

VANDKRAFT I GRØNLAND - MILJØEFFEKTER

af

Bo Christensen

Grønlands Fiskeriundersøgelser

December 1979

VANDKRAFT I GRØNLAND - MILJØEFFEKTER

af

Bo Christensen

Grønlands Fiskeriundersøgelser

December 1979

VANDKRAFT I GRØNLAND - MILJØEFFEKTER

<u>INDHOLDSFORTEGNELSE</u>	<u>SIDE</u>
SAMMENFATNING	1
1. INDLEDNING	2
2. GENERELT OM VANDKRAFT OG MILJØ	3
3. GRØNLANDSKE VANDKRAFTPROJEKTER	4
4. MILJØEFFEKTER AF VANDKRAFTPROJEKTER	7
4.1. Anlægsarbejder	7
4.2. Reservoirer	10
4.3. Nedenstrømseffekter	16
4.3.1. Vandløb og søer	16
4.3.2. Enge og deltaer	18
4.3.3. Fjorde	18
4.4. Transmissionslinier	21
5. AFBØDNING AF UØNSKEDE MILJØEFFEKTER	22
6. MILJØUNDERSØGELSER I FORBINDELSE MED VANDKRAFTPROJEKTER	24
6.1. Generelt	24
6.2. Projektundersøgelser	25
6.3. Langsigtede undersøgelser	25
7. REFERENCER	28

SAMMENFATNING

Rapporten giver en generel behandling af de forventede miljømæssige konsekvenser af udnyttelsen af Grønlands vandkraftressourcer. Virkningerne på miljøet vil bl.a. omfatte oversvømmelser af enge, græsningsarealer og vandringsveje; øget erosion og sedimentation; vegetationsændringer; forstyrrelse af landskabsbilledet gennem anlægsarbejder, transmissionslinier og veje; nedsat produktion af fjeldørred; ændrede isforhold og ændrede hydrografiske forhold i fjorde. Disse miljøeffekter kan berøre interesser i forbindelse med jagt, fiskeri, renavl, fårehold, naturfredning, kulturmindesmærker, rekreation og turisme. I visse tilfælde kan nogle uønskede miljøændringer afbødes gennem projektmodifikationer og kompenserende foranstaltninger så som landskabspleje, fisketrapper, mindste-vandføring og grunddamme.

Rapporten understreger, at omfanget af miljøeffekterne, deres betydning samt mulighederne for at afbøde uønskede effekter kun kan vurderes i det enkelte projekt, og det er meget væsentligt, at de nødvendige undersøgelser gennemføres allerede under den foreløbige projektering, således at resultaterne kan indgå i beslutningsprocessen og i den endelige projektering. Sådanne projektundersøgelser må indeholde en vurdering af de berørte miljømæssige interesser, en analyse af konsekvenserne af det pågældende projekt samt eventuelle forslag til modifikationer.

Rapporten påpeger desuden betydningen af et miljømæssigt overvågningsprogram igangsat flere år før anlægsarbejderne påbegyndes, idet man på grundlag af sådanne "før-efter-undersøgelser" langt mere præcist vil kunne forudsige virkningerne af eventuelle senere projekter i Grønland. Disse undersøgelser bør senest iværksættes, når der træffes principbeslutning om bygningen af et givet projekt.

I rapporten er alene behandlet de miljømæssige følger af anlæggelse og drift af vandkraftanlæg og ikke de mulige virkninger af eventuelle energikrævende følgeindustrier, f.eks. mineindustri, aluminiumsindustri eller ammoniakfremstilling.

1. INDLEDNING

Referencegruppen vedrørende vandkraft i Grønland, der er etableret af Råstofforvaltningen for Grønland og består af repræsentanter for denne, Grønlands Tekniske Organisation (GTO), Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) og Grønlands Fiskeriundersøgelser (GF), besluttede på sit møde den 6. juli 1979, at GF skulle udarbejde en oversigt over miljøproblemer i forbindelse med etablering af vandkraft i Grønland. Det blev pålagt cand. scient. Bo Christensen at løse denne opgave under et vikariat ved GF i perioden oktober-december 1979.

Nærværende rapport er et resultat af dette arbejde. Den indeholder en oversigt over mulige effekter på miljøet af udnyttelse af Grønlands vandkraft, en beskrivelse af mulighederne for at afbøde uønskede miljømæssige virkninger, samt forslag til videre miljøundersøgelser. Udredningen behandler kun selve udnyttelsen af vandkraft til produktion af elektricitet, og alene af tidsmæssige grunde har det ikke været muligt at komme ind på problemerne i forbindelse med følgeindustrier. Miljøproblemerne ved følgeindustrier kan ikke beskrives generelt, idet de vil være forskellige fra industri til industri. De industrier, der har været på tale i Grønland, er minevirksomhed samt aluminium- og ammoniakindustri, og såfremt der udarbejdes planer for nogle af disse industrier, vil der være behov for at iværksætte særlige miljøundersøgelser.

Det er forsøgt at inddrage så mange aspekter som muligt, og der har ikke i alle tilfælde været tid til at vurdere, hvor stor betydning de pågældende effekter vil have i Grønland. Det afhænger naturligvis også af de lokale forhold ved det enkelte projekt. Rapporten er derfor først og fremmest et "problemkatalog", der kan danne grundlag for det videre arbejde. Behandling er så vidt muligt gjort systematisk, omend det har medført visse gentagelser.

Rapporten er baseret på de foreliggende tekniske studier af mulighederne for at etablere vandkraftanlæg i Grønland samt på internationale erfaringer med hensyn til de miljømæssige virkninger. Her har især norske og svenske undersøgelser haft stor værdi, men der er også inddraget materiale fra Canada, Finland, Island, USA og USSR. Man må formode, at vandkraftprojekter i Grønland i de fleste henseender vil have lignende miljømæssige virkninger som i de nævnte lande, men det bør dog nævnes, at stabiliserende processer generelt forløber langsommere under arktiske forhold, og at økosystemerne her er relativt simple og mere følsomme end i et tempereret klima.

2. GENERELT OM VANDKRAFT OG MILJØ

Vandkraft har mange fordele frem for andre energikilder. Den er vedvarende, indenlandsk, driftsikker, let at regulere, har lave driftsomkostninger og den udsender ikke sundhedsfarlige stoffer til omgivelserne. Af ulemper kan nævnes et absolut loft over produktionen, en vis usikkerhed grundet naturlige variationer i nedbør, oftest lange transmissionslinier og betydelige effekter på miljøet. Hertil kan komme væsentlige sociale og politiske aspekter.

Ved flere store vandkraftprojekter har man konstateret en lang række meget alvorlige miljømæssige virkninger (se f.eks. Stanley & Alpers, 1975; Lowe-McConnell, 1966; Biswas & Biswas, 1976; El-Shamy, 1977; Obeng, 1977; Balon, 1978). Et berømt eksempel er Aswan-dæmningen i Egypten. Her fanges store mængder sedimenter og næringssalte i reservoiret, hvilket har betydet en katastrofe for sardin fiskeriet ud for deltaet. Desuden er behovet for kunstgødning vokset stærkt, fordi markerne nu ikke længere regelmæssigt beriges med slam fra Nilen, og der er opstået sanitære problemer, fordi kloakkerne mangler den årlige "udskylning". Hertil kommer øgede salinitetsproblemer for landbruget i deltaet, fordi det salte bundvand trænger længere op. Vandkraftprojekter ledsages desuden ofte af stærkt øget hyppighed af bilharzia, malaria, flodblindhed og andre vandbårne infektionssygdomme. Befolkningmæssige katastrofer er også almindelige, hvor det har været nødvendigt at evakuere op til 100.000 personer fra områder, som skulle oversvømmes.

Sådanne store miljømæssige problemer kendes ikke i Skandinavien, og der synes ikke i tempererede eller arktiske områder at være egentlige sundhedsmæssige problemer forbundet med vandkraftprojekter. Det skyldes især de andre naturforhold, men anlæggenes mindre størrelse, de andre sociale forhold og den omstændighed, at projekterne er anlagt i tyndt befolkede områder har også betydning. Det betyder dog ikke, at de miljømæssige problemer her er uvæsentlige, og de har været genstand for stor opmærksomhed. Af særlig interesse har her været fredningsmæssige og naturbeskyttelses-synspunkter, ferskvandsfiskeriets interesser og områdernes betydning for renavl, jagt og de etniske minoriteters levevis.

3. GRØNLANDSKE VANDKRAFTPROJEKTER

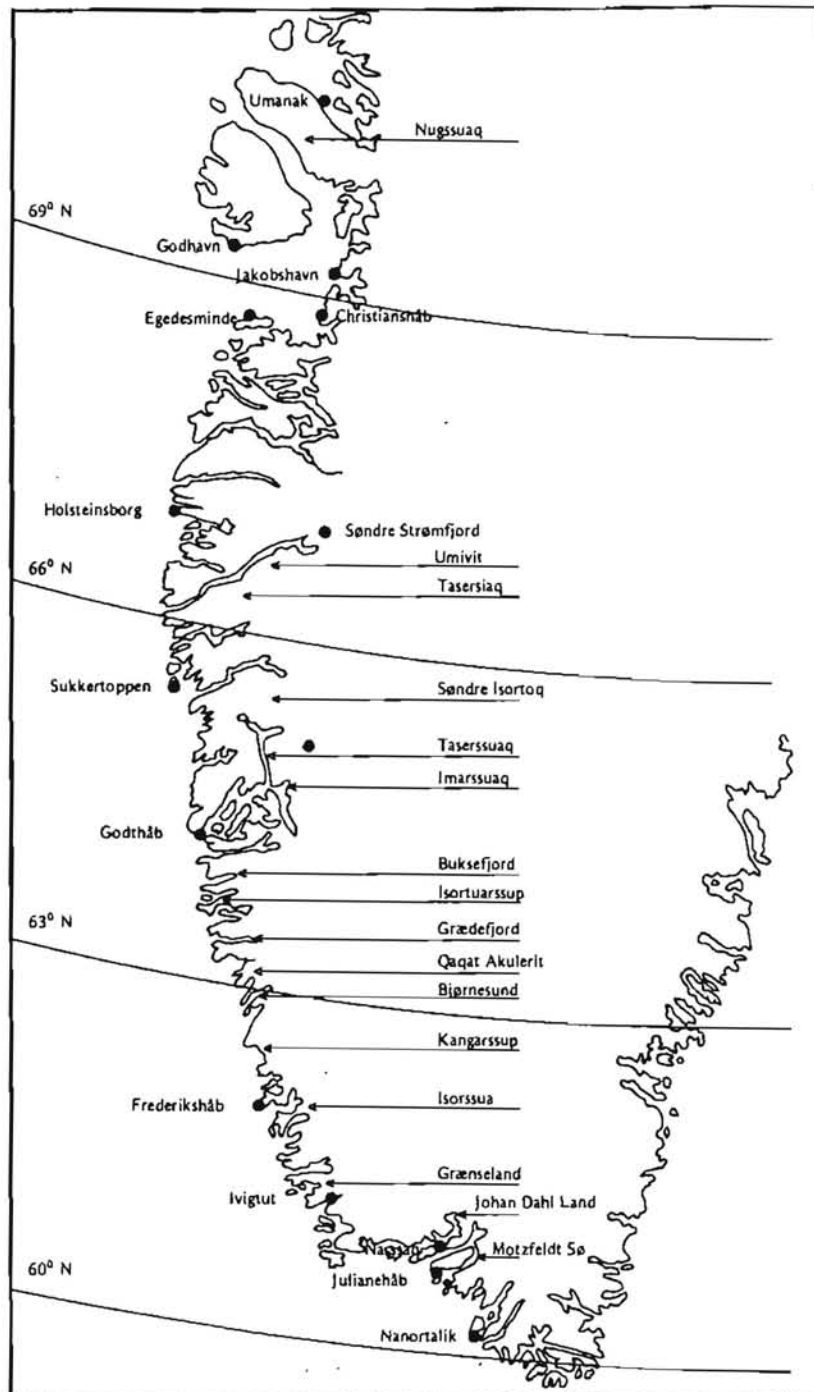
Der har været fremsat forslag om tre typer vandkraftprojekter i Grønland, nemlig: mindre anlæg til byforsyning, mellemstore anlæg til minedrift, eventuelt i kombination med byforsyning, og større anlæg i forbindelse med energiintensive industrier (Olesen & Weidick, 1977). Eksempler på sådanne mulige følgeindustrier er produktion af aluminium, ferrosilicium og ammoniak. Af disse synes produktion af aluminium at have den største samfundsøkonomiske værdi (ACG/VBB, 1978). Ydermere er der fremkommet mere fantasifulde forslag til udnyttelse af Indlandsisens afsmeltning i stor skala og energitransport til Nordamerika eller Europa (Bach & Taagholt, 1976; Partl, 1978)

"Lokaliseringsrapporten" (ACG/VBB, 1975) behandler 16 bassiner på Grønlands vestkyst, som muligvis kunne udnyttes til produktion af vandkraft (fig.1). Der tages dog en række forbehold, og også fra anden side understreges behovet for grundige hydrologiske og glaciologiske undersøgelser (GGU, 1978). Disse forhold skal ikke behandles her, og nedenævnte data er kun medtaget for at give et indtryk af størrelsen af de foreslåede projekter.

