

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Slutrapport

Hydrografiske og kemiske forhold i Skive Fjord og tilstødende områder

Dato: 19. august 2020

Forfattet af: Morten Holtegaard Nielsen, Marine Science & Consulting ApS

1. Indledning

Dette dokument udgør den afsluttende rapport for arbejdet beskrevet i leverandøraftale mellem SEGES og Marine Science & Consulting ApS, dateret d. 1. marts 2020. Arbejdet som afrapporteres her, bygger på en tidligere aftale og udført arbejde, jævnfør leverandøraftale dateret d. 16. august 2019 og tidligere fremsendt statusrapport, dateret d. 19. december 2019. Projektet vedrører specifikt de hydrografiske og kemiske forhold i Skive Fjord og tilstødende områder. Det tidligere udførte arbejde har vist at pga. de relativt lave dybder og den generelt kraftige vindblanding kan Limfjorden, herunder Skive Fjord, Lovns Bredning og Risgårde Bredning, betegnes som et velblandet estuarie (Fischer et al., 1979). Derimod er de tidevandsinducerede strømninger i den pågældende del af Limfjorden relativt svage og uden betydning for transporten og blandingen af vandmasserne. At området kan betegnes som et velblandet estuarium betyder at vandsøjlen på et givent sted ofte er helt homogen, men at der optræder en langsgående gradient i densiteten, hvilket skyldes dels tilførslen af ferskvand fra land mod syd, dels forbindelserne til saltvand i Nordsøen mod vest og Kattegat mod nordøst. Denne type estuarium er kendetegnet ved en meget stor blanding og dispersion af opløste stoffer, herunder næringssalte. Det betyder at en meget stor del, typisk 80-90%, af de vandmasser som befinder sig i Skive Fjord, har en oprindelse i den centrale del af Limfjorden, og at kun en mindre del er afstrømning fra land. Det tidligere udførte arbejde har også vist at når vinden aftager, kan der relativt hurtigt opbygges en vertikal lagdeling, hvor det nedre lag kan blive genstand for iltsvind. Når dette sker, peger data på at der sker en stor nettofrigivelse af næringssalte fra sedimentet.

I nærværende rapport fokuseres på forholdene i den dybe del af området, dvs. i den nordlige del af Skive Fjord og i Risgårde Bredning, jævnfør kortet vist i Bilag 1. Her optræder der dybder op til ca. 25 m, hvorimod omkring 90% af området har dybder under ca. 10 m. I den dybe del af området må en sådan opstået lagdeling forventes at kunne blive langvarig, for nedbrydning af den vil kræve vedvarende, kraftig vind. Derfor forventes iltsvindet i og den tilhørende nettofrigivelse af næringssalte fra det dybe område at blive særlig stor. Dette er undersøgt nærmere i nærværende rapport.

I rapporten anvendes en deskriptiv-mekanistisk model, jævnfør skitsen vist i Bilag 2, hvilket skal forstås på følgende måde. Værdierne af de variable som til enhver tid beskriver systemets tilstand, f.eks. lagdelingen, saltholdigheden, iltkoncentrationen, volumenet af og den samlede mængde næringssalte i det dybliggende lag mv., bestemmes vha. måldata. De styrende processer i systemet, f.eks. medrivningen, transporten af næringssalte fra den dybtliggende vandmasse, remineraliseringsraterne mv., bestemmes vha. kvantitative procesbeskrivelser som tager udgangspunkt i gældende fysiske principper, herunder massebevarelse og omsætning af mekanisk energi.

2. Data

CTD-data og vandkemiske data er hentet i Miljøministeriets Overfladevandsdatabasen (ODA). Vind-data fra Aalborg Lufthavn, som er den nærmeste station med en tilpas lang tidsserie, er leveret af Danmarks Meteorologiske Institut. Data for afstrømning af ferskvand og næringssalte fra oplandet er leveret af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet, som også har leveret bathymetriske data. Det samlede datasæt dækker perioden fra begyndelsen af 1990 til slutningen af 2017, hvori CTD- og vandkemiske data har relativ stor dækning i både tid og sted. Fokus i arbejdet er lagt på tidsperioder, hvor datadækningen i både tid og sted har været højst mulig. Dvs. at der er blevet foretaget CTD-profilering og indsamlet prøver til vandkemi på stationer i alle dele af undersøgelsesområdet, og at profileringen er foretaget mindst en gang om ugen. I Bilag 4 er vist datadækningen for alle stationer i området for hele undersøgelsesperioden. Det fremgår at datadækningen er af varierende kvalitet, og at det for mange års vedkommende kun er en

sammenhængende periode på ca. 6 måneder i iltsvindssæsonen, som er til rådighed for en tilstrækkelig analyse. 1998 er det første år, hvori alle delområder er repræsenteret med en tilpas tæthed i tid og sted for både CTD- og vandkemiske data i næsten hele året.

