

Mekanistiske modeller anvendt i Vandplanarbejdet (VP3)

Forfatter: Flemming Gertz Chefkonsulent, Vandmiljø Planter & Miljø, SEGES Innovation

12. juni 2022

Kvælstofindsatsbehovet i Vandområdeplanerne 2021-2027 baseres på beregninger af 2 forskellige modelkomplekssystemer hhv. statistiske modeller fra Aarhus Universitet og mekanistiske/dynamiske modeller fra DHI. Der er lavet dedikerede mekanistiske modeller for en række fjorde og vandområder med rapporter for kalibrering, endvidere kan kalibreringen studeres mere i detaljer på <http://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>

De mekanistiske modeller fra DHI er, i den internationale evaluering 2017 af marine modeller, blevet betegnet som "state of the art". Der er ingen tvivl om at selve modelsystemet er avanceret, men modellerne er ikke bedre end deres performance og de data som tilføres modellen og i den forbindelse er en korrekt og god kalibrering afgørende. Hvis ikke modellerne har en god kalibrering bør de ikke anvendes.

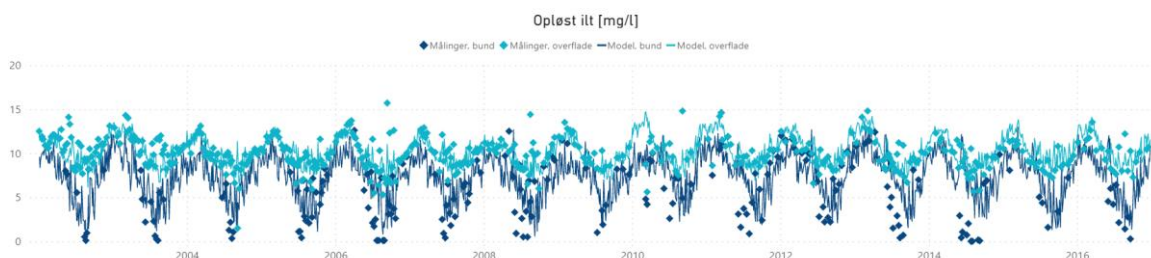
I det følgende er der set nærmere på kalibreringen af tre fjorde: Skive Fjord, Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord.

Skive Fjord

Skive Fjord er kendetegnet ved relativ høj afstrømning fra oplandet. Fjorden bliver lagdelt hver sommer, som følge af afstrømning af ferskvand og indstrømning af tungere saltvand fra Nordsøen. Hver sommer giver det anledning til iltsvind, der medfører at der frigives fosfat og ammonium fra sedimentet, hvilket giver anledning til øget vækst af alger hen over sommeren. I foråret er der fosforbegrænsning, som sikrer lavere niveauer af klorofyl, men over sommeren stiger klorofylniveauet pga. iltsvind og følgende næringsstoffrigivelse fra sedimentet.

Hvis den mekanistiske model skal foretage fornuftige scenarieberegninger, er det afgørende, at modellen beskriver iltsvind og næringsstoffrigivelse fra bunden korrekt, samt ikke mindst de rigtige perioder hvor der er hhv. fosfor- og kvælstofbegrænsning.

Følgende kalibrering er foretaget på station VIB3727-00001 i Skive Fjord og stillet til rådighed af DHI: <http://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>





Figur 1: Kalibrering af Ilt, DIN, DIP, klorofyl, og lys. Kilde: <http://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>

Den mekanistiske model er i stand til at beskrive iltsvind rimeligt godt stort set hvert år. Der er en tendens til at i nogle år, så kan modellen ikke beskrive iltsvind tidligt nok på foråret. Modellen kan efterfølgende beskrive fosforbegrænsning i foråret og frigivelse af fosfat fra sedimentet, så stigning i fosfat-koncentration, sker nogenlunde omkring maj/juni måned.

DIN (uorganisk kvælstof) er også beskrevet fornuftigt. Fald i DIN i foråret til potentielt begrænsende niveau sker i maj/juni. Modellen beskriver således de overordnede processer fornuftigt, der styrer vækst af alger.

DHI har valgt ikke at vurdere kalibreringen af DIN (uorganisk kvælstof) og DIP (fosfat) på sæsoner, men kun på hele året. Dette er problematisk fordi det er afgørende for modellen, at den kan beskrive hhv. fosfor- og kvælstofbegrænsning på de rigtige tidspunkter forår og sommer. Ved en visuel bedømmelse ser det dog fornuftigt ud.

