

IS ❄️ FYSIK

Peter Colding-Jørgensen

F & K Forlaget

IS FYSIK

Peter Colding-Jørgensen

IS ❄ FYSIK

af Peter Colding-Jørgensen

© F&K Forlaget
Slotsgade 2³
2200 København N

Forside: Thy, januar 1988.

Bagside: En stor gletsjer, 'Narsap Sermia', skyder sig ud fra indlandsisen og kælver i Godthåbsfjorden, august 1980.

Fotografierne på side 30 er fra F. Froda: *Some observations made in North-Greenland 1923*. Medd. om Grønland, LIX (1924).

Hvor ikke andet er anført er fotografierne taget af Birgitte Jacobsen eller Peter Colding-Jørgensen.

Tilrettelæggelse: Kai Gregersen.

Trykt hos Budolfi Tryk, Aalborg.

Mekanisk, fotografisk eller anden gengivelse af denne bog eller dens enkelte dele er ikke tilladt uden lovlig hjemmel.

ISBN 87-87229-31-5.

1. udgave 1988.

Til Jaakunnguaq, Piia, Bala, Aani, Katse; - Mads, Malene, Tom, Michael og Pernille;
- og alle de andre, der gjorde det sjovt at være fysiklærer.

Forord

At beskrive 'den virkelige verden' fysisk lader sig sjældent gøre med simple formler, og man må ofte inddrage emner, som man ikke i gymnasiet kan behandle kvantitativt. Fysikken bliver altså på en måde sværere, men samtidig 'blødere': I stedet for at være en facitliste, bliver den et studium af emner, der bliver mere komplicerede for hvert skridt man kommer dybere ind i dem. I denne bog bruges fysikken til at studere 'Isens Verden', isfysikken, som en geofysisk disciplin.

Geofysik opfattes tit som 'anvendt fysik', men det er en tvivlsom karakteristik. For eksempel har astrofysik samme formelle status som geofysik, men bidrager for tiden stærkt til den fysiske grundforskning, ligesom geofysik tidligere har gjort det. En skelnen bliver let kunstig, og det er ikke usandsynligt, at man lærer mest af det almene, 'grundfaget', ved at studere det specielle - de såkaldte anvendelser.

Bogen er tænkt til den indledende fysikundervisning i matematisk gymnasium, men kan også bruges i naturfag for sproglige. Kernestoffet er først og fremmest energitransport og energiforhold ved faseovergange og temperaturændringer, men bogen rækker desuden kvalitativt ind i områder af fysikken, som vi let bliver snydt for, hvis vi vil behandle alting kvantitativt.

Det er efter moden overvejelse, at bogen ikke er

bygget deduktivt op. Det er en fortælling, hvor meget berøres, og kun noget uddybes senere. Bagest er et lille 'leksikon', og der er indlagt nogle faglige 'bokse' med dele af kernestoffet. Når der henvises til 'Databogen', drejer det sig om den 'Databog fysik kemi', som F&K Forlaget har udsendt.

Teksten skal diskuteres ud fra en fysik-faglig vinkel, men der skal også trækkes linier til samfundsforhold, natur, litteratur og kunst. Den enkelte lærer og klasse må selv udforske mulighederne, men efter hvert kapitel er der nogle 'ideer og tangenter', som måske kan hjælpe en diskussion i gang.

I øvrigt håber jeg, at der er nogen, der vil læse bogen bare for sjov.

Tak til gymnasiefolkene Claus Christensen, Carsten Claussen, Arne Mikkelsen og Inger Nyborg, til Kirsten Nielsen og Jørn Lyngesen fra henholdsvis Geografisk og Fysisk Institut ved Danmarks Lærerhøjskole, og til min kone, eskimologen Birgitte Jacobsen. De har alle gennemlæst en tidlig udgave af manuskriptet og givet konstruktive kommentarer og gode råd. Det er ikke deres skyld, hvis bogen ikke er lykkedes.

Helsingør i juni 1988.

Peter Colding-Jørgensen.



(Foto: Kim Lund, Helsingør 1987)

I begyndelsen af 1987 var der meget is i Øresund. Den 26. marts var der stærk, nordgående strøm, så isen blev presset sammen i tragten mellem Helsingør og Helsingborg og stod op over Statshavnens sydlige mole.

INDHOLD

Forord	3	6. Is er et plastisk stof	21
Indhold	4	Ideer og tangenter	22
1. Indledning	5	7. Iskapper og gletsjere	23
2. De permanente isforekomster	7	7.1 Sne, firn og gletsjeris	24
2.1 De to store	7	7.2 Ligevægt og damptryk	24
2.2 Andre iskapper og gletsjere	8	7.3 Sne bliver til is	24
2.3 Havisen	8	7.4 Gletsjeres materialehusholdning... ..	25
2.4 Permafrost	8	7.5 En dalgletsjer	26
Ideer og tangenter	9	Ideer og tangenter	26
3. Is og vand	12	8. Klimavariationer. Istider	30
3.1 Is er frosset vand	12	8.1 Lyngmarksbræen	30
3.2 Is flyder på vand	13	8.2 Istiderne	32
Ideer og tangenter	13	8.3 Boreprøver fra Indlandsisen	33
4. Energiforhold ved smeltning og frysning	15	Ideer og tangenter	34
4.1 Praktiske opgaver	15	9. Frysning ved underafkøling	35
4.2 Smeltevarme, fordampningsvarme og specifik varmekapacitet	16	9.1 Kuldeblanding	35
4.3 Sublimering	16	9.2 Underafkøling	35
4.4 I naturen	17	9.3 Isslag	35
Ideer og tangenter	17	9.4 Overisning	35
5. Når sø og hav fryser til	18	9.5 Stille vand	36
5.1 En stille ferskvandssø	18	9.6 Strømmende vand	36
5.2 Hav og fjord	18	9.7 Is i atmosfæren	36
5.3 Når saltvand fryser	20	Ideer og tangenter	36
Ideer og tangenter	20	10. Afslutning	37
		11. 'Lille leksikon'	38
		12. Litteraturliste	40



(Julianehåbsfjorden, maj 1982)

Storisen driver ofte langt ind i de sydgrønlandske fjorde. Når den er så åben som på billedet, er det ikke svært at finde vej mellem flagerne.

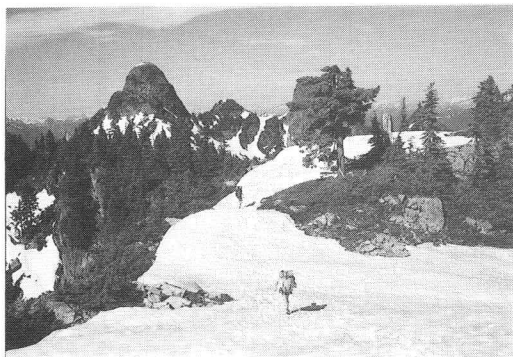
1. Indledning

På fugtige frostdage vokser der rim på buske og græs, og i solskin lyner og glimter det fra de hvide iskrystaller.

Længe inden de grønlandske elve fryser til, dannes der i de kolde, klare efterårsnætter nys foran deres udløb og omkring isfjelde og kalvis på fjordene.

Den første is på en sø dannes, hvor vandet er lavt. Over dybe, 'bundløse' huller kan der være våger, længe efter at resten af søen er dækket af tyk is.

Vandrør fryser, havet lægger til, selv landet kan blive dækket af is. I 1200-tallet begyndte alpernes gletsjere at brede sig, og under den efterfølgende 'Lille Istid' forsvandt flere landsbyer under isen.



(British Columbia, Canada, juli 1985)

Is er så meget: gletsjere der graver landskaber ud; rim som spindelvæv på jernbanesveller; snepuder på træernes grene; nysne hvor man selv på ski går i til knæene; snefygning hvor man ikke

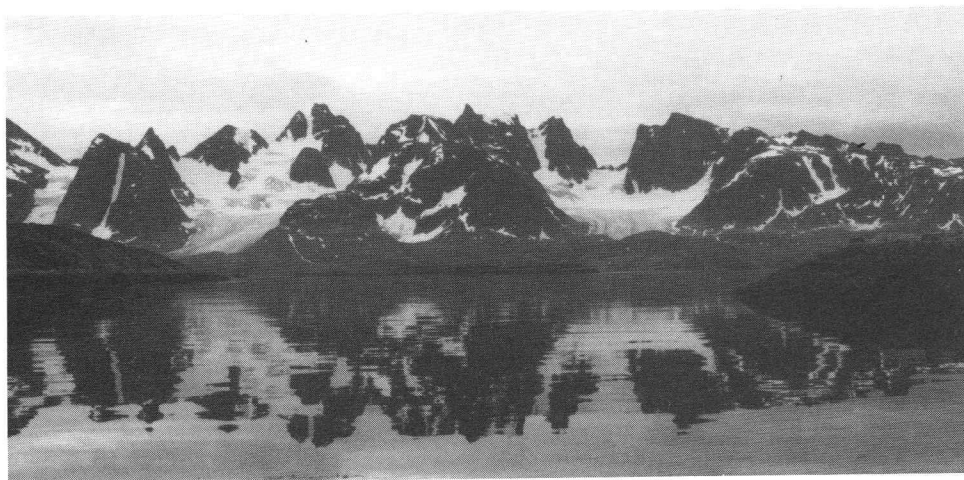


(Thy, januar 1988)

kan se en hånd for sig; hårdt sammenblæste snedriver, der i stærk frost er som sand under skiene; grødis langs stranden; isskruninger højt op over havnemolerne; permafrost under den arktiske tundra; istapper fra tagskægget; hagl på en varm augustdag....

Ingen glemmer lyset fra storsisen, når den om sommeren driver ind i Sydgrønlands fjorde på sidste etape af sin lange rejse fra Polhavet ned langs Grønlands østkyst og rundt om Kap Farvel. Tit er den ledsaget af tåge, som selv på solvarme dage pludselig kan opsluge den sejlene eller drive langt ind over land. Så går kulden gennem marv og ben, fjerne ting forsvinder, og det nære indhylles i et blændende hvidt lys.

Der er skrevet tykke bøger om is. Jeg vil kun fortælle en lille historie, men en historie som også indeholder lidt fysik af den slags der ikke plejer at være for meget af.



(Hamborgersund, Vestgrønland, juli 1981)

2. De permanente isforekomster.

2.1 De to store.

Den antarktiske iskappe dækker 14 millioner kvadratkilometer og er i gennemsnit 2 km tyk. Den rummer altså i alt 28 millioner kubikkilometer is. Det er ca. 90 % af al den is, der findes på Jorden (og 2% af den samlede mængde is, vand og damp). Den grønlandske iskappe, Indlandsisen, dækker 1,8 millioner kvadratkilometer, er i

gennemsnit 1,5 km tyk og rummer altså 2,7 millioner kubikkilometer is. De to store iskapper indeholder tilsammen 99 % af al is på Jorden.

Vand, der falder som sne på den antarktiske iskappe, opholder sig i gennemsnit ca. 30.000 år i isen, før det forlader den i et isfjeld, i en smeltvand selv, eller som damp. I den grønlandske iskappe er den gennemsnitlige opholdstid ca. 4000 år.

Det kongelige danske geografiske Selskabs Møde d: 25' Maj 1889.

i Anledning af

Dr. Nansens Expeditions Ankomst.



(Det Kongelige Biblioteks Kortsamling)

Da jeg i 1962 tog turen over indlandsisen første gang, var det med SAS-maskinen til Los Angeles, som mellemlandede i Sdr. Strømfjord. Den var fuld af amerikanske turister, der var på vej hjem efter at have set Europa. Jeg stod ved den bageste dør og kiggede ned.

Isen hvælede sig under os fra horisont til horisont, og jeg syntes at jeg skimtede nogle små prikker, der ikke flyttede sig af stedet: Nansen og hans ledsagere, som sled sig foroverbøjet afsted med de tunge slæder efter sig. En hel dags slid for hvert minut vi fløj.

Bemærk fejl i kortets længdeangivelse.

Indlandsisen i Grønland blev krydset første gang i 1888 af en gruppe på to samer og fire nordmænd med Frithiof Nansen som leder. De var på ski med trækslæder, og turen tog en måneds tid. Efter 2. verdenskrig er det blevet hverdagskost at flyve over på en halv time.

En norsk ekspedition under ledelse af Roald Amundsen nåede som de første Sydpolen den 14. december 1911. Kun en måned senere, den 17. januar 1912, nåede Scott og hans britiske ekspedition frem. De omkom på vej tilbage til kysten.

I dag er der i Antarktis adskillige faste videnskabelige stationer. USA 'sidder på' selve den geografiske sydpol, mens USSR har oprettet stationen 'Vostok' på den sydlige magnetpol. På de mange stationer udføres blandt andet meteorologiske og glaciologiske undersøgelser, men der studeres også andre geofysiske emner. I de seneste år har 'Ozon-hullet' over Antarktis være i offentlighedens søgelys. Den militære betydning knytter sig formentlig mest til vejtjenesten, men stationerne fungerer sikkert også som radiolytteposter og kommunikationsposter.

Den første overvintring midt på Indlandsisen fandt sted på Alfred Wegeners ekspedition i 1930. Wegener var meteorolog og geofysiker, og det var

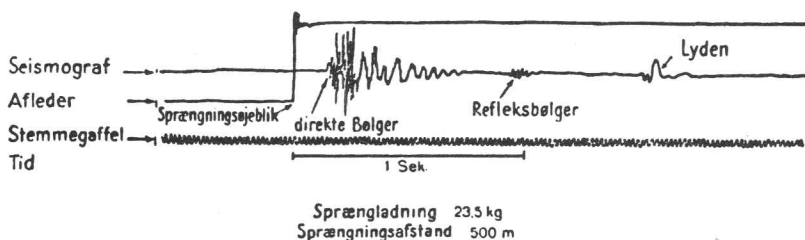
ham, der i 1912 fremsatte den hypotese, at Afrika og Sydamerika en gang havde været ét kontinent. Ideen blev ikke almindeligt accepteret før 50 år senere. Han døde selv på ekspeditionen i 1930 undervejs fra 'Station Eismitte' ud til kysten.

Ekspeditionen målte Indlandsisens tykkelse med såkaldt spræng-seismiske metoder: En dynamitladning sprænges et sted på isen. Lydbølgerne fra eksplosionen bevæger sig ned gennem isen og kastes tilbage fra grundfjeldet. Specielle apparater (seismografer) på isens overflade opfanger de tilbagekastede bølger. Når man har målt, hvor længe bølgerne er om at nå ned til klippen og tilbage igen, kan man beregne, hvor tyk isen er. Det bliver ganske vist lidt upræcist, fordi bølgerne fart i isen afhænger noget af tryk og temperatur, så den ikke er fuldstændig kendt.

Siden 1960'erne har man fra fly kunnet sende radiobølger gennem isen og opfange de reflekterede bølger. Det har givet mulighed for en detaljeret kortlægning af isen og bunden under den. Man har blandt andet opdaget, at isen er lagdelt, og at der er steder, hvor isens bund ligger under havniveau.

Man kan nu også bore huller helt ned gennem Indlandsisen og Antarktis og tage borekerner op. De bringes frosne til avancerede laboratorier, bl.a. ved Københavns Universitets Geofysiske Institutter. Her undersøges is, der er mange tusind

En 'historisk' opgave



Seismogram til Bestemmelse af Istykkelsen ved Km. 120.

Kopi fra »Alfred Wegeners Sidste Grønlandsfærd«. Med tilladelse fra Aschehoughs Forlag.

I en bog om Wegener-ekspeditionen findes denne tegning af et seismogram til bestemmelse af Indlandsisens tykkelse 120 km fra isranden øst for Uummannaq (på dansk Umanak eller Umanaq). »Sprængningsøjeblik« markerer et elektrisk signal fra sprængningsanordningen, »direkte Bølger« har bevæget sig langs isens overflade, og »Refleksbølger« er kastet tilbage fra bunden. Afstanden mellem sprængningen og seismometret var 500 m. Den pukkel, der betegnes »Lyden« skyldes at seismografen

også reagerer på de lydbølger, der ankommer gennem luften.

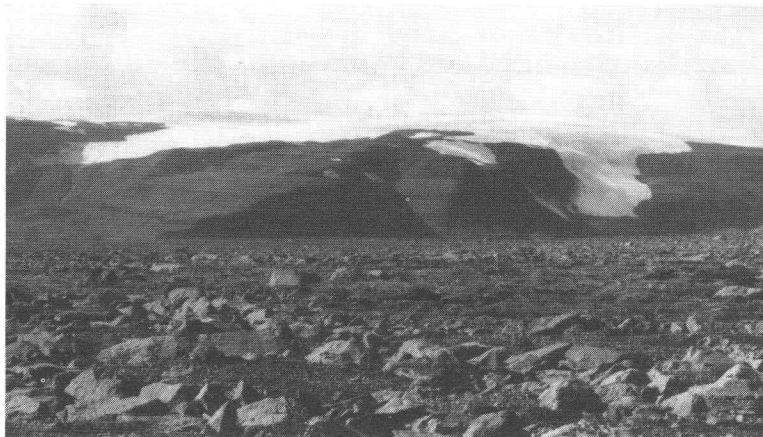
Hvor tyk var isen?

