

Hjarbæk Fjord

Kort notat omkring iltvindsmodellering, intern belastning
og økosystemforståelse

Oktober 2023

>

Hjarbæk Fjord

Kort notat omkring iltsvindsmodellering, intern belastning og økosystemforståelse

Kontaktperson:	Anders Erichsen, aer@dhigroup.com
Projektleder	Anders Erichsen
Kvalitetsansvarlig	Trine Larsen
Udarbejdet af	Anders Erichsen
Projektnummer	11828567
Godkendt af	Trine Larsen
Godkendelsesdato	3. oktober 2023
Revision:	Final 1.0
Filnavn	Iltsvind_v1.docx

Indholdsfortegnelse

1	Baggrund	5
2	Modelkvalitet	6
2.1	Iltsvind i Hjarbæk Fjord.....	6
2.2	Intern belastning I Hjarbæk Fjord.....	10
3	Økosystemforståelse	14
3.1	Opsummering af SEGES-notat.....	14
3.2	Miljøforhold.....	14
3.3	Tilførsler.....	14
3.4	Modellens reaktioner på næringsstofftilførsler.....	15
4	Konklusion	16
4.1	Iltsvind og modelkvalitet.....	16
4.2	Økosystemforståelse.....	17
5	References	18

Figures

Figur 1	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 4,3 m (grå linje) på station 93720009, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	6
Figur 2	Placeringer af målestationer i Hjarbæk Fjord.....	7
Figur 3	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,4 m (grå linje) på station 93740017, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	8
Figur 4	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 4,2 m (grå linje) på station 93740019, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	8
Figur 5	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,4 m (grå linje) på station 93740020, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	9
Figur 6	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,0 m (grå linje) på station 93740015, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	9
Figur 7	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,0 m (grå linje) på station 93740021, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	10
Figur 8	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 2,4 m (grå linje) på station 93740016, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.....	10

Figur 9	Gennemsnitlige tilførsler fra lokalopland af N (øverst) og P (nederst) til Hjarbæk Fjord for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. \pm én standardafvigelse. Tilførslerne er opgjort som den arealspecifikke tilførsel (vandområdeareal) og opgjort som total tilførsel og fordelt på organisk og uorganisk fraktion.	12
Figur 10	Gennemsnitlige fluks af N (øverst) og P (nederst) mellem sediment og vandfasen i Hjarbæk Fjord for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. \pm én standardafvigelse. Positiv fluks angiver nettotransport fra vandfasen til sediment og negativ fluks angiver nettotransport fra sediment til vandfasen. Fluksen er opgjort som den arealspecifikke fluks (vandområdeareal) og opgjort som fluks af uorganisk N.	13
Figur 11	Tilførsler af TN (blå kurve) henholdsvis TP (orange kurve) i perioden 1990 til 2018. Data er ikke afstrømningskorrigeret og viser dermed de tilførsler, som fjorden reelt har fået tilført.....	15
Figur 12	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden (grå linje) på station 93720009, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker).	16

1 Baggrund

Nærværende dokument er skrevet med henblik på at imødekomme noget af den kritik som er rejst af SEGES i teknikker gruppen under Kystvandrådsarbejdet for Hjarbæk Fjord, Skive Fjord, Lovns Bredning, Risgårde Bredning og Bjørnsholm Bugt.

SEGES fremhæver blandt andet: *Den avancerede mekanistiske model fra DHI opsat for Hjarbæk Fjord kan ikke korrekt simulere iltsvind i Hjarbæk Fjord, hvilket betyder, at modellen ikke korrekt fanger den interne belastning. Modellen er derfor ikke egnet til at beregne indsatskrav for fjorden eller forklare årsag til iltsvind. Det må derfor klart anbefales, at der laves en omkalibrering for at være i stand til at beregne reduktions-krav.*

Den mekanistiske model fra DHI for Skive Fjord er i stand til at simulere iltsvind og intern belastning de fleste år og modellen vil derfor være egnet til at beregne et indsatsbehov, hvis man er opmærksom på de år, hvor modellen ikke rammer rigtigt.

DHI har tidligere vurderet og italesat modellen som værende i stand til at simulere de betydende processer i Hjarbæk og Skive Fjord, samlet set, men anerkender at modellen ikke passer godt med målingerne på den ene station i Hjarbæk Fjord, hvor alle parametre er målt igennem hele modelperioden fra 2002-2016.

Derudover har SEGES fremsendt et dokument som kort opsummerer en økosystemforståelse baseret på analyser af NOVANA data, og som fremsætter hypoteser omkring næringsstofflørsler, iltsvind og miljømål.

2 Modelkvalitet

2.1 Iltsvind i Hjarbæk Fjord

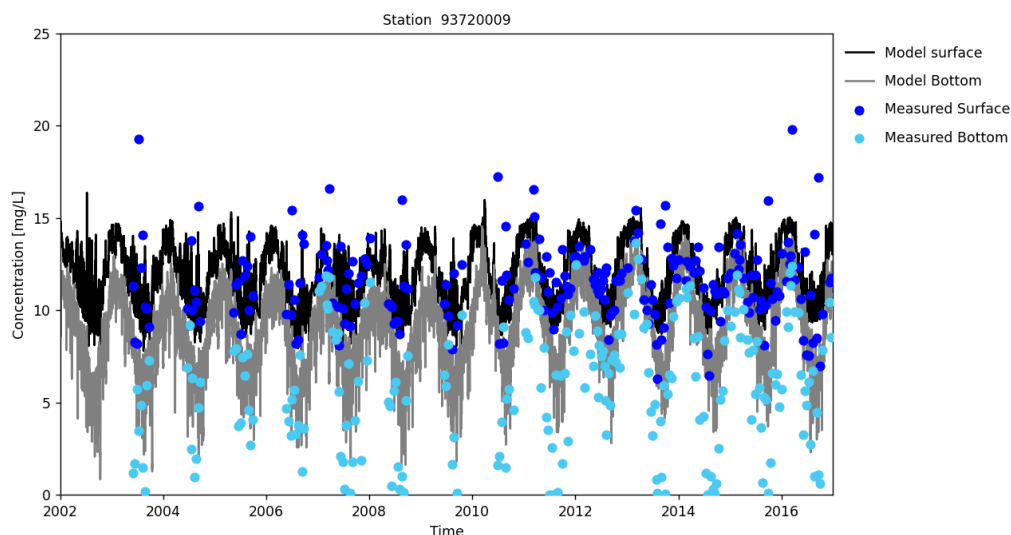
Problemstilling, som den er blevet præsenteret af SEGES, relaterer sig til den målestation, som ligger i Hjarbæk Fjord umiddelbart syd for Virksund dæmningen. Den målestation er den eneste station i fjorden, hvor der regelmæssigt måles vandkemi foruden salinitet, vandtemperatur og iltindhold.