Modellen ser ud til, at den kan ramme de rige klorofyl-niveauer de fleste år, men der er megen dynamik som ikke ser rigtig ud. Overordnet ser det fornuftigt ud, fordi modellen kan skrive dynamikken med lagdeling, iltsvind og næringsstoffer rigtigt og ved en spearmann rank test for klorofyl i sommerperioden bliver model bedømt som "good" (st. VIB3727-00001). Til gengæld kan modellen ikke beskrive lyset (sigtdybden) korrekt. Det varierer dog fra år til år, hvor nogle år falder helt ved siden af og andre "fitter" ret godt. Foruden klorofyl, så påvirker også andre partikler, humusstoffer, resuspension mv. vandets klarhed, og der er tilsyneladende ikke en tilstrækkelig forståelse i modellen til at beskrive dette.

Konklusionen må være at modellen i sin nuværende opsætning kan anvendes på klorofyl, men ikke anvendes på lys.

Table 5-2 Review of model performance (Spearman Rank Correlation, no unit) based on measured and modelled data for the validation period 2002-2016. Blue colour indicates an 'excellent' model (≥ 0.9), dark green indicates a 'very good' model (0.9-0.6), light green indicates a 'good' model (0.6-0.3), and yellow indicates a 'poor' model (< 0.3).

Station	TN		TP		DIP		DIN		CH		DO		K _d		Number of observations	
	Annual	Annual	Annual	Winter ^a	Annual	Winter ^a	Annual	Summer ^b	Annual	Annual	Annual	Summer ^c	Annual	Summ/Wint		
NOR6602	0.61	0.11	0.40	0.52	0.77	0.38	0.38	0.06	0.43	0.10	-0.06 ^d	[97-158]	[37-70]			
RKB59	0.84	0.85	0.94	0.90	0.93	0.85	0.80	0.79	0.74	0.45	0.34	[79-260]	[56-114]			
VIB3702-00001	0.74	0.53	0.57	0.79	0.84	0.46	0.19	0.00	0.85	0.48	0.44	[323-402]	[61-222]			
VIB3705-00001	0.72	0.48	0.37	0.94	0.87	-0.15	0.55	0.08	0.80	0.01	0.01	[49-165]	[17-118]			
VIB3708-00001	0.74	0.53	0.56	0.68	0.79	0.31	0.10	0.12	0.82	-0.03	-0.05	[414-577]	[84-330]			
VIB3711-00001	0.67	0.39	0.59	0.63	0.77	0.33	0.18	0.12	0.88	0.05	0.05	[275-301]	[58-195]			
VIB3720-00001	0.84	0.15	0.36	0.87	0.83	0.28	0.24	0.15	0.87	0.42	0.41	[34-60]	[9-30]			
VIB3723-00001	0.86	0.55	0.25	0.94	0.90	-0.02	0.27	-0.19	0.79	-0.43	-0.38	[56-108]	[20-52]			
VIB3726-00001	0.74	0.66	0.57	0.81	0.87	0.15	0.39	0.43	0.88	-0.38	-0.22	[307-536]	[106-249]			
VIB3727-00001	0.71	0.67	0.57	0.79	0.83	0.35	0.46	0.36	0.80	0.06	0.18	[563-956]	[169-455]			
VIB3728-00001	0.69	0.65	0.45	0.80	0.87	-0.09	0.33	0.22	0.80	0.08	0.03	[215-454]	[83-215]			
VIB3729-00001	0.77	0.38	0.50	0.73	0.89	0.39	0.47	0.46	0.80	0.12	0.08	[142-314]	[50-154]			

