

# Resipientmodellering Vormå, Glomma og Øyeren

Vurdering av resipientens tilstand og  
avløpsrenseanleggenes påvirkning



Foto: Glomma / DHI

Denne rapport er utarbeidet under DHIs ledelsessystem, som er sertifisert av Bureau Veritas  
for overensstemmelse med ISO 9001 (kvalitetsstyring)

ISO 9001  
Management System Certification  
BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



Godkjent av

02.04.2024

X *Christian Almestad*

Approved by

Signed by: Christian Almestad



# Resipientmodellering Vorma, Glomma og Øyeren

Vurdering av avløpsrenseanleggs påvirkning på resipientene

Utarbeidet for MIRA IKS  
Representert ved Eirik Rismyr, daglig leder



|                    |                                                  |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| Prosjektleder      | Christina Pokriefke Ekeheien                     |
| Utførende          | Mathias S. Frøseth, Pui Yoong Hew og Rachel Wong |
| Kvalitetsansvarlig | Christian Almestad                               |

|                   |            |
|-------------------|------------|
| Prosjektnummer    | 13801541   |
| Godkjennelsesdato | 02.04.2024 |
| Revisjon          | Final 1.0  |
| Klassifikasjon    | Åpen       |

## INNHALDSFORTEGNELSE

|          |                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning.....</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Om avløpsrenseanleggene og resipienten .....</b>           | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Metode og modelloppsett .....</b>                          | <b>6</b>  |
| 3.1      | Modellverktøy.....                                            | 6         |
| 3.2      | Grunnlagsdata .....                                           | 7         |
| 3.3      | 1D-modell Vorma og Glomma .....                               | 11        |
| 3.3.1    | Hydrodynamisk modell.....                                     | 11        |
| 3.3.2    | Vannkvalitetsmodell .....                                     | 13        |
| 3.4      | 3D-modell Øyeren .....                                        | 17        |
| 3.4.1    | Hydrodynamisk modell.....                                     | 17        |
| 3.4.2    | Vannkvalitetsmodell .....                                     | 22        |
| <b>4</b> | <b>Avløpsrenseanleggenes påvirkning på resipientene .....</b> | <b>26</b> |
| 4.1      | Vurderingskriterier for tilstand .....                        | 26        |
| 4.2      | Utslipp fra avløpsrenseanleggene .....                        | 28        |
| 4.3      | Tilstand og påvirkning i Vorma og Glomma .....                | 33        |
| 4.4      | Tilstand og påvirkning i Øyeren .....                         | 36        |
| 4.5      | Oppsummering.....                                             | 50        |
| <b>5</b> | <b>Videre bruk av modellene .....</b>                         | <b>51</b> |
| <b>6</b> | <b>Referanser .....</b>                                       | <b>53</b> |

## VEDLEGG

**VEDLEGG A – Oppsett og validering av den hydrodynamiske modellen av Øyeren**

**VEDLEGG B – beskrivelse av prosesser knyttet til fosfor og nitrogen i vannkvalitetsmodellene**

**VEDLEGG C – kalibreringsresultater vannkvalitetsmodeller**

**VEDLEGG D – resultater vannkvalitetsmodeller**

## Sammendrag

DHI har på oppdrag for MIRA IKS, Eidsvoll kommune, Nes kommune og Enebakk kommune utviklet resipientmodeller for Vormå, Glomma mellom Funnefoss og Fetsund, og Øyeren. Modellene er benyttet til å analysere tilstanden til resipientene og påvirkning fra utslipp fra avløpsrenseanleggene Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss, Tangen, NRVA, OREA, Flateby og Kirkebygda. Hensikten med studiet er å fremskaffe et helhetlig kunnskapsgrunnlag for vurdering av fremtidige tiltak i resipienten og renseanleggene sett i lys av nye krav i revidert avløpsdirektiv.

Resipientmodellene er satt opp i programvaren MIKE Powered by DHI. De inkluderer dynamisk beskrivelse av strømningsforhold, transport av næringssalter, suspendert stoff og sedimenter, samt kjemiske og biologiske prosesser i vassdragene. Strømningsforholdene i elver og dype innsjøer er vidt forskjellige og vannkvalitetsprosesser styres av ulike parametere. Derfor er det for Vormå og Glomma utviklet en 1D-modell, og Øyeren en 3D-modell som også inkluderer en komplett eutrofieringsmodell. Modellene er utviklet basert på data fra en rekke ulike kilder som blant annet batymetriske og hydrologiske data fra NVE, atmosfæriske data fra NORA3, utslippsdata fra renseanleggene og miljøovervåkningsdata. Kalibrering er utført for perioden 2017-2022 mot både hydrodynamiske data og miljøovervåkningsdata, og resultatene viser godt samsvar mellom simuleringer og observerte data.

De ferdig kalibrerte modellene er benyttet til å vurdere resipientenes tilstand basert på en sammenhengende dynamisk simulering av perioden 2017-2022. Resipientenes tilstand er vurdert etter et utvalg fysisk-kjemiske parametere og klassegrenser iht. Direktorsgruppen for gjennomføringen av vannforskriftens veileder 02:2018 *Klassifisering av miljøtilstand i vann*. For å vurdere renseanleggenes påvirkning på resipientene er det utført massebalanseberegninger basert på resultater fra simuleringer både med og uten utslipp fra renseanleggene. Basert på simuleringene er det også laget en rekke statistiske tall, tidsserieplott, 2D-kart, vertikal- og lengdeprofiler for ulike fysisk-kjemiske parametere.

Resultatene fra 1D-modellen viser at tilstanden i Vormå kan klassifiseres med svært god for totalt fosfor og god til moderat for totalt nitrogen. Det er gode oksygenforhold i elven, konsentrasjonene er langt over klassegrensen for svært god tilstand. Resultatene sammenfaller med informasjonen i Vann-Nett Portal. Utslippene fra Minnesund og Bårlidalen renseanlegg står for ca. 1.5 % av mengdene totalt fosfor og totalt nitrogen i resipienten. Renseanleggene har liten påvirkning på resipienten, og utslippene er ikke store nok til å endre tilstanden.

Videre viser resultatene fra 1D-modellen at tilstanden i Glomma mellom Funnefoss og Fetsund kan klassifiseres med svært god for totalt fosfor og svært god til god for totalt nitrogen. Det er gode oksygenforhold i elven, konsentrasjonene er langt over klassegrensen for svært god tilstand. Resultatene sammenfaller med informasjonen i Vann-Nett Portal. Utslippene fra Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss og Tangen renseanlegg står for ca. 2 % av mengdene totalt fosfor og ca. 4 % av totalt nitrogen. Avløpsrenseanleggene gir noe økte konsentrasjoner, spesielt ved overløpshendelser. Renseanleggene har likevel liten påvirkning på resipienten, og utslippene er ikke store nok til å endre tilstanden.

Resultatene fra 3D-modellen av Øyeren viser et tydelig skille i tilstanden mellom de grunne områdene i Svellet og resten av Øyeren. Tilstanden i Svellet kan klassifiseres som svært dårlig til dårlig for totalt fosfor og totalt nitrogen og moderat til dårlig for klorofyll a. Det er på den andre siden gode oksygenforhold i innsjøen, konsentrasjonene er langt over klassegrensen for svært god tilstand. Nedstrøms samløpet med Glomma forbedres forholdene i Øyeren betydelig, og tilstanden klassifiseres som god til moderat for totalt fosfor og totalt nitrogen, samt god til svært god for klorofyll a. Renseanleggene samlet står for ca. 2 % av totalt fosfor og ca. 3 % av totalt nitrogen i Øyeren. Utslippene fører til mindre økninger i konsentrasjoner i innsjøen, mest fremtredende fra Flateby RA og videre nedstrøms. Renseanleggene har liten påvirkning på resipienten, og utslippene er ikke store nok til å endre tilstanden.

Modellresultatene viser at sirkulasjonen i Øyeren er typisk fullsirkulasjon. Fullsirkulasjon i en innsjø oppstår når temperaturen blir jevn gjennom hele vannsøylen, noe som fører til at vannet blander seg fra overflaten til bunnen. Dette fenomenet skjer typisk om våren og høsten, og det hjelper til med å fordele oksygen og næringsstoffer gjennom hele innsjøen. Massebalanseberegningene for perioden viser at fysisk-kjemiske og biologiske prosesser i resipientene omsetter en betydelig andel av utslippene fra renseanleggene. Basert på modellresultatene er det grovt estimert at ca. 35-50% av utslippene Tot-P og ca. 60-70% av Tot-N fra renseanleggene transporteres videre nedstrøms i Glomma.

En modell vil aldri bli bedre enn dataene benyttet til å utvikle modellen og drive simuleringene. Selv om modellene viser gode kalibreringsresultater, er det fortsatt usikkerheter knyttet til resultatene. Usikkerhetene er primært knyttet til varierende tilgang på utslippsdata ved renseanleggene, mangel på sedimentdata i vassdragene, og få målepunkter og data fra Miljøovervåkingen til å benytte til kalibrering. Modellene utgjør et fleksibelt rammeverk som er enkelt å bygge videre på, utvide og tilpasse med beskrivelse av f.eks. flere biologiske prosesser, bakterier, tungmetaller og mikroforurensninger. Modellene er svært godt egnet til en rekke ulike analyser som blant annet klimaendringer, fortetting, befolkningsvekst og endring av utslippsmengder, flytting av utslippspunkt og endring av renseprosesser m.m.

## 1 Innledning

DHI har på oppdrag for MIRA IKS, Eidsvoll kommune, Nes kommune og Enebakk kommune utviklet resipientmodeller for Vormå, Glomma fra Funnefoss til Fetsund, og Øyeren. Modellene er benyttet til å analysere tilstanden til resipientene og påvirkningen fra utslipp fra avløpsrenseanleggene Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss, Tangen, NRVA, OREA, Flateby og Kirkebygda. Hensikten med studiet er å fremskaffe et helhetlig kunnskapsgrunnlag ved vurdering av fremtidige tiltak i resipienten og renseanleggene sett i lys av nye krav i revidert avløpsdirektiv.



Figur 1-1: Oversiktskart avløpsrenseanlegg og resipient

Modellen er satt opp og kalibrert basert på utslippsdata fra kommunene, en rekke hydrologiske data fra NVEs målestasjoner og data fra miljøovervåkingen av Vormå, Glomma og Øyeren. Resultater er presentert for en rekke punkter i Vormå, Glomma og Øyeren.

## 2 Om avløpsrenseanleggene og resipienten

Avløpsrenseanleggene i studien inkluderer Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss, Tangen, NRA (inkludert OREA), Flateby og Kirkebygda. Tabell 2-1 viser en oversikt over renseprosesser, kapasitet og resipientene til anleggene. Plasseringen av utslippspunktene til anleggene er vist på Figur 1-1.

Tabell 2-1: Oversikt avløpsrenseanlegg, renseprosesser, kapasiteter og resipient

| Anlegg                                       | Eier             | Renseprosesser             | Kapasitet  | Resipient |
|----------------------------------------------|------------------|----------------------------|------------|-----------|
| Minnesund                                    | Eidsvoll kommune | Mekanisk/kjemisk           | 1 300 PE   | Vorma     |
| Bårlidalen                                   | Eidsvoll kommune | Mekanisk/biologisk/kjemisk | 35 000 PE  | Vorma     |
| Fjellfoten                                   | Nes kommune      | Biologisk/kjemisk          | 30 000 PE  | Glomma    |
| Rånåsfoss                                    | Nes kommune      | Biologisk/kjemisk          | 800 PE     | Glomma    |
| Tangen                                       | MIRA IKS         | Biologisk/kjemisk          | 63 000 PE  | Glomma    |
| NRA hovedanlegg                              | NRVA IKS         | Mekanisk/biologisk/kjemisk | 135 000 PE | Nitelva   |
| NRA OREA                                     | NRVA IKS         | Mekanisk/biologisk/kjemisk | -          | Nitelva   |
| Flateby                                      | Enebakk kommune  | Mekanisk/kjemisk           | 4 000 PE   | Øyeren    |
| Kirkebygda/<br>Enebakk<br>sentralrenseanlegg | Enebakk kommune  | Biologisk/kjemisk          | 12 500 PE  | Øyeren    |

Utslippene fra anleggene går ut i resipientene Vorma, Glomma, Nitelva og Øyeren. Vorma er et kalkpåvirket vassdrag og er i henhold til VannNett-Portal klassifisert som vanntype R109 kalkrik, klar. Den økologiske tilstanden er klassifisert med moderat tilstand mellom Mjøsa og Svanfoss, og god tilstand mellom Svanfoss og utløp i Glomma. Begge strekninger har god tilstand for totalt nitrogen og svært god tilstand for totalt fosfor. Glomma mellom Funnefoss og Øyeren er klassifisert som vanntype R108, moderat kalkrik, humøs. Den økologiske tilstanden er oppgitt som dårlig, men det er svært god tilstand for både totalt fosfor og totalt nitrogen.

Øyeren er i henhold til VannNett-Portal klassifisert som vanntype L107, moderat kalkrik, klar. Den økologiske tilstanden er definert som god, hvor den nordlige delen har moderat tilstand for totalt nitrogen og totalt fosfor, mens tilstanden for den nordlige delen er god.

Klassegrensene for tilstand for totalt fosfor og totalt nitrogen som benyttes til å presentere og vurdere resultatene av modelleringen er samme som i Veileder 02:2018 *Klassifisering av miljøtilstand i vann*.



### 3 Metode og modelloppsett

For å vurdere avløpsrenseanleggenes påvirkning på resipientene Vorma, Glomma og Øyeren er det satt opp og kalibrert to separate resipientmodeller av vassdragene i MIKE-programvare. Hver resipientmodell består av to hovedkomponenter:

1. En **hydrodynamisk modell** som simulerer strømmingen (vannføring, nivåer og hastigheter, strømningsretning m.m.).
2. En **vannkvalitetsmodell (biogeokjemisk)** som benytter resultatene fra den hydrodynamiske modellen som inndata og simulerer transport av næringsstoffer, suspendert stoff og biologiske prosesser.

Strømningsforholdene i elver og dype innsjøer er vidt forskjellige og vannkvalitetsprosesser styres av ulike parametere. I elver er det den horisontale transporten av vannmassene som er styrende, og vannkvalitet kan beskrives med fokus på transport av næringsemner og nedbrytning av organisk materiale (BOF). For Vorma og Glomma er det derfor satt opp en 1-dimensjonal modell. I innsjøer er strømmingen i overflaten og bunnlagene ulik. Temperaturlagdelingen, den vertikale blandingen, oppholdstider og oksygenforhold mellom vannmassene i overflaten og bunnen er viktige parametere for vannkvaliteten. Vannkvaliteten i Øyeren vil påvirkes av både eutrofiering nær overflaten og oksygenmangel på bunnen, og krever et mer komplekst modelleringsoppsett for å kunne beskrive fullt ut. Det er derfor nødvendig med en 3-dimensjonal modell av Øyeren.

#### 3.1 Modellverktøy

Resipientmodellene er satt opp i DHIs programvare MIKE Powered by DHI. MIKE er en portefølje av en rekke ulike modeller som kan simulere alle hydrologiske prosesser og strømming i elver, innsjøer, kyststrøk, hav, porøse medier (grunnvann) og hydraulisk infrastruktur (f.eks. VA-nett). I tillegg inneholder MIKE en rekke moduler for simulering vannkvalitetsparametere deriblant.



Figur 3-1: Oversikt MIKE Powered by DHI programvareportefølje

Den hydrodynamiske modellen av Vorma og Glomma er satt opp med modulen *1D Rivers* i MIKE+. Øyeren er satt opp med MIKE 3 Flow Model Flexible Mesh. Vannkvalitetsmodellene består av *MIKE Advection-Dispersion* som beskriver transportmekanismene for oppløste stoffer og suspenderte sedimenter basert på resultater fra de hydrodynamiske modellene, og *MIKE Eco Lab* som beskriver økologiske prosesser som f.eks. nedbrytning og omsetning av næringssalter, eutrofiering m.m. MIKE Eco Lab er et åpent og generisk verktøy som kan tilpasses ulike akvatiske økosystemer for å simulere for eksempel vannkvalitet, eutrofiering, tungmetaller og økologi. For Vorma og Glomma er det benyttet standardmalen i MIKE Eco Lab for 1D-modeller av elver. Øyeren benytter en noe mer omfattende Eco Lab beskrivelse som inkluderer en komplett eutrofieringsmodell.

Mer informasjon om de ulike MIKE-programvarene kan leses i den vitenskapelige dokumentasjonen:

MIKE+:

- [htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Water\\_Resources/MIKE\\_1D\\_reference.pdf](Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Water_Resources/MIKE_1D_reference.pdf)
- [htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE\\_Plus\\_River.pdf](htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE_Plus_River.pdf)

MIKE 3 FM:

- [htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast\\_and\\_Sea/MIKE\\_321\\_FM\\_Scientific\\_Doc.pdf](Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/MIKE_321_FM_Scientific_Doc.pdf)
- [htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast\\_and\\_Sea/M3M21AD\\_SCD.pdf](Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/M3M21AD_SCD.pdf)

MIKE Eco Lab:

- [htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/General/MIKE\\_ECO\\_Lab\\_ShortScientific.pdf](Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/General/MIKE_ECO_Lab_ShortScientific.pdf)
- [htTot-Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/General/DHI\\_MIKE1D\\_BiologicalProcesses.pdf](Ps://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/General/DHI_MIKE1D_BiologicalProcesses.pdf)

## 3.2 Grunnlagsdata

Modellene er utviklet og kalibrert på et grunnlag som består av utslippsdata fra avløpsrensaneanleggene, data fra overvåkingen av vassdragene og ulike data fra en rekke andre kilder. En oversikt over parametere målt ved anleggene utover mengde er vist i Tabell 3-3. Hvilke næringsstoffer som måles og målefrekvensen varierer mellom anleggene. Enkelte av anleggene måler ikke totalt nitrogen (Tot-N) og her er konsentrasjonen estimert som  $Tot-N = 7 * Tot-P$ . Noen av anleggene måler heller ikke næringsstoffer i overløpene. Det antas det at konsentrasjoner i overløpet er lik konsentrasjonen i innløpet til anleggene. For å skape kontinuerlige tidsserier for perioden 2017-2022 er dataene lineært interpolert mellom prøvetakingstidspunktene.

Vannkvalitetsdata for vassdragene er lastet ned fra Miljødirektoratets web-applikasjon *Vannmiljø*. En oversikt over målestasjoner, parametere og dataperioder benyttet i studiet er vist i Tabell 3-2. Plassering av målepunktene er vist i Figur 3-2. Parametere lastet ned inkluderer totalt fosfor (Tot-P), totalt nitrogen (Tot-N), totalt organisk karbon (TOC), fosfat ( $PO_4$ ), ortofosfat ( $PO_4-P$ ), nitrogendioksid ( $NO_2$ ), nitrat ( $NO_3$ ), ammoniakk ( $NH_3$ ),

ammonium (NH<sub>4</sub>), oksygen (DO), klorofyll a (CH) og siktedyp. Oversikt over øvrige data benyttet i modelleringen er vist i Tabell 3-3. Lokasjonen til NVEs hydrologiske målestasjoner benyttet i modelleringen er vist i Figur 3-2.

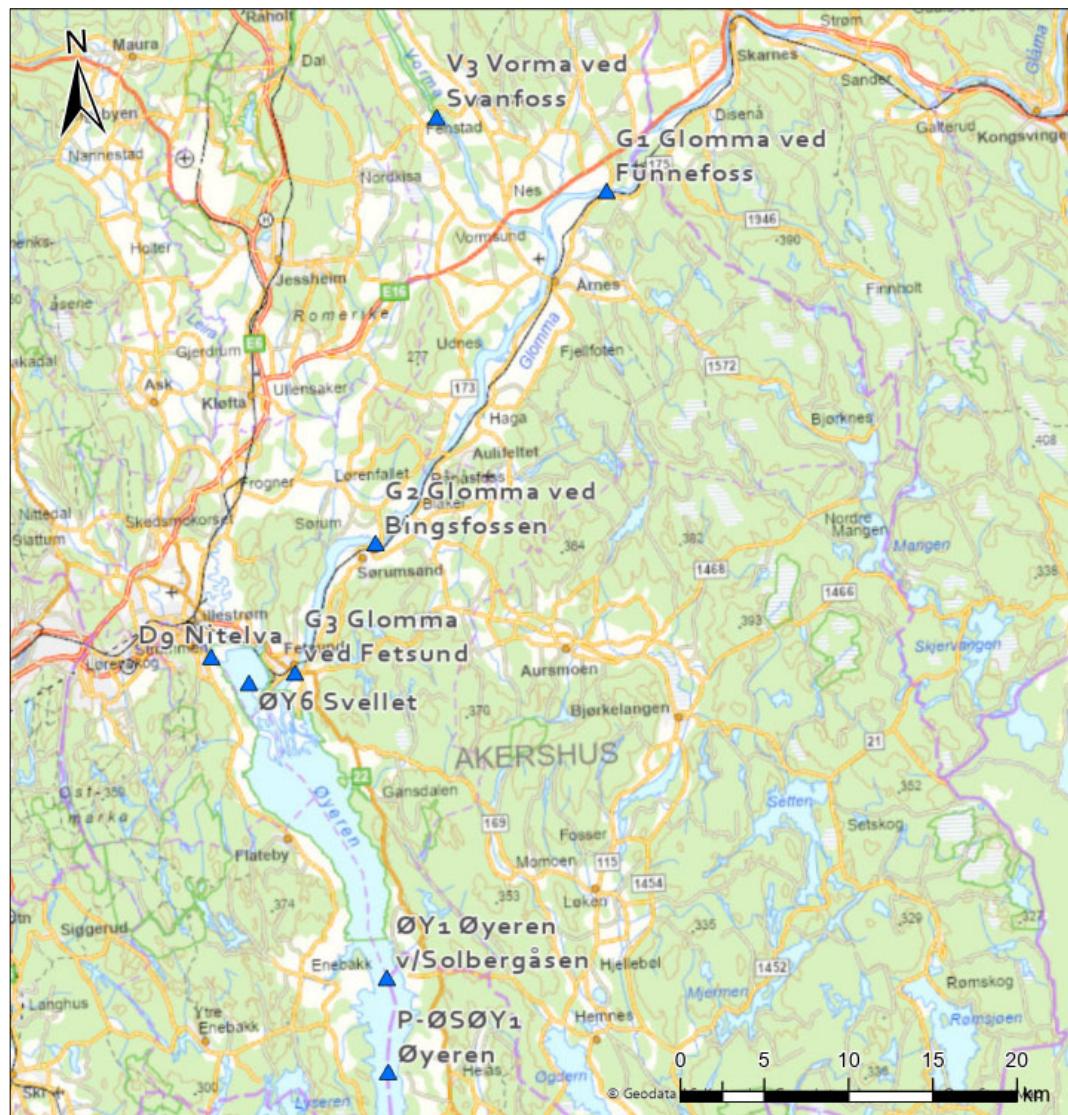
Tabell 3-1: Oversikt målte næringsstoffer ved utløpet avløpsreanseanleggene

| Anlegg           | Dataperiode         | Målte parametere    | Målefrekvens  | Kommentar                |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------|--------------------------|
| Tangen           | Mai 2017 – des 2022 | Tot-P, Tot-N og BOF | 1 pr. uke     | -                        |
| Fjellfoten       | Jan 2017- des 2022  | Tot-P, Tot-N og BOF | Annenhver uke | -                        |
| Rånåfoss         | Jan 2017- nov 2022  | Tot-P og BOF        | 2 pr. mnd     | Estimert Tot-N = 7*Tot-P |
| Minnesund        | Mar 2017 – des 2022 | Tot-P og BOF        | 2 pr. mnd     | Estimert Tot-N = 7*Tot-P |
| Bårlidalen       | Jan 2017- des 2022  | Tot-P, Tot-N og BOF | 1 pr. mnd     | -                        |
| Flateby          | Jan 2017 – des 2022 | Tot-P, Tot-N og BOF | Annenhver uke | Oppgitt Tot-N = 7*Tot-P  |
| Kirkebygda       | Jan 2017 – des 2022 | Tot-P, Tot-N og BOF | Annenhver uke | Oppgitt Tot-N = 7*Tot-P  |
| NRVA Hovedanlegg | Jan 2017 – des 2022 | Tot-P, Tot-N og BOF | Annenhver uke | -                        |
| NRVA OREA        | Jan 2017 – des 2022 | Tot-P, Tot-N og BOF | Annenhver uke | -                        |

Tabell 3-2: Oversikt over målestasjoner, dataperioder og vannkvalitetsparametere lastet ned fra Vannmiljø

| ID  | Navn                 | Vassdrag | Parametere                                               | Periode   |
|-----|----------------------|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 1   | Vorma, Minnesund     | Vorma    | Tot-P og Tot-N                                           | 2017-2022 |
| G1  | Glomma ved Funnefoss | Glomma   | Tot-P, Tot-N, TOC og NO <sub>3</sub>                     | 1987-2010 |
| G2  | Glomma Bingfossen    | Glomma   | Tot-P, Tot-N, TOC, PO <sub>4</sub> og PO <sub>4</sub> -P | 1980-2022 |
| G3  | Glomma ved Fetsund   | Glomma   | Tot-P, Tot-N, TOC, PO <sub>4</sub> og PO <sub>4</sub> -P | 2017-2022 |
| D9  | Nitelva              | Nitelva  | Tot-P, Tot-N og DO                                       | 2017-2021 |
| ØY6 | Svellet              | Øyeren   | Tot-P, Tot-N, TOC og PO <sub>4</sub> -P                  | 2017-2022 |

|         |                       |        |                                                                                                                                                    |                                                           |
|---------|-----------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|         |                       |        | NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>                                                                                                                   | 2022 (6 prøver)                                           |
| ØY1     | Øyeren<br>Solbergåsen | Øyeren | Tot-P, Tot-N, PO <sub>4</sub> -P, CH,<br>NO <sub>3</sub> og PO <sub>4</sub>                                                                        | 2018 (1 prøve)                                            |
|         |                       |        | Temperatur og<br>oksygenmetning                                                                                                                    | 2018                                                      |
| P-ØSØY1 | Øyeren                | Øyeren | Tot-P, Tot-N, TOC, PO <sub>4</sub> -P,<br>CH, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> ,<br>temperatur, DO, siktedyp,<br>oksygenmetning | 2017-2022 og<br>2018-2022<br><br>Data ved flere<br>dybder |



Figur 3-2: Målepunkter fra miljøovervåkingen benyttet i modellene





Figur 3-3: Oversikt NVEs hydrologiske målestasjoner benyttet i modellen

Tabell 3-3: Oversikt over øvrige data benyttet i modellene

| Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Format | Kilde                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------|
| Nasjonal detaljert høydemodell (NDH) 1x1 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Raster | <a href="http://www.hoydedata.no">www.hoydedata.no</a> |
| Oppmålte tverrprofiler Vormo og Glomma, punkter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Shape  | NVE                                                    |
| Bunnkartlegging Øyeren, punktsky                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Shape  | NVE                                                    |
| Hydrologiske data (vannstand, vannføring, vanntemperatur) for NVEs målestasjoner: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.113 Minnesund (vannstand)</li> <li>2.51 Svanefoss ovf. (vannstand)</li> <li>2.52 Svanefoss ndf. (vannstand, vanntemperatur)</li> <li>2.197 Ertesekken ndf. (vannføring)</li> <li>2.410 Funnefoss overvann (vannføring)</li> <li>2.429 Rånåsfoss (vannføring)</li> <li>2.587 Fetsund bru (vannstand, vanntemperatur)</li> <li>2.461 Fossen (vannføring)</li> </ul> | CSV    | Hydra II                                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.279 Kråkfoss (vannføring)</li> <li>• 2.1185 Sagelva v/Strømmen (vannføring, vanntemperatur)</li> <li>• 2.821 Øyeren v/Rånes (vanntemperatur)</li> <li>• 2.125 Øyeren v/Mørkfoss (vannstand)</li> </ul>            |  |  |
| NORA3 meteorologiske data <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vind 10 m over overflaten</li> <li>• Lufttrykk ved overflaten</li> <li>• Nedbør</li> <li>• Lufttemperatur 2 m over overflaten</li> <li>• Relativ fuktighet</li> <li>• Skydekke</li> </ul> |  |  |

### 3.3 1D-modell Vorma og Glomma

1D-modellen i MIKE+ dekker hele Vorma fra Minnesund til samløpet med Glomma, og Glomma fra Funnefoss til Fetsund bru.

#### 3.3.1 Hydrodynamisk modell

Modellen er satt opp med utgangspunkt i tverrprofiler i elvene målt opp av NVE. Utenfor elveløpet er tverrprofilene forlenget ved hjelp av Kartverkets nasjonale detaljerte høydemodell (NDH).

I modellområdet er det flere reguleringer. I Vorma påvirkes vannføringer og vannstander av dam Svanfoss. Dammen er utstyrt med flere luker som regulerer vannstanden i Mjøsa, og har reguleringshøyde mellom 119.33 – 122.94 moh. I Glomma er det tre elvekraftverk innenfor modellområdet. Funnefoss kraftverk ligger ved oppstrøms grense mens Rånåsfoss og Bingfoss kraftverk er plassert mellom oppstrøms og nedstrøms modellgrense. Elvekraftverkene i Glomma utøver ingen aktiv regulering og kan neglisjeres i modellen. Dam Svanfoss må derimot inkluderes i modellen for å oppnå korrekt vannføring og vannstander i Vorma. I modellen er dammen modellert som et «direct discharge» objekt som benytter en tidsserie for vannstand og vannføring til å bestemme strømning i vassdraget. Det er benyttet observert vannstand i Minnesund for å beskrive vannstanden oppstrøm dammen og vannføring ved Ertesekken som inndata for å beregne vannstander nedstrøms.

Modellens drives av følgende data (grensebetingelser):

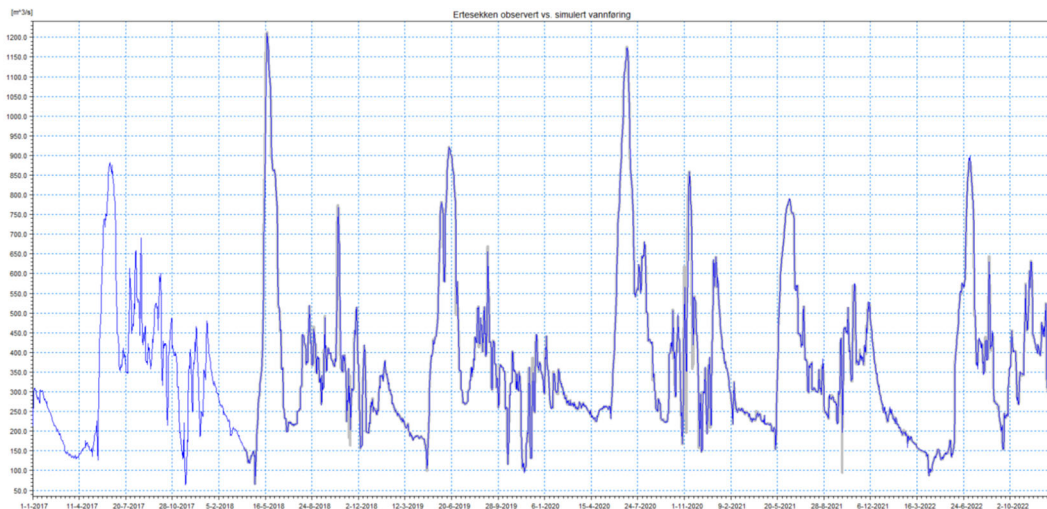
1. Vorma
  - Oppstrøms grense: Observert vannstand Minnesund
  - Intern grense: Hydraulisk konstruksjon dam Svanfoss
2. Glomma
  - Oppstrøms grense: observert vannføring ved Funnefoss kraftverk
  - Nedstrøms grense: observert vannstand ved Fetsund bru

Siden modellen er drevet hovedsakelig av vannstandsdata kalibreres modellen mot observert vannføring Vorma ved Ertesekken og Glomma ved Rånåsfoss. Kalibreringen er gjennomført ved å justere den hydrauliske ruheten i tverrprofilene frem til man oppnår god overenstemmelse mellom simulert og observert vannføring. I en 1D-modell representerer hydraulisk ruhet energitap både for friksjon mellom elvebunn og vannmassene, samt singulærtap pga. retningsendringer, kontraksjoner, ekspansjoner

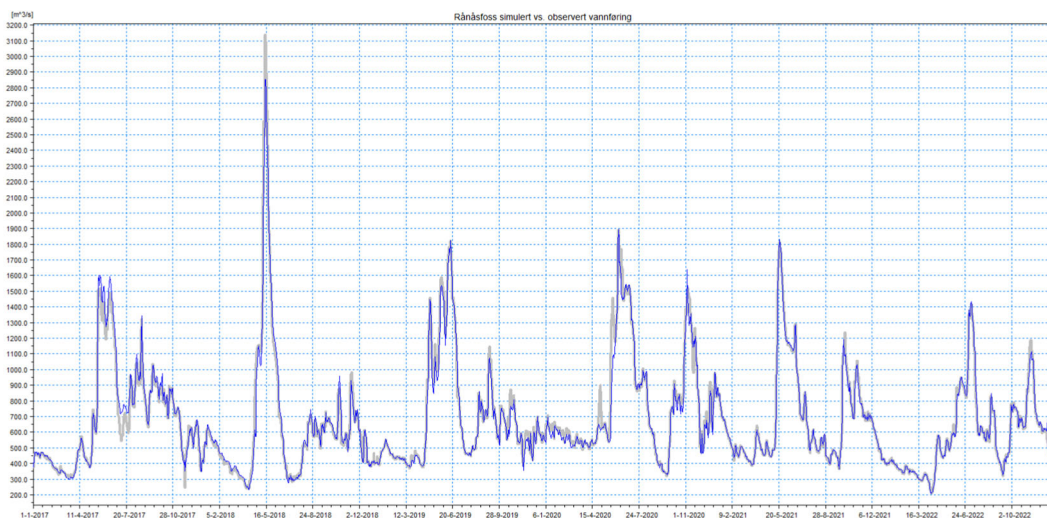


m.m. Ruheten i modellen beskrives ved hjelp av Manningstall. I tillegg er modellen validert mot observert vannstand opp- og nedstrøms dam Svanfoss for kontrollere at reguleringen er korrekt modellert.

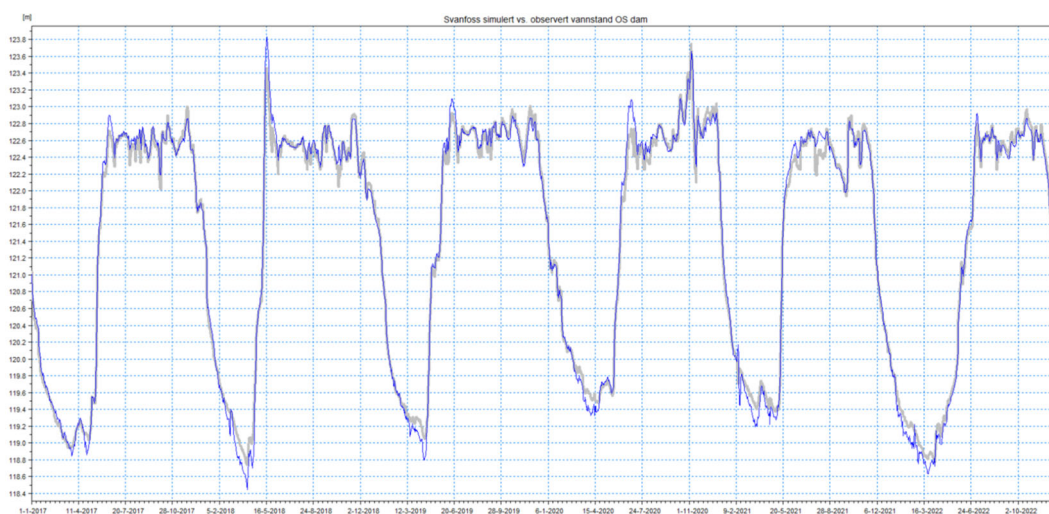
Resultatene av kalibreringen gir ett Manningstall på  $43 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  i Vorma og  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  i Glomma. En sammenlikning av simulert og observert vannføring ved Ertesekken og Rånåsfoss for perioden 2017-2022 er vist i Figur 3-4 og Figur 3-5. Figur 3-6 og Figur 3-7 viser simulert og observert vannstand oppstrøms og nedstrøms dam Svanfoss for samme periode. Resultatene viser godt samsvar mellom simulerte og observerte data.



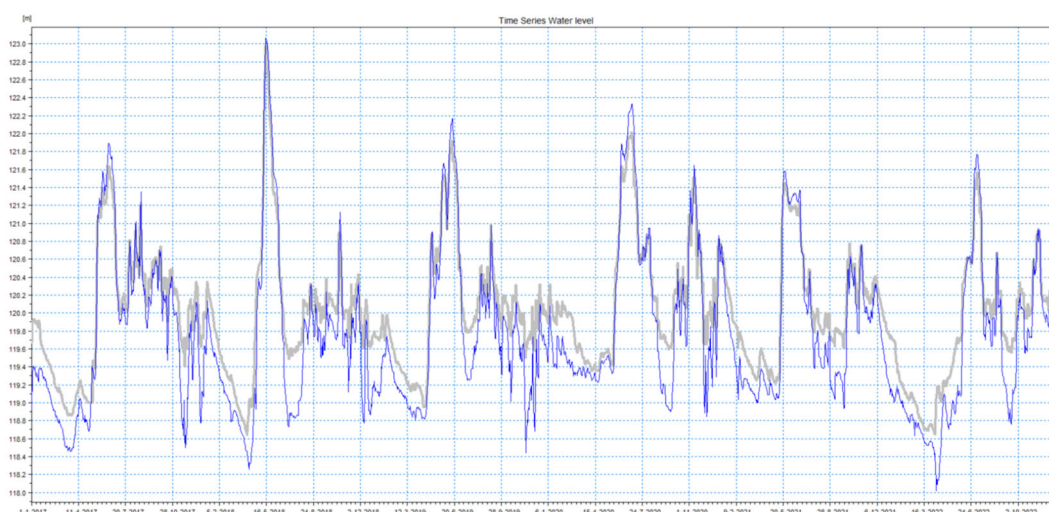
Figur 3-4: Ertesekken, simulert vannføring (blå kurve) vs. observert (grå kurve)



Figur 3-5: Rånåsfoss simulert vannføring (blå kurve) vs. observert (grå kurve)



Figur 3-6: Svanfoss simulert vannstand oppstrøms dam (blå kurve) vs. observert (grå kurve)



Figur 3-7: Svanfoss simulert vannstand nedstrøms dam (blå kurve) vs. observert (grå kurve)

### 3.3.2 Vannkvalitetsmodell

For å vurdere vannkvaliteten i Vorma og Glomma har vi benyttet DHIs standardmal for «nivå 4» i MIKE ECO Lab sammen med modulen MIKE Advection Dispersion (AD). Modellen har fokus på samspillet mellom sediment og vann, og inkluderer prosesser for biokjemisk oksygenforbruk (BOF), oksygen ( $O_2$ ), vanntemperatur, nitrogen og fosfor. Modellen er svært anvendelig for generelle studier av effekten av utslipp avløpsvann og avrenning fra land. Sammen med resultater fra den hydrodynamiske modellen simulerer MIKE AD transporten av sedimenter og suspenderte næringsstoffer mens MIKE Ecolab simulerer omdannelsesprosessene. Vannkvalitetsmodellen løser ett system av differensialligninger som beskriver de fysiske, kjemiske og biologiske interaksjonene i elvene.

Modellen inkluderer følgende tilstandsvariabler for å modellere vannkvaliteten i elvene:

- Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) for elv
- Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) for avløpsvann
- Totalt organisk karbon (TOC)
- Oksygen ( $O_2$ )

- Totalt nitrogen (Tot-N)
- Totalt fosfor (Tot-P)
- Ammonium (NH<sub>4</sub>)
- Nitrat (NO<sub>3</sub>)
- Fosfat (PO<sub>4</sub>)

Analyse av det organiske materialet i Vorma og Glomma viser at det organiske innholdet består av gammelt humusmateriale med relativt lav nedbrytbarhet. Følgelig er det biokjemiske oksygenforbruket (BOF) delt inn i to; BOF fra elvene som representerer gammelt humusmateriale med lav nedbrytbarhet, og BOF fra avløpsvann som kjennetegnes av høyere nedbrytbarhet. I tillegg inkluderer modellen parametere for totalt organisk karbon (TOC) for å sikre en sømløs overgang og kontinuitet til 3D-modellen av Øyeren. TOC er benyttet for å estimere BOF i elvene.

For organisk materiale som stammer fra avløpsvann, antas det at det skjer en primær sedimentering. TOC for avløpsvann er estimert ved å anta  $TOC = 1.2 \times BOF$ , og BOF for elver estimeres basert på målt TOC med likningen  $BOF = 0.58 \times TOC + 0.066$  [1]. Denne beregningen gjør det mulig å bestemme TOC-konsentrasjoner knyttet til BOF i elvene, hvilket gir en omfattende representasjon av dynamikken i organisk materiale.

Grensebetingelsene for ulike vannkvalitetsparametere i elvene ble beregnet basert på overvåkningsdata fra målestasjonene i Vorma, G1 Funnefoss og G2 Bingsfossen. Vannkvalitetsmodellen består av følgende grenser:

1. Vorma
  - Oppstrøms grense ved Minnesund, benytter måledata ved Vorma direkte
2. Glomma
  - Oppstrøms grense ved Funnefoss, estimerer månedlige medianverdier basert på måledata for perioden 1987-1998 ved Funnefoss stasjon
  - Distribuert grense langs strekningen Årnes-Fetsund, estimerer månedlige medianverdier basert på måledata for perioden 1987-1998 ved Funnefoss stasjon
  - Nedstrøms grense Fetsund bru, åpen
3. Utslippsdata fra avløpsrenseanleggene (Tot-P, Tot-N og BOF)

Funnefoss har kun overvåkningsdata for perioden 1987-2010, hvilket er utenfor simuleringsperioden 2017-2022. Det ble foretatt en sammenligning av data ved Funnefoss og Bingsfossen for å vurdere om trendene ved de to stasjonene er like. Analysen viser en konsistent trend mellom stasjonene, hvilket indikerer at dataene ved Funnefoss for perioden 1987-2010 kan benyttes til å estimere 2017-2022.

Vannkvalitetsparameterne som benyttes til å drive modellen er langt flere enn hva som måles i overvåkningsprogrammet. Derfor er flere parametere utledet basert på empiriske forhold. Tabell 3-4 viser en oversikt over målte og utledede parametere, samt likningene benyttet.

Tabell 3-4: Grensebetingelser vannkvalitetsmodell. Oversikt over målte og utledede vannkvalitetsparametere

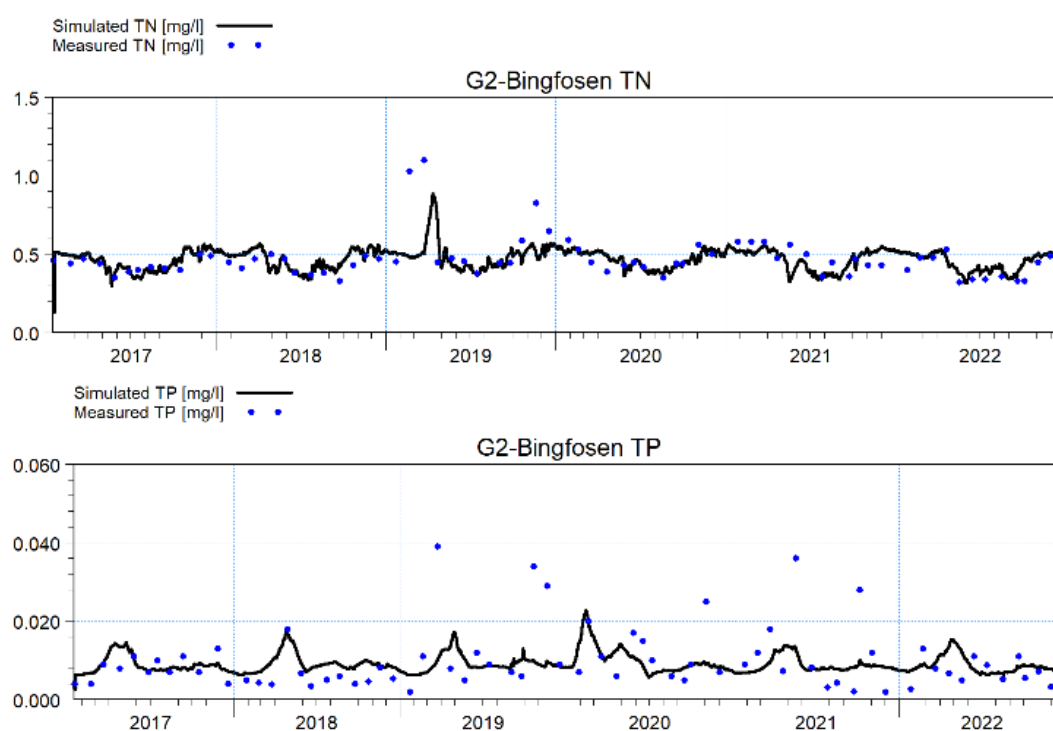
| Parameter   | Utledningsmetode og forutsetninger                                      |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------|
| BOF for elv | Utladet basert på målte TOC-data<br>$BOF = 0.58 \times TOC + 0.066$ [2] |

|                              |                                                                                              |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| BOF for avløpsvann           | Måledata                                                                                     |
| Totalt organisk karbon (TOC) | Måledata                                                                                     |
| Oksygen (O <sub>2</sub> )    | Beregnet basert på temperaturdata fra Glomma ved Fetsund (forutsatt at oksygenet er mettet). |
| Totalt nitrogen (Tot-N)      | Måledata                                                                                     |
| Totalt fosfor (Tot-P)        | Måledata                                                                                     |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )  | Utleddet basert på målte Tot-N data, antar 2% av Tot-N [2]                                   |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )    | Utleddet basert på målte Tot-N data, antar 2% av Tot-N [2]                                   |
| Fosfat (PO <sub>4</sub> )    | Utleddet basert på målte Tot-P data, antar 68% av Tot-P [2]                                  |

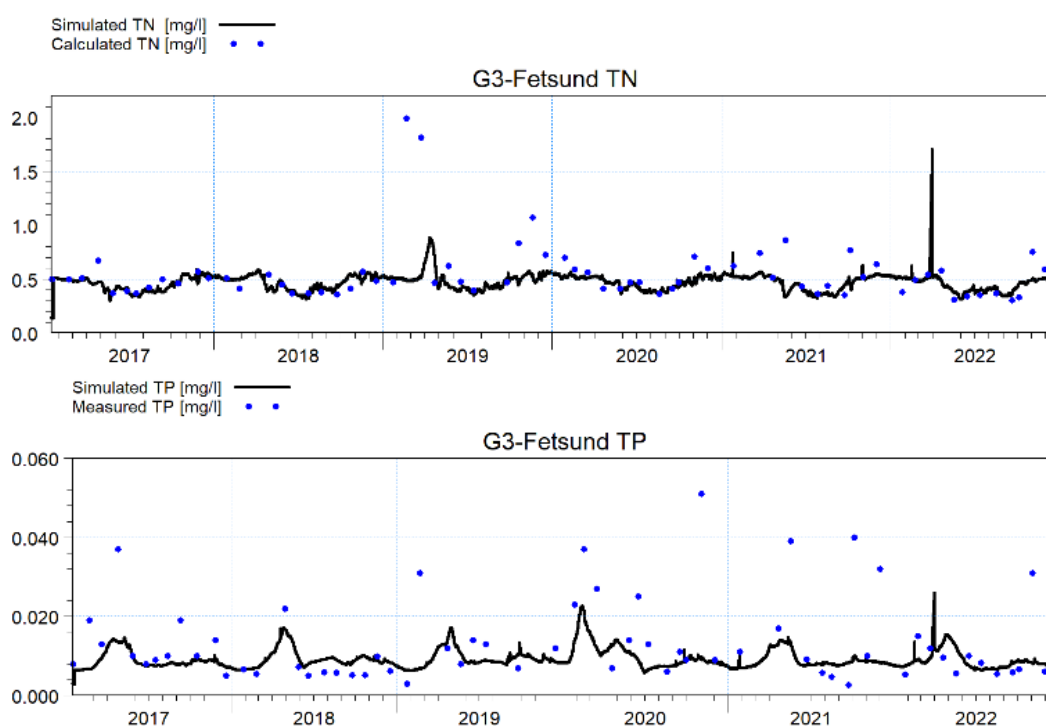
Modellen er kalibrert mot overvåkningsdata ved målestasjon G2 Glomma ved Bingsfoss og G3 Glomma ved Fetsund bru. Figur 3-8 og Figur 3-9 viser kalibreringsresultater for totalt fosfor og totalt nitrogen ved målestasjonene. Resultatene viser godt samsvar mellom simulerte og observerte data, og at vannkvalitetsmodellen klarer generelt å gjenspeile forholdene i vassdraget for 2017-2022. Det er flere tilfeller der måledataene viser høyere verdier enn modellen, hvilket antas å skyldes lokale hendelser mellom Funnefoss og Fetsund som ikke er tilstrekkelig fanget opp i modellen.

Motsatt er det én hendelse ved Fetsund bru i begynnelsen av 2022 som skiller seg spesielt ut. Modellen viser konsentrasjoner av totalt fosfor og totalt nitrogen som er omtrent 300% høyere enn de observerte dataene. Gjennomgang av hendelsen viser at dette skyldes avvik i mengdemålingene ved Tangen avløpsrenseanlegg som gir feilaktig store utslipp.

Kalibreringsresultater for samtlige modellparametere er vist i vedlegg B.



Figur 3-8: Kalibreringsresultat. Simulert vs. observert Tot-P og Tot-N ved G2 Glomma v/Bingfossen



Figur 3-9: Kalibreringsresultat. Simulert vs. observert Tot-P og Tot-N ved G3 Glomma v/Fetsund bru



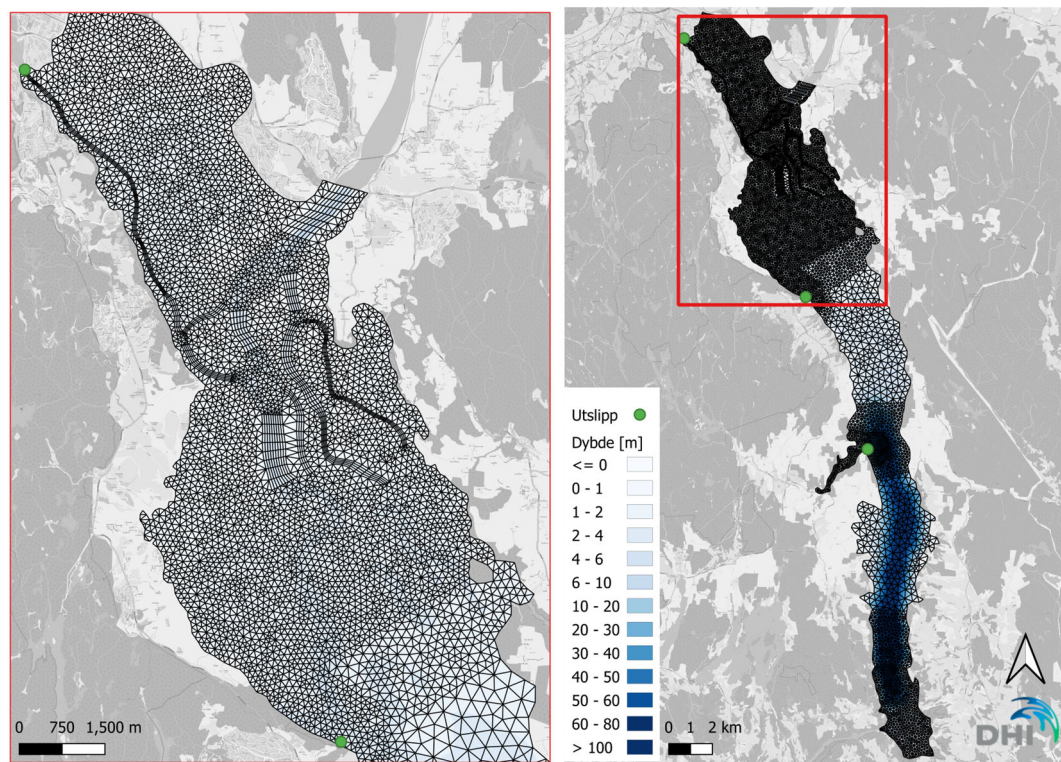
## 3.4 3D-modell Øyeren

Modellen dekker hele Øyeren med Svellet og inkluderer vannføring fra Glomma, Nitelva, Leira og Sagelva.

### 3.4.1 Hydrodynamisk modell

Modellen er satt opp med fleksibelt beregningsnett (mesh) med varierende oppløsning i både horisontal- og vertikalplanet. Oppløsningen til meshet varierer mellom 80-300 meter i horisontalplanet og 1-10 meter i vertikalplanet. Meshet er satt opp basert på data fra NVEs bunnkartlegging av Øyeren og nasjonal detaljert høydemodell for landområdene. Modellen er delt inn soner med ulik ruhet basert FKB arealressursflate (AR5). For arealer som er normalt dekket av vann er det benyttet et Manningstall på  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Landarealer som er normalt tørre og oversvømmes ved flom (gjelder spesielt deltaet) er det benyttet et Manningstall på  $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Modellen inkluderer utslipp fra NRA, Flateby og Kirkebygda sentralrenseanlegg. Utslippene er modellert som punktkilder med DHIs Jet-modul som beregner innlagringsdybden for hvert tidsskritt. Det er benyttet en saltholdighet på 0 PSU (ferskvann) og temperatur som det omkringliggende vannet.



Figur 3-10: Modellavgrensing og horisontalt mesh 3D hydrodynamisk modell av Øyeren

Modellen drives av en rekke grensebetingelser (måledata):

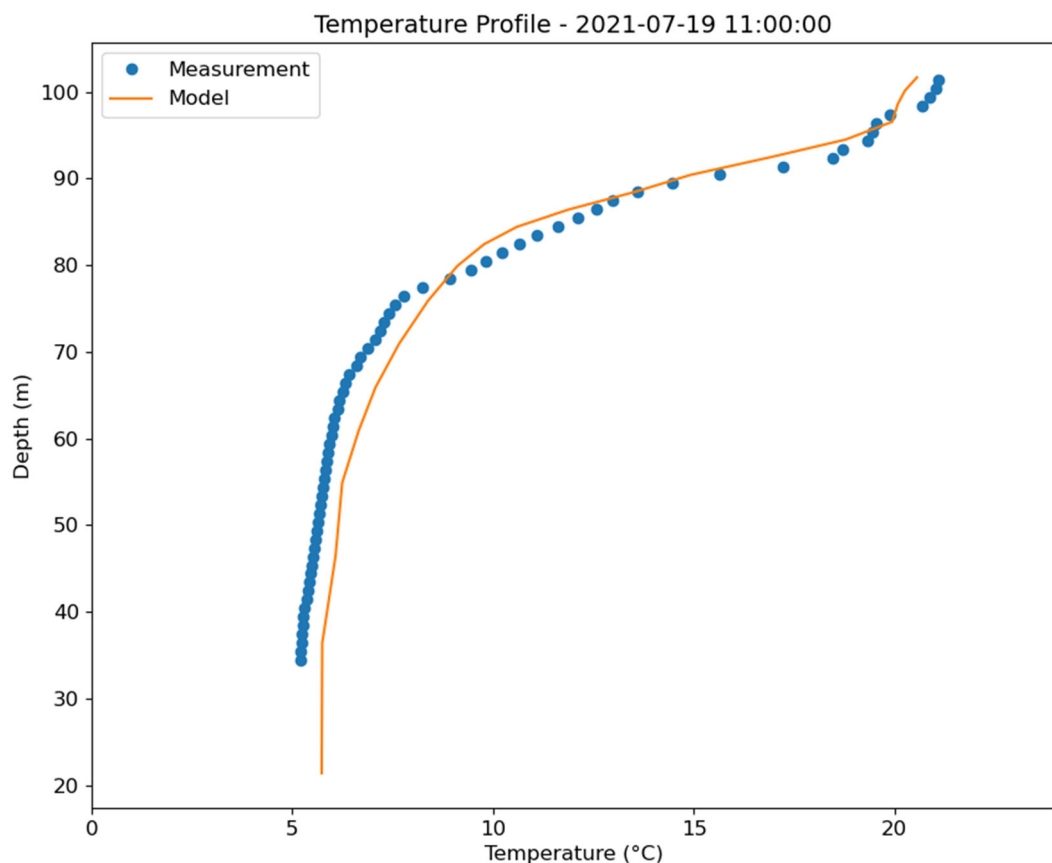
1. Hydrologiske data fra NVEs målestasjoner:
  - Vannføring i Sagelva, Nitelva og Leira i nordvestre grense
  - Vannføring i Glomma ved nordøstre grense
  - Vannstand i Mørkfoss ved nedstrøms grense
  - Vanntemperatur i Glomma ved Fetsund og Sagelva

## 2. Atmosfæriske data fra NORA3:

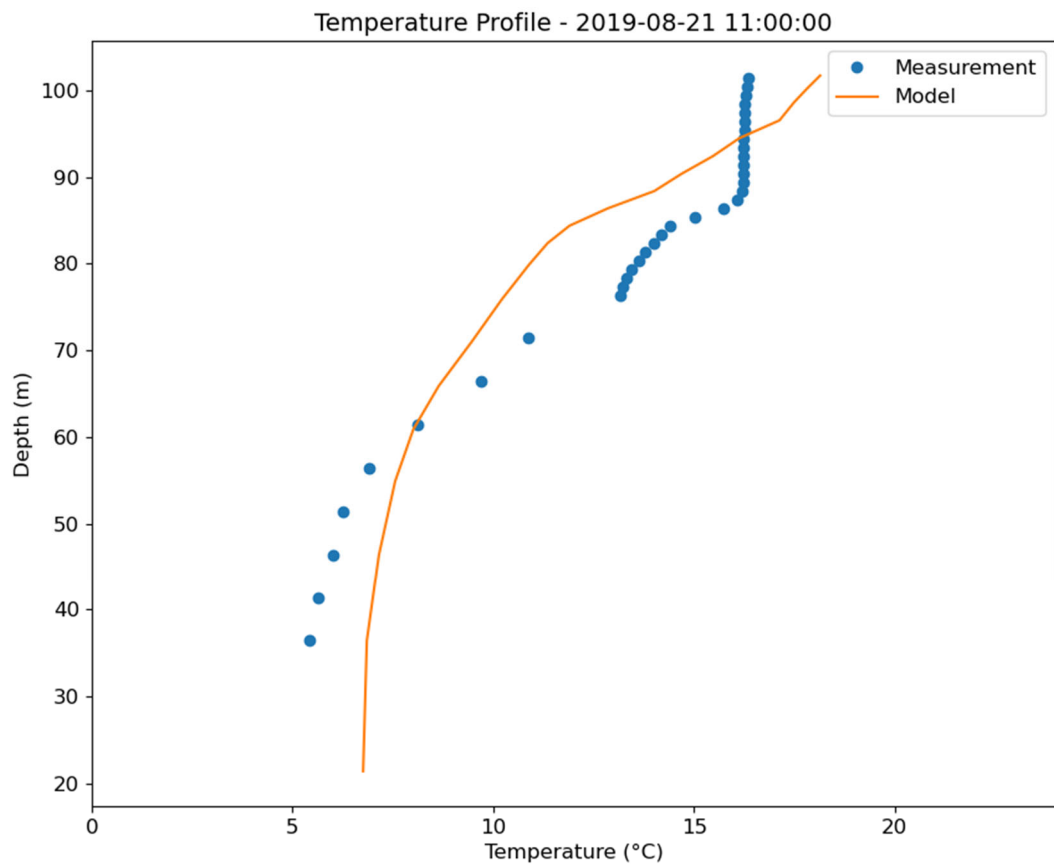
- Vind 10 m over havoverflaten
- Lufttrykk ved havoverflaten
- Nedbør
- Lufttemperatur 2 m over havoverflaten
- Relativ fuktighet
- Skydekke

Fordampningen fra overflaten til Øyeren beregnes internt i modellen basert på de atmosfæriske grensebetingelsene.

Modellen er validert mot observerte temperaturprofiler ved målestasjon P-ØSØY1. Dataene består av seks temperaturprofiler hvert år for perioden 2017-2022. Valideringen viser at modellen klarer generelt å gjenskape lagdelingen i Øyeren ved alle årstider. Det er godt samsvar mellom måldata og simuleringer generelt, eksempelvis som i Figur 3-8. For noen av målingene er modellen både litt for varm og litt for kald gjennom lagdelingen, som i Figur 3-12. Mer detaljer om modelloppsett og valideringsresultater er vist i vedlegg A.



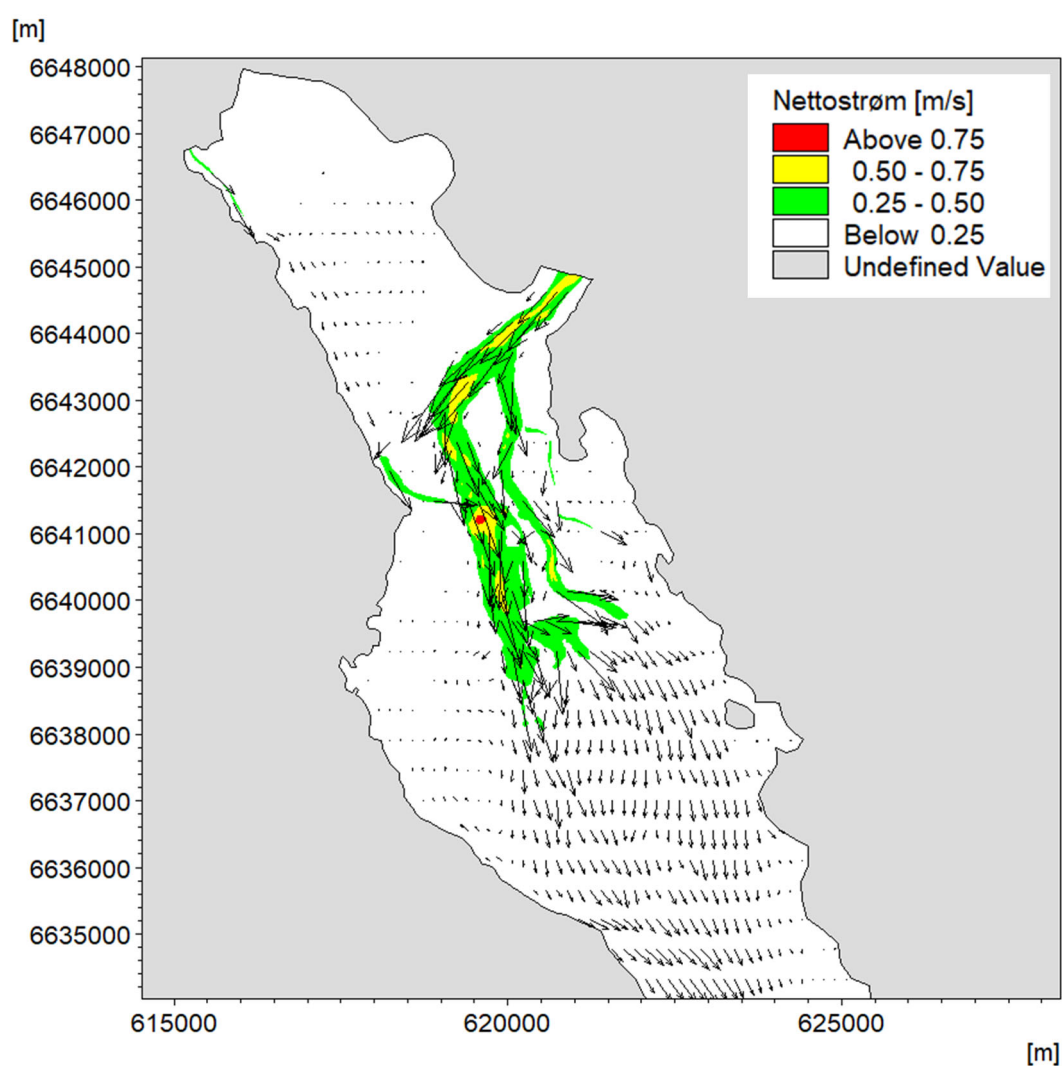
Figur 3-11: Temperaturprofil 19.07.21 ved P-ØSØY1, blå punkter er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101.5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



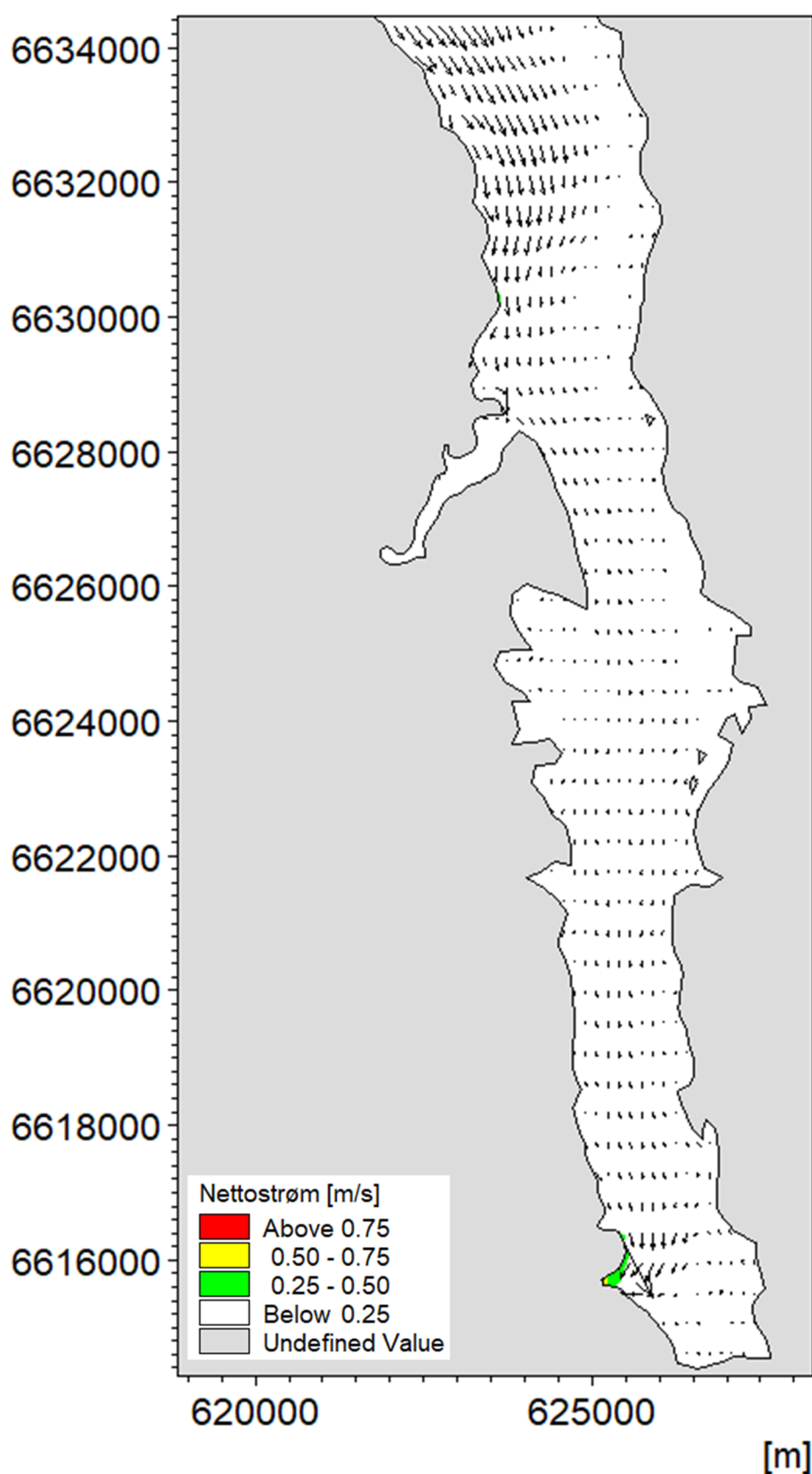
Figur 3-12: Temperaturprofil 21.08.19 ved P-ØSØY1, blå punkter viser målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

Etter at modellen er satt opp og validert er den benyttet til å analysere strømningsbildet i Øyeren, og senere modellere spredning av næringssalter. Simuleringen av perioden 2017-2022 viser at sirkulasjonen i Øyeren er typisk fullsirkulasjon. Fullsirkulasjon i en innsjø oppstår når temperaturen blir jevn gjennom hele vannsøylen, noe som fører til at vannet blander seg fra overflaten til bunnen. Dette fenomenet skjer typisk om våren og høsten, og det hjelper til med å fordele oksygen og næringsstoffer gjennom hele innsjøen.

I Figur 3-13 og Figur 3-14 kan en se nettostrømningen for henholdsvis nordre og søndre del av Øyeren for et gjennomsnitt av de øverste 10 meterne for de modellerte årene (2017-2022). En kan se at strømmen er rettet sørover, og de høyeste hastighetene er ved utløpet av Glomma i den nordre delen av Øyeren.



Figur 3-13: Nettostrøm nordre del av Øyeren i de 10 øverste meterne av overflaten for perioden 2017-2022.



Figur 3-14 Nettostrøm søndre del av Øyeren i de 10 øverste meterne i av overflaten for perioden 2017-2022



### 3.4.2 Vannkvalitetsmodell

For å simulere vannkvaliteten i Øyeren har DHI utviklet en omfattende 3D-vannkvalitetsmodell ved hjelp av MIKE ECO Lab og modulen MIKE Advection Dispersion (AD). Det er tatt utgangspunkt i en ECO Lab mal utviklet for Grenlandsfjordene som også inneholder en komplett eutrofieringsmodell som inkluderer alger, næringsstoffer, oksygen og sedimentvolum av karbon, nitrogen og fosfor, samt en rekke tilstandsvariabler for sedimenter. Modellen beskrives tilførsler av alle nitrogen- og fosforholdige stoffer, både organiske og uorganiske. I tillegg beskrives oksygenforbrukene stoffer, nitrogenfiksering i fytoplankton og flora, koblinger til zooplankton, fisk, oksygenmetning i sedimentene mm.

Malen består av 57 tilstandsvariabler, og de viktigste parameterne som er av interesse for denne studien er følgende:

- Klorofyll a (CH)
- Ammonium (NH<sub>4</sub>)
- Nitrat (NO<sub>3</sub>)
- Fosfat (PO<sub>4</sub>)
- Oppløst oksygen (DO)
- Totalt organisk karbon (TOC)
  - Refraktær oppløst organisk karbon (CDOC)
  - Labilt oppløst organisk karbon (LDOC)
- Totalt nitrogen (TOT-N)
- Totalt fosfor (TOT-P)
- Siktedyp

Refraktær DOC representerer TOC i innsjøen (tilsvarende som BOF i elvemodellen), mens labilt DOC representerer TOC fra renseanleggene (tilsvarende BOF fra renseanleggene i elvemodellen). Summen av CDOC og LDOC utgjør TOC i modellen.

Grensebetingelsene for vannkvalitetsmodellen til Øyeren består av simuleringsresultater fra elvemodellen, og verdier beregnet ut ifra overvåkningsdata ved målestasjonene D9 Nitelva og ØY6 Svillet. Modellen inkluderer følgende grenser:

- Sagelva, Nitelva og Leira, måledata fra D9 Nitelva
- Glomma ved Fetsund bru – simuleringsresultat fra elvemodellen
- Utløp ved Mørkfoss – åpen grense (ingen gradient)
- Utslippsdata fra avløpsrenseanleggene (Tot-P, Tot-N og BOF)

Vannkvalitetsparameterne som benyttes til å drive modellen er langt flere enn hva som måles i overvåkningsprogrammet. Derfor er flere parametere utledet basert på empiriske forhold. Tabell 3-4 viser en oversikt over målte og utledede parametere, samt likningene benyttet.

Tabell 3-5: Oversikt modellparametere

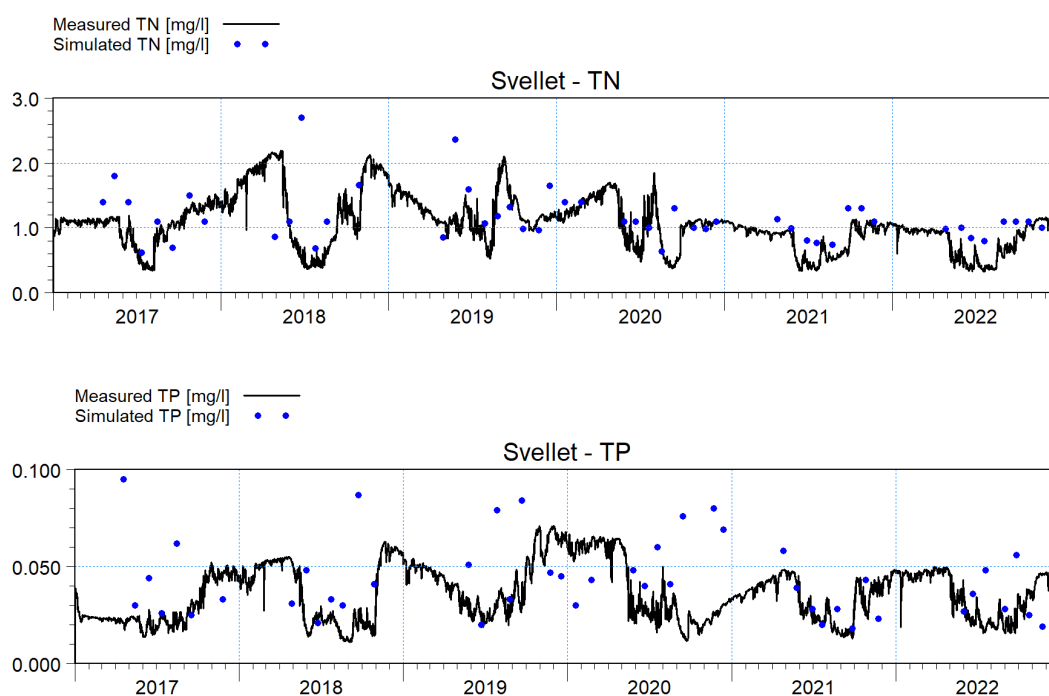
| Tilstandsvariabel          | Utleddningsmetode og forutsetninger |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Klorofyll-a (CH)           | Måledata                            |
| Fytoplankton karbon (PC)   | 35xCH                               |
| Fytoplankton nitrogen (PN) | 0,14xPC                             |
| Fytoplankton fosfor (PP)   | 0,002xPC                            |
| Zooplankton C (ZC)         | 0,1xPC                              |

|                                          |                        |
|------------------------------------------|------------------------|
| Detritus C (DC)                          | 0.09x TOC              |
| Detritus N (DN)                          | 0.036x TOC             |
| Detritus P (DP)                          | 0.0016x TOC            |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )              | 2 % av målt Tot-N [2]  |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )                | 66 % av målt Tot-N [2] |
| Hydrogensulfid (H <sub>2</sub> S)        | 0                      |
| Fosfat (PO <sub>4</sub> )                | 68 % av målt Tot-P [2] |
| Oppløst oksygen (DO)                     | Målt DO                |
| DOC-refraktær, CDOC                      | 0.91xTOC               |
| DON refraktær, CDON                      | 0.036xTOC              |
| DOP-refraktær, CDOP                      | 0.0016xTOC             |
| Labilt DOC, LDOC                         | 0                      |
| Labilt DON, LDON                         | 0                      |
| Labilt DOP, LDOP                         | 0                      |
| Uorganisk fast stoff, SSin               | 0                      |
| PO <sub>4</sub> adsorbert til SSin, Ipss | 0                      |
| Frø fra EC, Es                           | 0                      |

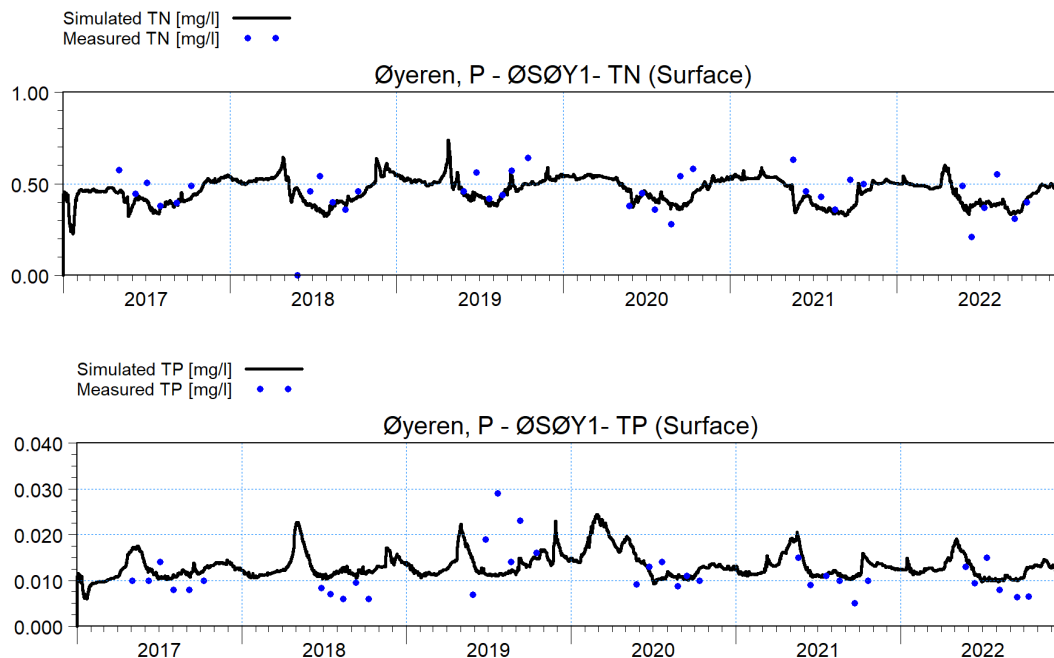
Modellen er kalibrert mot overvåkningsdata ved målestasjon ØY6 Svellet og P-ØSØY1 Øyeren. Figur 3-15 viser kalibreringsresultater for totalt fosfor og totalt nitrogen ved Svellet. Resultatene viser godt samsvar mellom simulerte og observerte data, og at vannkvalitetsmodellen klarer generelt å gjenskape forholdene i vassdraget for perioden 2017-2022. Modellen viser noe bedre kalibreringsresultater for totalnitrogen enn totalt fosfor. Det er flere tilfeller der måledataene viser høyere verdier enn modellen, hvilket antas å skyldes lokale hendelser som ikke er tilstrekkelig fanget opp i modellens grensebetingelser.

Figur 3-16 og Figur 3-17 viser kalibreringsresultater for totalt fosfor og totalt nitrogen i Øyeren for både overflaten og bunnlaget. Tilsvarende som ved Svellet viser modellen godt samsvar mellom simulerte og observerte data i Øyeren. Studerer man simulerte og observerte konsentrasjoner totalt nitrogen i bunnlaget på ser det ut til at det er mest sannsynlig feil i måledataene for 2019.

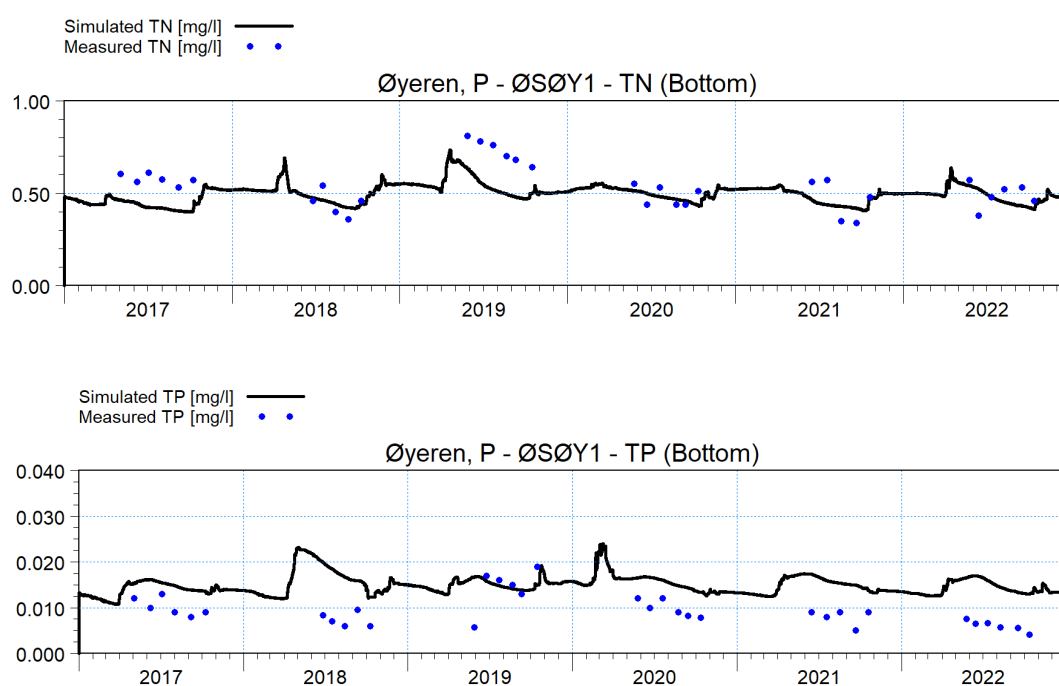
Kalibreringsresultater for samtlige modellparametere er vist i vedlegg C.



Figur 3-15: Kalibreringsresultat vannkvalitetsmodell Øyeren. Simulert vs. observert totalt fosfor og totalt nitrogen i overflaten ved målestasjon ØY6 Svellet



Figur 3-16: Kalibreringsresultat vannkvalitetsmodell Øyeren. Simulert vs. observert totalt fosfor og totalt nitrogen i overflaten ved målestasjon P-ØSØY1 Øyeren



Figur 3-17: Kalibreringsresultat vannkvalitetsmodell Øyeren. Simulert vs. observert totalt fosfor og totalt nitrogen i bunnlaget ved målestasjon P-ØSØY1 Øyeren

## 4 Avløpsrenseanleggenes påvirkning på resipientene

Modellene av Vorma, Glomma og Øyeren er benyttet til utføre dynamiske kontinuerlige simuleringer av perioden 2017-2022. For å vurdere avløpsrenseanleggenes påvirkning på resipientene er det gjennomført to parallelle simuleringer: én med utslippene fra anleggene inkludert og én uten. På dette viset vil man kunne sammenlikne avløpsrenseanleggenes utslipp og utslipp fra øvrige kilder i resipientene, hvilket gir grunnlag for å vurdere påvirkningen på resipientene.

### 4.1 Vurderingskriterier for tilstand

Resipientenes tilstand er vurdert ut ifra Direktoratsgruppen for gjennomføringen av vannforskriftens veileder 02:2018 *Klassifisering av miljøtilstand i vann*. Merk at det ikke er utført en komplett klassifisering iht. alle kriteriene veilederen, men kun sett på ett utvalg fysisk-kjemiske parametere relevant for dette studiet. Klassegrensene for ulike parametere varierer med vanntypen. For elver og innsjøer er det også fokus på ulike parametere ved klassifisering av tilstanden. Følgende fysisk-kjemiske parametere er benyttet til å vurdere tilstanden i resipientene og avløpsrenseanleggenes påvirkning:

1. **Vorma og Glomma**
  - Totalt fosfor (Tot-P)
  - Totalt nitrogen (Tot-N)
  - Oksygen bunnvann ( $O_2$ )
  - Ammoniakk og ammonium ( $NH_3+NH_4$ )
2. **Øyeren**
  - Totalt fosfor (Tot-P)
  - Totalt nitrogen (Tot-N)
  - Oksygen bunnvann ( $O_2$ )
  - Ammoniakk og ammonium ( $NH_3+NH_4$ )
  - Klorofyll a
  - Totalt organisk karbon (TOC)

Klassegrensene for totalt fosfor, totalt nitrogen, oksygen, ammoniakk, ammonium og klorofyll a for Vorma, Glomma og Øyeren iht. veileder 02:2018 er vist i Tabell 4-1-Tabell 4-5. Klassifiseringen av hver parameter bør helst baseres minimumsperiode på tre år for å midle forskjeller som skyldes naturlige årsvariasjoner [2]. Merk at ulike statistiske tall benyttes i klassifiseringen av ulike parametere. Tabell 4-6 viser en oversikt over hvilke statistiske tall som benyttes for ulike parametere.

