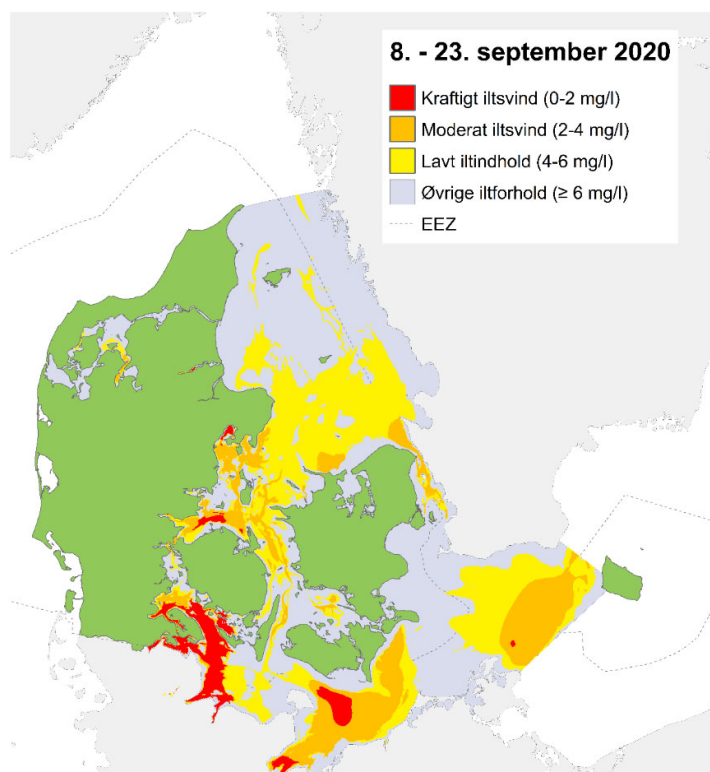


Forbedret iltsvindsmodel

Rådgivningsnotat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 24. august 2021 | 60



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Rådgivningsnotat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Forbedret iltvindsmodel

Forfattere: David Rytter, Jacob Carstensen og Jens Würgler Hansen
Institution: Institut for Bioscience, Aarhus Universitet

Faglig kommentering: Signe Høgslund, Institut for Bioscience
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Bedes citeret: David Rytter, Jacob Carstensen & Jens Würgler Hansen 2021. Forbedret iltvindsmodel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 14 s. Rådgivningsnotat nr. 60
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_60.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Arealudbredelse af iltvind 8.-23. september 2020

Sideantal: 14

Indhold

1. Sammenfatning	5
2. Formål	5
3. Baggrund	5
4. Hovedelementer i forbedring af model	8
4.1 Oversigt	8
4.2 Udspecificering	8
5. Resultater	10
5.1 Geografisk udbredelse og arealberegning af iltsvind	10
5.2 Historisk udvikling i iltsvindsarealer (1989-2020)	11
5.3 Iltsvindets udbredelse beregnet med ny og tidligere model	11
5.4 Ekstra iltinterval (4-6 mg/l)	13

1. Sammenfatning

Modellen, der blev udviklet i 2002 til beregning af iltsvindets udbredelse i de indre farvande (Carstensen & Erichsen 2003), gennemgik i 2016/2017 en gennemgribende opdatering (Rytter m.fl. 2017). Senest er der i tilknytning til et VELUX-finansieret iltsvindprojekt sket en yderligere optimering af modellen. De basale principper for beregningen af iltsvindets udbredelse er de samme som i den oprindelige model, men den seneste modeludvikling har på en række områder yderligere forbedret på den opdaterede model fra 2017. De vigtigste ændringer omhandler 1) forbedret værktøj til fortolkning af iltprofiler, 2) øget detaljegråd og anvendelighed af iltsvindskort, 3) automatiseret inkludering af pseudostationer, og 4) tilføjelse af yderligere et iltinterval i iltsvindskortene for en udvidet beskrivelse af iltsvindspåvirkningen.

Iltsvindets udbredelse for perioden 1989-2020 beregnet med den nye forbedrede model viser en stor overensstemmelse med udbredelsen beregnet med den opdaterede model. Det, at optimeringen af modellen i langt de fleste tilfælde kun bevirker mindre ændringer i beskrivelsen af iltsvindets udbredelse, indikerer, at modellen er gennemarbejdet og robust.