^a Jan, Feb, Dec

^b May-Sep

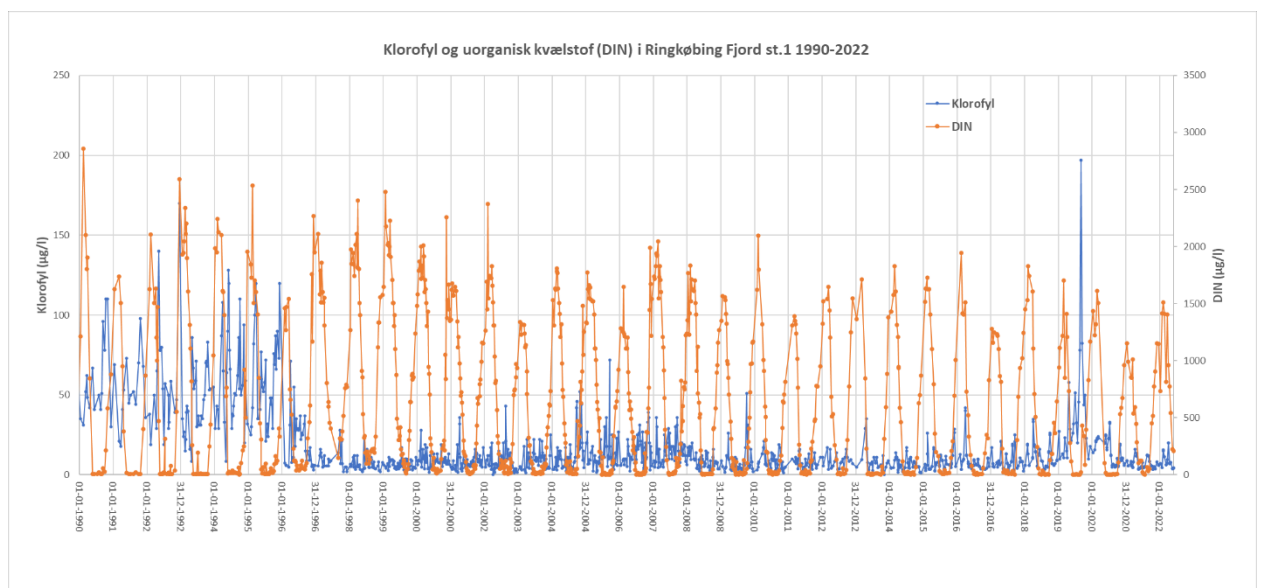
^c Mar-Sep

^d K_d calculated from Secchi Depth (SD)