Tabell 4-1: Klassegrenser for totalt fosfor for Vorma, Glomma og Øyeren [2]

| Vanntype      | Totalt fosfor ( $\mu g/L$ ) |         |         |         |              |
|---------------|-----------------------------|---------|---------|---------|--------------|
|               | Svært god                   | God     | Moderat | Dårlig  | Svært dårlig |
| Vorma (R109)  | 1 - 15                      | 15 - 25 | 25 - 38 | 38 - 65 | >65          |
| Glomma (R108) | 1 - 20                      | 20 - 29 | 29 - 58 | 58 - 98 | >98          |
| Øyeren (L107) | 1 - 10                      | 10 - 17 | 17 - 26 | 26 - 42 | >42          |



Tabell 4-2: Klassegrenser for totalt nitrogen for Vorma, Glomma og Øyeren [2]

| Vanntype      | Totalt nitrogen (µg/L) |         |          |            |              |
|---------------|------------------------|---------|----------|------------|--------------|
|               | Svært god              | God     | Moderat  | Dårlig     | Svært dårlig |
| Vorma (R109)  | 1-425                  | 425-675 | 675-950  | 950-1425   | >1425        |
| Glomma (R108) | 1-550                  | 550-775 | 775-1325 | 1325- 2025 | >2025        |
| Øyeren (L107) | 1-425                  | 425-675 | 675-950  | 950-1425   | >1425        |

Tabell 4-3: Klassegrenser for ammoniakk og ammonium i elver og innsjøer (alle typer) [2]

| Vanntype                                                 | Ammoniakk/ammonium (µg/L) |       |         |         |              |
|----------------------------------------------------------|---------------------------|-------|---------|---------|--------------|
|                                                          | Svært god                 | God   | Moderat | Dårlig  | Svært dårlig |
| NH <sub>3</sub> 90-persentil (µg/L)                      | <5                        | 5-10  | 10-15   | 15-25   | >25          |
| NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> 90th percentile (µg/L)* | <30                       | 30-60 | 60-100  | 100-160 | >160         |

\*kun relevant ved pH&gt;8 og temperatur &gt;25

Tabell 4-4: Klassegrenser for oksygen for Vorma, Glomma og Øyeren [2]

| Vanntype     | Oksygen (µg/L) |     |         |        |              |
|--------------|----------------|-----|---------|--------|--------------|
|              | Svært god      | God | Moderat | Dårlig | Svært dårlig |
| 50-persentil | >9             | 5-9 | 2-5     | 1-2    | <1           |
| 5-persentil  | >5             | 2-5 | 1-2     | 0.5-1  | >0.5         |

Tabell 4-5: Klassegrenser for klorofyll a for Øyeren [2]

| Vanntype      | Klorofyll a (µg/L) |     |         |        |              |
|---------------|--------------------|-----|---------|--------|--------------|
|               | Svært god          | God | Moderat | Dårlig | Svært dårlig |
| Øyeren (L107) | <6                 | 6-9 | 9-18    | 18-36  | >36          |

Tabell 4-6: Statistisk tall som benyttes for klassifisering av ulike parametere

| Parametere                  | Statistisk lag        | Statistisk tall      |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Totalt nitrogen (Tot-N)     | Overflate- og bunnlag | Middelverdi          |
| Totalt fosfor (Tot-P)       | Overflate- og bunnlag | Middelverdi          |
| Oksygen (O <sub>2</sub> )   | Bunnlag               | 5- og 50-persentilen |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> ) | Overflate- og bunnlag | 90-persentil         |

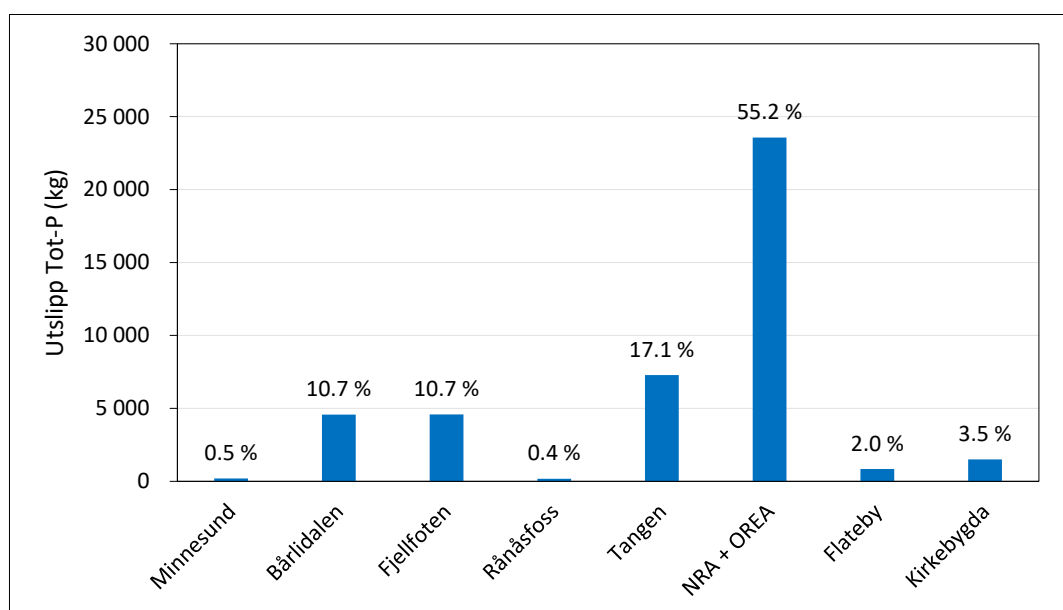
|                              |                       |                                         |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Klorofyll-a (CH)             | Overflate             | Middelverdi vekstsesongen (mai-oktober) |
| Totalt organisk karbon (TOC) | Overflate- og bunnlag | Middelverdi                             |

I VannNett-Portal finner man følgende informasjon om vassdragene:

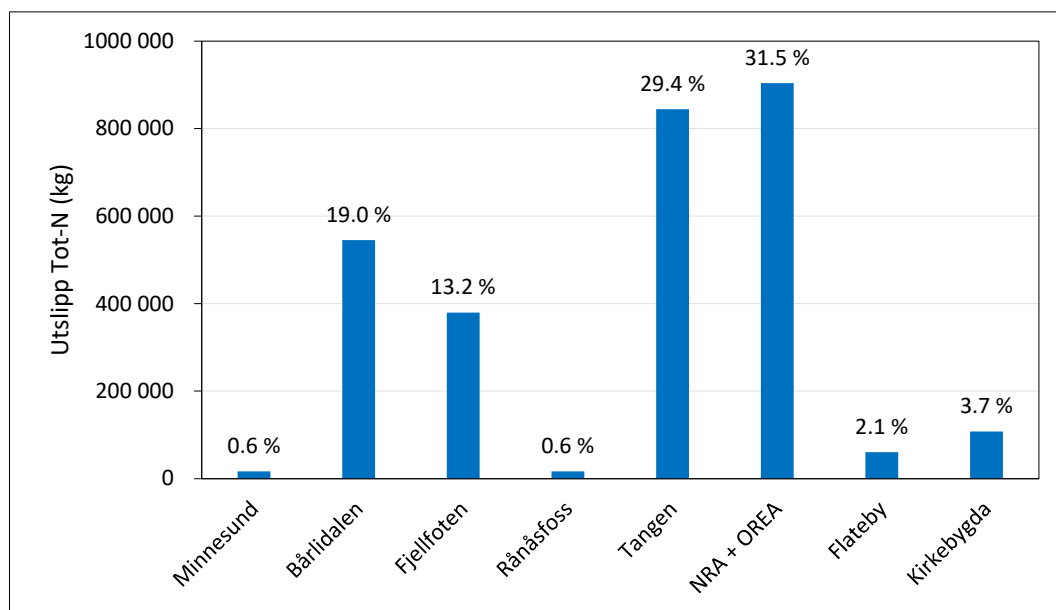
- Vorma er et kalkpåvirket vassdrag og er klassifisert som vanntype R109 kalkrik, klar.** Den økologiske tilstanden er klassifisert med moderat tilstand mellom Mjøsa og Svanfoss, og god tilstand mellom Svanfoss og samløpet med Glomma. Begge strekninger har god tilstand for totalt nitrogen og svært god tilstand for totalt fosfor.
- Glomma mellom Funnefoss og Øyeren er klassifisert som vanntype R108, moderat kalkrik, humøs.** Den økologiske tilstanden er oppgitt som dårlig, men det er svært god tilstand for både totalt fosfor og totalt nitrogen.
- Øyeren er klassifisert som vanntype L107, moderat kalkrik, klar.** Den økologiske tilstanden er definert som god, hvor den nordlige delen har moderat tilstand for totalt nitrogen og totalt fosfor, mens tilstanden for den sørlige delen er god.

## 4.2 Utslipp fra avløpsrenseanleggene

Årlige utslipp fra avløpsrenseanleggene er beregnet basert på data fra kommunene. Målefrekvens og hvilke parametre som logges ved de ulike anleggene varierer. Enkelte av anleggene har ikke prøvetaking av overløp. Her er det antatt at konsentrasjoner Tot-P, Tot-N og BOF til utslipp fra overløp er det samme målt ved innløpet til anleggene. Figur 4-1 og Figur 4-2 viser akkumulerte utslipp totalt fosfor og totalt nitrogen, samt den prosentvise fordelingen mellom hvert anlegg for 2017-2022. NRA (inkludert OREA) er klart det største anlegget med størst utslipp. Anlegget har høyere krav til nitrogenfjerning og derfor langt mindre utslipp totalt nitrogen per PE.

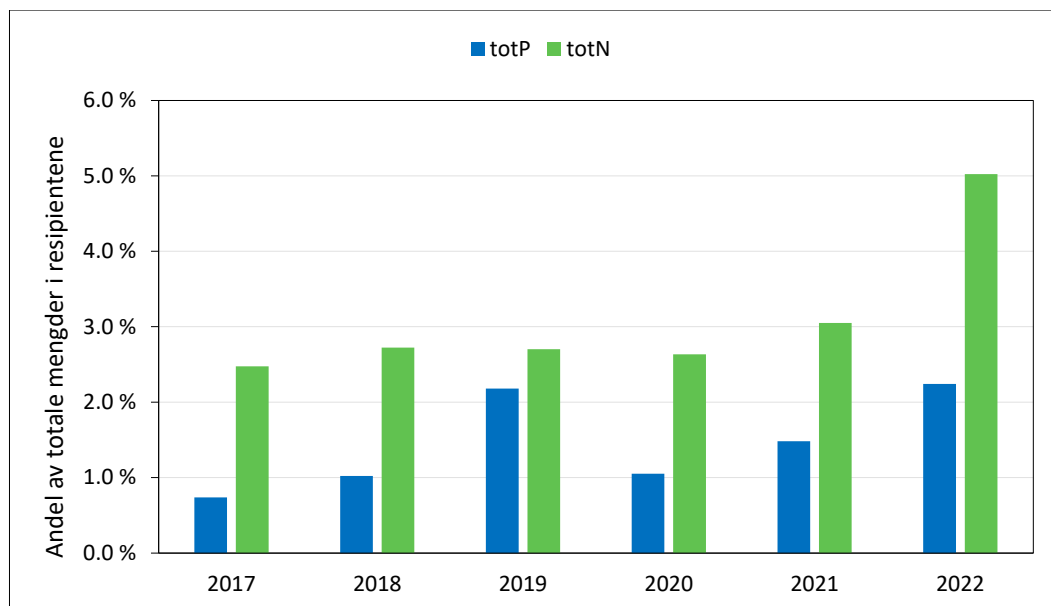


Figur 4-1: Akkumulerte utslipp totalt fosfor og prosentvis fordeling per anlegg for 2017-2022



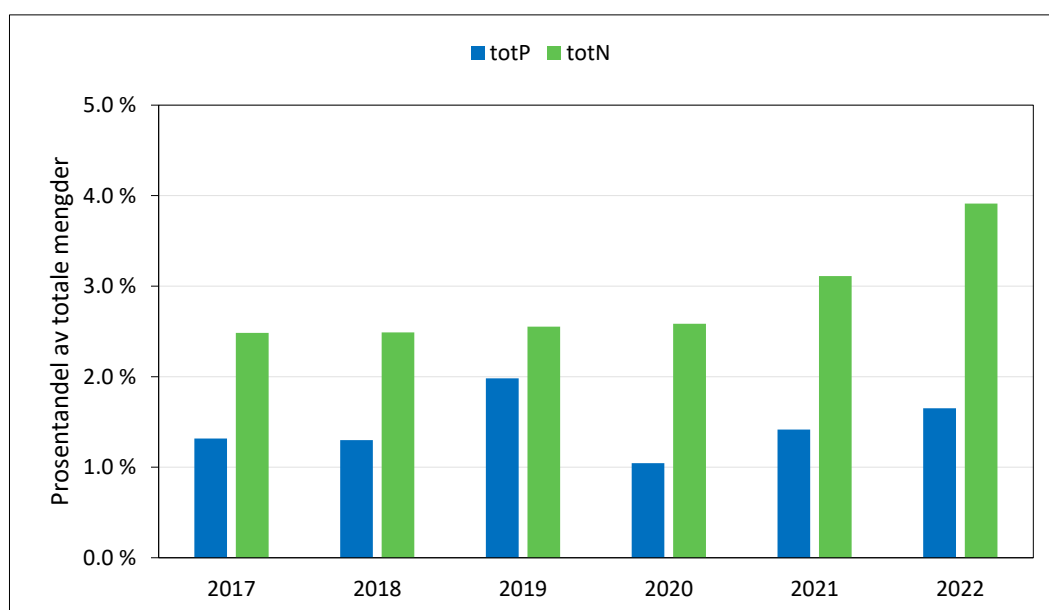
Figur 4-2: Akkumulerte utslipp totalt nitrogen og prosentvis fordeling per anlegg for 2017-2022

Utslippene til renseanleggene er sammenliknet med simulerte mengder totalt fosfor og totalt nitrogen ved utvalgte punkter i resipientene. Figur 4-3 viser renseanleggenes prosentandel av totalt fosfor og totalt nitrogen i Glomma ved Fetsund bru for 2017-2022. Utslippene fra Minnesund, Bårldalen, Fjellfoten, Rånåsfoss og Tangen utgjør ca. 1-2% totalt fosfor og ca. 3-5% av totalt nitrogen i Vorma og Glomma.



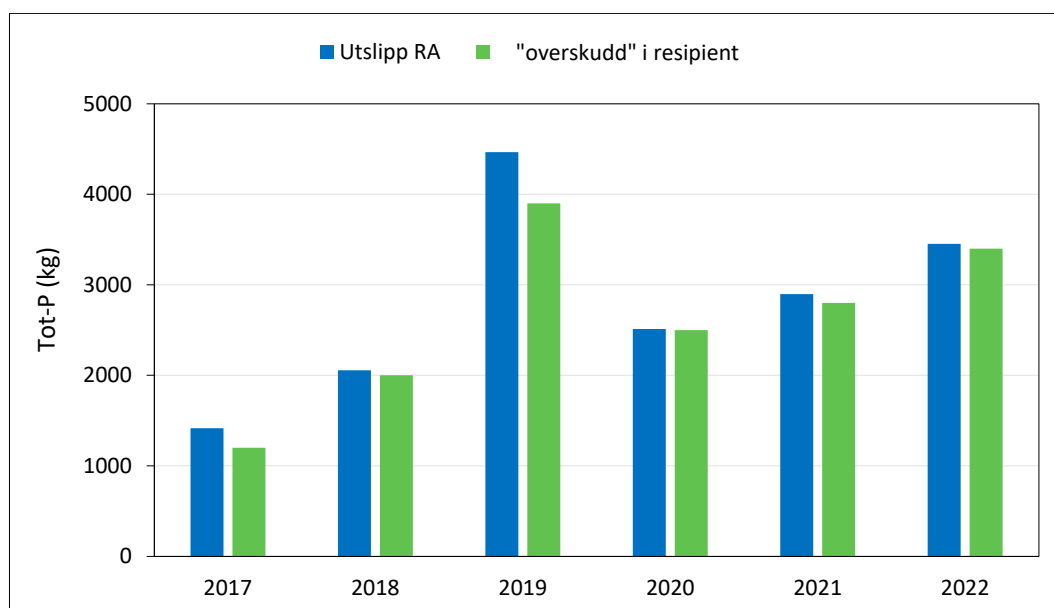
Figur 4-3: Minnesund, Bårldalen, Fjellfoten, Rånåsfoss og Tangen andel av totale mengder totalt fosfor og totalt nitrogen i Vorma og Glomma

Figur 4-4 viser renseanleggenes prosentandel av totalt fosfor og totalt nitrogen ved utløpet av Øyeren for 2017-2022. Utslippene fra anleggene samlet utgjør ca. 1-2% av totalt fosfor og ca. 3-4% av totalt nitrogen i Øyeren.

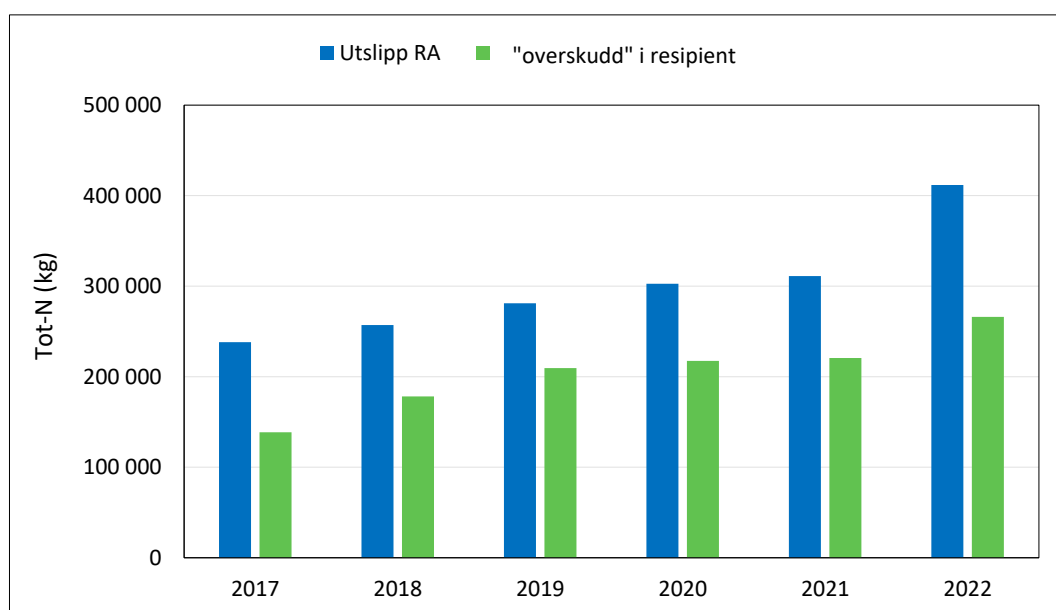


Figur 4-4: Avløpsrensensanleggenes samlede prosentandel totalt fosfor og totalt nitrogen i Øyeren ved Mørkfoss

Merk at de beregnede prosentandelene i Figur 4-3 og Figur 4-4 ikke tar hensyn til fysisk-kjemiske og biologiske prosesser i resipientene som bryter ned og omdanner deler av næringsstoffene fra utslippene. For å estimere omsetningen av næringsstoffene i resipientene er det utført massebalanseberegninger. Først er mengdene totalt fosfor og totalt nitrogen i resipienten beregnet basert på simuleringene med og uten utslippene fra anleggene. Differansen mellom simuleringene gir et estimat på andelen av utslippene som ikke blir omsatt og blir et overskudd i resipienten. Sammenlikner «overskuddet» i resipienten med utslippsdataene vil en få et estimat på andelen av næringsstoffene som omsettes.

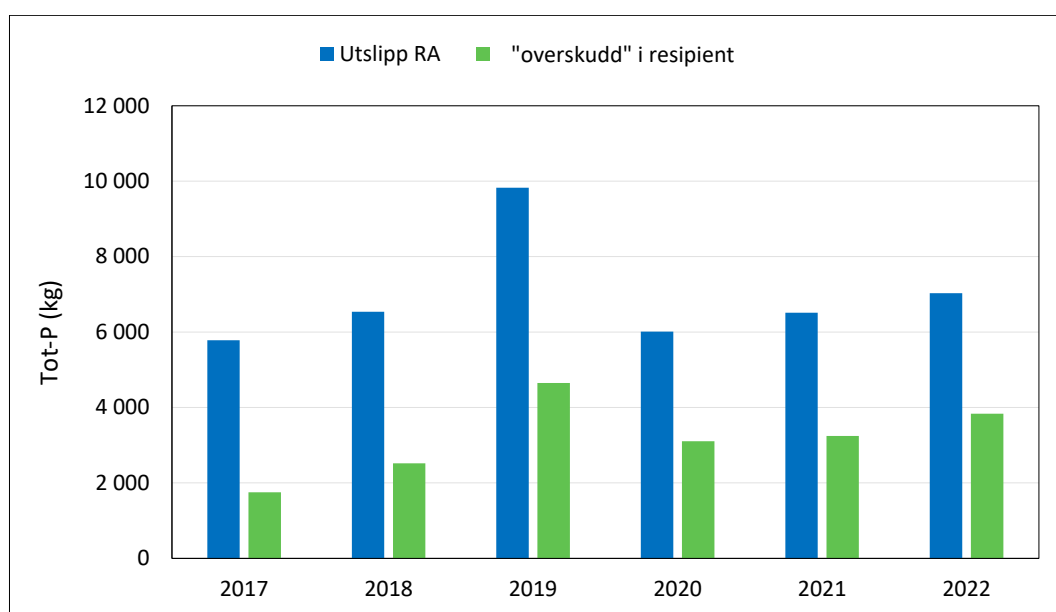


Figur 4-5: Glomma ved Fetsund bru. Akkumulerte utslipp totalt fosfor fra avløpsrensensanleggene og overskuddet fra utslippene i resipienten



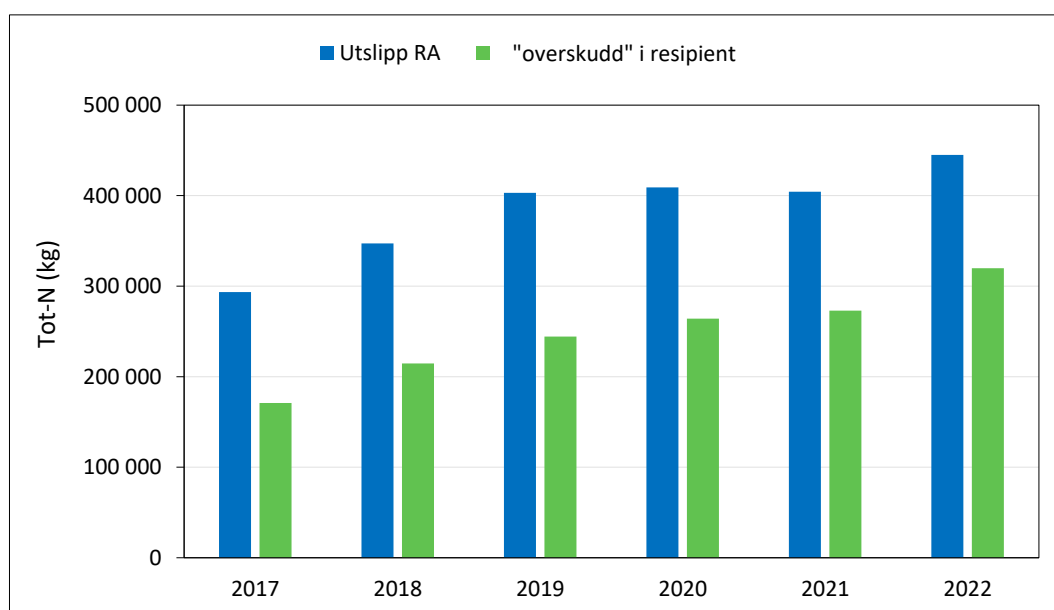
Figur 4-6: Glomma ved Fetsund bru. Akkumulerte utslipp totalt nitrogen fra avløpsrenseanleggene og overskuddet fra utslippene i resipienten

Figur 4-5 og Figur 4-6 viser de akkumulerte utslippene Tot-P og Tot-N fra anleggene i Vormå og Glomma og overskuddet i resipienten (differanse simuleringer med og uten utslipp). Resultatene viser for 2017-2022 at mellom 0.5-15% av Tot-P fra utslippene til Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss og Tangen renseanlegg omsettes på strekningen. Mellom 25-40% av nitrogenutslippene til renseanleggene omsettes.



Figur 4-7: Øyeren ved Mørkfoss. Akkumulerte utslipp totalt fosfor fra avløpsrenseanleggene og overskuddet fra utslippene i resipienten





Figur 4-8: Øyeren ved Mørkfoss. Akkumulerte utslipp totalt nitrogen fra avløpsrenseanleggene og overskuddet fra utslippene i resipienten

Videre nedstrøms i resipienten ser man liknende resultater som i Vorma og Glomma. Figur 4-7 og Figur 4-8 viser de akkumulerte utslippene Tot-P og Tot-N fra alle anleggene, og overskuddet fra utslippene i resipienten (differansen mellom simuleringene med og uten utslipp) i Øyeren ved Mørkfoss. Massebalanseberegningene viser at ca. 45-70% av fosforutslippene til renseanleggene omsettes i resipienten og ca. 30-40 % av nitrogenet. Sammenliknet med Vorma og Glomma omsettes det i Øyeren en langt større andel av utslippene totalt fosfor.

Basert på resultatene fra simuleringene med vannkvalitetsmodellene og utslippsdataene fra renseanleggene for 2017-2022, **estimeres det grovt at ca. 30-55 % av fosforutslippene og 60-70% av nitrogenutslippene transporteres videre nedstrøms i Glomma.**

Prosessene som omsetter fosfor og nitrogen i Vorma, Glomma og Øyeren er redegjort for i detalj i vedlegg B. Under følger en kort oppsummering av de primære prosessene for fosfor og nitrogen i resipientene.

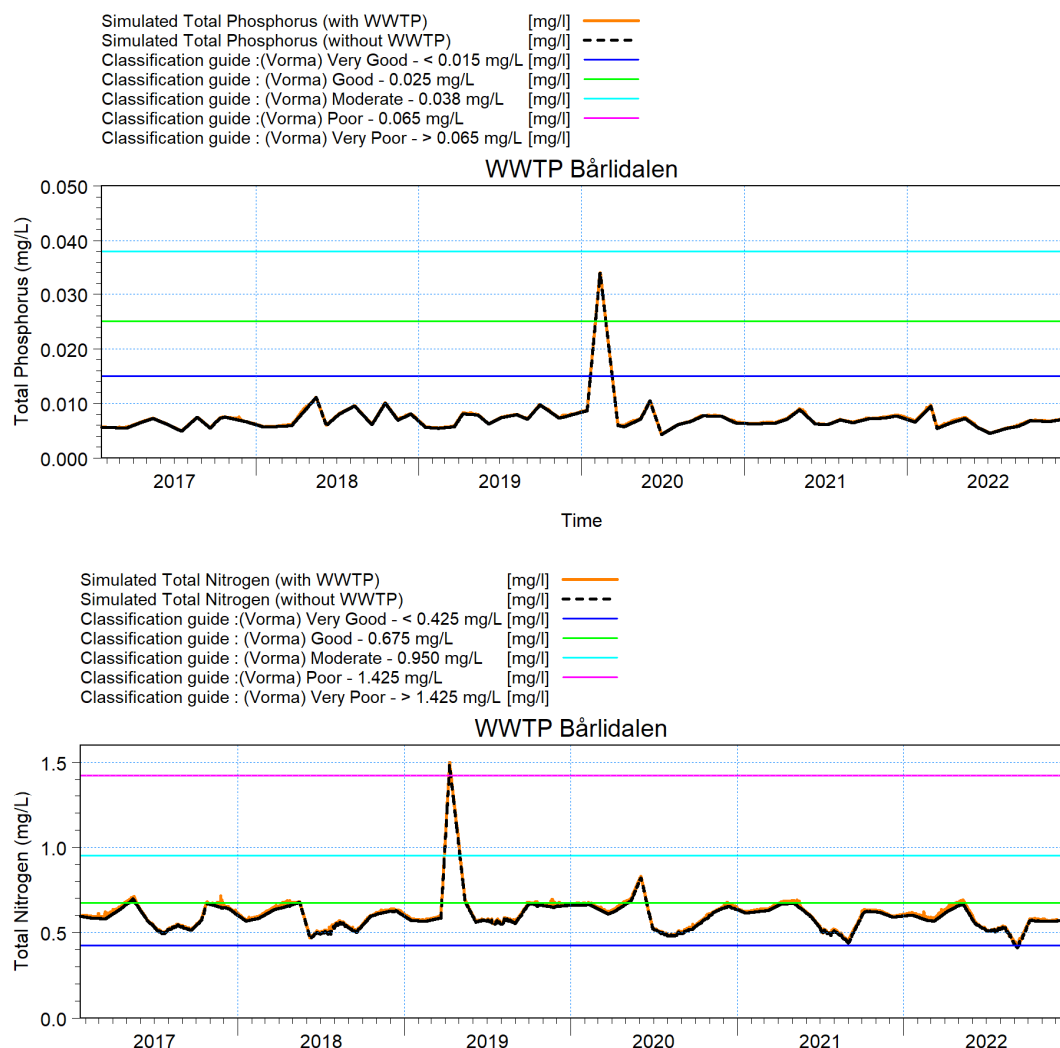
Fosforutslippene fra avløpsrenseanleggene inkluderer blant annet oppløst fosfor, partikulært fosfor og BOF. Utslipp av oppløst ortofosfat, frigjort ortofosfat fra nedbrytning av BOF og frigjort ortofosfat fra partikulært fosfor vil adsorberes til partikler og tas opp i vegetasjonen som en del av fotosyntesen og respirasjonen, og tas opp av sedimenter. Sedimentering og resuspensjon påvirker også det partikulære fosforet i elvene.

Nitrogenutslippene fra renseanleggene består blant annet av ammoniakk, nitrat og BOF. Nedbrytning av organisk materiale og BOF frigjør organisk bundet nitrogen til ammoniakk (ammonifisering). De nedbrytende bakteriene bruker imidlertid noe av nitrogenet til egen vekst. Ammoniakk som frigjøres ved ammonifisering kan tas opp av planter eller nitrifiseres til nitrat. Nitratet omdannes til slutt til fritt nitrogen som tas opp i atmosfæren gjennom denitrifikasjon. Ammonifisering og nitrifikasjon foregår i de oksygenholdige sonene i vannet. Denitrifikasjon krever imidlertid anoksiske forhold.

### 4.3 Tilstand og påvirkning i Vorma og Glomma

Basert på resultatene fra simuleringene er det laget tidsserieplott som viser konsentrasjoner totalt fosfor, totalt nitrogen, oksygen og ammoniakk for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra renseanleggene. Samtlige tidsserier er vist i vedlegg D. I dette kapitlet vises kun et utdrag fra resultatene.

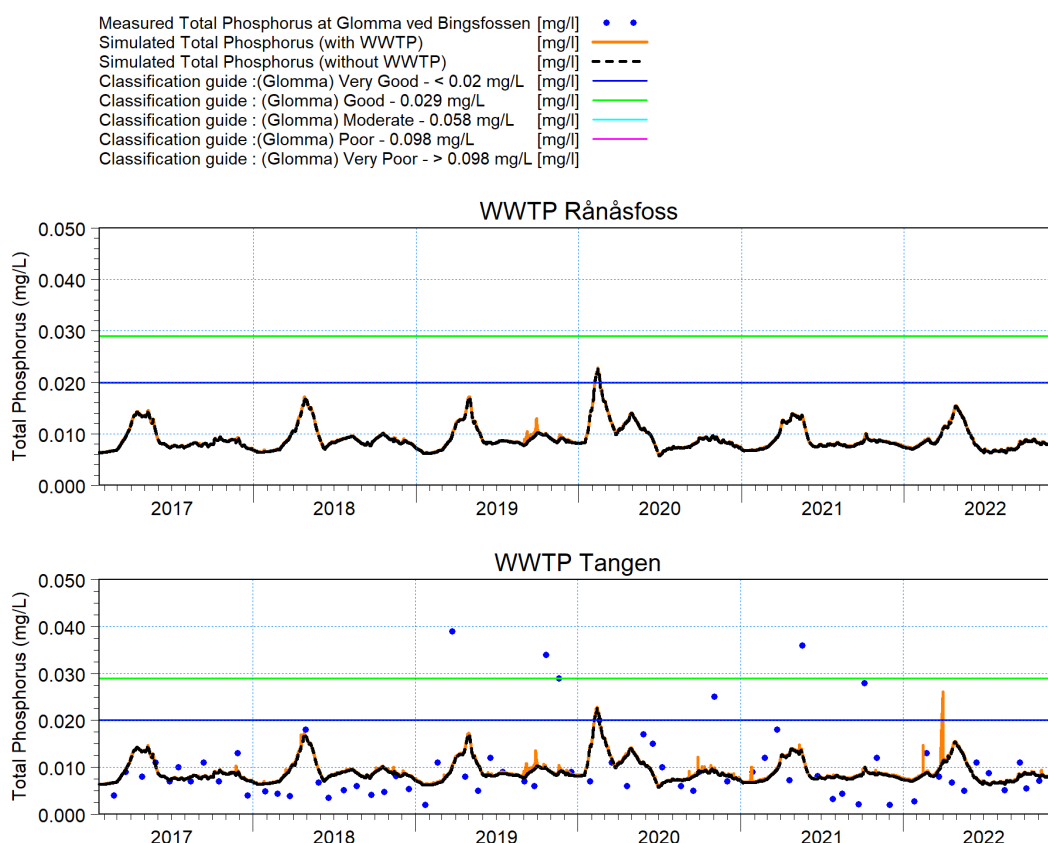
Figur 4-9 viser simulerte konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen i Vorma rett nedstrøms Bårlidalen renseanlegg for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene.



Figur 4-9: Simulerte konsentrasjoner Tot-P og Tot-N i Vorma rett nedstrøms Bårlidalen RA for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

Resultatene viser at Vorma kan klassifiseres som god til svært god tilstand for totalt fosfor. Konsentrasjonene ligger stort sett innenfor klassegrensen for svært god, men det er en periode i begynnelsen av 2020 der konsentrasjonene øker og tilstanden kan klassifiseres som moderat. Endringen skyldes ikke utslipp fra Minnesund eller Bårlidalen renseanlegg. Utslippene fra renseanleggene øker konsentrasjonene minimalt og bidrar ikke til å endre klassifiseringen.

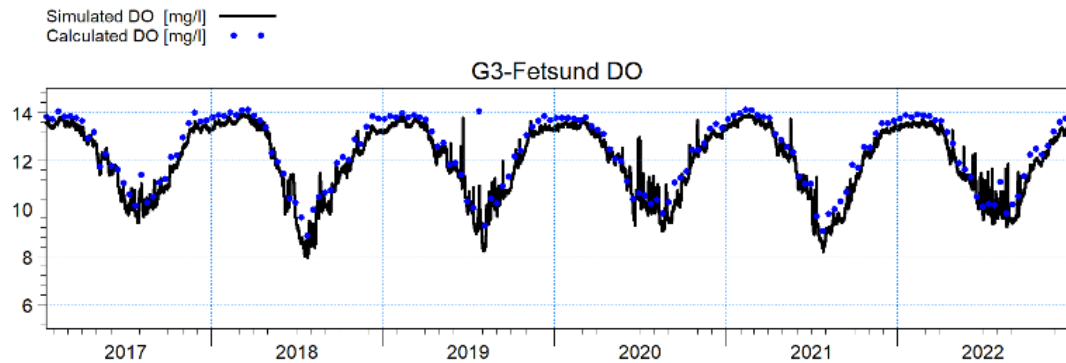
For totalt nitrogen ser vi liknende resultater som for totalt fosfor. Konsentrasjonene ligger stort sett innenfor klassegrensen for god tilstand, men i den øvre enden av intervallet og er i noen perioder over. I en periode i 2019 øker konsentrasjonene betydelig og tilstanden endres midlertidig til svært dårlig. Økningen av konsentrasjonene skyldes ikke utslipp fra renseanleggene. Utslippene fra renseanleggene fører til noe økning i konsentrasjoner totalt nitrogen i Vormå, men ikke nok til å endre klassifiseringen.



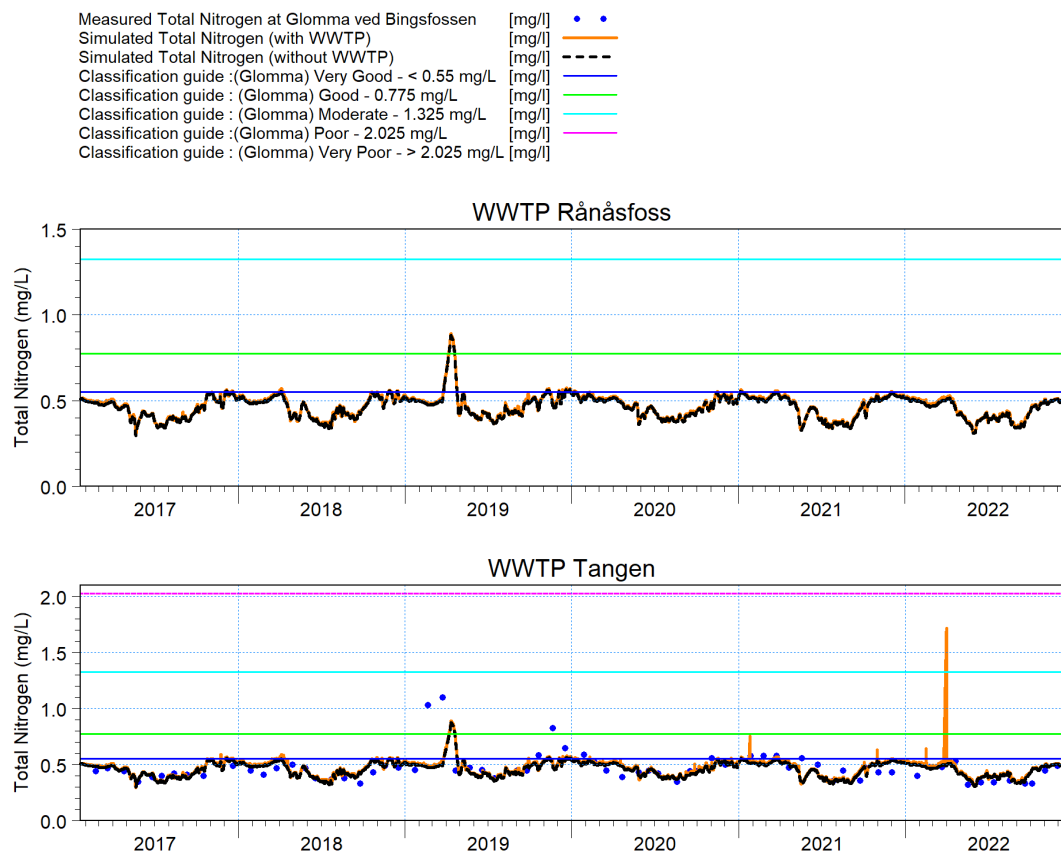
Figur 4-10: Måledata vs. simulerte konsentrasjoner Tot-P i Glomma ved Rånåsfoss og Bingsfoss for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

Figur 4-10 viser observerte og simulerte konsentrasjoner totalt fosfor i Glomma ved Rånåsfoss og Tangen for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene. Resultatene viser at Glomma mellom Funnefoss og Fetsund kan klassifiseres som svært god tilstand for totalt fosfor. Man ser en tydelig med trend der konsentrasjonene øker om våren, hvilket skyldes avrenning fra snøsmelting og økt vannføring i Glomma. Konsentrasjonene ligger stort sett innenfor klassegrensen for svært god, men det er en periode i begynnelsen av 2020 der konsentrasjonene øker og tilstanden kan klassifiseres som god. Endringen skyldes ikke utslipp fra avløpsrenseanleggene. Sammenliknet med Vormå bidrar utslippene fra avløpsrenseanleggene til en mer synlig økning i konsentrasjoner i Glomma, men er ikke nok til å endre klassifiseringen. Det er spesielt to hendelser i 2022 som peker seg ut der avløpsrenseanleggenes utslipp øker konsentrasjonene ved Bingsfossen betydelig. Økningen i konsentrasjoner er ikke funnet oppstrøms Tangen. Nærmere gjennomgang av utslippsdataene ved Tangen avdekket målefeil som førte til urealistisk store utslipp. Hendelsene er derfor ikke reelle og kan sees bort i fra i vurderingen av renseanleggenes påvirkning.

Figur 4-11 viser simulerte konsentrasjoner oksygen i Vorma ved Bårlidalen. Modellresultatene viser gode oksygenforhold med minimumsverdier høyere enn klassegrensen for svært god tilstand.



Figur 4-11: Simulert konsentrasjon oksygen i Vorma ved Bårlidalen for perioden 2017-2022

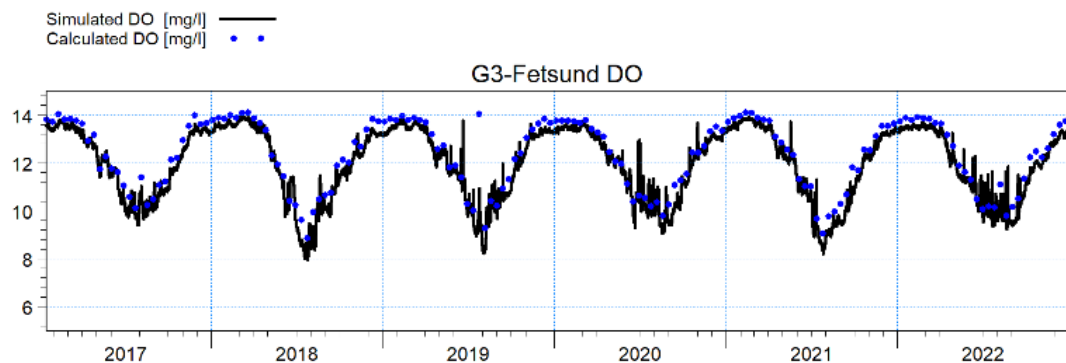


Figur 4-12: Måledata vs. simulerte konsentrasjoner Tot-N i Glomma ved Rånåsfoss og Bingsfoss for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

I Glomma ser man liknende resultater for totalt nitrogen som for totalt fosfor. Konsentrasjonene ligger stort sett mellom klassegrensen for svært god og god tilstand. I en periode i 2019 øker konsentrasjonene betydelig og tilstanden endres midlertidig til moderat. Økningen av konsentrasjonene skyldes ikke utslipp fra renseanleggene. Utslippene fra renseanleggene fører til noe økning i konsentrasjoner totalt nitrogen i Vorma, men ikke nok til å endre tilstanden. Sammenliknet med Vorma bidrar utslippene

fra avløpsrenseanleggene til en mer synlig økning i konsentrasjoner totalt nitrogen i Glomma. Tilsvarende som for fosfor skyldes hendelsen i 2022 feil i utslippsdataene ved Tangen renseanlegg, og sees bort ifra ved vurdering av renseanleggenes påvirkning.

Figur 4-13 viser simulerte konsentrasjoner oksygen i Glomma ved Fetsund bru. Modellresultatene viser gode oksygenforhold med minimumsverdier høyere enn klassegrensen for svært god tilstand. Modellen viser gode oksygenforhold i Glomma med minimumsverdier som er langt høyere enn klassegrensen for svært god tilstand.



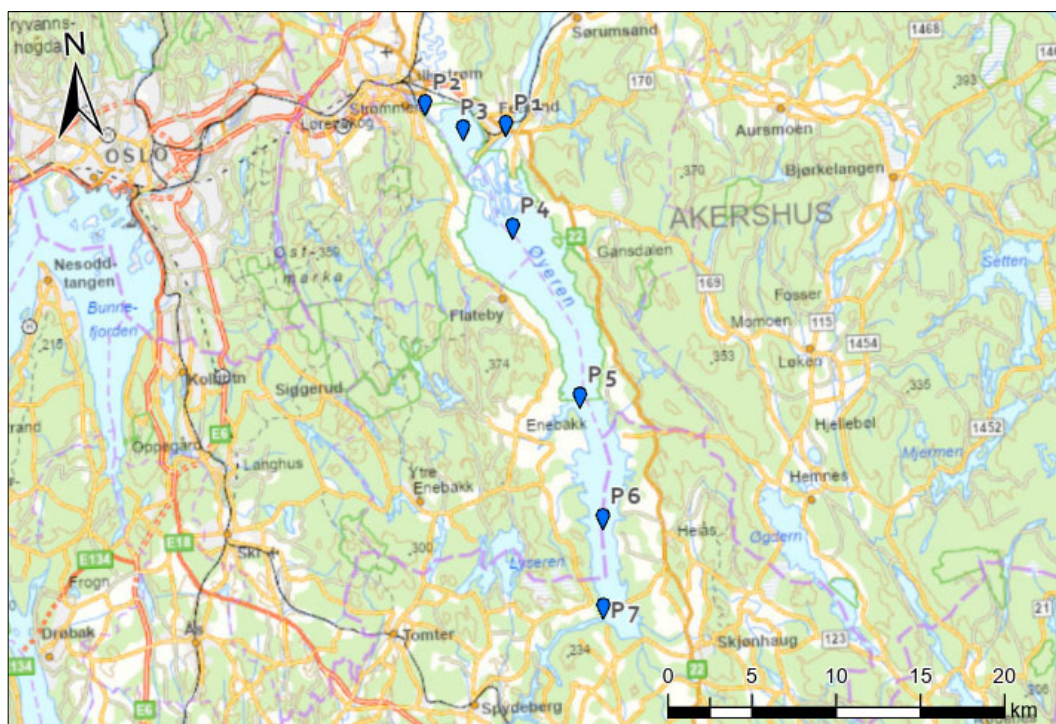
Figur 4-13: Simulert konsentrasjon oksygen i Glomma ved Fetsund for perioden 2017-2022

## 4.4 Tilstand og påvirkning i Øyeren

Basert på resultatene fra modellen er det laget tidsserieplott, 2D statistiske kart og vertikale profiler som viser konsentrasjonen av totalt fosfor, totalt nitrogen, ammoniakk, oksygen, klorofyll a og total organisk karbon for perioden 2017-2022 med og uten utslippene fra avløpsrenseanleggene. Dybden varierer i Øyeren og det er derfor produsert tidsserier og kart for både overflaten og bunnlaget. I dette kapitlet vises kun utdrag fra resultatene. Samtlige resultater er vist i vedlegg D.

Tidsseriene er laget for følgende punkter:

1. Glomma ved Fetsund bru (G3), modellens nordøstre grense
2. Nitelva og Leira oppstrøms Svellet, modellens nordvestre grense
3. Svellet (ØY6)
4. Rett nedstrøms deltaet der Svellet og Glomma møtes
5. Øyeren ved Kirkebygda sentralrenseanlegg
6. Øyeren (P-ØSØY1)
7. Utløpet av Øyeren ved Mørkfoss, modellens nedstrøms grense



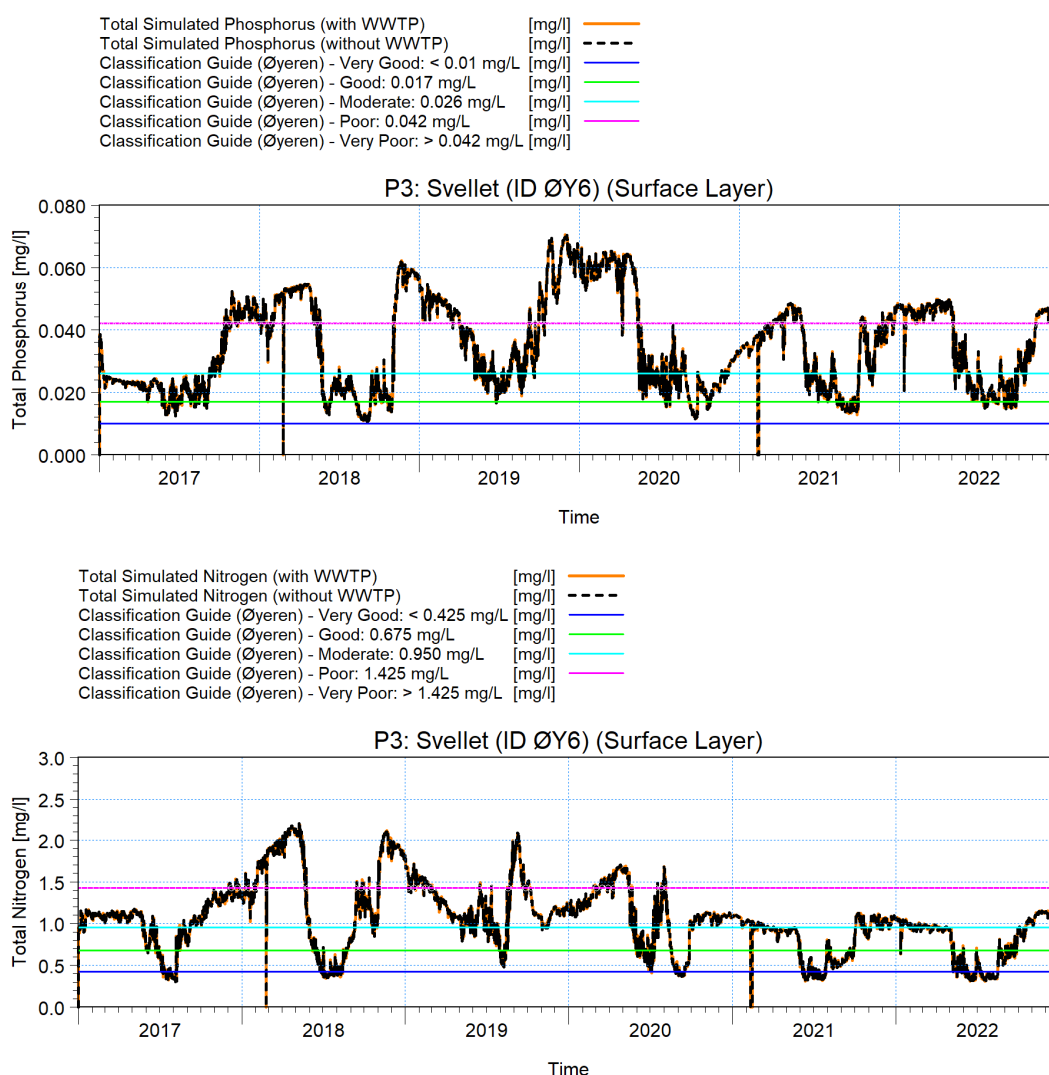
Figur 4-14: Plassering av punkter for tidsserieplott

De 2-dimensjonale kartene viser ulike statistiske tall for ulike vannkvalitetsparametere (se Tabell 4-6). Det er laget kart med og uten utslipp fra avløpsrensaneanleggene, samt differansekart som illustrerer påvirkningen til anleggene.

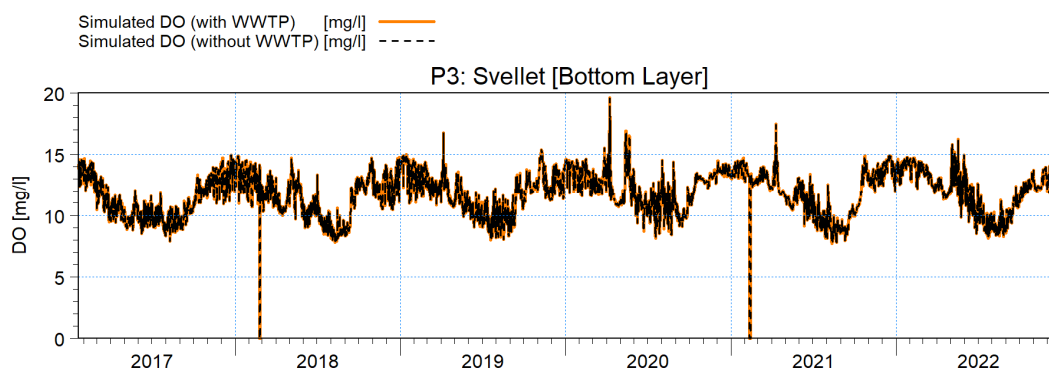
Variasjonene i morfologiske og hydrologiske forhold bidrar til et variert spekter av vannkvalitetsforhold Øyeren. Den nordre delen av Øyeren har elveliknende egenskaper med korte oppholdstider, beskjedne dybder og den deltaliknende plattformen Svellet som går i samtløp med Glomma. Den søndre delen er langt dypere med tydelig lagdeling i vekstsesongen. Øyerens økosystem i nord er mesotroft og produktivt mens den søndre delen er oligotroft.

Modellresultatene viser at næringsstoffene er konsentrert i det grunne deltaområdet i nordlige delen av Øyeren (Svellet). Figur 4-15 viser simulerte konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen i overflatelaget i Svellet perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrensaneanleggene. Figur 4-16 og Figur 4-17 viser henholdsvis simulerte konsentrasjoner oksygen og klorofyll a. Tilstanden i Svellet før samtløpet med Glomma kan klassifiseres som dårlig til svært dårlig for totalt fosfor, totalt nitrogen og klorofyll a. Oksygenforholdene kan klassifiseres som svært gode.

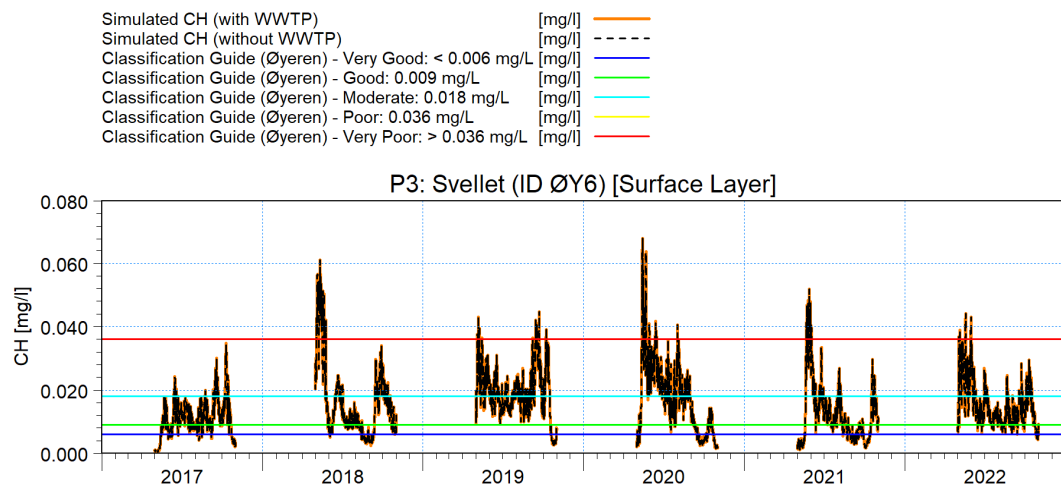




Figur 4-15: Simulerte konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen overflaten i punkt 3 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg.

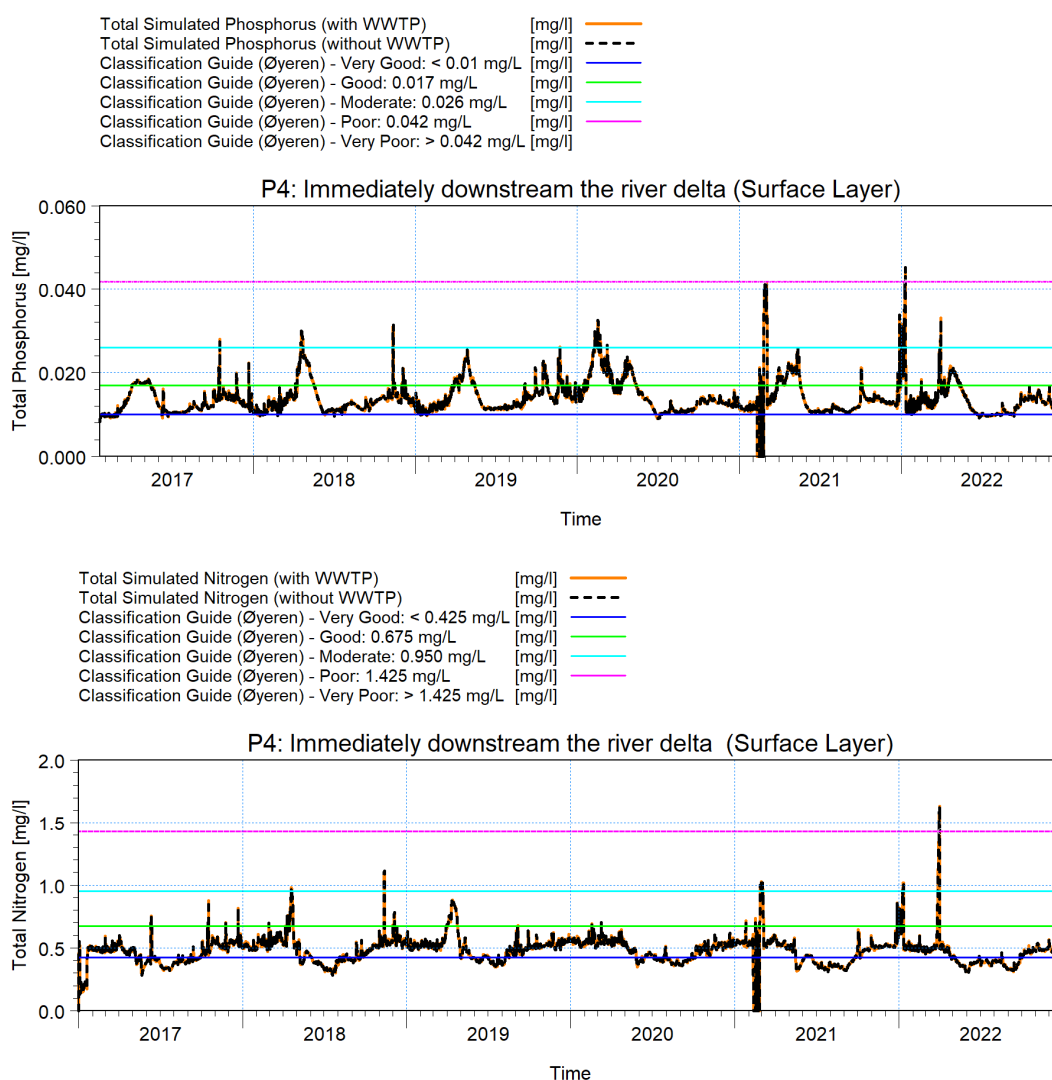


Figur 4-16: Simulerte konsentrasjoner oksygen i punkt 3 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

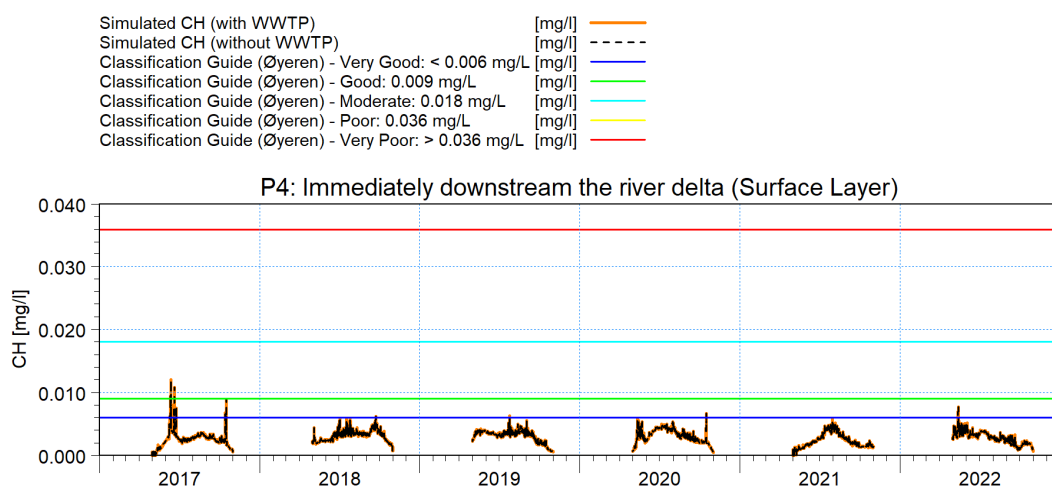


**Figur 4-17:** Simulerte konsentrasjoner klorofyll a i punkt 3 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

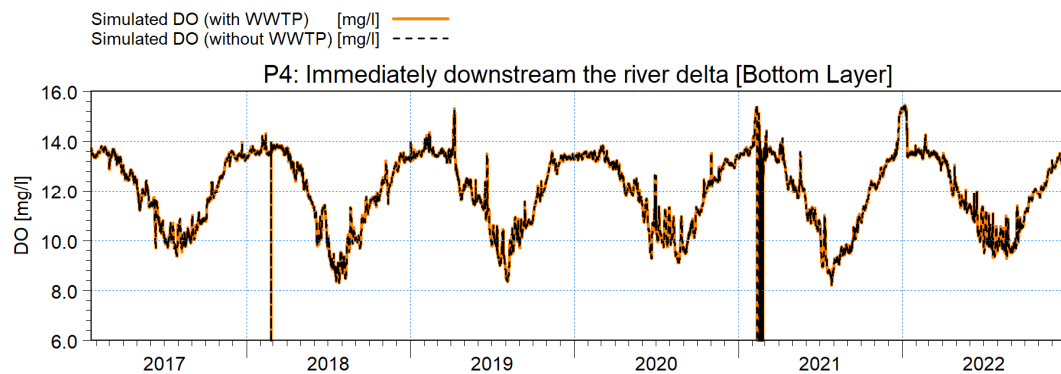
Nedstrøms samløpet med Glomma ser vi en tydelig forbedring i vannkvaliteten. Figur 4-18 viser simulerte konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen i et punkt rett nedstrøms samløpet med Svellet og Glomma for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene. Figur 4-19 og Figur 4-20 viser henholdsvis simulerte konsentrasjoner oksygen og klorofyll a. Sammenliknet med Svellet er tilstanden klart bedre og kan klassifiseres som god til moderat for totalt fosfor og totalt nitrogen. Oksygenforholdene er svært gode og konsentrasjonen klorofyll a kan klassifiseres som god til svært god.



Figur 4-18: Simulerte konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen i punkt 4 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg.

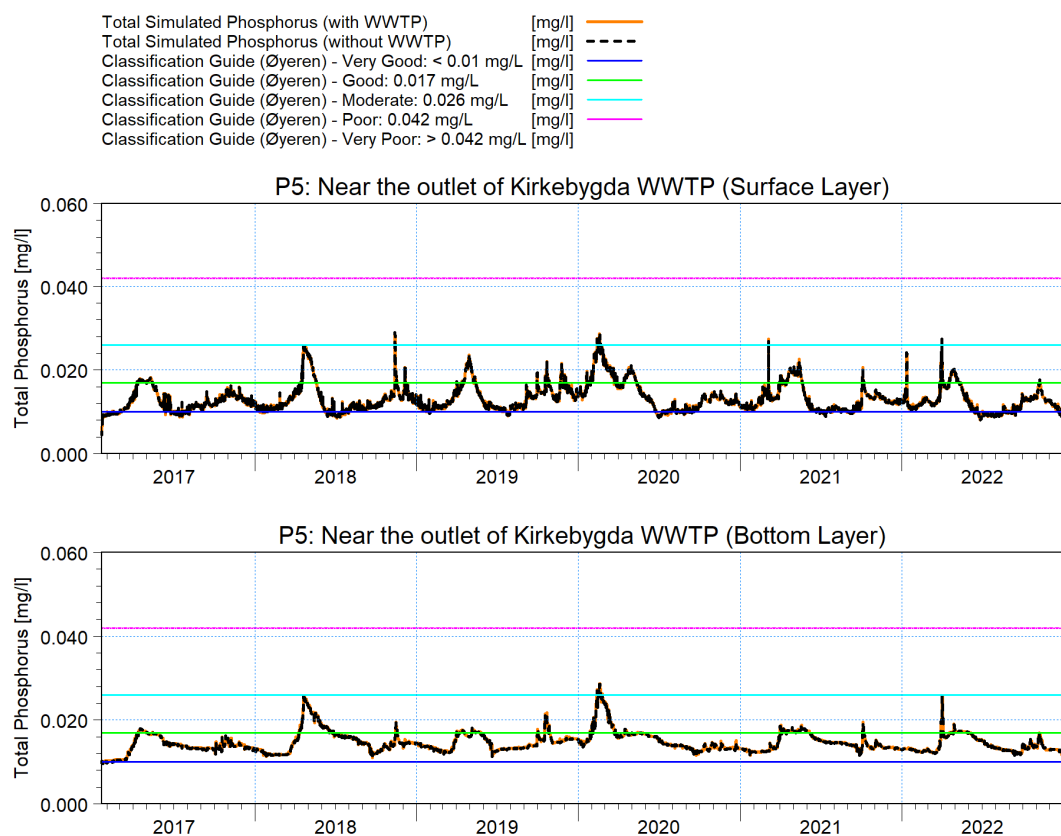


Figur 4-19: Simulerte konsentrasjoner klorofyll a i punkt 4 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

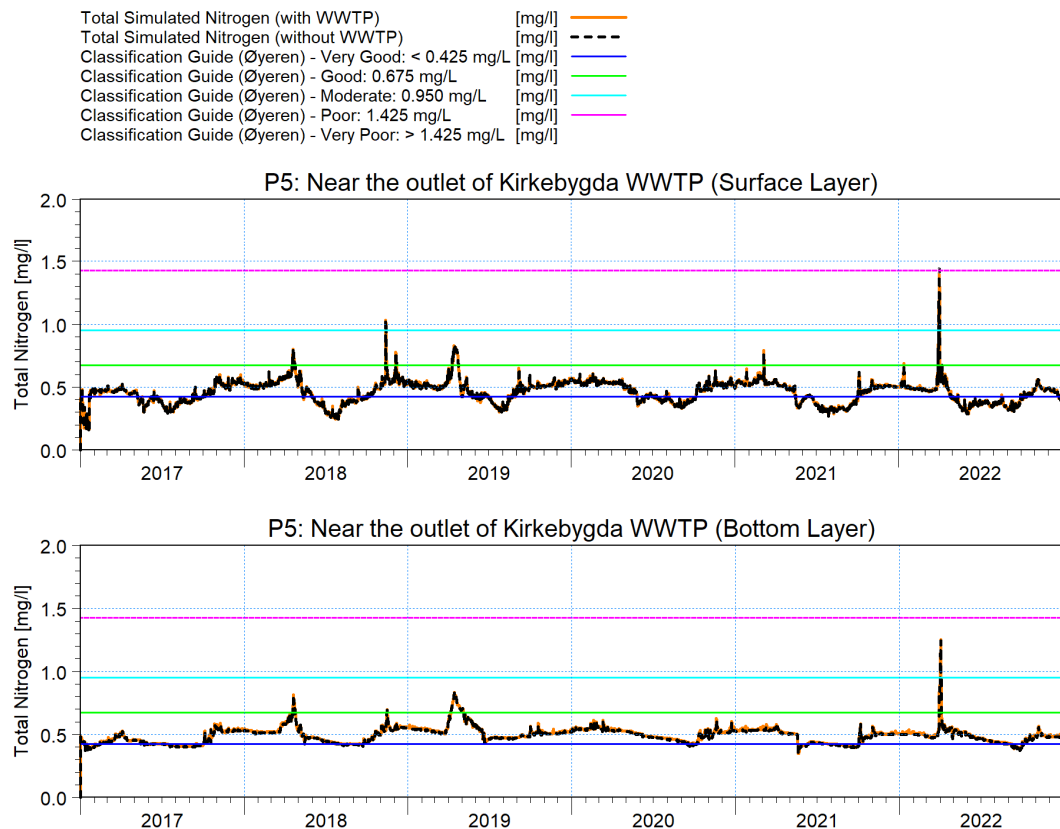


Figur 4-20: Simulerte konsentrasjoner oksygen i punkt 4 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg

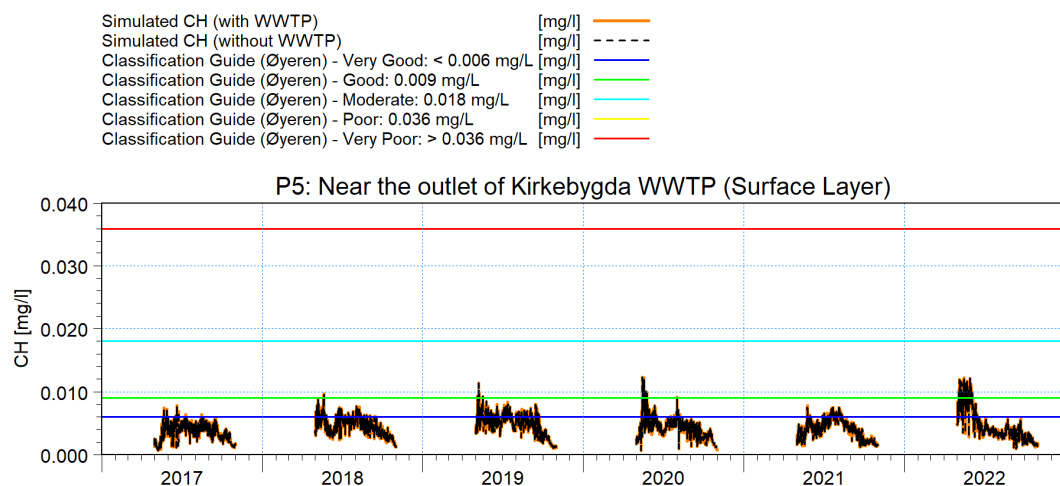
Beveger man seg lenger nedstrøms i Øyeren nær utløpet til Kirkebygda sentralrenseanlegg ser vi en ytterligere forbedring i vannkvaliteten. Figur 4-21 og Figur 4-22 viser simulerte konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen i overflaten og bunnlaget ved anlegget for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene. Figur 4-23 og Figur 4-24 viser henholdsvis simulerte konsentrasjoner oksygen og klorofyll a. Konsentrasjonene totalt fosfor og totalt nitrogen kan klassifiseres som moderat til god både i overflaten og bunnlaget. Oksygenforholdene er svært gode og konsentrasjonene klorofyll a kan klassifiseres som god til svært god.



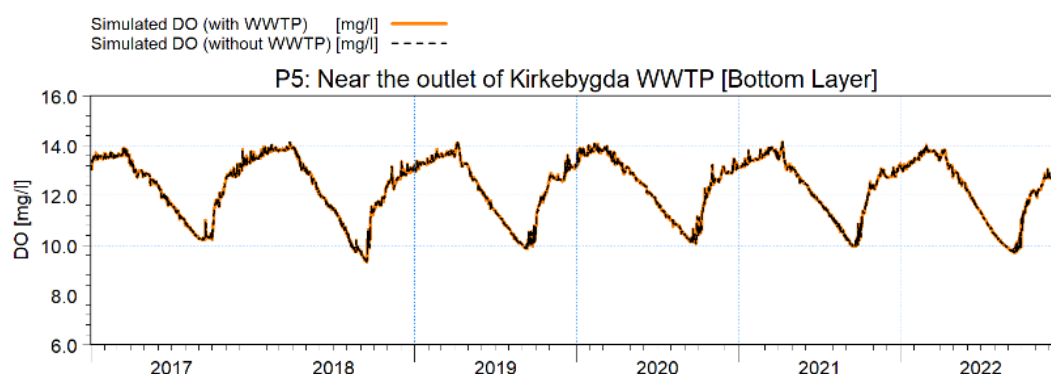
Figur 4-21: Simulerte konsentrasjoner totalt fosfor i overflaten og bunnlaget ved punkt 5 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg.



Figur 4-22: Simulerte konsentrasjoner totalt nitrogen i overflaten og bunnlaget ved punkt 5 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg.

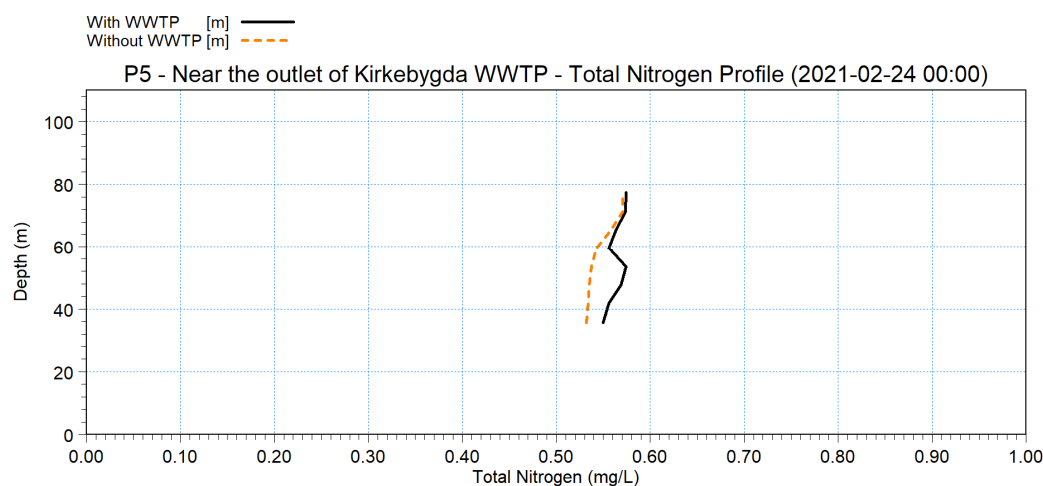


Figur 4-23: Simulerte konsentrasjoner klorofyll a i overflaten ved punkt 5 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg.



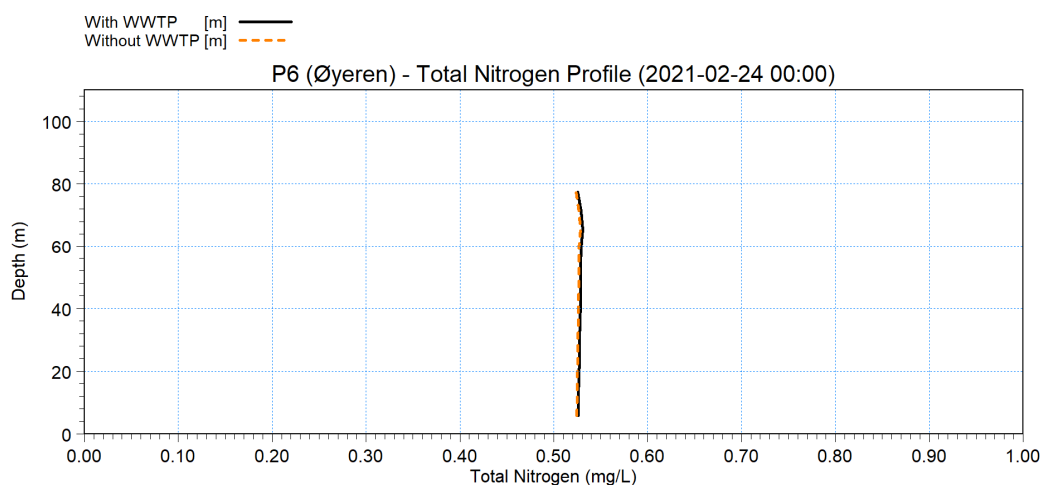
Figur 4-24: Simulerte konsentrasjoner oksygen i bunnlaget ved punkt 5 for perioden 2017-2022 med og uten avløpsrenseanlegg.

For en nærmere vurdering av Kirkebygda sentralrenseanleggs påvirkning er konsentrasjonen av ulike næringsstoffer i vertikalprofilen til punkt 5 og 6 analysert. 2021 er valgt ut siden utslippene fra Kirkebygda var størst dette året. Figur 4-25 - Figur 4-28 viser variasjonen av totalt nitrogen med dybden i punkt 5 og 6 med og uten utslipp fra Kirkebygda den 24. februar 2021 og 18. august 2021. For scenariene som inkluderer utslippet fra anlegget ser man en økning i konsentrasjonene ved kote 78 ved punkt 5 der utløpet til anlegget er plassert. Studerer man vertikalprofilen i punkt 6 nedstrøms ser man minimale forskjeller i konsentrasjonene mellom simuleringene med og uten utslipp fra renseanlegget. Resultatet tyder på at påvirkningen fra renseanlegget er svært lokal og avtar nedstrøms i Øyeren. Kikker man på øvrige tilstandsvariabler i punkt 5 og 6 ser man ingen forskjell i konsentrasjonene med og uten utslipp fra Kirkebygda.

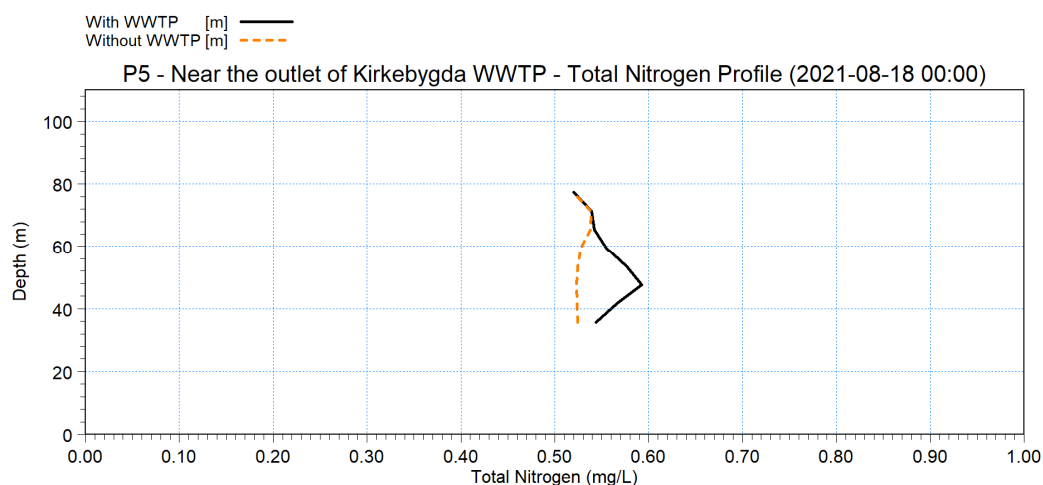


Figur 4-25: Vertikalprofil konsentrasjon totalt nitrogen 24. februar 2021 ved Kirkebygda RA (punkt 5)

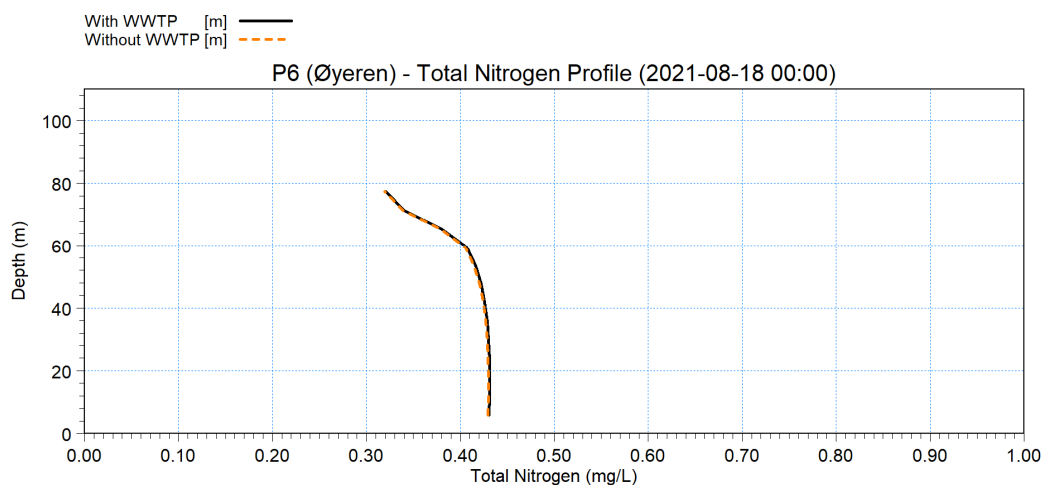




Figur 4-26: Vertikalprofil konsentrasjon totalt nitrogen 24. februar 2021 ved P-ØSØY1 (punkt 6)



Figur 4-27: Vertikalprofil konsentrasjon totalt nitrogen 18. august 2021 ved Kirkebygda RA (punkt 5)



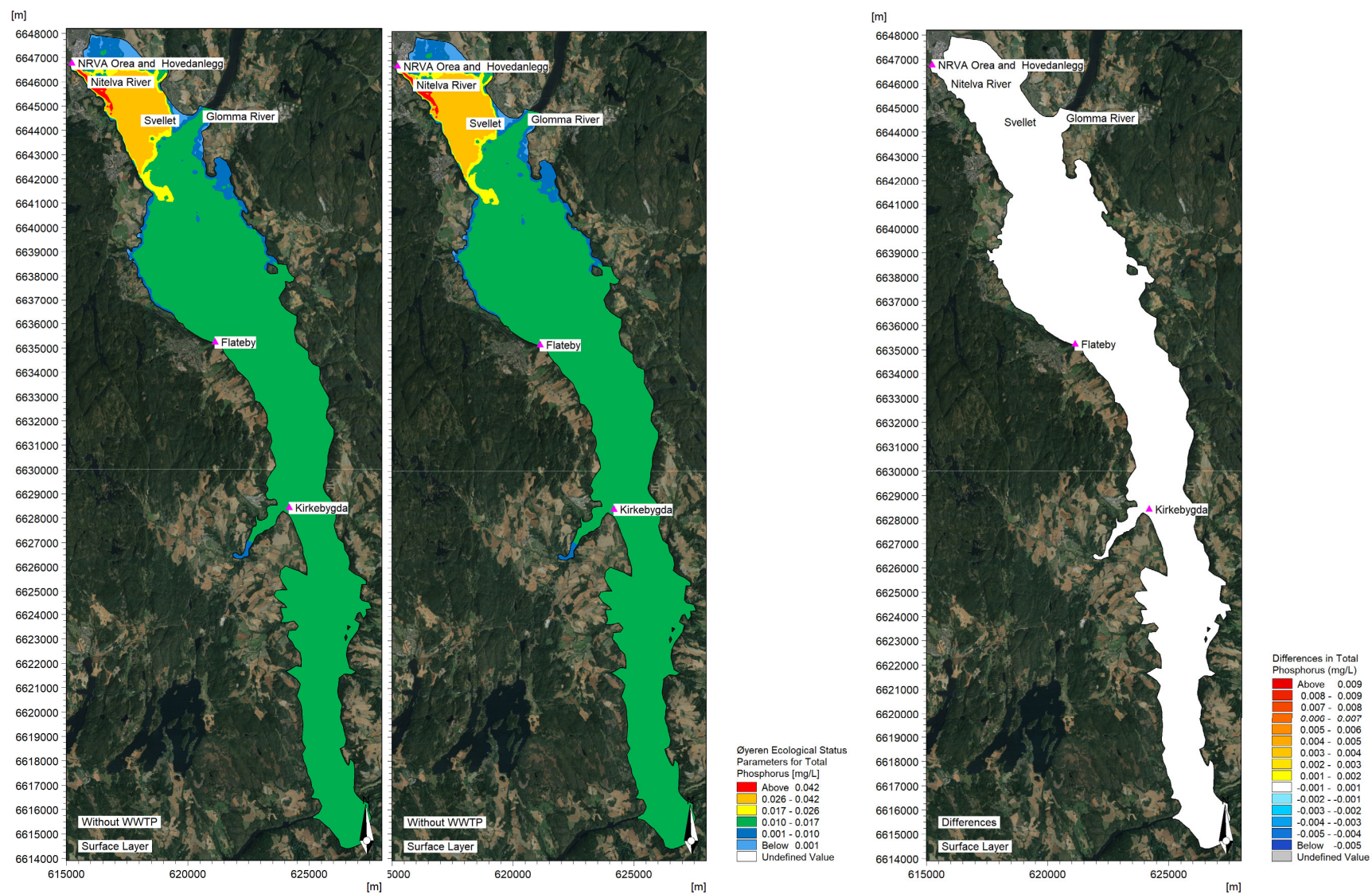
Figur 4-28: Vertikalprofil konsentrasjon totalt nitrogen 18. august 2021 ved P-ØSØY1 (punkt 6)

Det er laget 2D resultatkart for totalt fosfor, totalt nitrogen, ammoniakk + ammonium, oksygen, klorofyll a og totalt organisk karbon i Øyeren. Kartene viser ulike statistiske tall (se Tabell 4-6) for hver parameter basert på simuleringen av 2017-2022 med og uten utslippene fra renseanleggene. Differansekartene viser forskjellen i konsentrasjonene mellom scenariene. Samtlige 2D resultatkart er vist i vedlegg C. Her vises kun utdrag.

Figur 4-29 og Figur 4-30 viser 2D kart over middelverdien til konsentrasjonene for totalt fosfor i overflaten og bunnlaget til Øyeren for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra renseanleggene. Figur 4-31 og Figur 4-32 viser samme kart for totalt nitrogen. Kartene viser at middelverdien av konsentrasjonene varierer i de ulike delene av innsjøen. Middelverdien av konsentrasjonene totalt fosfor og totalt nitrogen i Svellet tilsvarer en dårlig til svært dårlig tilstand. I resten av Øyeren kan tilstanden klassifiseres som moderat til god. Differansekartet viser at utslippene fra renseanleggene bidrar til endringer i konsentrasjoner i Øyeren som nesten ikke er synlige for totalt fosfor. For totalt nitrogen er endringene i konsentrasjoner mer synlige med størst økning i bunnlaget ved Flateby og Kirkebygda renseanlegg. Kartene med 90-persentilen for ammoniakk + ammonium viser verdier som tilsvarer klassegrensen svært god tilstand i hele Øyeren utenom Svellet som er god.

