

Sibiriens permafrost – og Danmarks

af Svend Funder

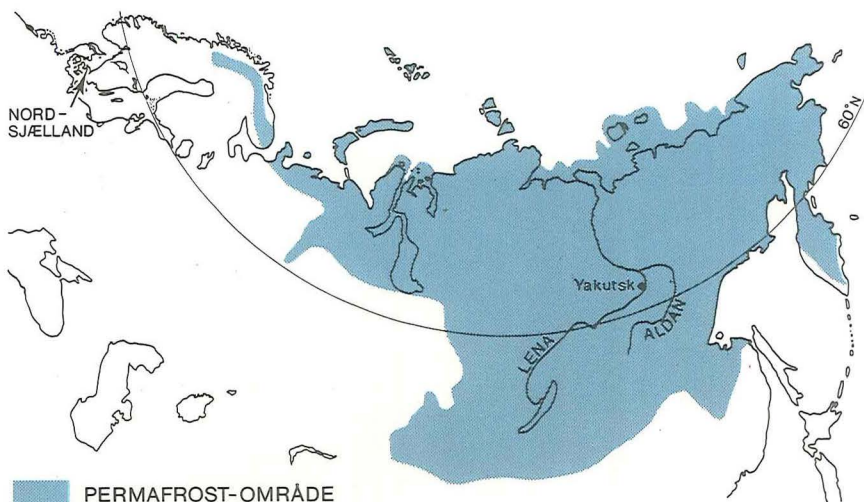
I begyndelsen af sidste århundrede var der i Sibirien en mand, der fik den tanke, at han - lige som man gjorde andre steder i verden - ville grave sig en brønd. Han havde kun gravet få meter, før han mødte frossen og stenhård jord. Men købmand Shargin i Yakutsk var ikke af dem, der sådan gav op, og selvom historien ikke fortæller om det, kan man nok gå ud fra, at det ikke var købmandens egne hænder, der fik vabler, da skovlen blev ombyttet med en hakke og arbejdet fortsatte.

Efter flere somre var brønden kun en snes meter dyb og stod stadigvæk i klippehård frossen jord. Nu var han ved at give op, men rygtet om hans forehavende var nået til det lærde Videnskabernes Akademi i Sankt Petersborg, og her fattede man interesse for projektet. Man opfordrede Shargin til at fortsætte og sendte ham adskillige termometre, så han fortsatte.

Hvad enten det nu skyldtes forskertrang af den mest ægte slags, eller det skyldtes den brilliantring, zaren skænkede ham, så fortsatte købmandens søn arbejdet efter faderens død. Ved århundredets midte var skakten nået 117 meters dybde - og stod stadig kun i frossen jord. Nu ved vi, at de skulle have fortsat mere end dobbelt så dybt for at klare vandforsyningen.

Købmand Shargin - senior og junior - har dog ikke fortjenesten for at have opdaget permafrosten, den altid frosne jord. Den har givetvis været kendt lige så længe, som mennesker har levet i det arktiske område, men købmandens brøndgravning henledte videnskabernes opmærksomhed på dette naturfænomen, der sætter sit præg på enhver livsudfoldelse i Arktis.

At den første permafrost-forskning skulle foregå i Sibirien, er kun naturligt, dette land er - om noget - permafrostens hjemland. Vi skal i det følgende se på nogle af de fænomener, der knytter sig til den sibiriske permafrost. I sommeren 1982 havde forfatteren, støttet af Carlsbergfondet, lejlighed til at besøge permafrostområdet Yakutien i det østlige Sibirien. Måske kan nogle af de sibiriske fænomener bidrage til forståelsen af vort eget landskabs tilblivelse.



Hvad er alass ?

I den tætte taiga, den nåleskov der dækker størstedelen af Sibirien, kan man pludselig stå over for en lysning med en frodig hoftehøj bevoksning af græs og stauder. Ved nøjere eftersyn ser man, at lysningen ligger i en sænkning omgivet af en 10-15 meter høj skovbevokset skrænt, der kan være cirkelrund, og størrelsen kan være fra nogle få hundrede meter til flere kilometer i diameter. Det er en alass. Alass'erne er efterstræbt som enge til høslet, men hvordan er de opstået ?