Regn med at »direkte Bølger« og »Refleksbølger« har bevæget sig lige hurtigt. Mål tider ud på figuren, og lav en tegning. Hvis den laves omhyggeligt, kan istykkelsen måles på tegningen. Man kan også beregne tykkelsen ved 'trekantsberegning'.

Beregn også lydets hastighed i is og luft.

år gammel for sit indhold af forskellige stoffer. Der findes blandt andet vulkansk aske og spor af 'sur sne' fra vulkanudbrud, og det har for eksempel givet mulighed for at fastlægge præcis hvilke år en række historiske vulkanudbrud fandt sted. Variationer i isens sammensætning har også vist, hvordan temperaturen har varieret langt tilbage i tiden.

De to store iskapper spiller en afgørende rolle for vejr og klima overalt på Jorden, så der er grund til at tro, at udforskningen af dem vil fortsætte med fuld styrke.



Lyngmarksfjeldets iskappe på øen Disko ved Grønlands vestkyst. Det højeste punkt er godt 900 m over havet, og den sender flere bræ-tunger ned i 'Blæsedal'. Billedet er taget fra 'Skarvefjeld', ca. 5 km væk.

(Disko, august 1977)

2.3 Havisen.

Havisen dækker et areal, der svinger mellem 17 og 28 millioner kvadratkilometer, altså op til det dobbelte af den antarktiske iskappe, men da den i gennemsnit kun er et par meter tyk, indeholder den kun 0,16% af isen på Jorden.

I Polhavet omkring Nordpolen er der altid så meget is, at almindelig sejlads er umulig. Det skyldes især de store sibirske floder. Flodvand er lettere end havvand og flyder stort set ovenpå, og ferskvand fryser lettere end saltvand. Havvand kan have temperatur omkring -1,5 °C uden at fryse, men hvis det 'oversvømmes' af næsten fersk vand med et frysepunkt omkring -0,5 °C, finder der hurtigt isdannelse sted.

Isen kan drive rundt i Polhavet i årevis, og især ved den canadiske side kan den være så gammel og snavset, at mange har troet, at de fandt nye, ukendte øer. Det snavsede udseende skyldes jord og sand, der blæser med fygesneen ud over isen.

Fra Polhavet strømmer store mængder is sydpå gennem 'Fram-Strædet' mellem Grønland og Spitsbergen. Det kaldes 'storisen' og driver med havstrømmene sydpå langs Grønlands østkyst, runder Kap Farvel og driver om sommeren

2.2 Andre iskapper og gletsjere.

Der er mindre iskapper og gletsjere over alt på Jorden, men jo tættere, man kommer på ækvator, desto højere oppe i bjergene findes de. Tilsammen indeholder de kun ca. 0,75 % af isen på Jorden, så hvis man har været ved en gletsjer - eventuelt oppe på den - og opdaget, hvor stor selv en lille dalgletsjer er, opgiver man at fatte, hvor stor den antarktiske iskappe er. Et helt kontinent af is...

Ordene bræ og gletsjer bruges ofte i flæng. Bræ er ligesom jøkel et nordisk ord. Gletsjer er fagordet og bruges internationalt.

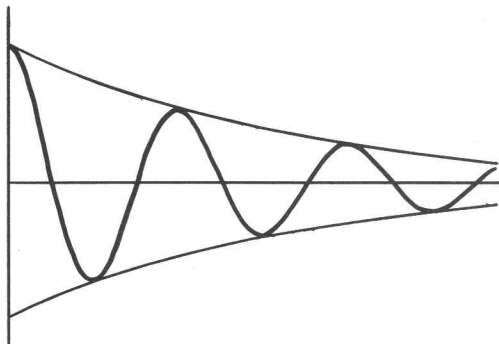
op langs Vestkysten. Hvor langt den kommer, afhænger af vejret og mængden af is. Det er sjældent, at den når så langt mod nord som til Nuuk (dansk navn Godthåb). I »De danske Udlande« (1899) skriver Ferd. Petersen om storisen:

»...Den ser i Frastand ud som en sammenhængende Isflade; men kommer man nærmere, ser man, at den bestaar af vældige Isstykker; i stille Vejr ligge de og vugge i den svage Dønning og der er en underlig Fred udbredt over det hele. Men rejser der sig en Storm, trykkes og skures de mod hinanden, og Luften genlyder af Knagen, Hvinen og Bulder. Naar Vinden så atter spreder dem, antage de forunderlige Former, der forfølge og jage hinanden i vild, broget Forvirring. Kommer så et Skib ind imellem dem, knuses det som en Nøddeskal; skal det lykkes at komme ud, maa man ankre ved en større Flage og drive af Sted med denne, indtil der viser sig en gunstig Lejlighed til at slippe ud. -«

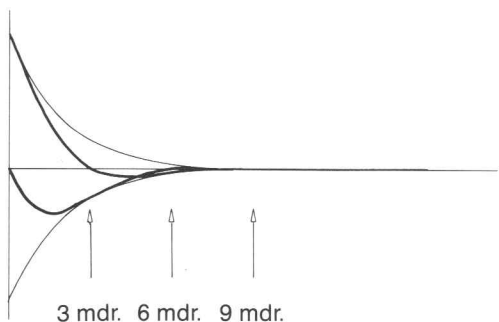
2.4 Permafrost.

I Danmark er jorden om vinteren frosset i kortere eller længere tid, og i strenge vintre når frosten dybt ned. Om foråret trænger varmen kun

langsomt ned i jorden, så det tager tid, før der er frostfrit dybere nede. Hvis man om sommeren måler temperaturen ned gennem jorden, kan man finde 'rester af vinterkulden' som et koldere lag et stykke nede.



Temperaturudsvingene dæmpes jo længere man kommer ned i Jorden, men på figuren her er dæmningen gjort alt for svag, for at man kan få en fornemmelse af kurvens art.



Her ses temperaturforløbet om sommeren og om foråret. Om sommeren er der maksimumstemperatur ved overfladen. Et stykke nede har vi gennemsnitstemperaturen, svarende til temperaturen ved overfladen om foråret, tre måneder tidligere. 'Sidste vinters kulde' findes ved den pil, der er mærket 6 mdr., men udsvinget i denne dybde er kun ca. 4% af udsvinget ved overfladen. 'Sidste sommers varme' svarer kun til 0,2% af variationen ved overfladen. Selvom disse udsving er svære at tegne, er de ikke særlig vanskelige at måle.

I højarktiske områder er vinteren så lang og kold, at 'vinterkulden' ikke bare er et køligere jordlag. Det forbliver frosset sommeren igennem og danner et permanent frostlag, som kaldes permafrostlaget. Det er vandtæt, og vandet fra sne-smeltningen synker ikke ned, men løber i overfladen ligesom over fast klippe. I smeltetiden er de

flade dele af den arktiske tundra i mulis omkreds kun spredte tuer i vandet.

Når man bygger på jord med permafrost, kan varmen fra husene smelte frostlaget (eller husene isolerer mod frosten oppefra), så underlaget bliver blødt og husene synker. I varme somre sker det også, at lufthavnen i Kangerlussuaq (Sdr. Strømfjord), hvor det meste af passagertrafikken mellem Danmark og Grønland passerer, må lukke for de største fly, fordi jorden under landingsbanen tør op. Det skyldes måske, at landingsbanen er mørkere end omgivelserne og derfor absorberer mere varme fra solstrålingen.

Ideer og tangenter - Kapitel 2

(a) Diskuter oplysningen om at den gennemsnitlige 'opholdstid' i den grønlandske iskappe er 4000 år. Den ældste is er mere end 100.000 år gammel.

(b) Hvad er den sydlige magnetpol? Hvorfor kaldes den ikke den magnetiske sydpol?

I det arktiske område taler vi om to forskellige magnetiske 'poler'. De 'opdagelsesrejsende' tænkte på den nordlige magnetpol som det sted, hvor en fri kompasnål stiller sig lodret. Den ligger i det nordligste Canada. En anden 'pol' ligger i centrum af nordlysområdet nær Thule, og den er 'pol' for magnetfeltet i nogle hundrede kilometers højde over jorden. Den er stort set upåvirket af den tilfældige fordeling af jernholdige mineraler i jordskorpen.

(c) Antarktis har en speciel international status. Ingen del af det tilhører nogen stat, men det er delt i sektorer, der opfattes som interesseområder for visse stater.

Hvorfor mon USA, USSR og mange andre lande ønsker at have faste stationer i Antarktis?

(d) Der er skrevet mange bøger om Scott og Amundsen og deres kapløb mod Sydpolen. Det opfattes tit som lidt ufint, at Amundsen først meget sent fortalte, at han var med i kapløbet. En del forfattere mener, at det var Amundsens overlegne rejseteknik med slæder og hunde, der gav ham sejren. Andre finder det 'usportsligt', at han

Historien er uklar og kompliceret, og der er stadig mange følelser knyttet til diskussionen.



10

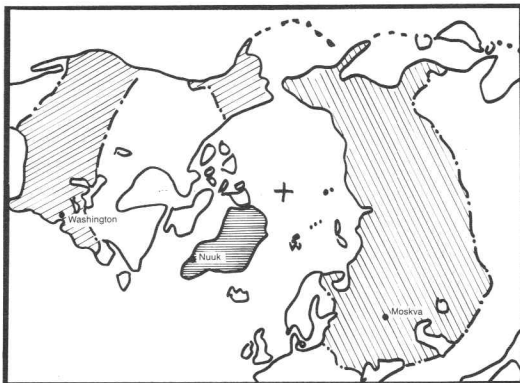
Ekspllosioner, der kan sammenlignes med almindelige kraftige jordskælv, kræver kernevåben omkring 1 Mt (1 megaton), dvs ca. 60 gange Hiroshima-bomben.

(f) I 1983 udkom på forlaget Eirene en bog med titlen 'Grønland, Middelhavets Perle', redigeret af Paul Claesson. Titlen hentyder til, at Polhavet er et 'middelhav', dvs et hav lukket inde mellem to kontinenter ligesom det middelhav, der ligger mellem Europa og Afrika. Men desuden afspejler den det nordlige Grønlands strategiske værdi, som det ligger midt i det middelhav, der adskiller Nordamerika fra Sovjetunionen.

Den stormagt, der kontrollerer Nordgrønland, kontrollerer også det ingenmandsland, som Polhavet er, og en radar på stedet kan ikke kun bruges til at advare om fjendtlige angreb med fly eller raketter, men også til at kontrollere kursen af egne angribende raketter.

Selvom vi ved, at Jorden er rund omtrent som en kugle, har vi en tendens til at tænke på landenes relative placering som om vi boede på overfladen af en cylinder. Det er almindeligt at skyde skylden for denne vildfarelse på de almindelige kort, hvor det arktiske område tider er grotesk fortegnet, fordi en kugle-overflade aldrig kan blive overført korrekt til en plan flade. Men kortene er selvfølgelig udformet til at beskrive Jorden, så-

dan som den blev opfattet, og før flyvemaskinernes og de atomdrevne undervandsbådes tid var den tilgængelige del af kloden faktisk et bælte omkring ækvator, som nogenlunde fornuftigt kunne overføres til en cylinder-overflade.



Polhavet som 'strategisk middelhav'. Læg mærke til, hvordan de tre hovedstæder: Washington, Nuuk og Moskva ligger på dette kort. Sammenlign med de indtryk, som et almindeligt verdenskort giver af Danmarks og Grønlands placering i forhold til USA og USSR.

Ord om is

I en fjernsynsudsendelse om det nordligste Canada hed det: »De eskimoiske sprog har femten ord for sne og hundrede for is.« Meningen er, at man skal tænke, at det må være et mærkeligt sprog. Men de mange ord er ikke uafhængige af hinanden, sådan som mange tror, når de hører det sagt. Mange af dem er afledt af hinanden.

Dansk har også mange ord om is: Ord som nylis, grødis, tallerkenis, drivis, skrueris, pakis, gletsjeris, vinteris, sommeris, fastis, fjordis, havis, landis, bundis, kalvis, dødis, osv eller isslag, isfald, isfjeld, isbjerg, isskosse, isflage, istap, isskrining, isfod, iskrystal, iskappe. Nogle begreber udtrykkes på dansk med to ord, for eksempel rådden is, farbar is, spredt is, men kunne lige så godt have haft ét.

Vi har også mange ord afledt af 'sne': nysne, frostsne, tøsne, snefygning, snefald, snedriver, snefnug, snekrystal, snebro, snepude, og vi har helt andre ord, der også kan indgå i sammensætninger, for eksempel bræ, jøkel, gletsjer, firn, rim, skare og frost. De er ikke alle almindeligt kendt. Et ord som 'skare' (en hård skorpe på sneen, der gør det svært for skiløbere at få ordentligt fæste) kendes bedre i svensk og norsk, men det anvendes også på dansk, når der er brug for det. Selvom det ikke er med i retskrivningsordbogen, er det ikke mindre dansk end remulade og majonæse. Det bruges bare af færre.

3. Is og vand.

3.1 Is er frosset vand.

Under sædvanlige forhold fryser vand, når det bliver kølet ned under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; og is smelter, når det varmes op over $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. En blanding af is og vand når hurtigt $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, og temperaturen kan ikke ændres før al is er smeltet eller alt vand er frosset. Denne temperatur kaldes 'vandets frysepunkt' eller 'isens smeltepunkt'. Frysepunkts-temperaturen afhænger af trykket, men så lidt, at det kun har betydning under særlige omstændigheder.

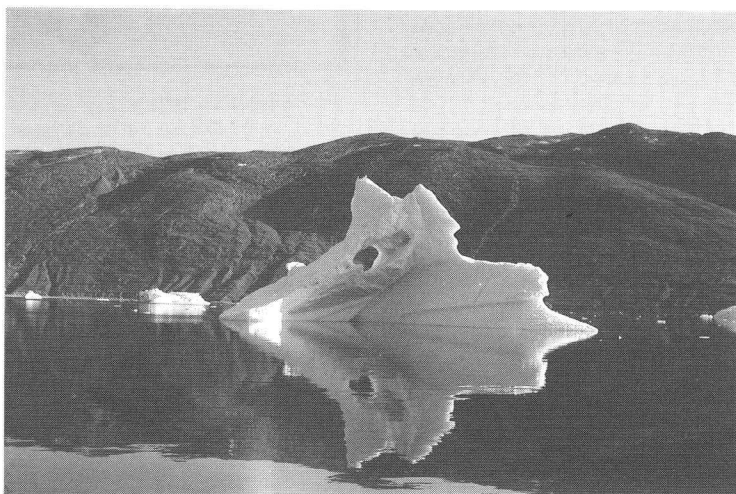
Praktisk opgave: smeltning.

(Det er nok mest praktisk at dele opgaven over to dage, så frysningen foregår den ene dag og op-tøningen den anden.)

Tag et lille glas eller plastbæger med lidt vand og anbring et termometer i det. Anbring det i en fryser til nedfrysning.

Når det er frosset, så tag glasset ud og stil det til optøning, mens I måler temperaturen med korte mellemrum. Lav tabel over sammenhørende værdier af tid og temperatur.

Tegn en graf over temperatur mod tid, og skriv ved grafen, hvornår der kun er is, hvornår der kun er vand, og hvornår der er begge dele.



(Godthåbsfjorden, juli 1980)

Massetæthed (densitet)

Massetæthed (densitet) er afledt af masse og volumen. Hvis vi betegner massen med m , voluminet med V og densiteten med d , har vi en ligning:

$$d = m/V,$$

altså »densitet er lig med masse divideret med volumen«.

Læg mærke til at vi bruger bogstaver på to forskellige måder: til at betegne størrelser (som m for masse) og til at betegne enheder (som m for meter). Vi kan altså skrive » $m = 2,3\text{ kg}$ « eller » $h = 1,83\text{ m}$ «.

Massetæthed er en materialekonstant eller stofkonstant i modsætning til masse og volumen. Genstande af samme materiale kan have forskellig masse og volumen, men har samme massetæthed.

Regne-opgaver:

- (1) En klump malet metal har $m = 2,3\text{ kg}$ og $V = 0,00085\text{ m}^3$ (850 cm^3). Beregn densiteten ved hjælp af formlen ovenfor og find ved hjælp af 'Databogen' ud af, hvad det kan være for et metal.
- (2) Hvad er voluminet af en guldklump med $m = 0,843\text{ kg}$?

3.2 Is flyder på vand.

De fleste stoffer trækker sig sammen, når de størkner, og får derved større massetæthed end væsken. Vand hører til undtagelserne og har mindre massetæthed som fast end som flydende. Ved 0 °C er massetætheden 1000 kg/m³ for vand og 917 kg/m³ for ren og klar is. Hvis der er luftblærer i isen, er den hvid, og massetætheden er mindre, ned til omkring 850 kg/m³ i isbjerge. Det er altså ikke præcis ni tiendedele af et isbjergs rumfang, der er under vand, og tænker man på højde og dybde bliver det helt forkert. Når søfolk vil vurdere vanddybden ud fra isbjergenes højde, regner de med, at dybgangen sjældent er mere end tre gange højden, og man kan møde isfjelde, der rager 10 m op og alligevel kun stikker 10 m ned.

Lille praktisk opgave: flydning.

Tag et måleglas med passende stor diameter og hæld vand i. Lad en isterning flyde på vandet.

(a) Aflæs, hvor højt vandet står.

(b) Aflæs igen, når isen er smeltet.