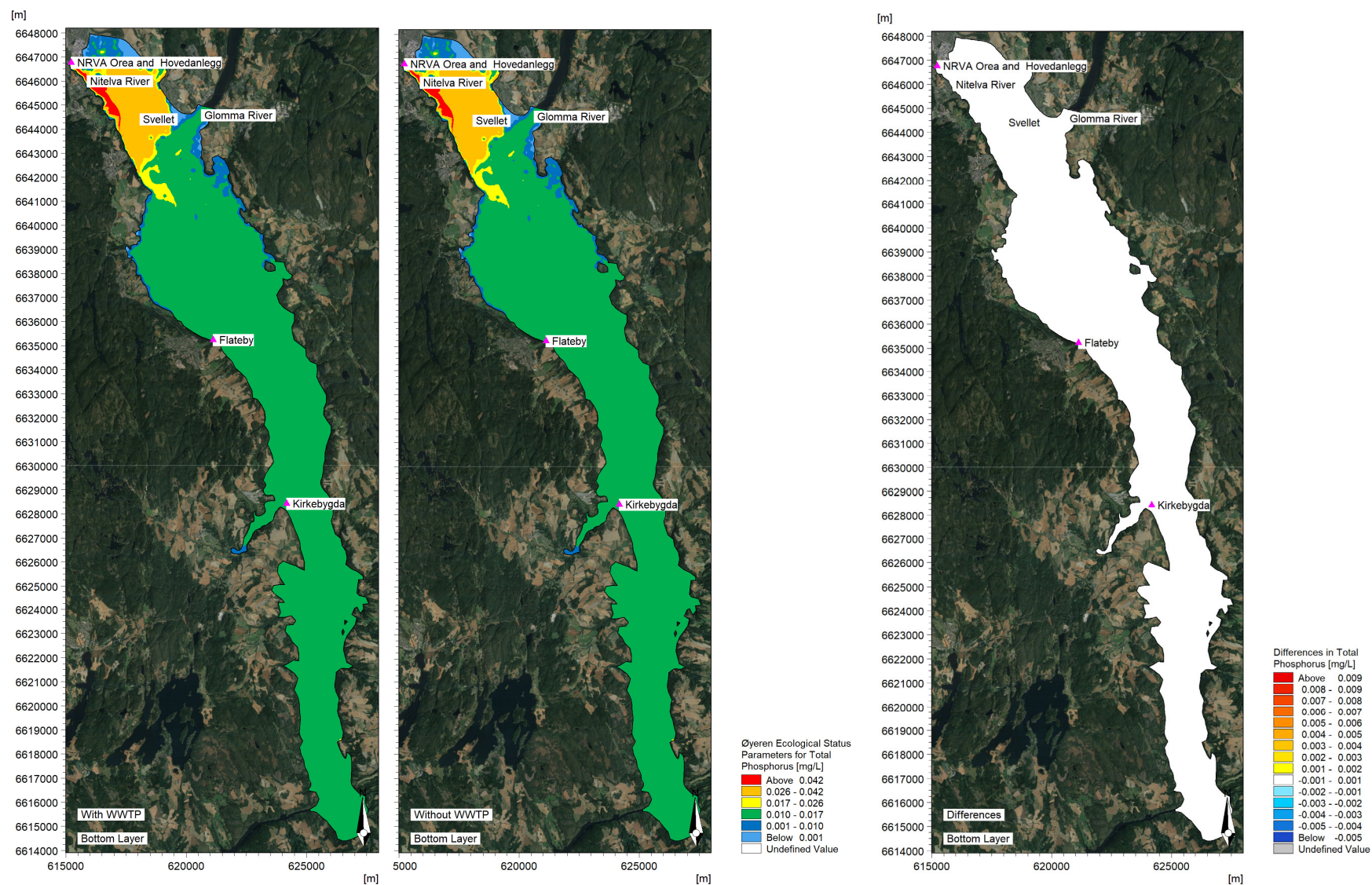
Ser man på resultatkartene for oksygen, både 5- og 50-persentilen i overflaten og bunnlaget, ligger hele Øyeren innenfor klassegrensen for svært god tilstand. Differansekartene viser ingen endringer mellom simuleringene med og uten utslipp fra renseanleggene. For klorofyll a i overflaten ligger middelverdien i hele Øyeren innenfor klassegrensen til svært god tilstand utenom Svellet som har moderat. Noen områder, spesielt i Svellet, er det tydelige forskjeller i konsentrasjoner med og uten utslipp fra renseanleggene. De tydeligste forskjellene i resultater med og uten utslipp ser man i kartene for middelverdien av TOC. Differansekartene viser tydelige økninger i konsentrasjoner i både overflaten og bunnlaget ved Flateby og Kirkebygda renseanlegg.

Økningen i konsentrasjoner som følge av utslippene fra avløpsrenseanleggene bidrar ikke til å endre tilstandsklassifiseringen for noen av parameterne.



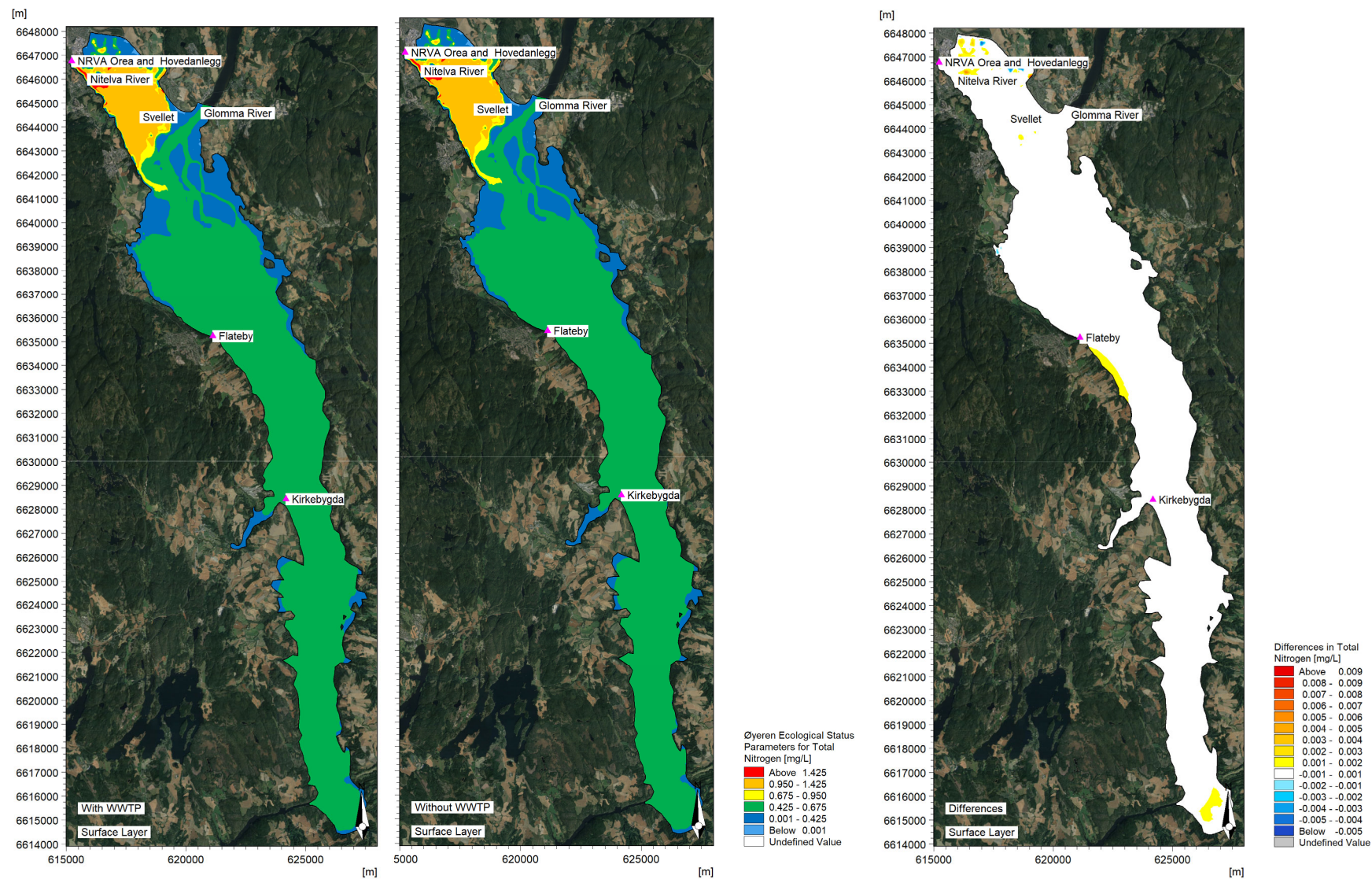
Figur 4-29: Middelverdi av totalt fosfor i overflaten til Øyeren for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrensneanleggene (differansekart vist til høyre).





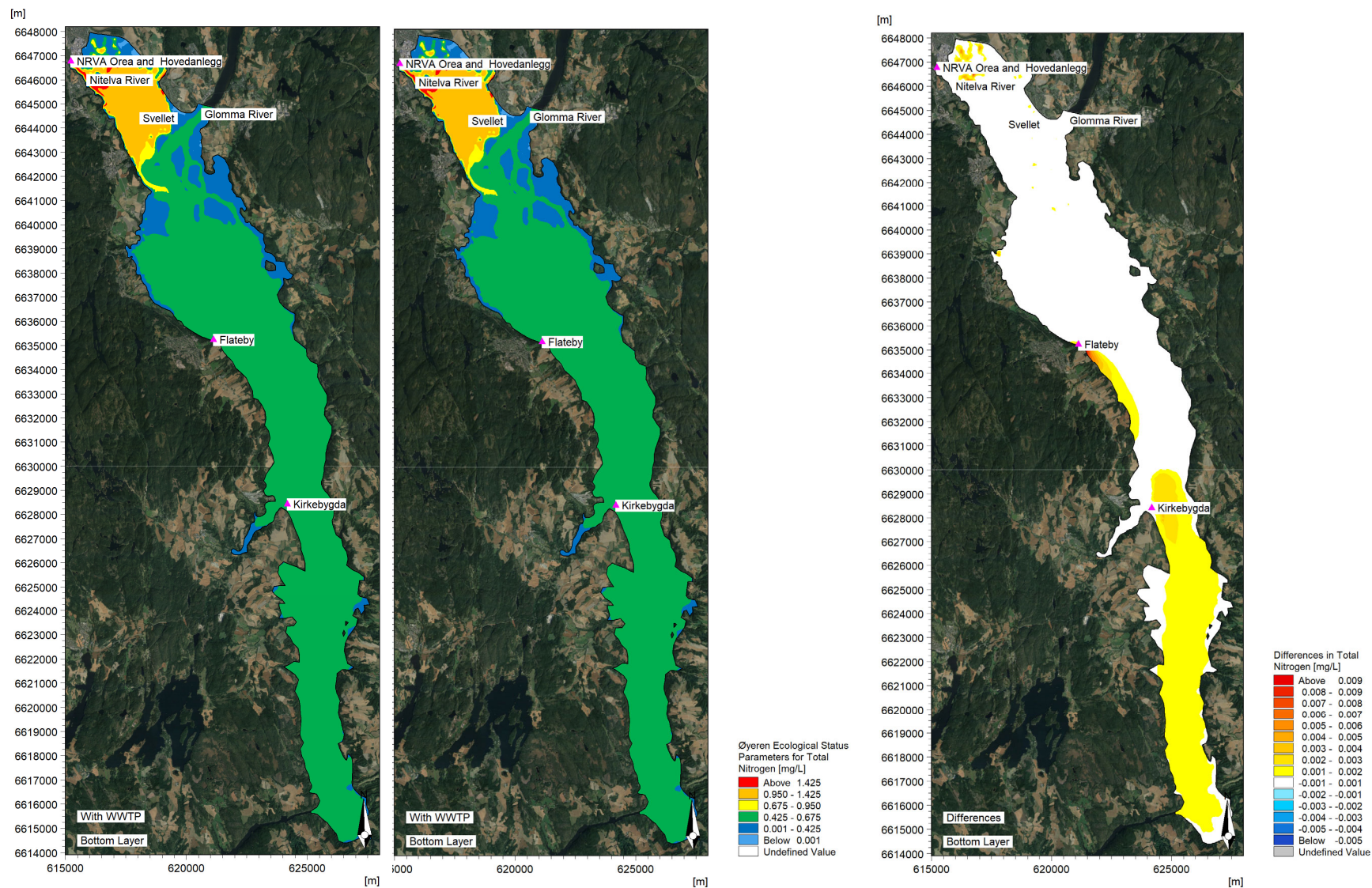
Figur 4-30: Middelverdi av totalt fosfor i bunnen av Øyeren for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene (differansekart vist til høyre).





Figur 4-31: Middelverdi av totalt nitrogen i overflaten til Øyeren for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrensningene (differansekart vist til høyre).





Figur 4-32: Middelverdi av totalt nitrogen i bunnen av Øyeren for perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene (differansekart vist til høyre).



Resultatene fra simuleringene viser et tydelig skille i tilstanden Svellet og resten av Øyeren. Videre viser resultatene forskjeller i konsentrasjoner mellom overflaten og bunnlaget i den søndre delen av Øyeren. Den vertikale fordelingen av vannkvalitetsparametere inkludert oksygen, klorofyll-a og næringsstoffer, varierer mellom de ulike lagene i innsjøen og årstidene. Det er en gjennomgående tendens til høyere konsentrasjoner i overflatelaget i vekstsesongen. Fenomenet skyldes først og fremst fotosyntesen og algeaktiviteten som drives av sollyset. Avhengigheten av sollys skaper merkbare forskjeller i konsentrasjonene i vannsøylen, og de største variasjonene observeres vanligvis om sommeren. Om høsten og vinteren er det fullsirkulasjon i Øyeren, og en ser av vertikallprofiler i punkt 5 og 6 at konsentrasjonene varierer mindre med dybden. Ved noen tidspunkt er konsentrasjonene like i overflaten og bunnlaget.

Utslippene fra renseanleggene fører ikke til at tilstandsklassifiseringen for de vurderte vannkvalitetsparametere endres, men fører til mindre økninger:

- **Totalt fosfor - middelvei:** Øker med mindre enn 0.001 mg/L i overflaten og bunnlaget
- **Totalt nitrogen - middelvei:** Øker med 0.001 - 0.006 mg/L i overflaten og øker med 0.001 - 0.009 mg/L i bunnlaget
- **NH<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub> - 90-persentil:** Øker med mindre enn 0.001 mg/L
- **Oksygen - 5- og 50-persentil:** Øker med mindre enn 0.1 mg/L
- **Klorofyll-a – Middelvei overflaten (Mai – Oktober):** Øker med 0.001 - 0.015 mg/L i (størst i nordre del av Øyeren)
- **Totalt organisk karbon (TOC)- middelvei:** Øker med 0.001 – 0.004 mg/L i overflaten og øker med 0.001- 0.028 mg/L i bunnlaget;

## 4.5 Oppsummering

Vannkvalitetsmodellene er benyttet til å simulere perioden 2017-2022 med og uten utslipp fra avløpsrenseanleggene. Resultatene fra modellen er benyttet til å lage en rekke ulike plott, kart og statistiske tall. Analysene av resultatene konkluderer med følgende:

- **Vorma.** Tilstanden kan klassifiseres som svært god for totalt fosfor, god til moderat for totalt nitrogen og svært god for ammoniakk+ammonium. Det er gode oksygenforhold i elven, konsentrasjonene er langt over klassegrensen for svært god tilstand. Resultatene sammenfaller med informasjonen i Vann-Nett Portal. Utslippene fra Minnesund og Bårlidalen renseanlegg står for ca. 1.5 % av mengdene totalt fosfor og totalt nitrogen i resipienten. Renseanleggene har liten påvirkning på resipienten og utslippene er ikke store nok til å endre tilstandsklassifiseringen av de vurderte vannkvalitetsparametere.
- **Glomma.** Tilstanden klassifiseres som svært god for totalt fosfor og svært god til god for totalt nitrogen og svært god for ammoniakk+ammonium. Det er gode oksygenforhold i elven, konsentrasjonene er langt over klassegrensen for svært god tilstand. Resultatene sammenfaller med informasjonen i Vann-Nett Portal. Utslippene fra Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss og Tangen renseanlegg står for ca. 2 % av mengdene totalt fosfor og ca. 4 % av totalt nitrogen. Avløpsrenseanleggene gir noe økte konsentrasjoner, spesielt ved overløpshendelser. Renseanleggene har liten påvirkning på resipienten og utslippene er ikke store nok til å endre tilstandsklassifiseringen av de vurderte vannkvalitetsparametere.
- **Øyeren.** Det er et tydelig skille i tilstanden mellom Svellet og resten av Øyeren. Tilstanden i Svellet kan klassifiseres som svært dårlig til dårlig for totalt fosfor og totalt nitrogen, moderat for ammoniakk+ammonium og moderat til dårlig for

klorofyll a. Det er gode oksygenforhold i innsjøen, konsentrasjonene er langt over klassegrensen for svært god tilstand. I resten av Øyeren kan tilstanden klassifiseres som god til moderat. Minnesund, Bårlidalen, Fjellfoten, Rånåsfoss, Tangen, NRA, OREA, Flateby og Kirkebygda renseanlegg står for ca. 2 % av totalt fosfor og ca. 3 % av totalt nitrogen i resipienten. Utslippene fører til mindre økninger i konsentrasjoner i innsjøen, mest fremtredende fra Flateby RA og videre nedstrøms. Renseanleggene har liten påvirkning på resipienten og utslippene er ikke store nok til å endre tilstandsklassifiseringen av de vurderte vannkvalitetsparametrene.

- **Massebalanseberegninger** viser at fysisk-kjemiske og biologiske prosesser bryter ned og omdanner deler av næringsstoffene fra utslippene til avløpsrenseanleggene. Det er estimert at ca. 35-50% av utslippene Tot-P og 60-70% av Tot-N fra renseanleggene transporteres videre nedstrøms i Glomma.

## 5 Videre bruk av modellene

Modellene av Vorma, Glomma og Øyeren er utviklet og kalibrert basert på en rekke data fra perioden 2017-2022. Resultatene viser god overenstemmelse observerte hydrologiske data og data fra miljøovervåkingen av vassdragene. Selv med gode kalibreringsresultater er det fortsatt usikkerhet knyttet til resultatene, og modellen har flere forbedringspotensialer:

- **Data fra avløpsrenseanleggene.** Hvilke parametre som måles og målefrekvensen varierer mellom anleggene som er inkludert i studiet. Ved noen av anleggene gjennomføres prøvetaking av utslippene to ganger i måneden. Enkelte har ikke prøvetaking av overløp. Noen av anleggene måler ikke utslippskonsentrasjoner av totalt nitrogen. Nødvendige inndata til modellen har derfor måttet utledes basert på antagelser. Høyere målefrekvens, flere målte parametre og mer konsistent måleprogram mellom anleggene vil bidra til å redusere usikkerhetene.
- **Miljøovervåkningsdata.** Modellene dekker et stort geografisk område, men er kalibrert mot relativt få målestasjoner og observerte data. Etablering av flere målestasjoner med hyppigere prøvetaking vil legge grunnlag for en bedre kalibrert modell og forståelse av tilstanden til resipienten generelt.
- **Sedimenter generelt.** Sedimenter spiller en avgjørende rolle for den økologiske dynamikken i akvatiske økosystemer, og derfor viktig inngangsdata til vannkvalitetsmodellene. Å forstå hvordan næringsstoffer lagres i sedimenter og frigjøres i vannsøylen er viktig for å kunne modellere næringscyklusen i økosystemene på en god måte. Det ble ikke funnet sedimentdata fra vassdragene som kunne benyttes ved utvikling av modellene, og derfor er modellene satt opp basert på antagelser, litteratur og erfaringstall. For å redusere usikkerhetene i modellen anbefales det å gjennomføre et sedimentmåleprogram.
- **Lokal avrenning.** Modellens grenser består av tidsserier på hydrologiske data og vannkvalitetsdata ved Vorma ved Minnesund, Glomma ved Funnefoss, Leira og Nitelva. Lokal avrenning fra land og andre diffuse kilder mellom grensene er ikke inkludert i modelloppsettet, hvilket man tydelig ser av kalibreringen. Flere episoder med høye konsentrasjoner totalt fosfor og totalt nitrogen fanges ikke opp av modellen. Dette skyldes antageligvis manglende beskrivelse av

nedbørfelt og avrenning av næringsstoffer mellom Minnesund og Mørkfoss. Det er mulig å utvide modellen med en slik beskrivelse.

- **Vannkvalitetsmodellen av Vorma og Glomma.** Modellen har en forenklet beskrivelse som per i dag ikke inkluderer beskrivelse av eutrofiering.
- **Vannkvalitetsmodellen av Øyeren.** Nordøstre grense er satt ved samløpet mellom Nitelva og Leira. For en bedre beskrivelse av elvene og Svellet anbefales det å utvide modellen oppstrøms grense til å inkludere større deler av Nitelva, Leira og Sagelva.

Formålet til modellene er å analysere resipientenes nåværende tilstand og påvirkningen fra avløpsrenseanleggene på strekningen. Modellene utgjør et fleksibelt rammeverk som er enkelt å bygge videre på, utvide og tilpasse med beskrivelse av f.eks. flere biologiske prosesser, bakterier, tungmetaller, mikroforurensninger m.m. Modellene er svært godt egnet til en rekke ulike analyser som blant annet:

- Endringer i arealbruk, befolkningsvekst og utslippsmengder
- Endringer i renseprosesser og sammensetningen av avløpsvannet ved hvert anlegg
- Flytting av utslippspunkt og/eller renseanlegg
- Simulering av ulykkessituasjoner med utslipp av store forurensningsmengder ifm. beredskapsplanlegging
- Analyse av vannkvalitet for drikkevannsformål og bading
- Modellene kan benyttes om grunnlag for å utvikle et sanntidssystem for visning vannkvaliteten i resipienten og prognoser flere dager frem i tid

## 6 Referanser

- [1] NIVA (Norsk institutt for vannforskning), Norsk overvåkningsprogram for vassdrag - status og trender for vannkvalitet 2018, 2019.
- [2] Direktoratgruppen for gjennomføringen av vannforskriften, Klassifiseringsveileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver., 2018.
- [3] DHI, «MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and Transport Module - Scientific Documentation,» 2023.
- [4] DHI, *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport Module Scientific Documentation*, Hørsholm: DHI, 2021.
- [5] DHI, «Hydrodynamic Model of North Sea and UK Waters (UKNS2), Setup and Validation, version 2,» 2018.
- [6] NIVA (Norsk institutt for vannforskning), Norsk overvåkningsprogram for vassdrag - status og trender for vannkvalitet i 2019, 2020.
- [7] NIVA (Norsk institutt for vannforskning), Norsk overvåkningsprogram for vassdrag - status og trender for vannkvalitet i 2020, 2021.
- [8] NIVA (Norsk institutt for vannforskning), Norsk overvåkningsprogram for vassdrag - status og trender for vannkvalitet 2021, 2022.

## VEDLEGG



## VEDLEGG A – Oppsett og validering av den hydrodynamiske modellen av Øyeren

## A Oppsett og validering av den hydrodynamiske modellen

I dette vedlegget er valideringen av den hydrodynamiske modellen presentert. Her er MIKE 2023 [1] brukt til beregningene.

### A.1 Input til modellen

Til prosjektet er to typer modeller benyttet; en hydrodynamisk modell til beregning av strømmingen i Øyeren og brukt videre til den biokjemiske modellen. Simuleringsperioden er 1. januar 2017 til 31. desember 2022.

Til forsering av den hydrodynamiske modellen er det brukt atmosfæriske forhold som påvirker Øyeren-systemet gjennom grensene fra innløpet og utløpet til Glomma, Nitelva, Leira og Sagelva (hentet ifra NVEs hydrologiske målestasjoner) og lokalt gjennom vindspenning, lufttrykkvariasjoner, nedbør / fordampning og varmevekslingsprosesser som virker direkte på vannoverflaten og påvirker dermed sirkulasjon, stratifisering og vannbalanse.

Grensedataene for grensen inneholder vannstand (1D) (Øyeren v/ Mørkfoss), elveutløp (1D) (Leira/Nitelva og Glomma) og temperaturer (1D).

Den atmosfæriske tvingingen av modellen består av tidsvarierende felt med følgende parametere:

- Vind 10 m over havoverflaten
- Lufttrykk ved havoverflaten
- Nedbør
- Lufttemperatur 2 m over havoverflaten
- Relativ fuktighet
- Skydekke

Merk at den hydrodynamiske modellen beregner fordampningen internt i varmevekslingsmodulen.

De meteorologiske dataene kommer fra NORA3 (The 3 km Norwegian reanalysis), en modell med en oppløsning på 1 time i tid og 3 km det geografiske domenet for vind, lufttemperatur, skydekke og humiditet.

I den hydrodynamiske modellen er det lagt til flere utslipp:

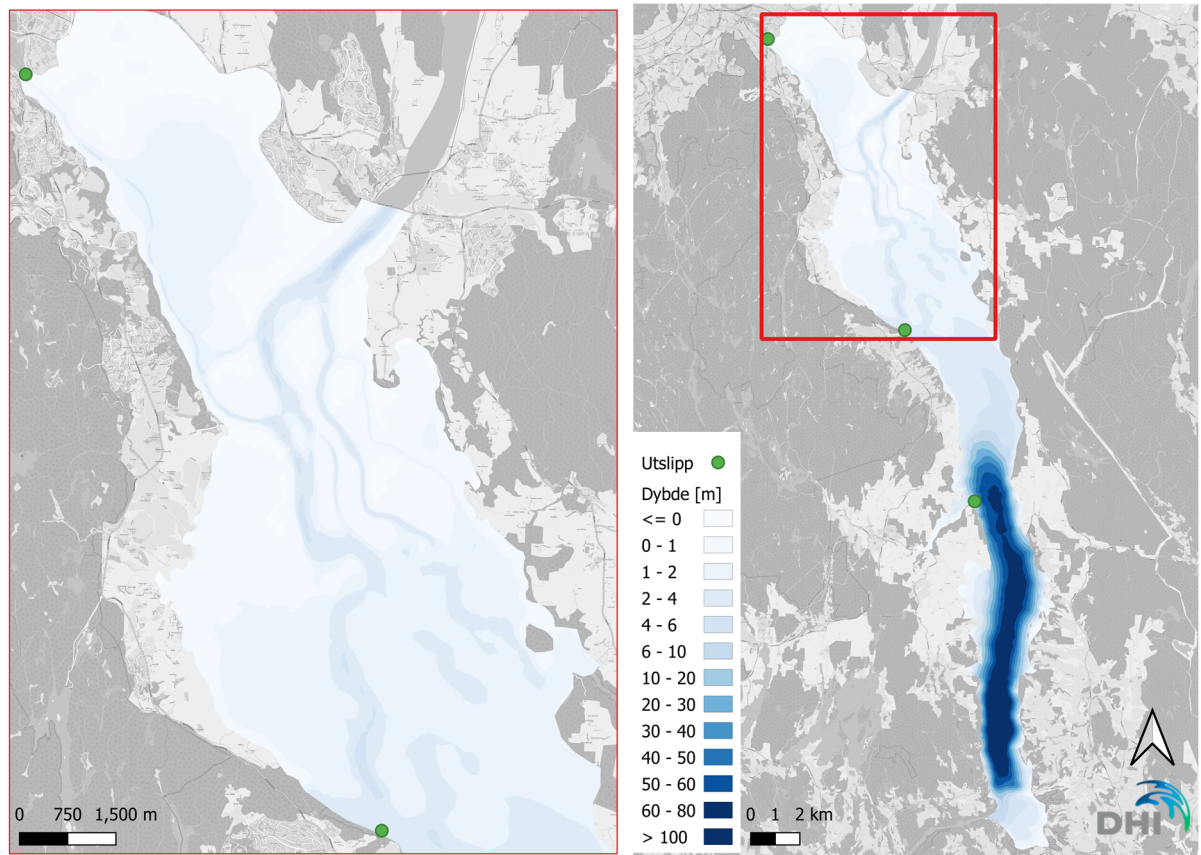
- Flateby renseanlegg (0.011 m<sup>3</sup>/s)
- Sentralrenseanlegget (0.019 m<sup>3</sup>/s)
- NRVA (0.827 m<sup>3</sup>/s)

Plasseringen til utslippene er vist i Figur A- 1, som bruker DHIs Jet-modul for å finne innlagringsdybden for hvert tidssteg. Utslippene har en saltholdighet på 0 PSU (ferskvann) og temperatur som det omkringliggende vannet.

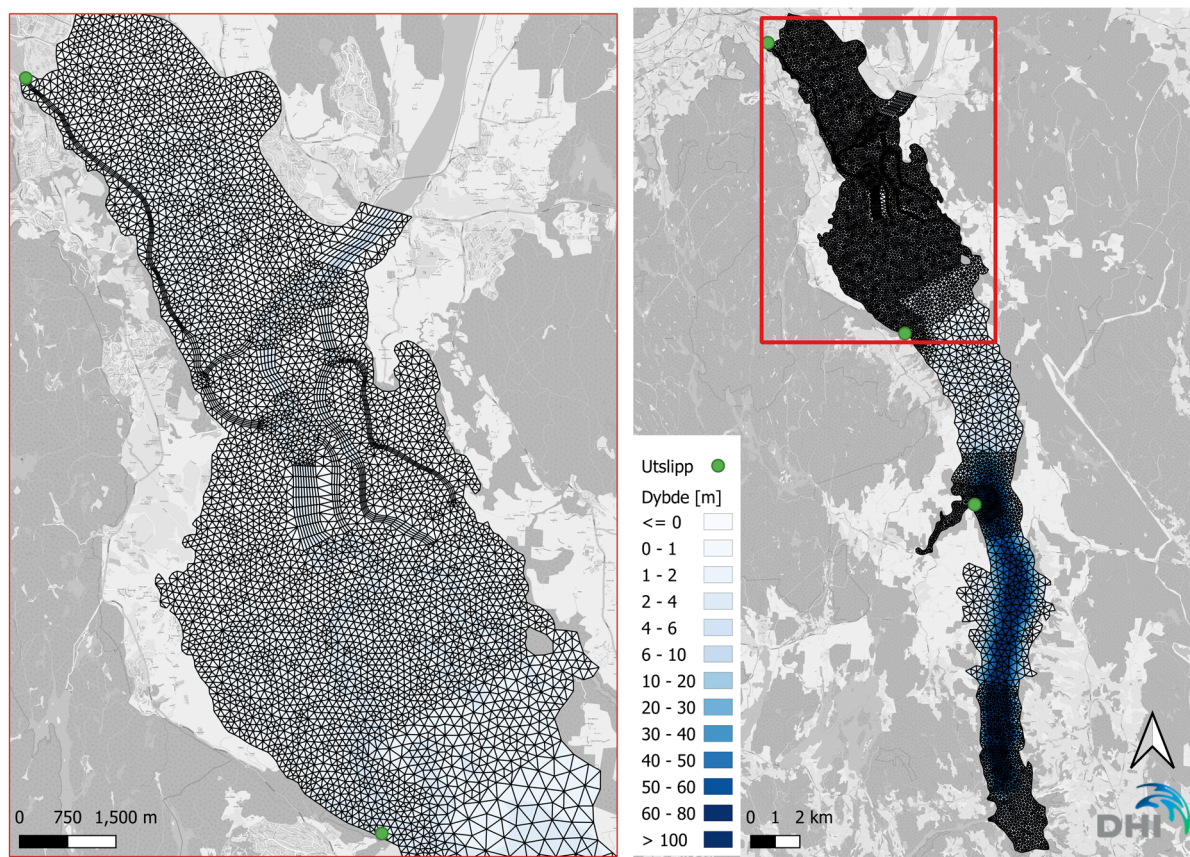
### A.2 Modellområde og -oppløsning

Modellområdet med utslippene og dybdene er vist i Figur A- 1, og modellopløsningen er vist for horisontal reTot-Ning i Figur A- 2 og Figur A- 3. Oppløsningen i modellområdet varierer mellom 80 – 300 m horisontalt. Oppløsningen vertikalt varierer mellom 1-10 m (1

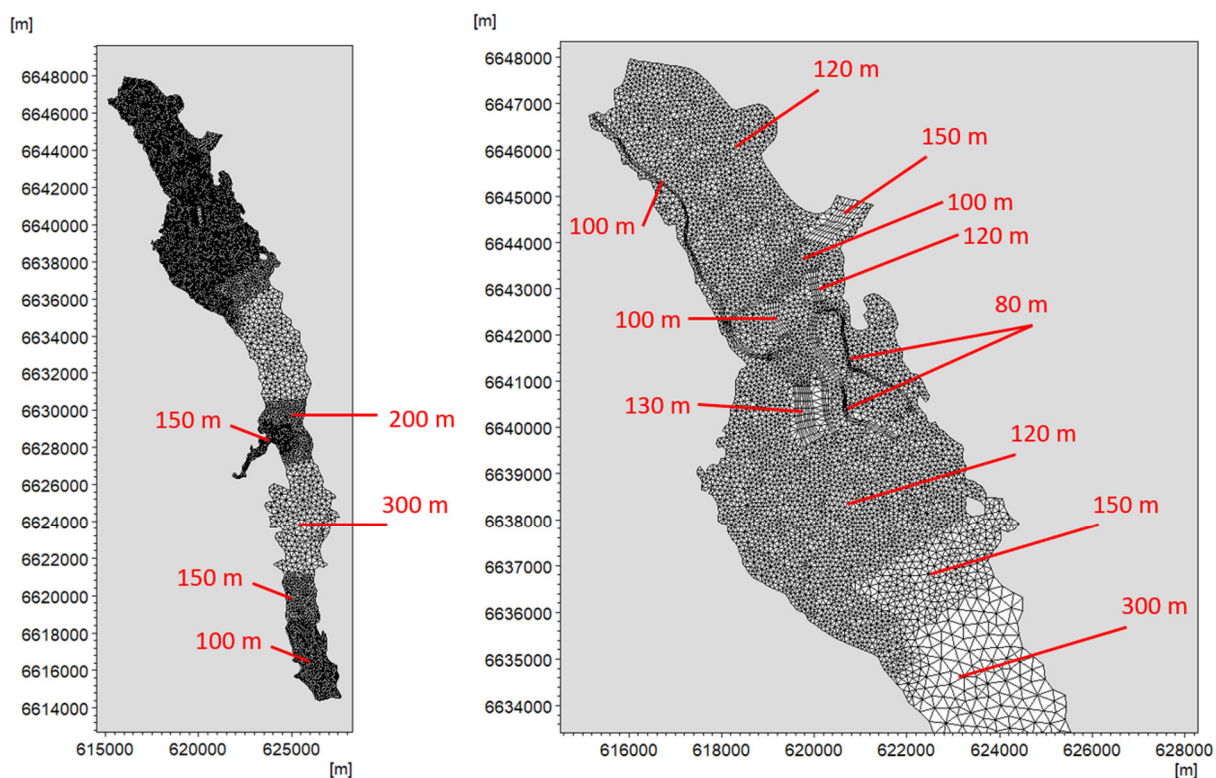
m i de øverste 10 m), vist i Figur A- 5. I Figur A- 4 er en tverrgående tverrprofil gjennom innsjøen vist.



Figur A- 1 Modellområde og utslippspunkter, med dybder. Grønne prikker viser utslippspunktene fra anlegget. Venstre figur viser modellområdet hvor Glomma og Nitelva/Leira renner inn i Øyeren, mens den høyre figuren viser hele modellområdet. Den røde rammen i den høyre figuren er området som blir vist i venstre figur. NRA er det nordligste utslippet, det midterste er Flateby renseanlegg, mens det sørligste er Sentralrenseanlegget.

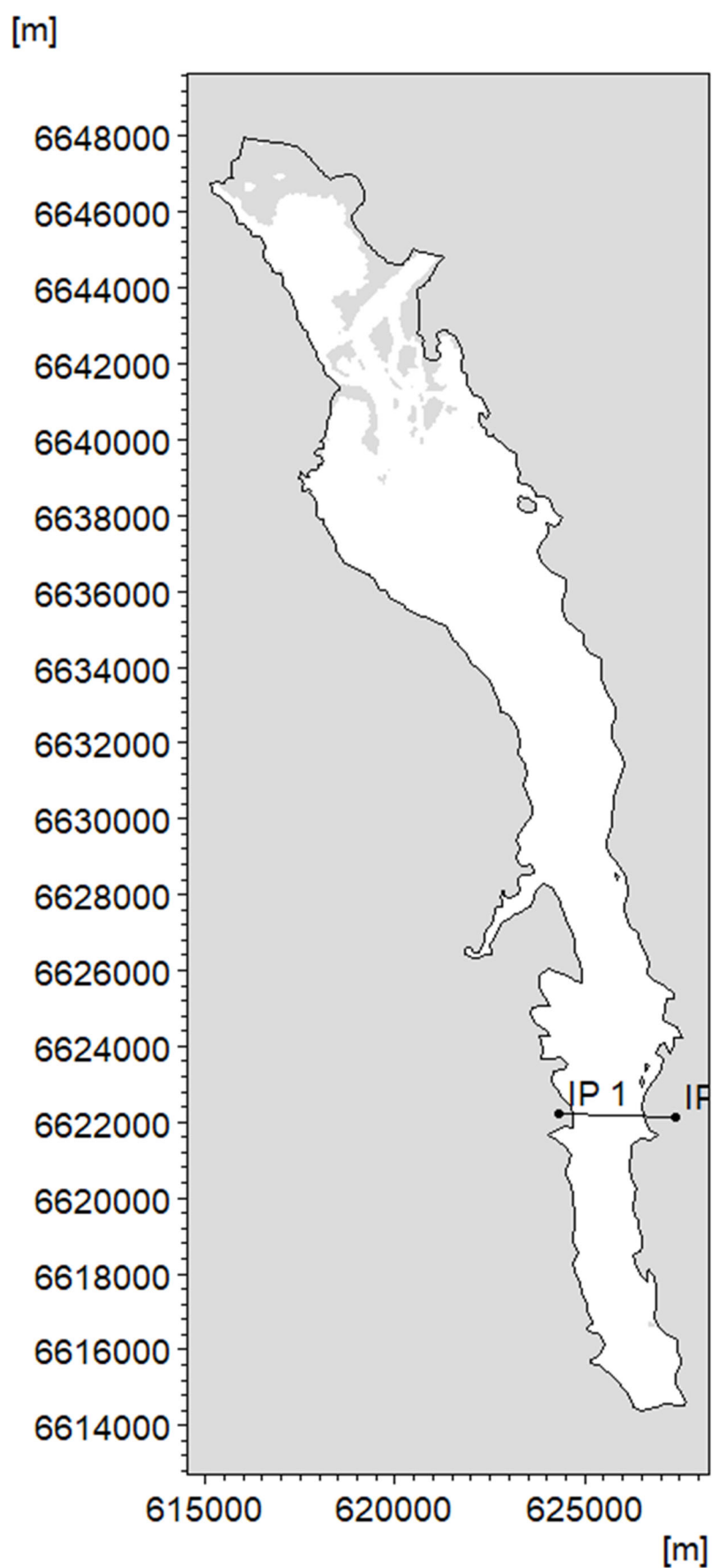


**Figur A- 2** Modellområde og utslippspunkter, med dybder og oppløsning. Grønne prikker viser utslippspunktene fra anlegget. Venstre figur viser modellområdet hvor Glomma og Nitelva/Leira renner inn i Øyeren, mens den høyre figuren viser hele modellområdet. Den røde rammen i den høyre figuren er området som blir vist i venstre figur. NRA er det nordligste utslippet, det midterste er Flateby renseanlegg, mens det sørligste er Sentralrenseanlegget.

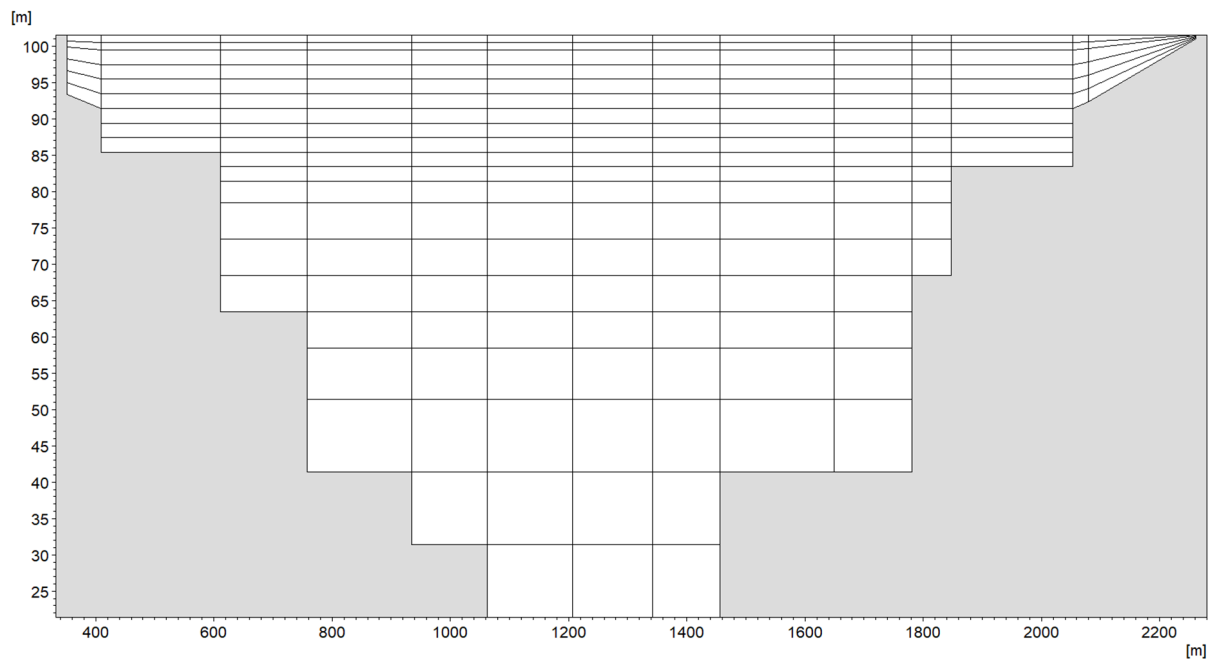


Figur A- 3 Modellområde med oppløsning. Høyre figur viser modellområdet hvor Glomma og Nitelva/Leira renner inn i Øyeren, mens den venstre figuren viser hele modellområdet.





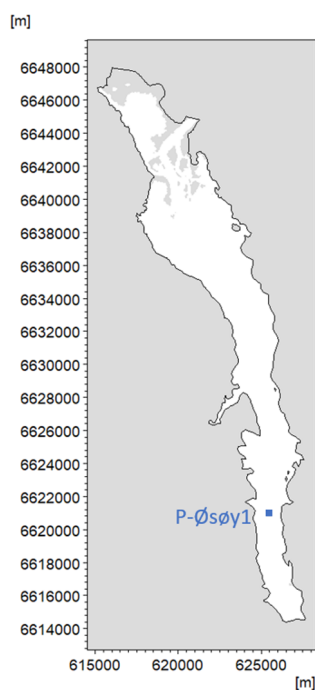
Figur A- 4 Plassering tverrprofil gjennom Øyerent.



Figur A- 5 Vertikal modellopløsning, varierende mellom 1 - 10 m, tatt ca. ved IP1-2 i Figur A- 4.

### A.3 Modellvalidering

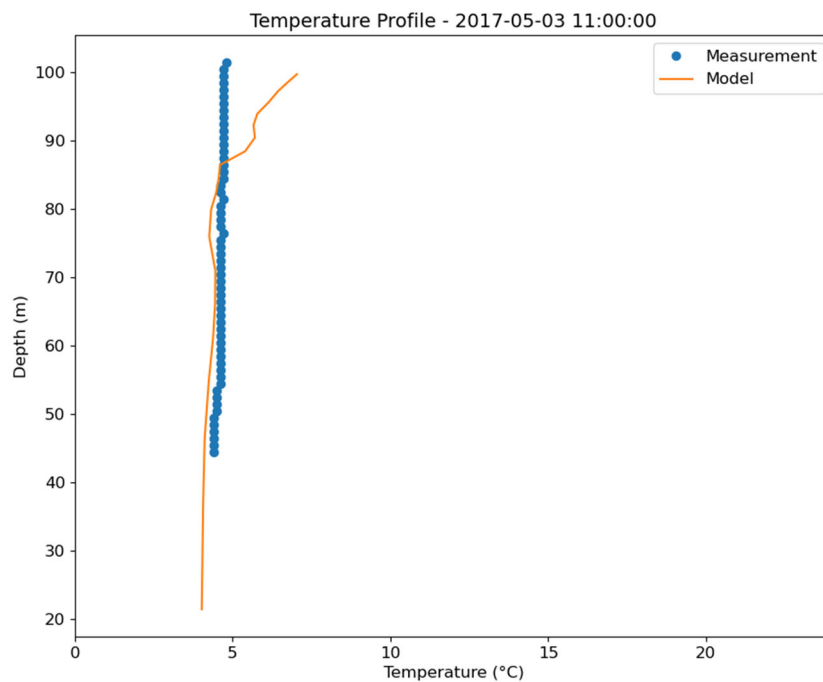
Strømningsmodellen er kalibrert og validert mot tilgjengelige, relevante målinger for området (målinger av temperatur ved P-Øsøy1), for å sikre at sirkulasjon og vannutskiftTot-Ning for simuleringsperioden beskrives riktig. Modellen settes opp til å simulere en periode på seks år, fra 1. januar 2017 til 31. desember i 2022. Posisjonen til målestasjonene er vist i



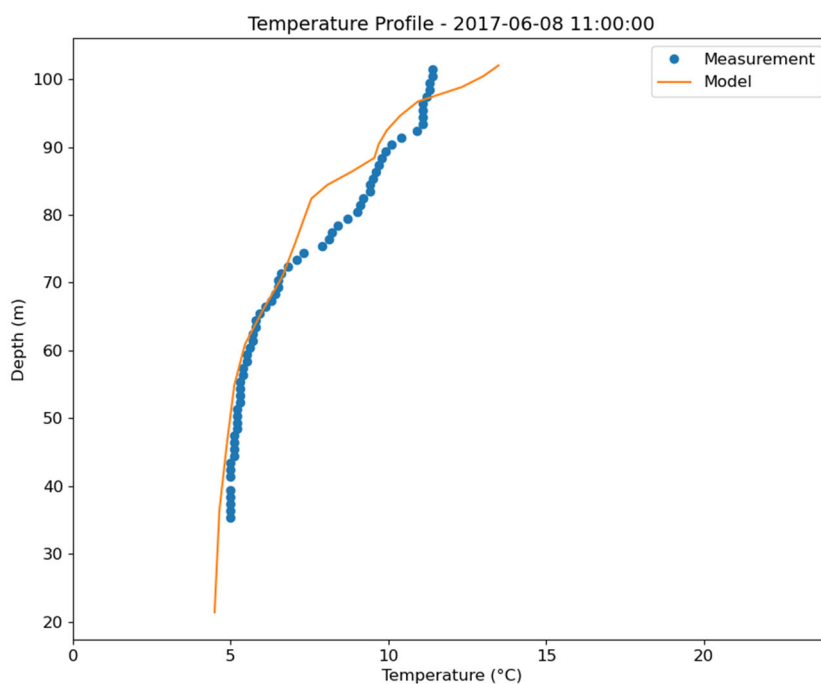
Figur A- 6 Posisjon hvor det er gjennomført målinger.

### A.3.1 Temperatur

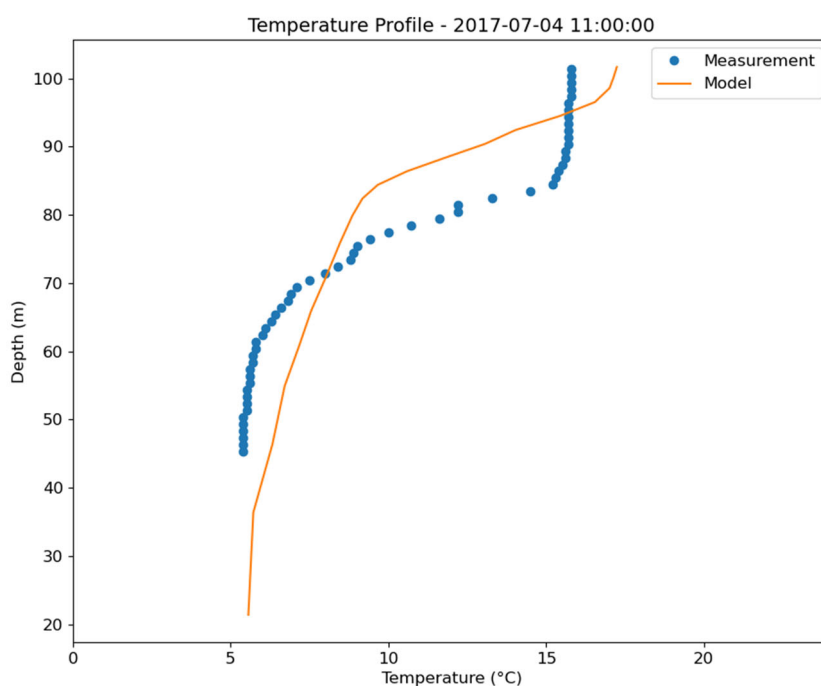
Det er gjort temperaturmålinger ved P-Øsøy1 seks ganger i året (mai-oktober) 2017-2021. En kan se at modellen generelt gjennskaper temperaturprofilen i målingspunktet ganske bra. Men ved noen av målingene ser vi at lagdelingen er litt forskjellig i målingene og modellen. Alle sammenligningene er vist i Figur A- 7 - Figur A- 36.



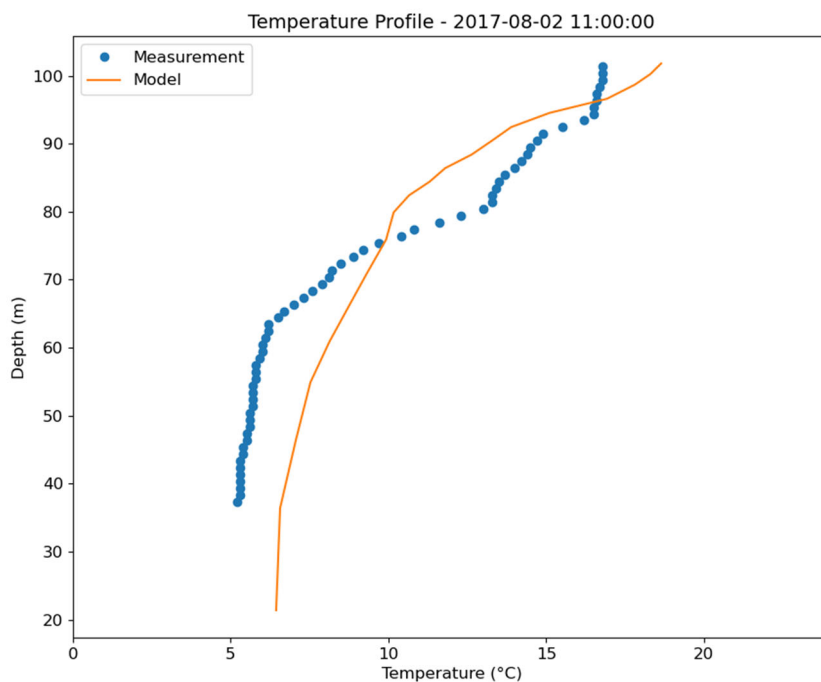
Figur A- 7 Temperaturprofil 03.05.17 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



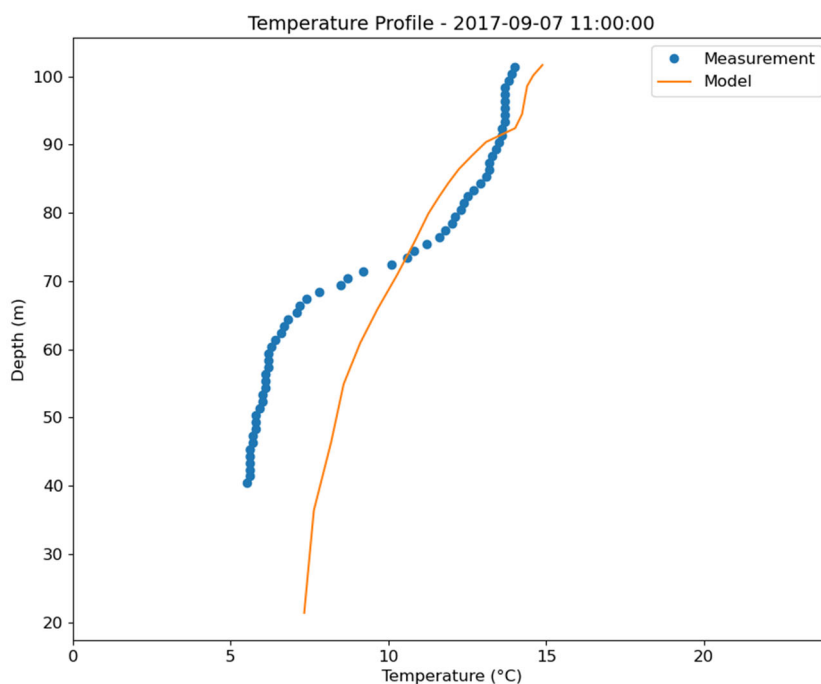
Figur A- 8 Temperaturprofil 08.06.17 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



Figur A- 9 Temperaturprofil 04.11.17 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

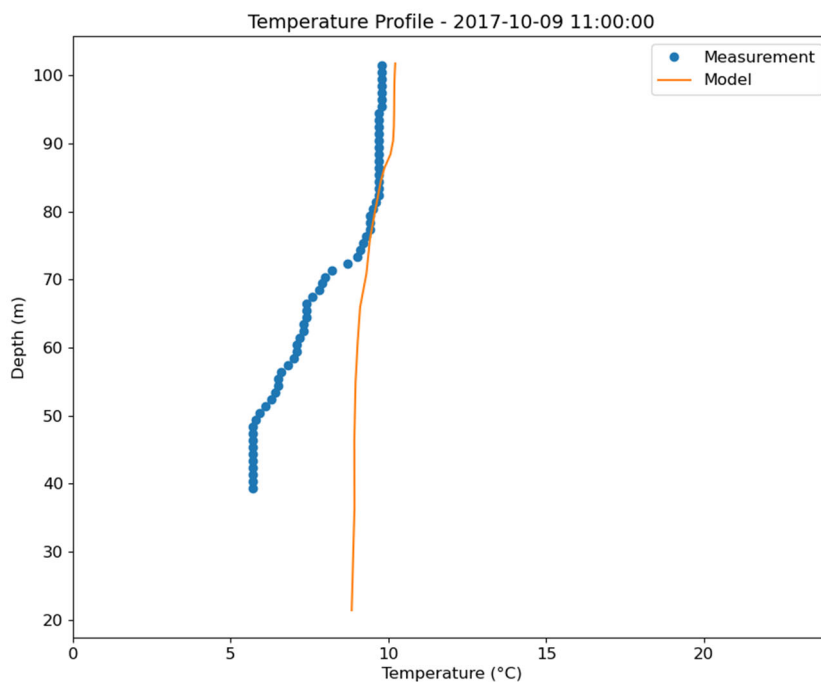


Figur A- 10 Temperaturprofil 02.08.17 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

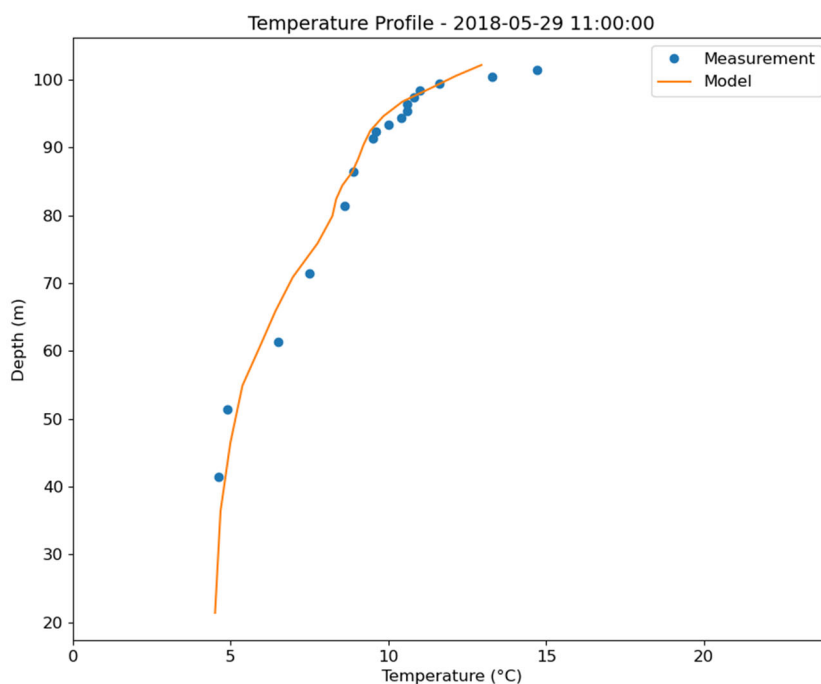


Figur A- 11 Temperaturprofil 07.09.17 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

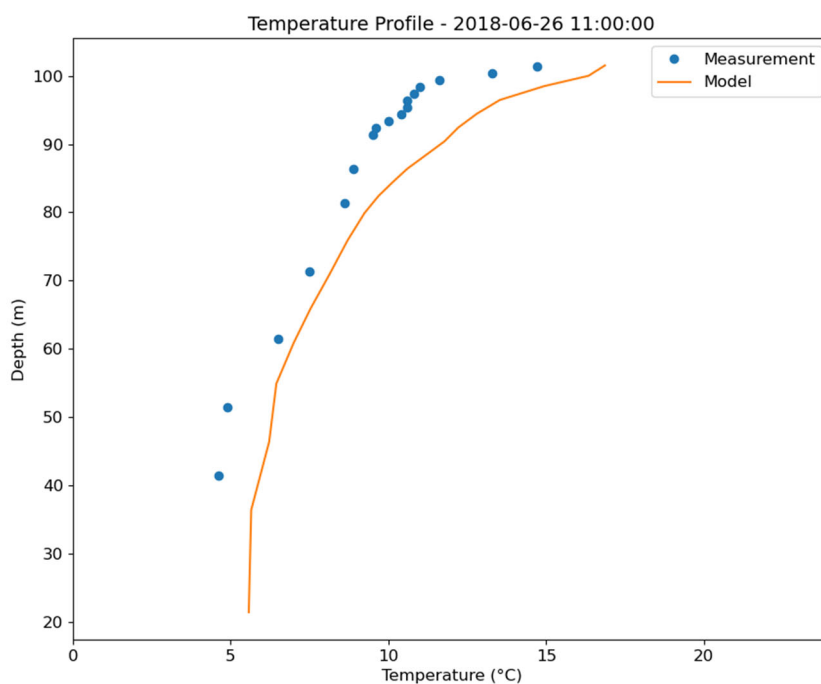




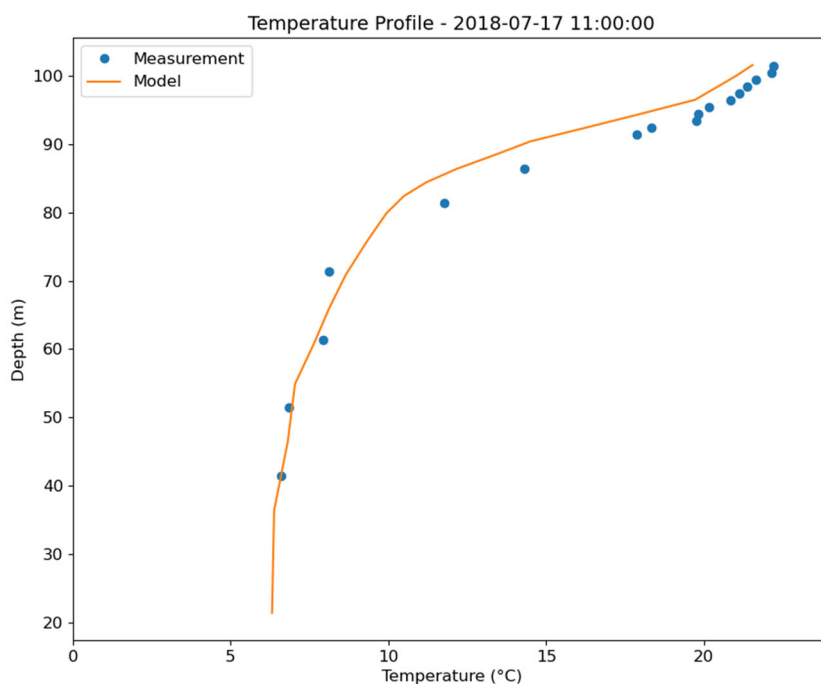
Figur A- 12 Temperaturprofil 09.10.17 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



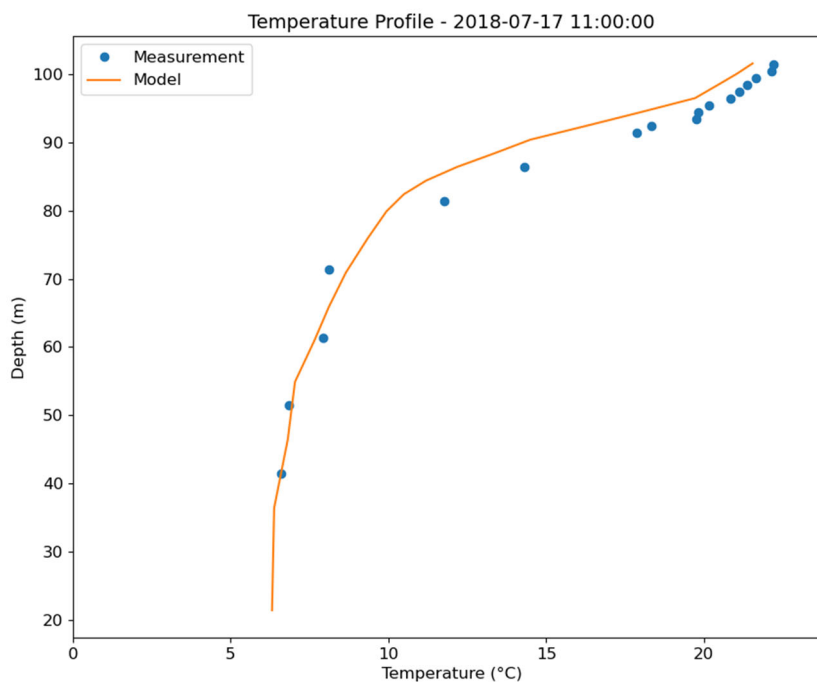
Figur A- 13 Temperaturprofil 29.05.18 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



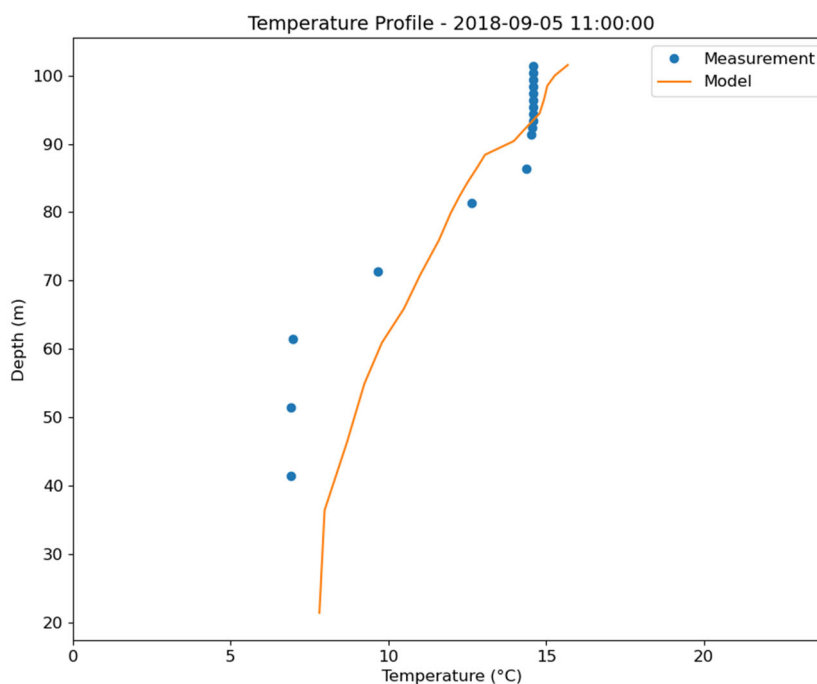
Figur A- 14 Temperaturprofil 26.06.18 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



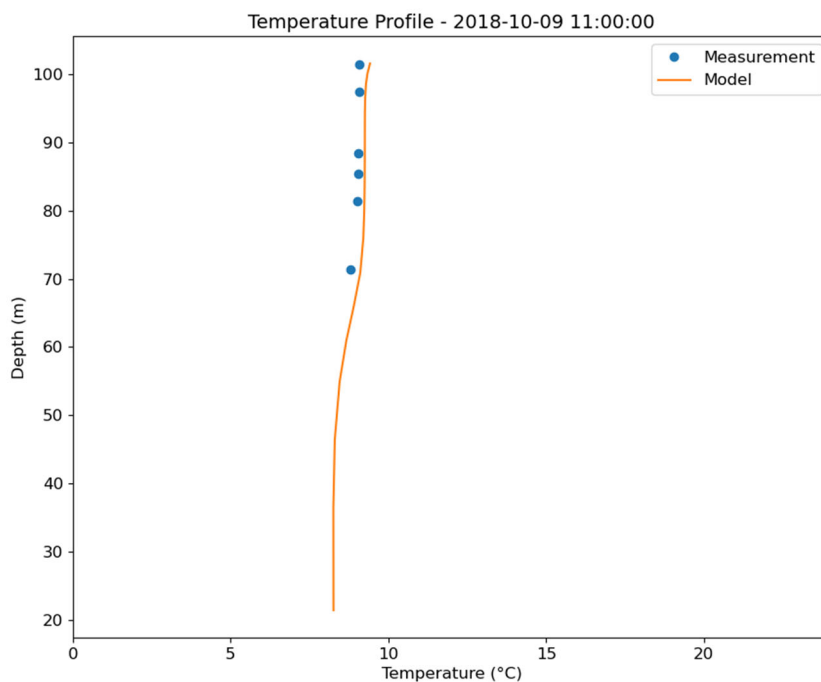
Figur A- 15 Temperaturprofil 17.07.18 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



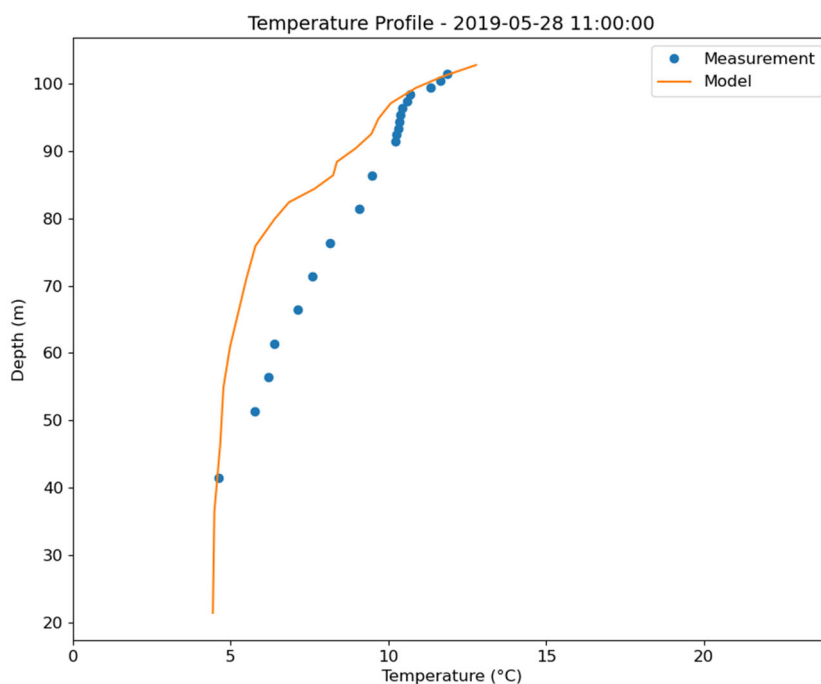
Figur A- 16 Temperaturprofil 17.07.18 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



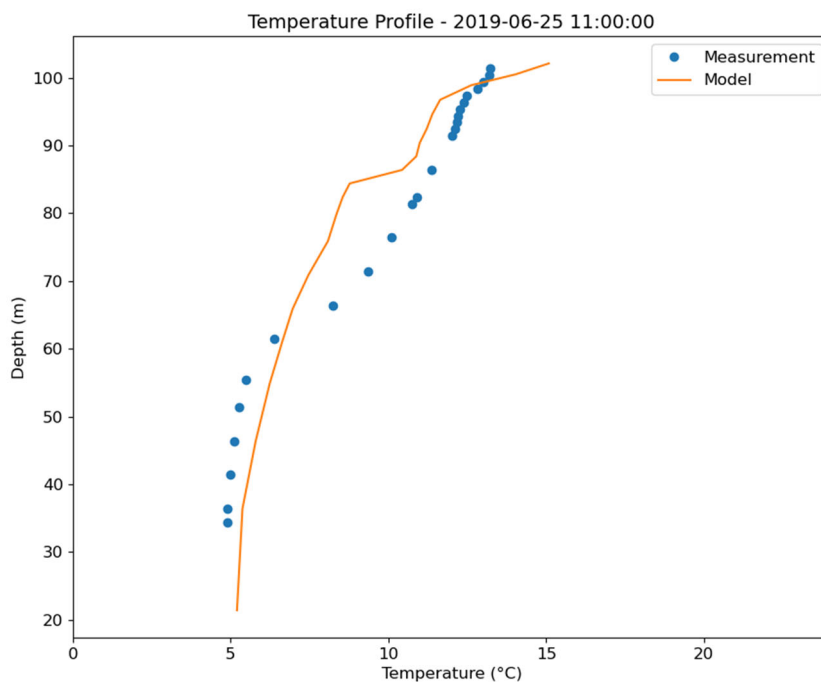
Figur A- 17 Temperaturprofil 05.09.18 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



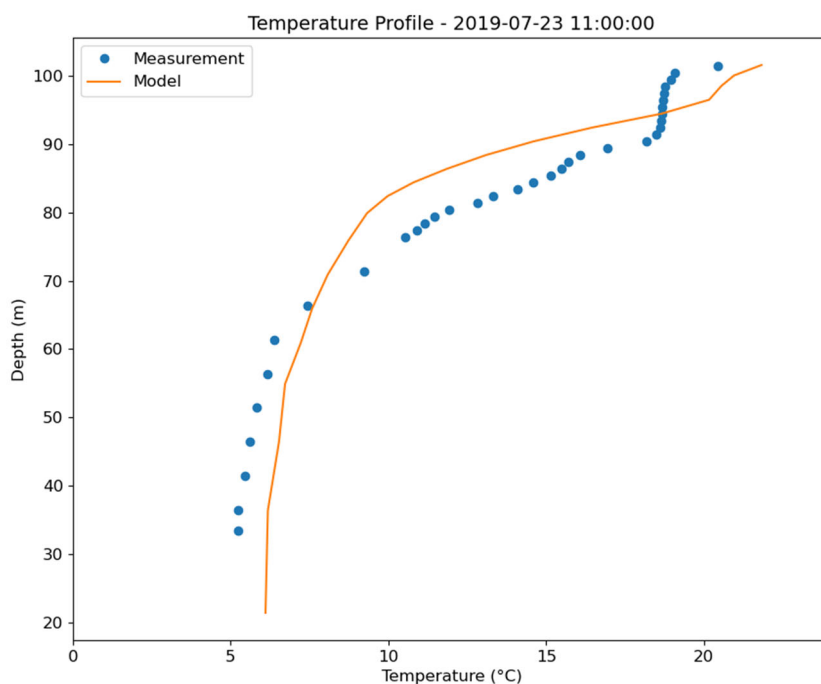
Figur A- 18 Temperaturprofil 09.10.18 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



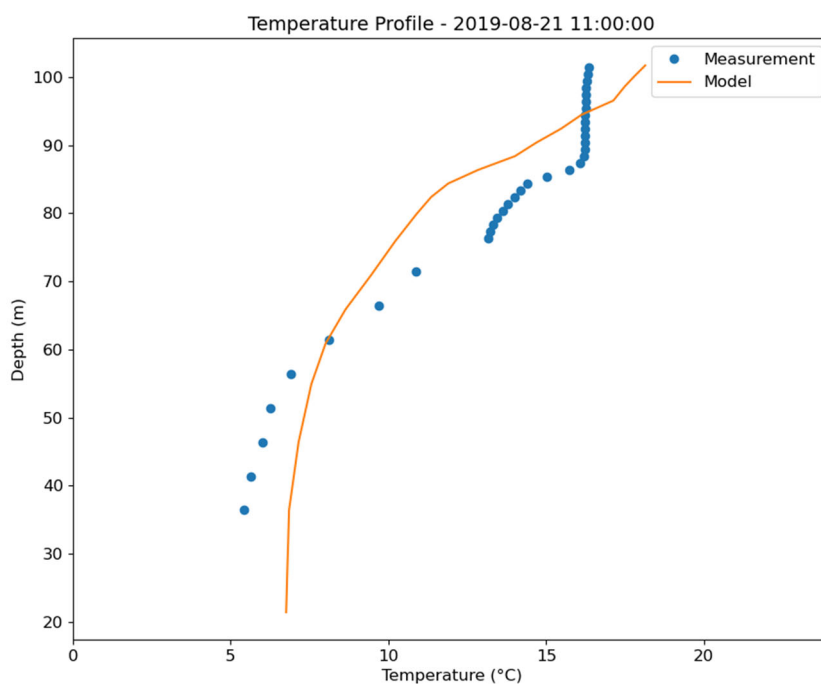
Figur A- 19 Temperaturprofil 28.05.19 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



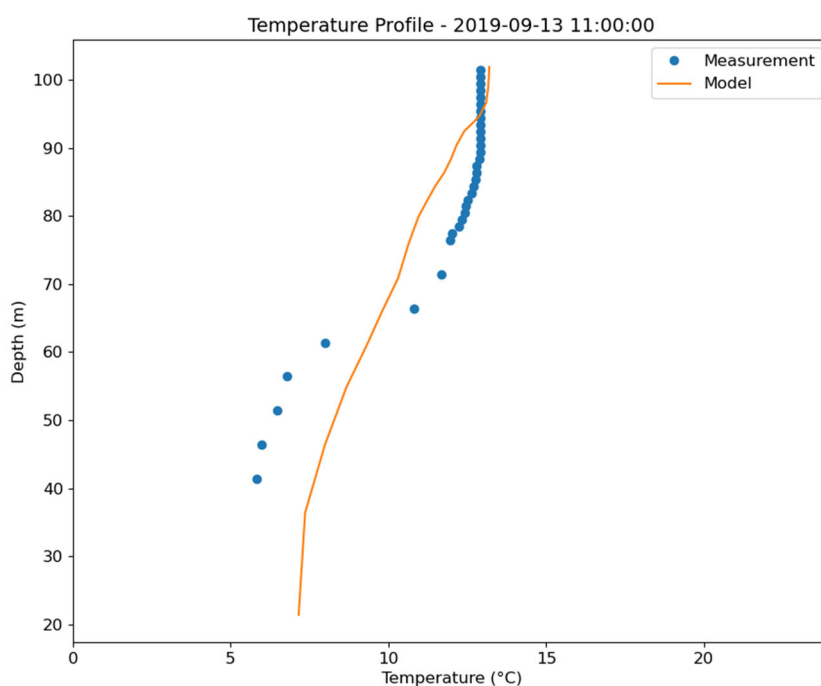
Figur A- 20 Temperaturprofil 25.06.19 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



Figur A- 21 Temperaturprofil 23.07.19 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

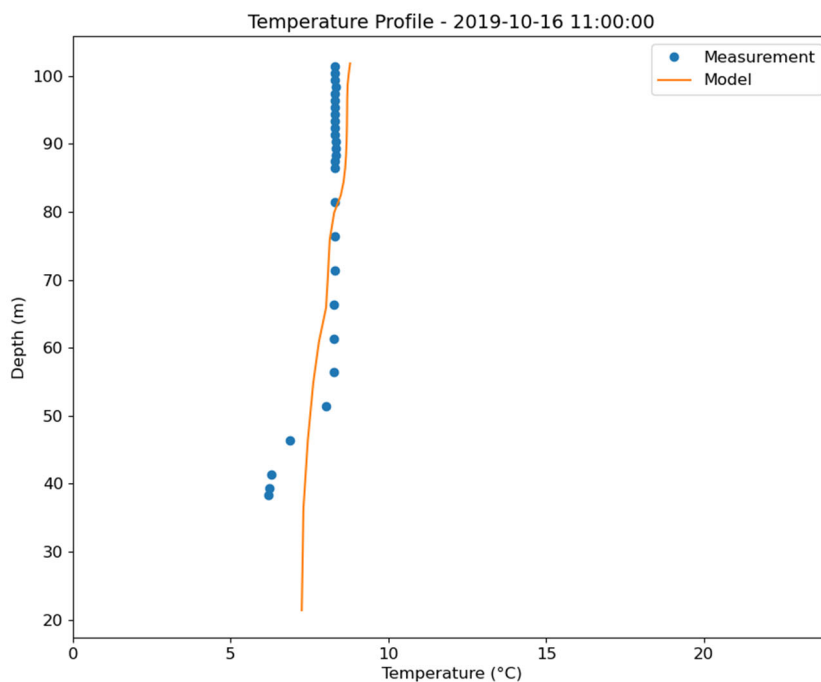


Figur A- 22 Temperaturprofil 21.08.19 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

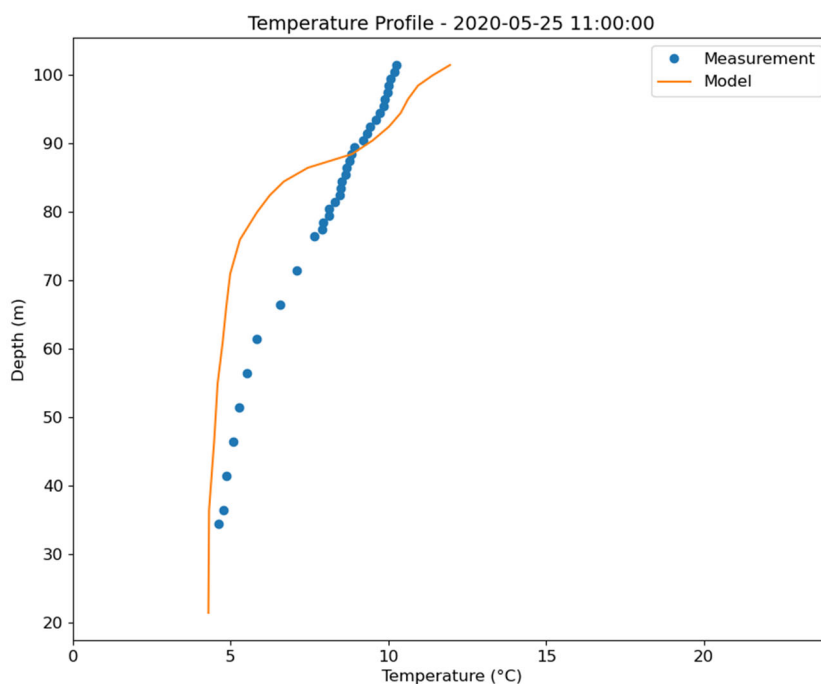


Figur A- 23 Temperaturprofil 13.09.19 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

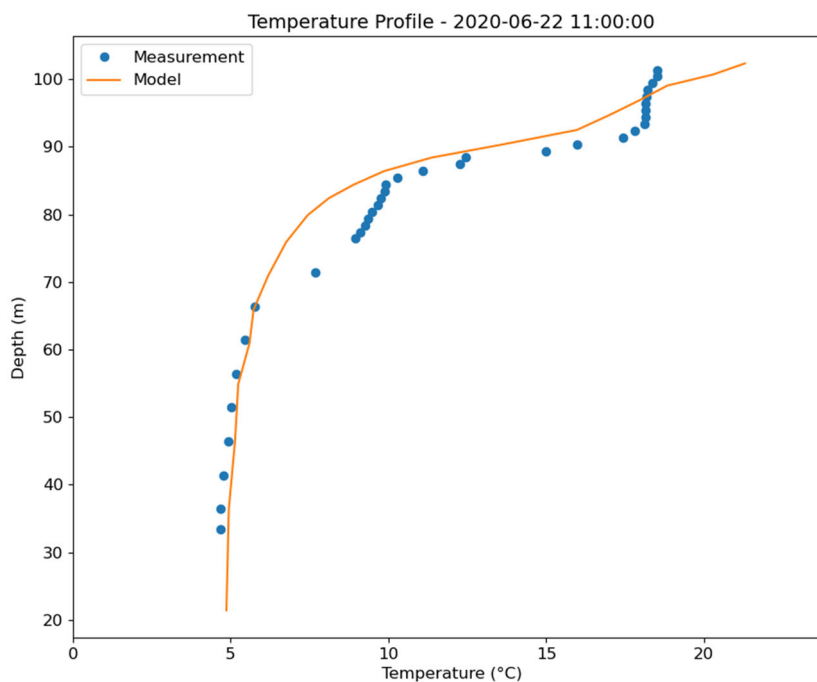




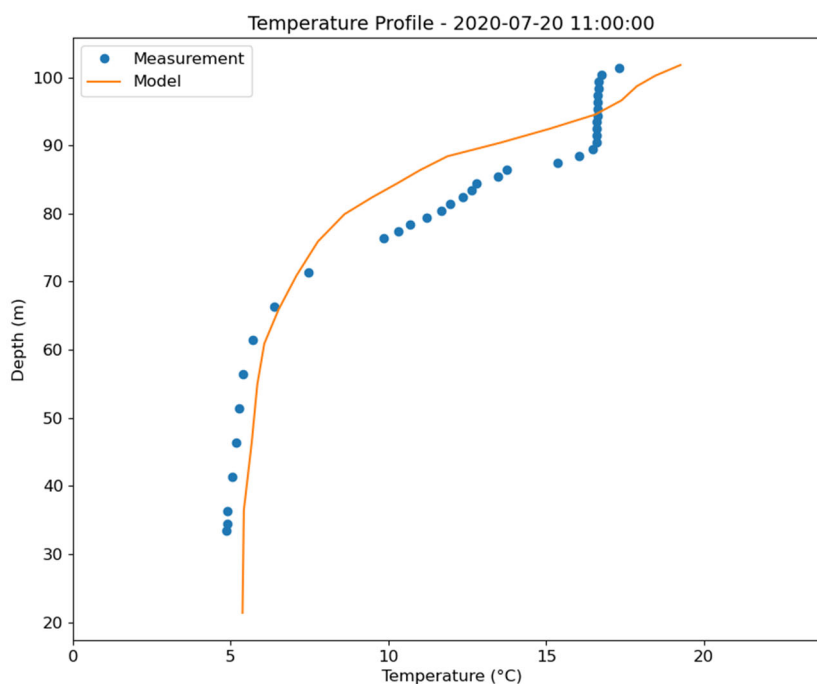
Figur A- 24 Temperaturprofil 16.10.19 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



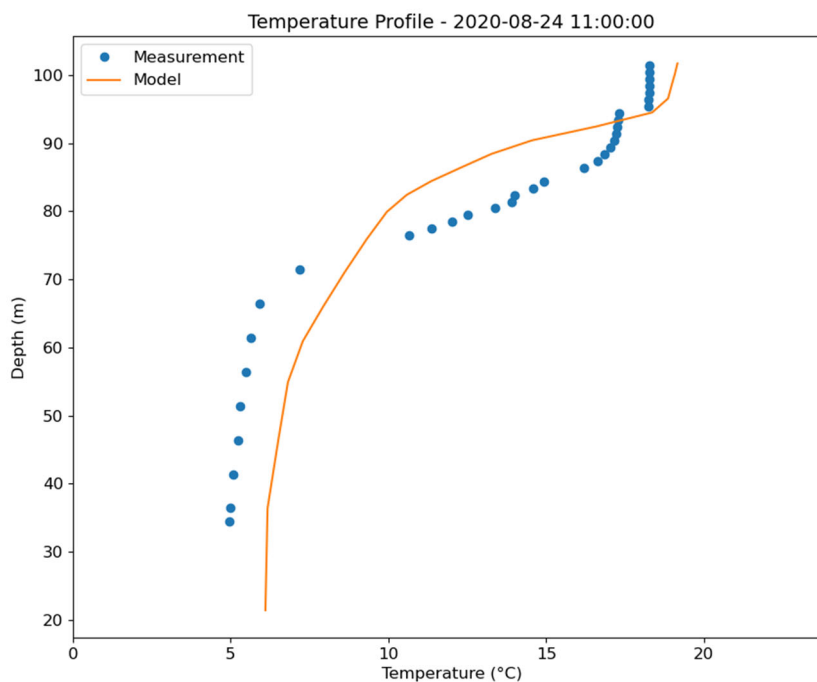
Figur A- 25 Temperaturprofil 25.05.20 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



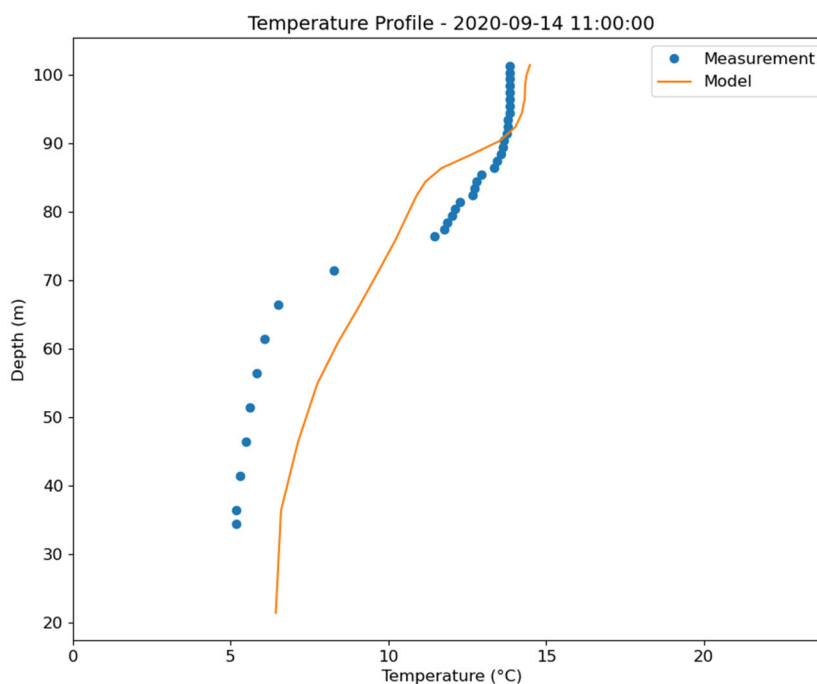
Figur A- 26 Temperaturprofil 22.06.20 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



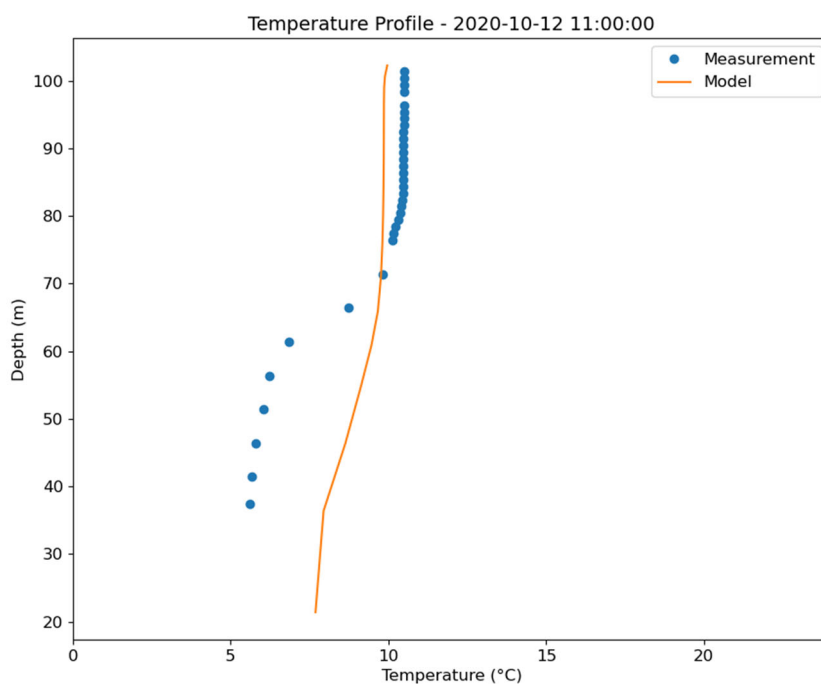
Figur A- 27 Temperaturprofil 20.07.20 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



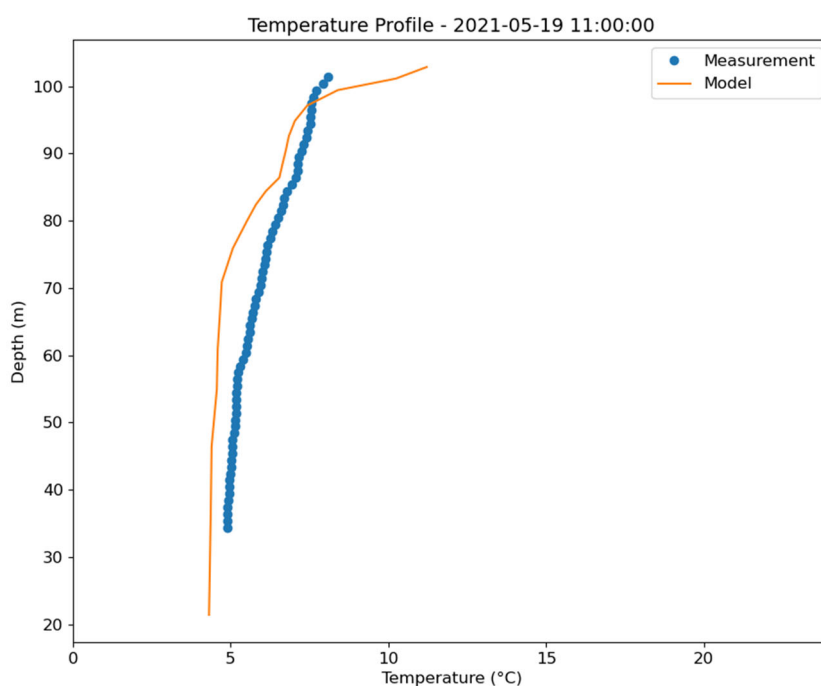
Figur A- 28 Temperaturprofil 24.08.20 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



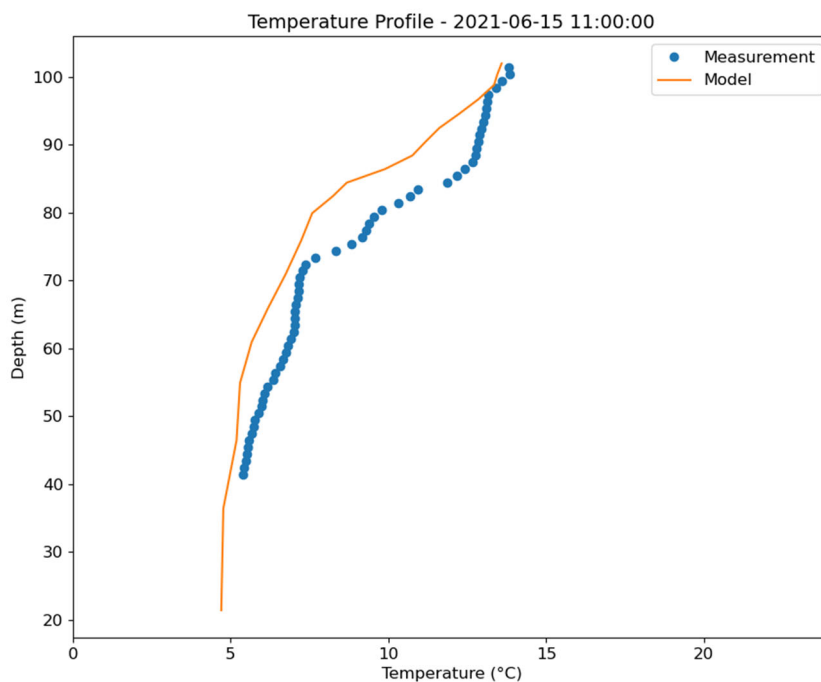
Figur A- 29 Temperaturprofil 14.09.20 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



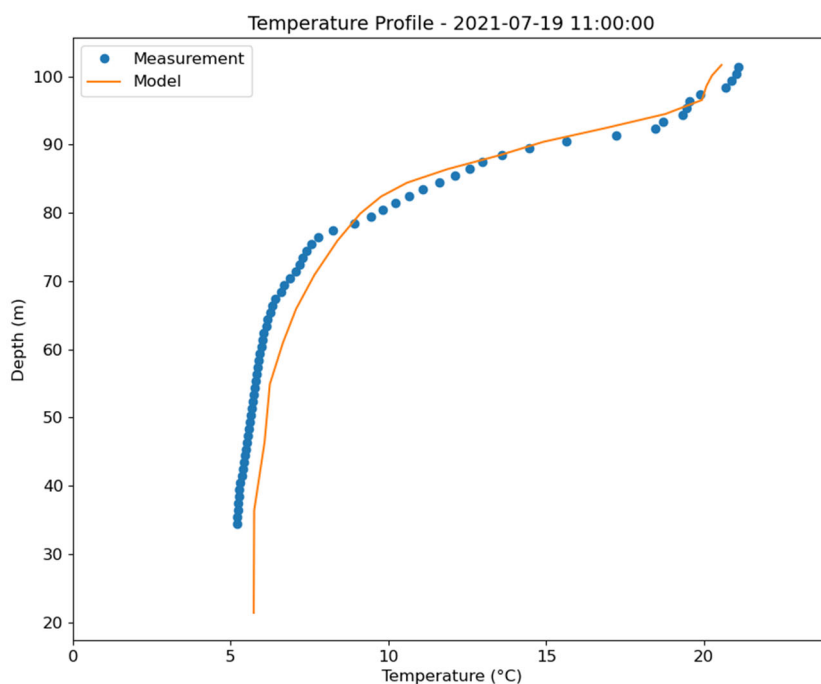
Figur A- 30 Temperaturprofil 12.10.20 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



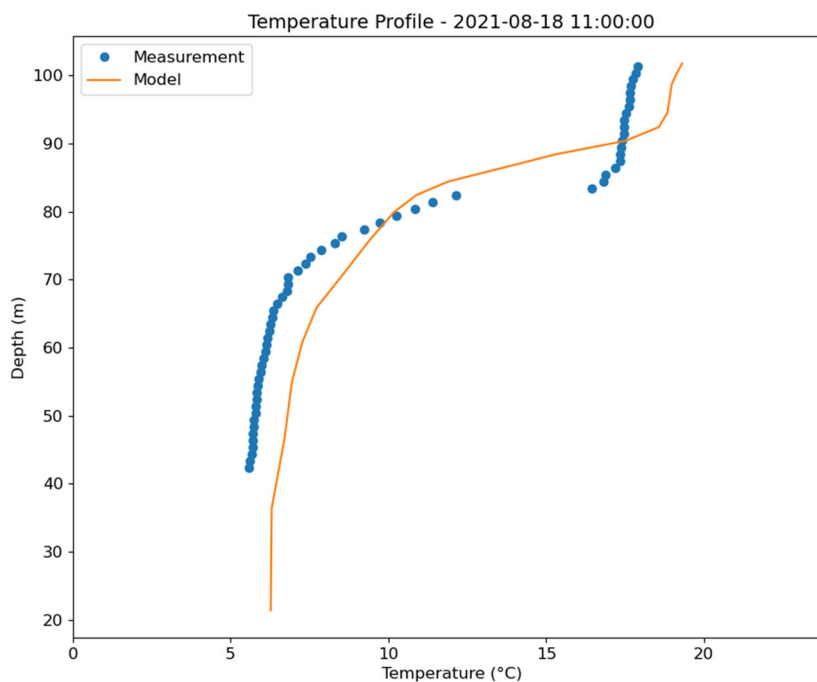
Figur A- 31 Temperaturprofil 19.05.21 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



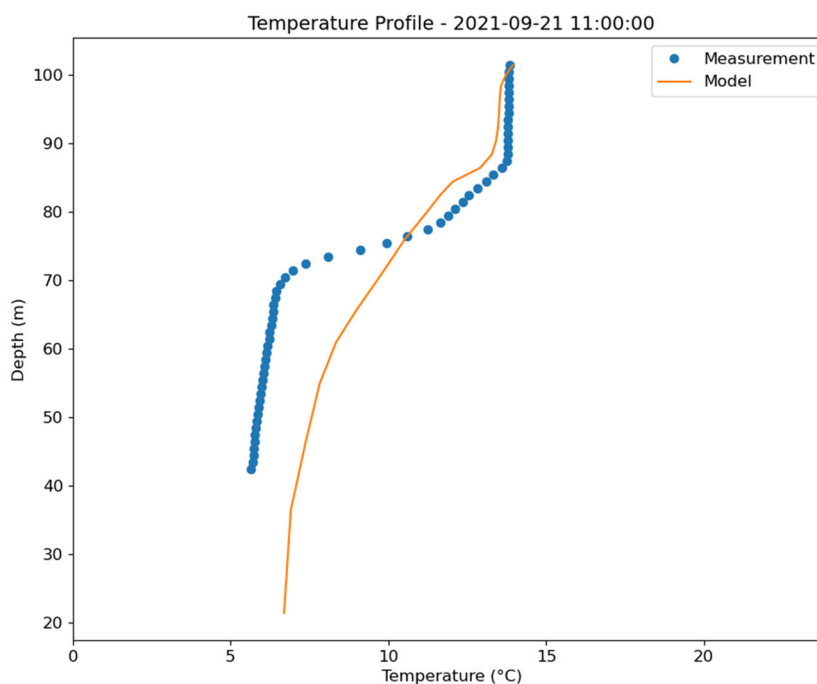
Figur A- 32 Temperaturprofil 15.06.21 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



Figur A- 33 Temperaturprofil 19.07.21 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

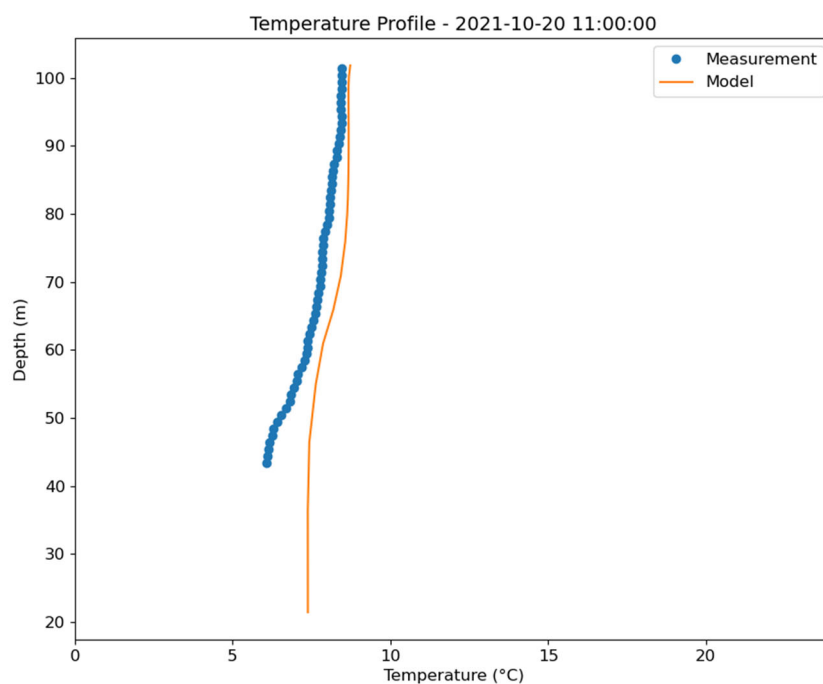


Figur A- 34 Temperaturprofil 18.08.21 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.



