

## Is i de danske farvande Havisobservationer & isprognose

<sup>1</sup> 'VEJRET' Nr.4  
29.årgang  
November 2007 (113)

Af René Zorn &  
Morten Hvidberg-Knudsen, DHI  
[www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)

Artiklen beskriver en statistisk analyse af havisforekomsterne i Danmark ved analyse af isobservationer, meteorologiske data og vandtemperaturer.

Analysen giver som resultat en simpel forudsigelsesmodel (prognose) for havis i de indre danske farvande ved at sammenligne sammenhængen mellem 'Kuldesummen' og data af overfladevandstemperaturen, samt dannelsen af havis.

Statistiske analyser viser sandsynligheden for stokastiske temperaturfald af en given størrelse indenfor en given tidshorisont og sammenhængen mellem 'Kuldesummen' og istykkelsen.



*Sprogø NE Fyr, marts 1985. Foto: R. Zorn*

## Isobservationer generelt

Isobservationer har systematisk været gennemført fra en lang række stationer i Danmark siden vinteren 1906/07 og rapporteres årligt i 'Is- og Besejlingsforholdene i de Danske Farvande', /1/, gennem tiden med forskellige institutioner som ansvarlige: Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Statens Isjeneste, Søfartsstyrelsen og senest Søværnets Operative Kommando (SOK).

## Kuldesum

Forudsætningen for isdannelse er, at vandet køles ned til frysepunktet. Dette sker efter frostperioder af en vis længde, og et mål for stregheden ('styrken') af en vinter er "*Kuldesummen*" ( $K_{\max}$ ), som er defineret som: "Summen af frostperiodens daglige middeltemperatur", hvor frostperioden er defineret som dage, hvor døgnmiddeltemperaturen har været under  $0^{\circ}\text{C}$ .

For vinterperioderne beregnes  $K_{\max}$  som middel af vinterperiodernes kuldesummer for 6 stationer (p.t. Skagen Fyr, Griben, Rømø/Juvre, Gedser Odde, Københavns Lufthavn & Hammer Odde Fyr), som giver en beskrivelse af vinterens 'styrke', /1/.

Kuldesummen ( $K_{\max}$ ) og stregheden af iskonditionen er rimeligt korreleret, selvom store variationer kan forekomme pga. mange faktorer, som influerer på formationen af is. Kuldesummen varierer betydeligt fra år til år, hvilket tydeligt fremgår af histogrammet af kuldesummen i Danmark for vintrene 1906/07 til 2002/03 (96 år), vist i figur 1:

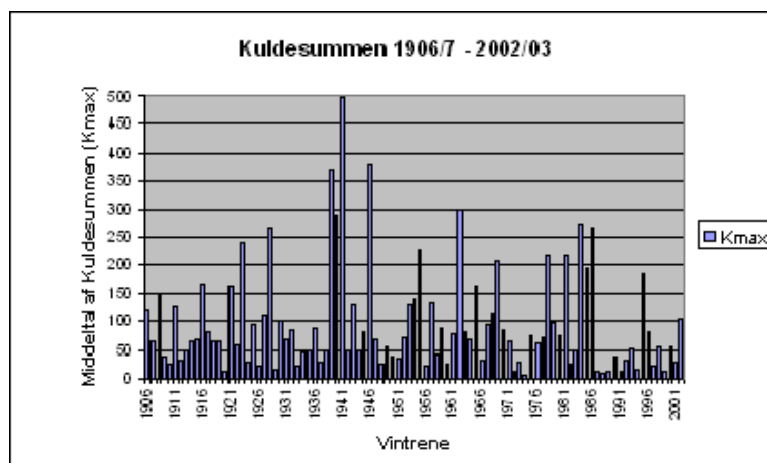


Fig. 1 Histogram af 'Kuldesummer' i Danmark i perioden 1906/7 til 2002/3, /1/

Med data fra denne perioden er korrelationen mellem Kuldesummen ( $K_{\max}$ ) og retur-perioden  $A$  (for  $A > 3$ ) for 'De danske Farvande' beregnet jævnfør /2/.

$$K_{\max} = 98.181 ( \ln(A) + 0.0082 ) \cong 100 \ln(A).$$

Regressionslinien og datapunkterne er vist i figur 2:

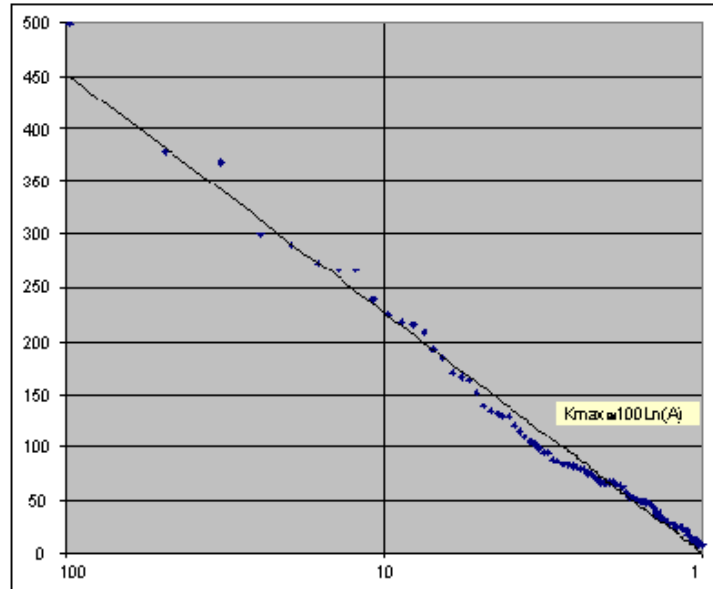


Fig. 2 Kuldesummen som funktion af returperioden for 'De danske Farvande' i perioden 1906/7 til 2002,

### Istykkelse

Der opereres med begrebet 'den karakteristiske istykkelse' hvilket er den istykkelse som erfaringsmæssigt giver det største produkt af isens trykstyrke  $r_c$  og isens tykkelse,  $e$ , hvilket er de parametre som benyttes til projektering for iskræfter. Den karakteristiske istykkelse beregnes af udtrykket, /3/:

$$e = 0,032 \cdot (K - 50)^{1/2} \text{ meter}$$

hvor  $K = 0.9 K_{\max}$ .