Alass-dannelsen hører til de fænomener, vi på dansk kalder termokarst. I 1982 nr. 4 af VARV blev det beskrevet, hvorledes karstlandskaber opstår ved grundvandets opløsning af kalkbjergarter. I permafrostområder kan man finde landskabsformer, der har en vis lighed med karst, men her er de dannet ved lokal smeltning af is-rig permafrost - derfor navnet termokarst, eller "varme-karst". Under alass-dannelsen gennemløber termokarst-processerne en række stadier.

Det hele kan f.eks. begynde med, at nogle af taiga'ens gamle træer væltes af vinden - skovens tætte dække er nu brudt, og solen kan nå ned til skovbunden og varme jorden op - eller måske overjorden af anden grund er blevet eroderet bort, så permafrostens overflade er blevet blottet og begynder at smelte.

Den pletvise smeltning fører til dannelsen af en sænkning fyldt med smeltvand, og nu starter en form for kædeproces. Fra omgivelserne skrider jord ned i sænkningen, hvorved bevoksningen ødelægges og ny permafrost blottes, og under den lille smeltvandsdam smelter permafrosten stadig dybere og dybere på grund af vandets gode varmeledningsevne. Denne første fase af udviklingen en-

der med dannelsen af en sø, der udfylder hele sænkningen og efterhånden indstiller sig i en ret stabil ligevægt med den omgivende permafrost. Men nu griber andre kræfter ind.



Fig. 1. Udsigt over en alass, i baggrunden mellem træerne anes alass-skrænten. Vandhullet er dannet ved lokal opsmeltning af permafrosten. Alass'en er dannet i en ca. 300 000 år gammel flodterasse. Sydøst for Nisjnij Bestyakh ved Lena floden.

I Sibirien er nedbøren ringe, kun 1/3 af, hvad vi har hos os, og i den varme sommer er fordampningen så stor, at søen begynder at tørre ud, og til sidst er den væk. Den tørlagte søbund er blevet til en eng. Alass'en er dannet. Den stærke fordampning bevirker en forhøjet koncentration af salte i jordbunden, og det forhindrer taiga'ens træer i at vende tilbage.

Men der sker stadig noget. Ved søens udtørring er der opstået en ny varme-situation i jordbunden, og permafrosten bliver nu langsomt gendannet under den tidligere søbund. Under denne proces sker det hele tiden, at optøede jordlag bliver fanget imellem den gamle og den nydannede permafrost. Disse ikke-frosne lommer kaldes med et russisk udtryk taliks, og deres indespærring bevirker, at der opstår spændinger i jordbunden, som derfor ustandseligt er i bevægelse. Det mest imponerende resultat af disse processer er de bakkeknolde, der skyder sig op over alass'ens bund. I Sibirien kaldes de bulgunyakhs, men vi kender dem også fra Grønland under det eksimoiiske navn pingos. De vokser ved tilførsel af grundvand, der på grund af trykforholdene søger opad, og tættere ved overfladen fryser til is. I sjældne tilfælde kan de opnå en højde på 50 meter, og man har



Fig. 2. Første stadium af alass-dannelsen. Der er dannet en lille dam, og jordbunden rundt omkring er blevet ustabil, lærketræerne er gået ud, snart vil jordbunden i forgrunden synke ned og blive vanddækket. Tanda ved Aldan floden. Eller Sækkedam i Rude Skov for 11 000 år siden ?

målt en årlig højde-tilvækst på 1/2 meter. Men før eller siden sprænger istilvæksten den isolerende kappe af jord, den indre is blottes og smelter - og bulgun-yakh'en, eller pingo'en, forsvinder lige så stille igen, efterladende sig en lille ringvold omkring et vandhul.

Hvor hurtigt alass'ens stadier gennemløbes er helt afhængigt af lokale forhold. Man har alass'er på steder, hvor beretninger fortæller om tæt taiga for 200 år siden, og der er udstrakte søer, der er forsvundet indenfor de sidste 30-40 år, men der er også alass'er, der har eksisteret igennem årtusinder, mens udviklingen i andre tilfælde tilsyneladende er gået i stå på sø-stadiet.