Figur A- 35 Temperaturprofil 21.09.21 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.





Figur A- 36 Temperaturprofil 20.10.21 ved P-Øsøy1, Blå prikker er målinger mens oransje linje er resultat fra modellen. Y-aksen viser dybden (Hvor 101,5 m er vannoverflaten), mens x-aksen viser temperaturen i °C.

## VEDLEGG B – beskrivelse av prosesser knyttet til fosfor og nitrogen i vannkvalitetsmodellene

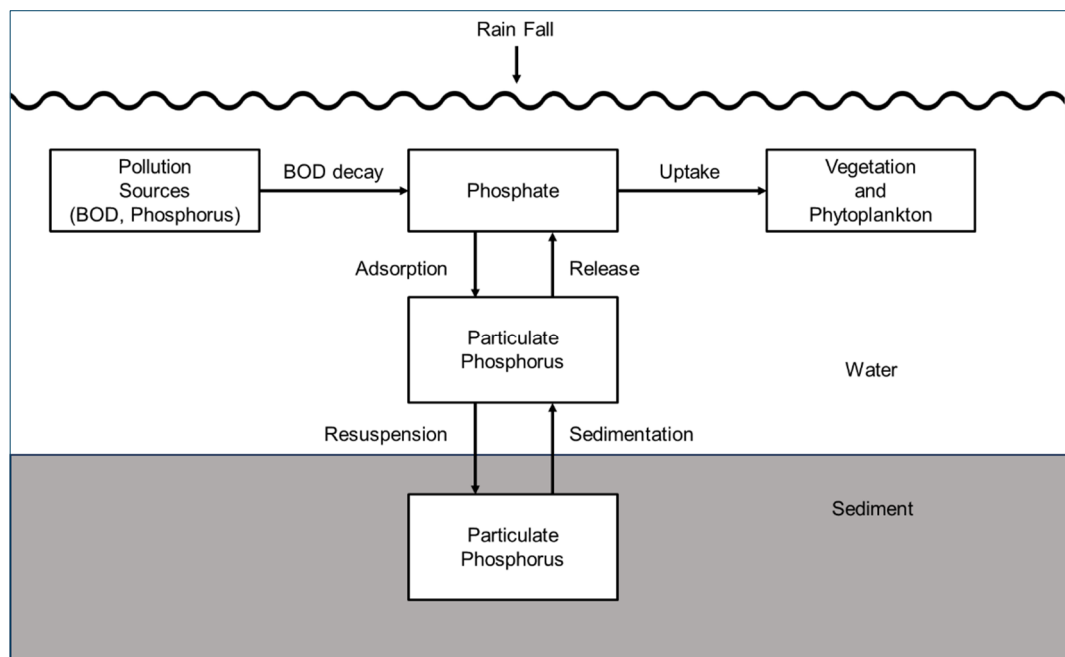
## B Beskrivelse av prosesser knyttet til fosfor og nitrogen i vannkvalitetsmodellene

### B.1 Vorma og Glomma

#### Totalt fosfor (Tot-P)

Totalt fosfor (Tot-P) er modellert som summen av ortofosfat (OP), partikulært fosfor (PP), frigjøring av OP fra nedbrytning av biokjemisk oksygenforbruk (BOF) fra utslippene fra rensesanleggene og frigjøring av OP fra nedbrytning av BOF i elven.

Prosessene som påvirker konsentrasjonen av løst fosfor (OP) er frigjøring av uorganisk fosfor, adsorpsjon av løst fosfor, fosforopptak i vegetasjonen og nedbrytning av BOF. Prosessene som påvirker konsentrasjonen av partikulært uorganisk fosfor (PP) er sedimentasjon og resuspensjon, samt frigjøring og adsorpsjon av oppløst fosfor. Partikulært organisk fosfor beskrives ikke eksplisitt som en tilstandsvariabel, men relateres til konsentrasjonen av organisk materiale som en funksjon av BOF. Dette uttrykkes igjen som en funksjon av nedbrytningshastigheten for BOF og suspensjon og deponering av sediment med bundet BOF. Prinsippene er illustrert i Figur 6.1.



Figur 6.1 Prinsippskisse som illustrerer transporten og prosessene knyttet til fosfor i vannkvalitetsmodellen for Vorma og Glomma.

Prosessene som inngår i modellen er følgende:

- Frigjøring av ortofosfat fra partikulært fosfat (PP)
- Adsorpsjon av ortofosfat til partikler (dannelse av partikulært fosfat (PP))
- Frigjøring av ortofosfat (OP) ved nedbrytning av organisk BOF fra utslipp fra avløpsrensanleggene som resulterer i ortofosfat
- Frigjøring av ortofosfat (OP) ved nedbrytning av organisk BOF fra elvene som resulterer i ortofosfat
- Opptak av ortofosfat (OP) i vegetasjon som en del av fotosyntesen og respirasjonen

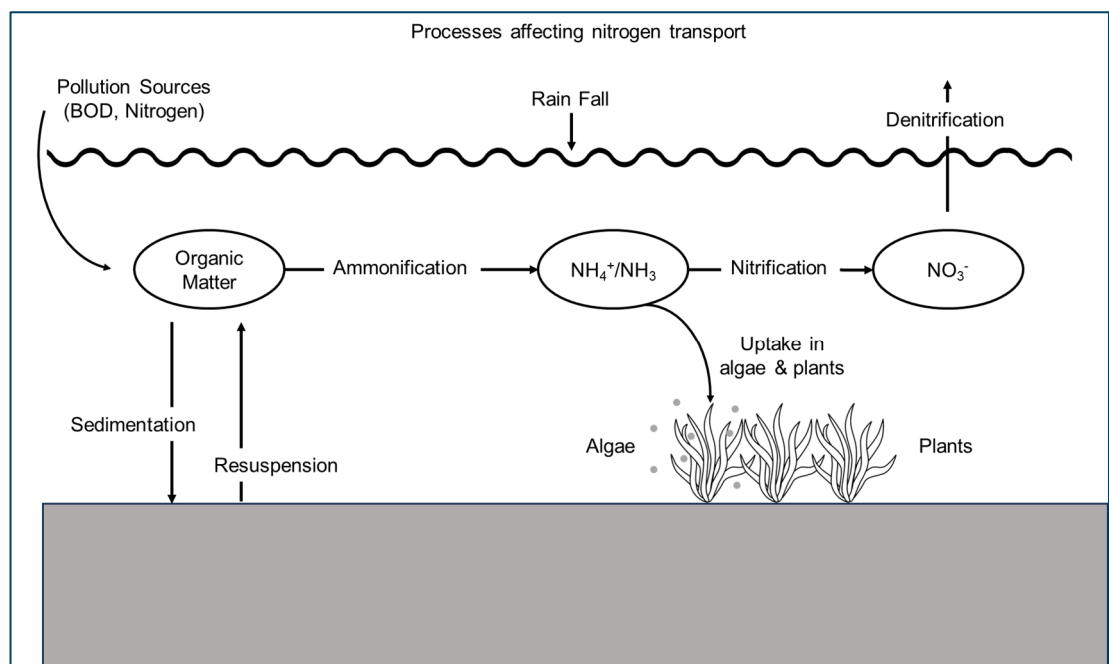
- Resuspensjon eller sedimentering av partikulært fosfor

I denne studien analyseres frigjøringen av ortofosfat fra BOF ved å skille mellom kildene til BOF fra renseanlegg og elv. Elvens BOF stammer hovedsakelig fra humusmateriale som har lavere nedbrytningshastighet enn BOF fra renseanleggene. BOF fra utslippene fra renseanleggene representerer et nytt tilskudd til miljøet, og gjennomgår en rask nedbrytningsprosess med høyere nedbrytningshastighet sammenlignet med BOF fra elvene.

### Totalt nitrogen (Tot-N)

Totalt nitrogen (Tot-N) er modellert som summen av ammoniakk, nitrat, ammoniakkutslipp fra BOF-nedbrytning i renseanleggene og ammoniakkutslipp fra BOF-nedbrytning i elven.

Nitrogensyklusen starter med assimilering av fritt nitrogen fra atmosfæren (fra blågrønnalger) eller alger og planters opptak av ammoniakk fra vannet. Nedbrytning av dødt organisk materiale fører til at organisk bundet nitrogen frigjøres i form av ammoniakk (ammonifisering). Nedbrytning av bakterier bruker imidlertid noe av nitrogenet til egen vekst. Resten av ammoniakken som frigjøres ved ammonifisering eller slippes ut fra forurensningskilder, kan tas opp av planter eller nitrifiseres av nitrifiserende bakterier til nitrat. Nitratet omdannes til slutt til fritt nitrogen gjennom en denitrifikasjonsprosess. Assimilering, ammonifisering og nitrifisering er alle prosesser som foregår i soner i vannet med tilgang til oksygen. Denitrifikasjon er en anaerob prosess som krever anoksiske forhold. Disse forholdene finnes i sedimentet og i bakteriefilmer på planter. Konseptet med nitrogensyklusen er illustrert i Figur 6.2.



Figur 6.2 Skjematisk diagram som illustrerer nitrogenprosessen og -transporten i modellen.

Følgende ammoniakkprosesser er inkludert i modellen:

- Frigjøring av ammoniakk ved nedbrytning av organisk BOF i elvene
- Frigjøring av ammoniakk ved nedbrytning av BOF fra utslippene til renseanleggene
- Bakteriers opptak av nitrogen som en integrert del av BOF-nedbrytningen
- Opptak i plantene som en del av fotosyntesen og respirasjonen

- Nitrifikasjon, forbruk av ammoniakk ved en kjemisk reaksjon der ammoniakk omdannes til nitrat. Nitrifikasjonsprosessen foregår i bakteriefilmer på steiner eller planteblater og kan derfor begrenses av transportmotstanden gjennom denne filmen.

Prosessene som inngår i nitrat er:

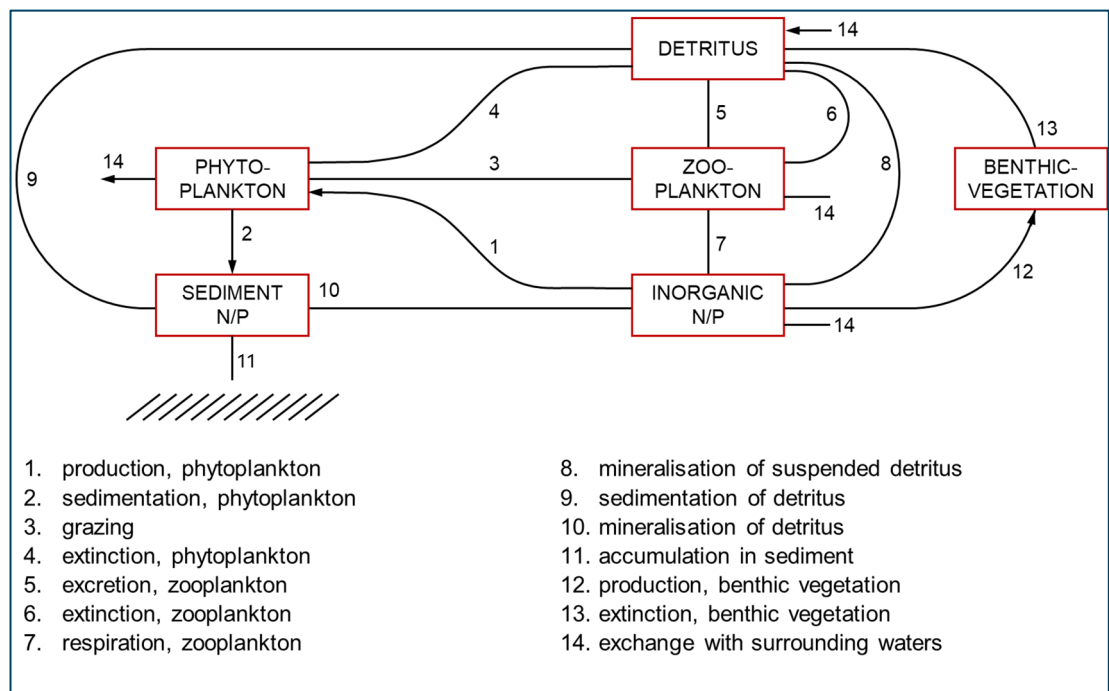
- Nitrifisering som nitratkilde (som i ammoniakkbalansen)
- Denitrifikasjon, der nitrat omdannes til fritt atmosfærisk nitrogen.

## B.2 Øyeren

Vannkvalitetsmodellen i Øyeren har implementert en 3D-modell for eutrofiering og sediment. Denne modellen omfatter pelagiske, sedimentære og bentiske vegetasjonskomponenter i systemet. I motsetning til vannsøylen er bunnvegetasjonen og sedimentene festet til sjøbunnen og steiner, og påvirkes ikke av vannbevegelser eller spredning i motsetning sedimentene. Modellen beskriver næringssyklusen, veksten av plante- og zooplankton, fordelingen av rotfestet vegetasjon og makroalger, og simulerer oksygenforholdene i økosystemet.

Modellresultatene beskriver konsentrasjonene av fytoplankton, klorofyll-a, zooplankton, detritus (dødt organisk materiale fra planter og dyr), organiske og uorganiske næringsstoffer, oksygen og den arealbaserte biomassen av bentisk vegetasjon over tid. I tillegg inngår en rekke utledede variabler som primærproduksjon, konsentrasjoner av totalt nitrogen og totalt fosfor, siktedyp og oksygenforbruk i sedimentene.

Prosessene som beskriver komponentenes variasjoner i tid og rom er avhengig av ytre faktorer som saltholdighet, vanntemperatur, lysforhold og strømningsforhold. De generelle biologiske og kjemiske prosessene og transformasjonene for fosfor, nitrogen og karbon er illustrert i Figur 1 6.3.



Figur 1 6.3 Forenklet strømningsdiagram for fosfor og nitrogen.

### Totalt fosfor (Tot-P)

Totalt fosfor (Tot-P) er modellert som summen av fosforinnhold i fyttoplankton (PP), uorganisk fosfor (IP), fosforinnhold i detritus (DP), forholdet mellom fosfor og karbon i zooplankton (VZP), labilt fosfor (LDOP) og refraktært fosfor (CDOP). I det følgende beskrives prosessene som er involvert for hver enkelt variabel:

Prosessene som involverer fosfor i fyttoplankton (PP) omfatter:

- Opptak av fosfor i fyttoplankton
- Nedbeiting av fosfor i fyttoplankton reduserer fosfor
- Frigjøring av fosfor gjennom respirasjon av fosfor fra fyttoplankton
- Sedimentering av fosfor fra fyttoplankton
- Deponering av fosfor fra fyttoplankton til sediment
- Frigjøring av fosfor fra døde fyttoplankton

Prosessene som involverer detritus fosfor (DP) omfatter:

- Generering av fosfor fra dødt fyttoplankton, utskillelse og død av fosfor fra zooplankton og nedbrytning av fosfor fra bunnvegetasjon
- Frigjøring av fosfor gjennom respirasjon av detritus fosfor
- Avsetning av detritus fosfor til sedimentet
- Sedimentasjon / erosjon av detritus fosfor
- Mineralisering av fosfor fra detritus

Prosessene som involverer uorganisk fosfor omfatter:

- Mineralisering av detritus, zooplankton, fosfor i fyttoplankton og frigjøring fra sediment
- Frigjøring av fosfor gjennom respirasjon av detritus, zooplankton, rotfestet vegetasjon, fosfor i fyttoplankton og labilt fosfor
- Sedimentering av fosfor /adsorpsjon til sediment
- Opptak av fosfor i fyttoplanktonfosfor, makroalger og mikrobentisk, rotfestet vegetasjon
- Opptak av fosfor fra mikrobentiske alger i sediment
- Frigjøring av fosfor ved at fyttoplankton dør
- Fosfatfluksen mellom vann og porevann
- Atmosfærisk nedfall av fosfor

Prosessene som involverer refraktær fosfor omfatter:

- Produksjon av refraktær fosfor
- Avsetning av dødt karbon fra fyttoplankton
- Mineralisering av refraktært fosfor
- Reduksjon av refraktært fosfor gjennom fotooksidasjon (til labilt fosfor)

Prosessene som involverer labilt fosfor omfatter:

- Produksjon av labilt fosfor
- Økning i labilt fosfor fra fotooksidasjon (fra refraktært fosfor)
- Deponering av fosfor fra dødt fyttoplankton til labilt fosfor
- Mineralisering av labilt fosfor
- Reduksjon i labilt fosfor for respirasjon
- Nedbeiting av fosfor fra fyttoplankton frigjør labilt fosfor



### Totalt nitrogen (Tot-N)

Totalt nitrogen (Tot-P) er modellert som summen av nitrogeninnholdet i fytoplankton (PN), ammonium ( $\text{NH}_4$ ), nitrat ( $\text{NO}_3$ ), nitrogeninnholdet i detritus (DN), forholdet mellom nitrogen og karbon i zooplankton (VZP), labilt nitrogen (LDON) og refraktært nitrogen (CDON).

Prosessen som involverer fytoplankton-nitrogen (PN) omfatter:

- Opptak av ammonium til nitrogen i fytoplankton
- Opptak av nitrat til nitrogen i fytoplankton
- Nedbeiting av nitrogen fra fytoplankton
- Frigjøring av nitrogen gjennom respirasjon av nitrogen fra fytoplankton
- Nedbrytning av fytoplanktonets nitrogen
- Frigjøring av nitrogen fra døde fytoplankton

Prosessen som involverer ammonium ( $\text{NH}_4$ ) omfatter:

- Reduksjon i ammoniumkonsentrasjonen gjennom nitrifikasjon (omdanning av ammonium til nitrat)
- Frigjøring av ammonium gjennom respirasjon av detritus nitrogen, zooplankton-nitrogen, bentisk nitrogen, labilt nitrogen, mikrobentiske alger og rotfestet vegetasjon
- Mineralisering av detritus nitrogen, sedimentering av organisk nitrogen, rotfestet vegetasjon
- Nitrogenopptak av ammonium i fytoplankton, makroalger, mikrobentiske planter og rotfestet vegetasjon
- Når fytoplankton dør, frigjøres det ammonium
- Ammoniumfluks mellom vann og porevann
- Mikrobentiske alger tar opp ammonium fra sediment

Prosessen som involverer nitrat omfatter:

- Økning i nitratkonsentrasjonen gjennom nitrifikasjon
- Redusert nitratkonsentrasjon gjennom denitrifikasjon (omdannelse av nitrat til nitrogen-gass)
- Nitratopptak i makroalger, nitrogen i fytoplankton, rotfestet vegetasjon, mikrobentiske alger
- Frigjøring av nitrat gjennom respirasjon av fytoplankton-nitrogen, labilt nitrogen, makroalger, rotfestet vegetasjon, mikrobentiske alger og detritus-nitrogen
- Mineralisering av labilt nitrogen, organisk nitrogen
- Når fytoplankton dør, frigjøres det ammonium
- Nitratfluks mellom vann og porevann
- Mikrobentiske alger tar opp nitrat fra sediment

Prosessen som involverer detritus nitrogen (DN) omfatter:

- Dannelse av detritus-nitrogen fra dødt fytoplankton, utskillelse og død av zooplankton-nitrogen og nedbrytning av nitrogen fra bunnvegetasjon;
- Reduksjon av nitrogen gjennom respirasjon av detritus-nitrogen,
- Sedimentering/erosjon av detritus nitrogen
- Beite på detritus og nitrogen
- Mineralisering av nitrogen fra detritus

Prosessen som involverer refraktært nitrogen omfatter:

- Produksjon av refraktært nitrogen

- Deponering av dødt fytoplanktonkarbon frigjør refraktært nitrogen
- Mineralisering av refraktært nitrogen frigjør ildfast nitrogen
- Refraktært nitrogenfluks mellom vann og porevann
- Reduksjon av refraktært nitrogen gjennom fotooksidasjon (til labilt nitrogen)

Prosessen som involverer labilt nitrogen omfatter:

- Produksjon av labilt nitrogen
- Økning i labilt nitrogen fra fotooksidasjon (fra refraktært nitrogen)
- Nedfall av dødt fytoplankton-nitrogen frigjør labilt nitrogen
- Ved mineralisering av labilt nitrogen frigjøres labilt nitrogen
- Reduksjon i labilt nitrogen for respirasjon med nitrat

### Zooplankton

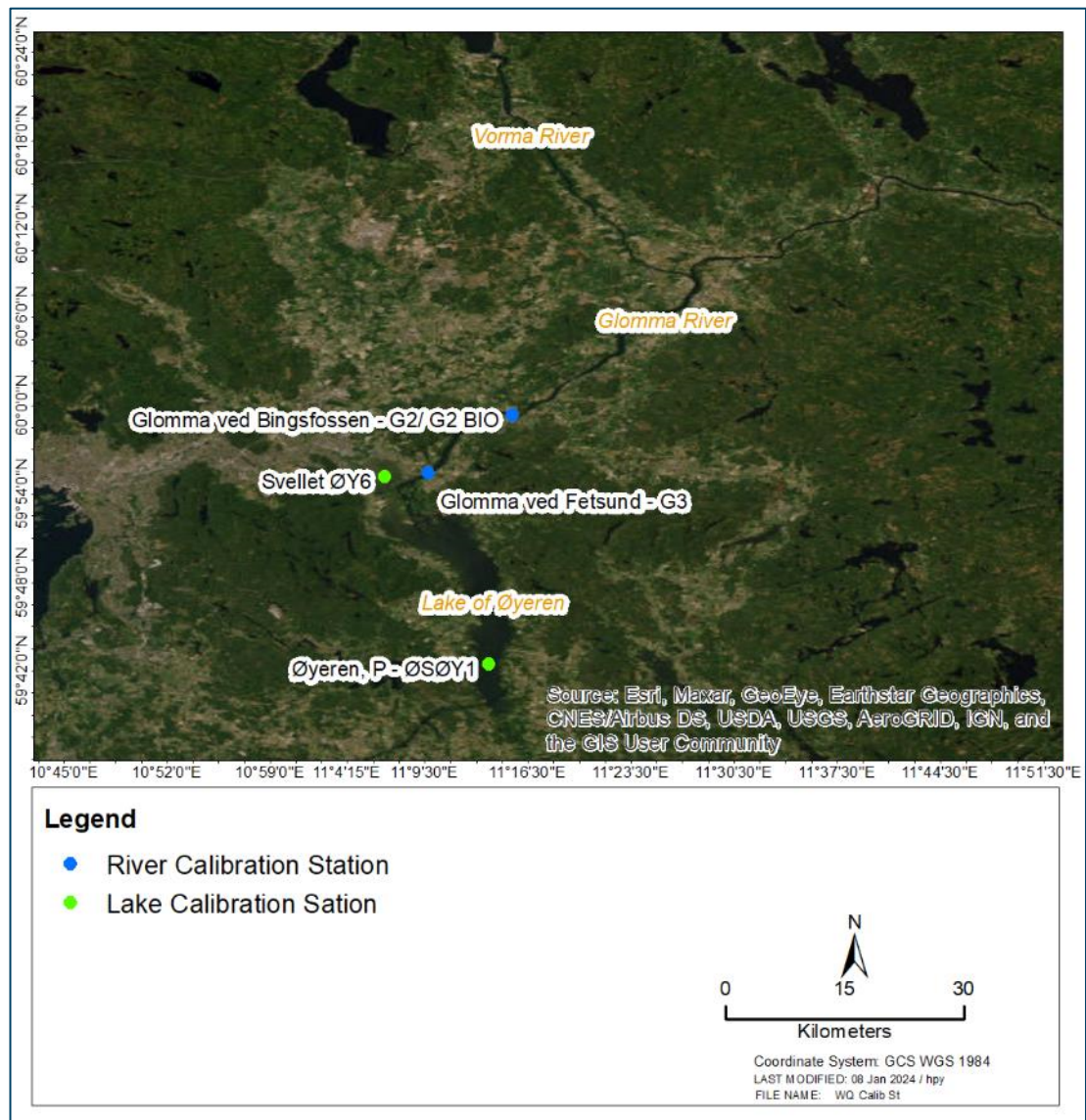
Zooplanktonet representerer viktige beitedyr som hoppekreps og ulike mikrozooplankton. Bidraget fra zooplankton til totalt fosfor og totalt nitrogen er basert på et forholdstall fra litteraturen, og prosessen med zooplankton beskrives som følger:

- Produksjon av karbon fra zooplankton
- Beiting av zooplankton
- Frigjøring av karbon når zooplankton dør

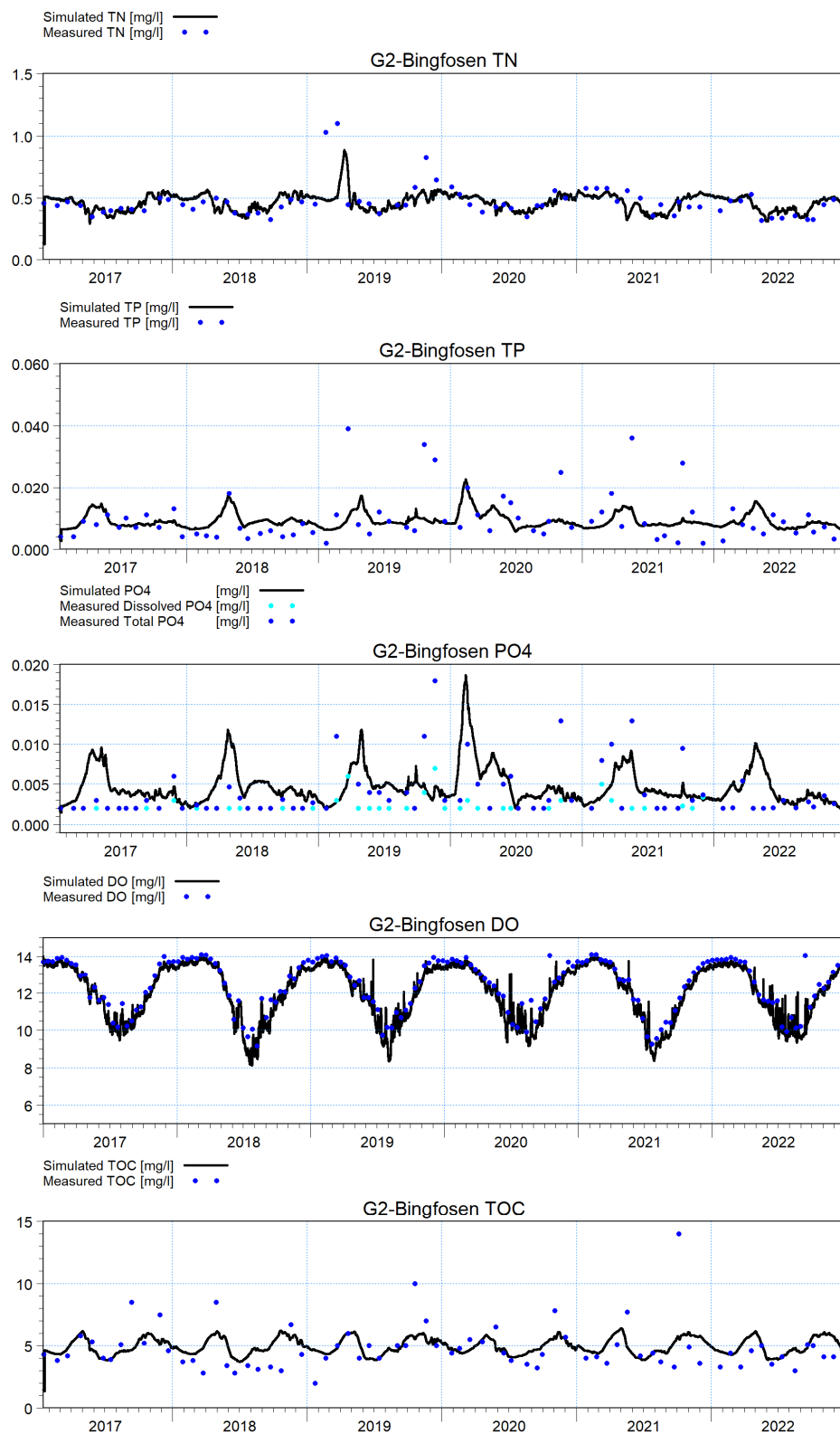
## VEDLEGG C – kalibreringsresultater vannkvalitetsmodeller

## C Kalibreringsresultater vannkvalitetsmodeller

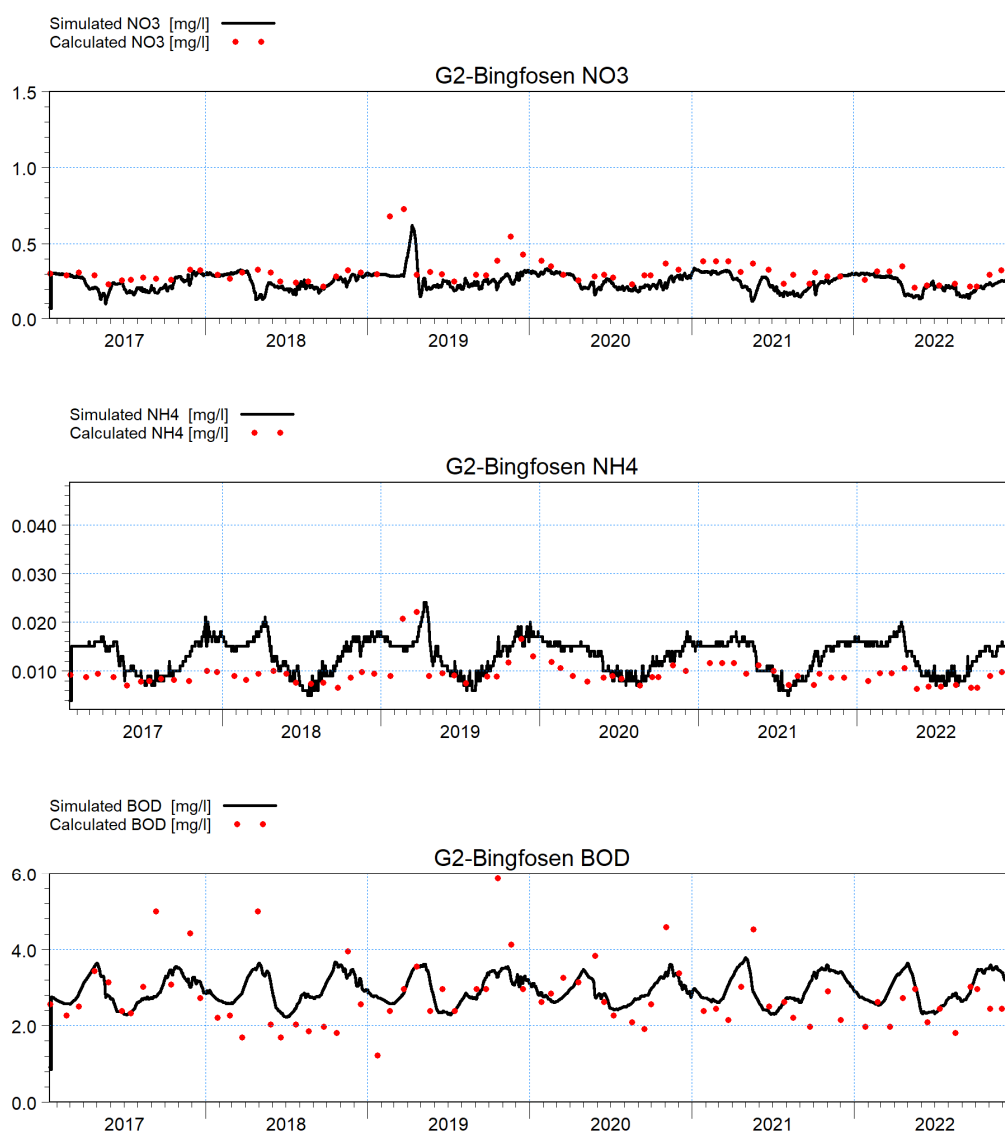
Figuren under viser punktene benyttet til kalibrering av 1D vannkvalitetsmodell av Vorma og Glomma og 3D-modell av Øyeren. For hvert punkt er det laget tidsserieplott for utvalgte parametere for 2017-2022.



## C.1 G2 Glomma ved Bingsfossen



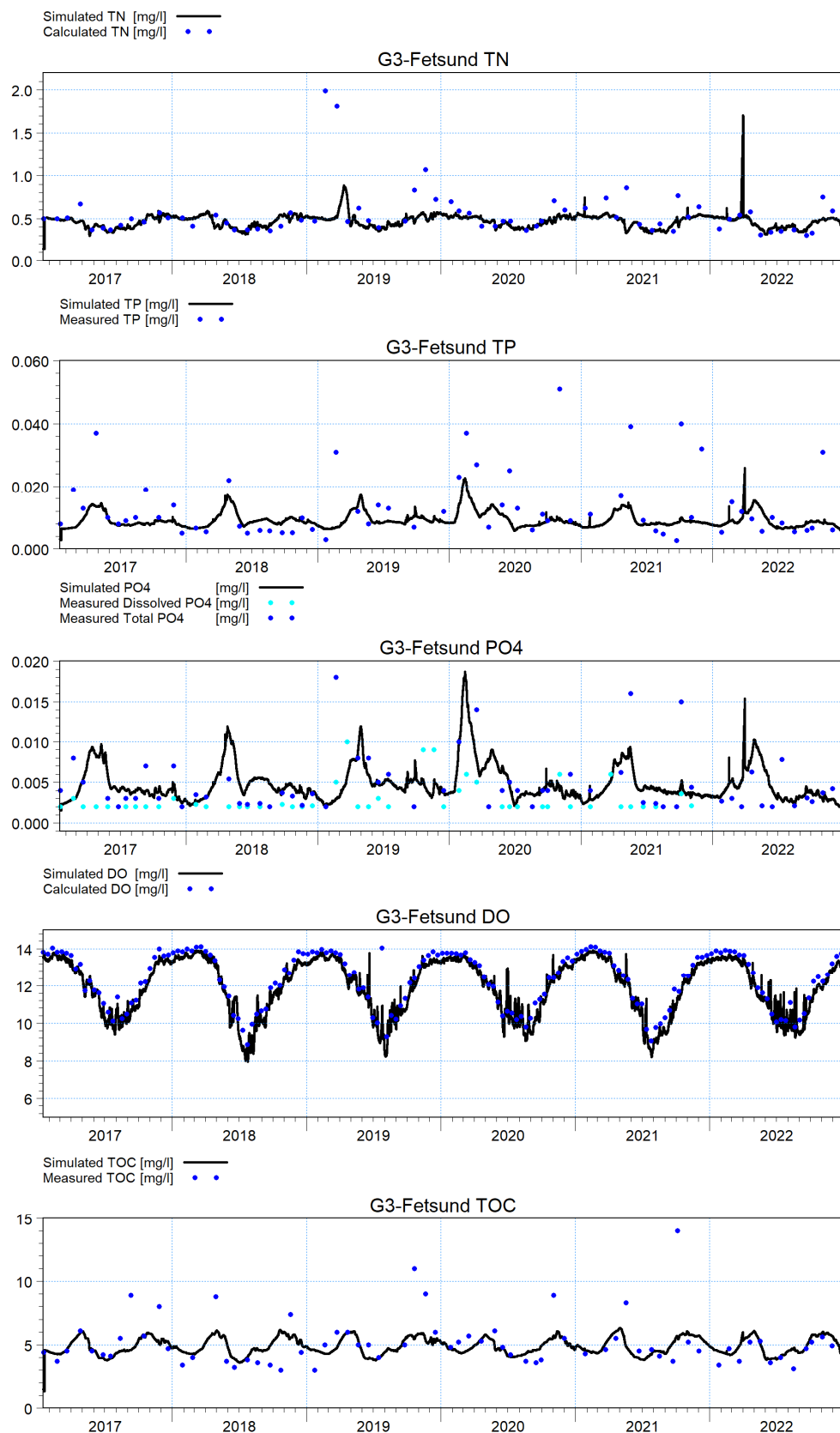
Figur 6-1: Kalibreringsresultater G2 Glomma ved Bingsfossen Tot-P, Tot-N, fosfat, oksygen og TOC



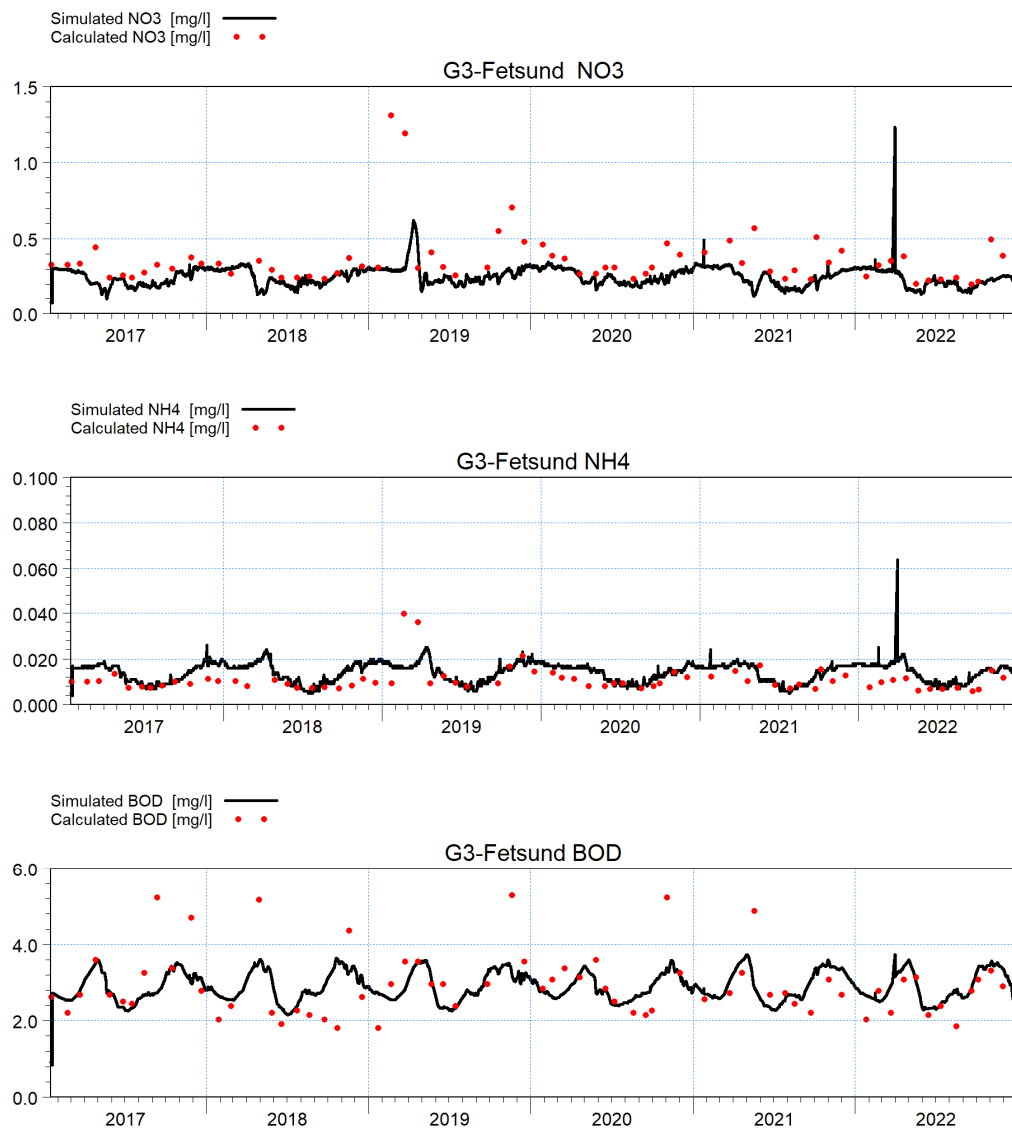
Figur 6-2: Kalibreringsresultater G2 Glomma ved Bingsfossen nitrat, nitritt, BOF



## C.2 G3 Glomma ved Fetsund bru



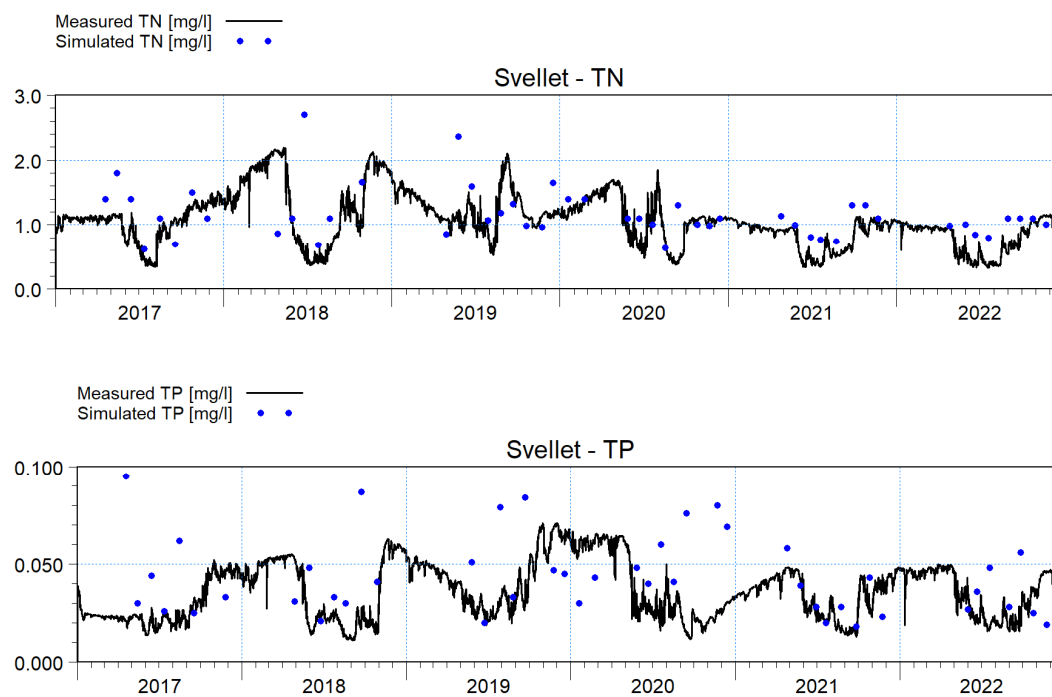
Figur 6-3: Kalibreringsresultater G3 Glomma ved Fetsund Tot-P, Tot-N, fosfat, oxygen og TOC



Figur 6-4: Kalibreringsresultater G3 Glomma ved Fetsund nitrat, nitritt, BOF

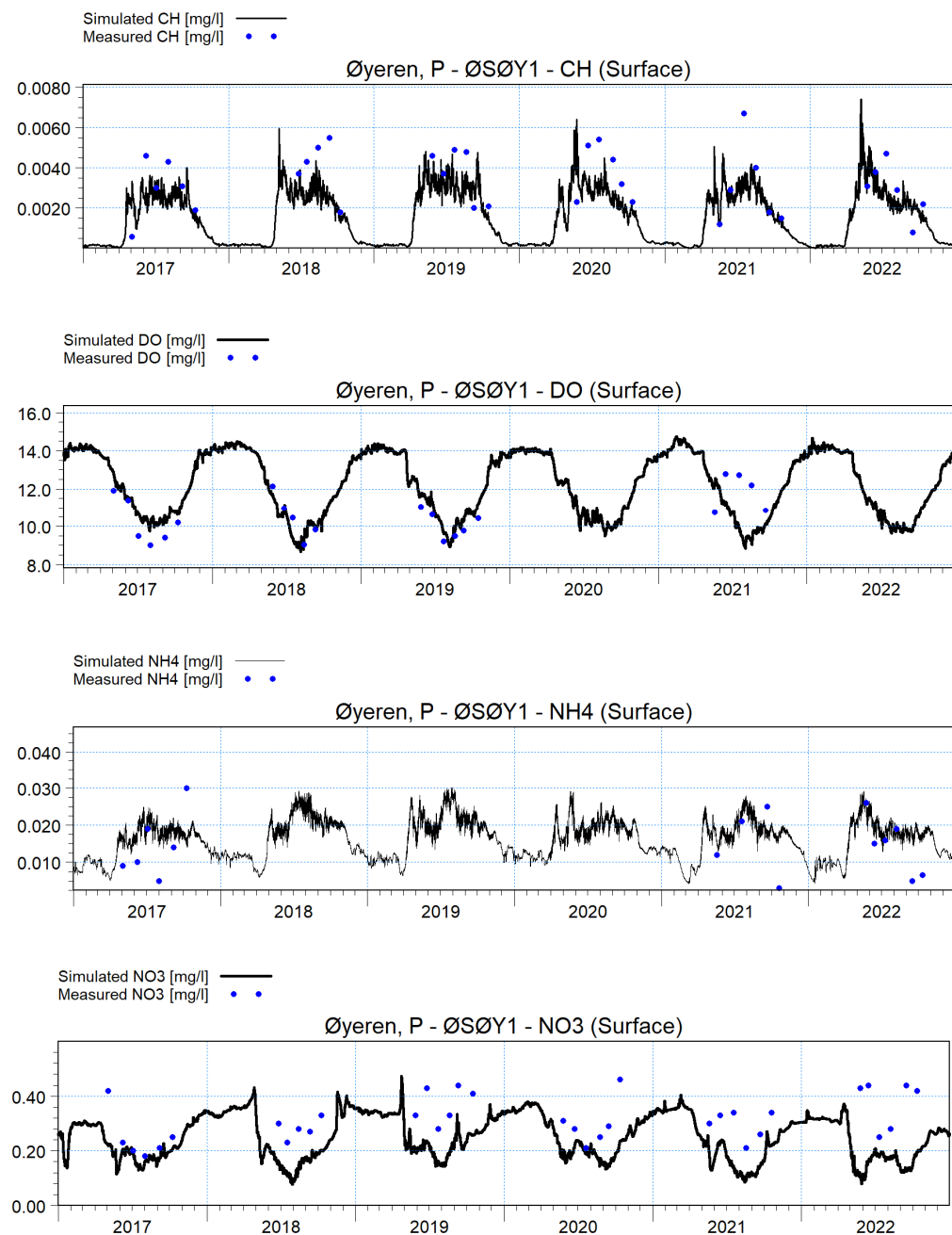
## C.3 Øyeren

### C.3.1 ØY6 Svellet

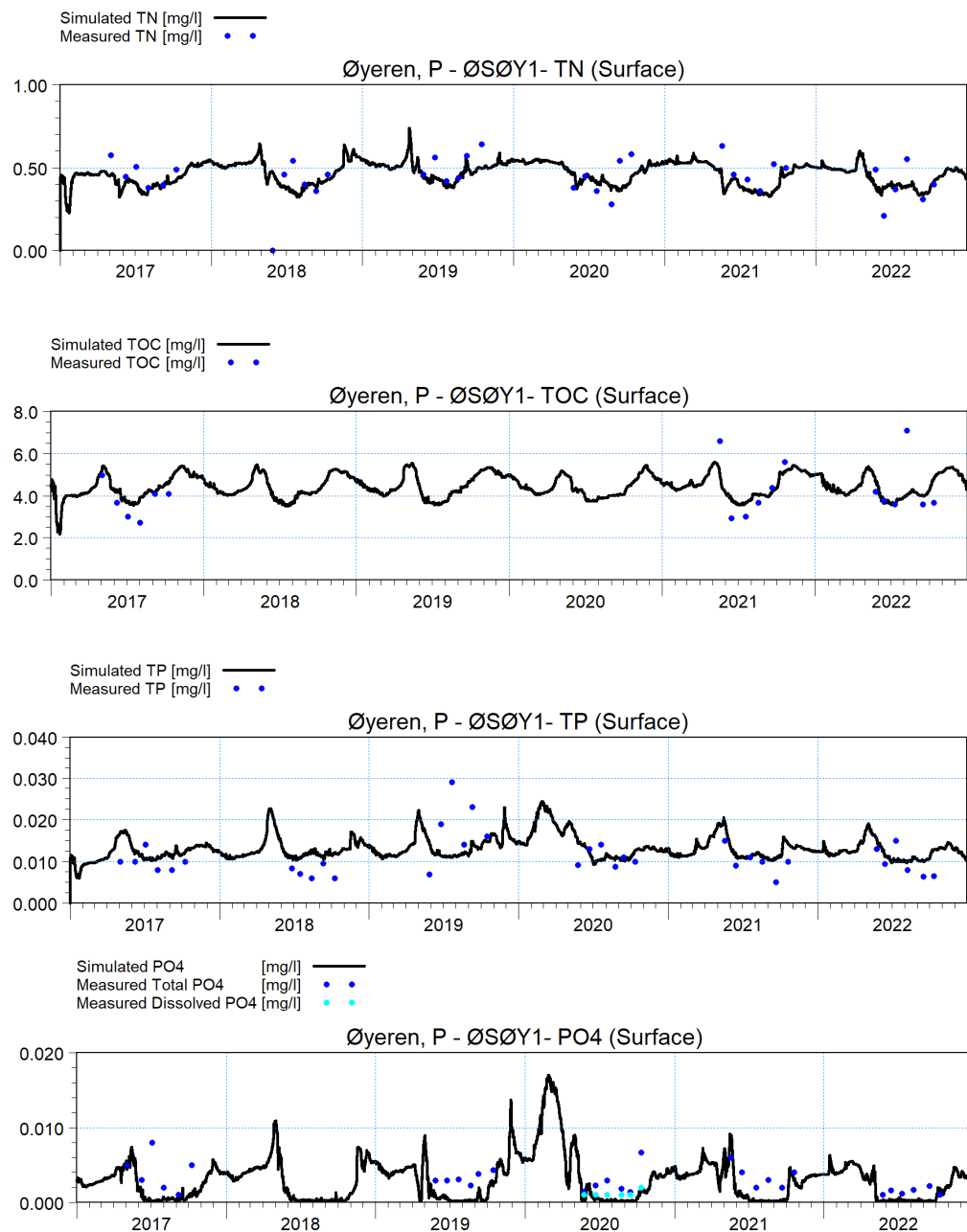


Figur 6-5: Kalibreringsresultat Øyeren ved ØY6 Svellet Tot-P og Tot-N

### C.3.2 P-ØSØY1 Øyeren - overflaten

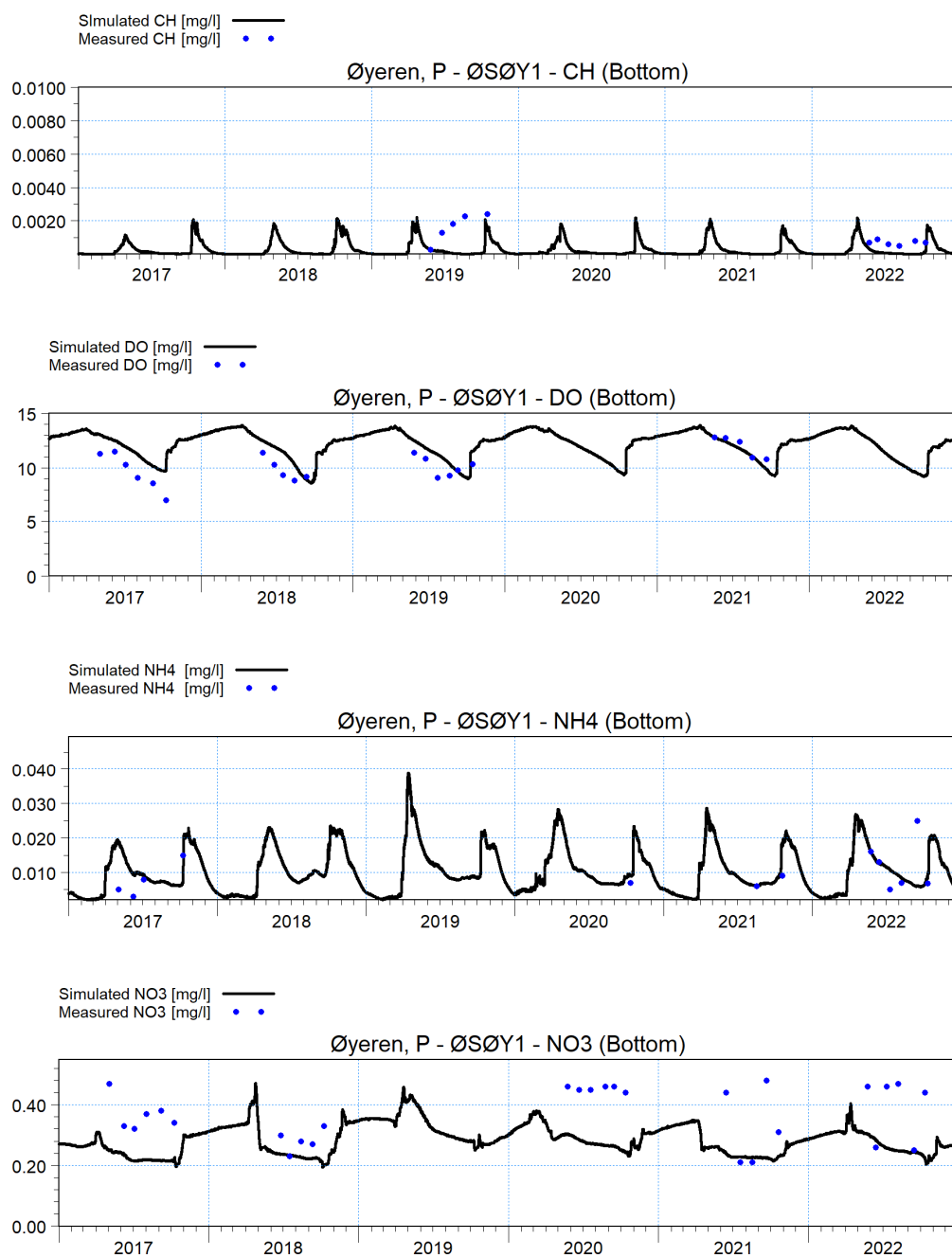


Figur 6-6: Kalibreringsresultat P-ØSØY1 Øyeren overflate klorofyll a, oksygen, nitrat og nitritt



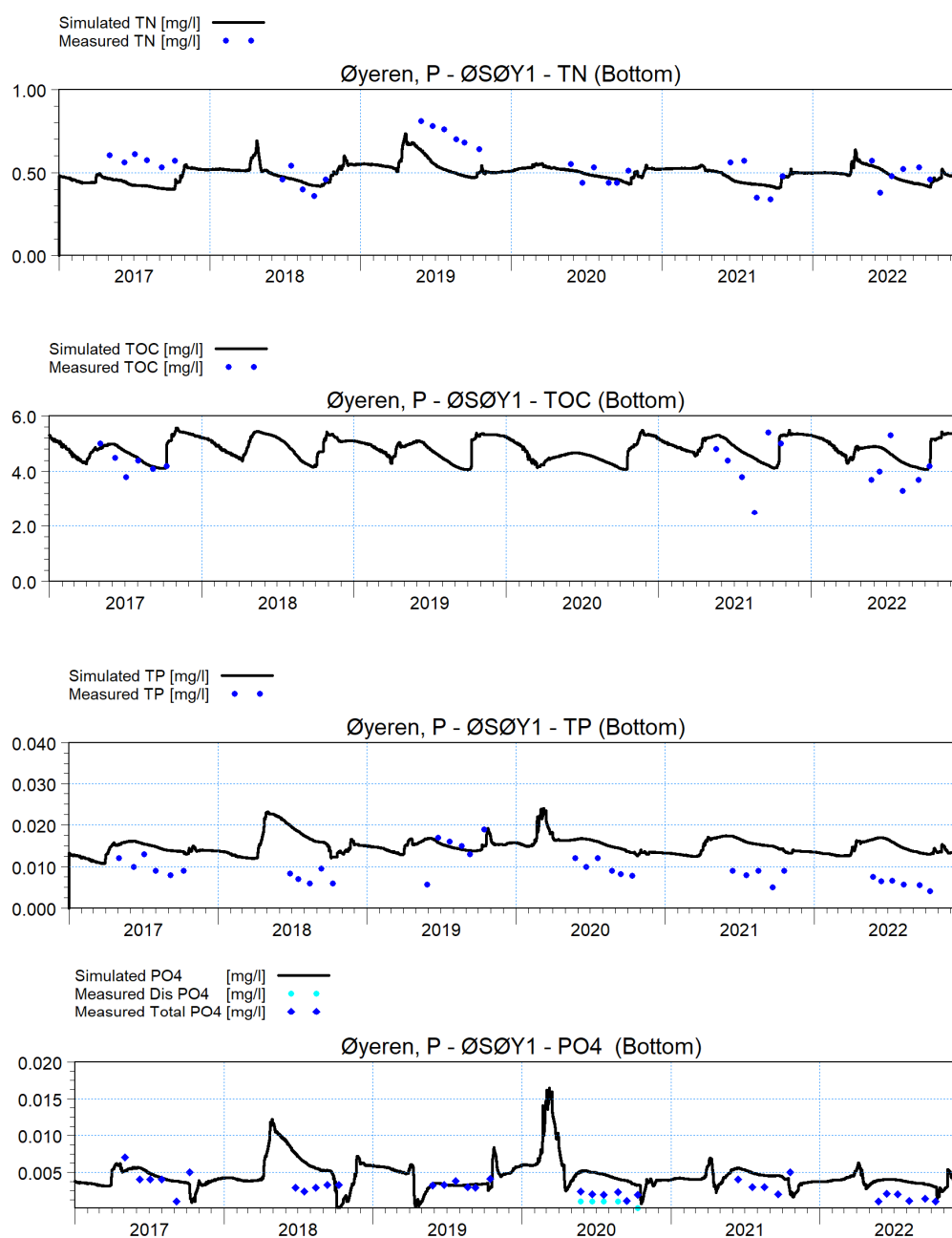
Figur 6-7: Kalibreringsresultat P-ØSØY1 Øyeren overflate Tot-N, TOC, Tot-P og fosfat

### C.3.3 P-ØSØY1 Øyeren – bunnlag

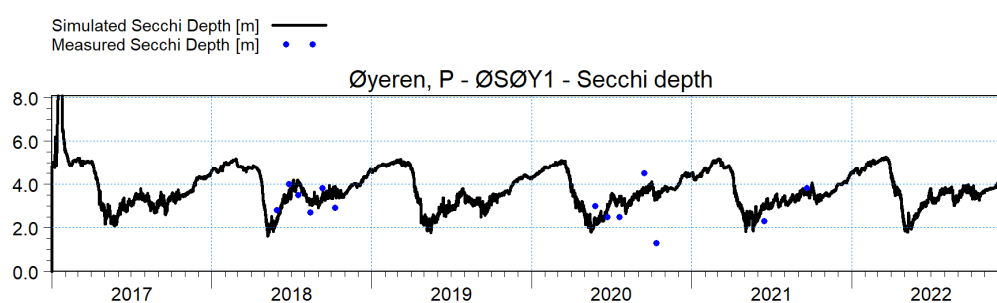


Figur 6-8: Kalibreringsresultat P-ØSØY1 Øyeren bunnlag klorofyll a, oksygen, nitrat og nitritt





Figur 6-9: Kalibreringsresultat P-ØSØY1 Øyeren bunnlag Tot-N, TOC, Tot-P og fosfat



Figur 6-10: Kalibreringsresultat P-ØSØY1 Øyeren siktedyp

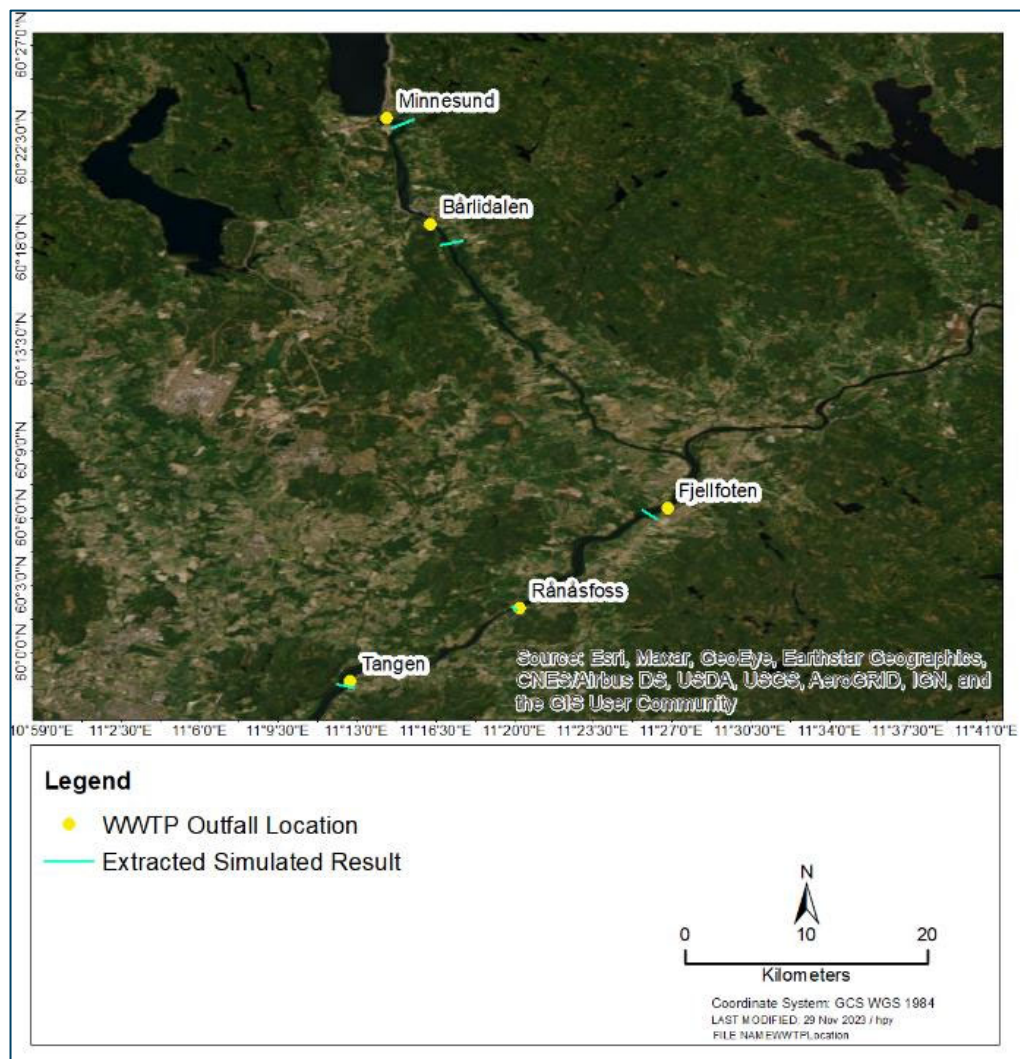


## VEDLEGG D – resultater vannkvalitetsmodeller

## D Resultater vannkvalitetsmodeller

### D.1 Vorma og Glomma tidsserieplott

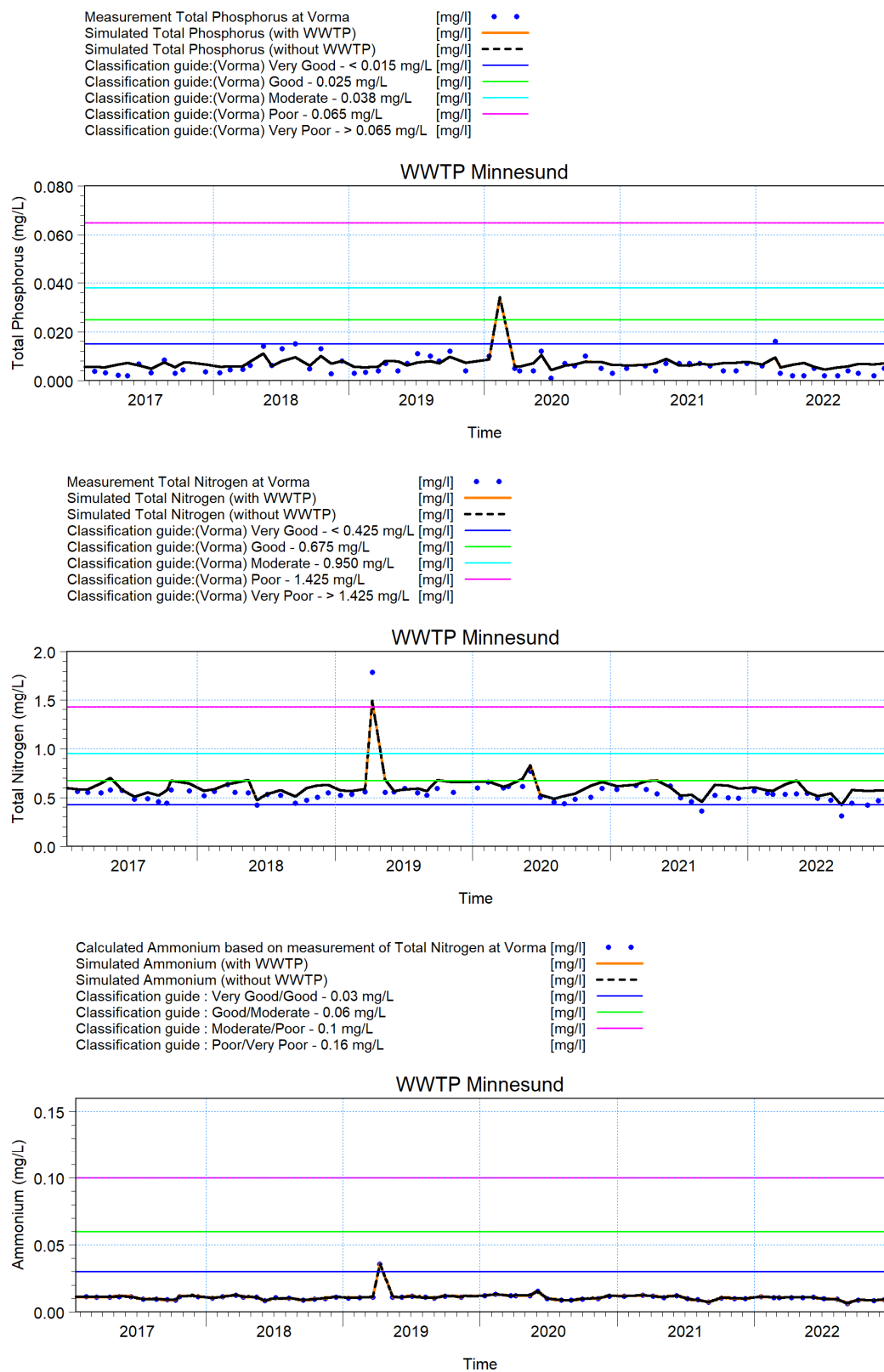
Figuren under viser punktene i Vorma og Glomma som det er laget tidsserieplott basert på simuleringene med den 1-dimensjonale vannkvalitetsmodellen. Tidsserieplottene viser utvalgte vannkvalitetsparametere basert på simuleringer med og uten utslipp fra renseanleggene.