I denne rapport anvendes udelukkende data som kan bruges til at undersøge forholdene i det dybe område i den nordlige del af Skive Fjord og i Risgårde Bredning. Dette omfatter stationerne 93740004, 93740005, 93740006, 93740007 og 93740011 (se kortet i Bilag 3). For nemheds skyld refereres til disse som 4, 5, 6, 7 og 11. De to sidstnævnte stationer befinder sig ganske vist på relativt lavt vand i Skive Fjord og Lovns Bredning. Men den dybtliggende vandmasse er meget dynamisk og kan dukke op på disse stationer. Dette viser observationerne med tydelighed. Det forhåndenværende datamateriale er tilstrækkeligt til en fornuftig beskrivelse af forholdene i den dybe del af området fra 1998 til 2007 og muligvis igen fra 2013 til 2017, jævnfør oversigten over data-dækning vist i Bilag 4. I perioden efter 2015 er der dog kun foretaget målinger omtrent hver 14. dag, og derfor er det usikkert hvor god analysen eventuelt kan blive. I nærværende rapport er data fra årene fra 1998 til 2000 samt 2003 analyseret.

3. Metoder

CTD-data og vandkemiske data for stationerne 4, 5, 6, 7 og 11 er plottet enkeltvis og for perioder af 3-8 dages varighed afhængig af hvornår målingerne er udført, uden nogen form for databehandling, jævnfør Bilag 5. Plotning af de enkelte stationer omfatter vertikale profiler af densitet (beregnet ud fra salinitet, temperatur og tryk, jævnfør UNESCO, 1981), iltkoncentration og klorofylkoncentration, alle fra CTD-data, samt klorofylkoncentration, koncentration af organisk/partikulært N (beregnet som total N minus opløst, uorganisk N fra ammonium, ammoniak, nitrit og nitrat), koncentrationen af organisk/partikulært P (beregnet som total P minus opløst, uorganisk P fra orthofosfat), koncentrationen af opløst, uorganisk N fra ammonium plus ammoniak, koncentrationen af opløst, uorganisk N fra nitrit plus nitrat, koncentrationen af orthofosfat og koncentrationen af silicium, alle vandkemiske data. Endvidere er CTD-data afbildet i form af sammenhørende værdier af salinitet og temperatur, hvoraf forskellige vandmasser er nemme at identificere. På samme side er der endvidere lavet plots af korte tidsserier af 14 dages varighed omfattende de pågældende CTD- og vandkemiske data. Tidsserierne omfatter vind (fart, W , og retning), vindens fart opløftet til tredje potens, ferskvandsafstrømningen samt afstrømningen af total N og P.

Derefter er plottene gennemgået manuelt og sammenlignet både indbyrdes indenfor en given periode og med den foregående og den efterfølgende periode. Hvis en dybtliggende vandmasse er tydeligt tilstede, hvilket er baseret på fordelingen af salinitet- og temperaturmålinger på de forskellige stationer, er det noteret i en tekstfil på hvilke stationer vandmassen optræder, og på hvilke stationer vandmassen ikke optræder. Til hjælp for den manuelle gennemgang af data er overfladelaget og bundlaget på en given station bestemt vha. de steder i vandsøjlen hvor Brunt-Väisälä-frekvensen overskrider en værdi på 0.005 s^{-1} (se f.eks. Gill, 1982). Denne værdi er fastsat arbitrært, men har vist sig at passe nogenlunde fint med hvornår en tydelig gradient begynder at optræde i form af ændringer i ikke kun salinitet og temperatur, men også ilt og klorofyl. Nedre grænse for overfladelaget og øvre grænse for bundlaget er kun i sjældne tilfælde tætte på hinanden, dvs. at man sjældent kan tale om et tolagssystem med en decideret skilleflade mellem de to lag. Derimod er der ofte en gradvis overgang af en vis udstrækning mellem de to lag. Vha. denne definition på overflade- og bundlaget er de tilhørende middelværdier af saliniteten og temperaturen beregnet og indtegnet med farver i diagrammerne med salinitet- og temperaturmålingerne. Derefter er det relativt nemt at sammenligne målingerne og bedømme i hvilken grad vandmasser på en station også optræder på de andre stationer. Denne bedømmelse er i nogen grad subjektiv, men en tommelfingerregel er at hverken salinitets- eller temperaturdata må afvige mere end 1 enhed.

