

*NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen"*

## Modeller for danske fjorde og kystnære havområder

Indsatsoptimering i henhold til inderfjorde og yderfjorde



Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

ISO 9001  
Management System Certification  
BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



# Modeller for danske fjorde og kystnære havområder

## Indsatsoptimering i henhold til inderfjorde og yderfjorde

Udarbejdet for Naturstyrelsen  
Repræsenteret af Harley Bundgaard Madsen, kontorchef  
Stig Eggert Pedersen, projektleder



Satellit billede af  
de indre danske farvande

Projekt manager	Anders Chr. Erichsen (DHI).
Kvalitetssikring	DHI: Flemming Møhlenberg, AU: Karen Timmermann
Projekt nummer	11811187-5
Forfattere	Anders Chr. Erichsen
Godkendt	Ian Sehested Hansen
Godkendelsesdato	30/11 2015
Revision	1
Klassifikation	Åben



# INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Baggrund .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Optimering af indsatsbehov .....</b>	<b>2</b>
2.1	Roskilde Fjord .....	2
2.2	Isefjord .....	2
2.3	Odense Fjord .....	3
2.4	Flensborg Fjord .....	4
2.5	Vejle Fjord .....	5
2.6	Kolding Fjord .....	5
2.7	Horsens Fjord.....	6
2.8	Randers Fjord .....	7
2.9	Limfjorden .....	7
2.10	Mariager Fjord.....	7
2.11	Samlet resultat af fjord-optimering .....	8
<b>3</b>	<b>Referencer .....</b>	<b>10</b>



# 1 Baggrund

DCE og DHI har for Naturstyrelsen udviklet modelværktøjer til brug i den marine vandforvaltning, herunder udarbejdelsen af 2. generations vandplaner, som skal sikre, at danske vandområder opnår god økologisk tilstand i henhold til Vandrammedirektivet.

Modelværktøjskassen omfatter to typer modeller: Statistiske modeller (udviklet af DCE) og mekanistiske modeller (udviklet af DHI). De første beskriver empiriske sammenhænge mellem nøglefaktorer, mens de sidste inddrager dynamiske processer i økosystemet. Tilsammen udgør modelværktøjerne en værktøjskasse, som skal anvendes til at forbedre grundlaget for at fastlægge status, indsatsbehov og målbelastning i danske fjorde og kystnære havområder.

De udviklede modeller og deres anvendelse er beskrevet i 3 rapporter i rapportserien *"Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen. Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder"*:

- Del 1 beskriver den overordnede metode til bestemmelse af målbelastning /1/
- Del 2 redegør for de mekanistiske modeller og de metoder, der er udviklet til bestemmelse af indsatsbehovet mht. dansk næringsstofudledning til vandområderne /2/
- Del 3 beskriver de statistiske modeller og den metode, der er udviklet til bestemmelse af indsatsbehovet ved brug af de statistiske modeller /3/.

I forbindelse med Kvælstofudvalgets fortsatte arbejde med at udvikle endelige indsatsbehov for den kommende vandplansperiode for de 119 danske vandområder er der opstået et behov for at kvalificere nogle af de tidligere beregninger og foretage en optimering af indsatsbehov i de områder, hvor der er defineret vandområder for både inder- og for yderfjorden. Dette notat indeholder overvejelser og optimerede beregninger af indsatsbehov for disse fjorde.

I det følgende gennemgås de enkelte fjorde enkeltvis, og afsnittet afsluttes med en opsummering af den samlede indsatsreduktion under antagelse af, at optimeringen gennemføres. Forudsætningerne for selve optimeringen er, at indsatsbehov og målbelastning til det dimensionsgivende vandområde gennemføres som anført i de enkelte opgørelser.

## 2 Optimering af indsatsbehov

### 2.1 Roskilde Fjord

Som det fremgår af /1/, er der beregnet indsatsbehov for både Roskilde Fjord, indre, og Roskilde Fjord, ydre. I yderfjorden er indsatsbehovet fastsat til 23%, mens indsatsbehovet til inderfjorden er 4%. Da hele fjorden reelt har samme opland, bliver indsatsbehovet for yderfjorden dimensionsgivende for hele fjorden.

