

1983-1

# VANDKRAFT I GRØNLAND

SEMINAR I KØBENHAVN 17. FEBRUAR 1983



**DANSK VANDBYGNINGSTEKNISK SELSKAB**

DANISH SOCIETY OF HYDRAULIC ENGINEERING

HAVNEBYGMESTEREN, NORDRE TOLDBOD 7, 1259 KØBENHAVN K





# DANSK VANDBYGNINGSTEKNISK SELSKAB

DANISH SOCIETY OF HYDRAULIC ENGINEERING

HAVNEBYGMESTEREN, NORDRE TOLDBOD 7, 1259 KØBENHAVN K

## FORORD

Det er kun et mindretal af danske vandbyggere, der har været involveret i vandkraftprojekter. Men der er foregået en del forundersøgelser og forprojektering af vandkraftanlæg på Grønland i de senere år.

Emnet er i sig selv teknisk interessant, men indeholder ydermere en række aspekter, der også er interessante for andre projekttyper.

Dansk Vandbygningsteknisk Selskab afholdt derfor i samarbejde med DIF's bygningsingeniørgruppe et seminar i form af et "gå-hjem møde" om vandkraft i Grønland torsdag den 17. februar 1983 i Ingeniørhuset i København.

Emnet blev behandlet i en række foredrag med efterfølgende diskussioner.

Nærværende publikation består af foredragsholdernes indlæg. Selskabet ønsker at takke foredragsholderne samt alle, der ved seminaret har bidraget til at belyse emnet.

En speciel tak skal rettes til vicedirektør Hans Ølgaard, GTO, for medvirken til at organisere seminaret.

På selskabets vegne

H. Gravesen  
sekretær

**DANSK HYDRAULISK  
INSTITUT**

624.22(06) Van.

## INDHOLDSFORTEGNELSE

### VANDKRAFTEN I GRØNLAND I ENERGIPLANSAMMENHÆNG

vicedirektør Hans Ølgaard, Grønlands Tekniske Organisation.

### GLACIOLOGISKE FORUNDERSØGELSER

statsgeolog Anker Weidick, Grønlands Geologiske Undersøgelser.

### HYDROLOGISKE FORUNDERSØGELSER

cand.scient. Thorkild Thomsen, Grønlands Tekniske Organisation.

### HYDROLOGISKE AFSTRØMNINGSMODELLER

lic.tech. Lars Gottlieb og civ.ing. Steffen Iversen, LICconsult.

### ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

civ.ing. Arne Winther Andersen.

### PROJEKTERING AF TUNNELER, DÆMNINGER OG KRAFTVÆRKER

civ.ing. Niels Uhre, Nielsen & Rauschenberger.

### TRANSMISSIONSLEDNINGER OG BYFORSYNING

civ.ing. Finn Vilholm, Grønlands Tekniske Organisation.

### TRANSMISSIONSLINIER

civ.ing. Ulrik Støttrup-Andersen, Rambøll & Hannemann.

### RAPPORTER OM VANDKRAFT I GRØNLAND

Bygningsingeniørgruppen & Dansk Vandbygnings teknisk Selskab

Torsdag den 17. februar 1983 kl. 16.30 - 21.30

"Vandkraft i Grønland"

Dansk Ingeniørforenings Prometheussal

Deltagere:

M Ammendrup, Hans	Civilingeniør	Arctic Consulting Group A/S
M Andersen, Arne Winther	Civilingeniør	G T O
Andersen, Harley	Civilingeniør	G T O
Andersen, Jan Dannemand	Stud.polyt.	D T H
Andersen, Jan Harley	Civilingeniør	G T O
Anderson, E Ingemann	Ingeniør	G T O
Bisgaard, Arne	Civilingeniør	2200 København N
Bjarnø, J	Civilingeniør	Bigum & Steenfos A/S
Bjørkholt, Otto	Direktør	O B Consult ApS
Bjørn, Claus	Akademiingeniør	Dansk Geoteknik
Brøcker, Ida	Civilingeniør	D T H
Brødsgaard, J	Direktør	Topsøe-Jensen & Schrøder A/S
Buch, Dan	Overingeniør	G T O
Bdlow, Jess	Ingeniør	G T O
Burcharth, H F	Ing.docent.	A U C
Bæk-Madsen, C	Civilingeniør	2970 Hørsholm
Christensen, P Søgaard	Akademiingeniør	G T O
Damgaard, Walther	Ingeniør	Ing.fa. P A Pedersen
Danielsen, Niels	Civilingeniør	Dansk Geoteknik
Danø, I P	Civilingeniør	2930 Klampenborg
Dockner, Erik	Civilingeniør	G T O
Engelund, Frank	Professor	D T H
Erlendsson, Gisli	Akademiingeniør	E Pihl & Søn A/S
Eskesen, Søren Degn	Civilingeniør	Cowiconsult
Foged, Rasmus	Akademiingeniør	2730 Herlev
Fogh, Erik	Civilingeniør	3400 Hillerød
V Gravesen, Helge	Civilingeniør	Rambøll & Hannemann A/S
Guldberg, Peter	Civilingeniør	Ing.fa. P A Pedersen
Hansen, Ejvind Solberg	Teknisk tegner	G T O
Hastrup, Lisbeth	Civilingeniør	Højgaard & Schultz A/S
Helmsdal, Mikkjal	Landingeniør	Torshavn, Færøerne
Holm, E	Ingeniør	Spangenberg & Madsen A/S
Hvidborg, Børge	Civilingeniør	A C G
Hyllested, Peter	Civilingeniør	1313 København K
Iversen, Leif	Civilingeniør	Cowiconsult
M Iversen, Steffen	Civilingeniør	Licconsult
Jacobsen, P E	Civilingeniør	Skude & Jacobsen A/S
Jensen, E Daugaard	Civilingeniør	Dansk Geoteknik A/S
Jensen, Ernst Kolding	Civilingeniør	Viemose Spile A/S
Jensen, Flemming	Civilingeniør	Spangenberg & Madsen A/S
Jensen, Mogens	Ingeniør	Fa. P A Pedersen
Jespersen, Erik M	Civilingeniør	Erlig Gad A/S
Jessen, Gert	Diplomingeniør	Cowiconsult
Jørgensen, Gregers H	Civilingeniør	G T O
Jørgensen, J Aage	Afdelingsingeniør	2750 Ballerup
Jørgensen, Palle	Civilingeniør	Cowiconsult
Jørgensen, Per	Souschef	O B Consult ApS
Kaarsberg, Klaus	Akademiingeniør	Højgaard & Schultz A/S
Kellesø, Jens	Civilingeniør	Cowiconsult
Kirstain, Preben	Afdelingsingeniør	G T O
Kjeldgaard, Niels	Civilingeniør	Højgaard & Schultz A/S
Kristensen, O M	Afdelingsingeniør, Cand.polyt.	Int. Steel Consulting A/S
Krogsgaard, Jørgen	Ingeniør	2770 Kastrup
Kubel, Christian	Civilingeniør	Bigum & Steenfos A/S
Langager, Hans Chr	Civilingeniør	G T O
Larsen, Ole Damgaard	Civilingeniør	Cowiconsult
Larsen, Torben	Civilingeniør	9200 Aalborg SV
Lauritzen, Finn	Arkitekt	Cowiconsult
Laursen, Bjarne Riis	Edb-assistent	G T O
Liberth, Ulrik	Civilingeniør	Armton A/S
B Löwenmark, Kirsten B	Civilingeniør	K B Löwenmark Rådg.ing.fa.A/S
Lund, Niels	Civilingeniør	2840 Holte
Lund, Peter Martin	Civilingeniør	Bigum & Steenfos A/S

Lundsgaard, Per	Maskinmester	G T O
Lupan, Sorin	Civilingeniør	Christiani & Nielsen
Madsen, Erik Friis	Civilingeniør	K B Löwenmark Rådg.ing.fa.A/S
Mai, Henrik	Akademiingeniør	Artic Consulting Group A/S
Mansa, J H	Civilingeniør	2830 Virum
Meyer, H	Ingeniør	Spangenberg & Madsen A/S
Mikkelsen, Lars	Civilingeniør	Cowiconsult
Møller, Jacob Steen	Civilingeniør	D T H
Mønsted, Niels	Civilingeniør	Viemose Spile A/S
Nielsen, Axel Eichstedt	Sektionsingeniør	G T O
Nielsen, Erik	Civilingeniør	Højgaard & Schultz A/S
Nielsen, Gunnar	Civilingeniør	D T H
Nielsen, J K	Civilingeniør	2800 Lyngby
Nielsen, Jørgen	Installatør	G T O
Nielsen, Kjeld Svarrer	Akademiingeniør	2760 Måløv
Nygaard, Peter	Civilingeniør	Bigum & Steenfos A/S
Nyhuus, S	Civilingeniør	Pihl & Søn A/S
Nymand, Preben	Elværkschef	G T O
Olsen, C P	Civilingeniør	Dansk Geoteknik A/S
Olsen, N Holkmann	Stud.polyt.	D T H
Olsen, Niels J	Akademiingeniør	2800 Lyngby
Olsen, V Gjedde	Civilingeniør	G T O
Packness, Jens	Civilingeniør	Rambøll & Hannemann
Pedersen, Flemming B	Lektor	D T H
Pedersen, Georg Lind	Overingeniør	G T O
Pedersen, Hugo	Civilingeniør	Midtconsult ApS
Pedersen, Niels	Ingeniør	Spangenberg & Madsen A/S
Petersen, H Brændgaard	Civilingeniør	2860 Søborg
Rasmussen, H	Civilingeniør	Bigum & Steenfos A/S
Rasmussen, Rasmus Prehn	Ingeniør	G T O
Rosbjerg, Dan	Lektor	D T H
B Schiøtt, Ole	Civilingeniør	Kold Larsen A/S
Schmidt, N J	Ingeniør	Ing.fa. P A Pedersen
B Sjøgren, Leif	Civilingeniør	Nielsen & Rauschenberger A/S
Sonne, H E	Ingeniør	Spangenberg & Madsen A/S
Steenfos, H P	Civilingeniør	Bigum & Steenfos A/S
Stefansson, Gestur	Civilingeniør	E Pihl & Søn A/S

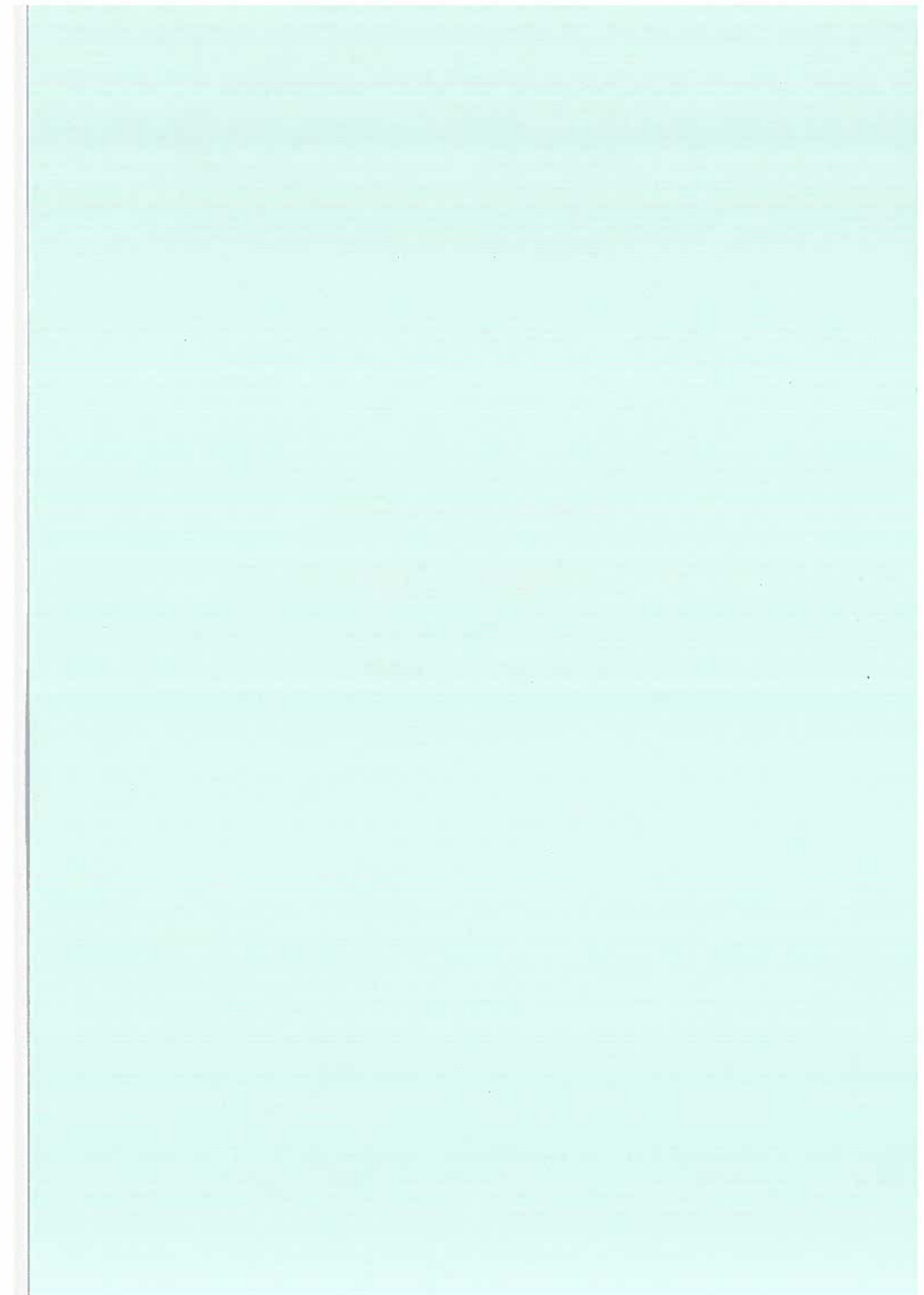
Støttrup-Andersen, Ulrik	Afdelingsingeniør	Rambøll & Hannemann A/S
Sørensen, H Nørregard	Civilingeniør	2980 Kokkedal
Thomsen, Anton	Ingeniør	Dansk Hydraulisk Institut
Thomsen, Kjeld	Direktør, Civilingeniør	Int. Steel Consulting A/S
M Thomsen, Thorkild	cand. scient.	G T O
Tobiassen, Palle	Ingeniør	Viemose Spile A/S
Trentemøller, K	Overingeniør, Cand.polyt.	G T O
V Tryde, P	Lektor	D T H
M Uhre, Niels	Civilingeniør	Nielsen & Rauschenberger
Vange, Jes	Ingeniør	Ing.fa.A B Berdal A/S, Norge
Viemose, Kaj	Ingeniør	Viemose Spile A/S
M Vilholm, Finn	Civilingeniør	G T O
M Weidick, Anker	Statsgeolog	G G U
Wilson, Erik	Ingeniør	G T O
Wiuff, Rasmus	Civilingeniør	D T H
V Warming, C	Havnebygmester	Københavns Havnevesen
Zimsen, Michael	Civilingeniør	Norsk Vandbygningskontor A/S, Norge
M Ølgaard, Hans	Vicedirektør	G T O

M = Medvirkende

V = Bestyrelsesmedlem i Dansk Vandbygnings teknisk Selskab

B = Bestyrelsesmedlem i Bygningsingeniørgruppen

VANDKRAFTEN I GRØNLAND  
I  
ENERGIPLANSAMMENHÆNG  
AF  
VICEDIREKTØR HANS ØLGAARD





Den 16.februar 1983

VANDKRAFTEN I GRØNLAND I ENERGIPLANSAMMENHÆNG

af

Hans Ølgaard - Grønlands tekniske Organisation

Da udbygningen i Grønland tog fart efter 2.Verdenskrig, baserede man energiforsyningen på olie og kul. Der fandt i 1950'erne kulbrydning sted ved Qutdligssag på Disko-øen, og det grønlandske marked kunne således i det store og hele forsynes med indenlandske kul.

Som andre steder i verden ønskede man sig imidlertid også i Grønland de bekvemmeligheder, som anvendelsen af olie i energiforsyningen kunne give, og i løbet af 1960'erne fortrængte olie efterhånden næsten helt kullene som råstof i energiforsyningen. Kulbrydningen i Qutdligssat blev derfor indstillet i begyndelsen af 1970'erne.

I de små bysamfund var elproduktion ved hjælp af dieselmotorer den mest økonomiske mulighed, og varmforsyningen blev baseret på oliefyrede varmekværker eller blokcentraler samt oliefyr i de privatejede enfamiliehuse.

Resultatet var, at man omkring 1970 stod med en energiforsyning, der var næsten 100% baseret på olie, og samtidig med et system, som vanskeligt lod sig omstille til andre energiråstoffer. Grønland var med andre ord, da den første energikrise opstod i 1973/74, i en særdeles sårbar forsyningsituation. Således er situationen fortsat, idet der ikke i de forløbne år har kunnet foretages en omstilling til andre energiråstoffer.

I efteråret 1978 nedsatte Ministeriet for Grønland derfor en arbejdsgruppe - Arbejdsgruppen vedrørende udarbejdelse af en energiplan for Grønland. Arbejdsgruppen fik til opgave at vurdere energisituationen og at fremlægge forslag til, hvorledes man kunne reducere den meget store olieafhængighed og dermed ændre den sårbare forsyningsituation. Efter en række undersøgelser afgav arbejdsgruppen i 1981 sin første rapport - Hovedretningslinier for energiplanlægning i Grønland frem til år 2000. Arbejdsgruppen anbefalede dels, at der gennem omfattende energibesparelser, som iøvrigt allerede var iværksat på daværende tidspunkt, blev sikret det lavest mulige energiforbrug

i Grønland, og desuden at der over en periode på 20 år blev foretaget en omlægning af energiforsyningen med det formål at mindske olie afhængigheden og dermed sårbarheden af energiforsyningen.

Arbejdsgruppen anbefalede, at man i det videre arbejde satsede på sådanne løsninger i de enkelte byer, at energiforsyningen omkring år 2000 ville være baseret på 50% vandkraft, 25-30% kul og resten olie.

En sådan omlægning ville kræve omfattende investeringer. Målt i 1979-kroner blev investeringsbehovet opgjort til ca. 2,7 milliarder kroner. Heroverfor står, at en videre udbygning af det eksisterende oliebaserede energiforsyningssystem ville kræve udbygninger i samme periode for af størrelsesordenen 1,5 milliarder kroner. En omlægning af energiforsyningen ville således kræve merinvesteringer på ca. 1,2 milliarder kroner.

Efter en indledende behandling i vinteren 1981-82 i en arbejdsgruppe nedsat af det grønlandske landsstyre blev energiplanrapporten i foråret 1982 debatteret i det grønlandske landsting. Tinget gik ind for, at der blev foretaget en omlægning af energiforsyningen efter de foreslåede hovedretningslinier. Landstinget fremførte imidlertid en række synspunkter, som skulle medtages i det videre energiplanarbejde. Et par synspunkter, som er særligt væsentlige i denne sammenhæng, skal fremhæves.

For det første ønskede landstinget, at der i alle byer, hvor dette over hovedet kunne forekomme rimeligt, blev vurderet, om en løsning af energiforsyningsproblemerne baseret på kul kunne være et alternativ til de foreslåede vandkraftbaserede løsninger. Baggrunden herfor var en opfattelse af, at de kulbaserede løsninger antagelig ville medføre et mindre investeringsbehov, og endvidere, at man ønskede at få vurderet mulighederne for at etablere et grønlandsk kulmarked, der kunne være en forudsætning for at få startet en grønlandsk kulproduktion baseret på kulforekomsterne på Nugssuaq.

Landstinget ønskede herudover, at der ved planlægningen af fremtidige vandkraftanlæg i Grønland skulle lægges vægt på, at man først og fremmest etablerede vandkraftanlæg på steder, hvor et sådant anlæg kunne medvirke til at skabe erhvervsudvikling og beskæftigelse og dermed en række samfundsøkonomiske fordele. Dette medfører, at etablering af vandkraftanlæg ved byer som Frederikshåb, Godthåb, Holsteinsborg og Jakobshavn må prioriteres højest.

Efter landstingets behandling af energiplanrapporten er den mere detaljerede planlægning af de enkelte byers energiforsyning blevet igangsat. Dette arbejde forestås af Arbejdsgruppen vedrørende udarbejdelse af en energiplan for Grønland med sekretariatsmæssig bistand fra GTO og i nært samarbejde med de

lokale kommunalbestyrelser og disses tekniske forvaltninger.

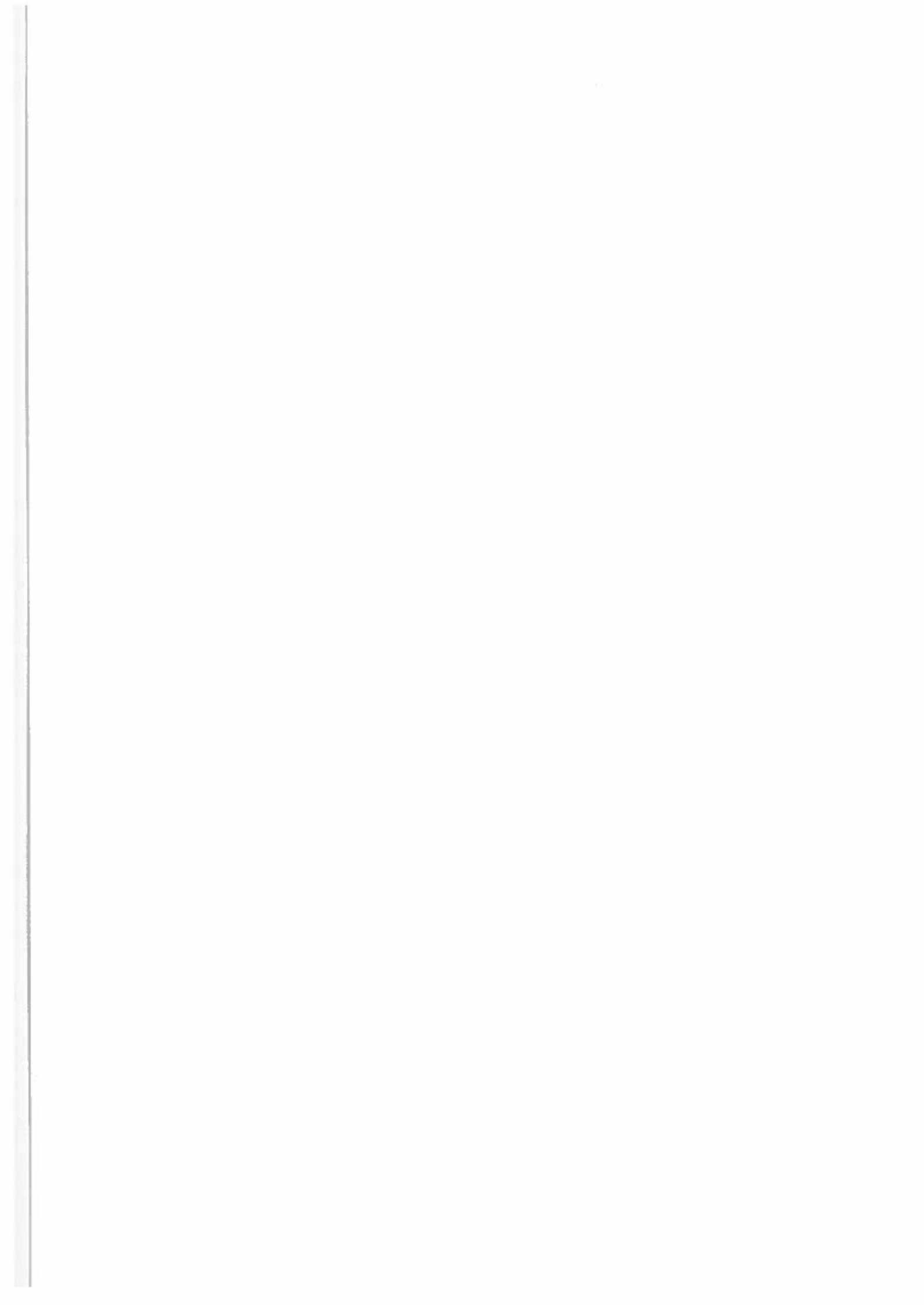
Uanset at løsninger baseret på kul som energiråstof efter ønske fra lands-tinget spiller en noget større rolle i dette arbejde end forudsat i energi-plantegruppens rapport, indtager undersøgelse af mulighederne for energiforsyning ved hjælp af vandkraft fortsat en dominerende rolle i arbejdet.

De første egentlige undersøgelser vedrørende vandkraft i Grønland blev gennemført i begyndelsen af 1970'erne af Kryolitselskabet ØRESUND. Det, der på dette tidspunkt gav stødet til undersøgelserne, var overvejelser af mulighederne for at forsyne en eventuel jernmine ved Isukasia i Godthåbfjorden med den fornødne energi fra vandkraft. Da GTO i 1974 tog fat på systematiske vandkraftundersøgelser, var det også de meget store vandkraftpotentialer, der påkaldte sig interesse. Disse såkaldte regionale bassiner kunne tænkes at kunne energiforsyne fremtidige anlæg til mineraludvinding, eller man kunne forestille sig, at de kunne danne baggrund for etablering af energiintensive industrier i Grønland, f.eks. industrier til produktion af ammoniak, aluminium, ferrosilicium eller lignende. De studier, der hidtil er udført, har imidlertid vist, at det ikke synes muligt at etablere en konkurrencedygtig produktion i Grønland.

De stigende energipriser i løbet af 1970'erne medførte imidlertid, at også en række mindre potentialer, som kunne danne baggrund for byernes energiforsyning, blev interessante. Vandkraftundersøgelserne blev derfor hurtigt drejet mod de mindre potentialer. Undersøgelserne ved de regionale bassiner er imidlertid fortsat blevet holdt i gang på et lavere niveau, dels fordi udnyttelsen af disse potentialer fortsat må antages at kunne blive aktuelle engang i fremtiden, dels fordi undersøgelserne har betydning for opbygningen af et samlet billede af de hydrologiske forhold.

Især i de seneste 5 år har der været tale om omfattende aktivitet på vandkraftområdet, der er gennemført med betydelige tilskud fra EF. For 1982 og -83 er der målt i penge tale om en indsats på ca. 15 mio.kr. om året. Arbejdet er fordelt således, at Grønlands geologiske Undersøgelse (GGU) tager sig af den glaciologiske del, GTO varetager de hydrologiske og anlægstekniske undersøgelser, medens Grønlands Fiskeriundersøgelser (GF) tager sig af undersøgelser af de miljøpåvirkninger, fremtidige anlæg vil medføre. Herudover har GTO forestået en række studier vedrørende anlægsudformning og driftsbetingelser for fremtidige vandkraftanlæg i Grønland.

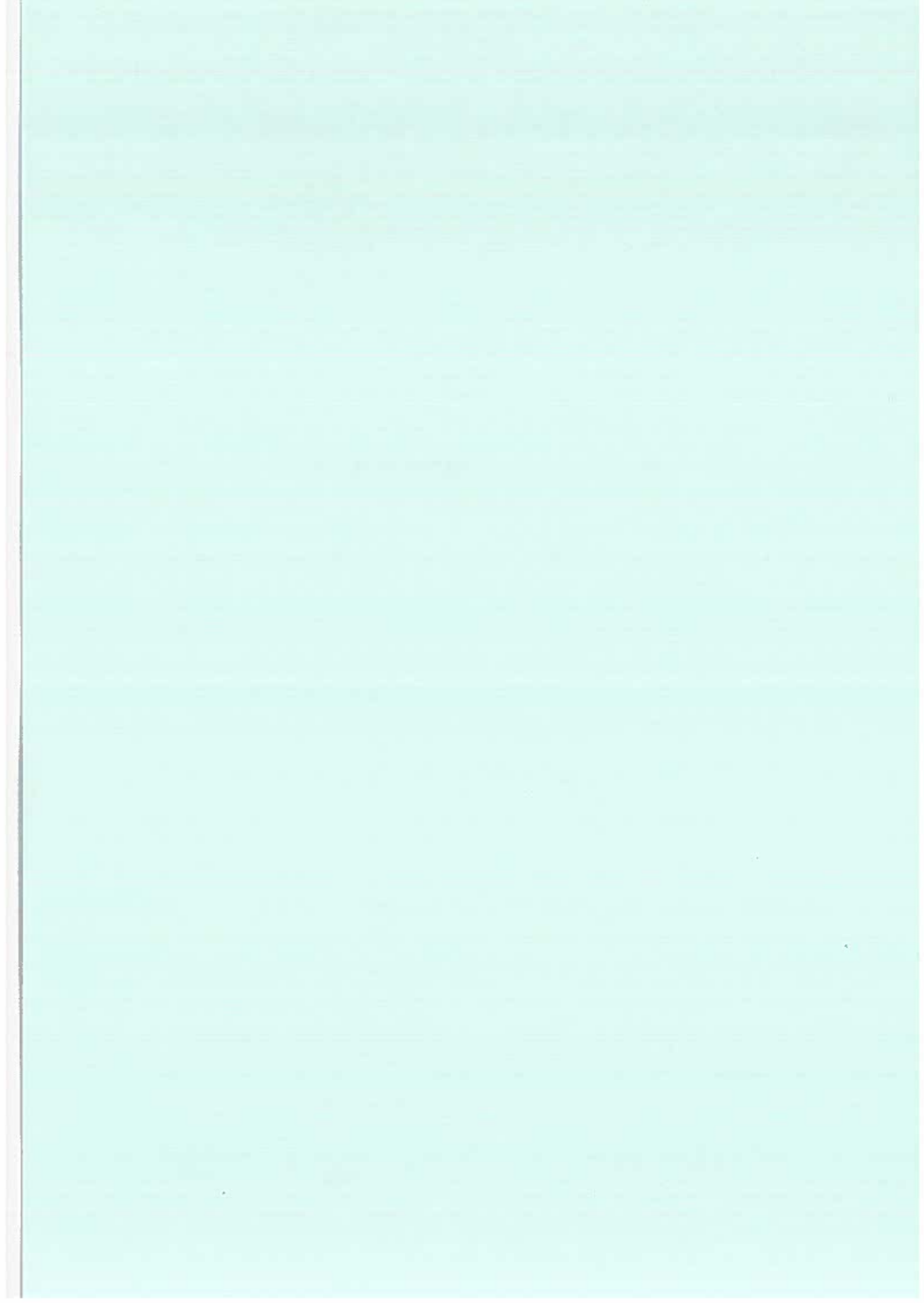
Formålet med de igangværende undersøgelser er selvsagt først og fremmest at



GLACIOLOGISKE FORUNDERSØGELSER

AF

STATSGEOLOG ANKER WEIDICK



For:

Dansk Vandbygningsteknisk Selskab

Møde 17.02.1983

## GLACIOLOGISKE FORUNDERSØGELSER

(Anker Weidick)

### INDLEDENDE BEMÆRKNINGER

Omend 6% af jordens samlede ferskvand, d.v.s.  $2.4 \times 10^6 \text{ km}^3$  vand, befinder sig i Grønland er denne ferskvandsreserve bundet i fast form som gletscheris.

Der har været planer om totaludnyttelse af hele det grønlandske isdækkes vandkraftpotentiale, og i denne forbindelse nævnt så optimistiske tal som 2 mill. GWh/år. Tallene hviler imidlertid på visse misforståelser om Indlandsisens massebalance og dynamik og skabte i sin tid, d.v.s. for 10-20 år siden, overdrevne forestillinger om mulighederne i en fremtidig vandkraftudnyttelse i Grønland. Debatten har imidlertid været medvirkende til den nuværende interesse for vandkraft i Grønland.

Senere overvejelser har udelukkende været koncentreret om udnyttelse af vandkraft på konventionel vis i kystlandets dalstrøg, især i Vestgrønland på grund af befolkningsunderlaget her.

De topografiske betingelser i Vestgrønland svarer ret nøje til de norske. Vandkraftpotentialerne er dog mindre, idet det arktiske klima indebærer såvel mindre nedbør som lavere sommer-temperatur. De to faktorer kan i glaciologisk henseende summeres op i glaciationsgrænsens højde. Glaciationsgrænsen karakteriserer det nedre niveau for gletscherdannelse og falder i Grønland næsten sammen med snelinien.

Glaciationsgrænsens forløb er vist på fig. 1 og angiver den flade, hvorover der samles mere nedbør som sne end der tabes ved smeltning, og den udgør derfor reelt den øvre grænse for vandkraftudnyttelse. Grænsen stiger såvel i Norge som i Grønland indefter fra yderkyst mod indland, men den er overalt i Grønland ca 400 m lavere end i Norge.

Den skildrede vertikale begrænsning for udnyttelse af vandkraft ses også ved en sammenligning mellem det nu beregnede vandkraftpotentiale i Vestgrønland sammenlignet med den udnyttede

vandkraft i Norge.

Der bemærkes iøvrigt en regional forskel på de optimale vandkraftmuligheder i de to områder. I Vestgrønland er de knyttede til indlandets inderste dele, d.v.s. Indlandsisens rand, idet smeltevandsmasserne herfra er den største kilde. I Norge er der et optimalt forhold bestemt af bassin størrelsen som stiger fra yderkyst mod indland, medens nedbørsmængden falder i samme retning. Samme forhold gør sig iøvrigt gældende i Grønland men overskygges helt af tilstedeværelsen af smeltevandsmasserne fra Indlandsisen i de inderste dele af kystlandet.

#### GLETSCHERDÆKKE OG HYDROLOGISKE FORHOLD

Generelt er gletschernes indflydelse på de hydrologiske forhold i første række knyttet til omfanget af nedisningen. Arealprocent af isdække er imidlertid ikke et helt dækkende udtryk for gletschernes indflydelse på de hydrologiske forhold i et bassin, idet nedbøren normalt stiger med højde. Det nedisede område må derfor i sådanne overvejelser vægtes noget højere end de isfri områder. Undersøgelser over nedbørsfordelingens afhængighed af højde er imidlertid endnu ikke gennemført i et omfang, så denne vægtning kan gennemføres rutinemæssigt.

Gletscherne udgør en slags stødpude i det hydrologiske kredsløb, idet nedbøren som bindes i gletscheren først vil frigives efter en årrække, afhængig af gletscherstørrelse og oprindeligt nedslagsfelt for nedbøren.

#### ENERGI- OG MASSEBALANCE

Grundlaget for glaciologiske undersøgelser er bestemmelse af omfanget af gletschernes lagring eller frigivelse af vand i forbindelse med givne klimasituationer.

Formelt skulle en sådan bestemmelse hvile i undersøgelser over den energi, gletscheren modtager fra omgivelserne og den, der afgives. Sådanne energibalanceundersøgelser udføres, men de er omfattende og man springer dem som oftest over gennem en empirisk bestemmelse af korrelationen mellem gletscherafsmeltningen og forskellige klimaparametre. Til dette formål er det nødvendigt at måle forholdet mellem det indkommende materiale i form af sne (gletscherens akkumulation) og det tabte materiale i form af smeltevand, kalvning og fordampning (gletscherens



ablation), i løbet af det enkelte år. Bestemmelsen af gletschernes massebalance må opfattes som en ground truth for remote sensing o.a. supplerende metoder.

#### MASSEBALANCEMÅLINGER OG DERES PRÆSENTATION

Måling af gletschernes massebalance er en procedure, der såvel i arbejdsmetode som i præsentation udføres efter en international vedtaget standard. Formålet er at præsentere resultaterne i en umiddelbart overskuelig form.

Målingerne foretages ved stager, fordelt med passende tæthed over gletscheren. Ved den enkelte stage måles indenfor et år vinterbalance ( $b_w$ ), sommerbalance ( $b_s$ ) og deficit heraf; netto balance ( $b_n$ ) beregnes.

Betydningen af de nævnte værdier er angivet sammen med den totale tilvækst (akkumulation = c) og tab (ablationen = a) gennem året i fig. 3. Bestemmelse af værdierne c og a kræver så indgående undersøgelser, at man normalt foretrækker at måle vinter- og sommerbalance og herfra bestemme nettobalancen (alt omsat i vandværdi).

Balanceværdierne indenfor de enkelte højdeintervaller (50 eller 100 m) præsenteres derefter som en funktion af højden, og den totale vinterbalance ( $B_w$ ), sommerbalance ( $B_s$ ) og Nettobalancen ( $B_n$ ) findes indenfor såvel de enkelte højdeintervaller som for hele gletscheren.

Et eksempel på fremstilling af balancekurver ( $b_w$ ,  $b_s$ , og  $b_n$ ) er også vist fig. 4. Ligevægtsliniens højde findes hvor nettobalancen er 0 (i eksemplet omkring 1560 m). Denne højde adskiller gletscheren i en øvre akkumulationszone og en nedre ablationszone. For samme gletscher sker der forskydninger af ligevægtsliniens højde fra det ene år til det andet, hvorimod kurvernes form for den enkelte gletscher er underkastet ringe ændring. En anden vigtig parameter som fremgår af denne kurve er derfor nettobalancekurvens hældning ved ligevægtslinien (the equilibrium line), størrelsen af gletscherens omsætning (gletscheraktiviteten).

#### LIGEVEGTSLINIE OG SNELINIE

Ligevægtsliniens højde er en målt og beregnet højde, som ikke kan observeres. Det kan derimod snelinien som på gletschere adskiller gletscherisen fra firnområdet under sensommeren.

Ligevægtslinien er på polare gletschere beliggende noget under snelinien.

For samme gletscher foreligger imidlertid en simpel korrelation mellem de to sæt højdeværdier. Dette indebærer derfor, at målte massebalancedata fra en undersøgt gletscher kan anvendes til en grov massebalancebestemmelse for samtlige gletschere i en region. Forudsætningen er imidlertid stadig, at der foretages undersøgelser på enkelte gletschere over en årrække.

#### MASSEBALANCE OG SMELTEVANDSAFSTRØMNING

En bestemmelse af gletscherens nettomassebalance skulle kunne udføres ved målinger af nedbøren over gletscheren, samt gletscher-tabet ved afstrømning og fordampning. Det er dog tvivlsomt, om dette kan gennemføres uden et så omfattende arbejde, at man er tilbage i massebalanceundersøgelserne. Idigeledes slår metoden ikke til i praksis, fordi gletscherens magasinkapacitet ændres fra år til år.

I gletscheren foregår den væsentligste smeltning på overfladen, men smeltevandet drænes gennem spalter og kanaler til gletscherens bund og herfra til gletscherfront. Der kan derfor være en del opstuvninger, således at afstrømningsforløbet først med en vis forsinkelse kan registreres på afstrømningen. Denne forsinkelse dækker normalt kun dage eller uger.

#### ISDÆMMEDE SØER

Et udtryk for variation og blokeringer i gletscherens "grundvandssystem" er de isdæmmede søer. Søerne forekommer ved enhver gletscher, men i størst udstrækning og mængde ved Indlandsisens rand.

Der må skelnes mellem to typer søer, af hvilke den ene reflekterer "grundvandsspejlet" i de nærmeste dele af gletscheren, og med vandspejlsændringer som er aperiodiske i den forstand, at tømning ikke forekommer til bunds og ændringerne ofte er knyttede direkte til gletscherafsmeltingen.

Den anden type isdæmmede søer er større og fyldes efter hver tapning langsomt op til et kritisk niveau hvorefter en hurtig

tapning tømmer søen - ofte til bunds. Tømningsmekanismen i denne type søer er betinget af det hydrostatiske tryk ved basen af den opstemmende gletscher. Trykket ved en vandsøjle af 150-200 m overskrider den "tilsyneladende flydegrænse" for gletscheris og vandet udtømmes gennem gletscheren.

Fig. 5 viser 2 eksempler fra Sydgrønland på vandspejlsændringer i isdæmmede søer. Søerne er beliggende i Johan Dahl Land, Sydgrønland.

Base Camp Lake er en mindre isdæmmed sø med en reservoirkapacitet på ca  $12 \times 10^6 \text{ m}^3$  og en maksimal vandflade af  $0.8 \text{ km}^2$ . Afstrømningen fra søen forløber dels ekstramarginalt, dels subglacialt langs Nordbogletscherens flanke 6 km ned til Nordbosø. Omend der findes et kritisk niveau bestemt ved trykforholdene i afstrømningskanalerne og ved overløbets højde, foregår der formodentlig til stadighed en gennemstrømning af søen og vandspejlsændringerne afspejler derfor balancen mellem in- og outflow. Det ses at vandspejlsændringerne maksimalt er ca 70 m.

Nordbosø er en større isdæmmed sø med en reservoirkapacitet på ca  $\frac{1}{2} \text{ km}^3$  og en maksimal vandflade på ca  $8 \text{ km}^2$ . Søen tømmes subglacialt ca 20 km gennem gletscheren Kiagtût sermiat til Narssarssuaq. Der synes her at være tale om en kritisk højde af ca 150 m og en kort katastrofisk tapning af indholdet, ca.  $\frac{1}{2} \text{ km}^3$  vand. I den langvarige opfyldningsperiode (1-2 år) må gennemstrømningen af søen være ringe.

Der findes isdæmmede søer af sidstnævnte type med reservoirkapacitet op til  $5-6 \text{ km}^3$  langs randen af gletscherne og det er derfor nærliggende at anvende disse som naturlige reservoirer for vandkraftudnyttelse. Selv om det kritiske niveau tilsyneladende kan defineres og man derfor blot kunne holde vandstanden herunder, er det imidlertid tvivlsomt, om mekanismen er helt så simpel som her anført: Tømningen er i høj grad betinget af forhåndenværende spaltesystemer, som atter er betinget af gletscherens vækst eller udtynding.

Det er også klart, at disse søer kan være ukendte størrelser i afstrømningsprognoser, idet tømningsperioden kan ændres med ændrede glaciale forhold. Der må også påregnes en vis "domino-effekt" hvis flere isdæmmede søer afdrænes under samme gletscher.