Som det fremgår af SEGES' notat, og som det ligeledes er vist i Figur 1, formår den mekanistiske model ikke at simulere de samme lave niveauer af ilt, som er observeret i målingerne på samme lokalitet.

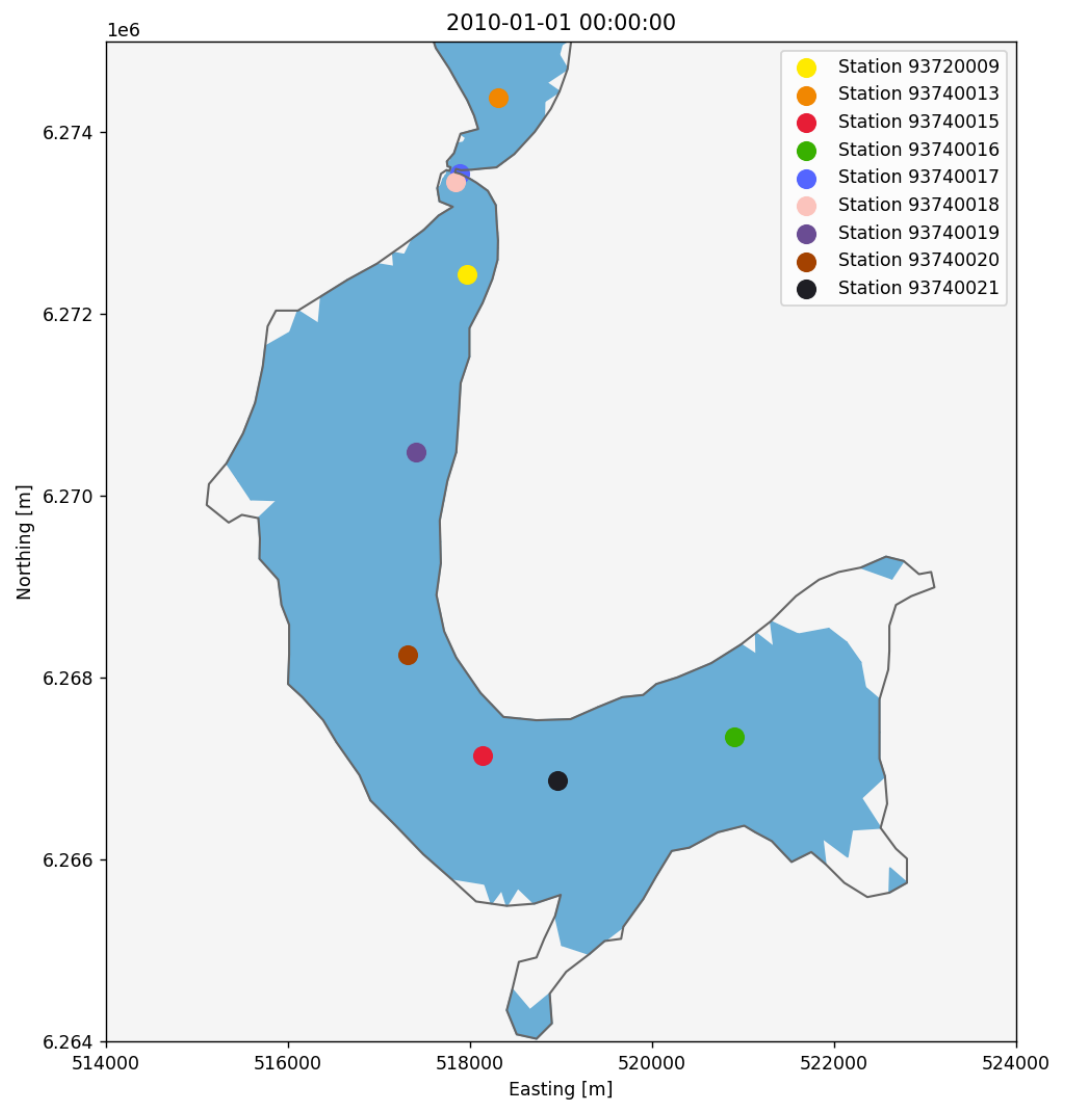
Når modellen ikke beskriver de rette lave niveauer af ilt, har det nogle følger, som kan få betydning for fx de interne belastninger af næringsstoffer over sommeren.

DHI vurderer, at modellen overordnet set beskriver de centrale processer i Limfjorden, herunder Hjarbæk Fjord, og at modellen beregner store arealer med iltsvind også i Hjarbæk Fjord, hvorfor modellen kan benyttes til scenarieberegninger og at beregne indskrav.

