

## Hjarbæk og Skive fjorde – Modelanvendelse og scenariekørsler. Teknisk notat.

Forfatter: Flemming Gertz, Line Kolding Thostrup, SEGES Innovation

Citeres: Gertz F, Thostrup L K, 2023. Hjarbæk og Skive fjorde – Modelanvendelse og scenariekørsler. Teknisk notat fra SEGES Innovation.

### Resumé

Statistiske analyser, udført af SEGES, for sammenhænge mellem tilførsel af kvælstof til Hjarbæk Fjord og klorofyl-a i fjorden og tilsvarende statistiske analyser for Skive fjord, viser at der ikke er en direkte år til år kobling mellem kvælstoftilførsel og klorofylindhold. Dette understøttes af statistiske modeller udviklet af Aarhus Universitet. Helt central i begge fjorde for klorofylindholdet er den interne belastning – næringsstoffrigivelse fra sedimentet om sommeren, som er koblet til lagdeling af vandsøjlen og iltsvind. Den interne belastning vil kunne mindskes ved at foretage næringsstoffreduktioner fra land, men der er ikke år til år kobling mellem tilførsel og tilstand. Den interne belastning ville også kunne reduceres ved at minimere lagdeling og dermed iltsvind.

Der er grundet den interne belastning en forsinkelse i systemet. Grundet reduktioner i tilførsel ses en fosforbegrænsning af primærproduktionen i foråret i begge fjorde, som har ført til relativt lave klorofyl-a koncentrationer i foråret, mens kvælstofreduktionerne også viser sig ved lavere klorofyl-koncentrationer hen over sommeren, dog ikke så lave som om foråret (ref.2 & ref.5)

Et helt afgørende spørgsmål i forhold til fjordenes tilstand er, hvorvidt næringsstoffreduktioner i sig selv vil kunne fjerne iltsvind i fjordene. Dette spørgsmål er efter SEGES vurdering ikke tilstrækkeligt belyst. Det avancerede mekanistiske modelkompleks fra DHI opsat for Limfjorden og omfattende Hjarbæk Fjord og Skive Fjord kan med større eller mindre præcision beskrive de økologiske processer i fjordene. Modelresultater for Hjarbæk Fjord viser, at modellen overordnet beskriver lagdeling i fjorden, men de foreløbige vurderinger af model i dette notat tyder på, at modellen ikke er tilstrækkelig præcis, hvad angår beskrivelse af lagdeling og iltsvind, hvilket gør det tvivlsomt at lave analyser, hvad angår ændret slusepraksis (ændret lagdeling/iltsvind) og vurdering er af næringsstoffreduktioner i forhold til iltsvind.

Samlet set vurderes det fra SEGES at

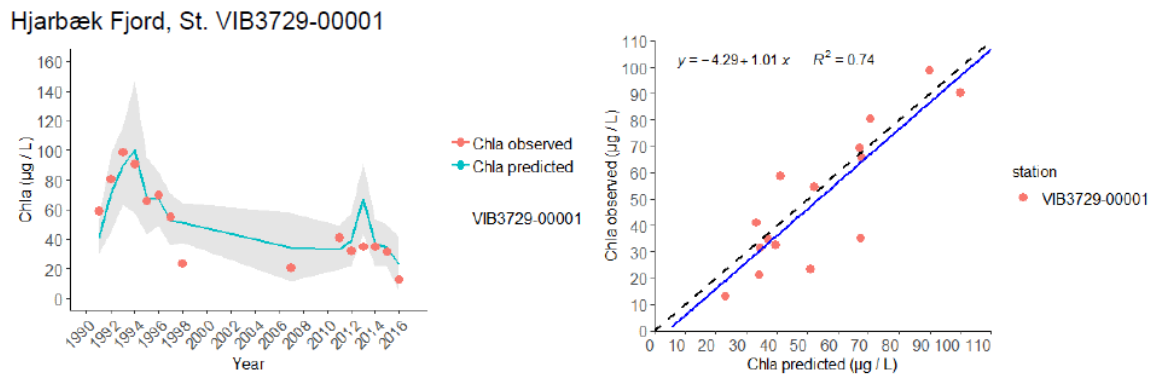
- Fjordene har behov for yderligere næringsstoffreduktioner, både kvælstof og fosfor
- Der er behov for fortsatte undersøgelser af, hvorvidt iltsvind kan minimeres fx ved ændring i slusedrift. Dette ville formentligt medføre lavere salinitet i Hjarbæk Fjord og konsekvenser her skulle derfor også undersøges
- Det kunne med fordel undersøges, hvorvidt en mere simpel model kunne anvendes til undersøgelse af slusedrift. Dette er gjort for både Ringkøbing og Nisum fjorde.
- Det må anbefales at øge monitoring med profilmålinger til flere stationer end de nuværende med henblik på indsamling af mere viden om lagdeling og iltsvind.
- Det må anbefales at inkludere planktonundersøgelser i monitoringen for Hjarbæk Fjord for at overvåge risiko for blågrønalg.

### Statistisk model anvendt i Vandområdeplan 3 for Hjarbæk Fjord

I vandområdeplanerne er der af Aarhus Universitet (AU) opsat en "grouped (hierarchical) Bayesian model" (ref1) for en række fjorde, som indeholder 5 variable som kan påvirke klorofyl: Næringsstofftilførsel, indstråling, temperatur, salinitet og Brunt-Väisälä buoyancy frequency (turbulensfaktor). For næringsstofftilførsel er valget mellem N eller P sket efter "first principal component of nitrogen and phosphorus loadings", hvilket vil sige at man vælger enten N eller P afhængig af hvilken parameter som findes mest betydende.

