

# GEOLOGI

NYT FRA GEUS

## TEMANUMMER IS OG ENERGI

NR. 5 DECEMBER 1996

# Vandkraft og historie



Henrik Højmark Thomsen

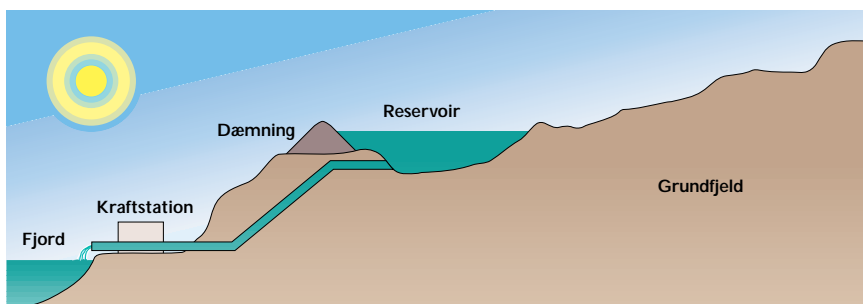
Udnyttelsen af vandkraft er af gammel dato i Danmark. Langt tilbage har der været vandmøller ved de fleste vandløb over hele landet. I dag findes der kun få steder i Danmark, hvor vandkraft udnyttes. Men fra Norges og Sveriges nordlige fjeldområder produceres stadig energi i stor stil på mange vandkraftværker. På Grønland snurrer det første vandkraftværk ved Buksefjorden, der producerer energi til hovedstaden Nuuk på vestkysten. Men det er især de vældige, årlige smeltevandmængder fra Indlandsisen i Grønland, der kan levere vand til et muligt fremtidigt vandkrafteventyr i Grønland.

## Vandkraft princippet

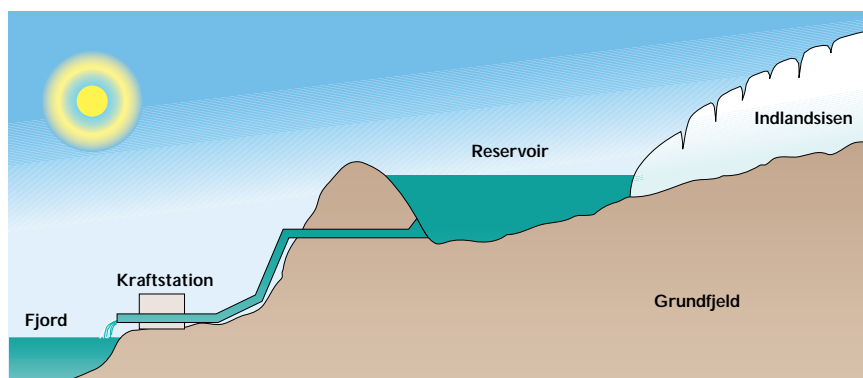
Det er enkelt at producere energi ved hjælp af vand. Vand fra et højt beliggende område opsamles i reservoirer i form af naturlige eller opdæmmede søer. Derfra ledes det via tunneler eller rør til vandkraftturbiner i lavere højde, hvor energien fra vandets fald omsættes til elektricitet (figur 1). Mængden af energi der kan produceres, afhænger af vandets faldhøjde og mængden af vand, der strømmer. Områder med et stort vandkraftpotentiale er derfor områder med et højt beliggende vandreservoir, hvortil der strømmer rigelige vandmængder.

Vandreservoiret fungerer som en slags lager, hvor vandet opmagasineres. Energi kan så produceres, når man ønsker det, ved at tappe vand fra reservoiret. I arktiske områder eller højfjeldsområder falder meget af nedbøren som sne i løbet af vinteren. Denne sne smelter den næstfølgende sommer, og smeltevandet strømmer først på dette tidspunkt til reservoiret. Det er derfor nødvendigt at have et tilstrækkeligt stort reservoir, så der kan tappes vand fra det, hele vinteren, hvor der ikke falder nedbør i flydende form. Reservoiret fyldes derpå op igen i løbet af sommeren, når vinterens sne smelter og der igen falder nedbør som regn.

Om vinteren fryser reservoirsøerne til, men kun til dybder på nogle få meter. Tun-



Figur 1. Princippet i traditionelt vandkraftværk.



Figur 2. Princippet i gletscherkraftværk.

nelerne fra reservoiret til kraftstationen placeres derfor i bunden af søerne, hvorfra der hele vinteren kan tappes vand til vandkraftproduktion.

I Grønland skelnes mellem to typer vandkraftområder. Det ene udnytter afstrømningen fra dalstrøg og søer i det isfri kystland på konventionel måde (figur 1). Vandmængderne fra disse bassiner er hovedsageligt nedbør i form af regn om sommeren og sne om vinteren. Den anden type bassiner er forbundet med Indlandsisen, og hovedparten af afstrømningen består af smeltevand fra dette store isdække. I disse såkaldte gletscherbassiner strømmer smeltevandet om sommeren fra Indlandsisen til højtliggende naturlige eller opdæmmede søer i det isfrie land foran isen (figur 2). Langt det største vandkraftpotentiale i Grønland findes i disse gletscherbassiner.

## Vandkraft i Grønland

I 1951 påpegede den schweiziske geolog H. Stauber muligheden for at udnytte de store smeltevandmængder fra Indlandsi-

sen til vandkraft i Grønland. Han forestillede sig, at man kunne regulere smeltevandet på Indlandsisen i Syd og Vestgrønland ved at bygge dæmninger og kanaler og fylde gletschersprækker op med en speciel slags beton. Han beregnede, at man på denne måde kunne producere en energimængde på 4 millioner gigawatt-timer, der svarer til mere end 100 gange Danmarks årlige elforbrug. Idéen er imidlertid ikke realistisk, for det enorme isdækkes smeltevandsstrømme lader sig ikke tæmme på denne måde. Til gengæld var ideen med til at aktualisere debatten om vandkraft som energikilde i Grønland, og i begyndelsen af 1970'erne tog vandkraftplanlægningen i Grønland for alvor fart. Igennem studier af kort og eksisterende oplysninger om klimaet, blev der fundet en række mulige vandkraftområder i Vestgrønland. Formålet med dette arbejde var at udpege en række lokaliteter med størst muligt vandkraftpotentiale til forsyning af energikrævende industrier såsom minedrift, fremstilling af kunstgødning eller aluminium. I løbet af 1980'erne skiftede prioriteringen, og vandkraftundersøgelserne om-

fattede hovedsageligt mindre vandkraftbassiner, der skulle producere energi til forsyning af de grønlandske byer. Energien fra disse såkaldte bynære bassiner skulle erstatte eller supplere den eksisterende energiproduktion i de grønlandske byer fra dieselkraftværker. Der blev iværksat et omfattende program for at undersøge de naturlige forudsætninger for bygningen af vandkraftværker.