'Flydeopgaven' skal kun lægge op til at tænke lidt over massetæthed og Archimedes' lov.

Massetæthed (tidligere 'massefylde' eller 'vægtfylde') er en såkaldt stof-egenskab (materiale-egenskab). Det vil sige en egenskab, der er karakteristisk for et stof eller materiale, uanset hvor meget der er af det.

I daglig tale siger vi, at et stof med stor masse-tæthed er 'tungere' end et stof med lille. For eksempel at is er lettere end vand, og sten er tungere end vand. Men vi bruger også ordet 'tungere' når en genstand har større masse end en anden, for eksempel at et lod på 2 kg er tungere end et på 1,5 kg.

Det kan virke forvirrende, hvis vi på den ene side siger, at bly er tungere end jern, og på den anden at et jernlod på 10 kg er tungere end et bly-

lod på 1 kg. Når vi ønsker at være præcise, bruger vi derfor udtrykkene 'har større massetæthed' og 'har større masse'.

Størrelsen massetæthed kaldes også densitet og er et mål for, hvor tæt massen er samlet i stoffet. Den udregnes som forholdet mellem masse og rumfang (masse divideret med rumfang), og standard-enheden er kg/m³ (kilogram pr kubikmeter).

Stoffet is er glasklart og har som nævnt masse-tæthed 917 kg/m³, men det *materiale* (gletsjeris), som isfjelde består af, er hvidt og har massetæthed mellem 850 og 900 kg/m³, fordi det indeholder luftbobler.

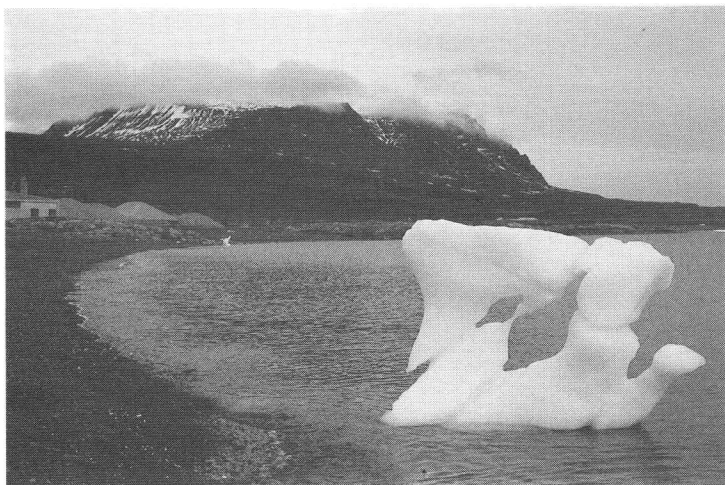
Archimedes' lov handler om legemer, der flyder. En klump af et materiale kan flyde på vand, hvis det har mindre massetæthed end vand. Klumpen synker netop så dybt, at hvis den plads den optager, i stedet var fyldt med vand, ville det have præcis samme masse som klumpen har. Sagt på en anden måde: den mængde vand, som klumpen 'fortrænger' vejer det samme som klumpen selv. Når man siger at en fiskerbåd har et *deplacement* på 10 tons, betyder det, at den fortrænger 10 tons vand, og altså at den vejer 10 tons.

Forklar resultatet af 'flydeopgaven' ved hjælp af Archimedes' lov.

Ideer og tangenter - Kapitel 3

(a) Ved arbejdet med dette kapitel kan det være en ide at udføre nogle af de traditionelle eksperimenter med massetæthed og opdrift.

Man kan afbalancere to ens metal-lodder på en vægtstang, og forsigtigt sænke dem ned i henholdsvis et glas med vand og et med sprit. Metoden kan også bruges til at demonstrere forskellen i massetæthed mellem fersk og salt vand. Hvor stærkt skal saltvandet være, før man kan se forskel?



Strandet kalvis (is som stammer fra 'kælvende' isfjelde) i 'Sortesandsbugten' ved Qeqertarsuaq (Godhavn) på sydspidsen af Disko. Isfjelde med spir kan rage højt op uden at stikke dybt.

(Disko, juni 1977)

(b) En opløsning af kobbersulfat (CuSO_4) er tungere end rent vand. Med forsigtighed kan man i et glas få rent vand til at flyde oven på den blå sulfatopløsning.

(c) De fleste stoffer sænker vandets frysepunkt, hvis de opløses i det - også for eksempel alkohol (snapsen bliver ikke til is i fryseren!). Bilernes frostvæske tilsættes netop med det formål.

(d) Find nogle andre stof-egenskaber (materiale-egenskaber) end densitet.

(e) Læg en isterning i vand, og prøv at måle forholdet mellem højde over vandoverfladen og 'dybgang'.

Archimedes' lov

Hvis man prøver at sænke et stykke træ under vand, mærker man en kraft, der virker opad. Et lille stykke træ kan man let presse ned, men jo større stykket bliver, desto sværere er det. Er træstykket tilstrækkelig stort, kan man lade sig bære oppe af det.

Små praktiske opgaver:

(1) Få fat i to eller tre lodder af samme metal, men med forskellige rumfang. Mål rumfanget ved at hænge dem i en sytråd og sænke dem hver for sig ned i et måleglas og se, hvor meget vandet stiger.

Hæng dem så i en passende følsom fjeder-vægt (også kaldet et dynamometer eller newtonmeter) og aflæs. Sænk dem ned i vand og aflæs igen. Forskellen mellem de to aflæsninger for samme lod svarer til den opadrettede kraft fra vandet, som kaldes opdrift. Hvilken sammenhæng er der mellem rumfanget og opdriften?

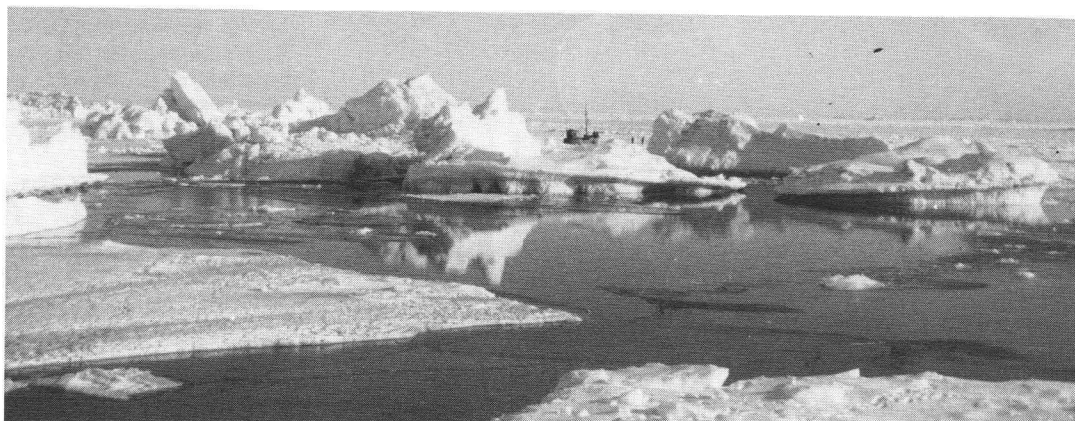
(2) Find på samme måde opdriften på lodderne, når de sænkes ned i almindeligt sprit eller petroleum. Sammenlign med opgave (1).

(3) Find tre lodder med samme rumfang af for eksempel aluminium, messing og bly. Mål opdriften på de tre lodder.

De små praktiske opgaver har forhåbentlig vist, at opdriften på et legeme, der er helt nedsænket i en væske, er proportional med legemets rumfang. Den er også proportional med massetætheden af den væske, der bruges. (Der er større opdrift i vand end i sprit.) En udregning kan vise, at opdriften har lige netop samme størrelse som tyngdekraften på en væskemængde med samme rumfang som legemet.

Det er på sin vis ikke overraskende, for hvis lodet ikke var der, skulle opdriften jo lige netop kunne bære at pladsen var fyldt med væske.

Når et legeme ikke sænkes helt ned i væsken, bliver opdriften stadig lige netop så stor at den ville kunne bære væske på legemets plads, og derfor bliver opdriften større, jo dybere legemet synker. Is og træ har mindre massetæthed end vand, så hvis de er sænket helt under vand, bliver opdriften på dem større end tyngdekraften. Derfor stiger de op, indtil en passende del af dem er over overfladen og tyngdekraft og opdrift holder hinanden i balance.



(Disko, 1963)

4. Energiforhold ved smeltning og frysning

4.1 Praktiske opgaver

Opgave 1:

Anbring en portion sne eller knust is i en gryde over et gasblus eller en kogeplade. Tag tid på, hvor længe det varer, fra isen begynder at smelte, til det hele er smeltet.

Fortsæt opvarmningen uden at stille på blusset eller kogepladen. Hold øje med temperaturen, og aflæs termometret, når der er blevet varmet op lige så længe, som smeltningen tog.

Bliv ved og tag tid igen, når vandet koger.

Fortsæt og tag tid på, hvor længe det varer at koge alt vandet væk.

Spørgsmål til opgave 1:

(a) Hvor mange grader kan vandet varmes op med den samme energi, som bruges til at smelte det?

(b) Hvor mange kg is kan smeltes med den mængde energi, der bruges til at fordampe 1 kg vand?

Opgave 2:

Anbring ca. 100 mL (1 dL) vand med temperatur ca. 25 °C i et lille 'kalorimeter' (evt. yoghurtbæger), som er vejlet på forhånd. Vej igen, så I kender vandets masse.

Tag en isterning, som har ligget lidt i stuetemperatur. Tør den fri for vand og put den i bægeret. Aflæs samtidig vandets temperatur.

Rør forsigtigt i vandet indtil isen lige netop er smeltet. Aflæs igen temperaturen.

Vej det hele, så I ved, hvor mange gram is, der er smeltet.

Spørgsmål til opgave 2:

(a) Der kræves 4,2 J (joule) for at opvarme 1 g vand én grad. Hvor meget energi har det varme vand afgivet under afkølingen?

(b) Hvor meget energi er der blevet brugt til at varme smeltevandet op, efter at isen var smeltet?

(c) Hvis resten af energien fra det varme vand er blevet brugt til at smelte isen, hvor meget energi skal der så bruges for at smelte 1 g is?

Varmekapacitet

Hvis man hæver et legemes temperatur ved at tilføre energi (varmenergi), er der sammenhæng mellem tilført energimængde og temperaturstigning. Energimængde plejer vi at betegne med Q , standardenhed joule (J). Temperaturstigning betegner vi med ΔT (udtales 'delta T'), sådan at hvis temperaturen er steget, er ΔT positiv, og hvis temperaturen er faldet, er ΔT negativ. Hvis der ikke er tale om alt for store temperaturændringer, gælder udtrykket:

$$(1) \quad Q = C \cdot \Delta T,$$

hvor C er en konstant størrelse, der kaldes legemets **varmekapacitet** og måles i enheden J/K (joule pr kelvin eller joule pr grad). Hvor stor varmekapaciteten er, afhænger både af legemets størrelse og dets materiale.

Specifik varmekapacitet (varmefylde)

Hvis to genstande består af samme materiale, er deres varmekapaciteter proportionale med

deres masser. Når C betegner varmekapacitet og m masse, har vi altså:

$$(2) \quad C = m \cdot c$$

Konstanten c kalder vi materialets **specifikke varmekapacitet** eller dets **varmefylde**. Hvis vi sætter ligning (1) og (2) sammen, får vi:

$$(3) \quad Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Enheden for specifik varmekapacitet bliver J/(kg·K) (joule pr kilogram pr. grad). Mens varmekapacitet er en egenskab ved en bestemt genstand, er specifik varmekapacitet (varmefylde) en stofegenskab.

Regne-opgaver:

(1) I 'Databogen' opgives varmefylden for is til 2 J/(g·grad) = 2000 J/(kg·K). Hvor stor varmemængde (energimængde) kræves der for at opvarme 730 kg is fra -15 °C til -8 °C?

(2) Hvis den samme varmemængde skulle bruges til at opvarme 240 kg vand, som har varmefylde 4,2 J/(g·grad), hvor stor temperaturstigning kunne man så få?



(Foto: Kim Lund, Helsingør 1987)

4.2 Smeltevarme, fordampningsvarme og specifik varmekapacitet

Den størrelse, der kaldes isens smeltevarme, er et mål for, hvor meget energi der kræves for at smelte is, set i forhold til mængden af is. I forrige afsnit har I målt smeltevarmen i enheden J/g. Den tilsvarende størrelse for fordampning kaldes fordampningsvarme. Udfra sidste del af opgave 1 kan I nogenlunde beregne vands fordampningsvarme.

Et stofs specifikke varmekapacitet - også kaldet dets varmekapacitet - er et mål for, hvor meget varme der skal til at opvarme det, eller hvor meget det afgiver ved afkøling, set i forhold til mængden. Den specifikke varmekapacitet er en stofegenskab ligesom smeltevarme, fordampningsvarme og massetæthed. Udfra teksten til opgave 2 kan I beregne, at der kræves 4,2 kJ for at opvarme 1 kg vand én grad. Den specifikke varmekapacitet for is er ca. halvt så stor som for vand, så der kræves 2 kJ for at opvarme 1 kg is én grad. Ligesom mange andre stofegenskaber er den specifikke varmekapacitet ikke helt den samme ved alle temperaturer.

4.3 Sublimering

Is kan fordampe uden først at smelte. Det kaldes sublimering, og kan ske ved alle temperaturer. Den nødvendige energi, set i forhold til stofmængden, kaldes sublimeringsvarme. For is ved 0 °C er den summen af smeltevarme og fordampningsvarme ved 0 °C. Det koster altså lige meget energi at lave en bestemt mængde is om til damp, hvad enten det sublimerer eller det først smelter og så fordampes.

Når man tørrer tøj udendørs i hård frost, sublimerer isen. Først fryser vandet i tøjet, som derfor hænger og vipper stift frem og tilbage. Hvis luften er nogenlunde tør, fordampes isen snart, og tøjet blæfrer blødt i vinden. (Man skal ikke lade sig narre af, at tøjet føles vådt, hvis man henter det ind i en varm stue. Det er stueluftens vanddamp, der fortættes på det kolde tøj, og det forsvinder, så snart tøjet er stuevarmt.)

Den omvendte proces, at vanddamp fra luften bliver til is, er almindelig kendt. Der kommer rim på græs og buske, og der dannes 'isblomster' på indersiden af en vinduesrude eller på lakken af en bil, der står under den åbne nattehimmel. Fænomenet kendes også fra ting, der tages op af en fryser.

Smeltevarme

Når man smelter stof ved at tilføre (varme)energi, er der sammenhæng mellem den mængde stof, der smelter, og den mængde energi, der tilføres, efter at stoffet er varmet op til smeltepunktet. Med de sædvanlige betegnelser har vi:

$$Q = m \cdot L_s,$$

hvor L_s betegner **smeltevarme**, der er en stofkonstant med standardenhed J/kg (joule pr kilogram). Den varmemængde, der bruges til smeltning, er lige så stor som den, der frigives ved frysning af samme mængde stof. Isens smeltevarme er 334,4 kJ/kg.

Fordampningsvarme

Fordampning ligner på mange måder smeltning. Ligningen er helt analog, men fordampning finder sted ved alle temperaturer, med forskellig værdi af **fordampningsvarmen** L_f for forskellige temperaturer:

$$Q = m \cdot L_f$$

Tænke-opgave:

Vands fordampningsvarme ved 0 °C er 2500 kJ/kg og ved 100 °C 2260 kJ/kg. Hvordan kan man tænke sig at forklare den forskel?

4.4 I naturen

Vandets vekslen mellem fast, flydende og luftformig er vigtig for energitransporterne i naturen og dermed for vejr og klima.

Mange steder falder der store snemængder i vinterens løb, og selvom solen får magt allerede tidligt på året, kommer temperaturen i lang tid kun op til ca. 0 °C. Dels kastes ca. 80% af sollyset tilbage fra den hvide sne og får ikke afgivet sin energi; dels skal praktisk taget al sne smelte, før lufttemperaturen for alvor kan stige. Når sneen er væk, varmes jorden og luften til gengæld hurtigt op. I områder med fastlandsklima kan temperaturen på et par dage stige fra omkring 0 °C til over 20 °C. Også i Danmark sinkes temperaturstigningen, hvis der skal smeltes is eller sne, men virkningen bliver mindre voldsom.

Iskapper og gletsjere kan forsinke en klimatisk opvarmning i år eller århundreder. I fjeldområder nær bræer er klimaet om sommeren koldere end på tilsvarende områder i større afstand fra bræerne. Når varm sommerluft passerer bræerne, køles den af ved at smelte eller fordampe noget af isen.

Når vand fordampes fra havet eller fra en skov, bruges der energi, som afgives igen, når vandet fortættes i atmosfæren. Vanddampene transporterer på den måde energi fra jordoverfladen op i atmosfæren. Skiftevis fordampning og fortætning er en meget effektiv måde at transportere energi på, og den bruges også teknisk, for eksempel i visse typer atomreaktorer, hvor vand fordampes i den varme reaktorkerne og fortættes igen ved turbinerne.

Ideer og tangenter - Kapitel 4

(a) De praktiske opgaver kan udvides ved at man i opgave 1 tager tid mens temperaturen ændrer sig og tegner graf over forløbet. Hvad kan hændelsen fortælle?

