

## 12.2 Fosforfrigivelse fra bunden i Skive Fjord.

### Sammenfatning.

Skive Fjords bund afgiver årligt mere fosfor til vandet, end den optager fra vandet. Denne netto fosforfrigivelse vurderes ved forskellige metoder til at være i størrelsesordenen 12 – 101 tons/år i løbet af årene 2000 til 2004. Nogle af beregningsmetoderne overvurderer muligvis fosforfrigivelsen, men der er ingen tvivl om, at fjordbundens fosforindhold er aftagende.

Fosforfrigivelsen foregår helt overvejende om sommeren ved lave iltindhold i vandet kombineret med høje temperaturer. I perioder med deciderede iltsvind, er fosforfrigivelsen derfor meget stor. Efterhånden som fosforindholdet i fjordbunden reduceres i tiden fremover, vil fosforfrigivelsen under iltsvind aftage.

Fosformængden i fjorden er meget stor, men i øjeblikket ikke særlig godt beskrevet. I årene før 1990 tilførtes fjorden vældig meget fosfor fra oplandet. Hovedparten af dette fosfor stammede fra rensningsanlæggene, men med indførslen af kemisk fældning af fosfor fra 1990 blev denne kilde reduceret ganske betragteligt.

### Introduktion.

Limfjorden er gennem årene blevet tilført store mængder fosfor med ferskvandstilstrømningen. Også over randene ved Thyborøn og Hals strømmer der fosfor, men netto afgives der fosfor fra fjorden til havet. Fosfor er et vigtigt næringsstof for planter og dyr, og en vis tilførsel er derfor nødvendig.

I fjordbunden findes en fosforpulje, der forøges, når planter og dyr dør og aflejres på bunden. Dyrenes fæces synker ligeledes til bunden, og forøger herved fosforpuljen. Fosforpuljen er mere eller mindre kemisk bundet, og fra den mindst bundne del foregår der en flux af ortho-fosfat til bundvandet. Under iltfrie betingelser frigøres en del kemisk bundet fosfor i fjordbunden og indholdet af ortho-fosfat i bundvandet øges.

I slutningen af 1980'erne gennemførtes rensningsplanen for Limfjorden, hvilket medførte en drastisk nedgang i tilførslen af fosfor fra rensningsanlæggene. Hvordan er det herefter gået med fosformængden i bunden af fjorden? Indeholder bunden mindre fosfor i dag, end da den blev belastet med større mængder fra byspildevandet? I dette afsnit undersøges disse spørgsmål for Skive Fjord, idet der opstilles følgende hypotese:

*Da der frigives mere fosfor fra bunden af Skive Fjord, end der aflejres,  
er bunden i færd med at blive renere.*

Hvis hypotesen er sand, hvad er så de videre perspektiver? Hvordan bliver fjorden og dens bund påvirket, hvis fosfortilførslen fra det åbne land ligesom fra byerne nedbringes væsentligt?

I afsnittene 2.2, 3.2, 3.4 og 3.5 er fosforens betydning for Limfjordens vandmiljø nærmere beskrevet med andre angrebsvinkler.

## Metoder.

Limfjordsovervågningen har indsamlet fire typer data, der kan bidrage til at teste hypotesen.

- Målinger af fosforfluxe mellem sedimentet og vandet.
- Fosfor- og iltmålinger i vandsøjlen.
- Modelberegninger af fosforfluxe mellem sedimentet og vandet.
- Målinger af fosforpuljer i sedimentet.

Fosforfluxene er blevet bestemt ved indsamling af intakte sedimentsøjler og bundvand. Herefter er søjlerne i laboratoriet blevet inkuberet under de naturlige betingelser, og udvekslingen af fosfor mellem bunden og vandet er blevet målt. Målingerne er foretaget i årene 2000 og 2002.

Fosformålingerne i vandet udføres på vandprøver, der indsamles næsten hver eneste uge i løbet af året. Prøverne opbevares og analyseres i henhold til forskrifterne i ”dansk standard” for ortho-fosfat og total-P. Iltmålingerne udføres med målesonde og ved indsamling af Winkler-prøver. Fosfor- og iltmålingerne er lavet gennem mange år, men i dette afsnit anvendes kun data fra årene 2000 og 2002.