Specifikt for Hjarbæk Fjord har den opsatte model fået et af de bedste "fits" ud af de opsatte statistiske modeller med en  $R^2$  på 0,74. (Figur 1)

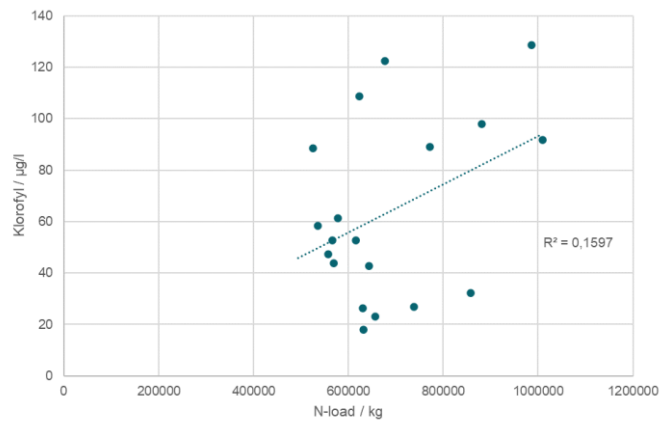
Modellen er opsat ved at anvende sommerklorofyl maj-september relateret til variable som i dette tilfælde er næringsstofftilførsel fra januar til september (load) samt salinitet og Brunt-Väisälä buoyancy frequency.



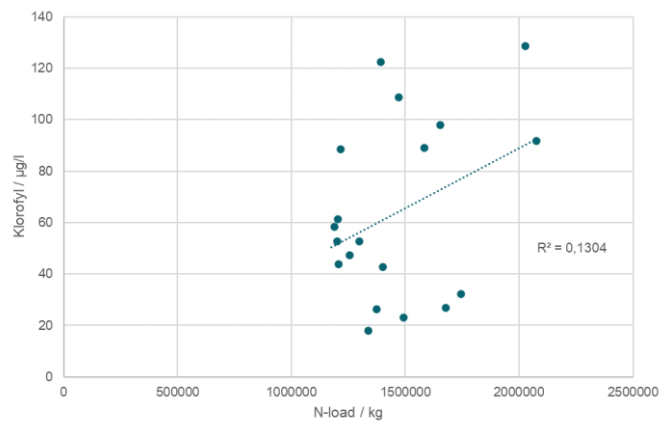
Figur 1. Statistisk model Hjarbæk Fjord, St. VIB3729-00001. Kilde: Ref. 1

SEGES har testet sammenhæng mellem N-load for 4 forskellige perioder og klorofyl. Se Figur 2 til Figur 5. SEGES har anvendt månedlige tilførsler opgjort fra AU og klorofyl data fra NOVANA, samme station som AU. For sammenhæng mellem N-vintertilførsel (jan-marts) til sommerklorofyl (maj-sep) findes  $R^2$  på 0,16 (Figur 2). For sammenhæng mellem N-vinter/sommer tilførsel (jan-sep) til sommerklorofyl (maj-sep) findes  $R^2$  på 0,13 (Figur 3)

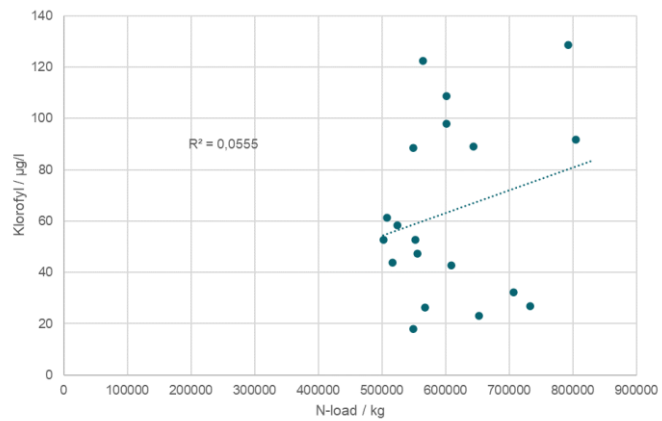
For sammenhæng mellem N-sommertilførsel (maj-sep) til sommerklorofyl (maj-sep) findes  $R^2$  på 0,06 (Figur 4). For sammenhæng mellem N-tilførsel juli-august til sommerklorofyl juli-august findes  $R^2$  på 0,001 (Figur 5)



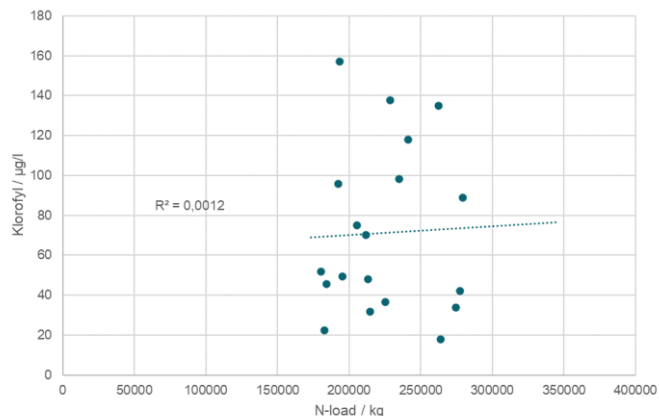
Figur 2. Hjarbæk Fjord. N-load januar-marts relateret til klorofyl maj-september



Figur 3. Hjarbæk Fjord. N-load januar-september relateret til klorofyl maj-september



Figur 4. Hjarbæk Fjord. N-load maj-september og til klorofyl maj-september



Figur 5. Hjarbæk Fjord. N-load juli-august relateret til klorofyl juli-august

### Diskussion

Data viser en ringe sammenhæng mellem N-load og klorofyl, særligt om sommeren er der ingen sammenhæng mellem N-load og klorofyl.

Der er betydelig forskel mellem den af AU opsatte statistiske model, som udviser en god sammenhæng mellem observeret klorofyl og prædikeret klorofyl ( $R^2=0,74$ ) og de statistiske sammenhænge SEGES har produceret. Den umiddelbare forklaring må være, at de parametre som indgår i AU's model vægter N-load mindre, og at salinitet og/eller Brunt-Väisälä buoyancy frequency (turbolensfaktor) har stor betydning for den klart bedre sammenhæng som AU finder.

Observationer af data i fjorden viser forbedringer i fjorden med faldende klorofylniveau gennem årene. Og data antyder endvidere, at dette sker pga. P-begrænsning i foråret og N-begrænsning over sommeren (ref2).

