



Hvad er iltsvind?



Iltsvind opstår, når balancen mellem forbrug og tilførsel af ilt i havet tipper til den forkerte side. Det sker, fordi dyr og bakterier på havbunden bruger den ofte begrænsede mængde af ilt hurtigere, end der tilføres nyt. Store mængder af næringsstoffer lægger grunden til dette iltforbrug, men vind, vejr og den fysiske udformning af havområdet har også afgørende indflydelse på, om der opstår iltsvind, og hvor voldsomt det bliver.

Foto: Bent Lauge Madsen.

Figur 2-1

I store dele af Skive Fjord trak vinden i august 2003 svovlbrinteholdigt bundvand op i det iltrige overfladevand. Svovlbrinten blev iltet og omdannet til frit svovl, mens ilten blev forbrugt. Hvide partikler af svovl farvede vandet mælkehvidt, og mange fisk blev fanget i det iltfrie vand og døde.

Foto: Limfjordssamarbejdet.



Iltsvind er ikke noget, man normalt ser med det blotte øje. For de fleste er det noget, der ligger godt skjult under havets overflade. Ofte er det kun biologernes måleudstyr eller dykkernes observationer, der afslører, at noget er galt.

Kun når det går rigtig galt, bliver iltsvindet – eller resultatet af iltsvindet – synligt for alle. Man så det bl.a. i slutningen af august 1997, hvor vandet nærmest var mælkehvidt i den inderste del af Mariager Fjord. En kraftig stank af svovlbrinte fortalte på lang afstand, at her var der noget, der var rivende galt. Og hele Danmark fik billeder af døende ål og fladfisk serveret i avisen og på TV.

Springlag deler vandet

Hvordan opstår iltsvind? Ja, helt kort fortalt sker det, fordi der bliver brugt mere ilt i bundvandet, end der tilføres. Men bag dette simple udsagn ligger der en lang række komplicerede processer og begivenheder, der fører til, at iltsvind udvikler sig, som det gør.

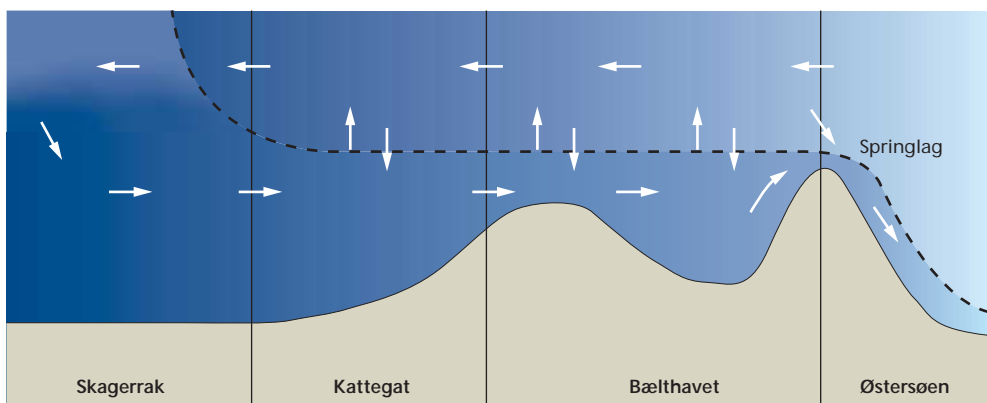
Langt de fleste organismer i vandet, på havbunden og nede i havbunden bruger ilt for at leve og vokse. Alle, lige fra små bakterier til store fisk, er afhængige af ilt.

Planktonalger laver ilt ved fotosyntese i de øverste vandlag. Men ilt kan også komme fra atmosfæren, da luftens ilt bliver opløst i overfladevandet. Det er altså under alle omstændigheder overfladelaget, der forsyner bundvandet med ilt. Og kommer der ikke hele tiden ny ilt til bundvandet, er der fare for, at den begrænsede iltmængde her bliver brugt op. Sker det, opstår der iltsvind.

Om vinteren, når vandet er koldt, og kraftige vinde blander og udskifter bundvandet, er der ingen problemer. Men om sommeren har ilt svært ved at trænge ned til bundvandet.