Figur 2: Kilde DHI, Ref2

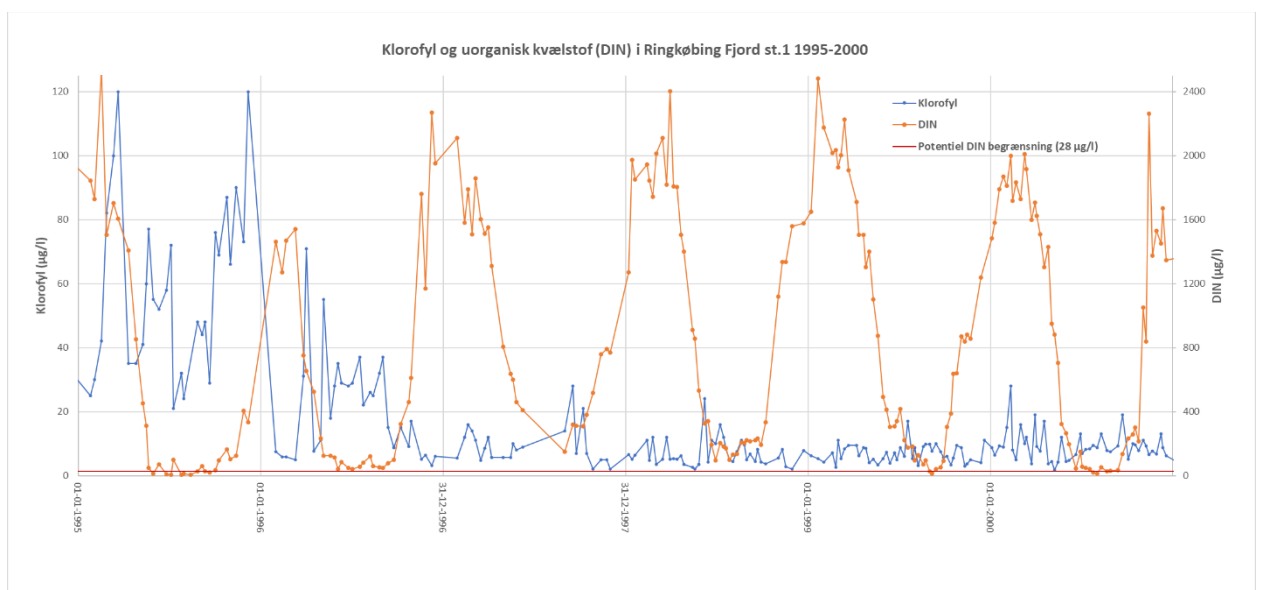
Ringkøbing Fjord

Ringkøbing Ford er en slusefjord og kendetegnet ved, at styringen af slusen i meget høj grad påvirker tilstanden i fjorden. I 1995 ændrede man slusepraksis, hvilket medførte højere saltholdighed i fjorden, hvilket igen førte til, at sandmuslinger i stort tal kunne leve i fjorden. Sandmuslinger filtrerer kraftigt, og var i stand til at reducere planktonalger meget markant. Sigtdybden blev øget fra 0,5 m til 2 m i løbet af et år. Effekten af muslingernes filtration er velbeskrevet (ref2 og ref3), og ses på nedenstående figur. Muslingerne kom ind i fjorden som larver i 1995 og begyndte filtrationen for alvor i 1996, da muslingerne blev store nok.



Figur 3: Kilde Novana-data

Effekten af muslingernes filtration, som kom meget pludseligt over 1995 og 1996, var at der var uorganisk kvælstof (DIN) i overskud eller uforbrugt DIN hele sommeren i flere år. Se nedenstående figur 4. I 1996 falder klorofylniveauet, samtidig med at DIN ligger over 28 µg/l (rød linje) som er det potentielt begrænsende niveau for algevækst. Det efterfølgende år 1997 stiger DIN om sommeren yderligere samtidig med, at klorofyl falder yderligere. Klorofyl faldt markant fra 50-60 µg/l (sommermiddel) før 1995 til knap 30 µg/l i 1996, 12 µg/l i 1997, og derefter typisk under 9 µg/l. Først flere år senere, i sommeren 2000, bliver DIN igen så lavt om sommeren, at man kan tale om potentielt begrænsende niveau. Denne udvikling mod lavere DIN sommerkoncentrationer skyldes en kraftig vækst i søsalat. Inden 1995 var der ikke søsalat i fjorden, og da der i årene efter 1995 pludselig var lys og DIN i overskud skete der en vækst, men det tog nogle år inden "søsalat-produktionen" var nået maksimum og kunne fjerne det overskydende DIN fra vandfasen om sommeren. Senere i 2018, 2019 og 2020 var der problemer med at holde saltholdigheden tilstrækkelig højt for at understøtte livsvilkårene for sandmuslingerne og i forbindelse med færre muslinger stiger klorofyl, indtil der igen kommer højere saltholdighed og flere muslinger ind i fjorden (fig 3).



Figur 4: Kilde: Novana-data

I Ringkøbing Fjord er der således ingen kobling mellem klorofyl og næringsstoffer pga. af sandmuslingernes filtration. Eutrofieringsniveauet i fjorden skal bedømmes på mængden af søsalat. DHI's model får da også en dårlig ranking på sommermiddel-klorofyl (Poor) og en tilsvarende dårlig på sommermiddel-sigtddybde.

I vandområdeplanerne er klorofyl og sigtddybde anvendt til at lave indsats på kvælstof også for Ringkøbing Fjord. Dette må anses for at være en systemmæssig fejl og bør revurderes. Man bør monitorere bedre på søsalat og få modellen kalibreret herefter. Modellen vil formentligt med den rigtige kalibrering kunne beskrive økosystemet i fjorden korrekt, men kan ikke anvendes for nuværende. Det må anbefales at eutrofieringstilstanden vurderes på baggrund af søsalat og ikke klorofyl og sigtddybde, som i høj grad er styret af sandmuslingernes filtration.

Table 5-1 Review of model performance at station RKB1 based on measured and modelled data for the validation period 2002-2016. Blue colour indicates an 'excellent' model; dark green indicates a 'very good' model; light green indicates a 'good' model, and yellow indicates a 'poor' model.