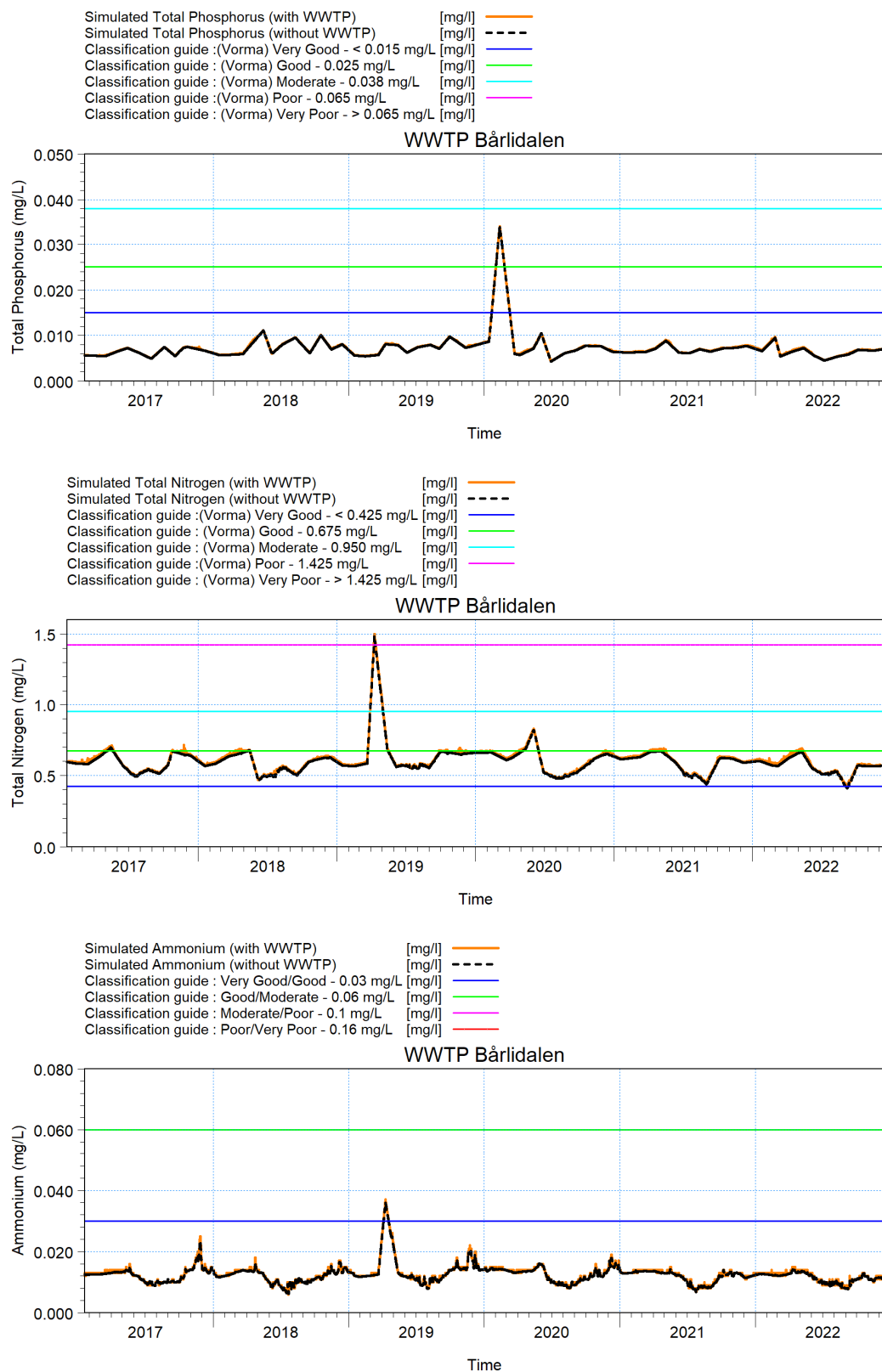
Følgende parametere er vist i tidsserieplottene:

- Totalt fosfor (TP)
- Totalt nitrogen (TN)
- Oksygen bunnvann (DO)
- Klorofyll a (CH)
- Ammonium (NH<sub>4</sub>)
- Totalt organisk karbon (TOC)

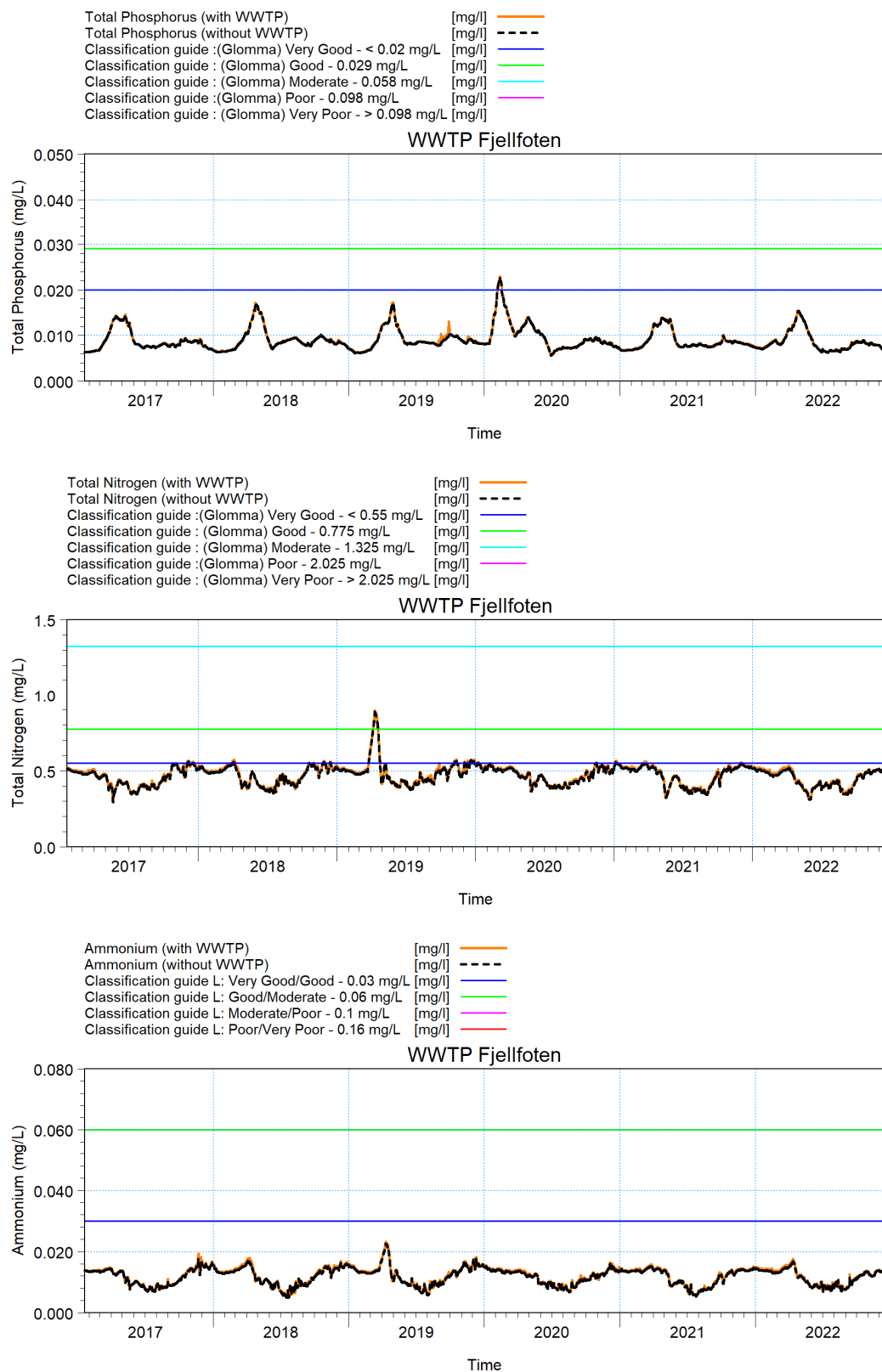
### D.1.1 Vorma - Minnesund



## D.1.2 Vorma - Bårildalen



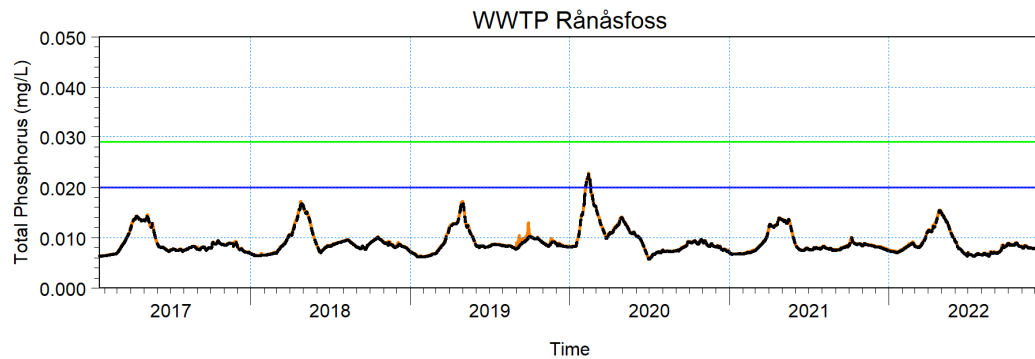
### D.1.3 Glomma – Fjellfoten



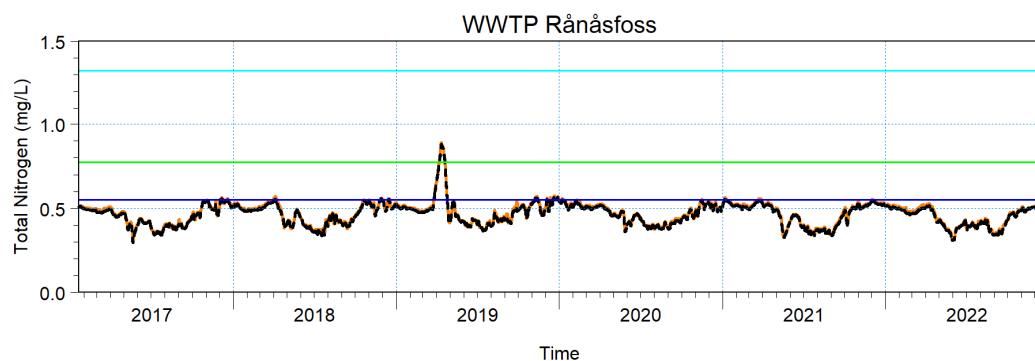


## D.1.4 Glomma – Rånåsfoss

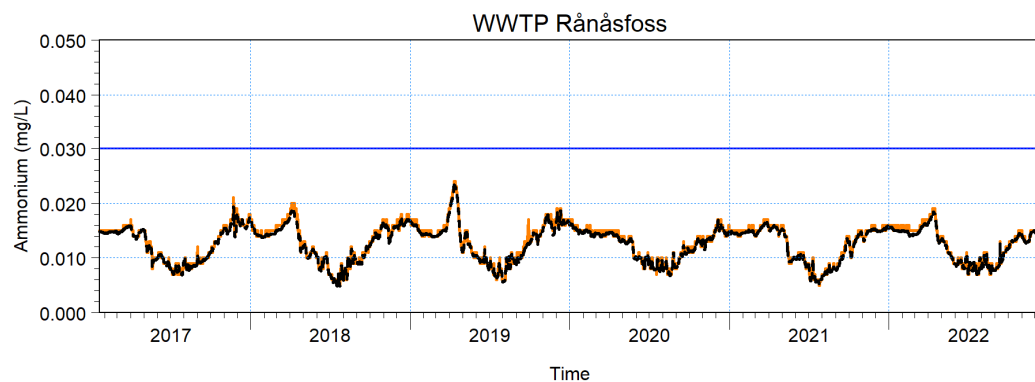
Simulated Total Phosphorus (with WWTP) [mg/l] ———  
 Simulated Total Phosphorus (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification guide : (Glomma) Very Good - < 0.02 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Good - 0.029 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Moderate - 0.058 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Poor - 0.098 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Very Poor - > 0.098 mg/L [mg/l] ———



Simulated Total Nitrogen (with WWTP) [mg/l] ———  
 Simulated Total Nitrogen (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification guide : (Glomma) Very Good - < 0.55 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Good - 0.775 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Moderate - 1.325 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Poor - 2.025 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : (Glomma) Very Poor - > 2.025 mg/L [mg/l] ———

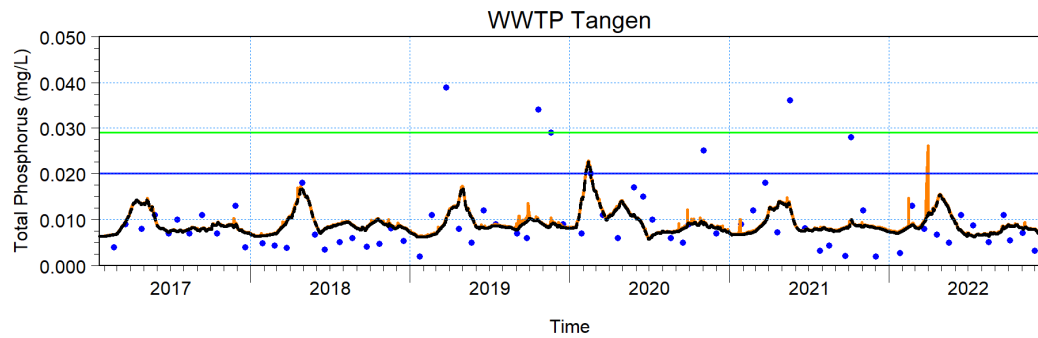


Simulated Ammonium (with WWTP) [mg/l] ———  
 Simulated Ammonium (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification guide : Very Good/Good - 0.03 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : Good/Moderate - 0.06 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : Moderate/Poor - 0.1 mg/L [mg/l] ———  
 Classification guide : Poor/Very Poor - 0.16 mg/L [mg/l] ———

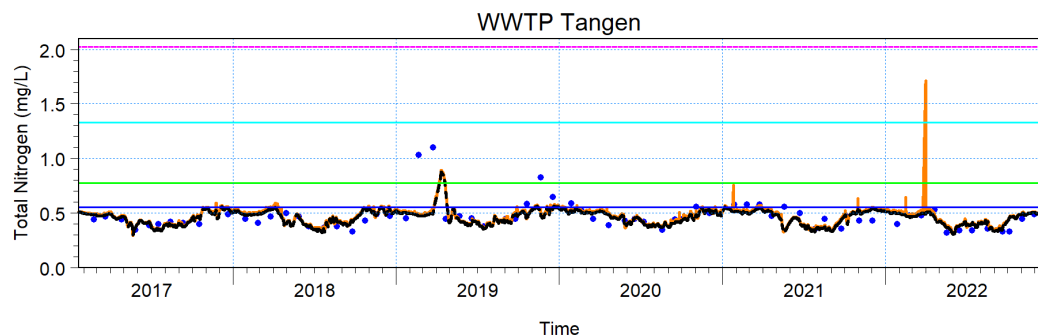


## D.1.5 Glomma – Tangen

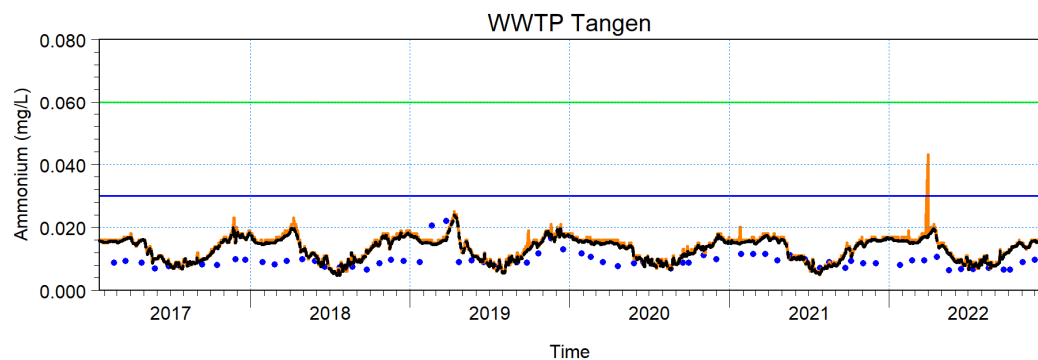
Measured Total Phosphorus at Glomma ved Bingsfossen [mg/l] • •  
 Simulated Total Phosphorus (with WWTP) [mg/l] —  
 Simulated Total Phosphorus (without WWTP) [mg/l] - -  
 Classification guide : (Glomma) Very Good - < 0.02 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Good - 0.029 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Moderate - 0.058 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Poor - 0.098 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Very Poor - > 0.098 mg/L [mg/l] —



Measured Total Nitrogen at Glomma ved Bingsfossen [mg/l] • •  
 Simulated Total Nitrogen (with WWTP) [mg/l] —  
 Simulated Total Nitrogen (without WWTP) [mg/l] - -  
 Classification guide : (Glomma) Very Good - < 0.55 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Good - 0.775 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Moderate - 1.325 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Poor - 2.025 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide : (Glomma) Very Poor - > 2.025 mg/L [mg/l] —

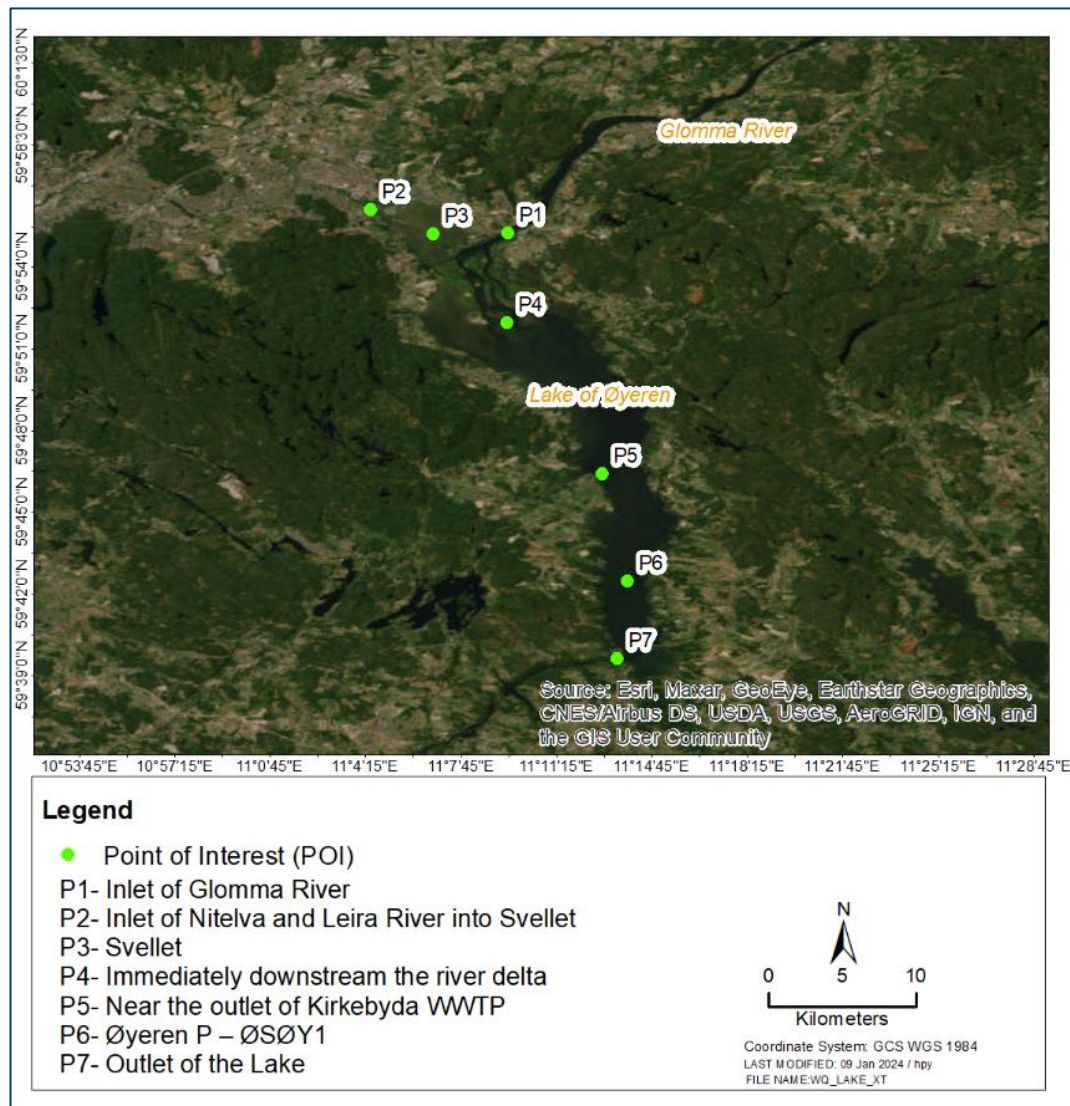


Calculated Ammonium based on measured Total Nitrogen at Glomma ved Bingsfossen [mg/l] • •  
 Simulated Ammonium (with WWTP) [mg/l] —  
 Simulated Ammonium (without WWTP) [mg/l] - -  
 Classification guide L: Very Good/Good - 0.03 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide L: Good/Moderate - 0.06 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide L: Moderate/Poor - 0.1 mg/L [mg/l] —  
 Classification guide L: Poor/Very Poor - 0.16 mg/L [mg/l] —



## D.2 Øyeren tidsserieplott

Figuren under viser punktene i Svellet og Øyeren som det er laget tidsserieplott basert på simuleringene med den 3-dimensjonale vannkvalitetsmodellen. Tidsserieplottene viser utvalgte vannkvalitetsparametere basert på simuleringer med og uten utslipp fra renseanleggene. For alle punkter er det resultater vist for både overflaten og bunnlaget.

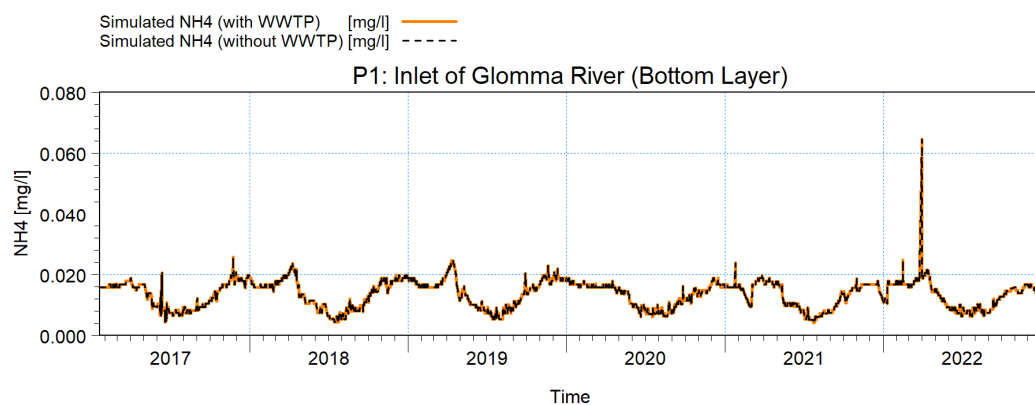
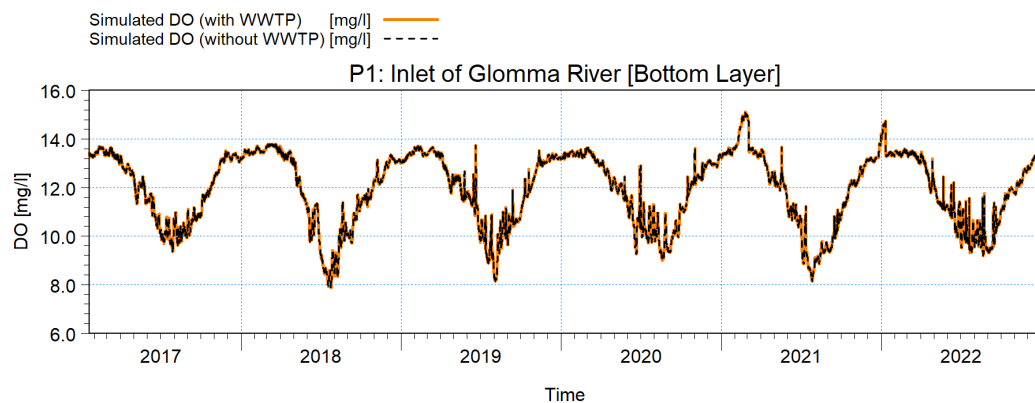
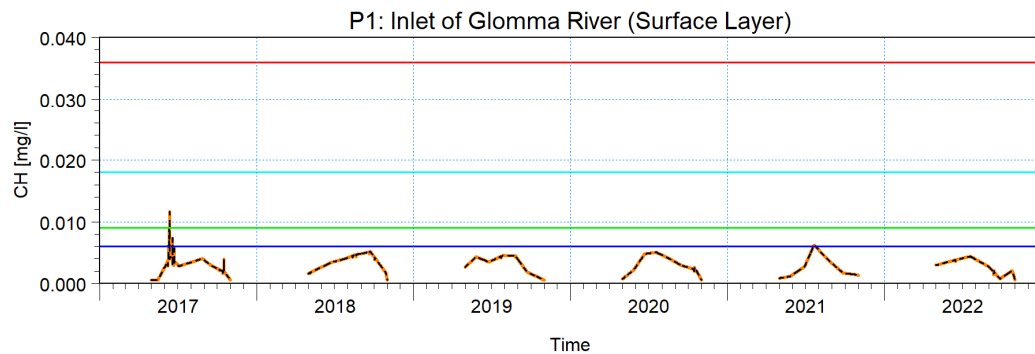


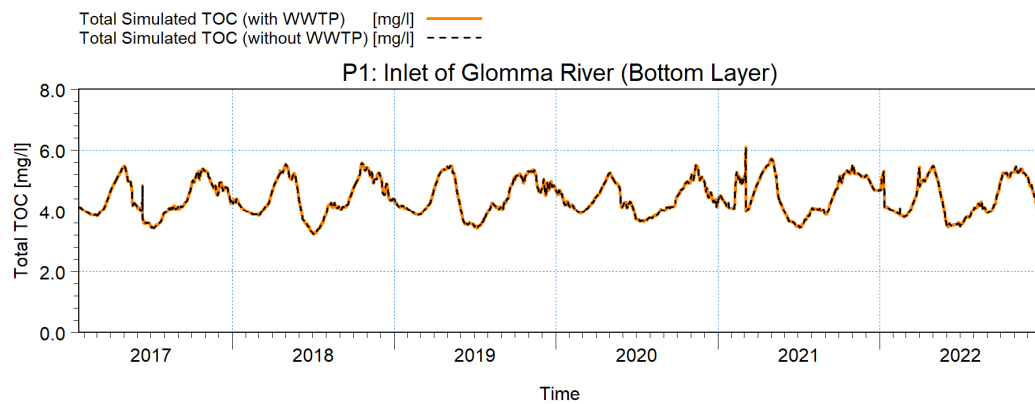
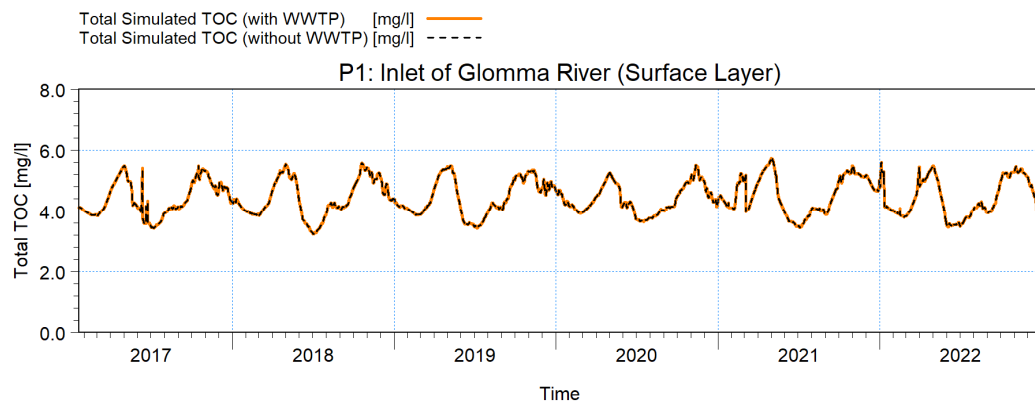
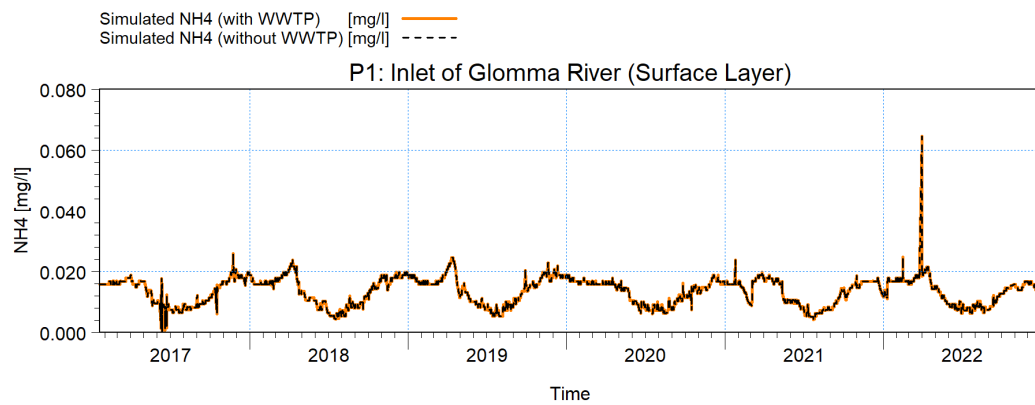
Følgende parametere er vist i tidsserieplottene:

- Totalt fosfor (TP)
- Totalt nitrogen (TN)
- Oksygen bunnvann (DO)
- Klorofyll a (CH)
- Ammonium (NH<sub>4</sub>)
- Totalt organisk karbon (TOC)

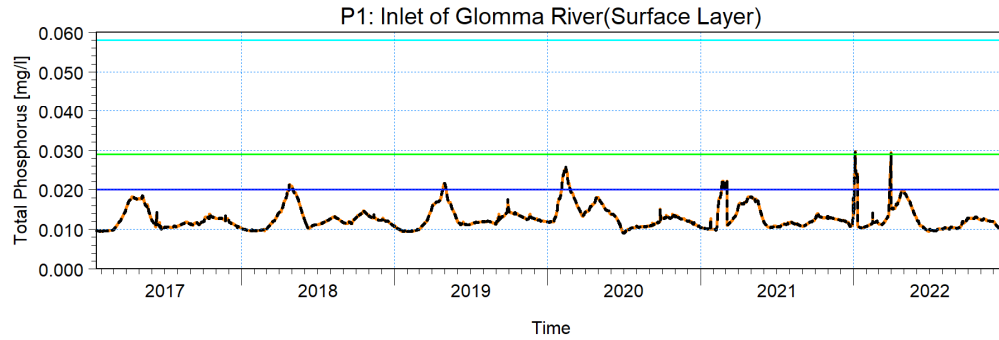
## D.2.1 P1 Øyeren – Fetsund bru

Simulated CH (with WWTP) [mg/l] ———  
 Simulated CH (without WWTP) [mg/l] - - - -  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Good: < 0.006 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Good: 0.009 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Moderate: 0.018 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Poor: 0.036 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Poor: > 0.036 mg/L [mg/l]

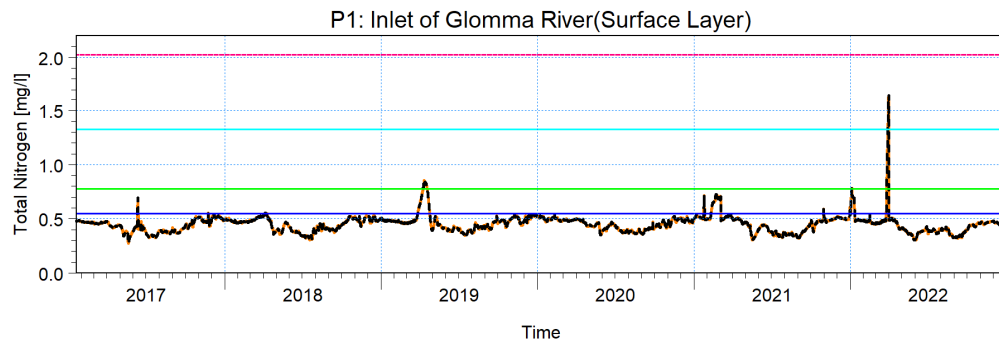




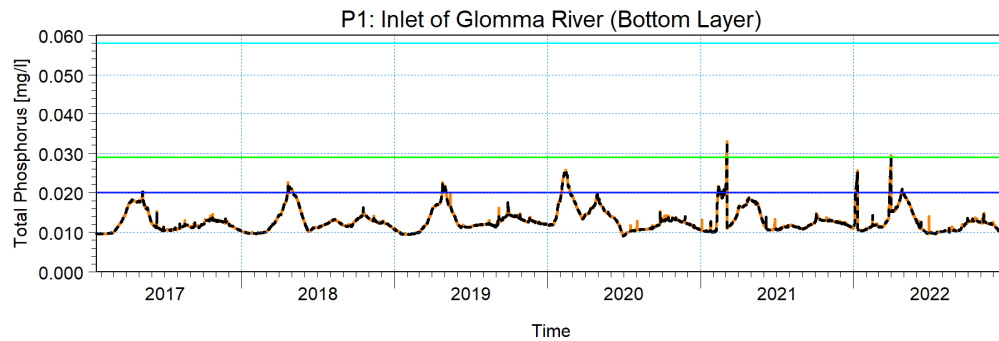
Total Simulated Phosphorus (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Phosphorus (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification Guide (Glomma) - Very Good: < 0.02 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Good: 0.029 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Moderate: 0.058 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Poor: 0.098 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Very Poor: > 0.098 mg/L [mg/l] ———



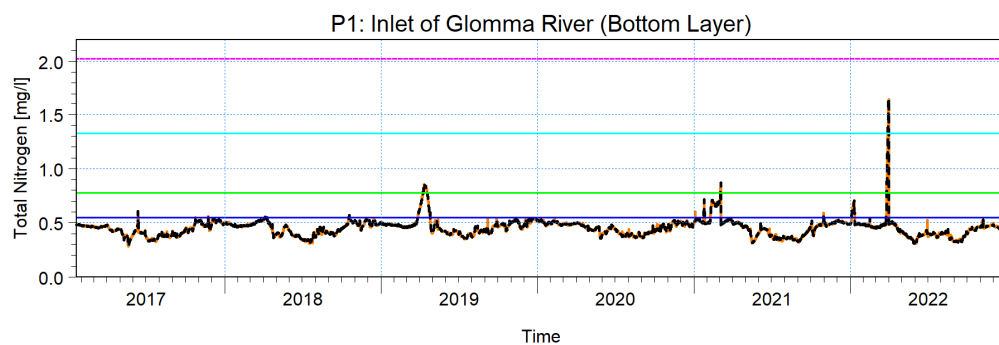
Total Simulated Nitrogen (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Nitrogen (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification Guide (Glomma) - Very Good: < 0.55 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Good: 0.775 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Moderate: 1.325 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Poor: 2.025 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Very Poor: > 2.025 mg/L [mg/l] ———



Total Simulated Phosphorus (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Phosphorus (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification Guide (Glomma) - Very Good: < 0.02 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Good: 0.029 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Moderate: 0.058 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Poor: 0.098 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Very Poor: > 0.098 mg/L [mg/l] ———



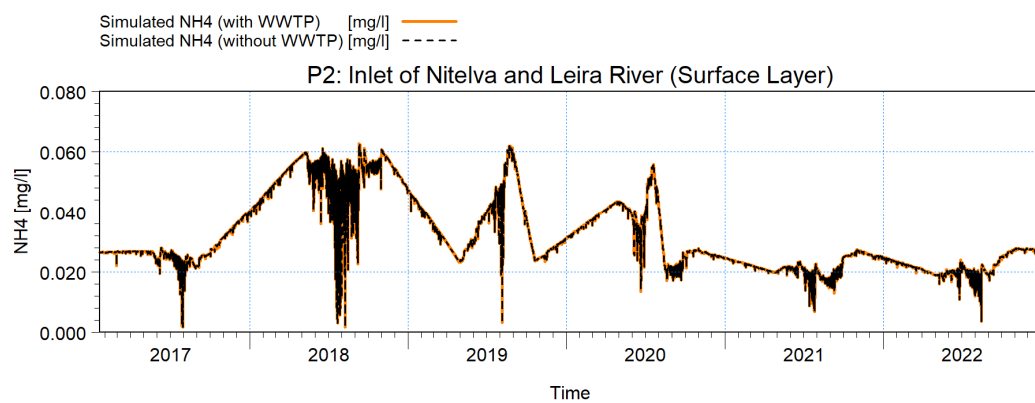
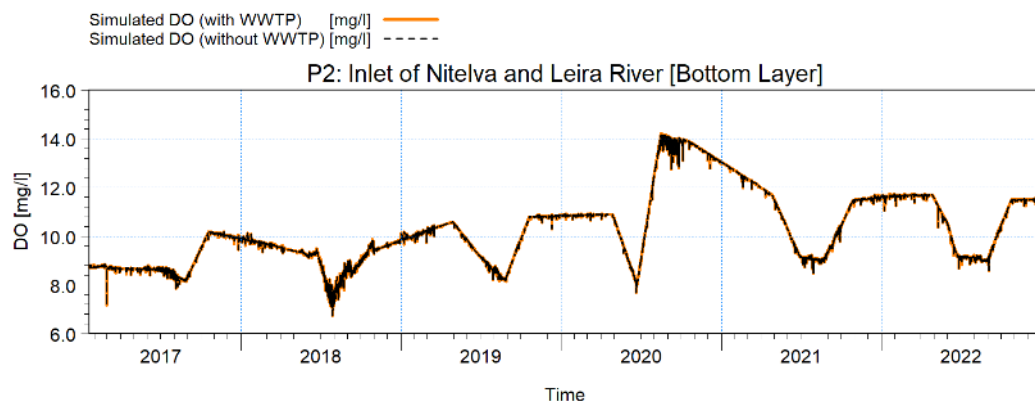
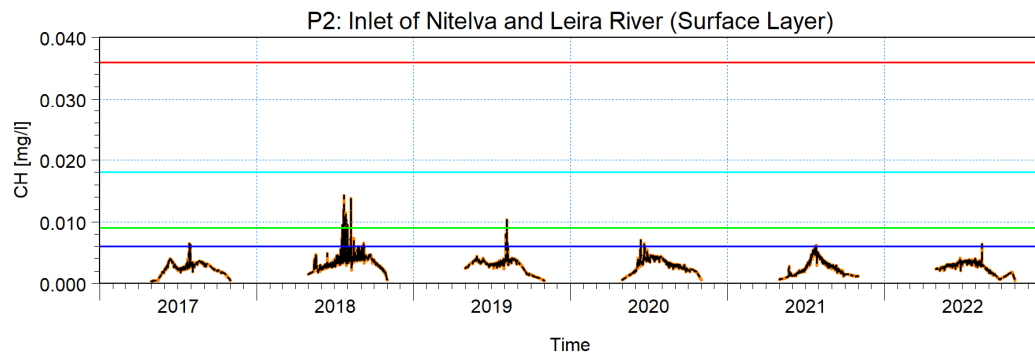
Total Simulated Nitrogen (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Nitrogen (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification Guide (Glomma) - Very Good: < 0.55 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Good: 0.775 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Moderate: 1.325 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Poor: 2.025 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Glomma) - Very Poor: > 2.025 mg/L [mg/l] ———

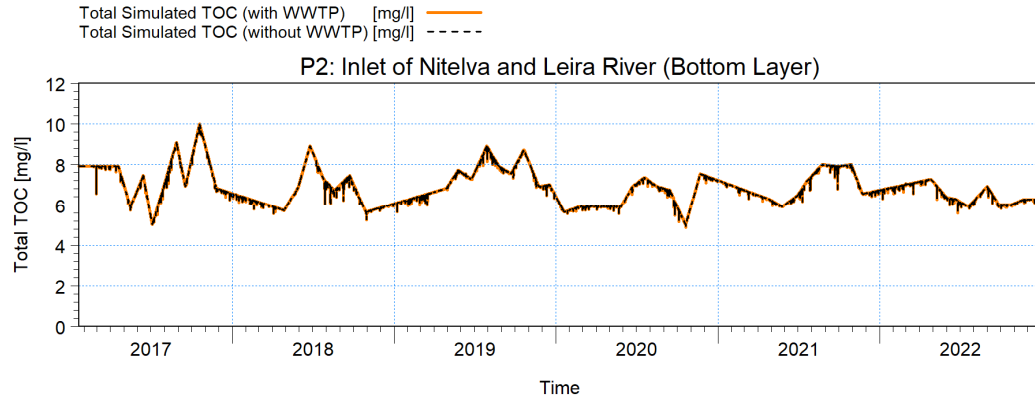
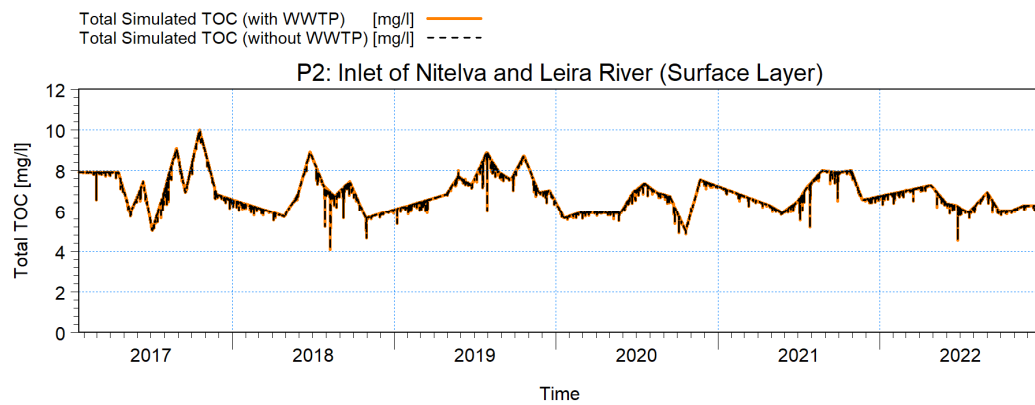
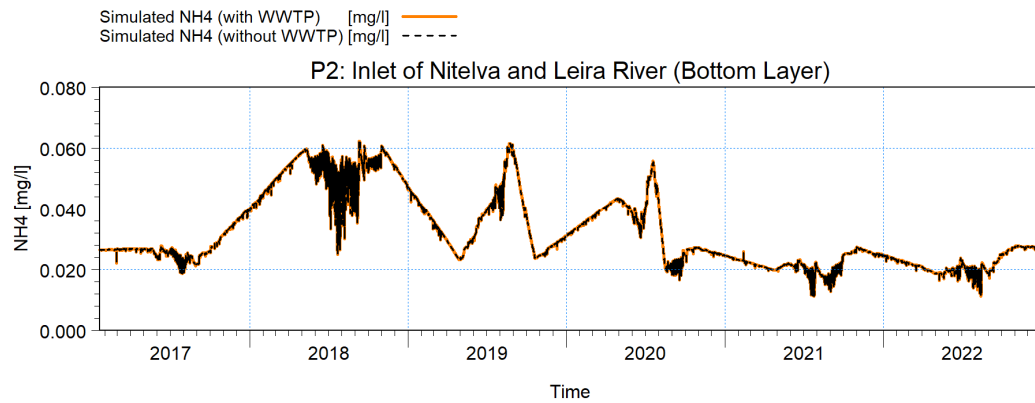




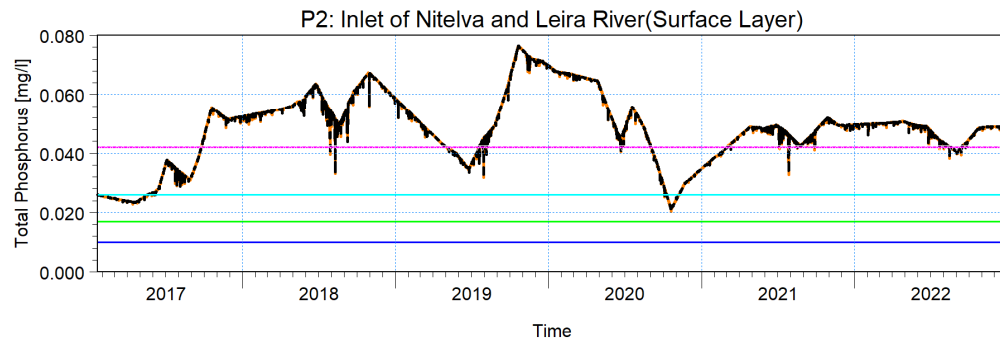
## D.2.2 P2 Nitelva og Leira

Simulated CH (with WWTP) [mg/l] ———  
 Simulated CH (without WWTP) [mg/l] - - - -  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Good: < 0.006 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Good: 0.009 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Moderate: 0.018 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Poor: 0.036 mg/L [mg/l]  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Poor: > 0.036 mg/L [mg/l]

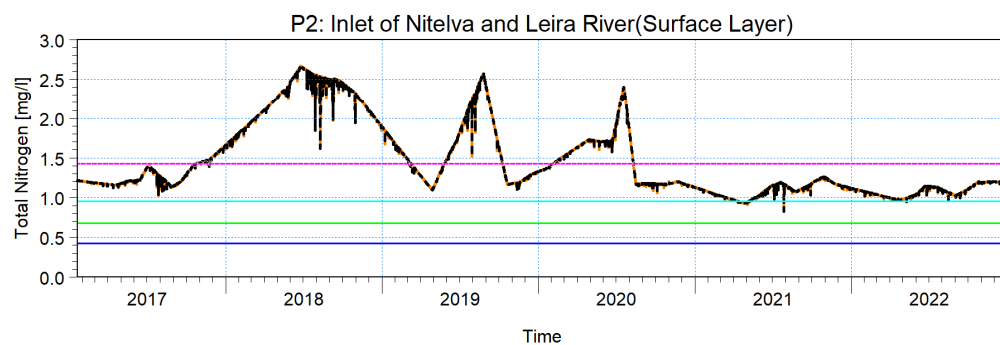


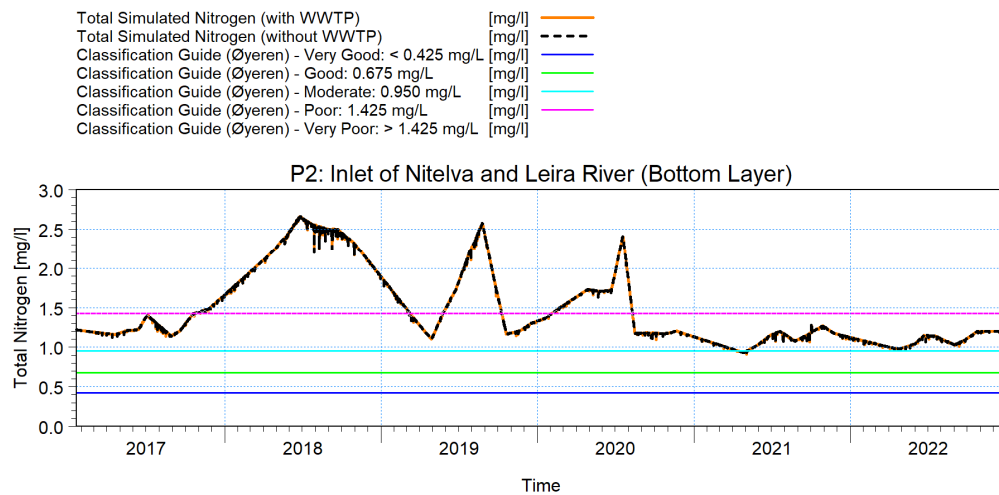
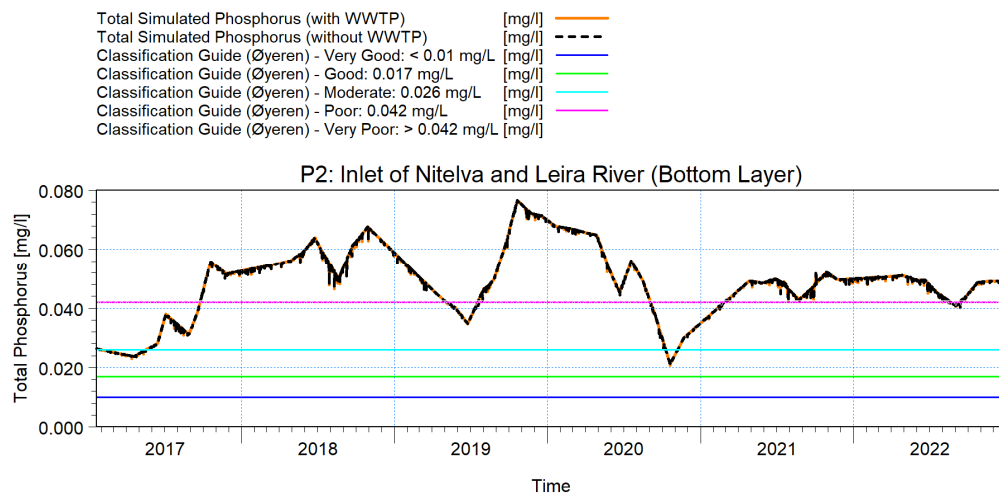


Total Simulated Phosphorus (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Phosphorus (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Good: < 0.01 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Good: 0.017 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Moderate: 0.026 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Poor: 0.042 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Poor: > 0.042 mg/L [mg/l] ———

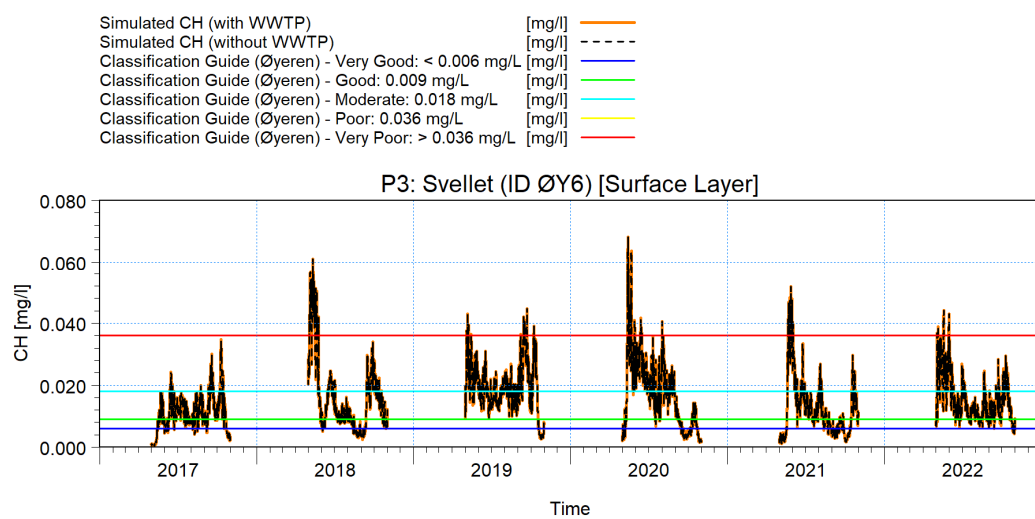


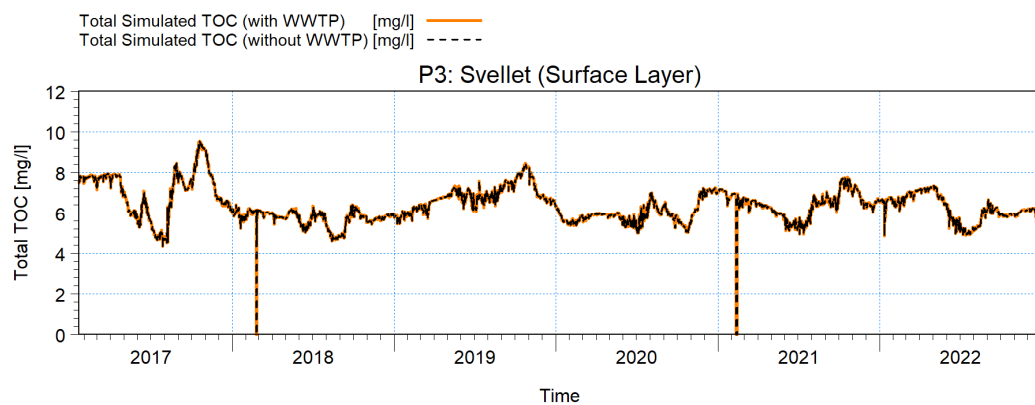
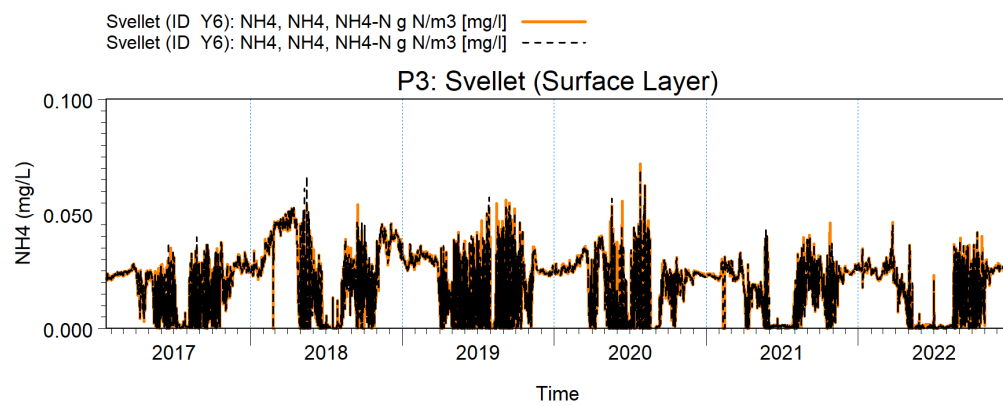
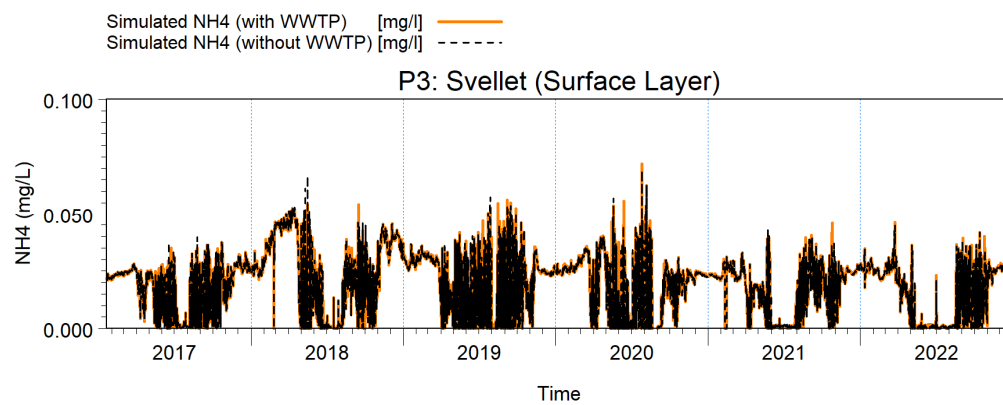
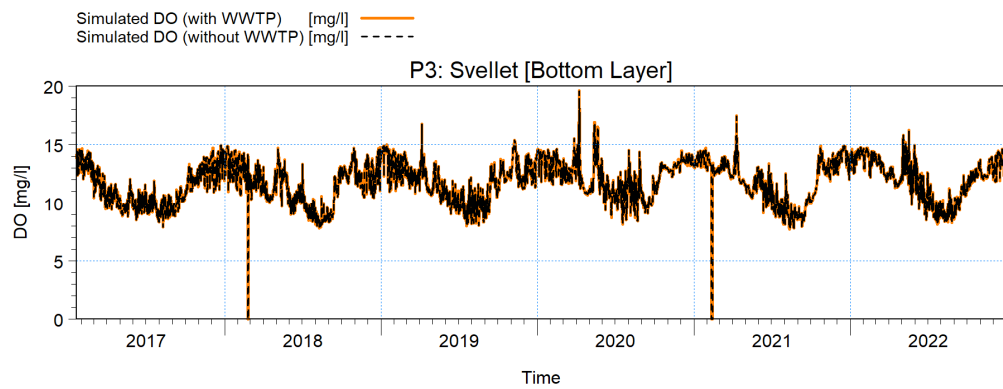
Total Simulated Nitrogen (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Nitrogen (without WWTP) [mg/l] - - -  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Good: < 0.425 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Good: 0.675 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Moderate: 0.950 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Poor: 1.425 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Poor: > 1.425 mg/L [mg/l] ———

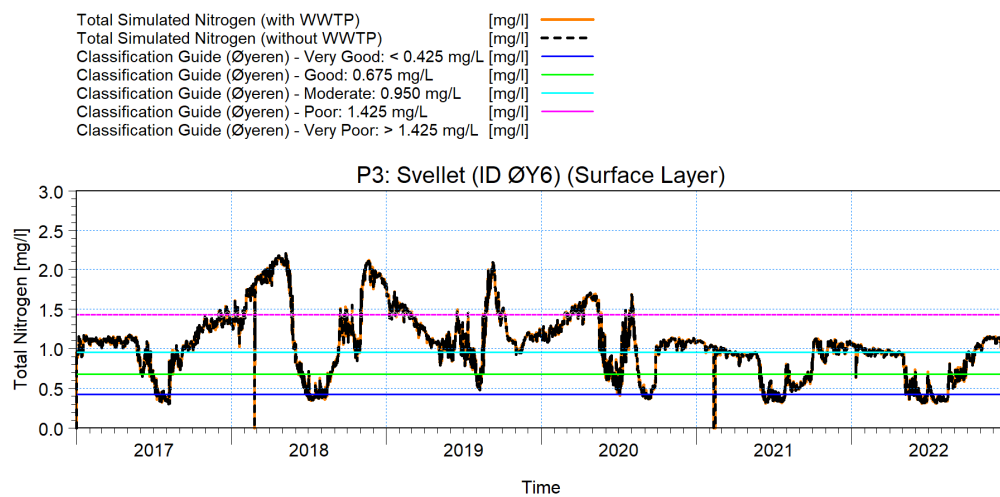
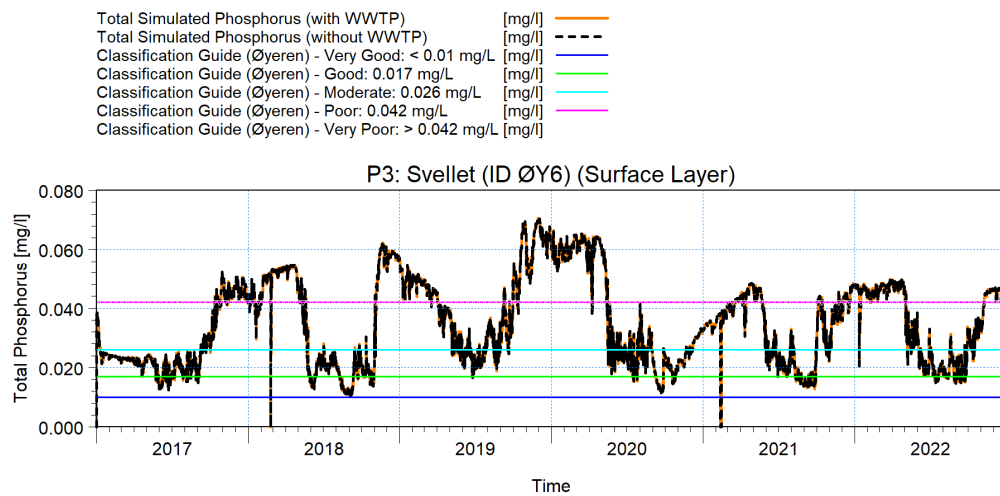
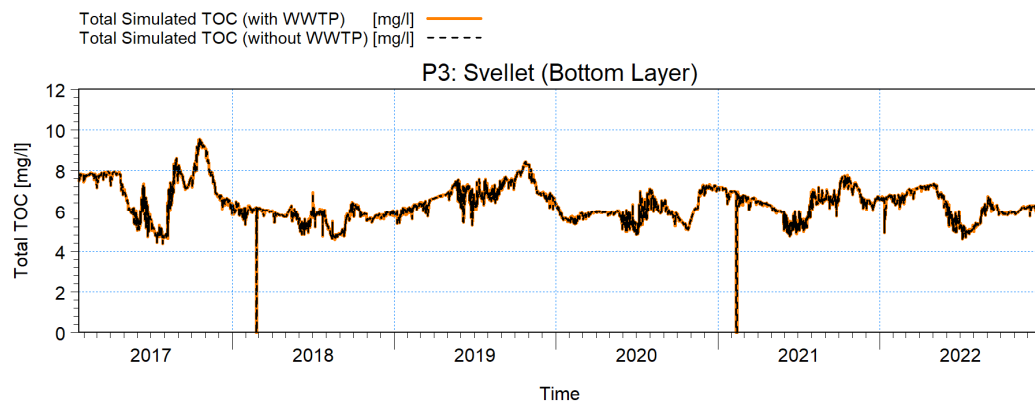


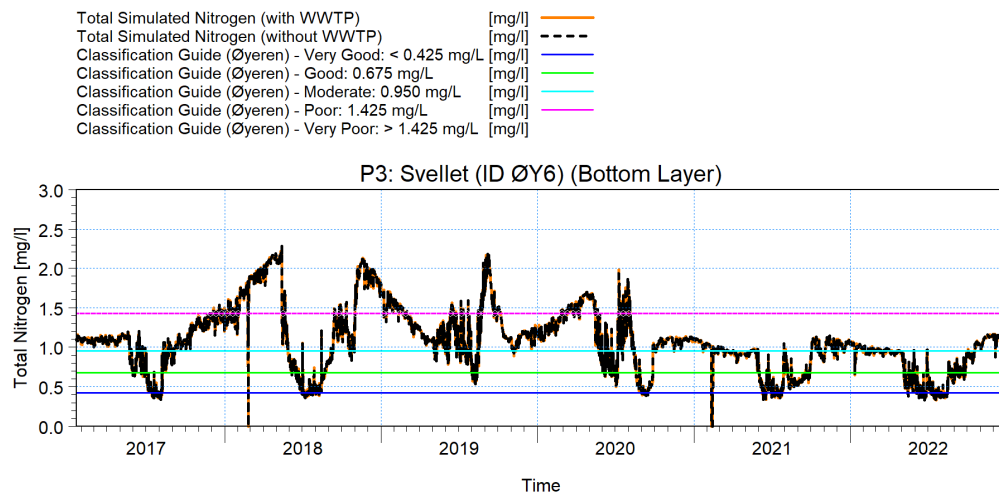
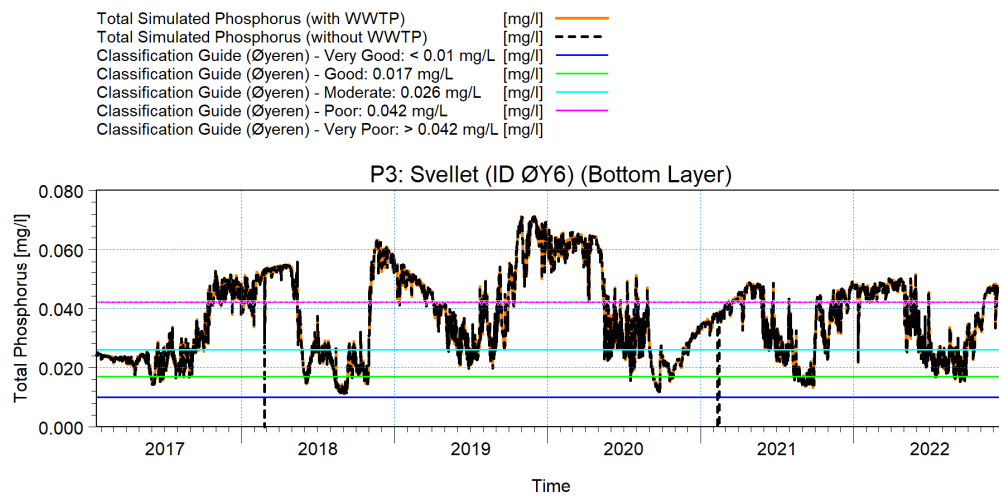


### D.2.3 P3 Svellet ØY6

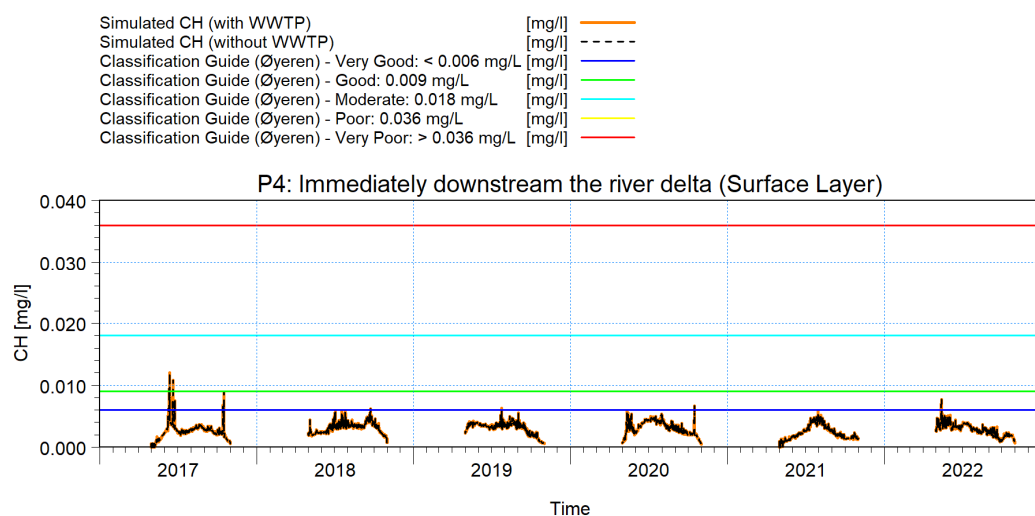




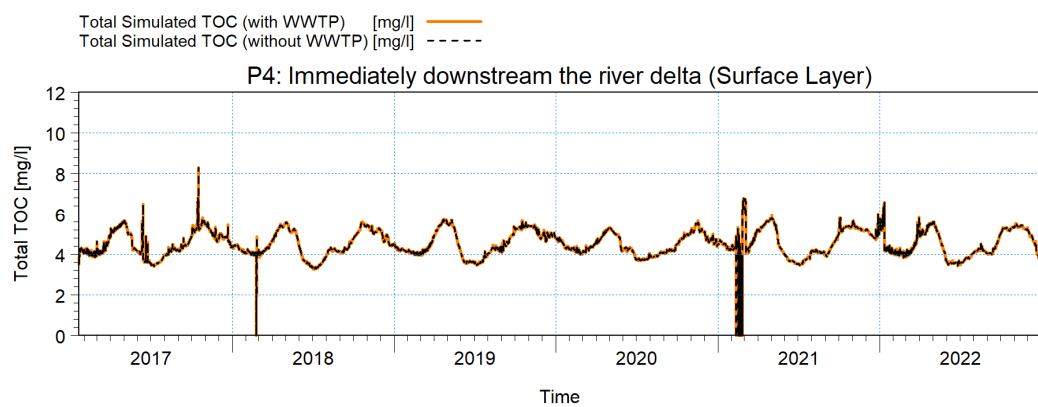
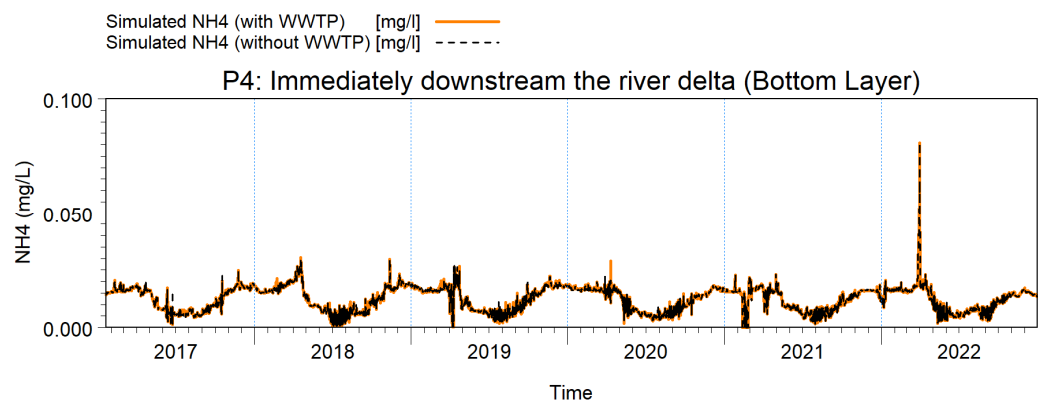
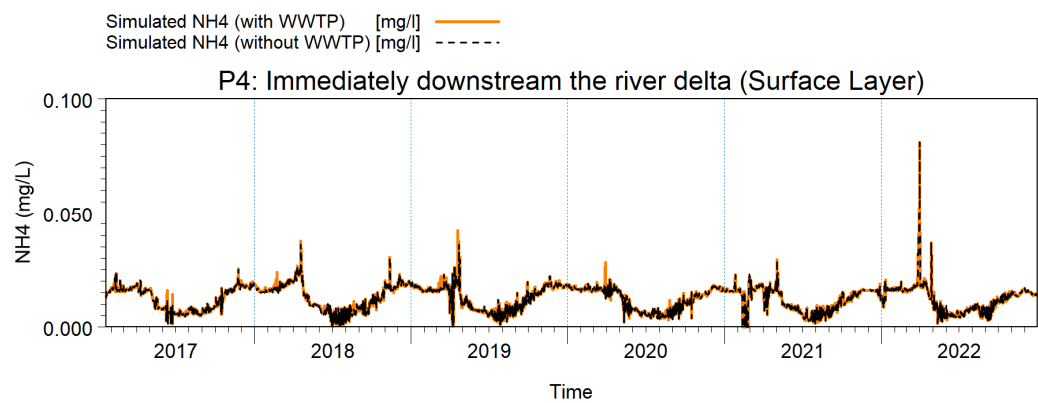
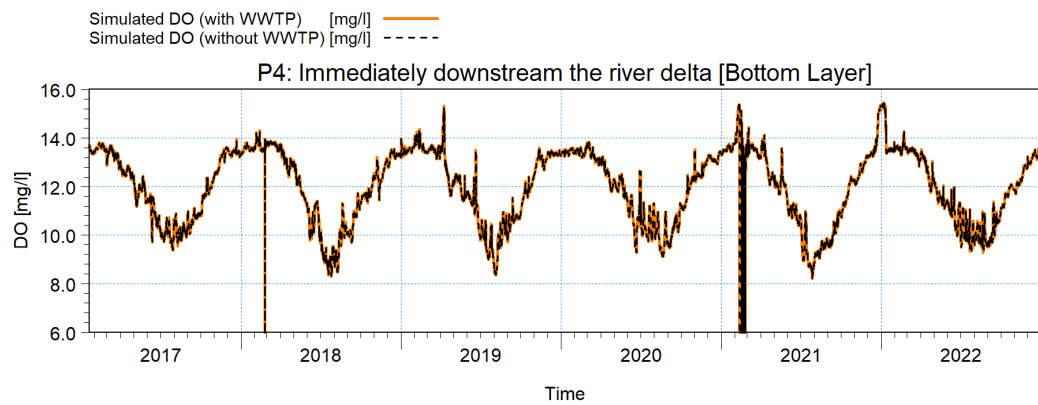


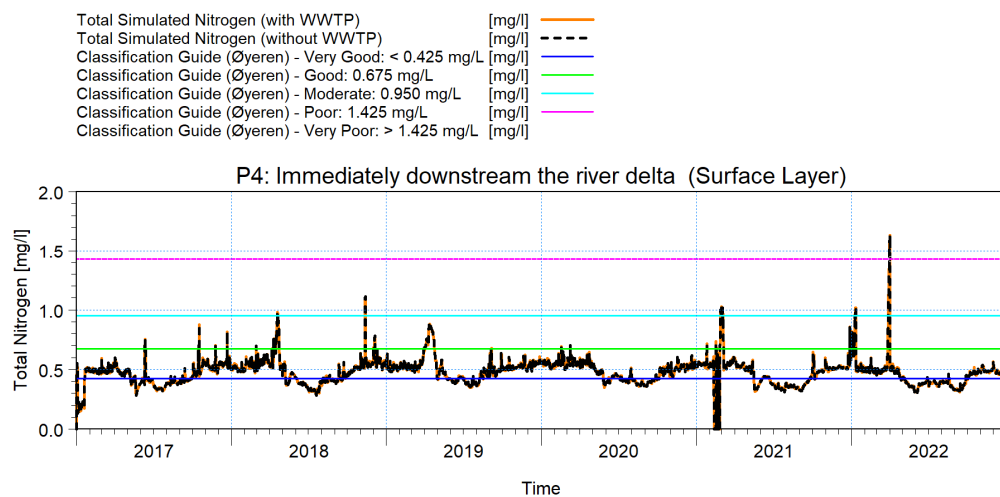
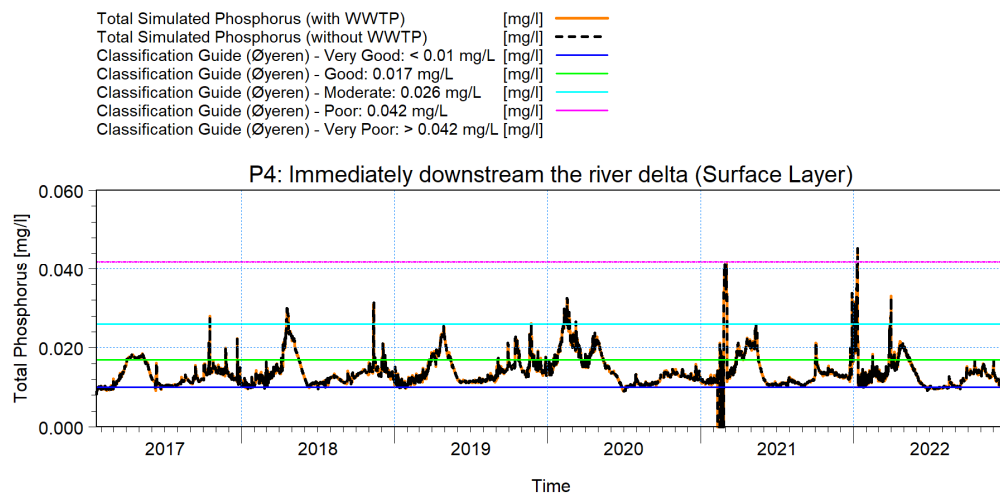
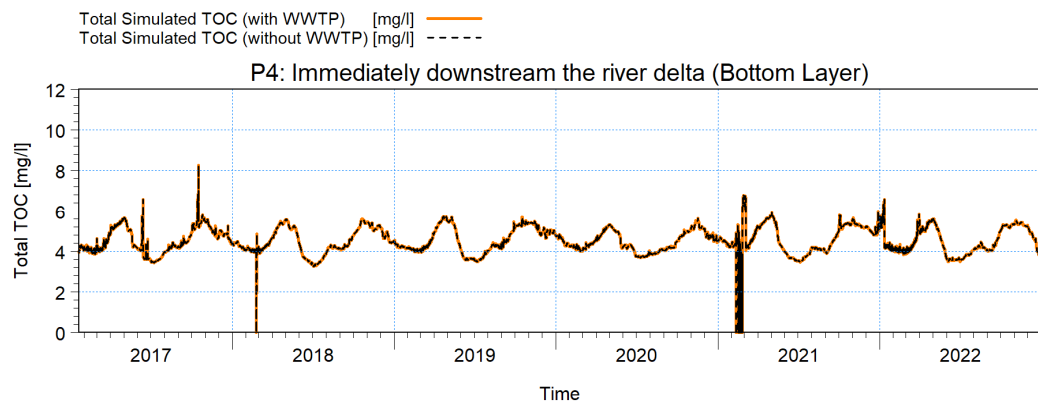


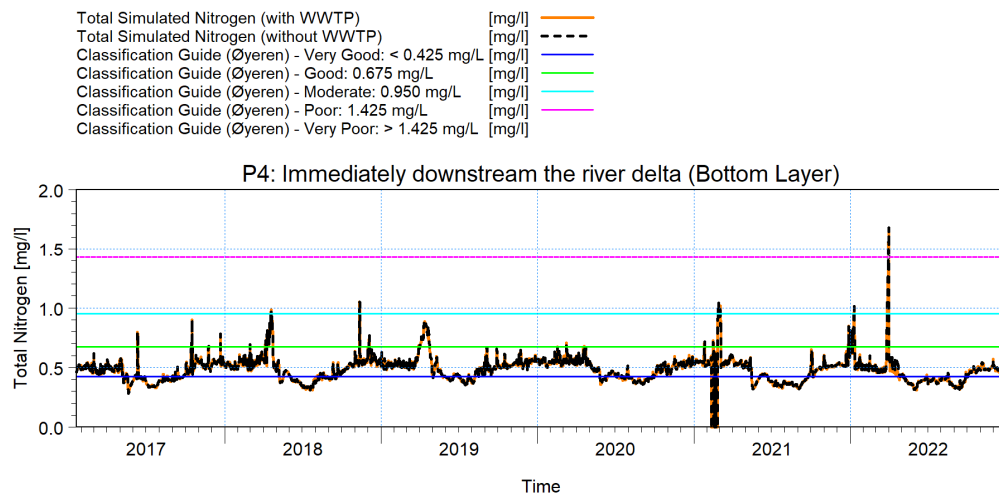
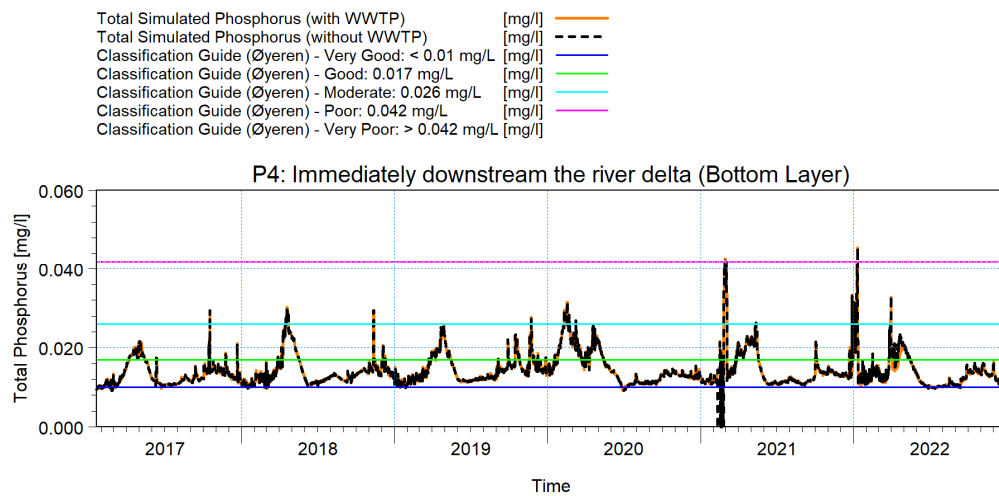
## D.2.4 P4 nedstrøms samløp Svellet og Glomma



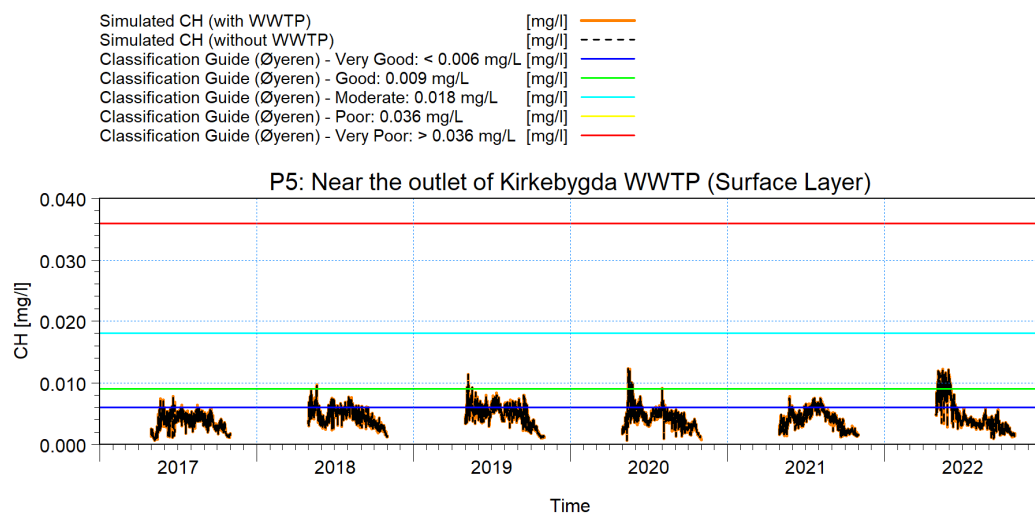


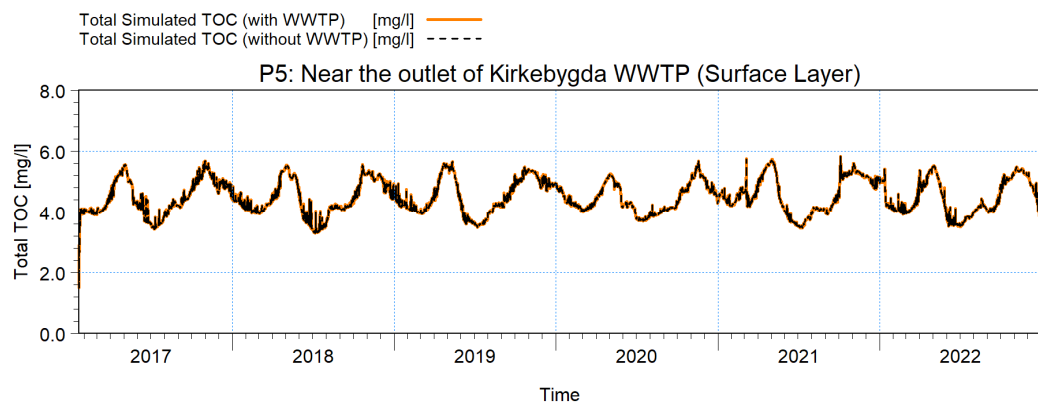
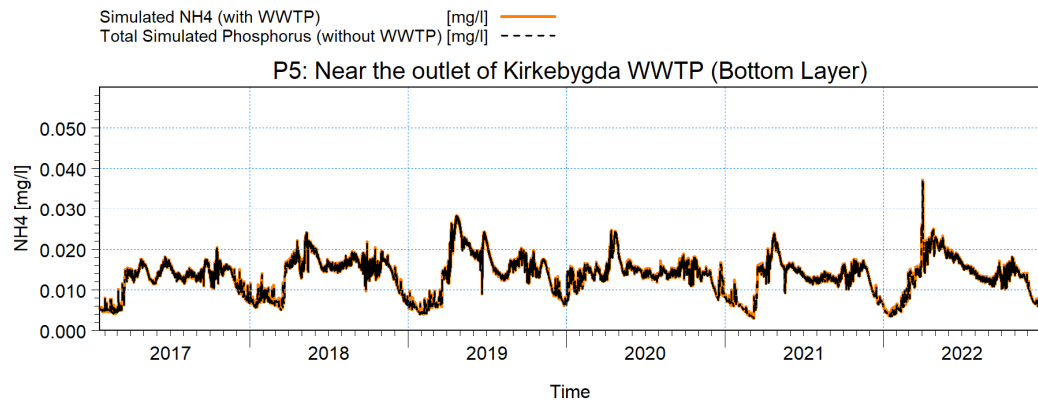
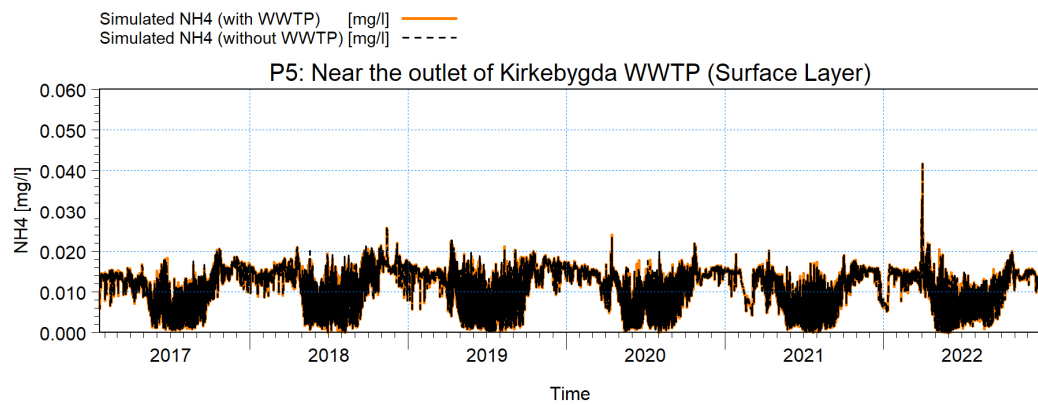
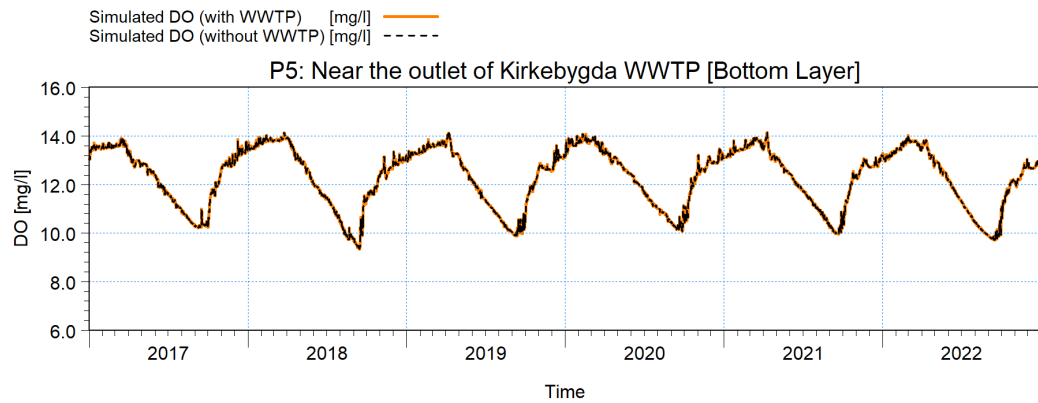






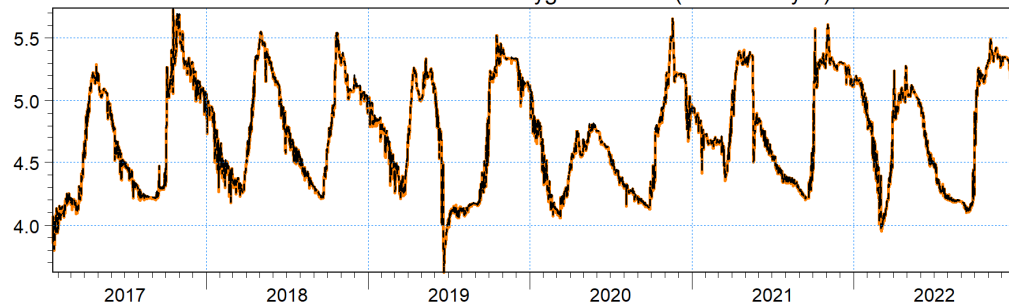
## D.2.5 P5 Kirkebygdga





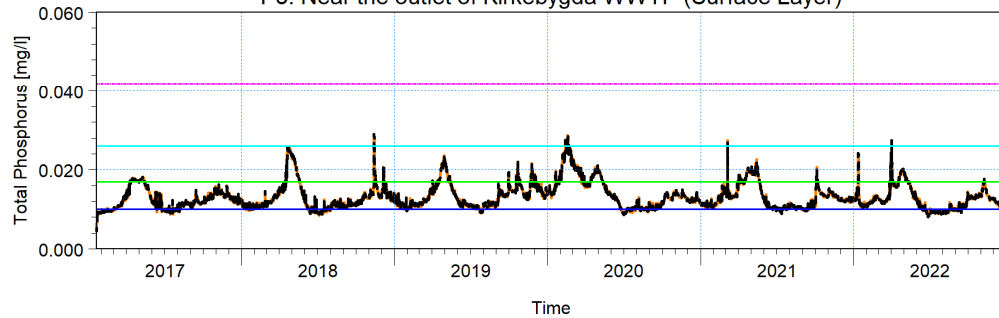
Simulated TOC (without WWTP) [mg/l] ———  
 Simulated TOC (with WWTP) [mg/l] - - - -

P5: Near the outlet of Kirkebygdá WWTP (Bottom Layer)



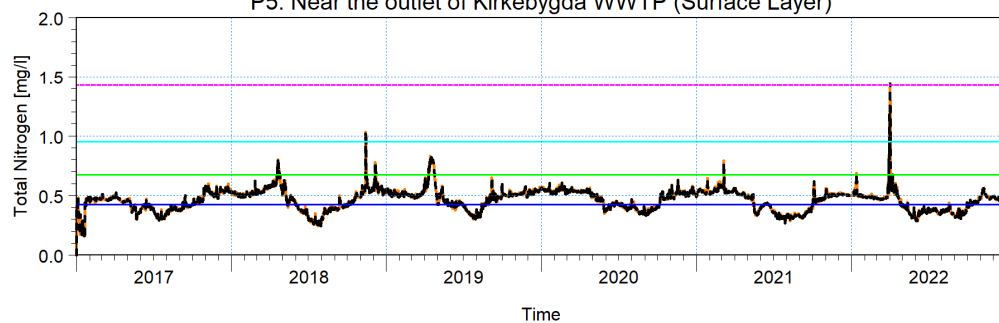
Total Simulated Phosphorus (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Phosphorus (without WWTP) [mg/l] - - - -  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Good: < 0.01 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Good: 0.017 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Moderate: 0.026 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Poor: 0.042 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Poor: > 0.042 mg/L [mg/l] ———

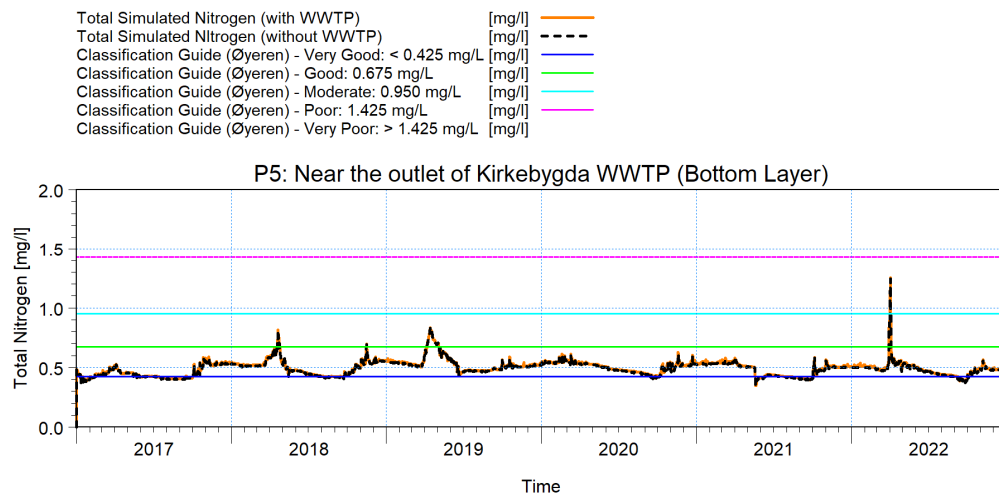
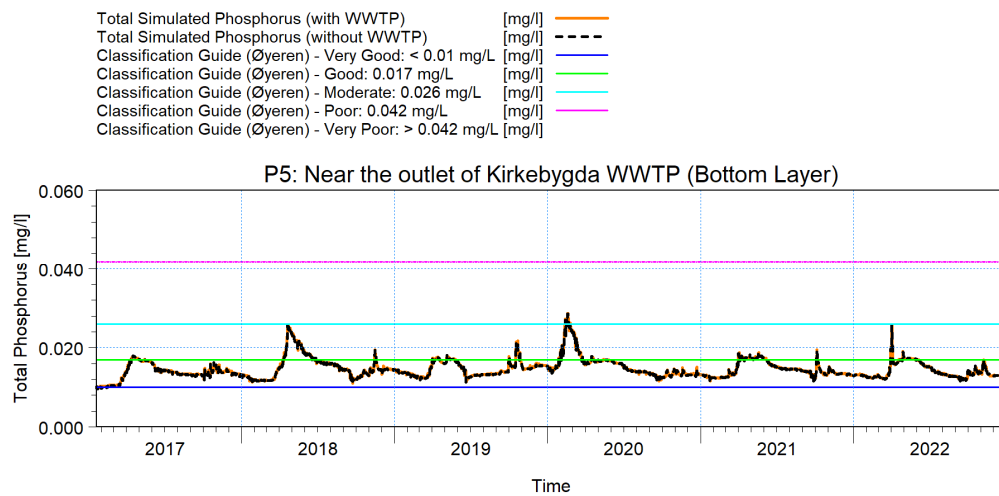
P5: Near the outlet of Kirkebygdá WWTP (Surface Layer)