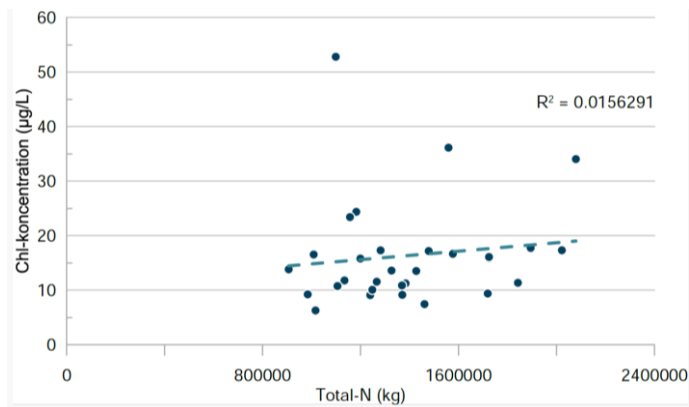
Om sommeren spiller iltsvind og den interne belastning en meget stor rolle i forhold til, hvor store mængder næringsstoffer som er tilgængelige for primærproduktionen. De ringe eller ikke eksisterende sammenhænge mellem N-tilførsel juli-aug og klorofyl juli-aug indikerer således, at den interne belastning har en styrende rolle for primærproduktionen midt på sommeren.

At den bedste sammenhæng findes for N-vintertilførsel til sommerklorofyl, er umiddelbart lidt overraskende, da fjorden har en vandudskiftning, som er hurtig nok til, at nitrat fra vinterens tilførsel ikke kan være i fjorden om sommeren. De statistiske sammenhænge er lavet på total N og en hypotese på den bedre vinter til sommer relation kunne være, at det er tilførsler af organisk N som spiller ind her. Organisk kvælstof fra vinterens tilførsel vil sedimentere og akkumuleres i fjorden gennem afstrømninger efterår og vinter og blive omsat til uorganisk kvælstof om sommeren, når temperaturen, og dermed den organiske omsætning er højere.

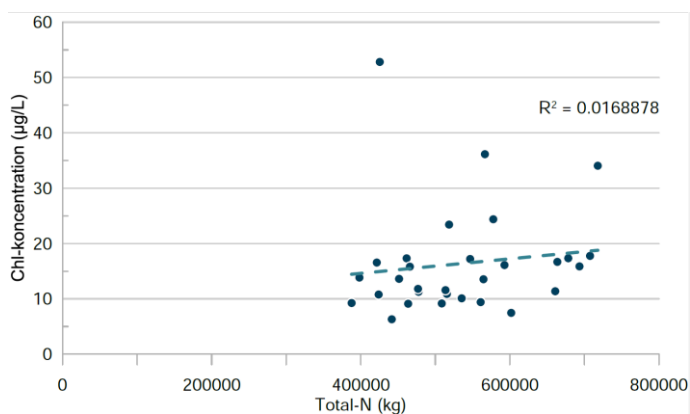
### Statistisk model anvendt i Vandområdeplan 3 for Skive Fjord

I vandområdeplanerne er der af Aarhus Universitet (AU) opsat en "grouped (hierarchical) Bayesian model" og en "station specific models". For den stations specifikke model fås  $R^2=0,25$  og ikke koblet til næringsstofftilførsel, men alene koblet til salinitet og Brunt-Väisälä buoyancy frequency (turbolensfaktor). For den "grouped station" model fås en  $R^2=0,22$ , hvor model indeholder næringsstofftilførsel, temperatur, salinitet og Brunt-Väisälä buoyancy frequency (turbolensfaktor) som de fire variable.

Hvis der alene laves en sammenhæng mellem kvælstofftilførsel og klorofyl findes  $R^2=0,01$  med baggrund i samme Novana-tal og statistisk analyse udført af SEGES (Figur 6 og Figur 7)



Figur 6. Skive Fjord. N-load januar-september relateret til klorofyl maj-september



Figur 7. Skive Fjord. N-load maj-september relateret til klorofyl maj-september

## Diskussion

Analysen indikerer, at der skal ske et regimeskift på baggrund af de i VP3 målsatte reduktioner (60 % fra statusbelastning), hvis målet i VP3 om klorofyl skal være på 2,7 µg/l eller derunder. Den nuværende relation mellem kvælstoftilførsel og klorofyl indikerer ikke målet kan nås med baggrund i økosystemets nuværende "steady state".

De statistiske analyser demonstrerer, at klorofyl ikke har en signifikant statistisk sammenhæng til kvælstoftilførsel. Dette skyldes som for Hjarbæk Fjord helt overvejende at salte bundlag også for Skive Fjord danner baggrund for iltsvind hver sommer, som giver anledning til stor intern belastning.

## Mekanistisk model anvendt i Vandområdeplan 3 for Hjarbæk Fjord og Skive Fjord

### Modelkalibrering / validering

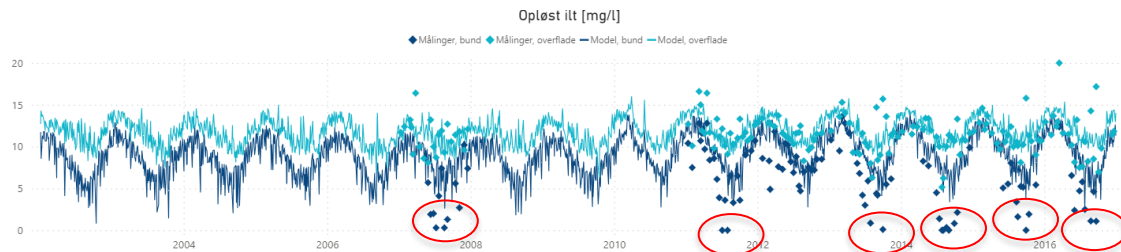
Figur 8 – Figur 15 er fra DHI hjemmeside for VP3 model kalibrering  
<https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>

