



Klimaforskningen startede med en tom ølflaske



En ung forsker med et nyt instrument kombineret med en kold krig blev startskuddet på klimaforskning med iskerner, som stadig er i fulde omdrejninger i dag.

Lørdag den 21. juni i 1952 sad Willi Dansgaard i sin have og fornemmede, at det trak op til regn. Han var for nyligt blevet ansat ved det daværende DMI med ansvar for det nyindkøbte massespektrometer. En fin og dyr maskine, der kunne adskille og måle indholdet af grundstoffer i det, man puttede ind i den.

Men hvad skulle man måle på? Som ansvarlig for det nye instrument var Willi Dansgaard altid på udkig efter næste emne, han kunne måle på. Måske regnvand fra den byge, der nu nærmede sig? Mon der var forskel på regnvand fra én regnbyge til den næste? Da Willi tilfældigvis havde en tom ølflaske ved hånden, blev den hurtigt udnævnt til opsamlingsaggregat, og forsøget var i gang.

Regnbygen viste sig ikke at være alene, men udviklede sig til en hel stribe kraftige byger henover hele weekenden. Om mandagen troppede Willi derfor op på arbejdet med en stor samling flasker, potter og pander med prøver fra weekendens nedbør. Regnvandsprøverne blev kørt gennem massespektrometret en efter en, og resultatet blev starten på et helt forskningsfelt. Den dengang 30-årige Willi Dansgaard havde nemlig fat i noget stort.

"Han er mildest talt en superstjerne," siger Anders Svensson, nutidig forsker og lektor i Niels Bohr Institutets Afdeling for Is, Klima og Geofysik. Med andre ord burde man have hørt om Willi Dansgaard. Er det ikke tilfældet, fortæller Anders Svensson heldigvis gerne.

"Det var Willi Dansgaard, der opfandt den såkaldte δO^{18} -metode, vi stadig bruger i dag til at måle fortidens temperatursvingninger ved hjælp af iskerner. Samtidig kan man finde selve isens alder med samme metode, og begge dele er enormt vigtigt, da det giver os et sammenligningsgrundlag for de klimaforandringer, vi ser i dag," fortæller han. (Se forklaring af δO^{18} -metoden s. 26-27)

Willi Dansgaards målinger af weekendens regnvand viste nemlig, at der er en lille forskel i regnvandets indhold af iltisotoper, altså iltaoomer med forskellige antal neutroner, alt efter hvor varmt eller koldt det er i atmosfæren på det tidspunkt, regnen blev dannet.



Anders Svensson

Stilling

Lektor ved Københavns Universitet,
Niels Bohr Institutet,
Afdeling for Is, Klima og Geofysik

Uddannelse

Cand. scient. i fysik med ph.d. i
geofysik

Arbejde

Fortolkning af klimasignalet i
iskerner fra Grønland og Antarktis

"Han fik så den tanke, at hvis det gjaldt nutidens regnvand, gjaldt det formentlig også fortidens. Så hvis man kunne måle på den isotopiske sammensætning af noget gammelt regnvand, kunne man altså finde ud af, hvor varmt det var, da det blev dannet," forklarer Anders Svensson.

"Hvor finder man gammelt regnvand?" spørger han retorisk. "Det gør man i gletsjeris. Og hvor finder man meget gammel gletsjeris? Det gør man i Indlandsisen."

En hemmelig by under isen

Samme tanke havde Willi Dansgaard fået tilbage i 50'erne, og derfor var det hans held, at Den Kolde Krig ansporede amerikanerne til at starte et vildt projekt på, eller rettere i, Indlandsisen. Dengang var der nemlig ingen, der havde boret dybt ned i Indlandsisen før, men nu ville amerikanerne grave 4000 kilometer gange under Indlandsisen, hvor der skulle ligge omkring 600 atommissiler klar. I tilfælde af, at Den Kolde Krig mod Rusland pludselig skulle blive varm. Mellem 1962 og 1966 byggede og udviklede de derfor en hel by ved navn Camp Century mange meter under isen øst for Thulebasen. Byen skulle tjene som første led i den store missilplan, der for de få indviede var kendt som Project Iceworm.



Læs mere

Læs Willi Dansgaards egen fortælling om sit forskningsliv i bogen 'Frozen Annals - Greenland Ice Cap Research', 2004, Narayana Press.