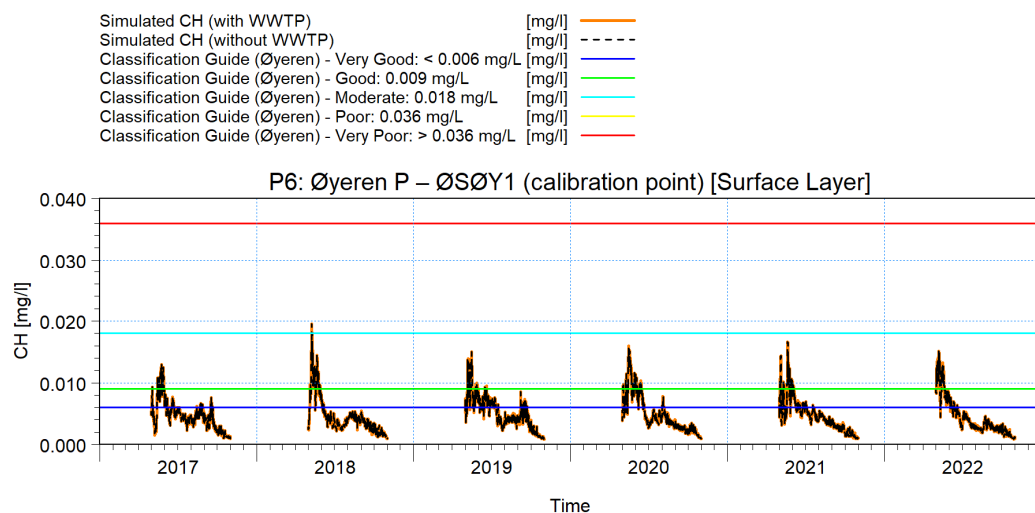
Total Simulated Nitrogen (with WWTP) [mg/l] ———  
 Total Simulated Nitrogen (without WWTP) [mg/l] - - - -  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Good: < 0.425 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Good: 0.675 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Moderate: 0.950 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Poor: 1.425 mg/L [mg/l] ———  
 Classification Guide (Øyeren) - Very Poor: > 1.425 mg/L [mg/l] ———

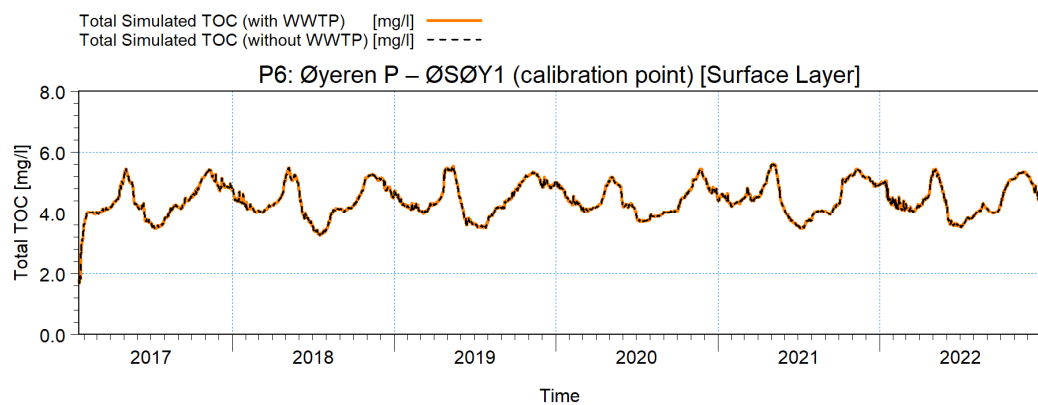
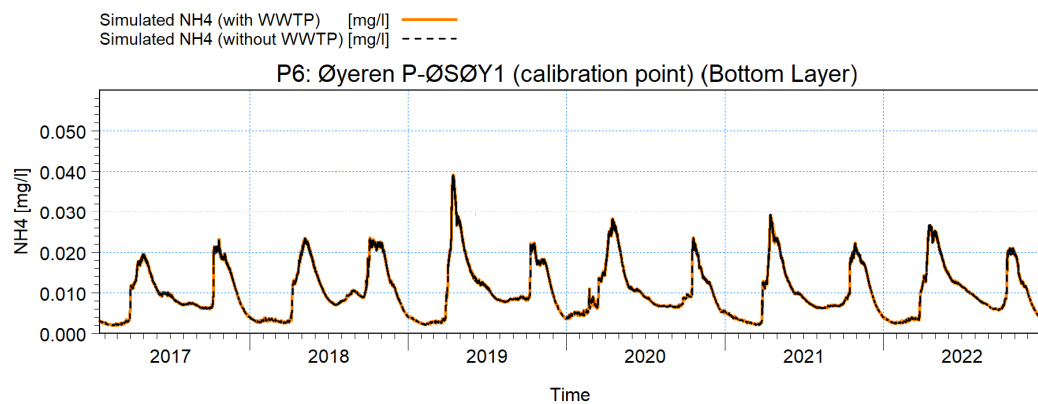
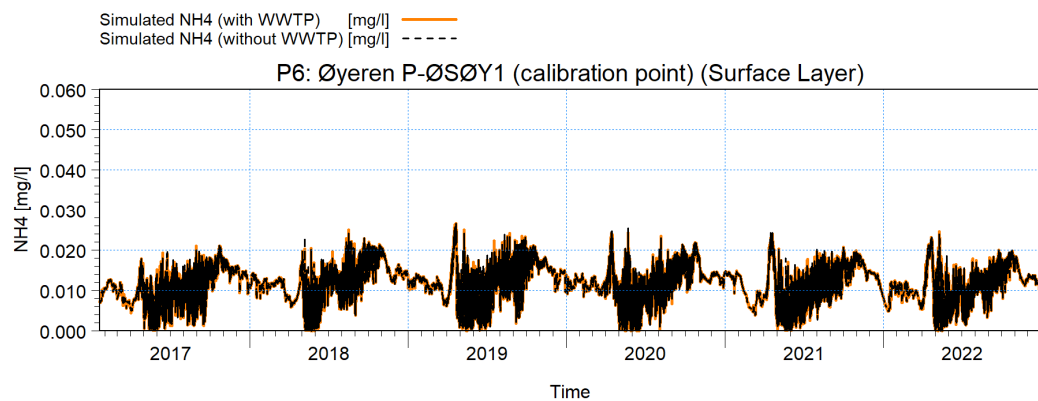
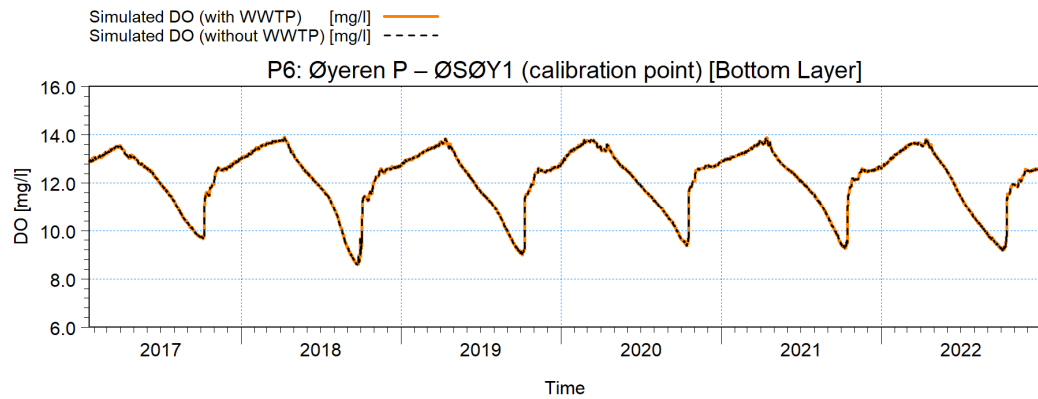
P5: Near the outlet of Kirkebygdá WWTP (Surface Layer)



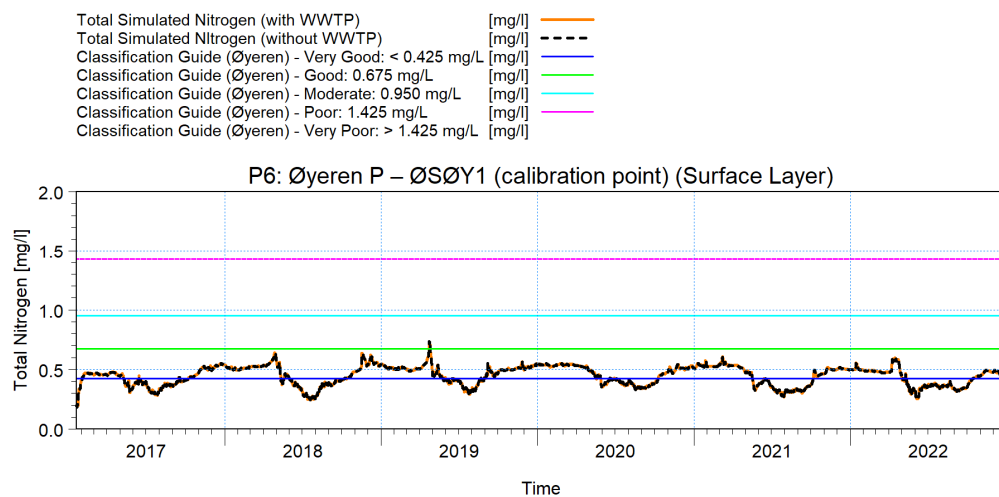
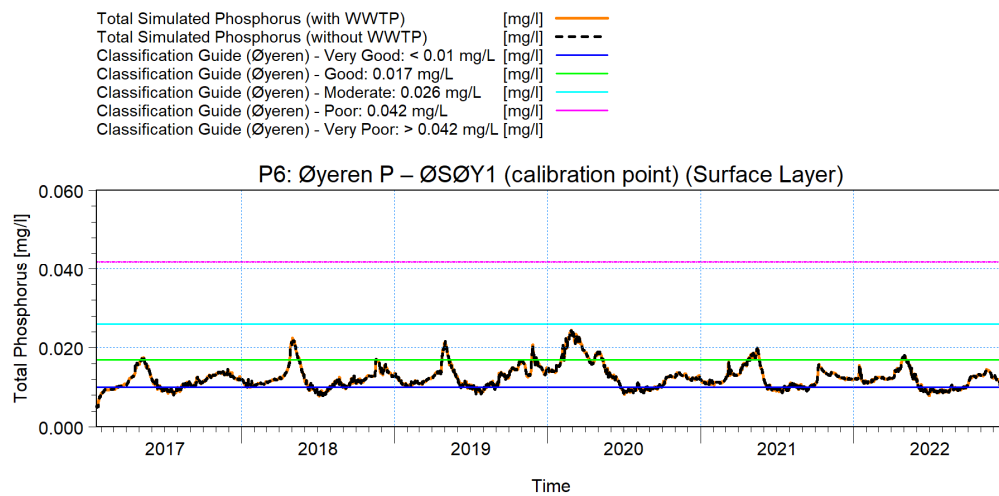
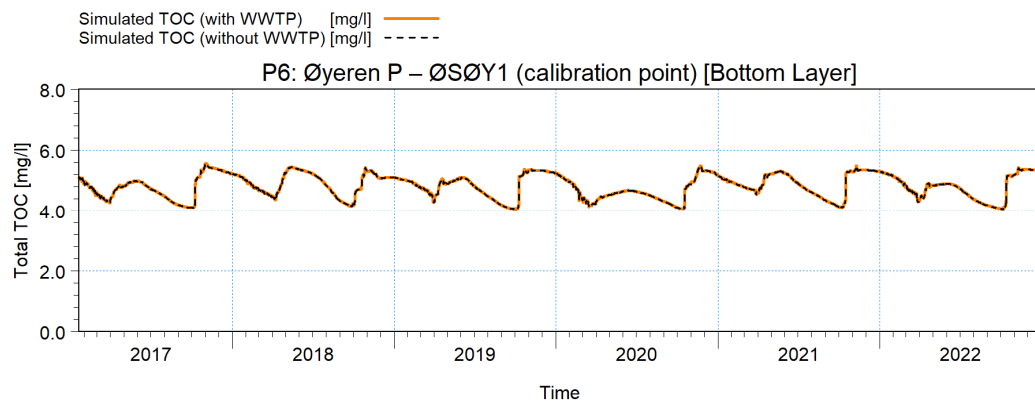


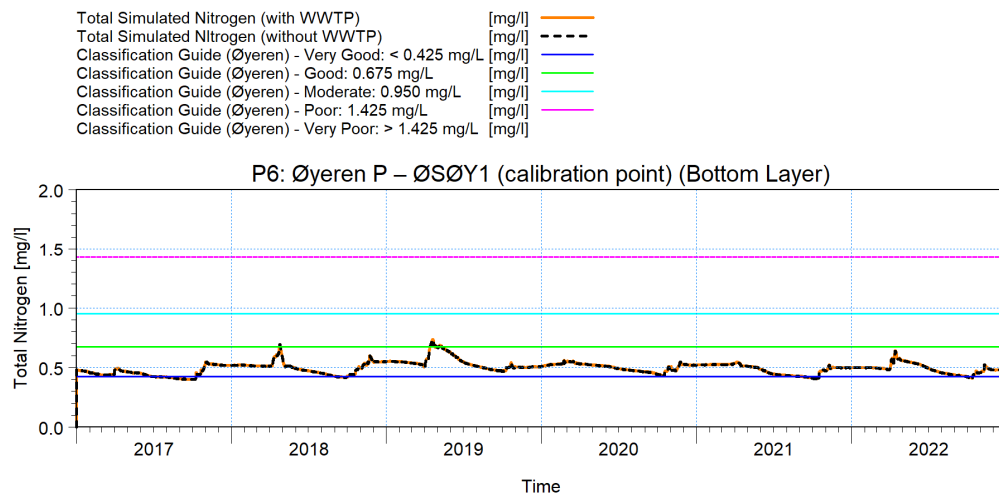
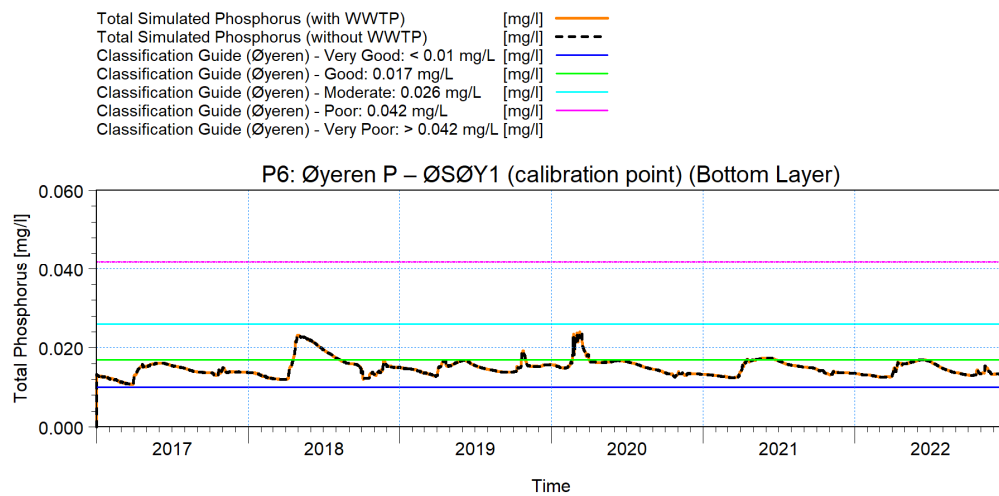
## D.2.6 P6 Øyeren P-ØSØY1



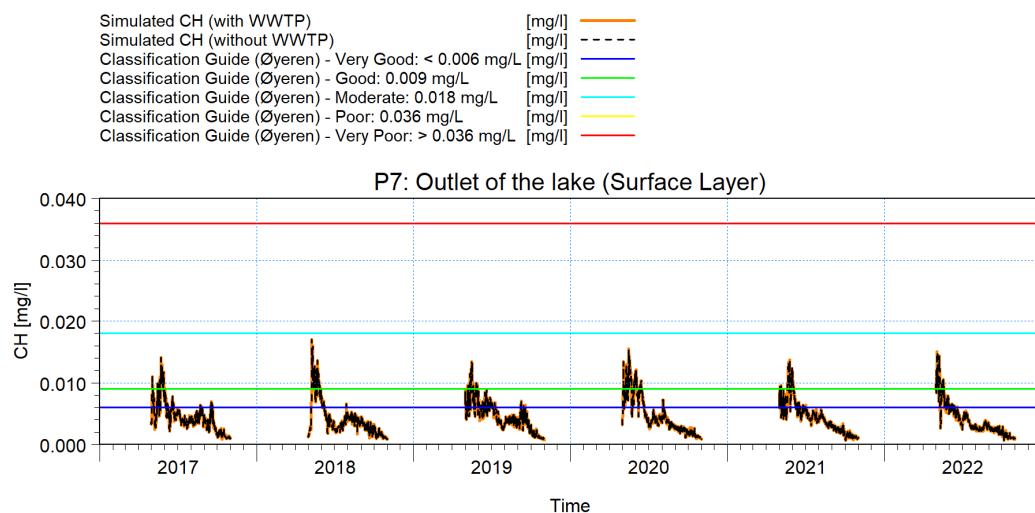


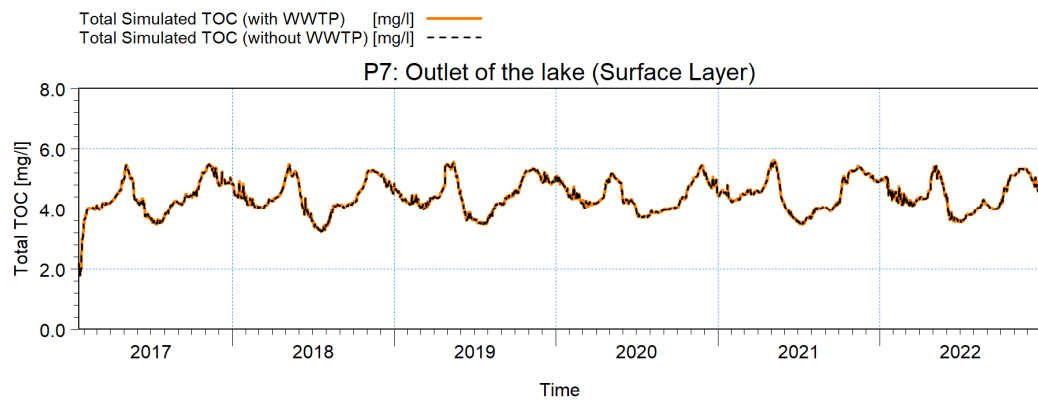
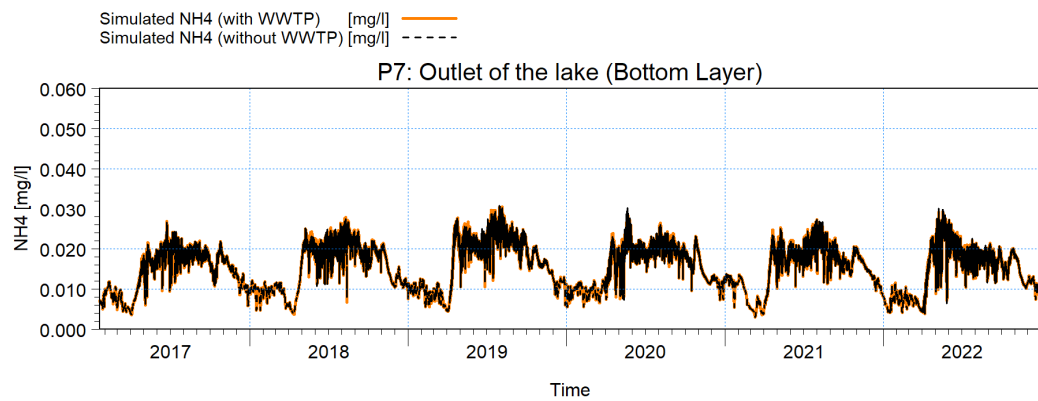
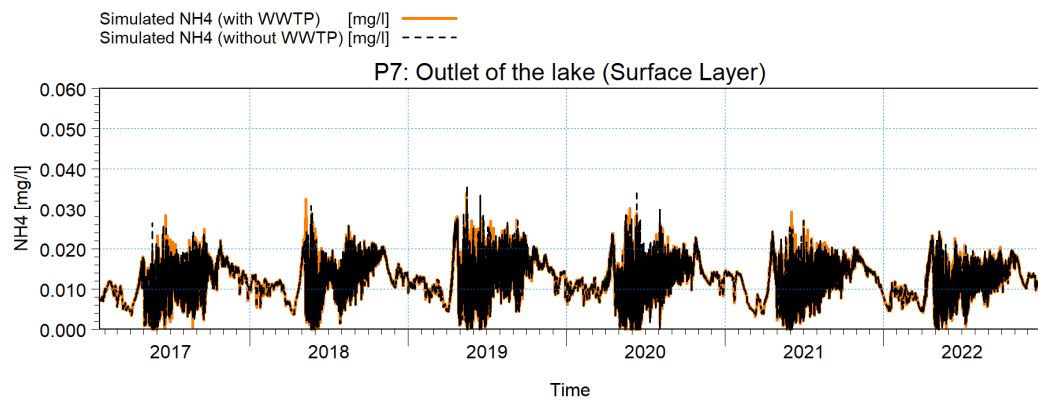
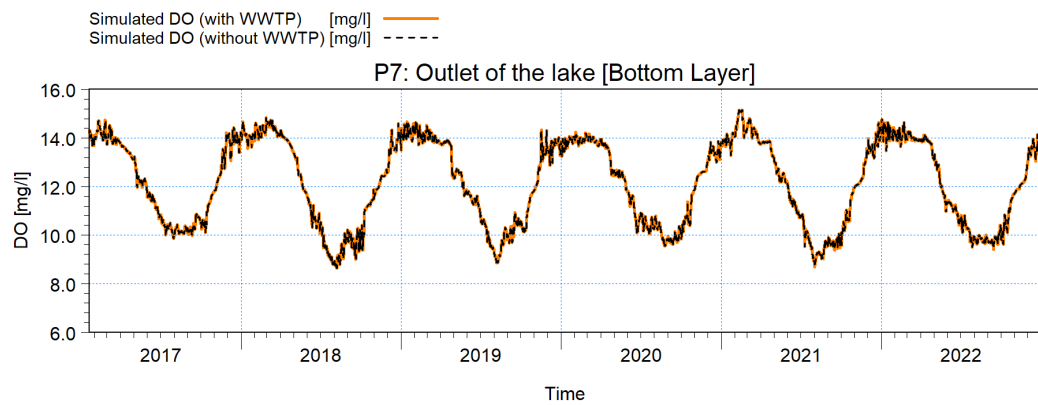


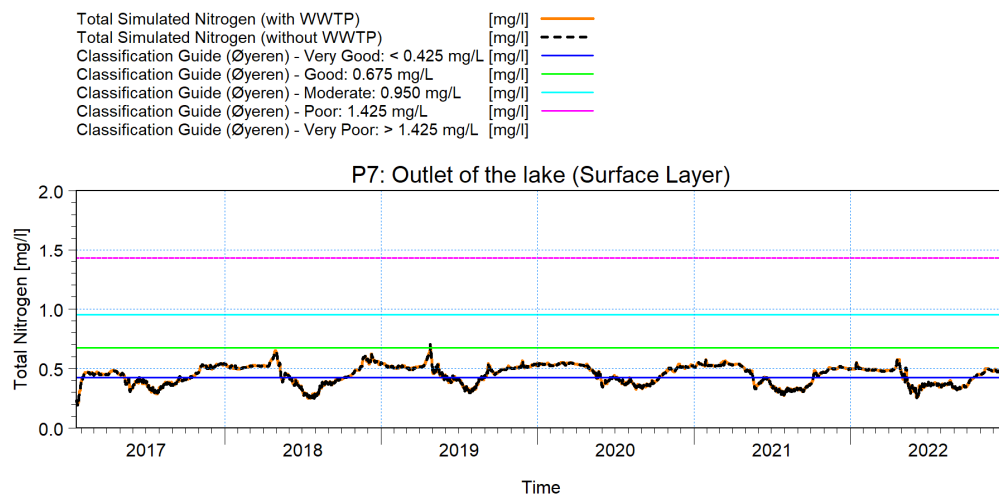
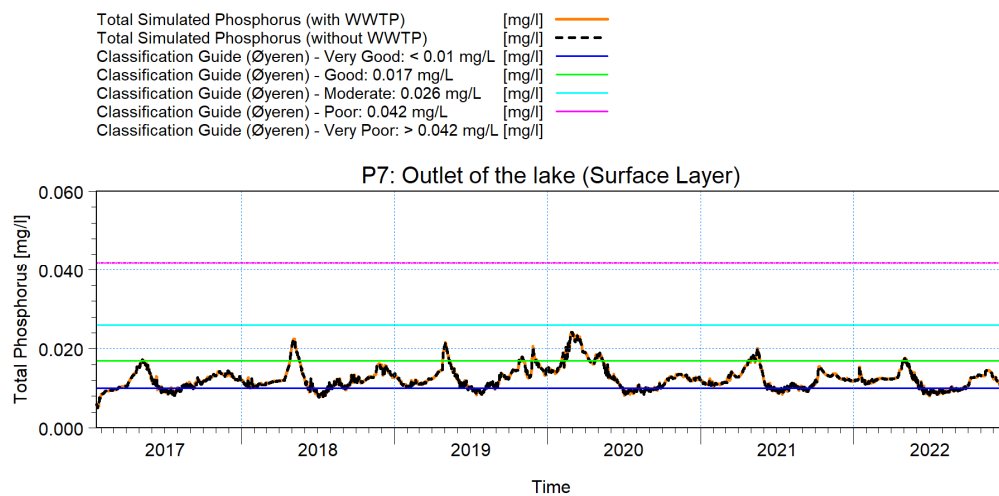
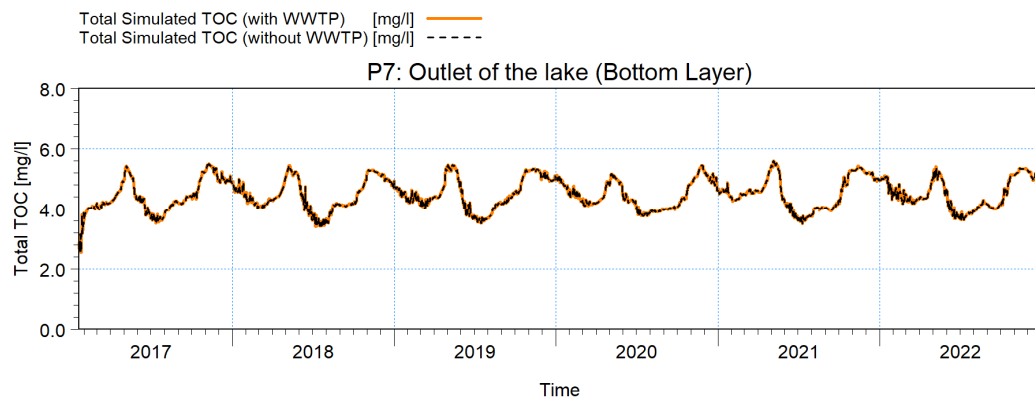


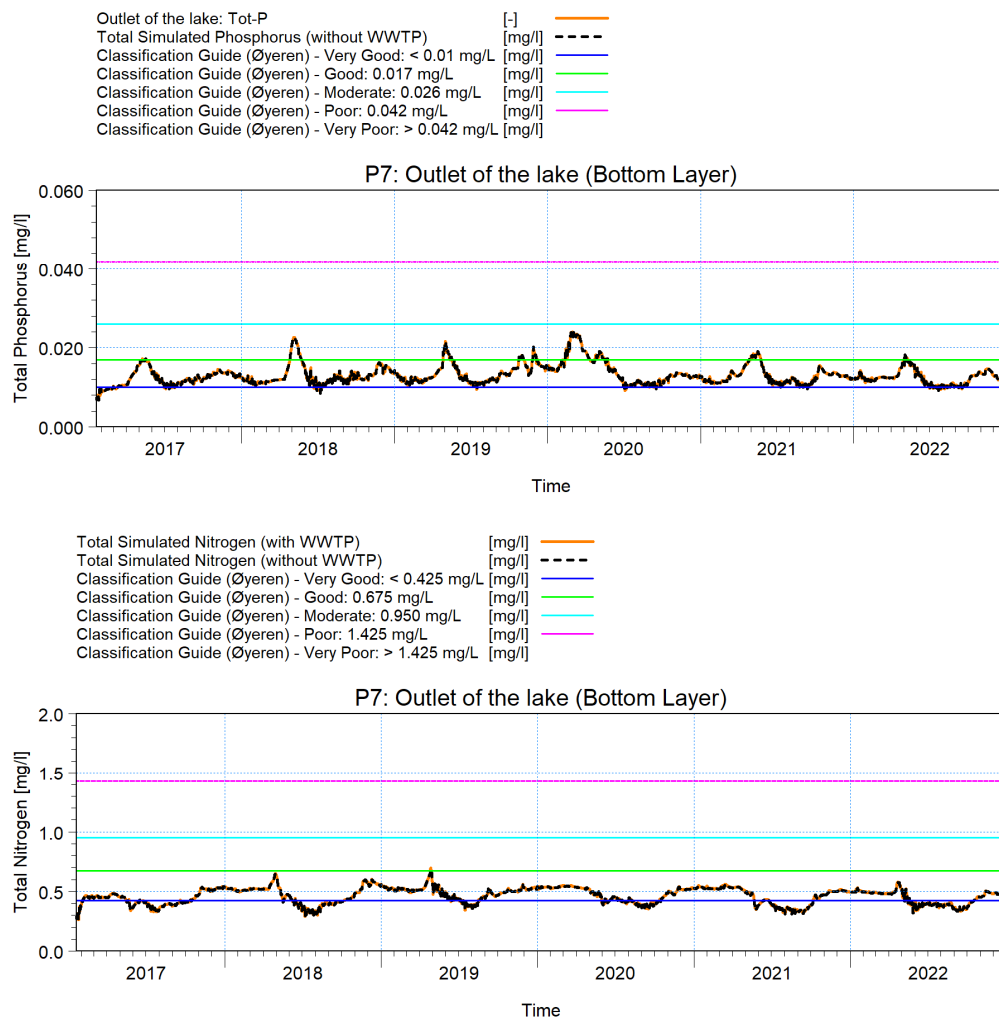


## D.2.7 P7 utløp Øyeren









### D.3 Øyeren lengdeprofiler

Basert på resultatene fra simuleringene med vannkvalitetsmodellen av Øyeren er det hentet ut en rekke lengdeprofiler i Øyeren som viser variasjonen i konsentrasjonene av totalt fosfor og totalt nitrogen hver måned i 2021. 2021 er valgt ut siden utslippene fra Kirkebygda sentralrenseanlegg var størst i perioden 2017-2021.

## D.3.1 Totalt fosfor

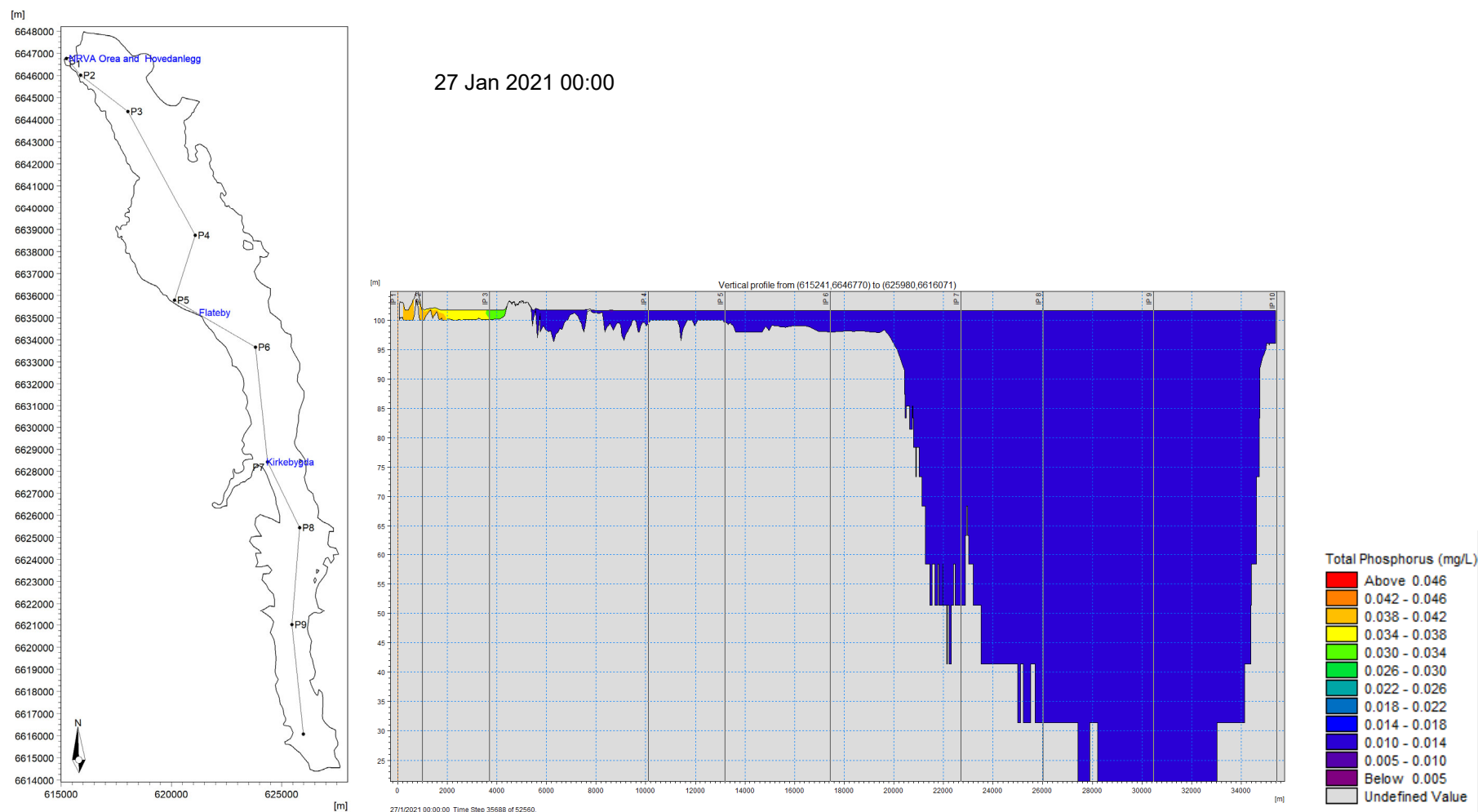
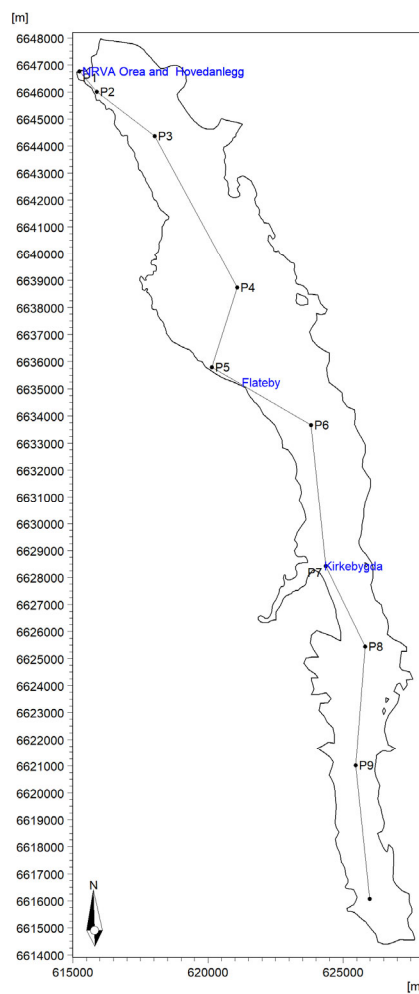


Figure 6.4 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 27.01.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



24 Feb 2021 00:00

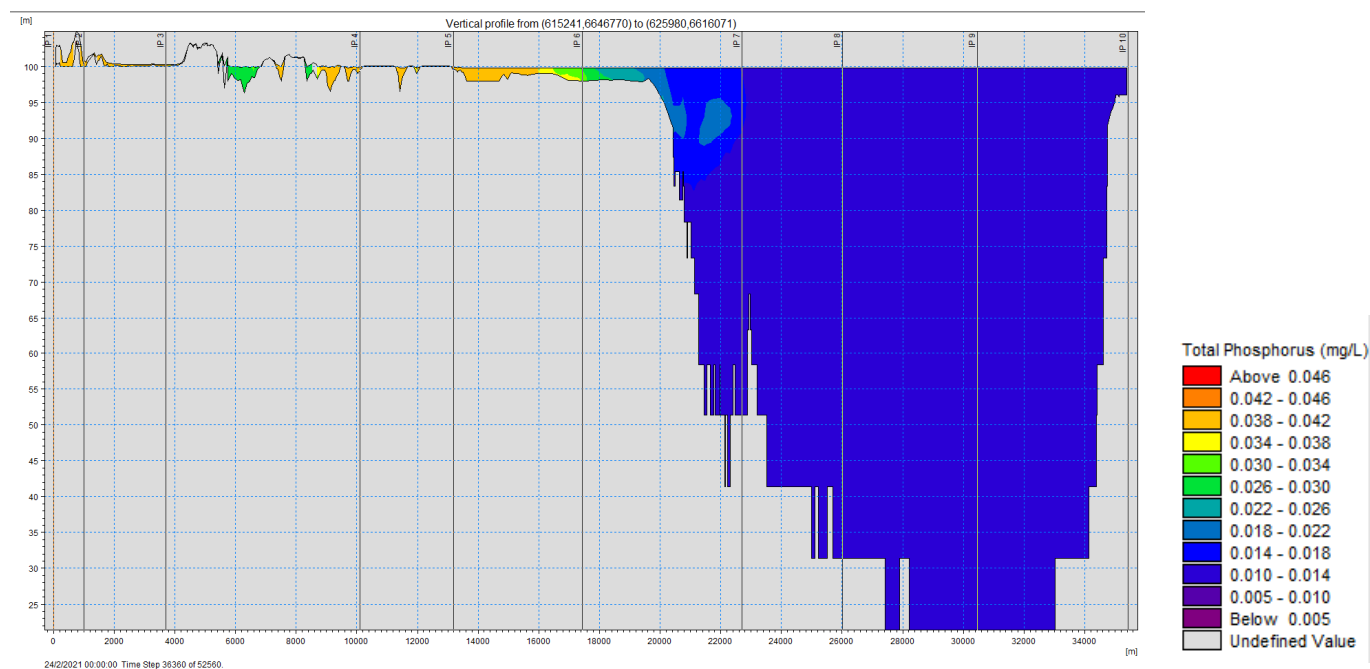
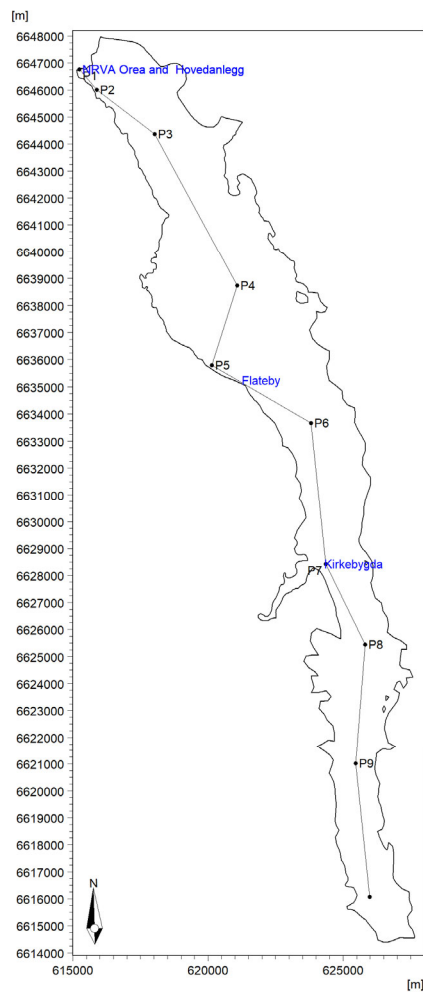


Figure 6.5 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 24.02.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).





24 March 2021 00:00

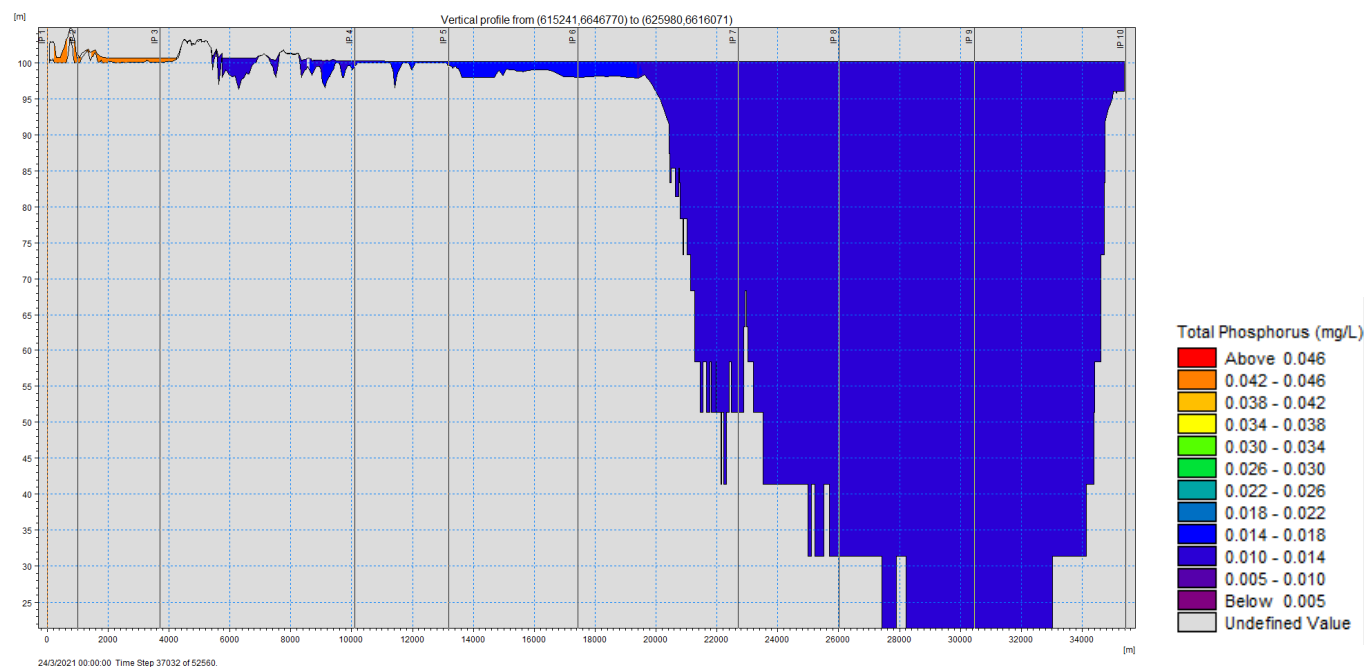


Figure 6.6 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 24.03.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

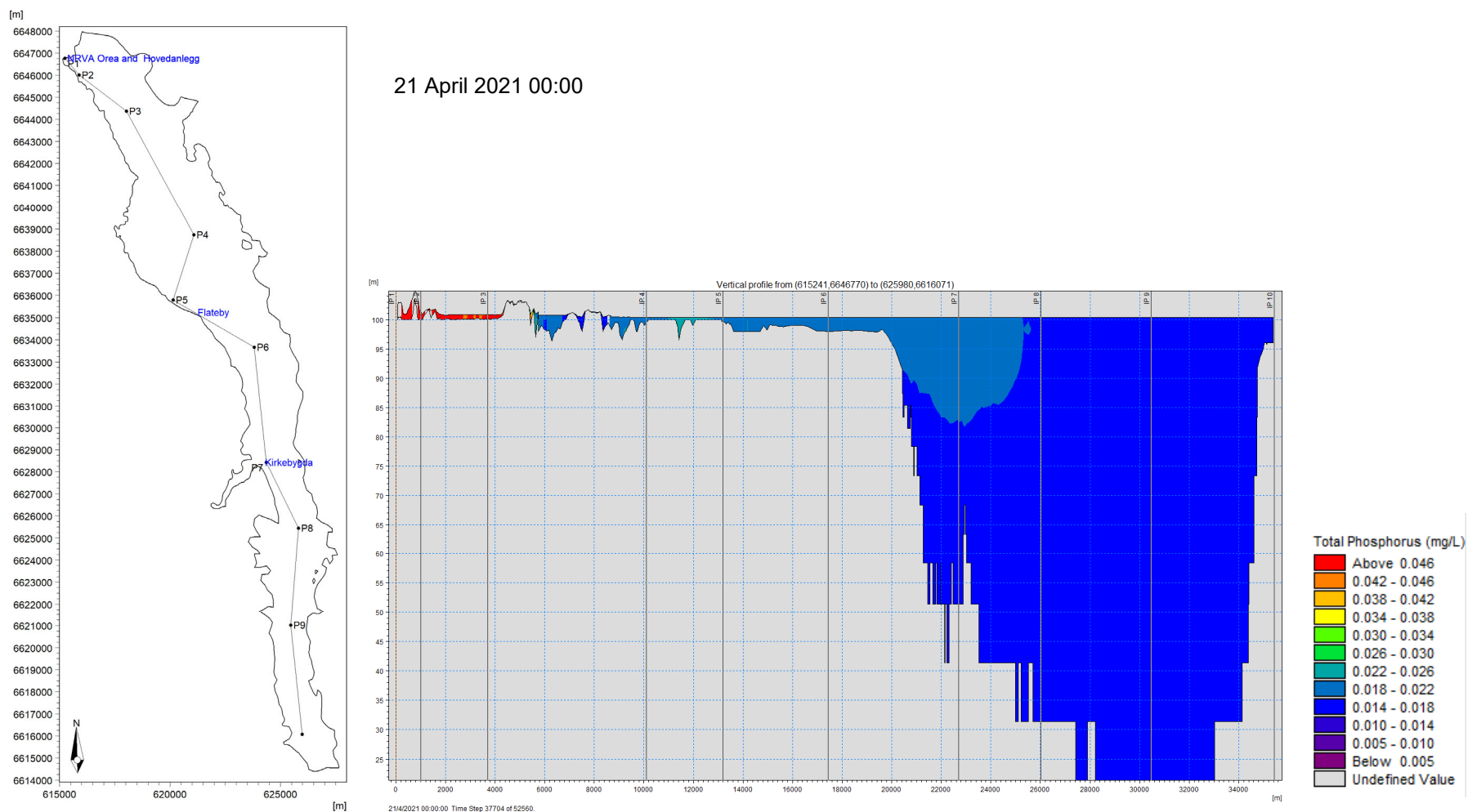


Figure 6.7 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 21.04.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

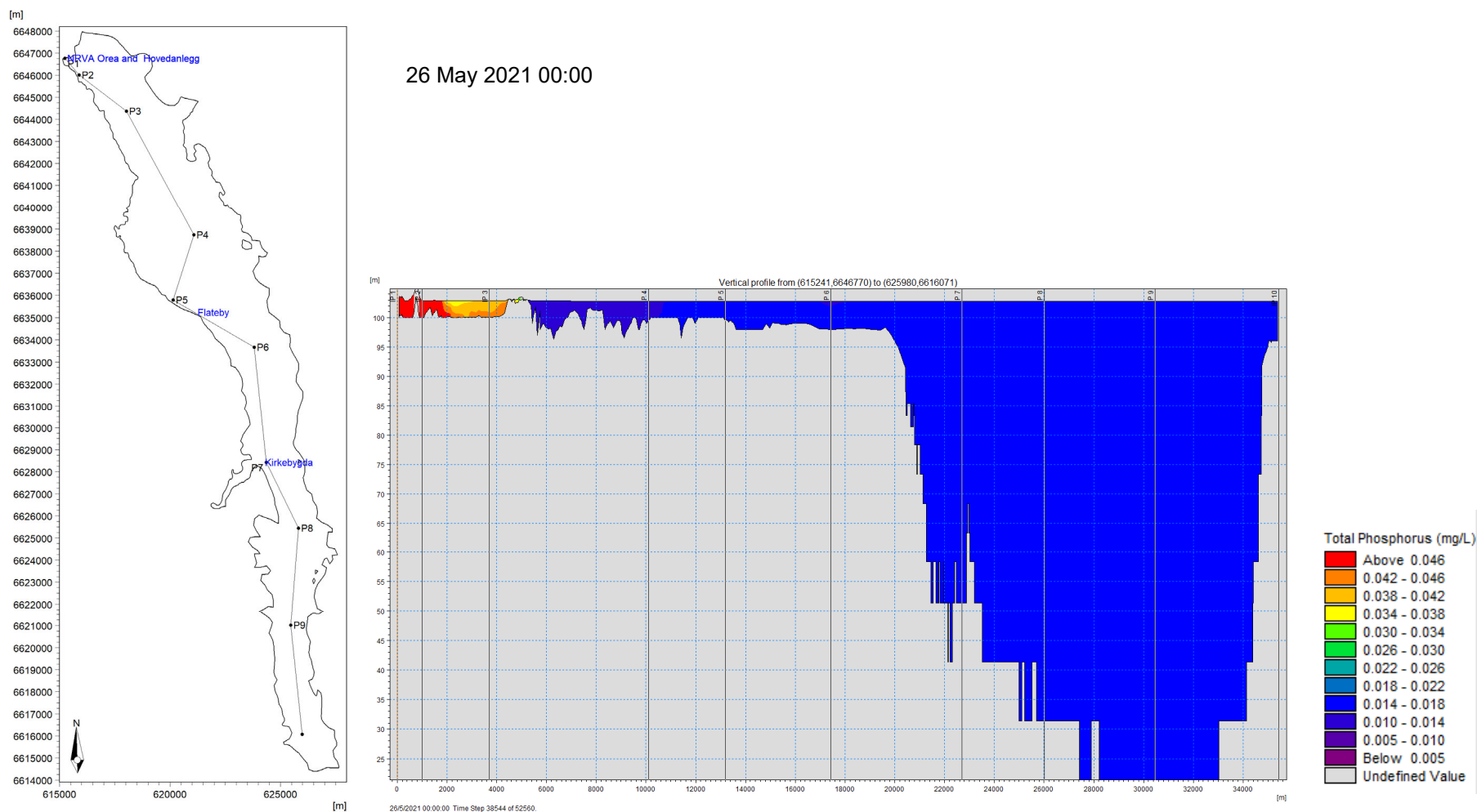
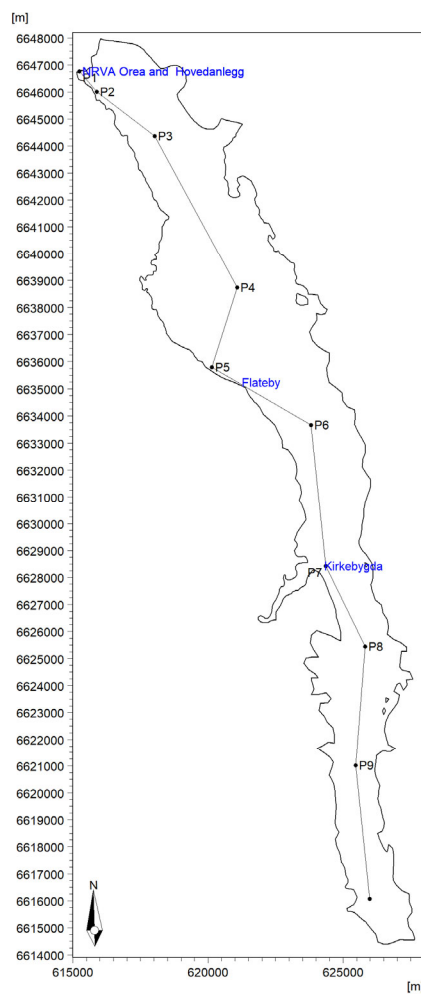


Figure 6.8 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 26.05.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



23 Jun 2021 00:00

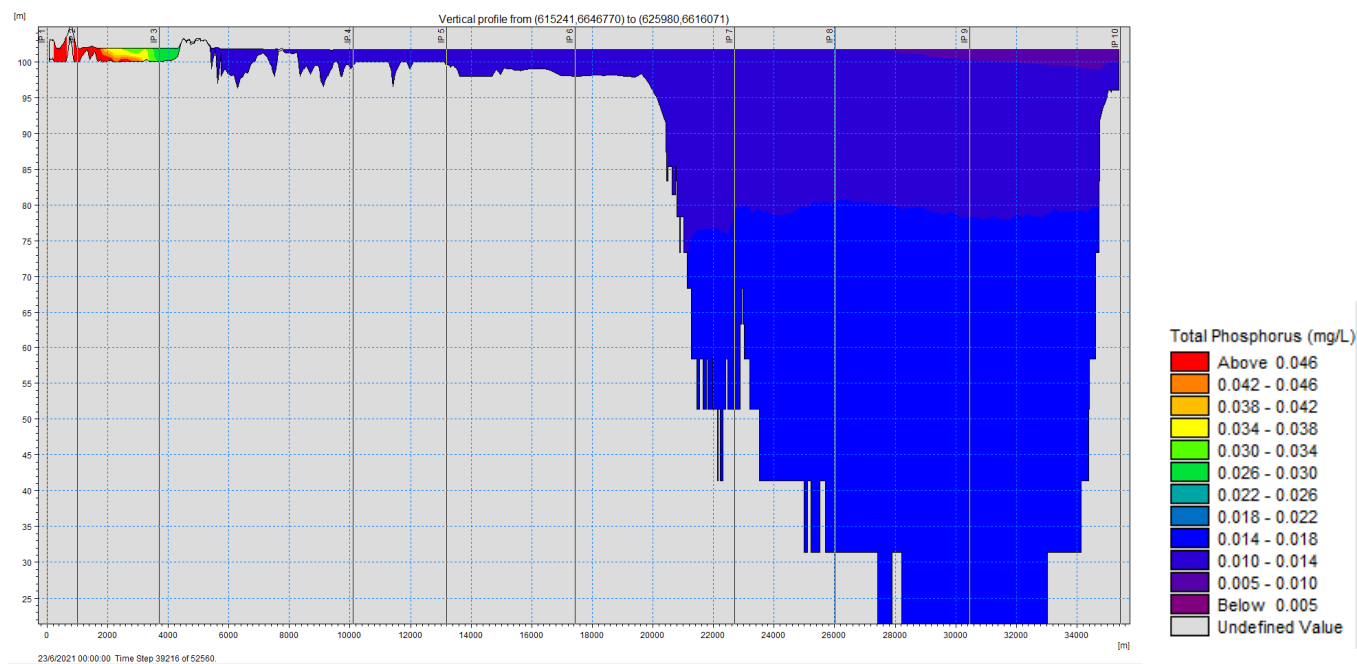
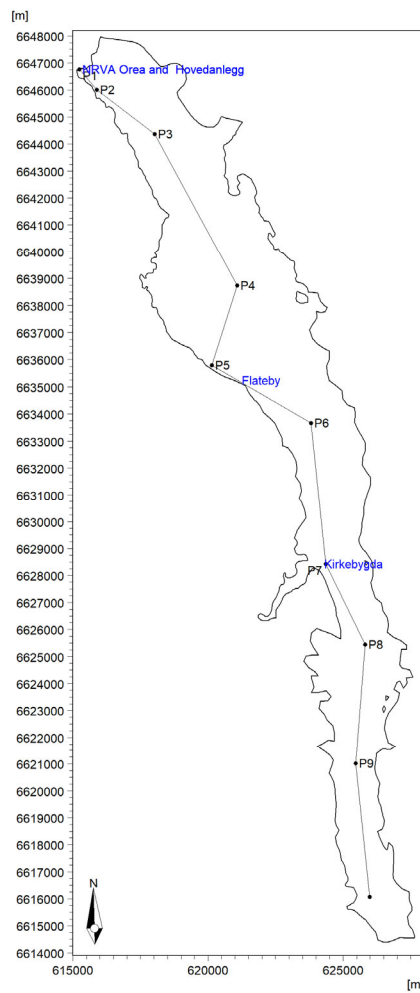


Figure 6.9 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 23.06.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



21 July 2021 00:00

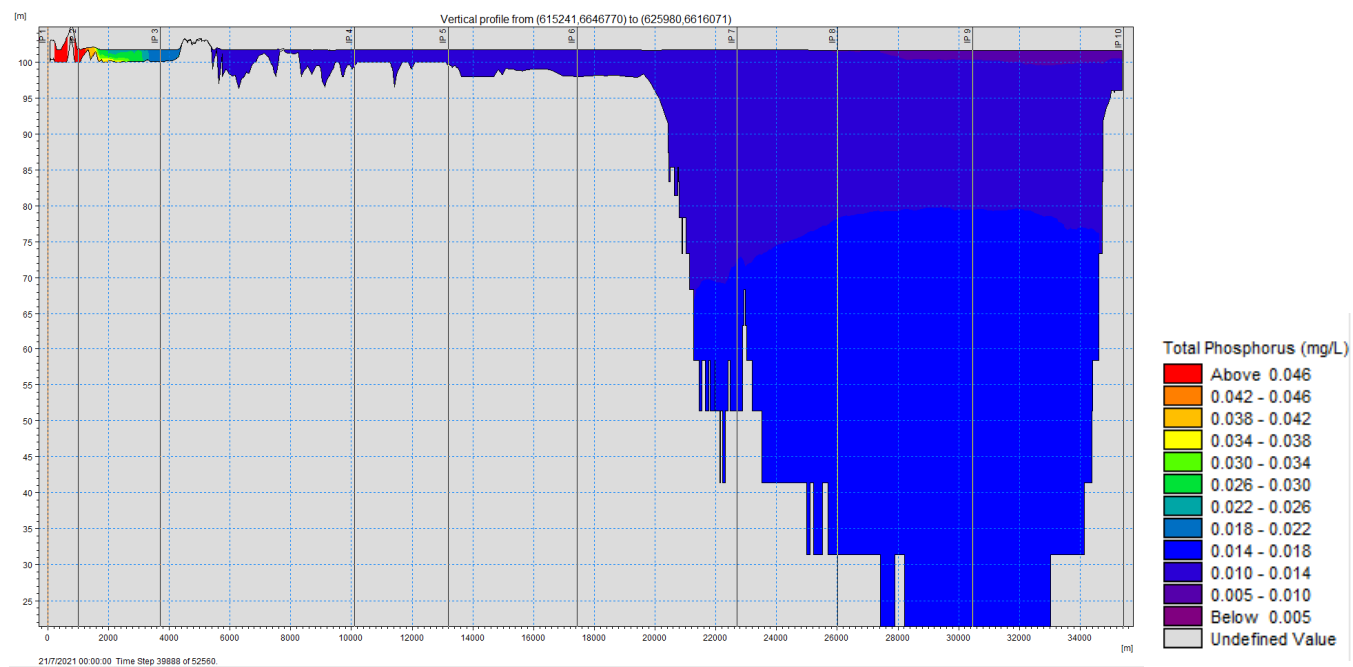
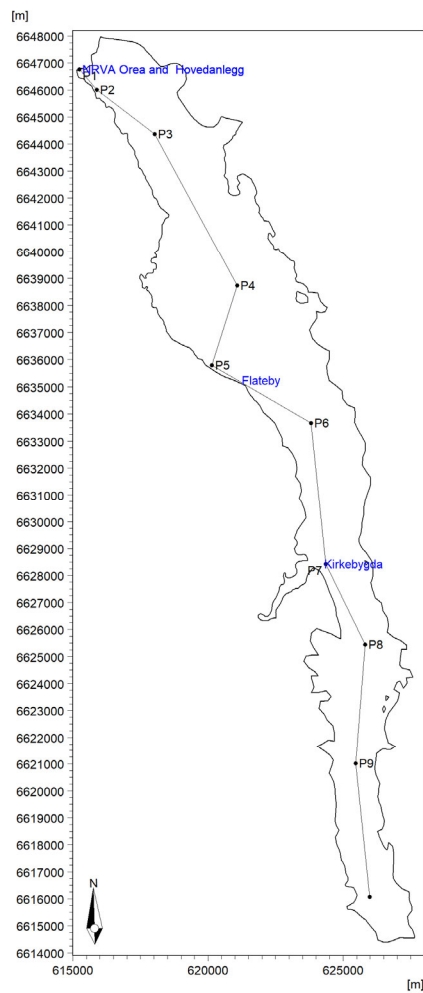


Figure 6.10 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 21.07.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



16 Aug 2021 00:00

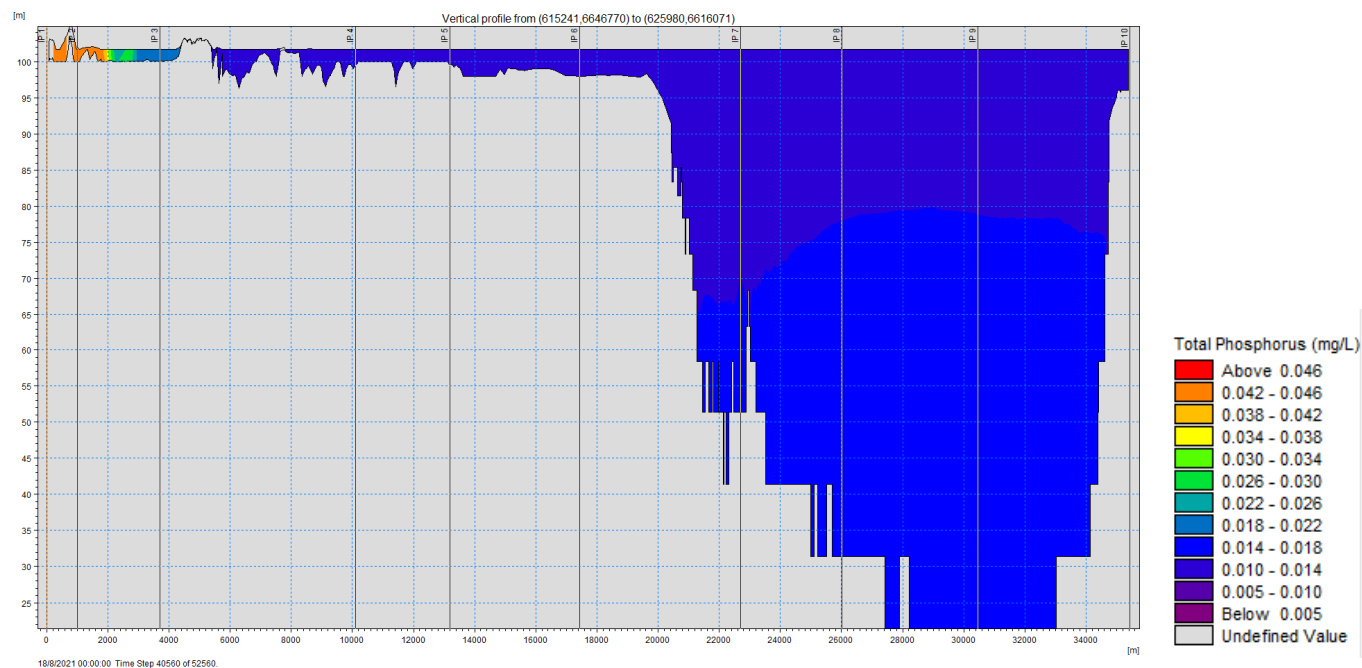
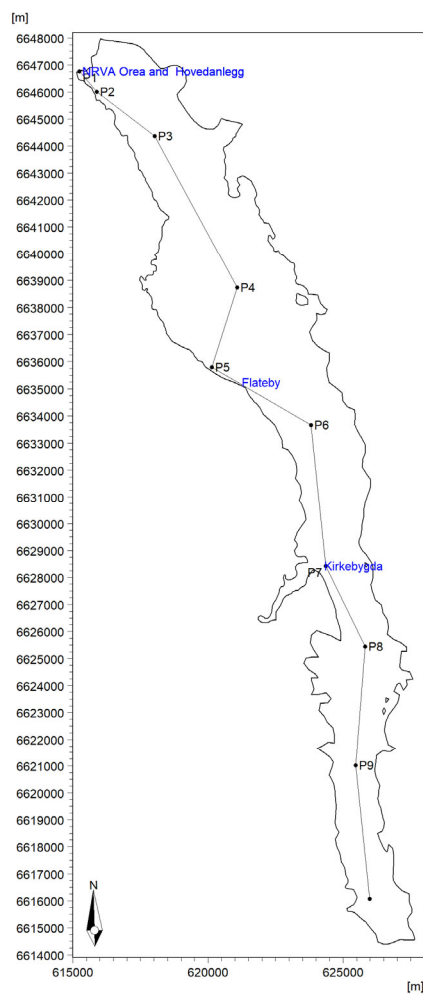


Figure 6.11 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 16.08.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



22 Sep 2021 00:00

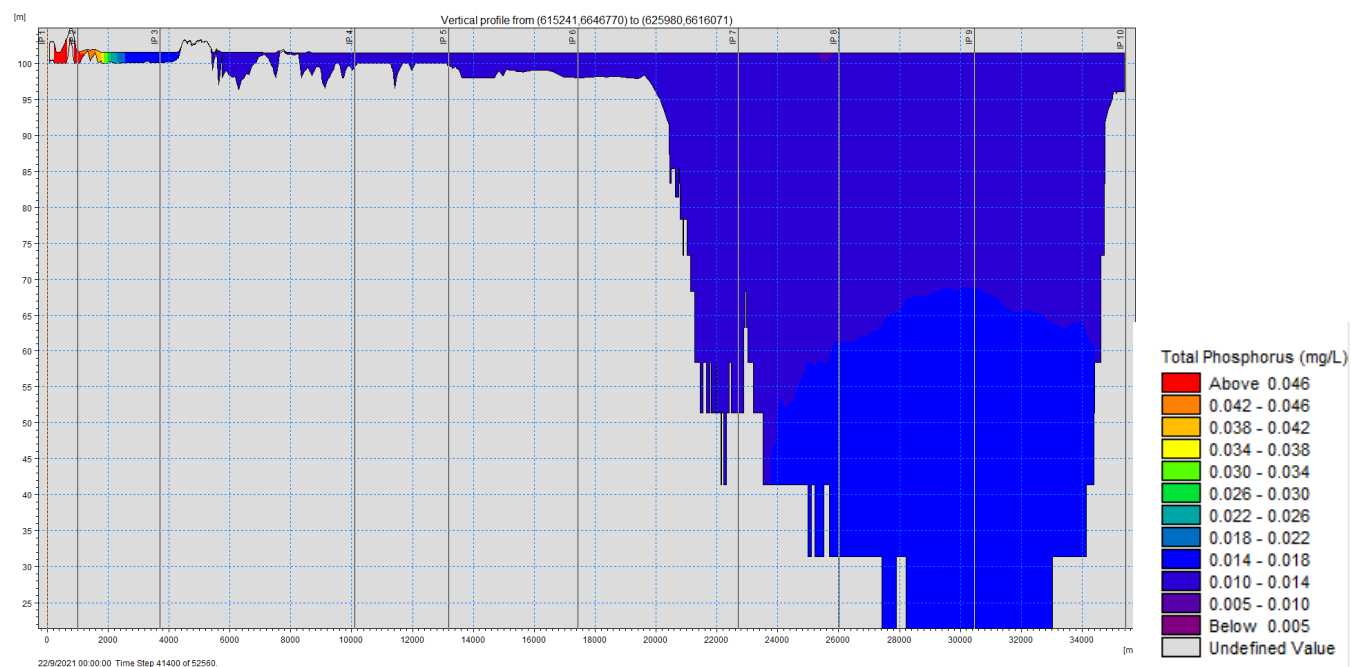
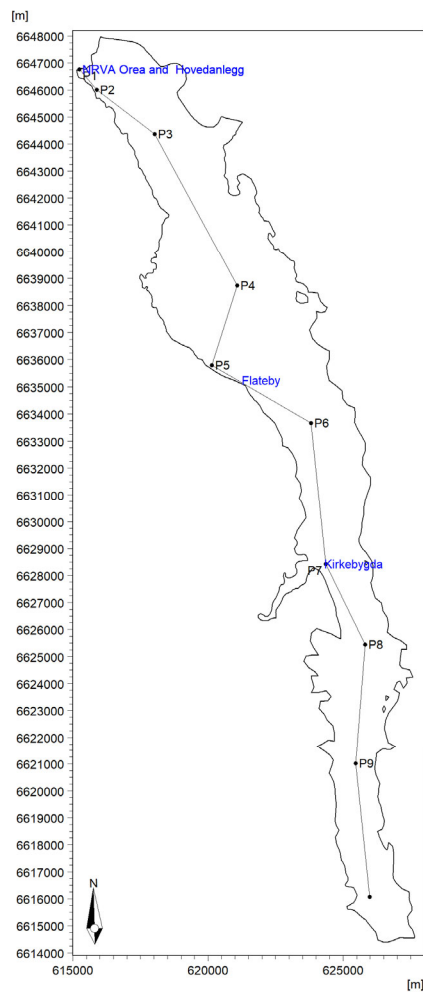


Figure 6.12 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 22.09.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).





20 Oct 2021 00:00

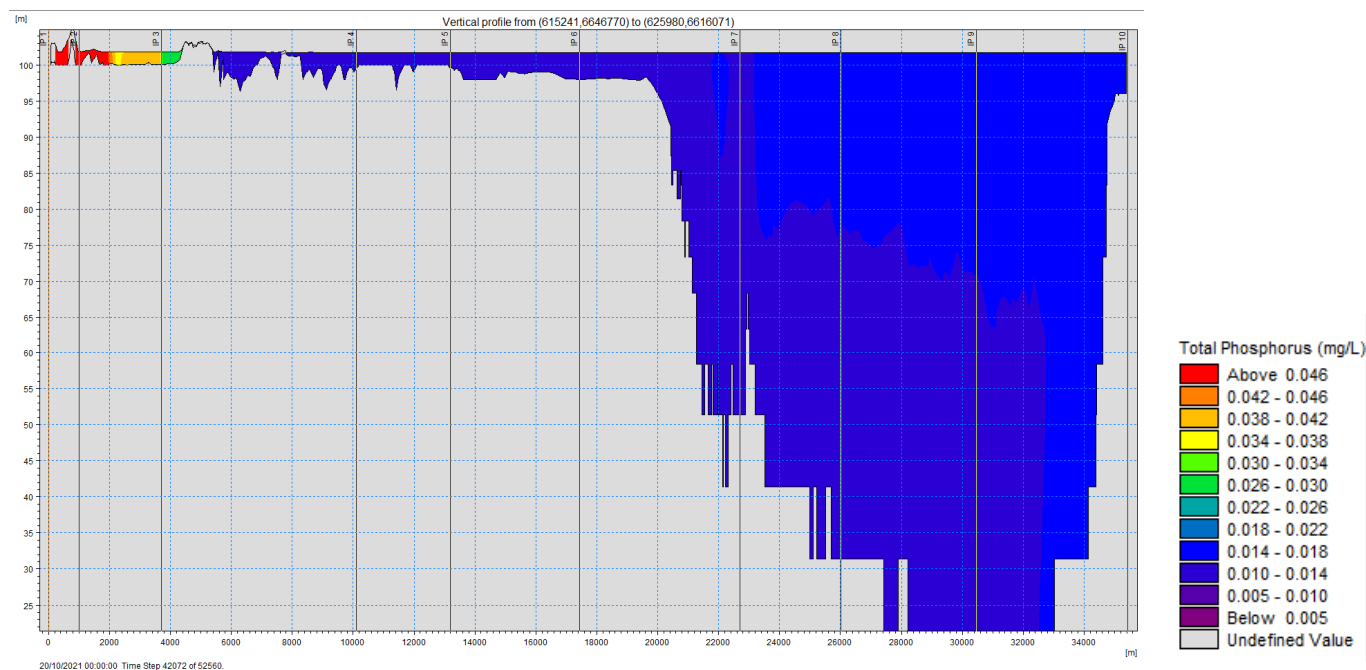
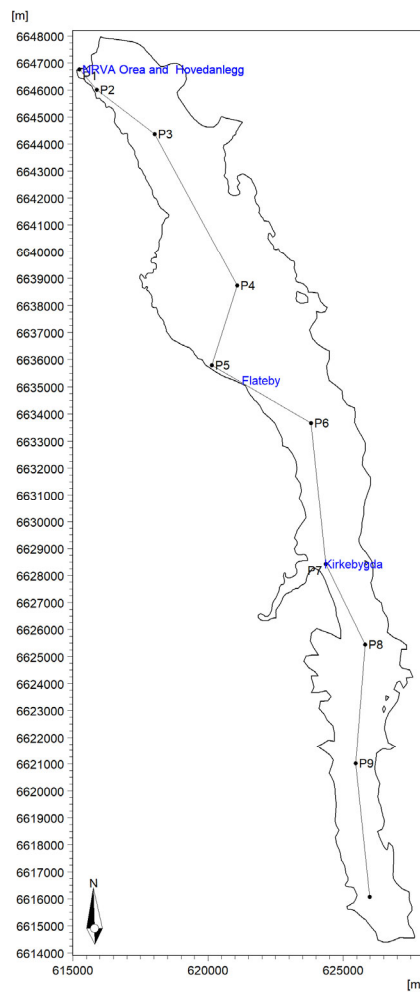


Figure 6.13 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 21.10.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



24 Nov 2021 00:00

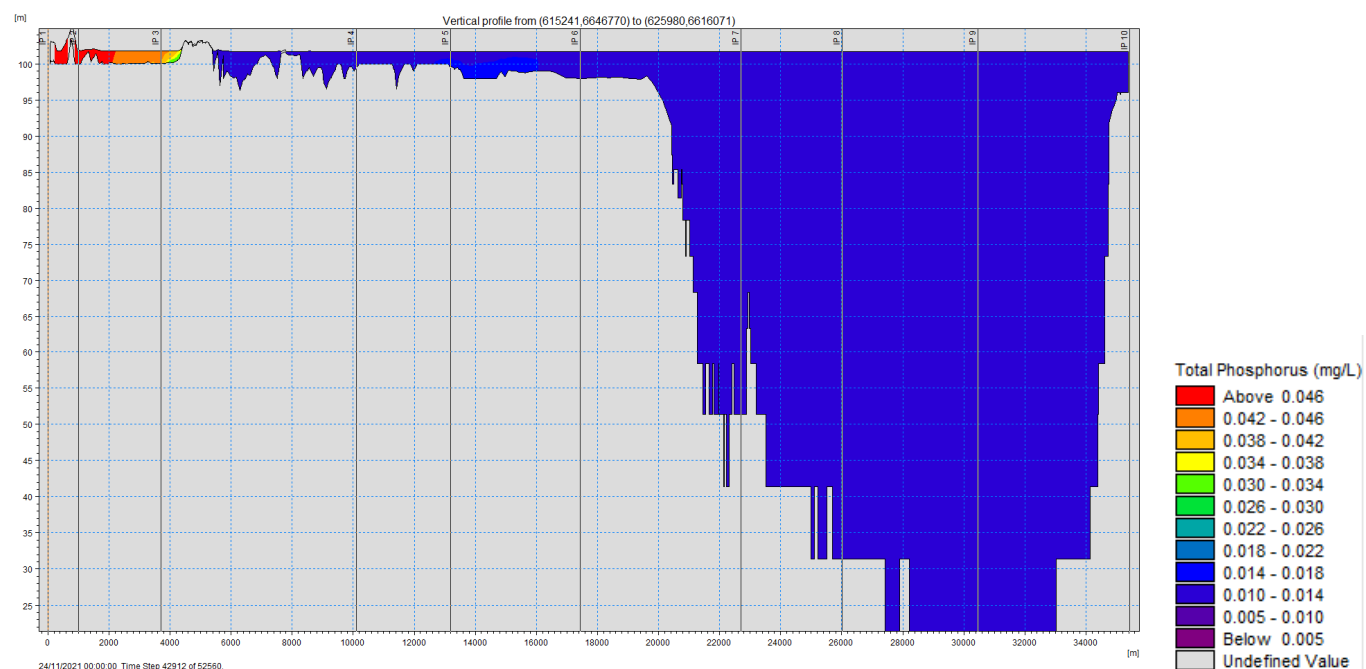


Figure 6.14 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 24.11.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

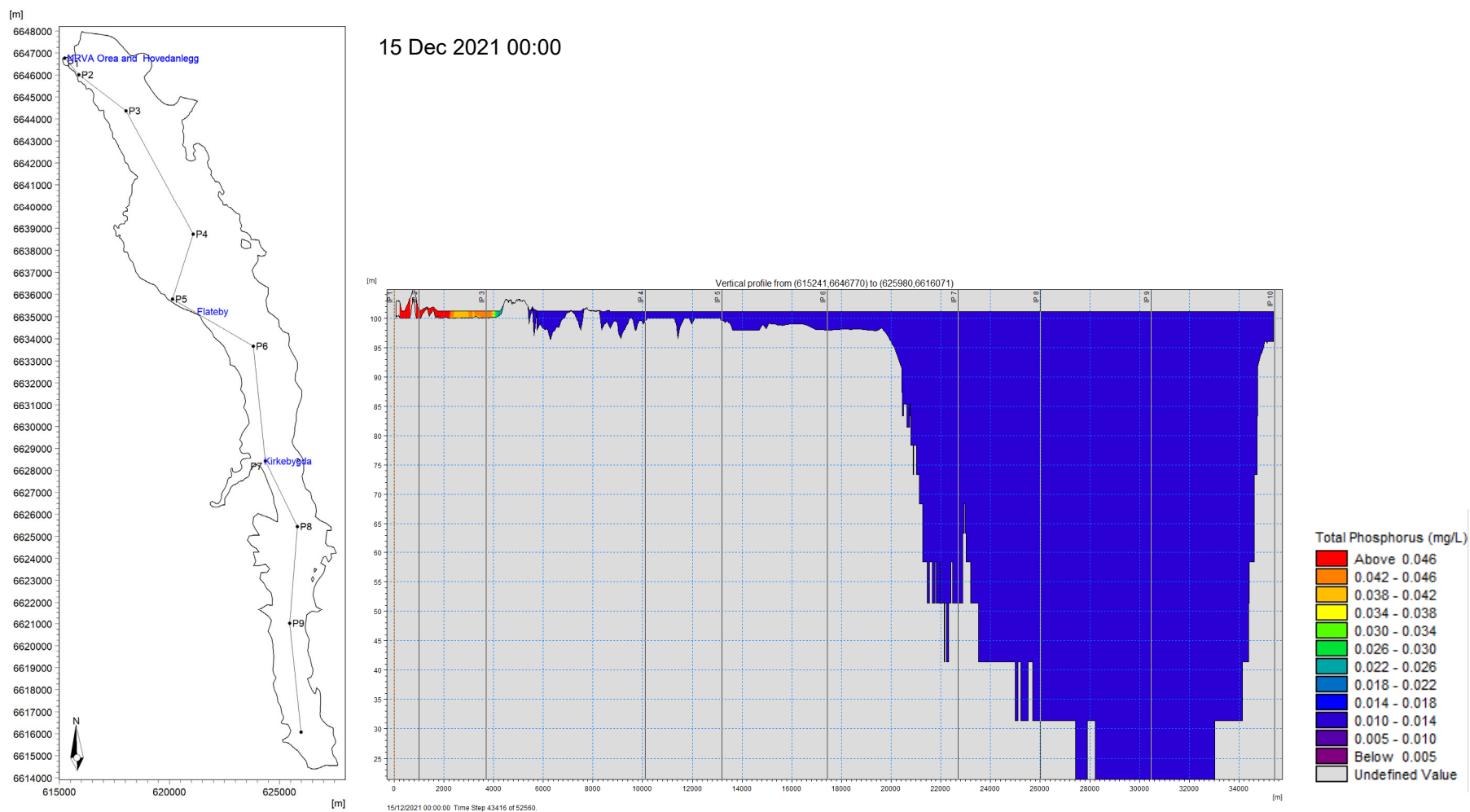


Figure 6.15 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt fosfor 15.12.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

## D.3.2 Totalt nitrogen

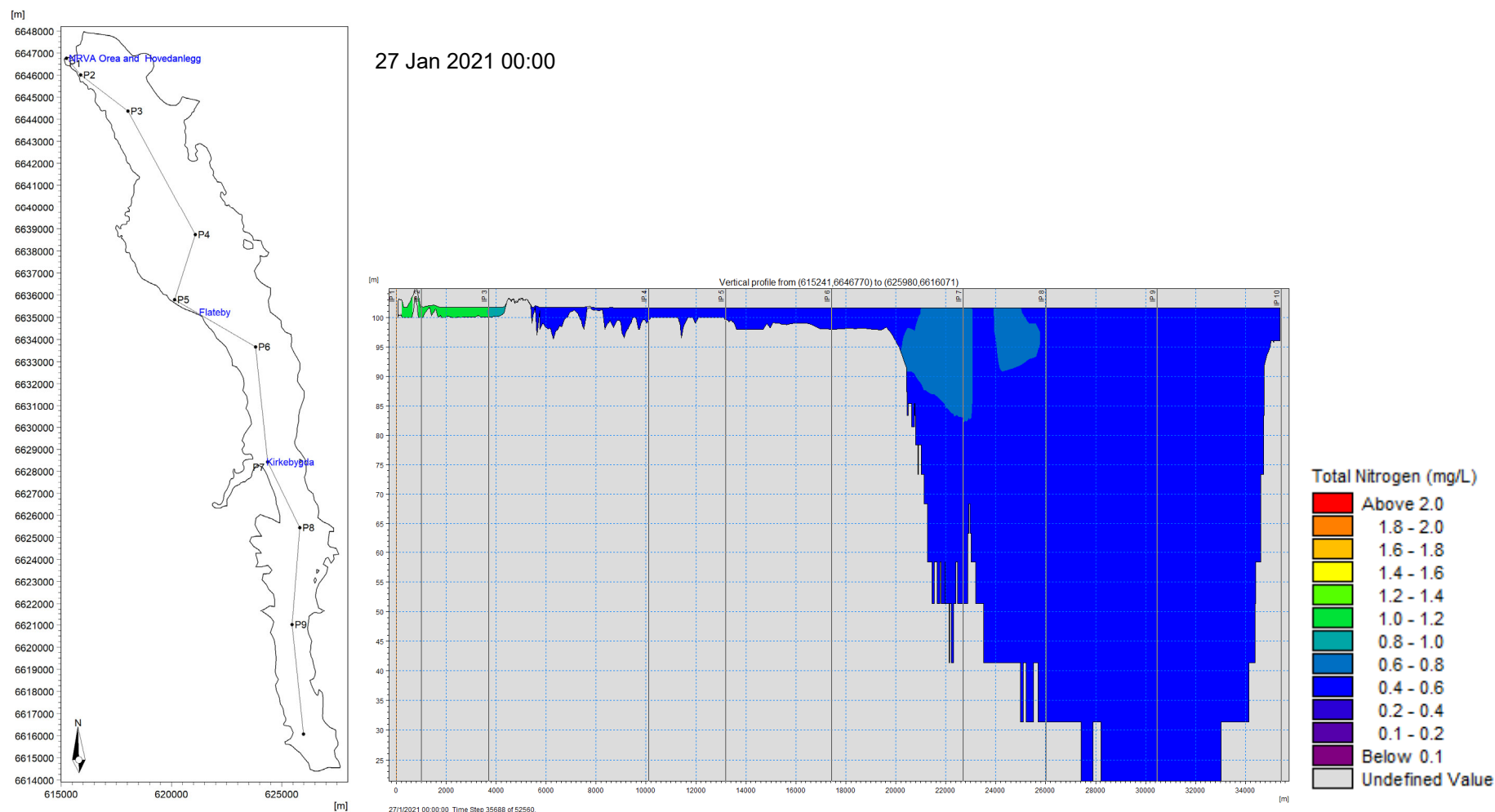


Figure 6.16 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 27.01.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

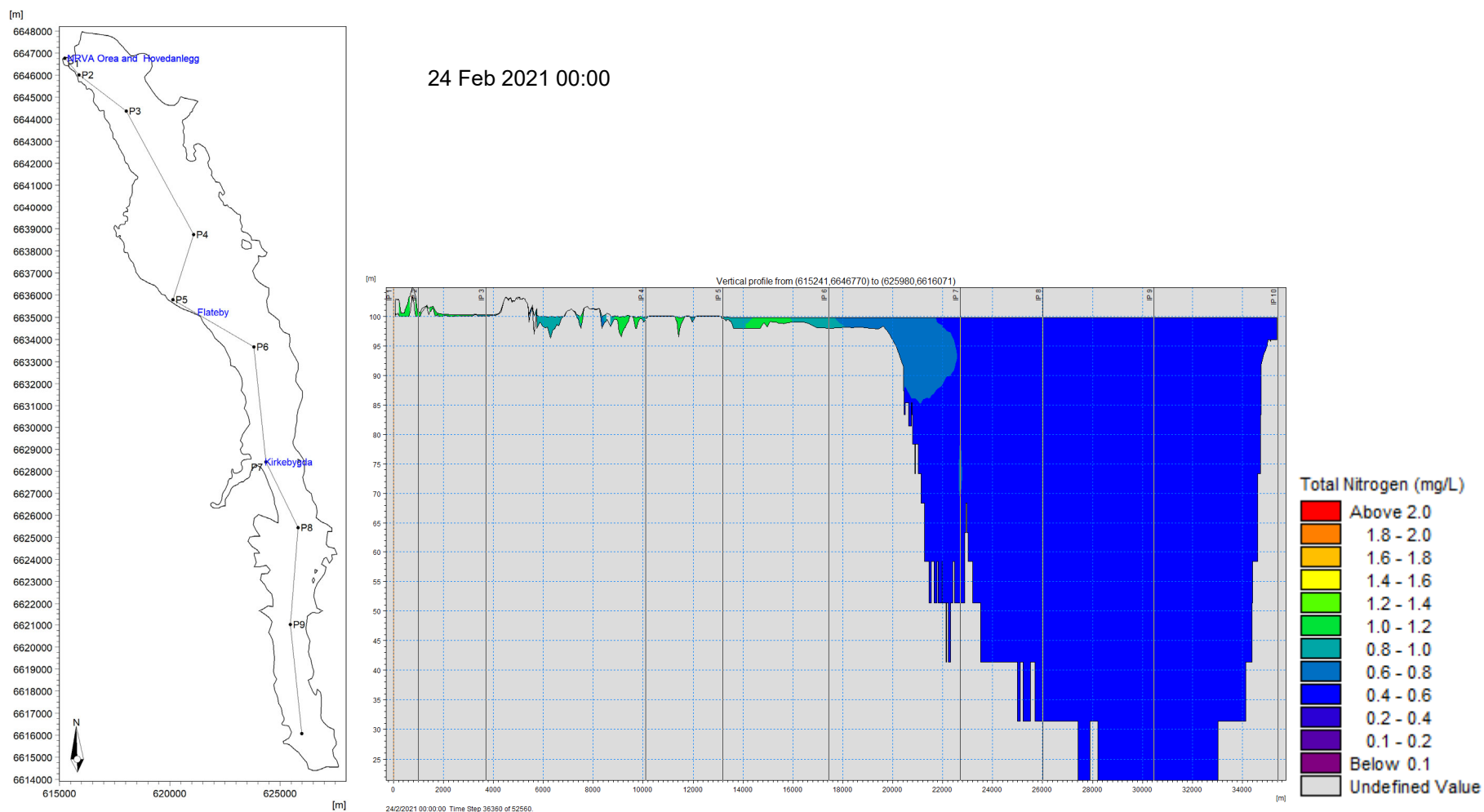


Figure 6.17 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 24.02.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

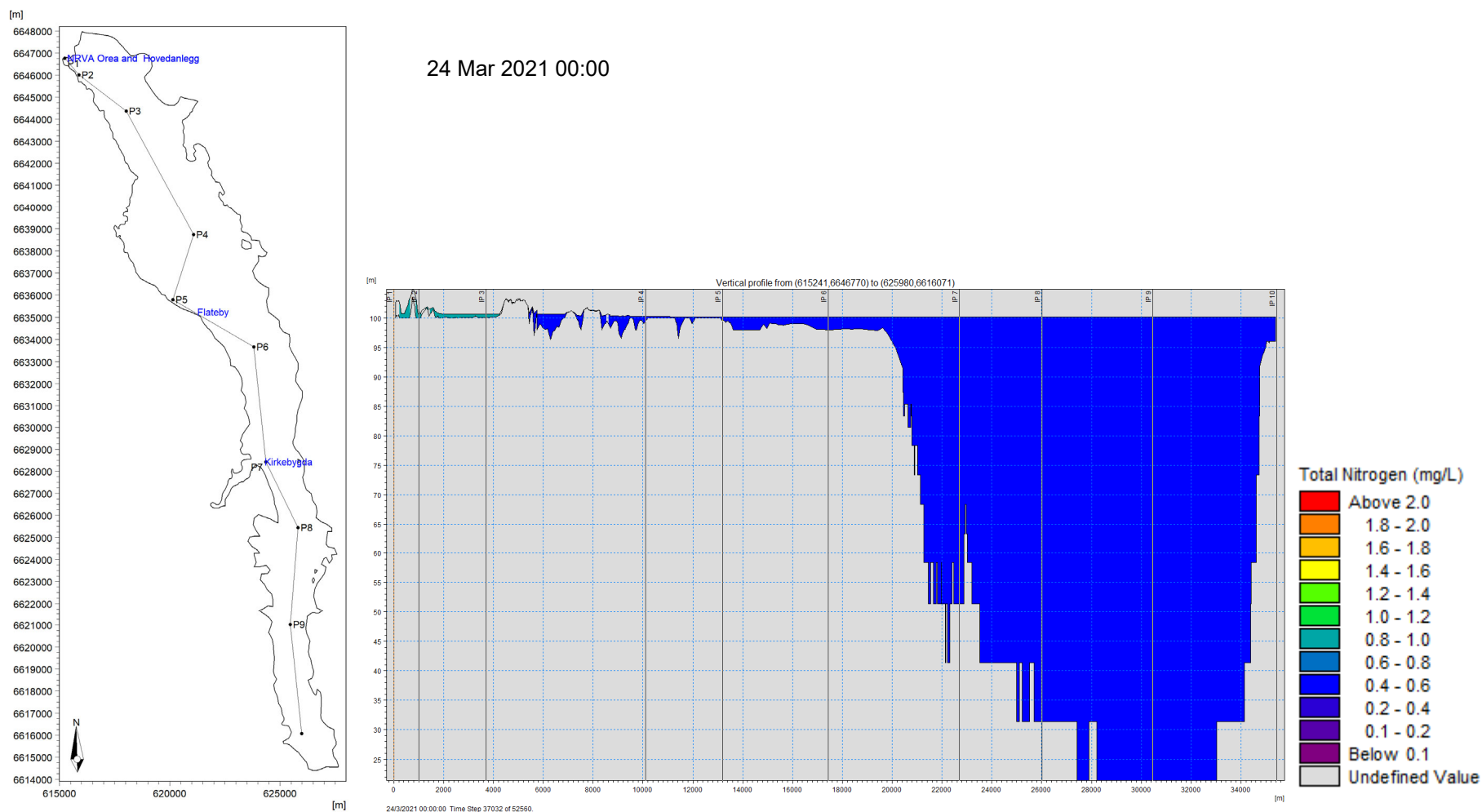
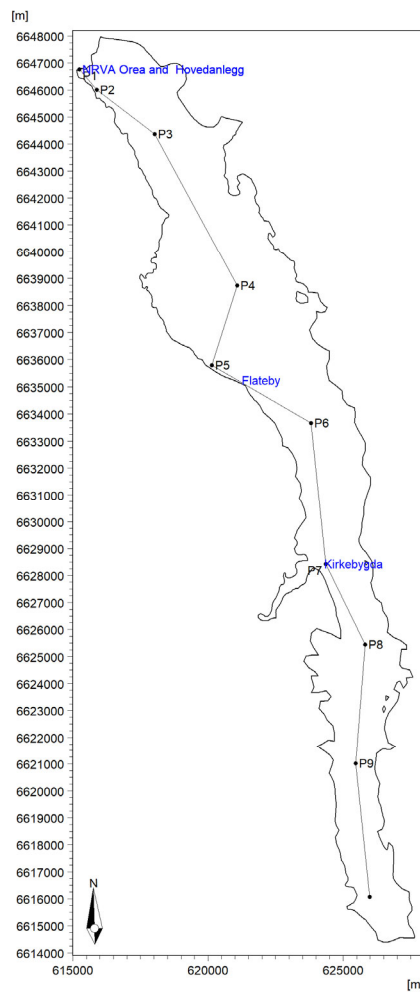


Figure 6.18 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 24.03.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



21 Apr 2021 00:00

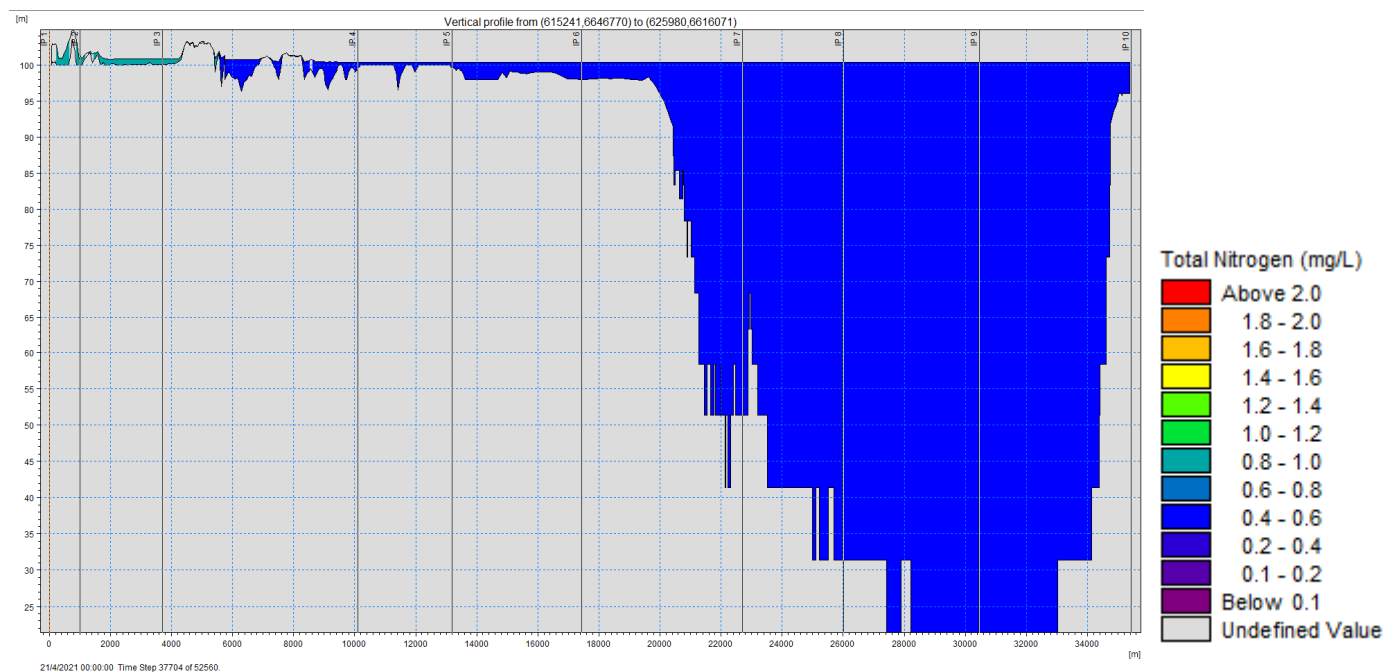
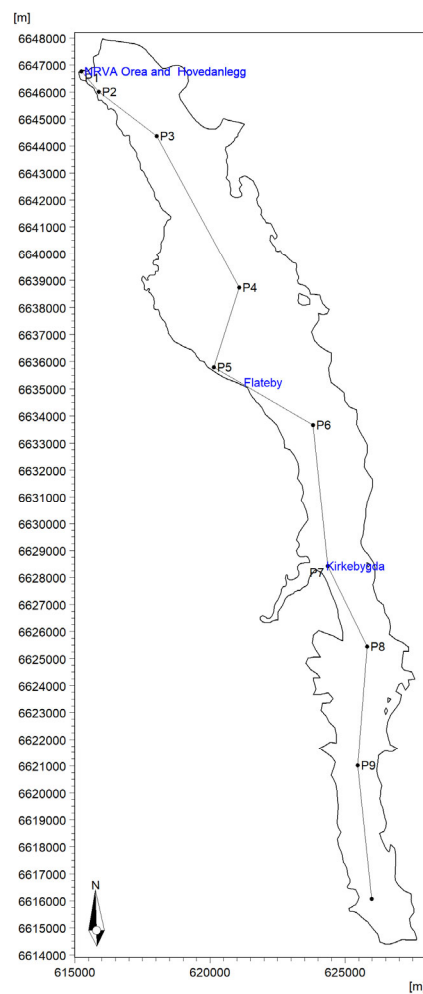


Figure 6.19 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 21.04.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).