### GLETSCHERVÆKST OG GLETSCHERTYNDING

I den tekniske planlægning må man gøre sig klart, at gletschernes udbredelse ikke er et statisk fænomen, men at omfattende ændringer kan forekomme indenfor selv så korte tidsrum som en afskrivningsperiode på 30-50 år.

Dette indebærer at der også i et sådant tidsrum kan finde ændringer sted af gletschernes afstrømningsforhold eller for reservoirforholdene ved gletscherranden.

De nævnte gletscherændringer er et udtryk for den kumulerede negative eller positive massebalance gennem de foregående år. For små gletschere kan denne respons observeres indenfor nogle år og står i relativ simpel sammenhæng med tiltagen eller aftagen af gletscherens volumen.

For større gletschere er responstiden for tungen noget længere, idet den er et udtryk for en balance mellem den nævnte ændring i gletscherens volumen og gletscherens bevægelse. For Indlandsisen der må opfattes som en "supergletscher" regnes responstiden i mange tusinde år, men dette er kun en formel konsekvens af sammenhængen mellem gletscherhastighed og masseændring. I praksis viser det sig, at Indlandsisens løber ofte viser samme tilbagetræknings- og fremstødsfaser som lokale gletschere, og det er derfor sandsynligt, at Indlandsisens indre akkumulationsområde skal opfattes som et permanent og uendeligt reservoir, hvor de mindre postglaciale variationer i pålejring udlignes i tidens løb.

Gletscherrespons vil således ved Indlandsisen væsentligst være betinget af ændringer af randområdet afsmeltning (ablation).

Foruden gletscherstørrelse sløres det regionale billede af gletscherændringer også af en topografisk effekt, som er mest markant for større gletschere og mest for visse af Indlandsisens sektorer. En generel udtynding af isranden betinger her, at tidligere passage af randområdets ismasser over en subglacial fjeldtærskel bliver hæmmet i en sådan grad, at materialet omledes til en anden sektor. Denne vil således reagere på en almen udtynding af isranden ved et fremstød.

De nævnte forstyrrelser i det almene reaktionsmønster gør enhver prognose for gletscherændringer vanskelig, omend det med held er gennemført for mindre og velafgrænsede gletschere.

For de tidligere gletscherændringer kan anføres, at såvel

lokalgletschere som loper fra Indlandsisen ofte viser maksimal udbredelse omkring 1750, men med fremstød af lignende omfang omkring 1880 og ofte omkring 1920. Det sidste fremstød er mest markant i de nordligere dele af Vestgrønland. Efter 1920 følger oftest en stærk tilbagetrækning af gletschertungerne.

Afvielser fra dette skema forekommer som nævnt mest markant ved Indlandsisens rand. Således er isranden i Johan Dahl Land under fremrykning og har været det siden 1930. Sektorer af Indlandsisen vest og syd for Johan Dahl Land følger derimod det sædvanlige mønster og har især siden 1920 været under kraftig recession som følge af klimændringen i samme tidsrum. Afvigelsen i Johan Dahl Land kan forklares ved den nævnte topografiske effekt.

#### LOKALGLETSCHERBASSINER OG SEKTORIALBASSINER

Der forekommer i Grønland gletschere af næsten enhver type og størrelse, og for detaljer i vurdering af gletscheromsætning og gletscherrespons er angivelse af gletschertype lige så påkrævet som angivelse af størrelse.

For de grønlandske forhold er det imidlertid praktisk at skelne mellem lokalgletschere og Indlandsisen (eller rettere dens sektor, som hver især opfattes som en gletscher).

Begrebet "lokale gletschere" omfatter samtlige gletschertyper, som kan afgrænses med relativt simple midler. Dette vil umiddelbart sige typer som botn- og dalgletschere, der begrænses af snefrit land, men også med noget forbehold lokale iskapper. Med en rimelig god kortlægning af overfladen kan selv disse iskapper opdeles i sektorer, idet det subglaciale relief og dermed det subglaciale dræningsforløb genspejles på overfladen af en sådan relativt tynd iskappe.

Lokalgletschernes afhængighed af den omgivende topografi betinger forholdsvis sikker vurdering af afstrømningsforhold, ligesom måle- og beregningsprocedurer udviklet på gletschere i andre lande umiddelbart kan overføres og sammenlignes. Den stærke afhængighed af den omgivende topografi betinger forskelle i sneliniehøjder o.a. massebalancebetingelser, men dette er forhold, der kan korrigeres for.

For bassiner, som udelukkende indeholder lokalgletschere (lokalgletscherbassiner) er nedisningens indflydelse på de hydrologiske forhold som nævnt i væsentlig grad et spørgsmål om

grad af gletscherdække.

Bassiner, der modtager smeltevand fra een eller flere lober af Indlandsisen (sektorialbassiner) vil så godt som altid have væsentlige hydrologiske forhold bestemt af massebalancen på Indlandsisens rand. Dette uanset om bassinet iøvrigt huser lokalgletschere. Grunden hertil er at selv en mindre sektor af Indlandsisen repræsenterer et stort isdække. Den specielle problematik fremkommer desuden af vanskeligheden ved at definere oplandet for de enkelte gletscherlober (og subglaciale afvandings-systemer) og snelinien på selve gletscheroverfladen. Begge problemer fremkaldt af gletscheroverfladens ringe skråning og uafhængighed af det subglaciale landskab. Målingsmetodik og beregningsprocedurer må derfor udvikles lokalt.

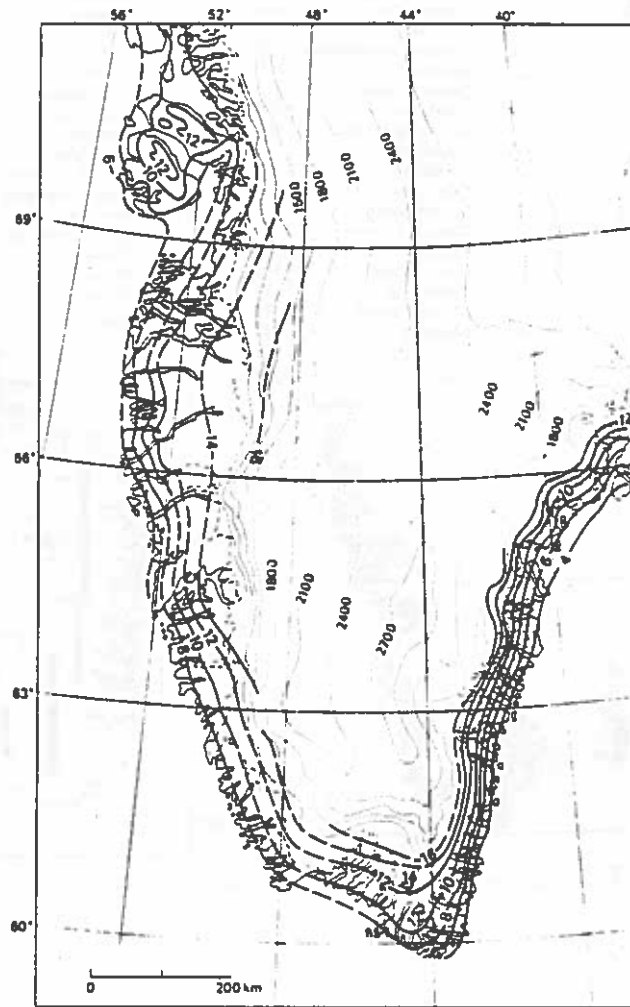


Fig. 1. Højden af glaciationsgrænsen i Vestgrønland og dele af Sydgrønland. Tal angiver højden i 100 m.

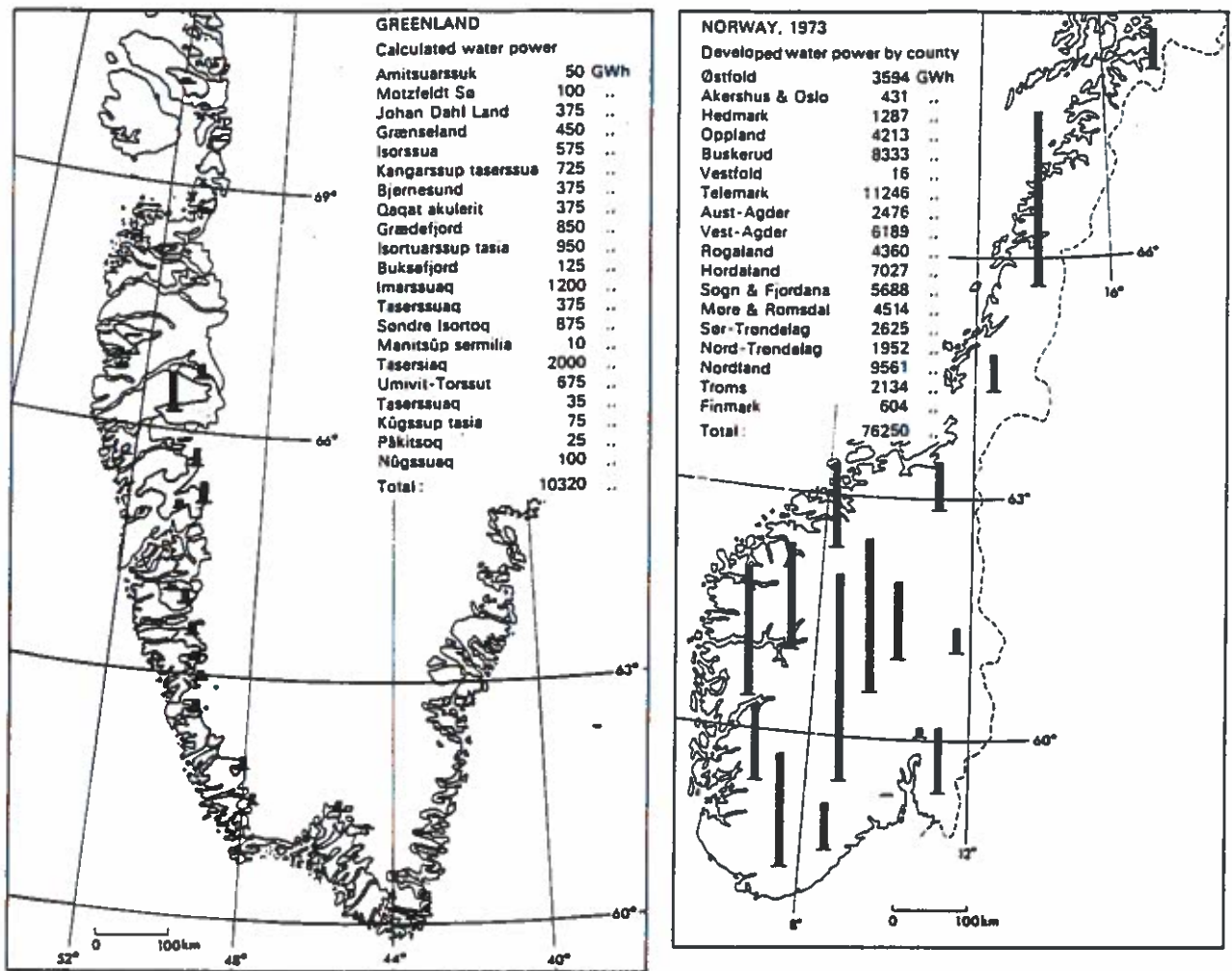


Fig. 2. Vandkraftpotentialet i Vestgrønland og udnyttet vandkraft i Norge.



Fig. 3. Forbindelsen mellem klimaændring og gletscherrespons.



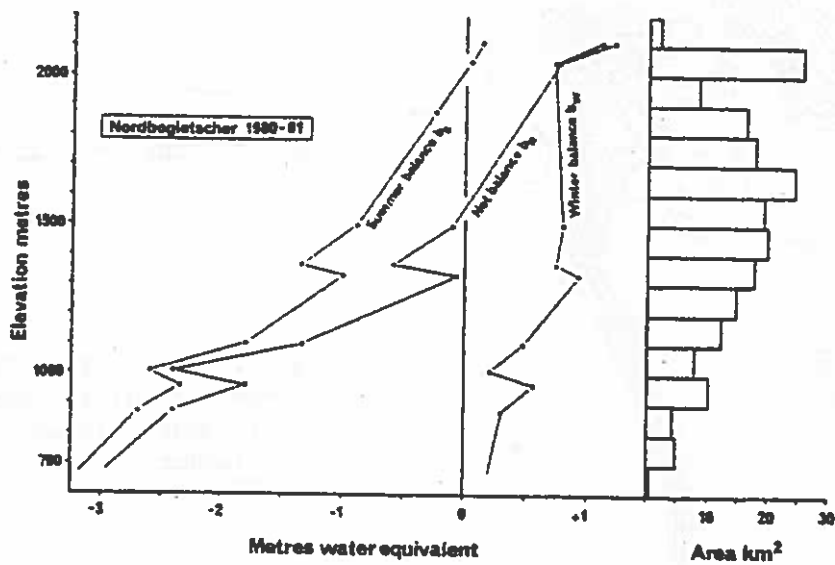
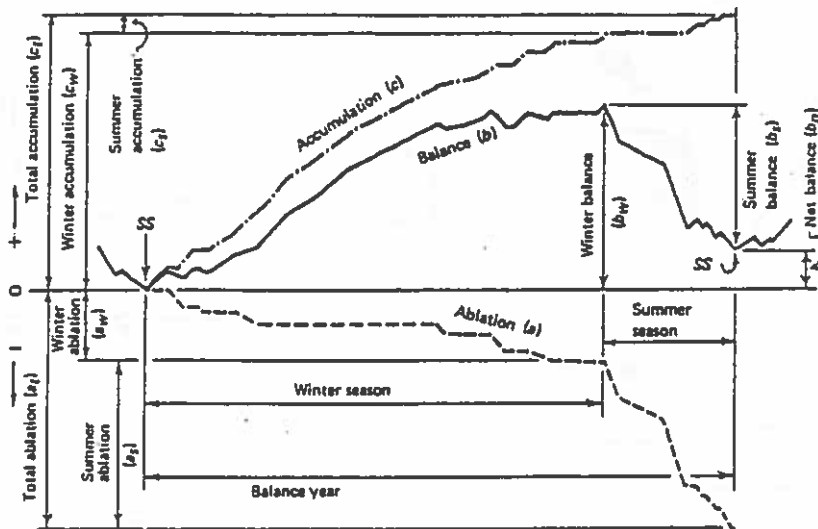
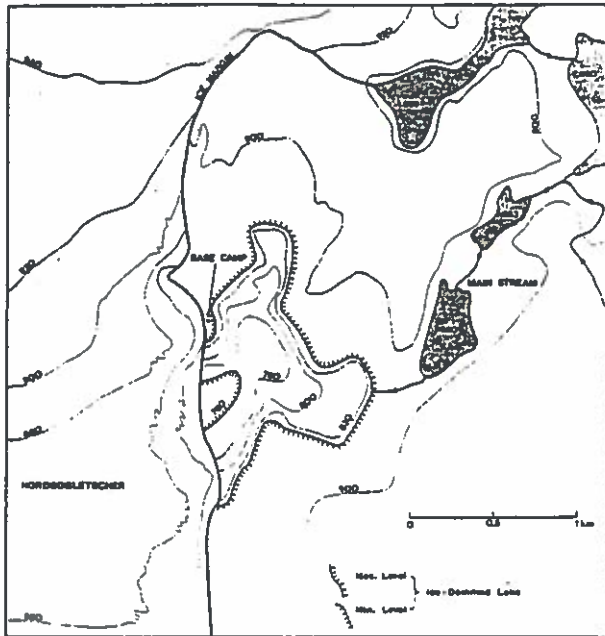
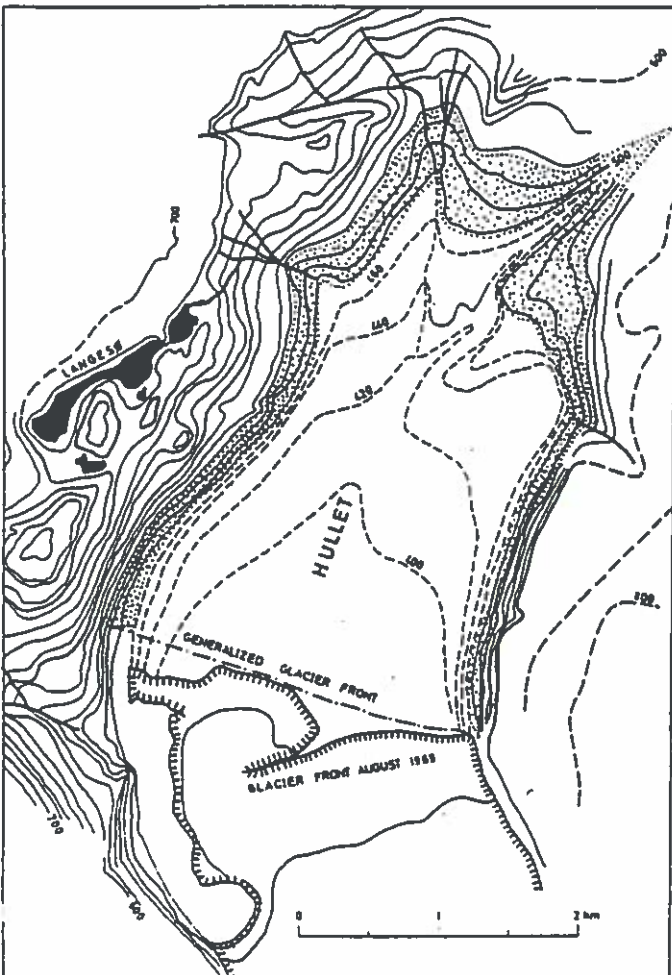
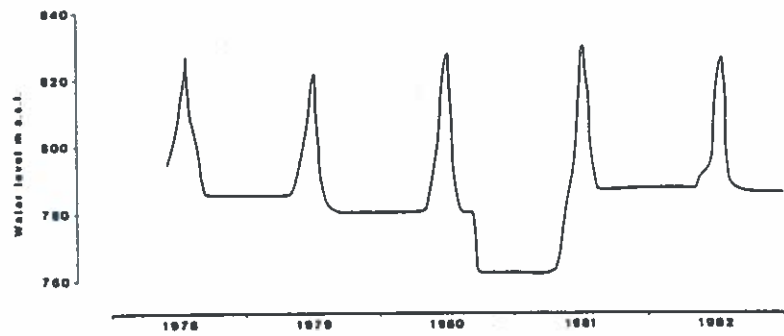


Fig. 4. Øverst: Balancen i et punkt som funktion af tiden. Nederst: Eksempel på massebalancekurve (Nordboglletscher i Johan Dahl Land, Sydgrønland).



BASE CAMP LAKE 1978-1982



HULLET 1978-1982

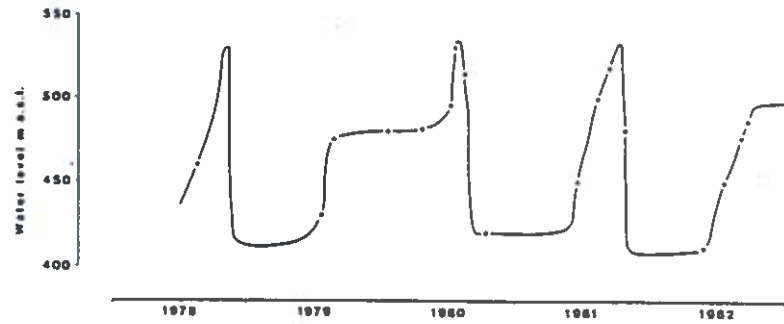


Fig. 5. Øverst: Base Camp Lake. Nederst: Hullet. Kurverne viser vandstandsændringer i de to isdækkede søer i perioden 1978-82.

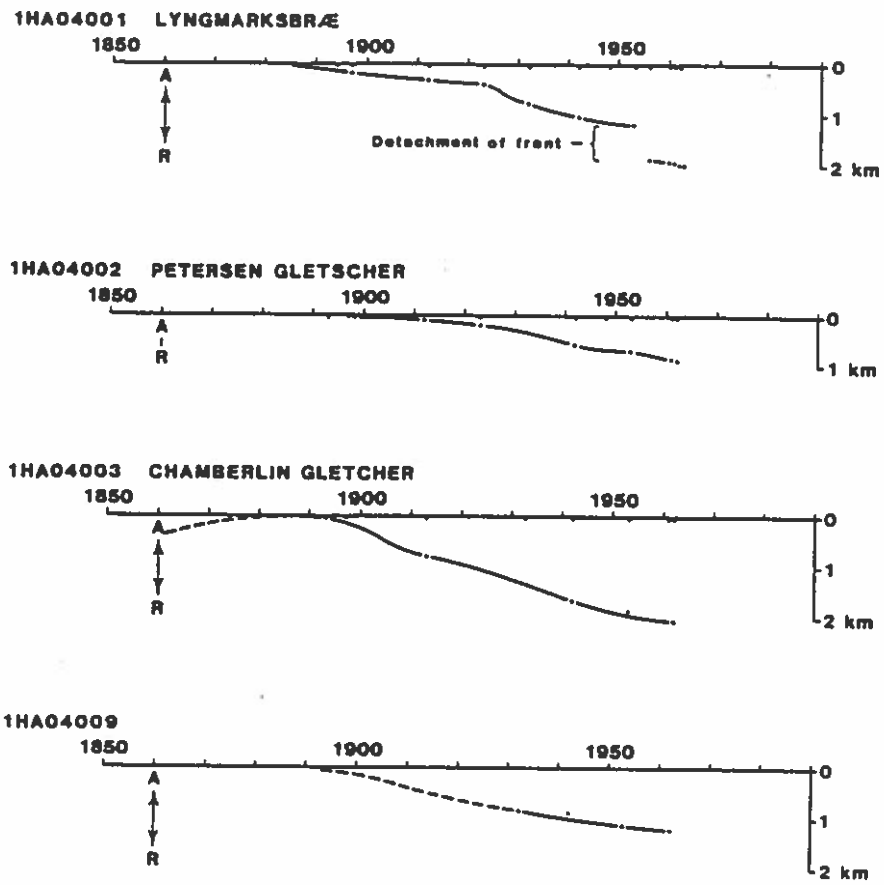


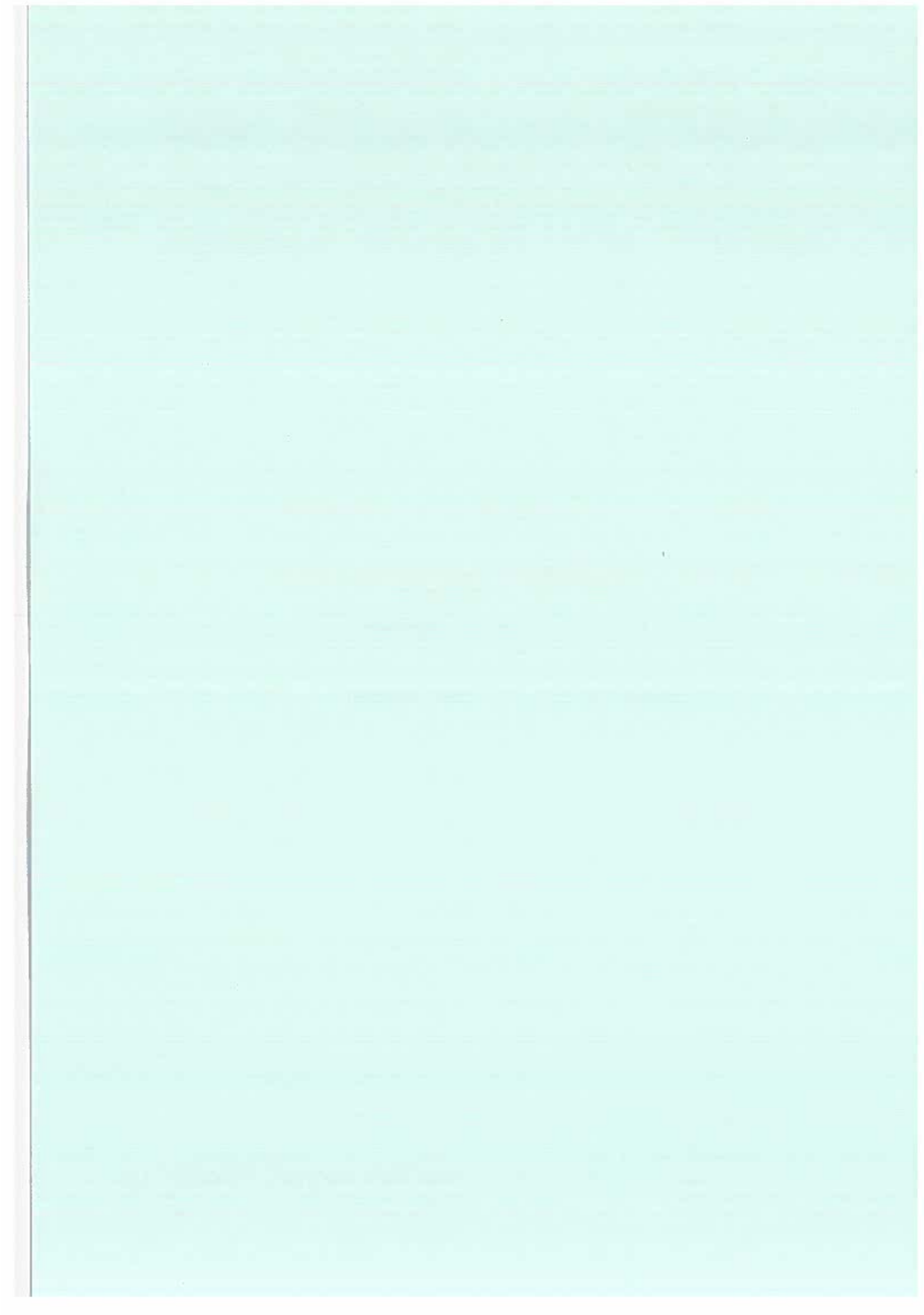
Fig. 6. Længdeændringer af lokalgletschere. Blæsedalen ved Godhavn.



VANDKRAFT I GRØNLAND  
"HYDROLOGISKE FORUNDERSØGELSER"  
AF  
CAND. SCIENT THORKILD THOMSEN

GRØNLANDS TEKNISKE ORGANISATION  
DIREKTORATET  
FEBRUAR 1983

FBA/FVK



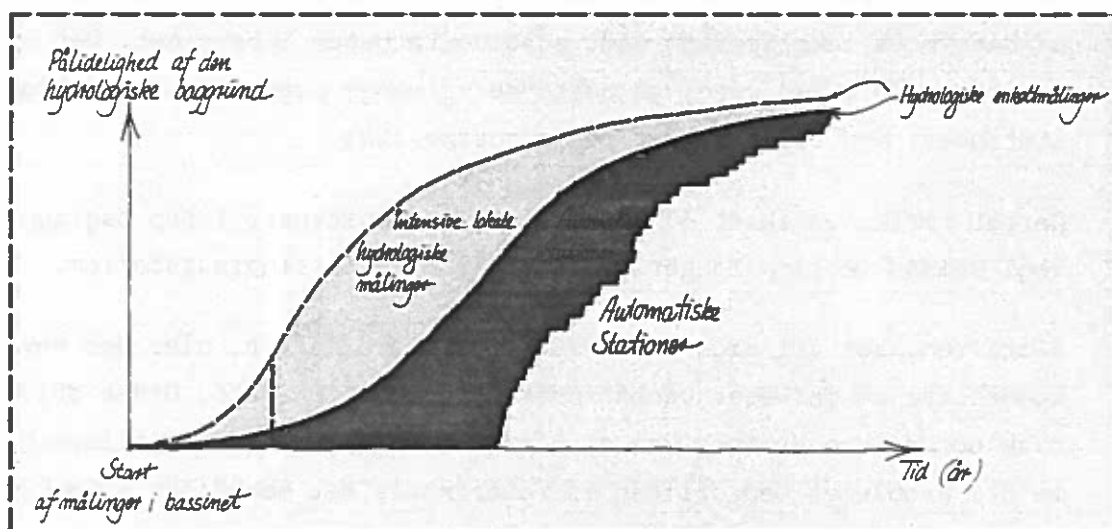
## "HYDROLOGISKE FORUNDERSØGELSER"

De hydrologiske undersøgelser er koncentreret om bysamfundene i sydvestgrønland samt på østkysten ved Ammassalik og i Jameson Land. I Jameson Land dog med anden perspektiv for øje.

I dag foretages der hydrologiske undersøgelser i 17 forskellige bassiner i Grønland. Undersøgelserne foregår således med forskellig intensitet alt efter bassinets udseende samt beliggenhed. De automatiske hydro/meteorologiske stationer i bassinerne er således placeret omkring de eksisterende bysamfund samt i områder med store hydrologiske potentialer (regionale bassiner). Disse er Johan Dahl Land i Narsaq kommune, Grædefjord og Isukasia i Godthåb kommune, Tasersiaq i Sukkertoppen kommune samt Nuussuaq i Jakobshavn kommune.

De hydrologiske forundersøgelser i vandkraftsammenhæng er først og fremmest at tilvejebringe lange tidsserier af de essentielle parametre. Dette kan ske over en lang tidsperiode med bestemmelse af disse parametre (bl.a. afstrømning, nedbør og temperatur) på de automatiske stationer. Der er ikke lange tidsperioder til rådighed for de grønlandske projekter, hvor der skal leveres et resultat i løbet af få år.

Til fremskaffelsen af et idag brugbart hydrologisk grundlag, kombineres dataindsamlingen fra de automatiske stationer med mere intensive hydrologiske målinger i de bassiner, hvor der skal ske en forprojektering for allerede nu at skabe så stor pålidelighed af den hydrologiske baggrund, se fig. 1.



Figur nr. 1 - HYDROLOGISKE BAGGRUNDSUNDERSØGELSER FØR FORPROJEKTERING

Intensiviteten af de hydrologiske undersøgelser er selvfølgelig meget forskellige, idet i enkelte bassiner opretholdes der kun en vedligeholdende besøgsfrekvens for til stadighed at sikre en kontinuerlig drift. En vedligeholdende besøgsfrekvens er, hvor der ikke sker anden aktivitet, 1 gang om året. Principielt kunne der godt gå længere tid.

### DATAINDSAMLINGSSYSTEMET

De hydro/meteorologiske målinger sker på en stationstype specielt udviklet til formålet, stationerne er opbygget omkring en datalogger af typen DATEL, der følger visse militære specifikationer og er operativ til  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Energiforsyningen er 12 V's DC. Loggeren er forsynet med muligheder for måling af op til 64 enkeltværdier samtidig med en opløsning på henholdsvis 12 bit ( $2^0 - 2^{11}$ ) på 32 kanaler og 8 bit ( $2^0 - 2^7$ ) på 32 kanaler. Intervaller for registreringen sættes på forhånd og kan varierer fra kontinuerlig registrering til 30 timers interval.

Ved hver registrering anføres tiden med sekunds-opløsning. Alle registreringer bliver lagret på tape i loggeren med 36 bit clock i BCD kode og kanalværdier med 14 bit i binær kode. Desuden måles der på stationen visse interne elektriske kontrolværdier som referencespændinger, spænding til loggeren (12 V) samt reference no for station.

Hele systemet tilses med tester specielt til DATEL-loggersystemet.

Behovet for parameterbestemmelse er ikke lige stort overalt. Det afhænger af bassinets lokalisering samt stationstætheden i bassinet. Det optimale ville selvfølgelig være, at bestemme så mange parametre som muligt på alle stationer, men det tillader ressourcerne ikke.

Der er derfor udviklet 3 forskellige stationstyper. I den daglige terminologi kaldes de limnilogger, klimastation og is-vindlaststation.

I starten, det vil sige fra 1976 og de næste par år, blev der anvendt en kommerciel på markedet vandstandsmåler - en limnigraf. Disse drives mekanisk og er ikke driftssikre om vinteren og kræver mindst tilsyn hvert halve år. Problemet med driften er fortrinsvis det mekaniske urværk samt opløsningen på registreringsrullen.



Af de specielt GTO udviklede stationer er en limnolog den mindste type. Her bestemmes kun vandstand, vandtemperatur, nedbør, lufttemperatur samt enkelte steder temperaturgradienten i fjeldet. Af disse er idag 16 i drift.

En klimastation måler desuden vindhastighed, vindretning, lufttryk, luftfugtighed samt kortbølget indstråling. Der er idag ialt 12 i drift.

Is-vindlaststationen er en traditionel klimastation, hvor der desuden bestemmes is- og vindbelastning på ophængte rør i dynamometre. Der er idag 4 i drift.

Der har været overisning in situ, dog på en klimastation, der brød ned. Den indtil dato eneste stationsforlis, men stationen stod også eksponeret direkte mod indlandsisen. Vinden havde en afgørende effekt for sammenbrudet, idet loggeren kørte, også da masten knækkede og registrerede 80 m/sek. (300 km/timen). Loggeren fungerede stadig, da båndet blev hentet.

Desuden foretages der på enkelte stationer mere omfattende strålingsmålinger til en senere opstilling af en energimodel for snesmeltning samt opstilling af vandbalancen i begrænsede veldefinerede nedbørsområder. Andre steder foretages der enkeltparametre metodebestemmelse med nedbørsmålere, vindhastighed og andet.

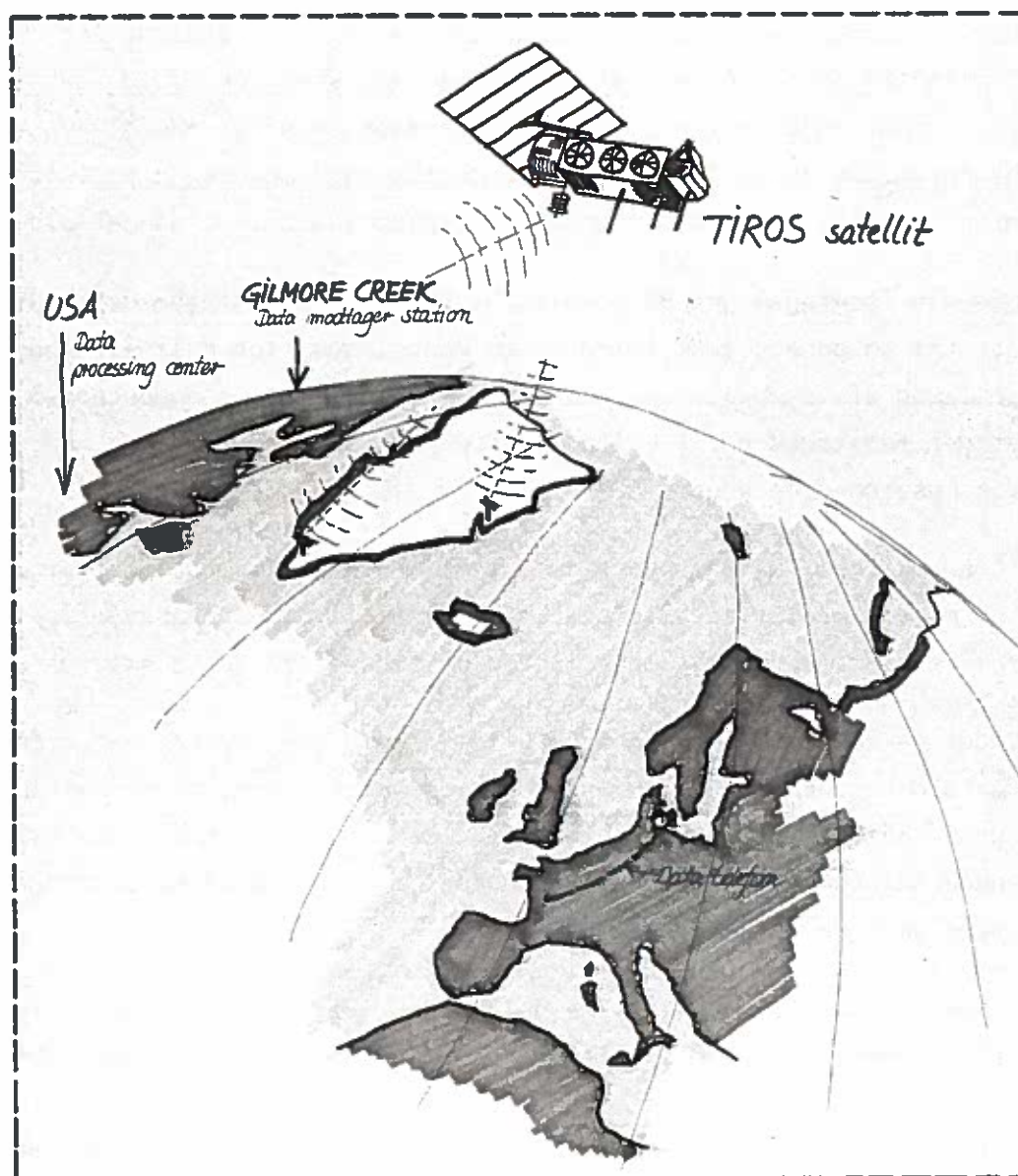
I dag scannes (måles) hvert parameter hver 3. time. Det drejer sig ialt om 507 enkeltværdier på alle stationer. Det bliver på årsbasis 1,5 mio. enkeltværdier, der skal kontrolleres og behandles, dette sker på EDB.

Under de specielle grønlandske klimaforhold med hurtigt varierende vejrforhold ved eks. föhn og i store kuldepåvirkninger, giver systemet en sikkerhed på returdata på omkring 95% i gennemsnit. Grunden til det ikke er endnu højere, skyldes fabrikationsfejl i loggeren eller transducere, der først opdages under driften.

Tilsyn af stationerne kan ske hele året, især efter at der er indført satellittransmission på enkelte af stationerne. Transmissionen sker via en TIROS satellit, i et system, der betegnes ARGOS - se fig. 2. Der er herved muligt via telefon og modem fra København, at kontrollere driften af stationerne, samt i planlægningen at tage højde for, at udelade tilsyn af stationer, der er dyre at tilse med helikopter, såfremt disse fungerer korrekt. Der skal ikke spares mange flyvetimer før et satellittransmissions-system er tjent ind igen.

Stationerne i Grønland sender det sidst målte scan med 200 sek. interval. Disse modtages af satellitten ved passage. Da disse er polære i deres bane (der er 2 satellitter) sker dette mellem 5 og 10 gange i døgnet over Grønland. Satellitten afgiver sine data efter passage over den nordlige halvkugle i Gilmore Creeck i Alaska. Efter sortering af alle informationer i USA (da det ikke er alle satellitdata, der er offentlige) lagres de for europæiske målinger i Toulouse i Frankrig.

Herfra er data'ene tilgængelige ca. 4 timer efter satellitten har passeret målestationen i Grønland.



Figur nr. 2 - ARGOS - DATA, TRANSMISSIONSSYSTEM

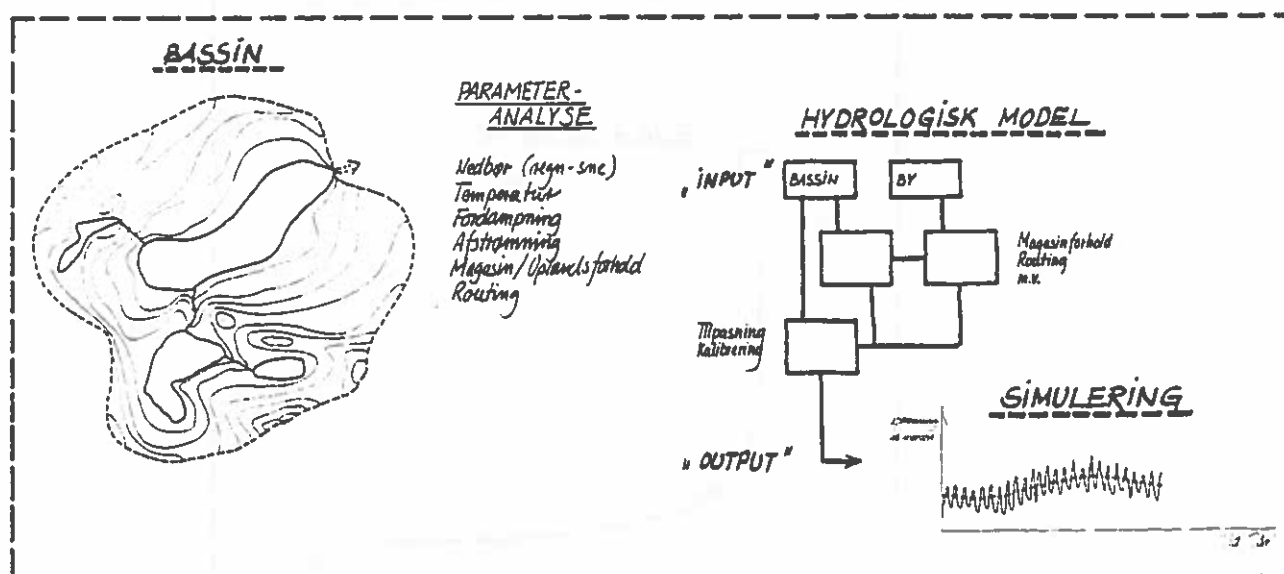
### DATAVURDERING/-OPSTILLING

I de bassiner, hvor der skal foretages større anlægstekniske betragtninger, foregår der samtidigt mere intensive hydrologiske målinger, for at sikre så stor pålidelighed til trods for de korte tidsperspektiver. Dette skal gøre det muligt at bestemme reguleringskurver, dæmningshøjder, turbinekapacitet o.a. uden et rimeligt tidsmæssigt hydrologisk grundlag.

Et nødvendigt og tilstrækkeligt hydrologisk grundlag skaffes i de øvrige nordiske lande ved at betragte de 30 tidligere års målinger, eventuelt ved simulering med en indledende kalibrering over en passende periode.

Det nødvendige hydrologiske grundlag på nuværende tidspunkt i Grønland er en parameteranalyse i bassinet af data fra de automatiske stationer samt fra nærmeste by. Dette skal sikre, at en for kort kalibreringsperiode ved tilpasningen af en hydrologisk model til bassin-data'ene i forbindelse med en tidssimulering af afstrømningen fra bassinet sker ved, at de tilpasser den hydrologiske model og ikke omvendt.