2. Formål

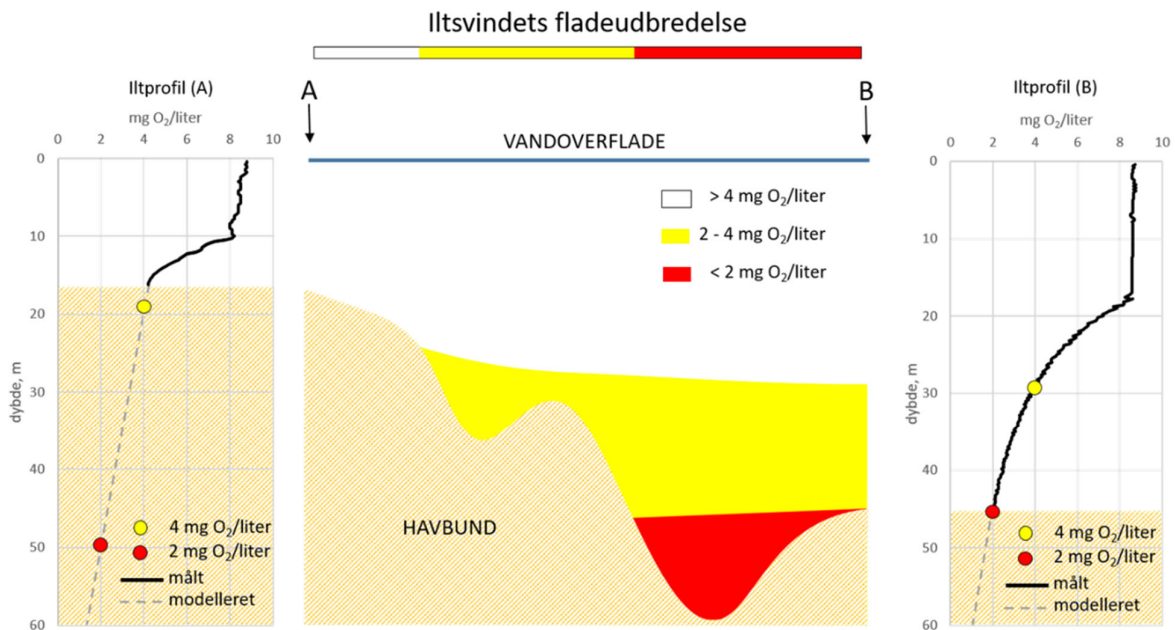
Den iltsvindsmode, som bruges til at beskrive udbredelsen af iltsvind i de indre farvande bl.a. i de årlige iltsvindsrapporter, er udviklet i 2002, efterfølgende justeret efter behov i mindre omfang og opdateret væsentlig for nogle år siden. De senere års arbejde med den opdaterede model har tydeliggjort en række områder, hvor modellen kan forbedres yderligere. Optimeringen af modellen er en løbende proces, og i dette notat beskrives de seneste tiltag og betydningen af disse for beskrivelsen af iltsvindets arealudbredelse.

3. Baggrund

Iltsvindsmodellen beskriver areal- og dybdeudbredelsen af iltsvind i et område ved at kombinere oplysninger fra iltprofiler (overvågningsdata) med dybdeforholdene (dybdemodel). Hovedparten af de anvendte iltprofildata er indsamlet i det danske nationale overvågningsprogram suppleret med data fra den svenske og tyske overvågning i de tilstødende farvande.

Den oprindelige iltsvindsmode blev udviklet efter det meget voldsomme iltsvind i 2002, som afstedkom et stort behov for at kunne beskrive arealudbredelsen af iltsvind. Det daværende DMU opstillede en empirisk model, som baseret på overvågningsdata og dybdekort beregnede den arealmæssige udbredelse af iltsvind. Modellen blev udviklet i efteråret 2002 og publiceret i 2003 (Carstensen & Erichsen 2003).

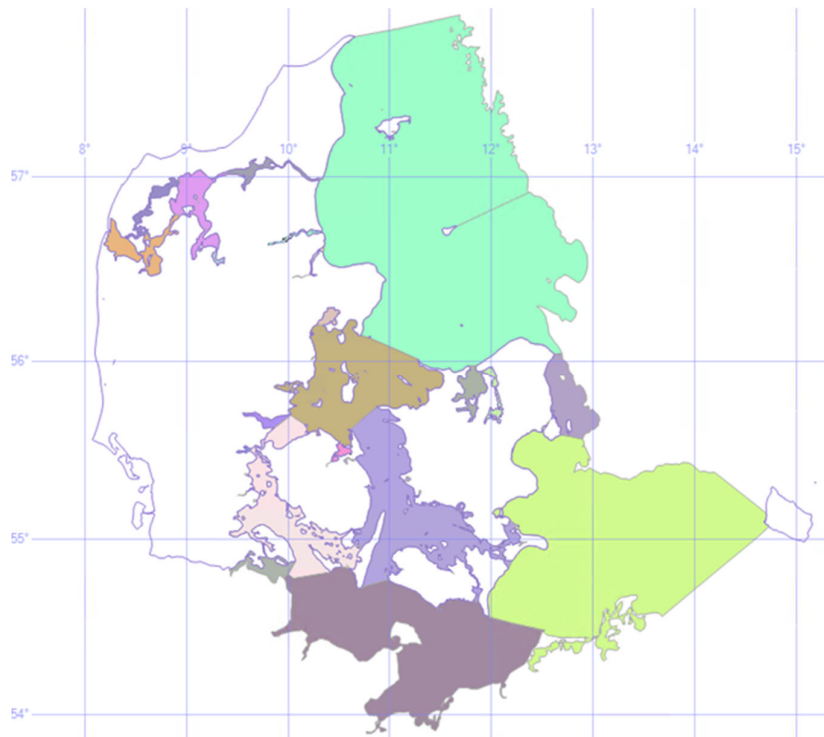
Iltsvindsmodellen bruger iltprofiler til at fastlægge dybdegrænser for iltkoncentrationerne på 4 mg/l (overgang til moderat iltsvind) og 2 mg/l (overgang til kraftigt iltsvind) og interpolerer dybdegrænserne ud i det omkringliggende vandområde ved en geostatistisk metode, Kriging, hvorved arealudbredelsen af dybdegrænserne for henholdsvis 4 mg/l og 2 mg/l bestemmes (figur 1.1). Hvis de målte iltprofiler i et område ikke rammer iltsvindsgrensene (4 mg/l og 2 mg/l), forlænger modellen iltprofilerne til større dybder for derved at estimere dybden for iltsvindsgrensene på evt. dybere vand i nærområdet. De fastlagte dybdegrænser for 4 mg/l og 2 mg/l (oxykliner) kombineres efterfølgende med dybdemodellen til en egentlig beskrivelse af iltsvindets udbredelse afstemt i forhold til dybdeforholdene. Iltsvindets udbredelse beregnes med en opløselighed (cellestørrelse) på 1/8x1/8 minut svarende til ca. 130x230 m.