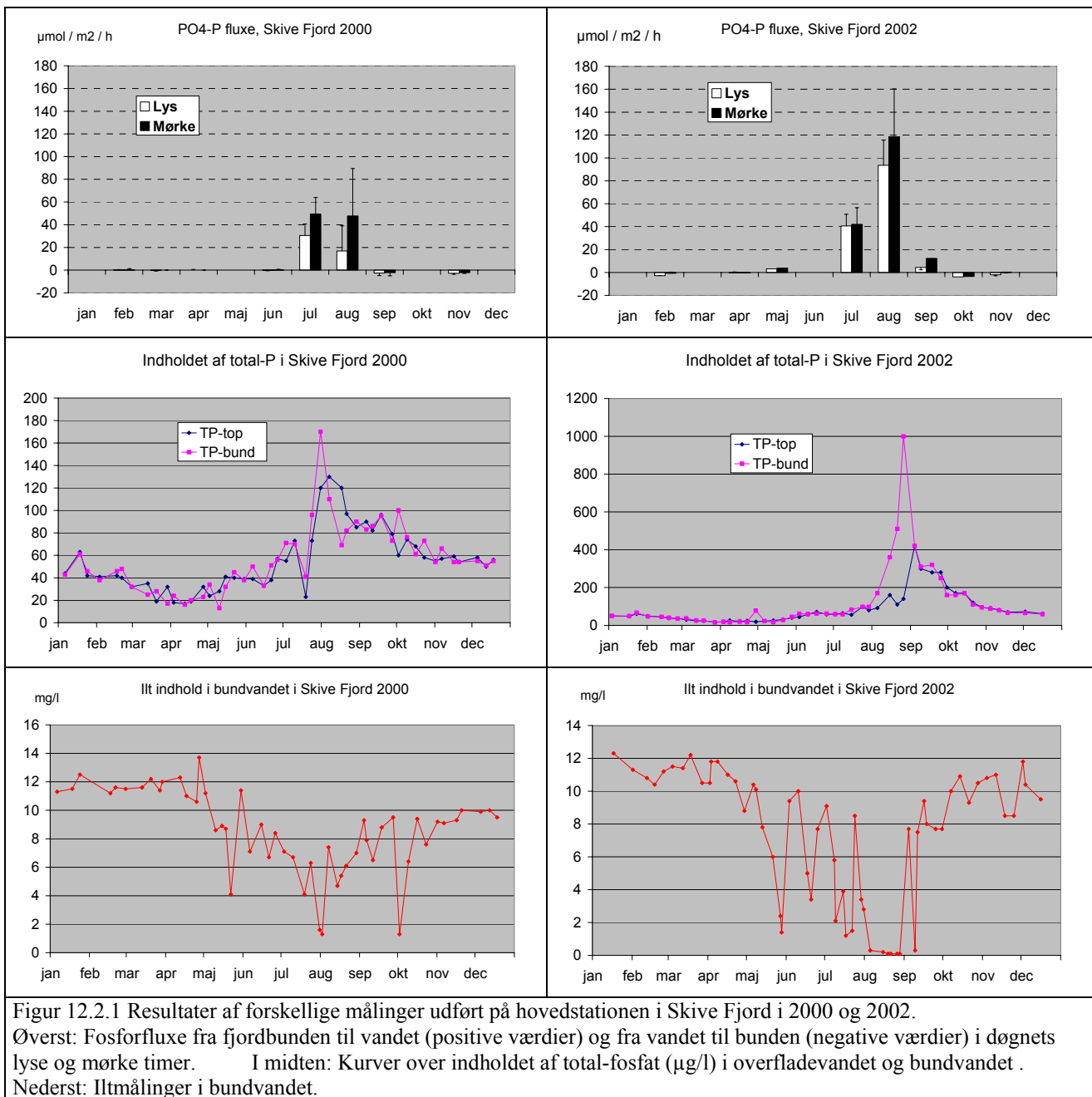
For Skive Fjord er der opstillet en dynamisk Mike12-model, der beskriver vand- og næringssalttransporterne til og fra fjorden, blandt andet med beregning af næringssaltudveksling og – omsætning i sedimentet (DHI 2003). Modellen beregner på månedsbasis den mængde fosfor, der frigives fra eller tilbageholdes i Skive Fjord. Der findes data fra årene 2001-2004.