Selvom permafrost-smeltningen, som ovenfor nævnt, kan starte ved en tilfældighed, er alass-dannelsen dog udtryk for en generel ændring af permafrostforholdene - sandsynligvis permafrostens uhyre langsomme tilpasning til den klimændring, der markerede afslutningen af istiden for 10 000 - 12 000 år siden. Alass'er er især hyppige i de mest kontinentale områder i det østlige Sibirien, og i en zone langs det ubrudte permafrost-dækkes sydbrand. Men udviklingen skyldes ikke alene klimaet.

De dybe indsynkninger i jordoverfladen viser, at store mængder af is var bundet

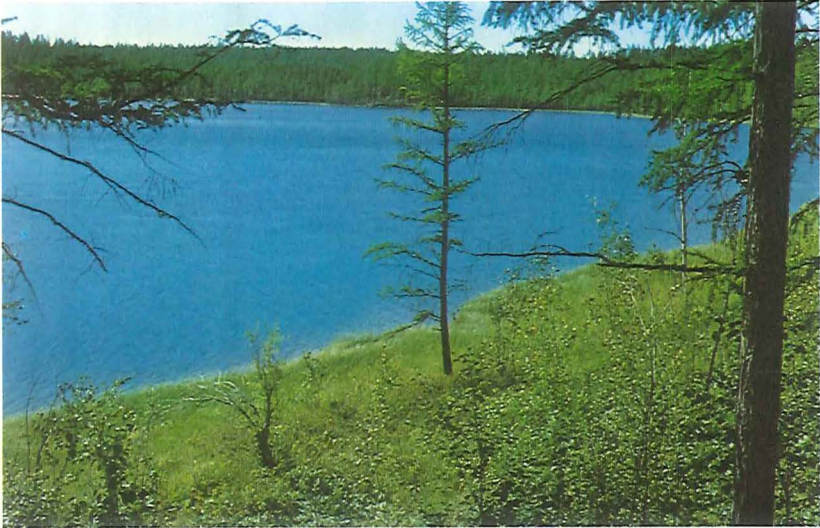


Fig. 3. Sø-stadiet. En stor sø udfylder hele thermokarst-sænkningen. Toppen af skrænten, hvorfra billedet er taget, viser, hvor terrænoverfladen befandt sig før indsunkningen begyndte. Ireleekh Søen ved Aldan floden. Eller "Ur-Fem-søen" ved Holte ?

i permafrostlaget - hvor kom isen fra ?

Det Sibiriske lavland er for en del opbygget af grus og sand, afsat af de store floder gennem millioner af år. Det er karakteristisk, at aflejringerne fra Kvar-tærtiden danner udstrakte terasser, der kan ligge op til 200 meter over de nu-værende flodløb - jo ældre terrasserne er, des højere ligger de. Grus- og sandaf-lejringerne kan være dækket af en særlig type sediment - silt og sand i sammen-blanding og ofte rigt på plante- og dyrerester - og is. Isen forekommer dels spredt i sedimentet og dels i lag og linser, men især i det netværk af brede is-kiler, der gennemsætter aflejringerne. Sovjetiske geologer kalder denne aflejr-ingstype for et "is-kompleks", og det er her man finder de mest storslåede permafrost-fænomener.