*Er der vand nok?  
Er det teknisk muligt?  
Hvad koster det?*

Det var spørgsmålene, der skulle besvares inden en beslutning kunne tages. Planlægningen af vandkraft i Grønland har derfor været opdelt i en række faser, der arbejder hen mod at beslutte, hvor, hvordan og hvornår vandkraftværker skulle bygges. I løbet af hver fase intensiveres undersøgelserne i de enkelte områder og faserne afsluttes med en rapport, hvor det konkluderes, om man skal forsætte eller skrinlægge undersøgelserne. Undersøgelserne består af en kortlægning af de naturgivne betingelser såsom: Afstrømningen i floder, klimaet, is- og sneafsmeltningen og glets-

chernes bevægelse. Derudover er omfattende anlægstekniske undersøgelser nødvendige omkring tunnelføringer, eventuelle dæmninger, og kabelforbindelser til brugerne. Ydermere udføres miljøundersøgelser, der skal klarlægge om værket vil forstyrre de naturlige livsbetingelser for dyr og mennesker i området. Da der er tale om betydelige investeringer, spiller økonomiske overvejelser også en væsentlig rolle, og den endelige beslutning er et spørgsmål om økonomi og politik.

Undersøgelserne blev i begyndelsen varetaget af Grønlands Tekniske Organisation (GTO), men i 1989 blev området lagt ind under Nukissiorfiit (Grønlands Energiforsyning). Nukissiorfiit har siden haft ansvaret for udnyttelsen af vandkraften i et samarbejde med Grønlands Forundersøgelser (GFU) og Grønlands Geologiske Undersøgelse, nu GEUS. Grønlands Forundersøgelser udfører det hydrologiske arbejde, mens Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) står for undersøgelserne af gletschere og Indlandsisen.

Nukissiorfiit har netop udgivet en rapport, der opsummerer vandkraftmulighederne i Grønland. Der er lokaliseret 16 store vandkraftområder med et samlet vandkraftpotentiale på 13.000 gigawatt-timer pr. år og 15 mindre områder med et potentiale på i alt 620 gigawatt-timer pr. år (figur 3). Dette arbejde er baseret på mange års forudgående undersøgelser, og selv om det til dato er det bedste bud på vandkraftproduktionen fra Grønland, så er der stadig stor usikkerhed forbundet med størrelsen af vandkraftreserverne, specielt når det gælder bedømmelse af de store vandmængder fra Indlandsisen.



Figur 3. Mulige placeringer af vandkraftværker i Grønland og placering af tidligere GEUS stationer ved Indlandsisen.

**Måleenheder for effekt og energi**

Effekt: Måleenhed (Megawatt). 1 megawatt er en million watt.

Energi: Måleenhed (Gigawatt-time). 1 Gigawatt-time er den energimængde, der forbruges, når en elektrisk effekt på 1000 megawatt virker i 1 time.

# Fra bar bund til baggrund

Planlægning af et vandkraftværk kræver et solidt kendskab til områdets vandafstrømning og klima, og dermed nedbør og temperatur, samt sne- og isafsmeltning. Disse data er nødvendige for at kunne vurdere, hvor meget vand, der er til rådighed for kraftproduktion. Denne viden var ikke til stede om Grønland, da interessen for vandkraft tog fart i 1970'erne. De eneste data, der eksisterede, var målinger af temperatur og nedbør fra en række grønlandske byer indsamlet af Danmarks Meteorologiske Institut, ofte langt fra de bassiner, hvor muligheden for vandkraftudnyttelse er til stede. Disse historiske data er imidlertid værdifulde, da de er systematisk indsamlet og dækker perioder på op til 100 år for visse byer. Endvidere forelår der spredte oplysninger om klima og isafsmeltning, indsamlet under forskellige videnskabelige ekspeditioner igennem årene. De første vurderinger af vandkraftmulighederne i Grønland blev derfor foretaget på et meget spinkelt grundlag. Det lykkedes dog at udpege nogle bassiner, der med hensyn til vandkraft er interessante, og hvor mere omfattende måleprogrammer kunne iværksættes. Et sådant måleprogram blev sat igang i løbet af 1980'erne, hvor oplysninger om temperatur, nedbør, afstrømning samt sne- og isafsmeltning og isbevægelse blev indsamlet fra en hel række områder i Vestgrønland (figur 4).

Indlandsisen var i bogstaveligste forstand en hvid plet på landkortet i vandkraftsammenhæng. Kun meget få oplysninger om klimaet og afsmeltningen på Indlandsisen i Vestgrønland eksisterede. Det er nok også