Det kan være at der er perioder, hvor der slet ikke kan findes klare indicier for en dybtliggende vandmasse på nogen af stationerne. Det vil typisk forekomme hvis der slet ikke er foretaget målinger på station 6, den dybeste af de pågældende stationer, og hvis der samtidigt ikke er samhørighed mellem målingerne lavet på nogen af de andre stationer.

Den deskriptive del af modeltilgangen er foregået som følger, jævnfør skitsen i Bilag 2. Med udgangspunkt i tekstfilen med de noterede stationer, hvor den dybtliggende vandmasse er til stede, er forholdene i denne vandmasse beregnet som funktion af tiden. De beregnede værdier omfatter disse størrelser (ikke alle er plottet i de tilhørende figurer i Bilag 6): dybden (y_2 , øvre grænse for det dybe lags udstrækning), saliniteten, temperaturen, densiteten (ρ_2), iltkoncentrationen, koncentrationen af opløst, uorganisk N fra nitrit plus nitrat (C_{NO}), koncentrationen af opløst, uorganisk N fra ammonium plus ammoniak (C_{NH}), koncentrationen af opløst, uorganisk orthofosfat (C_{PO}), volumenet (V), arealet (A), den samlede masse af opløst, uorganisk N fra nitrit plus nitrat, den samlede masse af opløst, uorganisk N fra ammonium plus ammoniak og den samlede masse af orthofosfat. Til belysning af lagdelingens stabilitet og til hjælp for efterfølgende beregninger er der endvidere foretaget beregning af øvre lags dybde (y_1 , nedre grænse for det øvre lags udstrækning) samt øvre lags salinitet, temperatur, densitet (ρ_1), klorofylkoncentration og iltkoncentration. Der skal gøres følgende bemærkninger til de beregnede størrelser. Dybden, saliniteten, temperaturen, densiteten og iltkoncentrationen er beregnet ud fra tilgængelige data på stationerne 4, 6 og 5. Stationerne 7 og 11 er udeladt, for hvis den dybtliggende vandmasse er til stede, vil i hvert fald dybden her ikke være repræsentativ for laget som helhed. Man kan have større tiltro til saliniteten og iltkoncentration, men disse er for en god ordens skyld også udeladt. Derimod er data fra stationerne 4, 7 og 11 brugt til at bestemme koncentrationerne af næringssaltene. For alle størrelser, der er direkte baseret på målinger, gælder at de beregnede værdier er fundet som middelværdier af de tilgængelige målinger. Efterfølgende er dybden brugt til at beregne volumenet og overfladearealet af det dybtliggende lag vha. de hypsografiske data vist i Bilag 3. Disse data er beregnet ud fra de bathymetriske data. Deraf er de samlede masser af næringssalte i det dybtliggende lag beregnet.

Derefter er medrivningsvandføringen og de samlede medrivninger af næringssalte beregnet i den mekanistiske del af modeltilgangen, jævnfør skitsen i Bilag 2. Medrivningsvandføringen er beregnet som

$$Q_E = V_E \cdot A$$

Medrivningshastigheden, V_E , er beregnet vha. følgende sammenhæng, som udtrykker, at en lille del af den turbulente kinetiske energi, som vinden har tilført, er blevet brugt til at føre relativt tungt vand fra det dybtliggende lag op i den øvre del af vandsøjlen (se f.eks. Nielsen et al, 2005).

$$Ri_F = \frac{1/2 \cdot \delta \rho g y V_E}{f_w / 2 \cdot \rho_2 (\rho_a / \rho_2)^{3/2} W^3},$$

hvor $\delta = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ er den relative densitetsforskel mellem øvre og nedre lag, g er tyngdeaccelerationen, y regnes som middelværdien af øvre og nedre lags tykkelser som bestemt ovenfor, ρ_a er luftens densitet, og hvor det såkaldte Flux Richardsons tal, Ri_F , og friktionsfaktoren for vind, $f_w / 2$, er velkendte størrelser. De samlede medrivninger af næringssalte er herefter beregnet som den samlede medrivning gange koncentrationerne af de forskellige næringssalte i det dybtliggende lag. F.eks. er den samlede medrivning af opløst, uorganisk N fra ammonium plus ammoniak bestemt som

$$M_{NH} = Q_E \cdot C_{NH}$$

Til sammenligning er der lavet plots af afstrømningen af ferskvand samt total N og total P fra land.