Parameter	P-Bias (%)	Spearman Rank Correlation	Cost Function (CF)	Number of observations
TN annual	39.1	0.87	0.63	609
TP annual	-29.5	0.47	0.59	581
DIP annual	41.5	0.69	0.93	608
DIP winter	56.7	-0.11	2.20	104
DIN annual ^a	51.8	0.88	0.51	608
DIN winter ^a	22.8	0.71	0.96	104
CH annual	-32.9	0.03	1.12	618
CH summer ^b	9.5	-0.05	1.15	281
DO annual	3.3	0.87	0.44	544
K _d annual	-41.8	0.52	0.55	548
K _d summer ^c	36.1	0.28	0.66	355

^a Jan, Feb, Dec

^b May-Sep

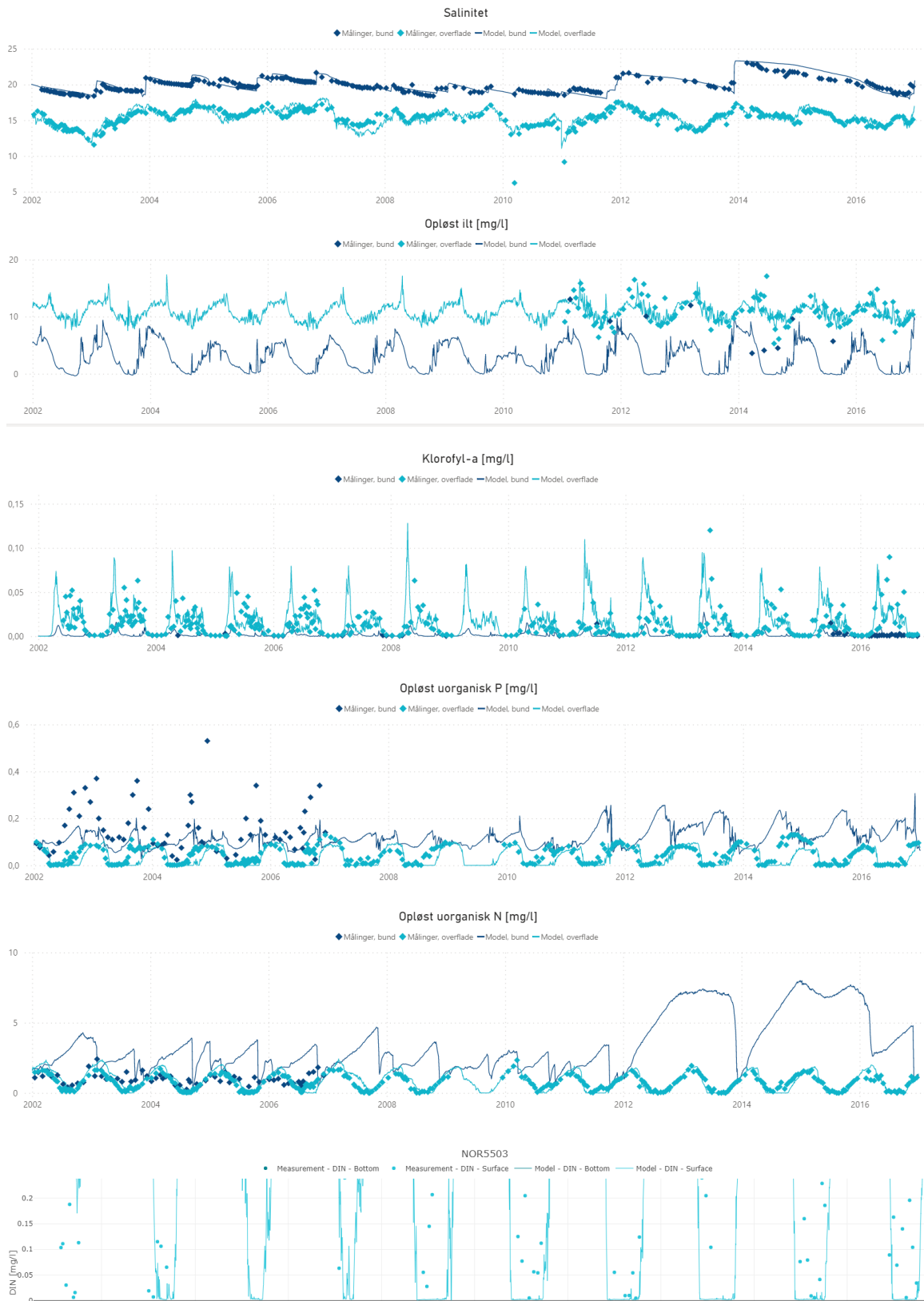
^c Mar-Sep

Figur 5: Kilde Ref4

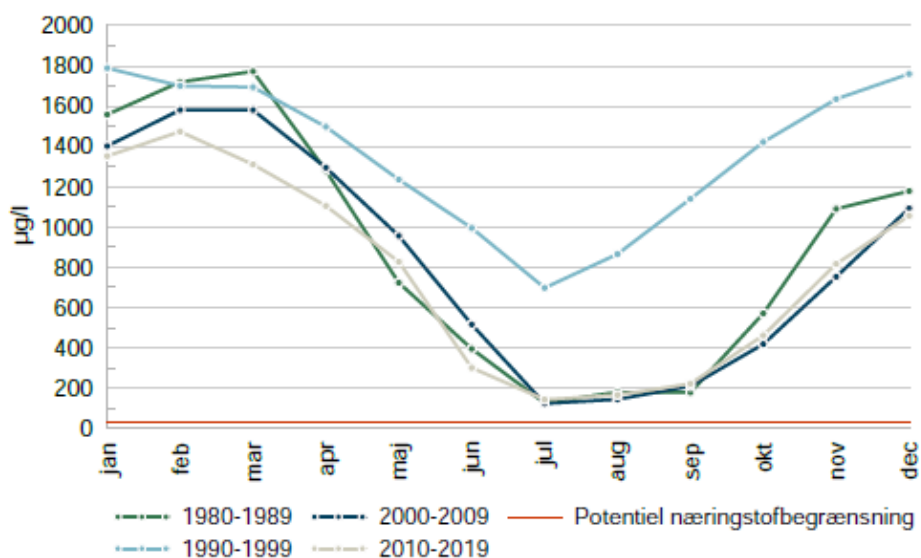
Mariager Fjord

Mariager Fjord er kendetegnet ved en indre dyb del, med permanent lagdeling og stort set permanent iltsvind i det nedre og dybde lag, og som følge heraf har det nedre lag højt indhold af uorganiske næringsstoffer. Den mekanistiske model DHI har sat op for fjorden er i stand til at modellere saltholdig i øvre og nedre lag. Nedre lags saltholdighed er karakteristisk ved at stige brat som følge af en enkelt kort "vind event", der medfører kraftig indstrømning af vand fra Kattegat med højere saltholdighed efterfulgt af langsomt fald i saltholdighed. Modellen beskriver dette glimrende. Til gengæld beskriver modellen ikke iltniveauet i bundlaget korrekt. Af en ukendt årsag har DHI ikke præsenteret iltmålinger fra alle årene fra bundlaget i kalibreringen. Monitoringsdata for denne station viser (ref5), at iltniveauet går i nul om sommeren, som modellen viser, men ikke stiger til mere end gennemsnitligt 2,5 mg/l. Dvs. modellen ilter bundvandet for meget, hvilket påvirker koncentrationen af uorganiske næringsstoffer, hvilket også ses på kalibreringen af DIP (uorganisk fosfor) og DIN (uorganisk kvælstof) i bundvandet, som slet ikke rammer rigtigt de år der er data fra 2002-2006. DHI ignorerer i den statistiske validering (performance), at de ikke kan ramme niveau i bundlaget (fig6 og fig8).