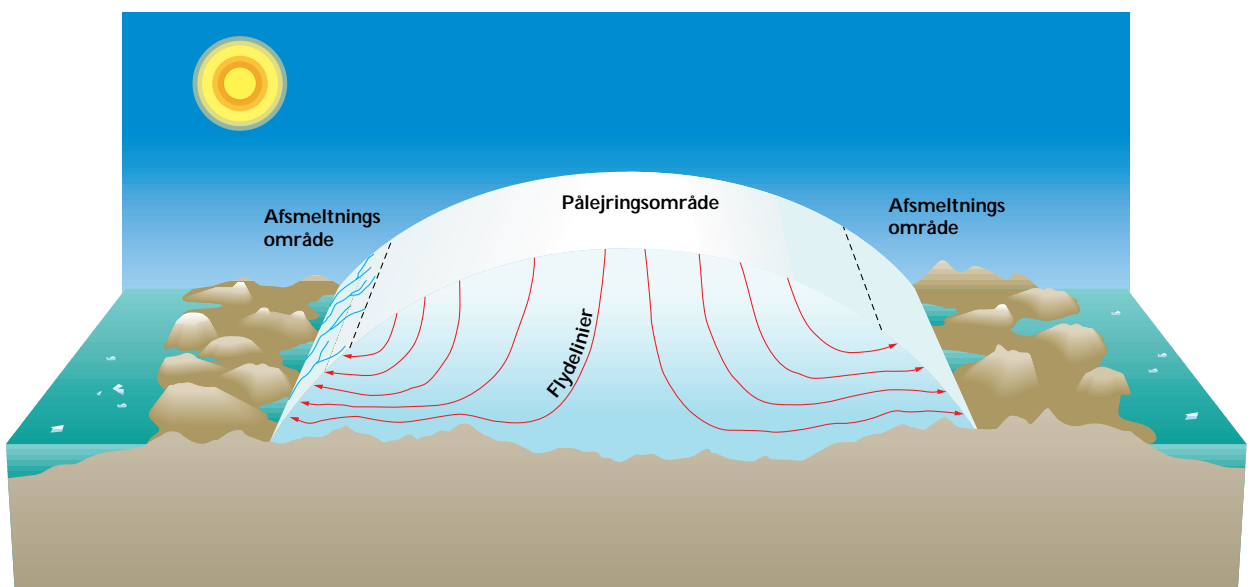


Figur 4. Måling af vandføringen i mindre smeltvandsflod fra Indlandsisen.

de færreste, som forbinder den kolde Indlandsis i Grønland med vandkraftproduktion. Så lad os for et øjeblik se lidt nærmere på Indlandsisen.

## Vand fra den dybfrosne verden

Indlandsisen er klimatisk set et af de mest ekstreme områder på jorden. Den hæver sig til en højde på 3200 meter over havet i det centrale Grønland og dækker et areal på størrelse med Vesteuropa. Den har en middeltykkelse på 1500 meter, og omtrent 7% af verdens ferskvandsressourcer ligger bundet i dette isdække. Indlandsisen næres af sne, der hvert år falder på de indre dele. Dette område kaldes pålejningsområdet. Her er så koldt hele året, at sneen bliver liggende fra år til år og sneen sammenpresses efterhånden til is under vægten af de følgende års snefald og synker langsomt ned i ismassen (figur 5). Under tyngdekraftens indflydelse begynder isen at flyde plastisk, hvorved lagene strækkes og udtyndes under stadig indsynkning i Indlandsisen. Fra Indlandsisens indre centrale dele flyder isen langsomt frem og nedefter, indtil den til sidst når ud til Indlandsisens randzone, hvor den dukker frem i dagens lys. Her er sommertemperaturen så høj, at både den årlige vintersne og op til flere meter is smelter væk hver sommer. Dette område kaldes derfor afsmeltningsområdet. Den store smeltning betyder ikke at isen bliver flere meter tyndere hvert år, da den bortsmeltede is hele tiden erstattes ved isens stadige bevægelse frem mod iskanten. Hvor iskanten når frem til søer eller havets overflade brækker isen af som isbjerge. Af-



Figur 5. Tværsnit gennem Indlandsisen. Flydelinierne viser de veje de enkelte snefnug bevæger sig, efter de er blevet fanget på overfladen af Indlandsisen.

smeltningens størrelse er blandt andet afhængig af temperaturen, og den bliver derfor generelt mindre i større højder og jo længere nord på, man befinder sig. Men selv i Sydgrønland er smeltningen beskedent i højder over 1600 meter, og smeltevandet trænger her ned i den kolde sne og genfryser. Det er derfor kun de lavere liggende dele af Indlandsisen - i randzonen, der er interessant i vandkraftsammenhæng.

### Forskningsprogrammet på Indlandsisen

Med henblik på at vurdere smeltevandsmængderne fra Indlandsisen iværksatte GEUS i slutningen af 1970'erne et forskningsprogram i Vestgrønland, hvor der blev indsamlet oplysninger om de snemængder, der årligt falder på Indlandsisen, og hvor meget sne og is, der smelter hver sommer (figur 7). Ved hjælp af disse målinger kan man holde regnskab med sne og ismængderne, og de kaldes derfor for massebalancemålinger. Ud fra massebalancen kan man udlede, hvor meget smeltevand der strømmer bort fra forskellige dele af isen. Side-løbende blev der indsamlet klimadata, idet man målte temperaturen, vindhastighed og retning, samt solstråling - forhold der har indflydelse på afsmeltningens størrelse. Dataene skulle bruges til at opstille matematiske modeller for sammenhængen mellem massebalancen og klimaet (figur 8). Dette basisprogram var tilrettelagt med henblik på at indsamle lange serier af målinger, for at få et solidt kendskab til massebalanceforholdene på Indlandsisens randzone i



Figur 6. De mangeårige undersøgelser af Indlandsisens massebalance, klima og bevægelse blev gennemført ud fra faste stationer ved iskanten.

Vestgrønland. Arbejdet blev udført fra faste stationer (figur 6), der blev anlagt med en passende spredning langs iskanten i Vestgrønland, således at variationen i massebalancen fra syd mod nord kunne kortlægges (figur 3). Resultaterne og erfaringerne fra basisprogrammet har været udnyttet til at vurdere mulighederne for vandkraft i en hel række vandkraftbassiner langs med kysten af Vestgrønland.