Tabel 1 Indsatsbehov og målbelastning for Roskilde Fjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Roskilde Fjord, ydre	506	7	23	23	390	5
Roskilde Fjord, indre	448	10	4		345	8

Med yderfjorden som dimensionerende for indsatsen i inderfjorden skal der altså foretages en samlet indsats på 23% i Roskilde Fjord, eller en reduktion på 219 tons N/år. Af Tabel 1 fremgår det, at den arealmæssige tilførsel er større i inderfjorden end i yderfjorden, hvorfor der reelt kan foretages en omfordeling af den beregnede indsats for at udligne denne forskel. Med en omfordeling til en ensartet arealmæssig målbelastning ville resultaterne blive som anvist i Tabel 2. Dette resultat rykker ikke ved det samlede indsatsbehov for fjorden, men betyder en mere ligelig fordeling mellem indsatsen til inderfjorden sammenholdt med indsatsen til yderfjorden.

Tabel 2 Indsatsbehov og målbelastning for Roskilde Fjord efter en omfordeling af den samlede indsats

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Roskilde Fjord, ydre	506	7	10	-	455	6
Roskilde Fjord, indre	448	10	37		282	6

### 2.2 Isefjord

Indsatsbehovet til Isefjord er baseret på en beregning af indsatsbehovet for yderfjorden, mens inderfjorden ikke har fået tildelt et specifikt indsatsbehov. I henhold til /1/ er indsatsbehovet til hele fjorden sat til 20%.



Tabel 3 Indsatsbehov og målbelastning for Isefjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Isefjord, ydre	663	16	20	20	530	13
Isefjord, indre	492	14	-		394	11

Der findes imidlertid data, der indikerer, at den indre del af Isefjord har et større indsatsbehov sammenlignet med yderfjorden, men der findes ingen specifik model for inderfjorden. Ved at genberegne indsatsbehovet for den indre del af fjorden med en meta-analyse findes et opdateret indsatsbehov på 46% frem for de 20%, som er fundet for yderfjorden. Benyttes de 46% i inderfjorden, og tages der hensyn til reduktionerne i de to fjorde hver især, bliver indsatsen til Isefjord som vist i Tabel 4.

Tabel 4 Indsatsbehov og målbelastning for Isefjord med inddragelse af meta-analyse i Isefjord, inderfjord /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Isefjord, ydre	663	16	1	-	658	16
Isefjord, indre	492	14	46		266	8

## 2.3 Odense Fjord

I Odense Fjord er der beregnet et indsatsbehov for både inderfjorden og yderfjorden, se Tabel 5. I beregningerne er der imidlertid ikke taget højde for, at gennemførte reduktioner i inderfjorden reelt kommer yderfjorden til gode.

Tabel 5 Indsatsbehov og målbelastning for Odense Fjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats[%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Odense Fjord, ydre	132	19	26	-	98	14
Odense Fjord, Seden Strand	1469	15	48		764	8

Som det fremgår af Tabel 5, svarer indsatsen i inderfjorden til en reduktion på 705 tons N, mens det samlede indsatsbehov baseret på yderfjorden samlet set er 416 tons N. Ved at sikre, at den samlede indsats (i tons N) til yderfjorden fastholdes, men samtidigt lader indsatsen til inderfjorden komme yderfjorden til gode, bliver indsatsen til Odense Fjord som vist i Tabel 6.

I Tabel 6 er den arealmæssige målbelastning sat til ikke at kunne overstige landsgennemsnittet på 16 kg/ha/år, og for Odense Fjord, yderfjord, bliver det den dimensionsgivende faktor.

Tabel 6 Indsatsbehov og målbelastning for Odense Fjord efter optimering

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsatsbehov [%]	Dimensionsgivende indsats [%]	Målbelastning [tons N/år]	Målbelastning [kg/ha/år]
Odense Fjord, ydre	132	19	14 <sup>a</sup>	-	114 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>
Odense Fjord, Seden Strand	1469	15	48		764	8

<sup>a)</sup> Det beregnede indsatsbehov og målbelastning for yderfjorden er under forudsætning af en gennemført indsats i inderfjorden som angivet i tabellen

## 2.4 Flensborg Fjord

Der er ikke udviklet en specifik model for Flensborg Fjord, ydre. For Flensborg Fjord, indre, er der udviklet en model, og for den indre del er der beregnet et indsatsbehov på 50%, og det er de 50%, der er sat som dimensionsgivende for hele fjorden, se Tabel 7.