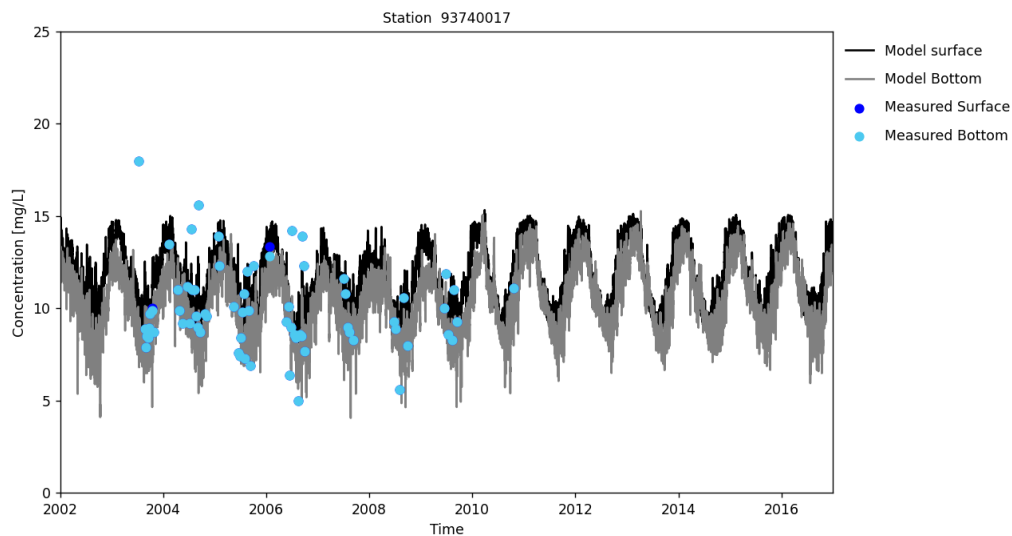
SEGES mener ikke, at denne argumentation holder og har stillet spørgsmål ved modellens kvalitet. SEGES har imidlertid også gjort opmærksom på, at der er en række målestationer i fjorden, som ikke tidligere har været inkluderet i modelanalysen, da de målinger hovedsageligt alene dækker iltmålinger i sommerperioden og indgår som en del af iltsvindsovervågningen. De forskellige målestationers placering er vist i Figur 2, og modelresultater og målinger er sammenlignet i Figur 3 til Figur 8 i en transekt fra slusen og ind i fjorden.



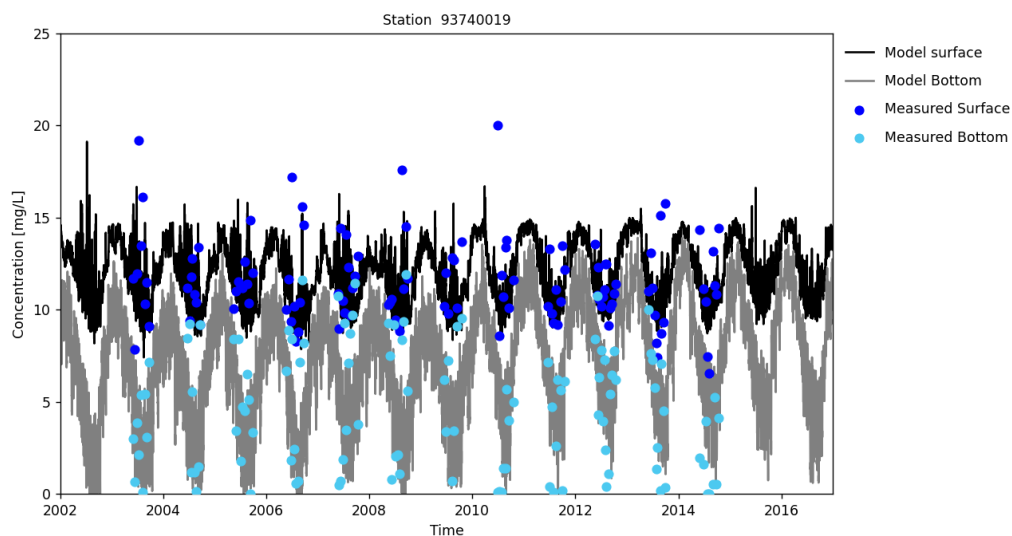
Figur 1 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 4,3 m (grå linje) på station 93720009, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.



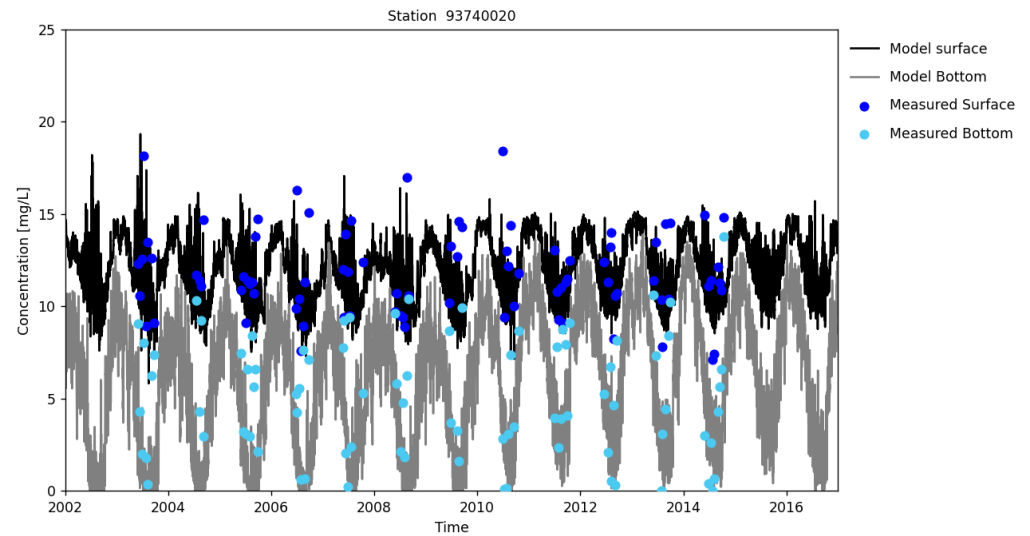
Figur 2 Placeringer af målestationer i Hjarbæk Fjord.