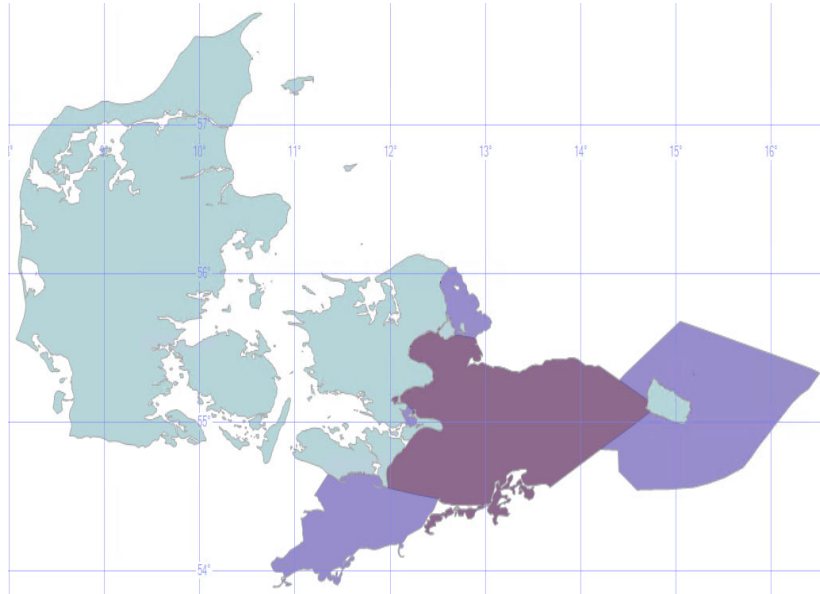
Figur 1.1 Tegningen er en konceptuel illustration af, hvordan information om den vertikale fordeling af iltkoncentrationer (iltprofiler) og den horisontale information om dybdeforhold via iltvindsmodellen sammensættes til en areal- og dybdeudbredelse af iltvind. Iltvindsmodellen bruger iltprofiler til at bestemme dybderne for overgangen til moderat (4 mg/l) og kraftigt (2 mg/l) iltvind og forlænger dybdegrænserne ud i det omkringliggende vandområde. I figuren er iltvindsovergangene bestemt ud fra iltprofilerne på station A og B ekstrapoleret ud til større dybder og anvendt til at beskrive udbredelsen af iltvind i området mellem de to stationer.

Figur 1.2 viser de 21 beregningsområder i modellen, og figur 1.3 viser et eksempel på et stationsområde. Stationsområdet er en udvidelse af beregningsområdet og omfatter de stationer i tilstødende områder, som er vurderet til at have en indflydelse på beregning af iltvindets udbredelse inden for beregningsområdet (figur 1.3).

Figur 1.2 Beregningsområder (21) anvendt i iltvindsmodellen. I Mariager og Randers Fjord udgør de indre dele selvstændige områder mens de ydre dele hænger sammen med Kattegat-området.

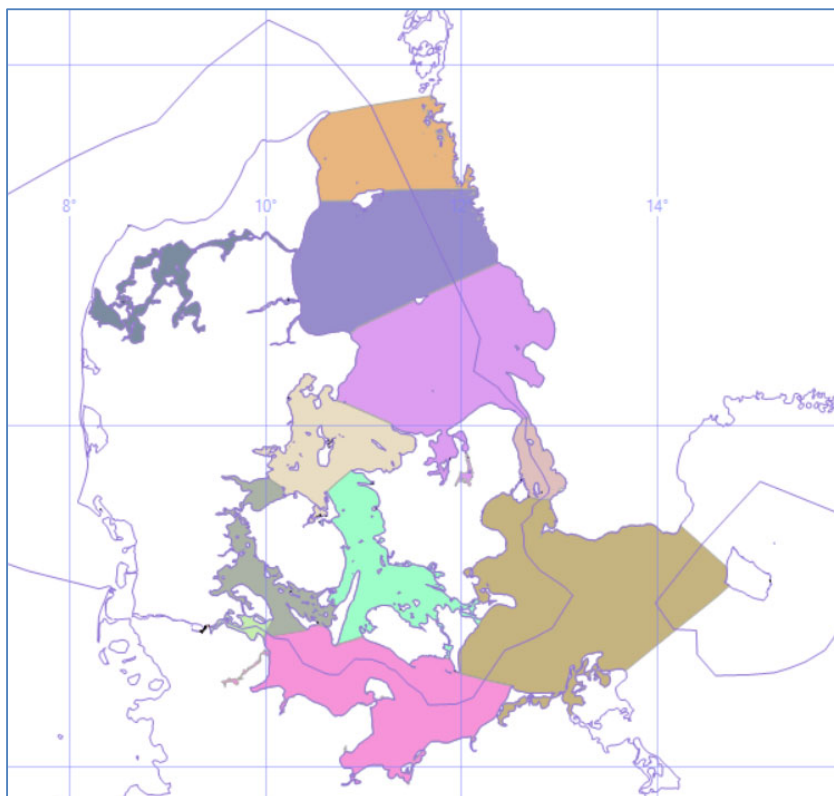


Figur 1.3 Beregnings- og stationsområde for Arkona Bassinet vest for Bornholm. Det mørke areal angiver beregningsområdet, mens det samlede stationsområde omfatter det mørke areal plus de tre tilstødende lysere arealer.