Istykkelsen som funktion af Kuldesummen er vist i fig. 3:

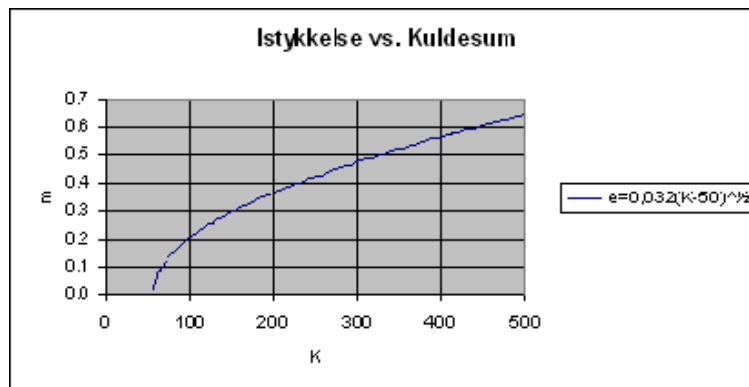


Fig. 3 Istykkelse vs 'kuldesum'

Kuldesummen for 10, 50 og 100 års returperioder samt tilhørende karakteristiske istykkelse,  $e$ , er vist i tabel 1:

Tabel 1 Returperiode for kuldesummen og istykkelse

| Returperiode (år)    | 10   | 50   | 100  |
|----------------------|------|------|------|
| Kuldesum, $K_{\max}$ | 230  | 391  | 461  |
| Istykkelse, $e$ [m]  | 0,40 | 0,56 | 0,61 |

### Iskoder

Fra vinteren 1929/30 til 1982/83 har is-observationerne fra en lang række stationer været udført i overensstemmelse med 'Den gamle danske iskode' (med små variationer over årene), men i 1981 vedtog en række lande (Danmark, Finland, Holland, Norge, Polen, Rusland & Tyskland) at standardisere isobservationerne og man vedtog '**ØSTERSØKODEN**' (The Baltic Sea Ice Code, /4/), som blev anvendt første gang for 'De danske Farvande' i vinteren 1984/85. Samtidig med indførelsen af Østersøkoden, se tabel 2, er der i vintre med is udsendt daglige isberetninger fra en lang række danske observationssteder. I dag offentliggøres disse isberetninger på SOKs hjemmeside: [www.sok.dk](http://www.sok.dk).

Østersøkoden beskriver forholdene på observationsstedet vha. 4 cifre (ASTK) og en talværdi fra 0 til 9.

Første tal A: Koncentration af is.

Andet tal S: Istykkelse og art.

Tredje tal T: Isens udseende, flagestørrelse eller topografi.

Fjerde tal K: Besejlingsforhold.

Østersøkoden er gengivet i tabel 2:

Tabel 2 'Østersøkoden'

| A:                                                  | KONCENTRATION AF IS                                                            |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 0                                                   | Isfrit                                                                         |
| 1                                                   | Åbent vand – mindre end 1/10                                                   |
| 2                                                   | Spredt drivis – 1/10 til mindre end 4/10                                       |
| 3                                                   | Åbent drivis – 4/10 til 6/10                                                   |
| 4                                                   | Tæt drivis – 6/10 til 8/10                                                     |
| 5                                                   | Meget tæt drivis – 9/10 til 9+/10*                                             |
| 6                                                   | Kompakt drivis, inklusive sammenfrosset drivis –koncentration 10/10            |
| 7                                                   | Fastis med drivis udenfor                                                      |
| 8                                                   | Fastis                                                                         |
| 9                                                   | Åben rende i meget tæt eller kompakt drivis eller rende langs den faste iskant |
| X                                                   | Ukendt                                                                         |
| *) 9+/10 betyder 10/10 iskoncentration med åbninger |                                                                                |

| S: | ISTYKKELSE                                                   |
|----|--------------------------------------------------------------|
| 0  | Is mindre end 5 cm tyk – nyis eller mørk tyndis              |
| 1  | Is 5 til 10 cm tyk – lys tyndis eller isskorpe               |
| 2  | 10 til 15 cm tyk                                             |
| 3  | Is 15 til 30 cm tyk                                          |
| 4  | Is 30 til 50 cm tyk                                          |
| 5  | Is 50 til 70 cm tyk                                          |
| 6  | Is 70 til 120 cm tyk                                         |
|    | Is overvejende tyndere end 15 cm med forekomst af tykkere is |
| 8  | Is overvejende 15 til 30 cm tyk med forekomst af tykkere is  |
| 9  | Is overvejende tykkere end 30 cm med forekomst af tyndere is |
| X  | Ukendt                                                       |

