

ARKIV

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

# klima

KLIMA OG ENERGI

av Bjørn Aune

RAPPORT NR. 33/89



# DNMI - RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT  
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3  
TELEFON : (02) 60 50 90

ISBN

RAPPORT NR.  
33/89 KLIMA

DATO  
22.12.1989

TITTEL

KLIMA OG ENERGI

UTARBEIDET AV

BJØRN AUNE

OPPDRAGSGIVER

DNMI - KLIMAAVDELINGEN

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

Rapporten er et litt bearbeidet foredrag som ble holdt i Den Polytekniske Forening, gruppe Norsk Energiforening, 04.12.1989.

Foredraget behandler sammenheng mellom klima og energi, klimaets betydning for tilgang på energi og virkninger av bruk av energi på klimaet.

UNDERSKRIFT

.....

*Bjørn Aune*  
.....

Bjørn Aune

FAGSJEF

SAKSBEHANDLER

## KLIMA OG ENERGI

Foredrag i Norsk Energiforening 04.12.1989

av

Fagsjef Bjørn Aune  
Det norske meteorologiske institutt

Klima og spesielt klimaendringer har fått stor interesse i den senere tid. I de fleste land har tradisjonelt klima måttet stille langt bak værvarsling i interessen til de meteorologiske instituttene, i nyhetsmedia og hos politikere. Dette har endret seg med drivhuseffekten. Men selv om drivhuseffekten er et alvorlig spørsmål, så er det mulig å utnytte den på forskjellige måter som i reklame (Figur 1 ).

Klimaet og de fleste naturlige energiformene er nær knyttet til hverandre. Tilgangen på energi er i de fleste tilfelle direkte knyttet til tidligere og/eller nåværende klima på stedet. Forekomster av kull og olje skyldes i stor grad klimaet for flere millioner år siden, mens tilgangen på vann for produksjon av elektrisk kraft er avhengig av dagens klima.

Behovet for energi er i stor grad avhengig av klimaet. Det er stor forskjell i behovet for energi til forskjellige formål som f. eks. oppvarming og belysning i indre Finnmark og i Indonesia.

Forbruket av en rekke energikilder påvirker igjen klimaet. Menneskenes stadig økende forbruk av fossile energikilder kan gjennom oppbyggingen av den såkalte "drivhuseffekten" føre til radikale klimaendringer flere steder på kloden i årene fremover.

Vi har på denne måten et "energi - klima kretsløp" med gjensidig påvirkning.

### ENERGI

Energi er et av de mest fundamentale naturfenomen som vi har. Det er et fenomen som de fleste mennesker tar for gitt, men samtidig et som de fleste har vanskelig for å forklare. Hvis vi blir tvunget til å tenke nøyere etter, kommer vi til at vi vet mye om energiens virkninger men lite om dens egentlige natur. Jeg kjenner selv ikke noen bedre definisjon enn den som sto i mine gamle lærebøker: "Energi er evnen til å utføre arbeid".

Energi kan ta mange former og kan omdannes fra en form til en annen. For eksempel når kjerneenergi fra solen jorden som strålingsenergi. Strålingsenergien absorberes av planter og blir derigjennom til kjemiske forbindelser som brukes til mat av mennesker og dyr. Den kjemiske energien i maten blir lagret som kjemisk energi i kroppsvevet og blir siden utnyttet til å utføre arbeid, bl.a. mekanisk arbeid.



Det var først da man ble klar over alle formene som energien kan opptre i, at vitenskapen kunne komme frem til en av sine mest grunnleggende konklusjoner: "Selv om energi kan anta mange former - kinetisk, potensiell, elektrisk, varme, lys, kjerneenergi, kjemisk, - så vil den totale energien i et lukket system alltid være uforandret. Prinsippet at energi ikke kan forsvinne, er en av de grunnleggende fysiske lover. Og den gjelder også for klimaet.

### ENERGI FRA SOLEN

Grunnlaget for alt liv på jorden er strålingsenergien som kommer fra solen. Mer enn 99.9% av all naturlig energi på vår klode kommer fra solstrålingen. Den lille resten kommer fra jordvarme som er lagret i jordens indre, og tidevann som skyldes gravitasjonskreftene fra månen og solen. Den delen av solenergien som når jordens overflate tilsvare ca. 1 kW pr. kvadratmeter på en flate loddrett på strålingen. For hele jorden er dette 5 - 6000 ganger menneskenes energiforbruk idag.