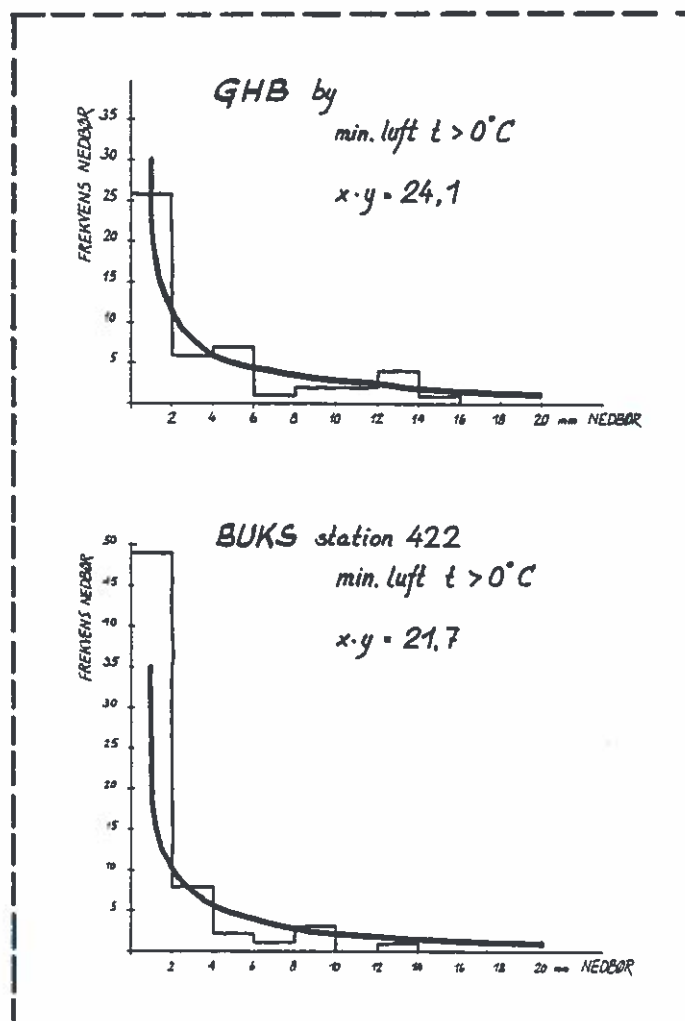
Parameteranalysen omfatter nedbøren i form af regn og sne, lufttemperaturen, afstrømning, magasin-oplandsforhold samt vandets routing gennem søerne i oplandet, se fig. 3.



Figur nr. 3 - PRINCIPSKITSE FOR PARAMETER-ANALYSE INDEN HYDROLOGISK SIMULERING

Her vil kort blive gennemgået parameteranalysen af nedbør og temperatur-data' ene for at specifikt område. Enhver model-mand påberåber altid usikkerheden af modelarbejdet på baggrund af de usikre og utilstrækkelige data. Derfor ville det være gavnligt, hvis man lagde større vægt på en datavurdering og -behandling, inden man foretager sin kalibrering med den hydrologiske model.

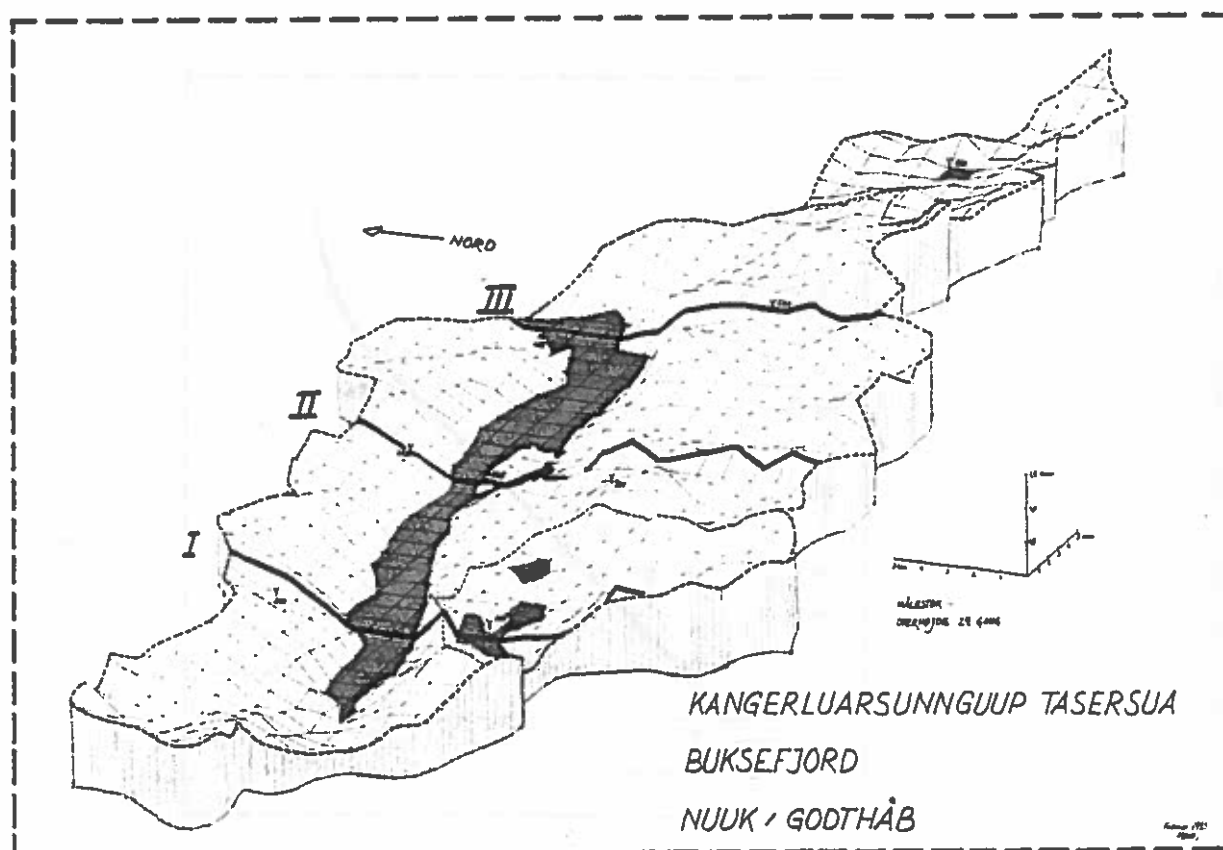
Sammenligning af nedbøren mellem byen og bassinet i absolutte størrelser er ofte umuligt med en rimelig statistisk signifikans. Derfor er der ved Godthåb forsøgt en sammenligning af nedbøren i form af en frekvensfordeling af nedbøren her mellem Godthåb by og Buksefjordens østlige del. Hyperbelfunktionen, der er tilpasset datamaterialet, der beskriver nedbøren i form af regn (det vil sige, døgminimums temperaturen  $> 0^{\circ}\text{C}$ ), er beskrevet med en korrelationskoefficient for begge på over 0,95, se fig. 4.



Figur nr. 4 - NEDBØR, FREKVENNSFORDELING

Elimineres frekvensen, fås nedbørssammenhængen mellem byen og bassinet. her i kote ved søen. Sammenhængen her af nedbøren ved søen er 88% af byen. Denne mulighed for overførsel af nedbør med denne dataanalyse er ikke mulig i dag i nogen modeller.

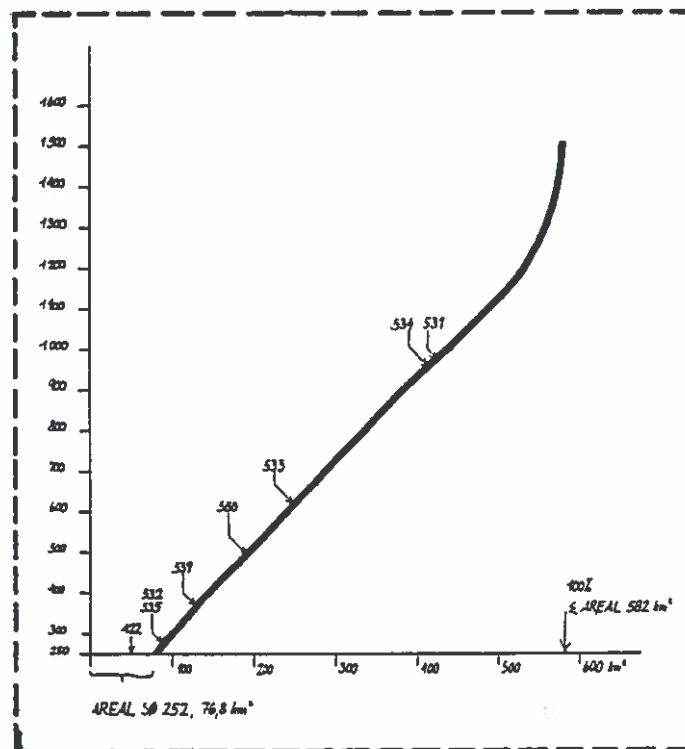
Til vurdering af nedbørens fordeling i bassinet i form af regn, er der opstillet akkumulerende målere i 3 repræsentative linier heraf 3 målere i søniveau, se fig. 5. Frekvenssammenligningen med Godthåb by er sket med data for den automatiske station i søens østlige del ved udløbet.



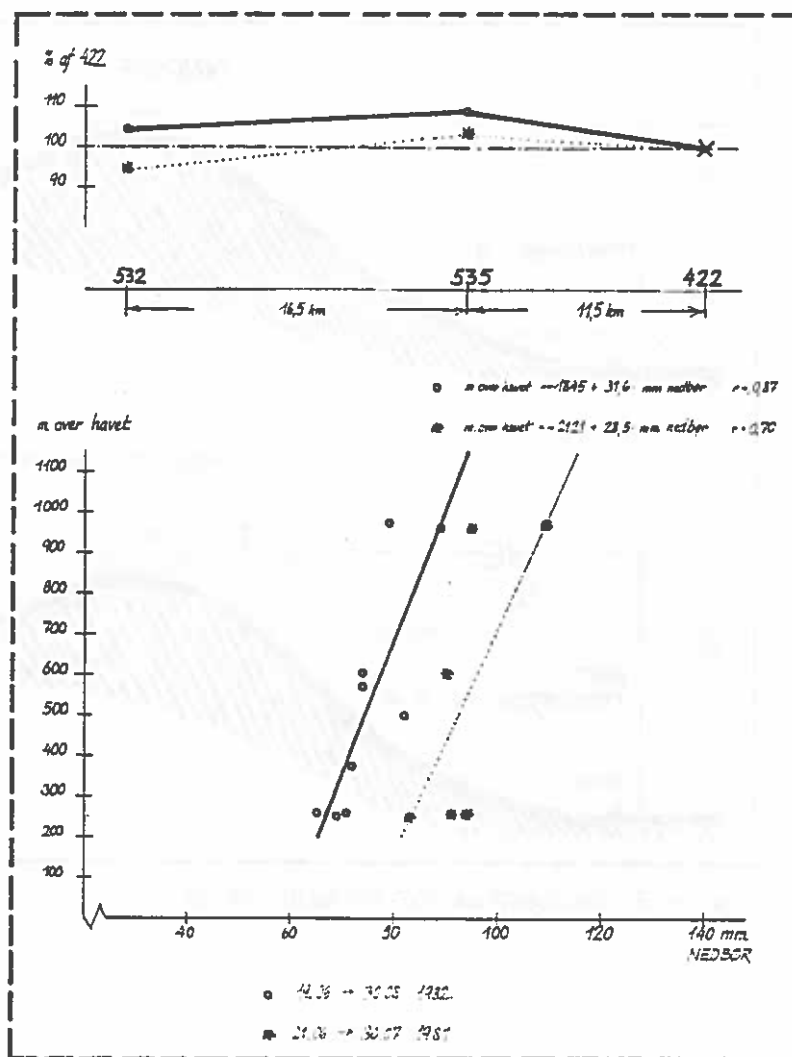
Figur nr. 5 - NEDBØRSLINIER I BUKSEFJORDSBASSINET

Til vurdering af nedbøren i søniveau er fordelingen langs søen belyst ud fra 3 målere (med 1 måler i hver linie). Denne er ensartet fordelt indenfor 5%, se fig. 7, hvilket for nedbørsforhold er en lille afvigelse.

Højdefordelingen af nedbøren i form af regn, stadigvæk i bassinet, er belyst ud fra 2 sommermålinger, hvor de akkumulerende målere var fordelt i bassinet i 3 linier. Målerens placering i forhold til den hypsografiske fordeling i bassinet fremgår af fig. 6, der primært viser usikkerheden i forbindelse med repræsentativiteten af nedbørsfordelingen i højere liggende områder. Det viser sig, at der er en god overensstemmelse med højdefordelingen af nedbøren de 2 år pr. 4% stigning på 100 m hvert år, se fig. 7. Regressionen de enkelte år beskrives med en korrelationskoefficient på henholdsvis 0,70 og 0,87.



Figur nr. 6 - NEDBØRSMÅLERPLACERING PÅ DEN HYPISOGRAFISKE KURVE FOR BUKSEFJORDSBASSINET (KANGERLUARSUNNGUUP TASERSUA)



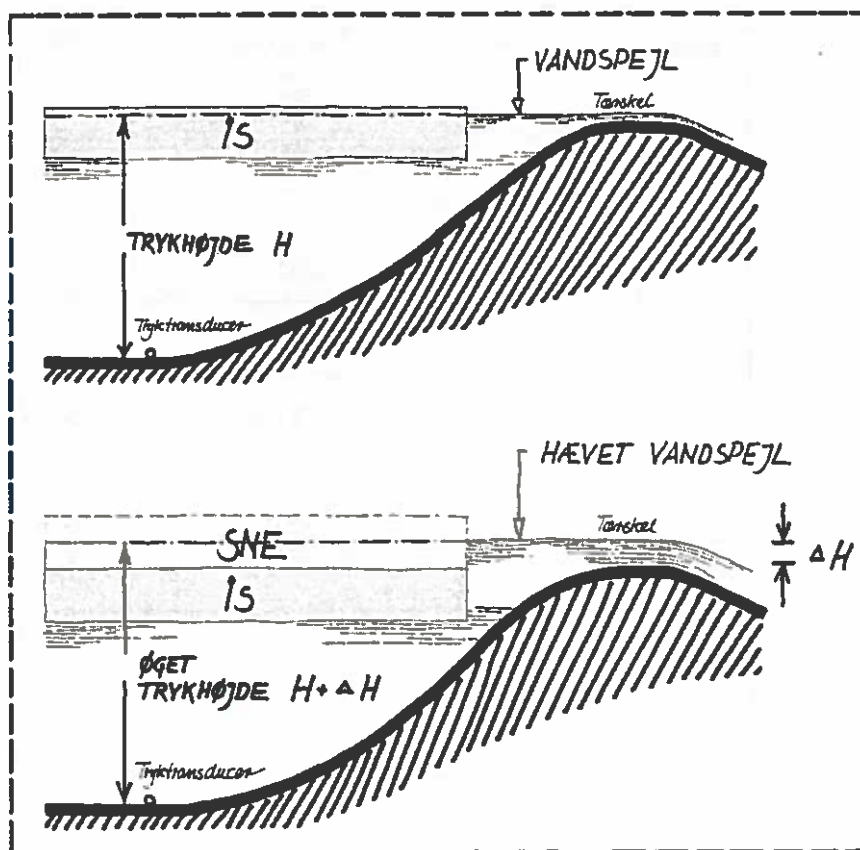
Figur nr. 7 - NEDBØRSFORDELING I BUKSEFJORDSBASSINET  
(KANGERLUARSUNNGUUP TASERSUA)

Beskrivelsen af snedebørens er mere problemfyldt og bruges hidtil oftest til at justere vandbalancen i området ved modelkalibreringen.

Foreløbigt anvendes en vandækvivalent sneværdi i søniveau ud fra det forøgede tryk over tryktransducere, der registrerer vandstanden.

På grund af snefaldet på søisen, medfører dette et forøget tryk, hvilket afstedkommer en forøget afstrømning fra søen. Størrelsen af denne afstrømning plus den forøgede trykhøjde, giver den vandækvivalente snemængde i bassinet i søniveau, se fig. 8.

Til en foreløbig vurdering af vandbalancen i modellen forøges denne med højden tilsvarende som regnen.



Figur nr. 8 - VANDÆKVIVALENT SNEHØJDE PÅ SØ

Det er herefter muligt at vurdere vandbalance ud fra modellen uden at denne skal tilpasses ud fra mere eller mindre arbitrære konstanter på regnen eller sneen.

En digitaliseret input af den vandækvivalente snefordeling i bassinet fra satellitbilleder er absolut en mulighed for at belyse den del af årsnedbøren fra et mere objektive synspunkt. For tiden foregår der i GTO arbejde med, at udføre snetaksering ved hjælp af  $\gamma$ -prospektering med fly, til en operativ metode i Grønland.



Et af problemerne med satellitbilledeinformation i dag, er at den kræver nedbørsbassiner af en vis udstrækning for at kunne anvendes med rimelig sikkerhed. Af de 11 aktuelle bynære bassiner i Grønland, er kun 2 bassiner større end  $100 \text{ km}^2$ , der er minimumsgrænsen for anvendelse af satellitbilleder (Buksefjorden  $580 \text{ km}^2$  og Tasersuaq  $750 \text{ km}^2$ ), derfor er det vigtigt at man får gjort  $\chi$ -sneprospekteringen operationelt.

Forsøges herudfra at opstille vandbalance for Buksefjordsøens opland, ses at denne passer forbavsende godt. Der er gjort følgende antagelser:

- højdefordelingen af snenedbøren er tilsvarende som regn
- fordampningen udgør  $150 \text{ mm/år}$
- magasinforholdene er uændret på årsbasis
- der er ikke foretaget nogen punktkorrektion af nedbøren.

#### Tidsperiode

Hydrologisk år 1981 - 1982.

#### Målt afstrømning

$157 \text{ mio. m}^3$  =  $270 \text{ mm vandækvivalent}$

#### Dataparameteranalyse

Nedbør	Godthåb by = regn $280 \text{ mm}$
Søsniveau	regn tilsvarende i bassin $280 \times 0,88 = 245 \text{ mm}$
	sne i bassin (ud fra tryktransducer) = $145 \text{ mm}$
	Ialt = $390 \text{ mm}$

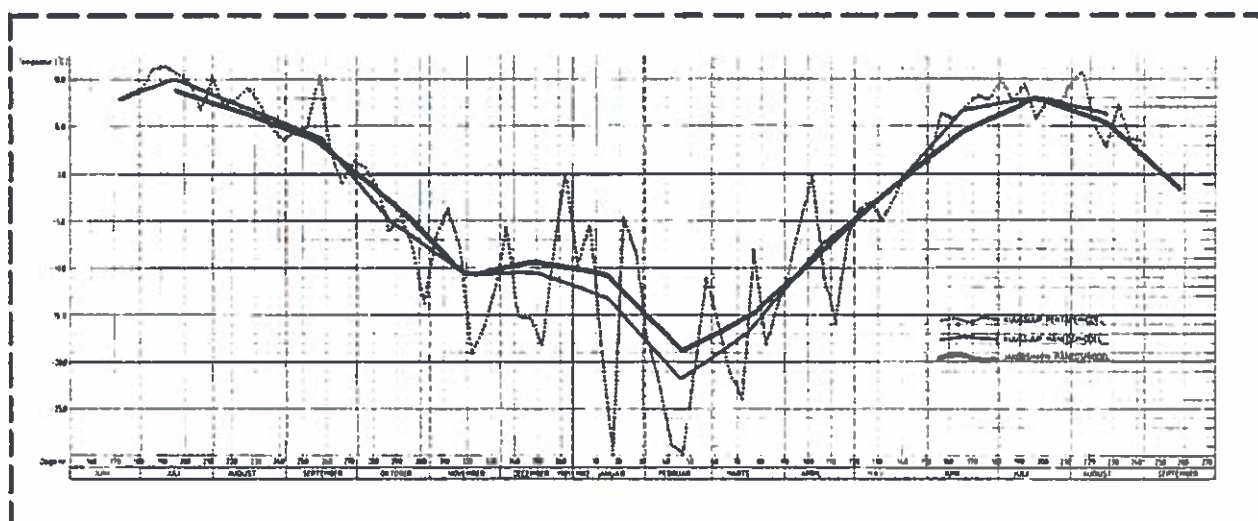
Korrektion til middelbassinshøjde kote  $700 \text{ mm}$

$390 \text{ mm} + 19\%$	= $460 \text{ mm}$
fordampning (anslået)	= $150 \text{ mm}$

Dataanalyseafstrømning =  $310 \text{ mm vandækvivalent}$

Usikkerhedsmomenterne ved denne opstilling af vandbalancen er primært metoden til bestemmelsen af snemængden i søniveau samt størrelsen af fordampningen. Mindre nedbørshændelser eller nedbør med lav intensitet i form af sne, vil ikke registreres af den skitserede metode af tryktransduceren. I Godthåb er der i den tilsvarende tid, hvor der er registreret sne i bassinet, målt 205 mm nedbør i form af sne. Overføres denne til søniveau fås 180 mm, hvilket er i overensstemmelse med, at sne-vandmængden, bestemt ud fra tryktransduceren, er at betragte som et absolut minimum. Størrelsen af fordampningen er et andet større usikkerhedselement og skal kun betragtes som en størrelsesorden.

Hidtidige modelbeskrivelser antager ofte en ensartet årsfordeling af temperaturforholdene "by" og "bassin" imellem. Det viser sig for grønlandske forhold, at lufttemperaturen i "bassinet" er koldere om vinteren og varmere om sommeren end i nærmest liggende "by", se fig. 9. Skilledatoerne for de to temperaturgradienter er oftest meget veldefinerede, men kan eventuelt i modelsammenhæng laves dynamisk, idet en fast skilleteperatur i "byen" kan afgøre temperaturgradienten "by/bassin". Dette er idag ikke muligt at inddrage i nogle modeller, men af hensyn til fordelingen af snesmeltningen, er det oftest vanskeligt at gøre entydigt i dag.



Figur nr. 9 - TEMPERATUR ÅRSFORDELING "BY / BASSIN", HER MELLEM JAKOBHAVN BY OG KUUSSUUP TASIA

Med disse parameterbeskrivelser, er det herefter muligt at opstille sin datafil og konstaterer, at kalibreringen passer indenfor et vist antal procent. Denne forskel skal ikke forsøges at justeres med arbitrære konstanter, men kan lige så godt skyldes, at datamaterialet er for spinkelt, eller at det er indenfor præcisionen af afstrømningsmålingerne i kalibreringsperioden.

Ved denne dataanalyse undgås en simuleringsfejl ved en for kort kalibreringsperiode, hvor det er muligt med forskellige parameterkombinationer i kalibreringsfilen, at beskrive afstrømningen. For korte kalibreringsperioder, det vil sige, mindre end 7 til 10 års målinger, vil forekomme ved alle forprojekteringer i Grønland.

Opstilling af datafilen sker på baggrund af behandlingen af klimadata = ene fra de automatiske stationer. De redigeres og vurderes på eget anlæg. Tilsvarende bruges Meteorologisk Instituts data fra byerne ved kysten efter en redigering.

Det er herefter muligt at foretage den hydrologiske tidssimulering, der i sig selv ikke er så spændende.

Brugen af simuleringsresultater skal dog foregå med en vis forsigtighed i mindre nedbørsbassiner.

De simulerede maksimalvandføringer er meget mindre end dem, der kan forventes i naturen.

Efter Norsk Standard for "Påregnelig Maksimal Flom" anbefales det ikke at bruge syntetiske tidsserier fra modelberegninger på nedbørsområder under 50-100 km<sup>2</sup>. Det vil sige, at simuleringsresultatet i små bassiner ikke kan bruges til ekstremværdianalyse. For at afhjælpe dette, burde en hydrologisk model bedre kunne beskrive afstrømninger i ekstremssituationer. Det vil for grønlandske forhold især være i föhn situationer om foråret med frossen overflade. Altså en beskrivelse ud fra et værst tænkeligt tilfælde. I modelsammenhæng vil det kunne beskrives ved f.eks. kriterier for föhn (hurtigt faldende absolut lufttryk, kraftigt stigende temperatur, faldende luftfugtighed og stor vindhastighed).

Det er ikke urimeligt at forestille anden anvendelse af de store hydrologiske/klimatologiske datagrundlag, der er under opbygning for Grønland. Dette findes ikke tilsvarende noget sted i den arktiske verden i den vestlige verden.



HYDROLOGISKE AFSTRØMNINGSMODELLER

af

LARS GOTTLIEB og STEFFEN IVERSEN

LICconsult Rådgivende Ingeniører A/S

Foredrag d. 17.feb. 1983 i Ingeniørforeningen.



Faint header text or markings at the top of the page.

Main body of the page containing several paragraphs of extremely faint, illegible text.

## AFSTRØMNINGSMODELLER

En sikker viden om størrelse og variation af de vandmængder, der strømmer til vandkraftanlægget vil ofte være af afgørende betydning for vurderingen af lønsomheden i projektet samt for den økonomiske dimensionering af de enkelte elementer: Dæmninger, vandveje og turbiner. Både statistiske teorier og almindelig intuition fortæller, at det kræver lang tids kendskab til vandføringer, før en sådan sikker viden kan opnås - hvor lang tid kan der ikke siges noget generelt om, men dette spørgsmål vil blive belyst med et eksempel senere. Problemet med de grønlandske vandkraftprojekter, der idag er på tegnebrættet, er, at der som grundlag for vurderingen kun foreligger få års vandføringsobservationer. Det er derfor naturligt at spekulere i andre metoder end direkte vandføringsobservation til at øge videnen om størrelse og variation af vandtilstrømningen.

I Grønland findes der mange steder langvarige meteorologiske observationer, nogle steder helt op til 100 år. Da der jo er en klar sammenhæng mellem vejrlig og afstrømning - nedbør i form af regn giver afstrømning, varmegrader giver sne- og isafsmeltning og dermed afstrømning - er det naturligt at søge at udnytte disse langvarige meteorologiske observationer til at forlænge de målte vandføringsserier tilbage i tiden. For at kunne gøre dette, må man have et værktøj, der beskriver sammenhængen mellem vejrlig og afstrømning. En såkaldt afløbsmodel eller afstrømningsmodel er netop sådan et værktøj.

Kort fortalt består en afstrømningsmodel af et sæt mere eller mindre forenkledede beskrivelser af de processer, der forvandler nedbør (regn eller sne) til afstrømning.

Eksempler på sådanne processer er:

- ophobning i sne eller gletschermagasin
- afsmeltning fra sne eller gletschermagasin
- fordampning
- nedsivning
- opmagasinering i øvre jordlag
- " " rodzonen
- " " grundvandsmagasin

Disse processer er generelt meget komplicerede, og man må derfor på god ingeniørvis gribe til forenkledede beskrivelser, der som vi skal se senere, ofte alligevel er brugbare i praksis.

### NAM-II

Et eksempel på en sådan afstrømningsmodel er NAM-II. NAM-II er udviklet ved DTH og videre i LICconsult. NAM-II tager særlig sigte på anvendelsen i arktiske egne, hvilket indebærer, at der specielt er lagt vægt på beskrivelser af processer som sneakkumulation samt sne- og isafsmeltning.

Når modellen skal anvendes på et afstrømningsområde - eksempelvis som vist på principskitzen fig. 1 - opdeler man først i gletscherfrie områder og evt. gletscherdækkede områder, idet disse to områdetyper behandles væsentligt forskelligt i modellen



De to områdetyper underopdeles dernæst i delområder for at tage hensyn til de uensartede meteorologiske forhold, der kan herske indenfor et afstrømningsområde (eksempelvis temperaturfald m.h.t. højden). Indenfor et delområde antages at være ensartede forhold.

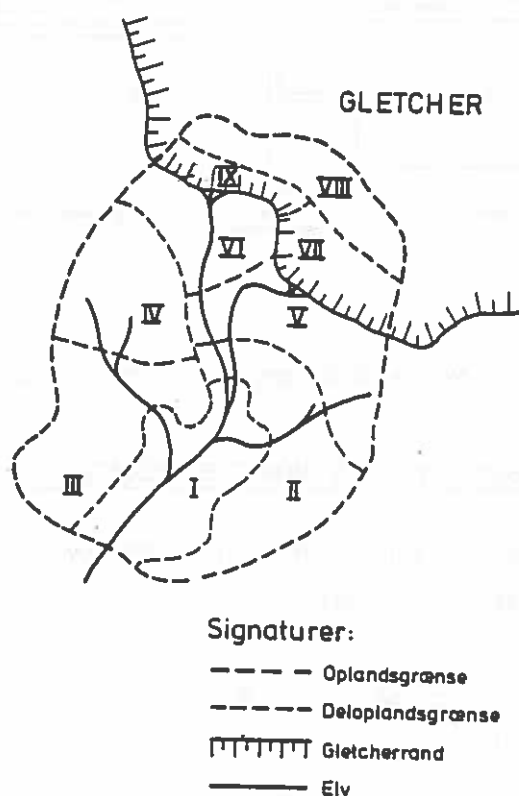


Fig. 1 Oplandsinddeling - Principskitse

For hvert delområde beregnes daglig nedbørsmængde, nedbørsform og varmetransport til og fra atmosfæren. Herudfra kan daglige vandbidrag i form af regn og smeltevand beregnes for hvert delopland. Disse vandbidrag summeres op for de gletscherfrie områder og sendes igennem en simpel, men effektiv model, der beskriver vandtransporten gennem området. Tilsvarende summeres vandbidragene fra de gletscherdækkede delområder op og sendes igennem en endnu mere simpel model, der beskriver vandtransporten gennem gletscheren.

Resultaterne fra de to transportmodeller lægges til sidst sammen og denne sum udgør den beregnede daglige afstrømning.

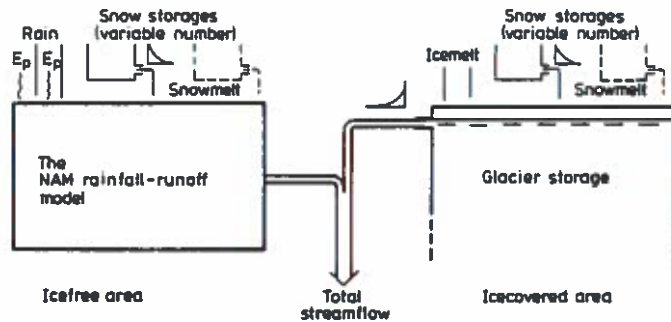


Fig. 2 Modelopbygning, principskitse.

TO EKSEMPLER PÅ MODELBEREGNINGER:

Første eksempel er en modelkørsel på et område i de sydfranske alper.

Området er på 2170 m<sup>2</sup> og afvandes af floden Durance. Området er karakteriseret ved en kraftig varierende topografi med højder fra 790 m.o.h. op til 4100 m.o.h.

Der er kun et beskedent gletscherdække på 0.4%; men der falder hvert år store mængder af sne, og afstrømningsforløbet er stærkt domineret af afsmeltninger af disse snemasser.

Området er et af de testområder som World Meteorological Organisation (WMO) har udvalgt i forbindelse med en international sammenligning af afstrømningsmodeller for sne- og gletscherdækkede områder, som WMO for tiden

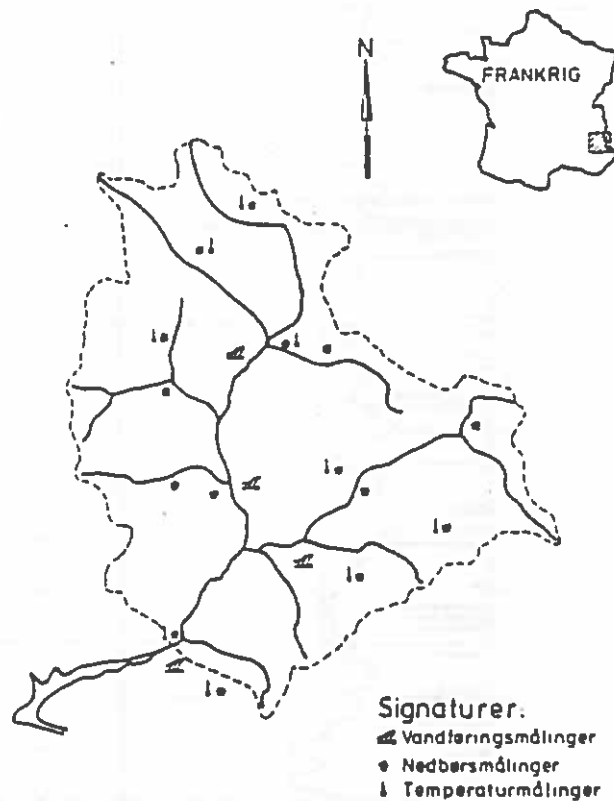


Fig. 3. Durance-området.

gennemfører. NAM-II modellen deltager i denne sammenligning sammen med andre modeller fra forskellige lande. Det er karakteristisk for disse testområder - og altså også for Durance-området - at de meteorologiske data, som modellen skal fodres med er af meget høj kvalitet og at disse (specielt) findes i et forholdsvis tæt netværk. Inden for Durance-området findes således 9 temperaturobservationsstationer, hvilket er langt mere end man normalt har til rådighed, specielt i arktiske områder.

Resultater af modelkørsler i Durance-området er vist på fig. 4.

Det ses at modellen er i stand til at beskrive afstrømningsforløbet med god nøjagtighed.

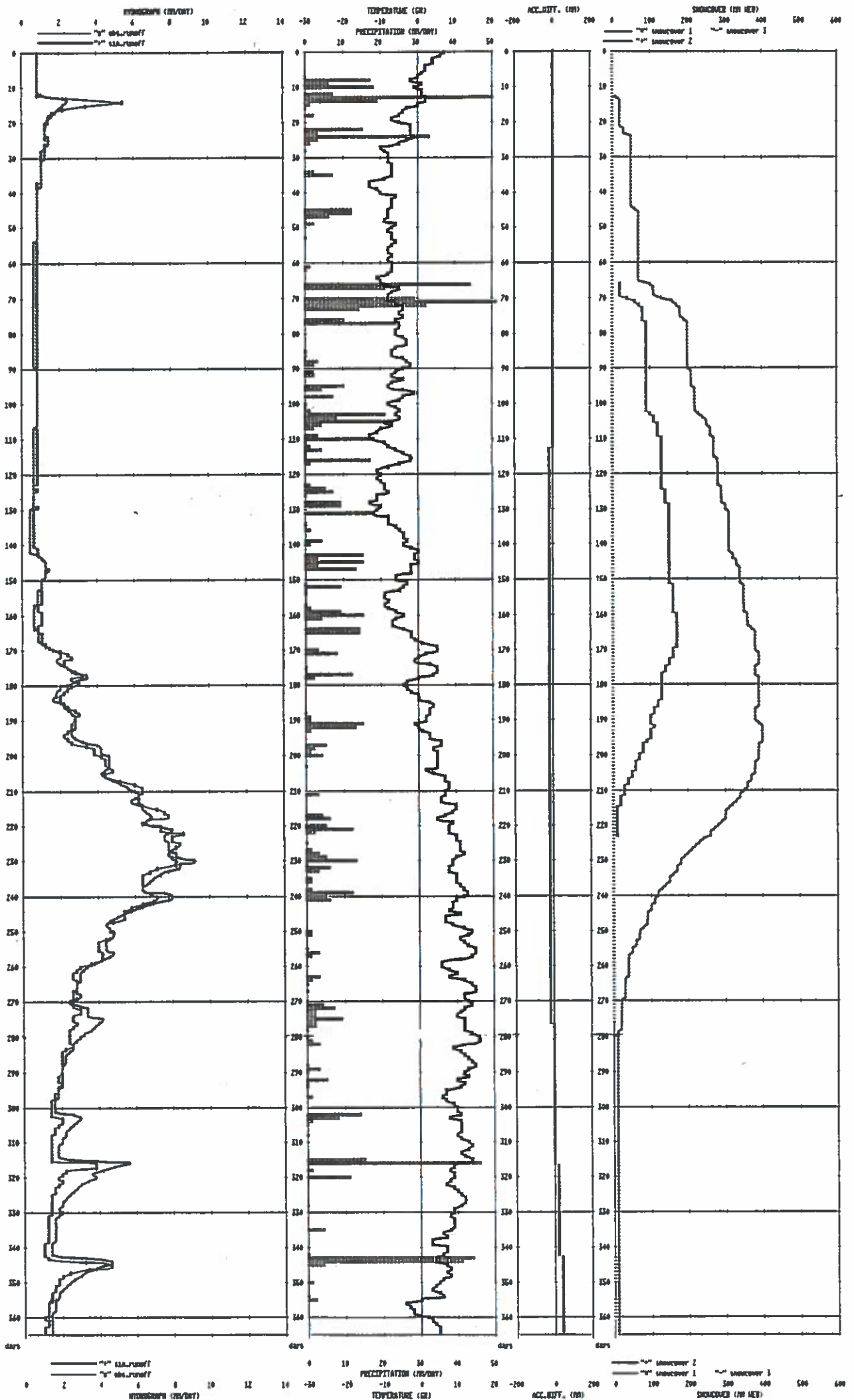


Fig. 4. Afstrømningssimulering, Durance.

Det andet eksempel er hentet fra Johan Dahl Land i Sydgrønland. Dette område er - eller har måske specielt for nogle år siden været - aktuelt, som et muligt område for etablering af et vandkraftanlæg.

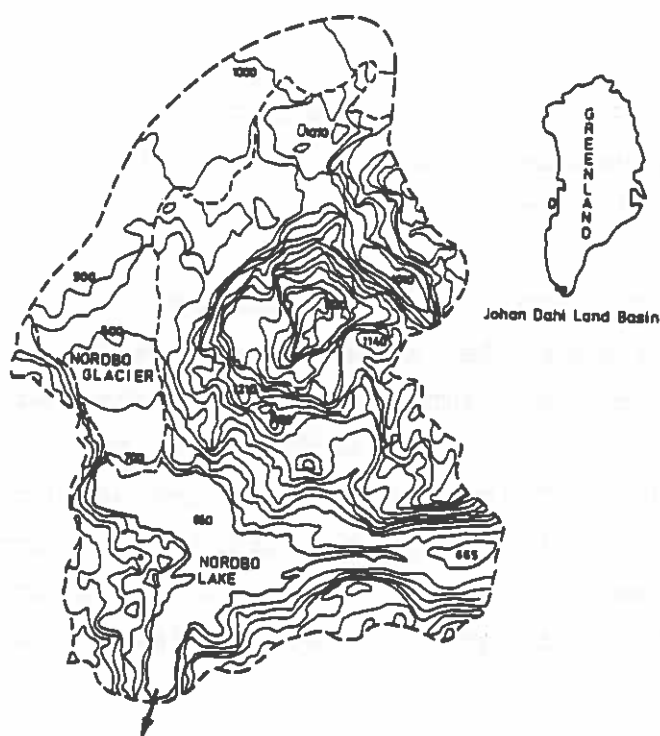


Fig. 5. Johan Dahl Land

Området, der udgør oplandet for Nordbo-sø, er på ca. 125 km<sup>2</sup>. Heraf er ca. 25 km<sup>2</sup> dækket af Nordbo-gletscheren, medens de resterende 100 km<sup>2</sup> er isfrit. Cirkaangivelsen skyldes, at oplandsgrænserne for gletscheren er overordentlig vanskelige at fastlægge. I dette tilfælde er der tale om et kvalificeret gæt, der har vist sig at give rimelige resultater ved afstrømningsberegningerne. Området varierer fra 620 m.o.h. til ca. 1200 m.o.h. og afstrømningerne er strækt influeret af tilstedeværelsen af Nordbogletscheren.

På det tidspunkt, hvor disse modelkørsler blev foretaget var datagrundlaget temmelig spinkelt. Der forelå således kun 4 års afstrømningsmålinger fra udløbet af Nordbo-sø. Endvidere var afstrømningen i den nærliggende Thor sø registreret i 1 år, og der forelå derudover spredte nedbørs- og temperaturobservationer fra området.

Som grundlag for de meteorologiske inddata til modellen anvendtes nedbørs- og temperaturserier fra Narssarssuaq Lufthavn.

Afstrømningen fra Thors Sø, der er en ren nedbørssø og således uden tilskud fra gletscherafsmeltning, blev benyttet sammen med de spredte nedbørsobservationer til at overføre nedbørsdata fra Narssarssuaq til området. Tilsvarende anvendtes de spredte temperaturobservationer til at etablere en sammenhæng mellem lufttemperaturer i området og temperaturer ved Narssassuaq. På dette grundlag blev modellen kørt.

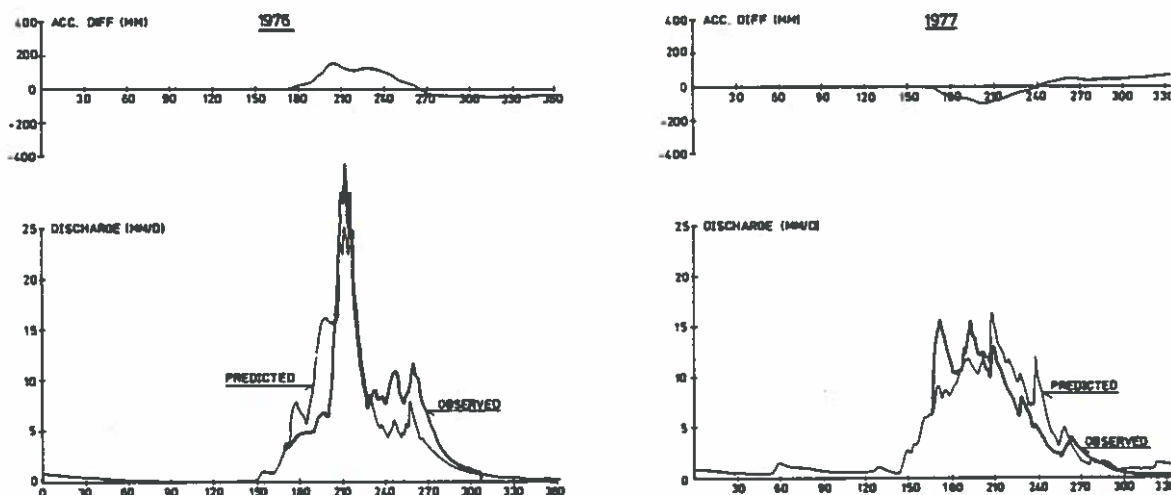


Fig. 6. Afstrømnings-simuleringer, Johan Dahl Land.