Modellen beregner det samlede iltvindareal opdelt på moderat iltvind (2-4 mg/l) og kraftigt iltvind (< 2 mg/l) inden for de i modellen definerede områder. Det samlede areal er opdelt i 12 delområder bestående af Nordlige Kattegat, Centrale Kattegat, Sydlige Kattegat, Limfjorden, Mariager Fjord, Nordlige Bælthav, Lillebælt, Flensborg Fjord, Storebælt, Øresund, vestlige Østersø og Arkona Bassinet (figur 1.4). Betegnelsen 'indre farvande' anvendes om det samlede område dog uden Arkona Bassinet. Ved præsentation af arealberegningerne i bl.a. iltvindsrapporter og havrapporter er iltvindets udbredelse opgjort for de 'indre danske farvande' inkl. Arkona Bassinet, dvs. de 'indre farvande' inden for EEZ-linjen (Economic Exclusive Zone). Dette dels for at fokusere beregningen på danske områder, men i langt højere grad for at gøre beregningen mere robust. Opgørelsen af iltvindets arealudbredelse i svensk og tysk farvand er afhængig af disse landes overvågning, som er vanskelig at koordinere med den danske iltvindsovervågning. Det er dog vigtigt at være opmærksom på, at selv om arealopgørelsen indsnævres til at omhandle 'indre danske farvande', så indgår stadig iltdata fra de tilstødende farvandsområder i modelleringen af iltvindets udbredelse i det omfang, de er tilgængelige. En arealberegning, som kun omfatter danske farvande, er dog mindre afhængig af svenske og tyske iltdata og dermed mere robust end en arealberegning, som også omfatter de tilstødende svenske og tyske farvande.

Figur 1.4 Delområder for beregning af arealudbredelsen af iltsvind inden for modelområdet samt angivelse af EEZ-linjen (Economic Exclusive Zone) for afgrænsning af de danske farvande.



Modelberegningerne af iltsvindets udbredelse beskriver iltsvindssituationen i de indre farvande og bruges i de årlige iltsvindsrapporteringer. Modelbeskrivelsen viser den mest sandsynlige udbredelse af iltsvindet baseret på det datagrundlag, der er til rådighed. Kvaliteten af modelbeskrivelsen afhænger af datagrundlaget (iltprofiler, antal og placering af målestationer, målefrequens, dybder) og variationen i de hydrografiske forhold (dybde, strøm, etc.) i det modellerede område. Data skal være indsamlet inden for en så kort periode som muligt, da iltsvind er meget dynamisk og flytter sig rundt med vind og strøm. I praksis er der for de nationale iltsvindskort typisk anvendt data indsamlet inden for ca. to uger. Da iltodynamikken i fjorde og kystvande er større end i de åbne farvande tilstræbes det i områder som fx Limfjorden at bruge data indsamlet inden for ca. en uge. Antagelsen bag modelleringen er således, at bundvandet ikke ændrer sig (herunder flytter sig) inden for modelleringsperioden, hvilket er en statisk tilgang til en dynamisk virkelighed.

4. Hovedelementer i forbedring af model

4.1 Oversigt

- 1) Profilfortolkning
- 2) Format
- 3) Pseudostationer
- 4) Ekstra iltinterval

4.2 Udspecificering

1) Profilfortolkning

Der er indarbejdet et avanceret profileringsværktøj i modellen, som giver en forbedret fortolkning af iltprofiler med henblik på fastsættelse af dybderne for moderat (4 mg l⁻¹) og kraftigt iltsvind (2 mg l⁻¹) i de tilfælde, hvor en eller begge dybder ikke indgår i selve profilet. Disse 'tærskel'-dybder udgør

grundlaget for modelleringen af arealudbredelsen af iltsvind i de indre danske farvande. Værktøjet fungerer ved en sekventiel klassificering af profilerne efter forskellige kriterier, hvilket optimerer profilfortolkningen i forhold til at vurdere profilers forventede forløb på større dybder end de målte. Ved denne tilgang udnyttes en større del af profilet end tidligere, og der er indbygget en funktion, som kan frasortere enkeltstående fejlmålinger (outliers/spikes), så de ikke får indflydelse på profilfortolkningen.

2) Format

Modellens angivelse af iltsvindsstatus i den enkelte grid/celle er ændret fra en punktmarkering til et standardiseret rasterformat. Dette gør iltsvindskortene lettere at arbejde med og detaljegraden bedre samt sikrer, at kortdata kan indgå direkte i et online system. Ændringen giver således en langt nemmere anvendelse i GIS-applikationer samt væsentligt øget præcision i områdemarkeringer. Herudover er det enkelt at genere et egentligt vektorbaseret output i form af fx en shape-fil, hvis der skulle være behov for det. ASC-rasterfilen er dog i sig selv særdeles velegnet til dataudveksling.

