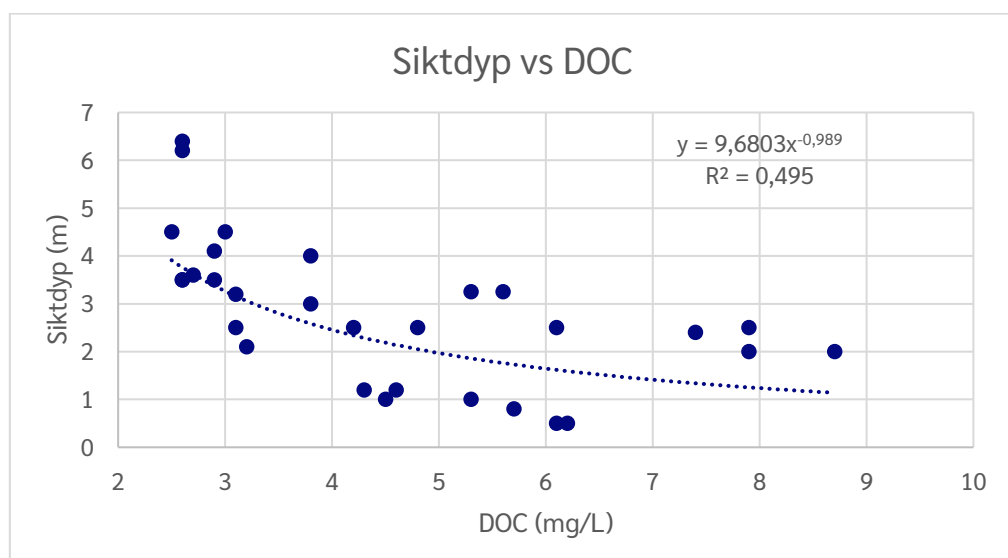


Figur 21. Sammenligning av DOC-målinger fra 0 og 2 meter i Ytre Oslofjord fra august, september og oktober 2023. Oktober-prøvetakningen er fra Hvaler (Ø-1, I-1, I-4, I-5, R-5, S-9 og ID-2) og Grenland (E-1.1, F-1.1, V01 og V02). Grenlandsprøvene fra oktober er tatt på 0 og 5 meter.

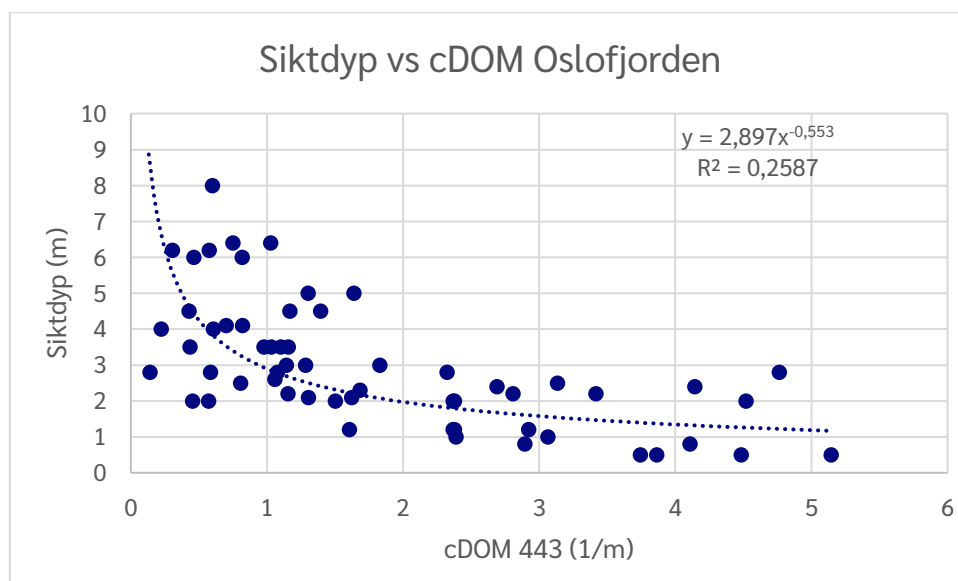
Ferskvannet bringer også med seg store mengder partikler som har stor påvirkning på lysforholdene i fjorden. Turbiditet er et mål på partikkelbelastning, og ved å plote siktdypet mot turbiditetsmålinger ser man at turbiditeten alene kan forklare opp mot 81 % av variansen i siktdyp (**Figur 22**). Mengden DOC (**Figur 23**) og cDOM (**Figur 24**) påvirker også lysforholdene i vannet, hvor 49% av variansen i siktdypet kan forklares av DOC og 25% av cDOM i dette datasettet. For DOC er det kun plottet et utvalg av data fra Ytre Oslofjord fra august og september, mens det for cDOM er plottet data fra hele fjorden ved både 0 og 2 m i august og september. Figurene som viser DOC og cDOM vs. siktdyp kan derfor ikke sammenlignes direkte. Ut fra observasjonene om påvirkning på lysforholdene viser dette likevel at det er turbiditeten som er dominerende for redusert siktdyp for dette datasettet og bekrefter det vi observerte i de statistiske analysene som ble utført i årsrapporten for Ytre Oslofjord 2023 (Engesmo mfl. 2024).



Figur 22. Sammenhengen mellom siktdyp og turbiditet i overflatelaget (0 m) i ytre Oslofjord i august og september 2023.

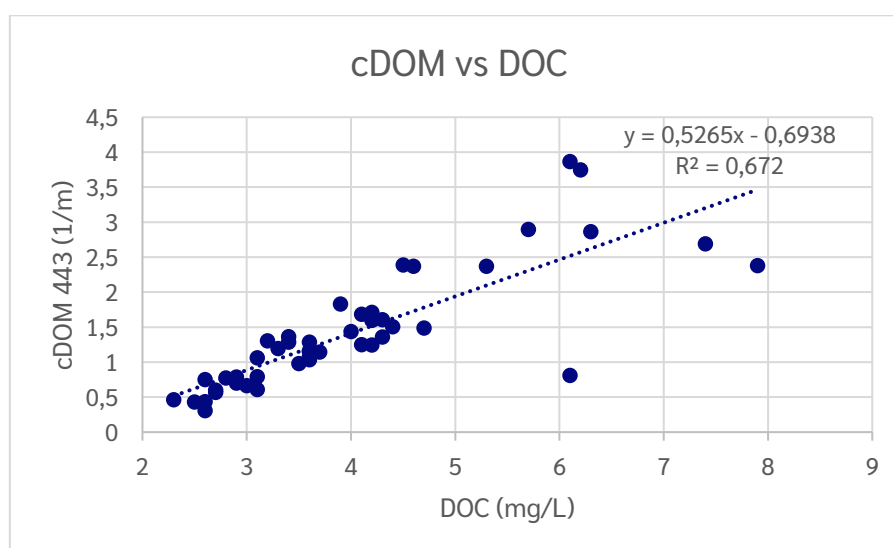


Figur 23. Sammenhengen mellom siktdyp og DOC i overflatelaget (0 m) i Ytre Oslofjord i august og september 2023.