Resultaterne viser en rimelig god overensstemmelse med målingerne; men det er tydeligt, at kvaliteten af modelsimuleringerne er faldet i forhold til simuleringerne fra Durance-området. Dette skyldes formentlig først og fremmest forskellen på kvaliteten af de meteorologiske inddata. Hvor vi i Durance-området havde nedbørs- og temperaturobservationer fordelt rundt i store dele af området, har vi i dette tilfælde været nødt til at hænge alle beregningerne op på een meteorologisk station beliggende ved havniveau - 17 km fra området. Grundlaget for overførsel af de meteorologiske data til området er som nævnt spinkelt.

#### VÆRDIEN AF MODELSIMULERINGER

Efter at have betragtet disse resultater, er det et naturligt spørgsmål, hvad sådanne modelsimuleringer er værd i henseende til det, som blev nævnt indledningsvis: Ønsket om at opnå en forbedret viden om størrelse og variation af vandtilstrømningen. Dette kan belyses ved hjælp af eksemplet fra Johan Dahl Land:

Nedbør og temperatur er registreret ved Narssassuaq tilbage til 1961, og det betyder, at der på tidspunktet for modelsimuleringerne forelå 15 års historiske nedbørs- og temperaturobservationer ud over de fire år, som dækkede perioden for afstrømningsregistreringerne. Ved at lave modelsimuleringer tilbage i tiden ud fra Narssassuaq-data'ene, kunne den målte vandføringsserie på 4 år således forlænges med yderligere 15 års simulerede vandføringer.

Imidlertid var modellen jo ikke i stand til at gengive den virkelige afstrømning 100% korrekt, og det betyder, at de 15 års simulerede vandføringer ikke er helt så

meget værd, som hvis vi havde målt vandføringerne i de 15 år. Hvor meget er de 15 års silulerede vandføringer værd?

Svaret afhænger af, hvad de skal bruges til. I dette tilfælde skulle de benyttes til at fastlægge middeltilstrømningen eller nødvendig reservoirstørrelse for et vandkraftanlæg, og det er faktisk muligt at give et nogenlunde entydigt svar på dette spørgsmål:

Uden at gå nærmere i detaljer med den teori, der er udviklet i denne forbindelse, kan man give flg. korte beskrivelse: Tilpasningen mellem modelsimuleringer og målinger kan bl.a. udtrykkes kvalitativt gennem en statistisk størrelse: Korrelationskoefficienten. Korrelationskoefficienten kan let udregnes for et sæt samhørende værdier af målt og beregnet vandføring. Den vil ligge mellem -1 og 1. Er den 1, er der fuldstændig overensstemmelse mellem målinger og beregninger; faldende værdier af korrelationskoefficienten svarer til en stadig dårligere sammenhæng.

Ved hjælp af korrelationskoefficienten har man således et mål for, hvor meget vores simulerede vandføringsserie er værd, regnet i målt vandføring. Fig. 7 har viser et eksempel herpå:

På figuren er korrelationskoefficienten vist som absisse og antal ækvivalente måleår som ordinat.  $N_1$  er måleseriens længde og  $N_2$  er den simulerede series længde. Kurven viser sammenhængen mellem korrelationskoefficienten og måleserie + simulerede serie, regnet i måleår.



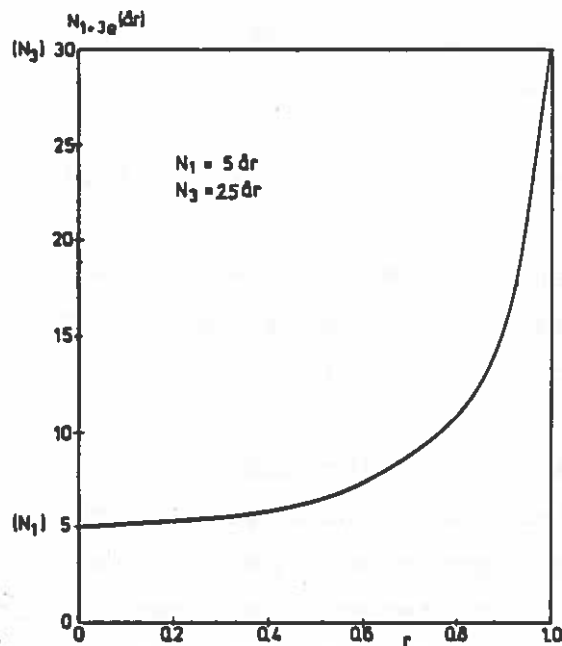


Fig. 7. Sammenhængen mellem korrelationskoefficient og simulerede vandføringsseriers værdi målt i måleår.

Ved at benytte denne analyse for modelkørslerne fra Johan Dahl Land finder man, at de 15 års modelsimuleringer er lige så meget værd som  $8\frac{1}{2}$  års målinger, når serien skulle benyttes til fastlæggelse af middeltilstrømningen og nødvendig reservoirstørrelse, hvilket må siges at være et betydeligt supplement til de målinger, der forelå på daværende tidspunkt.

Det er altså værd at notere, at selv om modellen ikke gengiver virkeligheden i alle detaljer, så er resultaterne alligevel værdifulde i mange henseender.

#### SATELLITBILLEDEPROJEKTET

Til slut et blik ind i en forhåbentlig ikke al for fjern fremtid:

Af fig. 7 fremgår det tydeligt, at værdien af en simuleret serie øges væsentligt med øget korrelationskoefficient.

Af de to eksempler på modelsimuleringer der er gennemgået, fremgår det endvidere tydeligt, at sammenhængen mellem modelberegninger og målinger øges stærkt, når mængde og kvalitet af de informationer, som modellen gør brug af, øges.

Dette er også den almindelige opfattelse, der i dag hersker omkring spørgsmålet om forbedring af afstrømningsberegninger: Der er ikke det store behov for at bedre kvaliteten og øge mængden af de meteorologiske og andre informationer, som modellen skal bruge til beregningerne.

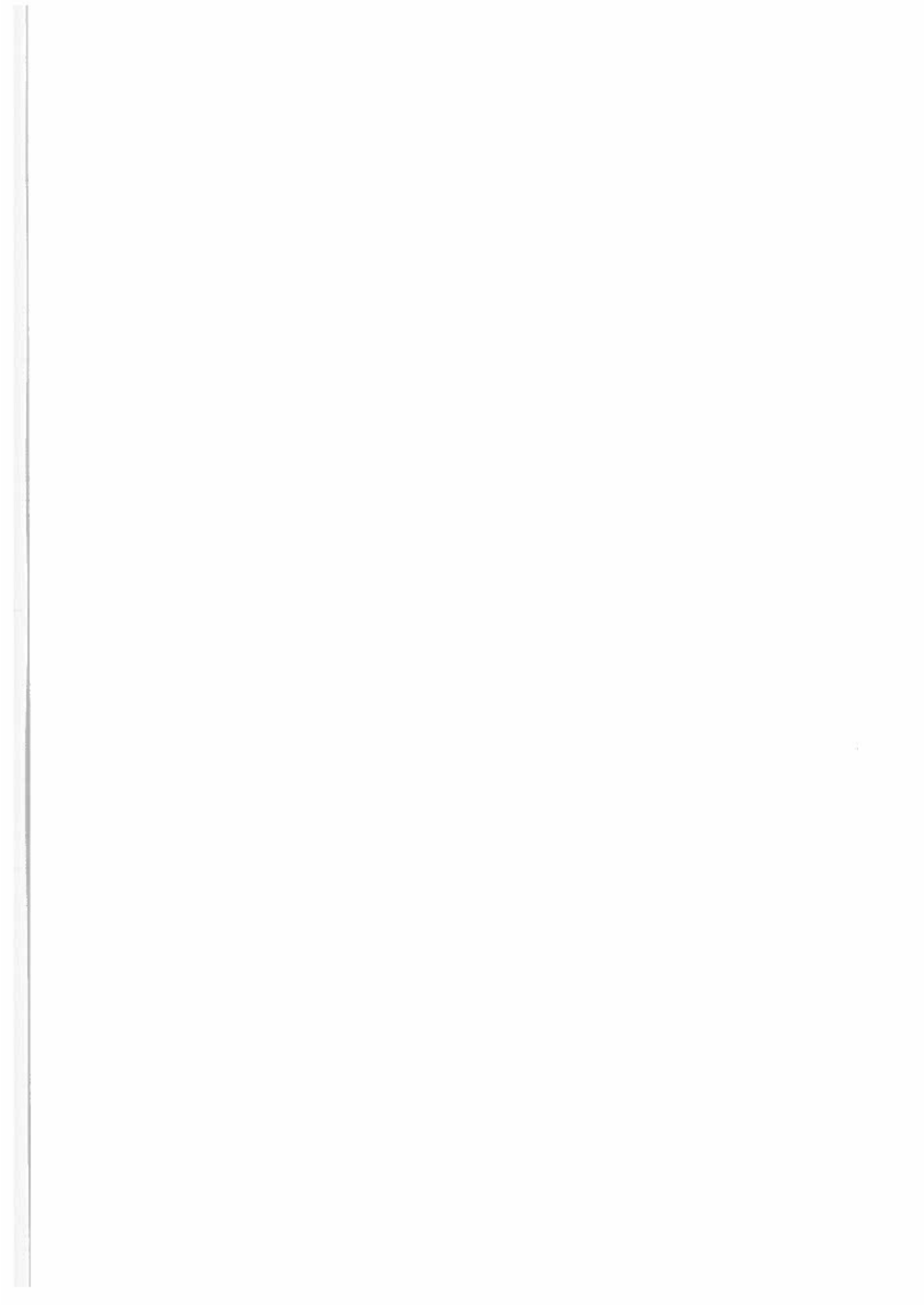
Vanskelighederne og de økonomiske omkostninger, der er forbundet med at indsamle disse informationer under de barske betingelser, der hersker i Grønland og for den sags skyld i mange andre områder er meget store. Dette arbejde er helt nødvendigt; men de informationer, der her indsamles, kan faktisk suppleres utroligt billigt med de mangeartede informationer, der dagligt indsamles i store mængder via de observationssatellitter, der cirkulerer omkring jorden i dag.

En meget væsentlig parameter for de anvendelser, vi normalt har af modellen, er fordelingen af sne dækket i afstrømningsområdet. Arealfordelingen af sne dækket kan f.eks. aflæses på NOAA-satellitbilleder: Disse oplysninger kan benyttes til betydelig nøjere analyse af, om vi beregner sneaflejringer og afsmeltningsforløbet rigtigt og dermed give os muligheden for at justere disse beregninger på et meget sikrere grundlag.

Vi har derfor indgået et samarbejde med Dansk Hydraulisk Institut om at udvikle et modelværktøj, der automatisk er i stand til at beregne arealfordelingen af snemasserne og overføre denne information til afstrømningsmodellen.

Foruden informationen om snedækket kan også informationen om vegetationen i området uddrages af satellitbilleder. Dette er ikke så relevant for afstrømningsberegningen i Grønland, men har betydning for afsmeltning- og fordampningsberegninger i andre områder.

Vi forventer, at dette værktøj vil kunne forbedre vores modelberegninger betydeligt og først og fremmest i snedækkede områder, hvor de meteorologiske observationer er sparsomme.



VANDKRAFT I GRØNLAND  
"ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER"  
AF  
CIV. ING. ARNE WINTHER ANDERSEN

GRØNLANDS TEKNISKE ORGANISATION  
DIREKTORATET FBA/FVK  
FEBRUAR 1983

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 311

LECTURE 1

MECHANICS

1.1 Kinematics

1.2 Dynamics

1.3 Energy

1.4 Momentum

1.5 Angular Momentum

1.6 Oscillations

1.7 Relativity

1.8 Quantum Mechanics

1.9 Statistical Mechanics

1.10 Thermodynamics

1.11 Electromagnetism

1.12 Optics

1.13 Modern Physics

## ANLÆGSORIENTEREDE FORUNDERSØGELSER FOR VANDKRAFTVÆRKER I GRØNLAND

### Generelt

Anlægsorienterede forundersøgelser for vandkraftværker begyndte i 1979 med indledende rekognosceringer og i årene siden intensiveret.

Idet der har været ydet tilskud bl.a. fra EF, har det været muligt at gennemføre undersøgelser på op til 5 lokaliteter pr. år med svingende detalleeringsgrad.

Bortset fra undersøgelserne ved Narsaq i 1981 har undersøgelserne været på et lavt niveau, det vil sige rekognoscering og orienterende undersøgelser vedrørende kritiske dele af projekterne.

### GENERELLE ARBEJDSBETINGELSER

Undersøgelserne foregår normalt i uvejsomt terræn 20-50 km fra nærmeste bymæssige bebyggelse, hvorfor både kommunikation, transport og indkvartering kræver helt specielle forholdsregler.

Kommunikationen sker normalt via kortbølgeradio til en centralt placeret station med adgang til telefon eller til en i den nærmeste by til formålet opstillet radiostation. I gunstige tilfælde kan man nå kyststationerne og dermed det offentlige net direkte.

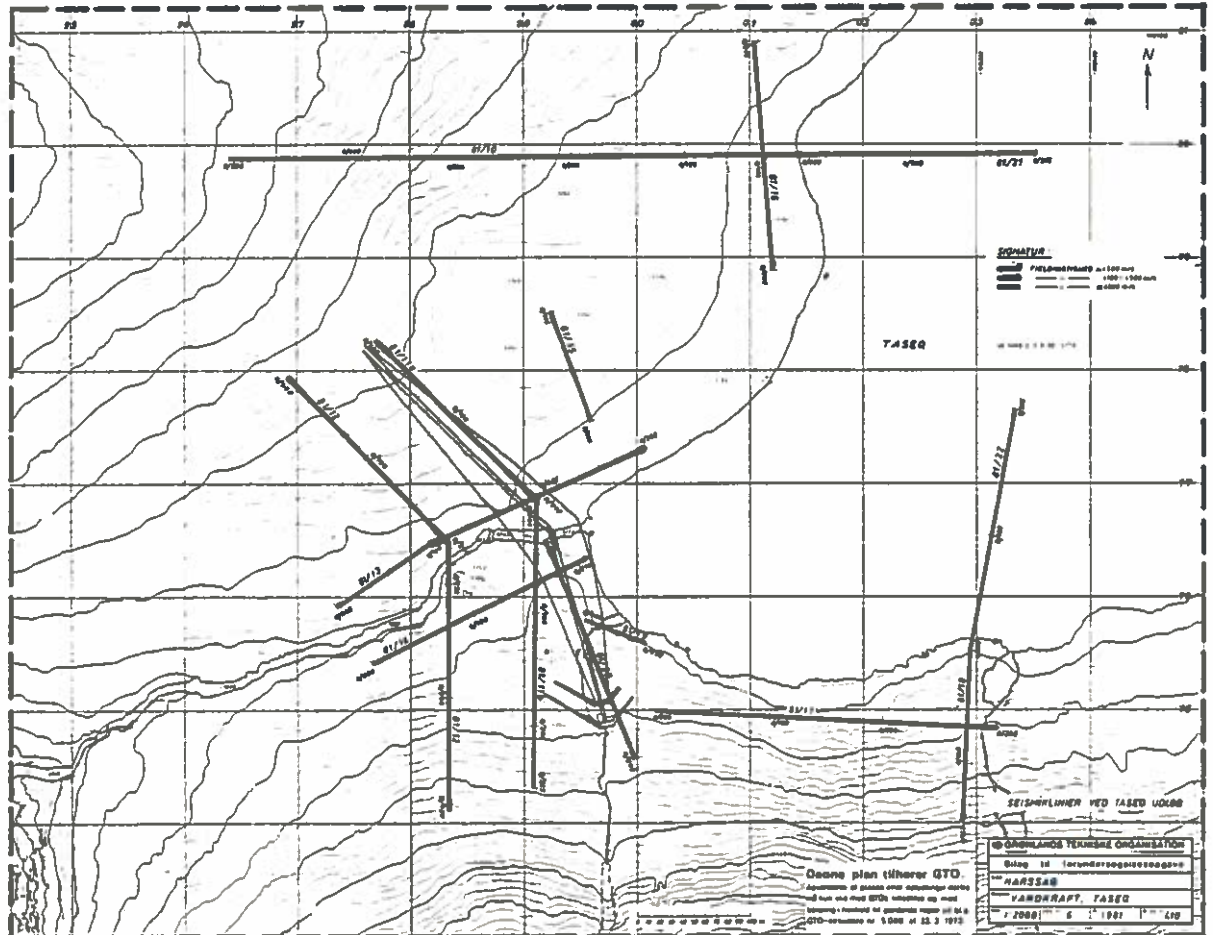
Da kyststationerne primært er orienteret mod havet kan det volde problemer at opnå kontakt.

Transporten mellem by og arbejdssted foregår normalt med båd og lejlighedsvis med charterhelikopter, når der iøvrigt skal forflyttet større godsmængder over land. Men da ventetiden for en helikoptercharter typisk er en uge, kan det være nødvendigt at transportere, selv tungere ting, lange afstande over land for at undgå at arbejdet går i stå.

Indkvarteringen sker i faste lejre i isolerede canadiske telte med fast bund eller hytter, mens mobile arbejds hold transporterer lette tunneltelte med sig. Ved den sidste type, er vejret kritisk, idet perioder med kulde og regn truer personalets helbred og materiellets tilstand.

b) 1:1.000 - 1:2.000, 1-2 m kurveækvidistance

Detailkort til brug for detailgeologiske undersøgelser samt indledende projektering for bygværker. Se figur 3.



Figur nr. 3 - KORTEKSEMPEL MED SEISMIKLINIER 1:2000 (Nedfotograferet)

c) 1:200 - 1:500, 1/2-1 m kurveækvidistance

Kort til brug for detailprojektering.

Kortlægningsmetode

Til fremstilling af kortgrundlag i de mindste målestoksforhold, benyttes fotogrammetrisk kortudtegning. Kort i de største målestoksforhold fremstilles ved delvist automatiserede terrestriske metoder.



### Landmålingsopgaver i felten

Landmålingsopgaverne omfatter udlægning af hovedpunktsnet, bestemmelse af paspunktsgrundlag for de fotogrammetrisk fremstillede kort samt detailkortlægning og profilering.

Hovedpunktsnet tilstræbes etableret, opmålt og beregnet, således at normale krav til tekniske hovedpunktsnet overholdes med en nøjagtighed på 5-10 cm således dels de fotogrammetriske nøjagtighedskrav og dels kravene for de fleste landmålingsopgaver i de senere faser i anlægsprocessen (dog ikke bygningsafsætning).

### Arbejdsmetoder og arbejdsforhold

Af de direkte faglige problematikker er fotoflyvning og kontrol af opgaverne de dominerende.

Af økonomiske årsager fotodækkes ofte langt større områder end der er paspunktsdækning for. I disse områder søges ofte siden etableret paspunktsgrundlag gennem opmåling af fotoidentificerbare terrængenstande med varierende kortkvaliteter til følge.

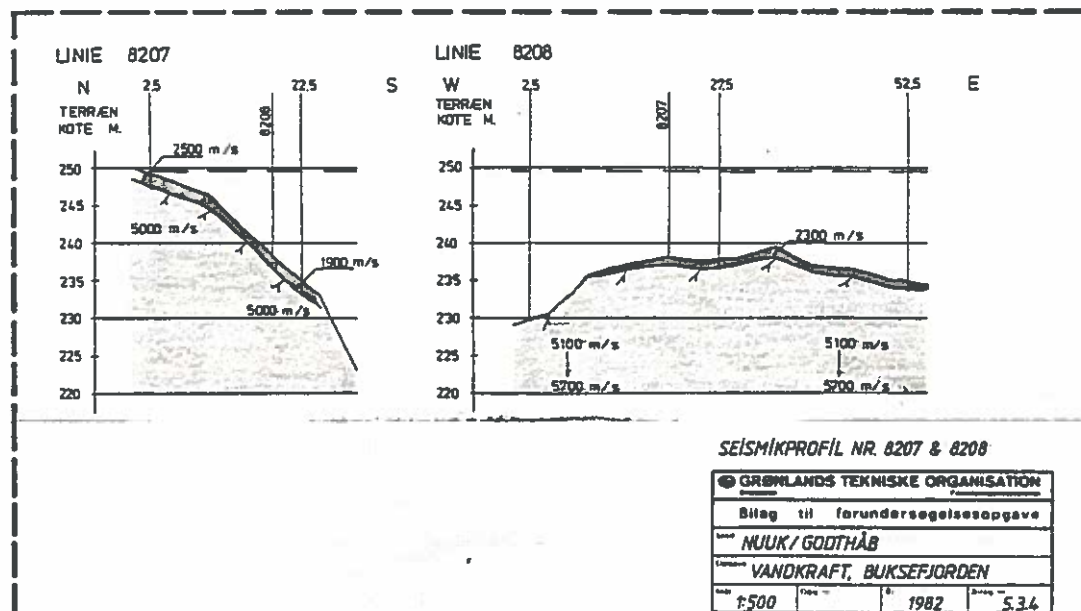
Den forholdsvise korte arbejdsæson og de store afstande besværliggør og forsinker feltkontrol af tvivlsspørgsmål og rettelser af direkte fejl, der konstateres efter forundersøgelse af afslutning.

Hertil kommer at forundersøgelserne foregår i uvejsomt og øde terræn, hvor instrumentering må bæres til fods over forholdsvis store afstande. En typisk arbejdsdag kan således bestå af 8-10 timers vandring og 2-4 timers målearbejde.

Ofte besværliggøres arbejdet af tågevejr, der kan strække sig over flere dage og herved forøger tidspresset.

Landmålingsarbejdet stiller, således som de øvrige forundersøgelsesdiscipliner, store fysiske og psykiske krav til personalet.

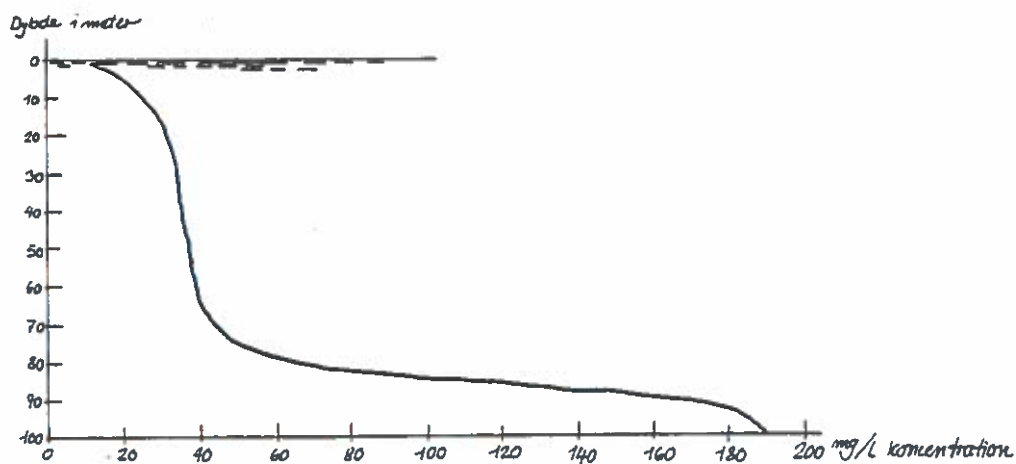
Ud fra kort og pejlinger udpeges nogle placeringsmuligheder, der anses for gunstige, og som detailundersøges med hydroseismik for at klarlægge sedimenttykkelser og fjeldets kvalitet. Se figur 7.



Figur nr. 7 - HYDROSEISMIKPROFILER

Normalt udføres et seismisk profil i indtagets længderetning og kom kontrol et profil på tværs. Derved opnås en detaljeret vurdering af de udpegede placeringsmuligheder, og denne indgår i den samlede bedømmelse af, hvor anlægget skal placeres.

Der foretages også sedimentundersøgelser i søer med gletschertilløb. Eksemplet her, se figur 8, viser koncentration over dybden i Nordbosø. Her bør man således ikke placere et indtag dybere end 50-60 m, hvis man vil begrænse turbineslidtage mest muligt.



Figur nr. 8 - SUSPENDERET MATERIALE, koncentration / dybde

## DÆMNINGSUNDERSØGELSER

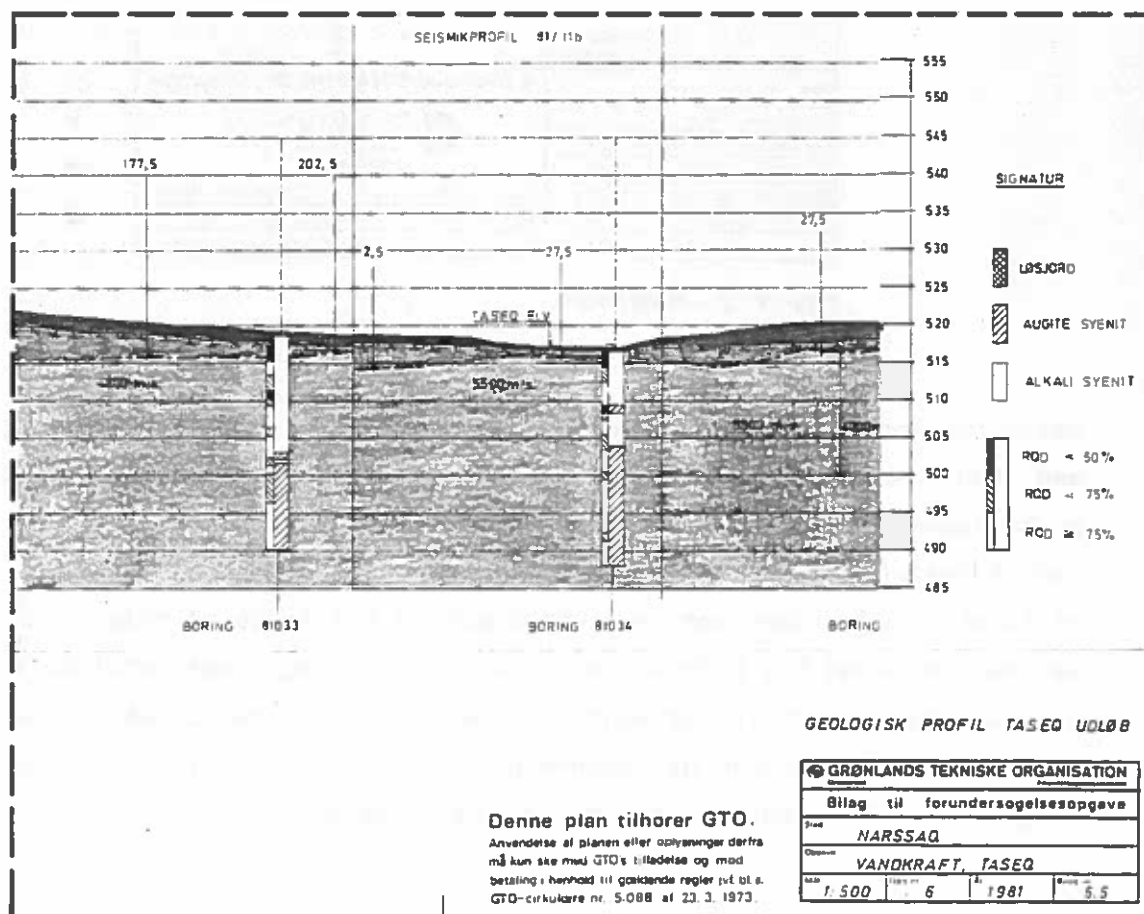
På et indledende stadium omfatter de en ingeniørgeologisk kortlægning af vandledende sprække- og knusningszoner efterfulgt af en seismisk profilering for at bestemme overjordstykkeiser og udbredelse af svaghedszonerne.

Hertil kommer en kortlægning af byggemateriale med prøvegravning og seismisk kortlægning.

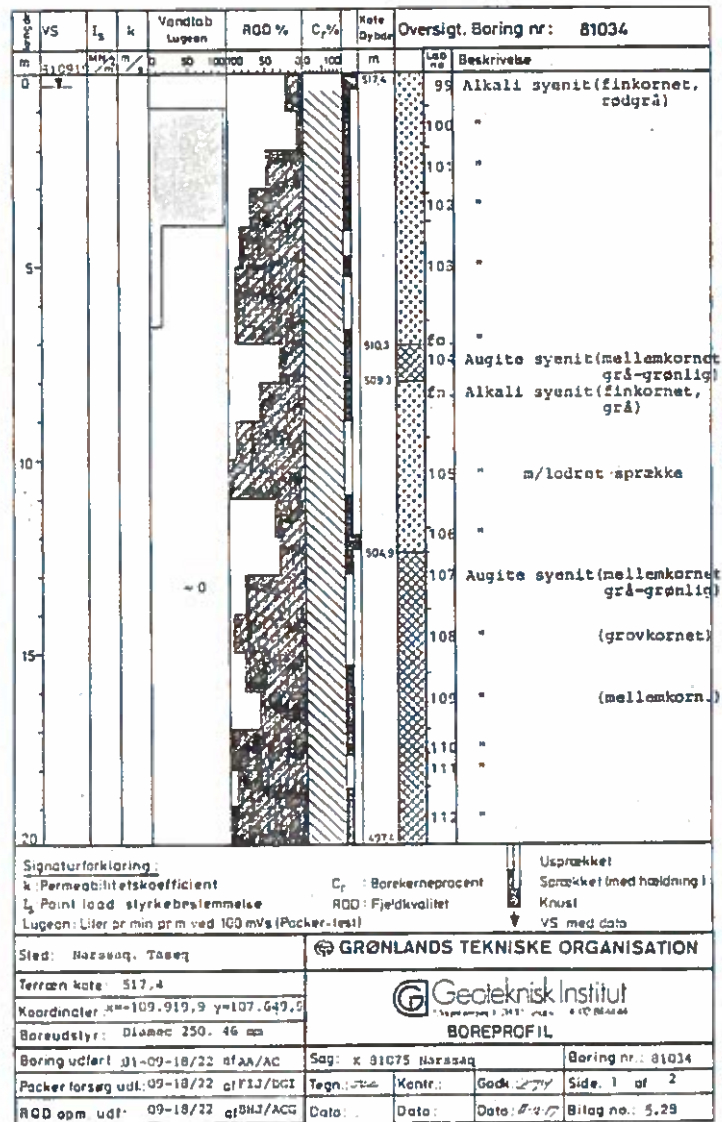
I Grønland er det normalt vanskeligt at finde stabile morænematerialer med tilstrækkeligt stort finstofindhold til bygning af tætningskerne.

Oftest er de løse aflejringer fluvioglaciale sand- og grusaflejringer eller marine siltaflejringer med stort naturligt vandindhold.

Det konkrete eksempel er hentet fra Taseq ved Narsaq. Se figur 3 side 9 og 10.



Figur nr. 9 - GEOLOGISK PROFIL VED DÆMNINGSSTED



Figur nr. 10 - BOREPROFIL

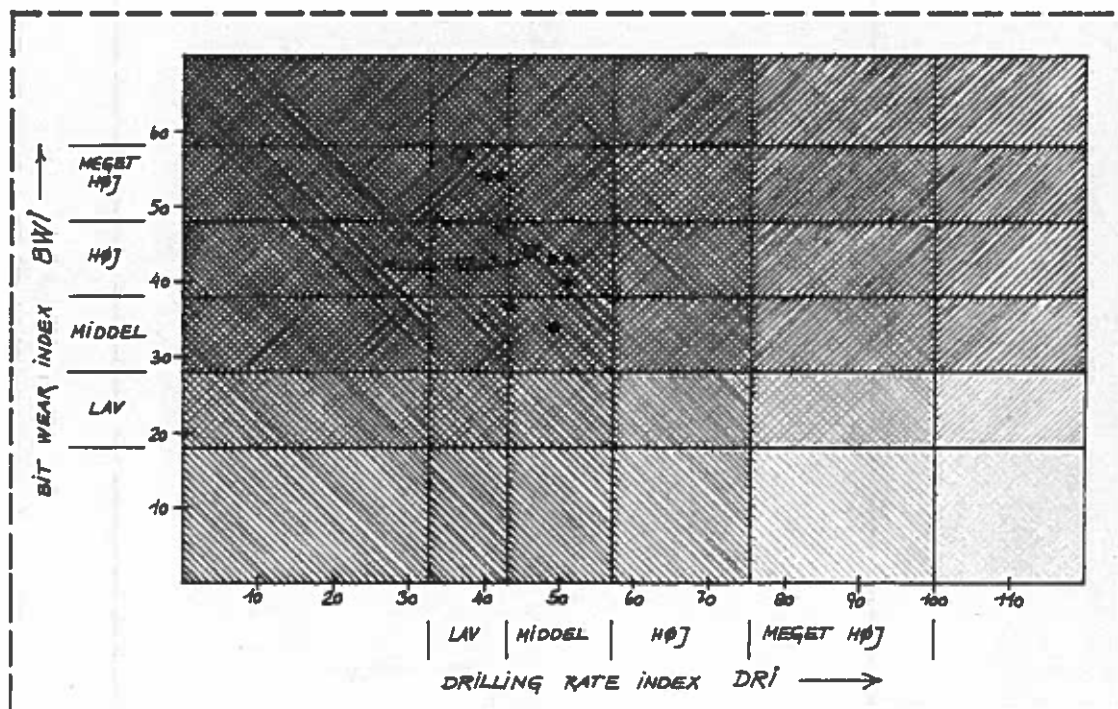
Næste fase omfatter direkte metoder til dokumentation, såsom kerneborring med vandtabsmåling. Vandtabsmålingerne har således specielt til hensigt, at bestemme behovet for injektionsarbejder i forbindelse med tætningskernen. Formålet med tætningen under dæmningen er dels at hindre udvaskning af finstof under dæmningen med dæmningsbrud til følge og dels at begrænse tæbet af vand fra reservoiret, idet selv et begrænset vandtab fra et højtliggende reservoir har økonomisk betydning. Et tætningskrav svarende til 1 lugeon (1 vandtab pr. boremeter pr. 100 mvs pr. min.) er ikke ualmindeligt under dæmninger af en nogenlunde højde.

## TUNNELER OG ØVRIGE FJELDRUM

Ud fra flybilleder og feltrekognoscering foretages en ingeniørgeologisk kortlægning af svaghedszoner og spændingstilstanden i fjeldet i de planlagte tunneltracéer.

Hvor tunneltracéet krydser stærkt nederoderede svaghedszoner, kan fjeldoverdækket for tunnelen eventuelt undersøges med seismik.

I nogle tilfælde kan fuldprofilboring være et realistisk alternativ til traditionel sprængningsteknik, og i disse tilfælde udtages prøver af fjeldet i tracéet. Prøverne underkastes standardiserede modelforsøg til belysning af fjeldets borbarhed og slid på boreværktøjet. På grundlag af forsøgsresultaterne vurderes, om det er økonomisk at drive tunnelen ved fuld profilboring. Se figur 11.



Figur nr. 11 - BORBARHEDSVURDERING

Hvis man ser på figuren vil fuldprofilboring være enklest ved prøveresultater placeret i nederste højre hjørne med minimalt slid på materiel og maksimal fremdrift.

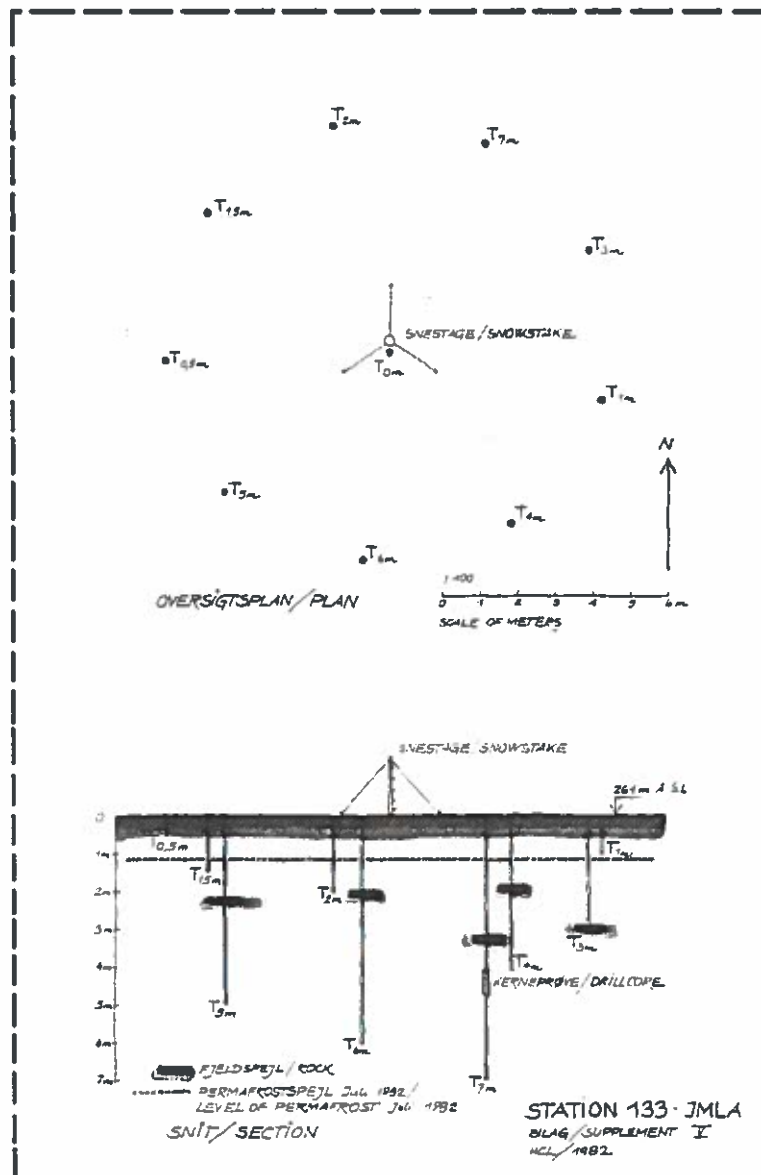
De viste resultater stammer fra Buksefjordsprojektet.

Det øverste mærke referer til et projekt i Sydafrika, hvor man har gennemført fuldprofilboring i endnu hårdere bjergarter end de her viste fra Buksefjord.

I tunneltracéet kan foretages boringer dels for at optage kerneprøver af fjeldet og dels for at måle permabiliteten ud fra vandtabsmålinger.

## Permafrost

Da man mange steder i Grønland må forudsætte permafrost, spredt eller sammenhængende, ser man i øjeblikket på muligheder at beskrive driftforhold for vandfyldte tunneler i permafrost. Man må da måle temperaturer i vand og fjeld og iøvrigt bestemme fjeldets varmeledningsparametre. Den på figur 12 viste station er fra Jameson Land på Østkysten. Her ses et måleoplæg for overflade - permafrostforhold.



Figur nr. 12 - OVERFLADE - JORDTEMPERATURMÅLING

AFLØB

Etablering af et vandkraftværk medfører væsentlige ændringer hydrografisk set i den fjord, som må modtage vandet om vinteren.

Tilførslen af ferskvand i store mængder i de øvre vandlag vil forøge islægningen og kan evt. forhindre udskiftningen af bundvand i fjorden.

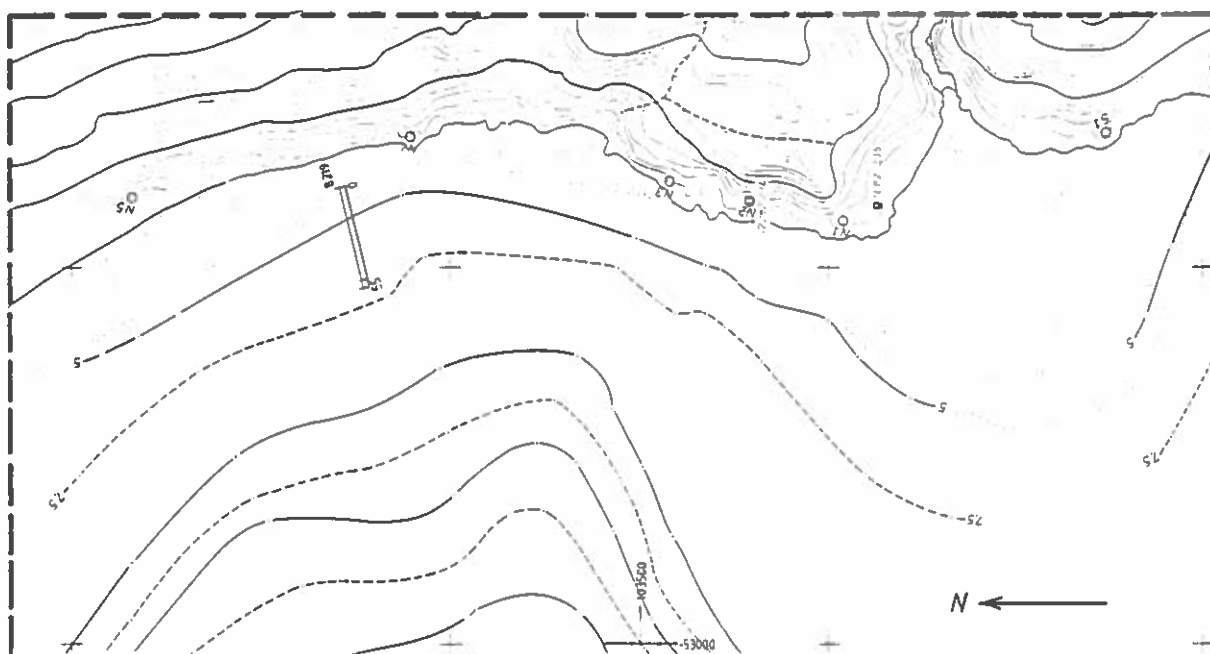
Resultatet kan blive, at overfladevandet året rundt vil have en lavere vægtfylde end bundvandet med den større saltholdighed. Dette kan medføre stagnante forhold i bunden af fjorden.