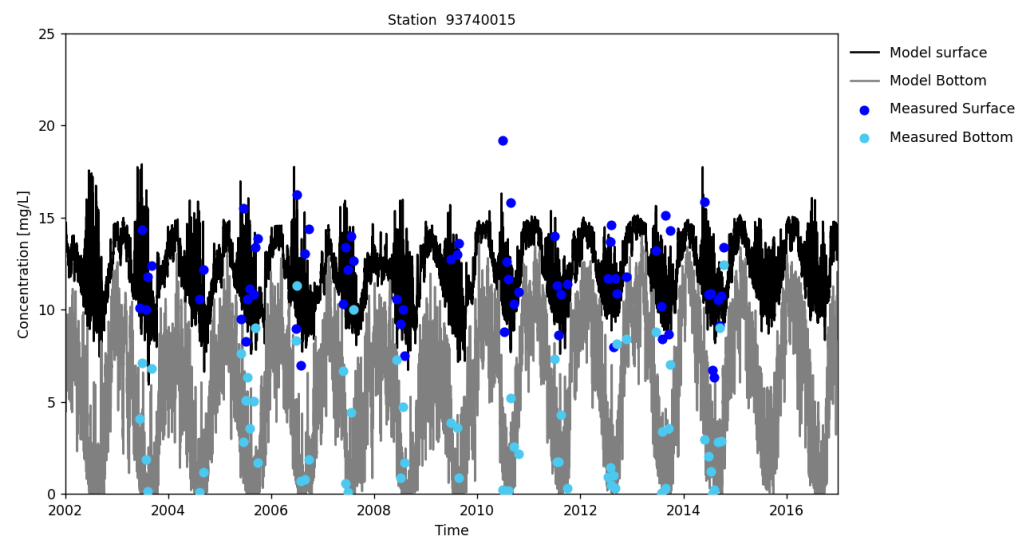
Figur 3 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,4 m (grå linje) på station 93740017, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.



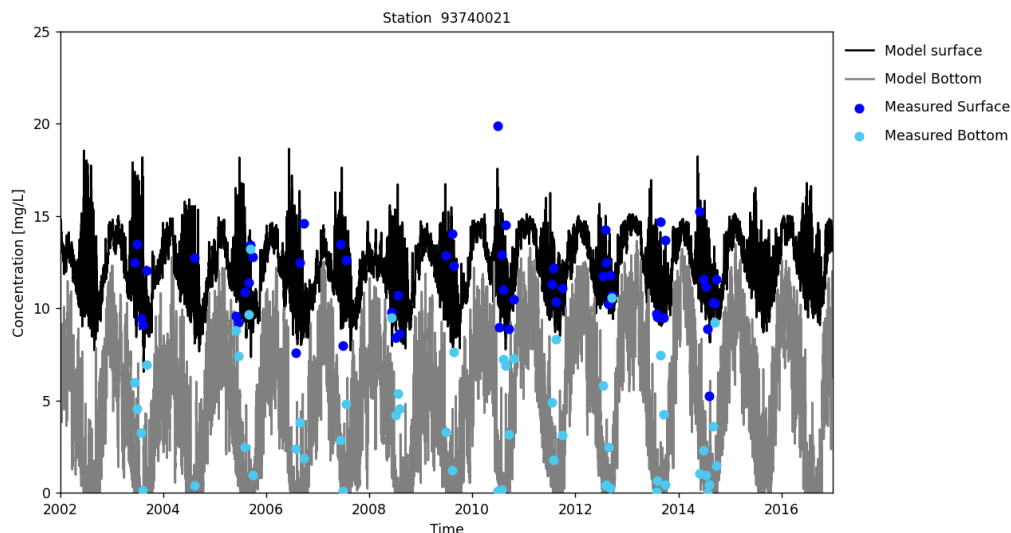
Figur 4 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 4,2 m (grå linje) på station 93740019, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.



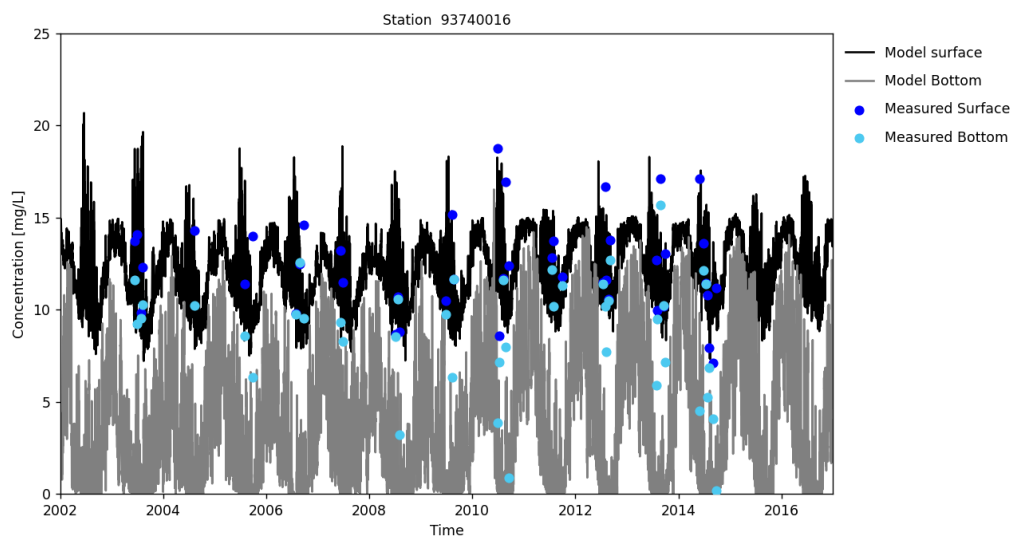
Figur 5 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,4 m (grå linje) på station 93740020, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.



Figur 6 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,0 m (grå linje) på station 93740015, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.