| T: | FLAGSTØRRELSE ELLER TOPOGRAFI                                         |
|----|-----------------------------------------------------------------------|
| 0  | Tallerkenis, isskosse, kvadderis – mindre end 20 m i tværmål          |
| 1  | Isflager 20 til 100 m i tværmål – små isflager                        |
| 2  | Isflager 100 til 500 m i tværmål – mellemstore isflager               |
| 3  | Isflager 500 til 2000 m i tværmål – store isflager                    |
| 4  | “Kæmpe isflager” mere end 2000 m i tværmål, eller jævn is.            |
| 5  | Overlappende is (pakis)                                               |
| 6  | Kompakt snesjap eller isklumper, eller kompakt kvadderis              |
| 7  | Skrueis eller skrueisvolde                                            |
| 8  | Smeltevandshuller (våger) eller mange smeltevandspytter på overfladen |
| 9  | Rådden is                                                             |
| X  | Ukendt                                                                |

| K: | BESEJLINGSFORHOLD                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0  | Skibsfart uhindret                                                                                              |
| 1  | Sejlads vanskelig eller farlig for træ- skibe uden sforhudning                                                  |
| 2  | Sejlads vanskelig for stålskibe, der er svagt byggede eller har ringe maskinkraft                               |
| 3  | Sejlads uden isbryderhjælp er kun mulig for stærkt byggede skibe egnede for sejlads i is og med god maskinkraft |
| 4  | Sejlads foregår i rende uden isbryder- hjælp                                                                    |
| 5  | Isbryderhjælp gives kun til skibe egnede til sejlads i si og af En vis størrelse                                |
| 6  | Isbryderhjælp gives kun til skibe af særlig klasse og størrelse                                                 |
| 7  | Isbryderhjælp gives kun til skibe efter særlig aftale                                                           |
| 8  | Sejlads indstillet indtil videre                                                                                |
| 9  | Sejlads ophørt                                                                                                  |
| X  | Ukendt                                                                                                          |

### Sammenhængen mellem iskoder

For at bedømme den overordnede issituation over lang tid har koncentrationen af is været anvendt. En sammenligning mellem 'Den gamle danske iskode' og den nye internationale iskode, 'Østersøkoden', er vist i tabel 3:

Tabel 3 Iskoder benyttet til observationer

| Den gamle danske iskode |                                                                                |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1                       | Nyis                                                                           |
| 2                       | Svag landfast is                                                               |
| 3                       | Spredt drivis                                                                  |
| 4                       | Sammenstuvet grødis                                                            |
| 5                       | Svær landfast is                                                               |
| 6                       | Tæt drivis                                                                     |
| 7                       | Sammenhængende isfelter                                                        |
| 8                       | Sammenstuvet is, pakis eller felter med svær is                                |
| 9                       | Åben rende langs kysten                                                        |
| Østersøkoden            |                                                                                |
| 0                       | Isfrit                                                                         |
| 1                       | Åbent vand – iskoncentration < 1/10                                            |
| 2                       | Spredt drivis – 1/10 til mindre end 4/10                                       |
| 3                       | Åben drivis – 4/10 til 6/10                                                    |
| 4                       | Tæt drivis – 7/10 til 8/10                                                     |
| 5                       | Meget tæt drivis – 9/10 til 9 <sup>+</sup> /10 *)                              |
| 6                       | Kompakt drivis, inklusive sammenfrosset drivis – 10/10                         |
| 7                       | Fastis med drivis udenfor                                                      |
| 8                       | Fastis                                                                         |
| 9                       | Åben rende i meget tæt eller kompakt drivis eller rende langs den faste iskant |
| X                       | Ukendt                                                                         |

\*) 9<sup>+</sup>/10 betyder 10/10 iskoncentration med åbninger



Isundersøgelse ved Farøbroerne, februar 1982, Foto: R. Zorn

Den gamle kode er ikke så klar som den nye 'Østersøkode'. For at gøre det muligt at udføre analyser baseret på både den gamle og den nye iskode, er følgende relationer mellem de to iskoder etableret, se tabel 4:

Tabel 4 Iskoder benyttet for let og svær iskoncentration

| Gamle Kode |                    | Østersøkoden |
|------------|--------------------|--------------|
| 1          | "let" iskondition  | 1            |
| 2          |                    | -            |
| 3          |                    | 2+3          |
| 4          |                    | -            |
| 5          | "svær" iskondition | 7+8          |
| 6          |                    | 4            |
| 7          |                    | 5            |
| 8          |                    | 6            |
| 9          |                    | -            |

Svær iskondition giver anledning til anvendelse af isbrydere og isen har en tykkelse på ca. 0,2 m eller mere. Denne kondition opstår når kuldesummen det pågældende år når en værdi  $K_{\max} \geq 97$ ; værdien ligger tæt på middel af Kuldesummen over observationsperioden for de 96 år, som kan beregnes til  $K_{\max/ave} = 95,8$ .

År med Kuldesummen  $\geq K_{\max} = \text{ca. } 100$  betegnes erfaringsmæssigt som en 'Isvinter' med 'svær iskondition'.



Isskruning ved Taarbæk Havn, januar 1979, Foto: R. Zorn

### **ISPROGNOSE, Generelt**

Den store variation i Kuldesummen over årene, og dermed sandsynligheden for om der opstår en 'isvinter' et aktuelt år, er af stor interesse både for skibsfarten inkl. isbryderne og for entreprenører, som planlægger og/eller udfører vandbygningsarbejder.

I dette afsnit vil en analyse af data fra Drogden Fyr vise, at det er muligt at udarbejde en simpel havisprognose vha. lufttemperatur, vandtemperatur og isobservationer.