I alle 16 projekter udnyttes en eller flere eksisterende søer til reservoir, hvorfra vandet ledes gennem en tunnel til kraftværket, som er indsprængt i fjeldet. De fleste projekter modtager den væsentligste vandmængde som smeltevand fra Indlandsisen. Da afsmeltningsperioden kun er ca. tre måneder, kræves der ret store magasinvolumener. Disse opnås i nogle tilfælde ved at sænke vandstanden i den eksisterende sø, i nogle tilfælde ved at hæve den ved dæmningsbygning, og i atter andre tilfælde ved kombinationer heraf.

Tabel 1. Oversigt over 16 vandkraftprojekter (baseret på ACG/VBB, 1975)

Projekt	Distrikt	Forventet produktion GWh/år	Reservoir		
			Areal km ²	Nuværende kote m.o.h.	Regulerings interval m
Motzfeldt sø	NRQ	110	24	130	22
Johan Dahl land	NRQ	370	10	660	30
Grænseland	FRH	460	10	530	35
Isorssua	FRH	580	38	740	11
Kangarssup	FRH	540	74	210	29
Bjørnesund	GHB	390	6	687-724	24
			5	712	19
Qaqat akulerit	GHB	390	22	469	25
			14	584	23
Grædefjord	GHB	860	23	448	17
			15	348	15
Isortuarssup	GHB	960	60	450	22



Figur. 1. Placering af mulige traditionelle vandkraftværker i Grønland (GTO, 1975, her efter Bach & Taagholt, 1976).

Tabel 1 fort.

Projekt	Distrikt	Forventet produktion GWh/år	Reservoir		
			Areal km ²	Nuværende kote m.o.h.	Regulerings interval m
Isortuarssup	GHB	960	60	450	22
Buksefjord	GHB	120	70	252	4
Imarssuaq	GHB	1230	90	677	13
Taserssuaq	GHB	390	190	60	15
Søndre Isortoq	SKT	880	63	488	16
Tasersiaq	SKT	2100	99	660	25
Umivit	SKT	690	70	312	21
Nugssuaq	JAK	100	65	270	4

Visse af projekterne udnytter flere søer samtidig, forbinder disse med tunneler eller kanaler og ændrer vandstanden i nogle af dem for herved at lede vand fra et naturligt hydrologisk bassin til et andet (overledning). Vandet ledes i de fleste tilfælde direkte fra kraftværket ud i en fjord, men i nogle projekter dog til et eksisterende vandløb. Ofte ledes vandet ud i en anden fjord, end den hvor til det ellers ville være løbet.

Da topografien af de fleste mulige reservoirer endnu ikke er kortlagt, er det ikke muligt at skønne hvor store arealer, der vil blive skiftevis vanddækkede og tørlagte. Nogle søbredder er ret stejle, men i et tilfælde (Taserssuaq, GHB) påtænker man at oversvømme en slette på 50 km² ved periodevis at øge vandstanden fra kote 60 til kote 75. Gletschertunger munder ud i mange af de påtænkte reservoirer, og i et tilfælde (Kangarssup, FRH) vil man sænke vandstanden i det isstemmede reservoir med 50 m for at forhindre, at det tømmes under isen. De nævnte 16 projekter har et gennemsnitligt reservoirareal på 59 km² (10-190 km²) og reguleringsintervaller på 4-35 m (tabel 1).

GTO har senere udpeget flere projektmuligheder og har påbegyndt forundersøgelser i en del tilfælde. Disse er ikke behandlet samlet i det foreliggende materiale, og det skal her blot anføres, at et af disse, Påkitsoq, Jakobshavn, afviger ved at benytte en fjord med snæver munding til reservoir. Det nødvendige reservoirvolumen påregnes her opnået alene ved opstemning af fjorden.

4. MILJØEFFEKTER AF VANDKRAFTPROJEKTER

Nedenstående oversigt over miljøeffekter af vandkraftanlæg er nødvendigvis af temmelig generel art, og kun en nærmere vurdering af det enkelte projekt kan afgøre, hvor stor betydning de pågældende effekter må skønnes at få i det konkrete tilfælde. Det vil afhænge af de naturgivne forhold, af anlæggets udformning og af områdets betydning for jagt, fiskeri, rekreation etc.

Nogle af de vigtigste miljøeffekter af et typisk grønlandsk vandkraftprojekt er i oversigtsform angivet i figur 2. Man kan skelne mellem virkninger, der optræder oven for og neden for dæmningen, mellem forbigående og permanente effekter, og mellem anlægs- og driftsfase. Det er fundet hensigtsmæssigt neden for at diskutere miljøeffekterne i følgende afsnit: 1. anlægsarbejder, 2. reservoirer, 3. nedenstrømseffekter og 4. transmissionslinier.

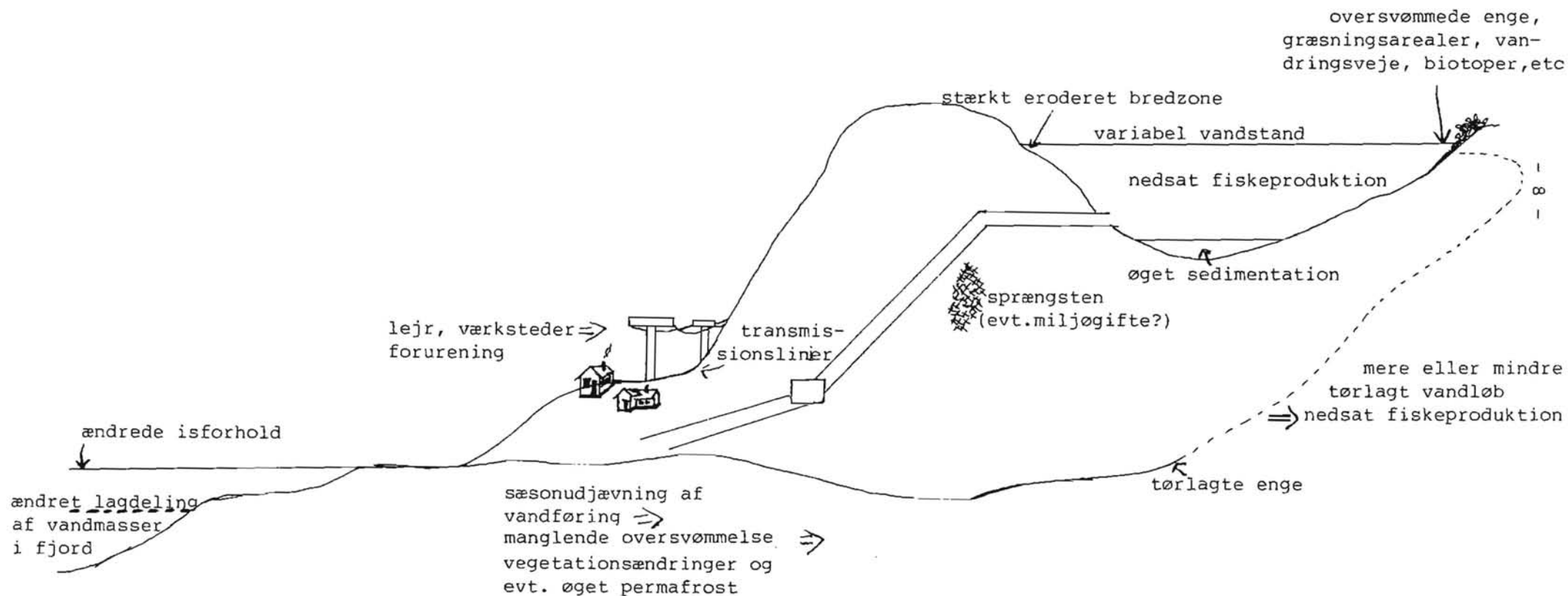
4.1. Anlægsarbejder

Anlægsarbejderne omfatter bygning af havn, heliport, veje, tunneler, kraftstation, eventuelle dæmninger og eventuelle kanaler. Der skal desuden bygges værksteder og anlægges en lejr med de nødvendige faciliteter til at betjene 150-200 mand i ca. 3½ år (Bjørnesund Kraftanlæg, ACG/VBB, 1975). Endelig skal der etableres oplagspladser for sten, grus, sand og andet materiale. Disse indgreb er ikke væsentlig forskellige fra dem, man kender i Grønland i forbindelse med f.eks. minedrift. Nogle af miljøeffekterne heraf (de fleste) er uundgåelige, men andre kan i en vis udstrækning afbødes gennem omhyggelig planlægning, forureningsbekæmpelse og landskabspleje (Kap.5).

Tabel 2. Miljøeffekter af anlægsarbejder

Aktivitet	Miljøeffekt
skibsfart	forstyrrer havpattedyr og jagt (motorstøj, isbrydning) olieforurening
lejranlæg	landskabsforstyrrende
lejrdrift	affalds- og renovationsproblemer, husspildevand oliespild, olieholdigt spildevand fra værksteder etc. evt. jagt
vejbygning	landskabsforstyrrende
tunnelboring	erosion, sedimentation
dæmningsbygning	tilslamning fra betonblandeværk og tunnelboring udvaskning af miljøgifte fra sprængsten og tunnelboring forurening med kvælstofforbindelser fra sprængstof

Figur 2. Oversigt over nogle miljømæssige virkninger af vandkraftprojekter i Grønland.



Landskab. Samtlige anlægsarbejder forstyrrer nødvendigvis landskabsbilledet, men det er muligt at tage et vist hensyn hertil ved udformningen af projektet. En eventuel dæmnings placering og design er her af stor betydning. I de beskrevne projekter (ACG/VBB, 1975) er der som regel tale om relativt beskedne dæmninger (op til 30-40 m høje og få hundrede meter lange), hvoraf man forestiller sig de mindre bygget helt af jernbeton, de større af sprængsten med en vandstandsende kerne af asfalt eller beton.