Figur 2-2

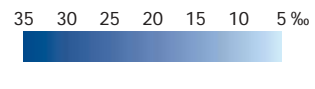
Hovedstrømmene i de indre farvande er vist med pile. Fra Østersøen strømmer ferskere og lettere vand mod nord, og fra Skagerrak strømmer salt og tungt vand mod syd. Nederst ses et snit gennem farvandene. Østersøvandet lægger sig oven på Skagerrakvandet, og de to vandmasser er godt adskilt af et springlag. En vis udveksling af vand finder dog sted mellem lagene. Det giver den karakteristiske gradient i saltindholdet fra nord til syd i både overfladevandet og bundvandet.

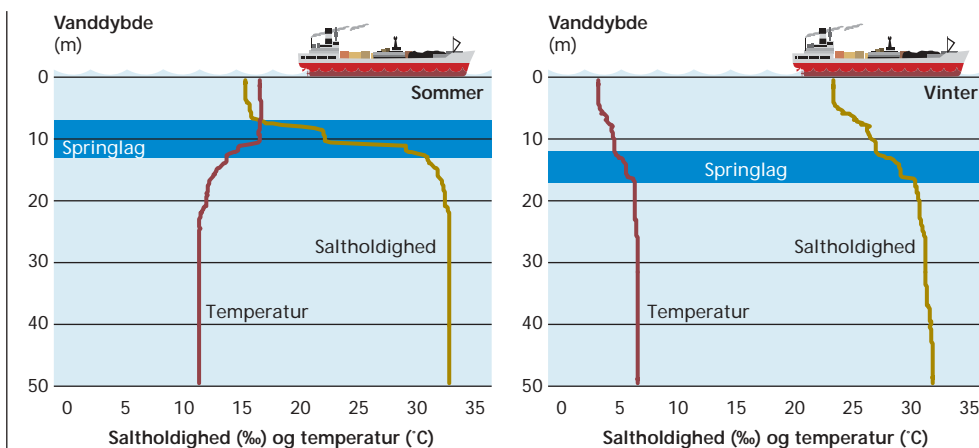


Specielt i de indre farvande, hvor vandmasserne er skarpt adskilt i et øvre og et nedre lag. Mellem de to vandmasser ligger der et kraftigt "læg", som hindrer ilten i at trænge ned i bundvandet. Man kalder læget mellem de to vandmasser for en skilleflade eller et springlag.

Springlaget dannes ved, at vand med forskellig saltholdighed og temperatur lægger sig i to lag med det tungeste vand nederst. Og her er de indre farvande særligt udsatte. Fra syd strømmer det mere ferske og lette vand fra Østersøen nemlig ind i vore indre farvande og lægger sig oven på det mere salte og tunge vand, der kommer fra Nordsøen og Skagerrak (figur 2-2). Der, hvor de to vandmasser møder hinanden i selve vandsøjlen, danner springlaget en skarp grænse mellem dem.

Dykker man ned gennem vandet, ser man tydeligt springlaget flimre. Det ligner varmedis i luften over asfalt på en varm sommerdag. I havet er det et tegn på, at det mere ferske vand møder det salte vand, og at temperaturen ændrer sig. Man mærker også tydeligt, hvordan vandet skifter temperatur, når man glider ned gennem springlaget.





Figur 2-3
Temperatur og saltholdighed ned gennem vandsøjlen syd for Ven i Øresund målt hhv. om sommeren og om vinteren. Springlaget ligger dér, hvor værdierne ændrer sig hurtigt med dybden.

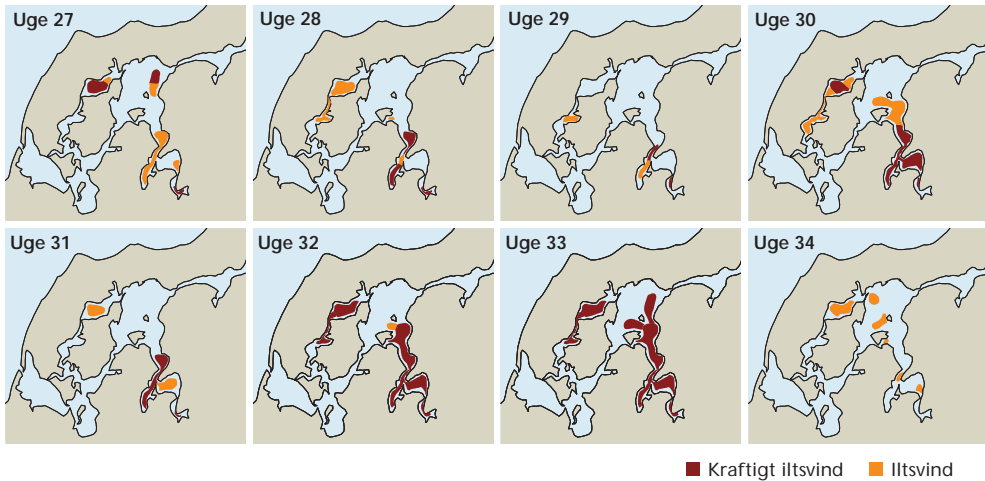
Springlaget er ofte ganske få meter tykt, og målinger ned gennem vandet viser, hvordan saltholdigheden stiger kraftigt, mens temperaturen om sommeren omvendt falder kraftigt i dette tynde lag (figur 2-3).