### Skive Fjord

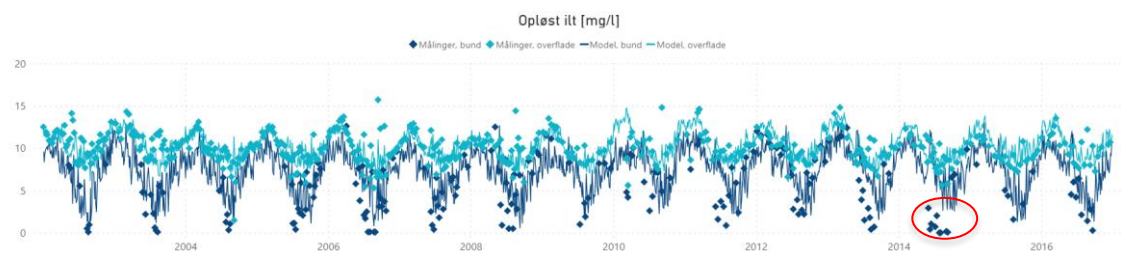
Hvad angår model for Skive Fjord, så simulerer model generelt iltsvindshændelserne fornuftigt de fleste år (Figur 9). Enkelte år lykkedes det ikke, fx 2014 (markeret med rødt) og så bliver den interne belastninger forkert om sommeren af særligt fosfor (Figur 13) og klorofyl rammer dårligere (Figur 15). Overordnet set ser det dog ud som om, at modellen de fleste år er i stand til at beskrive processerne med iltsvind og intern belastning i Skive Fjord.

### Hjarbæk Fjord – kalibrering på station 93720009

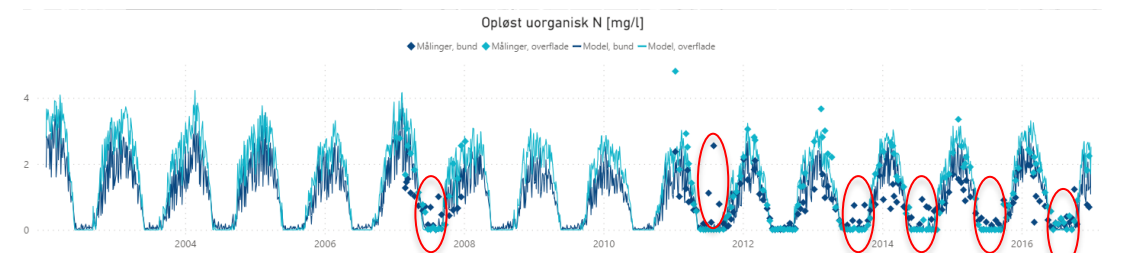
Hvad angår model for Hjarbæk Fjord, så simulerer modellen generelt ikke iltsvindshændelser fornuftigt på station 93720009 (Figur 16) jf. markeringer på Figur 8. Modellen simulerer aldrig de laveste koncentrationer af iltsvind, hvilket er meget problematisk, fordi det er ved de lave koncentrationer 0-2 mg/l, at der for alvor sker afgivelse af næringsstoffer fra sediment til vandsøjle (intern belastning) se Figur 10 og Figur 12. Dette har betydning for om model kan prædiktere klorofyl med de rette processer, og dette har modellen åbenlyst problemer med på denne station.



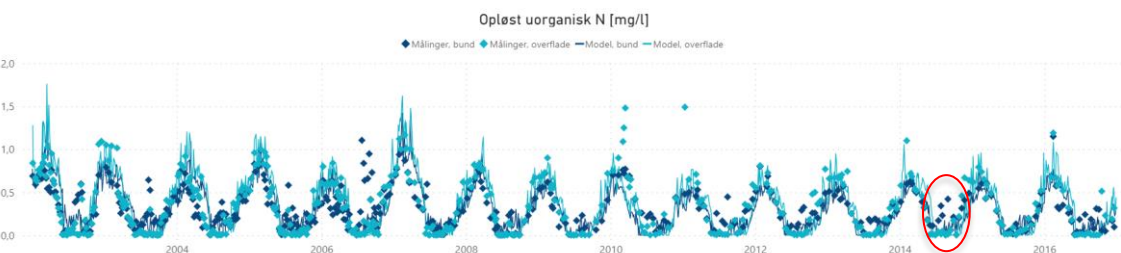
Figur 8. Hjarbæk Fjord, ilt, målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



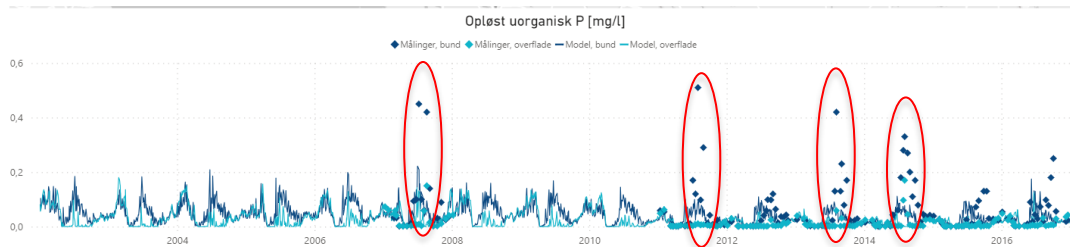
Figur 9. Skive Fjord, ilt, målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



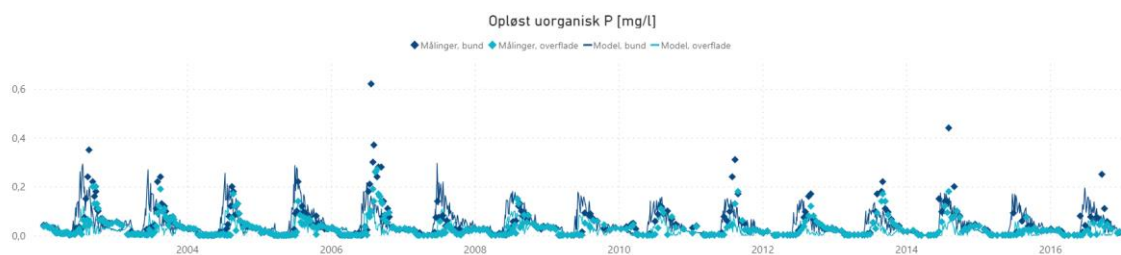
Figur 10. Hjarbæk Fjord, Uorganisk kvælstof målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