3) Pseudostationer

Stationsnettet er suppleret med enkelte pseudostationer (fiktive stationer) i særlige områder, såfremt der mangler målestationer vurderet i forhold til behovet for data som grundlag for iltsvindsmodelleringen. Det drejer sig om områder, hvor iltforsholdene lokalt ikke kan beskrives ved simple interpolationer af iltprofilerne fra de nærmeste overvågningsstationer, fx i områder med lavvandede tærskler, smalle landtanger eller strømrrender. Pseudostationerne duplikerer enten iltprofilet fra en nærliggende overvågningsstation eller angiver faste dybder for iltsvindsgrænserne 4 og 2 mg/l. På den måde sikres en mere korrekt beskrivelse af iltsvindets udbredelse i områder med utilstrækkelig stationsdækning. I den tidligere version af modellen blev pseudostationerne indsat baseret på en subjektiv vurdering. I den nye version af modellen tilføjes pseudostationerne automatisk, hvis der mangler stationer inden for nærmere definerede kritiske områder, hvis afgrænsning hovedsageligt er baseret på dybdekurver.

4) Ekstra iltinterval

De hidtidige iltsvindskort i de nationale iltsvindsrapporter angiver udbredelsen af kraftigt iltsvind (0-2 mg l-1) og moderat iltsvind (2-4 mg l-1). Der kan dog være nyttigt information i også at anskueliggøre yderligere iltintervaller. I Velux-projektet er der blevet arbejdet med forskellige opdelinger af iltkoncentrationer i de danske farvande. Det har resulteret i tilføjelsen af endnu et interval dækkende iltkoncentrationerne 4-6 mg/l. Dermed fås et kort med inddelingen 0-2, 2-4, 4-6 og > 6 mg/l. Det giver visuel fokus på de områder, som er allerede er berørt af iltsvind og de ikke-iltsvinds-områder, som er i risiko for at blive omfattet af iltsvind inden for kort tid. Desuden fremgår det med denne opdeling tydeligt, hvilke områder der ikke umiddelbart er truet af iltsvind. Intervallet 0-6 mg/l omfatter de iltkoncentrationer, hvor der er risiko for uønskede negative biologiske effekter, mens der ikke vil være betydelige negative biologiske effekter ved iltsvindskoncentrationer > 6 mg/l (Vaquer & Duarte 2008). De negative biologiske effekter inden for 0-6 mg/l forstærkes med faldende iltkoncentration. Følsomheden over for lave iltkoncentrationer varierer meget mellem arter og livstadier inden for den samme art, og de mest følsomme arter/livstadier påvirkes allerede negativt ved iltkoncentrationer i intervallet 4-6 mg/l (Vaquer & Duarte 2008).