Begyndelsen til dannelsen af et is-kompleks kan man i vore dage se på flodslet-terne i nordligere egne af Yakutien. Under vårflommen går floden over sine bredder og oversvømmer den brede flodslette, hvor der afsættes et dæklag af sediment, men noget af vandet bliver også tilbage - i form af is, der ligger som tynde lag i aflejringerne. Her begynder også den første dannelse af små tynde is-kiler. Med tiden vokser is-mængden ved nedsivende regnvand og cirkulerende



Fig. 4. Moró alass. Den store alass er dannet ved sammensmeltning af flere små alass'er. Træerne gik ud, da alass-dannelsen begyndte. Da de blev fældet stod de på bunden af en sø. De blev fældet fra isen, og stubbenes højde angiver derfor søens vanddybde. I forgrunden alass-skrænten.

grundvand, der søger til de områder, hvor der allerede er is. For at få ophobet de store ismængder, der udgør 40-80 % af is-kompleksets rumfang, kræves der i dette nedbørsfattige land tid. Tid har der også været til rådighed. Det sibiriske lavvand har aldrig været overskredet af Istidens iskapper og gletschere, og klima og naturforhold har - i hvert fald i sammenligning med forholdene i vor del af verden - været uhyre stabile. Derfor har udviklingen kunnet løbe uforstyrret gennem hundredetusindvis af år. Der er sovjetiske forskere, der mener, ud fra analyse af is-strukturer, at kunne påvise is-legemer, der er dannet samtidig med de flodslette-aflejringer, de findes i, for 300 000 - 400 000 år siden - verdens ældste is ? At permafrosten har eksisteret uden afbrydelse i Sibirien i dette tidsrum, er der næppe tvivl om.

Dette var forklaringen på, at man i det nedbørsfattige Sibirien kan finde store mængder af is bundet i jorden, og at de mest imponerende permafrost-proceser er knyttet til de gamle og højtliggende flodterasser. Men vi kan ikke forlade jord-isen uden en nærmere omtale af de brede iskiler, en sibirisk specialitet.

I terrænet erkender man først de brede iskiler som et netværk af grøfter - velkendt af alle, der har været i de nordlige egne af Grønland. Men hvor flod-



Fig. 5. En bulgunyakh - eller pingo - i en alass ved Lena floden. I dette tilfælde har bulgunyakh'en tilsyneladende fundet sig en stabil tilstand, der tillader træerne at gro på den.

brinkerne er styrtet ned kan man her og der være så heldig at se hele kilen blottet. Her kan man se den snavsede is strække sig fra nogle få meter under jordoverfladen og ned i aflejringen, den største bredde, der findes ved toppen, kan nå op til over 5 meter. Fra toppen og ned til den nederste spids er der i enkelte tilfælde målt 15 meter.

En iskile begynder sin dannelse, når de lave vintertemperaturer sætter ind. Stærk kulde får den isfyldte jordbund til at trække sig sammen, og en smal sprække opstår. Ved forarets snesmeltning siver vand ned i sprækken og fryser til is. Næste vinter gentager historien sig, og opsprækningen foregår fortrinsvis på de samme steder, hvorved kilen vokser i bredde. Tilvæksten er ganske vist ikke stor - mindre end een millimeter om året - men i løbet af årtusinderne kan det alligevel blive til noget. De større iskiler i Sibirien antages at have begyndt deres vækst for ca. 35 000 år siden, og de er "still going strong".

I Danmark kender vi sporene efter iskiler bl.a. fra grusgrave. Den oprindelige is er her blevet erstattet med nedskredet sand. De blev dannet i flere perioder under Istiden, men opnåede aldrig en størrelse som de sibiriske - dertil var permafrost-perioden af for kort varighed, se VARV 1979-1.