Et afløb bør derfor placeres så dybt som muligt, samtidigt med at opblandingen bør ske under så turbulente forhold som muligt.

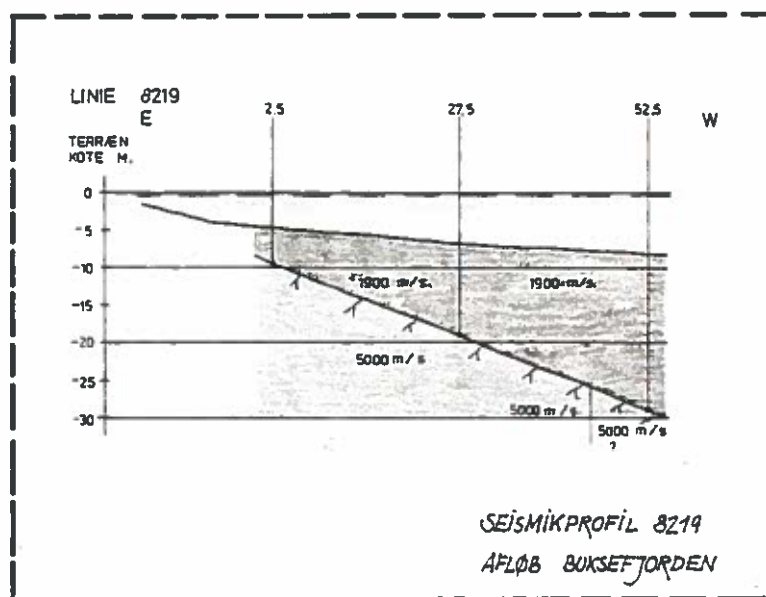
Undersøgelserne omfatter dels hydrografi i GF-regi samt pejling og hydroseismik for at prøve at bestemme den bedste placering ud fra såvel økologiske som tekniske synsvinkler.

Eksemplet på figur 13 og 14 er kendt fra Buksefjord og viser pejling og hydroseismik.

Som det ses på profilet er der ikke her mange muligheder for et dybt udløb med de kraftige deltaaflejringer som findes i fjorden, når man bevæger sig udover.



Figur nr. 13 - PEJLING OG SEISMIK FOR AFLØB



Figur nr. 14 - HYDROSEISMIKPROFIL

#### ADGANGSFORHOLD

Vandkraftværker må som hovedregel placeres på steder, hvor der ikke fra tidligere er nogen form for infrastruktur. Det vil sige, at der må planlægges havn eller landgangsfaciliteter fra grunden.

Mange steder forhindrer smeltevandsaflejringer i bunden af fjorden, at større skibe kan komme nær land og voldsom vandløbserosion i marine silt-aflejringer på land kan medføre vanskelige forhold for adgangsveje.

Hvor disse forhold ikke er dominerende, er det normalt med meget stejle fjeldsider, som må passeres med adgangsveje eller adgangstunneler.

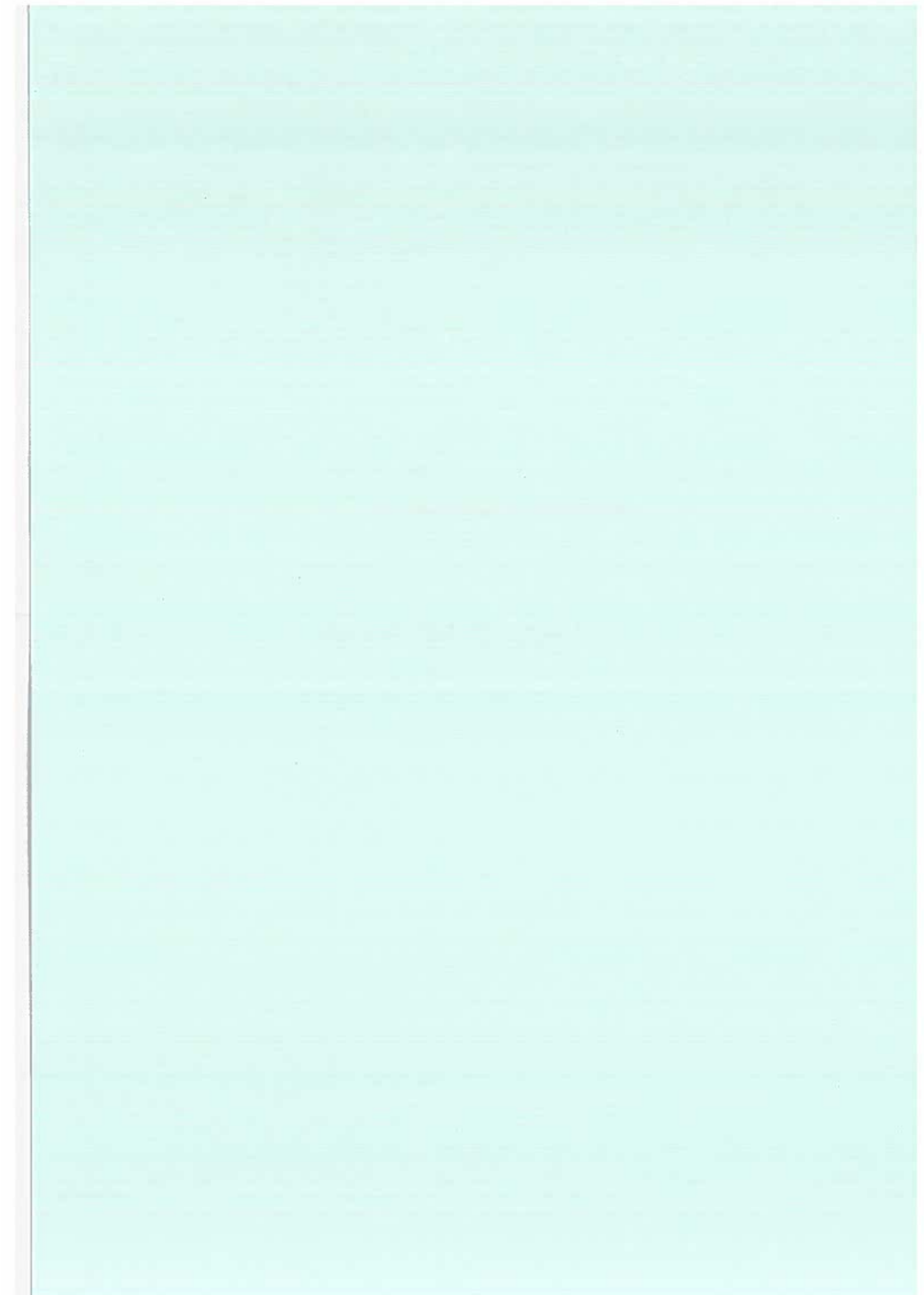
Generelt synes det vanskeligt at lokalisere velegnede grusforekomster til vejbygningsformål, idet løse aflejringer oftest er smeltevandsaflejringer med kraftig sortering (f.eks. sand med sten).



PROJEKTERING AF TUNNELER,  
DÆMNINGER & KRAFTVÆRKER

AF

CIV. ING. NIELS UHRE



## PROJEKTERING AF TUNNELER, DÆMNINGER OG KRAFTVÆRKER

### Indledning

Indtil nu er der udarbejdet forslag til ca. 15 vandkraftanlæg i Grønland. Ingen af disse forslag foreligger som detaljerede hovedprojekter. De er kun bearbejdet frem til indledende faser, som for nogens vedkommende svarer til projektskitser, og for andres vedkommende svarer til dispositionsforslag eller projektforslag.

De er næsten alle sammen højtryksanlæg, dvs. at der er tale om, at vandets faldhøjde er større end 50 m og for nogens vedkommende helt op til 700 m. De fleste anlæg er af størrelsesorden 5 - 20 MW, og disse anlæg er de bynære anlæg. For enkelte anlægs vedkommende er størrelsesorden 50 - 400 MW. Der er her tale om de store anlæg, som i givet fald skal baseres på energiintensive industrianlæg.

### Anlæggets bestanddele og udformning

Det er vel sjældent, at udformningen af et vandkraftanlæg er givet på forhånd, i hvert fald på Grønland. I langt de fleste tilfælde vil der være flere forskellige måder at arrangere vandkraftanlægget på. Og den løsning, der bliver valgt, er vel som oftest den, der er økonomisk mest fordelagtig. Det er den løsning, der giver et optimum med hensyn til anlægsudgifter, vedligeholdelse, effekt, produktionspris og afsætningsmuligheder.

Anlægget består af 3 hoveddele: et vandreservoir, vandvejene og kraftstationen. Hertil kommer infrastrukturen, der kan omfatte havne, arbejdsveje, permanente veje, lagerfaciliteter, værksteder, kantiner, barakker og kontorer. I nogle tilfælde er der også brug for landingspladser for helikopter.

Det eneste, der er nogenlunde givet i forvejen, er reservoirets beliggenhed og elforbrugerens beliggenhed.

Som eksempel på en situation, hvor der er to forskellige muligheder for opbygningen af vandkraftanlægget, kan nævnes Taseq ved Narssaq (fig. 1). Søen, som danner reservoir, ligger på et højtliggende plateau ca. 500 m over havet. Den får sit vand dels fra det omliggende terræn

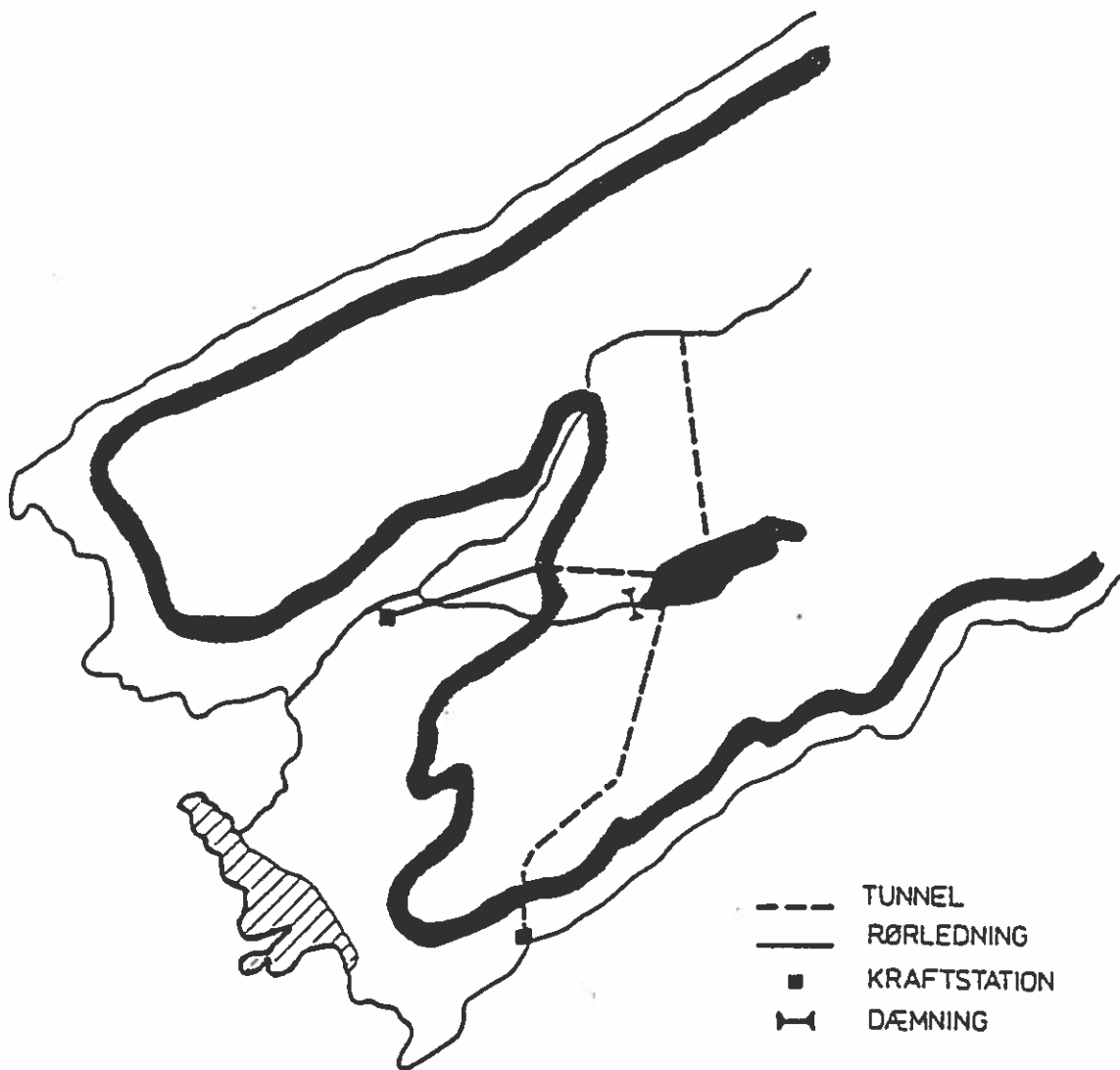


FIG. 1

i form af nedbør som regn og sne, og dels fra en nærliggende elv, hvor der udføres en lille dæmning, således at vandet via en tunnel kan føres over til søen.

Ved den ene udformning er kraftstationen placeret nede i selve elvdalen. Vandet føres fra reservoiret gennem en tunnel på det første stykke, hvor fjeldet stadig ligger i højt niveau. Derefter er der regnet med en rørledning, som på den første strækning ligger over terræn og på den sidste strækning ned mod kraftstationen er nedgravet i jorden. Rørledningen får således en betydelig længde med jævnt aftagende fald. Ved den anden udformning er kraftstationen placeret ved fjeldets fod, udsprængt ind i fjeldet. Vandet føres fra reservoiret stort set vandret på den første lange strækning i en tunnel for derefter til sidst at dykke ned gennem et lodret trykrør ned til kraftstationen, hvorfra der igen er afløb ud til havet.

#### Vandreservoir og dæmning

I nærværende tilfælde er der tale om en sø, hvor man ved den ene ende har mulighed for at bygge en dæmning og derved have vandstanden i søen. Reservoiret skal have en størrelse, så det på passende måde kan udjævne sæson- og årsvariationerne i tilløbet til søen og derved opnå mulighed for jævn aftapning svarende til det ønskede forbrugsmønster af elektricitet.

Reservoirets udnyttelige volumen afhænger af, hvor dybt man lægger indtaget, og af, hvor høj man gør dæmningen. Udgifterne til dæmningen er ofte en væsentlig del af anlægsudgifterne til et vandkraftanlæg, og udgiften vokser jo rundt regnet med kvadratet på højden.

På Grønland er der bygget en del dæmninger til vandforsyning til byerne. Der er endvidere lavet forslag til en del dæmninger til vandkraft, og der er også udført en generel undersøgelse over dæmninger til Grønland. De foreliggende erfaringer og de undersøgelser, der er gjort, tyder på, at vi i dag må påregne, at der er 3-4 forskellige praktiske måder at udføre dæmninger på i Grønland.

Fig. 2 viser en dæmning udført af sprængstensfyld og med skrå betonplade på opstrømsiden. Man kan næsten altid regne med, at det er forholdsvis let at skaffe sprængstensfyld på Grønland, og ved vandkraftanlæg har man ofte sprængstensfyld direkte fra tunnelbrydningen. Der må påregnes

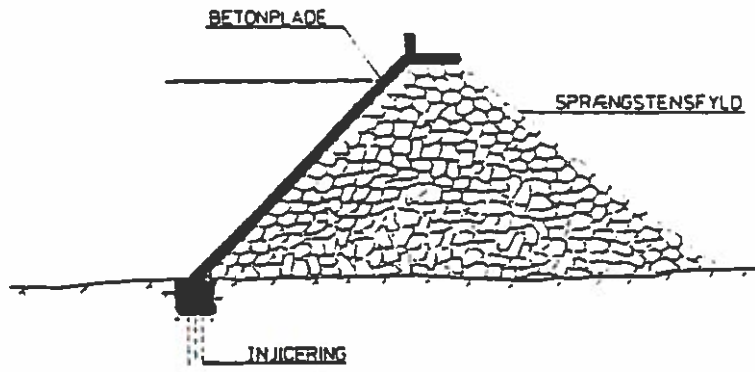


FIG. 2

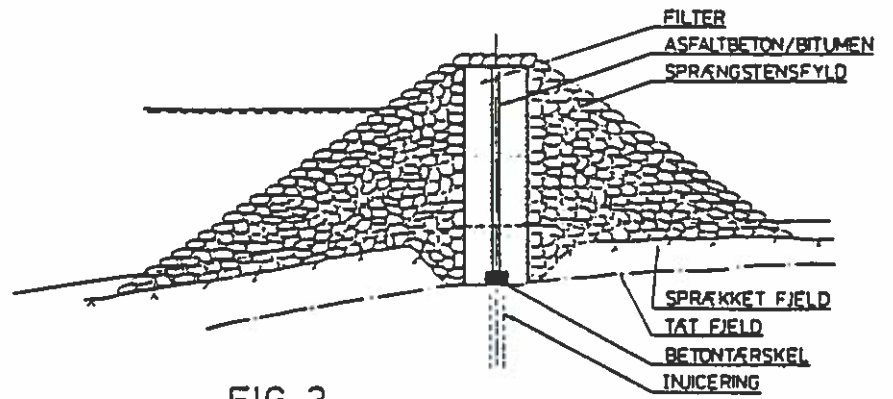


FIG. 3

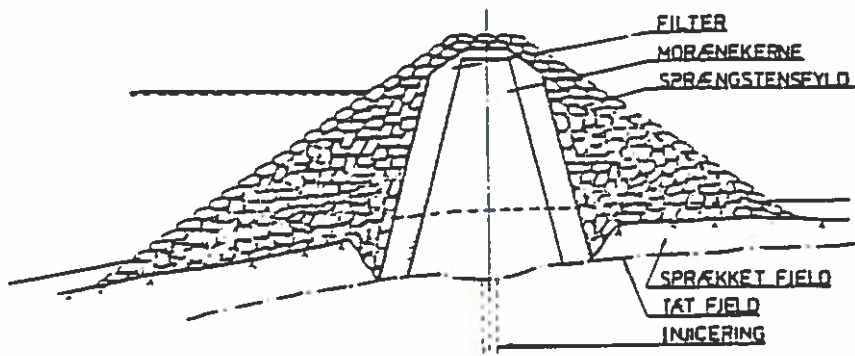


FIG. 4

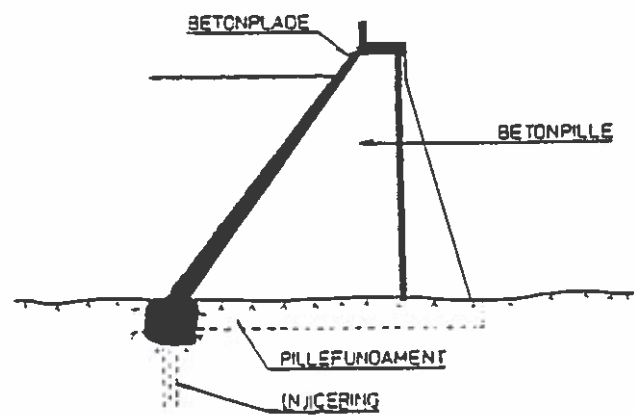


FIG. 5

en solid indsats med vanding og tromling af hvert udlagt lag af sprængstensfyld for at reducere sætninger og vandrette bevægelser i fylden. Tætningsgrøft, injicering af mørtel i fjeldspalter og den skrå betonplade er forholdsvis enkle operationer at udføre. Hvis der senere sker skader på betonplade, er det forholdsvis simpelt at udføre reparationer på denne.

Fig. 3 er en dæmning, der ligeledes er udført af sprængstensfyld, men hvor man har udført en tætningskerne i midten af sprængstensfylden af asfaltbeton. I Norge har man i de senere år udført dæmninger, hvor man i stedet for en kerne af asfaltbeton har benyttet en kerne, der består af en bestemt stenfraktion, hvor hulrummene udfyldes med varm bitumen.

I fig. 4 er tætningskernen udført af morænejord eller silt. Materialerne skal findes i passende omfang i umiddelbar nærhed af dæmningsstedet, og de må ikke være for fugtige eller frosne.

Fig. 5 viser en dæmning af beton, der er udformet som en pilledæmning. I forbindelse med dette billede kan nævnes et af de problemer, som man kan støde på i Grønland. En Ambursen-dæmning som den her viste blev bygget tværs over et elvleje, således at man fik opdæmnet et stort volumen bag ved dæmningen. Med det opmagasinerede vand blev der akkumuleret en betydelig varmemængde i reservoiret, og da hele området tidligere havde været frosset, idet der var tale om en egn med permafrost, bevirkede den akkumulerede varme, at permafrosten langsomt tøede op, og frostgrænsen blev sænket mange meter ned i forhold til tidligere. En del fjeldspalter neden under dæmningen, som tidligere havde været fyldt med jord i frossen tilstand, blev herved tøet op, og der kunne langsomt finde en gennemsivning af vand sted. Der blev foretaget en injicering af de opståede utatheder i fjeldet, men man måtte naturligvis være forberedt på, at der i de kommende år kunne ske yderligere optøning i dybden og dermed opstå nye utatheder.

Som et kuriosum kan nævnes, at man også har studeret mulighederne for at udføre jorddæmninger af frossen jord. Dæmninger af denne type er udført i Rusland i egne, hvor der er tale om meget stærk permafrost, dvs. årsmiddeltemperaturer under  $+5^{\circ}$  C. Dæmningen opføres af passende fugtig jord, som udlægges og får lov til at fryse, inden man udlægger de følgende lag ovenpå.

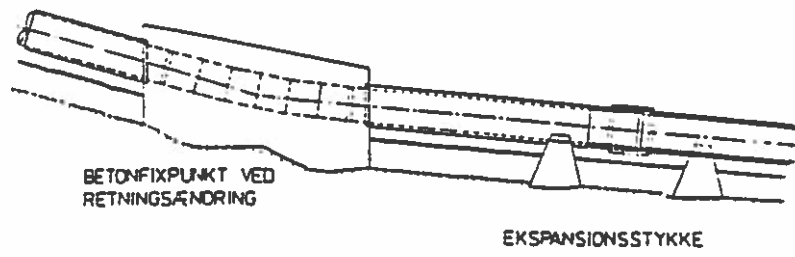


FIG. 10

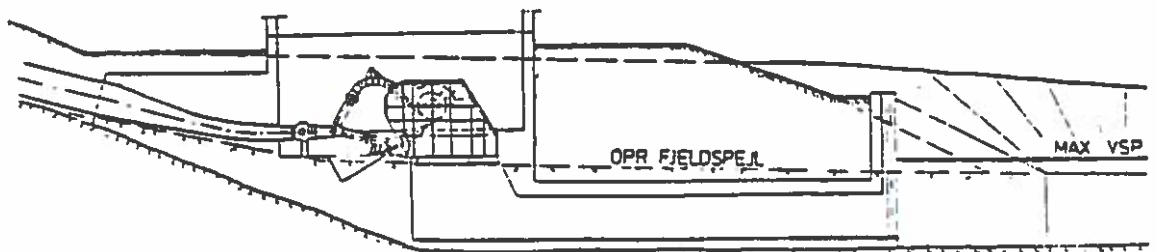


FIG. 11



### Rørledninger og overjordisk kraftværk

Fig. 6 viser et anlæg, hvor en væsentlig del af vandvejen består af rørledninger. Anlægget består af et indtag, en vandret tunnelstrækning, en rørledning, som starter et stykke inde i fjeldet og derefter bevæger sig ned ad fjeldsiden over jorden. På den nederste, mere vandrette strækning er rørledningen nedgravet, og til slut ender rørledningen i selve kraftværket.

Fig. 7 viser indtaget, der er udført som en søbundsprængning. Tunnelen er udsprængt fra højre side, og på det tidspunkt, hvor man nærmer sig søbunden, udformer man en skålformet fordybning i fjeldet, hvorefter man borer op imod søbunden. Den sidste udsprængning tilrettelægges således, at det udsprængte fjeld falder ned i fordybningen, således at der bliver fri adgang for vandet. Fig. 8 viser lukkesystemet, der er placeret lidt inde i fjeldet og består af et cylinderlukke, en anordning med bjælkelukke og et udluftningsrør ind til selve tunnelgangen.

Fig. 9 viser rørtilslutningen inde i fjeldet. Røret støbes fast inde i tunnelen så langt inde, at man er sikker på, at fjeldtykkelsen over tunnelen er tilstrækkelig til at modstå vandtrykket. Hvor røret kommer ud af fjeldet og bøjer ned ad fjeldsiden, er der arrangeret en kraftig faststøbning af rørledningen.

På fig. 10 er vist, hvorledes rørledningen er forankret ned over fjeldsiden. Den er dels faststøbt i nogle af bæringerne. På andre bæringer er der arrangeret glidelejer, og med passende mellemrum er der arrangeret ekspansionsanordninger i rørledningen. Rørledningen er isoleret mod kulde.

Fig. 11 viser turbinekammeret i selve kraftværket, hvor rørledningen føres ind i betonkonstruktionen, der er solidt forankret ned til fjeldet. Der er vist en Pelton-turbine med vandret liggende aksel. Der er regnet med, at trykrøret på den sidste strækning deler sig i to, svarende til to turbiner og to generatorer, således at der er mulighed for at overhale en af turbinerne, medens den anden fortsat kan køre videre. I overbygningen over turbinerne og generatorerne er der kraner, som anvendes dels ved montage og dels ved overhaling. I sidebygningen er der plads til transformer, nødgenerator, tavleanlæg, værksted, kontor og opholdsrum.

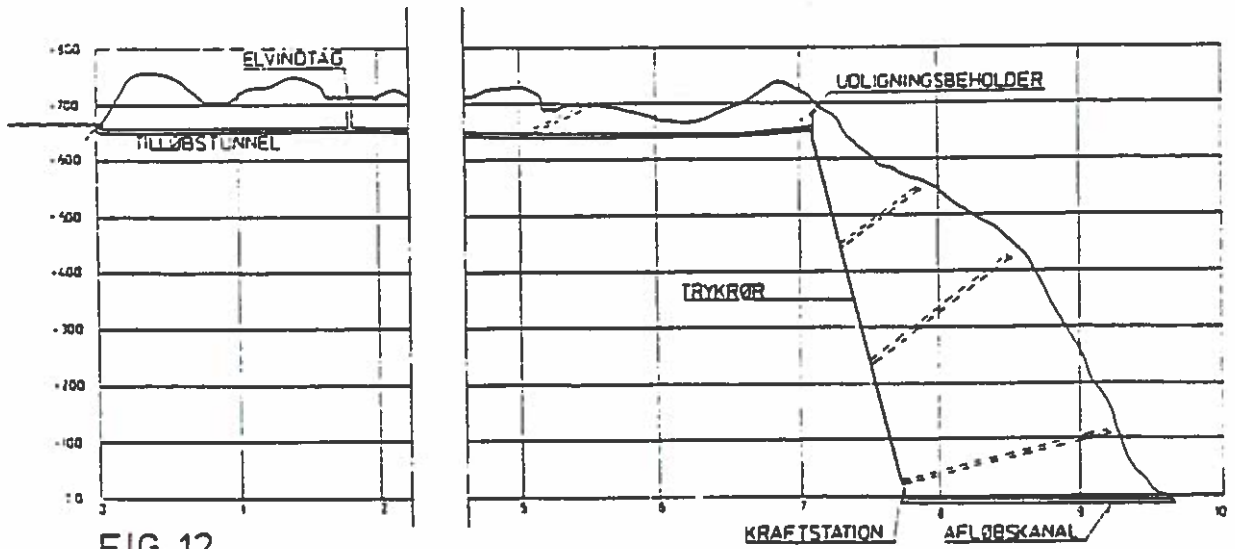


FIG. 12

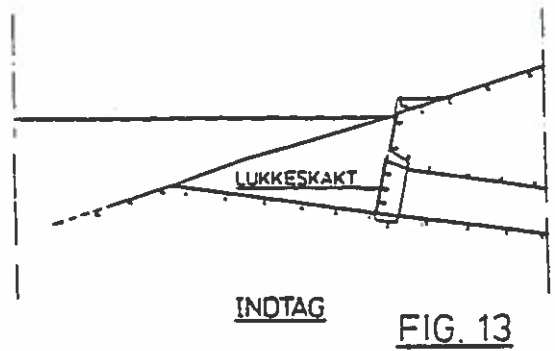


FIG. 13

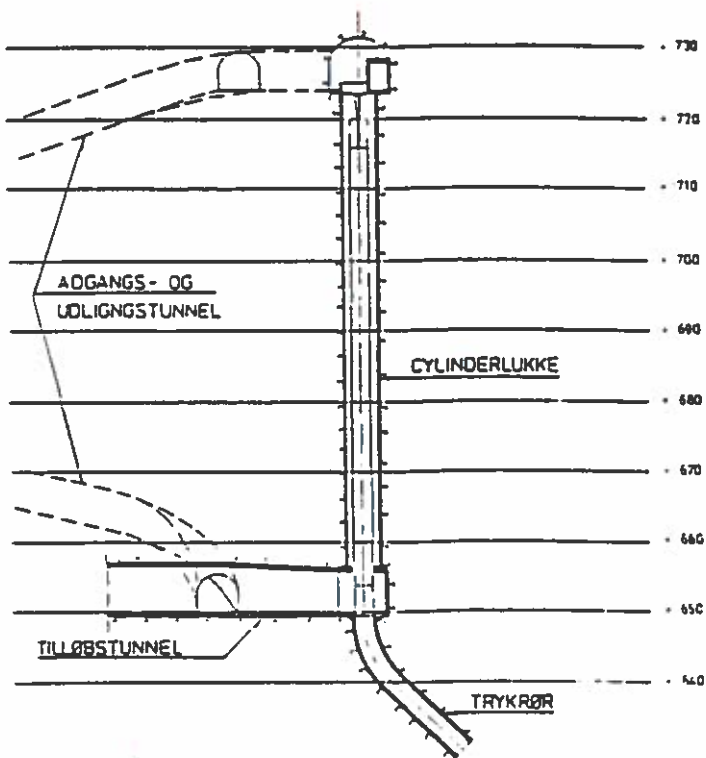


FIG. 14

### Tunneler og kraftværk udsprængt i fjeld

Fig. 12 er et anlæg, som er totalt indbygget i fjeld. Hvor muligheden foreligger, vil man ofte søge at udforme sit anlæg på denne måde, da man under opførelsen kan arbejde hele året rundt uafhængig af sne og frost, blot man har sørget for at skaffe materialerne frem i den gunstige sommerperiode.

Fig. 13 viser indtaget ved søen med rist og lukkeanordning. For at undgå isdannelse bedst muligt ved risten placerer man normalt indtaget med risten et lille stykke under vandoverfladen, således at vinterisen lægger til hen oven over indtaget.

Anlægget har et elvindtag, som er etableret i en elv, som løber oven på fjeldet tværs hen over tunnelen nede i fjeldet. Der er her regnet med at bygge en mindre dæmning tværs over elvlejet for at stemme vandet op, således at elvvandet nogenlunde falder til ro og afsætter en del af de medførte sedimenter, inden vandet flyder ind gennem ristene og ned gennem indløbet. Det er således, at mange af elvene i Grønland - det gælder især dem, som modtager vand fra indlandsisen - medfører en del suspenderet materiale i vandet. Selv om det kun drejer sig om f.eks. et par hundrede mg pr. liter, kan dette betyde, at der i løbet af et år føres ca. 50.000 tons materiale med af vandet og ned igennem turbinerne. Man må være opmærksom på dette forhold, da det suspenderede materiale kan være årsag til stærkt slid på turbinens roterende dele.

Fig. 14 viser et cylinderlukke, som her er placeret i overgangen mellem den vandrette tunnelstrækning og den skrå trykrørsledning. Det ses også, at der her er regnet med, at adgangstunnelen ned til bunden af cylinderlukket i givet fald kan fungere som udligningsbeholder, når lukkeanordningen træder i funktion.

Den vandrette tunnelstrækning, som skimtes til venstre på billedet, påregnes udført efter udsprængningsmetoden. Der bores med trykluftdrevne maskiner eller med hydraulisk drevne boreaggregater. Det udsprængte materiale fjernes med specielle lastmaskiner, som er tilpasset tunnelens hældning og tværsnitsareal. Da der ofte er tale om ret lange tunnelstrækninger, må der påregnes etableret adgangstunneler undervejs, således at der er mulighed for at borttransportere fjeldmaterialet på disse steder. Tunneler, der udføres på denne måde, kan af praktiske

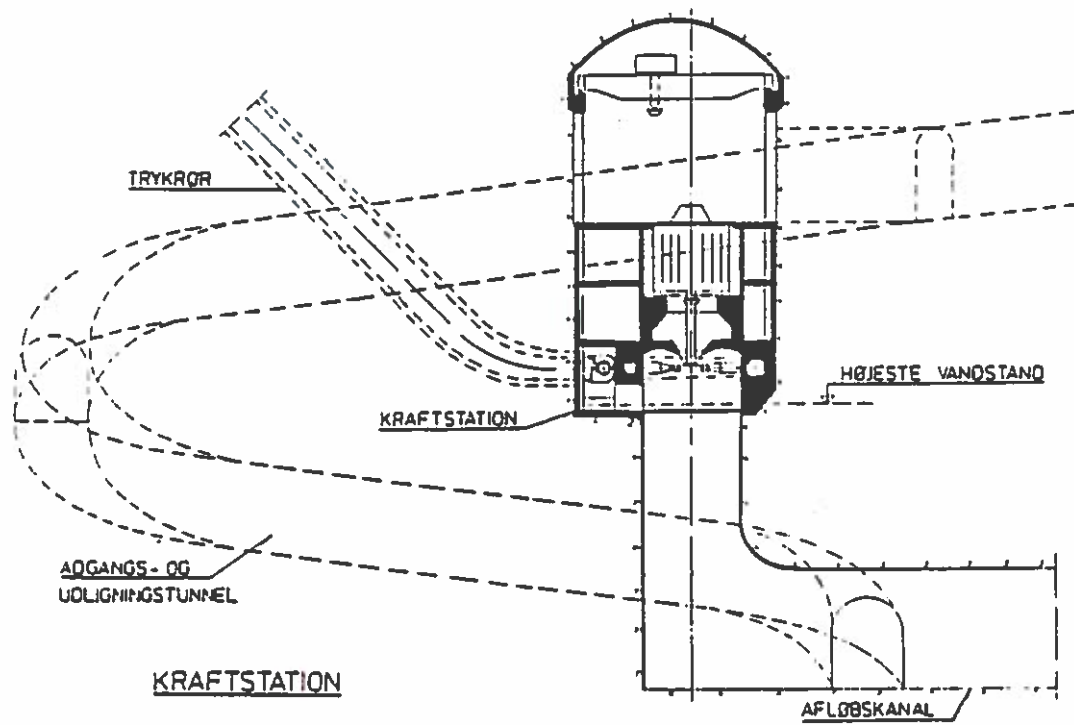


FIG. 15

grunde ikke have et tværsnit, der er mindre end ca. 6 m<sup>2</sup>. Man regner ofte med en fremdrift i tunnelerne af størrelsesorden 5-10 m pr. døgn.

Hvor tunnelen passerer forkastningszoner, knusningszoner eller andre svage zoner i fjeldet, kan der ske nedfald af fjeld, og der må da enten foretages en boltesikring af tunnelens loft, eller i andre tilfælde må der foretages udstøbninger langs loft og sider. Hvor fjeldet er utæt og revnet, og hvor der er tale om forholdsvis ringe vandføring, f.eks. af størrelsesorden 1 m<sup>3</sup> pr. sek., kan der blive tale om et mærkbart vandtab, således at der må påregnes en tætning af fjeldet. I områder med udpræget permafrost kan det tænkes, at fjeldets indvendige sider har negative temperaturer. Når tunnelen fyldes med vand, vil der sætte sig is på tunnelens sider, som bygges op til en bestemt tykkelse. Der ligger en fare i, at isen kan rive sig løs fra væggenes sider under pludselige stop, hvor der kommer hammervirkning i tunnelen. Isflagerne kan senere danne forstoppelser i tunnelen eller føres med vandet ned i turbinerne og skade disse. Problemet løses sandsynligvis bedst ved, at man under udsprængningen forvarmer fjeldet med opvarmet ventilationsluft. Omvendt kan der også være risiko for, at fjeldet er frossent, og at det i tidens løb tør langsomt op, således at svage zoner, der har været bundet af frossent materiale, pludselig styrter ned.

Den lodrette tryktunnel, som ses til højre i billedet, påregnes udført nedefra på en platform, som ved hjælp af en ledeskinne fastgjort til fjeldvæggen kan køres op til tunnelloftet for efter udført boring og ladning at køre ned i sikkerhed i bunden af skakten, når sprængningen udføres. Tryktunnelen er som regel ved store dybder foret med stålrør indvendig og forsynet med udstøbning mellem stålrør og fjeld. På den nederste del af trykrøret er stålrøret ofte dimensioneret således, at det kan tage det fulde vandtryk.

Fig. 15 viser et eksempel på en større kraftstation, der er indsprængt i fjeldet, og hvor der er en temmelig lang afløbstunnel sprængt ud til havet. Afløbstunnelen ligger under havets overflade, således at udløbet undgår tilfrysning, og kold luft ikke kommer ind til turbinerne. I det pågældende tilfælde har dette betydet, at afløbstunnelen må forsynes med en form for udligningsbeholder inde ved kraftstationen, og denne er her skaffet til veje ved at udnytte adgangstunnelen fra udførelsesperioden.

I forbindelse med omtalen af udførelsen af tunneler bør nævnes, at man i de seneste 20 år mange steder i udlandet er gået over til at anvende fuldprofilboring af tunneler. Der er her tale om udboring af fjeldet uden anvendelse af sprængstoffer. Fuldprofilboring kræver store investeringer til boreaggregat og til øvrig udrustning. Fremgangsmåden har vist sig at være konkurrencedygtig for tunneler med små eller middelstore tværsnit i fjeldarter, som ikke er alt for hårde. I hårde bjergarter således som de grønlandske må man regne med, at levetiden for selve boreaggregatet reduceres til måske 15-20 km tunnel. Fremdriften ved fuldprofilboring er større end ved udsprængningsmetoden. Der kan formentlig regnes med op mod 20-30 m i døgnet. Man opnår en glattere overflade af fjeldvæggen, hvilket giver mindre modstand ved vandets gennemstrømning, og samtidig kan der forventes mindre nedfald af fjeld, således at udgifterne til forstærkning af tunnelerne normalt bliver mindre.

I begge eksempler er der vist Pelton-turbiner. I andre tilfælde har det været mere oplagt at foreslå anvendelse af Francis-turbiner. Generelt kan man måske sige, at Pelton-turbiner fungerer bedst ved store faldhøjder, f.eks. faldhøjder på 500 m eller mere og ved forholdsvis små vandføringer. Omvendt gælder så, at Francisturbinen er mere økonomisk ved faldhøjder under 500 m, og især hvis vandføringen er stor. Pelton-turbinen skal have frit vandspejl under sig, hvorved der som oftest tabes nogle få meter i faldhøjde. Francis-turbinen placeres normalt også over vandspejlets overflade, men forsynes til gengæld med sugerør, således at den totale faldhøjde udnyttes fuldtud.

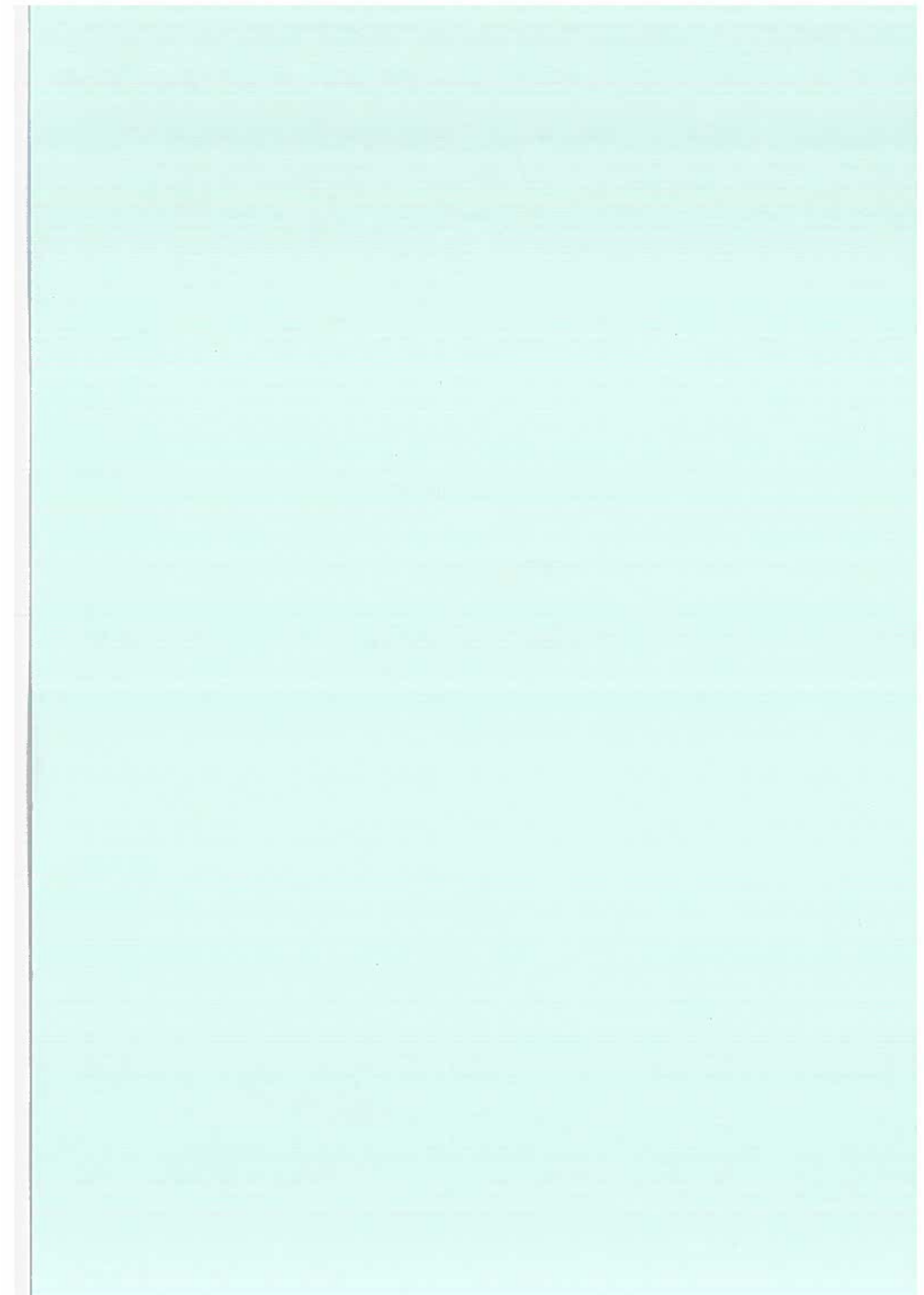
TRANSMISSIONSLEDNINGER

OG

BYFORSYNING

AF

CIV.ING. FINN VILHOLM





Transmissionsledninger og byforsyning.