Data, som er indsamlet af DMI, /5/ foreligger som daglige værdier fra Drogden Fyr, (Station nr.: 06183 for perioden 1.12.1965 – 31.3.1998 for månederne december, januar, februar & marts) er anvendt i analysen.

### **Havis & 'Isvinter'**

I Danmark optræder havis, som beskrevet når det har været "meget koldt meget længe", dvs:

- at det er lufttemperaturen der (i det væsentlige) styrer havtemperaturen, selvom det på ganske kort sigt kan forekomme at havtemperaturen styrer lufttemperaturen.
- at der pga. vandets store varmekapacitet foregår havtemperaturændringer langsomt, og havtemperaturen derfor ikke umiddelbart afhænger af den øjeblikkelige lufttemperatur, men af den øjeblikkelige lufttemperatur og lufttemperaturen ganske langt bagud i tiden (uger/måneder).
- at havis i Danmark kun forekommer sjældent, forstået på den måde, at det er mere almindeligt med en vinter uden havis, end en vinter med havis.

Et mål for i hvor høj grad det har været "meget koldt meget længe", og dermed forekomst af havis, er *Kuldesummen*. For sammenhængen mellem Kuldesummen og forekomsten af havis er det konstateret, at det har været 'isvinter' (en vinter, hvor havis har skabt problemer i en grad, så isbryderne er blevet mobiliseret) når kuldesummen har været ca.100 eller mere. Det kan deraf slutes, at det er 'isvinter' når den maksimale istykkelse er mindst 0,2 m eller der omkring.



Disse sammenhænge mellem kuldesummen og havis er naturligvis grove overslag. I det følgende er data fra Drogden Fyr (lufttemperatur /5/, vandtemperatur /5/ og isobservationer /1/) holdt op mod disse erfaringssammenhænge. Desuden er der udarbejdet en simpel isprognosemodel baseret på den variation af havtemperaturen som Drogden Fyr data udviser.

### Kuldesum, Drogden Fyr data

Basis for den officielle *Kuldesum* er som beskrevet frostperiodens *døgnmiddeltemperaturen*, som er et gennemsnit fra en række stationer landet over.

Variationen af årets 'officielle' kuldesum (1965 – 2001), figur 4, er sammenlignet med den kuldesum, som kan beregnes fra de til rådighed værende lufttemperaturdata fra Drogden Fyr, nemlig én daglig lufttemperatur målt om morgenen (kl. 0600 eller 0700), figur 5.

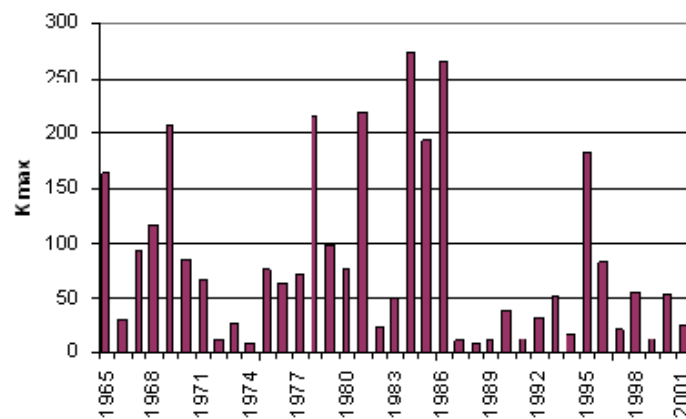


Fig. 4 Kuldesummen i Danmark for årene 1965-2001, /1/

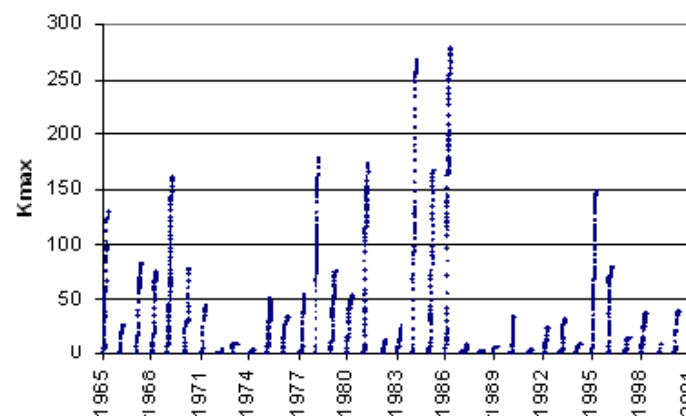


Fig. 5 Kuldesummen beregnet fra én daglig temperatur-måling ved Drogden Fyr, /5/

Der er overensstemmelse mellem den fra Drogden data beregnede kuldesum og den officielle kuldesum. Det betyder at de til rådighed værende lufttemperaturdata, fra Drogden Fyr, kan anses for at være repræsentative for de lufttemperaturer der styrer forekomsten af havis.

### Kuldesum, Vandtemperatur

En forudsætning for at der kan være sammenhæng mellem kuldesummen og forekomsten af havis er, at der er sammenhæng mellem kuldesummen og havtemperaturen.