26 May 2021 00:00

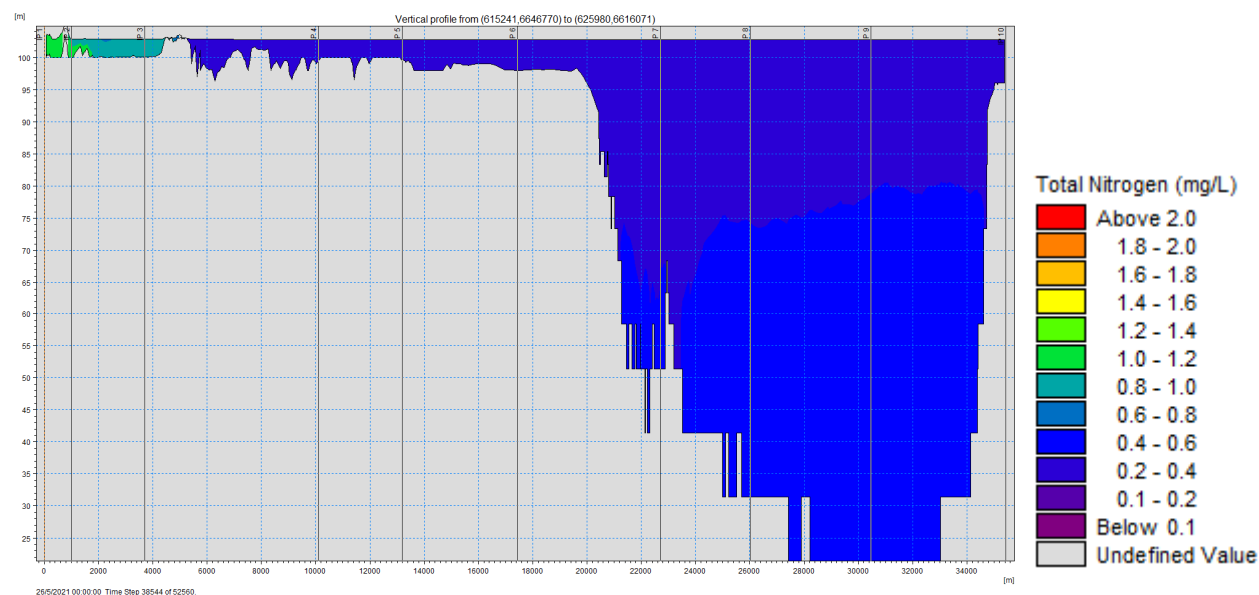
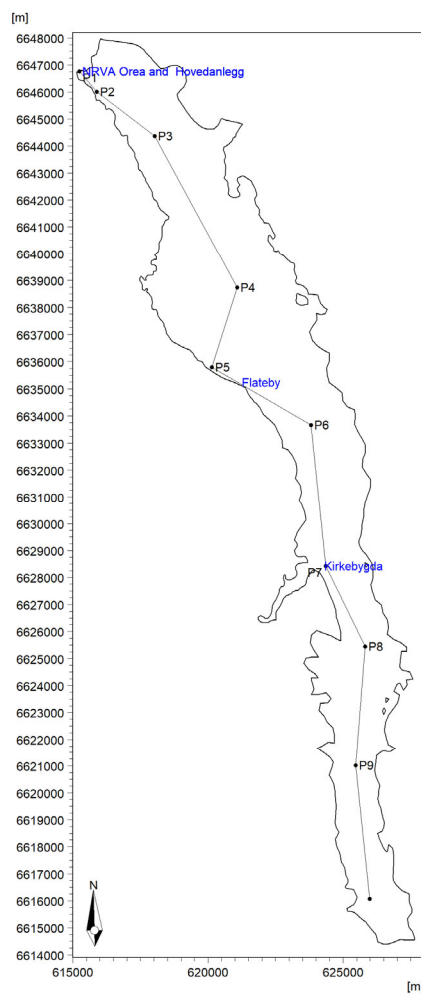


Figure 6.20 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 26.05.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



23 Jun 2021 00:00

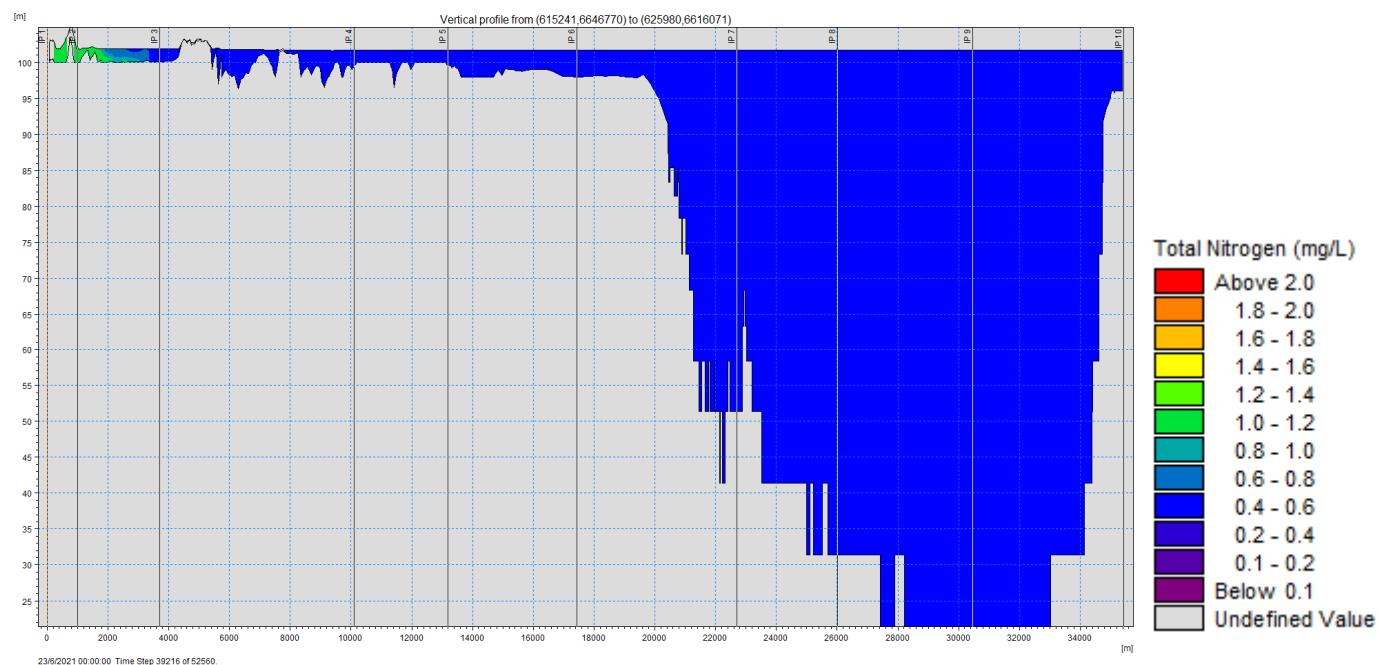
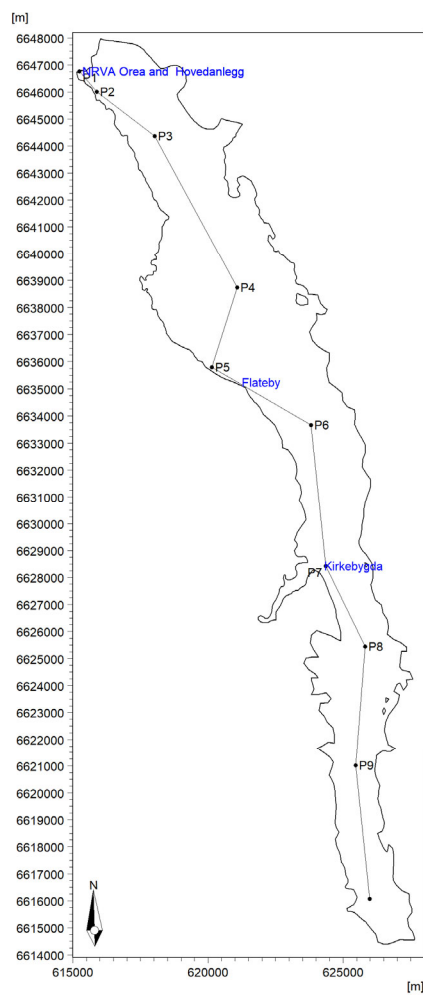


Figure 6.21 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 23.06.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



21 Jul 2021 00:00

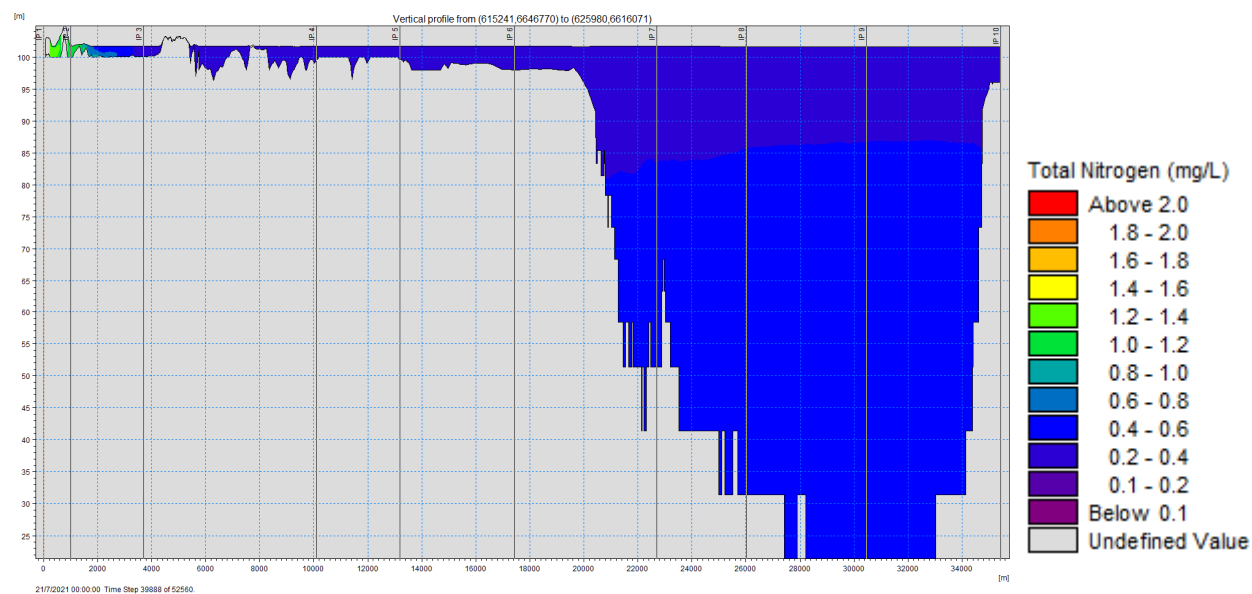


Figure 6.22 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 21.07.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

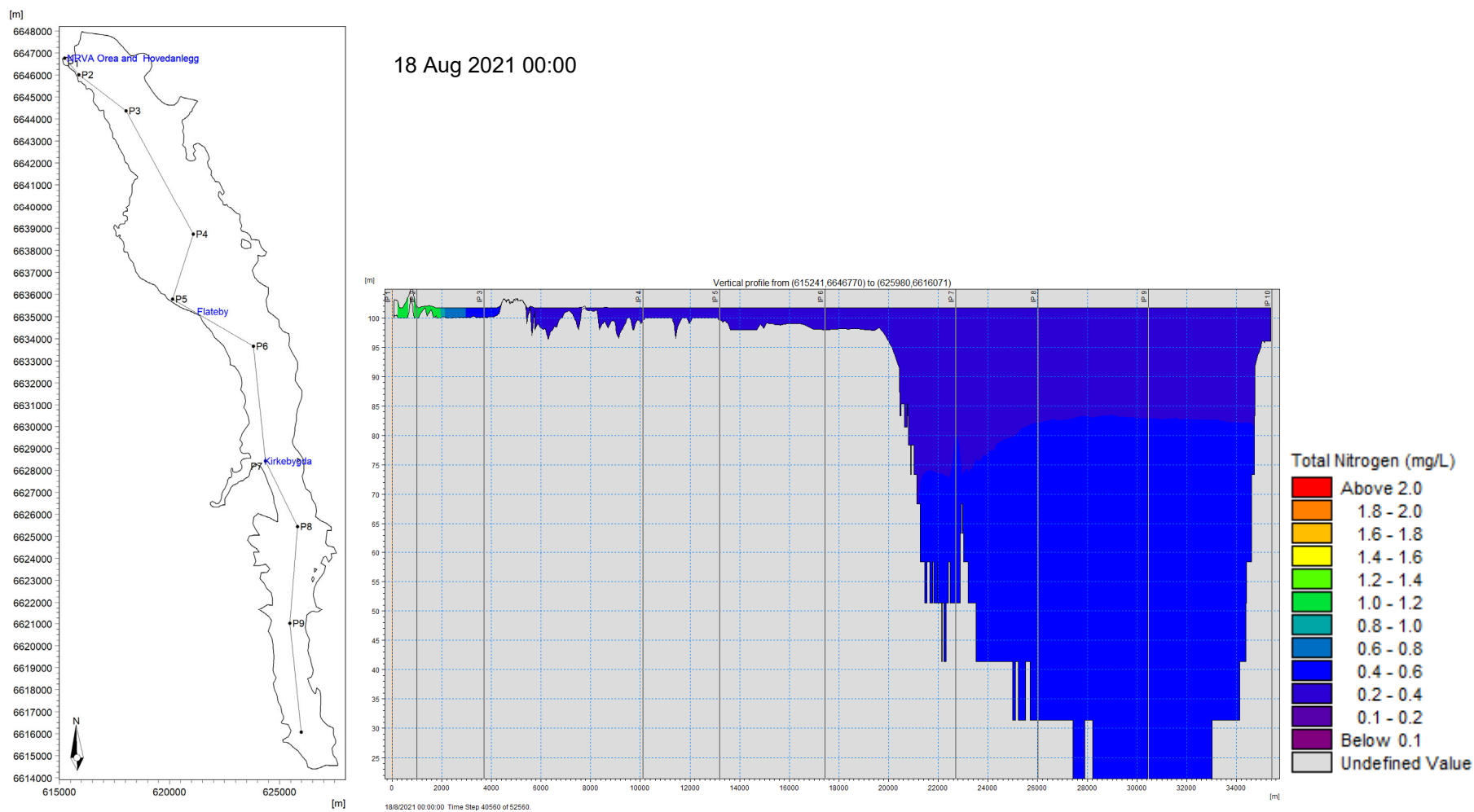
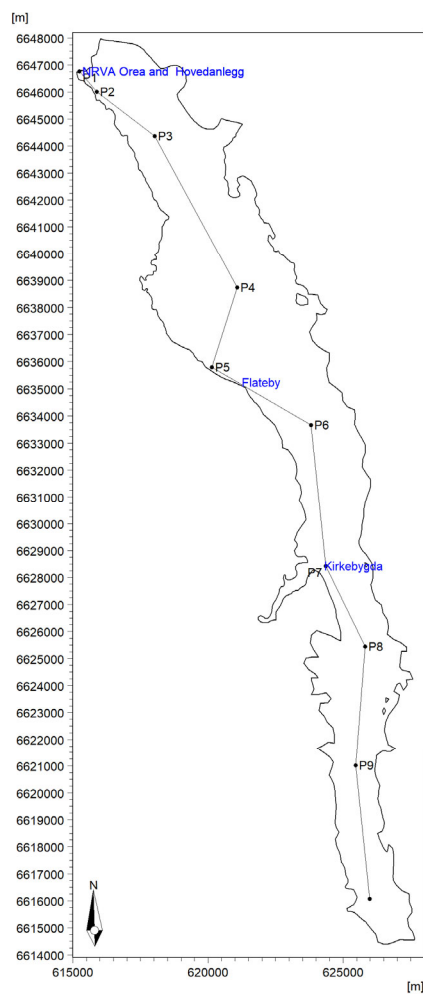


Figure 6.23 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 18.08.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).



22 Sep 2021 00:00

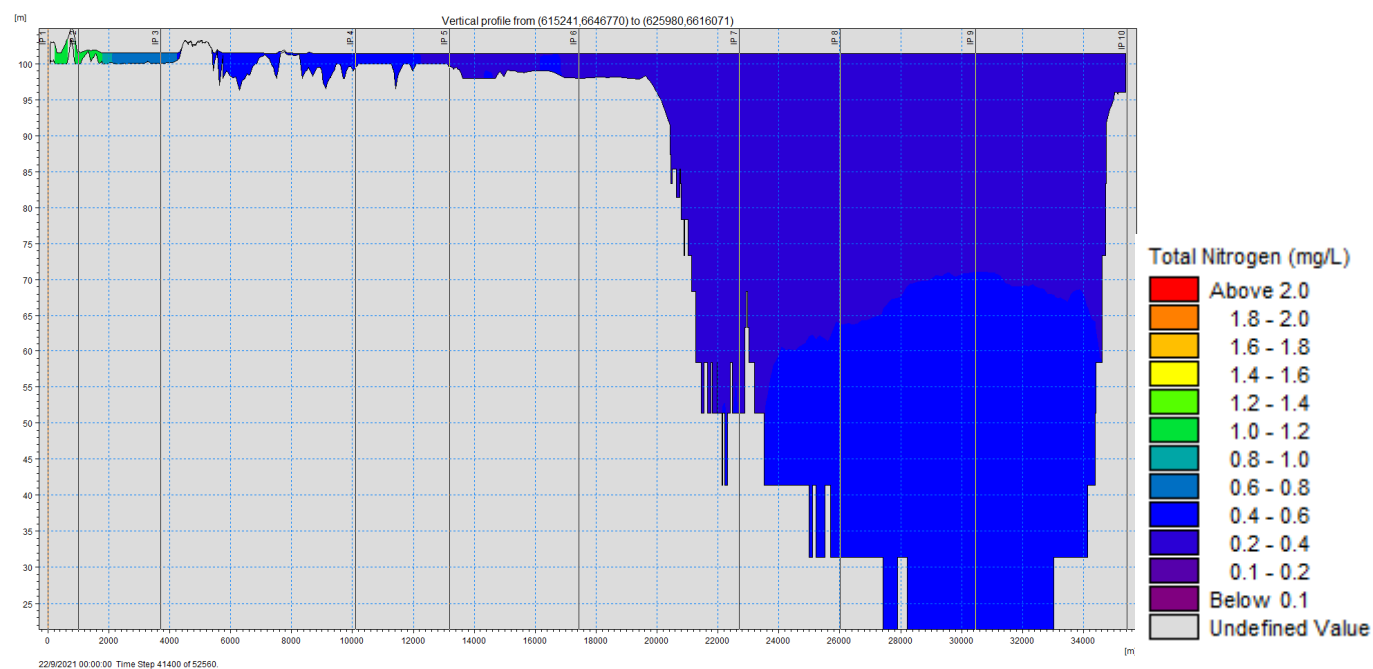


Figure 6.24 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 22.09.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

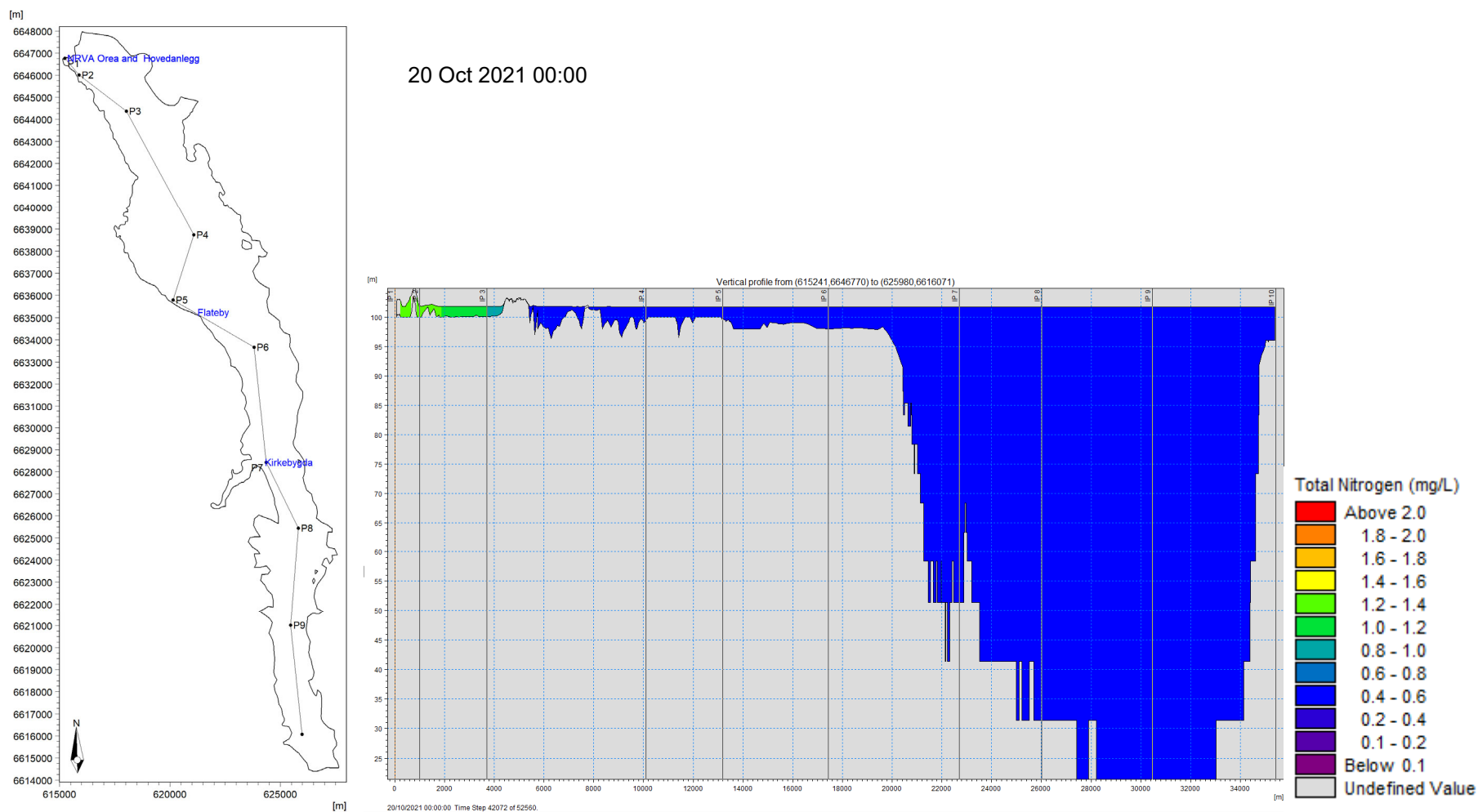


Figure 6.25 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 20.10.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

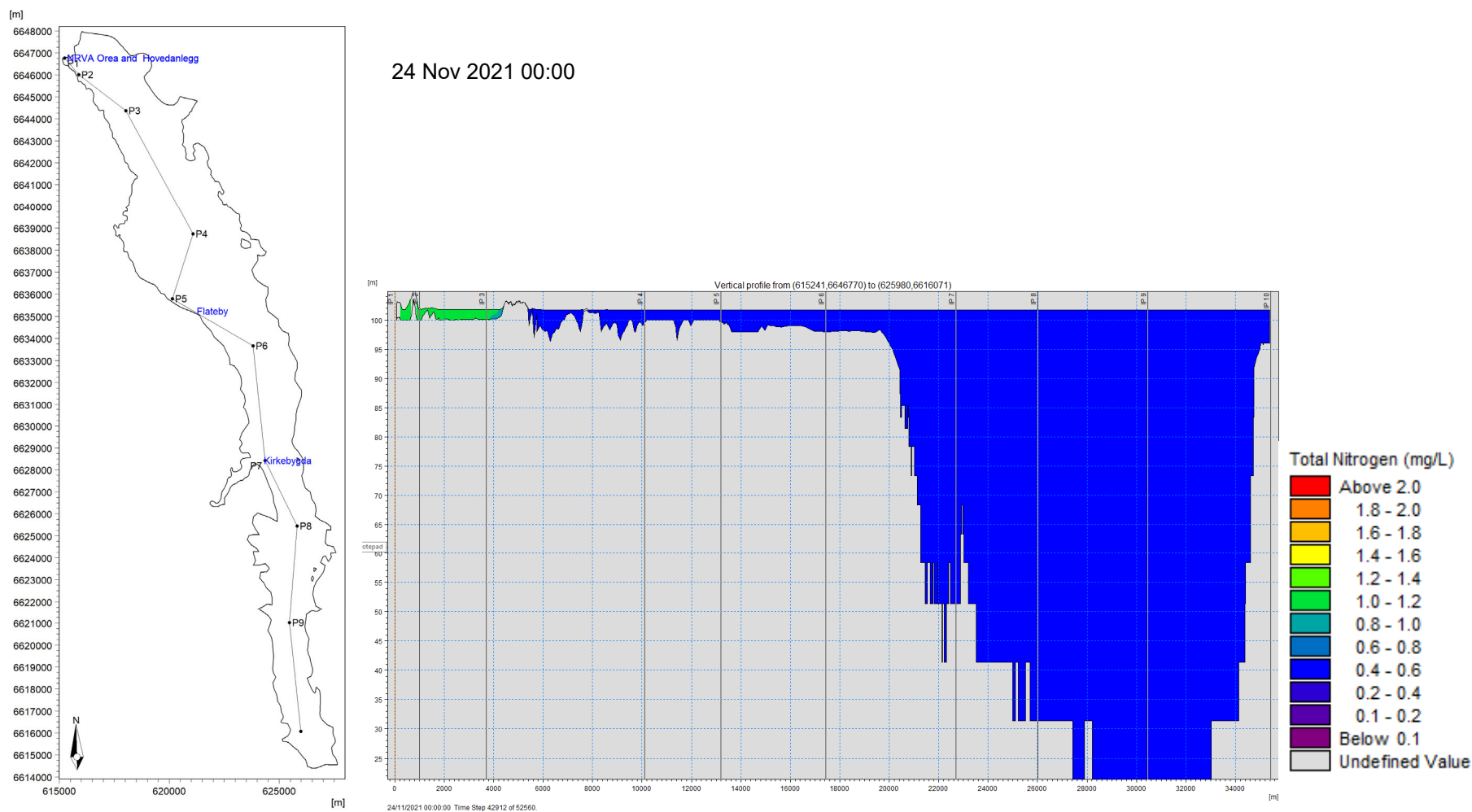
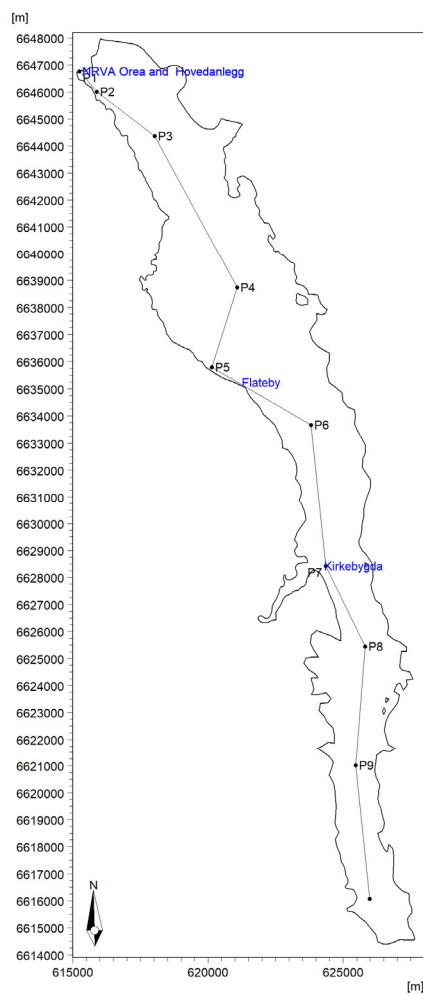


Figure 6.26 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 24.11.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).





15 Dec 2021 00:00

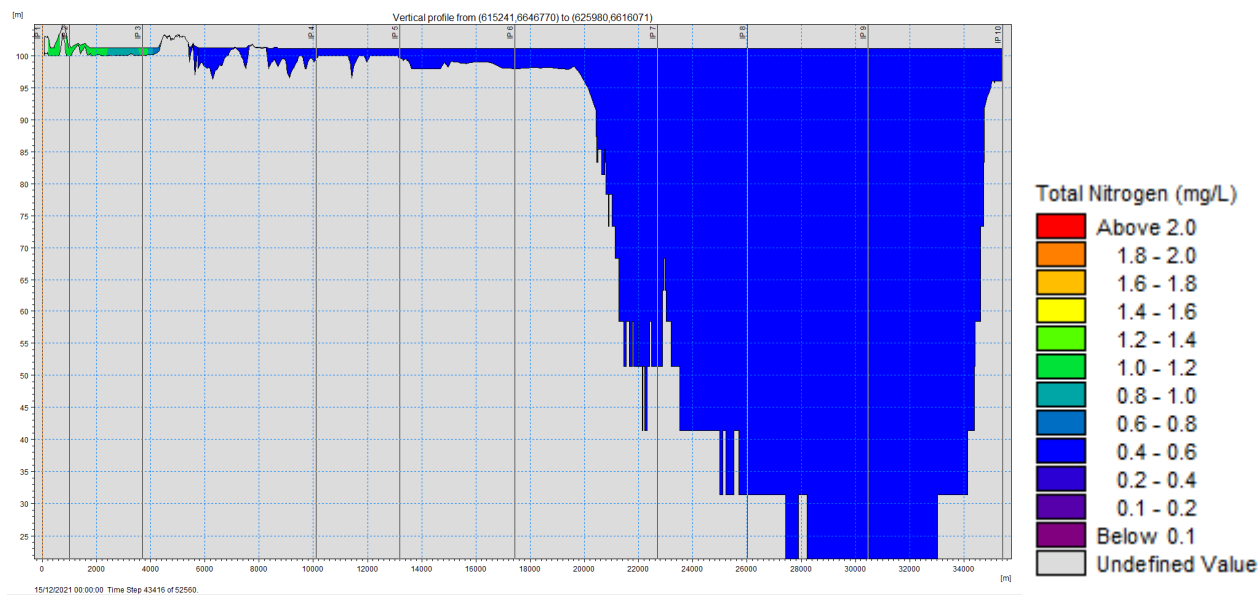


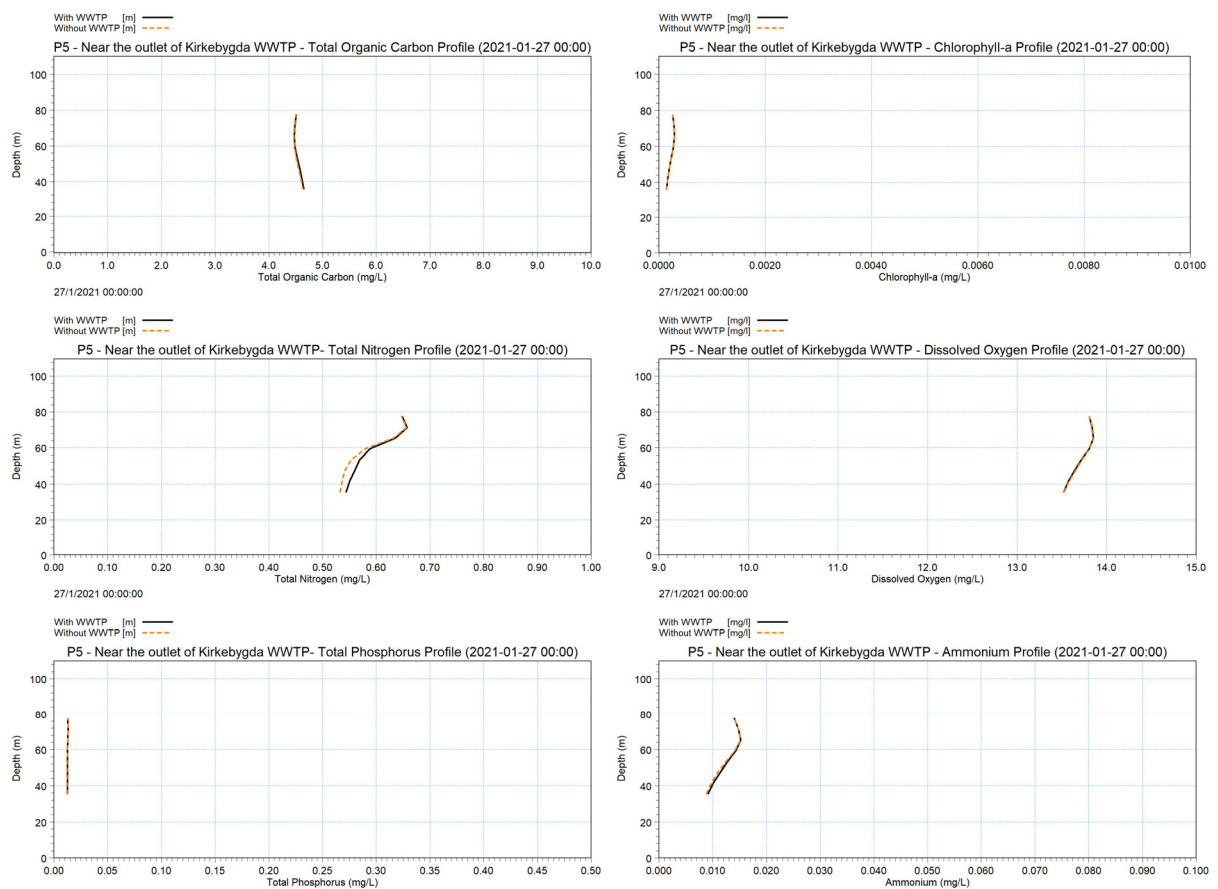
Figure 6.27 Lengdeprofil gjennom Øyeren som viser vertikal variasjon for totalt nitrogen 15.12.2021. Y-aksen viser dybder (~100 moh tilsvarer overflaten).

## D.4 Øyeren vertikalprofiler

Basert på resultatene fra simuleringene med vannkvalitetsmodellen av Øyeren er det hentet ut vertikalprofiler i Øyeren ved Kirkebygda sentralrenseanlegg og P-ØSØY1 som viser variasjonen i konsentrasjonene av totalt fosfor og totalt nitrogen hver måned i 2021. 2021 er valgt ut siden utslippene fra Kirkebygda sentralrenseanlegg var størst i perioden 2017-2021.

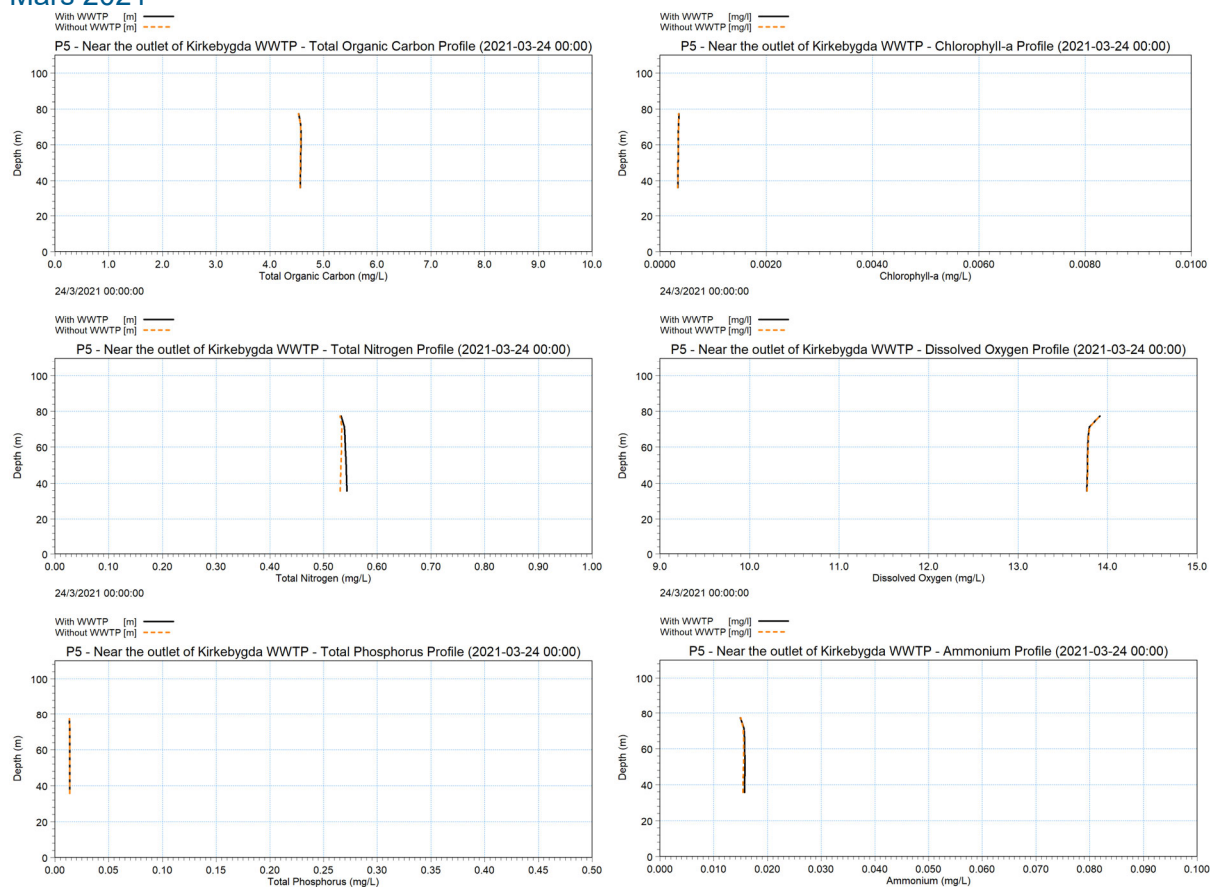
### D.4.1 Vertikalprofil P5 – nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg

Januar 2021



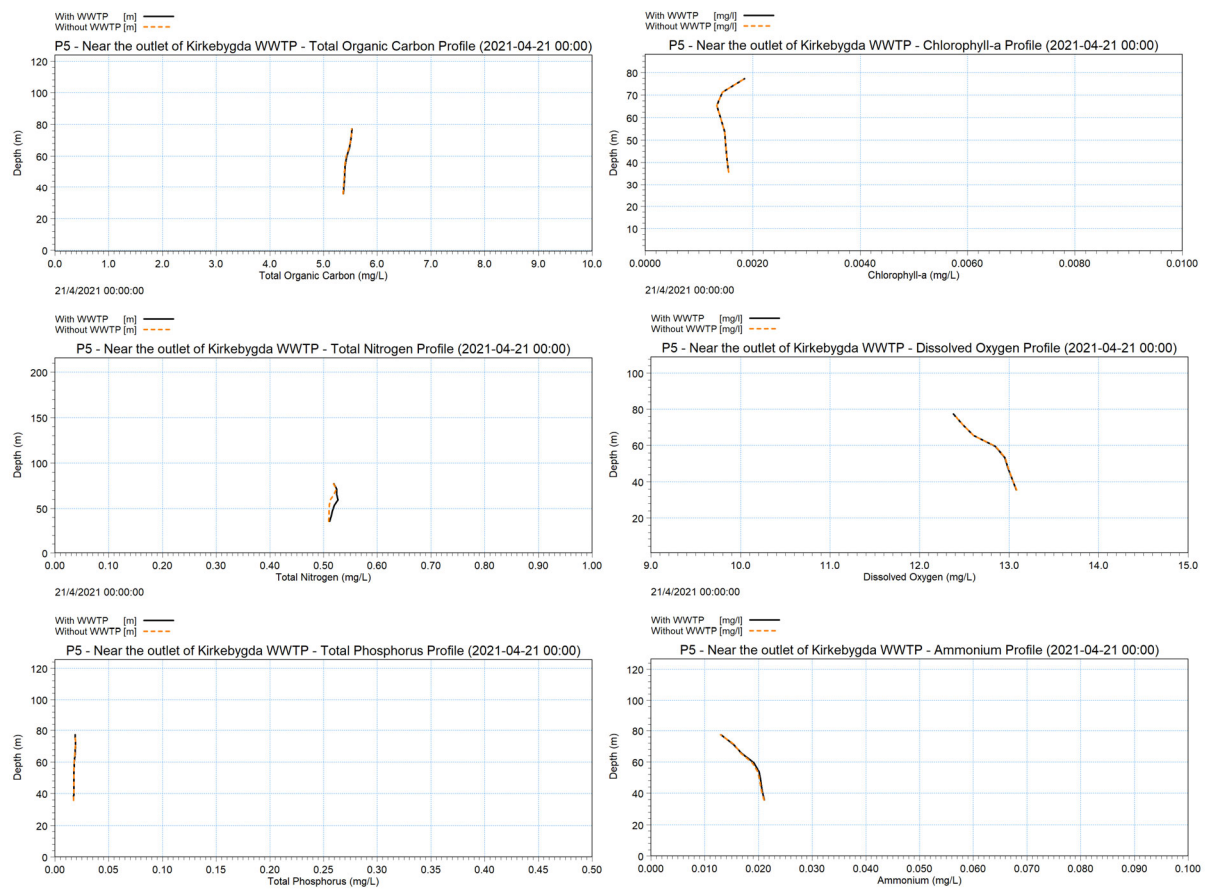
Figur 6-11: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 27.01.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## Mars 2021



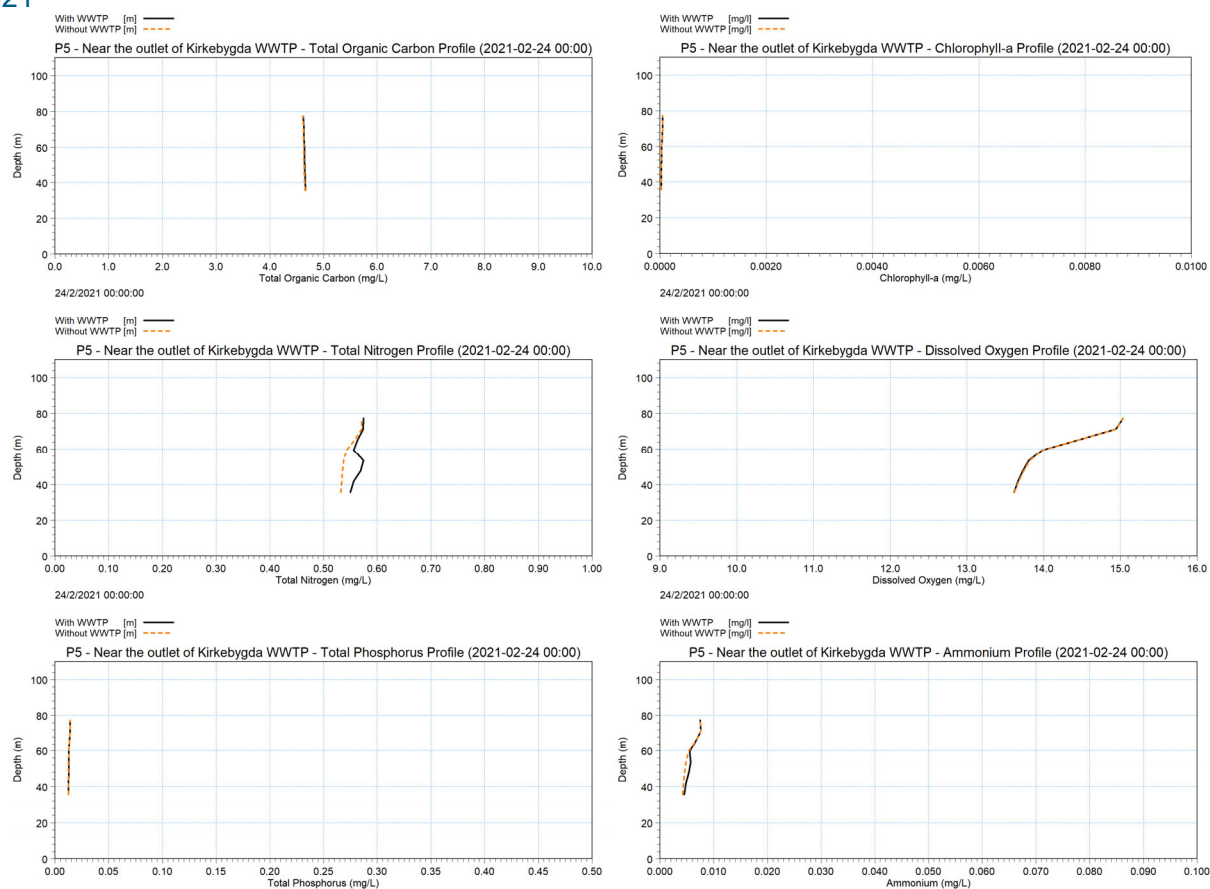
Figur 6-12: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 24.03.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

April 2021



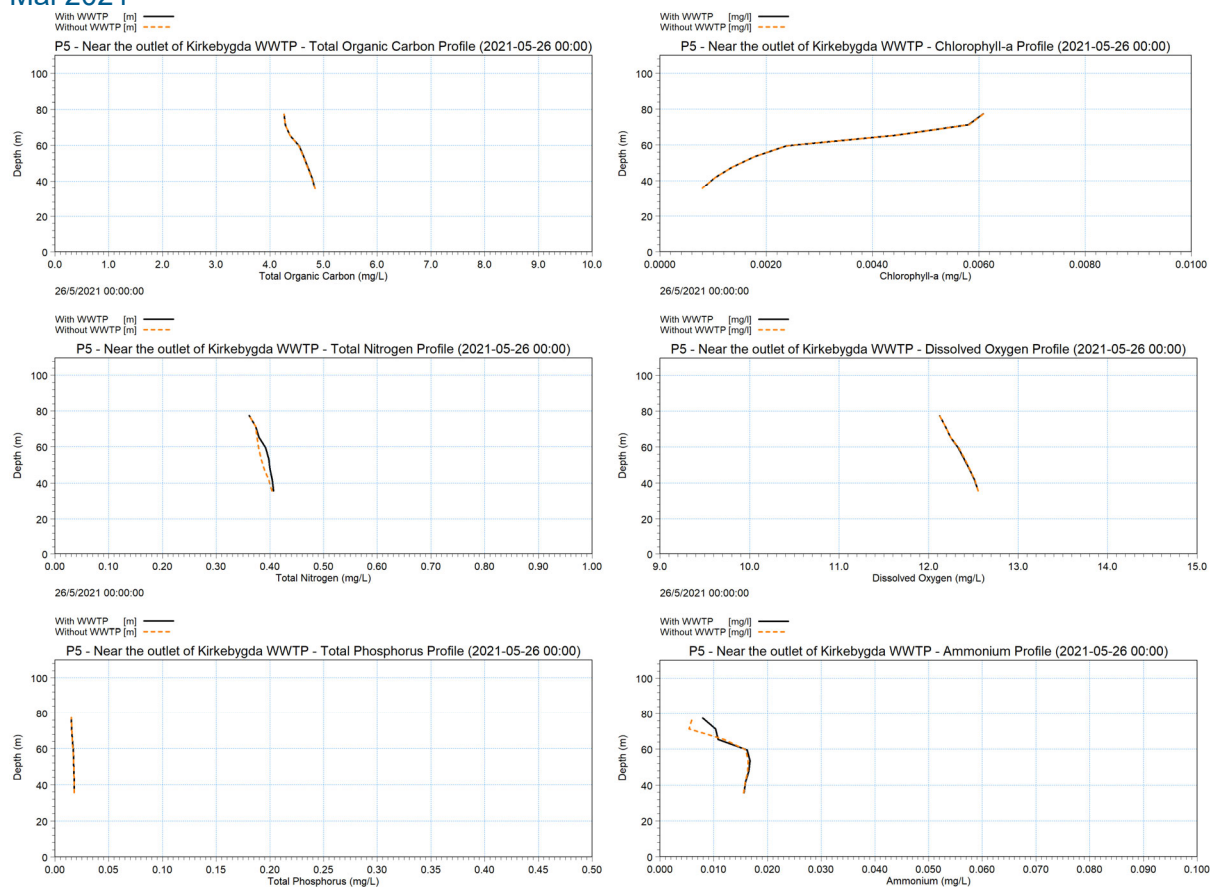
Figur 6-13: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 21.04.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

Februar 2021



Figur 6-14: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 24.02.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

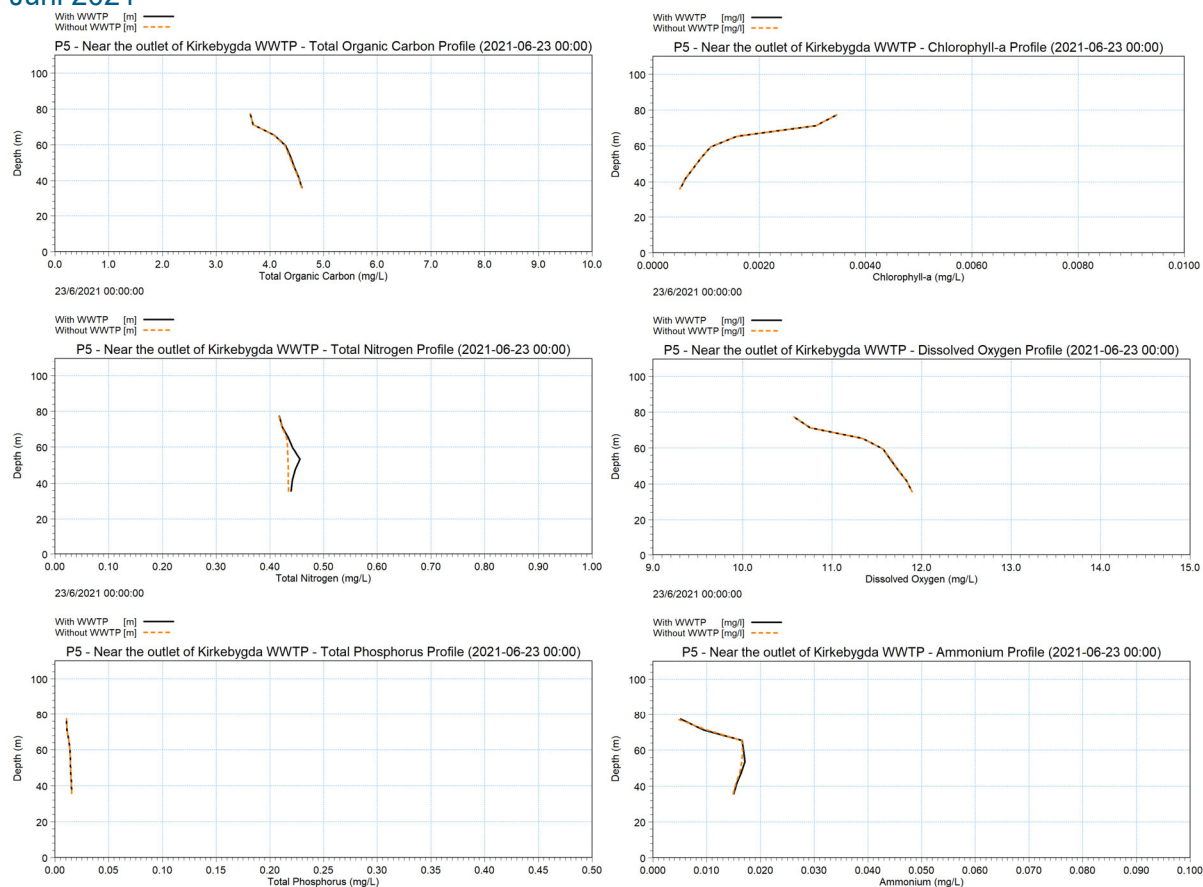
Mai 2021



Figur 6-15: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 26.05.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).



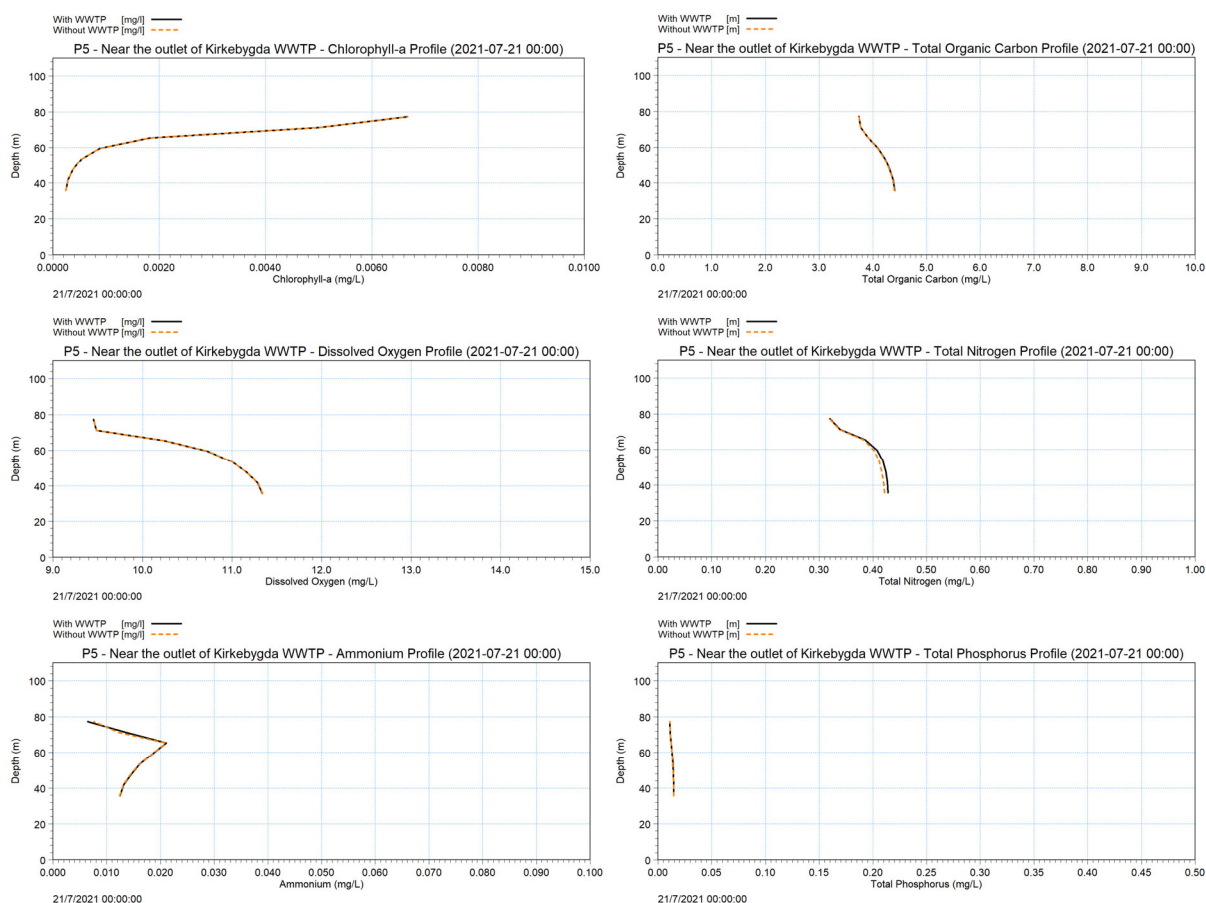
Juni 2021



Figur 6-16: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 23.06.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

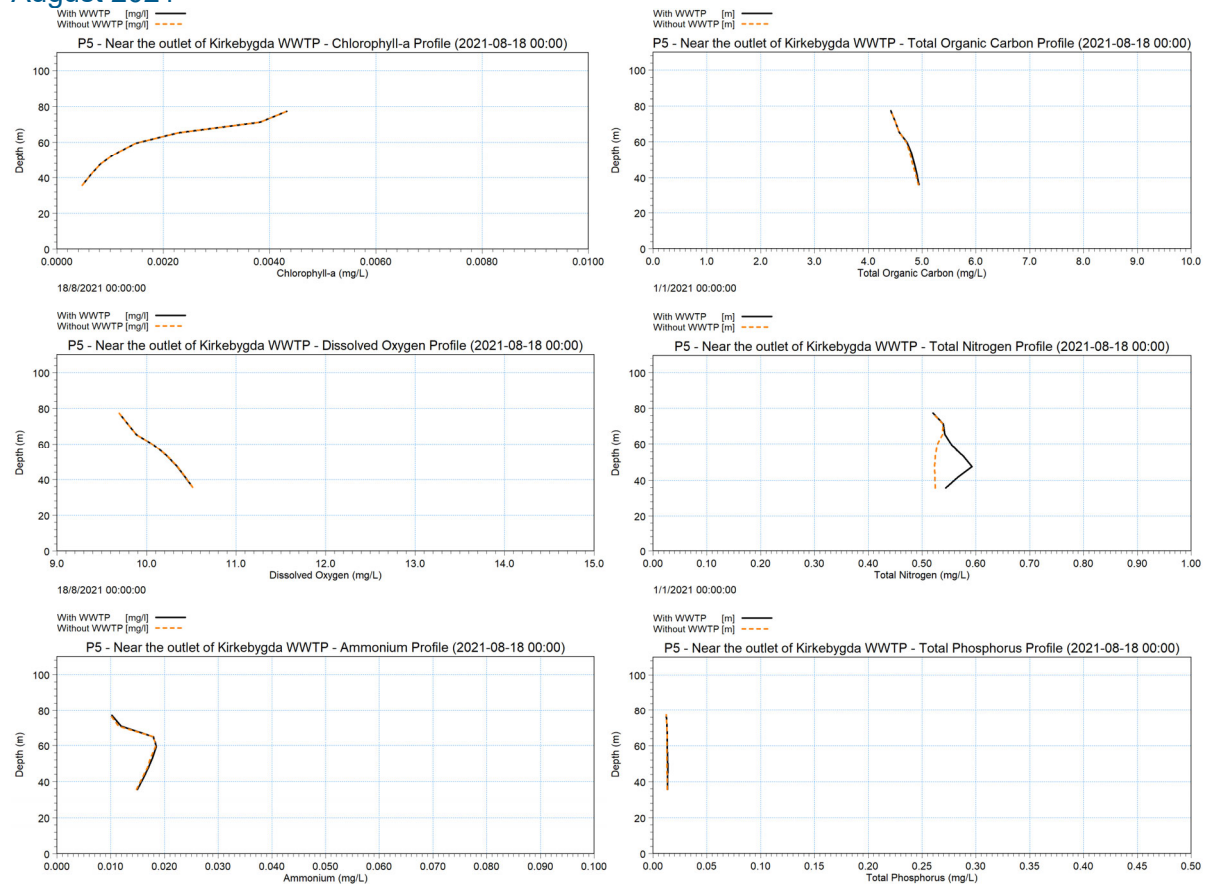


Juli 2021



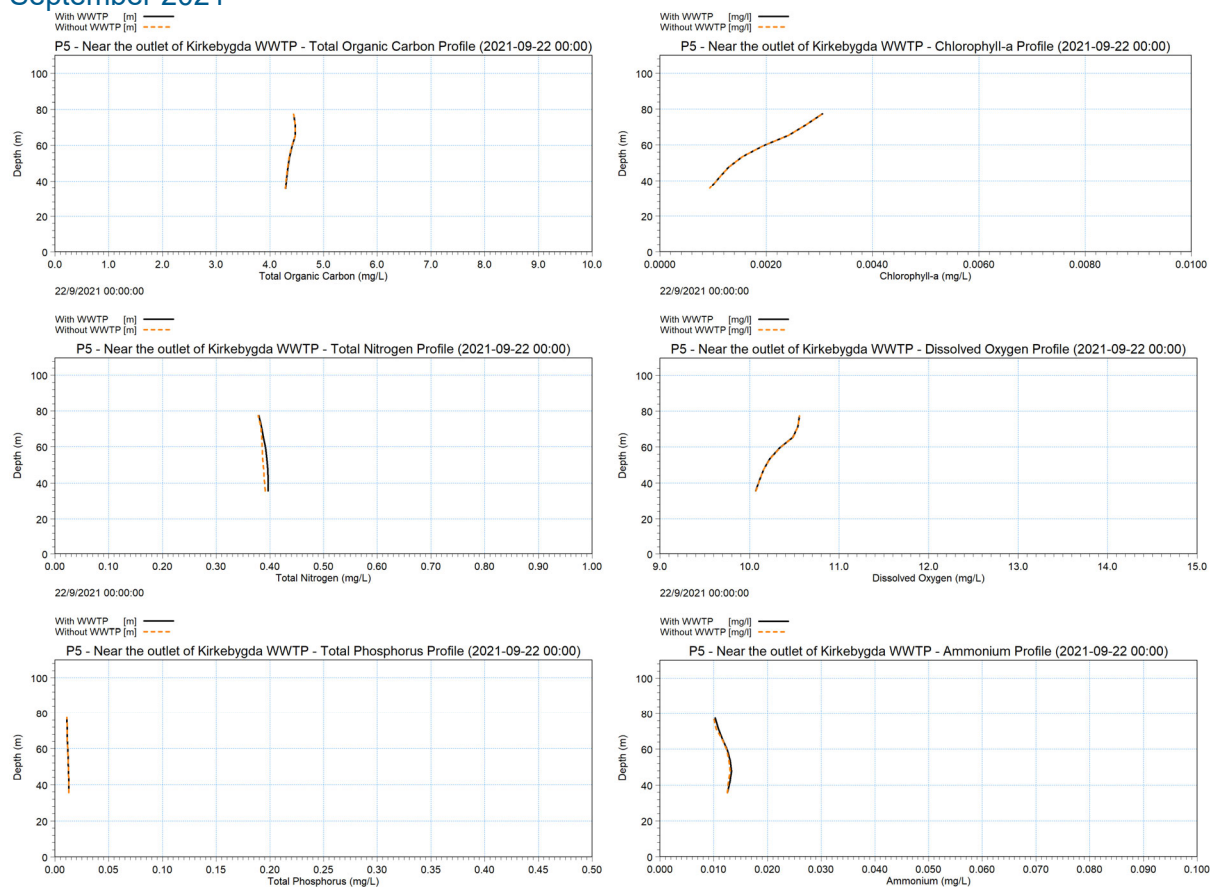
Figur 6-17: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 21.07.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## August 2021



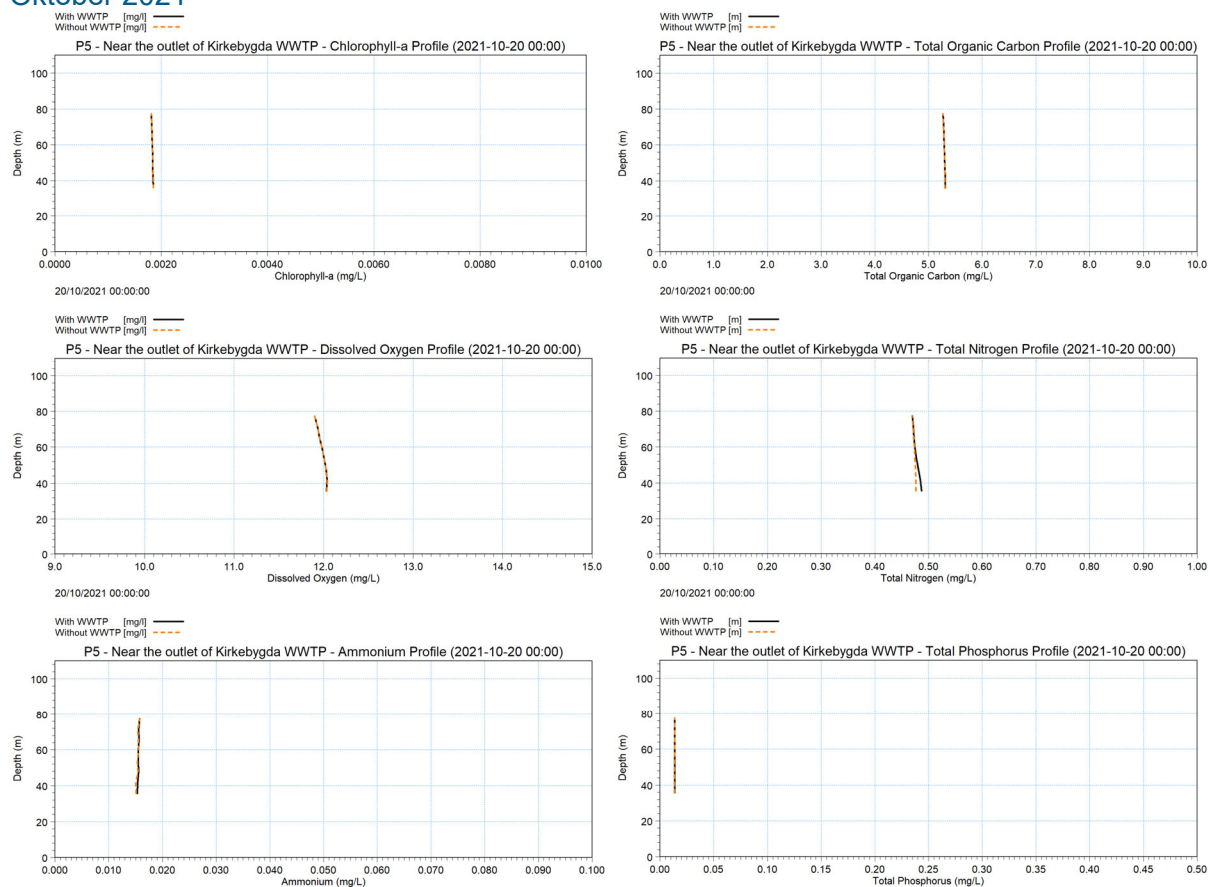
Figur 6-18: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 18.08.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## September 2021



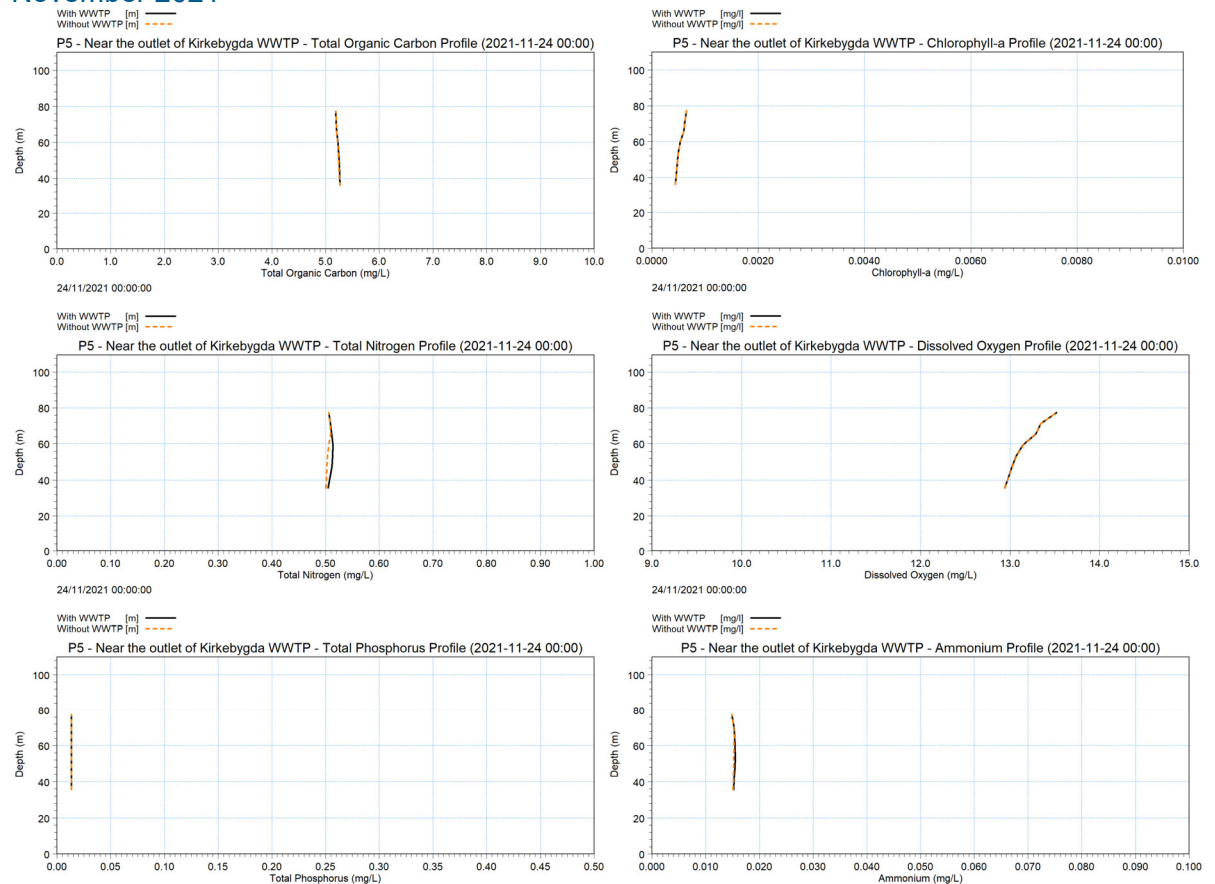
Figur 6-19: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 22.09.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

Oktober 2021



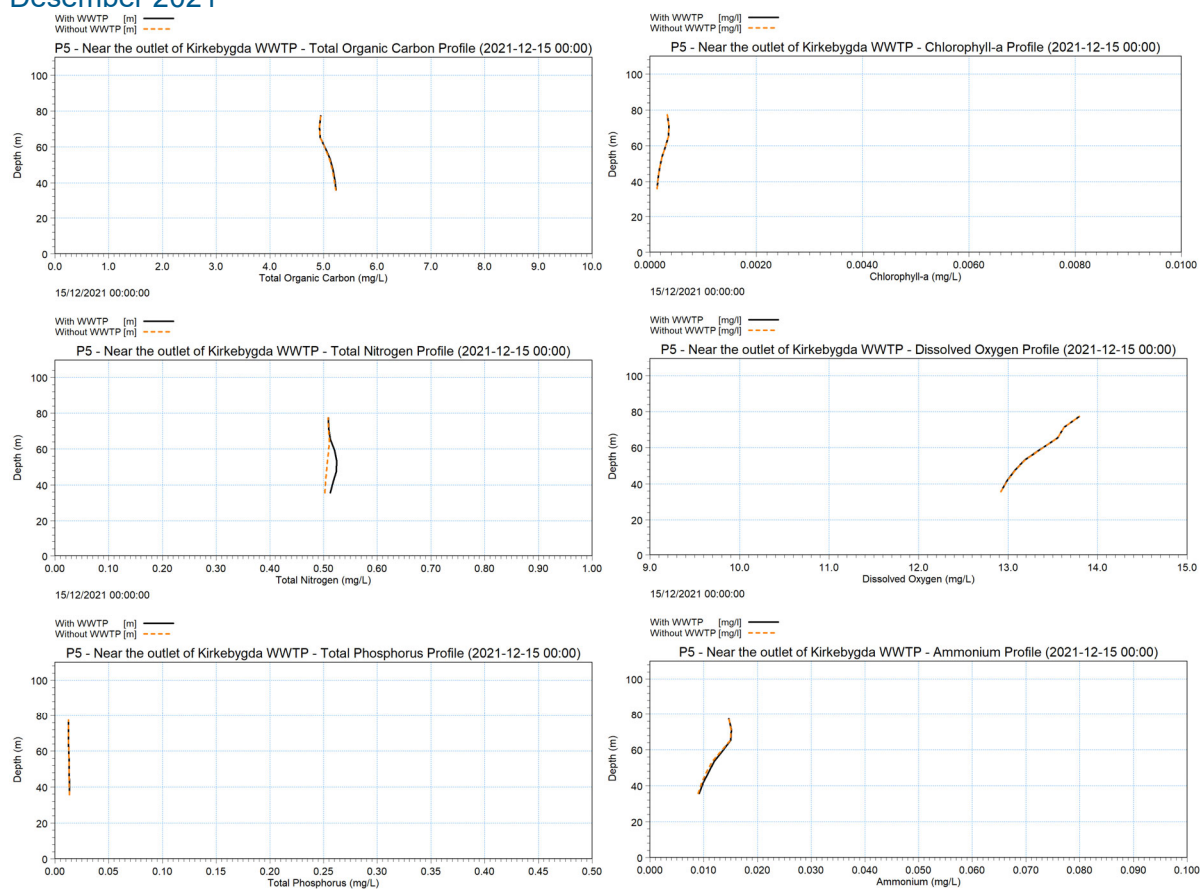
Figur 6-20: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 20.10.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## November 2021



Figur 6-21: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 24.11.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## Desember 2021

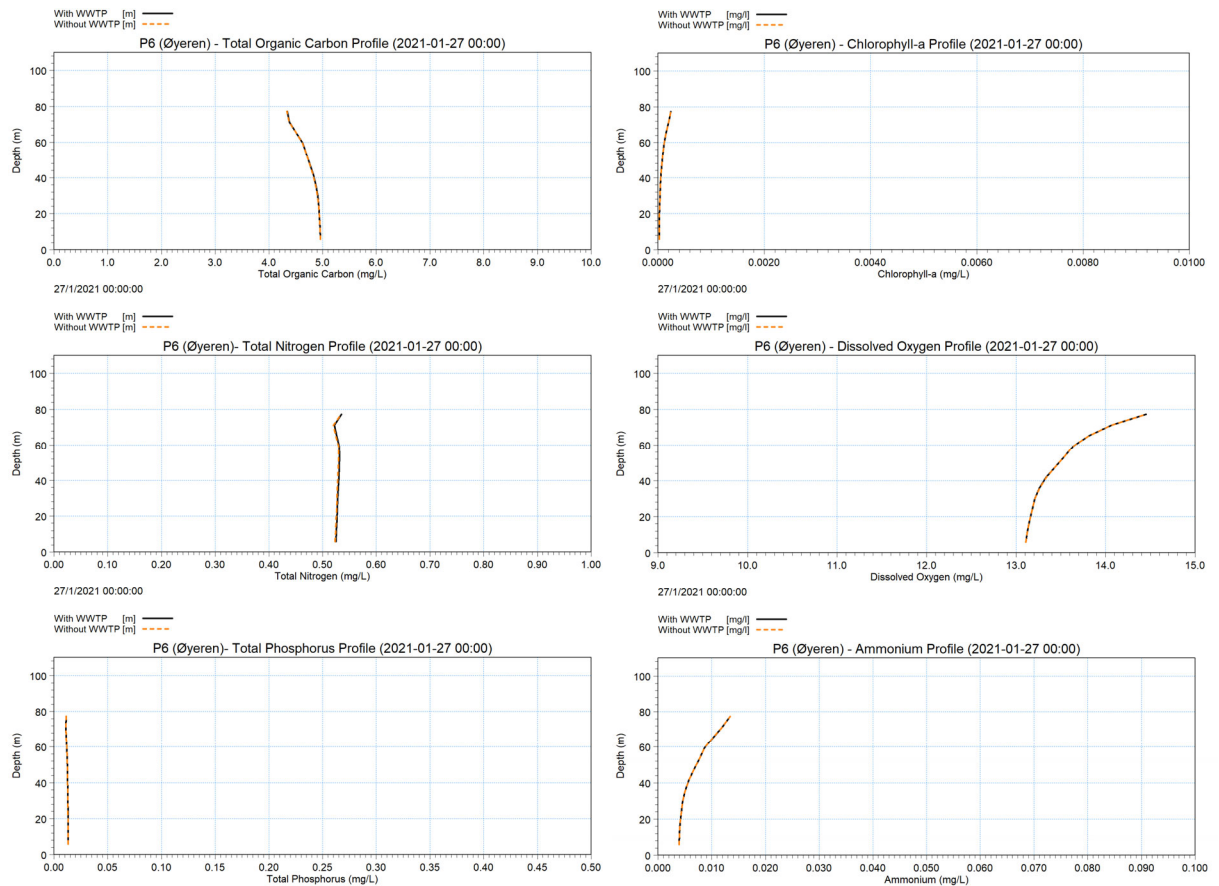


Figur 6-22: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P5 nær utløpet av Kirkebygda sentralrenseanlegg den 15.12.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).