Des større forskel, der er i saltholdighed og temperatur mellem de to vandlag, des stærkere bliver springlaget. Det betyder, at det bliver sværere at blande overfladevand med bundvand, og at bundvandet bliver kraftigere adskilt fra overfladevandet. Netop om sommeren er springlaget stærkt, fordi solen varmer overfladevandet op og gør det endnu lettere.

I Limfjorden, Ringkøbing Fjord og Nissum Fjord kan der ind imellem opstå en speciel lagdeling ved, at salt vand fra det åbne hav strømmer ind. I stille vejr lægger dette salte vand sig i et meget tyndt lag helt nede ved bunden. Da laget er tyndt, er mængden af ilt i det lille, og derfor kan denne lagdeling give problemer med iltforholdene helt tæt ved bunden om sommeren.

I mange af vore lavvandede fjorde og kystvande er der imidlertid ikke stor forskel på saltindholdet i bundvandet og i overfladevandet. Her er det derfor primært forskellen i temperatur mellem de to vandmasser, der skaber springlaget. Et springlag, der hovedsageligt er skabt af temperaturforskelle, er ikke nær så stærkt som et springlag, der skyldes forskelle i saltholdighed. Faktisk vil en forskel i saltholdighed på kun én promille give springlaget samme styrke som en temperaturforskul på hele seks grader.

I fjordene – eksempelvis i Limfjorden – kan en kraftig sommervind derfor relativt nemt rive et temperatur-springlag i stykker. Vinden blander vandet rundt, forsyner bunden med ilt og kan derved forhindre et truende iltsvind (figur 2-4).



Figur 2-4
Udbredelse af iltsvind i Limfjorden i ugerne 27-34, 2003. Når vinden er for svag til at bryde springlaget og omrøre hele vandsøjlen, opstår der iltsvind i vore fjorde og lavvandede havområder. Omfanget af iltsvind varierer derfor ofte gennem sommeren afhængigt af vindens styrke, og iltsvindet kan komme og gå inden for få dage.

Omvendt kan mangel på vind i kombination med et springlag få så katastrofale følger, som man så i Mariager Fjord i 1997. Her var usædvanligt stille vejr i august måned afgørende for det voldsomme iltsvind, hvor det meste liv i den inderste del af fjorden blev udslettet.

Ilt bliver brugt

Allerede når lyset kommer tilbage i februar og marts måned, vågner planktonalgerne i havet op til død og bliver lynhurtigt talrige. De udnytter det rigelige lys nu, hvor solen står højere på himlen, og dagene er blevet længere. Samtidig indeholder vandet mange næringsstoffer, som stammer fra vinterens store afstrømning fra land. Det fører til en forårsopblomstring, hvor milliarder af alger producerer masser af organisk stof i de øverste, belyste vandlag.