Den sammenhæng der kan afledes af Drogden Fyr data 1965-2001 er vist nedenfor i Figur 6:

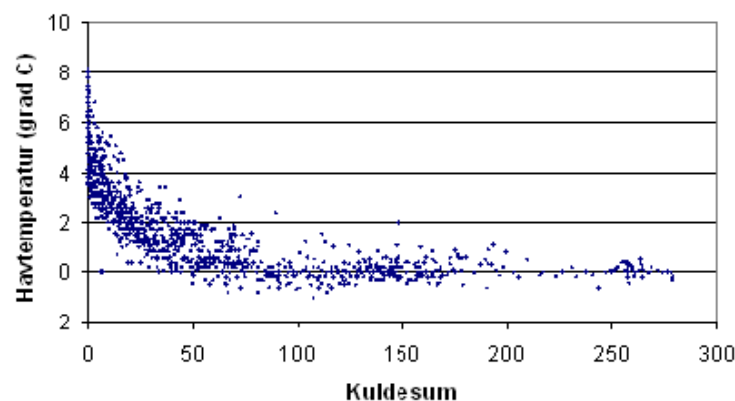


Fig. 6 Sammenhæng mellem havtemperatur og kuldesum. Drogden Fyr data 1965-2001

Som det kan ses, er der en ganske pæn sammenhæng mellem kuldesum og havtemperatur. Der er naturligvis en del scatter. Til denne scatter skal det bemærkes, at selv om de data der indgår i sammenligningen (1. december -> 31. marts) i det væsentlige repræsenterer perioder, hvor kuldesummen stiger og vandtemperaturen falder, dækker data i en vis udstrækning også perioder, hvor vandtemperaturen stiger, og mange perioder hvor kuldesummen er konstant (fordi lufttemperaturen er over 0°C). I disse perioder er der naturligvis ikke sammenhæng mellem kuldesum og vandtemperatur.

Den observerede sammenhæng bekræfter, at for kuldesummer under 50 er vandtemperaturen over 0°C, og der er derfor isfrit. Tilsvarende viser sammenhængen, med den ovenfor nævnte kilde til scatter taget i betragtning, at man kan forvente at havtemperaturen dykker ned under nul når kuldesummen stiger op over 50-70.

### Kuldesum, Vandtemperatur & Istykkelse

Da der ikke forligger målinger af istykkelse, må sammenligningen mellem kuldesum og istykkelse baseres på *isobservationer*.

Der foreligger isobservationer fra Drogden Fyr i perioden 1982 -> 2003. som er rapportet i Østersøkoden.

Iskoden giver kun en grov indikation af istykkelsen. Til den sammenligning af kuldesum og istykkelse der er foretaget nedenfor er Østersøkodens klassifikation af istykkelsen tolket således i tabel 7:

Tabel 5 Tolkning af istykkelse i Østersøkoden

| S: |                                                              | ISTYKKELSE<br>[cm] |
|----|--------------------------------------------------------------|--------------------|
| 0  | Is mindre end 5 cm tyk - nyis eller mørk tyndis              | 0                  |
| 1  | Is 5 til 10 cm tyk - lys tyndis eller isskorpe               | 7.5                |
| 2  | Is 10 til 15 cm tyk                                          | 12.5               |
| 3  | Is 15 til 30 cm tyk                                          | 22.5               |
| 4  | Is 30 til 50 cm tyk                                          | 40                 |
| 5  | Is 50 til 70 cm tyk                                          | 60                 |
| 6  | Is 70 til 120 cm tyk                                         | 100                |
| 7  | Is overvejende tyndere end 15 cm med forekomst af tykkere is | 12.5               |
| 8  | Is overvejende 15 til 30 cm tyk med forekomst af tykkere is  | 22.5               |
| 9  | Is overvejende tykkere end 30 cm med forekomst af tyndere is | 40                 |

I figurene 7 til 10 nedenfor er denne istykkelse sammenlignet med erfaringsformlen:

$$\text{Istykkelsen: } e_{\max} \cong 0.032 \sqrt{(\text{kuldesum} - 50)} \quad [\text{m}]$$

for de 4 isvintre, 1984/85, 85/86, 86/87 og 1995/96, hvorfra der forligger isobservationer.

Figureerne indeholder:

- Kuldesum (højre skala)
- Havtemperatur, 1/10 grader (venstre skala)
- Istykkelse beregnet af kuldesummen med ovennævnte formel, i cm, (venstre skala)
- Observeret istykkelse (med den tolkning af Østersøkoden der er beskrevet i Tabel 7, i farvandene Drogden Rende, Flinterenden og Køge Bugt N:

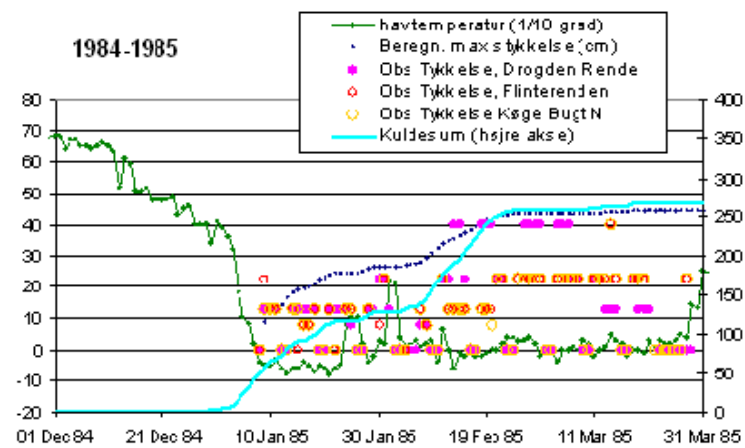


Fig. 7 Istykkelsens udvikling i isvinteren 1984-1985

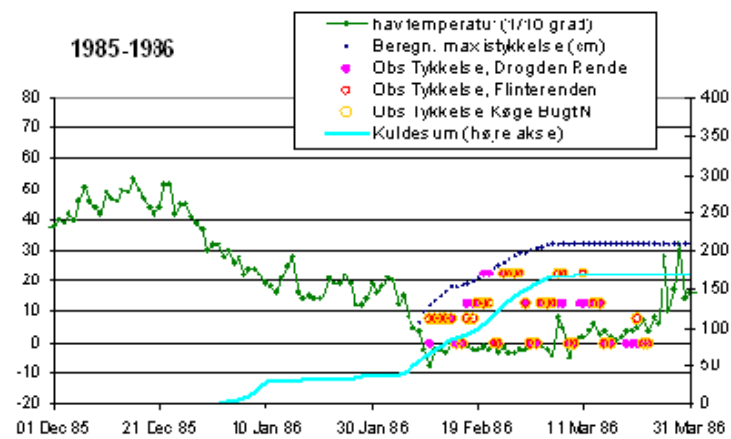


Fig. 8 Istykkelsens udvikling i isvinteren 1985-1986

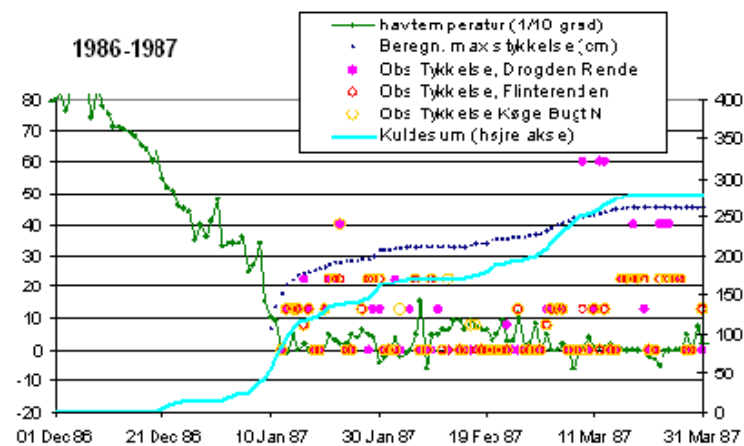


Fig. 9 Istykkelsens udvikling i isvinteren 1986-1987

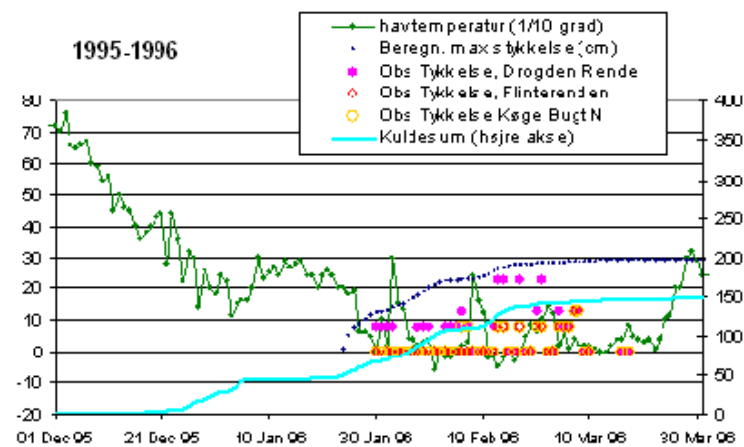


Fig.10 Istykkelsens udvikling i isvinteren 1995-1996

Sammenligningerne bekræfter (i det store og hele) formelen for max istykkelse som funktion af kuldesummen, men illustrerer også tydeligt, at andre parametre end kuldesummen er af betydning for den resulterende istykkelse.

### Isprognose baseret på havtemperaturen

Da der, løst formuleret, er grænser for, hvor hurtigt havtemperaturen kan falde, kan man ud fra den øjeblikkelige havtemperatur udtale sig om risikoen for at temperaturen falder til nul (og at der derfor vil dannes havis) inden for en nærmere defineret periode.

Disse risici er kvantificeret ud fra den variation i havtemperaturen, der er målt ved Drogden Fyr i perioden 1965 -> 1998, som beskrevet nedenfor.

Den statistiske model som anvendes er:

$$\text{maxDeltaT} = \text{MiddelDeltaT} + X$$

Hvor:

- maxDeltaT er det maximale havtemperaturfald inden for n dage (fra "nu" til "nu + n dage"). Det antages, at denne maximale temperatur-ændring ikke afhænger af, om den øjeblikkelige havtemperatur er højere (eller lavere) end normalt, og antagelsen baserer sig på den observation, at vejret skifter så hurtigt og uforudsigeligt, at vejret "nu" (og vejret i den seneste periode) ikke er et godt bud på hvordan vejret vil være i de kommende n dage.
- MiddelDeltaT er den temperaturændring, der normalt (dvs. i gennemsnit) optræder i perioden fra "nu" til "nu + n dage". Dette temperaturfald afhænger både af, hvornår prognosen skal gennemføres ("nu") og af hvor lang tid prognosen skal dække ("n dage")
- X er den stokastiske størrelse, der angiver, hvor meget havtemperaturens afvigelse fra middelhavtemperaturen kan falde indenfor n dage. Det antages at variationen af X kun afhænger af, hvor langt tid prognosen skal række, og hverken af hvornår prognosen skal gennemføres ("nu") eller af, om den øjeblikkelige havtemperatur er højere (eller lavere) end normalt.

Med disse kommentarer kan modellen derfor, mere specifikt, skrives således:

$$T_{\min}(\text{nu} \rightarrow \text{nu} + n \text{ dage}) = T(\text{nu}) + T_{\text{middel}}(\text{nu} + n \text{ dage}) - T_{\text{middel}}(\text{nu}) + X(n)$$

hvor :

- "nu" er det tidspunkt hvor prognosen skal gennemføres
- "n dage" er den periode som prognosen skal række

og hvor det stokastiske element udelukkende ligger i X.