Koncentrationen er DIP i overfladen rammer nogenlunde niveau, men flere år undervurderer modellen DIP i sommerperioden. Hvad angår DIN i overfladen, så ser det umiddelbart fornuftigt ud, idet DIN følger de årlige stigninger og fald. Men zoomes der nærmere ind på grafen (nederst fig6) så ses det, at modellen går i kvælstofbegrænsning hver sommer (under 28 µg/l). Det viser målingerne ikke. Om sommeren er DIN jf. målinger på 100-300 µg/l (fig.7), hvilket er langt over kvælstofbegrænsning. Modellen er derfor ikke korrekt kalibreret for en meget afgørende parameter, og dette fremgår ikke af den statistiske validering af modellen, fordi man har valgt ikke at lave en validering på sommer DIN, men kun på årlig DIN. Dette er kritisabelt. Med den nuværende modelopsætning vil modellen vise, at klorofyl om sommeren er følsom for en kvælstofreduktion, men data for fjorden viser, at klorofyl er langt fra at være kvælstofbegrænset. Fjorden er derimod potentiel fosforbegrænset og det vil være fornuftigt at overveje initiativer for at begrænse fosfor fra oplandet og fra sedimentet, for at få fjorden i bedre tilstand. Denne vurdering er bekræftet af andet arbejde end fra SEGES (ref6). Samlet får DHI ikke en brugbar statistisk validering på sommerlys og sommerklorofyl, derudover er modellen ikke kalibreret korrekt, men det fremgår ikke af den statistiske validering, fordi man undlader at teste for sommer DIN og sommer DIP og ignorerer, hvorvidt modellen kan ramme DIN og DIP i bundvandet.