Figur 7 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 3,0 m (grå linje) på station 93740021, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.



Figur 8 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden, 2,4 m (grå linje) på station 93740016, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker). Stationens præcise placering kan ses af Figur 2.

Som det fremgår af ovenstående figurer, Figur 3 til Figur 8, modelleres iltsvind ind igennem fjorden på en række varierende dybder og helt ind på dybder under 2-3 m's dybde.

2.2 Intern belastning I Hjarbæk Fjord

En væsentlig pointe i SEGES-dokumentet relaterer sig til modellens evne til at beskrive den interne belastning, som må forventes at forekomme hen over sommeren i forbindelse med sænkning af iltkoncentrationer i bundvandet.

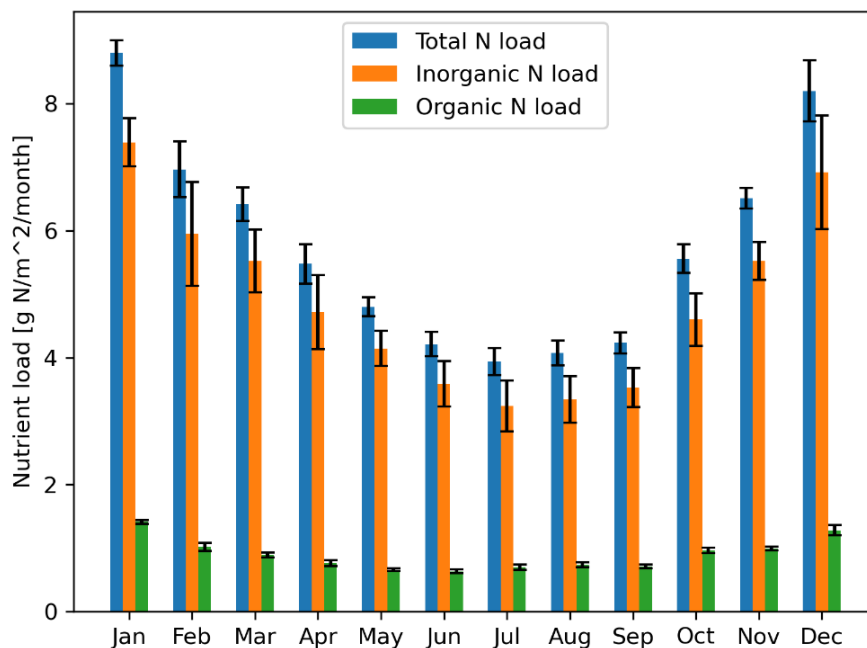
I Erichsen & Timmermann (2023) vises den areal-specifikke tilførsel af henholdsvis uorganisk kvælstof (N) og fosfor (P) fra land og sediment. Figurerne fra Erichsen & Timmermann (2023) er inkluderet i Figur 9 og Figur 10.

Figur 9 viser den landbaserede arealspecifikke tilførsel af henholdsvis N og P, mens Figur 10 viser den arealspecifikke tilførsel fra sedimenterne i Hjarbæk Fjord. Som det fremgår af figurerne, er tilførslen af DIN fra de landbaserede kilder omkring $4 \text{ g N/m}^2/\text{måned}$ i månederne juni til september, mens fluxen af DIN fra sediment til vandfasen i samme periode er mellem $2,0\text{-}2,5 \text{ g N/m}^2/\text{måned}$.

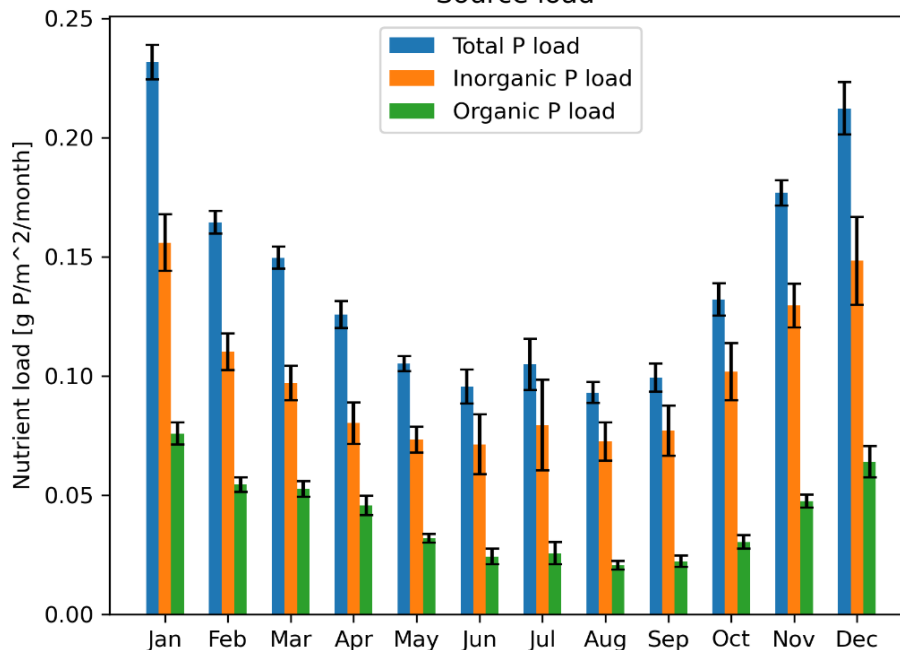
Tilsvarende er vist den landbaserede tilførsel af henholdsvis DIP og sediment flux af DIP: $0,1 \text{ g P/m}^2/\text{måned}$ fra de landbaserede kilder sammenholdt med $0,6\text{-}1,4 \text{ g P/m}^2/\text{måned}$. Mens der foregår en væsentlig denitrifikation i bundsedimenterne i fjorden, antyder fluxen af DIP en meget betydende intern belastning.