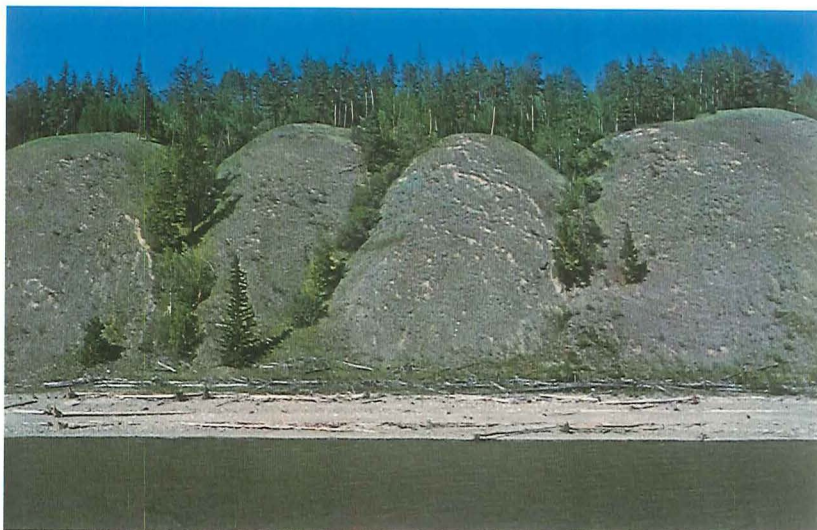


Fig. 6. Det første spor af iskiler. De små kløfter er dannet over afsmeltende iskiler. Fugtigheden her gør det muligt for den dauriske lærk at trives, mens de solsvedne skrænter er præget af en steppeagtig bevoksning, rig på malurt og græsser - og den interessante plante Ephedra distachya (en padderokkelignende lille busk med røde frugter), som voksede i Danmark i en kort periode ved istidens afslutning. Chuya ved Aldan floden.

Sibirisk og dansk permafrost

Under mere end 9 millioner kvadratkilometer af Sibiriens areal er der permafrost. Det er her den trænger længst mod syd: i egnene ved Baikalsøen, på samme breddegrad som London, er der pletter af permafrost. Det er også i Sibirien, at permafrostlaget når sin største tykkelse - 1450 meter målt ved landsbyen Shalagontsi i det nordvestlige Yakutien. Årsagen til disse rekorder er naturligvis de ekstremt kolde vintre.

I byen Yakutsk, som ligger på 62° nordlig bredde og nær den sydlige grænse for ubrudt permafrost, er middeltemperaturen i juli en anelse højere end hos os, men i januar når den ned til -45°. Derfor er det årets middeltemperatur, som er den faktor, der har størst betydning for permafrost-dannelsen, omkring temperaturer på -10°, svarende til, hvad man finder i de nordligste dele af Grønland. Hertil kommer det tørre klima, hvor det isolerende vinter-snedække kun er tyndt.



Fig. 7. Nogle små iskiler er blottet i tværsnit. De er omgivet af is-kompleks sediment fra sidste istid. Tanda ved Aldan floden.

Som nævnt viser "fossile" froststrukturer, at vi havde permafrost i perioder under Istiden, men vi har næppe haft så kolde vintre som de sibiriske, og det frosne lag blev sikkert ikke mere end et halvthundrede meter tykt.

Ikke destomindre er der et væsentligt lighedspunkt mellem den fortidige danske og den nutidige sibiriske permafrost, et lighedspunkt, der gør det fristende at undersøge, om man ikke i Danmark skulle kunne finde nogle af de fænomener, der er så karakteristiske i Sibirien. I begge områder åd frosten sig ned i løse aflejringer der har evne til at binde store mængder vand - i form af is. Tilstedeværelsen af store mængder af is i jorden var, som nævnt, en af de væsentlige forudsætninger for alassdannelse.

Fig. 8. En bred iskile rager ud af blotningen. Isen i dens yderste del blev dannet for ca. 35 000 år siden. Iskilen er ca. 4 m bred og blottet i 10 m's højde. Tanda ved Aldan floden.



Fig. 9. Ved jordudskridning er en iskile blevet blottet langs sin side over en strækning af ca. 500 meter. De døde lærketræer ender før eller siden i Aldan floden, og måske i Ishavet og muligvis i Grønland. Tanda ved Aldan floden.



Fig. 10. Sibirien er det område i verden, hvor flest mennesker bor på permafrost og må tilpasse sig de problemer, det medfører. Ved "Institut for Permafroststudier under den Sibiriske Afdeling af Sovjetunionens Videnskabernes Akademi" er en del af problemerne blevet løst. Instituttet er et center for permafrostforskningen.

En dansk alass ?

I 1912 beskrev geologen N. Hartz en ejendommelig lagfølge, som han havde fundet i bunden af flere nordsjællandske søer. Begravet under søernes dynd fandtes en muldhorisont, her og der med træstubbe stående på roden. Muldhorisonten stammede fra Allerød-tid for ca. 11 000 år siden og kaldtes for Allerød-muld. Lagfølgen viser, at hvor der før havde været tørt land, var der ret pludseligt opstået en sø.