Første skridt i en kvantificering af denne model er altså at etablere middelvariationen af havtemperaturen hen over vinteren, og at beregne, hvor meget temperaturen de enkelte år afviger fra denne middelvariation. Resultatet er vist i figur 11:

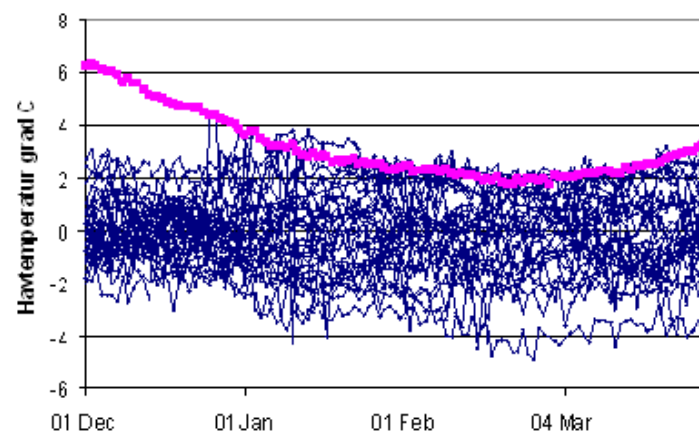


Fig. 11 Middel havtemperatur (°C) og variation omkring middeltemperatur, Drogden Fyr data 1965-1998

Det ses, at middeltemperaturen i starten af december er 6°C og falder til 2°C i slutningen af februar, hvorefter den igen stiger. Det ses også, at det (med god tilnærmelse) kan antages, at variationen omkring middeltemperaturen er konstant hen over vinteren.

Andet skridt i en kvantificering af den beskrevne prognosemodel er at beskrive den statistiske variation af forskellen mellem middeltemperaturen og den observerede temperatur. Den parameter der er af interesse her er fordelingen af det største temperaturfald, der kan forekomme inden for  $n$  dage. Dette er gjort ved at løbe alle årsavgivelser fra middeltemperaturen igennem dag for dag og udtrække det største temperaturfald indenfor  $n$  dage.

Det antages, at dette maximale temperaturfald i  $n$  dage,  $X_n$  er Gumbel-fordelt, og at sandsynligheden for et temperaturfald større end  $dt$  grader kan udtrykkes således:

$$P(X_n < dt) = 1 - \exp\left(-\exp\left(\frac{dt - a_n}{b_n}\right)\right)$$

Gumbel-parametrene er estimeret ud fra de observerede temperaturfald resulterende i de parametre, der er tabelleret nedenfor i tabel 8:

Tabel 6 Gumbel-parametre estimeret fra de observerede temperaturfald

| n     | 5 dage | 15 dage | 25 dage | 35 dage | 45 dage | 55 dage | 65 dage | 75 dage |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $a_n$ | -2.43  | -5.94   | -8.06   | -9.53   | -10.50  | -11.55  | -12.18  | -12.27  |
| $b_n$ | 4.64   | 6.70    | 8.18    | 9.00    | 9.69    | 10.21   | 10.71   | 11.18   |

At fordelingstypen kan antages at være Gumbel-fordelt bekræftes af fordelingen af de observerede temperaturfald. Eksempler, for en periode på 75 dage og en periode på 15 dage er vist nedenfor i figur 12 og 13:

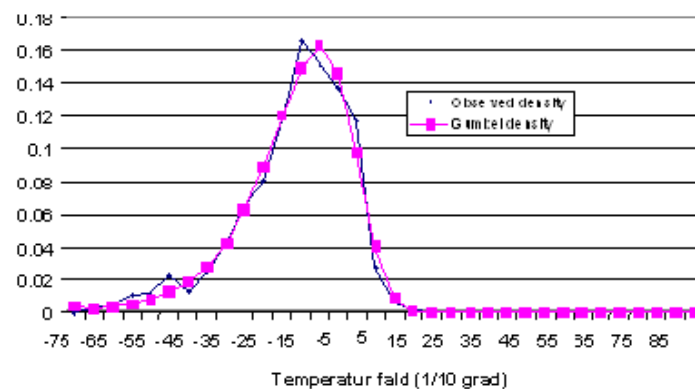


Fig. 12 Fordeling af stochastiske temperaturfald inden for 75 dage



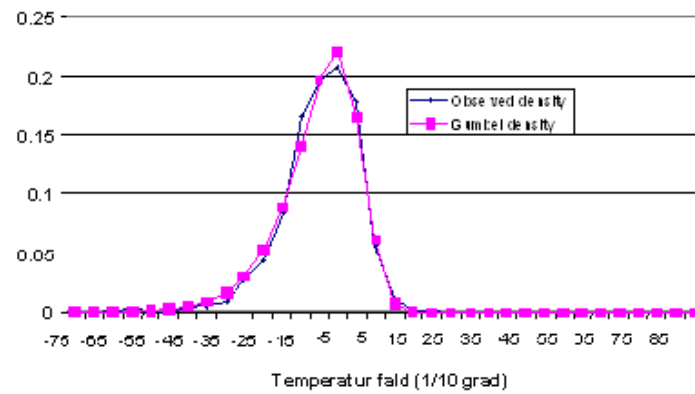


Fig. 13 Fordeling af stokastiske temperaturfald inden for 15 dage

Disse resultater kan summeres i grafen, der viser sandsynligheden for stokastiske temperaturfald af en given størrelse og indenfor en given tidshorisont, figur 14.