Endeligt er summen af nettofrigivelsen af næringssalte fra sedimentet, nettofrigivelsen af næringssalte fra det nedre lag samt sedimentationen fra den øvre del af vandsøjlen estimeret i den mekanistiske del af modeltilgangen. Især nettofrigivelsen fra sedimentet omfatter en række komplicerede processer og er bl.a. afhængig af den sedimentation, som når bunden. På det forhåndenværende datagrundlag kan man ikke udtale sig nærmere om den relative fordeling mellem de forskellige processer. Beregningen bygger på en massebevarelse for det dybtliggende lag og udtrykker at ændringen i den samlede mængde af et givent næringssalt, $\Delta(C_i \cdot V)$, er lig summen af tilstrømningen udefra, den ovennævnte sum af nettofrigivelserne fra sediment og den nedre del af vandsøjlen samt sedimentation fra den øvre del af vandsøjlen, udtrykt ved den samlede rate, R_i , hvorfra skal trækkes den mængde, som fjernes via opadrettet medrivning. Tilstrømningen af næringssalte udefra kan man med god tilnærmelse se bort fra, for det tilstrømmende vand vil ofte være fuldt iltet og indeholde relativt lave koncentrationer af næringssalte. Vha. symboler kan dette udtrykkes som

$$\Delta(C_i \cdot V) = R_i A \Delta t - V_E A C_i \Delta t,$$

hvor Δ udtrykker en ændring mellem to tidspunkter, hvor der er foretaget målinger, og hvor Δt er længden af den mellemliggende periode. Det skal bemærkes at det er forbundet med en stor usikkerhed at bestemme masseændringen for et givent næringssalt i den dybtliggende vandmasse, dvs. venstre side af ovenstående udtryk. Dette skyldes at den dybtliggende vandmasse er meget dynamisk. Endvidere skal det bemærkes at beregningsmetoden kun kan sige noget om omsætningen og mængderne i løbet af en given periode, ikke hverken alderen eller oprindelsen af de pågældende næringssalte.

For hvert år er beregningerne foretaget for så lang en periode som muligt, betinget af hvornår data er tilstrækkelige. Typisk er målingerne på station 6, som er den vigtigste for beregningen af volumenet af det dybtliggende lag, foretaget fra først på sommeren til slutningen af oktober. Udenfor denne periode er resultaterne derfor generelt mere sparsomme. Til gengæld omfatter den pågældende periode den del af året hvor iltsvind er oftest forekommende.

4. Resultater

Indenfor projektets økonomiske ramme er det lykkedes at foretage beregningerne for årene 1998-2000 samt 2003. Plots af datadækningen for disse år (Bilag 4) viser hvordan en så stor del af året som muligt er delt op i korte perioder af 3-8 dages varighed, adskilt af lodrette, røde streger, hvori de ovennævnte beregninger af forholdene i den dybtliggende vandmasser er foretaget. De anvendte CTD-data og vandkemiske data for disse år er vist i Bilag 5. De tilsvarende resultater er vist i Bilag 6.

Bemærk i Bilag 6 at medrivningen af næringssalte fra det dybtliggende lag til det øvre lag er angivet med enheden kg pr. dag. Afstrømningen af ferskvand samt total N og total P fra land er omregnet til de tilsvarende enheder. Summen af nettofrigivelserne fra sediment og den nedre del af vandsøjlen samt sedimentation fra den øvre del af vandsøjlen er angivet i enheden mg pr. m² pr. dag. Det

Figurerne med stationerne plottet enkeltvist i Bilag 5 viser flere ting som umiddelbart skal fremhæves. Dels ser man næsten overalt velblandede overfladelag og en relativ stor langsgående gradient i overfladelaget mellem de forskellige stationer. Dette er karakteristisk for et velblandet estuarium. Dels ser man i mange tilfælde et veldefineret bundlag i den dybe del af området (station 6), som kan optræde med tydelighed på flere af de andre stationer. Det er også meget tydeligt at når der opstår iltfattige forhold i den dybtliggende vandmasse, sker der hurtigt en stigning i koncentrationen af næringssalte. Det kan udelukkes at disse næringssalte er tilført via afstrømning af ferskvand fra land, for i givet fald ville stigningen især være sket i den øvre del af vandsøjlen.