Hartz' skitse af forholdene er her gengivet som figur 11. Forklaringen var, mente han, at istidens isdække under dets afsmeltning havde efterladt sig nogle store klumper af is - dødis - der, begravet under sand og grus, havde holdt sig i årtusinder, mens den intetanende bevoksning bredte sig på jorden hen over dem. Men under Allerød-tidens varme smeltede isen, jorden sank sammen og hvor isen havde været, opstod en sø. Hartz mente iøvrigt, at en stor del af vore søer opstod på denne måde.

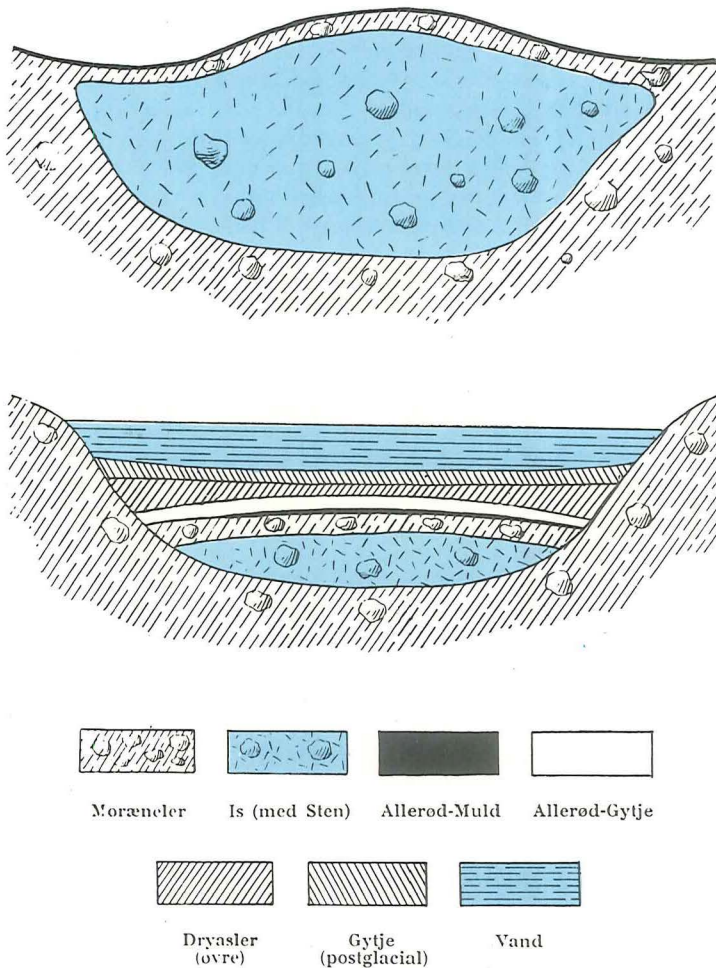


Fig. 11. Dannelsen af en nordsjællandsk sø. Figuren gengivet efter N. Hartz, Dansk geol. Foren. 1912.

Den beskrevne lagfølge (det ville kræve et meget stort gravearbejde, at nå frem til lagene nu), svarer ret nøje, til hvad man finder under en alass. Kunne man nu tænke sig, at søerne opstod, ikke som dødishuller, men som thermokarst-dannelser? Man behøver i så fald ikke at ændre meget på den oprindelige tolkning.

Hvis man i figuren erstatter "is med sten" med "is-rig permafrost" så passer pengene. Men hvorfor skulle man vælge en ny forklaring, hvis den gamle er god

nok ? De nordsjællandske søer har senere været genstand for indgående studier, denne gang foretaget af botanikeren K. Jessen. Det viste sig da, at forholdene omkring søernes dannelse var lidt mere udviklede. F.eks. kunne man i eet og samme søbassin finde Allerød-muld i den ene ende, mens lagene i den anden ende viste, at der her samtidigt og igennem mange århundreder havde eksisteret en sø. Jessen foreslog - uden begejstring - at den begravede isklump havde haft et smeltet hul, hvori der igennem dette lange tidsrum havde været en sø, mens muldhorisonten dannedes oven på den endnu usmeltede del af isklumpen.