Foredrag i DIF d. 17.2.1983.

Indledning.

De transmissionsanlæg som skal bygges for at føre energien fra vandkraftanlæg til by, vil variere i længde mellem nogle få op til ca. 80 km.

(Billed 1).

Teknikken som skal anvendes ved konstruktion af linierne er kendt, og ved at se ud til andre lande med arktiske klimaforhold, kan vi også hente inspiration til hvordan transmissionsanlæg i Grønland skal bygges.

(Billed 2).

Der er ihvertfald ikke tvivl længere om, at det både driftssikkerhedsmæssigt og anlægsøkonomisk er fordelagtigt, at vælge traditionelle luftledningsanlæg, fremfor kabelforbindelser.

Dimensioneringsgrundlag.

De dimensioneringskrav, det danske stærkstrømsreglement angiver for højspændingslinien i Danmark, kan kun til en vis grad benyttes for Grønland.

De vil specielt være is/vindlaster samt temp.intervaller, der skal korrigeres for.

GTO nedsatte derfor i slutningen af 1981 en normgruppe, bestående af danske og norske eksperter indenfor de berørte områder, til at udarbejde et sæt dim.regler, som derved kunne supplere SR. Første udgave vil foreligge i løbet af foråret 83.

(Billed 3).

Til at underbygge/korrigere de antagelser, der nødvendigvis vil forekomme, har GTO opsat 4 is/vindlaststationer, som denne ved Taseq i Narssaq, som efterhånden vil kunne give en mere konkret viden om vind og vejrs påvirkning i Grønland.

(Billed 4).

Klima påvirkningerne langs en planlagt tracée, kan ofte variere stærkt. Der vil derfor oftest være behov for opstilling af mere end én målestation langs tracéen. Så må man opsætte nogle billigere, som f.eks. den på billedet.

(Billed 3).

som er opsat i Telemarken i Norge. En billig, men noget primitivere type end dem GTO har.

### Fjordkrydsninger.

Grønlands vestkyst er fyldt med større og mindre fjorde, som hovedsagelig går i retning øst-vest.

Det kan derfor ikke undgås, at nogle af linietracéerne skal krydse disse.

(Billed 4).

Principielt kan de krydses på 2 måder:

#### 1) Søkabel.

Da denne løsning er kostbar, benyttes den kun, hvis det andet alternativ ikke er muligt.

P.g.a. isfjelde skal der laves specielle forenstillinger ved landtagningen. Store fjorddybder kan ligeledes skabe vanskeligheder ved udlægningen og evt. reparation af kablet.

#### 2) Luftspænd.

De anlægstekniske problemer kan ligeledes være store for luftspænd, samtidig med at faren for overisning af ledere skal vurderes.

Disse billeder er fra Ameralik fjorden syd for Godthåb.

Fra et vandkraftværk ved Buksefjorden skal transmissionslinien på sin vej til GHB krydse Ameralik.

På trods af en bredde på ca. 5,2 km er det teoretisk muligt at føre et luftspænd over.

Der er fra naturens hånd skabt et naturligt krydsningspunkt fra en fjeldtop (Innugsugssuaq), 1013 m o.h. På den anden side er der egnede mastplaceringer i kote 450 m.o.h.

De spænd (et for hver fase), der hermed fremkommer, vil, med en frihøjde på 60 m o.h., have en horisontal montagespænding på 33 kp/mm<sup>2</sup>, hvilket resulterer i et linietræk på 60 tons (ved islast på 3 kg/m).

Specialleder med St-Al s forhold på 1:3.

Overføringskapacitet 100 MW  
 Lederdimension: Feral 230 - 30/91  
 Afstand mellem ledere 60 m.

Master.

Hvilke mastetyper, der er mest velegnede til grønlandske forhold, er noget, der stadig arbejdes på.

(Billed 8).

Ser man på prisen, hersker der ingen tvivl om, at stålmaster er dyrere, både i materialepris og i anlægsudgifter, men de foreløbige undersøgelser peger hen imod, at disse, af styrkemæssige grunde, bør benyttes i terræn højere end 4-500 m o.h., (mulighed for store isbelægninger, såfremt linien ikke har fjelddækning).

Hvis man har denne fjelddækning, vil træmaster være den billigste løsning.

(Billed 9).

Udover de traditionelle træmaster af rundtømmer, der både kan bruges enkeltstående (10-20 kV linier) og som H-master (op til 60 kV), som her på billedet. (Det er snebelægning som får masterne til at se spøgelsesagtig ud).

Limtræ har, ud fra norske erfaringer, vist sig at være et udmærket materiale til master. Det forener stor styrke med lav vægt og er i praksis benyttet til spændinger op til 132 kV.

(Billed 9).

En 132 kV-linie i Norge, der først var projekteret med rundtømmermaster (H-master), blev nyprojekteret med brug af limtræsmaster, og det viste sig, at antallet af master blev reduceret med 40%.

Med de store anlægsudgifter, der er forbundet med fundering - samling og rejsning af master i Grønland (ca. 30% af samlede anlægsomkostn. til transmissionslinien), vil der sandsynligvis være besparelser ved brugen af denne mastetype.

Teknikerens synspunkter.

Det var emnet i korte træk, sådan som bygherren anskuer det.

Problemet om konkrete udformninger af mastetyper vil Ulrik Støttrup Andersen fra R&H, komme ind på bagefter.

BYFORSYNING-AFSÆTNINGSSTRATEGI.

Når man vender sig mod afsætningssiden, må man indrømme, at det ikke er ligegyldigt, hvad man afsætter sin vandkraft til - eller sagt på en anden måde, det skal nøje overvejes, hvor stor en produktionskapacitet, man skal anlægge set i lyset af, at den indtægt, man får på salget, skal kunne forrente investeringen.

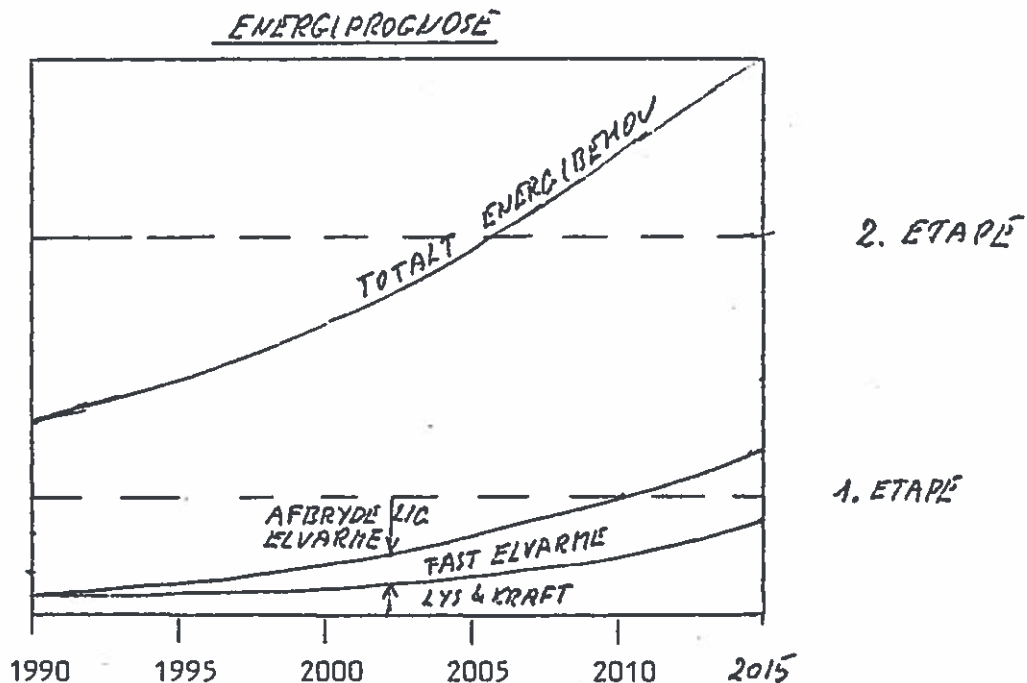
Den mest objektive målestørrelse for salgsværdien er den mængde olie, som fortrænges i det nuværende produktionssystem.

1 kWh vandkraft fortrænger

i diesel elværker	0,30 l. olie ~ 86,9 øre
i villafyr	0,16 l. olie ~ 46,8 øre
i blokcentr. - FV værker	0,14 l. olie ~ 40,6 øre.

Det er derfor åbenbart, at det er elproduktionen i det nuværende system, man skal substituere mest muligt og da helst 100%, inden man overvejer at sælge til /eller indrette sit produktionssystem til elvarme.

En bys energiprognose kunne



f.eks. se således ud, en lys- og kraftprognose og en varmeprogno­se (udtrykt som en totalprognose).

Fra det øjeblik, man starter vandkraft op, vil der uvægerligt komme stadigt voksende antal faste varmekunder.

Man ser, at der kan tilsluttes en række afbrydelige kunder fra starten, men det ses også, at man bliver nødt til at skubbe dem fra sig successivt.

Det kan først betale sig at igangsætte 2. etape, når det afbrydelige kundeunderlag, vi yderligere kan få fat i, kan forrente anlægsudgifterne i 2. etape (med 40 - 46 øre/kWh).

Men senest, skal der i 2010 udbygges 2. etape af hensyn til de faste kunder.

Det specielt grønlandske aspekt er her, at et vandkraftværk vil være bundet til en enkelt by (til nød 2). Der vil ikke være muligheder for, at udstrække nettet til andre byer.

Når man taler om afbrydelige kunder, skal man gøre sig klart, at det er varmekunder, som til enhver tid kan tåle at blive afbrudt - de skal have et alternativ varmesystem.

Det er vores filosofi i energiplanlægningen, at så stor en del af det vandbårne varmesystem skal bevares for at kunne være den nødvendige basis af afbrydelige kunder.

En varmecentral eller FV værk får installeret en elektrokedel - højspænding eller lavspænding afhængig af størrelsen, som kan erstatte den nødvendige kedelkapacitet. Men oliekedlerne skal bibeholdes af 3 grunde:

1. Langsigtet reguleringsmulighed - levetidsbasis.
2. Kortsigtet reguleringsmulighed - årsbasis.
3. Sikkerhedsmæssige grunde.

ad 1. Vi så på figuren før, at der inden 2. etape vil blive et behov for at bortskære afbrydelige kunder.

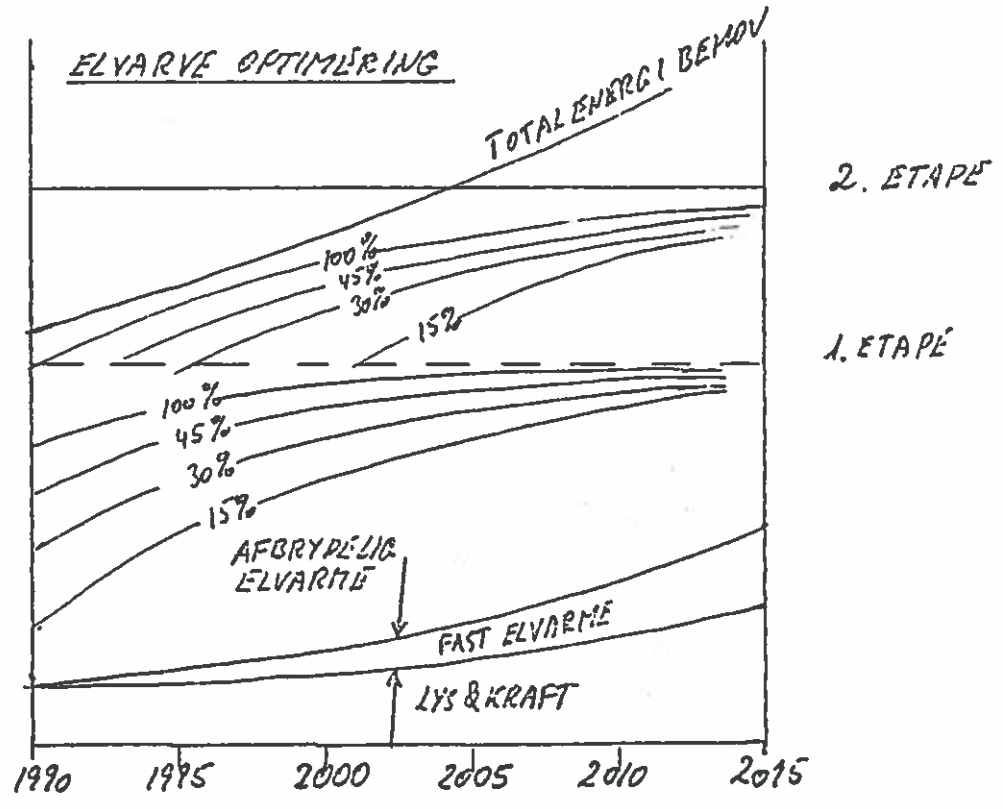
ad 2. Årsafstrømningerne kan variere, og hvis der er tilstrækkeligt styr på sne-takseringer og tilstrømningen til et bassin, kan man inden det hydrologiske år (eller senest inden efterårssæsonen) planlægge, hvor mange afbrydelige kunder, der kan tilfredsstilles inden for det hydrologiske år.

ad 3. Vi kommer til sikkerhedsproblematikken senere.

De enkeltliggende huse med eget oliefyr kan vi også inddrage som afbrydelige kunder ved hjælp af det, der med en fællesbetegnelse i GTO kaldes "elpatroner". Det dækker over alt fra en elstav (dyppekoger), monteret i kedlen til en lille kompakt elvandvarmer, monteret i radiatorsystemet.

For en by som Nanortalik har ingeniørfirmaet P.A. Pedersen udarbejdet en analyse for os, hvor man har gjort overvejelser over, hvor stor en andel af byens installerede varmekapacitet, man skal tage fat i for at afsætte elkraft som afbrydelig varme.

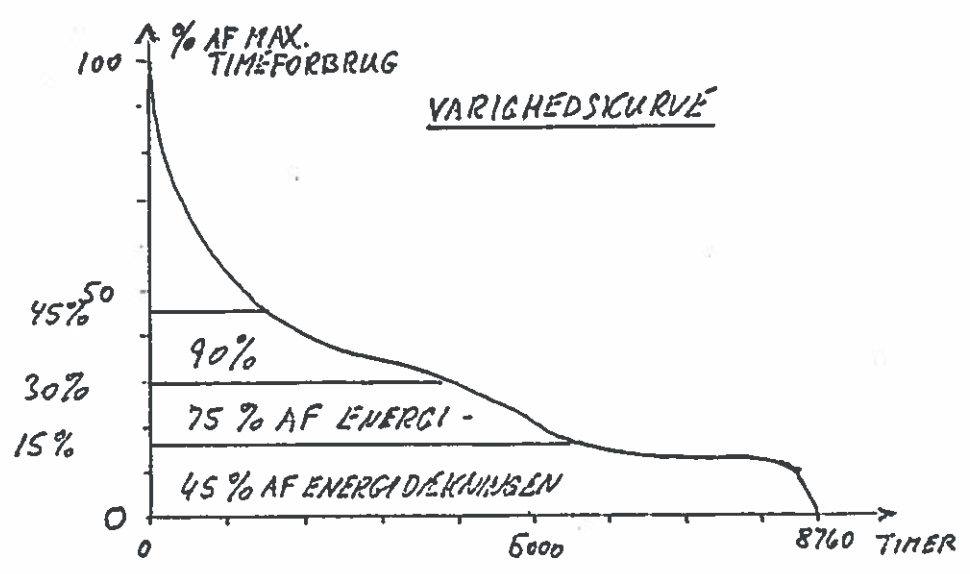
Udgangspunktet er et vandkraftværk, som fuldt udbygget kan dække byens fulde energibehov frem til godt og vel år 2000.



Energiprognosen suppleres med en skare af kurver, som angiver byens energidækning fra vandkraft. Parameteren er den del af byens varmeeffekt i % man vælger at dække, men på den måde, at man tager fat i alle varmekunder og kun dækker den angivne procentdel af deres maximale varmeeffekt.

Og når vi taler om effektdækning, så skal det også tages med i betragtning, at udbygningen af elfordelingsnettet, transmissionsnettet og vandkraftværkets kapacitet skal tilpasses varmeproduktionssystemet. Der ligger heri en anlægsoptimering - en investeringsoptimering. Hvilken "patronstørrelse", der skal anvendes i tilfældet udbygning til 1. etape, kommer an på en økonomisk optimering.

I tilfældet Nanortalik viser den økonomiske optimering, at man skal have fat i så at sige alle varmekunder, men kun dække 45-50% af deres varmebelastning, og måske ikke helt overraskende viser det sig, at med denne effektdækning kan over 90% af byens varmeenergi dækkes.



Af en varighedskurve for varmeforbruget, dvs. sammenhængen mellem den øjeblikkelige belastning og det antal timer om året, denne overstiges ses sammenhængen mellem effektdækningen og energidækningen.

Hvor vil vi nu hen med disse overvejelser? Jo, de siger ganske klart, at det ikke skal tages for givet, at man skal forsøge at sælge al den vandkraft, man kan til elvarme, selvom man får vandet gratis.

Vandkraftanlægget skal nøje optimeres, således at der ikke foretages marginalinvesteringer, som ikke kan forrentes. Vi mner, at vi har et værktøj til det i de synspunkter, der er skitseret her.

### SIKKERHEDSFORHOLD

Vi har nu været præsenteret for et forløb med et afsides placeret vandkraftværk, hvor der måske ikke engang er besejlingsmuligheder hele året og en transmissionsledning gennem et uvejsomt terræn udsat for strenge klimatiske forhold. Vi er naturligvis forberedt på spørgsmålet, om, vi har overvejet sikkerheden i et sådant energisystem tilstrækkeligt.

Der er en risiko for forsyningssvigt, den er endda ret åbenbar, og det mest sårbare led er transmissionsledningen. En gang i løbet af en givens periode skal en ledning falde ned, ellers har den været for kostbar.

Den sikkerhedsfilosofi, vi har anlagt, er, at man ved opbygningen af en vandkraftforsyning, skal bevare dieselelværk(er), varmecentraler, FV værker og en del af de private oliefyr.

Dieseleværker vil i en lang periode endnu være tilstrækkelige til at dække lys + kraftkunderne, idet elværkerne i forvejen har en indbygget sikkerhedsreserve på omkring 30% af den nuværende maxbelastning.

De nuværende varmecentraler og FV værker skal kunne træde til og varmeforsyne det tilsluttede forsyningsområde. Ved den førømtalte delvise effektdækning, som ganske vist yder en høj energidækning, sikrer man sig, at varmegværker og -centraler er driftklare, fordi de skal kunne dække spidslast under normale driftforhold.

For villaejerne vil fordelene ved at bibeholde oliefyr suppleret med elvarmepatron ligge i forsyningsikkerheden.

De faste elvarmekunder er de eneste, som vil blive berørt i en nødsituation. Ved at sikre at skoler, sygehuse, forsamlingshuse og andre offentlige bygninger til hver en tid er tilkoblet et vandbåret varmesystem har man gode evakueringsmuligheder for denne forbrugergruppe.

Ved en passende tilrettelæggelse af elrationeringen vil man også kunne garantere, at holde boliger med fast elvarme frostfri.

### FREMTIDSPERSPEKTIVER

Der er sikkert andre end os, der sidder med den tanke, at der må være andre brugbare, billigere, mindre sårbare forbrugere til et vandkraftværk end en byforsyning.

Der er udført projektskitser omhandlende vandkraftbaserede industrianlæg af den energiintensive type til udnyttelse af de meget store regionale bassiner.

Et jernværk ved Isukasia i GHB-fjord.

Et aluminiumsværk ved Tersserssiak i Sdr. Strømfjord.

Et urananlæg ved Johan Dahl Land ved Narssak.

Et kulbrud på Nugssuaq i Diskobugten.

Der er en tanke, der også er mere nærliggende, nemlig at finde andre energibærere end de meget kostbare transmissionsledninger.

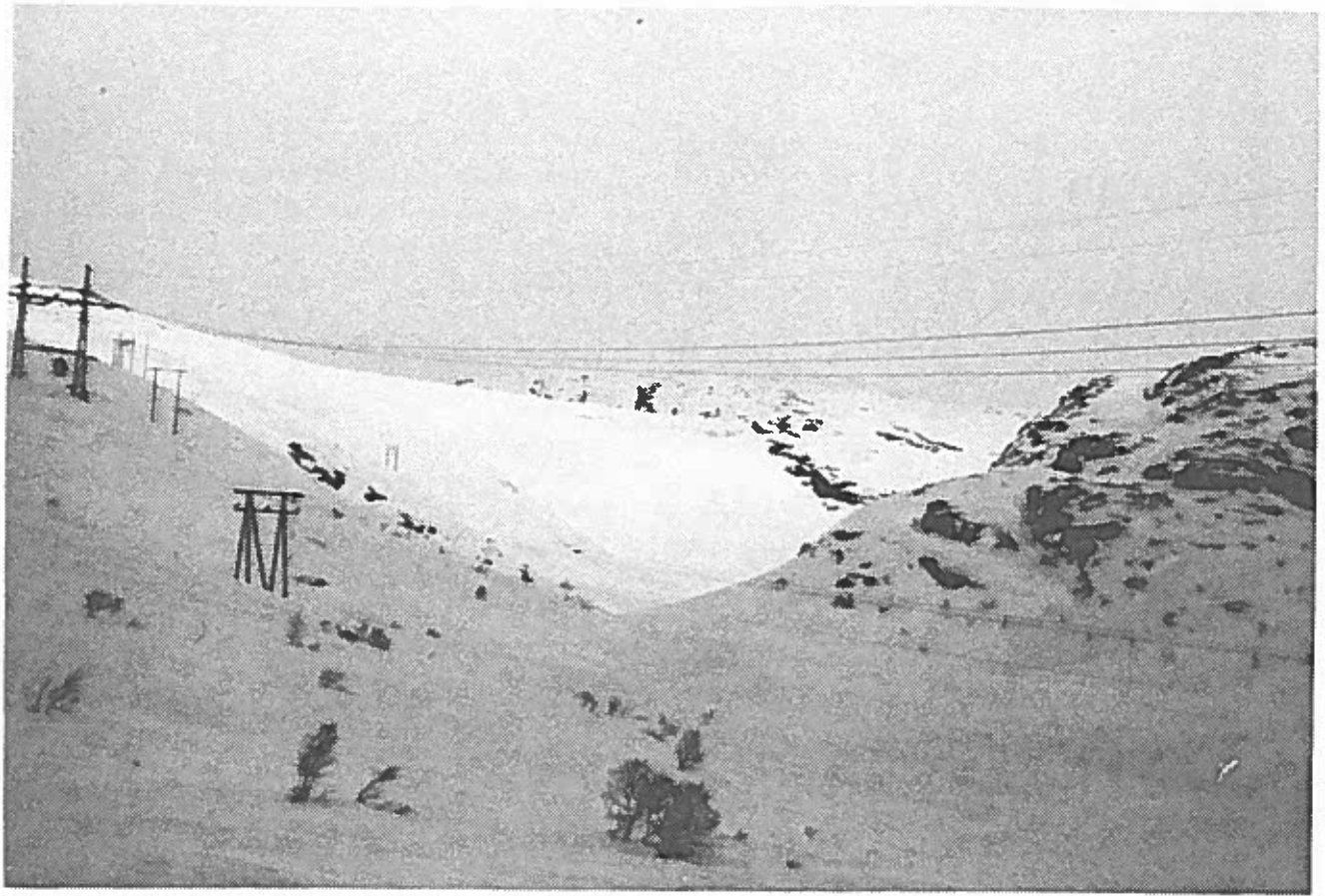
Der forskes i fremstilling af brint fra vand på en mere energiøkonomiske måde end ved elektrolyse. Der forskes i brintholdige kemiske forbindelser, som relativt billigt frigør brinten som brændstof. Ammoniak er én kemisk forbindelse, men der er muligheder i metalhydrider, Og der forskes i anvendelse af brint (i form af ammoniak eller metalhydrider) som brændstof i motorer og vel sagtens også i fyr.

Man kunne godt forestille sig, at ét stort vandkraftværk ved en produktion af brint og via en flåde af tankskibe kunne energiforsyne hele Grønland, vi ved bare ikke, om det vil være billigere end den traditionelle metode med bynære anlæg.

Og selvfølgelig spørger vi også os selv, om det er rigtigt, at tænke på investeringer i bynære vandkraftanlæg så længe vi ikke har fået svar på om der findes billigere energitransportsystemer.

Vi holder emnet under observation.

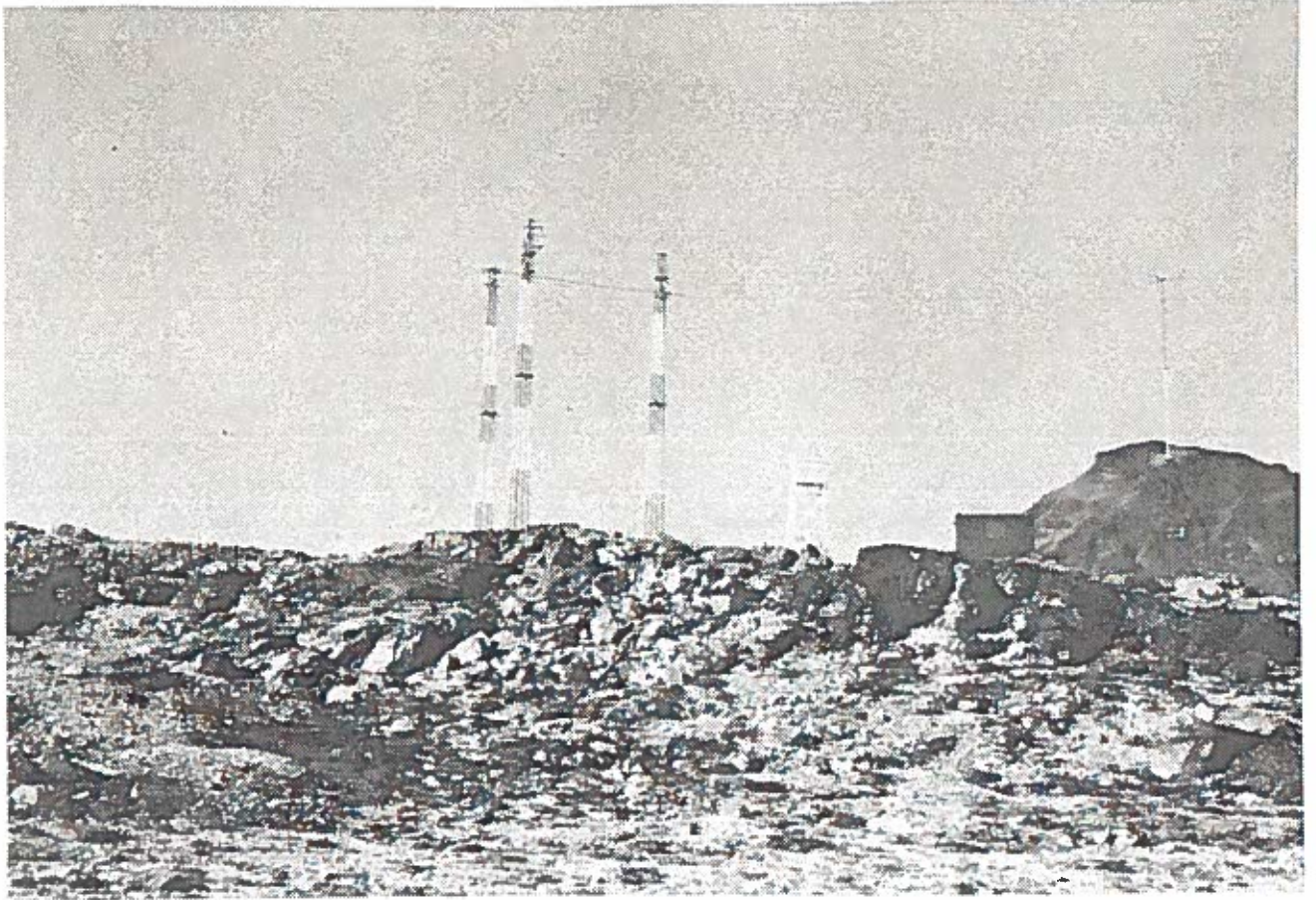




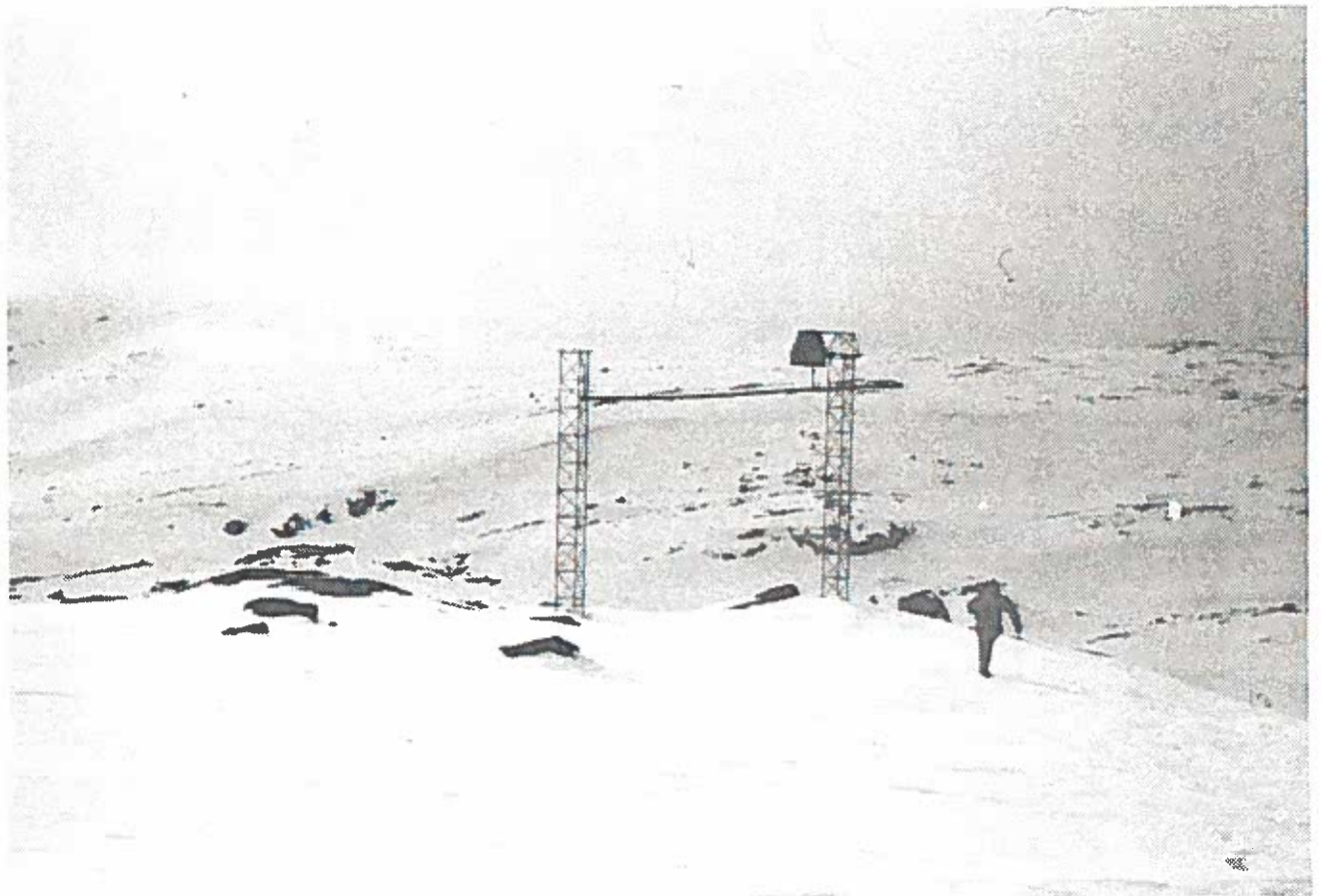
*Billed 1*



*Billed 2*



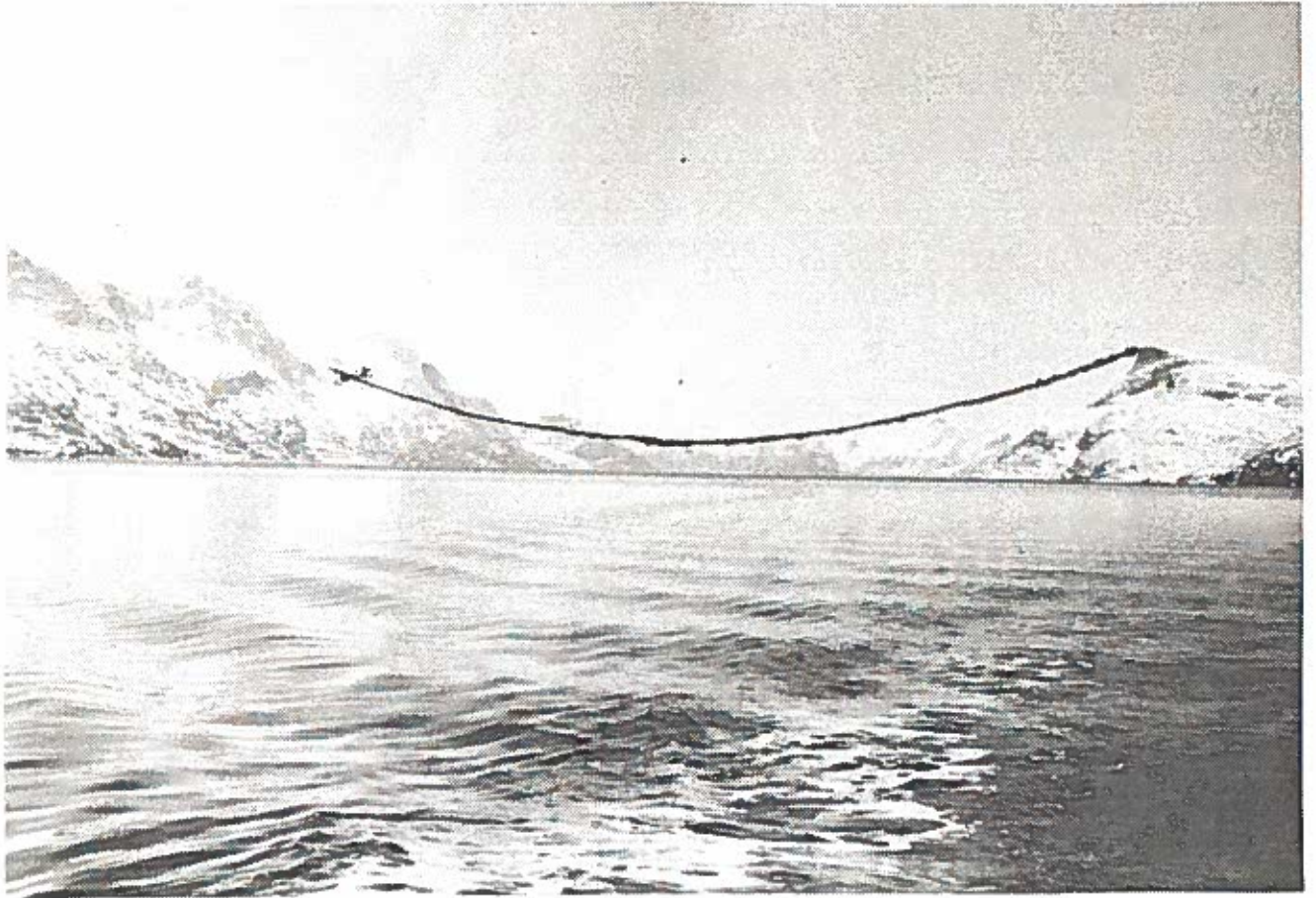
*Billed 3*



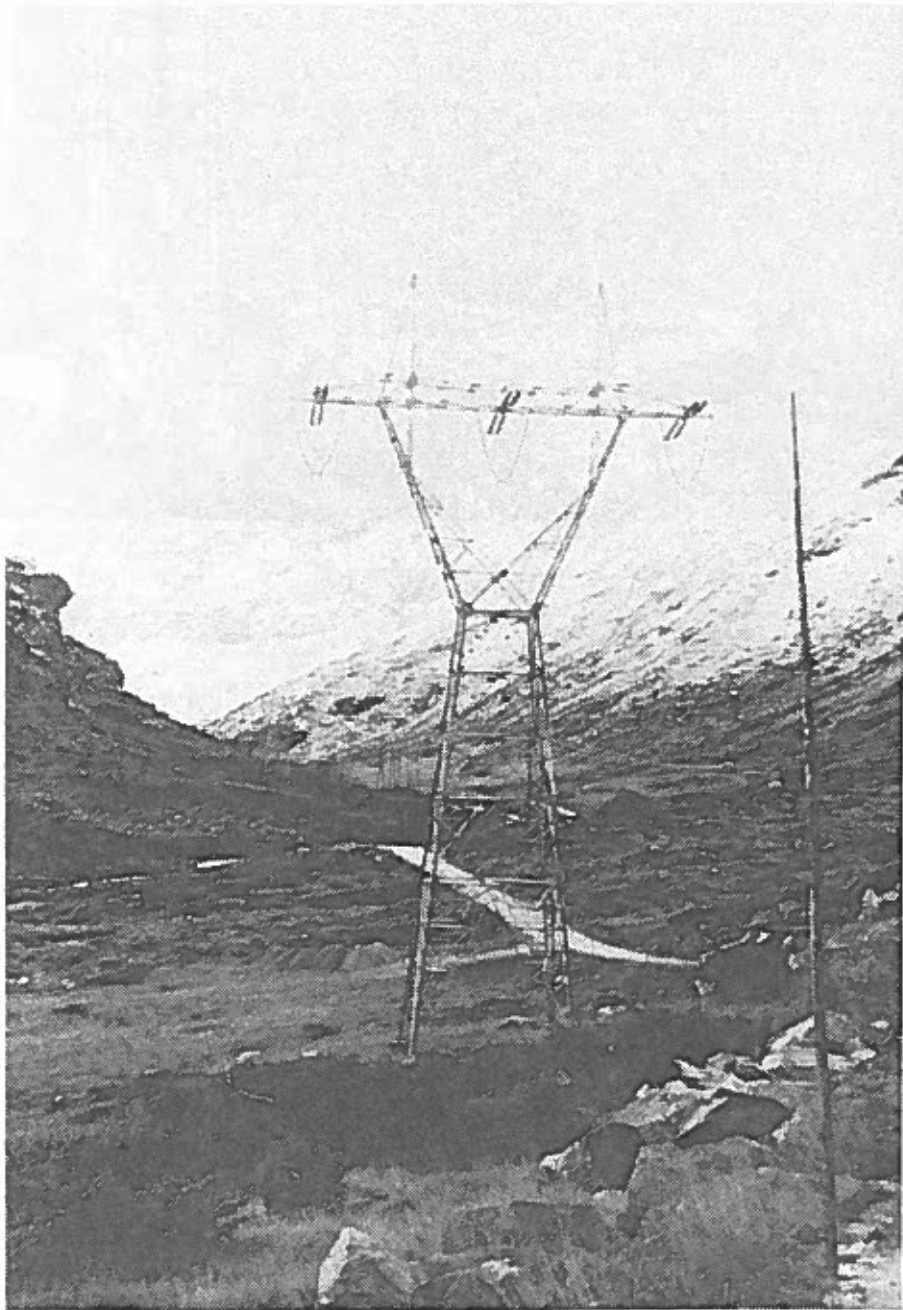
*Billed 4*



*Billed 5*



*3illed 6*



*Billed 7*

# THE HISTORY OF THE

# REPUBLIC OF THE UNITED STATES OF AMERICA

FROM THE FOUNDING OF THE COLONIES TO THE PRESENT DAY

BY JAMES M. SMITH

NEW YORK: THE UNIVERSITY PRESS, 1912

THE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK

THE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK

THE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK

THE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK

THE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK

## VANDKRAFT I GRØNLAND.

### TRANSMISSIONSLINIER

#### 1. Indledning

Placeringen af mulige vandkraftværker i Grønland er ofte nær kanten af indlandsisen, mens de potentielle forbrugere normalt vil befinde sig nær kysten.

Dette forhold nødvendiggør transmission af den producerede energi over ofte ret betydelige afstande.

Betingelserne for anlæg af transmissionslinier, højspændingslinier i Grønland afviger stærkt i forhold til tilsvarende danske linier.