Det sker ved fotosyntese, hvor algerne med kuldioxid (CO₂), vand (H₂O) og lys producerer ilt (O₂) og organisk stof, der forsimplet kan skrives som CH₂O:

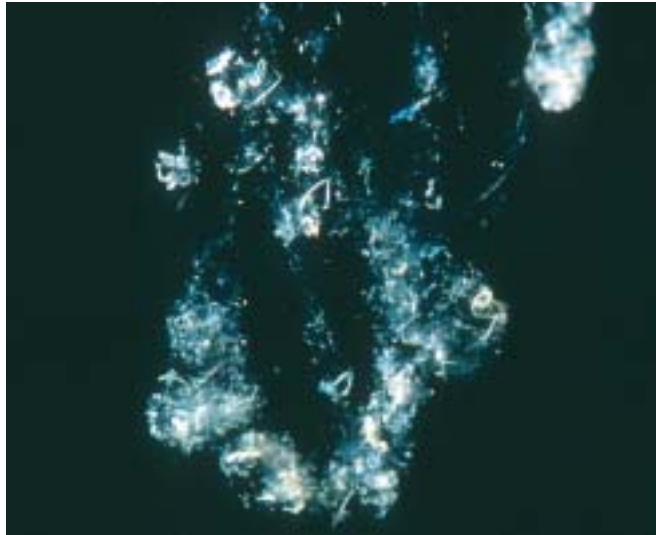


Forårsopblomstringen er også startskuddet til et større forbrug af ilt nede ved havbunden. Dels synker algerne ned på bunden, dels bliver de ædt af dyr i vandet. Afføring fra dyr, der æder algerne, og føderester fra dyrene er også føde for havbundens organismer. Det hele svæver rundt og ligner sne, og de sammenklumpede partikler kalder man da også for marin sne (figur 2-5).

Figur 2-5

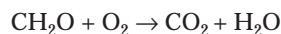
Marin sne, der her består af en blanding af kiselalger, afføring fra vandlopper og bakterier. Diameteren på dette "fnug" er ca. 1 cm.

Foto: Chris Gotschalk.



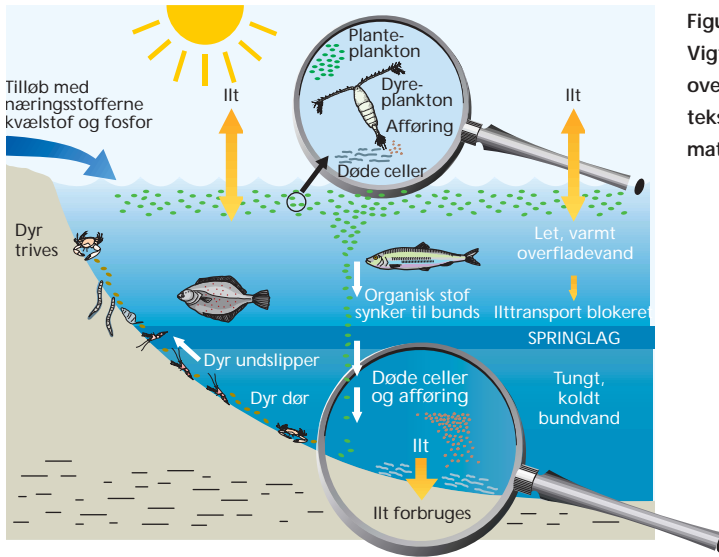
Ved havbunden æder og nedbryder dyr og bakterier alle disse rester, og det kræver ilt. Jo mere organisk stof, der synker ned på bunden og nedbrydes, jo mere ilt bruges der.

Nedbrydningen af organisk stof er den omvendte proces af fotosyntesen. Det organiske stof nedbrydes under forbrug af ilt til kuldioxid og vand:



Gennem sommeren fortsætter algerne med at producere organisk materiale i vandet, hvor der er lys nok til fotosyntese. Lagdelingen af vandsøjlen bliver samtidig styrket, fordi overfladevandet hele tiden bliver varmere. Der sker kun en ringe blanding af vandet, da der ofte kun er ringe vind om sommeren. Den ringe vind betyder også, at havstrømmene langs bunden bliver svagere og derfor kun i ringe grad fornyer bundvandet. Der kommer altså kun lidt ilt ned til bunden i sommerhalvåret. Alger og andre plante- og dyrerester synker derimod nemt ned gennem springlaget og tilfører fortsat føde til dyr og bakterier ved havbunden. Iltforbruget fortsætter altså ufortrødent.

I denne situation, hvor der er lukket af for tilførslen af ilt, mens det organiske materiale stadig synker ned til bundlagene, bliver der hele tiden brugt af den begrænsede mængde ilt i bundvandet. Når det meste af ilten er brugt op, opstår der iltsvind (figur 2-6).



Figur 2-6
Vigtige processer i vandsøjlen over og under springlaget. Se teksten for yderligere information.