Solenergien, eller strålingsenergien som kommer fra solen, er altså den viktigste ressursen på jorden. Halvparten av denne energien er i form av synlig lys og resten er for det meste infrarød stråling som vi ikke kan se, men føle som varme. En liten del er ultrafiolett stråling. Den er også usynlig og ville være farlig for alle former for liv hvis ikke det aller meste ble filtrert bort av atmosfæren.

Ca. 30% av den innkomne strålingsenergien fra solen blir reflektert av atmosfæren, skyene og jordoverflaten og går ut i verdensrommet igjen. Cirka 47% treffer land og hav og blir absorbert som varme. Mørke felter som hav og skoger absorberer nesten all energi som faller på dem, mens de lyse snødekte flatene i polarområdene reflekterer nesten all energi.

I løpet av en viss tid vil jorden hverken vinne eller miste energi siden all energi som absorberes som varme i overflaten, etter hvert vender tilbake til verdensrommet igjen som langbølget strålingsenergi. Den avgjørende egenskapen for jorden er dens evne til å ta vare på og fordele en liten del av den mottatte solenergien og bruke den til å opprettholde livet på jorden. En nøkkelrolle spilles her av havet som dekker 71% av overflaten til jorda.

Vann er et effektivt lager for varme. Når det først er oppvarmet, avkjøles det langsommere enn landjorden. Solens virkning på havet og havstrømmene er av avgjørende betydning for klimaet på jorden. Når solen varmer opp havet i ekvatorområdet, utvider vannet seg slik at havoverflaten i virkeligheten ligger noen centimeter høyere enn i de tilstøtende havene. Det varmere vannet vil "renne nedover" mot polene på overflaten samtidig som det avkjøles. Det kaldere og tyngre vannet i polhavene synker ned under dette og beveger seg tilbake mot ekvator langs bunnen. Denne permanente bevegelsen som avbøyes av jordrotasjonen, danner grunnlaget for hovedmønsteret i havstrømmene. Den forskjellige varmeenergitilførselen ved ekvator og ved polene frembringer jordas atmosfæriske kretsløp, et kretsløp som kompliseres ved faktorer som jordrotasjonen og fordelingen av land og hav. Vind, bølger og havstrømmer legger beslag på 0.2% av den totale energi som når jorden fra solen.

## VANNETS KRETSLØP

Vannets kretsløp er bruker ca 20% av den totale solenergien som når jorden. Vannets kretsløp sørger for at vannet blir fordelt på jorden. Ferskvann tas opp av plantene og fordamper fra bladene. Solen fordamper vann fra hav, innsjøer og andre vannflater. Vanndampen stiger til værs og avkjøles. Den danner skyer som driver med det atmosfæriske kretsløpet. Når vanndampen i skyene kondenseres, dannes det nedbør i form av regn eller snø. Vannet renner siden nedover landskapet til elvene og tilbake til havet. På denne måten blir jorden stadig forsynt med vann som er nødvendig for planter, mennesker og dyr. På grunn av at det atmosfæriske kretsløpet følger bestemte hovedmønstre, blir fordelingen av nedbøren på kloden ujevn. Det er steder som har midlere nedbør på over 10 meter i året og andre som har ingen eller ubetydelig midlere nedbør.

## NATURLIG DRIVHUSEFFEKT

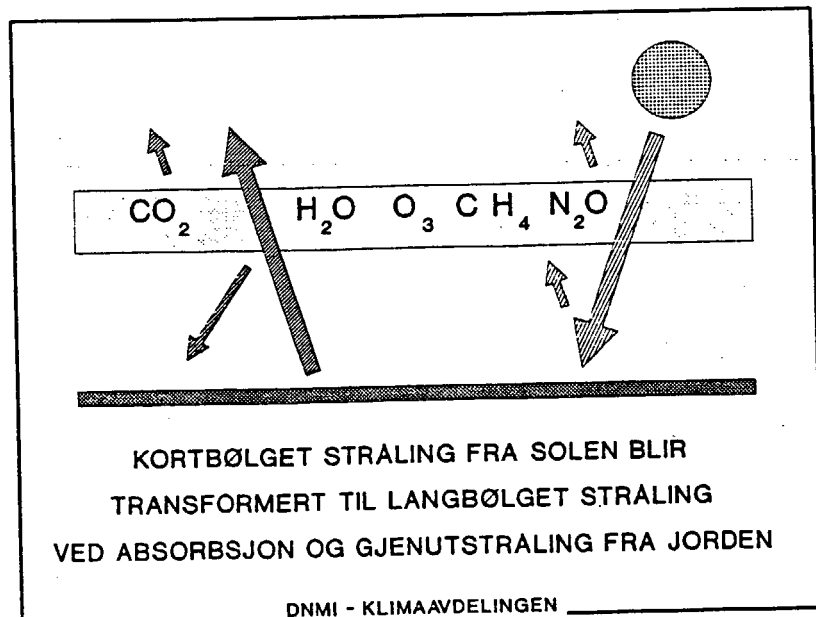
Jeg nevnte at over en viss tid vil jorden sende like mye energi tilbake til verdensrommet som det den mottar fra solen, dvs det er en energi- eller en strålingbalanse. Jorden mottar ca 1.368 kW pr kvadratmeter ved ytterkanten av atmosfæren på en flate loddrett på strålingen. Fordeles denne energien jevnt over hele kuleflaten ved ytterkanten av atmosfæren og det tas hensyn til at ca 30% av strålingen reflekteres tilbake til verdensrommet, så absorberer atmosfæren pluss jordoverflaten i middel 236 W pr kvadratmeter. Jorden og atmosfæren sender tilsammen 236 W pr kvadratmeter langbølget stråling tilbake til verdensrommet, og dette balanserer den absorberte strålingen.