Det er i denne sammenhæng vigtigt at understrege, at intern belastning her ikke kun dækker over den del, som tilføres sedimenterne i vintermånederne og sidenhen frigives, men at en stor del af den interne belastning skyldes en flux af organisk materiale fra vandfasen til sedimenterne igennem hele året, som løbende genereres igennem primærproduktionen og omsættes i sedimenterne i løbet af sommeren under et iltforbrug; et iltforbrug, som resulterer i iltsvind i store dele af fjorden.

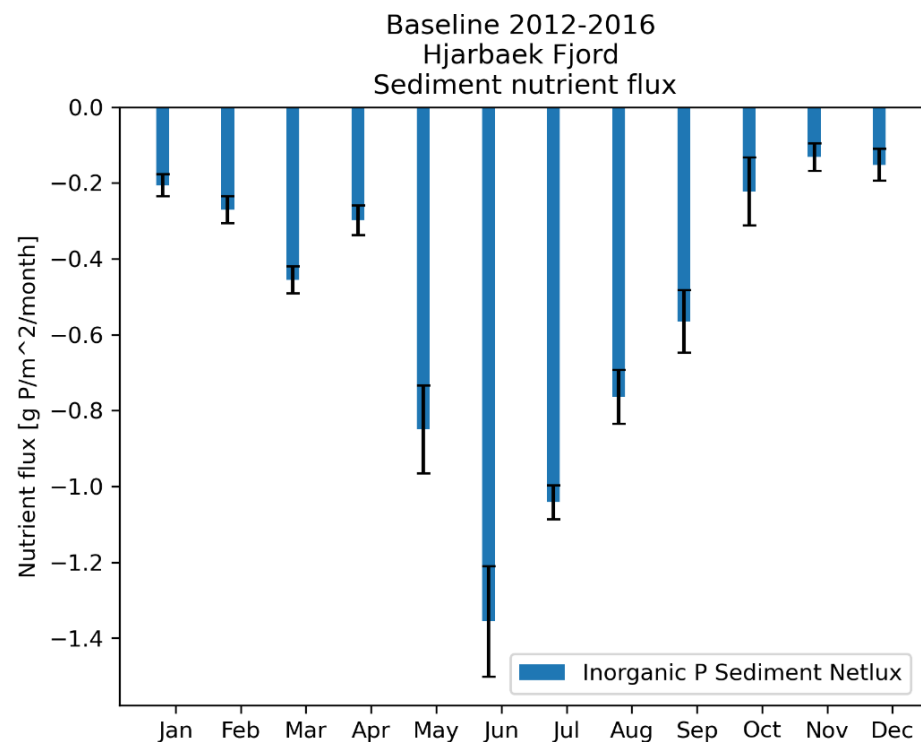
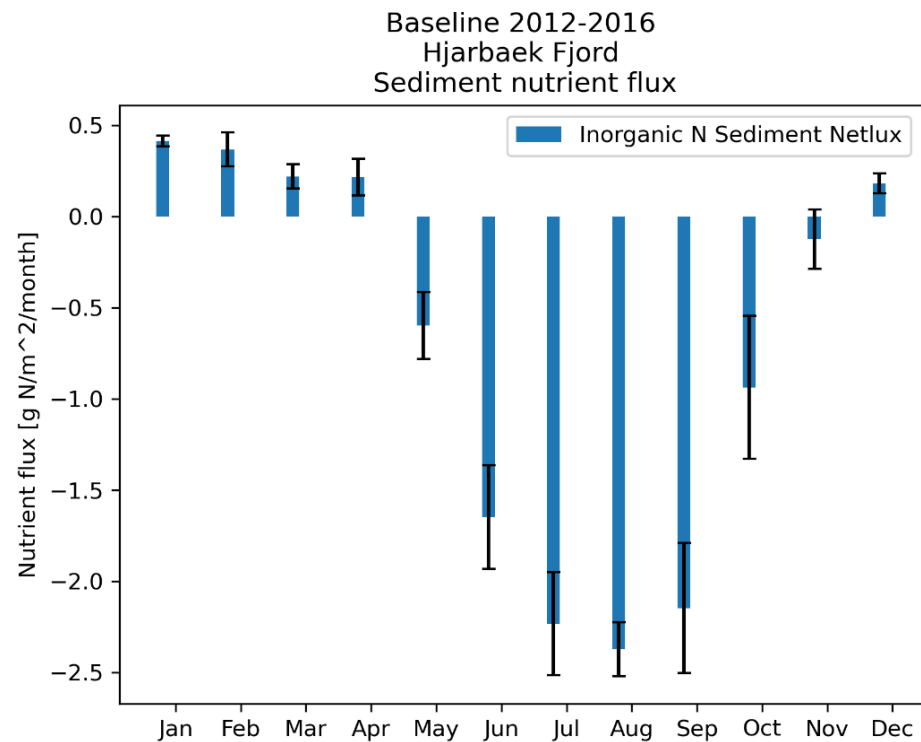
Baseline 2012-2016
Hjarbæk Fjord
Source load



Baseline 2012-2016
Hjarbæk Fjord
Source load



Figur 9 Gennemsnitlige tilførsler fra lokaloiland af N (øverst) og P (nederst) til Hjarbæk Fjord for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. ± én standardafvigelse. Tilførslerne er opgjort som den arealspecifikke tilførsel (vandområdeareal) og opgjort som total tilførsel og fordelt på organisk og uorganisk fraktion.



Figur 10 Gennemsnitlige fluks af N (øverst) og P (nederst) mellem sediment og vandfasen i Hjarbæk Fjord for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. ± én standardafvigelse. Positiv fluks angiver nettotransport fra vandfasen til sediment og negativ fluks angiver nettotransport fra sediment til vandfasen. Fluksen er opgjort som den arealspecifikke fluks (vandområdeareal) og opgjort som fluks af uorganisk N.