(b) I 'kolonierne' i gamle dages Nordgrønland spredte man sidst på foråret kulstøv i lange striber på havneisen. Hvorfor?

(c) Diskuter andre eksempler på at skiftevis fordampning og fortætning bruges til energitransport.

(d) Det er almindeligt at forklare forskellen mellem fastlandsklima og kystklima med at vand har usædvanlig stor specifik varmekapacitet. Jeg vil påstå, at det snarere er fordi vand er flydende. Diskuter de to synspunkter, og overvej om det måske er mere relevant at interessere sig for vands fordampningsvarme i denne sammenhæng.

5. Når sø og hav fryser til

5.1 En stille ferskvandssø

Da jeg var dreng, løb vi om vinteren på skøjter på 'Flommen', en stor eng som blev oversvømmet om vinteren. Den blev meget hurtigere islagt end søen lige ved siden af, og selv i de vintre, hvor vi måtte løbe på skøjter på søen, var der flere steder sat kredse af grangrene ned i isen. De skulle advare om våger, som næsten altid dannedes over søens dybeste steder. Vi spekulerede en del over disse 'bundløse' huller, blandt andet fordi det var mærkeligt, at de kunne forhindre isen i at lægge sig.

Vi vidste, at en fisker så sent som i forige århundrede havde fanget en stor malle i søen. Malen er det nærmeste man i Danmark er kommet søslanger, og vi var temmelig sikre på, at der stadig gemte sig kæmpe-maller i de bundløse huller. De havde måske endda noget at gøre med at isen ikke ville lægge sig der. Senere har jeg lært, at fænomenet også kendes fra søer, hvor der aldrig har været maller, så nu hælder jeg mere til den fysiske forklaring, selvom den måske kan virke mindre fantasifuld end 'malleteorien':

Et stofs massetæthed afhænger normalt af temperaturen. Ved afkøling trækker de fleste stoffer sig sammen og får større massetæthed. Men vand er specielt: Nær frysepunktet begynder det at udvide sig igen. Molekylerne begynder at ordne sig som i is, der jo 'fylder mere' (har mindre massetæthed) end vand.

Tabel.

Sammenhæng mellem temperatur og massetæthed:

(Temperaturen er angivet i °C, massetætheden i kg/m³)

	temperatur	massetæthed
(is:	-20	920
	0	917)
vand:	0	999,84
	2	999,96
	3,8	1000,00
	6	999,96
	8	999,86
	100	958,36

(Tallene er fundet forskellige steder i 'Databasegen')

Først på vinteren afkøles en stille sø ovenfra af den kolde luft. Lad os forestille os, at vandets temperatur til at begynde med er 8 °C fra overfladen og ned til bunden. Ved afkøling vil det øverste vandlag få større massetæthed og synke ned.

Nyt 'varmt' vand vil komme op, afkøles og synke ned og så videre. Altså bliver alt vandet afkølet, sammen med det øverste. Jo dybere vandet er, desto længere varer det.

Afkølingen fortsætter, indtil der fra bund til overflade er 4 °C. Hvis luften er kold nok, bliver temperaturen i det øverste lag ved med at falde, men nu får vandet mindre massetæthed ved afkøling (se tabellen) og synker ikke. Mens søens dybe lag har temperaturen 4 °C, afkøles de øverste lag videre, og i frost når de hurtigt 0 °C, og der dannes is.

Det tager tid at afkøle søen i hele dens dybde. Derfor er dybe søer længere om at fryse end lavvandede, og hvis en sø har 'dybe huller', men ellers lavt vand og ikke for stærk strøm, vil der som regel være våger over 'hullerne', længe efter at resten af søen er islagt.

Når der trods alt kan dannes is på selv meget dybe søer, er det fordi forårets opvarmning af vandet ikke på samme måde som afkølingen giver anledning til lodrette strømme. Opvarmningen gør ikke overfladevandet tungere end de dybere lag, som jo med temperaturen 4 °C har den størst mulige massetæthed. Hvis de dybe lag ikke varmes op af sollyset eller blandes med de øvre af storme eller stærke strømme, er deres temperatur hele året omkring 4 °C. Det er kun de lag, der bliver varmet om sommeren, der skal køles ned om efteråret. I en vis forstand kan afkølingen af de dybere lag altså opfattes som en 'historisk' eller 'geologisk' proces. En gang, hvor klimaet er blevet koldere, har søen måske lokalt forsinket afkølingen i årtier eller århundreder.

Det var den enkleste udgave af forklaringen, og selvom den er rimelig, skal den korrigeres lidt: I søer, der er så store, at vinden kan få ordentligt greb, er der helt ned til omkring 30 m dybde ca. 1-2 °C når isen lægger sig. Temperaturen jævnes ud fordi vind og bølger blander de forskellige vandlag.

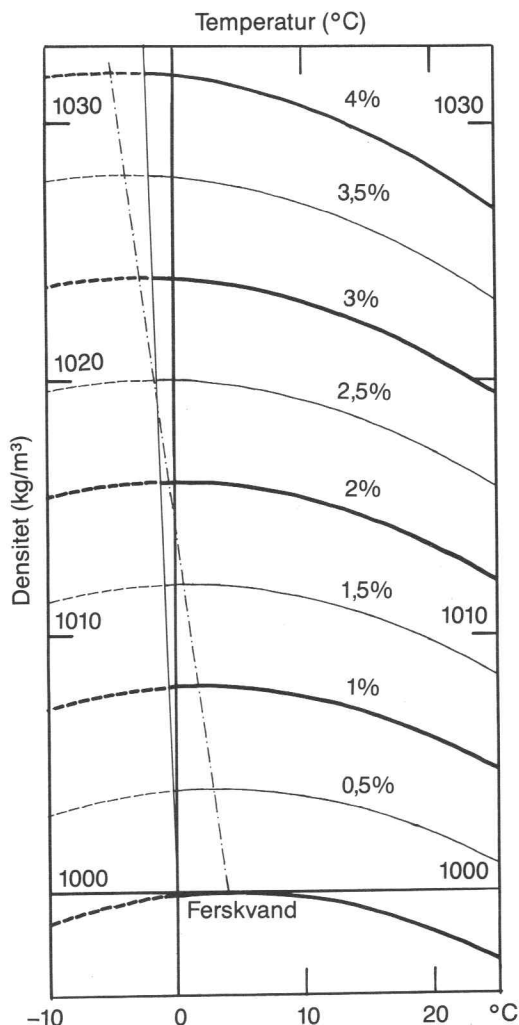
5.2 Hav og fjord

I Østersøen og Bottenhavet (Den botniske Bugt) indeholder vandet mindre end 1,5% salt, og så opfører det sig ligesom ferskvand, kun med lidt andre værdier for massetæthederne. Der dannes altså is på næsten samme måde som i store ferskvandssøer.

For vand med mellem 1,5% og 2,5% salt har massetætheden ikke noget maksimum. Den er næsten konstant i et temperaturområde nær frysepunktet.

I 'rigtigt' havvand med mere end ca. 2,5% salt er massetætheden størst ved frysepunktet. Ud fra diskussionen af ferskvandssøen kunne man der-

for tro, at alt vand skulle køles ned til frysepunktet, før der kunne dannes is. Altså at der kun kunne dannes is på lavvandede steder. - Men sådan er det ikke, så der må være noget andet, der spiller ind.



Tilnærmede grafer over densiteten som funktion af temperaturen for havvand med forskellig saltholdighed. Den skrå, tynde linie følger frysepunkterne, så de punkterede kurver til venstre for linien gælder underafkølet vand (se nærmere i kapitel 9). Den stiplede linie (---) følger densitetsmaksima. Ved ca. 2,5% rykker densitetsmaksimum ned under frysepunktet.

Godthåbsfjordens vand har en saltholdighed på godt 3%, og er for det meste flere hundrede meter dybt. Men i stille, klare efterårsnætter dannes et tyndt lag is, som igen forsvinder i solen eller bølgerne næste dag. Isen er næsten usynlig og kan være så tynd, at den følger bølgerne som en tynd hinde på vandet. Når den knækkes er den skarp som glas, og kan skære lange flænger i grønlændernes traditionelle skindbåde.

Også træbåde skæres af den nye is og er derfor normalt beskyttet med metalplader, den såkaldte isforhudning. En glasfiberbåd behøver derimod ikke særlig beskyttelse. Dens 'gelcoat' (det yderste lag af plastic) skæres ikke af is. Til gengæld er de fleste små glasfiberbåde meget spinkle, og bliver let klemte af lidt tykkere isflager. Fiskekuttere af glasfiber er derimod lige så solide som træ- eller stålbåde.

Den nye is dannes især foran elve, omkring isfjelde og inderst i stille vige. Det sidste kunne måske hænge sammen med, at der er lavvandet, men de andre tilfælde peger på en anden forklaring, nemlig ferskvand.

Ferskvand er lettere end saltvand, og i stille vejr flyder elvens vand ovenpå fjordens ligesom smeltet vandet fra isfjeldene. Selvom det ferske vand afkøles, bliver det ikke tungt nok til at synke ned gennem saltvandet. I stille vejr optræder ferskvandet derfor som en pyt eller en lavvandet sø oven på det egentlige fjordvand. Der dannes hurtigt is, men den forsvinder igen, når der kommer bevægelse i vandet.

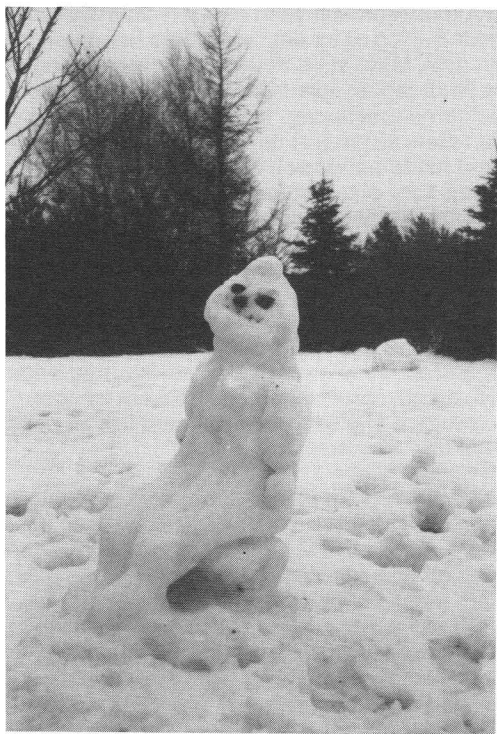
Polhavets is skyldes på lignende måde de sibirske floder, der sender fersk vand ud i Polhavet og giver de øvre lag lavere saltholdighed.

Praktisk opgave

Fremstil en række forskellige saltopløsninger med koncentrationer fra 0 til 10%. Mål deres massefylde med de bedste metoder, I har til rådighed. Mål så nøjagtigt som I kan, og husk at massefylden også afhænger af temperaturen, så de forskellige opløsninger skal have nogenlunde samme temperatur. Hvis I bruger vejning og rumfangsmåling, så brug eventuelt målekolber til rumfangsbestemmelsen. Kan I finde et såkaldt aræometer, er det nok det hurtigste at bruge.

Lav tabel og graf, og prøv at lave en formel til at beregne massefylden ud fra saltprocenten.

Hvis ikke frosten er meget streng, er isdannelsen i havet afhængig af temmelig stille vejr. Derfor ser man tit, at en storm ikke bare slår isen i stykker, men at den faktisk smelter den, hvis ikke saltvandet er lige ved sit frysepunkt.



(Dronningmølle, december 1981)

Praktisk opgave

(Opgaven kan måske bedst deles over to dage.)

Tag et glas med ferskvand, et med 5% og et med 10% saltvand. Lige meget i hver (og ikke for meget). Anbring et termometer i hver og stil dem i køleskab, indtil deres temperatur er nogle få grader celsius.

Tag glassene ud af køleskabet og put et stykke is i hver. Hold øje med termometrene. Hvad sker der med temperaturerne? Hvad sker der med isterningerne?

Hvis der er sne, så prøv med sne i stedet for isterninger (lige meget sne i hvert glas).

5.3 Når saltvand fryser

Flodvand indeholder så små mængder salte, at vi kalder det fersk, men alligevel stammer oceanernes salthed fra floderne. Gennem milliarder af år har de vasket salte ud i havet, og når vandet er fordampet er saltene blevet tilbage. Regn er mere fersk end flodvand (men ikke helt fersk, for det optager små mængder salt m.v. fra atmosfæren). Der løber altså mere salt ud i havet end der forsvinder, og derfor bliver havet ganske langsomt salttere.

I 'Det døde Hav' og andre saltsøer er fordampning lige så stor som tilstrømningen af flodvand,

sådan at de ikke 'løber over deres bredder'. Derfor bliver saltene i søen. Fra Middelhavet er fordampningen stor, og vandet er salttere end i Atlanterhavet, mens Polhavet har lav saltholdighed på grund af den ringe fordampning.

Altså: Når en opløsning som saltvand fordampes, er det kun vandet, der 'går over'. Når det koges eller bare står og damper væk, bliver saltet tilbage. I 'De varme Lande' fremstiller man salt ved at lede havvand ind i flade bassiner og lade det fordampe i solen.

Ved frysning sker noget lignende. Iskrystallerne indeholder ikke salt, og sker frysningen langsomt, dannes et lag fersk is, og saltkoncentrationen under isen vokser. Hvis der ikke er et meget tykt vandlag, stiger saltkoncentrationen efterhånden så meget, at frysepunktet sænkes.

Hvis frysningen går hurtigt, kan saltet ikke nå at forsvinde ned i vandet. Det indkapsles som små dråber saltvand i isen, og hvis temperaturen falder, krystalliserer mere og mere af dråbernes vand ud som is, indtil saltopløsningen bliver mættet. Først da kan man opnå at der også udskilles krystaller af salt. Det sker ved ca. -23°C . I arktiske egne kan havisen altså indeholde saltkrystaller når isens temperatur er under -23°C . Ved lidt højere temperatur indeholder isen tunge dråber af koncentreret saltopløsning. I disse dråber vil der hele tiden smelte lidt is og fryse lidt vand, og dråberne synker på den måde langsomt ned gennem isen. Flere år gammel havis kan derfor tit bruges til drikkevand.

Ideer og tangenter - Kapitel 5

(a) Afkølingen af en sø om efteråret skyldes kold luft over vandet, fordampning og udstråling af varme til nattehimlen. Hvordan tilføres varmen om foråret? Hvordan går det til, når isen på en sø smelter om foråret? Hvordan bliver temperaturfordelingen ned gennem søen efterhånden som sommeren kommer?

(b) Hvor omkring ligger saltholdighedsgrænserne 1,5% og 2,5% i de danske farvande?

(c) Tynd nyis kan skære i en kraftig egetræsbåd, men generer ikke en tynd plasticjolle ('yoghurtbæger'). Hvad ligger der i egenskaben 'hårdhed'?

(d) I Sovjetunionen havde man en overgang planer om at vende nogle af de største floder og sende vandet sydpå til tørstende landbrugsområder i stedet for nordpå til Polhavet. Overvej, hvad det kunne medføre for isforholdene i Polhavet?

(e) Hvorfor skal nedfrysning af madvarer helst foregå hurtigt?

6. Is er et plastisk stof

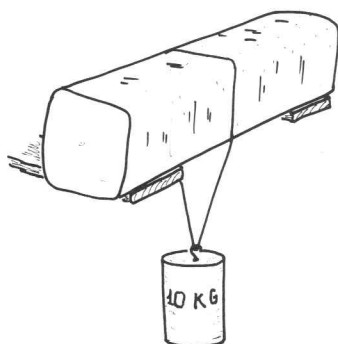
Ny ferskvandsis er som nævnt hård. Havis er blødere på grund af sit indhold af luft og salt. Ny is på havet er ofte »grødis«, der slet ikke hænger sammen, men selvfølgelig alligevel kan genere små både, fordi den skal skubbes til side og slider på båden.

Men al is giver efter for et tilstrækkeligt stort og sejt tryk. Billedet side 8 af Lyngmarksfjeldets Iskappe viser hvordan gletsjertungerne flyder ned ad bjergsiden. Det ses i nærbillede her:



En gletsjertunge fra Lyngmarksfjeldets iskappe glider ud over en stejl skrænt. Revnerne viser, at der er grænser for, hvor flydende isen er. Selv om bevægelsen er for langsom til at kunne ses med det blotte øje, går turen ud over skrænten alligevel for hurtigt til at revnerne når at flyde sammen. Nedenfor det stejle »is-fald« flyder isen igen sammen til en helhed med nogenlunde pæn og glat overflade.

Praktisk opgave.



(1) Lav i forvejen en stang af klar, hård is. Hvis der er god tid til udførelsen af selve opgaven, kan man fryse vand i en mælkekarton, men ellers er det lettere med en stang, der kun er ca. halvt så tyk. Isen bør ikke opbevares alt for koldt. Når opgaven udføres skal den helst have en temperatur nær 0 °C.

(2) Anbring stangen vandret på en passende understøttelse (ikke varmeledende!), og hæng et lod på 10-15 kg i en ikke for tyk pianotråd (max 0,5 mm), der lægges én gang omkring isen. Hvad sker der? (Det er bedst at stille op straks i begyndelsen af en time og se til opstillingen med jævne mellemrum mens man laver noget andet. Det tager tid.)