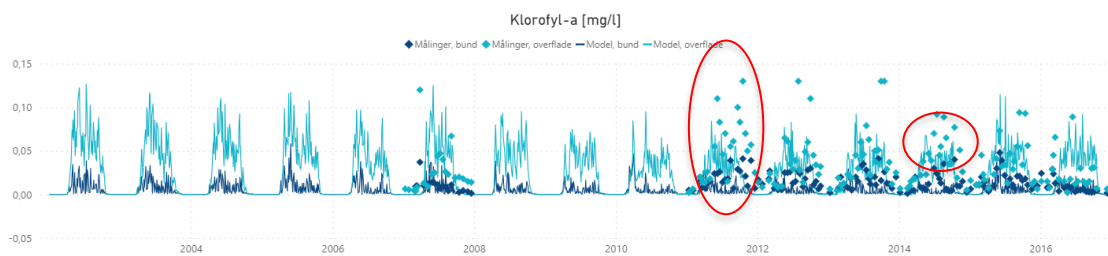
Figur 11. Skive Fjord, Uorganisk kvælstof målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



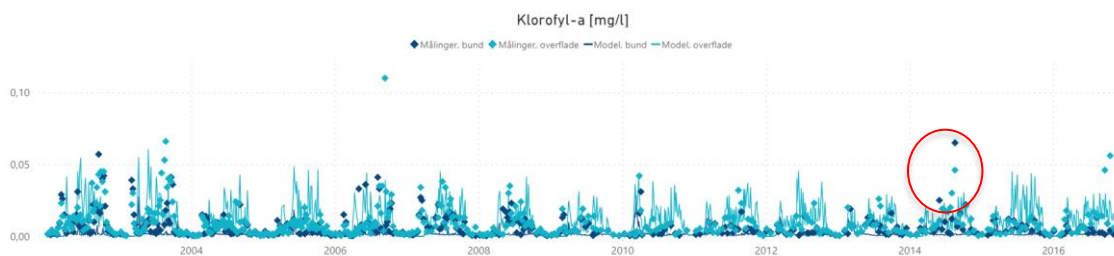
Figur 12. Hjarbæk Fjord, Opløst P målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



Figur 13. Skive Fjord Fjord, Opløst P målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



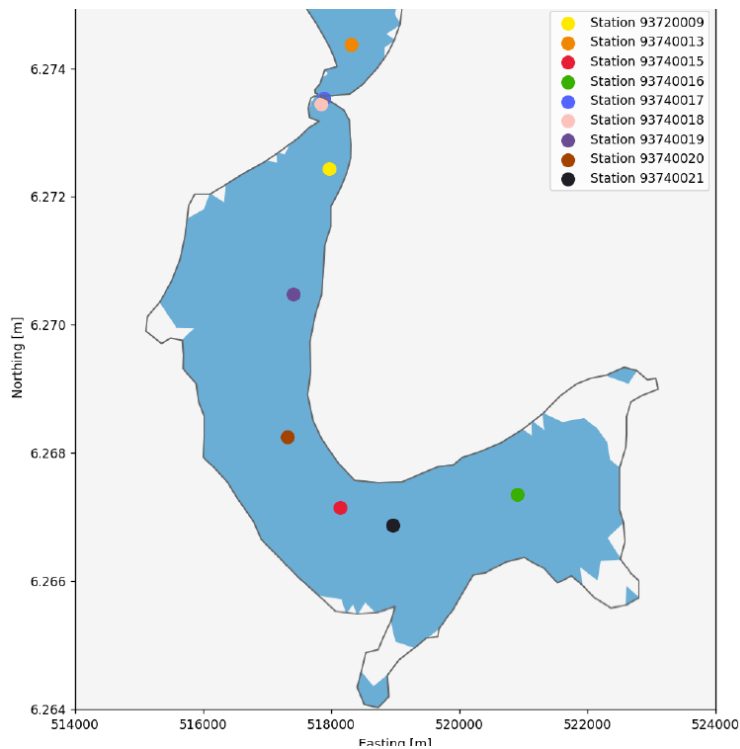
Figur 14. Hjarbæk Fjord, Klorofyl-a målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



Figur 15. Skive Fjord, Klorofyl-a målinger og model. Kilde <https://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>

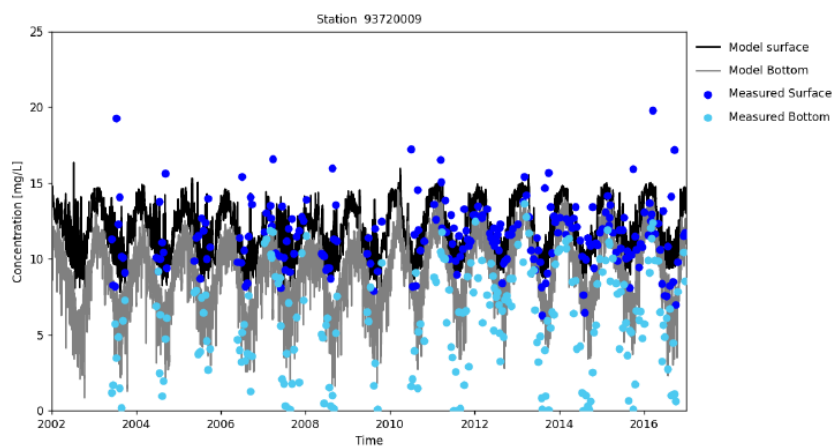


## Hjarbæk Fjord – kalibrering af ilt på 6 stationer



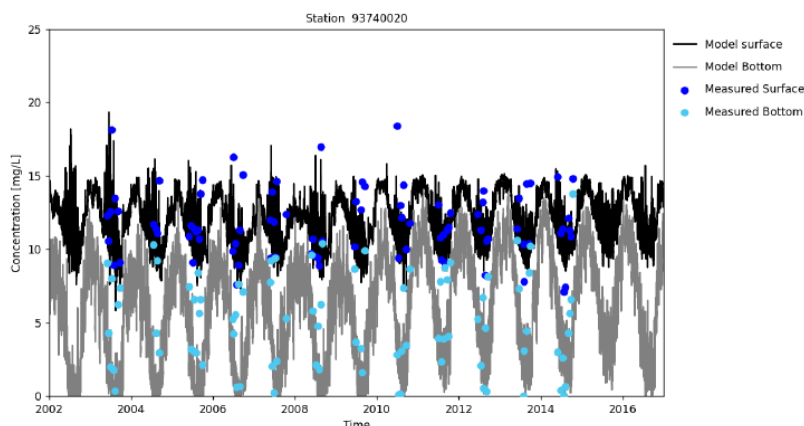
Figur 16. Kort med målestationer i Hjarbæk Fjord. Kilde: DHI.

DHI har i notat (ref3) sammenlignet modelresultater for ilt med målte data på 6 lokaliteter i fjorden. Resultaterne viser, at modellen underestimerer iltvindet ved bunden i den nordlige del station 93720009 (Figur 17) og overestimerer iltvind ved bunden på den østligste station (Figur 19), men de midterste stationer rammer generelt bedre (Figur 18)

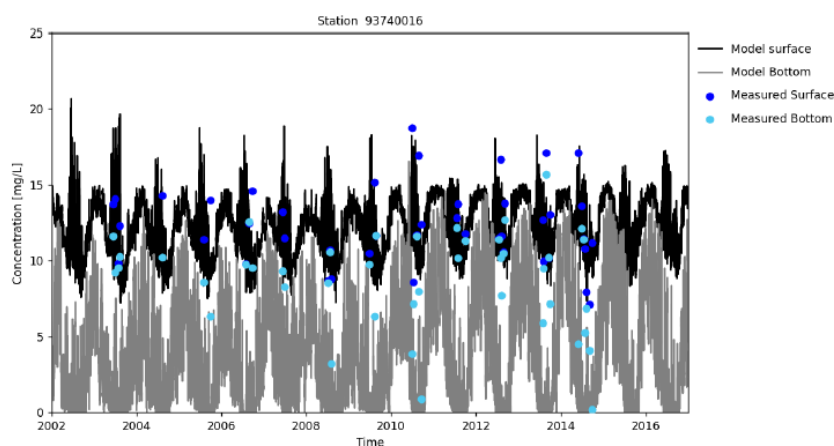


Figur 17. Modelresultater og målte data for ilt på station 93720009 – overflade og bund. Kilde DHI. Ref.3





Figur 18. Modelresultater og målte data for ilt på station 93740020 – overflade og bund. Kilde DHI. Ref.3

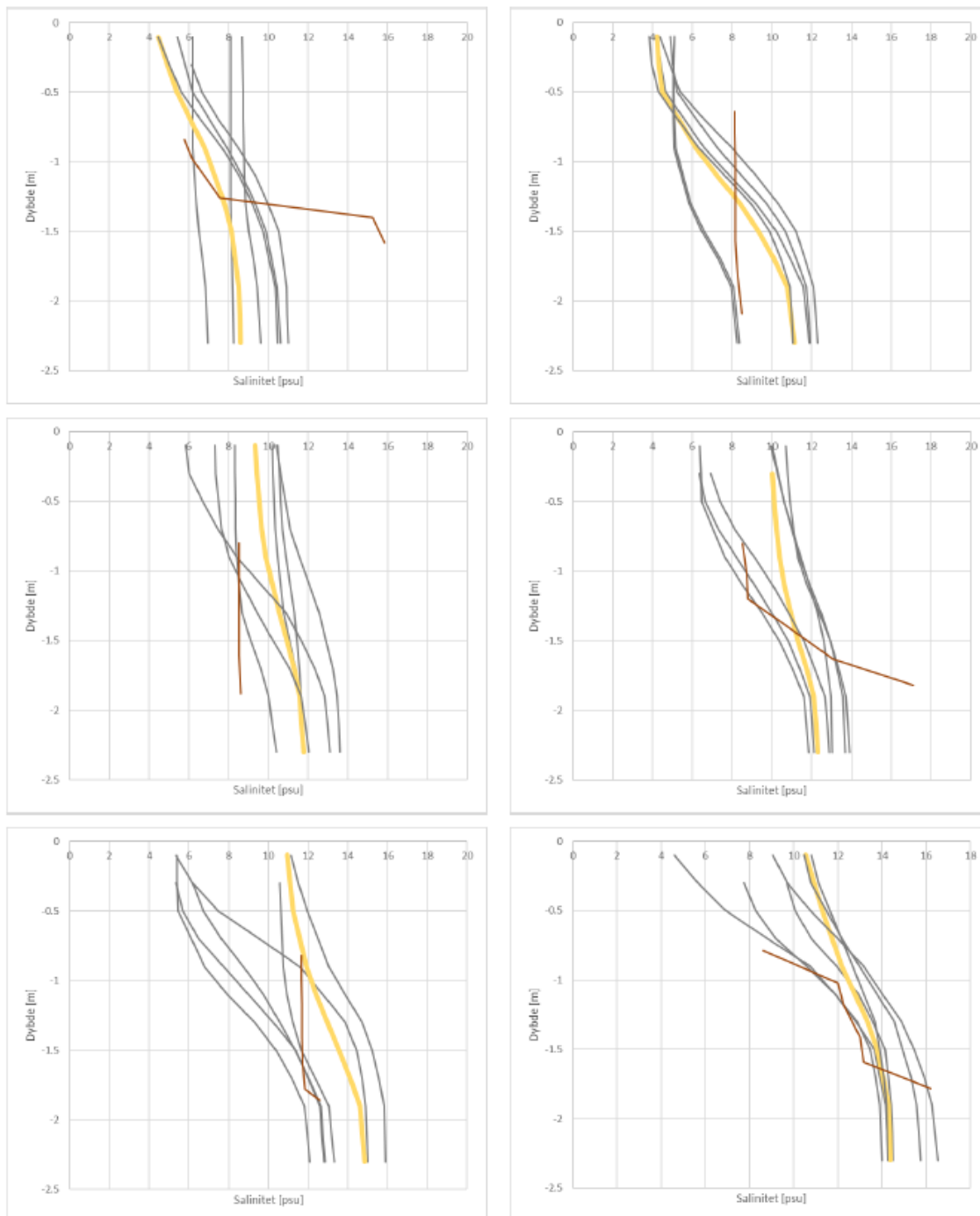


Figur 19. Modelresultater og målte data for ilt på station 93740016 – overflade og bund. Kilde DHI. Ref.3

Modellen er generelt i stand til at beskrive lagdeling og iltvind i den midterste del af fjorden, men sammenligning af profilmålinger af saltholdigheden og model (Figur 20) viser at modellen har svært ved at beskrive den rigtige dynamik og rigtige lagtykkelse. DHI beskriver selv at: ”modellen (er) udviklet til at beskrive hele Limfjorden og derfor er der alene 5 sigma-lag i Hjarbæk Fjord, hvilket kan have en betydning for evne til at modellere den specifikke lagdeling i perioder helt lokalt ..... I perioder er der observeret en relativ stor lagdeling med et tyndt bundlag, som ikke nødvendigvis fanges af modellen, på grund af den lidt grove vertikale opløsning i bunden af Hjarbæk Fjord.”

DHI mener selv at model kan anvendes til at beregne ændringer i miljøtilstand og ændringer ved slusepraksis.

Det er SEGES opfattelse at modellen i store træk kan beskrive ændringer i miljøtilstand ved reduktioner i næringsstoffer fra oplandet, men modellen er ikke sat op til at beskrive de detaljer som er nødvendige ved en ændret slusepraksis. Modellens beskrivelse af lagdeling er ikke tilstrækkelig præcis. Profilmålinger af salinitet og ilt viser, at lagdeling og iltvind er knyttet tæt sammen og det kræver en bedre modelopsætning at beskrive lagdelingsudbredelse i fjorden og dermed også iltvindets udbredelse. (se profilmålinger for fjorden i bilag)



Figur 20. Salinitetsprofiler i 2014 (2/6, 30/6, 15/7, 28/7, 4/8, 1/9) på station 93740016. Ref. 4

### **Hjarbæk Fjord – ændringer af slusepraksis for at minimere iltsvind**

Hvis det er muligt at undgå lagdeling og derved mindske iltsvind og intern belastning vil det have en straks forbedring for fjordens tilstand i form af mindre algeproduktion. Det vil samtidig også forbedre vilkårene for vegetationen, som vil kunne vokse ud på større vanddybder end de ca. 1 m som er begrænsningen i dag bl.a. pga. af lagdeling og iltsvind. Samtidig vil det have betydning for det samlede indsatsbehov, da det vil mindske kravet til reduktioner i oplandet, hvis den interne belastning om sommeren kan minimeres.

DHI har kørt modelscenarier for ændret slusedrift og modelresultaterne viser at disse ændringer ikke gavner tilstanden i fjorden (ref4). Modelscenarierne viser også, at der i alle scenarieberegningerne er lagdeling i fjorden, og at vindenergien ikke er tilstrækkelig til at nedbryde lagdelingen tilstrækkelig hurtig for at undgå iltsvind.

En ikke undersøgt strategi for at undgå iltsvind vil være kun at indsluse vand fra Lovens Bredning, så det forbliver i den dybere nordlige del dvs. på 3,5 – 4 m vanddybde, som svarer til ca. 10-15% af fjordens areal. Strategien hermed ville være at undgå lagdeling i størstedelen af fjorden, og dermed undgå den interne belastning i store dele af fjorden, som hver sommer bidrager negativt til fjordens tilstand. Dette vil kræve yderligere undersøgelser, hvilket skyldes, at modellen i sin nuværende opsætning ikke er kalibreret til at modellere specifikt lagdeling i Hjarbæk Fjord med henblik på slusescenarier. I perioder er der observeret lagdeling med et tyndt bundlag, som ikke nødvendigvis fanges af modellen. Modellen har en tendens til at beskrive bundlagene tykkere og med mindre markant overgang fra bundlag til overfladelag. Modellen beskriver således ikke opblandingen tilstrækkelig præcist til at udføre slusescenarier med indslusning af mindre mængder af vand fra Lovens Bredning. Det vil have betydning for scenariet, hvor der sigtes på at minimere bundlagenes udbredelse ved at indsluse vand fra Lovens Bredning til kun at omfatte de dybere dele i Hjarbæk Fjord.

Dermed kan modellen ikke på nuværende stadie anvendes til at simulere, hvorvidt optimeret slusedrift kan mindske den interne belastning (som følge af mindsket lagdeling) for scenarier med kun lidt indsluset vand fra Lovens Bredning.

Den potentielle mulighed, som står tilbage efter DHI's modelkørsler er kun at indsluse vand i mindre mængder i sommerhalvåret for at indgå lagdeling. Dette vil have den påvirkning, at saltholdigheden i fjorden vil blive noget mindre. Det vil kræve yderligere undersøgelser at fastslå, hvor meget mindre saltholdigheden vil blive, men det er vurderingen, at fjordens saltholdighed om sommeren vil blive væsentligt mindre. Dette vil i så fald have andre komplikationer man også bør undersøge som fx øget risiko for blågrønalg. Det må derfor anbefales at planktonundersøgelser medtages i Novana-overvågningen af Hjarbæk Fjord.

Det anbefales desuden, parallelt med at næringsstofførslerne reduceres at få beskrevet dynamikken med fordeling af saltlagdeling og iltsvind i fjorden mere detaljeret og på det grundlag vurdere et eventuelt potentiale i en optimeret slusedrift, herunder betydning af en evt. mindsket intern belastning på fjordens tilstand ved en løsning, hvor der sigtes på at begrænse lagdelingen til de dybere dele af fjorden. Det indebærer også, at der er behov for overvågningsdata fra flere stationer i Hjarbæk fjord, da det vil være af betydning for at sikre, at modellen passer bedre i Hjarbæk fjord. Derfor kan det i kystvandrådets afrapportering beskrives over for MST, at der er et behov for flere målestationer i Hjarbæk for, så man bedre kan modellere delvandområdet og belyse potentielle effekter af ændrede sluseforhold og andre fysiske tiltag.

**Referencer**

Ref1: Shetty N, Christensen JPA, Damgaard C & Timmermann K. 2021. Modelling chlorophyll-a concentrations in Danish coastal waters using a Bayesian modelling approach. Documentation report. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 62 pp. Scientific Report No. 469.

Ref2: Flemming Gertz, Line Kolding Thostrup, Sebastian Piet Zacho, *MILJØTILSTANDEN I HJARBÆK FJORD - Beskrivelse af udviklingstendenser af centrale miljøparametre, 2020*. Rapport fra SEGES Innovation.