Resultaterne i Bilag 6 viser en række ting vedrørende den dybtliggende vandmasse som er af interesse for den foreliggende problemstilling. Først skal man bemærke at når der optræder iltfattige forhold, vokser puljerne af N fra ammonium plus ammoniak og orthofosfat rigtigt meget. Puljerne kan blive så store at de er sammenlignelige med ugers til måneders afstrømning fra land. Denne sammenligning skal man dog være påpasselig med, for der bør tages højde for bl.a. biotilgængeligheden af næringssaltene i dels den dybtliggende vandmasse, dels afstrømningen. Sikker er det dog at de store mængder næringssalte i den dybtliggende vandmasse medfører, at når der optræder relativt kraftige vindhændelser, sker der en medrivning og en tilførsel af i hvert fald orthofosfat til overfladelaget i en grad, som langt overstiger tilførslen fra land. Det er værd at bemærke at sådanne tilførsler af næringssalte udelukkende sker om sommeren og i efteråret, hvor fytoplanktonbiomassen normalt er næringssaltbegrænset. Derfor kan disse tilførsler give anledning til en kraftig fytoplanktonvækst. Det er også værd at bemærke at sådanne vindhændelser er af episodisk karakter. Men før eller siden vil puljerne af næringssalte i den dybtliggende vandmasse blive ført op i overfladelaget.

Data og beregninger for den foreløbigt begrænsede årrække viser at der kan være store forskelle fra år til år mht. varigheden og omfanget af iltsvindet i den dybtliggende vandmasse. Det er ikke ny viden, for vi ved godt hvordan vinden spiller en stor rolle mht. at nedbryde lagdelingen og bringe iltigt vand til bunden. Men det interessante i denne forbindelse er at man dermed kan forvente store variationer mht. nettofrigivelsen af næringssalte fra sedimentet. Med den forhåndenværende årrække ser 1999 og 2003 ud til at være forbundet med særlig stor frigivelse, mens 1998 og 2000 er noget mindre.

5. Konklusion

Arbejdet viser at den dybtliggende vandmasse, som meget ofte optræder i den nordlige del af Skive Fjord og i Risgårde Bredning, spiller en betydelig rolle for næringssaltdynamikken i området. Når der optræder iltfattige forhold i denne vandmasse, frigøres der så store mængder N fra ammonium plus ammoniak og orthofosfat fra sedimentet at det svarer til ugers eller måneders afstrømning fra land. Blanding pga. vinden betyder at disse næringssalte efterfølgende føres op og spredes i overfladelaget, hvor de kan medføre kraftigt forøget vækst i fytoplanktonbiomassen.

Dette betyder at skal man forstå næringssaltdynamikken og den økologiske tilstand i Skive Fjord og lignende områder, skal man snarere kigge på variationerne i vinden og i mindre grad tilførslen af næringssalte fra oplandet. Faktisk kan det vise sig at dynamikken er meget subtil. Hvis vinden er svag, kan der opstå kraftigt iltsvind og stor frigivelse af næringssalte, men disse vil kun langsomt blive ført videre op i den fotiske zone. Hvis vinden er kraftig, vil iltsvindet være mindre kraftigt, men de frigivede næringssalte vil hurtigt blive ført op i den fotiske zone. En middelkraftig vind vil måske kunne skabe et relativt tyndt, dybtliggende lag, hvori iltsvindet og dermed frigivelsen af næringssalte hurtigt kan indtræffe. En længere årrække af data end den forhåndenværende, dvs. 1998-2000 samt 2003, vil kunne kaste mere lys over hypotesen.

Den her anvendte tilgang vil med fordel kunne udbygges med en beskrivelse og mekanistisk modellering af iltforholdene i den dybtliggende vandmasse. Variationerne i det samlede iltindhold vil formentlig kunne bruges til at estimere omsætningen af kulstof i og dermed frigivelsen af næringsstoffer fra sedimentet. Dette ville være et vigtigt bidrag til forståelsen af hvordan det samlede system fungerer.

Referencer

Fischer, H. B., E. J. List, R. C. Y. Koh, J. Imberger, N. H. Brooks (1979) Mixing in coastal and inland waters. Academic Press, London, 499 pp.

Gill, A. E. (1982) Atmosphere-Ocean Dynamics. Academic Press, London, 662 pp.

Nielsen, M.H., B. Rasmussen, and F. Gertz (2005) A simple model for water level and stratification in Ringkøbing Fjord, a shallow, artificial estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 63, pp. 235–248.

UNESCO (1981) International oceanographic tables, Vol. 3. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 39. UNESCO, Paris.