Tunnelboring og gravning af kanaler giver store mængder sten og jord, som forstyrrer landskab og miljø. Af hensyn til terrænforhold og vegetation kræves derfor ofte, at sådant materiale oplejres på bestemte pladser, planeres, tildækkes med jord, tilsås eller beplantes. I projektskitzen for Bjørnesund Kraftanlæg (ACG/VBB, 1975) forestiller man sig sprængstenene fra tunnelboringen efterladt på fjeldsiden, men om nødvendigt kunne man måske finde en løsning, der tog mere hensyn til landskabet.

Erosion og sedimentation følger med alle anlægsarbejder, men en del ødelæggelser kan undgås ved omhyggelig planlægning af veje og oplagspladser. Selvom bygningen af et vandkraftanlæg sædvanligvis vil give et stort overskud af sten og jord, kan det være nødvendigt at hente materialer med særlige egenskaber (sand og grus) i nærheden, og det kan ødelægge de berørte landskabselementer og biotoper.

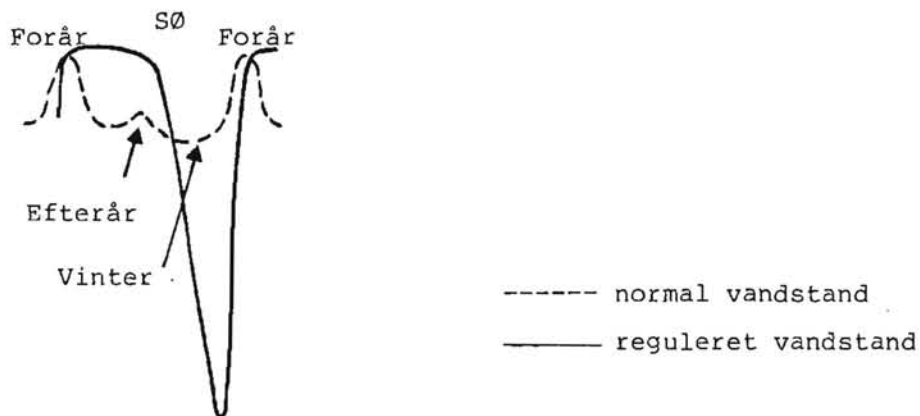
Forurening. Udvaskning af miljøgifte fra sprængsten og støv er en potentiel fare ved samtlige anlægsarbejder, og det er nødvendigt at vurdere risikoen herfor i forbindelse med de geologiske og geotekniske undersøgelser af de pågældende områder. Hertil kommer forurening under konstruktionsfasen med affald, husspildevand, olie og kvælstofforbindelser fra sprængstof.

Ander effekter. I driftsfasen vil der fortsat være en vis aktivitet ved kraftværket og ved tilsynet med transmissionslinierne, og denne vil naturligvis have en vis miljøeffekt. Selve lejren vil formentlig blive nedlagt, men den kunne muligvis delvis udnyttes til turisme. Vejene som bliver bygget af hensyn til anlægsarbejderne eller i forbindelse med transmissionslinierne, vil åbne området for øget færdsel og derved påvirke levevilkårene for områdets befolkning. Vejene kan også få betydning for eventuel turisme, og de kan påvirke jagten.

4.2. Reservoirer

Et reservoir for et vandkraftværk er i både fysisk og biologisk henseende afgørende forskelligt fra en naturlig sø. For det blotte øje er den mest slående forskel reservoirrets nøgne bredzone, der er næsten blottet for højere plantevækst sammenlignet med en naturlig søs mere eller mindre frodige bredvegetation.

Den væsentligste årsag til denne forskel skal søges i de ændrede vandstandsforhold. Når man ser bort fra de forholdsvis få pulserende, isstemmede søer, varierer vandstanden i en naturlig sø kun lidt i årets løb. Den er højest, når nedbør og smeltevand kulminerer, hvilket normalt vil sige om foråret eller forsommeren. Organismerne er i deres livscyklus tilpasset disse ændringer, og mange planter i bredzonen begynder således normalt deres udvikling under vand, men blomstrer hen på sommeren, når vandstanden er lavere. I et reservoir er dette helt anderledes (figur 3). Vandstandsændringer er langt større, mere uregelmæssige og den højeste vandstand forekommer normalt om efteråret, den laveste om sommeren. Hertil kommer så langtidsvariationer på grund af forskelle i nedbør og afsmeltning fra år til år, og der kan desuden være mindre korttidsvariationer som følge af behovsfluktuationer gennem døgn og uge. Disse variationers omfang afhænger naturligvis af de meteorologiske forhold, reservoirrets reguleringsgrad (magasinvolumen i forhold til årsvandmængde) og aftagernes energibehov.



Figur 3. Vandstandsvariationer gennem året i et reservoir og i en naturlig sø (efter Grimås, 1967).

Både de periodiske og de permanente vandstandsændringer har en række alvorlige miljøeffekter:

Landskab og særligt værdifulde lokaliteter. Ændringer i vandstanden har en umiddelbar effekt på landskabsbilledet og desuden en indirekte virk-

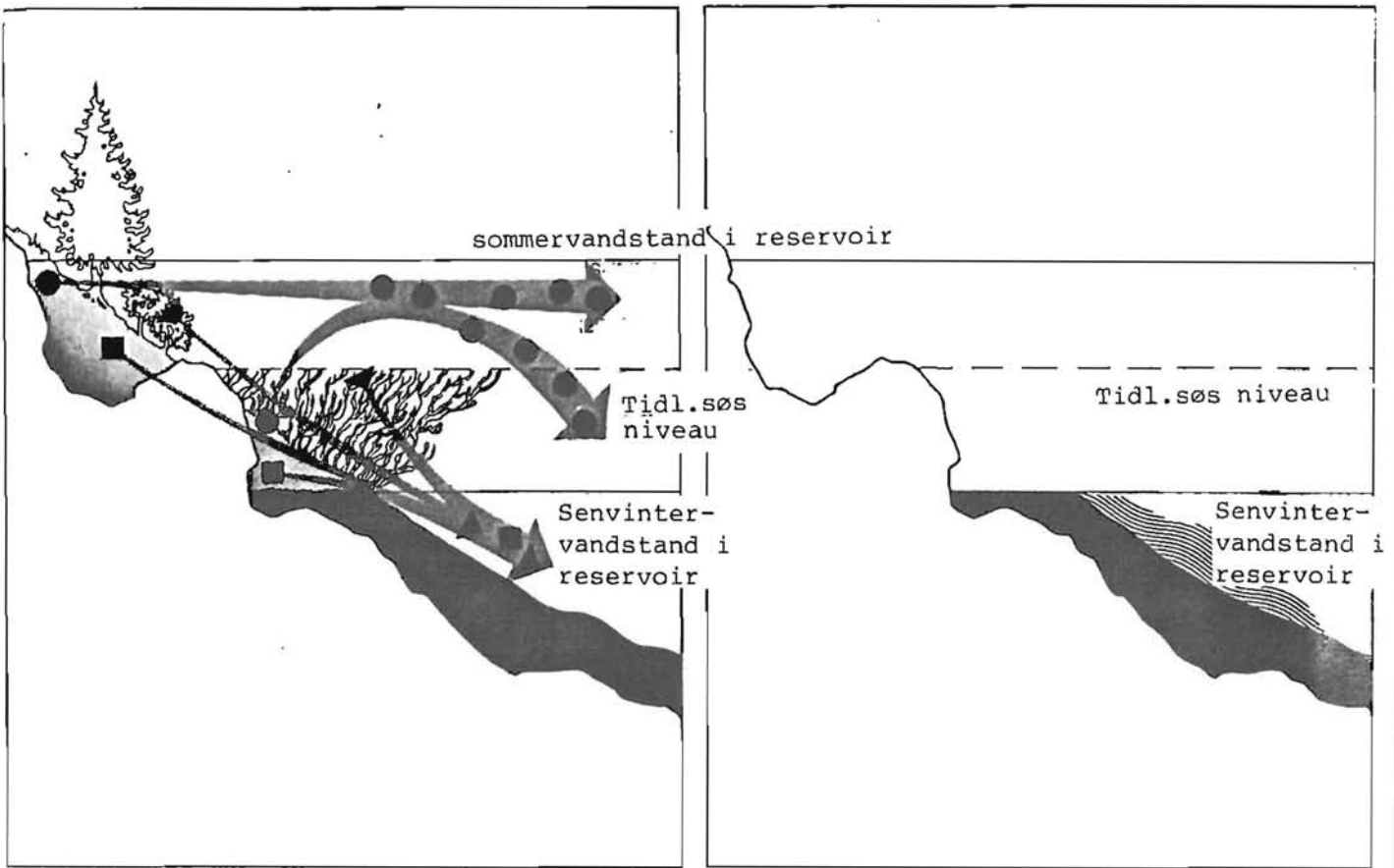
ning gennem ændringer i vegetationen (se nedenfor). Ved opstemning af en sø kan der ske oversvømmelser af arealer, som har stor betydning for græsning hos rener og får, som vandringsveje, ynglebiotoper eller som jagt- eller rekreative områder. Der kan desuden være kulturmindesmærker eller lokaliteter som er geologisk, botanisk eller zoologisk særligt værdifulde.

Klima. Ud over det direkte tab af biotoper ved oversvømmelser vil vegetation og fauna også i et vist omfang kunne påvirkes af ændringer i mikroklima som følge af ændringer i søareal og rumfang. Ifølge undersøgelser foretaget af Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (1967) kan man ved reservoirer konstatere, at den laveste temperatur under kolde nætter øges en smule og den højeste temperatur på varme sommerdage sænkes. Ved de fleste grønlandske vandkraftprojekter er der dog kun tale om relativt mindre ændringer i søareal, og det må antages, at klimaet kun i ganske ringe omfang påvirkes heraf.

Islægningen kan forsinkes, hvis vandvolumen øges. Desuden kan stærk strøm stedvist "slide" isen tynd. Når vandstanden falder i reservoiret i løbet af vinteren, vil isen blive brudt op, og hvis søbunden er ujævn, bliver den frosne sø vanskeligt fremkommelig, hvilket kan påvirke eventuelle vinterveje (Fremling, 1973).

Grundvandstanden ændres. Ved opstemning af en sø kan der ske en forsumpning af de tilstødende arealer, mens der omvendt ved vandstandssænkning kan ske udtørring af enge og vådområder. Dette påvirker direkte vegetation og dyreliv. Det kan også påvirke vandkvaliteten, idet kemiske forbindelser i jorden kan reduceres (resp. iltes) og eventuelt herved frigøres.

Søbredden udsættes for en stærkt øget erosion som følge af bølgeerosion gennem hele reguleringsintervallet og på grund af de ændrede isforhold. Bredzonen vil nu bundfryse over det meste af reguleringsintervallet i stedet for blot over 1-2 meter som tidligere. Den bundfrosne bund løftes om foråret ofte op af smeltevand, der trænger ned under isen. Bredzonen påvirkes desuden af drivende is over et langt større interval end før. Denne erosion bevirker en udvaskning af finere sediment og humus med deraf følgende virkninger for vandkvalitet, vegetation og dyreliv (figur 4). Tidligere søbund er også stærkt udsat for smeltevandserosion om foråret (Grimås, 1967). Hvor vandstanden holdes mere eller mindre konstant gennem perioder, kan der dannes terrasser i bredden.



Figur 4. Etableringen af et reservoir har en voldsom effekt på bredzonen. Sedimenter fra det oversvømmede land og fra den tidligere søbund (firkantede symboler) eroderes og transporteres sammen med rester af land- og vandplanter (trekanter) til reservoirrets dybere dele. Samtidig frigøres nærings-salte (cirkler) til vandet, og der skabes herved en forbigående eutrofiering (opdæmningseffekt) med øget planktonproduktion. Bundfaunaens kår forringes drastisk. (Lindström, 1973).

Vandkvaliteten ændres ved reservoirrets etablering som følge af den store erosion i bredzonen. Det øgede sedimentindhold nedsætter midlertidigt sigtedybden. I en svensk sø (Ransaren) fandt man f.eks., at Secchidybden (den dybde til hvilken man kan se en nedsænket hvid skive) blev nedsat fra 7,4 meter til 2-4 meter, men efter nogle få år var gennemsigtigheden igen normal. Samme sted målte man kun mindre ændringer i vandkemien, fordi de frigjorte nærings-salte hurtigt blev assimileret (Rohde, 1964).

Vandkvaliteten påvirkes også stærkt af frigørelsen af humus og plantemateriale, og der kan endog dannes flydende øer, når isen løfter den fast-frosne bund op eller ved udvikling af luftarter under den oversvømmede vegetation. Sådanne øer kan bestå i op til ti år (Kivinen & Kuuskoski, 1973;

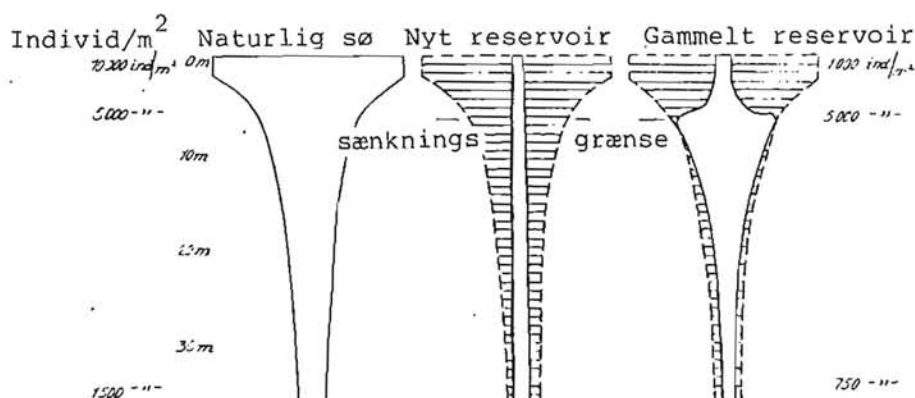
Mustonen & Orivuori, 1979). Følgende eksempler illustrerer, at disse problemers omfang varierer en hel del. I et canadisk projekt, hvor tørveområder oversvømmes, fandt man kun lille udvaskning af sure humusforbindelser og ringe iltmangel i det ny reservoir, men ledningsevnen og koncentrationen af opløste ioner øgedes (Dutchie & Ostrofsky, 1975). Efter etableringen af et stort, relativt lavvandet reservoir i det nordlige Finland, hvor et tørvelag på ca. to meter blev oversvømmet, fandt man stærkt øgede koncentrationer af nitrater og fosfater (ca. tre gange det normale niveau), og de dybere vandmasser udviste iltmangel sidst på vinteren på grund af nedbrydningen af organisk materiale, men dette bedredes i løbet af nogle år (Kivinen & Kuuskoski, 1973). I den Karelske Socialistiske Sovjet Republik er udviklingen beskrevet som følger (Baranov, 1961): Først er der en trofisk fase på grund af oversvømmelserne, men den modificeres på grund af sure humusforbindelser fra oversvømmede moser (humifiering). Koncentrationer af nitrat og fosfat kan øges og iltmangel kan udvikles nær bunden. Denne fase varer 5-6 år, hvorefter der indtræder en trofisk depression, som kan vare 13 år. Ca. 20 år efter oversvømmelsen indtræder tredje fase, karakteriseret af gradvis forøgelse af vandets mineralindhold og bedre iltforhold.

Plankton. Som følge af eutrofieringen ved udvaskningen af næringssalte (opdæmningseffekten) begunstiges planteplanktonet i begyndelsen. I den før nævnte svenske sø (Ransaren) målte man således en primærproduktion der var 2-3 gange højere end normalt, og artssammensætningen ændredes væsentligt. Biomasse og produktion af zooplankton øgedes flere gange, dels som følge af den øgede primærproduktion, dels på grund af tilskuddet af plantemateriale, og dels på grund af et ude fra kommende element af myggelarver, andre insekter, regnorme etc. fra oversvømmede enge og vandhuller. Desuden kunne det have betydning, at vandet i søen ikke længere udskiftedes så hurtigt, mens den nedsatte gennemsigtighed trak i negativ retning (Rohde, 1964).

Som nævnt er den øgede produktion af plankton et forbigående fænomen, og i løbet af nogle år aftager produktionen, oftest til et lavere niveau end før. Under svenske forhold kan opdæmningseffekten vare 3-5 år eller nogle årtier alt efter søens topografi, sedimenter, oversvømmede områder og rytmen af vandspejlsændringer (Rohde, 1964).

Bundfauna. Erosionen af bredzonen bevirker en kraftig reduktion af bredvegetation og zoobenthosorganismer. Desuden bevirker den øgede turbiditet og omlejrings af søbunden forringede livsvilkår for bundfaunaen, og kun organismer som direkte lever af de frigjorte planterester eller i den oversvømmede vegetation vil begunstiges. Inden for reguleringsinter-

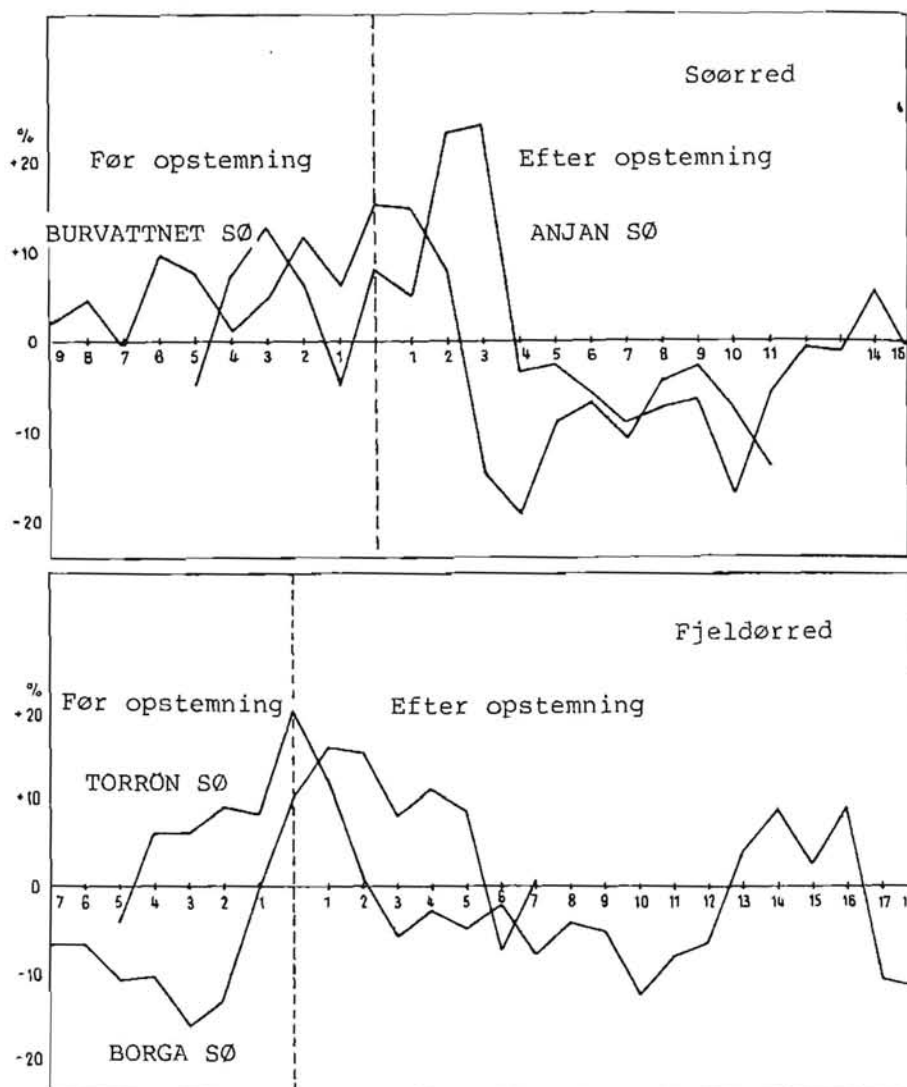
vallet reduceres bundfaunaen med 75-95% af den oprindelige biomasse (figur 5). Vigtige fødeemner for fiskefaunaen kan helt forsvinde, i Sverige f.eks. krebsdyret *Gammarus lacustris* (Nilsson, 1973).



Figur 5. Vandstandsændringerne går hårdt ud over bundfaunaen. De skraverede områder angiver tabet i individer pr. kvadratmeter (Grimås, 1967).

Fiskeproduktion. Mest direkte påvirkes fiskefaunaen af selve dæmningen, der hindrer fiskenes vandringer. Nogle bestande af fjeldørred er stationære, men de mere produktive tilbringer sommeren i de nærliggende fjorde og vil kun være i stand til at nå reservoiret, hvis der bygges fisketrapper. I Sverige har man frygtet, at fisk der gyder i bredzonen, f.eks. fjeldørred, ville gå stærkt tilbage, fordi æggene ødelægges af frost eller tørke på grund af de ændrede vandstandsforhold, men det har faktisk vist sig, at der normalt findes en tilstrækkelig mængde overlevende fiskelarver af sådanne arter (Runnström, 1964). Derimod kan ørred, der gyder i rindende vand i udløbet af søer og er afhængig af sådanne områder i de tidlige stadier, påvirkes stærkt af en reduktion i denne biotop (Nilsson, 1973).

På kort sigt begunstiges fiskeproduktionen normalt af en opdæmning, fordi planktonproduktionen øges, og der kommer et tilskud af organismer fra de oversvømmede områder; men denne effekt er som nævnt forbigående, og på lang sigt forringes forholdene normalt i forhold til den oprindelige sø. Fødens sammensætning ændres, og der sker en generel forskydning fra den mere stabile bundfauna til det mere uregelmæssige plankton. Ifølge svenske erfaringer (Nilsson, 1964; Runnström, 1964) klarer fjeldørred denne tilpasning bedre end søørred, fordi førstnævnte er mere fleksible i fødevalg og mindre afhængig af bundfaunaen. Dette afspejles i tilvækstforholdene (figur 6).



Figur 6. Variationen i årlig tilvækst af (a) sørred og (b) fjeldørred i nogle svenske søer før og efter reguleringen. Tilvæksten er udtrykt i procent af middeltilvæksten i perioden (Runnström, 1964).

Vegetationen. Bredvegetationen ødelægges som følge af bundfrysning, isskuring og bølgeerosion. På beskyttede bredder kan man finde en stærkt ændret og forarmet vegetation, især i år hvor reservoiret ikke fyldes, altså fortrinsvis i reservoirer med høj reguleringsgrad. I Sverige er den amfibiske krybende ranunkel (*Ranunculus reptans*) den hyppigste art på sådanne steder (Sjörs & Nilsson, 1976). Stærkt eksponerede bredder er næsten blottet for højere vegetation. Generelt har man fundet at artsantallet halveres, og at biomasse og produktion falder. Desuden påvirkes enge, deltaer og vådområder, og vigtige biotoper kan gå tabt.