Da ingen rigtig havde interesseret sig for at undersøge dynamikken i isen før, havde militæret brug for hjælp til at analysere den, så man kunne planlægge tunnellerne bedst muligt. Derfor fik amerikanerne arrangeret et stort iskernebor nede i campen, som borede den første iskerne nogensinde taget fra fra top til bund i Indlandsisen. I alt 1320 meter is.

Da Willi Dansgaard på det tidspunkt var blevet ret velrenommeret inden for forskning i gletsjeris, fik han lov til at få prøver fra hele iskernens længde. Han var begejstret: Her lå alle informationerne om tidligere tiders klima pænt og sirligt ordnet i lag i en over 1000 meter høj, uforstyrret islagkage, hvor det bare var at starte fra en ende af. Så det gjorde han.

” Hvor finder man gammelt regnvand? Det gør man i gletsjeris

Resultatet blev den første kontinuerlige klimakurve over fortidens temperatursvingninger 130.000 år tilbage i tiden (se figur 9). Her kunne man pludselig se ganske tydeligt, at den seneste istid, kaldet Weichel-istiden, begyndte for omkring 115.000 år siden. Lige omkring der, hvor den nederste is, og dermed den ældste, blev dannet. Kurven viste desuden, at istiden toppede for omkring 20.000-25.000 år siden, hvorefter det begyndte at blive varmere, indtil istiden sluttede for omkring 11.500 år siden.

Amerikanernes Project Iceworm førte derudover til en indsigt i, at isen bevæger sig konstant ned- og udefter mod kysten. Det blev ret hurtigt tydeligt, og endda helt uden iskerneboringerne, da istunellerne i Camp Century ubønhørligt blev mast sammen af isen ovenfra, og man måtte efter nogle års forgæves forsøg på at standse sammenpresningen droppe hele projektet. Iskernen, som Willi Dansgaard fik fingrene i, har dog siden startet et helt forskningsfelt, der har bragt uvurderlige mængder viden om blandt andet:

- Temperatur- og nedbørsmønstre gennem tiden
- Atmosfærens indhold af drivhusgasser og andre stoffer
- Fortidige storme og deres styrke via støv blæst ind over isen
- Vulkanudbrud over hele kloden, hvis svovlforbindelser opfanges som syreholdige lag i isen.

Nutidens iskerneforskning

Der har været syv større, koordinerede dybe iskerneboringer rundt om på Indlandsisen siden den i Camp Century i 1960'erne. Alle har de haft som primært formål at finde ældre og ældre is, der kunne afsløre klimaet endnu længere tilbage. "Der er flere gange boret helt ned til den ældste is, der er omkring 130.000 år gammel, altså svarende til den is Willi Dansgaard målte på fra Camp Century," fortæller Anders Svensson.

"Vi har fundet is, der er ældre, men ikke i en lang uforstyrret sekvens. Under de cirka 130.000 år er lagene blandet sammen på grund af isens flydning henover undergrunden, og derfor kan vi ikke bestemme isens alder."

Derfor er det efterhånden ikke sandsynligt, at man overhovedet kan finde ældre is, der er af en kvalitet der gør, at man stadig kan bruge δO^{18} -metoden, fortæller forskeren.

+
Find mere

Se daglige data fra Camp Century og en video om nutidens monitorering og forskning på stedet:

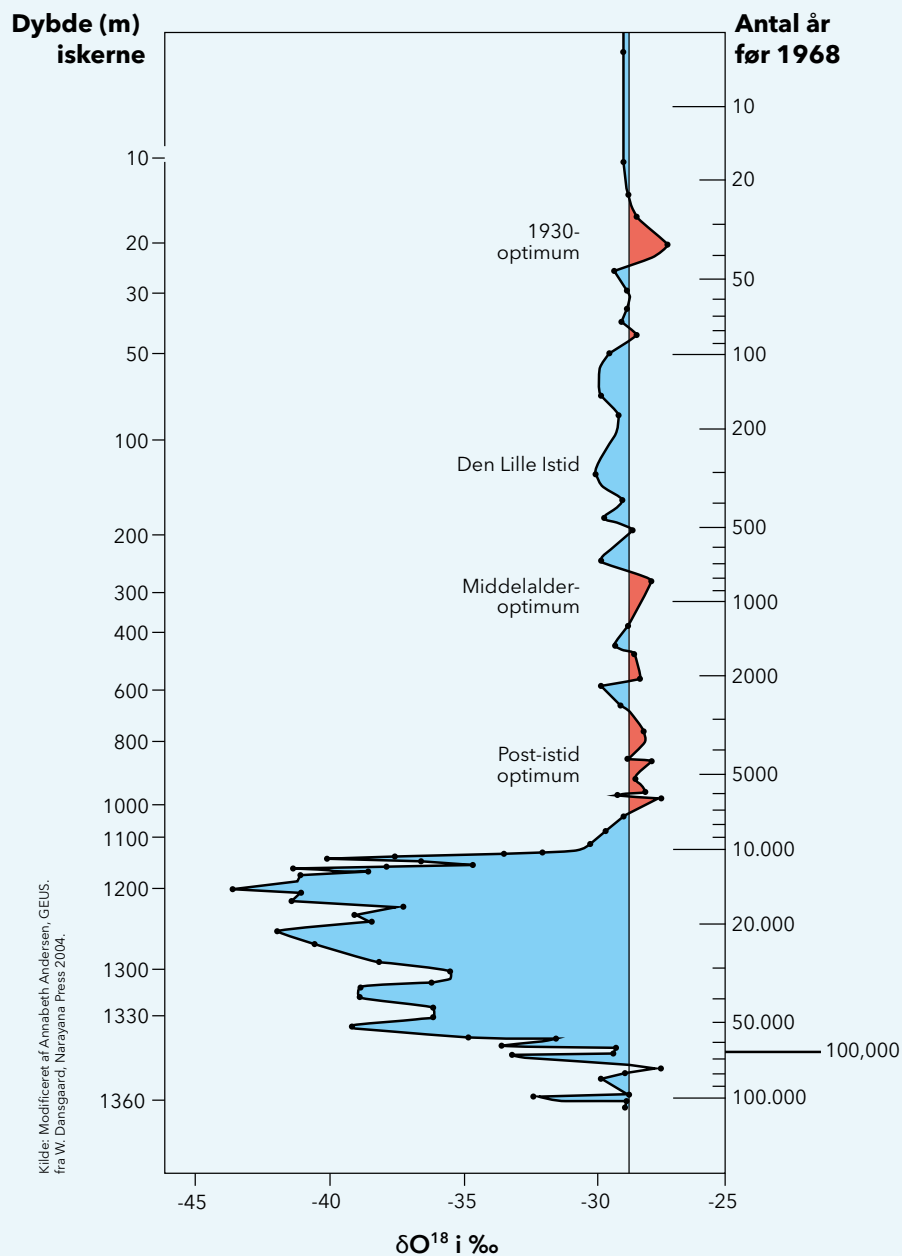
campcenturyclimate.dk

A: Iskerneboret i Camp Century, som borede verdens første iskerne.

B: Hovedgaden i Camp Century, der forbandt opholdsområderne med de andre sektioner.

C: Indgangen til Camp Century.

D: De små biler på larvefodder bandt den ret store lejr sammen og fragtede folk og sager gennem de lange gange.



Kilde: Modificeret af Annabeth Andersen, GEUS, fra W. Dansgaard, Narayana Press 2004.

Figur 9. Grafen Willi Dansgaard lavede med resultaterne af sine iltisotopmålinger på Camp Century-iskernen. Her ses et stort fald i δO^{18} -værdien fra omkring 11.000 år siden, og som først falder igen for over 100.000 år siden. Det svarer til den seneste istid. Samtidig kan man se flere kortere udsving til både varmere og koldere vejr inden for de seneste ca. 10.000 år. Jo længere tilbage i tiden man kommer, des mere sammenmaste bliver islagene, og det ses også på grafen. Den tykke streg med 100.000 år nederst t.h. er tilføjet efter en senere og mere præcis udregning, der viste, at 100.000 års-grænsen lå der i stedet.



Fotos: US Army.

At læse en frossen dagbog

Alt vand indeholder en blanding af vandmolekyler, hvor langt de fleste har et almindeligt iltatom (O^{16}) bundet til de to hydrogenatomer, så det danner H_2O .