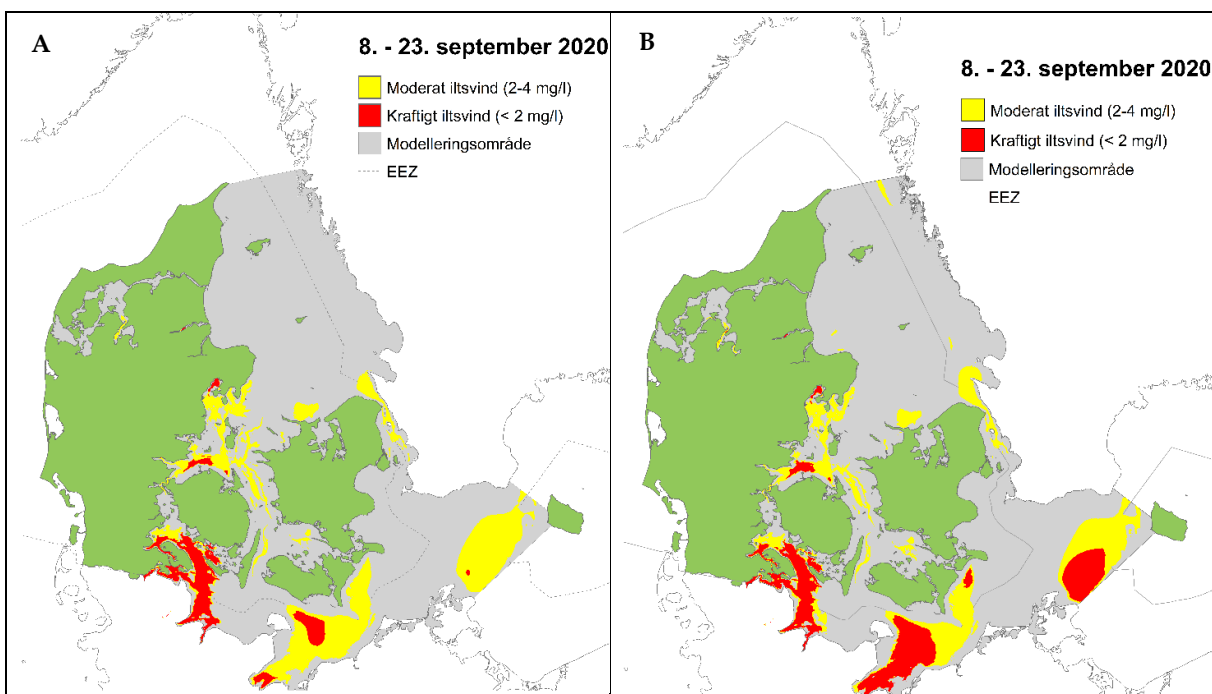
5. Resultater

5.1 Geografisk udbredelse og arealberegning af iltsvind

Figur 1.5 viser arealudbredelsen af iltsvind midt i september 2020 beregnet med henholdsvis den nye forbedrede model (A) og den tidligere opdaterede model (B). Overordnet er billedet af iltsvindets arealudbredelse det samme for de to modelberegninger. Men der er dog synlige forskelle, idet den nye modelberegning i flere områder har angivet moderat iltsvind frem for kraftigt iltsvind. Det er særlig markant i den sydlige del af Arkona Bassinet, hvor et udbredt område med kraftigt iltsvind beregnet med den tidligere model er reduceret til et ganske lille område beregnet med den nye model. Men også i Lübeck/Mecklenburg Bugt er området med kraftigt iltsvind reduceret betragtelig i kortet beregnet med den nye model, og området med kraftigt iltsvind i Hjelm Bugt er helt forsvundet. Andre, dog mindre betydelige forskelle, er, at angivelsen af området med kraftigt iltsvind i det nordlige Bælthav er større med den nye model, mens de spredte angivelse af moderat iltsvind i Kattegat i kortet beregnet med den tidligere model er væk i kortet beregnet med den nye model.

Hovedkonklusionen er dog, at overensstemmelserne mellem kortene er langt større end forskellene, idet områderne berørt af iltsvind næsten er identiske i de to kort. Det samlede areal berørt af iltsvind er således kun 1 % større i kortet baseret på den nye model, mens arealet af moderat iltsvind er 6 % større og arealet af kraftigt iltsvind 11 % mindre.

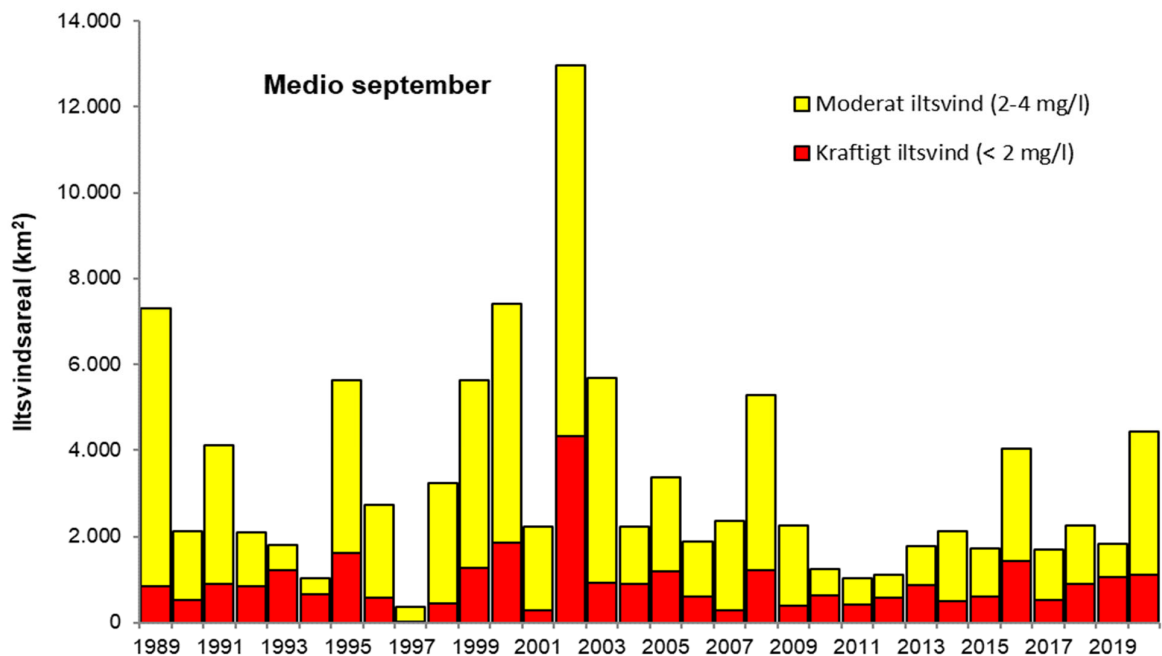
Arealberegninger foretaget med den nye model og den tidligere model er yderligere sammenstillet i afsnittet om den historiske udvikling i iltsvinds-arealerne.



Figur 1.5 Arealudbredelsen af iltsvind midt i september 2020 beregnet med den nye forbedrede model (A) og den tidligere opdaterede model (B).

5.2 Historisk udvikling i iltvindarealer (1989-2020)

Det samlede areal for iltvindets udbredelse i de indre farvande midt i september er genberegnet for perioden fra 1989 og frem med den nye model (figur 1.6). Disse data præsenteres i forskellige sammenhænge herunder i den årlige nationale rapport om havmiljøets tilstand og i den anden af de fire årlige iltvindsrapporter. I den nye model er beregningen af iltvindets udbredelse forbedret yderligere. De historiske arealer beregnet med den nye version af modellen er derfor ændret lidt i forhold til arealerne beregnet med den tidligere version af modellen. Som nævnt tidligere giver det en mere robust sammenstilling mellem årene, hvis den samlede arealudbredelse beregnes inden for den danske EEZ-linje, dvs. for de indre danske farvande.



Figur 1.6 Arealudbredelsen af iltsvind i indre danske farvande, dvs. inden for EEZ-linjen midt i september 1989-2020 opdelt på moderat og kraftigt iltsvind - beregnet med den nye model.