### Matematiske modelberegninger

Alle de indsamlede data indgår i beregningen af, hvor meget vand der strømmer til de enkelte bassiner, og hvordan denne vandmængde varierer. En sådan bestem-

melse udføres ved, at der opstilles matematiske modeller på grundlag af data fra målingerne i naturen. Ved hjælp af modellerne udregnes afstrømningen ud fra oplysningerne om eksempelvis temperatur, nedbør og isafsmeltning. Når modellerne beskriver de naturlige forhold tilfredsstillende, opstilles tillige modeller, der sammenkæder målinger af temperatur og nedbør i de enkelte bassiner med de historiske klimadata indsamlet i byerne. På denne måde kan man ud fra de historiske klimadata beregne afstrømningen og vurdere dens størrelse i en lang tidsperiode og dermed skabe et bedre beslutningsgrundlag for en placering af et eventuelt vandkraftanlæg.



Figur 7. Snemængden på Indlandsisen måles.



Figur 8. Klimadata indsamles til modelberegninger.

# Vandkraft fra Indlandsisen - et eksempel

I løbet af 1980'erne intensiveredes undersøgelserne i et vandkraftbassin ved Paakitsoq, omkring 40 kilometer nordøst for byen Ilulissat/Jakobshavn i Vestgrønland. Planerne var at sætte et vandkraftværk i drift i 1991, der skulle forsyne Ilulissat by med energi. Undersøgelserne i bassinet blev derfor ført helt frem til et beslutningsgrundlag, der konkluderede, at der var tilstrækkelige vandmængder til etablering af et vandkraftværk. Men prioriteringen skiftede og bygningen af Grønlands første vandkraftværk til forsyning af Nuuk blev startet i 1990. Paakitsoq bassinet ligger i tilknytning til Indlandsisen og omkring 90 procent af vandet, der strømmer til området er smeltevand fra Indlandsisen. Lokaliteten fremviser det bedste eksempel på de specielle problemer og undersøgelser, der er forbundet med vandkraftplanlægning fra et gletscherbassin, og den er derfor valgt som et eksempel her.

## Paakitsoq bassinet

Paakitsoq bassinets isfrie del består af et 34 kvadratkilometer stort fjeldområde, der ligger mellem 200 og 600 meter over havets overflade. Dette område grænser op til Indlandsisen, der skyder gletschertunger ud i en række søer, der ligger ved iskanten. To af disse søer er udpeget som reservoirsøer for det planlagte vandkraftværk (figur 9). Langt den største del af vandet, der strømmer til disse søer, er smeltevand fra Indlandsisen. Det var derfor af afgørende betydning at få opgjort, hvor meget vand der strømmer ud fra isen, og hvordan denne vandmængde varierer. Derfor blev der iværksat målinger af afstrømningen fra søerne og indsamlet temperatur- og nedbørsdata i området med henblik på beregning af disse størrelser. Samtidig blev der foretaget målinger af isens afsmeltning i en række punkter fra iskanten og op over isen, således at modellen kunne justeres i nødvendigt omfang. En vigtig størrelse, for beregningerne af afstrømningen, er arealet af det område, der strømmer vand fra. For isfrie egne kan denne oplysning hentes fra landkort over området, men for områder af Indlandsisen er det vanskeligt at få denne oplysning. Smeltevandets strømningsveje, på et stort sammenhængende isdække som Indlandsisen, er uhyre kompliceret, og det



Figur 9. Søer ved kanten af Indlandsisen ved Paakitsoq i Vestgrønland. Søerne var planlagt som reservoir for et vandkraftværk.



Figur 10. Tusindvis af mindre smeltevandsfloder på Indlandsisens overflade.

kræver omfattende undersøgelser for blot at finde ud af, hvor vandet løber hen. Så lad os for en kort stund se på, hvordan smeltevandet strømmer.

## Smeltevandets komplicerede veje

Om foråret starter smeltningen og tusindvis af små vandløb udvikles på isoverfladen (figur 10). På deres vej frem mod iskanten samles de små vandløb til større og større floder, der som rivende smeltevandsstrømme snor sig ned over isoverfladen (figur

11). Flere steder smelter disse floder sig ned i isen og skaber dramatisk dybe kløfter i isoverfalden (figur 12). I enkelte tilfælde løber floderne på isoverfladen helt frem til iskanten, hvor de som vandfald fosser ud i søerne. Men i langt de fleste tilfælde søger vandet ned i isen adskillige kilometer fra iskanten, igennem sprækker og spalter, der er opstået som følge af isens bevægelse (figur 13). Fra disse såkaldte gletscherbrønde baner vandet sig vej ned gennem Indlandsisen, og strømmer i hulninger og kanaler



Figur 11. Brusende smeltevandsflod på Indlandsisens overflade.



Figur 12. Kløft nedskåret i overfladen på Indlandsis af strømmende smeltevand.



Figur 13. Gletscherbrønd hvor smeltevandet forsvinder fra overfladen og søger ned til bunden af isen.

langs bunden af isen, frem til iskanten, hvor det så atter dukker frem som smeltevandsfloder. I det aktuelle tilfælde udmunder smeltevandsfloderne i bunden af søer ved iskanten. Smeltevandets strømningsveje ligger altså skjult under op til flere hundrede meter tyk is. Men det er nødvendigt at vide, hvordan vandet strømmer under isen for at være istand til at sige, om vandet fra de store smeltevandsfloder på isoverfladen løber ned til de søer, der er udpeget som reservoirer for et vandkraftværk.