Tabel 7 Indsatsbehov og målbelastning for Flensborg Fjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsatsbehov [%]	Dimensionsgivende indsats [%]	Målbelastning [tons N/år]	Målbelastning [kg/ha/år]
Flensborg Fjord, ydre	182	17	-	50	91	9
Flensborg Fjord, indre	73	17	50		37	9

Status for Flensborg Fjord (baseret på station KFF5) for perioden 2007-2012 viser, at miljømålet (god økologisk tilstand) er opfyldt for klorofyl (status=2,0 µg/l og mål=2,1 µg/l), mens miljømålet til  $K_d$  ikke er opfyldt (status=0,35 m<sup>-1</sup> og mål=0,21 m<sup>-1</sup>). Ved at benytte en meta-analyse kan der beregnes et specifikt indsatsbehov for Flensborg Fjord, ydre, på omkring 24%.

Til Als Fjord er der imidlertid et indsatsbehov på 45% og til Lillebælt et indsatsbehov på 39%. Da den største vandudveksling mellem Flensborg Fjord og nabo-vandområder er gennem

Lillebælt, bliver det altså Lillebælt, der bliver dimensionsgivende, også selvom den ydre del af fjorden kun har et indsatsbehov på 24%.

Ved at tage højde for, at Lillebælt har et samlet indsatsbehov på 39% fra Flensborg Fjord, og at indsatsen til inderfjorden er 50%, kan yderfjordens indsatsbehov optimeres, se Tabel 8.

For Flensborg Fjord gælder det derudover, at indsatsen til fjorden skal koordineres med den tyske indsats. De beregnede indsatsbehov i Tabel 7 og Tabel 8 forudsætter også en indsats fra tysk side, som procentvis skal være sammenlignelig med den danske indsats.

Tabel 8 Indsatsbehov og målbelastning for Flensborg Fjord efter optimering

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsatsbehov [%]	Dimensionsgivende indsats [%]	Målbelastning [tons N/år]	Målbelastning [kg/ha/år]
Flensborg Fjord, ydre	182	17	35 <sup>a</sup>	-	119 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>
Flensborg Fjord, indre	73	17	50		37	9

<sup>a)</sup> Det beregnede indsatsbehov og målbelastning for yderfjorden er under forudsætning af en gennemført indsats i inderfjorden som angivet i tabellen

## 2.5 Vejle Fjord

Vejle Fjord er dimensioneret efter Lillebælt. Det individuelle indsatsbehov for den indre del af Vejle Fjord er 15%, men da indsatsbehovet til Lillebælt er 39%, bliver det Lillebælt, der bliver 'bestemmende' for indsatsbehovet til både inderfjorden og yderfjorden. Det er derfor ikke muligt at optimere Vejle Fjord-indsatsen yderligere.

## 2.6 Kolding Fjord

Indsatsbehovet i Kolding Fjord er dimensioneret ud fra indsatsbehov i inderfjorden, se Tabel 9. Der er ikke data til rådighed til at bestemme status for hverken klorofyl eller  $K_d$  for Kolding Fjord, ydre. Derfor er indsatsbehovet dimensioneret ud fra Kolding Fjord, indre.

Tabel 9 Indsatsbehov og målbelastning for Kolding Fjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsatsbehov [%]	Dimensionsgivende indsats [%]	Målbelastning [tons N/år]	Målbelastning [kg/ha/år]
Kolding Fjord, ydre	64	16	-	45	35	9
Kolding Fjord, indre	547	17	45		301	9

Umiddelbart uden for Kolding Fjord er der et indsatsbehov til Lillebælt på 39%, se /1/. Der er en naturlig vandudveksling mellem Lillebælt og Kolding Fjord, ydre del, og derfor vil en del af vandet i yderfjorden være påvirket af koncentrationerne i Lillebælt, foruden koncentrationerne i inderfjorden. Alene på grund af fortyndingen i yderfjorden ved vi, at indsatsbehovet er mindre til yderfjorden end til inderfjorden. Indsatsbehovet kan dog ikke blive mindre end de 39%, som Lillebælt har behov for. Et forsigtigt skøn er derfor, at yderfjorden har en gennemsnitlig indsats mellem inderfjorden (45%) og vandområdet umiddelbart uden for fjorden (39%), svarende til 42%. Udnytter vi samtidigt indsatsen i inderfjorden, kan vi beregne et optimeret indsatsbehov, se Tabel 10.