3 Økosystemforståelse

3.1 Opsummering af SEGES-notat

I dokumentet omkring økosystemforståelse baseret på analyser af NOVANA-data i perioden opsummerer SEGES tilstand og økosystemforståelse for Hjarbæk Fjord således: *"Tilstanden i Hjarbæk Fjord er meget langt fra god økologisk tilstand målt på klorofyl og vegetationens dybdegrænse. Der er sket betydelige fald i klorofyl som følge af næringsstoffebegrænsning af både fosfor og kvælstof. Særligt giver fosforbegrænsningen i foråret de laveste klorofylkoncentrationer for forår-/sommerperioden tæt på miljømålet og påviser at næringsstoffebegrænsning har en effekt. Men de lave klorofylkoncentrationer i foråret kan ikke fastholdes som følge af iltsvind og frigivelse af næringsstoffer fra sedimentet. Omfanget af iltsvind er ikke mindsket i perioden siden 1980 og formentligt forværret særligt i perioden august og september.*

Vegetationen når ud på en dybde på omkring 1 m med år-til-år variationer, og hvis målet om en dybdeudbredelse på 4,1 m skal opnås, er det en forudsætning, at alle iltsvind elimineres, da iltsvind optræder på 2-6 m vand mere eller mindre permanent i sommerhalvåret og muligvis i kortvarige perioder på lavere vanddybder".

Derudover konkluderer SEGES at *"Primærproduktionen i Hjarbæk Fjord er trods et fald siden 1980'erne stadig for høj, og fjorden er i dårlig tilstand som følge af for høje tilførsler af kvælstof og fosfor og intern belastning. Fosfor begrænser væksten særligt i perioden marts til juni og kvælstof fra juni til september"* og at *"Der er ingen data, som tyder på, at mindskelse af næringsstofftilførslen og dermed mængden af planktonalger vil være tilstrækkeligt til at mindske omfanget af iltsvind i fjorden"*.

3.2 Miljøforhold

I dokumentet diskuteres miljøforholdene hen over godt fire årtier: 1980-1989, 1990-1999, 2007-2019 og 2016-2019, og der drages en række konklusioner ved at sammenligne på tværs af årtierne.

Det er dog vigtigt at understrege, at i perioden 1980-1989 var Hjarbæk en sø og ikke et marint vandområde. Marine vandområder og ferskvandssøer kan ikke sammenlignes, og der er stor forskel på, om et vandområde skal betragtes som en sø eller et marint vandområde.

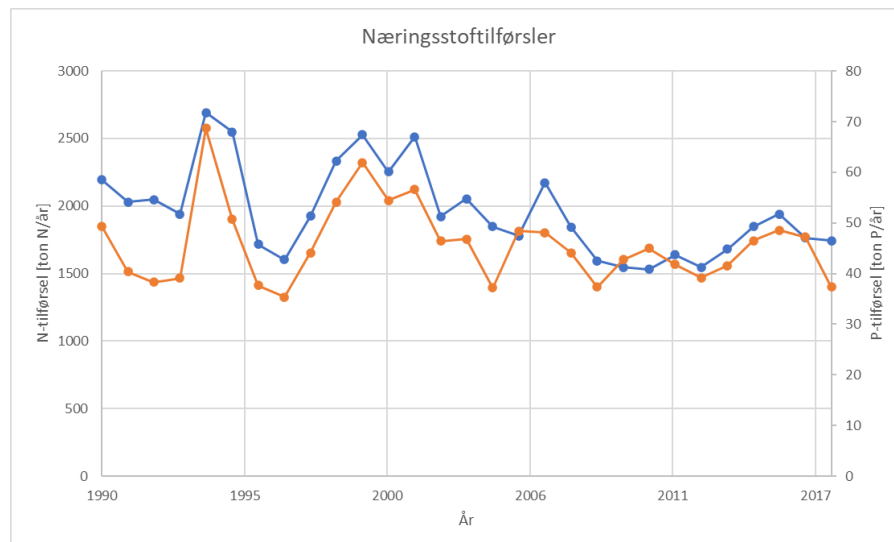
I starten af 1990'erne begynder man at åbne slusen ved Virksund-dæmningen og holder den mere og mere åben. Der foreligger ikke umiddelbart oplysninger om, hvor hurtigt og hvor længe Hjarbæk Fjord fastholdes i sølignende tilstand, men det må antages, at perioden fra 1990-1999 er en overgangsfase, hvor Hjarbæk Fjord overgår fra sø til marint vandområde.

Derfor kan data fra før 1999 ikke sammenlignes med de efterfølgende perioder, og der kan ikke drages konklusioner med hensyn til klorofyl- indhold eller iltsvind.

3.3 Tilførsler

I SEGES-dokumentet beskrives ændringer i næringsstoffebegrænsninger over perioden som en del af forklaringen på de ændringer, der observeres i fjorden.

For at kvalificere den diskussion har vi her inkluderet tilførsler af henholdsvis N og P til Hjarbæk Fjord siden 1990, se Figur 11.



Figur 11 Tilførsler af TN (blå kurve) henholdsvis TP (orange kurve) i perioden 1990 til 2018. Data er ikke afstrømningskorrigeret og viser dermed de tilførsler, som fjorden reelt har fået tilført.

Sammenlignes de først 5 år med de sidste 5 år, er der sket en reduktion i tilførsler af TN på knap 20%, mens reduktionerne i TP er under 10%. I SEGES-dokument konkluderes på baggrund af data efter 2007 (data fra 1980-1999 kan ikke sammenlignes), og som det fremgår af figuren, har der ikke været nogen ændringer i tilførsler i den periode, hvorfor det ikke alene baseret på data kan konkluderes, om tilførsler har en målbar betydning for henholdsvis klorofyl og iltsvind.