Hvor tidligere søbund permanent tørlægges som følge af en generel vandstandssænkning, vil der ske en succession af plantesamfund, men det er vanskeligt at forudsige forløbet heraf. Det vil afhænge af sedimentforholdene og af hvor stor en erosion, der er sket under vandstandssænkningen, hvilket til dels kan påvirkes af, hvor hurtigt denne er foregået. Generelt vil en tidligere søbund dog bestå af let eroderbare sedimenter, og det vil formentlig vare længe, før en gruset eller stenet bred er dækket af vegetation.

Terrestrisk dyreliv. Dyrelivet påvirkes via ændringer i vegetationen og eventuelt direkte på grund af oversvømmelser eller dræning af områder. Områder nær vand har særlig betydning for renernes græsning om foråret (Villmo, 1976), og man må i Grønland have særlig opmærksomhed henledt på forhold, der kan påvirke rener og får.

Vegetations- og vandstandsændringer har også stor betydning for fuglelivet. I Norge har man fundet, at dæmningseffekten på kort sigt kan give en øget bestand af vade- og andefugle, fordi næringstilgangen i bredzonen øges, men på længere sigt er kraftigt regulerede søer lidet attraktive for vade- og svømmefugle. Lommerne, der bygger rede i vandkanten, er særligt udsat for vandstandsændringer (Nilssen, 1976).

Fjordreservoirer. Som nævnt påtænker man i et tilfælde (Pakitsoq ved Jakobshavn) at opstemme en fjord til reservoir. Inddæmningen vil bevirke, at fjorden gradvist bliver mere brak og til sidst rent fersk, hvorved de fysis-kemiske og biologiske forhold ændres radikalt. Formentlig vil en relativt produktiv fjord herved blive omdannet til et lidet produktivt reservoir, men det er vanskeligt umiddelbart at vurdere betydningen heraf. Hertil kommer de virkninger af oversvømmelser etc. som er nævnt ovenfor. En særlig virkning vil være, at sejlads i fjorden forhindres.

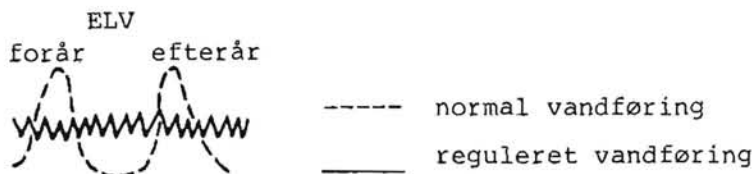
4.3. Nedenstrøms effekter

4.3.1. Vandløb og søer

Tørlægning af vandløb. Umiddelbart nedenfor reservoiret vil vandløb blive tørlagt, men længere nede af strømmen vil vandføringen gradvist øges på grund af udsivende vand og tilløb fra uregulerede vandløb. Der vil dog fortsat være tale om en væsentlig reduktion i vandføring som afgørende begrænser vandløbets værdi for fiskeri og rekreation. Tørlægningen af vandløb kan desuden forhindre vandrende fisk (fjeldørred) i at nå reservoiret. Søer og moser nedenfor reservoiret vil også blive påvirket af den reducerede vandmængde. I nedbørsfattige områder med forholdsvis stor fordampning

kan saltbalancen ændres.

Sæsonudjævning af vandføringen. Vandløb der modtager vand fra et reservoir ændres væsentligt, idet vandføringen udjævnes gennem året, således at den kraftige strøm om foråret mindskes, og vintervandføringen øges (figur 7). Dette påvirker både de fysiske og biologiske forhold



Figur 7. Årstidsvariation i vandføring i et reguleret vandløb og i et naturligt. Bemærk forskellen fra figur 3: i elven stabiliseres vandføringen gennem året. (Efter Grimås, 1967)

Klima og isforhold. I sammenligning med de naturlige forhold øges vandtemperaturen i reglen efterår og vinter nærmest nedenstrøms for udledningen fra reservoiret. Herved øges tågefrekvensen. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (1967) har beregnet, at i Norrland kan tågefrekvensen herved øges med to dage pr. måned. Desuden kan islægningen forsinkes eller forhindres, hvorved tågefrekvensen om vinteren kan øges med syv dage pr. måned. I roligt vejr kan tågen brede sig nogle kilometer fra vandløbet, og effekten af reservoiret kan spores mange kilometer nedenstrøms (Sundholm, 1977). Om vinteren kan den øgede tåge forårsage et øget islag på sneen, hvorved renernes græsningsmuligheder forringes (A. Gaup, 1979; I.A.Gaup, 1979). Den manglende islægning af elvene kan desuden have stor betydning for færdslen om vinteren (Fremling, 1973), og der kan komme våger i søer nedenfor reservoiret.

Fiskeri. I Sverige har man fundet ændringer i sammensætningen af fiskefaunaen. Fisk der er afhængige af strømmende vand kan i en vis udstrækning begunstiges af den øgede vintervandføring. I negativ retning trækker ændringer i gydepladser, som kan påvirkes af øget erosion. Effekterne på fiskeforholdene karakteriseres af Sundholm (1977) som ret beskedne, men af betydning fordi de berører mange mennesker.

"Boblesyge" hos fisk optræder, når vandet er overmættet med opløst kvælstof og ilt. Dette fænomen er påvist ved Colombia og Snake Rivers, USA, hvor den udsatte lakseyngel af denne årsag havde en dødelighed på op til 90% (Smith, 1973). Et andet eksempel er Saint John River, Canada, hvor 10% af

opgangslaksene blev dræbt, da de nærmede sig fisketrappen (MacDonald & Hyatt, 1973). Fænomenet optræder dels ved brug af overfaldsåbningerne, når vandmængderne er for store, og dels når turbinerne kører med nedsat effekt, og der lukkes luft ind for at mindske undertrykket. Problemet kan mindskes ved passende udformning af vandindtag og turbiner (Smith, 1973).

4.3.2. Enge og deltaer

Mindsket vandføring og tørlægning af vandløb bevirker en sænkning af grundvandsspejlet og påvirker herved vegetationen i enge og deltaer. Af stor betydning er også sæsonudjævningen i vandføring, der bevirker at oversvømmelserne om foråret udebliver. Faldende vandstand kan give øget permafrost (Kellerhals & Gill, 1973). I Canada har bygningen af Bennett Dæm forårsaget lavvande i Peace-Athabasca indlandsdeltaet (især under udfyldningen af reservoiret), hvorved sumparealer og søbund blev eksponeret, fiskenes vandringer vanskeliggjort, plantesuccessionen fremskyndet i retning af mere pil, ynglehabitat for fugle knyttet til vand mindsket og overvintringshabitat for moskusrotter reduceret. Det er beregnet at disse habitatændringer vil bevirke en tilbagegang i bestanden af fugle tilknyttet vand med 20-25% og af moskusrotter med 40-65% (Townsend, 1975).

Overledning af vand fra et naturligt hydrologisk bassin til et andet vil have lignende virkninger. Sådanne overledninger er særligt skadelige for miljøet, hvor store strækninger med moser, enge og søer påvirkes, mens betydningen er mindre, hvor områder med stejle brinker dominerer. I de første tilfælde kan man af miljømæssige grunde overveje at udbygge flere bassiner med kraftværker i stedet for at samle vandmasserne ved overledninger (Sundborg, 1977).

I deltaer ved havet ændres saltbalancen som følge af sæsonudjævningen af vandføringen, idet det salte bundvand i estuariet nu ikke længere fortrænges af en særlig kraftig ferskvandsstrøm en gang om året. Dette har givet salinitetsproblemer for landbruget i flere deltaer, og effekten kan også have betydning for den naturlige vegetation i grønlandske deltaer.

4.3.3. Fjorde

Vandløbsreguleringer påvirker de fysiske og biologiske forhold i fjordene. En væsentlig faktor er her den sæsonmæssige udjævning af vandføringen, der skyldes udeblivelsen af det store maksimum om foråret når smeltevand og nedbør kulminerer (vårflom) samt en øget vandføring om vinteren. Omfanget af disse effekter afhænger således især af, i hvor høj grad den sæsonmæssige variation i afstrømningen af ferskvand ændres. I en

række tilfælde er der desuden tale om at ændre bassinforholdene, således at vand fra en fjords naturlige nedbørsområde ledes til en anden fjord. Disse miljøeffekter har især været genstand for diskussion i Norge.

Islægningen afhænger især af brakvandslagetets opholdstid i fjorden og den vertikale lagdeling af de allerøverste vandmasser, og disse faktorer påvirkes både af ferskvandstilførslen, lokale tidevandsforhold, topografi og meteorologi. I Norge har man fundet, at islægningen af fjordene normalt øges som følge af vandkraftprojekter (Anon., 1979), og det er noget, der måske kunne få stor betydning under grønlandske forhold.

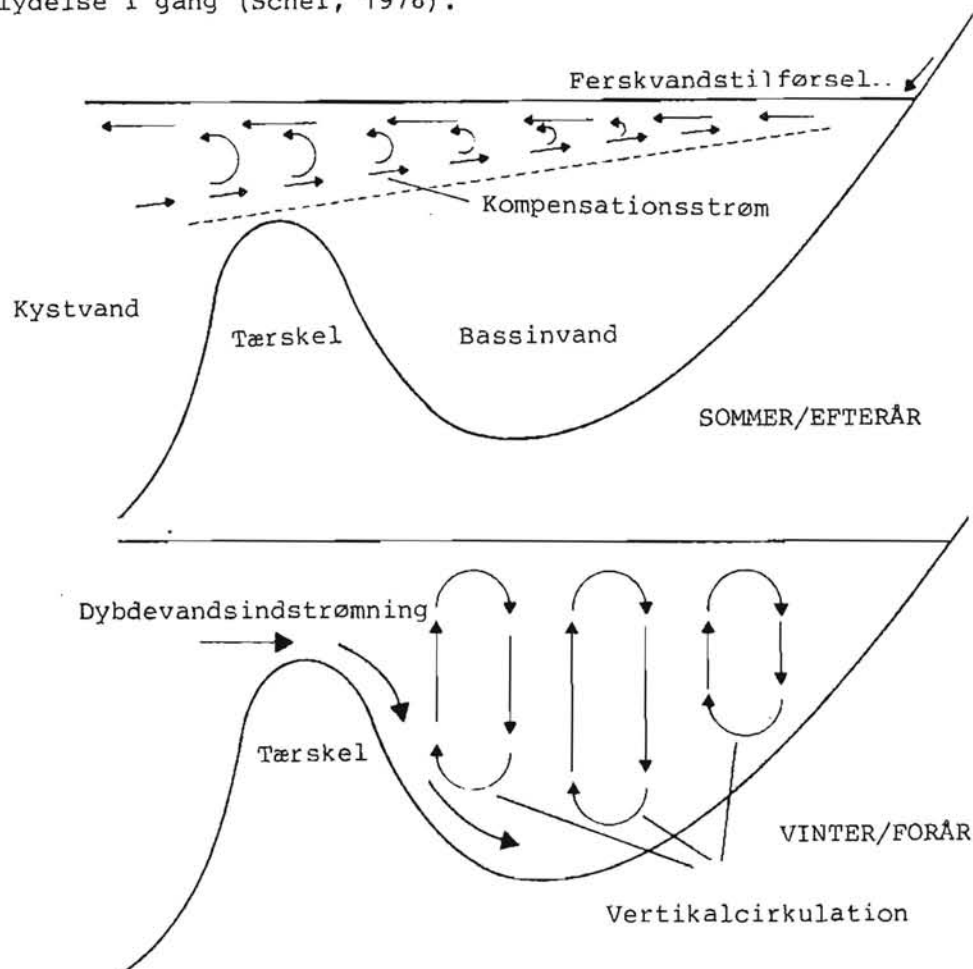
Vertikal zonerings. Den øgede vandføring om vinteren bevirker, at der etableres et mere stabilt overfladelag med lav salinitet, hvorved den vertikale lagdeling af vandmasserne forstærkes. Om sommeren gør den modsatte effekt sig gældende, idet ferskvandstilførslen nu er mindre end under naturlige forhold. Derved mindskes den sæsonmæssige variation i saltholdighed. Både sommer- og vintertemperatur i overfladen vil være noget lavere, men det stabile overfladelag om vinteren kan reducere afkølingen af dybere lag, således at vintertemperaturen i fjorde med ringe vandudskiftning forhøjes. Disse virkninger kan kun registreres i modtagefjorden. Udskiftningen af bundvand påvirkes næppe, undtagen i tilfælde, hvor tærsklen er meget lav (Anon., 1979). Disse problemer bør dog undersøges nærmere (figur 8).