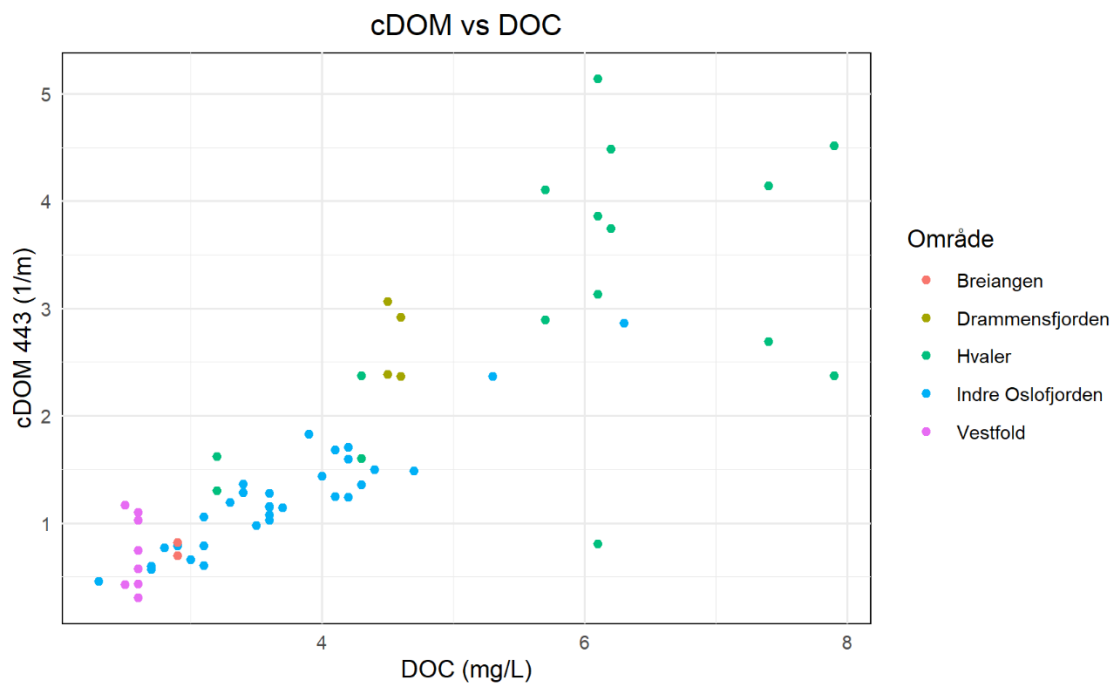


Figur 24. Sammenheng mellom siktdyp og cDOM fra 0 og 2m i hele Oslofjorden i august og september 2023.

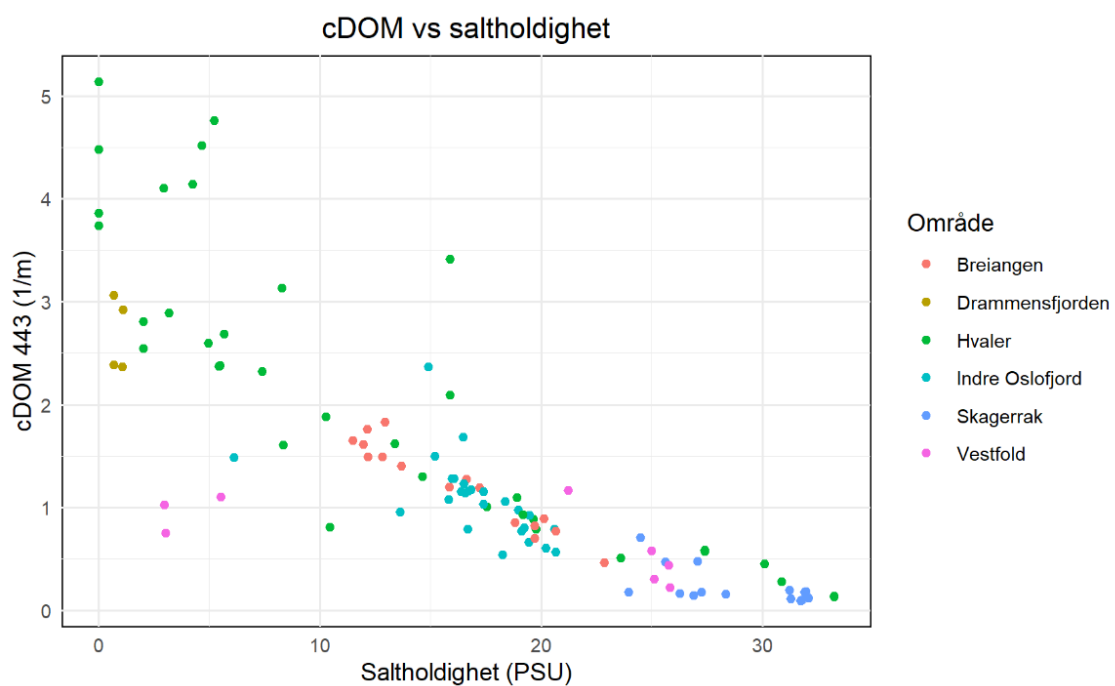
Som nevnt er cDOM den fargede delen av DOC, som absorberer sterkest i den blå delen av lysspekteret og gir fjorden sin mørke farge. Som vist i **Figur 25** er det positiv korrelasjon mellom DOC og cDOM i datasettet fra hele Oslofjorden. Legg merke til at DOC-skalaen starter på 2 mg/L, noe som betyr at det er en andel av DOC som ikke er farget. Unntaket hvor DOC er høy og cDOM er lav er ved Sponvika i august, hvor det ikke ennå er en sterk ferskvannstilførsel (se forklaring til **Figur 27**). Studier har også vist at cDOM:DOC forholdet er høyere i områder hvor cDOM har størst effekt på siktdypet (Harvey mfl. 2015). I **Figur 26** vises sammenhengen mellom cDOM og DOC for ulike områder. Der vises det en tendens til at det høyeste cDOM:DOC forholdet er Hvaler-området. Igjen er unntaket Sponvika, i tillegg til Missingene, som i starten av flomperioden fortsatt hadde høy saltholdighet og var mindre påvirket av flomvannet. Det er også en tydelig sammenheng mellom cDOM og saltholdighet (**Figur 27**), hvor området med lavest saltholdighet er områdene med høyest cDOM. I dette tilfellet er det Hvaler-området som er sterkt påvirket av elvetilførsel fra Glomma.