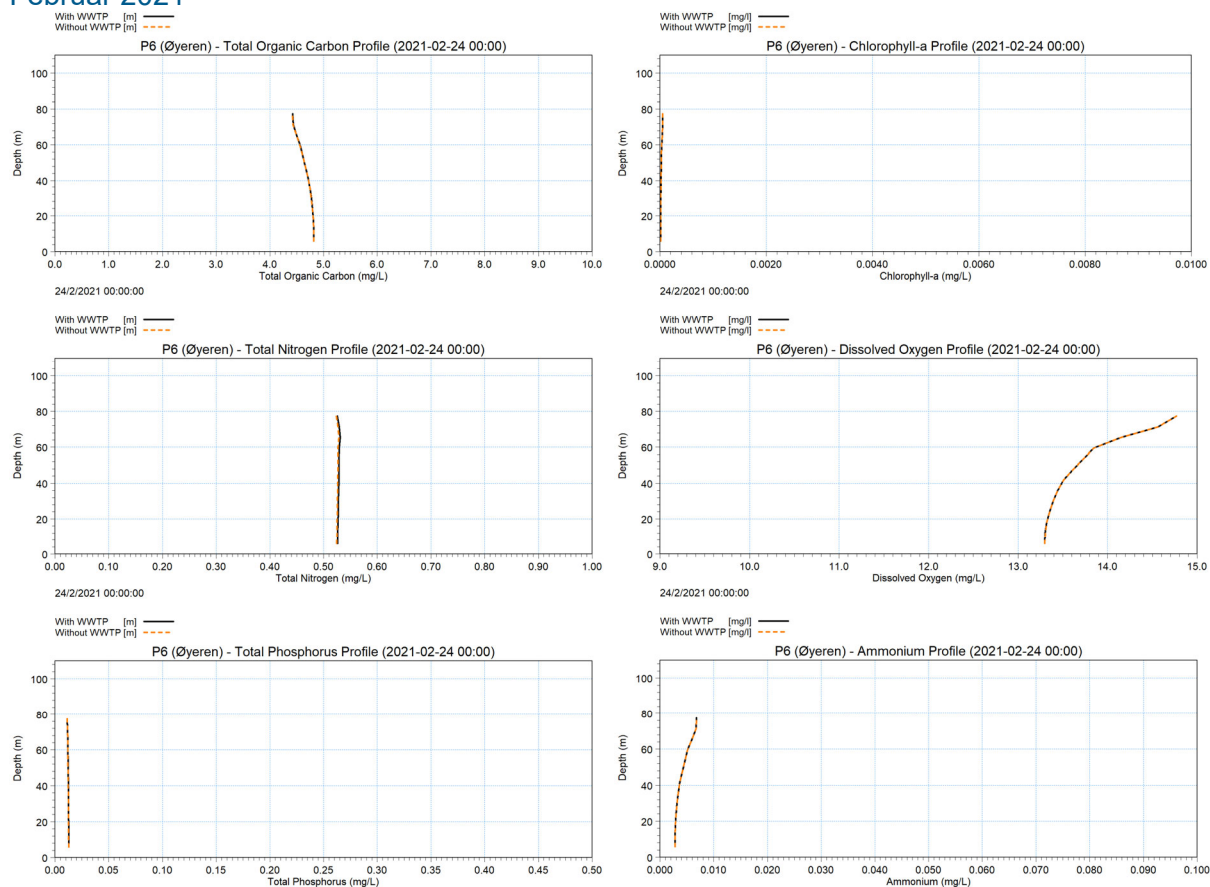
## D.4.2 Vertikalprofil P6 – P-ØSØY1 Øyeren

Januar 2021



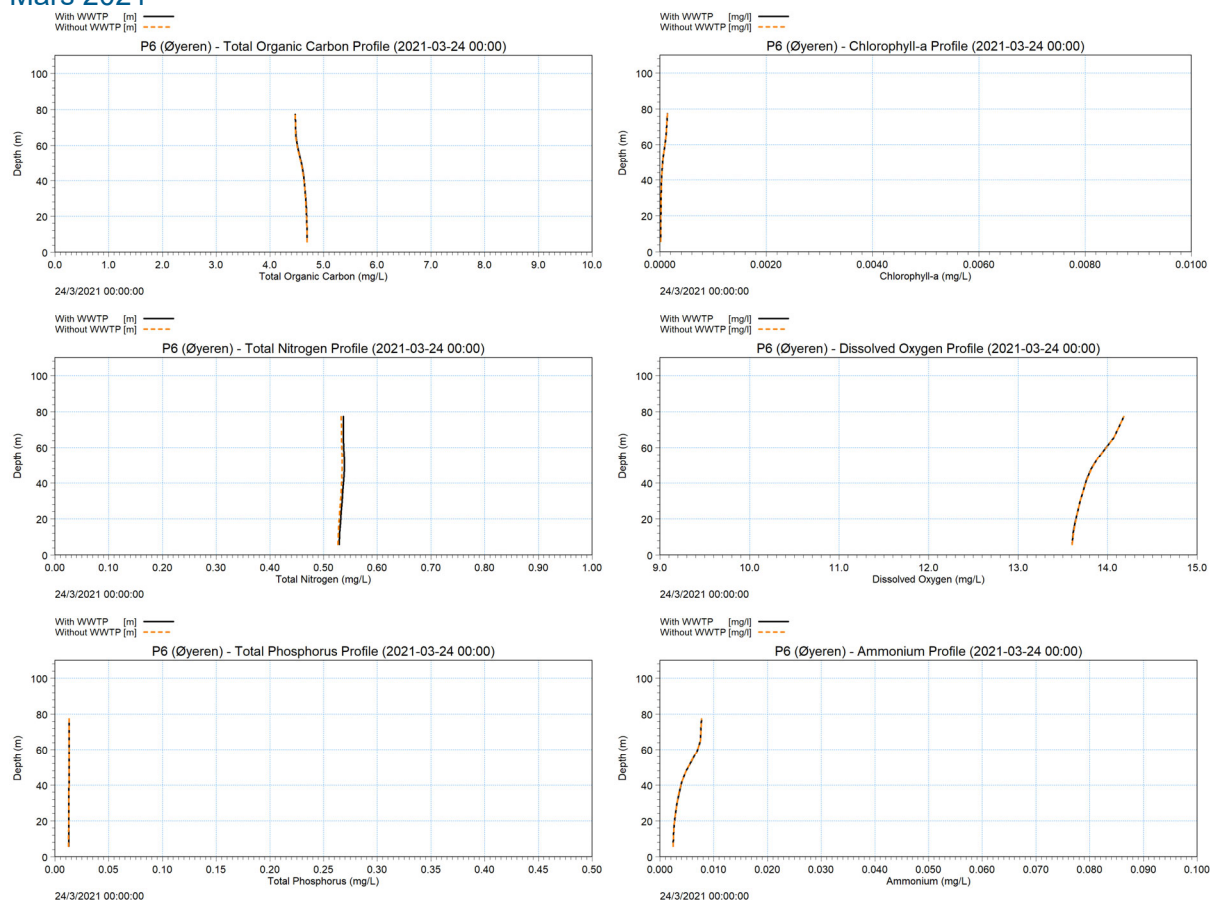
Figur 6-23: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 27.01.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).



**Februar 2021**


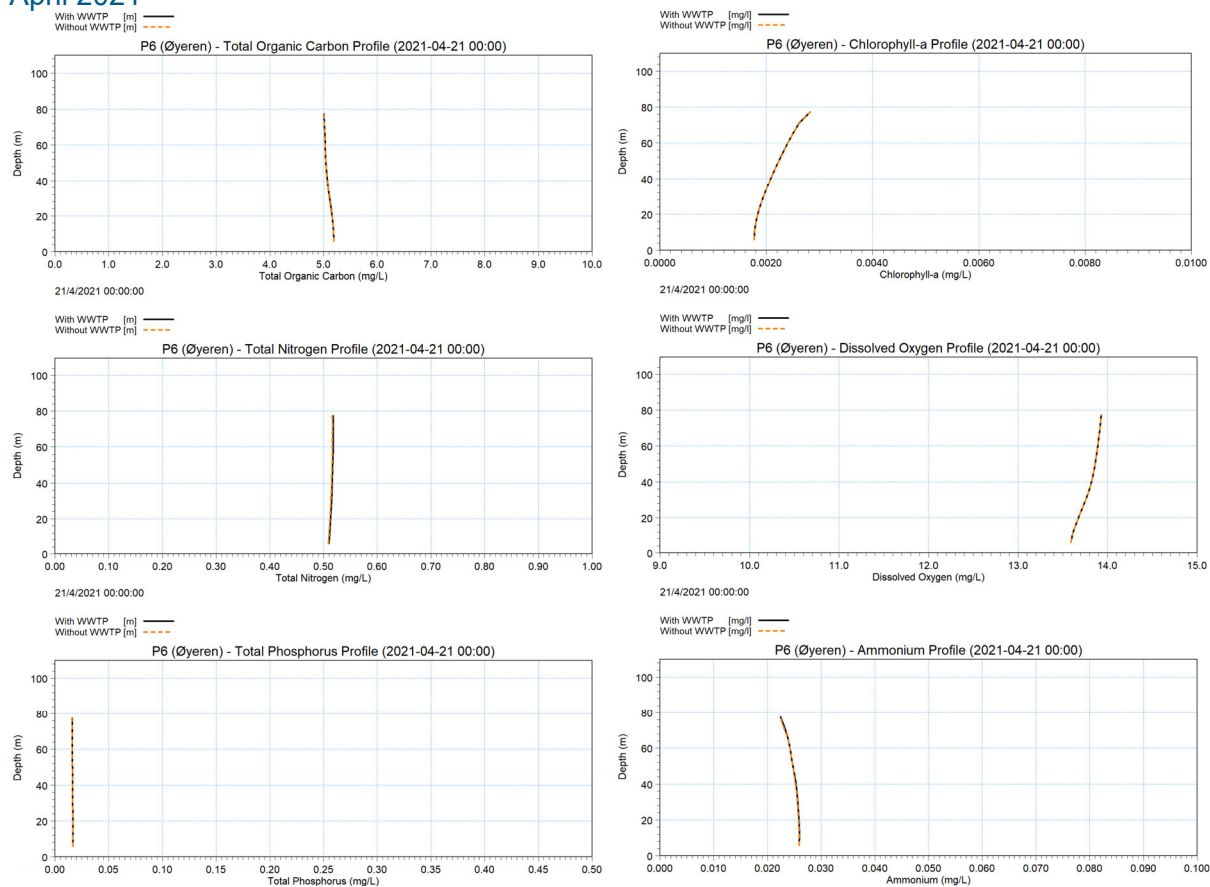
Figur 6-24: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 24.02.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## Mars 2021



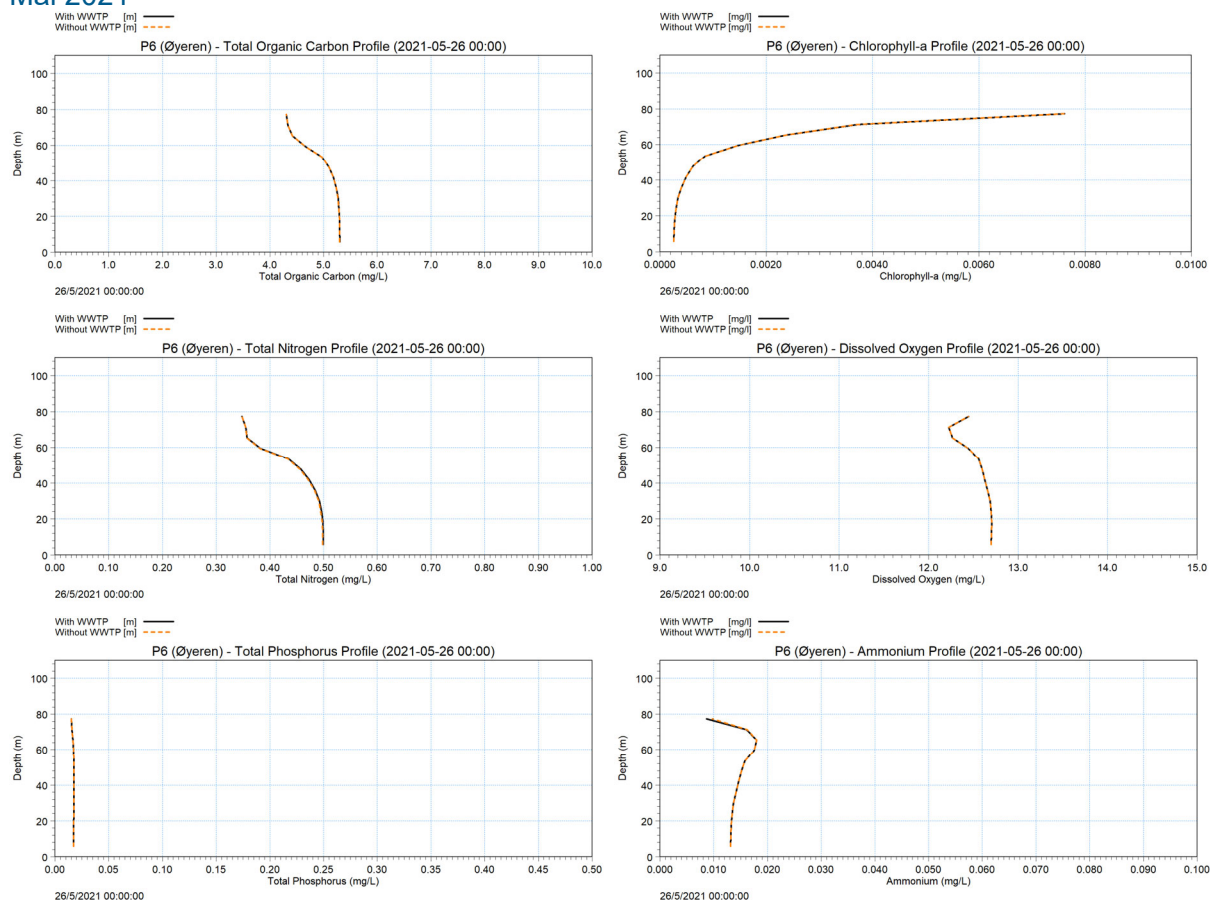
Figur 6-25: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 24.03.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

April 2021



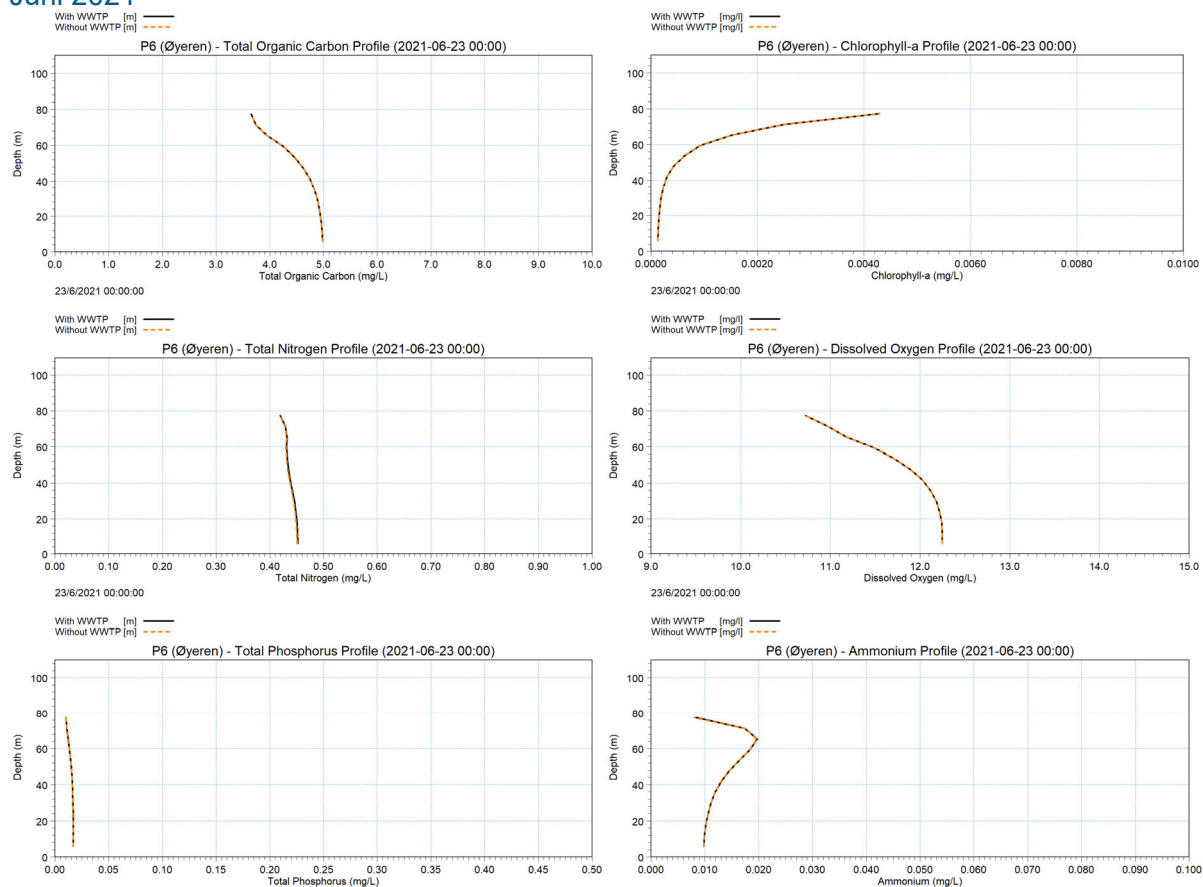
Figur 6-26: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 21.04.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

Mai 2021



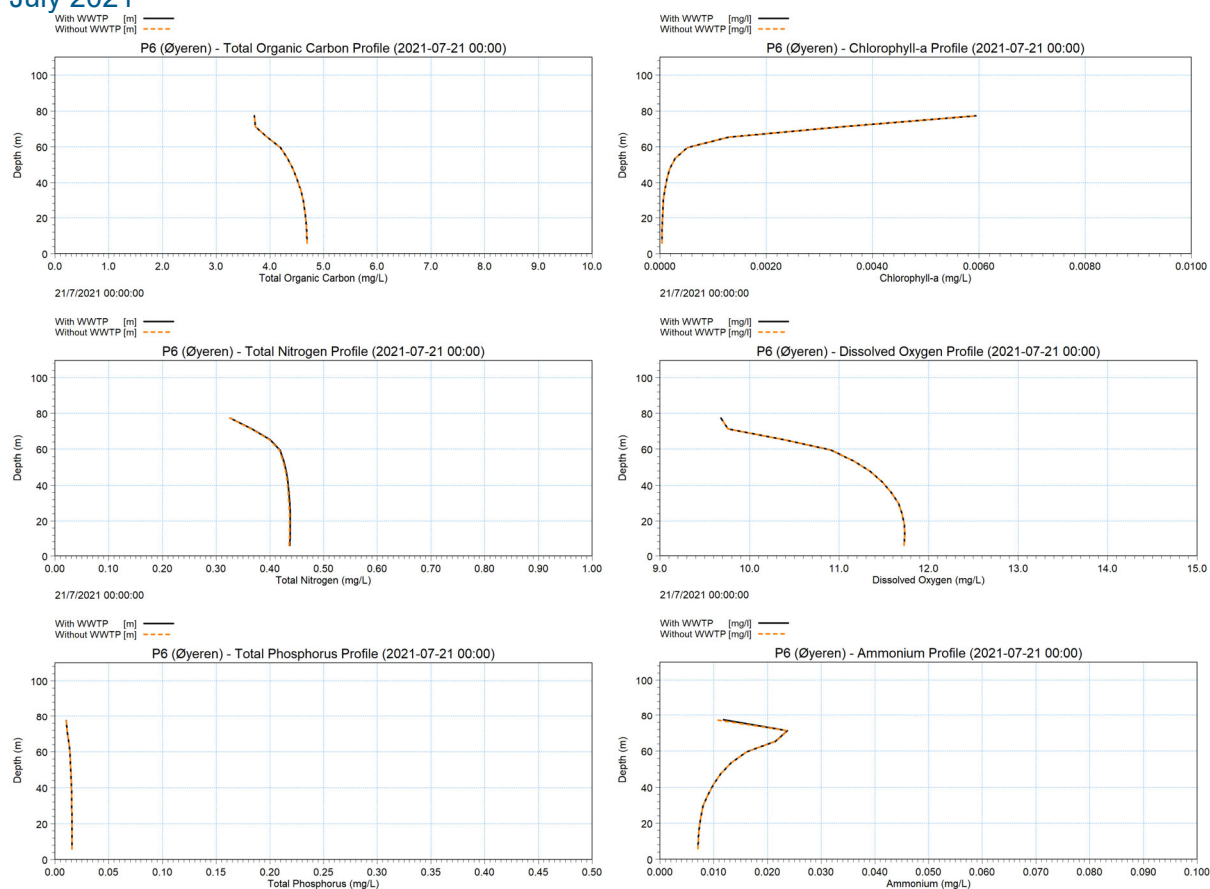
Figur 6-27: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 26.05.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

Juni 2021



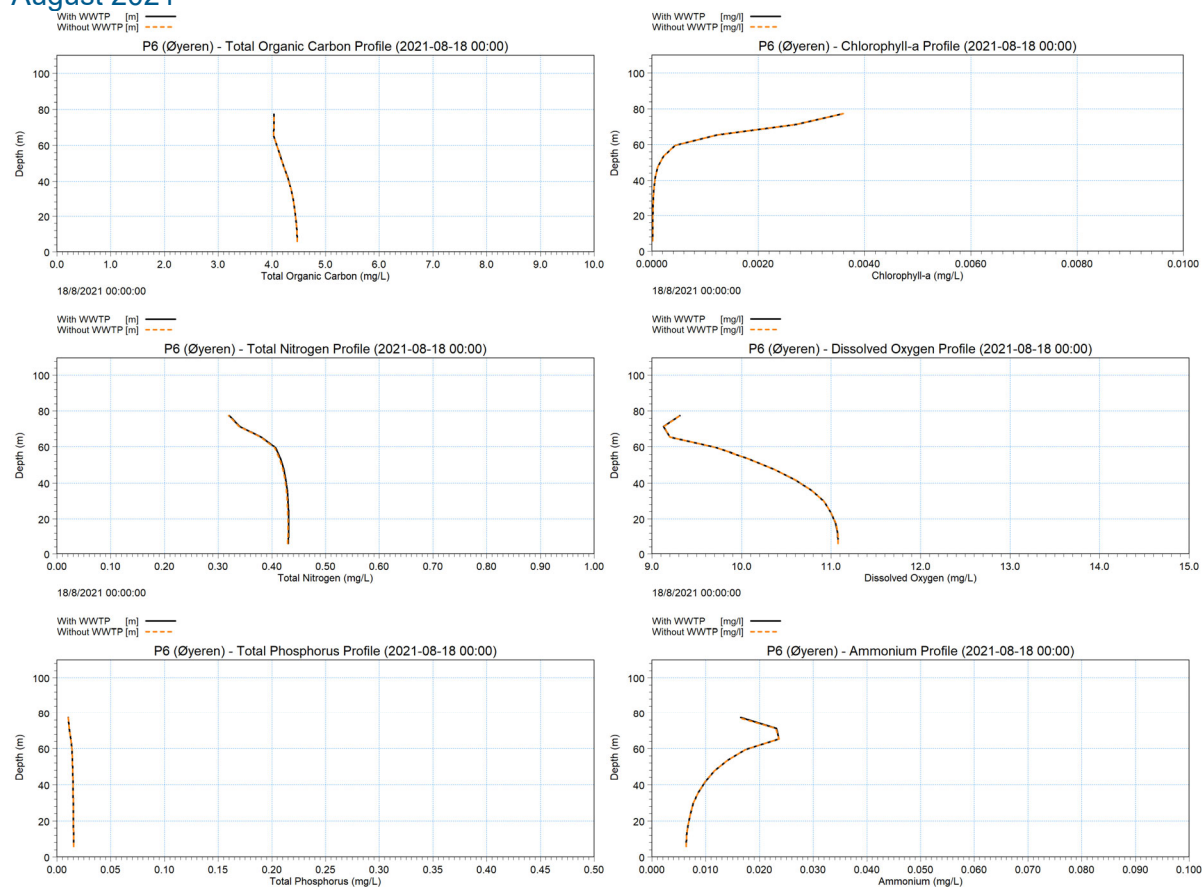
Figur 6-28: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 23.06.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

July 2021



Figur 6-29: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 21.07.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

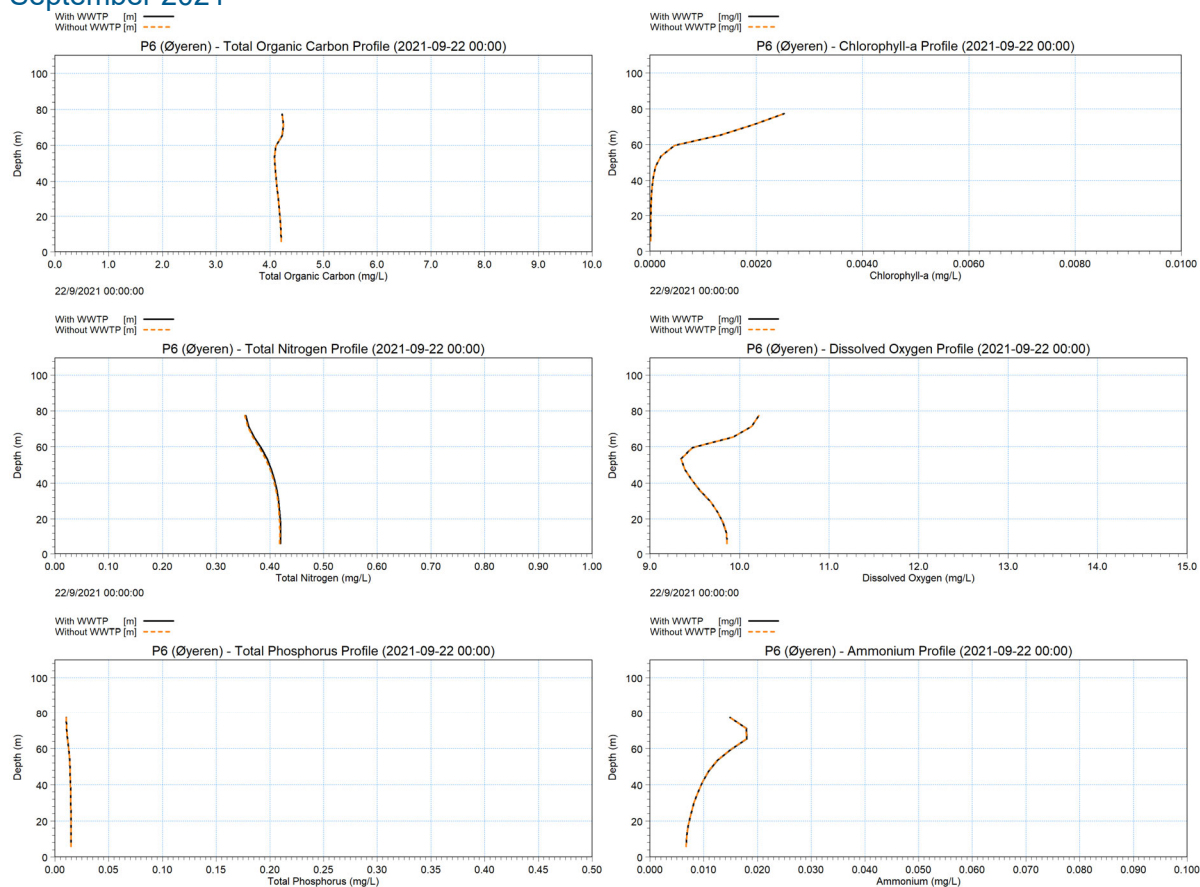
August 2021



Figur 6-30: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 18.08.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

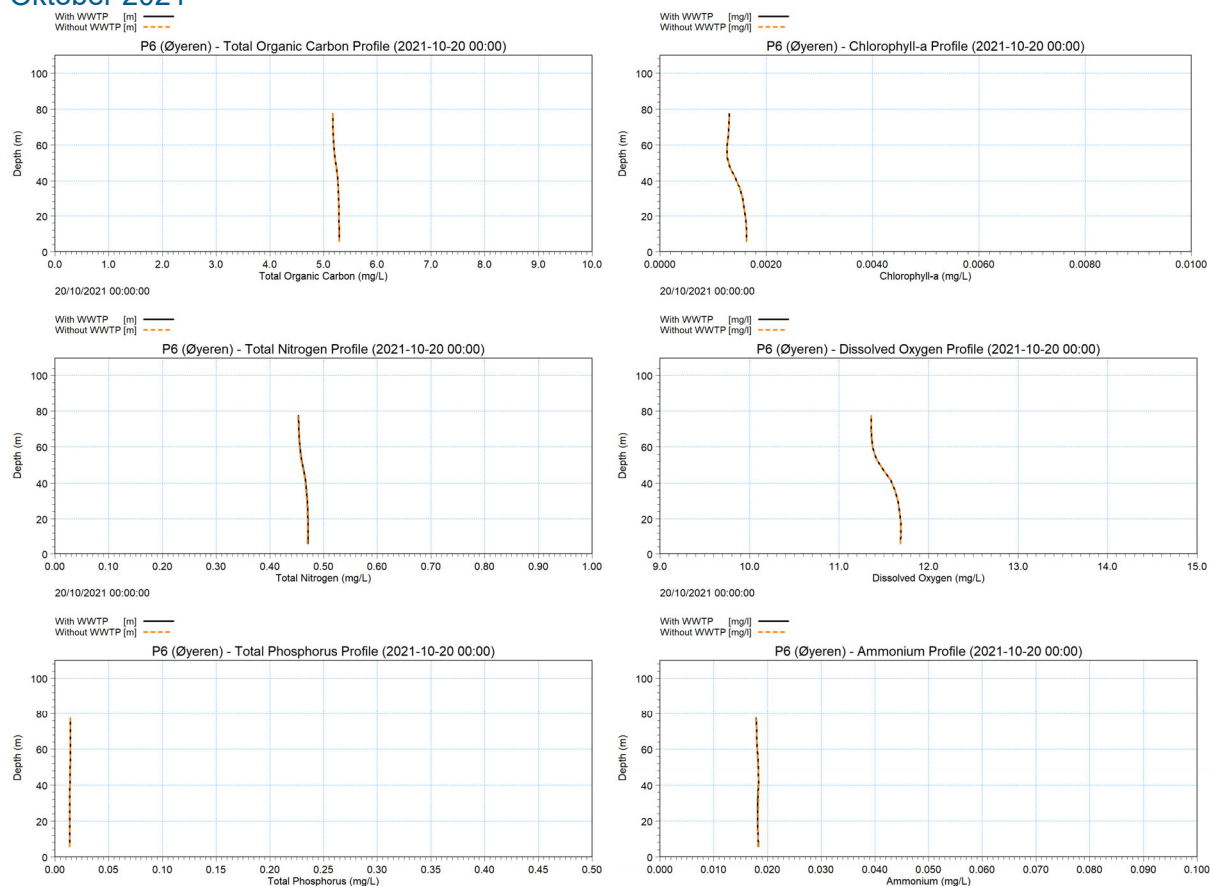


September 2021



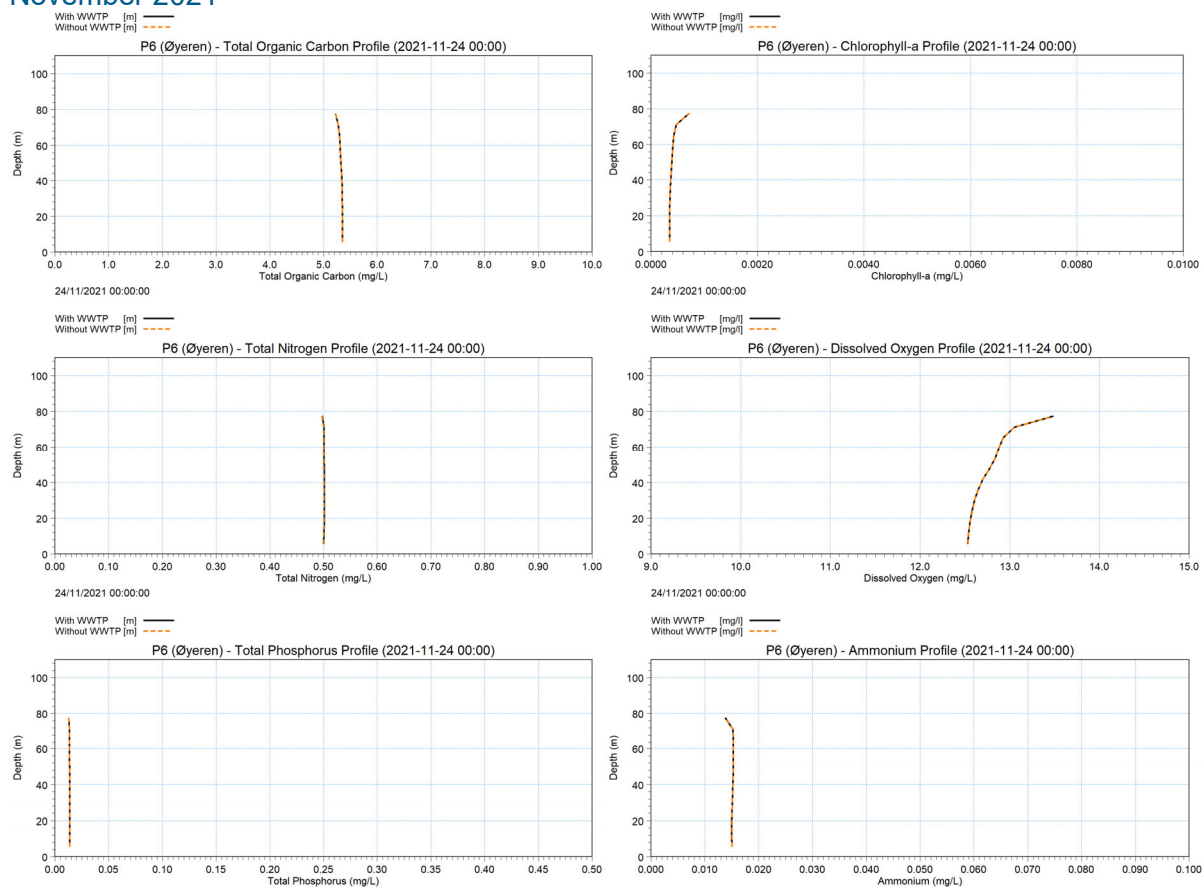
Figur 6-31: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 22.09.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

Oktober 2021



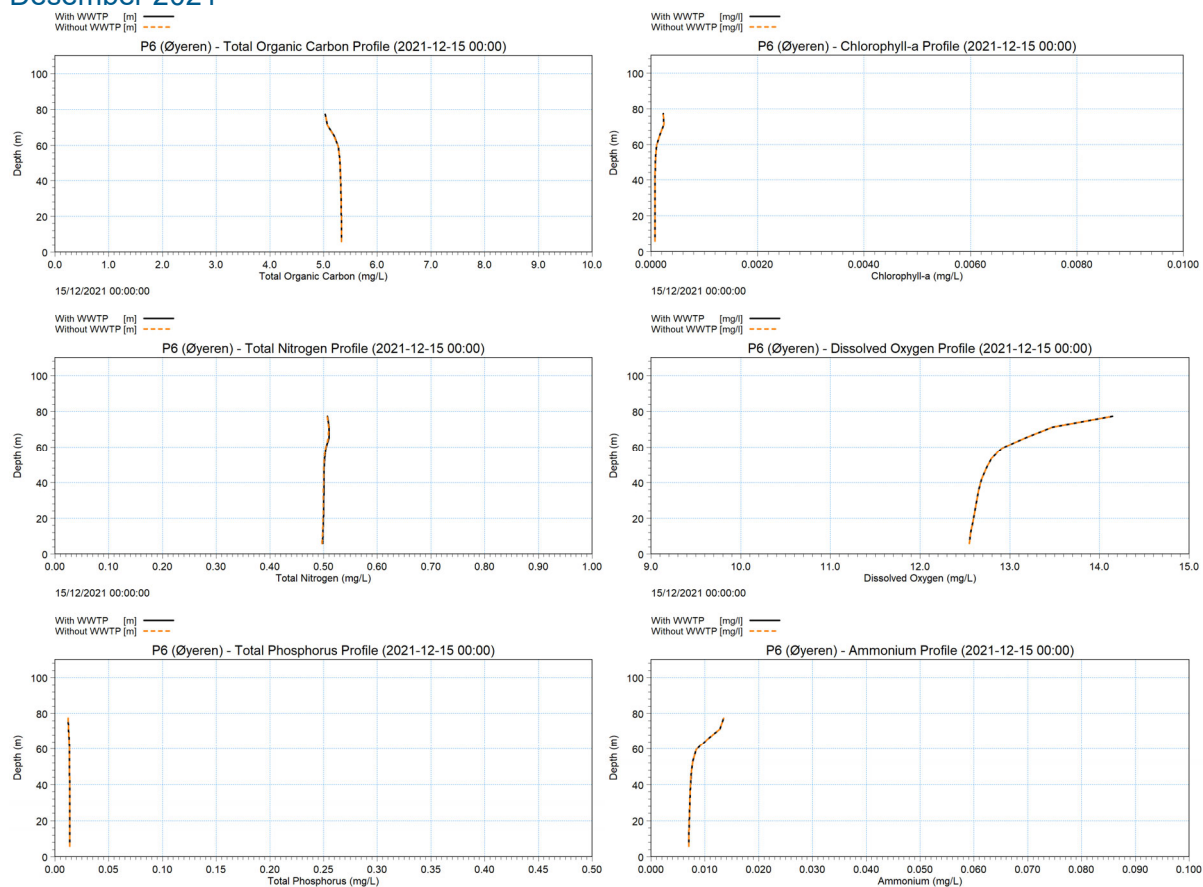
Figur 6-32: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 20.10.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## November 2021



Figur 6-33: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 24.11.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## Desember 2021



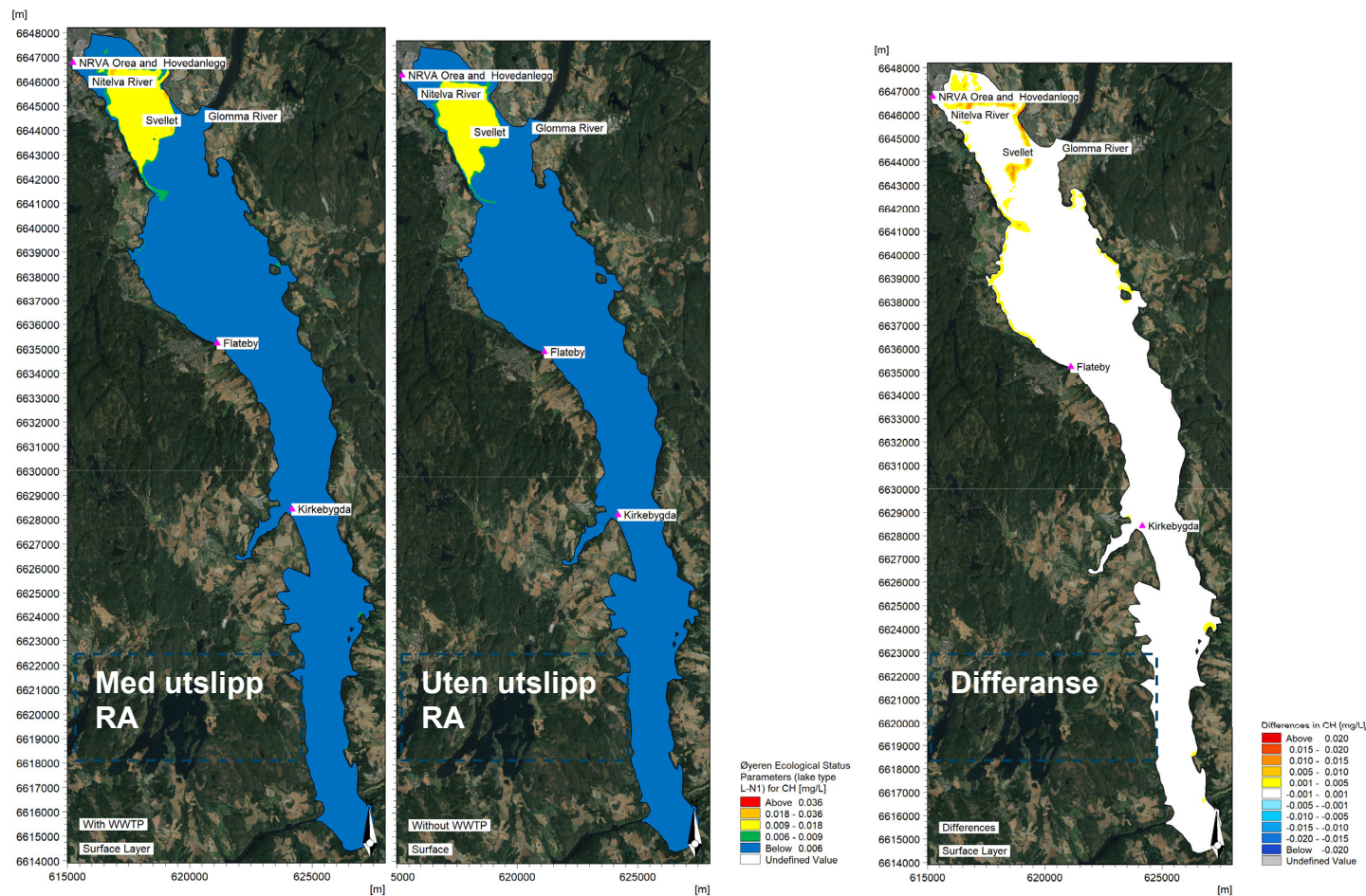
Figur 6-34: TOC (topp venstre), Tot-N (midten venstre), Tot-P (bunn venstre), klorofyll a (topp høyre), oksygen bunnvann (midten høyre) og ammonium (bunn høyre) ved P-ØSØY1 Øyeren den 15.12.2021 00:00. Y-aksen viser dybden (~78 m tilsvarer overflaten).

## D.5 Øyeren 2D-kart

Basert på resutlater fra simuleringer med den 3-dimensjonale vannkvalitetsmodellen av Øyeren er det laget 2D-kart som viser variasjonen av konsentrasjonen til ulike parametere i horisontalplanet. Kartene viser ulike statistiske tall for perio ulike parametere iht. . Det er laget kart basert på simuleringer med og uten utslipp fra renseanleggene og differansekart. Kartene viser konsentrasjonene både i overflaten og bunnen av Øyeren.



D.5.1 Klorofyll a – middelverdi i overflaten 2017-2022



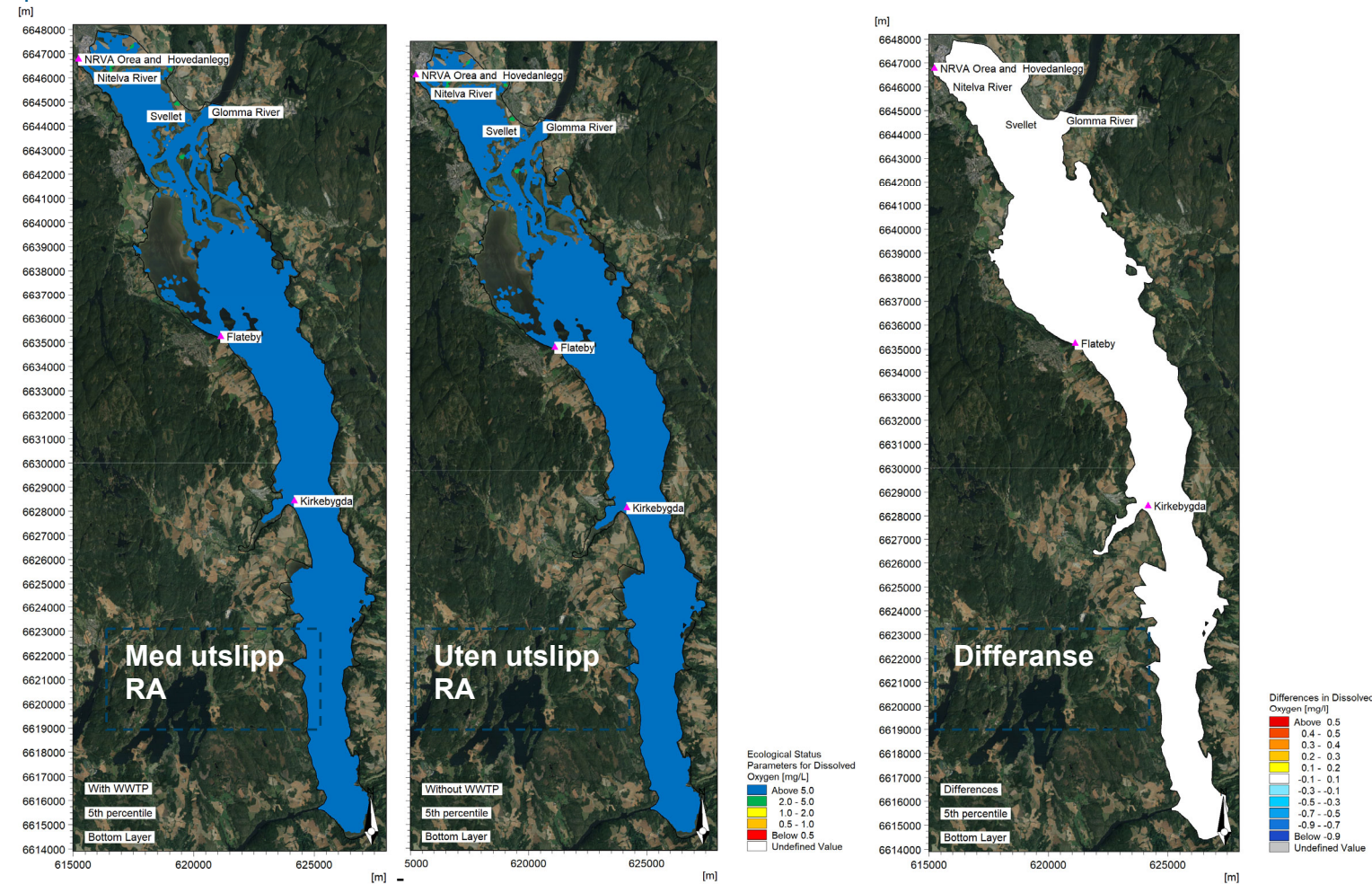
|               |           |                           |                                |                              |                             |
|---------------|-----------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Chlorophyll-a | Svært god | God<br>0.006 – 0.009 mg/L | Moderat<br>0.009 – 0.0018 mg/L | Dårlig<br>0.018 – 0.036 mg/L | Svært dårlig<br>>0.036 mg/L |
|---------------|-----------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|





D.5.2 Oksygen bunnvann 5- og 50-persentil 2017-2022

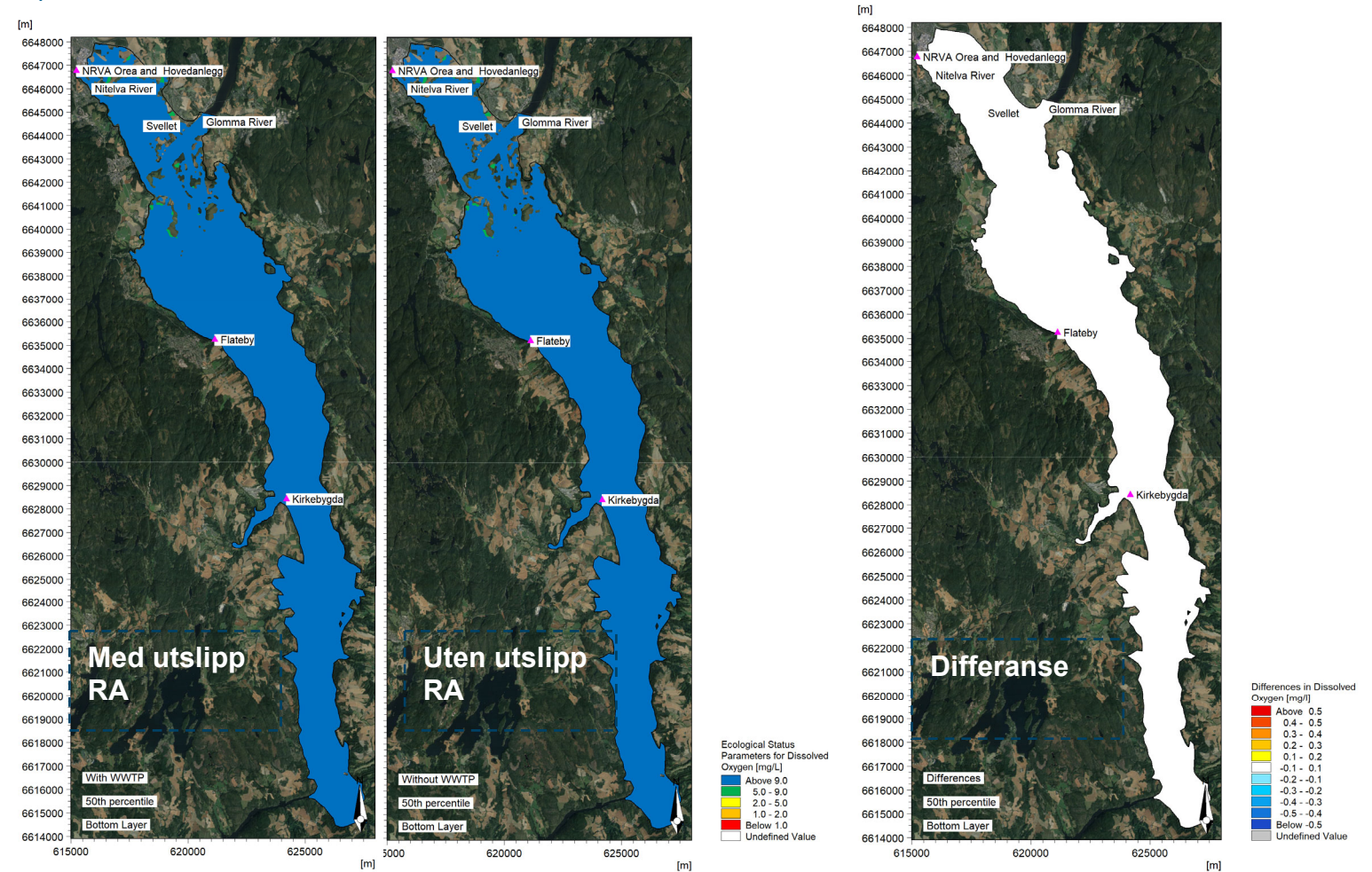
5-persentil



|                                                                   |                      |                 |                     |                        |                           |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| Oksygen bunnvann elver og innsjø type<br>L107 og R109 5-persentil | Svært god<br>>5 mg/L | God<br>2-5 mg/L | Moderat<br>1-2 mg/L | Dårlig<br>0.5 – 1 mg/L | Svært dårlig<br><0.5 mg/L |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|------------------------|---------------------------|



50-persentil



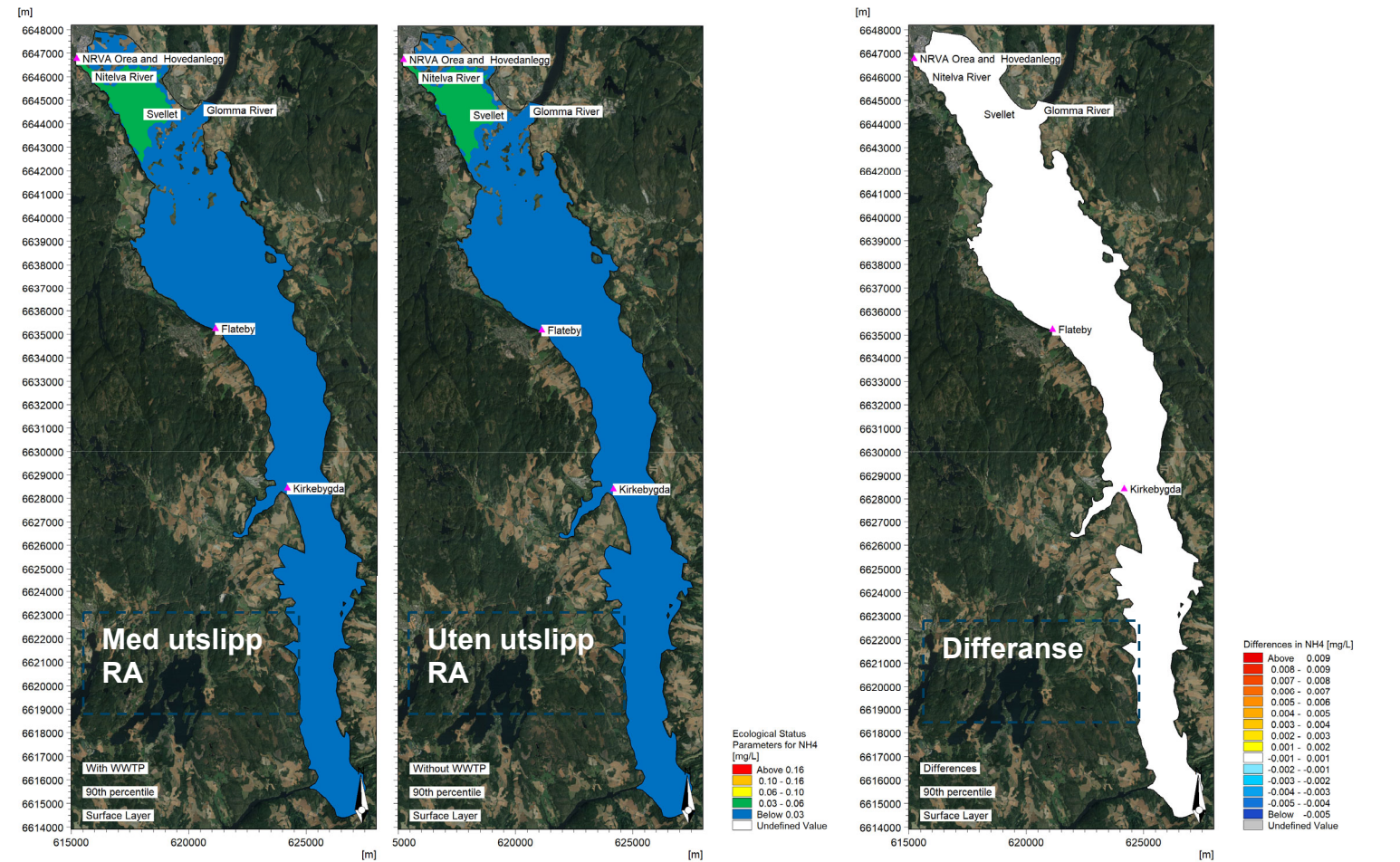
|                                                                    |                      |                 |                     |                      |                         |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Oksygen bunnvann elver og innsjø type<br>L107 og R109 50-persentil | Svært god<br>>9 mg/L | God<br>5-9 mg/L | Moderat<br>2-5 mg/L | Dårlig<br>1 – 2 mg/L | Svært dårlig<br><1 mg/L |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------------------|





D.5.3 Ammoniakk og ammonium 90-persentil 2017-2022

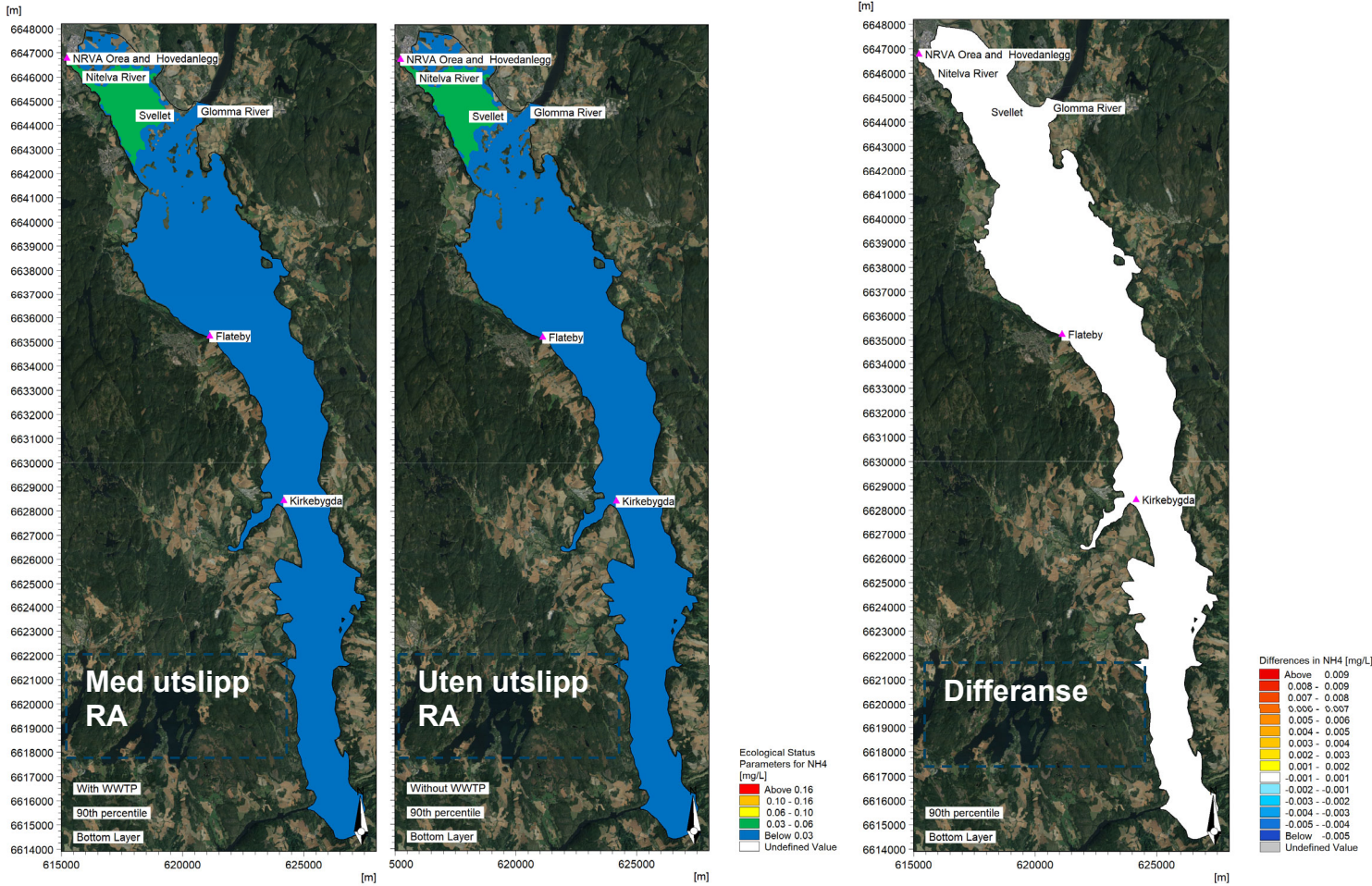
Overflaten



|                                               |                        |                       |                           |                           |                            |
|-----------------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| NH3+NH4 (alle elver og innsjøer) 90-persentil | Svært god<br>0.03 mg/L | God<br>0.03-0.06 mg/L | Moderat<br>0.06 -0.1 mg/L | Dårlig<br>0.1 – 0.16 mg/L | Svært dårlig<br>>0.16 mg/L |
|-----------------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|



Bunnlaget

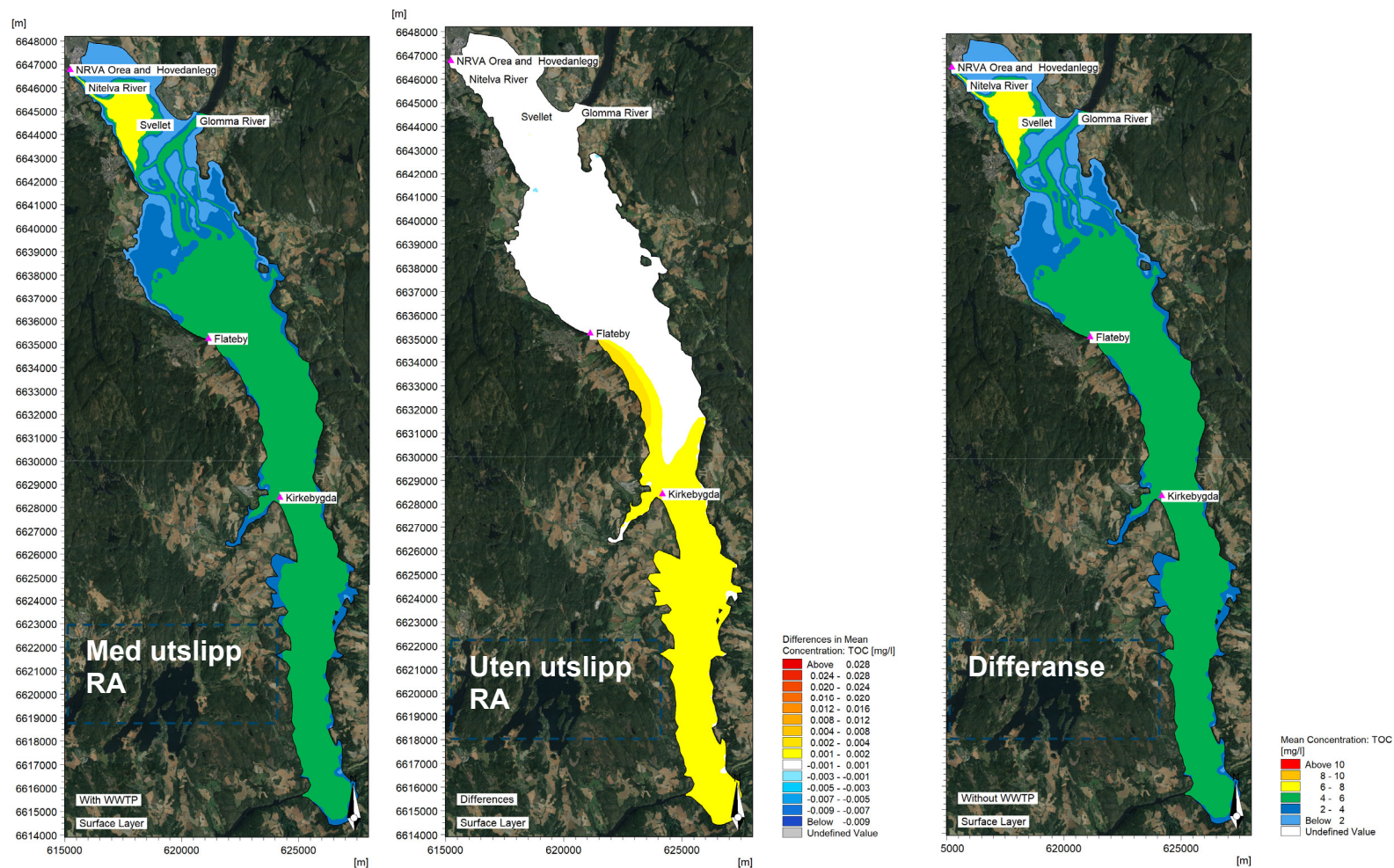


|                                                |                        |                       |                           |                           |                            |
|------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| NH3+NH4 (alle elver og innsjøer) 90-percentile | Svært god<br>0.03 mg/L | God<br>0.03-0.06 mg/L | Moderat<br>0.06 -0.1 mg/L | Dårlig<br>0.1 – 0.16 mg/L | Svært dårlig<br>>0.16 mg/L |
|------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|



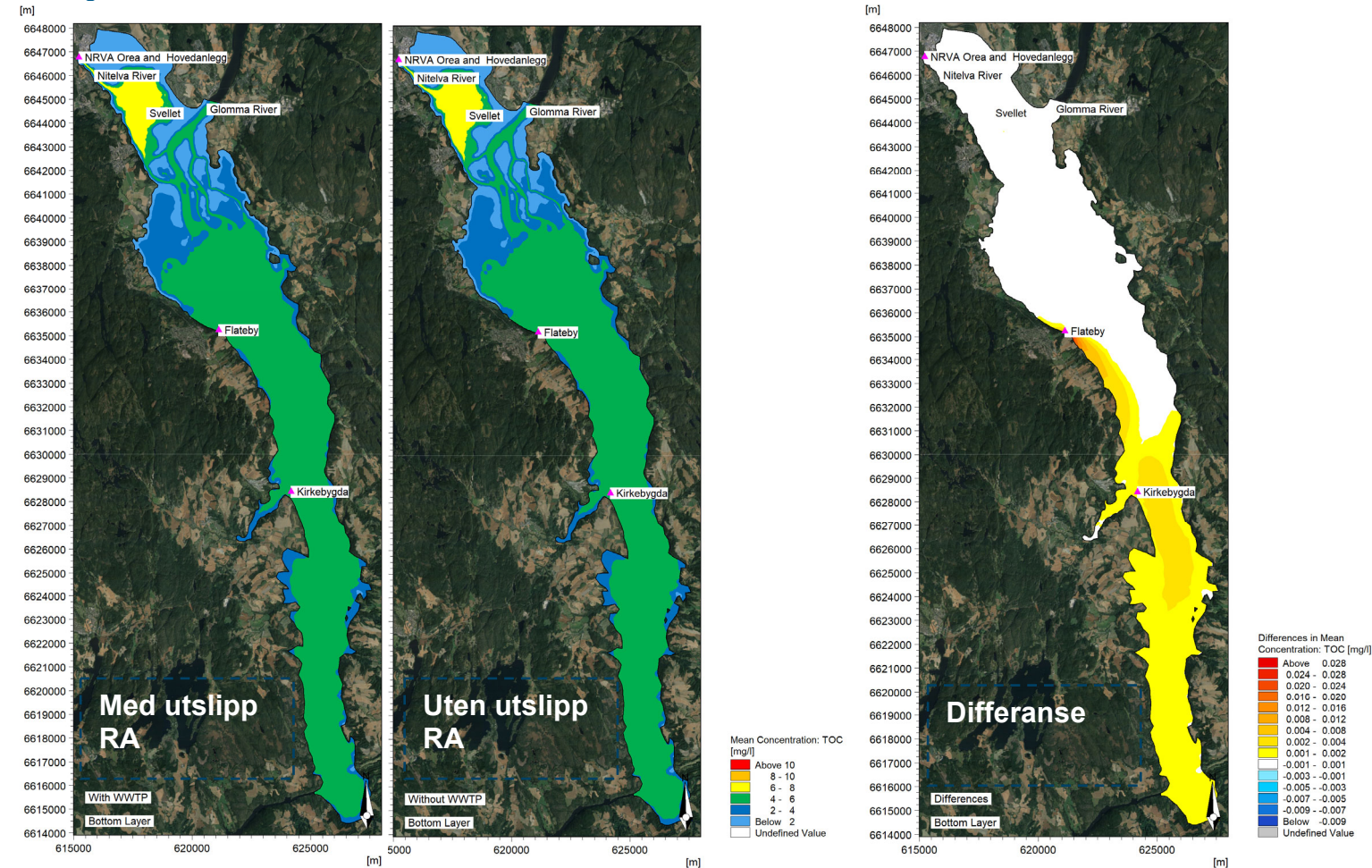
## D.5.4 Totalt organisk karbon – middelværdi 2017-2022

### Overflaten





Bunnlaget

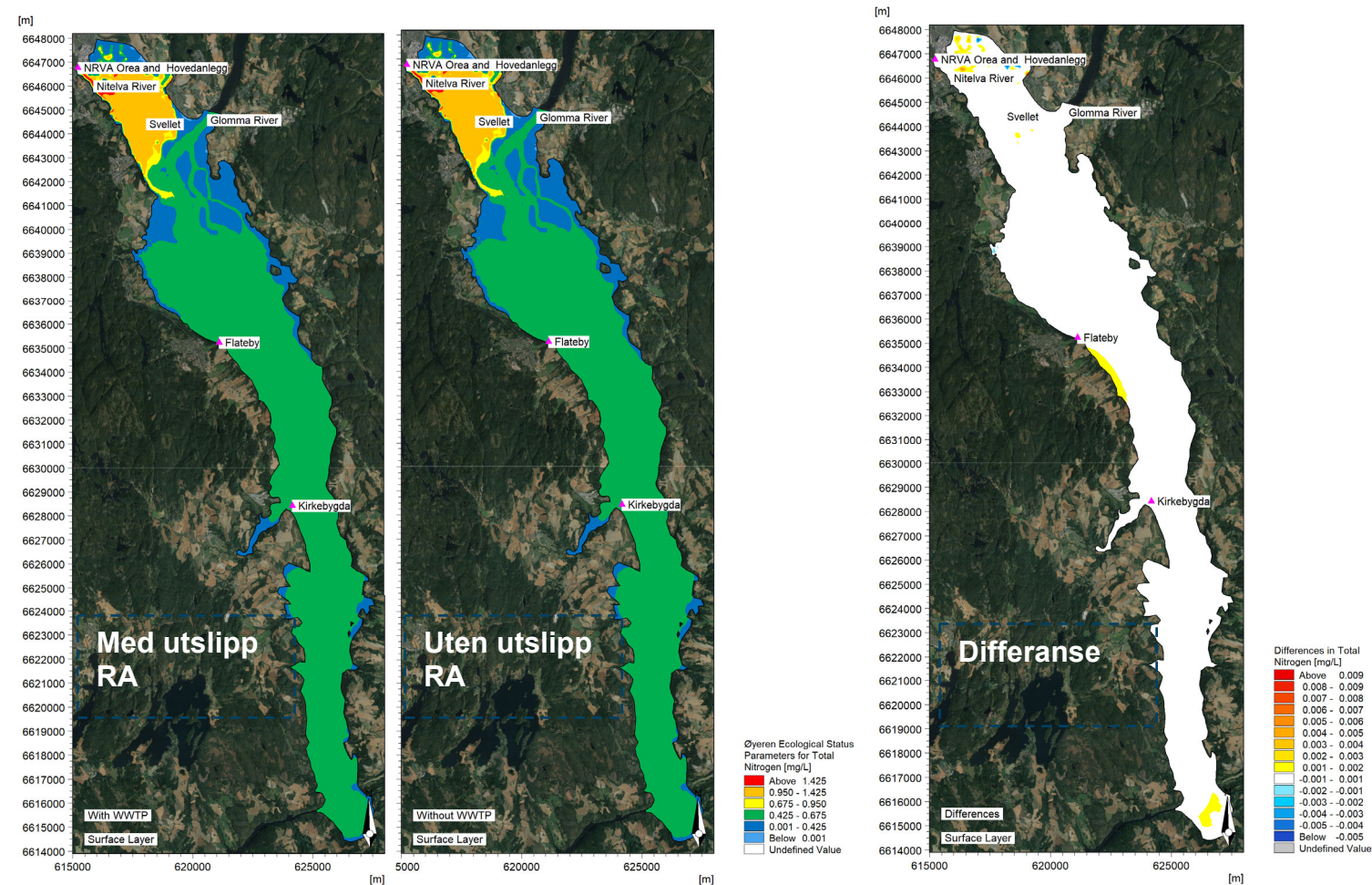






D.5.5      Totalt nitrogen – middelverdi 2017-2022

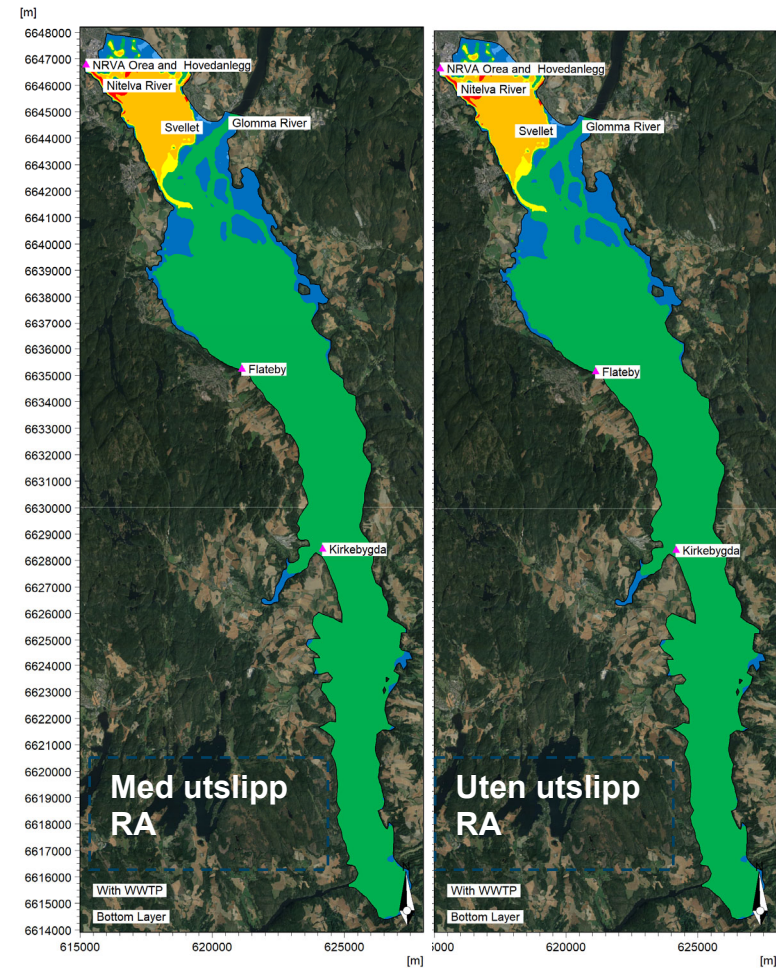
Overflaten



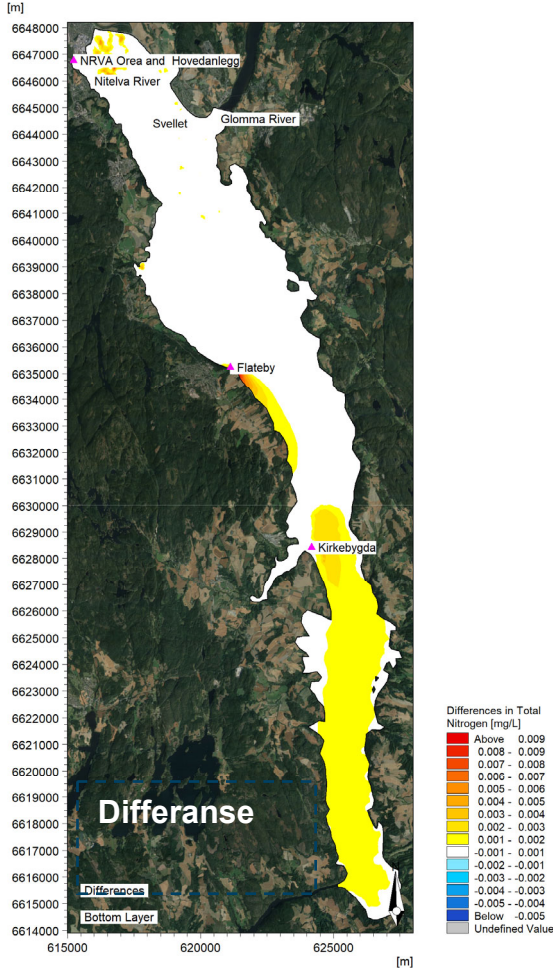
|                             |                                 |                         |                              |                              |                             |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Totalt nitrogen<br>(Øyeren) | Svært god<br>0.001 – 0.425 mg/L | God<br>0.425-0.675 mg/L | Moderat<br>0.675 -0.950 mg/L | Dårlig<br>0.950 – 1.425 mg/L | Svært dårlig<br>>1.425 mg/L |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|



Bunnlaget



8.7



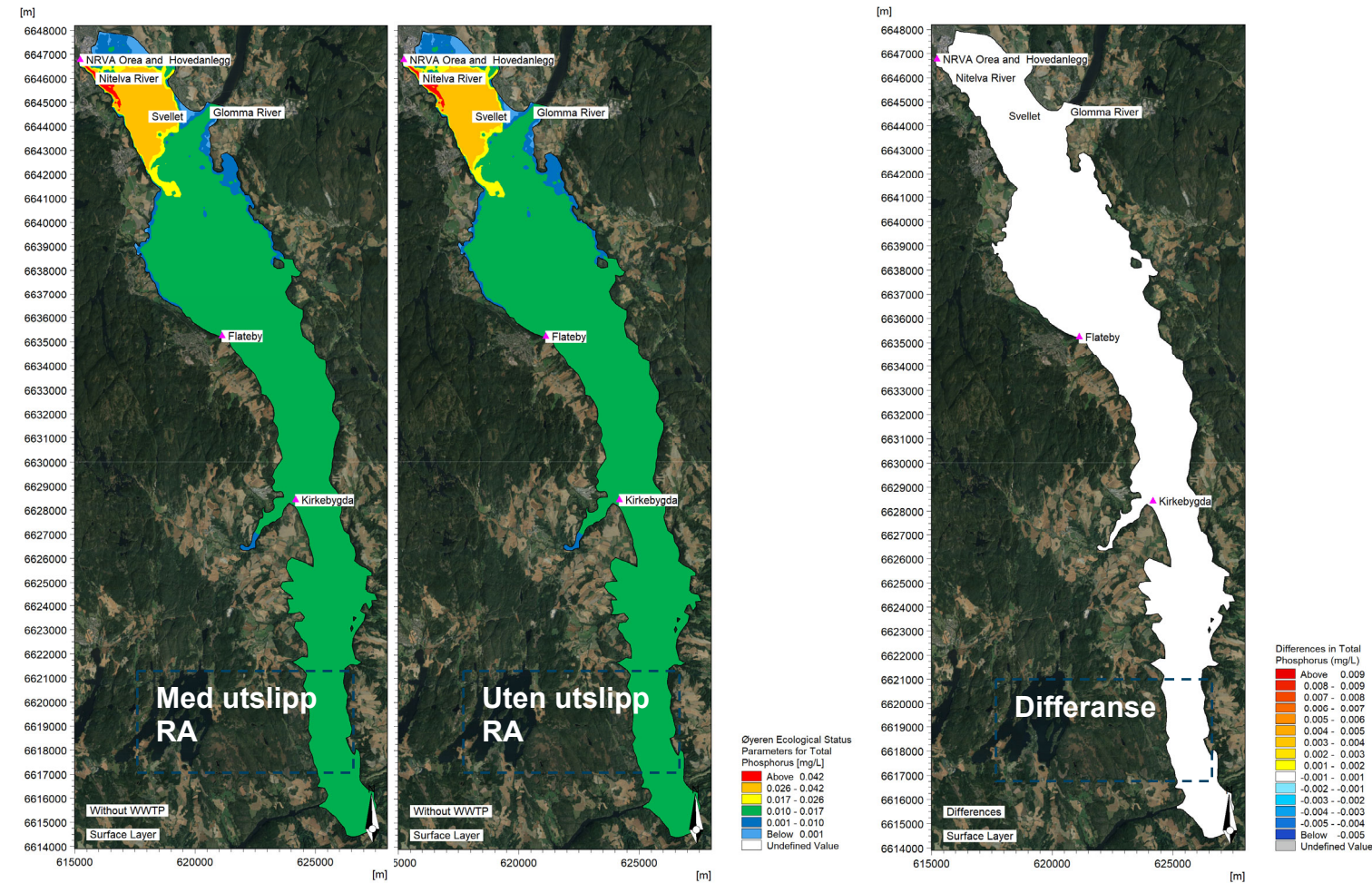
| Totalt nitrogen (Øyeren) | Svært god<br>0.001 – 0.425 mg/L | God<br>0.425-0.675 mg/L | Moderat<br>0.675 -0.950 mg/L | Dårlig<br>0.950 – 1.425 mg/L | Svært dårlig<br>>1.425 mg/L |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|





D.5.6      Totalt fosfor – middelverdi 2017-2022

Overflaten

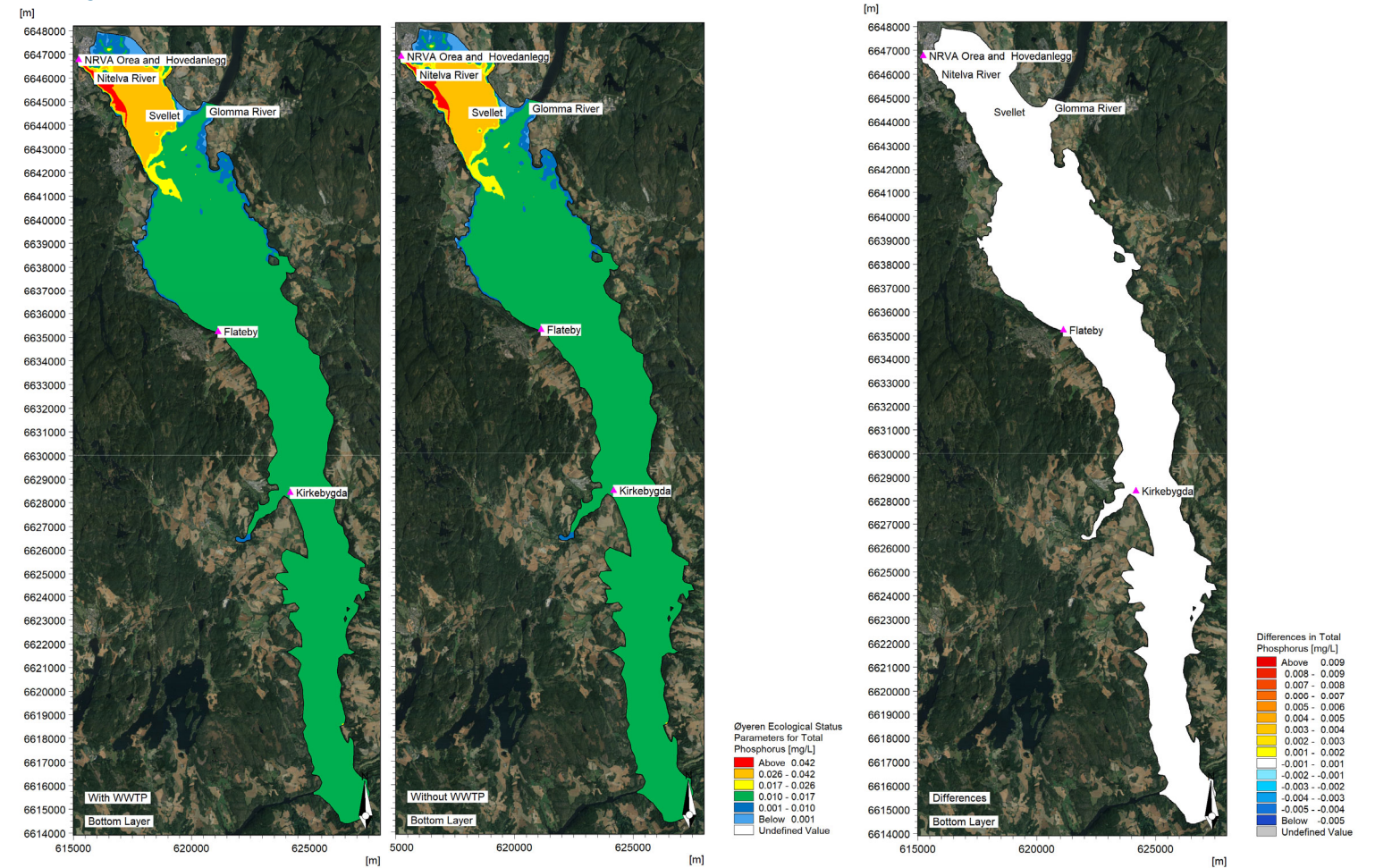


|                           |                               |                        |                              |                              |                             |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Totalt fosfor<br>(øyeren) | Svært god<br>0.001 -0.01 mg/L | God<br>0.01-0.017 mg/L | Moderat<br>0.017 -0.026 mg/L | Dårlig<br>0.026 – 0.042 mg/L | Svært dårlig<br>>0.042 mg/L |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|





Bunnlaget



|                        |                  |                 |                   |                    |              |
|------------------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------|
| Totalt fosfor (Øyeren) | Svært god        | God             | Moderat           | Dårlig             | Svært dårlig |
|                        | 0.001 -0.01 mg/L | 0.01-0.017 mg/L | 0.017 -0.026 mg/L | 0.026 – 0.042 mg/L | >0.042 mg/L  |