I Canada har man udtrykt frygt for, at den manglende vårflom kan betyde mindsket up-welling i Gulf of St. Lawrence og dermed nedsat produktivitet (Harvey, 1976).

Ændringer i den vertikale zonerings af vandmasserne må også tages i betragtning i forbindelse med forureningsundersøgelser af områder, hvor man vil etablere vandkraftanlæg.

Biologiske forhold. Det er vanskeligt at forudsige, hvordan de biologiske forhold i fjorden påvirkes af de ændrede fysiske forhold, og de lokale betingelser har ganske givet stor betydning. Det er blevet fremhævet (Anon., 1979), at de mere stabile vandlag om foråret betinger en tidligere start på produktionen af planteplankton, og at denne muligvis også er længere varende. Desuden "spules" plankton ikke længere ud af fjorden ved den kraftige vårflom. Den mindre variation i saltholdighed kunne også begunstige en del organismer. Ved de hidtidige norske undersøgelser er det dog ikke lykkedes at påvise ændringer i fiskeproduktionen i fjordene som følge af vandkraftprojekter; bortset fra laks og ørred, der jo vandrer op i vandløbene (Anon., 1979). Foreløbig er kun få undersøgelser afsluttet,

og flere steder i Norge er yderligere undersøgelser af vandkraftens indflydelse i gang (Schei, 1976).



Figur 8. Under naturlige forhold sker udskiftningen af fjordenes bundvand (i Norge) om vinteren og foråret. Det er usikkert i hvilket omfang de hydrografiske og dermed biologiske forhold i fjordene påvirkes af vandkraftudbygning (Loeng, 1976).

Biologiske forhold i kystfarvandet. Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt i Bergen (Anon., 1979), anser virkningerne af vandløbsreguleringer på de norske kystfarvande for ubetydelige og fremhæver, at 65% af det ferske vand ud for Norge kommer fra Østersøen og Nordsøen. Den nuværende reguleringsgrad øger mængden af ferskvand om vinteren med 5-10%, hvilket er umåleligt på grund af de naturlige variationer.

Fra anden side er det dog hævdet (Skreslet, 1976, 1979), at vårflommen reduceres med 16% i Norge som helhed og med 48% i Østlandet. Skreslet hævder, at vårflommen har afgørende betydning for produktionen af phytoplankton, dermed for zooplanktonproduktionen og i sidste ende for produktionen (overlevelsen) af unge torsk. Denne hypotese understøttes med en statistisk korrelation mellem ferskvandsudstrømning og overlevelsesindeks

for unge torsk. Hypotesen indeholder antagelser spændende over flere led i fødekæden, og datagrundlaget angribes af forskere ved Havforskningsinstituttet (Rørvik, 1979; Sundby, 1979). Problemet studeres nærmere under "Kyststrømsprojektet", hvori adskillige norske institutioner er engagerede (Loeng, 1976).

Silt. Skønt vandkraftprojekter på kort sigt bevirker en øget erosion og sedimentation, vil virkningen på lang sigt være domineret af, at reservoirerne virker som sedimentationsbassiner. For tre store svenske elve har man således beregnet, at sedimenttransporten øges med 25-65% under udbygningsfasen og derefter reduceres til 35-50% af det oprindelige niveau (Nilsson, 1976). Det er skønnet, at den samlede transport af suspenderet materiale til den Botniske bugt herved halveres (Arnborg, 1967). Da transporten af kolloidale partikler og organisk materiale ikke mindskes lige så meget som det suspenderede uorganiske materiale, kan det bevirke en øget spredning af metalsalte, der ikke længere i så høj grad akkumuleres sammen med det uorganiske materiale i deltaområder (Sundholm, 1977).

4.4. Transmissionslinier

ACG/VBB (1979) har vurderet mulighederne og forsyningssikkerheden for transmissionsanlæg i Grønland. Man fandt at terrænet frembyder muligheder for at placere luftledningsanlæg således, at de var beskyttet mod ekstreme meteorologiske forhold. Man fandt også, at kabelforbindelser ville have betydeligt større anlægsudgifter og mindre driftssikkerhed. Søkabelforbindelser ville kræve omfattende bundundersøgelser og sikring mod iserosion ved landingen, hvortil kommer at reparationer ville være kostbare og en stor del af året umulige at gennemføre.

Ved adskillige projekter vil der blive tale om ganske lange transmissionslinier (f.eks. Tasersiaq-Holsteinsborg 141 km, Johan Dahl land-Narssaq-Kvanefjord 65 km). Masterne vil være 25-30 meter høje, bortset fra fjordkrydsninger, hvor de vil nå 250 meter. Den væsentligste miljømæssige virkning af sådanne anlæg vil være, at de skæmmer landskabet. Mulighederne for at skåne landskabeligt og rekreativt særligt værdifulde områder ved alternative linieføringer må undersøges i hvert enkelt tilfælde.

Egentlige veje vil formentlig kun blive bygget i forbindelse med selve vandkraftanlægget og transmissionslinierne vil nok fortrinsvis blive konstrueret ved hjælp af helikoptertransport, men mulighederne for at benytte bæltekøretøjer i denne forbindelse overvejes (ACG/VBB, 1979). Sådanne køretøjer vil gøre en hel del skade på vegetationen. Selve aktiviteten i områ-

det vil også have en indflydelse på dyrelivet, herunder eventuelt på rener (Villmo, 1976).

Højspændingsledningerne vil blive af stål-aluminium typen, eventuelt med et yderlag af kunststof til at reducere isbelægninger (O.Bjørkholt, pers.komm.). I den forholdsvis tørre og rene luft i Grønland vil korrosionsproblemer formentlig være beskedne. Kobberledninger benyttes kun til lavspændingsanlæg i f.eks. byområder, og udvaskning af giftige metalsalte fra ledningerne vil formentlig ikke have større betydning.

Stærke elektriske felter har visse fysiologiske virkninger, og der er muligvis påvist nedsat sædproduktion hos arbejdere på højspændingsanlæg (Kouwenhoven et al., 1967) og måske mindre vækst hos mus (Knickerbocker et al., 1967), men betydningen heraf synes ikke afklaret. ACG/VBB (1979) nævner, at brud på jordledninger kan give høje skridtspændinger, hvilket kan være specielt farligt for dyr.

Endelig skal nævnes, at der ved jævnstrømssystemer med returstrøm i vand eller jord/fjeld vil dannes udprægede negativt polariserede områder, som kan lamme eller bedøve fisk (O.Bjørkholt, pers.komm.).

5. AFBØDNING AF UØNSKEDE MILJØEFFEKTER

Landskabspleje. Udformningen af et projekt kan i betydeligt omfang afpasses efter landskabelige hensyn. Dette gælder dæmningens størrelse, konstruktion og placering, vejbygning, transmissionsliniernes placering og udformningen af de øvrige permanente anlæg. Der kan også være tale om et valg mellem kanaler, tunneler eller turbinerør, som kan påvirkes af miljømæssige synspunkter.

Et væsentligt problem i denne forbindelse er de store mængder overskydende sprængsten og andet materiale. De permanente opslagspladser herfor må vælges ud fra bl.a. hensynet til landskabet, og mulighederne for planering, tilsåning, etc. må undersøges. Også midlertidige oplagspladser, lejr, værksteder etc. må placeres således, at der tages hensyn til miljøet, og de oprindelige forhold må genskabes i det omfang, der er praktisk muligt. Det samme gælder pladser, hvorfra der hentes sand, grus, etc. Det må dog erkendes, at genetablering af plantedækket under arktiske forhold tager lang tid. I Sverige skønner man således, at mens vegetationen genetableres 5-10 år efter rydning i den sydlige del af landet, så varer det 10-25 år i de nordligste egne (Rödén & Wanhainen, 1973). Denne periode kan forkortes ved gødsning, tilsåning etc.

En særlig form for landskabspleje er opretholdelsen af vandfald. I et amerikansk projekt har man således af hensyn til rekreative interesser ladet en del vand fortsat løbe i vandfaldet, men ved ændringer i vandløbet oven for faldet har man opnået, at hele vandfaldets bredde kan dækkes af

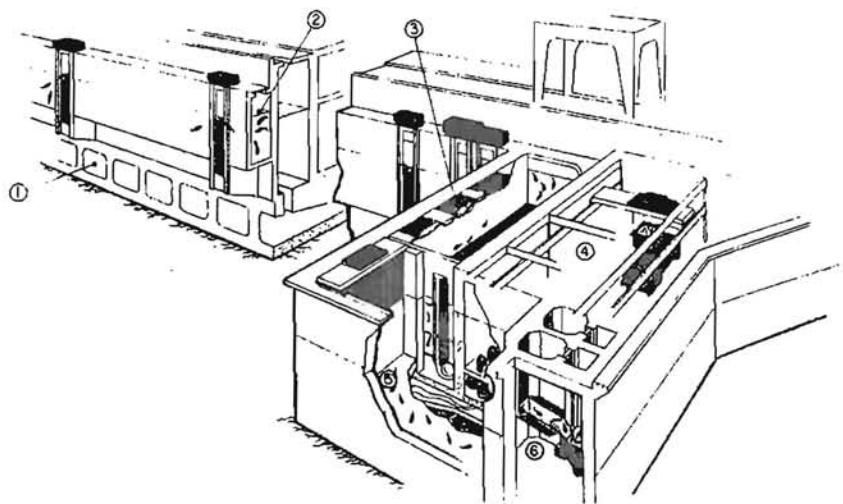
en tiendedel af den oprindelige vandstrøm (Nordeen *et al.*, 1979).

Forureningsbekæmpelse må foretages efter de almindelige retningslinier, og regler herfor må fastsættes i forbindelse med lejrens drift. Herunder må problemer med renovation, husspildevand, olieforurening, slam fra betonblandeværk, etc. løses.

Reservoiret. Miljømæssige overvejelser må have indflydelse på fastsættelse af reguleringsintervallets størrelse, herunder omfanget af periodiske og permanente oversvømmelser. Det må i denne forbindelse undersøges, i hvilket omfang magasinvolumen kan opnås ved sænkning af den eksisterende søs vandspejl i stedet for opstemning.

Fisketrapper konstrueres ofte i forbindelse med dæmninger, og - såfremt de er heldigt udformet - kan de have stor betydning for vandrende fiskearter. Der kan også etableres forskellige former for beskyttelse ved indtaget til turbinerne, f.eks. elektrospærring, for at skåne fiskebestandene. Da de fleste grønlandske projekter vil ledes vandet gennem lange tunneler til turbinerne, vil mulighederne for her at etablere fisketrapper dog nok være begrænsede.