Figur 25. Sammenhengen mellom cDOM og DOC fra 0-2m i hele Oslofjorden i august og september 2023.



Figur 26. Sammenhengen mellom cDOM og DOC ut fra ulike områder i Oslofjorden basert på data fra 0 og 2m i august og september 2023.

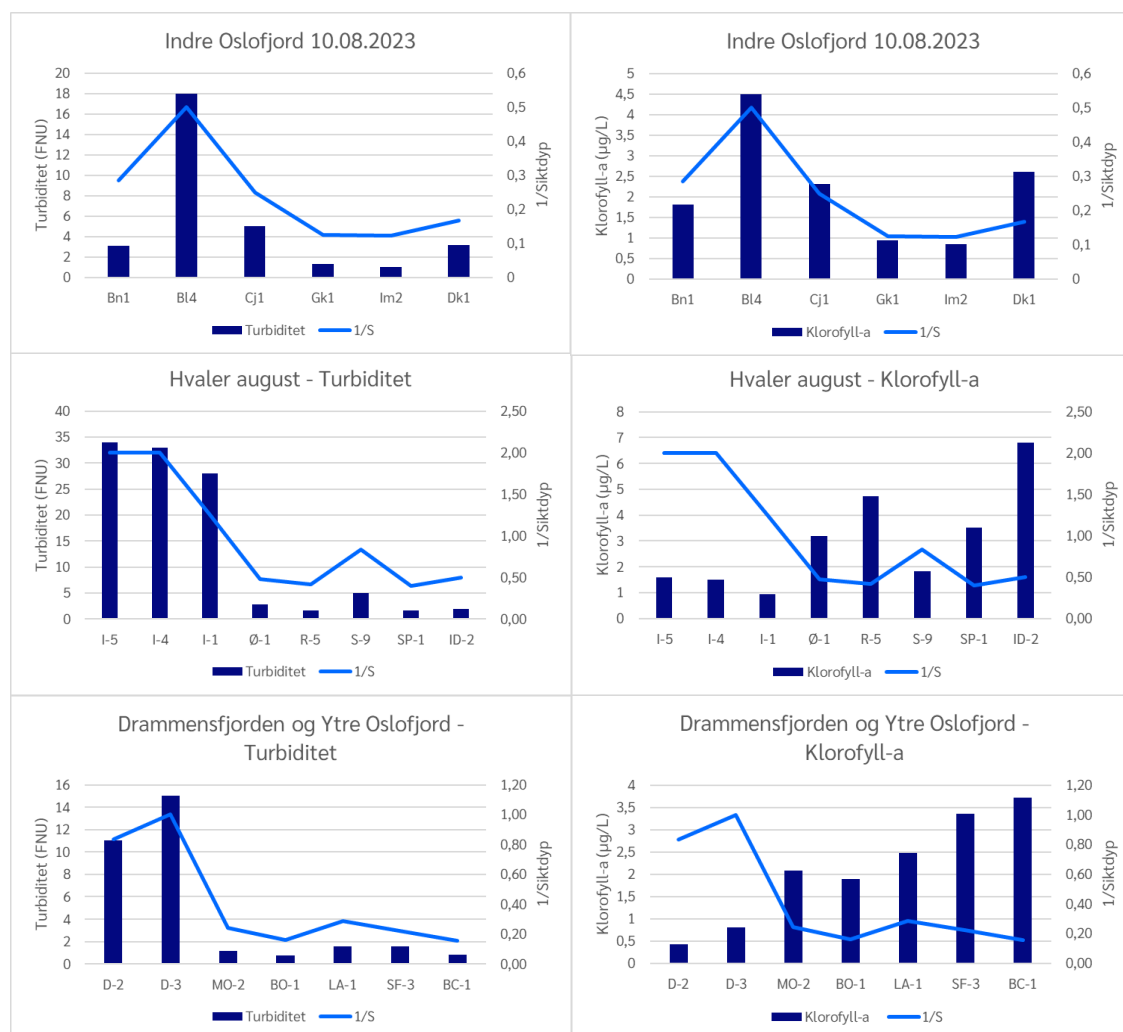


Figur 27. Sammenhengen mellom cDOM og saltholdighet ut fra ulike områder i Oslofjorden basert på data fra 0 og 2m i august og september 2023.

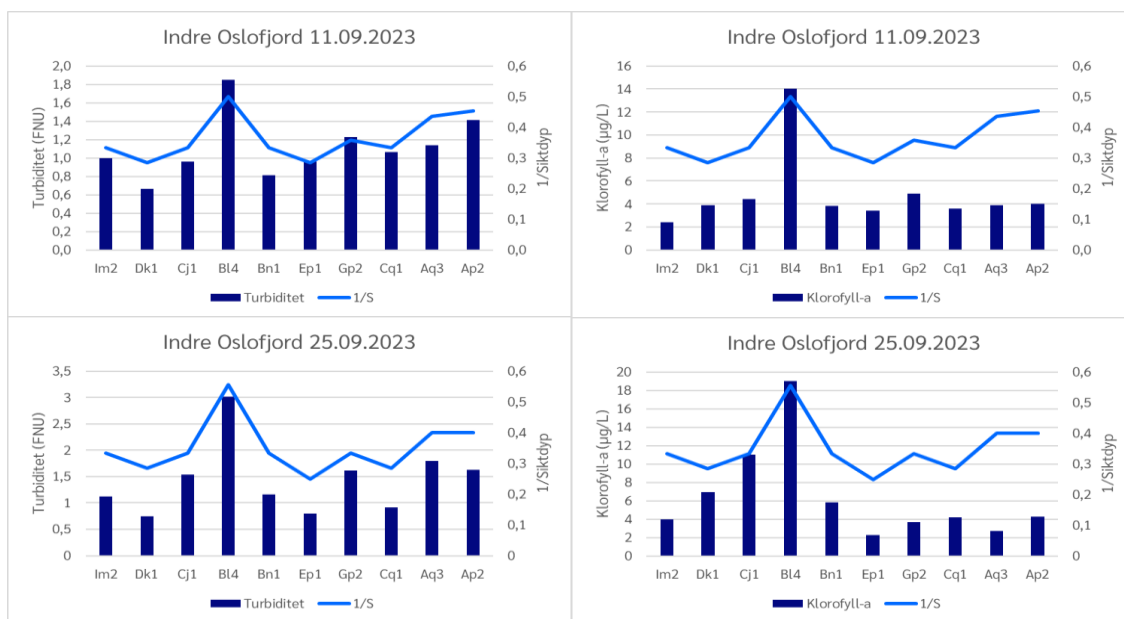
Under er inverst siktdyp (1/siktdyp), turbiditetsmålinger og klorofyll-a-konsentrasjoner plottet mot hverandre i forskjellige deler av fjorden (indre Oslofjord, Drammensfjorden og sentrale deler av ytre Oslofjord, samt Hvaler) for prøvetakningene i august (Figur 28) og september (Figur 29 og Figur 30). Siktdypet er plottet inverst fordi det har et inverst forhold til turbiditet, altså vil det ved høy turbiditet være lavt siktdyp og grumsete vann, mens det ved lav turbiditet vil være høyt siktdyp og klart vann.