Der er dog også altid en lille del af vandmolekylerne, der har fået et lidt tungere iltatom, nemlig isotopen O^{18} , som findes naturligt, blot i langt mindre mængder end O^{16} . Det tunge iltatom har flere neutroner i sin kerne, end det almindelige iltatom, og det gør, at det har en smule sværere ved at fordampe. Der skal altså højere temperaturer til, før vandmolekylerne med de tunge iltisotoper fordamper og danner nedbør. Nedbør der siden er blevet til is i Indlandsisen, hvor forskellen mellem de to iltisotoper stadig er lagret i hvert islag. Forskellen kaldes også 'delta', som skrives ' δ '.

Hvert år er en pukkel på kurven

Ved at skære prøver af en iskerne og smelte dem kan man derfor måle på forholdet mellem O^{16} og O^{18} i datidens nedbør. Koldt vejr giver færre O^{18} -isotoper og varmt vejr giver flere O^{18} -isotoper, og udviklingen i det forhold op gennem iskernen kan derfor aflæses som udvikling i temperatur i den givne periode, man kigger på. Som tommelfingerregel siger man, at δ falder med cirka 0,7 promille for hver grad Celsius temperaturen i atmosfæren falder.

Isens alder aflæses

Hvilken periode, der er tale om, kan aflæses på samme måde, ved hjælp af forskellen i iltisotoper. Da skiftet fra vinter til sommer medfører en stor temperaturforskel, er der tilsvarende udsving i δ -kurven fra én sommer til den næste. Hvert enkelt år kan derfor aflæses som en pukkel på kurven, hvor δ stiger (se figur 10). Derfor er det bare at tælle tilbage fra toppen af isen, som man ved svarer til nutiden. Tyve pukler svarer til tyve år og så videre.

Fortidens klima

Ved at analysere isen i Indlandsisen kan man komme 130.000 år tilbage. Ved at lave samme nummer på den endnu ældre is på Antarktis kan man komme op til 800.000 år tilbage i tiden. Analyser af klimaet fra endnu længere tilbage stammer typisk fra sedimentkerner fra dybhavene.

$$\delta O^{18} = \frac{R_{\text{prøve}} - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ ‰}$$

$$R: \frac{O^{18}}{O^{16}} \text{ Forholdet mellem de to iltisotoper.}$$

SMOW

Standard Mean Ocean Water. En fastsat standardværdi for isotopforholdet i havvand, som man kan sammenligne med.



Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

↓ δO^{18} -kurve

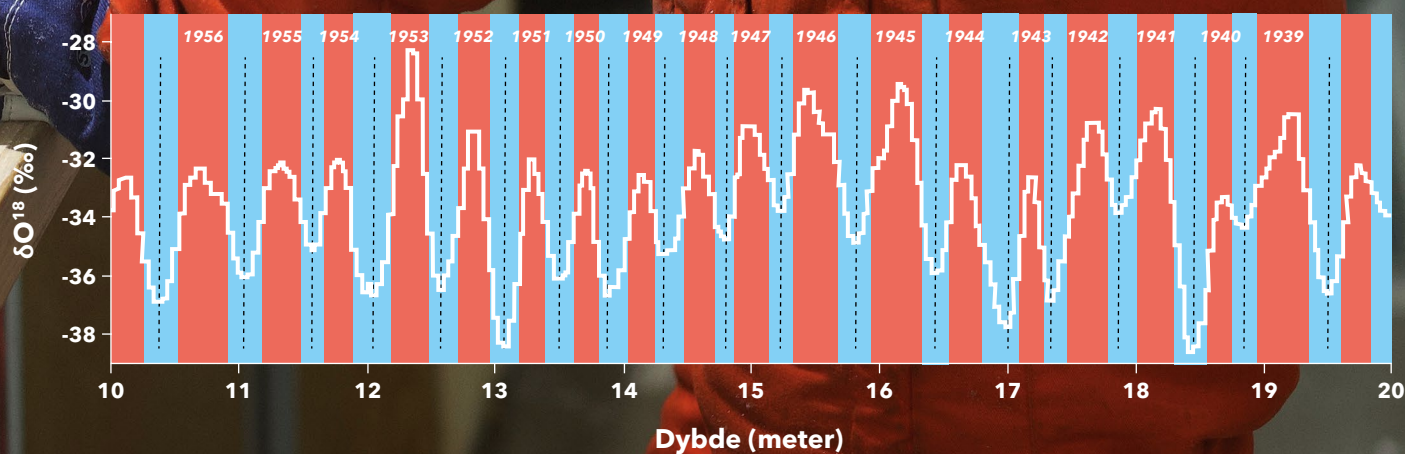
Figur 10. Her er et eksempel på en δO^{18} -analyse på en iskerne.