Døden ved havbunden

Havbundens dyr er de første, der mærker, at ilten i vandet begynder at forsvinde. Der er forskel på, hvor lidt ilt de forskellige dyr kan tåle, og flugten fra døden ved havbunden følger derfor et karakteristisk mønster.

Man taler om iltsvind, når bundvandet indeholder mindre end 4 mg ilt pr. liter. Her begynder de første fisk at flygte.

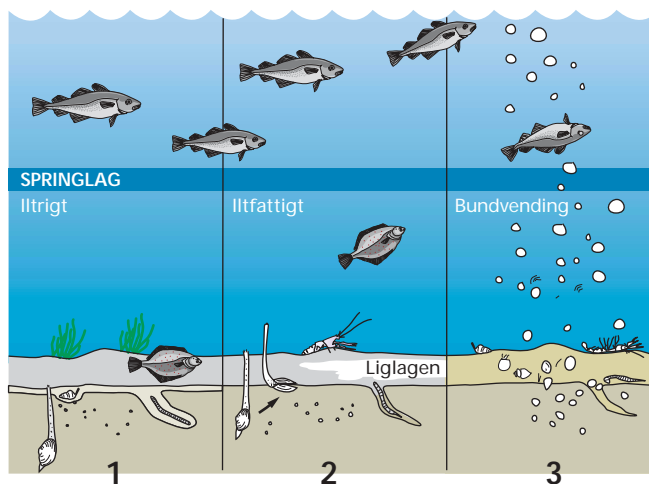
Kommer iltindholdet under 2 mg pr. liter, kalder man det for kraftigt iltsvind. Nu begynder krabber, ål, rejer og jomfruhummere at forlade deres skjul i og ved havbunden. Fiskere oplever derfor ofte, at de fanger flere af disse dyr lige før et kraftigt iltsvind.

Er ilten i bundvandet under 2 mg pr. liter, begynder også dyr, der lever nedgravet i bunden, at blive stressede. De kan ikke længere pumpe ilt nok ned i deres gange og kravler op af havbunden i et sidste forsøg på at få fat i den smule ilt, der endnu er tilbage i bundvandet. Pludselig ser man børsteorme, muslinger og andre dyr, der under normale forhold lever nedgravet i havbunden, ligge oven på den (figur 2-7 og 3-11).

Mens ilten forsvinder fra bundvandet, begynder svovlbrinte i havbunden langsomt at trænge op mod bundens overflade. Svovlbrinte er dødeligt giftigt for dyr og planter. Det virker på samme måde som kulilte eller blåsyre, der blokerer en del af åndedrætssystemet.

Figur 2-7

Udvikling af iltsvind. Når ilten begynder at forsvinde i bundvandet (2), svømmer fisk væk. Dyr, der lever nedgravet i bunden, stikker deres ånderør højere op eller forlader deres nedgravede liv i et forsøg på at finde mere ilt oppe på havbundens overflade. Ved en bundvending (3) frigives svovlbrinte pludseligt til vandet, og dyr og planter dør.



Normalt er svovlbrinte gemt godt af vejen nede i havbunden, hvor det ikke gør skade. Det er havbundens store mængder af iltede jernforbindelser, der binder svovlbrinte og holder det tilbage (se kapitel 4). Men når iltforholdene i bundvandet bliver dårlige, forsvinder de iltede jernforbindelser i havbunden. Havbunden bliver sort, og svovlbrinte trænger nu helt op til bundens overflade.

Det er på dette tidspunkt, at de hvide svovlbakterier træder ind på scenen. Svovlbakterierne lever populært sagt af den svovlbrinte, der er i havbunden. De bruger den smule ilt, der stadig er i bundvandet, til at ilte den svovlbrinte, der kommer nede fra havbunden.

De hvide svovlbakterier kan dække hele havbunden. Det ser ud, som om der er bredt et hvidt tæppe ud over havbunden. Man kalder dette tæppe for et liglagen. Det er et ganske uhyggeligt syn at møde, når man dykker i områder, der er ramt af iltsvind (figur 2-8).

Svovlbakterierne er sidste skanse, før det går helt galt. De holder svovlbrinten nede i havbunden. Forsvinder den sidste smule ilt fra vandet, forsvinder svovlbakterierne også, og så har svovlbrinte fri adgang til vandet oven over.