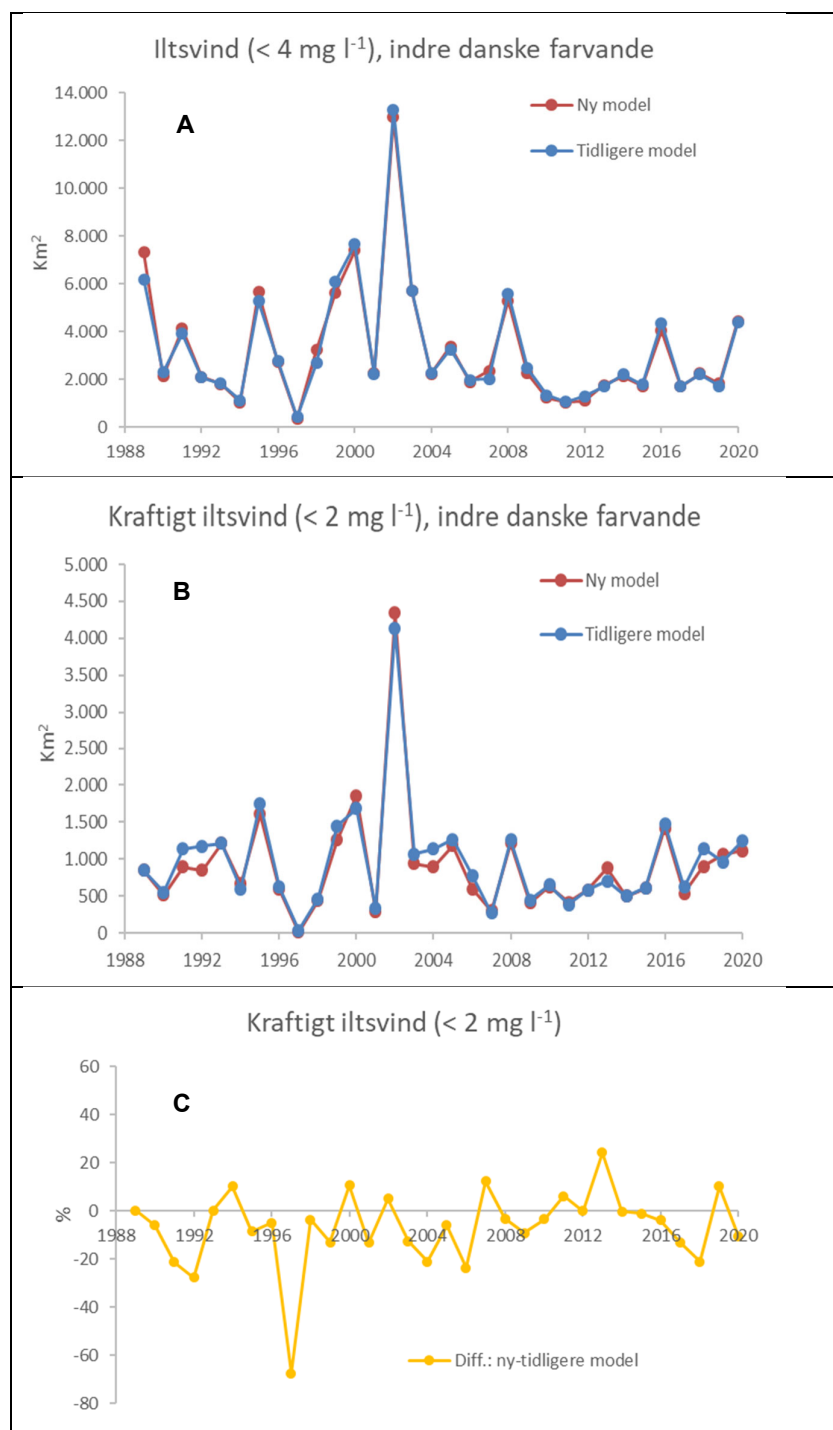
5.3 Iltvindets udbredelse beregnet med ny og tidligere model

Forskellen i arealangivelsen beregnet med den nye og den tidligere model er omtalt med udgangspunkt i kortene med iltvindets udbredelse midt i september 2020 (figur 1.5), men diskuteres her yderligere med baggrund i de historiske beregninger af iltvindets arealudbredelse i de indre danske farvande.

Mønstret for udviklingen i det samlede iltvindareal i de indre farvande midt i september er det samme for perioden 1989-2020 uafhængigt af, om arealet er beregnet med den nye eller den tidligere iltvindsmode (figur 1.7A). For langt de fleste år er der kun ubetydelig forskel mellem arealerne beregnet med de to versioner af modellen, og i gennemsnit for den 32-årige periode er der ikke nogen forskel (0 %). Hvis der fokuseres på de enkelte år, så ligger den relative forskel i arealberegningen for de to versioner af modellen i intervallet -16 % (1997) til +21 % (1998).

Forskellen i de historiske arealberegningen foretaget med de to versioner af modellen er også meget lille (figur 1.7B). Som gennemsnit for perioden 1989-2020 er der en tendens til, at den nye model angiver en lidt mindre udbredelse af kraftigt iltsvind (-5 %), mens udbredelsen af moderat iltsvind næsten er den samme (+2 %) og helt den samme for det samlede iltsvindsreal (0 %). For de enkelte år ligger den relative forskel for moderat iltsvind mellem -27 % (1994) og +38 % (1992), mens forskellen for kraftigt iltsvind ligger mellem -28 % (1992) og 24 % (2013) – når der ses bort fra 1997. Som det fremgår af figur 1.7C var forskellen en del større i 1997 (68%). Men i 1997 var der nærmest intet iltsvind (figur 1.6), hvorfor selv en arealmæssig meget lille forskel giver en stor relativ forskel.