Fosforpuljerne er målt ved indsamling af de øverste 2 cm af fjordbunden og bestemmelse af fosforindholdet i laboratoriet. Prøverne er taget på hovedstationen i Skive Fjord, 3727-1. En ensartet metode er blevet anvendt i årene 1989 – 1997 samt i årene 1999 og 2003.

## Resultater.

Resultaterne af fluxmålingerne ses i figur 12.2.1. De fleste målinger viser begrænsede fluxe, men begge år målt høje værdier i juli og august, både i døgnets lyse og mørke timer. Målingerne blev foretaget på ca. 5 meters vanddybde, hvor indholdet af organisk stof og dermed fosfat er højt. På lavt vand vil fluxene være meget lavere, og det skønnes at de høje rater kun har omfattet knap halvdelen af fjordens areal, hvilket svarer til ca. 20 km<sup>2</sup>.

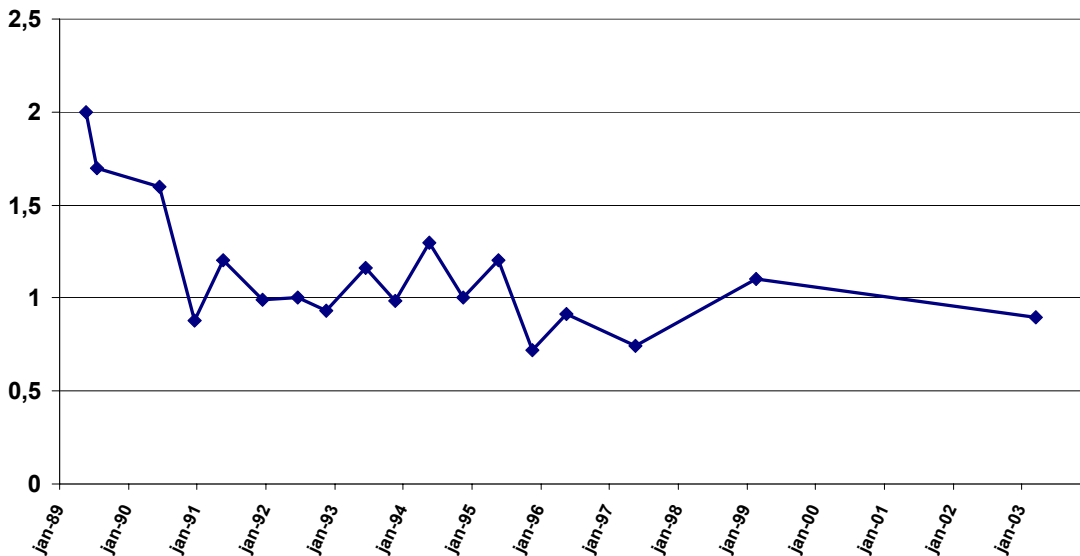
I overensstemmelse med fluxmålingerne målt i sensommeren begge år et forhøjet indhold af fosfor i vandet (figur 12.2.1). De høje fluxe og det forhøjede indhold af fosfor i vandet var begge år forårsaget af iltvind på stationen. I figur 12.2.1 ses kurver over iltforholdene i bundvandet de to år.



Fra Mike 12 modellen er der månedsværdier for netto fosforfrigivelsen fra Skive Fjord i årene 2001 – 2004. De samlede beregnede værdier i de fire år er henholdsvis 76, 101, 64 og 64 tons/år.

Udviklingen fra 1989 til 2003 i fosforindholdet i de to øverste cm af bundmaterialet på hovedstationen i Skive Fjord, ses i figur 12.2.2. En lineær regressionsanalyse viser, at fosforindholdet på 95 % sikkerhedsniveau er formindsket i løbet af tidsperioden. Faldet skyldes dog primært en nedgang i starten af perioden, og fra december 1990 til marts 2003 er der ikke tale om nogen entydig udvikling.