**Kortlægning af isoverfladens flodsystemer**

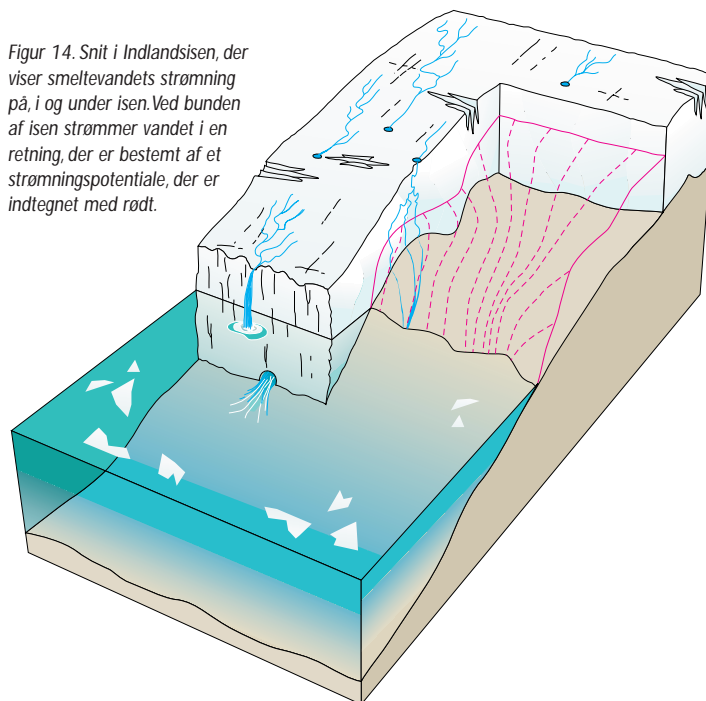
Den første fase i kortlægningen af smeltevandets strømningsveje ved Paakitsoq, var kortlægningen af, hvordan vandet løber på isoverfladen. Ud fra foto optaget fra fly er der, ved hjælp af et kortudtegningsinstrument, tegnet et kort over isoverfladens højdeforhold. Desuden er alle større flodsystemer og gletscherbrønde blevet indteget på kortet. Ved hjælp af dette kort er det muligt at måle, hvor store arealer på isoverfladen, der leverer vand til de enkelte flodsystemer samt at kortlægge, hvor på isoverfladen vandet forsvinder ned i gletscherbrønde. Dette billede af vandets veje på isoverfladen fortæller dog kun om strømmingen på det tidspunkt, hvor områ-

det blev fotograferet, og for at denne oplysning skal kunne bruges til noget, er det nødvendigt at indhente oplysninger om, hvor stabilt det kortlagte strømningsmønster er. Ved Paakitsoq, var det muligt at indhente oplysninger om smeltevandsfloderne løb ud fra ældre fotografier optaget fra fly. Dette viser, at vandets strømningsveje på isoverfladen har været næsten stabile i en 40 års periode. Med andre ord er floder og gletscherbrønde beliggende i de samme lavninger på isoverfladen. Denne stabilitet skyldes, at isoverfladens ujævne, bølgede

overflade er en følge af isens stadige bevægelse hen over et ujævnt bjergrigt land under isen. Isoverfladen afspejler således i dæmpet form, tilnærmelsesvis landskabet under isen. Efter at smeltevandet har forladt isoverfladen er dets fortsatte skjulte strømningsveje bestemt af forholdene ved bunden af isen.

**Smeltevandets strømning under isen**

Bunden af Indlandsis er nok et af de mest utilgængelige områder at studere, og det er derfor nødvendigt at støtte sig til teoreti-



Figur 14. Snit i Indlandsis, der viser smeltevandets strømning på, i og under isen. Ved bunden af isen strømmer vandet i en retning, der er bestemt af et strømningspotentiale, der er indteget med rødt.

ske modeller, for at kunne beskrive hvordan smeltevand vil strømme under et flere hundrede meter tykt isdække. Ifølge teorien er vandets strømningsveje ved bunden af et isdække afhængig af, hvordan landskabet ser ud, og hvor stort vandtrykket er under isen. Dette udtrykkes i et såkaldt strømningspotentiale, der driver vandets strømning (figur 14). Generelt vil vandet følge dalstrøg ved bunden af isen, hvis vandtrykket er lavt, men ved stigende vandtryk vil vandets strømning blive mere og mere uafhængig af landskabet under isen. Strømningspotentialet, og dermed vandets strømning under isen, kan beregnes, hvis man kender landskabet og vandtrykket under isen.

#### Kortlægning af landskabet under isen

Flere metoder kan anvendes til kortlægning af underlaget for gletschere. Ved Paakitsoq skulle et område på størrelse med Falster kortlægges for at være sikker på at dække alle smeltevandets mulige strømningsveje. Da det tillige er vanskeligt at bevæge sig rundt på isoverfladen med instrumenter på grund af de store smeltevandsfloder og områder med mange gletscher-spalter, valgte man en metode, der kunne praktiseres fra fly eller helikopter, og valget faldt på radarmålinger. Et radarinstrument med antenner blev monteret i en helikopter. Målingerne foregår i praksis ved, at man udsender radarsignaler ned mod isoverfladen fra en antenne og opsamlere de signaler, der kastes tilbage til antennen. Noget af signalet kastes tilbage fra isoverfladen, men en del af signalet trænger igennem isen og kastes først tilbage fra klipperne under isen (figur 15). Ved at måle hvor lang tid det tager for signalet at vende tilbage til antennen, kan man beregne isens tykkelse og dermed fremstille kort over landskabet under isen.

#### Målinger af vandtrykket under isen

For at måle vandtrykket under isen er det nødvendigt at slå hul på isdækket. Til dette formål blev der ved GEUS udviklet et varmtvandsbor, der spuler sig vej ned gennem isen ved hjælp af varmt vand under højt tryk (figur 16). Smeltevand pumpes op fra isoverfladen og varmes op til 70 grader og pumpes derefter igennem højtryksslant



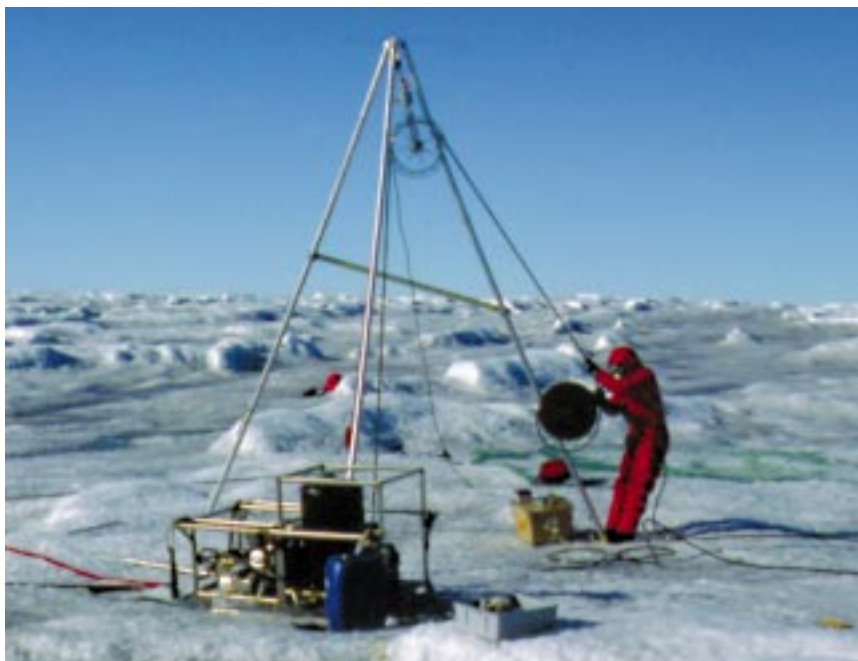
Figur 15. Princippet i radarmålinger af isens bund, se teksten for forklaring.