Vi antager her, at tilførsler i yderfjorden ikke påvirker inderfjorden.

Tabel 10 Indsatsbehov og målbelastning for Kolding Fjord efter optimering

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Kolding Fjord, ydre	64	16	16 <sup>a</sup>	-	54 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>
Kolding Fjord, indre	547	17	45		301	9

<sup>a</sup>) Det beregnede indsatsbehov og målbelastning for yderfjorden er under forudsætning af en gennemført indsats i inderfjorden som angivet i tabellen

## 2.7 Horsens Fjord

I /1/ er Horsens Fjord dimensioneret efter inderfjorden, og indsatsbehovet er bestemt som vist i Tabel 11. Der er imidlertid opsat specifikke modeller for både inderfjorden og yderfjorden (baseret på målestation på randen mellem de to områder).

Tabel 11 Indsatsbehov og målbelastning for Horsens Fjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Horsens Fjord, ydre	89	32	44	50	45	16
Horsens Fjord, indre	982	20	50		491	10

Der er i /1/ ikke taget hensyn til, at den indsats, der skal til for at opfylde kravene til inderfjorden, også har en effekt på yderfjorden. Inkluderes indsatsen til inderfjorden imidlertid, bliver den optimerede indsats som vist i Tabel 12.

I Tabel 12 er den arealmæssige målbelastning sat til ikke at kunne overstige landsgennemsnittet på 16 kg/ha/år, og for Horsens Fjord, yderfjord, bliver det den dimensionsgivende faktor. Vi antager her, at tilførsler i yderfjorden ikke påvirker inderfjorden.

Tabel 12 Indsatsbehov og målbelastning for Horsens Fjord efter optimering

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Horsens Fjord, ydre	89	32	44	50	45	16
Horsens Fjord, indre	982	20	50		491	10

<sup>a)</sup> Det beregnede indsatsbehov og målbelastning for yderfjorden er under forudsætning af en gennemført indsats i inderfjorden som angivet i tabellen

## 2.8 Randers Fjord

For Randers Fjord er det yderfjorden, der er dimensionsgivende. Det må derfor forventes, at inddragelse af inderfjorden vil øge det samlede indsatsbehov til Randers Fjord. Vi har ikke data til rådighed til at kunne fortage denne analyse, og indsatsbehovet for Randers Fjord kan ikke optimeres yderligere på baggrund af de foreliggende data.

## 2.9 Limfjorden

Limfjorden består af tre vandområder, som alle har fået estimeret et indsatsbehov. I henhold til den beregning, som er rapporteret i /1/, har vi allerede foretaget en optimering af indsatsbehovet i de tre vandområder. Der kan derfor ikke foretages yderligere optimering af Limfjorden uden at se på en underopdeling af Limfjorden som vandområde. Dette er ikke muligt i denne analyse.

## 2.10 Mariager Fjord

For Mariager Fjord er det inderfjorden, der er bestemmende for det samlede indsatsbehov for hele fjorden, se Tabel 13. Der er imidlertid relativt ringe vandudveksling mellem inderfjorden og yderfjorden, hvorfor en stor del af vandet i Mariager Fjord, ydre, vil være Kattegatvand frem for vand fra inderfjorden. Dermed vurderes det, at indsatsbehovet for yderfjorden kan reduceres.

Der findes imidlertid ikke målinger, der kan benyttes til at opgøre en specifik status for yderfjorden, hvorfor der ikke er bestemt et specifikt indsatsbehov. Indsatsbehovet til vandområdet umiddelbart uden for Mariager Fjord, Kattegat, Ålborg Bugt, ligger på 7%, og et konservativt estimat på et indsatsbehov for Mariager Fjord, ydre, er derfor en middelværdi mellem de to indsatsbehov svarende til 34%. Dermed kan indsatsbehovet til Mariager Fjord optimeres som vist i Tabel 14.