Fosfor, total-P i Skive Fjords sediment (g/kg TS)



Figur 12.2.2 Fosforindholdet i de to øverste centimeter af fjordbunden i perioden 1989 – 2003. En lineær regressionsanalyse viser, at fosforindholdet er faldet signifikant på 5 % niveau.

### Diskussion.

Fosforfrigivelsen fra sedimentet i Skive Fjord kan beregnes ved brug af flere metoder. De fleste metoder bygger på resultater af målinger udført på hovedstationen 3727-1 ved Lundø Hage. Denne station, med vanddybden 5 meter, vurderes at være repræsentativ for den del af fjorden, der har vanddybder fra ca. 3 meter og op til de maksimale knap 7 meter. Havde der ligget data fra andre stationer i Skive Fjord, kunne beregningerne givet forbedres. Mike12 modellen bygger på resultater fra flere stationer i Limfjorden.

Beregnet på baggrund af de otte fluxmålinger i 2000 var den gennemsnitlige flux af fosfor fra sedimentet til vandet på ca. 3,7 milligram / m<sup>2</sup> / døgn. For 2002 kan der ligeledes på baggrund af otte målinger beregnes en gennemsnitlig flux af fosfor fra sedimentet til vandet på ca. 9,9 milligram / m<sup>2</sup> / døgn. Den del af Skive Fjords areal, der har vanddybder på 4 meter og derover, udgør ca. 20 km<sup>2</sup>. Hvis fluxmålingerne antages at være beskrivende for hele dette areal, blev der i 2000 og 2002 netto frigivet henholdsvis 27 og 72 tons fosfor fra bunden.

Netto fosforfrigivelsen blev i 2002 ved hjælp af Mike12 modellen beregnet til en værdi af samme størrelsesorden; 101 tons; og for årene 2001, 2003 og 2004 beregner modellen ligeledes væsentlig fosforfrigivelse. Imidlertid er der en risiko for at begge metoder overestimerer netto fosforfrigivelsen fra sedimentet. Som det ses af figur 12.2.1., er der ikke målt væsentlige fluxe af fosfor fra vandet til sedimentet i de to undersøgelsesår, men sådanne situationer kan have forekommet i perioderne mellem prøvetagningerne. De modelberegnedede fosforfrigivelser kan være overestimeret på grund af en for lav beregnet værdi for fosfortilførsel fra fjordens opland. Høje fosfortilførsler fra oplandet hænger i høj grad sammen med voldsomme regnskyl, hvor jorderosion forekommer. De høje fosforbidrag fra oplandet bliver ofte underrepræsenteret i vandprøverne, der indsamles i vandløbene. Mike12 modellen synes samtidig at overestimere perioden med betydelig fosforflux fra

sedimentet til vandet i sommermånederne. Det overvejes i øjeblikket om beregningsgrundlaget for modellen skal forbedres i fremtiden ved måling af den jernbundne fosfor i det tidlige forår og i sensommeren.

En anden måde at beregne fosforfrigivelsen på er at kombinere den målte fosforflux under iltsvind på  $1200 \text{ kg} / 20 \text{ km}^2 / \text{døgn}$  med antallet af dage med iltsvind ( $< 2 \text{ mg ilt/liter}$ ). Denne beregning giver for 2002, hvor der var 42 dage med iltsvind, en fosforfrigivelse på 50 tons. Tilsvarende beregninger for årene 2001, 2003 og 2004 giver fosforfrigivelser på henholdsvis 46, 68 og 42 tons.

Der kan også laves beregninger på basis af ændringer i fosforindholdet i vandsøjlen. I 2000 skete der i løbet af ca. 3 uger en stigning i vandets indhold af total-P fra et niveau omkring  $40 \text{ } \mu\text{g/l}$  til ca.  $140 \text{ } \mu\text{g/l}$ . Hvis Skive Fjord afgrænses ved munden til Lovns Bredning er fjordens volumen i størrelsesordenen  $120 * 10^6 \text{ m}^3$  (Limfjordskomiteen 1976a). En stigning i indhold på  $100 \text{ } \mu\text{g/l}$  svarer til, at vandets indhold af fosfor er steget med 12 tons.