Normalt observeres det en negativ sammenheng mellom turbiditet og klorofyll-a-konsentrasjon: Ved høy turbiditet er vannet for mørkt til at planteplanktonet klarer å vokse, på tross av at ferskvannet også kommer med store mengder næringssalter. Dette var situasjonen i indre Oslofjord i august. I ytre Oslofjord var det mer varierende turbiditet, og det var høyere verdier av klorofyll-a der det var lav turbiditet. I september hadde turbiditeten gått betydelig ned i forhold til august, likevel var det siktdyp på bare 2-3 meter, med mørkt, brunt vann i hele indre Oslofjord (Figur 31). Samtidig var det høy klorofyll-a i hele den indre delen av fjorden og det ble registrert en betydelig kiselalgeoppblomstring.

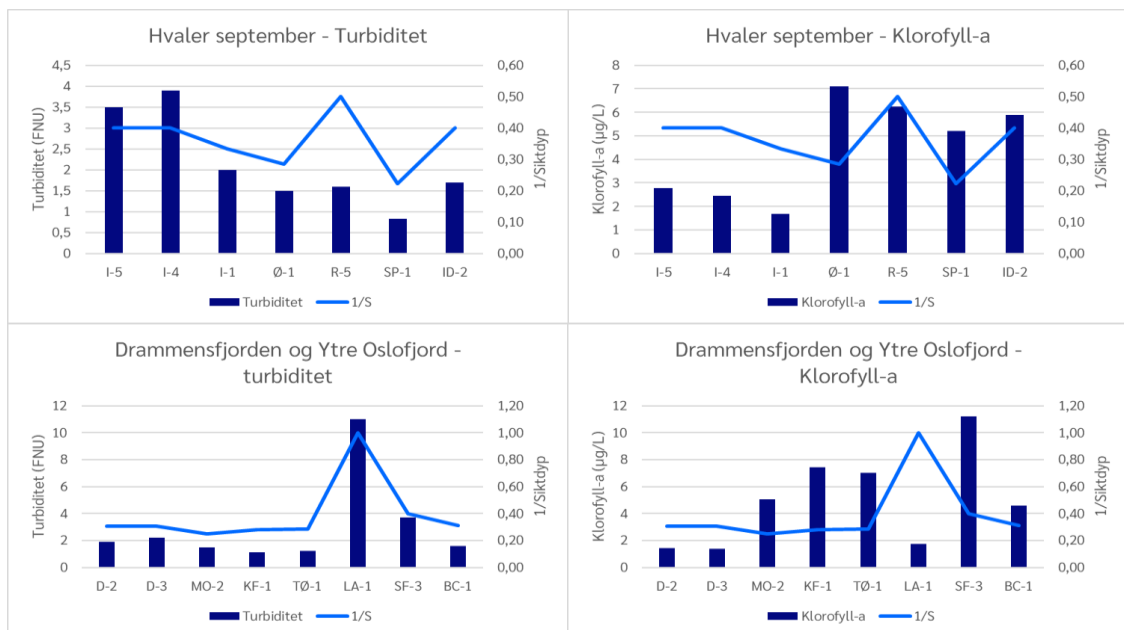
Bærumsbassenget (Bl4) skilte seg ut, ved at det ble målt høye verdier av både turbiditet og klorofyll-a i august og september (Figur 28). Bærumsbassenget er grunt basseng, avskilt fra Vestfjorden med flere trange sund og grunne terskler. Det er normalt sett meget dårlig oksygenforhold i bassenget og ikke uvanlig at det observeres kraftige planteplanktonoppblomstringer. Likevel er det spesielt at planteplanktonet klarer å blomstre samtidig som lysforholdene var så dårlige.



Figur 28. Inverse siktdyp (1/siktdyp) plottet mot turbiditet (FNU) til venstre og klorofyll-a (µg/L) til høyre i august 2023 for indre Oslofjord, Hvaler og Drammensfjorden og sentrale deler av ytre Oslofjord.



Figur 29. Inverse siktdyp (1/siktdyp) plottet mot turbiditet (FNU) til venstre og klorofyll-a (µg/L) til høyre for to prøvetakninger i september 2023 for indre Oslofjord.



Figur 30. Inverse siktdyp (1/siktdyp) plottet mot turbiditet (FNU) til venstre og klorofyll-a (µg/L) til høyre i september 2023 for Hvaler og Drammensfjorden og sentrale deler av ytre Oslofjord.



Figur 31. Brunt vann i Indre Oslofjord, like utenfor stasjonen i Bjørvika (Aq3) den 25 september 2023.