ger til et afgangsrør med en dyse, der smelter sig vej ned gennem isen. I udvalgte områder på isen blev der boret adskillige flere hundrede meter dybe huller til bunden af isen. I nogle tilfælde lykkedes det at få kon-

takt med vandet under isen og dermed måle vandtrykket i borehullet ved hjælp af trykmålere. I andre tilfælde var det nødvendigt at foretage dynamitsprængninger i bunden af borehullerne for at tvinge sig vej til nærtliggende smeltevandssystemer under isen. Målingerne viser, at der generelt er et højt vandtryk ved bunden af isen svarende til cirka 70 % af istrykket på borestederne.

#### Teori og praksis

De indsamlede vandtryksdata og oplysninger om landskabets højdeforhold under isen er anvendt i en matematisk model til beregning af strømningspotentialet, der driver smeltevandsstrømningen under isen. Beregningerne viser, at mængden af smeltevand, der dræner til de to reservoirsøer ved iskanten, er noget mindre end hvad man skulle tro, hvis man kun ser på strømningen af smeltevand på isoverfladen. Beregningerne viser også, at strømningsvejene ved bunden af isen må forventes at være stabile. Man har derfor fået en mere sikker afgrænsning af de områder, der bidrager med smeltevand til de udpegede reservoirsøer ved iskanten. Beregningerne udpeger imidlertid nogle få kritiske områ-



Figur 16. Boreudstyr anvendt ved varmtvandsboringer til bunden af Indlandsisen.



der ved bunden af isen, hvor det er vanskeligt at afgøre strømningens retning af smeltet vand. Et af disse områder modtager betragtelige mængder smeltet vand fra en kæmpeflod på isoverfladen via en stor gletscherbrønd (figur 17). Derfor var det vigtigt at få fastslået, om dette vand nu også strømmede til de udpegede reservoirsøer.

For at undersøge dette blev der gennemført sporstofforsøg for direkte at vise, hvor vandet løber hen. Ved sporstofforsøg opløser man et stof i det strømmende vand, og man kan så senere spore, hvor vandet kommer frem igen, ved at måle om stoffet er tilstede. Som sporstof blev anvendt et kraftigt farvende ugiftigt pulver. Dette farvestof reagerer med vandet og bliver næsten selvlysende, men farvevirkningen aftager gradvis ved påvirkning af sollyset. Dette farvestof blev opløst i vandet i den store smeltetvandsflod ved Paakitsoq (figur 18), og vandprøver blev dernæst indsamlet i de søer, hvor modellen udpegede en mulig udstrømning.

Sporstofforsøget viste, at vandet fra den store flod strømmer frem til de udpegede reservoirsøer.



Figur 17. Kæmpeflod på isoverfladen ved Paakitsoq, der forsvinder ned i en gletscherbrønd.



Figur 18. Sporstofforsøg i samme flod som vist på figur 17.

På basis af hele måleprogrammet og modelberegningerne blev det konkluderet, at tilstrækkelige mængder vand er til stede til etablering af vandkraft ved Paakitsoq. Forskningsprogrammet ved Paakitsoq førte frem til et mere sikkert grundlag for

vandkraftplanlægningen, men det bidrager også til en bedre forståelse af, hvordan smeltet vand strømmer under Indlandsisen. Resultaterne kan derfor også anvendes i andre områder i Grønland, hvor vandkraft fra gletscherbassiner kunne blive aktuel.

## Omtrentlige tal

I mange sammenhænge anvendes det teoretiske maksimums potentiale som et mål for, hvor meget energi der kan produceres fra vandkraft, og dette tal har flere gange været citeret i grønlandsk sammenhæng. I beregningen af denne størrelse forudsætter man, at alt naturligt vand føres fra det sted hvor det dannes, via turbiner til havniveau. Med andre ord regner man med en faldhøjde svarende til det sted hvor en

regndråbe eksempelvis falder, uden at der af den grund behøver at være en flod. Der er derfor grund til at understrege, at denne størrelse er helt teoretisk. GEUS har beregnet det teoretiske maksimums potentiale for hele Indlandsisen til at være 470.000 gigawatt-timer pr. år og Grønlands Forundersøgelser vurderer den samme størrelse til at være 350.000 gigawatt-timer pr. år for det isfrie land i Grønland.

|          | Elforbrug i gigawatt-timer pr. år.                                       |
|----------|--|
| Grønland | 200  |
| Danmark  | 30.000   |
| Europa   | 2.000.000  |
|          | Bedste bud på et realistisk vandkraftpotentiale i gigawatt-timer pr. år. |
| Grønland | 14.000   |



Dette temanummer om Is og Energi er udarbejdet af seniorglaciolog Henrik Højmark Thomsen. Siden sin ansættelse ved GEUS i 1982 har han arbejdet med udforskningen af Indlandsisen i Grønland i forbindelse med vandkraftplanlægning og isens samspil med det globale klima. Sideløbende med arbejdet i Grønland har han deltaget i videnskabelige undersøgelser i Antarktis for Norsk Polarinstitut og har lejlighedsvis fungeret som underviser ved Københavns Universitet. Ved GEUS arbejder Henrik Højmark Thomsen i afdelingen for Hydrologi og Glaciologi, hvor han for øjeblikket er koordinator af et forskningsprojekt på Indlandsisen i Nordøstgrønland under EU's Fjerde Rammeprogram.