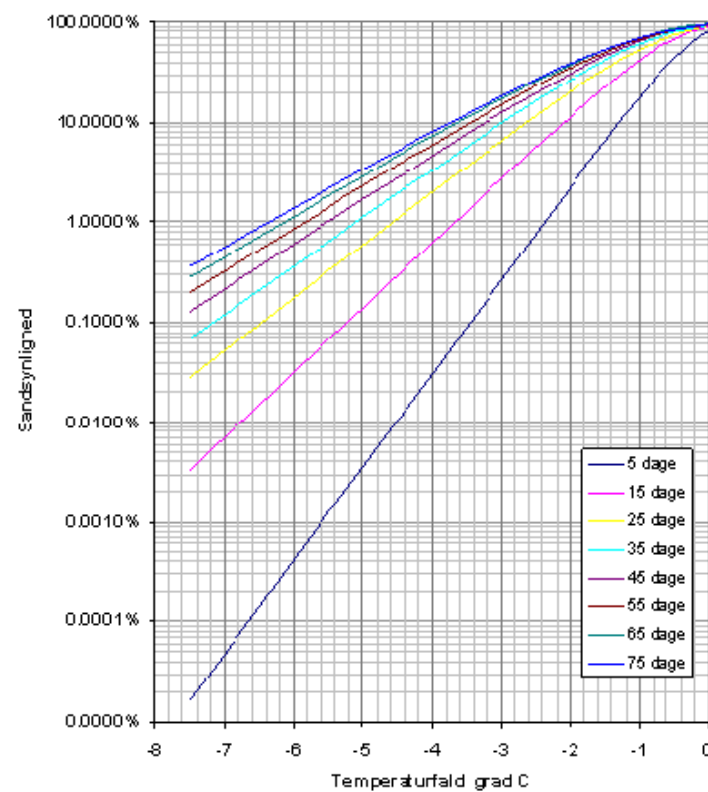


Fig. 14 Sandsynligheden for et temperaturfald af en given størrelse indenfor en given tidshorisont

Et eksempel på brug af resultaterne til prognoseformål er:

- 1. januar er havtemperaturen  $4^{\circ}\text{C}$  og chancen for is (havtemperatur  $0^{\circ}$ ) indenfor en måned ønskes bestemt.
- I figur 11 kan det aflæses, at temperaturen i gennemsnit falder  $1.6^{\circ}\text{C}$  i denne periode (fra  $3.8^{\circ}\text{C}$  til  $2.2^{\circ}\text{C}$ ).
- Temperaturen skal derfor falde yderligere  $2.4^{\circ}\text{C}$  for at bringe temperaturen ned på  $0^{\circ}\text{C}$ . I figur 14 kan det aflæses, at der er 10-15 % sandsynlighed for et sådant temperaturfald indenfor 30 dage.

### Fremtiden

Uden at tage stilling til om eller hvorfor middeltemperaturen stiger globalt, kan vi konstatere, at temperaturen i København som års- & vintermiddel er steget jævnt omkring  $2^{\circ}\text{C}$  over de seneste ca. 150 år, vist i figur 15:

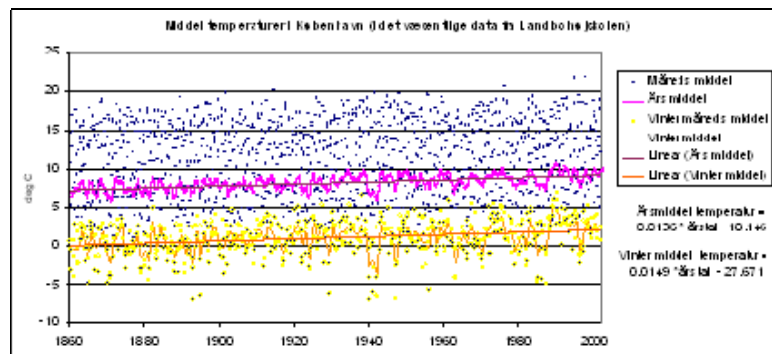


Fig. 15 Middeltemperaturer i København i perioden 1860 til 2002.  
(Vinter er her defineret som dec., jan., feb. & mar.),  
/6/

En generel temperaturstigning, og dermed et varmere klima vil på meget lang sigt selvfølgelig indebære, at isvintrene i Danmark vil udeblive, men på kort sigt vil der stadig være vintre med is i de danske farvande som nu, hvor der i gennemsnit er 'isvinter' hvert 3. til 4. år.

## Referencer

- /1/ *Is- og besejlingsforholdene i de danske farvande i vinteren 2002 - 2003.* Søværnets Operative Kommando (SOK).
- /2/ *Statistics of Annually Accumulated Freezing Degree-Days for Danish Domestic Waters 1907-1986,* F.T. Christensen, ISVA/DTU Prog. Rep. 65; Lyngby, 1987
- /3/ *ISTEKNIK, Havisens fysiske og mekaniske egenskaber, Iskræfter på konstruktioner,* P. Tryde, ISVA/DTU 1983.
- /4/ *The Baltic Sea Ice Code,* Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Norrköping, October 1981.
- /5/ *Data fra Drogden Fyr,* Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). J.nr.: 03-254-3/28, VK/MHE/, 1. april 2003.
- /6/ Data fra:  
[http://www.dmi.dk/dmi/saadan\\_har\\_vejret\\_været\\_i\\_laaang\\_tid](http://www.dmi.dk/dmi/saadan_har_vejret_været_i_laaang_tid)