Når svovlbrinten kommer op i vandet, slår det alle dyr ihjel, ligesom planterne også tager skade. Ålegræs, som er en vigtig plante i mange kystnære områder, overlever f.eks. ikke svovlbrinte i vandet. Kommer bladene i kontakt med svovlbrinte, afstødes de (se kapitel 3).

Som udviklingen er beskrevet her, sker der en snigende forværring, efterhånden som mængden af ilt i bundvandet svinder. Men døden i havbunden kan også slå til meget pludseligt. Det sker f.eks. ved en bundvending. Man taler om bundvending, når store gasbobler i havbunden slipper løs og river en del af havbunden med sig op gennem vandet. Boblerne er metangas, der er produceret af bakterier længere nede i havbunden. Når de bobler op i vandet, trækker de en del af den giftige svovlbrinte med sig. Sker det, kan man fra det ene øjeblik til det andet opleve, at fisk højt oppe i vandet bliver slået ihjel af svovlbrinte. De døde fisk tiltrækker måger, og ser man en varm sommerdag en stor flok måger, der samler sig og slår sig ned over et begrænset område i fjorden, har de måske fået føden serveret af en lokal bundvending (se figur 3-29).

Figur 2-8

Hvide svovlbakterier trækker et hvidt lagen henover havbunden.

Foto: Nanna Rask, Fyns Amt.

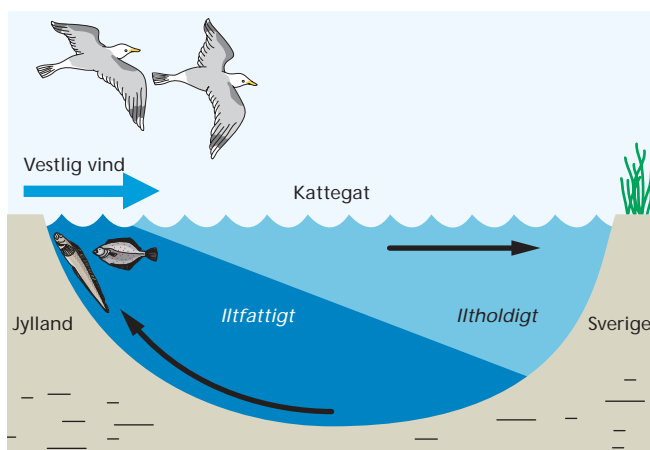


Iltfattigt eller iltfrit vand kan også pludselig strømme ind på helt lavt vand, hvor man ellers normalt ikke ser iltsvind. Man så det bl.a. i sensommeren 2002, hvor døde fisk pludselig skyllede op på stranden langs Ålborg Bugt, i Kalø Vig og i den inderste del af Vejle Fjord. Fralandsvind, som oftest vestenvind, blæser overfladevand bort fra kysten, og bundvand erstatter det overfladevand, som vinden har blæst væk. På den måde kan vestenvind sidst på sommeren trække iltfrit bundvand fra større vanddybder ind på lavere vand ved de østvendte kyster (figur 2-9).

Figur 2-9

Når vestenvinden blæser overfladevandet bort fra østvendte kyster, tipper springlaget. Det trækker det iltfattige og evt. svovlbrinteholdige bundvand ind mod kysten. Det skete bl.a. i oktober 2002 ved den nordjyske Kattegatkyst på strækningen fra Øster Hurup til nord for Hals. Mange steder lå døde fisk spredt i tusindtal, så langt øjet rakte.

Foto: Christen Jensen, Nordjyllands Amt.



Årets gang i havet

Det er en kombination af næringsstoffer, de fysiske forhold i de danske farvande og vejrforholdene, der udløser iltsvind. Det er næringsstofferne, der er byggestenene til et iltsvind, mens det er vejr-situationen, der bestemmer, om det opstår, og hvor voldsomt det slår igennem.

Der er forskel på de fysiske forhold i hhv. fjorde og lavvandede kystområder på den ene side og i de dybere, mere åbne farvande på den anden. Det betyder, at iltsvind udvikler sig forskelligt disse steder. Man kan nemmest illustrere samspillet mellem disse faktorer ved at følge årstidernes skiften i de forskellige havområder.