# Grønlands første vandkraftværk

Grønlands første vandkraftværk blev sat i drift den 1. oktober 1993, efter en byggeperiode på 3 år (figur 19). Værket ligger ved Buksefjorden omkring 50 km sydøst for Nuuk. Det er et traditionelt vandkraftværk, der modtager vand fra nedbøren og udnytter højdeforskellen på 261 m mellem den opdæmmede reservoirsø Kangerluarsunnguaq Tasersuaq (Kang) og Buksefjorden (figur 20). Værket modtager vand fra et 813 km<sup>2</sup> stort område. Det omfatter det naturlige nedbørsområde til selve Kang, men også 3 andre nabobassiner, hvorfra vandet føres over til Kang igennem tunneler og kanaler. Fra Kang søen ledes vandet igennem en 10,5 km lang tunnel til kraftstationen, der ligger i en "hule", man har sprængt dybt inde i fjeldet. Fra kraftstationen føres vandet via en 1,3 km lang afgangstunnel ud til Buksefjorden (figur 21).



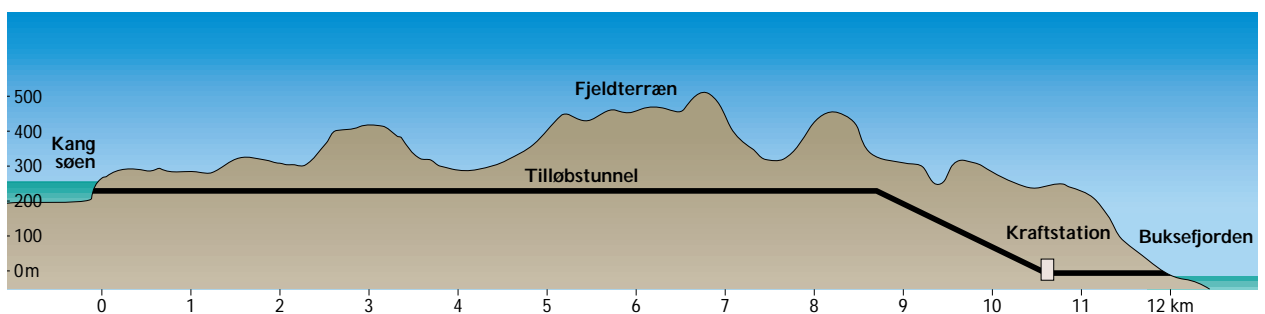
Figur 19. Vandkraftværk under opførelse i bunden af Buksefjorden sydøst for Nuuk.

I kraftstationen er der to turbiner med generatorer, der hver yder 15 megawatt, og der er plads til yderligere en turbine med generator på 15 megawatt. Energien overføres til Nuuk igennem en 56 km lang højspændingslinie, der undervejs krydser Ameralikfjorden. Denne krydsning er en verdensrekord med et frit spænd på 5.376 m. På den ene side af fjorden står masterne i en højde på 1.013 m og på den anden i en højde på 444 m og kablernes mindste højde over fjorden er 65 m.



Figur 20. Udsigt mod den 30 kilometer lange reservoirsø, Kang.

Beregninger viser, at der i gennemsnit kan tappes 311 millioner kubikmeter vand om året fra søen, uden at vandstanden ændrer sig. Det giver en gennemsnitlig årlig elproduktion på 185 gigawatt-timer. Heraf går omkring 55 gigawatt-timer til lys og kraft i Nuuk, og den overskydende energi på 130 gigawatt-timer bruges idag til elvarme. ⌚



Figur 21. Tværsnit gennem fjeldet mellem Kang søen og Buksefjorden, der viser tunnelen og kraftstationen.

# Vandkraft og...



## SAMFUNDET

Energiforsyningen af et moderne samfund som det grønlandske er af vital betydning. I dag forsynes Nuuk med energi fra vandkraft, og andre dele af det grønlandske samfund kunne følge samme vej. Det grønlandske samfund består af mange små isolerede byer og bygder, hver med sit dieselelværk. Det er derfor dyrt at producere energi, hvilket peger på vandkraft som et attraktivt alternativ. Samfundsmæssige betragtninger ligger til grund for en beslutning om udbygningen af vandkraft. Flere faktorer spiller ind såsom økonomi, miljø, beskæftigelse, forsyningsikkerhed samt andre investeringsbehov. Selv om vandkraft måske på længere sigt er en god forretning, så skal der meget store investeringer til her og nu, for at bygge nye vandkraftværker. Grønlands vandkraftreserve er langt større end samfundets nuværende energibehov, så på længere sigt er der andre perspektiver end byforsyning i en udbygning af vandkraften. Etableringen af energikrævende industrier i landet kunne komme på tale, og hvis den stærkt forøgede efterforskning af mineralske råstoffer i Grønland giver resultater, vil der formentlig opstå behov for store energimængder til udvinding og forædling af råstofferne. Eksport af ren energi fra Grønland, til eksempelvis Nordamerika og Europa, er måske også en mulighed på længere sigt, hvis den fornødne teknologi til energioverførsel udvikles. Her er det specielt anvendelsen af elektricitet til fremstilling af brint, der har været på tale og som kan blive aktuel, når den rette teknologi bliver tilgængelig til sikkert at transportere brinten. Udviklingen af nye materialer til kabler til kraftoverføring uden store energitab er en anden mulighed. Verdenssamfundet har et stigende energibehov, og på et tidspunkt i fremtiden vil det nok blive rentabelt at udnytte vandkraftreserverne i Grønland i større skala.