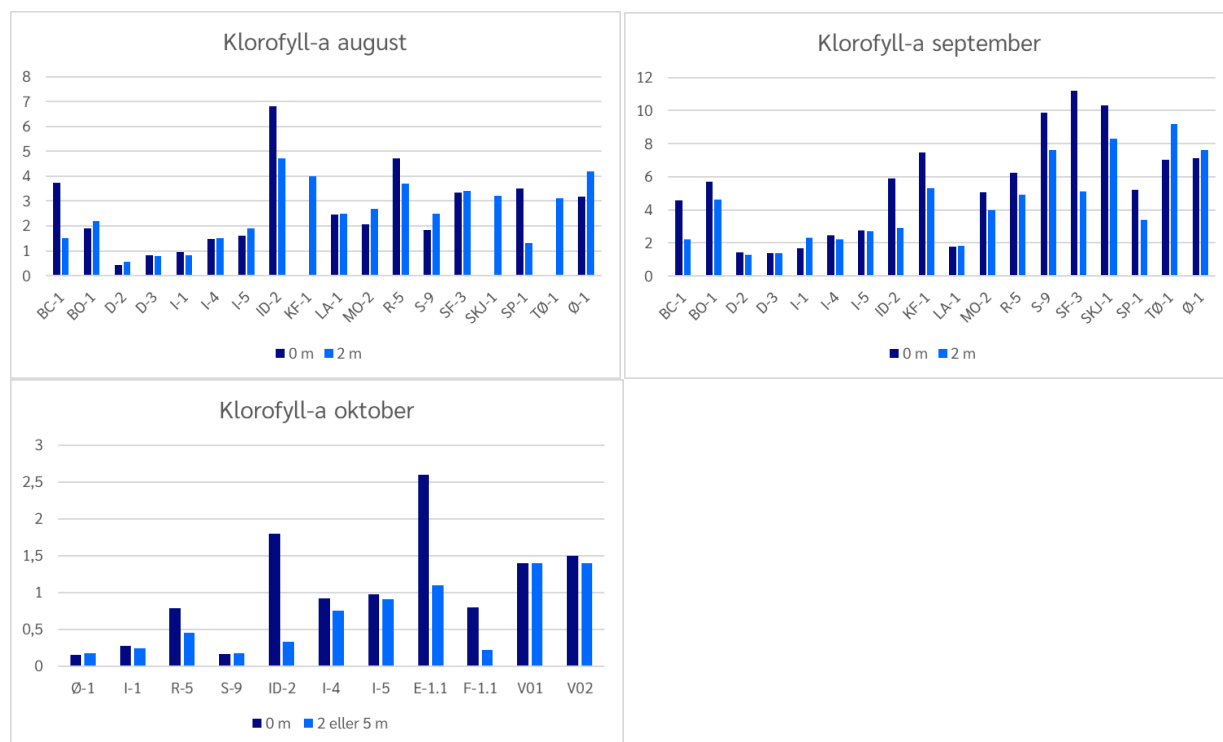
3.2.4. Plante- og dyreplankton

De store mengdene ferskvann som ble tilført Oslofjorden i forbindelse med «Hans» og de påfølgende styrtregn-periodene førte til mørkt vann med dårlige lysforhold, lav salinitet og betydelige tilførsler av næringsstoffer. I løpet av september og oktober resulterte dette i betydelige oppblomstringer av planteplankton i hele Oslofjorden (**Figur 15**). Oppblomstringene startet i de ytre delene av Oslofjorden i september. Innen oktober var det også en kraftig oppblomstring i indre Oslofjord. Planteplankton-samfunnet ved disse oppblomstringene er oppsummert i mer detalj i årsrapportene for overvåkingen i Indre Oslofjord (Valestrand mfl. 2024) og ytre Oslofjord (Engesmo mfl. 2024).

Det er stor forskjell i de fysiske egenskapene til ferskvann og saltvann, og det er et kjent fenomen at ferskvannet som kommer fra elvene legger seg over saltvannet som et eget lag. Ved flomhendelser forsterkes denne effekten på grunn av den store mengden ferskvann som raskt tilføres systemet. Det er derfor nærliggende å tro at det kan være veldig forskjellige samfunn av planteplankton i ferskvannslaget og det underliggende marine vannet. Det ble analysert klorofyll-a fra både 0 og 2 meter i Ytre Oslofjord (standardprøvene i programmet tas på 2 m) og sammenligning av disse målingene er vist i **Figur 32**. Det er inkludert noen ekstra analyser fra Grenlandsområdet i oktober, her er 0 meter sammenlignet med 5 meter, ettersom prøvene i dette programmet samles på 5 m dyp (Staalstrøm og Berezina 2024). Fra Indre Oslofjordprogrammet er det ikke mulig å gjennomføre slike sammenligninger, da standardprøvene i dette programmet er en integrert prøve mellom 0 og 2 meter.

Klorofyll-målinger viser at det på flere stasjoner var en del høyere klorofyll-målinger på 0 meter i forhold til målingene gjort ved 2 m dyp. Særlig gjelder dette stasjoner som typisk sett er sterkt ferskvannspåvirket, som Friertfjorden (BC-1) og to av de andre Grenland-stasjonene (E-1.1 og F-1.1) samt i store deler av Hvaler. Effekten sees imidlertid ikke i Drammensfjorden, som er det mest ferskvannspåvirkede området i Oslofjorden.

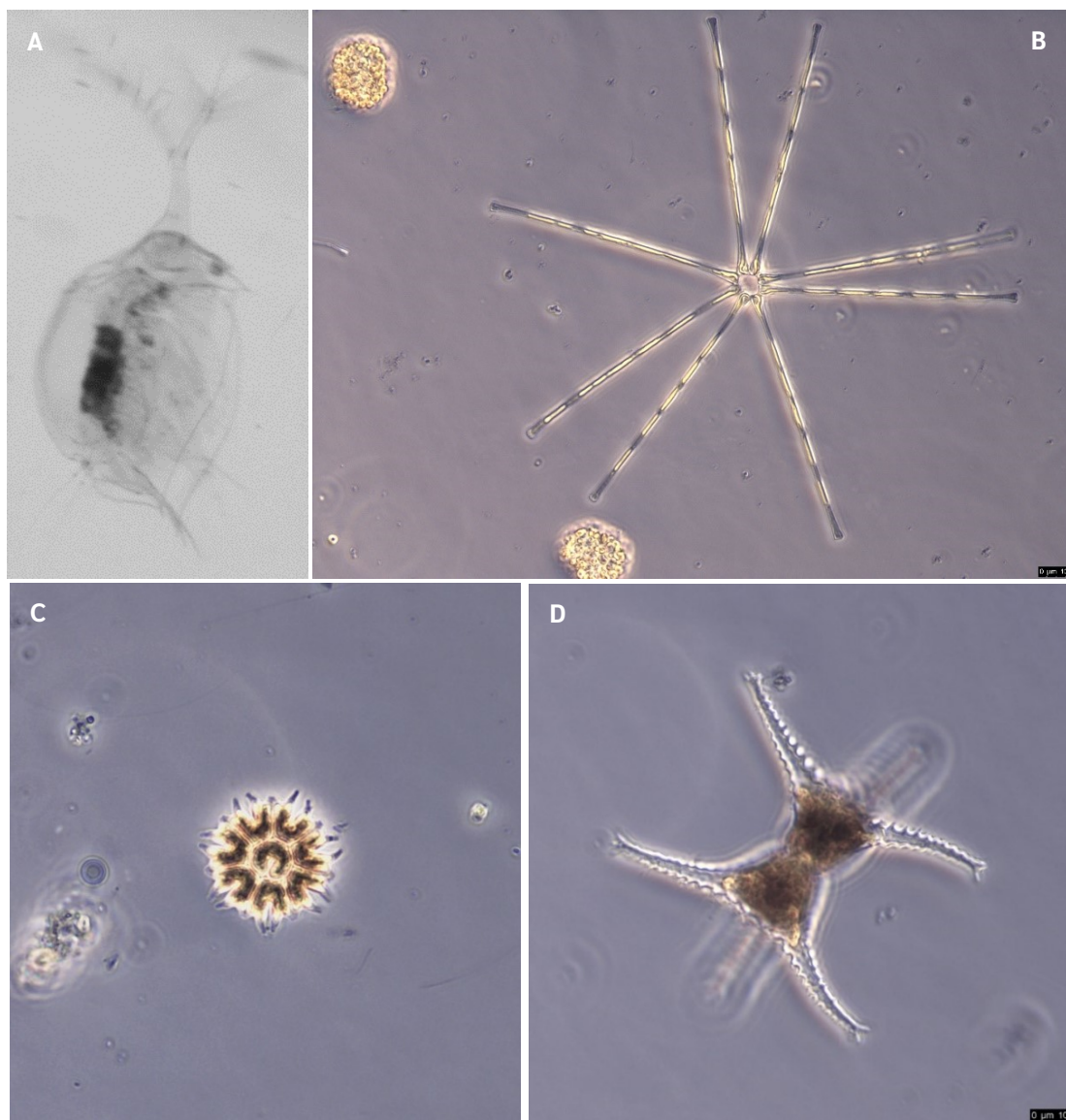
Sandefjordsfjorden er en av de minst ferskvannspåvirkede områdene i Ytre Oslofjord, og i august var det liten forskjell mellom 0 og 2 meter på stasjonen i Sandefjordsfjorden, men i september var det betydelig forskjell mellom de to prøvene og det ble målt hele 11,2 µg/L klorofyll-a i overflatelaget.