I 2002 var stigningen i fosfatkoncentrationen i vandsøjlen betydeligt større. I starten af september var vandsøjlen opblandet, og indholdet af total-P lå på ca.  $400 \text{ } \mu\text{g/l}$ , – en stigning i løbet af august på ca.  $300 \text{ } \mu\text{g/l}$ . Med det før nævnte volumen giver det en stigning i fjordens indhold af fosfat på 35 tons. Vandsøjleberegningerne giver lidt lavere værdier end de øvrige metoder, hvilket kan hænge sammen med, at der fraføres fosfor fra fjorden samtidig med, at fosforpuljen i vandet øges.

I tabel 12.2.1 er de forskellige beregnede værdier for fosforfrigivelsen fra bunden i Skive Fjord i årene 2000 – 2004 samlet.

Metode \ År	2000	2001	2002	2003	2004
Fluxberegning	27		72		
Mike 12 model		76	101	64	64
”Ilt”-beregninger		46	50	68	42
”Vandsøjle”-beregninger	12		35		

Tabel 12.2.1 Beregninger ved forskellige metoder af netto fosforfrigivelsen i tons/år fra bunden i Skive Fjord i årene 2000 – 2004.

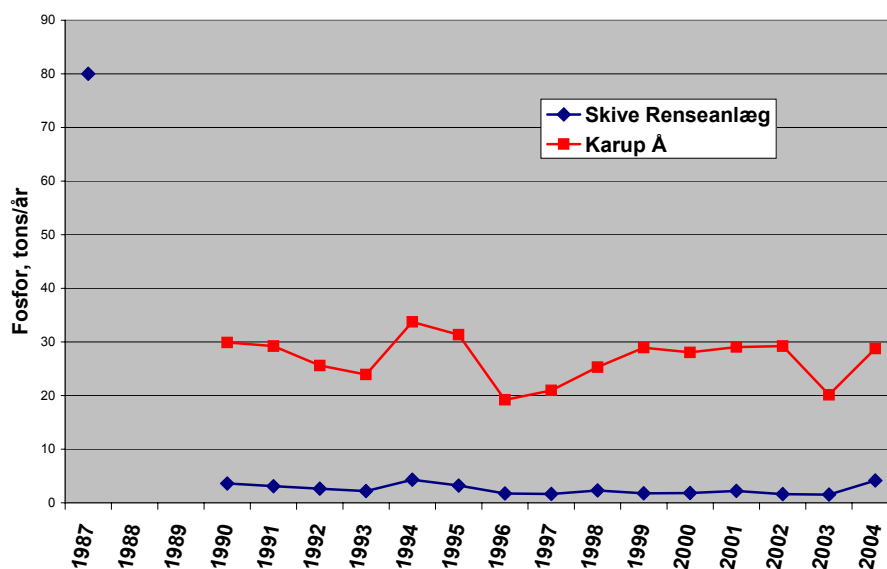
Fosforpuljeprøverne tyder på et faldende indhold af fosfor i sedimentet fra 1989 til 2003, men udviklingen siden december 1990 er ikke så klar, som man kunne forvente ud fra ovenstående beregninger af fosforfrigivelsen.

Sammenhængen er formentlig en kombination af, at fjordbundens indhold af fosfor er meget stort, og at beregningerne, som nævnt ovenfor, eventuelt overestimerer fosforfluxene fra sedimentet. Fosforindholdet i de øverste 10 cm af bunden på de  $31 \text{ km}^2$  med vanddybder større end 2 meter kan beregnes til ca. 1000 tons. Herudover er der også fosforindhold i sedimentet, der ligger dybere end 10 cm nede, samt på de  $13 \text{ km}^2$  bund med vanddybder lavere end 2 meter.

Væsentlige dele af fosforpuljen i fjordbunden skal betragtes som værende i forbindelse med vandfasen, da der sker en del omløjring af sedimentet. Stormvejr og fiskeri med skrabende redskaber er to af årsagerne til omløjring af sedimentet, men den væsentligste årsag er uden tvivl de større bunddyrs graveaktivitet. I årene fra 1988 til 2004 har havbørsteormen *Neanthes succinea*, sandmuslingen *Mya arenaria* og boremuslingen *Petricolaria pholadiformis* flyttet meget sediment rundt i forbindelse med deres gravning af gange 10-20 cm ned i bunden.