Ofte udsætter man fiskeyngel i forbindelse med vandkraftprojekter for herved at råde bod på den forvoldte skade på fiskenes ynglemuligheder. Ved Saint John River i Canada har man således kombineret en fiskefælde ved dæmningen (figur 9) med en stor udklækningsanstalt for lakseyngel. Der findes imidlertid kun laks i en enkelt grønlandsk elv, og mulighederne for udsætning af laks i Grønland bedømmes som værende meget ringe (Jonas, 1974).



Figur 9. Fiskefælde ved Saint John River, Canada (O'Connor *et al.*, 1973). Denne er tilknyttet et stort udklækningsanlæg. 1) Dybdeudløb, 2) samlekanal, 3) diffusionskammer, 4) pumperum, 5) opbevaring, 6) samlerum.

I Sverige har man med et vist held udsat forskellige krebsdyr som fødeemner for laks og ørred for herved at kompensere for tabet af bundfaunaen. Især *Mysis relicta* er blevet brugt, men også andre fiskeribiologiske foranstaltninger (fjernelse af uønskede fisk, udsætninger etc) er blevet anvendt (Fürst, 1979; Lindström, 1973).

Vandføring. Koncessioner for kraftværker indeholder normalt bestemmelser, der nøje fastsætter regler for vandføring, specielt med henblik på at sikre en minimal vandføring i elvene. Nogen skade kan undgås ved sådanne foranstaltninger. I særlige tilfælde kan man endog opnå, at betingelserne for fisk i vandløbet bedres, idet lav vandføring på grund af tørke undgås (Schiefer & Eedy, 1978).

Selve placeringen af udtaget fra reservoiret har betydning for temperaturforhold og vandkvalitet såvel i reservoiret som nedenstrøms. Man kan ved passende udformning opnå, at temperaturforholdene nedenstrøms efterligner de naturlige forhold (Nordeen et al., 1979). I forbindelse hermed bør også nævnes problemet med overmætning med luft, der som omtalt kan mindskes med passende udformning af anlægget (Smith, 1973).

Grunddamme (tærskler) er konstrueret i betydeligt omfang i forbindelse med regulering af vandløb i Norge og Sverige. Formålet er at forbedre landskabsbilledet, grundvandsforholdene og levevilkårene for fisk i et ellers mere eller mindre tørlagt vandløb. Konstruktionen af tærskler betyder, at man kan klare sig med en lavere mindstevandføring, og det er derfor ofte en betydeligt billigere løsning. Livsvilkårene i vandløbet ændres dog i retning af stillestående vand. Tærskler kan kun bygges med fordel, hvor terrænet er ret fladt. I Norge har man påbegyndt et større projekt, der skal vurdere tærsklernes betydning (Mellquist, 1976).

Overrisling af græsningsarealer har i Grønland især betydning i tørre somre, og sådanne anlæg kunne måske konstrueres med held i forbindelse med nogle vandkraftprojekter i Sydgrønland, hvor det kunne få stor betydning for fåreavlen.

6. MILJØUNDERSØGELSER I FORBINDELSE MED VANDKRAFTPROJEKTER

6.1. Generelt

Bygningen af et vandkraftanlæg udgør et irreversibelt indgreb i naturen af betydelige dimensioner. Dette understreger betydningen af at indtage miljømæssige overvejelser på et så tidligt tidspunkt som muligt i

hvert enkelt projekt. Dels fordi det herved bliver muligt at tage hensyn til miljømæssige synspunkter i planlægnings- og beslutningsprocessen, dels fordi projekternes udformning på et tidligt stadium i et vist omfang kan tilpasses miljømæssige forhold, og dels fordi det er påkrævet at have flere års forundersøgelser for senere ved "før-efter-undersøgelser" at kunne påvise de miljømæssige virkninger af projektet. Litteraturen er rig på beklagelser over, at dette ofte forsømmes - og det skønt miljøundersøgelser kun udgør en forsvindende del af projekternes omkostninger.

Miljøundersøgelserne falder naturligt i tre faser (figur 10). Den første fase består i en generel vurdering af vandkraftens miljøproblemer og omfattes af nærværende rapport. Anden fase vedrører det enkelte projekt, dets indvirkning på miljøet og mulighederne for at afbøde uønskede virkninger. Tredie fase er de langsigtede undersøgelser, der har til formål at høste erfaringer med henblik på eventuelle senere projekter.

Som nævnt i indledningen er her kun behandlet virkningerne af vandkraften per se. Det er dog angivet i figuren, at følgeindustriene burde behandles på tilsvarende vis. Dette er foreløbig kun sket for aluminiums vedkommende (Clemmesen, 1979).

6.2. Projektundersøgelser

De miljømæssige undersøgelser af et givet vandkraftprojekt må omfatte en grundig beskrivelse af områdets geologi, topografi, klima, botanik, zoologi, etc. Der må lægges særlig vægt på den nuværende og potentielle udnyttelse af området til jagt, fiskeri, renavl, fårehold, etc. og på dets betydning for rekreation og turisme. Desuden må de naturfredningsmæssige og videnskabelige interesser vurderes og eventuelle kulturmindesmærker beskrives og kortlægges. Disse oplysninger må hovedsageligt skaffes gennem feltarbejde og samtaler med den lokale befolkning.

Næste trin må være at analysere projektets indvirkning på miljøet og derpå undersøge, om uønskede virkninger eventuelt kan afbødes gennem modifikationer i projektet (regulering af reservoirets størrelse, reguleringsinterval, mindste vandføring i vandløb, landskabspleje) eller yderligere konstruktioner (fisketrapper, grunddamme, overrisling, etc). Disse forslag må diskuteres med dem, der er ansvarlige for den ingeniørmæssige udformning af projektet, og der er adskillige eksempler på, at et sådant samarbejde i væsentlig grad har forbedret et projekts værdi (Schiefer & Eedy, 1978).

6.3. Langsigtede undersøgelser

Det er ofte vanskeligt at drage entydige konklusioner på grundlag af det foreliggende materiale. Det skyldes i høj grad, at de foretagne under-

Miljøundersøgelser af vandkraft

Tekniske undersøgelser

Miljøundersøgelser af følgeindustrier

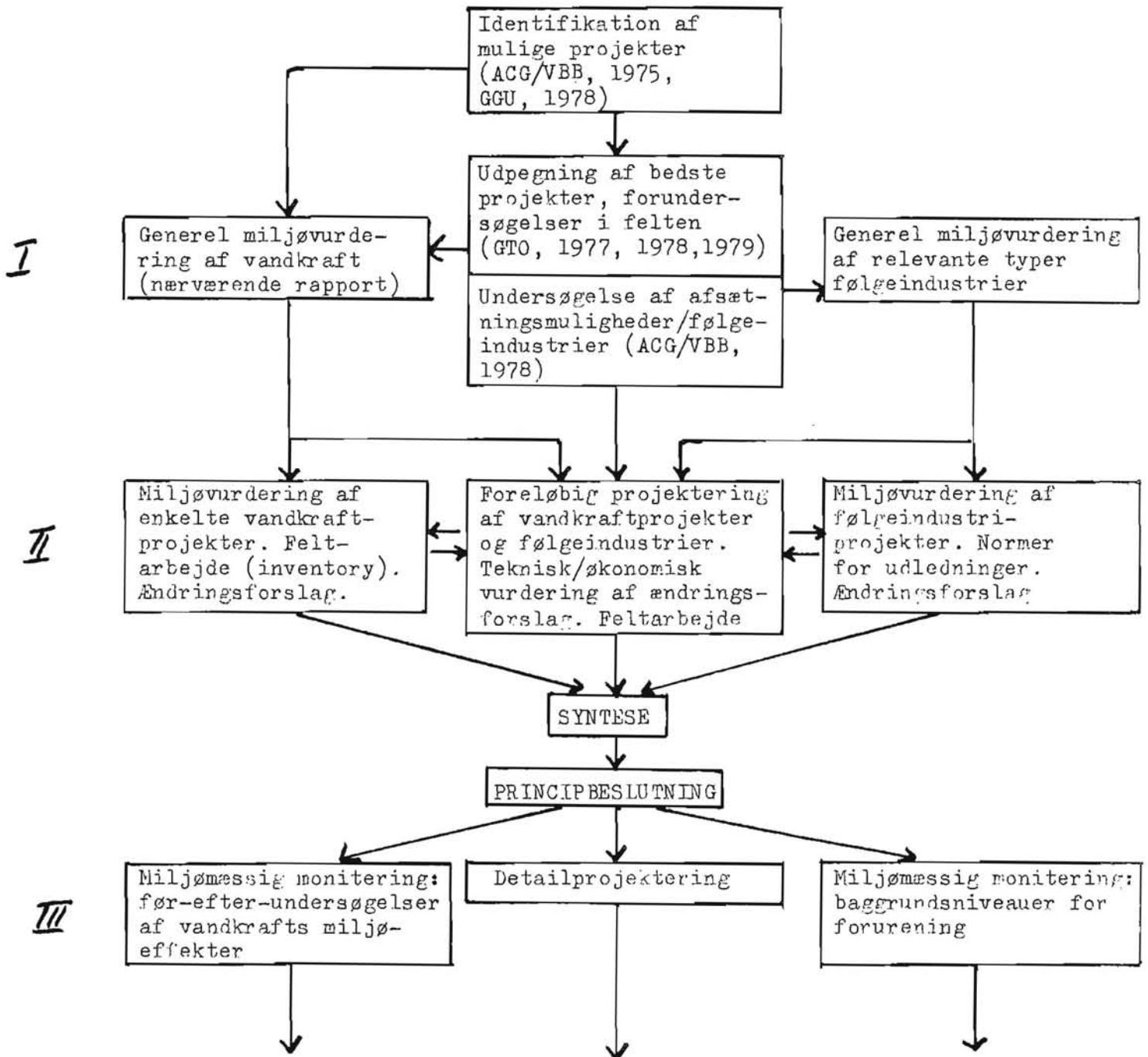


Fig. 10. Miljøundersøgelserne falder naturligt i tre hovedfaser i nær tilknytning til den ingeniørmæssige og økonomiske behandling af projekterne.

søgelse har været for kortvarige - enten har de skulle forudsige virkningerne af et projekt, eller de har været knyttet til erstatningssager - og systematiske "før-efter-undersøgelser" savnes stærkt både i Skandinavien (Vik, 1979) og i Canada (Geen, 1974). Hertil kommer de lokale forholdes store betydning. Inden for hver fiskeart er der således ofte flere adskilte bestande med hver deres genetik og biologi, og ofte ændres fiskeriintensiteten i løbet af undersøgelsesperioden. På grund af de naturlige variationer fra år til år er det nødvendigt at have flere års undersøgelser før et vandkraftprojekt bygges, så man senere kan skelne mellem variationer, der har naturlige årsager, og dem der skyldes projektet. I denne forbindelse har parallelle undersøgelser af uberørte referencevandløb og -søer stor betydning, fordi parallelle ændringer i de målte parametre tyder på naturlige variationer, mens divergerende ændringer kan henføres til selve vandkraftprojektet (Vik, 1979).

Da der ikke på nuværende tidspunkt eksisterer vandkraftanlæg i Grønland, vil det have meget stor værdi at få dokumenteret de miljømæssige virkninger af et projekt, således at erfaringerne kan udnyttes ved eventuelle kommende projekter. Sådanne undersøgelser kunne indeholde:

- 1) vegetationsanalyser (søbred, tilstødende områder, nedenstrøms enge og deltaer)
- 2) limnologiske undersøgelser (temperaturforhold, vandkemi, sedimentindhold, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, fiskebestand, tilvækstforhold)
- 3) pattedyr- og fuglebestande, adfærd med hensyn til reservoir, vandløb, enge, etc, yngleforhold
- 4) fjorde (islægningsforhold, hydrografi, phyto- og zooplankton, fiskeyngel, havpattedyr, fugle)

Denne liste er ret generel, det kan nok blive nødvendigt at prioritere nogle af disse undersøgelser - alt efter det enkelte projekts formodede virkninger. Selve udformningen af undersøgelserne og valget af parametre må naturligvis også afhænge heraf.