Tabel 13 Indsatsbehov og målbelastning for Mariager Fjord som beregnet i /1/

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Mariager Fjord, ydre	408	13	55	-	184	6
Mariager Fjord, indre	480	18	60		192	7

Tabel 14 Indsatsbehov og målbelastning for Mariager Fjord efter optimering

Vandomr.	Tilførsel [tons N/år]	Tilførsel [kg/ha/år]	Indsats- behov [%]	Dimensions- givende indsats [%]	Mål- belastning [tons N/år]	Mål- belastning [kg/ha/år]
Mariager Fjord, ydre	408	13	3 <sup>a</sup>	-	394 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>
Mariager Fjord, indre	480	18	60		192	7

<sup>a</sup>) Det beregnede indsatsbehov og målbelastning for yderfjorden er baseret på antagelser om blandingsforhold og under forudsætning af en gennemført indsats i inderfjorden som angivet i tabel 14

## 2.11 Samlet resultat af fjord-optimering

Resultaterne fra ovenstående analyse og optimering er samlet i Tabel 15.

Tabel 15 Samlet opgørelse af indsatsbehov efter den oprindelige metode, se /1/, og efter en optimering af de enkelte fjorde.

Vandområde	Oprindelig målbelastning [ton N/år]	Oprindelig målbelastning [kg N/ha/år]	Ny målbelastning [ton N/år]	Ny målbelastning [kg N/ha/år]
Roskilde Fjord, ydre	390	5	455	6
Roskilde Fjord, indre	345	8	282	6
Isefjord, ydre	530	13	658	16
Isefjord, indre	394	11	266	8
Odense Fjord, ydre	98	14	114	16
Odense Fjord, Seden Strand	764	8	764	8
Flensborg Fjord, ydre	91	9	119	11

<i>Vandområde</i>	<i>Oprindelig målbelastning [ton N/år]</i>	<i>Oprindelig målbelastning [kg N/ha/år]</i>	<i>Ny målbelastning [ton N/år]</i>	<i>Ny målbelastning [kg N/ha/år]</i>
Flensborg Fjord, indre	37	9	37	9
Vejle Fjord, ydre	350	10	350	10
Vejle Fjord, indre	393	10	393	10
Kolding Fjord, ydre	35	9	54	13
Kolding Fjord, indre	301	9	301	9
Horsens Fjord, ydre	45	16	45	16
Horsens Fjord, indre	491	10	491	10
Randers Fjord, Grund Fjord	320	8	320	8
Randers Fjord, Randers- Møllerup	1684	6	1684	6
Randers Fjord, ydre	101	7	101	7
Nissum Bredning, Thisted Bredning, Kås Bredning, Løgstør Bredning, Nibe Bredning og Langerak	6134	12	6134	12
Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	814	6	814	6
Hjarbæk Fjord	778	7	778	7
Mariager Fjord, ydre	184	6	394	13
Mariager Fjord, indre	192	7	192	7
Samlet fjord-målbelastning	14.471		14.746	

Sammenlignes indsatsbehovet fra beregningen i /1/ med den optimerede beregning, er indsatsbehovet altså reduceret svarende til 275 tons N/år. Det betyder, at den samlede danske målbelastning går fra 42.013 tons N til 42.288 tons N.

Den nye målbelastning er dog kun gældende i det omfang, at indsatsbehov og målbelastninger til den dimensionerende del af fjorden fastholdes. Derudover forudsætter beregningen for Flensborg Fjord, at Tyskland ligeledes foretager en indsats over for kilder til fjorden, som procentvis står mål med den danske indsats.

Fastholdes indsatsbehov og målbelastninger til de dimensionsgivende vandområder, vurderes det, at udnyttelse af dette yderligere potentiale ikke vil få effekt på målopfyldelsen i forhold til Vandrammedirektivet.

### 3 Referencer

- /1/ NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen". Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – Del 1. Metode til bestemmelse af Målbekæmpelse. December 2014.
- /2/ NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen". Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – Del 2. Mekanistiske modeller og metode til bestemmelse af indsatsbehov. December 2014.
- /3/ NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen". Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – Del 3. Statistiske modeller og metode til bestemmelse af indsatsbehov. December 2014.