3.4 Modellens reaktioner på næringsstofftilførsler

Som baggrund for vandområdeplanerne 2021-2027 har DHI i samarbejde med blandt andet DTU-Aqua afviklet modelscenarier, som tydeligt viser, at miljøparametrene klorofyl og iltsvindsarealer i Hjarbæk Fjord responderer på ændringer i både TN- og TP-tilførsler. Dette er naturligvis alene baseret på modeller, men der er ikke noget, der tyder på, at fjorden ikke vil reagere positivt på reduktioner i næringsstofftilførsler, hvis reduktioner blev ført ud i livet.

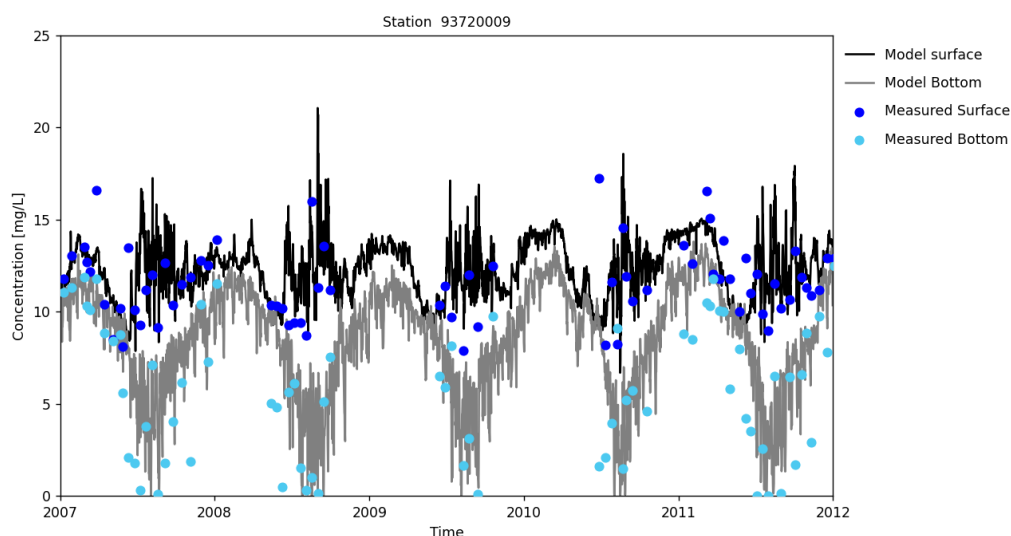
Her forholder vi os ikke til potentielle virkemiddelstiltag, der er implementeret i oplandet til Hjarbæk Fjord eller til eventuelle 'sofa-effekter', men alene til de ændringer, som fjorden har oplevet, og modelresultater.

4 Konklusion

Som opfølgning på de to notater, som SEGES har fremsendt til teknikergruppen under Kystvandrådsarbejdet for Hjarbæk Fjord, Skive Fjord, Lovns Bredning, Risgårde Bredning og Bjørnsholm Bugt, er nærværende korte notat udarbejdet. I det følgende opsummeres konklusioner i punktform.

4.1 Iltsvind og modelkvalitet

- Kalibrering er en proces, hvor brugeren forsøger at samle og oparbejde data til ensartet brug, og hvor man igennem modelkonstanter tilpasser modellen, så den bedst muligt passer på målinger i hele modelområdet og ikke alene på enkeltstationer. Hjarbæk Fjord er et vandområde, som indgår i en samlet model for hele Limfjorden, og en omkalibrering (eller stationsoptimering) vil derfor få konsekvenser for hele Limfjorden og ikke alene for Hjarbæk Fjord, hvorfor dette ikke er den rette fremgangsmåde.
- Modellen beskriver iltsvind i store dele af Hjarbæk Fjord år efter år. Modelresultater passer fint med målinger på alle stationer i sommermånederne med undtagelse af den dybe station umiddelbart efter slusen. At modellen ikke rammer målingerne på netop denne station, kan skyldes mange forhold, herunder opløsning i området omkring slusen. Denne forklaring underbygges af, at Hjarbæk Fjord-modellen (modellen som blev benyttet til at analysere forskellige åbninger af slusen) mere præcist rammer målingerne på samme station, se Figur 12.
- Modellen beskriver en stor intern tilførsel af især P hen over sommeren, en tilførsel som især stammer fra primærproduktionen over hele året.
- Modellen er derfor velegnet til at beregne indsatskrav foruden at vurdere forskellige scenarier af næringsstofftilførsler.



Figur 12 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladevandet (sort linje) og ved bunden (grå linje) på station 93720009, sammenholdt med tilsvarende målinger af ilt i overfladevandet (mørkeblå prikker) og ved bunden (lyseblå prikker).

4.2 Økosystemforståelse

- I sammenligningerne og konklusionerne omkring Hjarbæk Fjord er der ikke taget højde for, at fjorden i 1980-1989 var en sø, mens perioden 1990-1999 må anses som en overgangsfase, hvor fjorden er skiftet fra sø til marint vandområde. Der kan derfor ikke konkluderes på forskelle i hverken klorofyl eller iltsvindshændelser mellem disse perioder.
- I perioden fra 1990-2018 er der reelt kun sket relativt små reduktioner i næringsstofftilførsler, og især i perioden efter 2007 er der ikke synlige reduktioner i tilførsler, hvorfor der ikke er evidens for, at reduktioner ikke vil have forventede positive miljøkonsekvenser.
- Iltsvind spiller bestemt en central rolle for fjordens miljøtilstand, og den mekanistiske model beskriver en klar sammenhæng mellem næringsstoffreduktioner og ændringer i iltsvindsareal. En sammenhæng, som er mest udtalt i forhold til reduktioner i N-tilførsler, men også betydende for P-reduktioner (se Erichsen & Timmermann 2023). Derfor vurderes det at modellen er velegnet til at beregne indsatskrav og vurdere effekter af forskellige næringsstoffscenarier, som den er tiltænkt i nærværende projekt.

5 References

- /1/ Erichsen AC & Timmermann K (2023). Status og presfaktorer for vandområde Hjarbæk Fjord og Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning i Limfjorden. DTU-Aqua rapport.