Anlæg til transmission af produceret energi fra kraftværker til forbrugere udføres i langt overvejende grad som luftledningsanlæg. Luftledningsanlæg er erfaringsmæssigt dels særdeles driftssikre og vedligeholdelsesvenlige og dels oftest langt den billigste anlægstype til transmission af større effekter over store afstande. Sammenligning mellem kabelforbindelser og luftledningsanlæg understreger, at luftledningsanlæg også i Grønland er kabelforbindelser overlegne.

Her skal nævnes nogle af de specielle forhold og problemer, der skal iagttages ved anlæg af højspændingslinier i Grønland.

Afgørende forhold, der har betydning for anlægsomkostninger og driftssikkerheden, er særligt:

- lastmæssige forhold, is- og vindlast
- topografiske og terrænmæssige forhold
- transport- og montagemæssige forhold

alle forhold, der afviger meget i forhold til danske betingelser.

## 2. LASTMESSIGE FORHOLD

De normale belastninger på ledninger og master i et luftledningsanlæg hidrører primært fra vind- og islaster, mens temperaturforholdene har betydning for trækspændingen i ledningerne. Brud i luftledninger og havarier af master opstår erfaringsmæssigt oftest som følge af ekstreme meteorologiske forhold, for eksempel meget kraftig overisning eventuelt kombineret med ugunstige vindforhold.

Det er derfor helt afgørende for den mekaniske sikkerhed i luftledningsanlæg, så nøjagtigt som muligt, at kunne fastlægge de dimensionerende belastninger fra isafsætninger og vindpåvirkninger.

### 2.1 Isafsætning på højspændingsledninger

Systematiske målinger af ispåvirkninger, eventuelt kombineret med vindlast, har før i tiden ikke været foretaget. Udbredelsen af og nødvendigheden for transmissionslinier i områder, hvor isafsætninger af betydelige størrelser kan forekomme, har dog resulteret i en øget interesse for sådanne målinger. Ofte er de betydende faktorer af meteorologisk og topografisk art dog så forskellige fra sted til sted, at de indhøstede erfaringer ikke umiddelbart kan anvendes i et aktuelt område.

Man skelner normalt mellem to forskellige former for isafsætninger, nemlig "tågedis" ("fog-ice") og "sne-is" ("sleet"). Tågeis kan forekomme i egne, hvor lave skyer ofte medfører tåge; dette er specielt udtalt i bjergrige områder. Sne-is, der dannes, når tågsne fryser på ledninger og master, kræver særlige meteorologiske betingelser, der som oftest findes i lavlandet, specielt ved fjorde og dale samt ved kysten.

De meteorologiske faktorer, der har betydning for muligheden for dannelse af tågeis, er først og fremmest lufttemperaturen og luftens relative fugtighedsindhold. Andre meteorologiske faktorer, der har indflydelse på isbelægningens størrelse, er vindhastigheden, vindretningen samt størrelsen af underafkølede vanddråber.



Som en hovedregel kan en potentiel issituation defineres som en situation, hvor den relative luftfugtighed er nær 100%, mens lufttemperaturen ligger mellem  $0^{\circ}$  og  $-10^{\circ}\text{C}$ . Ved lufttemperaturer under  $-10^{\circ}\text{C}$  vil de underafkølede vanddråber fryse spontant. Ligeledes er det absolutte vandindhold i luften ved meget lave temperaturer så lille, at der kun vil afsættes en forsvindende mængde is.

Vindhastigheden har stor indflydelse på den mængde is, der afsættes pr. tidsenhed. Generelt opnås maximal intensitet for middelstore vindhastigheder, mens isafsætningens intensitet er lille for små og for meget store vindhastigheder.

For en given luftledning har vindretningen også stor betydning for isopbygningen under en issituation. Således vil der på ledningsstrækninger, der er tilnærmelsesvis parallelle med den isafsættende vindretning, kun opbygges en brøkdel af den ismængde, som afsættes på ledningsstrækninger, der er mere eller mindre vinkelrette på vindens retning.

Størrelsen af de underafkølede vanddråber i luften har blandt andet betydning for værdien af den diameter - af is eller konstruktion - udover hvilken en yderligere isafsætning teoretisk ikke kan forventes. En stor dråbestørrelse vil således kunne opbygge en større isbelægning end mindre dråber.

De meteorologiske betingelser for isbelægninger i form af sne-is er mere afgrænsede. Temperaturen ved terræn skal være mellem  $0^{\circ}$  og  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , der skal befinde sig et varmere luftlag et stykke oppe (op til ca.  $+3^{\circ}\text{C}$ ) samtidig med der skal forekomme kraftig nedbør. Relativt store vindhastigheder vil forøge risikoen for store isbelægninger. Som en følge af en vertikal temperaturgradient i disse situationer på ca.  $1^{\circ}\text{C}$  pr. 100 m, vil den maksimale isafsætning finde sted indenfor et snævert højdeinterval. Højspændingslinier med store højdeforskelle vil således oftere være udsat for sne-is end linier med små højdeforskelle, på grund af den større sandsynlighed for, at en del af strækningen ligger i det kritiske højdeinterval.

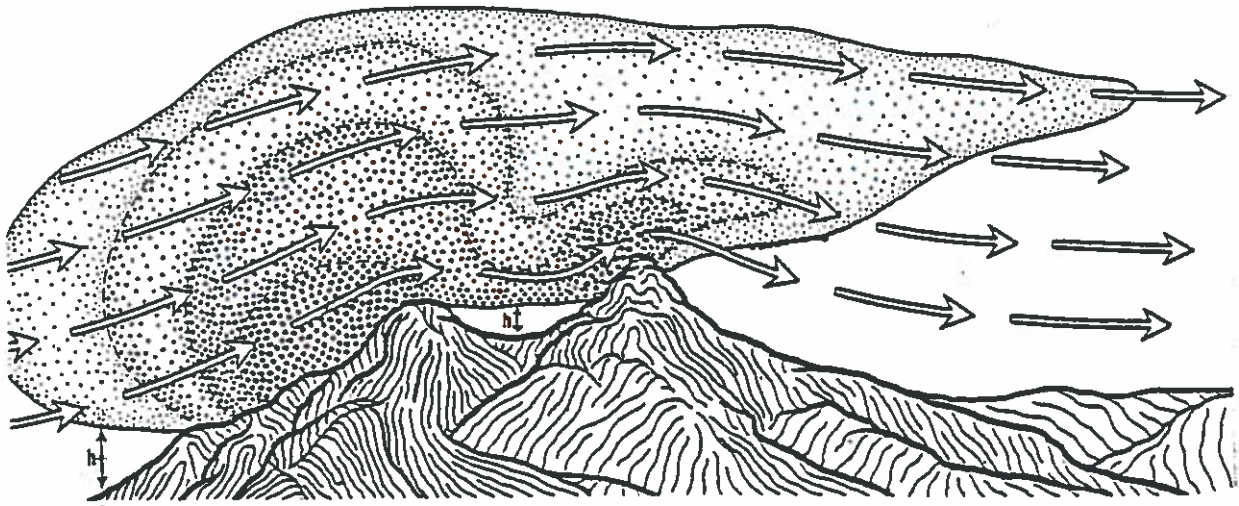


FIG 2.1

At isbelægnings på højspændingsledninger kan opbygges til meget store dimensioner understreges blandt andet af observationer i Norge, hvor man har registreret belægnings med diametre på op til ca. 70 cm. hvilket svarer til over 2 kN is pr. meter ledning.

De topografiske faktorer i områder, hvor der kan forekomme isafsætninger, er af overordentlig stor betydning for, hvor udsat en transmissionslinie er for kraftige isbelægnings. Er der en bestemt vindretning, der potentielt kan medføre store isafsætninger, kan man som nævnt ovenfor opnå en betydelig reduktion af mængden af is på luftledninger, ved at placere disse nogenlunde parallelt med den pågældende vindretning.

I bjergrige områder vil der ofte være specielle strækninger, der er særligt udsatte for isafsættende vinde, mens andre områder er væsentlig mindre udsatte. På figur 2.1. er skematisk vist et tværsnit af en højderyg, hvor vestlige vinde tvinger luften over højderyggen. I dalen er der lav skyhøjde, men ingen tåge. Intensiteten af isafsætningen er markeret med dråbestørrelser. Det fremgår af figuren, at isafsætning ophører relativt brat på læsiderne.

Erfaringer fra anlæg af luftlinier i for eksempel Norge og Island, har vist, at det er muligt at mindske risikoen for kraftige isbelægnings på ledninger og master ved en grundig planlægning af liniernes tracé gennem terrænet, hvor der netop tages hensyn til

- den beskyttende virkning af det omkringliggende terræn, både lokale og mere fjerntliggende højder.
- højdeforskellen mellem ledningerne og det beskyttende terræn, samt
- den lokale retning for vinde, der kan give isafsætninger sammenholdt med liniestrækningers retning.

Det kan nævnes, at man med stort held har anvist linietraceer i Norge, Island og Canada. Ved minutiøst at gennemgå det aktuelle terræn, sammenholdt med de relevante meteorologiske data, er det lykkedes at placere luftledningsanlæg beskyttet af det omkringliggende terræn og herigennem minimere isafsætninger på ledningerne. Da den grønlandske topografi er af samme karakter, vil en tilsvarende planlægning kunne gennemføres i langt de fleste aktuelle områder i Grønland.

## 2.2 Vindbelastninger på ledninger og master

I forhold til grundlaget for bestemmelse af maximale isbelægninger på luftledninger og mastekonstruktioner, er fastsættelse af vindpåvirkningerne væsentlig bedre belyst, især hvad angår situationer uden isbelægninger.

Således er det muligt, med rimelig nøjagtighed, at fastlægge den dimensionsgivende vindpåvirkning ud fra mere eller mindre systematiske registreringer af optrædende vindhastigheder i områder, hvor en aktuel linie tænkes anlagt. Der findes i denne forbindelse veldokumenterede metoder til statistisk fastsættelse af dimensionerende vindlast på luftledningsanlæg.

Fastlæggelse af maximale påvirkninger fra vindlast i kombinationer med forskellige isbelægninger, er alene på grund af vanskeligheden ved bestemmelse af sandsynlige isafsætninger, mere problematisk. Visse typer isbelægning er af så kompakt opbygning, at selv relativ kraftig vindpåvirkning ikke er i stand til at løsrive isen fra ledninger og master. Da isbelægningen kan forøge den for vinden exponerede flade ganske betragteligt, kan selv relativt små vindhastigheder give resulterende vindpåvirkninger, der overstiger påvirkningen for den maximale vindhastighed virkende uden samtidig isbelægning.

I nogle lande, eksempelvis Norge og Sverige, foreskrives en vis vindlast kombineret med isbelægninger, mens man i det danske stærkstrømsreglement ikke betragter vindlast og islast virkende samtidigt. Da det netop ofte er tilfældet, at mange ledningsbrud

og mastehavarier i egne tilsvarende de betragtede grønlandske erfaringsmæssigt skyldes kombination af kraftig overisning og samtidig store vindhastigheder, vil det være nyttigt at vurdere disse belastningskombinationer for aktuelle områder i Grønland.

### 2.3 Meteorologisk materiale for Grønland

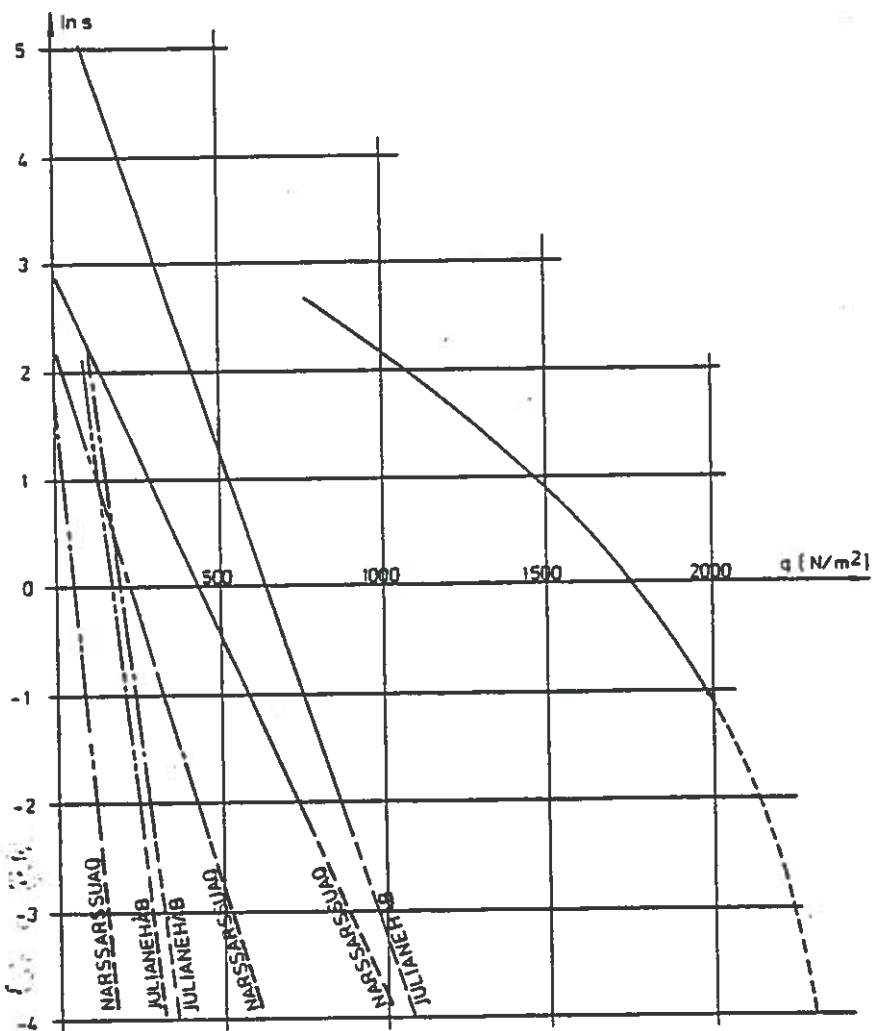
Meteorologisk Institut har gennem adskillige år udført meteorologiske observationer fra omkring et halvt hundrede stationer fordelt langs Grønlands kyster. Fra en del af disse stationer observeres op til 8 gange dagligt skymængde, vindretning, vindhastighed, sigtbarhed, lufttryk, lufttemperatur, dugpunkt, nedbørsmængde m.m.

Foruden de sædvanlige meteorologiske stationer, er der fra GTO's side oprettet et begrænset antal målestationer. Disse stationer er anlagt med henblik på observationer, der direkte har betydning for anlægsvirksomhed i Grønland. Der er således oprettet 4 vindmålestationer i Holsteinborg, Godthåb, Narssaq og Angmagssalik - hvor der udelukkende focuseres på bestemmelsen af maximale vindhastigheder.

Foruden vindmålestationerne er der anlagt klimastationer placeret i lokaliteter, der eventuelt kan være aktuelle i forbindelse med fremtidige vandkraftværker, og observationerne tager her specielt sigte på de hydrologiske forhold.

I direkte tilknytning til aktuelle projekter anlagde GTO specielle forsøgsopstillinger. Disse stationer skal primært forbedre dimensioneringsgrundlaget for luftledningsanlægget, og der måles foruden vindhastighed, - retning, nedbør og dugpunkt også direkte isbelægninger og vindlaster.

Observationsmaterialet fra Meteorologisk Instituts stationer ligger for de fleste stationers vedkommende samlet på magnetbånd. Ved hjælp af simple edb-programmer kan man her fra sammenstille og behandle observationsmaterialet til at belyse netop de forhold, man måtte ønske.



SÅMMENHÆNG MELLEML ÅRLIG HYPPIGHED,  $s$ ,  
OG VINDENS HASTIGHEDSTRYK,  $q$ .

- 10 MINUTTERS MIDDELVÆRDI FOR SAMTLIGE OBSERVATIONER
- · — · 10 MINUTTERS MIDDELVÆRDI I POTENTIELLE ISSITUATIONER
- · — · — 10 MINUTTERS MIDDELVÆRDI I ISSITUATIONER AF MERE END ET DØGNS VARIGHED
- ØJEBLIKSMÅKSIMALVÆRDI FOR NARSSAQ VINDMÅLESTATION

FIG 2.3.1

For at vurdere værdien af Meteorologisk Instituts observationsmateriale som grundlag for fastsættelse af dimensionerende vind- og islaster, er der behandlet observationer fra 2 stationer, beliggende i den aktuelle del af Grønland; nemlig stationerne i Julianehåb og Narssarssuaq.

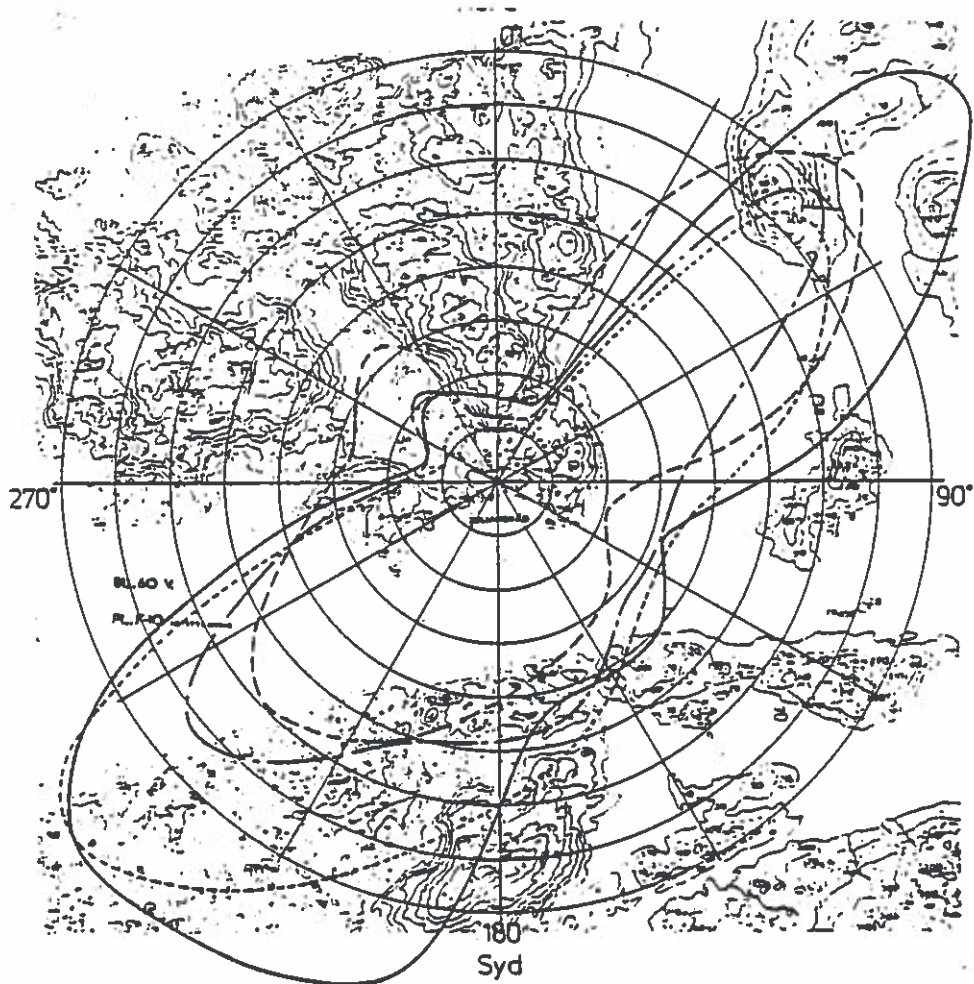
For vurdering af maximale vindhastigheder er for hver station udskrevet fordelingen af vindhastigheden over en periode af 10 år (1961 - 1970). I denne periode er middelværdien af vindhastigheden målt over 10 min. aflæst hver 3. time, hvilket giver ialt ca. 29.200 observationer. De således fremkomne fordelingskurver er vist på figur 2.3.1.

Som anført i afsnit 2.1 og 2.2 er det muligt at vurdere, om der i et aktuelt område kan forventes isafsætning, idet denne er betinget af specielle meteorologiske forhold. Da en potentiel issituation er til stede, når lufttemperaturen ligger mellem  $0^{\circ}$  og  $-10^{\circ}$  samtidig med en relativ luftfugtighed i nærheden af 100%, er observationsmaterialet fra de 2 stationer gennemgået specielt med henblik på sammenfald af disse meteorologiske forhold. For at vurdere de maximale vindhastigheder, der kan forventes at optræde sammenfaldende med isbelægninger, er vindhastighedens fordeling bestemt under de potentielle issituationer. Mængden af is, der må forventes afsat, afhænger blandt andet af issituationens varighed, hvorfor observationsmaterialet ligeledes er sammenstillet under hensyntagen til observation af sammenhængende issituationer; også i disse tilfælde er fordelingen af sammenfaldende vindhastigheder bestemt. En sammenstilling af ovennævnte meteorologiske observationer er vist på figur 2.3.1.

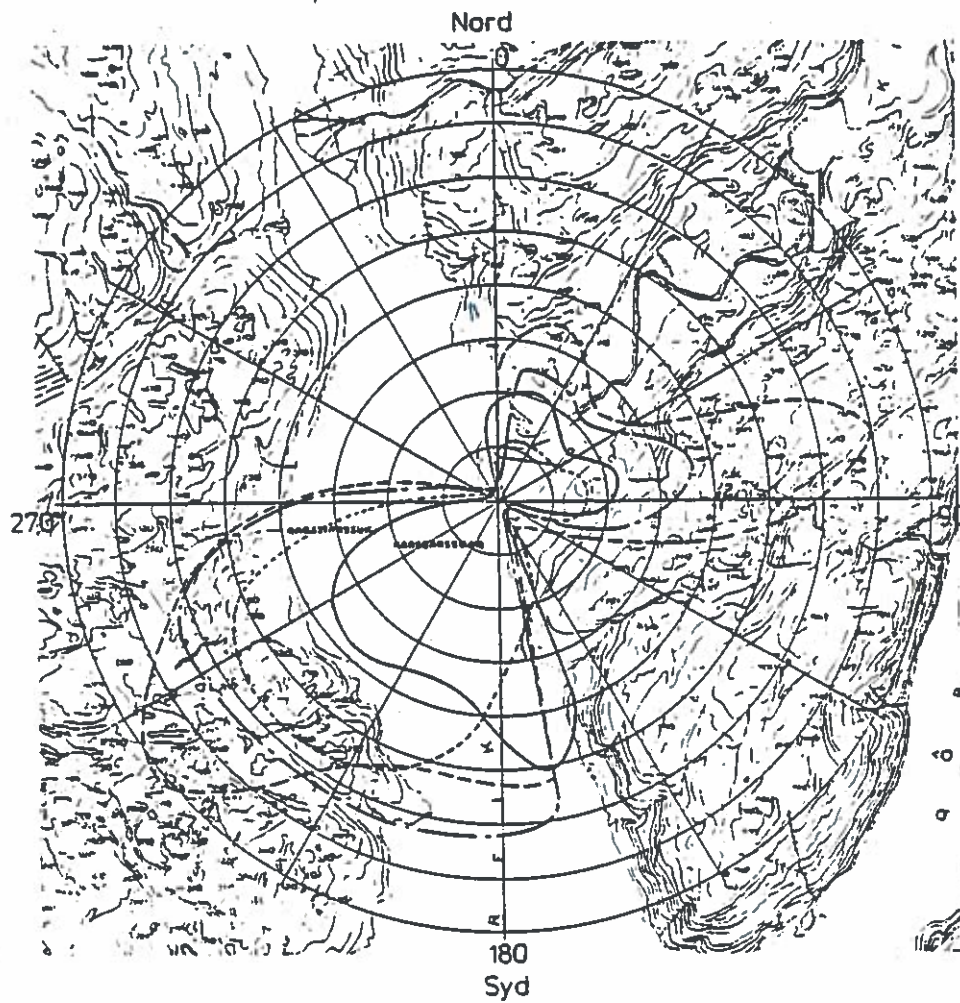
Fra GTO's vindmålestationer foreligger fra 3 af stationerne resultater over ca. 3 års målinger.

Der observeres her øjebliksværdier i modsætning til Meteorologisk Instituts middelværdier over 10 minutter.

De herved fundne fordelingskurver for maximalværdier af vindhastigheden er for stationen i Narssuaq indtegnet sammen med Meteorologisk Instituts fordelingskurver for 10 min. middelværdier på figur 2.3.1. Ved undersøgelse af de bærende konstruktioner i



JULIANEHÅB: VINDRETNINGER I ISSITUATIONER



NARSSARSSUAQ: VINDRETNINGER I ISSITUATIONER



luftledningsanlæg udsat for vindpåvirkninger, er det den maximale øjebliksværdi af vindhastigheden - med en vis foreskreven sandsynlighed for overskridelse - der har betydning.

Undersøgelse af vindhastigheder under potentielle issituationer viser klart, at der må regnes med mindre vindhastigheder ved samtidig overisning.

Ved den detaljerede planlægning af højspændingsliniens tracé er det som omtalt i 2.1 vigtigt, bedst muligt at beskytte linien mod isafsættende vindretninger. På figur 2.3.2 er isafsættende vindretninger i forskellige højdezoner illustreret. Issituationer er her antaget at forekomme, når temperaturen er mellem  $0^{\circ}$  og  $-10^{\circ}\text{C}$  samtidig med forekomsten af lave skyer. For forskellige intervaller af den observerede laveste skyhøjde er vindretningens fordeling bestemt. Der er vist forholdene for Julianehåb og Narsarsuaq. Af fordelingerne ses, at linier i området særligt skal beskyttes mod sydvestlige vindretninger.

En mere detaljeret redegørelse for de lastmæssige og meteorologiske forhold i forbindelse med anlæg af luftledningsanlæg i Grønland er foretaget i (1).

### 3. UDFORMNING AF LUFTLEDNINGSANLÆG I GRØNLAND

#### 3.1 Linieføring

Ved planlægning af en aktuel transmissionslinie er valget af liniens tracé en af de mest afgørende faktorer. Det er således nødvendigt at inddrage såvel økonomiske, konstruktive, sikkerhedsmæssige og driftsmæssige forhold i optimeringen af linieføringen. Foruden den mere overordnede teoretiske og eksperimentielle bestemmelse af is- og vindlaster i det område, hvor en aktuel linie tænkes anlagt, er det nødvendigt, at terrænet detaljeret gennemgås af en erfaren meteorolog. Ved en sådan gennemgang af mulige strækninger, er meteorologen i stand til at vurdere de lokale terrænmæssige forhold, der yder ledningsanlægget den bedste beskyttelse mod kraftige vind- og specielt islaster.

De optimale driftsmæssige forhold opnås ved linieføringer, hvor dels de ydre belastninger er mindst - og dermed risikoen for ledningsbrud og mastehavarier mindre - og dels, hvor regelmæssig inspektion af linien, samt eventuelle reparationer kan udføres lettest muligt.

I vurderingen af egnede linieføringer med hensyn til minimering af anlægsudgifterne spiller linielængden en stor rolle. Forhold såsom funderingsbetingelser, transport og montage af master, ledninger og materiel har ligeledes indflydelse på valget.

### 3.2 Mastkonstruktioner

Der er mange faktorer, der har indflydelse på den geometriske udformning af mastkonstruktionerne i luftledningsanlægget, eksempelvis kan nævnes spændvidder, topografiske forhold, elektriske- og driftsmæssige krav, ydre laster fra vind og is, transport, fundering og økonomi.

Disse forhold, hvoraf nogle har væsentlig anden betydning i Grønland, end man er vant til under danske betingelser, er detaljeret gennemgået i (1).

I transmissionslinierne indgår, foruden endemasterne i liniernes endepunkter, tre principielt forskellige mastetyper, nemlig

- Bæremaster
- Gennemløbsknækmaster
- Afspændingsmaster.

Bæremasterne udgør langt den største del af det samlede antal master i linierne. Ledningerne passerer masterne uden - eller med ganske små - horisontale vinkelændringer i linietraceen. Bæremasterne er primært dimensioneret for vindlast vinkelret på linien, men har dog en vis styrke i liniens retning.

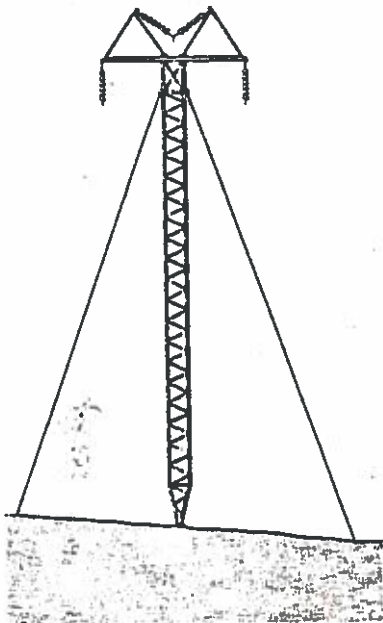
Gennemløbsknækmasterne placeres, hvor der er behov for lidt større - op til omkring  $20^{\circ}$  - horisontale vinkelændringer i linietraceen. Gennemløbsknækmasterne er i princippet forstærkede bæremaster.

På steder i linien, hvor det af hensyn til topografien er nødvendigt med store knækvinkler i liniens tracé - i horisontalt eller vertikalt plan - anordnes afspændingsmaster, hvor alle ledningerne afspændes. Disse master er, foruden de forøgede reaktioner fra ledningerne, dimensioneret til at kunne modstå ledningsbalastninger alene fra den ene side af masten, og kan derfor begrænse udbredelsen af et eventuelt mastefald i linien. Denne egenskab kan udnyttes, hvis liniestrækningerne mellem naturlige placeringer for afspændingsmaster bliver for lange, med henblik på udbredelse af et eventuelt mastefald.

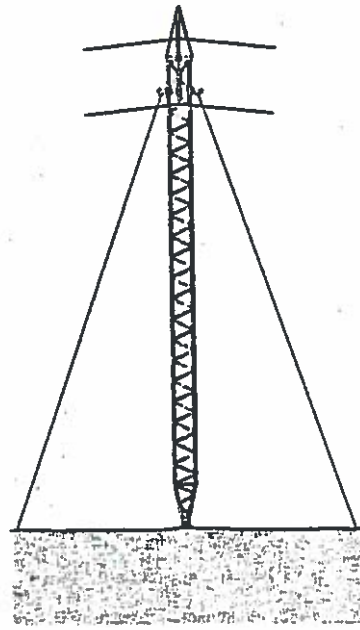
Så godt som alle mastekonstruktioner i transmissionslinier i Grønland skal funderes i fjeld. Af hensyn til de vanskelige transportforhold er det vigtigt at minimere den nødvendige betonmængde i fundamenterne. Den enkleste og billigste fjeldfundering består derfor erfaringsmæssigt af bolte indstøbt i borede huller i fjeldet. For specielt trækforankringer i dårligt fjeld må forankringslængden forøges eller en injicering af fjeldet kan være nødvendig. Ved særligt dårligt fjeld kan det være nødvendigt at bortsprænge større partier, som udfyldes med beton. Områder med permafrost stiller vanskelige krav til funderingen, blandt andet skal optøning af permafrostlaget indskrænkes mest muligt. Kan mastelokaliteter med permafrost ikke undgås, kan en anvendelig funderingsmetode for eksempel bestå af et pladefundament nedgravet i det sædvanligvis bæredygtige permafrostlag. Det ofte meget kuperede terræn i Grønland kan medføre tilpasningsproblemer ved mastefundamenter og i selve mastekonstruktionen, idet højdeforskellen mellem de enkelte funderingssteder på en mastelokalitet kan variere betydeligt.

Dele af mastekonstruktionerne i nærheden af terrænet bør udføres særligt robust for at tage hensyn til belastninger fra store sne-lag. Ved forårstid kan øvre snelag på skrånende terræn skride i forhold til de underliggende lag, og specielt for bardunerede master skal barduner og deres forankringer udføres under hensyntagen til disse påvirkninger.

Transportvilkårene under anlægsarbejder på transmissionslinier i



**Frontbillede, 1:150**



**Sidebillede, 1:150**

<b>Ledningslås:</b>	
Tværsnitsareal:	$A = 281 \text{ mm}^2 \text{ St/Al (HAWK)}$
Ø diameter:	$D = 21,8 \text{ mm}$
Egenskab:	$g = 9,8 \text{ N/m}$
Brudlast:	$P_B = 79 \text{ kN}$ (garanteret I)
Elasticitetsmodul:	$E_F = 76\,000 \text{ N/mm}^2$
Længdeudvidelse:	$\alpha = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Ledningsmodstand:	$R = 0,12 \text{ } \Omega/\text{km}$ (ved $20^\circ\text{C}$ )
Opbejvling:	$\sigma' = 65 \text{ N/mm}^2$

**FIG 3.2.1**

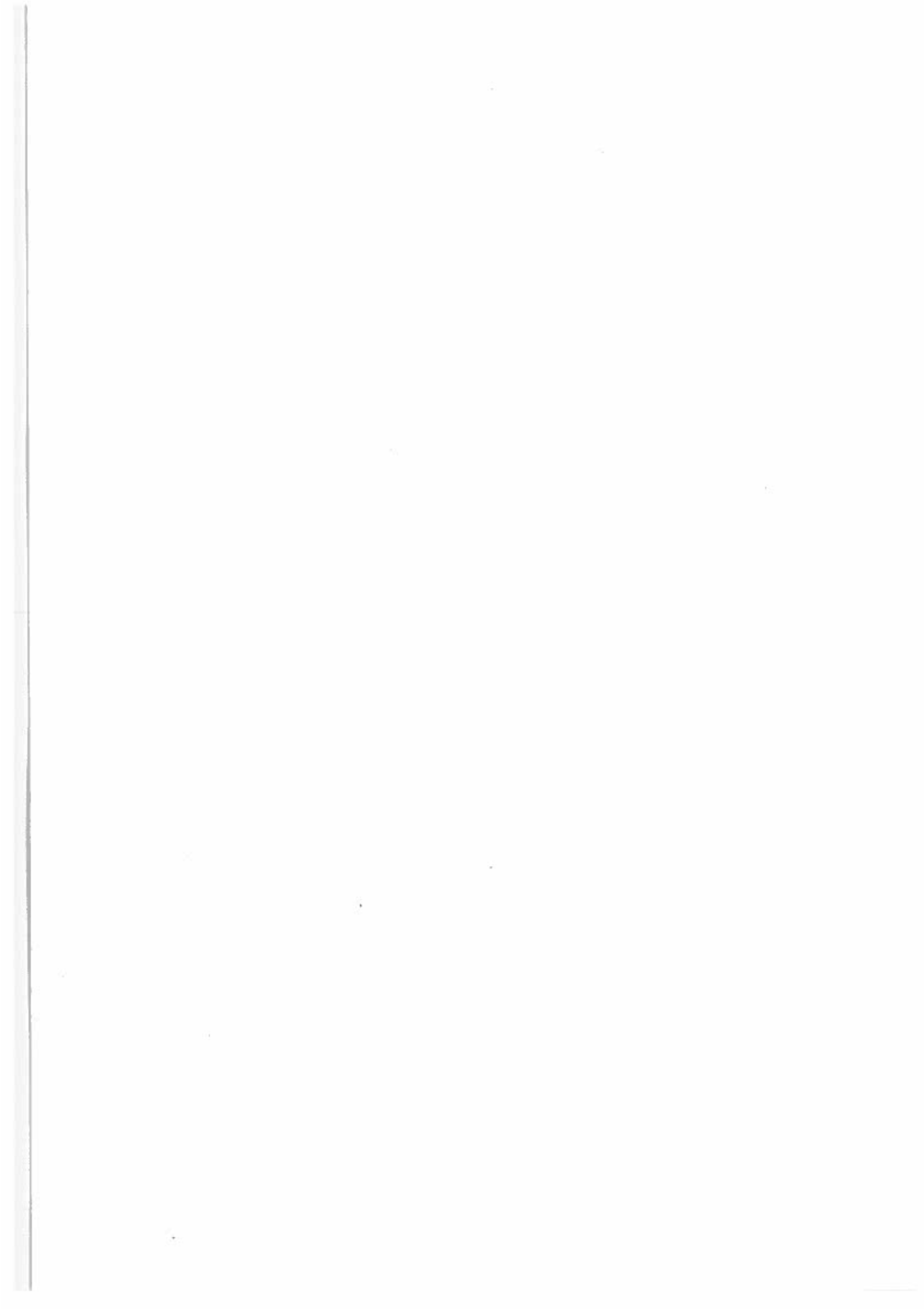
Grønland må påregnes at være væsentligt vanskeligere end herhjemme. Blandt andet vil det som regel være nødvendigt, at al transport af materiale og udstyr ud til og imellem de enkelte mastelokaliteter skal foregå ved brug af helikoptere. Transportkapaciteten for de normalt anvendte helikoptere er begrænset og helikoptertransport er meget kostbar, hvorfor det er vigtigt at minimere mængden og vægten af det materiale og udstyr, der nødvendigvis skal flyves ud i linien. Også af hensyn til lufttransporten bør mastekonstruktionerne opbygges af robuste og lethåndterlige sektioner.

Vejanlæg i tilknytning til de forskellige linier må betragtes som urealistisk på grund af de meget store anlægsomkostninger, og kan kun være aktuelt i forbindelse med opførelsen af vandkraftværker.

I visse mere tilgængelige områder i Grønland bør muligheden for anvendelse af specielle terrængående bæltekøretøjer nøjere undersøges. Sådanne køretøjer anvendes ofte til transport af materiel og mandskab ved anlæg af højspændingslinier i tilsvarende terræn i Norge, og kan anvendes selv under meget vanskelige forhold.

Ovennævnte forhold har været helt centrale ved undersøgelse af forskellige udformninger af mastekonstruktioner til linier med spændingsniveauer på 60 kV - 220 kV.

Den foreslåede udformning af bæremasterne i 60 kV-transmissionslinier er vist på figur 3.2.1. De to yderste faseledninger er ophængt i hængeisolatorkæder i en vandret travers. Midterfasen er fastgjort til to skråarme ved hjælp af to isolatorkæder i V-form. Travers og skråarme er fastgjort i toppen af en gittermast, der er drejeligt understøttet i bunden. Mastens stabilitet er sikret ved hjælp af forspændte barduner i fire retninger. Denne udformning er en videreudvikling af den mere traditionelle bardunerede V-mast. Mastetypen er endnu mere gunstig end V-typen til de grønlandske forhold, idet den indebærer samme tilpasningsmæssige fordele, samtidig med en mindre stålvægt end V-masten. At masten er mere vridningsslap end den bardunerede V-mast, kan være en fordel



ved et eventuelt ledningsbrud (på en af yderfaserne), idet den dynamiske effekt fra ledningstrækket reduceres betydeligt uden at bardunerne overbelastes.

Mastetyper er af relativ ny dato, men tilsvarende typer har været anvendt i såvel Canada, Finland og USA.

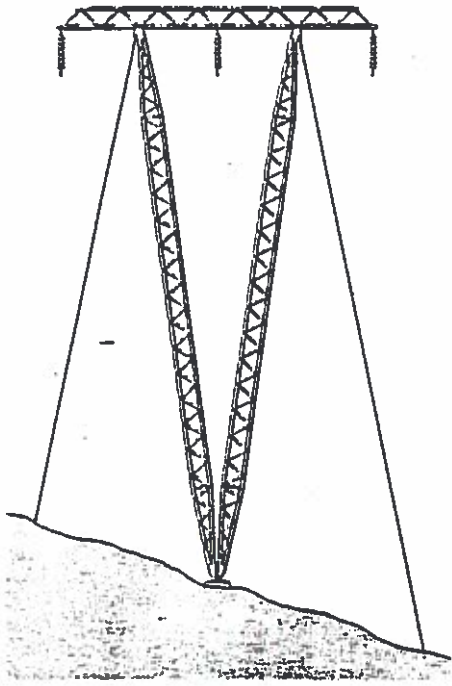
Selvom terrænet på de enkelte mastelokaliteter er relativt stærkt kuperet, frembyder masteudformningen fremragende tilpasningsmuligheder. Længden af de enkelte barduner tilpasses uden vanskelighed på stedet, ligesom tolerancerne ved placering af maste- og bardunfundamenterne er store.

På størstedelen af liniestrækningerne kan masterne funderes direkte i fjeldet. Bardunfundamenterne består her af stålankre indstøbt i borede huller i fjeldet. Mellem bardun og anker er indskudt en strammeanordning til forspænding af bardunerne. Ved mastefoden optræder der altid trykbelastninger på fundamentet, der herved kan udformes særdeles enkelt. Kravene til nøjagtighed ved afsætning og udførelse af fundamenterne for såvel mastefod som barduner er væsentlig lempeligere end for andre masteudformninger, hvor unøjagtigheder må optages ved tolerancer i selve mastekonstruktionerne.

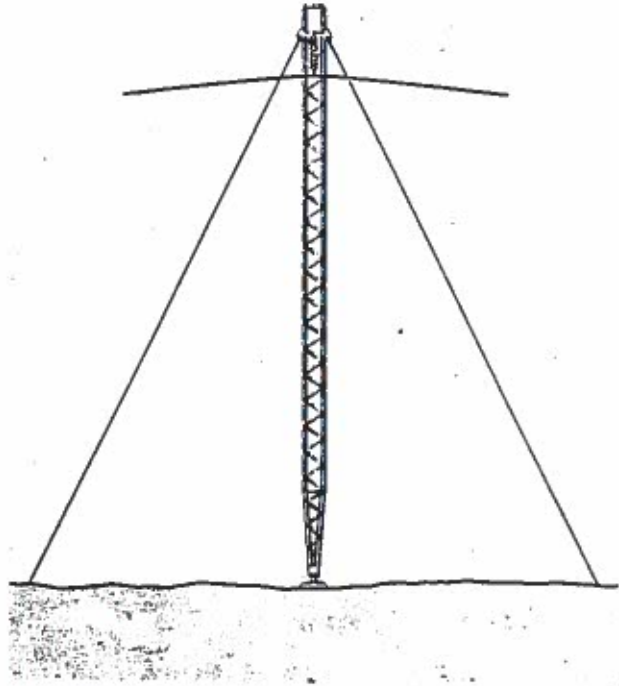
Masteskaft og traverser er udført som gitterkonstruktioner. Alle samlinger mellem stængerne udføres som boltesamlinger. Under transporten fra fabrikationsstedet til Grønland kan de enkelte stænger bundtes, hvorved risikoen for skader under transporten er minimal, ligesom det lille volumen betyder reducerede transportudgifter.