Figur 1.7 Sammenligning af arealudbredelsen af iltsvind i de indre danske farvande midt i september 1989-2020 beregnet både med den nye og den tidligere model. A) samlede iltsvind, B) kraftigt iltsvind og C) den relative forskel i kraftigt iltsvind beregnet med den nye og den tidligere model.

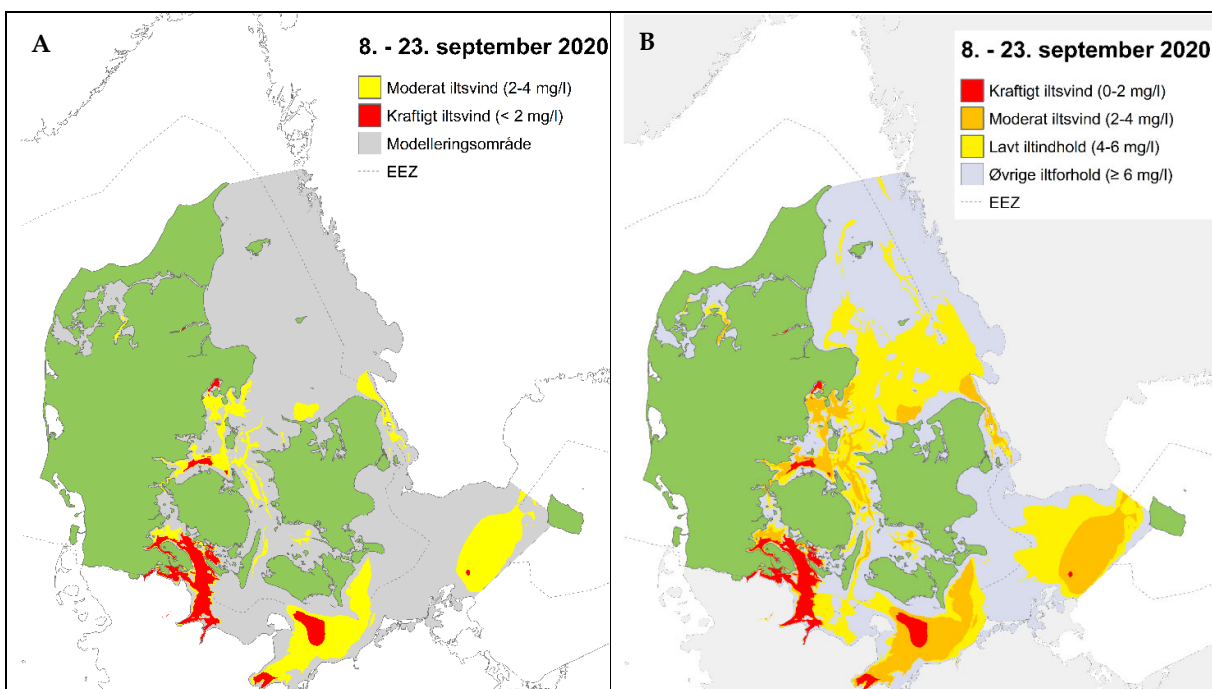


5.4 Ekstra iltinterval (4-6 mg/l)

I den nye model er tilføjet den facilitet, at modellen beregner arealudbredelsen af endnu et iltinterval. Det drejer sig om iltintervallet 4-6 mg/l, dvs. niveauet lige over grænsen til iltsvind. Formålet er dels at beskrive de områder, hvor der er risiko for, at områderne inden for kort tid kan udvikle iltsvind med potentielt store økologiske konsekvenser. Men formålet er også at angive de områder, hvor de mest iltsvindsfølsomme arter allerede er stresset af de lave iltkoncentrationer. Endelig er det også formålet samtidig at fremhæve de øvrige områder, som ikke umiddelbart er i risiko for at blive ramt af iltsvind.

Det ekstra iltinterval har betydet, at der er tilføjet en ekstra farve til udbredelseskortet. Som konsekvens heraf er de tidligere farver taget op til revision, hvilket har ført til en justering af farverne (figur 1.8B). Farverne er valgt, så der er mest fokus på kraftigt iltsvind med en glidende overgang til de efterfølgende kategorier. I figur 1.8 er iltsvindets udbredelse eksemplificeret både med de hidtidige farver og iltkategorier og med de nye farver og iltkategorier.

Det er især det sydlige Kattegat, hvor der er store områder, som midt i september har et lavt iltindhold. Men også i den nordlige halvdel af Storebælt, centralt i Smålandsfarvandet, i dele af den vestlige del af Østersøen, i Arkona Bassinet og desuden i dele af Limfjorden er der udbredte områder med lavt iltindhold.



Figur 1.8 Arealudbredelsen af kraftigt og moderat iltsvind midt i september 2020 beregnet med den nye model og angivet med de hidtidige farver (A) og med de nye farver samt tilføjesen af en ekstra kategori for lavt iltindhold (4-6 mg/l).

Referencer

Carstensen J & Erichsen AC 2003. Modeller til beskrivelse af iltsvind. Analyse af data fra 2002. Danmarks Miljøundersøgelser - Faglig rapport fra DMU nr. 445. 62 s.

Rytter D, Carstensen J & Hansen JW 2017. Opdatering af iltvindsmode. Fagligt notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 13 s.

Vaquar-Sunyer R & Duarte CM (2008). Thresholds of hypoxia for marine diversity. PNAS 105 (40): 15452-15457

Finansiering

Projektet er finansieret af interne midler (BIOS).