En almindelig forklaring på isens plasticitet er, at smeltepunktet falder, når trykket gøres større. Det er anderledes end de fleste andre stoffer, og hænger sammen med, at isen udvider sig ved frykning. Når et system i ligevægt udsættes for højt tryk, vil der som regel ske ændringer i systemet, så trykket bliver knap så stort. Når is omdannes til vand fylder det mindre, og giver dermed mindre tryk.

Et tryk på 100 atm sænker frysepunktet ca. $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, og et tryk på 1 atm sænker det ca. $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Når en gletsjer glider ned ad en bjergside og møder en forhindring, for eksempel en klippeknold, bliver trykket stort, hvor isen maser mod forhindringen. Hvis temperaturen i forvejen er tæt ved smeltepunktet, kan det forøgede tryk betyde, at noget af isen smelter. Så løber smelte vandet om bag forhindringen, hvor trykket er mindre, og fryser til is igen.

'Tænke-opgave'

Forklar ved hjælp af denne model, hvad der skete i opgaven med pianotråden og isen.

Smeltning og genfrysning er ikke nok til at forklare iskappers og gletsjeres bevægelse. Selv på bunden af Antarktis kommer trykket ikke op over ca. 400 atm, svarende til en frysepunktssænkning på ca. $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Is er også ved lave temperaturer et plastisk stof, det vil sige et stof, der kan deformeres af tilstrækkelig langvarigt og kraftigt tryk. Man forsker stadig i, hvordan is egentlig er plastisk, dvs. hvilke love der gælder for deformationerne. Den simpleste model, hvis man vil forstå noget af gletsjerbevægelsen, er at tænke på is som en meget tyktflydende væske.

Ideer og tangenter - Kapitel 6

(a) I de fleste beskrivelser af ekspeditioner over Indlandsisen omtales 'sprækkezoner' nær isranden som de farligste områder at passere. Sprækkerne dannes ofte over 'buler' i underlaget, men kun hvor isen er i bevægelse. Sammenlign med tyktflydende væskers bevægelse eller med deformation af metaller.

(b) Overvej andre stoffer med plastiske egenskaber, find ud af, om de udvider sig eller trækker sig sammen ved størkning.

(c) Lav ved hjælp af en stump træ en simpel model af et bjerg, der er fladt på toppen. Læg en klump 'vidunder-kit' på toppen og se, hvordan gjetsjerne flyder ned ad bjergets sider.

(d) 'Vidunder-kit' demonstrerer, hvordan de fleste stoffer er elastiske (fjederer) ved hurtige påvirkninger, men giver efter ved langsomme. De formler vi plejer at bruge i fysikken, gælder altid kun i det ene ydertilfælde. De fleste stoffer viser også kun den ene egenskab under sædvanlige forhold. Glaskugler er elastiske, når de støder sammen (hvis man ikke slår dem i stykker), men flere hundrede år gamle glaseruder er tykkeste for neden fordi glas faktisk flyder, når bare det har tid nok.

7. Iskapper og gletsjere.

I bogen «De danske Udlande» står der om Island blandt andet:

*»270 Kvadrat-Mil ere dækkede med sammenfros-
sen Is og Sne og kaldes da Jøklar. Den faste, blaa-
lige Jøkels skyder sig hist og her ned igennem
Dalene og faar da navn af Skridjøkel. Gaa Jøk-
lerne gennem trange Indsnævringer, kunne de
med voldsom Magt bryde frem; glide de derimod
ud over et Sletteland, lægge de sig jævnt dero-
ver. De føre med sig, hvad de træffe på deres Vej:
Stene og Klippestykker, hvoraf nogle blive lig-
gende foran Jøklen og danne Høje og Rygge,
medens nogle falde ned igennem Jøkelspræk-
kerne og males til fint Stenstøv eller Ler; det er
herfra Jøkelelvenes mælkehvide Farve hidrører.
Naar Jøklen skurer over Klippeflader eller langs
med Klipper, skærer den i disse utallige Striber.«*

I Arktis kan man risikere sne en hvilken som helst dag i året, men i sommertiden bliver den sjældent liggende mere end et par timer, med mindre den

falder højt oppe i fjeldet, på gletsjere eller på gammel sne. For sne er der året rundt. Smeltevandet strømmer på alle varme dage sommeren igennem, og som regel når den nye efterårssne at komme, før de sidste pletter af gammel sne er væk. Sneen bliver især liggende på fjeldenes nordsider og i kløfter, hvor solen aldrig bliver stærk; men selv på Lyngmarksfjeldets solstegte sydskråning er der en lille, næsten cirkelrund plet sne, som kun smelter væk i meget varme somre, som for eksempel i 1977, hvor der i hele juli og august knap sås en sky på himlen.

Den bliver der altså ingen gletsjer af, kun hvor sneen bliver liggende år efter år, kan de dannes. Og selv 'den evige sne' er ikke en gletsjer, først skal sneen omdannes til is og flyde ud til siderne eller ned ad en bjergside.

Dette kapitel fortæller om resultater af gletsjerforskningen (glaciologien). Derfor vil jeg her bruge fagordet 'gletsjer' til alt fra isskjoldet over Antarktis til den mindste dalgletsjer.



(Tsutsavagge, Lapland, juli 1976)

Om sommeren strømmer smeltevandet i elvene, mens sneen stadig ligger på beskyttede steder.

7.1 Sne, firn og gletsjeris

Den enkleste opdeling af sne og is bygger på massetætheden. Under sjældne forhold kan den i helt nyfalden sne være så lav som ca. 10 kg/m^3 (10 g/l). Det vil sige, at kun omkring 1% af sneens rumfang er is. Det kaldes vild sne ('wild snow') og dannes i absolut vindstille ved ekstremt lave temperaturer. Også normal nysne kan være meget løs. I en fortælling fra Nuuk skriver Peter Rautas:

»December.

Tidlig lørdag formiddag ved Kutterkajen. I flere dage har sneen væltet ned, og nu skal der fejles og skovles. Mens himlen rødmer nede i syd over øerne, er jeg i gang på 'MALENE' med den stive kost. Den tynde nysis i Vestervig er slået i stykker af de første både, og sneen ligger vanddrukken og mørk over revnerne.

Siden i går har det været vindstille, og sneen ligger som tykke, luftige puder højt oven på alting. Pælene på kajen har dobbelt højde, og narres man til at støtte sig til dem, er det som at fortsætte op ad en trappe et trin for langt. Puderne falder sammen, og bliver til kold luft og et par dråber vand på hænderne.«

Sneen er ikke 'ny' ret længe. Lidt vind eller en halv times sol kan få den til falde sammen.

Almindelig sne har massetæthed omkring 250 kg/m^3 . Hvis den er pakket sammen af hård vind og frost, kan den nå op til op til 400 kg/m^3 . Når massetætheden er større end 400 kg/m^3 , taler vi om firn, og over 850 kg/m^3 om egentlig gletsjeris.

Det er bekvemt, men egentlig ret uinteressant kun at inddele ved hjælp af massetæthed. Det er nok så vigtigt at se det i sammenhæng med omdannelsen fra sne over firn til is. Så er firn betegnelsen for våd, sammenfalden sne, der har overlevet en sommer uden at blive til is, og gletsjeris (bræis) er firn, der er blevet presset så meget sammen, at den er luft- og vandtæt. De to måder at definere på passer rimeligt sammen i forbindelse med gletsjerdannelse.

7.2 Ligevægt og damptryk

Vandmolekylerne i sne og firn er aldrig i ro. Hele tiden er der is, der sublimerer (fordamper) og damp, der fortættes til is. Tit bevæger vandmolekylerne sig bare frem og tilbage indenfor et lille område, men de kan også flytte sig fra ét område til et andet på mere eller mindre ordnet måde.

Ud fra snes massetæthed kan vi regne ud, at det kun er mellem 25 og 40% af rumfanget, der er is, så der er meget luft mellem iskrystallerne. Sublimationen koster energi, men hvis der fortættes lige så meget som der sublimerer, bliver energien 'betalt tilbage'. Sublimation og frysningsholder hinanden i balance, så der hele tiden er samme koncentration af damp i luften. Da der

bruges og afleveres lige meget energi, holder temperaturen sig også konstant. Vi siger så, at luften er mættet med vanddamp, eller at der er ligevægt. Dampens tryk ved mætning kaldes mætningstrykket.

Hvis luften er umættet (damptrykket er under mætningstrykket), vil der sublimeres mere end der fryser, indtil luften måske bliver mættet. Det koster energi, så temperaturen falder. Hvis luften er overmættet (damptrykket er højere end mætningstrykket), vil der fortættes vanddamp på iskrystallerne. Det frigiver energi, så temperaturen stiger.

Mange fysiske og kemiske processer går hurtigere ved høj temperatur end ved lav. Det gælder også for sublimation, så ved højere temperatur skal der være mere vanddamp over iskrystallerne for at hamle op med den hurtigere sublimation. Derfor er mætningstrykket større ved høj temperatur end ved lav.

Altså: jo højere temperaturen er, desto større damptryk (dvs større dampkoncentration) skal der til for at have ligevægt.

7.3 Sne bliver til is

Omdannelsen af sne til is skyldes ikke én, men mange processer. Det er svært at sige, hvilke der er vigtigst; det varierer fra gletsjer til gletsjer og fra sted til sted i den samme gletsjer. Lad os se på nogle få udvalgte:

(a) I de øverste og koldeste dele af gletsjeren er temperaturen altid under 0°C , så der er ingen smeltning. Men der sker sublimation og frysnings, så luften mellem iskrystallerne bliver mættet med vanddamp. Hvis dampmolekylerne kun farer tilfældigt rundt mellem hinanden og ikke bevæger sig for langt omkring, sker der ingen energitransport i gletsjeren. Men krystallerne ændrer form, for der er en tendens til, at dampen især fryser fast, der hvor to krystaller rører hinanden. Efterhånden bliver krystallerne på den måde større og mere afrundede. Sneen ændrer sig altså uden ydre påvirkning (men jo højere temperaturen er, desto hurtigere går det). Processen forstærkes af, at spidserne ofte knækker af snekrystallerne på grund af tryk fra blæst eller nye snelag ovenpå.

Når snekrystallerne bliver mere afrundede, bliver det lettere at presse sneen sammen, og i gletsjerens øverste dele sker omdannelsen til firn først og fremmest ved sammenpresning efterhånden som nye snelag lægger sig ovenpå.

(b) Længere nede mod dalen bliver sommertemperaturen så høj, at det øverste snelag smelter. Selvom sneen dybere nede har temperatur under 0°C , synker vandet et stykke, før det fryser. Denne proces transporterer ikke kun vand, men også energi: Ved gletsjerens overflade afleverer solen eller luften energi, som smelter sneen. Van-

det løber ned i sneen, og når det fryser, afleveres energien, så temperaturen kommer op på 0 °C. Jo længere nede ad gletsjeren vi er, desto mere smeltning er der, og desto tykkere bliver islaget. Nederst ved fronten bliver gletsjeren i løbet af sommeren til is hele vejen igennem.

(c) Endnu en proces, der omdanner sne til is, består i dannelse af rim inde i sneen. Det sker om efteråret i sne, hvor luften kan bevæge sig. I sommerens løb har smeltevand ført energi ned i gletsjeren, hvor det har hævet temperaturen til nær 0 °C. Så kommer efteråret med hård frost og stærk afkøling af de øverste snelag, som nu bliver de koldeste. Hvor sneen er varmest, sker der mere fordampning end fortætning, for dampen kan slippe væk, så luften bliver aldrig mættet. Hvor det er koldest, kan fordampningen ikke følge med fortætningen, fordi tilstrømmende damp nedefra gør luften overmættet. Alt i alt vil molekylerne altså vandre opad.

Når dampen vandrer opad, fortsætter sublimationen i de dybe lag. Det bruger energi, så de afkøles. I de øvre lag er mætningstrykket lavere end i de dybe lag, og den tilstrømmende vanddamp gør, at luften mellem iskrystallerne bliver ved at være overmættet. Der sker frysning, så der afgives energi. Når efterårskulden kommer, transporterer sublimation og frysning altså energi opad i gletsjeren, ligesom smeltning og frysning om sommeren transporterer energi nedad.



(Efter B. Fristrup »Indlandsisen«, med venlig tilladelse fra Forlaget RHODOS).

7.4 Gletsjeres materiale-husholdning

På et højedkort over Grønlands Indlandsis kan man ane en sænkning, der strækker sig tværs over isen fra Ammassalik på Østkysten til Diskobugten på Vestkysten. Indlandsisen består altså af to iskapper ved siden af hinanden.

Det er klimaet, der bestemmer, om en iskappe eller gletsjer vokser eller bliver mindre. Mere præcist er det balancen mellem snefald og sommervarme. Væksten om vinteren bestemmes af mængden af sne, og svindet om sommeren bestemmes først og fremmest af afsmeltningen. Det er ikke de eneste måder, der tilføres eller fjernes materiale på, men for de fleste gletsjere er det langt de vigtigste. En vigtig gren af gletsjerforskningen er studiet af tilførsel og fjernelse af materiale, altså gletsjeres 'materiale-husholdning'.

Når det kan være rimeligt at tale om to iskapper i Indlandsisen er det fordi deres 'husholdnings-regnskaber' er forskellige:

Den nordlige iskappe overlever først og fremmest i kraft af lav sommertemperatur, som gør afsmeltningen lille. Snefaldet er meget ringe, og jo

længere mod nord man kommer, desto ringere er det, sådan at det nordligste Grønland (Pearyland) er isfrit.

Den sydlige iskappe har meget stor afsmeltning - dens sydspids ligger på samme geografiske bredde som Oslo - men også meget stort snefald, som skyldes 'varm', fugtig atlantehavsluft, der tvinges op over isen, hvor den afkøles og giver sne. Man kan godt forestille sig at en mindre klimaændring får den ene iskappe til at vokse og den anden til at blive mindre. Det kunne for eksempel ske, hvis nedbøren begyndte at falde nordligere end hidtil.

Detaljerede studier af materialehusholdning finder som regel sted på mindre gletsjere, hvor der er mulighed for at holde øje med de fleste af de processer, der spiller ind. I den svenske del af Lapland har man for eksempel i mange år studeret 'Storglaciären' på østsiden af Kebnekaise.

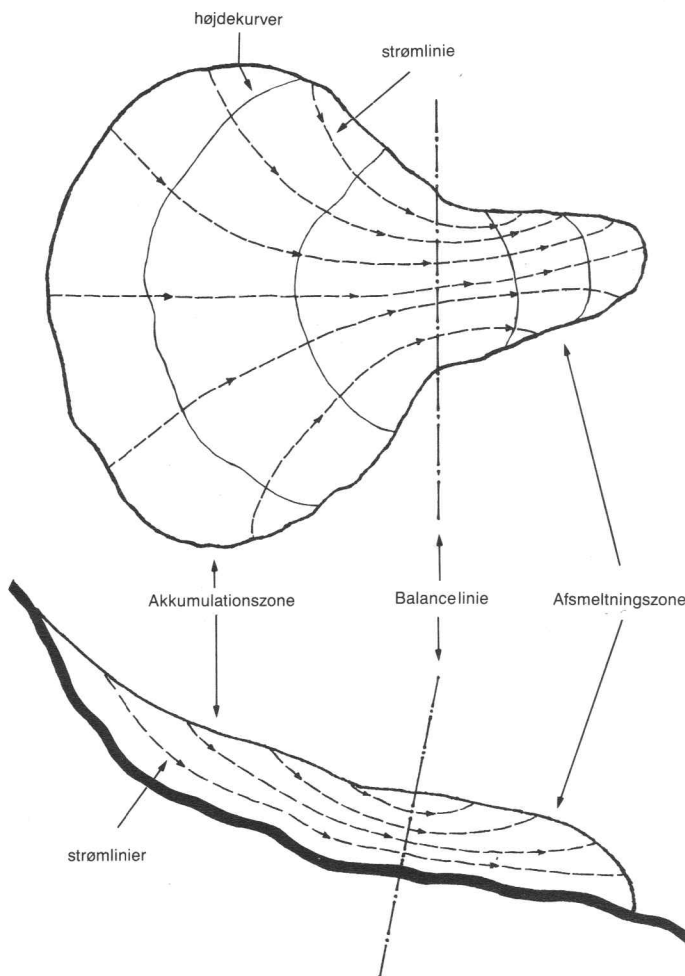
7.5 En dalgletsjer

Tegningen viser nogle karakteristiske træk ved en såkaldt dalgletsjer, det vil sige en gletsjer, der strækker sig i en dal fra det egentlige højfjeld og ned i et lavfjeldsområde. Hvilke højder der er tale om, afhænger selvfølgelig af breddegraden. Nær ækvator findes gletsjere kun i stor højde, mens de i Arktis kan nå helt ned til havet.

Den øverste del af gletsjeren kaldes 'ophobningszonen' eller 'akkumulationszonen'. Her er snefaldet større end smeltningen. Den nederste del kaldes 'smeltningssonen' eller 'ablationszonen', og her forsvinder der mere end der kommer. Midtvejs er der et smalt område, hvor ophobning og smeltning nogenlunde holder hinanden i ba-

lance. Det kaldes 'ligevægtslinien' eller 'masse-balancelinien' og flytter sig lidt fra år til år. Hvis gletsjeren skal holde sin form og størrelse nogenlunde uændret, skal akkumulationszone og ablationszone være i balance med hinanden, og isen skal flyde fra ophobningszonen til afsmeltningssonen. Pilene på tegningen angiver bevægelsesretning.