Figur 32. Sammenligning av klorofyll-a målinger (µg/L) fra 0 og 2 meter i Ytre Oslofjord fra august, september og oktober 2023. Oktober-prøvetakningen er fra Hvaler (Ø-1, I-1, I-4, I-5, R-5, S-9 og ID-2) og Grenland (E-1.1, F-1.1, V01 og V02). Grenlandsprøvene fra oktober er tatt på 0 og 5 meter.

Det ble observert veldig stor andel ferskvannsarter i de biologiske analysene i både august og september. Utvalgte bilder av disse vises i **Figur 33**. Planteplanktonsamfunnet var veldig påvirket av ferskvannsarter i august og september, særlig gjaldt dette stasjonene i Mossesundet og Hvaler. Det ble registrert mindre ferskvannsarter på vestsiden enn på østsiden av fjorden.

Overvåkningsprogrammet i Indre Oslofjord har inkludert dyreplankton i sin overvåkning fra 2023. I august utgjorde ferskvannsvannlopper i familien *Daphniidae* 5 % av det totale dyreplanktonsamfunnet i denne prøven. Det er ikke vanlig å finne denne familien i saltvann, så det er nærliggende å tro at disse er transportert hit med ferskvannet som en konsekvens av «Hans».



Figur 33. Ferskvannssarter av dyreplankton (A) og planteplankton (B-D) fra de biologiske analysene. A: Ferskvannssloppen Daphniidae fra stasjon Dk1 Steilene utenfor Nesodden i august. Foto: Kristine Hopland Sperre/Akvaplan-niva, B: kiselalgen *Asterionella formosa* fra Drammensfjorden i september, C: Grønnalgen *Parapediastrium biradiatum* fra Mossesundet i august, D: Grønnalge av slekten *Staurastrum* fra Mossesundet i august. Foto: Sonja Kistenich/NIVA.

4 Oppsummerende diskusjon

Data fra Elveovervåkingsprogrammet viser at tilførslene av Tot-N har økt signifikant i Glomma, Drammenselva og Numedalslågen de siste 30 årene (Kaste mfl. 2024). Flere av de store elvene har også signifikante økninger i Tot-P, fosfat, nitrat, TSM, TOC og Tot-Si, hvor sistnevnte er et viktig næringsstoff for kiselalger. De økte tilførslene kan i stor grad tilskrives klimaendringer med økt frekvens og intensitet av flommer. Ekstremværet «Hans» i august 2023 var et tydelig eksempel på dette, da store vannmengder i Glomma og Drammenselva bidro til å belaste Oslofjorden med store mengder partikler, organisk materiale og næringsstoffer. Hendelser som dette illustrerer at interaksjoner mellom ferskvann og kystvann (dvs. land-hav) blir stadig viktigere etter hvert som klimaendringene ser ut til å befestes seg. Både satellittdata og FerryBox data viser også at påvirkninger kan skje langt ut i fjorden.

De største flommene i Glomma og Drammenselva siden 1990 har vanligvis kommet mai/juni, som resultat av sterk snøsmelting i kombinasjon med kraftig nedbør. Flommene under og etter «Hans» skilte seg i så måte ut, ved at de inntraff på sen sommer/tidlig høst og var rene regnvannsflommer. Et annet forhold som kan ha gitt en ekstra stor akkumulert belastning på Oslofjorden, er at det inntraff tre påfølgende flommer i løpet av seks uker i august/september 2023.

I Glomma var månedstransporten av Tot-P og Tot-N i august 2023 den høyeste som er registrert siden ekstremflommen «Vesleofsen» i 1995. Også transporten av Tot-Si i august var inne på «topp 10 listen» over de høyeste månedstransportene siden 1990. I Drammenselva var transporten av Tot-Si i august 2023 den høyeste som er registrert siden 1999 og månedstransporten av Tot-P den tredje høyeste som er registrert siden 1990. Også transporten av Tot-N i august 2023 var også inne på «topp 10 listen» over de høyeste målingene siden 1990. Dette understreker at Oslofjorden i tiden under og etter «Hans» ble tilført betydelige mengder av næringsstoffer som har betydning for vekst av planteplankton. I tillegg ble vannmassene i fjorden påvirket av betydelige mengder partikler og organisk materiale som ble fraktet ut med elvene.

Det er generelt dårlige lysforhold i Oslofjorden, og det har vært kjent i mange år at fjorden blir mørkere. Dette er også et kjent fenomen lenger ut i Skagerrak og i Nordsjøen (Frigstad mfl. 2020, 2023). Der det er mye partikler og grumsete vann reduseres siktdypet, noe som gir dårligere levestandard for de fleste organismer som lever i vannmassene og på bunnen av fjorden. Dårlig siktdyp er tett knyttet til begrepet «kystformørkning» som er observert i både Skagerrak, Nordsjøen og Østersjøen i de senere år. Man antar at formørkningen er knyttet til økt tilførsel av humusstoffer som gjerne måles som TOC i ferskvann og DOC i sjøvann. DOC bidrar til økt lyssvekking i vannsøylen slik at mindre lys trenger ned i dypet. I kombinasjon med turbiditet som også reduserer siktdypet og lysmengden til dypet, vil DOC og særlig den fargede andelen (cDOM) av DOC endre kvaliteten på lyset. Spesielt vil cDOM absorbere den blå delen av lyset, noe som gjør at denne viktige delen av lysspekteret for planteplanktonets pigmenter for å opprettholde primærproduksjonen reduseres relativt sett mer enn total lysmengde. Dette er også med på å forklare at vannet blir mørkere, ved at en større andel av det blå lyset blir borte og ikke reflekteres tilbake til overflaten slik at det gir den normale blågrønne fargen for kystvannet. Vannets farge presses over mot rødt, som observeres mørkere og brunere.