## MILJØET

De stigende globale miljøproblemer, ved blandt andet energiproduktion fra kul og olie og den hermed forbundne drivhuseffekt, har fået verdenssamfundets bevågenhed. Selv om den industrialiserede verden skruer ned for blusset vil dette ikke kunne kompensere for stigningen i energibehovet i U-landene, på grund af den store befolkningsmasse, der her er tale om. Vandkraften er en af de store energiforsyninger, som benyttes i dag, der ikke belaster miljøet med udslip af forurenende gasser såsom CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Den stigende bekymring for det globale miljø vil derfor kunne føre til en forøget anvendelse af vandkraft som energikilde. Her vil Grønland kunne komme til at spille en rolle som leverandør af ren energi. Men det kræver viljen til at betale, hvad det koster. Det er stadig billigere rundt omkring i verden at producere energi med kul og olie, men eventuelle "miljøfremmende" energiafgifter vil måske ændre dette forhold. Selvom vandkraft ikke direkte er forurenende, så vil en storstilet udbygning i Grønland ikke kunne undgå at påvirke det lokale miljø. Der kan være tale om påvirkning af fiskebestanden i floder, der reguleres, eller forstyrrelser af rensdyrenes vandringsveje på grund af tekniske anlæg. Hvis det planlægges at forsyne energikrævende industrier med energi fra vandkraft, så er der altid en risiko for, at affald fra industrien kommer til at belaste det følsomme arktiske miljø. Der er derfor mange fordele og ulemper, der skal bedømmes, ofte hvor økonomiske interesser er stillet over for lokale miljøinteresser. I den sidste ende er der tale om politiske beslutninger, der skal træffes i Grønland, omkring hvilken udvikling man gerne ser som international medspiller i et globalt perspektiv.



## FORSKNINGEN

Udbygningen af vandkraft i Grønland enten til byforsyning eller i større skala til industriel brug, kræver en fortsat forskningsindsats. Selv om en hel række vandkraftmuligheder er lokaliseret, så er der stadig stor usikkerhed omkring størrelsen af vandkraftreserverne. Dette gælder specielt udnyttelsen af de store smeltevandsmængder fra Indlandsisen, hvor vores viden om, hvor meget is der smelter, og hvordan vandet strømmer under isen, samt isens bevægelse, endnu ikke er tilstrækkelig til at danne beslutningsgrundlag for konkrete projekter. Da det drejer sig om store investeringer, når der skal bygges vandkraftværker, så er det af afgørende betydning at få en så sikker bestemmelse af vandmængderne som muligt. GEUS har igennem mange år forsket i forholdet mellem isens massebalance og klimaet, og gennemfører i disse år en række projekter i Nordøstgrønland, der bidrager til en forståelse af, hvad der vil ske med isen under ændrede klimaforhold. Resultater og erfaringer fra disse undersøgelser vil kunne indgå i en eventuel fornyet indsats på vandkraftområdet. Men det vil kræve en målrettet forskningsindsats i aktuelle vandkraftbassiner, hvis sikkerheden på bedømmelsen af størrelsen af vandkraftreserverne skal øges. En sådan indsats vil omfatte flere års målinger af afstrømning, klima og massebalance, samt vandets strømning under isen. Derefter udvikling af bedre modeller til sammenstilling af målingerne. På den teknologiske side er der tillige brug for en forøget forskning, eksempelvis indenfor sikker transport af brint eller kabeltyper uden større energitab, hvis det i fremtiden skal blive muligt at overføre store energimængder fra vandkraft i Grønland til markeder i Nordamerika eller Europa.

# Her kan du læse videre

E. L. Andersen & K. Nielsen: Grønlands Is - sne, smeltevand, energi. Grønlands Hjemmestyre, Pilersuiffik 1987.

Buksefjorden vandkraftværk. Nukissiorfiit/Grønlands Energiforsyning, 1991.

P. Clement & O.B. Olesen: Glaciologiske undersøgelser i Johan Dahl Land i forbindelse med eventuel vandkraftudnyttelse. Forskning i Grønland 1-2/80, 1980, side 23-29.

Grønlands Natur. Særudgave af Danmarks Natur, bind 11. Politikens Forlag.

E. Herse: Grønlandsk smeltevand kan løse CO<sub>2</sub>-problemet. Ingeniøren nr. 18, 5. maj, 1995.

Lokaliserede vandkraftpotentialer i Grønland. Nukissiorfiit/Grønlands Energiforsyning, december 1995.

Lokalisering af vandkraftressourcer på Grønlands Vestkyst. Grønlands Tekniske Organisation, februar 1975.

O.B. Olesen, & A. Weidick: Vandkraft i Grønland - perspektiver og problemer. Tidsskriftet Grønland nr 3, 1977.

J. Taagholt: Gletscher-el fra Grønland til 150 mia kr årligt. Ingeniørens Ugeblad nr. 24, 15. juni, 1973.

H.H. Thomsen: Indlandsisen i Grønland lader sig ikke tæmme. Ingeniøren nr. 21, 26. maj 1995.

H.H. Thomsen: Is og vandkraft. Gletscher-Hydrologiske Meddelelser nr. 86/2, 1986. Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Vandkraft i Grønland. Akademiet for de Tekniske Videnskaber, 1981.

Vandkraftmuligheder og prioritering af vandkraftudbygningen i Grønland. Nukissiorfiit/Grønlands Energiforsyning, marts 1992.

A. Weidick: Gletscherundersøgelser i forbindelse med planlægningen af vandkraftudnyttelse i Grønland. Forskning i Grønland 1/85, 1985, side 2-9.

A. Weidick: Gletschere i Sydgrønland. Geologi i Grønland 2, Grønlands Geologiske Undersøgelse, 1988.

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, GEUS, er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energi ministeriet.

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark, Grønland og Færøerne.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året.

Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer på GEUS.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

**GEOLOGI - NYT FRA GEUS** er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Konsulent: Marianne Vasard Nielsen.

#### Skriv, ring eller mail:

GEUS

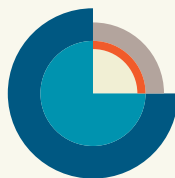
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

Thoravej 8, 2400 København NV.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-mail: geus@geus.dk



**GEUS**

#### GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Dette temanummer kan købes som klasesæt: 300,- kr for 25 stk.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

64 44 16 83 eller telefax: 64 44 16 97.



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion: GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Roger Braithwaite

Illustrationer: Carsten Thuesen