Til barduner kan anvendes alumoweldkabler eller stål-kabler opbygget af varmtforzinkede ståltråde.

Korrosionsbeskyttelsen af mastekonstruktionerne sikres gennem varforzinkning af alle stælder, hvilket i den relativt tørre og rene luft giver fuldt tilfredsstillende forhold.

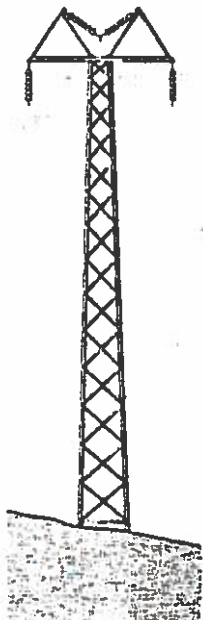


Frontbillede, 1:150

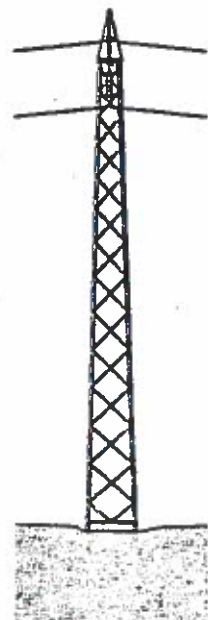


Sidebillede, 1:150

**FIG 3.2.2**



Frontbillede, 1:150



Sidebillede, 1:150

**FIG 3.2.3**



### Alternative masteudformninger.

I vurderingen af en egnet udformning af bæremaster til højspændingslinier er forskellige mastetyper overvejet.

Den foreslåede udformning er en videreudvikling af den i (1) nævnte bardunerede V-mast, vist på figur 3.2.2.

En til den foreslåede bardunerede mast svarende selvbærende konstruktion er vist på figur 3.2.3. Denne type kan være økonomisk på dele af liniestrækningerne, hvor en hensigtsmæssig placering af bardunerne er umulig. Dette kan være tilfældet på nogle af de mere vanskelige passager i linierne. En selvbærende konstruktion vil eventuelt også være hensigtsmæssig på de strækninger, hvor direkte fjeldforankring ikke er mulig. Traditionelle pladefundamenter kan således anvendes.

Den selvbærende mastekonstruktion er desuden egnet til afspændingsmaster, idet disse netop ofte er placeret på lokaliteter, hvor bardunarrangementet er vanskeligt.

På figur 3.2.4 er vist en portalmast, en masteudformning, der er meget anvendt i tilsvarende egne i f.eks. Norge.

### 3.3 Montage

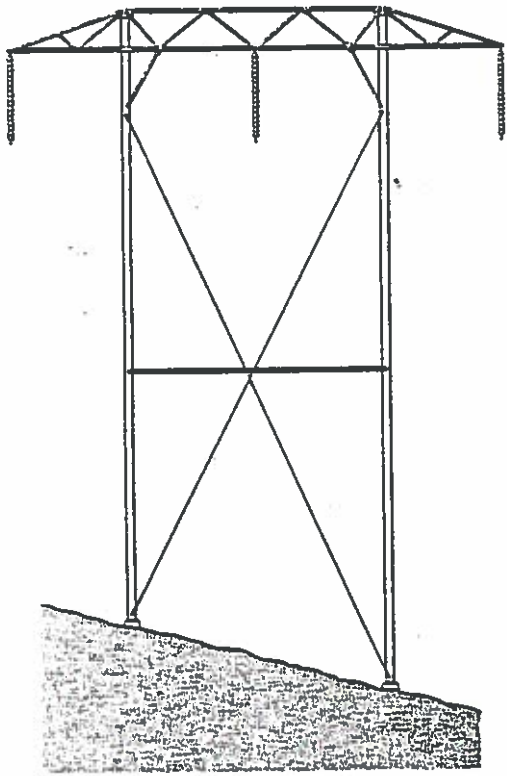
Når delene til masterne ankommer til Grønland, udlægges de i ét eller flere hoveddepoter langs linien. I depoterne kan masterne samles i sektioner, hvis størrelse afpasses den valgte transportform og montagemetode.

Mastevægten er tilstrækkelig lille til, at masterne kan samles fuldt færdige i depoterne og flyves ud i linien med helikopter.

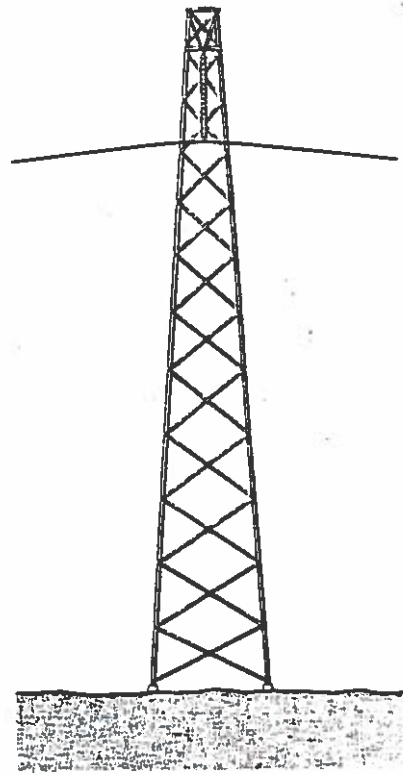
Da helikoptertransport er meget kostbar, kan andre montagemetoder vise sig at være mere økonomiske, specielt på de mindre vanskeligt tilgængelige strækninger af linierne.

Montagen af den fuldt samlede mast kan ligeledes foregå ved brug af helikopter, således at operationen kan gennemføres ved én flyvning pr. mast.

På liniestrækningerne, hvor der er anlagt vej kan masterne køres



Frontbillede. 1:150



Sidebillede. 1:150

**FIG 3.2.4**

til lokaliteterne, mens bådtransport til liniestrækninger tæt ved kysten kan være fordelagtig. Rejsningen af masterne kan da for eksempel foregå ved anvendelse af en let aluminiumsmast, punktformig understøttet og barduneret i 3 eller 4 retninger. Ved midlertidig indspænding af mastefoden kan masten også "stykket op", en montagemetode, der kun kræver et minimum af montagegrej.

Den i Danmark traditionelle rejsningsmetode, hvor masten samles fuldstændigt på terrænet og dernæst vippes på plads ved brug af en hjælpemast, kan ligeledes anvendes, dog forudsat terrænet er rimeligt jævnt.

For at undgå beskadigelse af ledningerne skal trækningen foregå ved en såkaldt jordfri trådtrækning. Ved hjælp af et specialspil trækkes ledningerne over hjul fastgjort i de senere permanente ophængningspunkter. I den anden ende er ledningerne på tromler arrangeret i en bremseanordning, der sørger for det nødvendige modtræk i ledningerne.

Før valg af den mest optimale masteudformning til en konkret højspændingslinie er det nødvendigt at have et indgående kendskab til det aktuelle terræn og funderingsforhold. De forskellige relevante masteudformninger skal detaljeret gennemregnes for de foreskrevne belastninger og sammenlignes med hensyn til vægt, fremstilling, transport og montage. Specielle ønsker vedrørende forøget forsyningssikkerhed kan ligeledes have væsentlig indflydelse på konstruktionsudformningen.

#### 3.4 Vurdering af sikkerhedsforbedringer i transmissionsanlæg

Fælles for de forskellige mulige transmissionslinier i Grønland er, i modsætning til for eksempel i Danmark, at der ikke kan påregnes samkøring mellem to eller flere større vandkraftværker, ligesom brugerne kun forsynes fra et enkelt kraftværk. Fejl på en transmissionslinie kan således medføre bortfald af hele effekten i kortere eller længere perioder. For store industrivirksomheder kan driftstabene ved svigtende elforsyning blive ganske betydelige, hvorfor driftssikkerheden i transmissionsanlæggene må prioriteres meget højt.

I det følgende er undersøgt, hvilke muligheder der kan være realistiske, hvis driftssikkerheden i en transmissionslinie ønskes forøget.

De driftsforstyrrelser, der kan forekomme ved for eksempel overslag mellem faser og mast, faserne indbyrdes eller ved nedsat isolationsevne af isolatorer er normalt kortvarige og af mindre betydning for driftssikkerheden, og en skærpelse af de retningslinier, der normalt lægges til grund vurderes ikke at have større betydning for forøgelse af driftssikkerheden i transmissionsanlægget.

Brud på faseledninger er en ikke ukendt årsag til længere driftsstandsninger i luftledningsanlæg, ligesom havarier af maste-konstruktioner oftest er sket i forbindelse med ledningsbrud. Brud på luftledninger kan opstå på forskellige måder, overbrænding som følge af lynnedslag, korrosion, svigt i samlinger, udmattelsesbrud som følge af vibrationer, mekanisk overlast under ekstreme meteorologiske forhold og lignende.

Kunne fastsættelsen af dimensionerende vind- og islaster i Grønland foretages med samme sandsynligheder for overskridelse som anvendes i Danmark, ville risikoen for ledningsbrud umiddelbart være mindre i grønlandske linier. Dette skyldes primært, at lynnedslag er meget sjældne i Grønland, ligesom klimaet er væsentligt mindre aggressivt med hensyn til korrosion.

Det foreliggende statistiske grundlag i Grønland er dog for ringe til, at en nuanceret og nøjagtig lastfastsættelse kan foretages. Ligeledes kan der i særligt exponerede områder i Grønland forekomme ekstreme meteorologiske forhold, hvorunder lasterne på ledninger og master kun mindre sikkert kan vurderes.

Der er således specielt fokuseret på de sikkerhedsforbedringer, der, foruden en forbedring af det statistiske grundlag, kan reducere risikoen for mekanisk overlast af ledninger og master.

Den mekaniske belastningsreserve i ledningerne kan forøges betydeligt ved at reducere den indbyrdes afstand mellem masterne, eller ved at montere lederne med større nedhæng.

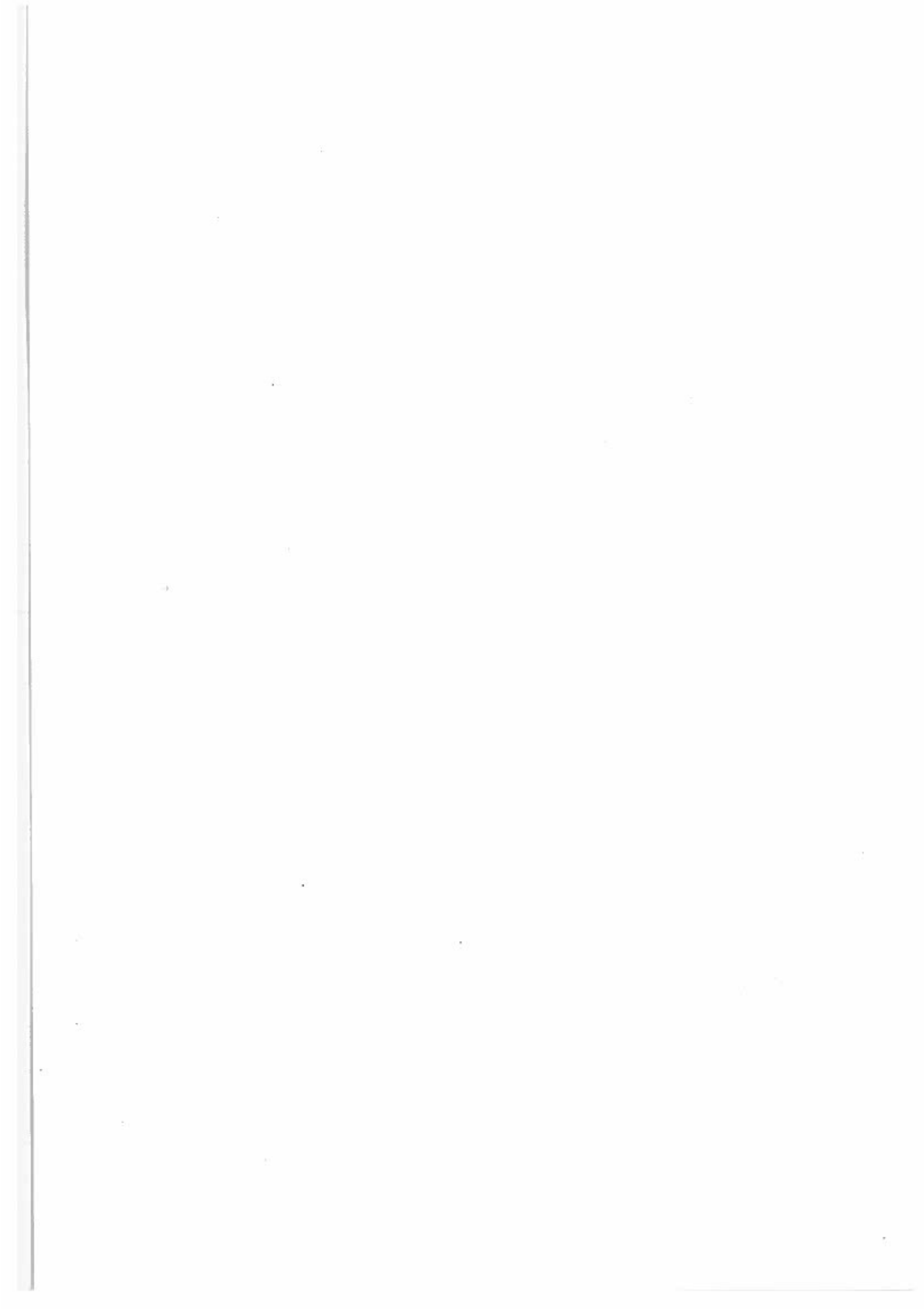
Der kan generelt regnes med en forøget sikkerhed (overdimensionering) i ledninger og mastekonstruktioner end normalt, hvilket kan opnås ved at benytte større partialkoefficienter på laster og ledningsreaktioner. For at begrænse udbredelsen af et eventuelt mastefald i linien bør antallet af afspændingsmaster øges i forhold til det normale antal bestemt af tracéen og hensyn til mon- tagen.

Da der ved ledningsbrud erfaringsmæssigt ofte kun sker brud af en enkelt leder, kan anordning af en reserveleder udover de nødven- dige tre faseledere, bidrage til en forøget forsyningssikkerhed, idet reservefasen kan kobles ind i stedet for den brudte leder. Selv om sandsynligheden for et ledningsbrud selvfølgelig øges, når der indgår flere ledninger i anlægget, giver en ekstra fase en realistisk mulighed for forbedring af forsyningssikkerheden.

En optimal driftssikkerhed kan opnås ved anlæg af to separate linier mellem kraftværket og forbrugssteder. Placeres linierne relativt langt fra hinanden og gennem forskelligt terræn, vil sandsynligheden for bortfald af begge linier i samme periode være forsvindende. Da der under reservedrift kan tillades en større strømbelastning af ledningerne, kan ledertværsnittet nedsættes forhold til det nødvendige tværsnit for en enkelt linie. Under normal drift vil effekttabet ved anordning af to separate linier blive reduceret, hvilket sammenholdt med den meget store forsy- ningssikkerhed, kan pege på denne løsning i særlig vigtige trans- missionslinier.

### 3.5 Fjordkrydsninger

På grund af det relativt store antal fjorde og søer i den syd- vestlige del af Grønland kan det ofte være fordelagtigt at etab- lere en krydsning af disse for at undgå ekstra lange liniestræk- ninger. Således indeholder undersøgte linieføringer fjordkryds- ninger med længde på op til ca. 5 km. Sådanne fjordkrydsninger kan etableres enten som en luftledningskrydsning eller ved søkab- ler placeret på fjordbunden.



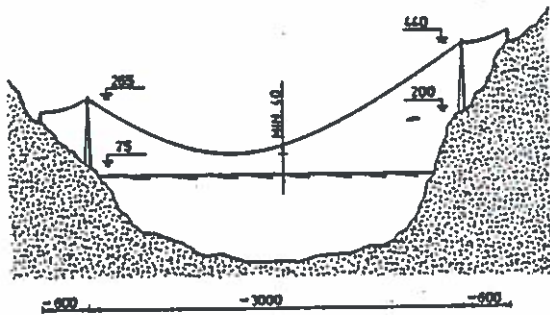
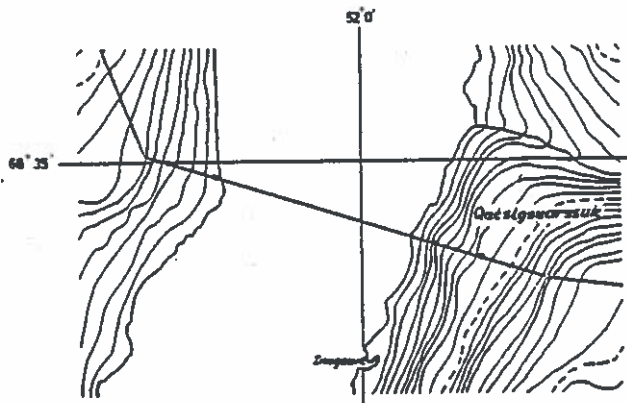
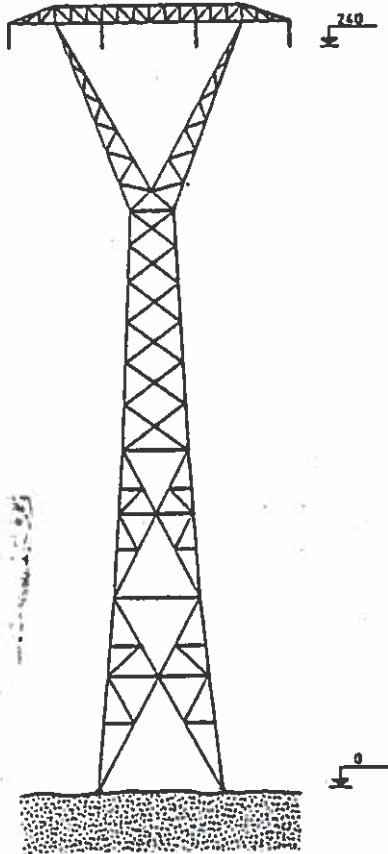
Luftledningskrydsninger med tilsvarende store spændvidder kendes fra mange lande. I Norge er således etableret et ca. 4,9 km langt spænd over Sognefjorden. Over Messina-strædet spænder luftledninger ca. 3,6 km, og i Canada 3,2 km over Kootenay-Søen. Elektricitetsforsyningen til mange af de mindre japanske øer sker ligeledes i forbindelse med luftledningskrydsninger over store afstande.

Søkabelforbindelser over fjorde kræver specialbyggede kabler, hvor der særligt skal tages hensyn til afkølingen af kablet, temperaturbevægelsesproblemer under stort ydre tryk samt beskyttelse mod mekaniske skader. I de grønlandske fjorde, der ofte fryser dybt til om vinteren, skal kablerne ved landingen beskyttes mod iserosion. Denne beskyttelse kan opnås ved at føre kablerne gennem borede kanaler i fjeldet, der udmunder i fjorden i issikker dybde.

Selve udlægningen af større søkabler kræver normalt specielle kabeludlægningsskibe, hvorfor søkabelkrydsninger af større søer normalt ikke foretages.

Valget mellem luftledningskrydsning eller en søkabelkrydsning af en given fjord beror på flere forskellige forhold. Oftest er længden af fjordkrydsningen afgørende for valget - søkabler er gunstigere jo længere krydsningen er, med mindre der kan etableres mellemmaster på naturlige eller kunstige øer i fjorden. Terrænforholdene ved fjordbredderne kan ligeledes influere på valget, idet meget stejle skrænter er gunstige for luftledningskrydsninger, blandt andet på grund af de mindre udgifter til mastekonstruktioner, mens mere fladt terræn ved bredderne kræver højere og mere kostbare mastekonstruktioner. Foruden disse forhold spiller vind- og islaste på luftledningerne, dybde af fjorden, fjordbundens beskaffenhed, strøm- og isforhold i fjorden, liniens driftspænding og overføringseffekt, m.m. en betydelig rolle for valg af fjordkrydsningstype.

Luftledningsanlæg vil således normalt, dels kræve mindre anlægsomkostninger end en krydsning etableret ved søkabler, dels



NOTE:  
 Meter samt  
 ubemærkede mål i m.

FIG 3.5



vurderes driftssikkerheden og specielt reparationsmulighederne ved eventuelle skader at være væsentlig bedre for et luftledningsanlæg. Reparation af skader på søkabler er ofte umulig i hele vinterperioden på grund af tilfrysning af fjorden, og kræver desuden kabelskib til at trække kablet op. Lægning af et reservekabel vil derfor sædvanligvis være nyttig. Før det endelige valg af luftledningskrydsningen foretages, bør der etableres en prøveopstilling til registrering af isbelægninger eventuelt suppleret med en målestation for meteorologiske observationer i området, hvor krydsningen tænkes etableret.

På figur 3.5 er skitseret en opstalt af en foreslået krydsning over Søndre Strømfjord samt en mulig udformning af fjordkrydsningsmasterne. I den viste løsning er foreslået anordning af en reserveledning på selve fjordspændet, hvilket af hensyn til forsyningssikkerheden er fundet rimeligt.

Den styrkemæssige sikkerhed i mastekonstruktioner, ledninger og ledningsarmatur bør være større i fjordkrydsningsanlægget end i den øvrige liniestrækning.

Selvom en luftledningskrydsning af en fjord økonomisk og driftssikkerhedsmæssigt er en søkabelkrydsning overlegen kan andre forhold nødvendiggøre valg af en søkabelforbindelse. Således kan nævnes den undersøgte transmissionslinie i forbindelse med udnyttelsen af vandkraftressourcerne i Johan Dahl Land (2), hvor den mindst 3 gange dyrere søkabelkrydsning af Eriks Fjord vil være nødvendig. En luftledningskrydsning af fjorden vil her betyde en så stor risiko for beflyvningen af lufthavnen i Narssarssuaq, at Statens Lufthavnsvesenet ville forbyde al flytrafik i dårlige vejrforhold.

#### 4. Sammenfatning

De foreløbige studier af mulighederne for anlæg af transmissionslinier i den sydvestlige del af Grønland peger på realistiske luftledningsanlæg, hvor der specielt skal tages hensyn til is- og vindlastforhold, beskyttet beliggenhed, transport- og montagebetingelserne, forhold, der alle er afgørende for anlæggets økonomi og driftssikkerhed. Før en detailprojektering af anlæg i området er det imidlertid nødvendigt at foretage meteorologiske og lastmæssige undersøgelser for herigennem at opnå det bedst mulige dimensioneringsgrundlag.

I nærværende er kun kort behandlet nogle forhold omkring anlæg af luftledningsanlæg. Væsentlig mere uddybede betragtninger om de tekniske og økonomiske muligheder for etablering af transmissionsanlæg i Grønland er behandlet i (1), hvor også de øvrige facetter i anlæggene, såsom isolatorer, ledninger, koblings- og transformieranlæg, transmissionsanlæg baseret på kabler, driftstjeneste, anlægsomkostninger, driftsudgifter, o. lign. er behandlet.

I (2) er behandlet en transmissionslinie på grundlag af en mere tilbundsgående undersøgelse, blandt andet efter en befaring langs linien.

#### 5. Litteratur

- (1): "Grønlands Vandkraft, transmissionsanlæg", maj 1979, Arctic Consultant Group.
- (2): "Johan Dahl Land Vandkraft, Projektskitse for transmissionsanlæg", februar 1980, Arctic Consultant Group.

OVERSIGT OVER RAPPORTER M.M. VEDRØRENDE  
VANDKRAFTUNDERSØGELSER I GRØNLAND  
PR. 30. JUNI 1982.

Udarbejdet i juli 1982 af:

Råstofforvaltningen for Grønland

Hausegade 3, 1128 København K.

Tlf.: 01-136825

Telex nr. 15519 grlres dk.

Tryk: Grønlands tekniske Organisation

ISSN 0107-4997

RÅSTOFFORVALTNINGEN

J.nr. 1474-03-16

30. juni 1982

US/1e

Oversigt over rapporter m.m. vedrørende vandkraftundersøgelser i Grønland pr. 30. juni 1982.

Råstofforvaltningen udsendte i juli 1981 en oversigt over de hidtil udarbejdede rapporter og andet materiale vedrørende vandkraftundersøgelser i Grønland.

Baggrunden herfor var, at omfanget af undersøgelsesaktiviteter vedrørende mulighederne for vandkraftudnyttelse i Grønland i de senere år havde været stadigt stigende, specielt med hensyn til undersøgelser rettet mod mulighederne for energiforsyning af byerne ved hjælp af vandkraft.

I takt hermed var interessen udefra for disse undersøgelser og resultaterne af disse vokset betydeligt, ikke mindst fra de implicerede kommunalbestyrelser og lokalbefolkningen iøvrigt.

I fortsættelse heraf har råstofforvaltningen pr. 30. juni 1982 ajourført og udbygget denne oversigt over det hidtil udarbejdede rapportmateriale.

Oversigten indeholder i de første tre afsnit en angivelse af det rapportmateriale vedrørende vandkraft i Grønland, som er udarbejdet i offentligt regi, d.v.s. af Grønlands tekniske Organisation, Grønlands Geologiske Undersøgelse og Grønlands Fiskeriundersøgelser (afsnit I-III).

Endvidere er der angivet en række rapporter vedrørende vandkraft og energi iøvrigt i Grønland, som er udarbejdet af andre (afsnit IV).

Det angivne rapportmateriale er tilgængeligt for alle interesserede institutioner og enkeltpersoner. Størstedelen af materialet foreligger imidlertid i små oplag, og det er derfor nødvendigt, at udlevering af de anførte rapporter m.m. foretages på lånebasis.

Som supplement hertil er der endvidere udarbejdet en oversigt over de dokumenter vedrørende vandkraft, som har været forelagt for

fællesrådet vedrørende mineralske råstoffer i Grønland og som er frigivet af dette (afsnit V). Dette materiale, som foreligger både på dansk og grønlandsk, vil kunne indhentes uden at skulle tilbageleveres.

Det materiale, som er nævnt i oversigten, vil kunne indhentes ved henvendelse til:

RÅSTOFFORVALTNINGEN, Ministeriet for Grønland, Hausergade 3, 1128 København K. (tlf. 01-136825).

GRØNLANDS TEKNISKE ORGANISATION, Direktoratet, Hauser Plads 20 1127 København K. (tlf. 01-138472).

GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE, Øster Voldgade 10, 1350 København K. (tlf. 01-118866).

GRØNLANDS FISKERIUNDERSØGELSER, Tagensvej 135, 2200 København N. (tlf. 01-854444).

I. Rapporter vedrørende vandkraft i Grønland udarbejdet af eller på foranledning af Grønlands tekniske Organisation (GTO) pr. 30. juni 1982.

1. "Lokalisering af vandkraftressourcer på Grønlands vestkyst" (februar 1975), udarbejdet for GTO af Arctic Consultant Group og Vattenbyggnadsbyrå.
2. "Memorandum - kommentarer til rapporten om lokalisering af vandkraftressourcer" (december 1975), udarbejdet for GTO af Pihl & søn A/S.
3. "Forundersøgelsesrapport vandkraft 1975", udarbejdet af GTO.
4. "Forundersøgelsesrapport vandkraft 1976", udarbejdet af GTO.
5. "Forundersøgelsesrapport vandkraft 1977", udarbejdet af GTO.
6. "Grønlands vandkraft - produktionsomkostninger og afsætningsmuligheder" (januar 1978), udarbejdet for "vandkraftgruppen" (GTO, Kryolitselskabet Øresund, Danish Arctic Contractors og Arctic Consultant Group) og Vattenbyggnadsbyrå.
7. "Bilag: Aktivitetsbeskrivelser" til rapporten "Grønlands vandkraft - produktionsomkostninger og afsætningsmuligheder" (januar 1978), udarbejdet for "vandkraftgruppen" (GTO, Kryolitselskabet Øresund, Danish Arctic Contractors og Arctic Consultant Group) af Arctic Consultant Group og Vattenbyggnadsbyrå.
8. "Resumé" af rapporten "Grønlands vandkraft - produktionsomkostninger og afsætningsmuligheder" (januar 1978), udarbejdet for "vandkraftgruppen" (GTO, Kryolitselskabet Øresund, Danish Contractors og Arctic Consultant Group) af Arctic Consultant Group og Vattenbyggnadsbyrå.
9. "Grønlands vandkraft - vilkår for vandkraftleverancer i andre lande" (februar 1978), udarbejdet for "vandkraftgruppen" (GTO, Kryolitselskabet Øresund, Danish Arctic Contractors og Arctic Consultant Group) af Arctic Consultant Group og Vattenbyggnadsbyrå.
10. "Forundersøgelsesrapport vandkraft 1978", udarbejdet af GTO.
11. "Extract of preliminary investigations for hydro power in Greenland 1978", udarbejdet af GTO.
12. "Grønlands vandkraft - byforsyning - lokalisering af vandkraftressourcer" (maj 1979, revideret august 1981), udarbejdet for GTO af Arctic Consultant Group.

- rapport fra besøg ved Katlavatn og Langavatn dæmningerne, Aurland, Norge" (august 1981).
38. "Vandkraftværk Taseq, Narssaq - dispositionsforslag" (oktober 1981, revideret december 1981), udarbejdet for GTO af Arctic Consultant Group, Vattenbyggnadsbyrån og ingeniørfirmaet P.A. Pedersen.
  39. "Vandkraftværk Taseq, Narssaq - dispositionsforslag - sammenfatning" (november 1981), udarbejdet af GTO og GF. Rapporten foreligger tillige i oversættelse til grønlandsk.
  40. "Angmagssalik - forundersøgelser for vandkraft i 1980" (november 1981), udarbejdet af GTO.
  41. "Egedesminde/Christianshåb, Jakobshavn, Godhavn - forundersøgelser for vandkraft i 1980" (december 1981), udarbejdet af GTO.
  42. "Qapiarfiup Sermia, Sukkertoppen - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (december 1981), udarbejdet af GTO.
  43. "Tasiussarssuk, Nanortalik - hydrologi - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (december 1981), udarbejdet af GTO.
  44. "Redekammen, Julianehåb - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (december 1981), udarbejdet af GTO.
  45. "Vandkraftværk Taseq, Narssaq - projektforslag, 1. etape" (december 1981), udarbejdet for GTO af Arctic Consultant Group, Vattenbyggnadsbyrån og ingeniørfirmaet P.A. Pedersen.
  46. "Grønlands vandkraft - projektskitse for vandkraftanlæg ved Paakitsup Akuliarusersua, Jakobshavn" (december 1981), udarbejdet for GTO af Viemose & Spile og Norsk Vandbygningskontor.
  47. "Grønlands vandkraft - projektskitse for vandkraftanlæg ved Buksefjord, Godthåb" (december 1981), udarbejdet for GTO af Viemose & Spile og Norsk Vandbygningskontor.
  48. "Grønlands vandkraft - projektskitse for vandkraftværk ved Qapiarfiup Sermia, Sukkertoppen" (december 1981), udarbejdet for GTO af Højgaard & Schultz A/S og Pihl & søn A/S.
  49. "Grønlands vandkraft - projektskitse for vandkraftværk ved Qordlortoq & SØ 102/168 ved Angmagssalik" (december 1981), udarbejdet for GTO af Højgaard & Schultz A/S og Pihl & søn A/S.
  50. "Grønlands vandkraft - projektskitse for vandkraftværk ved Redekammen, Julianehåb" (december 1981), udarbejdet for GTO af Arctic Consultant Group og Vattenbyggnadsbyrån.



51. "Grønlands vandkraft - transmissionslinier - indledende arbejder vedrørende mekaniske normer" (januar 1982), udarbejdet af GTO.
52. "Grønlands vandkraft - konsekvensvurdering vedrørende energiforsyning i Narssaq baseret på elforsyning fra vandkraftanlæg ved Taseq" (januar 1982), udarbejdet for GTO af ingeniørfirmaet P.A. Pedersen.
53. "Jakobshavn - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (januar 1982), udarbejdet af GTO.
54. "Vandkraft - bynære anlæg - redegørelse for undersøgelser 1980-81" (januar 1982), udarbejdet for råstofforvaltningen af GTO og GF. Rapporten resumerer resultaterne af de vandkraftundersøgelser, som er gennemført i perioden 1980-81. Rapporten foreligger tillige i oversættelse til grønlandsk samt til engelsk.
55. "Qapiarfiup Sermia, Sukkertoppen - hydrologi - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (februar 1982), udarbejdet af GTO.
56. "Godhavn - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (februar 1982), udarbejdet af GTO.
57. "Vandkraft - bynære anlæg - tunnelboring" (februar 1982), udarbejdet af GTO.
58. "Egedesminde - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (marts 1982), udarbejdet af GTO.
59. "Taseq, Narssaq - hydrologi - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (marts 1982), udarbejdet af GTO.
60. "Iterlaa, Frederikshåb - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (marts 1982), udarbejdet af GTO.
61. "Grønlands vandkraft - projektskitse for vandkraftanlæg ved Paakitsup Sarfaa, Jakobshavn" (marts 1982), udarbejdet for GTO af Viemose & Spile og Norsk Vandbygningskontor.
62. "Taseq, Narssaq - anlægsteknik - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (april 1982), udarbejdet af GTO.
63. "Iterlaa, Frederikshåb - forundersøgelser for vandkraft i 1980" (maj 1982), udarbejdet af GTO.
64. "Holsteinsborg - anlægsteknik - forundersøgelser for vandkraft i 1980" (maj 1982), udarbejdet af GTO.
65. "Holsteinsborg - hydrologi - forundersøgelser for vandkraft i 1980-81" (maj 1982), udarbejdet af GTO.

66. "Buksefjord, Godthåb - hydrologi - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (juni 1982), udarbejdet af GTO.
67. "Buksefjord, Godthåb - anlægsteknik - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (juni 1982), udarbejdet af GTO.
68. "Johan Dahl Land, Narssaq - forundersøgelser for vandkraft i 1981" (juni 1982), udarbejdet af GTO.

De ovennævnte rapporter vil kunne lånes ved henvendelse til GI eller råstofforvaltningen.

II. Rapporter vedrørende vandkraft i Grønland udarbejdet af eller på foranledning af Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) pr. 30. juni 1982.

1. "Vandkraft i Grønland - perspektiver og problemer" (1977), udarbejdet af GGU (særtryk af tidsskriftet Grønland).
2. "Hydrologiske bassiner i Vestgrønland" (december 1978), udarbejdet af GGU.
3. "Glaciological investigations in Johan Dahl Land 1978" (december 1978), udarbejdet af GGU.
4. "Hydrological basins in West Greenland" (1980), udarbejdet af GGU som GGU-rapport nr. 94.
5. "Regional modelling of ablation in West Greenland" (1980), udarbejdet af GGU som GGU-rapport nr. 98.
6. "Glaciologiske undersøgelser i Johan Dahl Land 1979" (april 1980), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 80/1.
7. "Report on a visit to GGU station Nordbogletscher Johan Dahl Land, Greenland, July 17 to 23, 1980" (juli 1980); udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 80/2.
8. "Preliminary assessment of runoff conditions for Motzfeldt Sø, Southern West Greenland" (oktober 1980), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 80/3.
9. "Glaciologiske undersøgelser i Johan Dahl Land i 1980" (januar 1981), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 81/1.
10. "Remarks on the Johan Dahl Land hydropower project in the light of recent model calculations" (april 1981), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 81/2.
11. "Estimation of runoff conditions in the Taseq area near Narssaq, South Greenland" (maj 1981), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 81/3.
12. "Glacier inventory - West Greenland 63°-64°N." (1981), udarbejdet af GGU og Geologisk Institut, Århus Universitet, som Geoskrifter nr. 14.
13. "Glaciologiske undersøgelser i Johan Dahl Land i 1981" (marts 1982), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 82/1.

14. "Glaciological investigations at Qamanarssup sermia - field report 1979-1981 and Appendix tables" (marts 1982), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 82/2.
15. "Recent glaciological work in Greenland in connection with development of hydropower - manuscript of paper presented to the Fourth Northern Research Symposium in Ullensvang, Norway" (marts 1982), udarbejdet af GGU som Gletscher-hydrologiske meddelelser nr. 82/3.

De ovennævnte rapporter vil kunne lånes ved henvendelse til GGU eller råstofforvaltningen.

III. Rapporter vedrørende vandkraft i Grønland udarbejdet af eller på foranledning af Grønlands Fiskeriundersøgelser (GF) pr. 30. juni 1982.

1. "Vandkraft i Grønland - miljøeffekter" (december 1979), udarbejdet af GF. Rapporten indeholder bilaget "Skitse til miljøundersøgelser vedrørende vandkraftprojektet i Johan Dahl Land" (december 1979).
2. "Miljømæssig vurdering af dispositionsforslag til vandkraftværk Taseq, Narssaq" (november 1981), udarbejdet af GF.
3. "Vandkraftværk Taseq, Narssaq - dispositionsforslag - sammenfatning" (november 1981), udarbejdet af GTO og GF. Rapporten foreligger tillige i oversættelse til grønlandsk.
4. "Ferskvandsbiologiske undersøgelser i Narssaq Elv, 1981" (december 1981), udarbejdet for GF af konsulentfirmaet Bioconsult.
5. "Vandkraft - bynære anlæg - redegørelse for undersøgelser 1980-81" (januar 1982), udarbejdet for råstofforvaltningen af GTO og GF. Rapporten resumerer resultaterne af de vandkraftundersøgelser, som er gennemført i perioden 1980-81. Rapporten foreligger tillige i oversættelse til grønlandsk samt til engelsk.
6. "Fjeldørredundersøgelser i Narssaq Elv, 1981" (maj 1982), udarbejdet af GF.

De ovennævnte rapporter vil kunne lånes ved henvendelse til GF eller råstofforvaltningen.

V. Dokumenter vedrørende vandkraft i Grønland udarbejdet til fællesrådet vedrørende mineralske råstoffer i Grønland pr. 30. juni 1982.

Møderne den 20.-24. juni 1980 i Marmorilik og Søndre Strømfjord:

- Dok. 19/80: Orientering om Greenex' undersøgelser af mulighederne for at omlægge energiforsyningen fra olie til vandkraft eller kul.
- Dok. 37/80: Drøftelse af vandkraftundersøgelser rettet mod bynære bassiner.
- Dok. 38/80: Orientering om Kryolitselskabet Øresunds undersøgelser af mulighederne for etablering af en aluminiumindustri ved Holsteinsborg med energiforsyning fra et vandkraftanlæg ved Tasersiaq.
- Dok. 45/80: Orientering om forundersøgelser- og efterforskningsaktiviteter vedrørende mineralske råstoffer i sommeren 1980 i Grønland (især afsnit 3).

Mødet torsdag den 29. januar 1981 i København:

- Dok. 3/81: Orientering om status for vandkraftundersøgelser rettet mod bassiner til energiforsyning af byer samt om resultatet af ansøgningen til EF om støtte hertil.
- Dok. 4/81: Kryolitselskabet Øresunds undersøgelse af mulighederne for etablering af en aluminiumindustri ved Holsteinsbo baseret på energiforsyning fra et offentligt etableret vandkraftanlæg ved Tasersiaq.
- Dok. 12/81: Undersøgelse vedrørende Johan Dahl Land-vandkraftundersøgelserne og disses sammenhæng med Kvanefjeld-projektet.

Mødet fredag den 19. juni 1981 i København:

- Dok. 17/81: Orientering om forundersøgelser- og efterforskningsaktiviteter

viteter vedrørende mineralske råstoffer og vandkraft i 1981 i Grønland (især afsnit 4).

Dok. 18/81: Drøftelse af de intensiverede vandkraftundersøgelser i Johan Dahl Land-området, disses sammenhæng med Kvane-fjeldundersøgelserne, samt af en eventuel videreførelse af disse vandkraftundersøgelser.

Mødet torsdag den 24. september 1981 i Godthåb:

Dok. 33/81: Orientering om udarbejdelse af et undersøgelsesprogram 1982-83 vedrørende mulighederne for vandkraftudnyttelse ved mindre, bynære bassiner samt om fremsendelse af ansøgning til EF's regionale fond om støtte hertil.

Mødet mandag den 19. april 1982 i København:

Dok. 7/82: Orientering om status for undersøgelserne vedrørende mulighederne for vandkraftudnyttelse ved bynære bassiner i Grønland.

Mødet torsdag den 13. maj 1982 i København:

Dok. 30/82: Fremsendelse af ansøgning til EF's regionale fond om et yderligere tilskud til undersøgelsesprogrammet 1980-81 vedrørende mulighederne for vandkraftudnyttelse ved bynære bassiner i Grønland.

Mødet mandag den 26. juli 1982 i Mestersvig.

Dok. 31/82: Orientering om forundersøgelser- og efterforskningsaktiviteter vedrørende mineralske råstoffer og vandkraft i 1982 i Grønland (især afsnit 4). Dokumentet, som vil blive forelagt for fællesrådet på det ovennævnte møde, er på grund af dets aktuelle karakter udsendt i maj 1982.

De ovennævnte dokumenter vedrørende vandkraft i Grønland indgår i den del af fællesrådets mødemateriale, som rådet har besluttet at frigive til offentliggørelse.

Endvidere henvises til fællesrådets årsberetninger for 1979-80, 1980-81 og 1981-82. Den sidstnævnte årsberetning ventes udsendt i august 1982.

Årsberetningerne og de ovennævnte dokumenter foreligger på dansk og grønlandsk.

Materialet vil kunne indhentes ved henvendelse til råstofforvaltningen.