Data fra FerryBox viste at saltholdigheten i Oslofjorden var usedvanlig lav i slutten av august og i store deler av september og begynnelsen av oktober 2023. Et satellittbilde over Oslofjorden som ble tatt den 2. september 2023 (etter den andre kraftige nedbørsperioden) viser stor ferskvannspåvirkning fra Drammenselva til Drammensfjorden og fra Glomma til Hvaler med tydelige partikkelskyer som strekker seg langt ut i Oslofjorden. Dette viser at ikke bare «Hans», men også de to senere styrtregnperiodene hadde stor påvirkning på Oslofjorden i løpet av høsten 2023. Data fra FerryBox, satellittbilder og

vannprøver fra fjorden viser en tydelig sammenheng mellom ferskvannspåvirkning og økt mengde av partikler (turbiditet) og farget organisk stoff (cDOM fluorescens).

Med flomvannet kommer også store mengder næringsstoffer som potensielt kan stimulere nye algeoppblomstringer i en periode da det vanligvis mangler næringsstoffer. Men for at planktonet skal kunne vokse, trenger algene også nok lys, noe som under ekstremvær og store flomhendelsene blir en begrensende faktor på grunn av de høye tilførselene av partikler og humus-stoffer som reduserer mengden og kvaliteten på lyset. Dette så ut til å være tilfellet etter den første og største flommen i august, da mørkt vann og dårlige lysforhold så ut til å hemme algeveksten. Det eneste unntaket fra dette var i Bærumsbassenget, der det ble målt høye verdier av både turbiditet og klorofyll-a i august. Det er usikker hva som medførte dette, men Bærumsbassenget er svært innelukket, har normalt dårlige oksygenforhold og opplever hyppige algeoppblomstringer. De påfølgende flommene i slutten av august og slutten av september hadde tilsynelatende mindre innvirkning på lysforholdene i vannsøylen, slik at det resulterte i betydelige algeoppblomstringer i hele Oslofjorden i september og oktober.

Planteplanktonsamfunnet var veldig påvirket av ferskvannsarter i august og september, særlig i Mossesundet og rundt Hvaler. Også dyreplanktonet var påvirket: I Indre Oslofjord utgjorde ferskvannsvannlopper 5 % av det totale dyreplanktonsamfunnet i august. I tillegg til kortvarig forekomst av ferskvannsarter, er det også en mulighet for at stadig gjentatt flomepisoder som bringer med seg en blanding av partikler, organisk stoff og næringsstoffer kan gi framvekst av nye, opportunistiske arter som er tolerante i forhold til omskiftende miljøbetingelser og reduserte lysforhold. Høye konsentrasjoner av partikler og organisk stoff i vannsøylen etter flommer vil også være substrat for mikroorganismer som kan bryte ned organisk bundne næringsstoffer til uorganiske og mer biotilgjengelige former, og etterfølgende sedimentasjon av det organiske og partikulære materialet (når vannet klarer) vil over tid kunne endre leveområdene for bunnlevende planter og dyr.

Selv om flommer er å betrakte som naturlige hendelser i ferskvannspåvirkete systemer som Oslofjorden, kan det tenkes at økt frekvens og intensitet av flommer som følge av klimaendringer vil gi gjentatte «forstyrrelser» som over tid kan føre til mer permanente endringer i økosystemenes struktur og funksjon. Det er derfor viktig at overvåkingsprogrammene, som til vanlig er basert på faste prøvetakingsrutiner, også kan inneha en fleksibilitet som tillater ekstra prøvetaking for å dokumentere effekter av ekstremvær eller andre hendelser på berørte vannforekomster.

5 Referanser

- Engesmo A, Gran S, Borgersen G, Beylich B, Kaste K, Saesin P, Valestrand L, Harvey T, Sørensen K. 2024. Overvåking av Ytre Oslofjord 2019-2023 - Årsrapport 2023. NIVA-rapport 7998-2024, 75 s.
- Frigstad H, Kaste Ø, Deininger A, Kvalsund K, Christensen G, Bellerby R.G.J, Sørensen K, Norli M, King A L. 2020. «Influence of Riverine Input on Norwegian Coastal Systems». *Frontiers in Marine Science*, 7, 332. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00332>
- Frigstad H, Andersen GS, Trannum HC, McGovern M, Naustvoll LJ, Kaste Ø, Deininger A, Hjermann DØ. 2023. Three decades of change in the Skagerrak coastal ecosystem, shaped by eutrophication and coastal darkening. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 283:108193
- Førland EJ, Dyrørdal AV. 2018. Trend analyses for short duration rainfall in Norway. In: Sorteberg A, Lawrence D, Dyrørdal AV, Mayer S, Engeland K (Eds.): Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding - implications for design values. The Norwegian Centre for Climate Services (NCCS), report no. 1/2018
- Faafeng B, Berge JA, Bjerkeng B, Helland A, Holtan H, Holtan G, Kjellberg G, Källquist TS, Moy F, Skulberg OM, Sørensen K, Walday M. 1996. «Flommen på Østlandet våren 1995. Sammenstilling av NIVAs undersøkelser med spesiell vekt på måleprogrammet i Glomma og Vorma». NIVA-rapport 3840, 80 sider.
- Gangstø R, Grinde L, Heiberg H, Mamen J, Tajet HTT, Tunheim K, Aaboe S. 2023. «Været i Norge. Klimatisk månedsoversikt. Året 2023». *MET info*, no. 13-2023, 27 sider.
- Harvey T, Kratzer S, Andersson A. 2015. «Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea». *Ambio*, 44, 392-401.
- Kaste Ø, Gundersen CB, Sample J, McGovern M, Skancke LB, Allan I, Jenssen MTS, Bæk K, Skogan OA. 2024. The Norwegian river monitoring programme 2023 – water quality status and trends. Norwegian Environment Agency, report M-2838/2024, NIVA report 8007, 52 pp.
- Staalstrøm A & Berezina A. 2024. «Overvåkning for Porsgrunn og Bamble kommune i 2023». NIVA-rapport 7967-2024, 28 sider.
- Valestrand L, Staalstrøm A, Saesin P, Jørgensen S, Sperre KH, Engesmo A, Harvey T, Sørensen K, Kistenich S, Gundersen H. 2024. «Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord, Årsrapport 2023». NIVA-rapport 7990-2024. 94 sider.