Dødis-forklaringen fører her til nogle ret udviklede hypoteser, men hvis man i stedet valgte thermokarst-teorien passer iagttagelserne ind i et logisk billede, idet det jo er karakteristisk for den begyndende thermokarst-dannelse, at den starter med en lokal opsmeltning af permafrosten, og herfra breder sig til siderne. Figur 2 kunne her forestille Sækkedam i Rude Skov i Allerød-tid: det første lille søbassin er dannet, efterhånden vil det brede sig til siderne, hvor jorden vil synke sammen, og de døde træer komme til at stå på den fremtidige søbund. I Sibirien kulminerede alass-dannelsens første fase i en stor sø - har vi noget tilsvarende ?

De nordsjællandske søer opnåede deres største udbredelse og vandrighed i Yngre Dryas-tid, som fulgte efter Allerød-tid. I området Femsølyng nord for Rude Skov var en række små bassiner smeltet sammen med een stor sø - "Ur-Femsøen". Kunne det være den, vi ser i figur 3 ? (Man må her tænke sig den tætte taiga erstattet af en åben park-tundra bevoksning). Her har alass-dannelsen nået et forholdsvis stabilt stadium, under søen er permafrosten dybt opsmeltet, mens den stadig eksisterer i områderne omkring søen. Terrænforholdene er derfor anderledes end dem, vi ser nu - søens omgivelser lå højere end nu på grund af den is-rige permafrost i sedimenterne. Dette kunne muligvis forklare, hvorfor Ur-Femsøen i vore dage ikke udgør et naturligt bassin - det har ikke nogen begrænsning mod syd. For at forklare dette har man tidligere måtte bringe endnu en klump dødis, der lå og dæmmede vandet op.

Men hvad så med det sidste stadium, den egentlige alass - engen, hvorunder permafrosten var under genopbygning ? Det kan man næppe forvente at finde hos os. Ved varmetidens begyndelse efter Yngre Dryas-tid forsvandt permafrosten, og det klima, der kom til at herske var - i forhold til det sibiriske - fugtigt. Søerne svandt vist ind, men de blev ikke til enge, nogle af dem blev til moser.

Thermokarst kontra dødis

Man kan altså med opbydelse af lidt god vilje følge nogle af de karakteristiske thermokarst-processer i vor landskabs-udvikling ved istidens afslutning. De nordsjællandske søer er valgt som eksempel, fordi de med en næsten 200-årig

udforskningstradition er de bedst kendte, vi har. Man kunne sikkert også finde andre områder, især kunne man overveje, om ikke thermokarsten kunne erstatte nogle af de mange dødis-klumper, som geologerne gennem tiden har fået anbragt rundt om i landet i deres forsøg på at forklare det uforklarlige.

Men smeltning af dødis og smeltning af permafrost er beslægtede processer - er der nogen væsentlig forskel? De årtusinder gamle dødisklumper, begravet i jorden hundredevis af kilometer borte fra den nærmeste "levende" is, hører til på et rent hypotetisk plan - der er ikke noget sidestykke til dem nu. Thermokarst-processerne er derimod hentet ud af hverdagen - den sibiriske hverdag.



Fig. 12. Fra permafrostens skatkammer. Det var en videnskabelig bedrift, da det i 1901, efter en lang og strabadserende ekspedition for første gang lykkedes at sikre et mammut-kadaver for videnskaben. "Beresowkamammuten" blev fundet i det østligste Sibirien ved floden Indigirka. Den døde med mad i munden og, som man kan se, siddende. Sandsynligvis skete der det, at den på en fredelig sommerdag for 40 000 år siden kom for nær flodbrinken, som gav efter og styrtede ned. Mammутten rutschede med og blev begravet af det skred, den havde startet. På den måde blev den indkapslet i permafrostens fryseboks. Zoologisk Museum i Leningrad.