7. REFERENCER

- Andersen, C., 1976. Regulerings innvirkning på dyreliv i vann og vassdrag. Ottar, Tromsø Museum, nr. 92-93: 30-35.
- Anon., 1979. Mulige effekter av ferskvannsreguleringer på våre fiskeriresurser. Fiskets Gang, 12: 343-345.
- Arctic Consultant Group/Vattenbygnadsbyrå, 1975. Lokalisering af vandkraftressourcer på Grønlands vestkyst. 58 pp + kort.
- Arctic Consultant Group/Vattenbygnadsbyrå, 1978. Grønlands vandkraft: Produktionsomkostninger og afsætningsmuligheder. 54 pp.
- Arctic Consultant Group/Vattenbygnadsbyrå, 1979. Grønlands vandkraft: Transmissionsanlæg. 60 pp + bilag.
- Arnborg, L., 1967. Indalsälvens delta: Fluvialmorfologisk utveckling med särskilt hänsyn till 1900-tallets vattenkraftsutbyggnad. Teknik och Natur, Göteborg (cit. efter Sundborg, 1976).
- Bach, H.C. & J. Taagholt, 1976. Udviklingstendenser for Grønland: Ressourcer og miljø i global sammenhæng. Nyt Nordisk Forlag/Arnold Busck. 248 pp.
- Balon, E.K., 1978. Kariba: the dubious benefits of large dams. *Ambio*, 7(2): 40-49.
- Baranov, I.V., 1961. Biohydrochemical classification of reservoirs in the European U.S.S.R. p.139-183 i P.V.Tyurin (ed.): The storage lakes of the U.S.S.R. and their importance for fishery. *Izvestiya Gosudarstvennogo, Leningrad, U.S.S.R.* (cit. efter Dutchie & Ostrofsky, 1975).
- Biswas, A.K. & M.R. Biswas, 1976. Hydropower and the environment. *Internat. Water Power & Dam Construction*, 28(5): 40-43.
- Clemmesen, B., 1979. Aluminiumindustriens forureningsproblemer. Grønlands Fiskeriundersøgelser, 159 pp.
- Dutchie, H.C. & M.L. Ostrofsky, 1975. Environmental impact of the Churchill Falls (Labrador) hydroelectric project: a preliminary assessment. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32(1): 117-125.
- El-Shamy, F.M., 1977. Environmental impacts of hydroelectric power plants. *Hydraulics Div., Amer. Soc. Civil Engineers*, 103(HY9): 1007-1020.
- Fremling, S., 1973. Changes of the ice regime in Swedish rivers due to the development of the hydro-electric power. *Trans. 11th Internat. Congr. Large Dams, Madrid. Vol.1: 1-4.*
- Fürst, M., 1979. Försök med utsättning av näringsdjur i reglerade sjöar. p. 15-23 i T.B. Gunneröd & P. Mellquist (eds): Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver: foredrag og diskusjoner ved symposiet 29.-31. mai 1978. Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen/Direktoratet for Vilt og Ferskvandsfisk. 294 pp.
- Gaup, A. Samernes opgør med undertrykkelsen i Norge. Interview i *Information*, 26. oktober 1979.
- Gaup, I.A., 1979. Alta-utbygginga truer næringsgrunnlaget vårt. Interview i *Miljømagasinet*, 1979 nr. 4.
- Geen, G.H., 1974. Effects of hydroelectric development in western Canada on aquatic ecosystem. *J. Fish. Res. Board Can.*, 31(5): 913-927.
- Grimås, U., 1967. Reglerade sjöar och kraftverksmagasin: två nya ekosystem i svensk natur. *Svensk Naturvetenskap*, 1967: 168-177.

- Grønlands Tekniske Organisation, 1977. Forundersøgelsesrapport. Vandkraft. 95 pp + bilag.
- Harvey, H.H., 1976. Aquatic environmental quality: problems and proposals J.Fish.Res.Board Can., 33(11): 2634-2670
- Jonas R.F., (1974). Prospects for the establishment of stocks of Atlantic and Pacific salmon in southwest Greenland: a survey with emphasis upon an evaluation of potentials for significant natural production. Grønlands Fiskeriundersøgelser, 93 pp (upubl.).
- Kellerhals, R. & D.Gill, 1973. Observed and potential downstream effects of large storage projects in Northern Canada. Trans.11th Internat. Congr.Large Dams, Madrid. Vol.1: 731-754.
- Kivinen, P. & M.Kuuskoski, 1973. The consequences on the environment of the man-made lake of Lokka. *Ibid.* Vol.1: 683-704.
- Knickerbocker, G.G., W.B.Kouwenhoven & H.C.Burns, 1967. Exposure of mice to a strong AC electric field - an experimental study. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol.PAS-86, No.4: 498-505.
- Kouwenhoven, W.B. et al., 1967. Medical evaluation of man working in AC electric fields. *Ibid.* No.4: 506-511.
- Lindström, T., 1973. Life in a lake reservoir fewer options, decreased production. *Ambio*, 2(5): 145-153.
- Loeng, H., 1976. Vassdragsregulering og fjorder - fysiske forhold. Ottar, Tromsø Museum, nr.92-93: 12-17.
- Lowe-McConnell, R.H. (ed.), 1966. Man-made lakes. Symposia of the Institute of Biology, No.15. Academic Press, 218 pp.
- MacDonald, J.R. & R.A.Hyatt, 1973. Supersaturation of nitrogen in water during passage through hydro-electric turbines at Mactaquac Dam. J.Fish.Res.Board Can., 30(9): 1392-1394.
- Mellquist, P., 1976. Tersklens innvirkning på biologiske forhold i regulerte vassdrag (Terskelprosjektet). Information om Terskelprosjektet. Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen/Vassdragsdirektoratet. 47 pp.
- Mustonen, O. & E.Orivuori, 1979. The hydro-electric scheme of the Ounasjoki watercourse and its environmental effects. UN/ECE Committee on Electric Power Symposium on the Prospects of Hydroelectric Schemes under the New Energy Situation and on the Related Problems, Athens 15-18 October 1979. EP/SEM.6/R.29, 14 pp (dupl.).
- Nilssen, A.C., 1976. Vassdragsreguleringernes innvirkning på vegetasjon og landdyr. Ottar, Tromsø Museum, nr.92-93: 23-29.
- Nilsson, B., 1976. The influence of man's activities in rivers on sediment transport. *Nordic Hydrology*, 7: 147-160.
- Nilsson, N.-A., 1964. Effects of impoundment on the feeding habits of brown trout and char in Lake Ransaren (Swedish Lappland). *Verh. Internat.Verein.Limnol.*, 15: 444-452.
- Nilsson, N.-A., 1973. Biological effects of water-power exploitation in Sweden, and means of compensation for damage. Trans.11th Internat. Congr.Large Dams, Madrid, Vol.1: 923-940.
- Nordeen, W.T., B.J.Gallagher & A.E.Allen, 1979. Adding the Kootenai River hydro-electric project to existing multi-purpose development. UN/ECE Committee on Electric Power, Symposium on the Prospects of Hydroelectric Schemes under the New Energy Situation and on the Related Problems, Athens, 5-8 November 1979. EP/SEM.6/R.32, 20 pp (dupl.).

- Obeng, L.E., 1977. Should large dams be built ? The Volta Lake example. *Ambio*, 6(1): 46-50.
- O'Connor, A.J., G.H.D.Ganong & A.Y.Gordon, 1973. The Mactaquac development, effect on the environment. *Trans.11th Internat.Congr.Large Dams, Madrid, Vol.1: 755-772.*
- Olesen, O.B. & A.Weidick, 1977. Vandkraft i Grønland - perspektiver og problemer. *Tidsskriftet Grønland 1977, nr.3: 69-85.*
- Partl, R., 1978. Power from Greenland's glaciers. *Internat.Water Power & Dam Construction, 30(5): 42-50.*
- Rohde, W., 1964. Effects of impoundment on water chemistry and plankton in Lake Ransaren (Swedish Lappland). *Verh.Internat.Verein.Limnol., 15: 437-443.*
- Runnström, S., 1964. Effects of impoundment on the growth of *Salmo trutta* and *Salvelinus alpinus* in Lake Ransaren (Swedish Lappland). *Ibid.* 15: 453-461.
- Rödén, J. & V.Wanhainen, 1973. Contribution to the problem of environmental conservancy in dam and power station construction. *Trans.11th Internat.Congr.Large Dams, Madrid, Vol.1: 805-830.*
- Rørvik, C.J., 1979. Overlevningsindekser for norsk-arktisk torsk. Fisken og Havet, Rapporter og meldinger fra Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Bergen. Serie B, 1979, nr.7: 5-13.
- Schei, B., 1976. Vassdragsregulering og fjorder - innvirkning på plante- og dyreliv. *Ottar, Tromsø Museum, nr.92-93: 18-22.*
- Schiefer, K. & W.Eedy, 1978. Environmental studies for Wreck Cove. *Internat. Water Power & Dam Construction, 30(1): 31-38.*
- Sjörs, H. & C.Nilsson, 1976. Vattenutbyggnadens effekter på levande natur: En faktaredovisning övervägande från Umeälven. *Växtekol.Stud., 8, Uppsala, 120 pp.*
- Skreslet, S., 1976. Influence of freshwater outflow from Norway on recruitment to the stock of Arctic-Norwegian cod (*Gadus morhua*). P.233-237 i S.Skreslet et al. (eds): *Proc.Symp.on the Influence of Freshwater Outflow on Biological Processes in Fjords and Coastal Waters, Geilo.Assoc. Norwegian Oceanographers, Oslo.*
- Skreslet, S., 1979. Vassdragsregulering og fiskeresurser. *Fiskets Gang, 13: 370.*
- Smith, A., 1973. A detrimental effect of dams on environment. Nitrogen supersaturation ? *Trans.11th Internat.Congr.Large Dams, Madrid, Vol.1: 237-254.*
- Stanley, N.F. & M.P.Alpers (eds), 1975. *Man-made lakes and human health. Academic Press. London, 495 pp.*
- Sundborg, Å., 1977. Älv, kraft, miljö: vattenkraftutbyggnadens miljöeffekter. *Naturvårdsverket, Stockholm, 150 pp.*
- Sundby, S., 1979. Om sammenhengen mellom ferskvannsavrenningen og en del biologiske parametre. *Fisken og Havet, Rapporter og meldinger fra Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Bergen. Serie B, 1979, nr.7: 15-25.*
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 1967. *Inverkan av sjöreglering och utbyggnad av vattenkraft på klimatet. Stockholm (cit. efter Sundborg, 1977).*
- Townsend, G.H., 1975. Impact of the Bennett Dam on the Peace-Athabasca delta. *J.Fish.Res.Board Can., 32(1): 171-176.*

- Vik, R., 1979. Hva vet vi i dag om regulerings virkninger på fisket og hva bør prioriteres i årene fremover ? P.286-294 i T.B.Gunneröd & P.Mellquist (eds): Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver: foredrag og diskusjoner ved symposiet 29.-31. mai 1978. Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen/Direktoratet for Vilt og Ferskvannsfisk, 194 pp.
- Villmo, L., 1976. Vassdragsreguleringene og reindriften. Ottar, Tromsø Museum, nr.92-93: 36-41.
-