Om vinteren er vandet koldt, omsætningen lav og iltforbruget tilsvarende lille. I lavvandede farvande, hvor dybden er mindre end 15 m, er der ikke stor forskel på vandets vægtfylde fra overflade til bund. Vinden blander derfor nemt vandet op, og det bringer ilt ned til bundvandet og til havbunden.

I de åbne indre farvande, der er dybere end 15 m, finder man en kraftig lagdeling selv om vinteren. Det skyldes forskellene i saltholdighed mellem overflade- og bundvand. Da lagdelingen er stærk, kan vinterens kraftige vinde kun i ringe grad blande iltrigt overfladevand ned i bundvandet. Vinterstormene sætter derimod gang i havstrømmene, som udskifter bundvandet i de indre farvande med iltrigt vand fra Skagerrak. Kraftige vandstrømme i snævre farvande som Storbælt sætter også gang i en omrøring af vandsøjlen, så noget af det iltrige overfladevand bliver blandet ned i bundvandet. Selv om vinden i sig selv ikke kan blande det iltrige overfladevand ned i bundvandet, kommer der på den måde alligevel masser af ilt i hele vandsøjlen også i de åbne farvande.

Om vinteren står solen samtidig lavt på himlen, og algerne vækst er næsten gået i stå. Kun få partikler synker ned til bunden, og forbruget af ilt ved havbunden er derfor lavt. På land står plantevæksten også næsten i stampe, og planterne holder derfor ikke effektivt på jordens næringsstoffer. Når regnen falder, eller når sneen smelter, vaskes der mange næringsstoffer ud af jorden, og en stor del af dem løber med vandløbene ud i kystvandene.

I det tidlige forår er næringsstofferne så tilgængelige for algerne, når solen sætter skub i deres vækst. Fotosyntesen og væksten går i gang for fuld kraft. Og i takt med, at flere partikler synker ned på havbunden, stiger forbruget af ilt i bundvandet.

Lavvandede fjorde og kystnære områder modtager særligt mange næringsstoffer fra land og er derfor meget produktive. Forbruget af ilt ved bunden er derfor også relativt større her

Figur 2-10

Vandløb transporterer næringsstoffer fra land til kystvandene.

Foto: Bent Lauge Madsen.



end i de dybere havområder. På grund af det lave vand bliver overfladevandet relativt hurtigt varmet op i løbet af foråret og sommeren. Jo varmere vejret er, jo varmere bliver overfladevandet, og jo stærkere et springlag opstår der mellem overflade- og bundvand.

I juli og august kan kombinationen af lavt vand, stor produktion og en lang periode med varmt og stille vejr give alvorlige problemer med iltforholdene i disse områder. En væsentlig grund til, at problemerne opstår så tidligt, er, at det bundlag, som springlaget afskærer, har et forholdsvis lille volumen og derfor relativt hurtigt bliver tømt for ilt. Et iltsvind kan derfor udvikle sig i løbet af få dage efter, at et springlag er dannet (se også boks 2-1).

Balancen mellem sol og vind gennem sommeren er altså afgørende for forsyningen af ilt til bundvandet i de lavvandede områder. Da det primært er forskellen i temperatur mellem overfladevand og bundvand, der skaber springlaget,

Figur 2-11

Sommer, sol og næsten ingen vind er de ideelle betingelser for udvikling af iltsvind i mange fjorde og lavvandede havområder. Her er en dansk fjord en tidlig sommermorgen.

Foto: Ole Schou Hansen.



er det ikke særligt stærkt. En kraftig sommervind kan nemt rive det i stykker og blande vandet op (figur 2-4).

I løbet af efteråret aftager faren for iltsvind i de lavvandede fjorde og kystnære områder i takt med, at temperaturforskellen mellem overfladevand og bundvand aftager.

Forholdene er anderledes i Kattegat, Storebælt og andre dybe, åbne indre farvande. Her er springlaget primært skabt af forskellen mellem saltindholdet i Østersø vandet og Nord sø vandet (hhv. 8 og 34‰). Springlaget bliver yderligere forstærket gennem sommeren, når solen varmer overflade vandet op, og selv en kraftig sommervind er magtesløs og kan ikke blande vandmasserne. Storme sikrer primært frisk, iltholdigt vand ved at skabe en bundstrøm fra nord. Men om sommeren er der ikke mange stærke vinde, og indstrømningen af nyt bundvand fra Skagerrak til Kattegat og Bælthavet er derfor ringe. Om sommeren kommer der faktisk mindre end halvt så meget bundvand, som der kommer med indstrømningen om

Figur 2-12

En god efterårs- eller vinterstorm kan nedbryde et springlag, hvis det ikke er for stærkt. I Kattegat sørger efterårsstormene også for, at nyt iltholdigt bundvand strømmer ind fra Skagerrak.