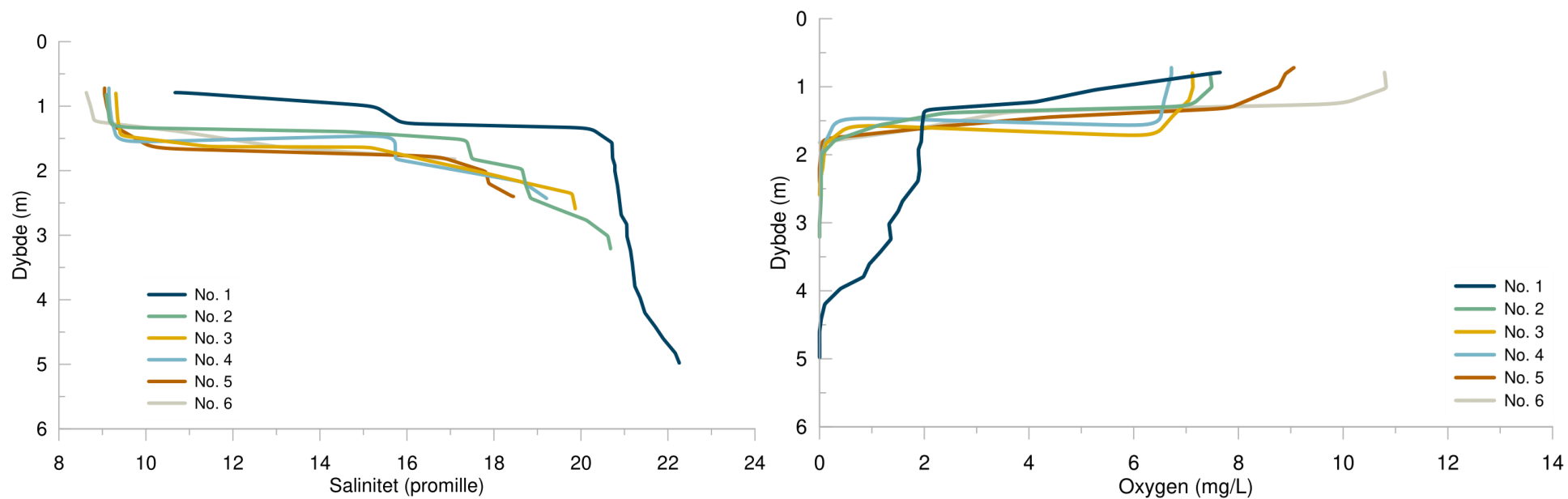
Ref3: Hjarbæk Fjord, oktober 2023. Kort notat omkring iltvindsmodellering, intern belastning og økosystemforståelse. DHI

Ref4: Hjarbæk Fjord, november 2023. Kort notat omkring Virksund-dæmningens betydning for iltvind i Hjarbæk Fjord. DHI

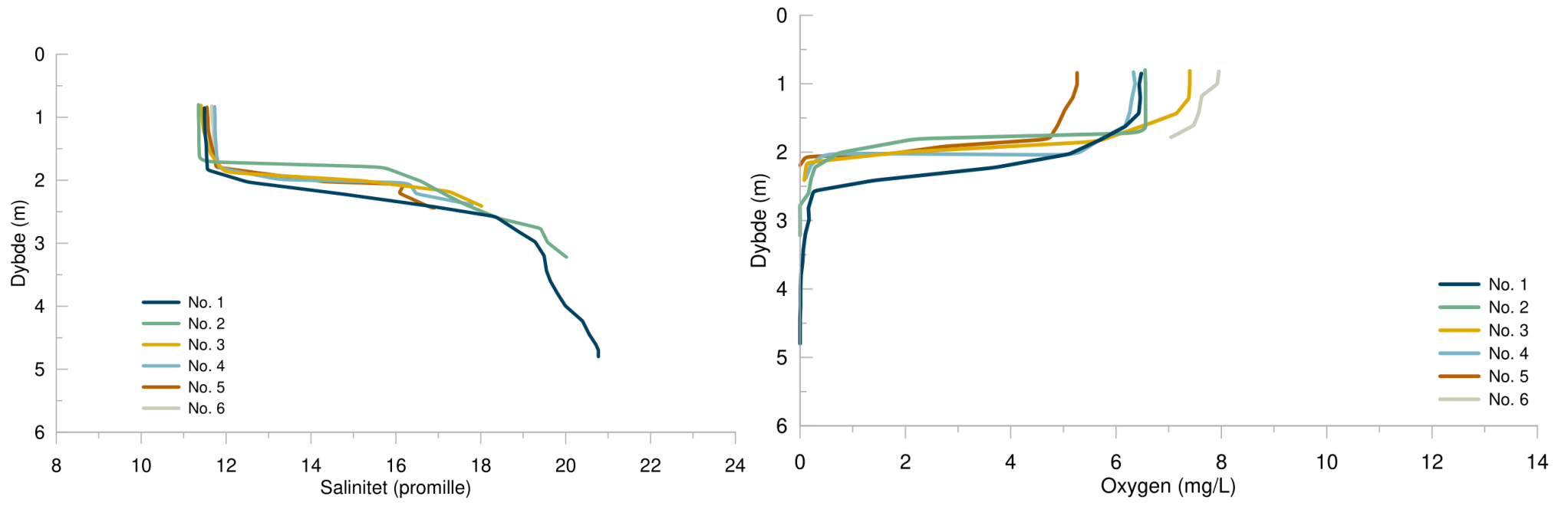
Ref5: Flemming Gertz, Line Kolding Thostrup, Sebastian Piet Zacho, Mette Langgaard Jensen, Kristoffer Piil: *MILJØTILSTANDEN I SKIVE FJORD, LOVNS BREDNING OG RISGÅRDE BREDNING 2018*. Rapport fra SEGES Innovation

## Bilag – profilmålinger i Hjarbækfjord af salinitet og ilt.

28. juli 2014 – salt og iltprofiler på 6 stationer i Hjarbæk Fjord. No. 1 ved slusen og no. 6 længst mod øst



4. august 2014 – salt og iltprofiler på 6 stationer i Hjarbæk Fjord. No. 1 ved slusen og no. 6 længst mod øst







29. september 2014 – salt og iltprofiler på 6 stationer i Hjarbæk Fjord. No. 1 ved slusen og no. 6 længst mod øst