Hvis klimaet ændrer sig, så snefaldet vokser eller somrene bliver koldere, rykker balancelinien nedad og ablationszonen bliver en overgang for lille til at klare tilstrækkelig smeltning. Så vokser gletsjeren nedad mod dalen indtil ablationszonen er stor nok og balancen er genoprettet.



Kort og snit af idealiseret dalgletsjer. I de fleste tilfælde er undergrunden så ujævn, at gletsjeren bliver både skæv og bulet.

Hvis klimaet bliver varmere, eller der kommer mindre sne, rykker balancelinien opad, så ablationszonen bliver for stor, og akkumulationszonen tilsvarende mindre. Så er der mindre is, der flyder nedad, og den nederste del af gletsjeren deltager ikke længere i isens bevægelse. Den ligger som 'dødis' og smelter langsomt væk.

Når en gletsjer vokser, bevæger isen sig fremad. Gletsjerfronten er 'levende' og som regel høj og stejl. Når gletsjeren smelter væk ('trækker sig tilbage'), er isen nær gletsjerfronten 'dødis'. Den ligger stille og smelter, og fronten bliver snart temmelig flad.

Ideer og tangenter - Kapitel 7

(a) I dette kapitel er det fristende at glide ud ad geografiske tangenter snarere end fysiske. Man kan også læse og diskutere hvordan fjeldvandrer og bjergbestigerne i deres 'læreboøger' beskriver isen og de problemer, den byder på.

(b) Man har ofte undret sig over, at Island og Grønland hedder som de gør. En almindelig myte er, at det var Erik den Røde, der havde en udviklet sans for reklame, da han døbte landet Grønland. Det er måske ikke forkert, men i dag mener mange historikere, at de sydgrønlandske fjorde faktisk var grønnere end fjordene på Island, hvor køer og får havde græset løs i nogle hundrede år.

(c) Når det sner, og vejret er stille, kan man opleve en form for 'white-out', fordi sneoverfladen er helt diffus, og snefaldet ikke giver nogen horisont at rette sig efter. Også tåge eller snefygning kan give situationer, hvor enhver fornemmelse af afstand og retninger forsvinder. Så er et kompas nødvendigt, med mindre man med slæde er på vej hjem ad den sædvanlige slædevej. Hundene styrer med næsen og lader sig ikke distrahere af manglende udsigt.

En enkelt gang har jeg dog troet, at de tog fejl. Det var tåge (eller var vi oppe i de lavtliggende skyer?), en halv snes kilometer hjemmefra, og hundene løb frisk afsted, for maden ventede derhjemme. Med ét så jeg foran mig nogle store, sorte klipper, som jeg ikke genkendte. De burde ikke være på ruten, men inden jeg nåede at standse slæden, skrumpede klipperne pludselig ind til ingenting og gled forbi slæden som et par hundelorte.

(d) Når Peter Rautas står og fejer dækket på sin båd, mens nattehimmelen rødmer i syd, er klokken måske lidt over ni om formiddagen. Der er ikke rigtigt vintermørke ved Nuuk, men i december er solen kun fremme nogle få timer. På den bredde er der heller ikke midnatssol, men i juni er det lyst døgnet rundt. På et par timer er aftenskumringen blevet til morgendæmring og den nye dag dukker frem.

(e) Alle gletsjere på tempererede bredder er ca. 0 °C ved bunden. Det hænger sammen med, at der er en energistrøm (som varmeledning) op gennem jordskorpen fra det varme indre. Gletsjeren isolerer, så temperaturen stiger, indtil den når isens smeltepunkt. Så kan smeltning fra bunden af gletsjeren optage den energi, der strømmer op nedefra, og smeltevandet transporterer energien væk.

Højarktiske gletsjere, der ikke er for tykke, kan godt have bundtemperaturer under 0 °C og altså være frosset fast til underlaget. Tykke gletsjere smelter altid i bunden. I Antarktis mener man, at der visse steder ligefrem er vand under isen.

Varmeledning

Når to legemer med forskellig temperatur rører ved hinanden, sker der energioverførsel fra det legeme der har højest temperatur, til det der har lavest. Temperaturen er et mål for atomers og molekylers tilfældige bevægelse, og når legemerne rører ved hinanden, forplanter denne bevægelse sig, så den bliver ligeligt fordelt mellem alle molekyler. Det kaldes varmeledning, og medfører en temperaturudjævning.

Nogle stoffer, især metaller, er gode varmeledere. Andre er dårlige og kaldes isolatorer. Det

er især luftholdige materialer som skumplast, sne, mineraluld m.v., hvor luften ikke kan bevæge sig for meget. Forskellige materials anvendelighed som varmeledere eller isolatorer kan udtrykkes ved deres varmeledningsevne, som både geofysikere, arkitekter, ingeniører og andre teknikere og forskere arbejder med.

I 'Databogen' kan man finde værdier for varmeledning og desuden de såkaldte K-værdier, som fortæller om for eksempel husvægges og vinduers isoleringsevne.

Varmestråling

Alle legemer udsender stråling. Glødetråden i en elektrisk pære udsender lys, der er bestemt af dens temperatur. Hvis man skruer ned for spændingen falder trådens temperatur, og så bliver lyset svagere. Samtidig skifter det farve fra hvidt over gult mod rødt, indtil strålingen bliver usynlig. Men den er der stadig: I begyndelsen kan vi mærke den som varmemestråling, hvis vi holder håndryggen hen i nærheden, men hvis vi bliver ved med at skrue ned, bliver tråden så kold, at vi ikke længere kan mærke strålingen. Men den kan stadig måles med specielle apparater.

Der er stråling fra alle legemer uanset temperaturen, og jo højere temperaturen er, desto kortere bølgelængde har den udsendte stråling. Hvis man kan måle sammensætning af strålingen fra et legeme, kan man derfor beregne dets overfladetemperatur.

Højere temperatur betyder også større energi-udsendelse. Effekten er proportional med fjerde potens af den absolutte temperatur. Hvis vi ændrer en glødetråds temperatur fra 1000 K til 3000 K, bliver den energi, der udsendes pr tid altså 81 gange så stor.

Når to flader med forskellig temperatur anbringes over for hinanden, vil de begge udsende stråling, og begge vil absorbere noget af den stråling der rammer dem. Fordi der udsendes langt mere energi ved den høje temperatur, vil resultatet altid være, at temperaturen udjævnes ligesom ved varmeledning. Når en sø med temperatur på 0 °C er anbragt 'over for' nattehimmels kulde, stråler den meget mere varme ud fra overfladen end den modtager oppefra.



En julidag i 1977 var jeg på vej mod en dalbræ på Skarvefjeld nær Diskos sydspids. En lille bæk løb ned ad skråningen, og med ét gik det op for mig, at den lyste hvidt i bunden. Det var bræis. Uden at vide det var jeg kommet langt ind over dødisen, der kun var dækket af få centimeter grus.

Energitransport ved stoftransport

Når vi ser bort fra metallerne, er de fleste stoffer dårlige varmeledere. Energitransport foregår derfor mest i forbindelse med stoftransport. For eksempel transporterer havstrømmene energi mod nord og syd fra de tropiske egne. Vandet opvarmes i de varme egne og afkøles i de kolde, og medvirker derved til den globale temperaturudjævning. Effektiviteten afhænger bl.a. af hvor meget vand, der løber rundt i strømmene. (Og i huse med centralvarmeanlæg reguleres energitilførslen til stuerne ved at variere vandstrømmen i radiatorerne). Effektiviteten afhænger også af stoffets specifikke varmekapacitet og de temperaturforskelle, man kan arbejde med.

En endnu mere effektiv energitransport fås ved

skiftevis fordampning og fortætning. Når vand fordamper bruges energi, og når dampene fortættes igen, afleveres energien. Det kræver mere energi at fordampe 1 g vand end at opvarme 50 g vand 10 grader. De transporterede stofmængder bliver derfor meget mindre.

I gletsjere spiller varmeledning ingen stor rolle. Det meste af den interne energitransport skyldes bevægelse af vand og damp kombineret med smeltning og frysning eller sublimation og frysning. Derimod sker tilførsel og fjernelse af energi på mange måder, og varmestråling spiller en stor rolle både for opvarmning og afkøling af gletsjeren.

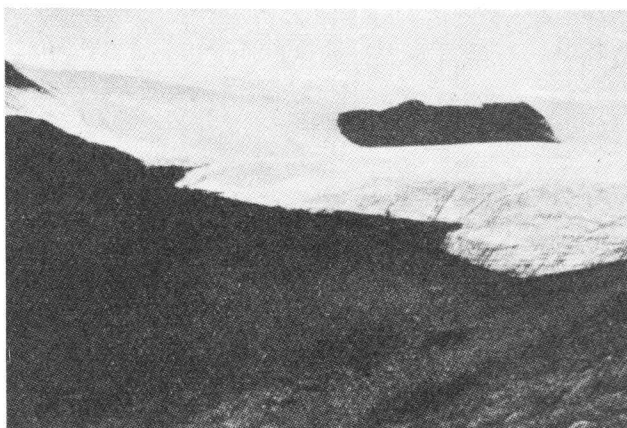
8. Klimavariationer. Istider.

8.1 Lyngmarksbræen.

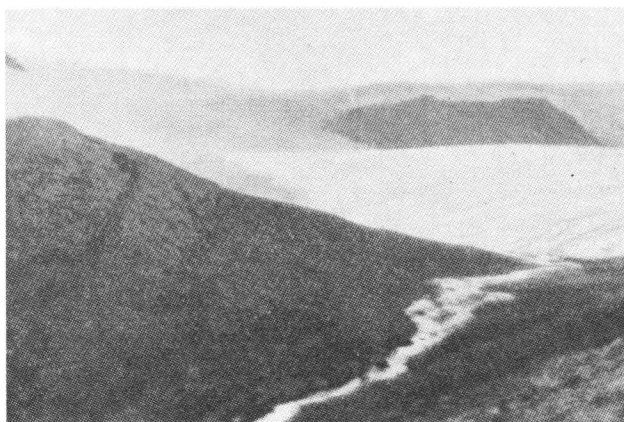
De fire fotografier er taget fra samme sted og gengives i nogenlunde samme målestok. De viser Lyngmarksbræen, den sydligste gjetsjertunge fra Lyngmarksfjeldets iskappe. (Længst til venstre på billedet side 8).

Første foto er taget af svejtseren Mercanton i 1912, og det næste i 1923 af danskeren F.Froda. Bræen har ændret form og er smeltet noget tilbage. Der er mere vand på Frodas billede, fordi

sommeren 1923 var meget varm. Tredie og fjerde foto er fra henholdsvis 1963 og 1977. Varden i forgrunden er den, Mercanton og Froda fotograferede fra, og bræen er nu ca halvanden kilometer væk. I 'gryden' mellem varde og brækant kan man i 1963 se en klump 'dødis' bag vardens top, helt uden forbindelse med selve bræen. I 1977 er brækanten smeltet yderligere tilbage, og dødisen er ikke længere synlig over jorden. Men man støder stadig på is, hvis man graver ned i gruset. Fra 1963 til 1977 er brækanten smeltet ca. 120 m længere tilbage. Den var meget flad i 1977, så det er muligvis dødis.



(Mercanton 1912)



(F. Froda 1923)



(PCJ 1963)



(PCJ 1977)

Gletsjere bliver større eller mindre, men isen bevæger sig altid kun fremad. Jord og sten slæbes med og bliver liggende, når isen smelter. I de sidste 100 år er Lyngmarksbræen blevet mindre, og meget af isen mellem varden og den nuværende brækant har måske allerede i 1923 været dødis. Froda fortæller, hvordan iskanten øst for varden i 1923 var ganske flad og tynd, mens den ved hans første besøg i 1897 var stejl og utilgængelig.

Det er endnu kun få planter, der har slået rod i dalgryden, og går man rundt i det øde landskab, kan man få en fornemmelse af, hvordan Danmark må have set ud lige efter istiden - bortset selvfølgelig fra bjergene.

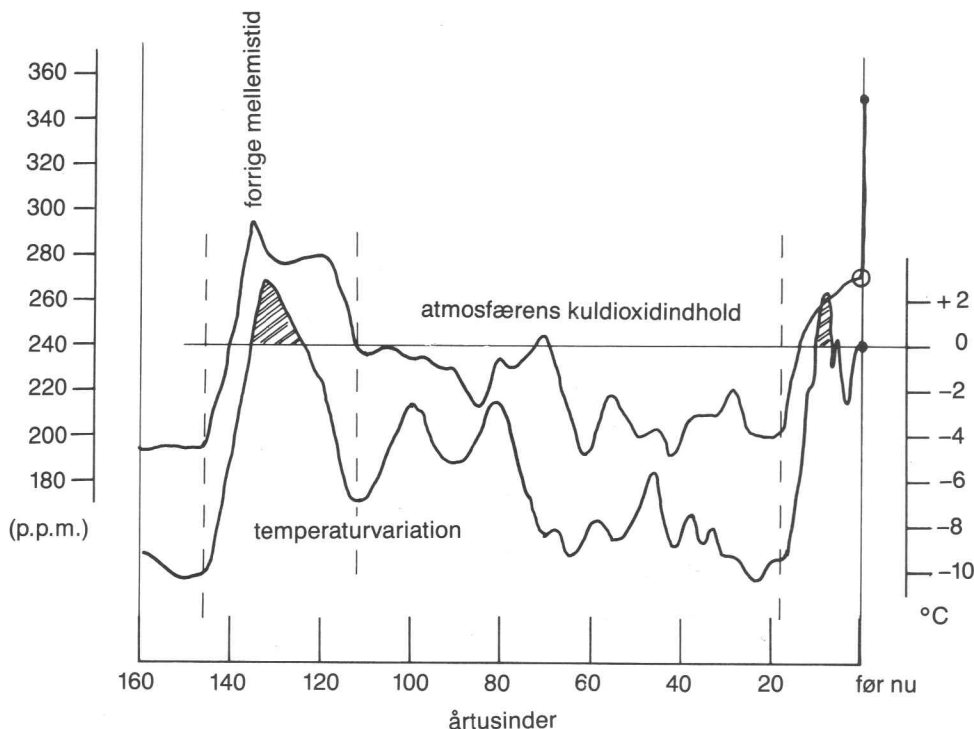
De fleste af Jordens gletsjere er blevet mindre i første del af dette århundrede, som har været en meget varm periode. Men det er ikke alle gletsjere, der følges ad. Klimaændringerne er ikke ens rundt omkring på kloden, og påvirker heller ikke de forskellige gletsjere ens: Fra Alaska er der et eksempel på at én gletsjer voksede mens en anden tæt ved blev mindre. Det kan for eksempel skyldes, at en klimaændring har fået sneen til at falde i en lidt anden højde i bjergene. Så ændres gletsjernes materialehusholdning: Nogle får mere sne end før, andre får mindre.

8.2 Istiderne

Variationer i gletsjernes størrelse, som man har set det i dette århundrede, er ikke et nyt fænomen. Hele Danmark har været dækket af is flere gange. I sidste istid stod gletsjerfronten ned gennem Jylland, og over hele Vestjylland må det have strømmet med smeltevand hver sommer i tusinder af år.

Der har været mange istider, og for Jorden som helhed kan det kaldes istid, så længe der er store iskapper ved polerne. Den nuværende 'stor-istid' har været et par millioner år med vekslende fremrykninger og tilbagesmeltninger. Når der som nu kun er is i højfjeldet og tæt på polerne, kalder vi det 'mellemistider'. Når isen breder sig ned i lavlandet og bort fra pol-områderne, kalder vi det istider.

Den seneste mellemistid kaldes Eem-tiden og varede ca. 10.000 år fra 130.000 til 120.000 før vor tid. Der var væsentlig varmere end i vor tid, men for ca. 120.000 år siden skete en drastisk klimaændring, der på få årtier afkølede kontinenterne til langt under de nuværende temperaturer. Det vand, som fordampede fra det stadig forholdsvis varme hav, endte nu som is på fastlandet og blev altså liggende. I løbet af nogle få årtusinder opbyggedes vældige isskjolde over Grønland, Canada og Skandinavien, og isskjoldet over Antarktis voksede. De følgende 45.000 år svingede temperaturerne og ismængderne, og for ca. 75.000 år siden begyndte den egentlige istid.



Ved at bore helt ned til bunden af Antarktis har man for nylig fået ført en temperaturkurve 160 tusind år tilbage i tiden, dvs. til før forrige mellemistid. Samtidig har man fået bestemt atmosfærens indhold af kuldioxid i samme periode.

Øverste kurve viser indholdet af kuldioxid i p.p.m., det vil sige i millionte dele efter rumfang (skalaen til venstre), nederste kurve viser temperaturens variation målt i °C (skalaen til højre, hvor nul svarer til temperaturen 'nu'). Den vandrette skala viser tiden før nu i tusinder af år. De skraverede områder under temperaturkurven er de korte tidsrum, hvor det har været varmere end nu. De lodrette punkterede linier kan vise noget om, hvor længe der plejer at være fra en istid slutter til den næste er i fuld gang. Læg mærke til, at den egentlige varmeperiode er endnu kortere.

De to kurver følges tilsyneladende pænt, bortset fra de sidste hundrede års voldsomme stigning i indholdet af kuldioxid. (Det ses som en lodret linie i figurens højre side). Der er endnu langt til en egentlig forståelse af de meget komplicerede sammenhænge, som kurverne afspejler. Kilde: New Scientist, 14. april 1988.

Mængden af is blev ved at vokse indtil for ca. 20.000 år siden, hvor vandstanden i havene var sunket med i alt 120 meter. Så begyndte den opvarmning, som i løbet af de følgende årtusinder fik isen over Danmark til at smelte tilbage mod nord og øst. I køligere perioder stod isfronten stille eller rykkede midlertidigt fremad, og i sådan en periode blev Lillebælt og Storebælt gravet ud af et par store gletsjere, som rykkede frem på hver sin side af en klump dødis, der dækkede det nuværende Fyn.

Havet steg på grund af afsmeltningen, og landet hævede sig fordi isens vægt forsvandt. Havstigning og landhævning skiftedes til at have overtaget: En tid var Vendsyssel kun en håndfuld øer i et ishav med sæler, hvaler og isbjørne. Til andre tider var England landfast med Jylland, og Østersøen en indsø.

Da isen for alvor smeltede væk, fulgte jægerne efter, og i den varme periode fra ca. 7000 til 4000 før nu blev jægerstenalderen til bondestenalder, først i dalene ved Nilen og ved Eufrat og Tigris. Mens Nebukaneser var konge i Mesopotamien, vandrede de første eskimoiske jægerfolk fra Canada ind i det nordligste Grønland, hvor de holdt til i egnene nord for Indlandsisen. Denne periode betegnes ofte som 'det klimatiske optimum', altså den tid, hvor klimaet var bedst.

I bronzealderen, for omkring 3000 år siden, begyndte en ny afkøling, der med en del udsving fortsatte frem til 'Den lille Istid', der kulminerede mellem 1400 og 1700, og først sluttede for omkring 100 år siden. Alpegletscherne voksede og ødelagde landsbyer og marker, og overalt i Europa mærkede man klimaforværringen. I Grønland begyndte den tids eskimoer at flytte sydover langs kysterne, mens de norrøne vikingebønder fik sværere og sværere ved at klare dagen og vejen og til sidst forsvandt. Man ved ikke, hvordan. Nogle omkom af sult og kulde, andre blev dræbt i stridigheder med eskimoerne, hvis kultur under arktiske forhold var teknisk overlegen. Det kan også tænkes, at nogle rejste til Europa eller blev blandet op i den eskimoiske befolkning. Sandsynligvis har alle fire 'mekanismer' spillet ind i et vist omfang.

Kort før år 1900 var Lyngmarksbræen og de fleste andre gletsjere så langt fremme som nogen siden istiden, men i første halvdel af dette århundrede har vi haft en opvarmning, som kulminerede omkring 1940.

Omkring 1960 blev det igen køligere, men nu begynder det at blive temmelig uoverskueligt. For eksempel havde den nordlige halvkugle som helhed rekordvarme i begyndelsen af 1980'erne, samtidig med at Grønland havde den koldeste periode i 100 år. Efter den mexikanske vulkan El Chicon's kæmpeudbrud i 1982 er billedet vendt, og Grønland har fået varme, mens den nordlige halvkugle som helhed er blevet koldere. Det er al-

mindeligt, at varme i Europa betyder kulde i Grønland og omvendt, så det er måske rimeligst at opfatte det som tilfældige svingninger og ikke som udtryk for en global klimændring.

8.3 Boreprøver fra Indlandsisen

Sneens sammensætning afhænger af den temperatur, den falder ved. Ikke alene snefnuggenes form, men også molekylernes bestanddele varierer.

Der findes to slags oxygen (ilt). Atomkernen i O-16 indeholder 8 protoner og 8 neutroner, mod 8 protoner og 10 neutroner i O-18. Derfor bliver vandmolekyler med O-18 ca. 10% tungere end vandmolekyler med O-16, og tunge molekyler har sværere ved at fordampe og lettere ved at fortættes end lette.

Når havvand fordamper, vil dampene derfor indeholde forholdsvis mindre af de tunge vandmolekyler. Ved fortætning er det omvendt, sådan at nedbøren indeholder lidt mere af den tunge komponent end dampen. Det kunne se ud til at gå lige op, og det gør det også, når fordampning og fortætning finder sted ved samme temperatur. Forskellen i masse er ret lille, og jo højere temperaturen er, desto mindre betydning har den. Virkningen er altså størst ved lave temperaturer.

Men fortætningen finder ikke sted på én gang. Når noget af dampen bliver til regn eller sne, fortættes den tunge isotop mest villigt. Så for hver gang en afkøling har givet nedbør, indeholder den damp, der er tilbage i luften, mindre af den tunge isotop. Det vil sige, at hver ny nedbør også indeholder mindre af den tunge isotop.

Det er indviklet at lave de beregninger, der skal til, men det er lykkedes at finde en sammenhæng mellem sneens relative indhold af O-18 og den temperatur, den er dannet ved. Da denne sammenhæng blev kendt, kunne den bruges ved analyse af borekerner fra Indlandsisen og andre iskapper. I isen kan man finde årlag og tælle sig frem til de enkelte lags alder, omtrent som man tæller årringe i et træ. De årlige svingninger i indholdet af O-18 overlejres af mere langvarige svingninger, som skyldes klimavariationer, og det er herfra, man har den mest nøjagtige viden om temperaturvariationer tilbage i tiden. En dansk geofysiker, Professor W. Dansgaard har været en af pionererne på dette område. I bogen 'Klima, Vejr og Menneske' fra 1987, fortæller han om klimats historie og om de trusler mod klimaet som de industrialiserede landes intense produktion udgør. En del af oplysningerne i dette kapitel stammer fra Dansgaards bog.

Ideer og tangenter - Kapitel 8

(a) Ved byen Qeqertarsuaq (dansk navn Godhavn) på sydspidsen af Disko er der lang tradition for naturvidenskabelig forskning. I 1906 blev 'Arktisk Station' oprettet lidt øst for byen, i 1926 'Geofysisk Observatorium', og i 1951 'Ionosfærestationen'. På Arktisk Station er det biologiske og geografiske (geologiske) emner, der studeres. På Geofysisk Observatorium studeres jordmagnetisme, nordlys, klimavariationer og jordskælv, og på Ionosfærestationen studeres den øvre atmosfæres elektriske forhold.

På grund af denne koncentration af videnskabelig aktivitet omkring Godhavn er bræerne i 'Blæsedal' øst for byen blevet studeret flittigt, og Lyngmarksbræen er blevet fotograferet og opmålt langt flere gange, end omtalt her. Min egen interesse for den udspringer af Geofysisk Observatoriums arbejde med klimavariationer.

(b) I Frodas beskrivelse af Lyngmarksbræen fremgår det, at brækanten i 1897 var høj og stejl. Det tyder på, at isen stadig var under fremrykning. Sagt med andre ord: Selvom temperaturen var højere end i den koldeste periode af 'Den lille Istid', så kulminerede isdannelsen så sent som i slutningen af 1800-tallet.

Mange af nutidens gletsjere er ikke rester fra istiden, sådan som man måske kunne tro. De er dannet senere, ligesom en del af de mindre gletsjere i Grønland. I den forstand er 'Den lille Istid'

ikke forbi endnu. Det er blevet varmere, men isen er der endnu. Vi ved ikke, om den er ved at smelte væk for alvor, eller dens fremrykning bare er blevet midlertidigt stoppet.

Det er urimeligt at forestille sig, at den nuværende situation skal fortsætte uændret. Mængden af is har i de sidste par millioner år svinget kolossalt meget, af og til også meget hurtigt, og man kan ikke undgå at spekulere over, om ophobningen af kuldioxid i atmosfæren og den forventede 'drivhuseffekt' vil forstærke en afsmeltning, der allerede er i gang, eller om den måske snarere forsinker udviklingen af en ny istid.

(c) 'Den lille Istid' er beskrevet mange steder. Kort efter år 1200 nåede storisen fra Polhavet for første gang i historien til nordkysten af Island. Vi har hørt om en konge ved navn Oluf Hunger, om sandflugt, om stormen på København i 1659, hvor de svenske tropper gik over isen på Storebælt og Øresund. Og de gamle julehistorier handler om sne og vintre af en slags som vi næsten ikke kender i vort århundrede. Dicke's har været forbillede for mange af disse historier, og hans barndom faldt i begyndelsen af 1800-tallet, i en af de koldeste perioder. Det er sjovt at tænke på, at vores opfattelse af rigtigt julevejr måske er en overlevering af vejret for mere end 150 år siden.

(d) I dette århundrede har sne til påske været almindeligere end sne til jul.

9. Frysning ved underafkøling

Kapitel 3 og 5 handler om de ydre betingelser for frysning. Hvor og hvornår man kan forvente at der dannes is, eller at den forsvinder igen. Men måden, det finder sted på, er endnu ikke blevet behandlet. Dette kapitel fortæller lidt om selve frysningssprocessen og især om den rolle, som underafkøling spiller.

9.1 Kuldeblanding

Når man vil undersøge frysning, er det tit lettere at bruge en kuldeblanding end en fryser. Kuldeblandingen kan laves ved at blande salt med sne eller knust is. Som bekendt fra vejsaltningen kan salt få sne og is til at smelte. Smeltning koster energi, og hvis den fremskaffes på stedet, falder temperaturen. Det salt-sjap, som ligger på fortovet om vinteren, er tit koldere end sneen var, og det er vådt, så det kan trænge ind i fodtøjet. Saltning giver koldere tæer.

Der er mange opskrifter på kuldeblandinger. Det simpleste er at blande en håndfuld sne med en håndfuld salt og røre rundt. Det får let temperaturen ned under -10°C , og med den rigtige blanding kan man komme helt ned omkring -21°C . I 'Databogen' findes andre opskrifter - også til meget lavere temperaturer.

9.2 Underafkøling

Praktisk opgave

Lav en kuldeblanding i et krus eller et bægerglas. Tag lidt rent vand i et reagensglas og sæt et termometer i. Stil det i kuldeblandingen og hold øje med vandet og termometret. Læg især mærke til, hvad der sker med temperaturen, når vandet bliver til is.

Hvis det varer meget længe før vandet fryser, kan man kaste et lille stykke is ned i glasset eller (forsigtigt!) skrabe lidt på indersiden af væggen med termometret. Hold øje med termometret, når vandet begynder at fryse.

Med lidt held har I set, at vand kan underafkøles, dvs køles ned under sit frysepunkt, men ikke til evig tid. En forstyrrelse kan få det til at fryse, somme tider på en brøkdelen af et sekund. Underafkølet vand er ustabil, som en kegle, der balancerer på spidsen. En lille forstyrrelse kan få keglen til at vælte eller vandet til at fryse. Hvis underafkølingen ikke lykkes i første omgang, så prøv igen med kogt vand og et helt rent reagensglas.

9.3 Is-slag

Om vinteren dannes isslag på veje, huse og grene. Det er klar og fast is, som kan 'slå ned' meget hurtigt - som når duggen 'falder'. Den er som regel spejlglat og i mørke helt usynlig. Det er praktisk taget umuligt at gå eller cykle på den, og

kun biler der er tunge nok til at knuse den, kører sikkert. Isslag dannes på forskellige måder.

Når regn eller finregn rammer jord eller genstande, der er frosset, fryser det til is. Regn vil fortrinsvis give isslag på jorden, mens finregn og tåge også kan give isslag på lysmaster, pæle og træer.

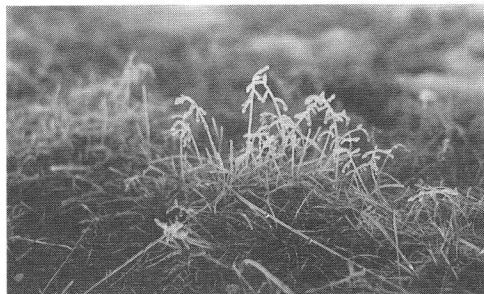
Det egentlige is-slag finder sted, når der er tale om underafkølede dråber. De fryser til is i samme øjeblik de rammer noget fast, og kan altså give isslag selvom jordens temperatur ikke er under 0°C . Så kan grene og blade blive glaseret i ordets oprindelige betydning.

9.4 Overisning

I farvandsudsigterne om vinteren hører man tit, at der er 'risiko for overisning'. Risikoen er størst i stærk vind og frost. Når dråberne fra bølgenes slag mod skibet blæser afsted i vinden, fordampes der vand fra deres overflade. Det bruger energi, så dråberne afkøles. De er i forvejen nær frysepunktet, og kan blive stærkt underafkølet, inden de for eksempel rammer bådens styrehus, master eller antenner, hvor de størkner øjeblikkeligt og fryser fast, hvor de er.

Mekanismen er den samme som ved det egentlige is-slag, men mængderne langt større. På et øjeblik kan flere tons is sætte sig højt oppe på skibet, og det sker, at skibe vender bunden i vejret, inden besætningen kan nå at ændre kurs for at få mindre sprøjt ind over båden. Et af de farligste steder i Verden er Nordatlanten mellem Grønland og Island. Det er blevet sagt, at vintersejlad i det nordlige Atlanterhav er som at runde Kap Horn hver eneste dag.

Skibe og både kan også blive isdækkede ved at vand på dækket fryser. I snevejr kan det gå temmelig hurtigt, for så blandes saltvandet med sne, der både køler og fortynder. (Saltvand kræver lavere temperatur for at fryse end ferskvand.) Men der er som regel bedre tid til at hugge isen væk, og den sætter sig heller ikke så højt oppe på skibet.



(Nuuk, april 1986)

Is på græsstrå.

9.5 Stille vand

Nordmanden Olaf Devik, som har været en af pionererne indenfor isfysikken, forklarer at frysning af stille vand starter med, at det allerøverste tynde vandlag bliver underafkølet når kulden sætter ind,

»og i dette underkølte lag vokser iskrystallene ut fra faste krystallisationskerner på stranden eller i vannflaten selv. Hvis det da er stille vær og kold klar luft, så avkjølingen er stor, kan man ofte direkte se hvordan iskrystallene skyter sig frem over vannflaten som brede, men i begynnelsen meget tynne krystallgrener. På forbausende kort tid kan da det første tynne isdekke bli dannet.«



(Thy, januar 1988)

9.6 Strømmende vand

På langsomt strømmende vand dannes isen ligesom på søer. Den vokser ud fra bredderne og fra sten og grene. Før i tiden lagde man på udvalgte steder buske ud i de norske elve for at få isen til at lægge sig hurtigt og danne kørevej over elven. Buskene var med til at starte isdannelsen ved at 'forstyrre' det underafkølede vand, og desuden indfangede de drivende is, som så yderligere forstærkede frysningen.

Hvis vandet strømmer så hurtigt, at der er mange og kraftige hvirvler, eller det røres om af blæst, vil det samme vand ikke ret længe være ved overfladen. Men varmeafgivelsen bliver ikke mindre af den grund, og når først vandet er nået ned på 0 °C, er næste skridt underafkøling og isdannelse. Mens hvirvlerne bevæger sig med strømmen ned ad elven, bliver det øverste vand underafkølet. De underafkølede 'strimler' drejer videre ned under overfladen, hvor de kan fryse ved at støde på bunden, så der dannes bundis. De kan også fryse midt i vandet, hvis de bliver forstyrret tilstrækkeligt.

I hurtigt strømmende vand dannes derfor dels bundis, dels isnåle, som flyder afsted indtil de eventuelt fanges af is eller grene. Samtidig vokser der is ud fra bredderne. I sådanne vandløb ser man ofte vandet strømme oven på isen, som dan-

ner volde og dæmninger. Senere kan skiftevis smeltning og frysning danne kanaler og tunneler i isen, så vandet kommer ind under den. Hvis der kommer vand nok under isen, kan den blive revet fri fra bunden og løftet op med sten og grus, og under uheldige forhold kan store mængder is blive skyllet langt ned ad elven og anrette skader på hegn, broer og huse.

9.7 Is i atmosfæren

Der kommer med jævne mellemrum is ned fra atmosfæren. Om vinteren sner det, og selv midt om sommeren kan vi få hagl. Der må altså være is der oppe. Men det er faktisk sådan, at hvis temperaturen i en sky er -15 °C, vil der kun være én iskrystal for hver million vanddråber. Vandet er stærkt underafkølet, men bliver ikke til is, fordi det mangler noget at krystallisere på. Først ved ca. -40 °C er alle dråber blevet til is. Det er kun de højtliggende skyer og toppene af de højeste cumuluskyer, der består af is.

Skyer er ustabile systemer. Det damptryk, der svarer til ligevægt, er højere over dråber end over plane vandoverflader ved samme temperatur. Jo krummere overfladerne er, desto højere damptryk kræves der til ligevægt, så dråber af forskellig størrelse kan ikke være i ligevægt med samme damptryk. Hvis luften er overmættet i forhold til de store dråber og umættet med hensyn til de små, vil de små fordampe og de store vokse, og processen vil forstærkes jo større forskellen i størrelse bliver.

Men denne proces er for langsom til at forklare at der kan nå at dannes dråber, der er store nok til at falde ned som regn. For at det kan ske, skal skyen indeholde iskrystaller, der kan accelerere processen. Sagen er, at det damptryk, der er i ligevægt med is, er lavere end selv de største dråbers, så hvis der er tilstrækkelig mange iskrystaller, kan de 'suge' vandet til sig fra de omgivende vanddråber. Til sidst bliver krystallerne store nok til at falde. På vore breddegrader når isen som regel at smelte og blive til regn før den når jorden.

Ideer og tangenter - Kapitel 9

(a) Der er en del traditionelle eksperimenter, der demonstrerer underafkøling. Hvis man laver forsøget med fixersalt, så prøv at holde om glasset med hånden, når der tilsættes krystaller for at sætte størkningen i gang.

(b) Hvad sker der, hvis underafkølet vand hældes ud på en skål (der ikke er for varm)?

(c) Det er tankevækkende, at vi har nogenlunde letfattelige teorier for atomkerner og stjerner, men har vanskeligt ved at gøre rede for, hvordan en bjergbæk fryser til, hvordan havdønninger opfører sig, når de nærmer sig en lav strand, eller hvordan vandet strømmer ud af en vandhane.

10. Afslutning

Oktober 1906... Maleren og forfatteren Acton Friis sidder i sin lille kahyt om bord på skibet 'Danmark', der ligger fast i isen klar til overvintring langt oppe ad Grønlands Nordøstkyst. Han skriver:

»Underlige lyde kommer og går derude. Det drøner af tidevandets pres inde i fjæren, bumrende lyde svarer hinanden fjern og nær og ender i langelige suk ud under havisen. Der pusler noget stille ved skibssiden, højt oppe har en enlig tovende fundet sig et sted at banke imod deroppe i riggen - et lantrukkent, fjernt hyl af en hund - pludselig hurtige, skrigende fodtrin på dækket over mit hoved - og så undertiden et par dæmpede stemmer i messen uden for min dør; - ellers er her så stille i dag.«

(Fra Acton Friis: 'Danmark Ekspeditionen til Grønlands Nordøstkyst 1906-1908')

Langelige suk ud under havisen, skrigende fodtrin... Isen har sine lyde. De fortæller at det er

koldt, sikkert mere end tyve graders frost, og der er hverken vind eller bølger. Isen ligger stille som på en sø, men tvinges langsomt af tidevandet til med 'langelige suk' at slå lange revner, der straks fryser sammen igen.

Går man meget i sne, kan man træne sit øre til at lytte sig frem til sneens temperatur. Jeg husker, hvordan jeg i min første vinter i Grønland morede mig med at gætte temperaturen ud fra mine støvlers knirken i sneen, når jeg om morgenen var på vej for at foretage de meteorologiske målinger. Det er svært at beskrive, men 'skrigende' fodtrin, det må være hård frost.

Temperaturens betydning for snekrystallernes egenskaber - og altså for deres lyd under støvlerne - må repræsentere de mange emner, som bogen ikke har berørt. Også i isens verden er der lyde ligesom i denne lune danske majaften, hvor fjerne biler og legende børn kun overdøves af solsorten, der synger et sted i gaden.



(Disko, 1963)

11. Lille leksikon

Ammassalik. By på Grønlands østkyst. Navnet stavedes tidligere Angmagssalik.

Antarktis. Se Arktis.

Arktis. Betegnelse for de egne omkring Nordpolen, hvor klimaet er arktisk. Grænsen mellem tempereret og arktisk klima svarer stort set til skovgrænsen. Man deler som regel det arktiske område i et lavarktisk (subarktisk) og et højarktisk område. Svensk Lapland og det sydlige Grønland er lavarktisk, mens det nordligste Grønland er højarktisk. Der er stor forskel på klimaet nær grænsen til det tempererede område og nær polen.

Antarktis betegner på tilsvarende måde de egne omkring Sydpolen, der har arktisk klima. Det falder stort set sammen med det kontinent, der bærer navnet Antarktis (Anti-Arktis).

Aræometer. En flyder med inddeling, så man ved at se, hvor dybt den synker i en væske, kan aflæse væskens massetæthed. Inddeles somme tider til direkte måling af alkoholprocent.

Basalt. En bjergart, dannet af størket lava fra vulkanudbrud. Fordi den i forhold til andre bjergarter er størket temmelig hurtigt, har den meget små korn. Der er meget basalt omkring Disko i Grønland, samt på Island og Færøerne. De skandinaviske fjelde består af granit, som er meget ældre end basalten og også udgør grundfjeldet under basalten ved Disko.

Cumulusskyer. Høje, tætte skyer med begrænset vandret udstrækning og med tydelige konturer. Skyerne består overvejende af vanddråber, men de højeste af dem spredt sig for oven ud i en vifte af fine, hvide iskrystalskyer. Så kaldes skyen cumulonimbus.

Disko. En ø på størrelse med Sjælland, der ligger ved Grønlands vestkyst, midtvejs oppe. Det grønlandske navn er Qeqertarsuaq (Storøen), og samme navn bruges om den eneste by, Godhavn, der ligger på øens sydspids.

Drivhuseffekt. Ordet bruges om en af de virkninger, som kuldioxid har i atmosfæren, nemlig at den lader det meste af solens lys gå igennem, men absorberer den langbølgede varmestråling fra jorden. Det forventes - i hvert fald i første omgang - at betyde varmere klima. Navnet stammer fra, at glas har tilsvarende virkninger på strålingen. Til gengæld er det tvivlsomt, om den effekt betyder ret meget i et drivhus. Høj fugtighed og læ kan være mindst lige så vigtige.

Dødis. Betegner gjetsjeris, som ikke længere er i bevægelse. Omtales nærmere i kapitel 7.

Eskimologi. Studiet af de eskimoiske sprog og kulturer, både traditionelle og nuværende.

Fastlandsklima. Se klima.

Firn. Betegner en overgangsform mellem sne og is. Se nærmere i kapitel 7.

Geofysik. Geo-videnskaberne er en række videnskaber om Jorden eller forhold på Jorden. Det er geografi og geologi, men også geokemi og geofysik. Geofysik kan beskrives som den faste jords, havets og atmosfærens fysik. Typiske geofysiske emner er jordmagnetisme, jordskælv, vulkaner, vejr og klima, ionosfæren, nordlys, havstrømme og tyngdekraft. Emnerne er meget forskellige, og de anvender forskellige teorier og målemetoder. Derfor er geofysikken opdelt i en række discipliner, hvis forskere i det daglige arbejder helt uafhængigt af hinanden.

Geologi. Denne geovidenskab beskæftiger sig først og fremmest med bjergarterne, deres sammensætning og historie og jordskorpens udvikling.

Geomagnetisme. Jordens magnetisme er ikke konstant. Den varierer fra sted til sted, og ændrer sig også med tiden. Der er både daglige og årlige variationer, og dertil nogle ændringer med meget længere perioder. Studiet af disse variationer bidrager til forståelse både af Jordens indre og af de ydre atmosfærelag.

Glaciologi. Glaciologien studerer gletsjere og trækker på både geografi og geofysik. Beskrivelsen af gletsjernes bevægelse, form og landskabsdannende virkninger hører nærmest til i geografin, men studiet af isens plastiske egenskaber og omdannelsen fra sne til is kræver fysiske metoder.

Ionosfære. Atmosfæren er meget forskellig i forskellig højde. Laget nærmest jordoverfladen, der hvor vejret er, kaldes troposfæren. Over den findes stratosfæren, der begynder i mellem 5 og 13 kilometers højde - højest ved ækvator, lavest ved polerne.

Lidt før 100 kilometers højde begynder atmosfæren at indeholde en mærkbar andel af ioner, som gør den elektrisk ledende. Dette område, fra ca. 80 til op mod 1000 kilometers højde kaldes ionosfæren. Her dannes nordlysene, og da ionosfæren er elektrisk ledende, spiller den en vigtig rolle for radiobølgers udbredelse. Kendskab til ionosfærens forhold er derfor af stor strategisk betydning. Man studerer den ved at sende radiosignaler op og studere deres refleksion. Ved hjælp af satellitter kan man også studere, hvordan radiobølger trænger igennem ionosfæren.

Is-ord. For at undgå, at dette leksikon-afsnit skal svulme urimeligt op, er kun nogle ganske få is-ord medtaget. En liste over is-ord med forklaringer findes i 'Den grønlandske Lods' (på dansk), og i 'Illustrated Glossary of Snow and Ice'. Se litteraturlisten.

Jordmagnetisme. Se geomagnetisme.

Jordskælv. Se seismologi.

Klima - klimatologi. Klima betegner den samlede sum af vejr på et givet sted i årets og årenes løb. Klimaet beskrives ikke kun ved gennemsnit (for eksempel af temperatur), men også ved variationerne og yderpunkterne. Klimaet ændrer sig også med tiden, men jo grovere man beskriver det, desto længere tidsrum vil beskrivelsen gælde for.

Jordens klimatyper kan ved hjælp af temperaturen groft inddeles i tropisk, tempereret og arktisk, men som regel underdeles de til tropisk, subtropisk, sydlig tempereret, nordlig tempereret (boreal), subarktisk og højarktisk. Hvis man ikke deler den tempererede zone, kan man ikke skelne mellem de mellemeuropæiske løvskovs-områder og de nordeuropæiske nåleskove.

Middeltemperaturen er langt fra altid den vigtigste klimafaktor. Det er lige så vigtigt at skelne mellem tørt og fugtigt klima (f.ex. mellem tropisk regnskov og tropisk ørken), og man må skelne mellem oceanisk klima (kystklima) og kontinentalt klima (fastlandsklima). Kystklima er kendetegnet ved at de årlige temperaturudsving er forholdsvis små, mens fastlandsklima har stor forskel på temperaturen sommer og vinter.

Klimatologi er studiet af klima, og især af klimaets variationer i tiden, lige fra svingninger indenfor nogle få år, til de store svingninger, som for eksempel er årsag til istiderne.

Kystklima. Se klima.

Meteorologi. Studiet af vejret og vejrets udvikling. Meteorologien beskæftiger sig mest med tidsrum af få dages varighed, og er i væsentlig grad rettet mod udarbejdelse af prognoser (vejrudsigter). For tiden (1988) er femdages-prognoser de længste, der er rimeligt sikre. I forbindelse med forbedrede målinger (bl.a. fra satellitter) og forbedrede EDB-modeller regner man med snart at kunne give uge-prognoser og på længere sigt måneds-prognoser.

Udover det praktiske prognose-arbejde er meteorologi en geofysisk disciplin, der beskæftiger sig med grundforskning indenfor atmosfærens fysik.

Midnatssol. Nord for den nordlige og syd for den sydlige polarkreds oplever man at solen i én eller flere dage omkring midsommer ikke går ned. Jo tættere på polerne man er, desto længere er perioden med midnatssol. I de samme områder er der en kortere eller længere periode om vinteren, hvor solen slet ikke kommer på himlen. I Grønland går polarkredsen tæt ved Sisimiut (Holsteinsborg) og Sdr. Strømfjord, og lidt nord for Ammassalik.

Nordboerne i Grønland. Den norrøne bosættelse begyndte med at en flok skibe under ledelse af Erik den Røde i 982 rejste fra Island til Grønland. Det blev senere til to 'bygder', det vil sige

bebyggede områder, nemlig Østerbygden i de store fjorde omkring Qaqortoq (Julianehåb) og Vesterbygden i fjordene omkring Nuuk (Godthåb). Landet var grønt af græs, men blev efter nogle hundrede år slidt ned af køer og får, og samtidig blev klimaet koldere. Vesterbygden uddøde eller blev forladt i 1200-tallet, mens Østerbygden har været beboet frem til omkring år 1500. Der er stor usikkerhed om hvorfor og (især) hvordan nordboerne forsvandt. Men klimaændringen har utvivlsomt gjort det vanskeligere at klare sig både som bønder og som fiskere.

Nordlys. Nordlys eller aurora er en lysudsendelse fra ionosfærens nederste del. De skyldes ladede partikler fra Solen, der indfanges i Jordens magnetfelt, og giver anledning til fysiske processer, der minder om dem i et lysstofrør. Nordlys ses oftest og kraftigst i en oval ring, 'nordlysovalen', omkring den magnetiske pol ved Thule. Tilsvarende aurora eller 'sydlys' findes også omkring Antarktis.

Norrøne. Se Nordboerne i Grønland.

Oceanografi. Det geofag, der beskæftiger sig med udforskning af havet. Anvender både geografiske, geofysiske og geokemiske metoder og teorier.

Seismologi. Geofysisk disciplin, der beskæftiger sig med jordskælv og rystelsernes udbredelse gennem jorden. Gennem seismologien har man fået oplysninger om Jordens indre struktur. Seismer betyder rystelser, og seismografer er apparater, der kan registrere rystelserne enten som kurver på fotografisk papir, eller via datamater. Til mineraleftersøgning er seismiske metoder meget almindelige. De er omtalt i kapitel 2.

Storisen. Bruges i Grønland som betegnelse for den gamle havis, der fra Polhavet følger med strømmen ned langs Grønlands østkyst, rundt Kap Farvel, og derefter føres et stykke op langs vestkysten, indtil den smelter eller driver vestpå, hvor den forenes med Vestisen, den is, der nordfra driver ned langs Canadas østkyst.

Sur sne. Sne med forøget indhold af svovlsyring fra vulkaners frigivelse af svovldioxid.

Tundra. En typisk arktisk landskabsform, ofte over permafrost. Der er ingen træer, og kun små buske af el og pil. Desuden findes dværgbirk og andre lyngagtige planter og laver.

Vintermørke. Se midnatssol.

12. Litteraturliste

Listen indeholder forskellige slags bøger, der kan bruges til at få mere at vide om denne bogs emne, men der findes mange flere, som man kan finde på bibliotekerne. En bare nogenlunde repræsentativ litteraturliste ville blive meget lang. De egentlige lærebøger, for eksempel i geofysik, fysisk kemi, glaciologi og landskabsgeografi er som regel temmelig vanskelige at læse. Derfor er der kun et par stykker med.

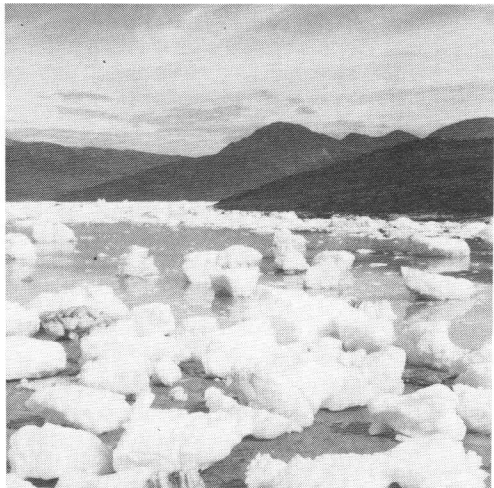
Ole Bang: *'TRE ÅR I DRIVISEN - Fridtjof Nansens polarfærd med træskibet FRAM 1893-1896'*, Rhodos, København 1981.

Monica Kristensen: *'MOD 90° SYD'*, Gyldendal, København 1987.

Erik Langer Andersen og Kirsten Nielsen: *'Grønlands Is - sne, smeltevand, energi'*, Pilersuiffik, Nuuk, 1987.

Terence Armstrong m.fl.: *'Illustrated Glossary of Snow and Ice'*, Polar Research Institute, Cambridge, 1973.

Paul Claesson (red.): *'Grønland - Middelhavets Perle'*, Eirene, København 1983.



(Godthåbsfjorden, august 1979)

'Danmarks Natur', Politikens Forlag, især bindene *'Landskabernes opståen'* og *'Grønland'*.

W. Dansgaard: *'Klima, Vejr og Menneske'*, Geografforlaget 1987.

'Den Grønlandske Lods', Det Kongelige Søkort-Arkiv, København, mange udgaver.

Achton Friis: *'DANMARK EKSPEDITIONEN til Grønlands Nordøstkyst 1906-1908'*, 2. udgave, Gyldendal 1987. (Udgaven fra 1909 har mange fotografier, der ikke er med i 1987.)

Kåre Holt: *'Kapløbet om Sydpolen'*, Schønberg, København 1975.

Brian John: *'Isens verden - og dens natur'*, Lademann 1984.

Bjarne Ljungdal: *'Naturagttagelser 4, fjeldenes Isområder'*, Spejder Sport, København 1980.

W.S.B. Paterson: *'The Physics of Glaciers'*, Pergamon Press, Oxford 1981.

Ferd. Petersen: *'De danske Udlande'*, i serien *'Lande og Folk'*, Byrjalsens Forlag, Kastrup v. Hjørring, 1899.

Kåre Rodahl: *'T-3, Beretning om tre mænds eventyrlige ophold på en flydende is-ø ved Nordpolen og om livet i den arktiske verden.'*, Det Danske Forlag, 1955.

Johan Støyva: *'Breboka - Handbok i brevandring'*, Den Norske Turistforening, Oslo 1972.

Else Wegener (udgiver): *'Alfred Wegeners sidste Grønlandsfærd'*, Hirschsprung, København 1933.

Følgende tidsskrifter har jævnligt artikler om is:

'Geografisk Orientering', Geografforlaget.

'Naturen', Universitetsforlaget, Oslo.

'Naturens Verden', Forlaget Rhodos.



ISBN 87-87229-31-5