Den samlede fosforpulje undervurderes sandsynligvis ved beregning ud fra målingerne på hovedstationen, idet det organiske indhold såvel i dag som før i tiden var væsentligt større i Skive Fjords sydlige ende (Limfjordskomiteen 1976b). Hovedparten af den fosfor, der gennem tiderne er strømmet til Skive Fjord, er kommet med vandet fra Karup Å, der løber til fjordens sydlige ende.

Inden der iværksættes fosforfældning på rensningsanlæggene i oplandet tilførtes der væsentligt mere fosfor til fjorden end i dag. Figur 12.2.3 viser de årlige fosfortilførsler fra Karup Å fra 1990 til 2004. Figuren viser samtidig det bidrag Karup Å har fået fra Skive Rensningsanlæg i samme periode, samt i 1987. Kemisk fældning af fosfor indførtes i oktober 1989 og fungerede fra starten af 1990. Fosforbidraget fra Skive Rensningsanlæg var før dette tidspunkt ca. tre gange så stort, som hele fosforbidraget fra Karup Å er i dag.



Figur 12.2.3 Fosfortilførsler til Skive Fjord fra Karup Å i årene 1990-2004, samt fosforbidraget fra Skive Rensningsanlæg i 1987 og i perioden 1990-2004.

### Konklusion og perspektivering.

Forskellige beregningsmetoder viser alle, at der netto blev frigivet betydelige mængder fosfor fra bunden i Skive Fjord i årene 2000 – 2004. De beregnede årsværdier afviger fra hinanden, men er dog ikke af væsentlig forskellig størrelsesorden. Af forskellige årsager er det muligt, at beregningerne overestimerer fosforfrigivelsen, men der er ingen tvivl om, at puljen af fosfor i sedimentet i Skive Fjord er blevet reduceret i perioden 1989-2003.

Reduktionen i fosforpuljen forventes at få stor betydning for fjorden, idet mængden af fosfor, der frigives fra bunden til vandet, i løbet af dage med iltsvind, gradvist vil aftage i tiden fremover. Den forbedrede tilstand forventes forstærket ved tiltag, der vil begrænse fosforbidraget fra det åbne land.

Da samtidig tilførslerne af kvælstof er faldet signifikant over 20 år (se afsnit 2.2), vil næringsstofmængden tilgængelig for planktonproduktion samlet falde. Skive Fjord er således på lang sigt på vej mod tider med mindre primærproduktion og derfor klarere vand. Væsentlige effekter heraf vil blive mindre alvorlige iltsvindshændelser under de givne vejrtilstande. Ålegræsset og

tangplanterne vil brede sig over en større del af fjordbunden, og dyrelivet vil ligeledes påvirkes positivt.

Der indførtes kemisk fældning af fosfor på rensningsanlæggene i fjordens opland i slutningen af 1980'erne. Inden dette tiltag ophobede vældig meget fosfor sig i sedimentet i Skive Fjord. Det kunne være interessant at undersøge fosformængden i fjorden nærmere. En sådan undersøgelse kunne blandt andet afsløre, hvor meget fosfor, der ligger i den væsentligst påvirkede sydende af fjorden, samt give et indtryk af fosforindholdet, som det fordeler sig ned i sedimentet. Herefter ville det være lettere at forudsige hastigheden på forbedringen af miljøforholdene i Skive Fjord.

#### Referencer:

DHI 2003.: ”Mike12 model for Skive Fjord – Hydrodynamik og Eutrofiering”, bilag i rapporten ”Vandmiljø i Limfjorden 2003”, der kan findes på net-adressen [www.limfjord.dk](http://www.limfjord.dk) .

Limfjordskomiteen 1976a.: Limfjordsundersøgelsen 1973-75, Vandskifteundersøgelser.

Limfjordskomiteen 1976b.: Limfjordsundersøgelsen 1973-75, Samlerapport.