6 Vedlegg

6.1 Satellittdata vs. *in situ* data

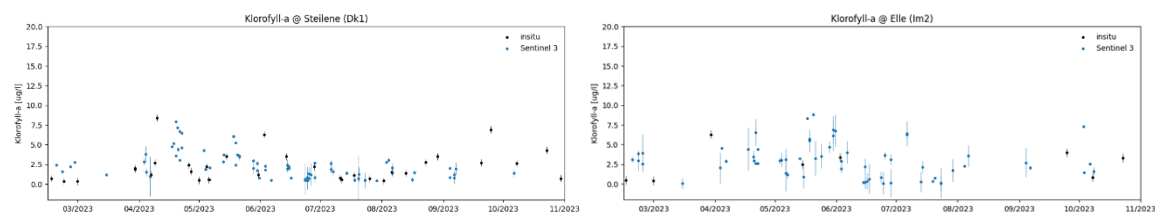
Figur 34. (under). Tidsserier i 2023 med klorofyll-a konsentrasjon (mg/m^3) og turbiditet (FNU) fra *in situ*-målinger og satellittdata av middelverdien av 5-9 pixler fra omkring stasjonen, der Sentinel-3 data vises som blå punkter og *in situ* som sorte punkter. Satellittdata er Sentinel-3A & B (begge C2RCC prosessert). Usikkerheten til satellittdata er standardavviket for hver dag og for *in situ*-data med 20 % avvik. Merk at y-verdier er forskjellig for de ulike stasjonene. Alle satellitt-resultater under flom perioder er foreløpige og absolutte verdier skal ikke brukes uten at det er fokus på den relative forandringen. Under en flom forenders sammensetningen av de ulike optiske parameterne med de ekstreme verdi i fjorden, dette kan gjøre at algoritmene er utenfor sin trenings størrelse og absolutte verdi bør ikke brukes, men figurere viser på en forhøyet nivåer også i *in situ* målinger.

Indre Oslofjord

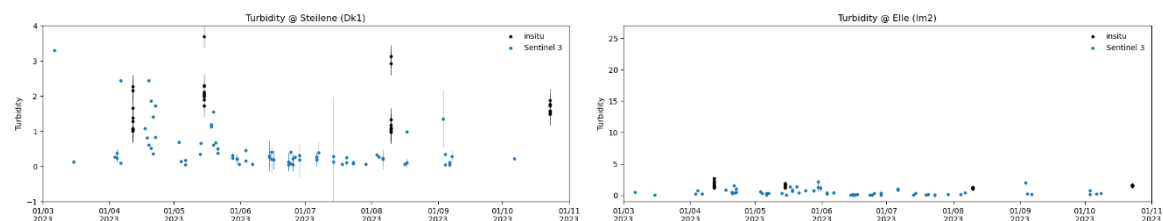
Klorofyll-a

Dk1 Steilene

Im2 Elle i Drøbaksundet



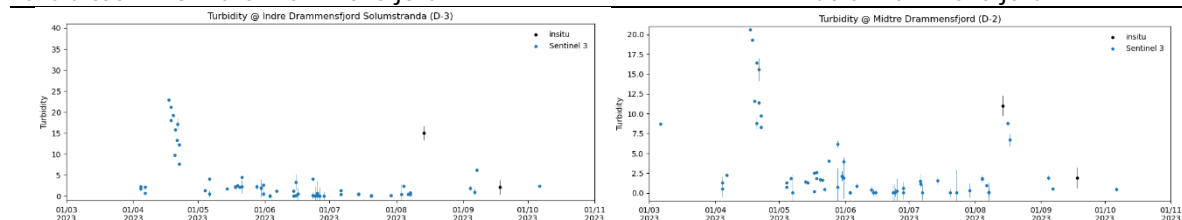
Turbiditet



Drammensfjorden

Turbiditet D-3 Indre Drammensfjord

D-2 Midtre Drammensfjord

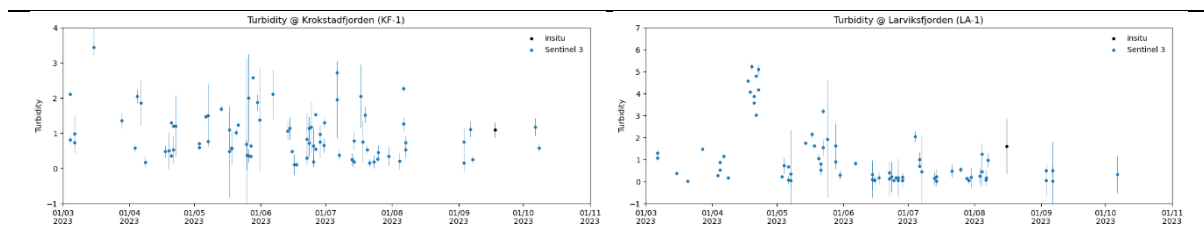


Ytre Oslofjord

Turbiditet

KF-1 Krokstadfjorden

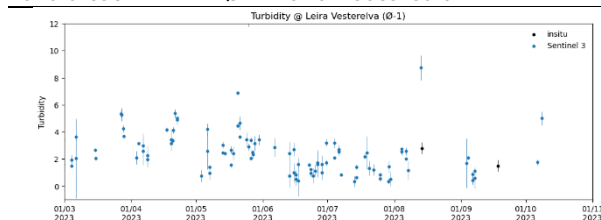
LA-1 Larviksfjorden



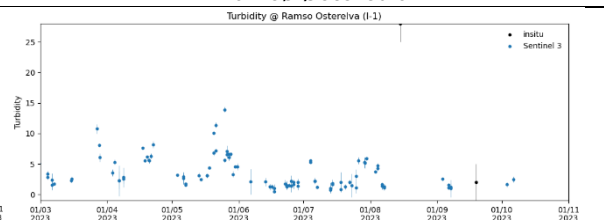
Hvaler

Turbiditet

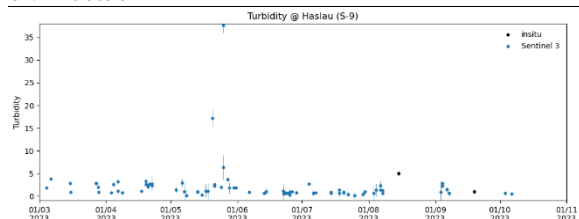
Ø-1 Leira Vesterelva



I-1 Ramsø Østerelva



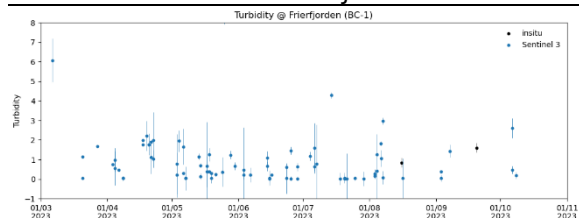
S-9 Haslau



Grenland

Turbiditet

BC-1 Frierfjorden





Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt 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.