De blå felter med lave δ -værdier indikerer vinter.

De røde felter med højere δ -værdier indikerer sommer.

Mellem de stiplede linjer er der gået et år.

Eksemplet her er fra de øverste 10 til 20 meter af en iskerne fra boringen Crête på midten af Indlandsisen. Stykket svarer til årene 1957 og tilbage til 1938. Her kan man blandt andet se, at vinteren mellem 1940 og 1941, hvor 2. Verdenskrig var på sit højeste, var særligt kold i Grønland, da δ -værdien er meget lav.



Kilde: Modificeret fra Nils Bohr Institutet.
Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.

EGRIP-lejren i solnedgang. Den store kugle er opholdsstue, køkken og arbejdsrum. En lejr på Indlandsisen har en levetid på fem til ti år, da sneen uundgåeligt vil begrave den med tiden. Man udskyder processen ved bl.a. at placere teltene med en vis afstand, da det gør det sværere for sneen at fyge dem til.

Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

”Vi er derfor nok nået grænsen for, hvor langt tilbage i tiden vi kan komme ved hjælp af isen i Indlandsisen,” siger Anders Svensson.

Forskerne følger strømmen

Derfor har han og forskerkollegerne nu skiftet fokus. De borer stadig iskerner, bare et nyt sted og med et nyt formål.

”Der mangler data på, hvordan de store isstrømme i Indlandsisen opfører sig, og navnlig hvordan de reagerer på klimaforandringer. Så det er vi gået i gang med at finde ud af ved at analysere iskerner i Den Nordøstgrønlandske Isstrøm,” fortæller Anders Svensson.

Den Nordøstgrønlandske Isstrøm (NEGIS) er nemlig den største isstrøm i Indlandsisen, der starter næsten helt inde på

Tidsfordriv på isen

Når der ikke arbejdes i ishallerne eller med at vedligeholde lejren og afholde den fra at blive sneet inde, har forskerne fri. Men hvad laver man, når der ikke er andet end massiv isrøken til alle sider? I EGRIP-lejren foregår der ting som:

- Bordfodbold
- Cross country skiing
- Gå tur på landingsbanen
- Volleyball og stikbold
- Bygge iglo
- Hjælpe til i køkkenet
- Golf
- Bowling i ishallen
- Koncert spillet på is
- Vinterolympiade med bl.a. ringridning på snescooter

” Jo hurtigere isen flyder, des flere og større gletsjerspalter kommer der også

midten af isen (se kort s. 16-17). Der er mange ubekendte ved isstrømmen, blandt andet hvorfor den starter så langt inde i landet, når alle de andre isstrømme først begynder at flyde hurtigt ude mod kysten. Projektet hedder East GRIP (EGRIP), som står for East Greenland Ice-core Project, og det kører nu på fjerde år.

”Man ved efterhånden ret meget om isens dynamikker i gletsjerne ude ved kysten, og hvordan de påvirker havstigningerne. Men da gletsjerne fodres af isstrømmene, hænger det hele jo sammen. Derfor er det vigtigt at kende bevægelsesdynamikkerne i isen længere inde, for at kunne sige, hvordan Indlandsisen som helhed reagerer på et ændret klima på den lange bane. Også over de næste årtusinder, som er den skala isstrømmene opererer på,” siger han.

EGRIP-lejren ligger ved isstrømmens start lidt syd for den 76. breddegrad, cirka 400 kilometer inde på Indlandsisen (se

Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

kort s. 22). Her flyder isen med cirka 20 centimeter om dagen, hvilket er langsomt i forhold til de omkring ti meter, den bevæger sig dagligt ude ved kysten. Anders Svensson fortæller, at det mest optimale rent forskningsmæssigt ville være at lægge lejren længere ude mod kysten, hvor man kunne studere hurtigere strømmende is, men holdet var nødt til at lave et kompromis på grund af sikkerheden.

”Jo hurtigere isen flyder, des flere og større gletsjerspalter kommer der også, og det er farligt at lægge en lejr midt i. Ved lejren er der ingen gletsjerspalter, så det er et sikkert sted for fly at lande og for videnskabsfolk at operere.”

Livet og arbejdet under isen

Selve lejren er genbrug fra det tidligere iskerneprojekt North Greenland Eemian Ice Drilling (NEEM) i Nordvestgrønland, og blev i 2015 sat på store slæder og trukket af en karavane af bæltekøretøjer tværs over Indlandsisen til det sted i starten af NEGIS, holdet havde udset sig (se kort s. 22).

”Det koster enormt mange penge at få fløjet den gamle lejr ud og en ny lejr ind, og derfor kunne det bedst betale sig at trække den gamle hen til NEGIS,” fortæller Anders Svensson.

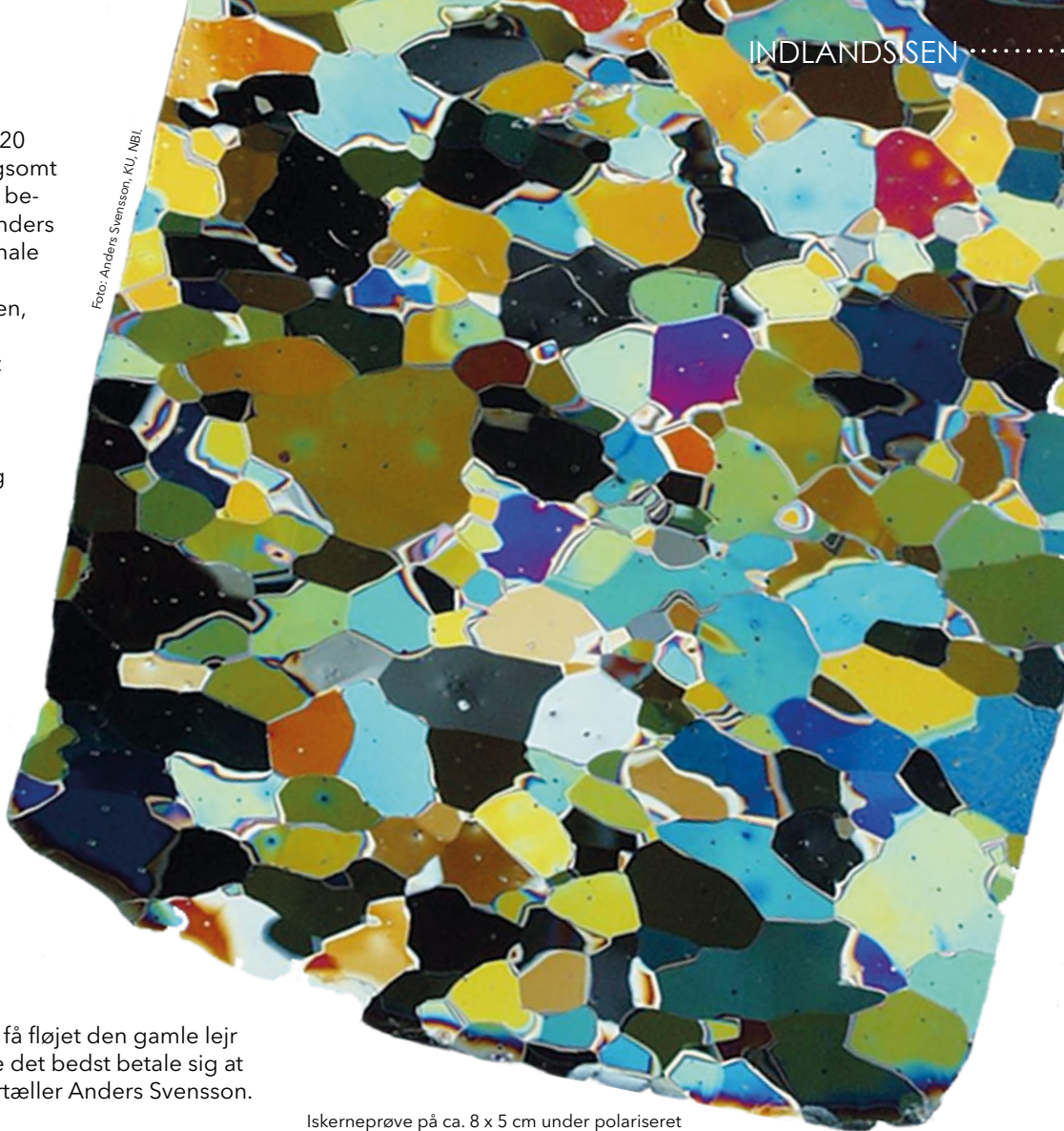
Det gjaldt dog kun den del af lejren, holdet bor og opholder sig i, når de har fri. Selve arbejdslokalerne skulle bygges fra ny, vel at mærke ti meter under isen.

”På den måde er der nemlig en rimeligt konstant temperatur på omkring -20°C, så iskerne holdes dybfrosne imens vi arbejder med dem,” fortæller lektoren.

Derfor gik første del af projektet ud på at grave kæmpe huller i isen, puste gigantiske luftballoner op nede i dem, smide sne oven på og så lukke luften ud af ballonerne, så de efterlod et hulrum med massivt snetag. Så har man en snehal egnet til iskerneboring. Dernede foregår arbejdsdagen derfor med fuld arktisk dress code af dunjakker, støvler, huer og handsker flankeret med termokander af kaffe og te. Hver sommer siden 2015 er der rejst et hold på omkring 20-30 forskere op til lejren, hvor der er blevet arbejdet til sommeren gik på hæld, og vinterkulden og mørket igen gør det for vanskeligt at opholde sig på isen.

Helt konkret går projektet ud på at bore en iskerne fra toppen til bunden af isen og analysere, hvordan isens flydedynamikker ændrer sig på vej ned. Iskerneboret er cirka ti meter langt, hvoraf de tre nederste meter udgør et kammer til den borede kerne. Hver gang boret har gnavet sig tre meter dybere ned i borehullet, hiver man det op og tager iskernen ud. Kernen bliver så skåret op i mindre stykker på omkring en meter, der saves flere mindre prøver ud fra, som sendes videre til de forskellige målinger.

Foto: Anders Svensson, KU, NEI



Iskerneprøve på ca. 8 x 5 cm under polariseret lys, som får de enkelte iskrystaller til at lyse op.

Isen begyndte at blive helt vildt svær at knække

Krystaller afslører isens flydemønster

En af målingerne, isen udsættes for, er analyse af krystalorienteringen (se foto til venstre). Her slibes isstykkerne til små, papirstynde prøver på en særlig slibemaskine og kommes i en anden maskine, der beskyder isprøven med polariseret lys. Det får de enkelte iskrystaller til at lyse op i de mest utrolige farver, og den tynde plade af gennemsigtig is ligner pludselig et stykke abstrakt kunst. Farverne skyldes, at iskrystallernes forskellige orientering i isen bøjer lyset på hver sin måde, som i en prisme. De krystaller, der vender i samme retning, får derfor samme farve, så på den måde kan farverne bruges til at vurdere, hvor ensrettede iskrystallerne er. Jo mere ensrettede, og dermed ensfarvede, de er, des nemmere glider isen, helt overordnet set.

Ved at sætte den information sammen fra alle prøverne fra top til bund i boringen får man altså et udsnit af hele isstrømmens bevægelsesmønster. Data som netop mangler i isflydemodeler for Indlandsisen.

Resultaterne fra EGRIP-boringen tyder indtil videre på, at isflydningen i NEGIS muligvis stadig er ved at tilpasse sig overgangen fra sidste istid til det nutidige klima for 11.500 år siden.

Isstrømmene ser altså ud til at arbejde på meget længere tidsskalaer end gletsjerne, som reagerer meget hurtigt på ændret klima. Påvirkningen fra klimaforandringerne, vi ser i dette århundrede, kan derfor med stor sandsynlighed også ses langt ude i fremtiden.

Arbejdet må afblæses

Isen er cirka 2600 meter tyk der, hvor forskerne borer, og i sommeren 2019 nåede de ned i 2122 meters dybde. De skulle gerne være nået længere, men isen begyndte at gøre knuder, fortæller Anders Svensson:

”Vi er faktisk blevet nødt til at stoppe boringen for i år et par uger tidligere end planlagt. Isen begyndte at blive helt vildt svær at knække, så knivene nederst i boret ikke kunne skære kernen over, og så kan vi ikke komme længere. Vi ved ikke hvad det skyldes,” forklarer Anders Svensson.

”Men da det ikke er noget, vi har oplevet ved tidligere dybdeboringer andre steder, er det sandsynligt, at det har at gøre med isens flydning i isstrømmen. Så måske har vi allerede lært noget nyt om isen i isstrømme som NEGIS, selvom det kom lidt uventet og gør tingene lidt besværlige.”

Han fortæller, at de sidste iskerner fra stykket med den pludseligt meget hårde is er ved at blive analyseret, så det hele er stadig omgærdet af en vis usikkerhed. Men optimismen er intakt hos Anders Svensson.

”Nu har vi hele vinteren til at finde en løsning. Det er nemlig vigtigt, vi når helt ned til bunden, da vi skal sammenligne strømningen der med den i de øvre lag for at få den fulde forståelse af, hvad der foregår i NEGIS, og hvordan den vil reagere på klimaforandringerne nu og i fremtiden”. ⁹

A

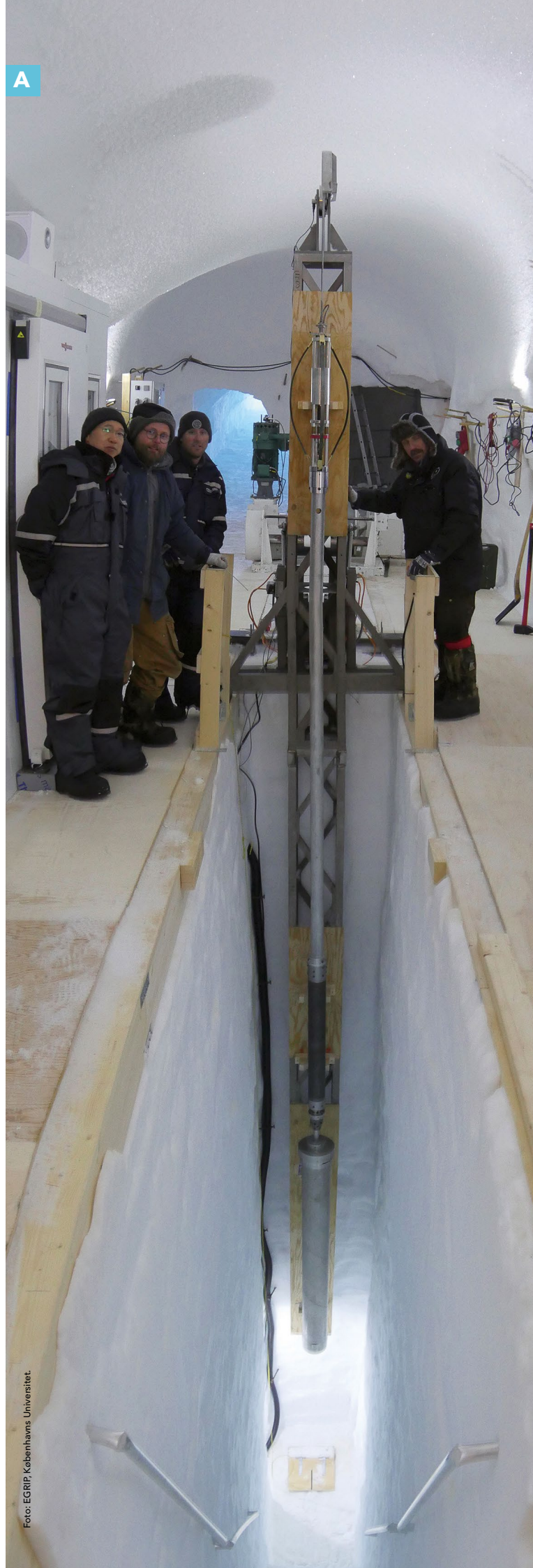


Foto: EGRIP Københavns Universitet.

B



Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

Find mere +

Få en guidet tur med 360 graders video i EGRIP-ishallerne, billeder, feltdagbøger, konstruktionen af ishallerne og meget mere her:

eastgrip.org/livetilejren

C



Foto: Kenji Kawamura

D



Foto: EGRIP, Københavns Universitet.

- A:** Det moderne iskernebor i EGRIP-lejren. I spidsen af boret sidder skarpe knive, som bruges til at knække iskerne over hver tredje meter, da det er den længde iskerne, som boret kan holde af gangen.
- B:** Væggene i ishallerne skal jævnligt trimmes med motorsav. Isen kan nemlig ikke lide hulrum og forsøger hele tiden at udfylde forskernes ishaller igen fra alle sider.
- C:** Anders Svensson forbereder en prøve fra en iskerne, som skal have krystalstrukturen analyseret
- D:** Nedstigning til en dags arbejde under overfladen.