Figur 6: Kalibrering af Salinitet, Ilt, klorofyl, DIP, DIN. Kilde: <http://rbmp2021-2027.dhigroup.com/>



Figur 3.14 Gennemsnit af DIN-koncentrationen (µg/L) i topprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1990, 2000-2009 og 2010-2019.

Figur 7. Kilde: Ref5

Table 5-1 Review of model performance at station NOR5503 based on measured and modelled data for the validation period 2002-2016. Blue colour indicates an 'excellent' model; dark green indicates a 'very good' model; light green indicates a 'good' model, and yellow indicates a 'poor' model.

Parameter	P-Bias (%)	Spearman Rank Correlation	CF	Number of observations
TN annual	22.6	0.82	0.76	409
TP annual	-17.7	0.51	0.58	386
DIP annual	-35.6	0.72	0.48	410
DIP winter ^a	-20.4	0.16	0.45	70
DIN annual	16.4	0.82	0.63	408
DIN winter ^a	9.1	0.74	0.72	68
CH annual	19.5	0.67	0.74	402
CH summer ^b	9.1	0.26	0.79	200
DO annual	3.7	0.66	0.70	122
K _d annual	-10.9	0.40	0.91	362
K _d summer ^c	-10.6	-0.03	1.15	260

^a January, February, December

^b May-September

^c March-September

Figur 8: Kilde Ref7

Konklusion

Ved gennemgang af tre mekaniske modeller for hhv. Skive Fjord, Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord kan det konstateres, at to ud af tre modeller ikke er egnede til anvendelse til beregning af indsatsbehov i deres nuværende kalibrering. Den sidste for Skive Fjord har en grundlæggende rigtig systemforståelse, hvad angår lagdeling, iltsvind, kvælstof- og fosforbegrænsning, og det lykkes derfor at beskrive sommerklorofyl, men alligevel kniber det med at beskrive sommersigt-dybde, som er en af to afgørende parametre. De to andre modelopsætninger skal mere grundlæggende kalibreres for, at de kan anvendes, fordi de ikke har fået indbygget tilstrækkelig systemforståelse.

Det kan endvidere konkluderes, at den performanceanalyse, som DHI har lavet, ikke er retvisende for, hvor godt modellerne performer. Dette skyldes især, at analysen ikke indeholder sommergennemsnit af DIN og DIP, hvilket er problematisk i forhold at vurdere, hvorledes modellerne performer i forhold til fosfor- og kvælstofbegrænsning. Endvidere ignoreres kalibrering af bundprøver af DIN og DIP i performanceanalysen, hvilket ligeledes er problematisk for bedømmelsen af modellerne.

Referencer

Ref1: Development of Mechanistic Models Mechanistic Model for Limfjorden Technical documentation on biogeochemical model. DHI 2020 for Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen.

Ref2: Jens Kjerulf Petersen, Jens Würigler Hansen, Martha Brogaard Laursen, Preben Clausen, Jacob Carsten sen, Daniel J. Conley. 2008, *Regime shift in a coastal marine ecosystem*, Ecological Applications, Volume 18, Issue 2 Pages 497-510, <https://doi.org/10.1890/070752.1>

Ref3: Flemming Gertz. *Miljøtilstanden i Ringkøbing Fjord*, Vand & Jord, 25. årgang nr. 3, september 2018

Ref4: Development of Mechanistic Models Mechanistic Model for Ringkøbing Fjord Technical documentation on biogeochemical model. DHI 2020 for Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen.

Ref5: Flemming Gertz, Tobias Berthel Bendixen, Sebastian Piet Zacho 2020: *MILJØTILSTANDEN I MARIAGERFJORD – Beskrivelse af udviklingstendenser af centrale miljøparametre*, SEGES

Ref6: Henning S. Jensen, december 2021, *Notat om fosfordynamik i Mariager Fjord samt en vurdering af om en fosforfældning i den indre fjord kan forbedre vandkvaliteten*. HSJ Vandmiljø.

Ref7: Development of Mechanistic Models Mechanistic Model for Mariager Fjord Technical documentation on biogeochemical model. DHI 2020 for Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen