

MARIAGER FJORD

ANALYSE AF VEJRHÆNDELSER VEDR. ILTSVIND/ILTMANGEL

Udarbejdet af DMI for Århus Amt

Maj 2001



Peter Viskum Jørgensen
DMI, Weather & Climate Division

Baggrund og projektbeskrivelse

Mariager Fjord blev i August 1997 ramt af et omfattende iltsvind. Både før 1997 og efter (1999) har der været tilfælde hvor det har været tæt på. Iltmængden kan udtrykkes ved iltmætningen (%). I Bilag I (projektbeskrivelsen) ses at tæt-på tilfældene er defineret ved en iltmætning < 40 %, og amtet vurderede at der var 7 sådanne tilfælde i den periode hvor der er lavet ilt-målinger i Mariager Fjord (1979 – 2000).

Målsætningen med rapporten er at give amtet grundlag for at vurdere hyppigheden af vejrhændelser der kan udløse iltsvind i Mariager Fjord.

Datagrundlaget omfatter foruden iltmålingerne, døgnværdier af temperatur, vindhastighed, global stråling/solskinstimer og tryk. Det vurderes at vindretning og nedbør ikke bidrager til forklaringsgraden.

Den følgende opsummering af resultater besvarer samlet de i Bilag 1 beskrevne punkter 1 – 4 .

Resultater

Iltmålingerne er leveret af Århus amt og omfatter perioden 1979-2000 med ca. 2-4 ugers mellemrum. Der er målt i dybder fra ca. 0 – 25 meter. I analysen er udvalgt dybder fra 5 til og med 10 m efter samråd med amtet. For disse dybder er en gennemsnits-iltmætning (se tabel 1) beregnet for alle datoer, og således fremkom en liste med i alt 286 ilt-observationer.

Alle datoer med under 40 % iltmætning udgør ”tæt-på” situationer. I de tilfælde hvor iltmætningen var mindre end 40 % ved flere observationsdatoer i løbet af sæsonen/hændelsen blev datoen med den laveste værdi medtaget. I flere tilfælde var 2-3 på-hinanden-følgende måleværdier under 40 %. I Tabel 1 ses de udvalgte situationer med iltmætningsprocent < 40) i kronologisk rækkefølge. Samtidigt ses i tabellen en kort beskrivelse af vejret for hvert af tidspunkterne citeret fra bogen ”Dansk Vejr i 100 år” af Stig Rosenørn.

Tabel 1 : ”De 8 værste”

	Hændelser	Iltmætning (%)	Beskrivelse af vejret
1	16. juni 1980	23,95	Maj temmelig solrig. Juni varm de første 10 dage.
2	10. august 1982	28,70	Juli meget varm + meget solrig,kølig første uge. August meget varm og solrig første uge
3	24. juni 1985	33,10	Maj varm de sidste dage, Juni varm de første dage
4	26. juni 1986	33,70	Juni varm og solrig
5	10. august 1994	18,33	Juli usædvanlig varm og solrig, med tropenætter
6	17. april 1996	36,00	April meget solrig og med sommervarme i sidste halvdel
7	28. aug 1997	2,14	August og September usædvanlig varme og solrige med tropenætter
8	21. sept. 1999	23,47	September meget varm og solrig

Lige efter de i tabellen angivne datoer kommer d. 24/8-1995 med 46,33 %, d. 2/7-1992 med 49,19 % og d. 29/8-1984 med 49,38 %

Af Dansk Vejr i 100 år fremgår det ligeledes at *august 1997 var den varmeste måned nogensinde* (1874- 2001) med en temperatur på 20.4°, og juli 1994 den næstvarmeste nogensinde med 19.5°. Og disse er netop de 2 værste mht. ilt i Tabel 1. Ingen af de andre hændelser er på top 10 for varmeste måneder fra 1874-2001.

Så statistisk set var både august 1997 og juli 1994 helt usædvanlige mht. varme. Vurderet på dette grundlag er sandsynligheden for en gentagelse af disse lille, men det må dog konstateres at temperaturen siden 1874 har været svagt stigende, og især de sidste 10-12 år har været varmere. Der er udbredt enighed om at den globale temperatur er stigende, så sandsynligheden for at de kommende årtier kan blive ligeså varme som 90'erne er ganske stor, og sandsynligheden for nye varmere rekorder vil derfor også være stigende i de kommende årtier.

Udover at perioden omkring august 1997 var meget varm (32 % over normalen) var perioden også præget af mindre vind (20 % under normalen), flere solskinstimer (42 % over normalen) og højere tryk (6 ppt over normalen). August 1997 er den eneste af ovennævnte hændelser der i denne analyse slår igennem på alle de nævnte parametre på én gang. Mere om dette følger senere.

Århus Amt har stillet et notat fra Christian Christiansen, Geografisk Institut, KU tilrådighed hvor foreløbige undersøgelser af sammenhænge mellem vejr og iltindholdet i Mariager Fjord præsenteres, og hvor der ses sammenhænge med vejret ”i de seneste 25 dage”.

På baggrund af dette notat blev det besluttet at beregne og anvende vejrkaraktistik for 21-24 dage op til en given iltmåling. I forbindelse med udarbejdelsen af opgavebeskrivelsen fra Århus Amt lagde DMI op til at bruge tidsperioder som f.eks. 14 dage, 21 dage eller 28 dage. Eventuelt flere af disse såfremt dette var muligt indenfor tidsrammen af projektet.

De første korrelationer blev beregnet med 21 dages statistikker, men da korrelation mellem iltmætning og akkumuleret temperatur steg ved at anvende 24 dage i stedet, blev det besluttet at anvende dette tidsinterval i stedet. En mulig tillægsundersøgelse kunne være at undersøge hvilket antal dage der giver den bedste korrelation, eventuelt med en vægtningsfunktion indlagt så de sidste dage vægtes højere end de første.

For alle 24-dages perioder op til datoerne i tabel 1 er der således beregnet normaler for temperatur, vindhastighed, tryk og solskinstimer fra 1970 - 2000. De standard-normaler DMI beregner rutinemæssigt er på månedsbasis om senest fra 1960-1990, så det skal nævnes at det var et omfattende arbejde at beregne disse ad hoc normaler til hver situation.

I de omstående tabeller 2a – 2d ses således vejr-statistik for hver af de 8 kritiske situationer.

For hver parameter er angivet gennemsnit for perioden med normalen (1970-2000) angivet i parentes ved siden af, og afvigelse i forhold til normalen i procent (dog ppt- parts per thousand for tryk). Sidste kolonne angiver i hvor mange tilfælde i perioden 1970-2000 afvigelsen har været lige så stor eller større i forhold til normalen. I de tilfælde hvor afvigelsen er negativ har denne angivelse ingen mening.

Vejrkarakteristika - "24 dage op til ilt-mangelshændelse"

Tabel 2-a : Temperatur

	År	Periode	Temperatur °C (Normal)	Afvigelse	Antal gange (1971-2000)
1	1980	24 maj - 16 jun	14,75 (13,03)	+ 13,2 %	3
2	1982	18 jul - 10 aug	18,64 (16,40)	+ 13,7 %	3
3	1985	1 jun - 24 jun	13,01 (13,75)	- 5,4 %	-
4	1986	3 jun - 26 jun	13,64 (13,84)	- 1,4 %	-
5	1994	18 jul - 10 aug	20,20 (16,40)	+ 23,2 %	1
6	1996	26 mar - 17 apr	2,54 (4,50)	- 43,6 %	-
7	1997	5 aug - 28 aug	21,01 (15,92)	+ 32,0 %	1
8	1999	29 aug - 21 sep	16,14 (13,25)	+ 21,8 %	1

Tabel 2-b : Vindhastighed

	År	Periode	Vindhastighed m/s (Normal)	Afvigelse	Antal gange (1971-2000)
1	1980	24 maj - 16 jun	3,45 (4,31)	- 20,0 %	2
2	1982	18 jul - 10 aug	3,42 (4,29)	- 20,3 %	2
3	1985	1 jun - 24 jun	3,31 (4,37)	- 24,3 %	2
4	1986	3 jun - 26 jun	4,26 (4,38)	- 2,5 %	10
5	1994	18 jul - 10 aug	3,82 (4,31)	- 11,4 %	8
6	1996	26 mar - 17 apr	3,89 (4,89)	- 20,4 %	4
7	1997	5 aug - 28 aug	3,20 (4,18)	- 23,4 %	3
8	1999	29 aug - 21 sep	4,63 (4,71)	- 1,7 %	14

Tabel 2-c : Solskinstimer

	År	Periode	Solskinstimer (pr dag) (Normal)	Afvigelse %	Antal gange (1971-2000)
1	1980	24 maj - 16 jun	7,47 (7,96)	- 6,2	-
2	1982	18 jul - 10 aug	11,11 (7,53)	+ 47,5	1
3	1985	1 jun - 24 jun	7,57 (8,13)	- 6,9	-
4	1986	3 jun - 26 jun	8,17 (8,14)	+ 0,4	15
5	1994	18 jul - 10 aug	9,75 (7,53)	+ 29,5	6
6	1996	26 mar - 17 apr	5,90 (4,91)	+ 20,2	10
7	1997	5 aug - 28 aug	10,38 (7,30)	+ 42,2	2
8	1999	29 aug - 21 sep	7,22 (5,53)	+ 30,6	1

Tabel 2-d : Tryk

	År	Periode	Tryk (hPa) (Normal)	Afvigelse Ppt	Antal gange (1971-2000)
1	1980	24 maj - 16 jun	1011,90 (1014,17)	- 2,2	-
2	1982	18 jul - 10 aug	1018,36 (1013,48)	+ 4,8	2
3	1985	1 jun - 24 jun	1009,24 (1013,54)	- 4,2	-
4	1986	3 jun - 26 jun	1015,68 (1013,41)	+ 2,2	10
5	1994	18 jul - 10 aug	1018,03 (1013,48)	+ 4,5	4
6	1996	26 mar - 17 apr	1024,66 (1012,85)	+ 11,7	1
7	1997	5 aug - 28 aug	1019,25 (1013,68)	+ 5,9	2
8	1999	29 aug - 21 sep	1017,03 (1013,28)	+ 3,7	1

Hvis tabellerne 2a – 2d studeres ses det at 1997 er den eneste hvor alle parametrene ”går den rigtige vej”, dvs. højere temperatur, mindre vind, højere tryk og flere solskinstimer end normalt.

Hvis de mest kritiske år, (størst afvigelse fra normalen) udvælges for hver parameter findes årene:

1994, 1997 & 1999 for temperatur

1985, 1996 & 1997 for vindhastighed

1982, 1997 & 1999 for solskinstimer

1982, 1996 & 1997 for tryk

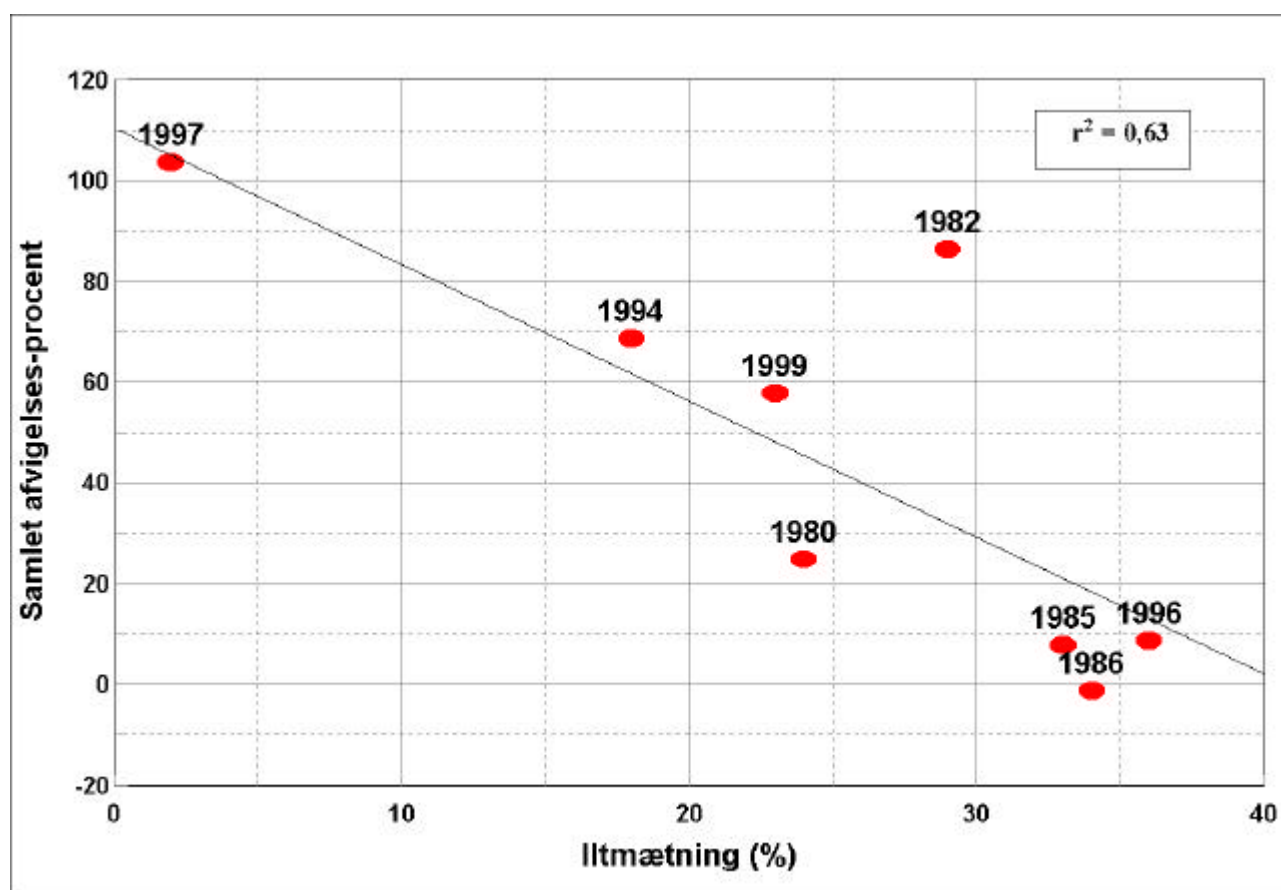
Dermed er 6 ud af de 8 situationer ramt/fundet, men kun årene 1980 og 1986 mangler.

Når der ses bort fra 1997, forklarer parametrene tildels forskelle års iltmangelshændelser.

For eksempel var 1996 slet ikke varm, tværtimod. Så her kan indflydelsen af mindre vind ned normalt og et højere tryk end normalt have været afgørende for hændelsen.

Som en slags akkumuleret ranking af hver situation for hver parameter beregning i form af en addering af afvigelsesprocenterne fra tabel 2a – 2d.

Korrelationerne mod iltmætningen er beregnet for de 8 situationer. I første omgang var korrelationen $r^2 = 0.42$ uden at inkludere de negative afvigelser. Ved at inkludere de negative afvigelser forbedredes korrelationen betydeligt til $r^2 = 0.63$. Ses i Figur 1.



Figur 1

Det ses af figur 1 at ét af punkterne faldet noget udenfor (1982), men for de øvrige 7 af punkterne ses en rimelig god sammenhæng mellem vandkvaliteten og vejrets samlede afvigelse fra det normale.

De 8 situationer med udpræget iltmangel udgør et noget begrænset data-materiale. Derfor blev korrelationer mellem **alle ilt-målinger**(aggregeret til én måling pr dato pr dybde) og vejrdata forsøgt fundet.

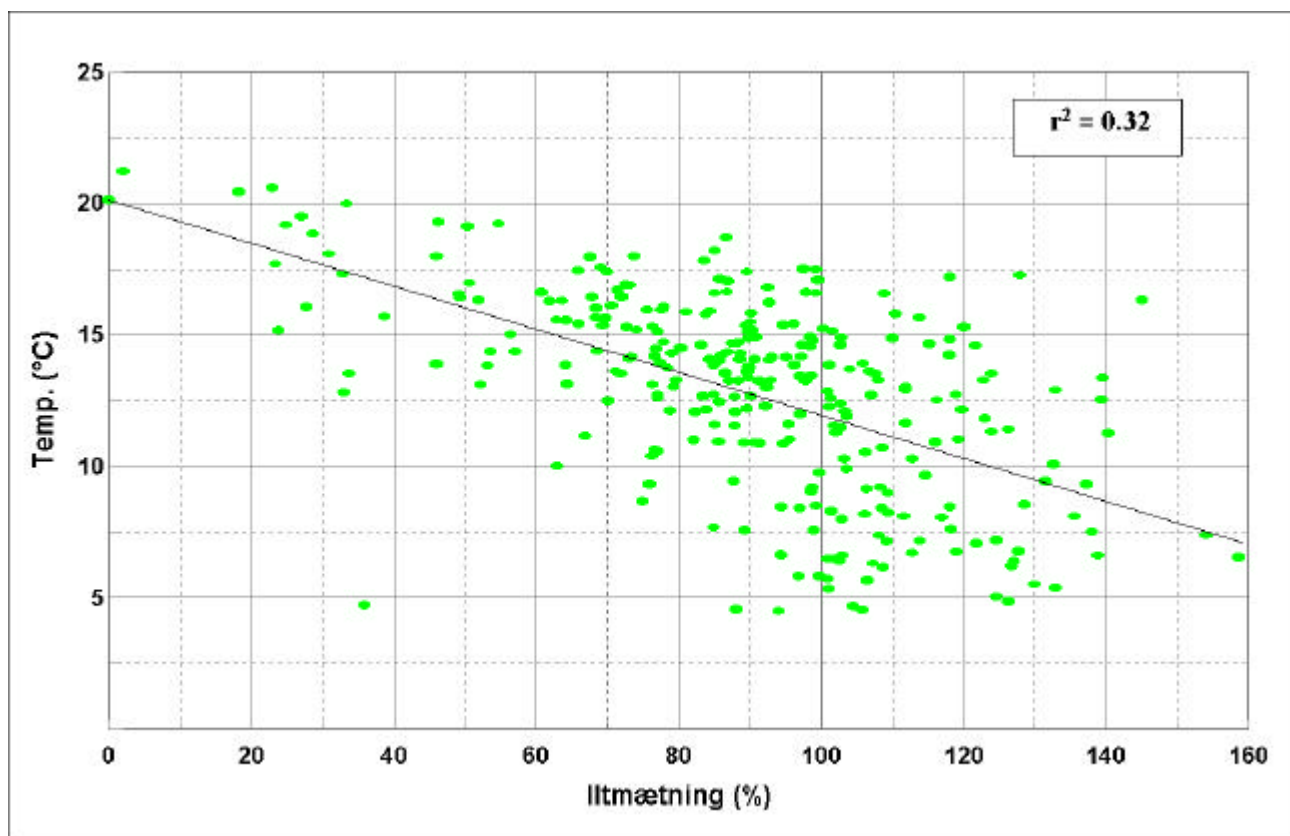
Den bedste af disse korrelationer fandtes mellem temperatur og ilt (her iltindhold i mg/l i stedet for iltmætning) med $r^2 = 0,25$. Til sammenligning var forklaringsgraden for vindhastighed $r^2 = 0,117$ ($r^2 = 0,009$ for resulterende vindhastighed (vindretning inkluderet)). For antal solskinstimer/globalstråling $r^2 = 0,048$ og for tryk $r^2 = 0,003$, så ingen af de sidstnævnte imponerede.

Ved at bruge iltmætningsprocent i stedet for iltindhold i mg/l og samtidigt reducere datamængden til kun at omfatte målingerne fra sommerhalvåret (April – September), og anvende en 24 dages periode steg korrelationerne som det ses i tabel 3.

Tabel 3

Temperatur	$r^2 = 0.319$
Vindhastighed	$r^2 = 0.194$
Tryk	$r^2 = 0.056$
Global Stråling	$r^2 = 0.057$

Denne bedste korrelation (temperatur) ses nedenfor i Figur 2.



Figur 2

Den rette linie i figuren svarer til følgende ligning:

$$Iltmætning (\%) = -12.516 \cdot Temp (^\circ) + 250,648$$

Den maksimale forklaringsgrad for en enkelt parameter er således ca. 32 %. Ved at kombinere flere af parametrene i en multipel regressionsanalyse, kunne forklaringsgraden øges yderligere som det ses i Tabel 4.

Tabel 4 : Multipel regression

Temperatur + Vindhastighed	$r^2 = 0.3838$
Temperatur + Vindhastighed + Tryk	$r^2 = 0.3841$
Temperatur + Vindhastighed + Tryk + Global Stråling	$r^2 = 0.3862$

Hver af regressionerne i Tabel 4 kan beskrives som en linear kombination af de involverede parametre, og kunne kaldes modeller til beskrivelse af iltmætningen. Nedenfor ses ligningerne der passer sammen med regressions-koefficienterne i Tabel. 1

Iltmætningsmodeller

1) Temp (°C) + Vind (m/s) (middel sidste 24 dage)

$$\text{Iltmætning (\%)} = -3.299 \cdot T + 11.274 \cdot V + 80.526$$

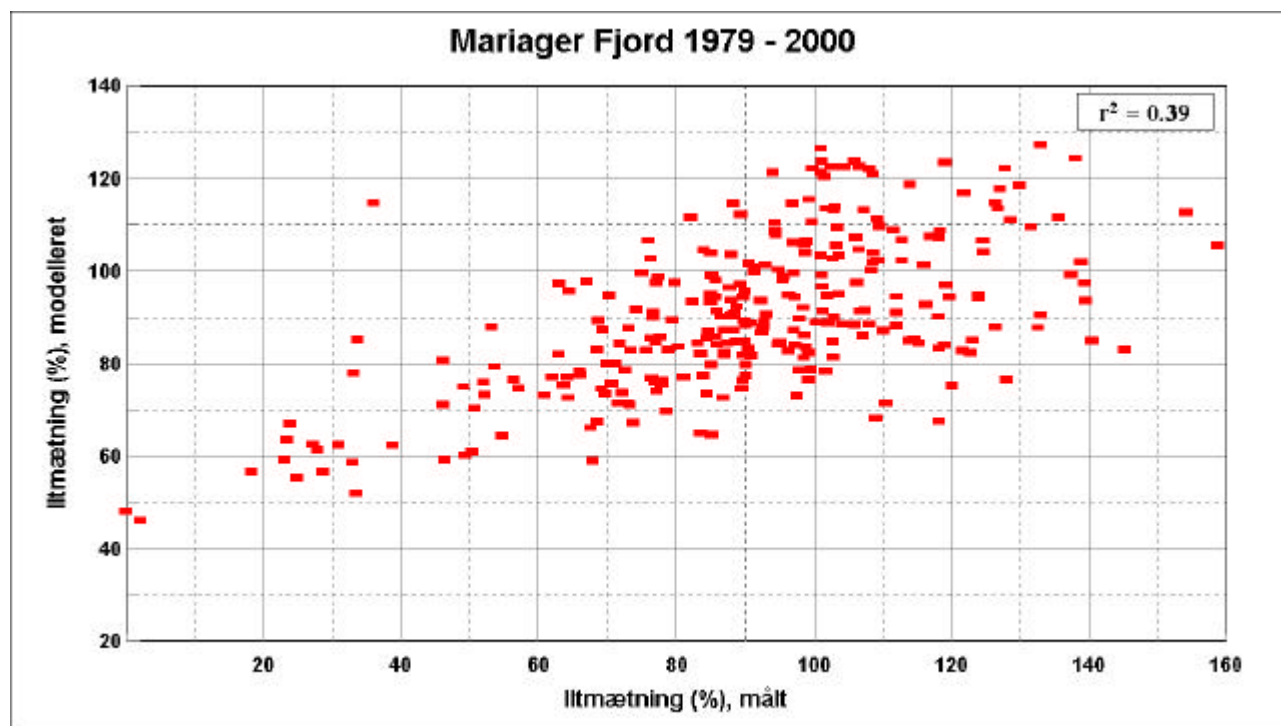
2) Temp (°C) + Vind (m/s) + Tryk (P) (hPa) (middel sidste 24 dage)

$$\text{Iltmætning (\%)} = -3.310 \cdot T + 11.475 \cdot V + 0.127 \cdot P - 49.109$$

3) Temp (°C) + Vind (m/s) + Tryk (P) (hPa) + Global Stråling (middel sidste 24 dage)

$$\text{Iltmætning (\%)} = -3.466 \cdot T + 11.409 \cdot V + 0.0166 \cdot P + 0.336 \cdot GS + 93.729$$

I nedenstående Figur 3 ses et plot af ligning 3) som er den bedste regressions-model med $r^2 = 0,39$.



Figur 3

Historisk perspektiv

Som det kan konstateres i den forudgående analyse af vejrhændelserne, er den mest styrende parameter temperaturen. Vindhastighed kan også forklare noget af variationen i iltmætningen mens de øvrige parametre ikke umiddelbart har det samme forklarings-potentiale.

Det er således vanskeligt at opstille en specifik vejrhændelses-kombination der kan bruges til at undersøge historiske meteorologiske data for lignende hændelser.

Det er derfor forsøgt at undersøge nogle omstændigheder der minder om de største afvigelserne fra normalerne fra de 8 iltmangelshændelser.

De to situationer i 1994 og 1997 var begge præget af høj temperatur ($> 20^{\circ}\text{C}$) for en 24 dages periode. Månedssdata er undersøgt for hele perioden 1874 – 2001 for måneder med en middeltemperatur $> 19^{\circ}\text{C}$. Dette har fundet sted 5 gange de sidste ca. 125 år:

Juli 1914 : $19,3^{\circ}\text{C}$
Juli 1941 : $19,3^{\circ}\text{C}$
August 1975 : $19,5^{\circ}\text{C}$
Juli 1994 : $19,7^{\circ}\text{C}$
August 1997 : $21,1^{\circ}\text{C}$

Årene 1914, 1941 og 1975 kan derfor potentielt også have været år med lav iltmætning

Hvis der undersøges for tilfælde med Temp $^{\circ}\text{C} > 18,5$ og samtidigt vindhastighed $< 3,5$ m/s findes følgende tilfælde:

Juni 1889
Juli 1901
Juli 1914
Juli 1941
Aug 1947
Juli 1955
Aug 1955
Juli 1959

Det skal bemærkes at vindmålingerne i 1800-tallet og op til 1950'erne nok ikke har den kvalitet, der måles med idag, og de kan derfor være for lave.

Og hvis der undersøges for år med ekstremt tryk ($P > 1019,5$ hPa) fås tilfældene:

Sept 1904
Maj 1919
April 1957
Sept 1959

Diskussion og Konklusion

Det må konstateres at de to mest kritiske iltmangelshændelser i 1994 og 1997 var ganske ekstreme mht. temperatur og noget lignende har ikke fundet sted de sidste 125 år. August 1997 var den varmeste måned nogensinde og Juli 1994 var den næstvarmeste. Det bør dog understreges at 90'erne generelt var usædvanlig varme, og der er ikke noget der i øjeblikket tyder på at temperaturen er på vej ned. Tværtimod bliver de næste årtier nok varmere endnu pga. CO₂/Drivhuseffekter.

Den bedste korrelation mellem iltmætning og en enkelt meteorologisk parameter fås med temperatur og den næstbedste med vindhastighed.

Når de enkelte meteorologiske parametres afvigelse i forhold til normalen vægtes lige og summeres fås en god sammenhæng med iltmætningen for "de 8 værste" iltmætningshændelser.

Når alle iltmålingsdata inkluderes kan en multipel regressions model opstilles som anvender alle meteorologiske parametre har en forklaringsgrad på ca. 39 %. Den opstillede model kan således (til en vis grad) bruges til at forudsige nye iltsvinds-hændelser såfremt de omtalte data er til rådighed.

Amtet kan bruge modellen til løbende at overvåge iltmætningen, og evt. justere strategien for in-situ målingerne ved hjælp af vejrprognoser osv.

Mulige udvidelser af undersøgelsen

Det kunne undersøges hvilket antal dage op til hændelserne der giver den bedste korrelation. Det vurderes at være et sted mellem 18 – 28 dage. En vægtfunktion med vægter senere dage højere end de første kan inkluderes.

Data for perioden 1874 – 2000 kunne undersøges mere eksakt for 24 dages perioder i stedet for som her på månedsbasis. Den mere eksakte analyse kunne f.eks. søge efter 24 dages perioder hvor temperaturen f.eks. er 20 % over normalen samtidigt med at f.eks. vindhastigheden er 20 % under det normale. Dette vil dog være en forholdsvis omfattende opgave, og der må tages forbehold for dårligere målekvalitet af vindhastighed i første halvdel af århundredet og før.

Den fremkomne iltmætningsmodel kunne desuden raffineres, og genereres på f.eks. 5 år basis i stedet for at inkludere 21 år samlet, og noget af spredningen i figur 3 kunne måske forklares herved.