Foto: Gunni Ærtebjerg.





Figur 2-13
Iltsvind er normalt et sommerfænomen, men kan også opstå om vinteren, når isen som her på Isefjorden lukker af for iltforsyningen.

Foto: Steen Weber.

vinteren. Forsyningen af ilt til bundvandet er altså begrænset. Selv langt hen på efteråret kan de kraftige efterårsstorme ikke blande det iltrige overfladevand længere ned end 15-20 m, selv om temperaturen i overfladevandet ikke er meget højere end temperaturen i bundvandet. Men de kraftige efterårsstorme sætter derimod gang i de havstrømme, der får det iltrige bundvand til at strømme ind fra Nordsøen og Skagerrak.

Da iltforbruget i bundvandet i de dybe, åbne indre farvande både er relativt mindre og dets volumen relativt større end i de lavvandede fjorde og kystvande, er iltsvind her en langsomt fremadskridende proces, der er flere måneder undervejs. I de åbne farvande opstår iltsvind derfor ofte sent på sommeren – sidst i august og i september – ja, nogle gange så sent som i november.

Både i de dybe og i de lavvandede danske havområder er iltsvind normalt et sommerfænomen, men i lavvandede fjorde kan der faktisk også opstå iltsvind under lange isvintre. Man har eksempelvis oplevet iltsvind i Isefjord og Roskilde Fjord efter et længere tids isdække. Isen har samme virkning som springlaget. Den forhindrer omrøring af vandet og lukker samtidig af for tilførsel af ilt.

Boks 2-1

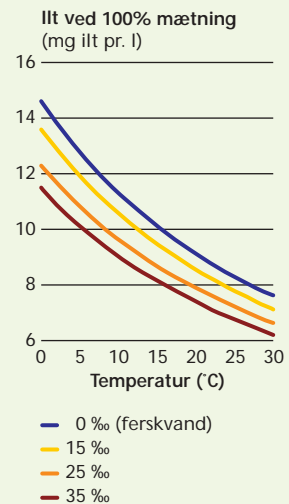
Vands indhold af ilt

Størsteparten af den ilt, som er opløst i havet, kommer fra atmosfæren. Når mængden af ilt i vandet er i ligevægt med ilt i atmosfæren, er havvandet 100 % mættet. Men selve mængden af ilt i fuldstændigt iltmættet vand er ikke nødvendigvis den samme i alle tilfælde. Vandets temperatur og saltholdighed er nemlig afgørende for, hvor meget ilt der er opløst i vandet, når det er mættet med ilt. Jo varmere og jo saltere vandet er, jo mindre ilt er der opløst i vandet, selv om der er iltmætning (se figuren nederst i boksen).

Når temperaturen i lavvandede områder stiger i løbet af foråret og sommeren (fra ca. 0 til ca. 20 °C) betyder det derfor ikke kun, at forbruget af ilt stiger. Det betyder også, at der bliver en relativt mindre mængde ilt til rådighed for de iltforbrugende organismer. Vandtemperaturen vil altså i sig selv medvirke til, at iltsvind opstår forholdsvis hurtigt under disse forhold.

Omvendt rummer det ret salte og kolde bundvand i de dybe, åbne indre farvande forholdsvis meget ilt, hvilket sammen med det større volumen medvirker til, at iltsvind er en mere langsomt fremadskridende proces i disse områder. Samtidig ændres temperaturen fra vinter til sommer kun fra henholdsvis 4-5 °C til 12-13 °C.

Fisk og bunddyr reagerer i højere grad på, hvor iltmættet vandet er, end på hvor stor en mængde ilt, der er opløst i det. Derfor vil dyrene opleve en 50% iltmætning ens ved f.eks. 10 og 20 °C, selvom der reelt er opløst en mindre mængde ilt i vandet ved 20 °C.



Vands indhold af ilt ved 100% mætning ved forskellige temperaturer og saltholdigheder (her angivet i ‰).

Foto: Peter Bondo Christensen.