Dersom jorden ikke hadde hatt noen atmosfære eller hvis atmosfæren hadde vært fullstendig transparent for langbølget stråling, ville vi ha en gjennomsnittstemperatur på jorden på  $-19^{\circ}$ . Det er den temperaturen som svarer til en langbølget utstråling på 236 W pr kvadratmeter.

Nå viser det seg imidlertid at gjennomsnittstemperaturen ved jordoverflaten er  $+15^{\circ}$  som svarer til en langbølget utstråling på 390 W pr kvadratmeter. Det betyr at atmosfæren reduserer den langbølgede utstrålingen til verdensrommet, og denne reduksjonen kalles **atmosfærens drivhuseffekt** (Figur 2). I en atmosfære som er stort sett uforstyrret

Figur 2.

Atmosfærens naturlige drivhuseffekt



av menneskenes virksomhet, bidrar vanddamp med ca 90% av drivhuseffekten og kulldioksid (CO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og nitrogenoksid (N<sub>2</sub>O) for de resterende ca 10%.

### KLIMA

Klima er nå blitt et politisk ord og det har fått mange flere betydninger enn tidligere. Det har i moderne politisk språkbruk på mange måter overtatt for ordet "miljø" som nå ser ut til å ha blitt noe oppbrukt idet det kan bety nesten hva som helst. Jeg har imidlertid inntrykk av at noen norske politikere og byråkrater i mange tilfelle bruker ordet "klima" for "miljø i verdensmålestokk". Den store politiske virksomheten som er vokst opp i de siste årene og som går under navnet "klimapolitikk", kan virke noe forvirrende på en politisk legmann. Men jeg har inntrykk av at politikere alltid har vært mer tiltrukket av store og diffuse verdensproblemer enn mindre og konkrete hjemlige problemer. Og en noe eldre klimatolog får vel kanskje resignere over denne utviklingen og heller glede seg over at også politikere nå endelig viser interesse for faget. Men klimatologi bør fortsatt være en naturvitenskap og ikke en politisk vitenskap, og forhåpentligvis faller brikkene på plass igjen før det er for sent.

Hva er så klima som naturvitenskap? Og hva er forskjellen på vær og klima?

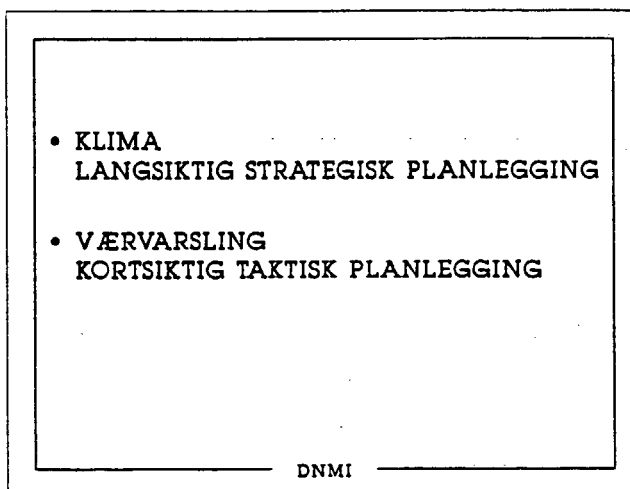
Vær er de meteorologiske forholdene til en bestemt tid, akkurat nå, idag, denne uken eller i år. Klimaet er de herskende meteorologiske forholdene i forskjellige områder over en lengre tidsperiode beskrevet med statistiske data. Klimaet kan også beskrives som et konsentrat av været over en lengre tidsperiode.

Rent praktisk kan forskjellen også beskrives som følger (Figur 3):

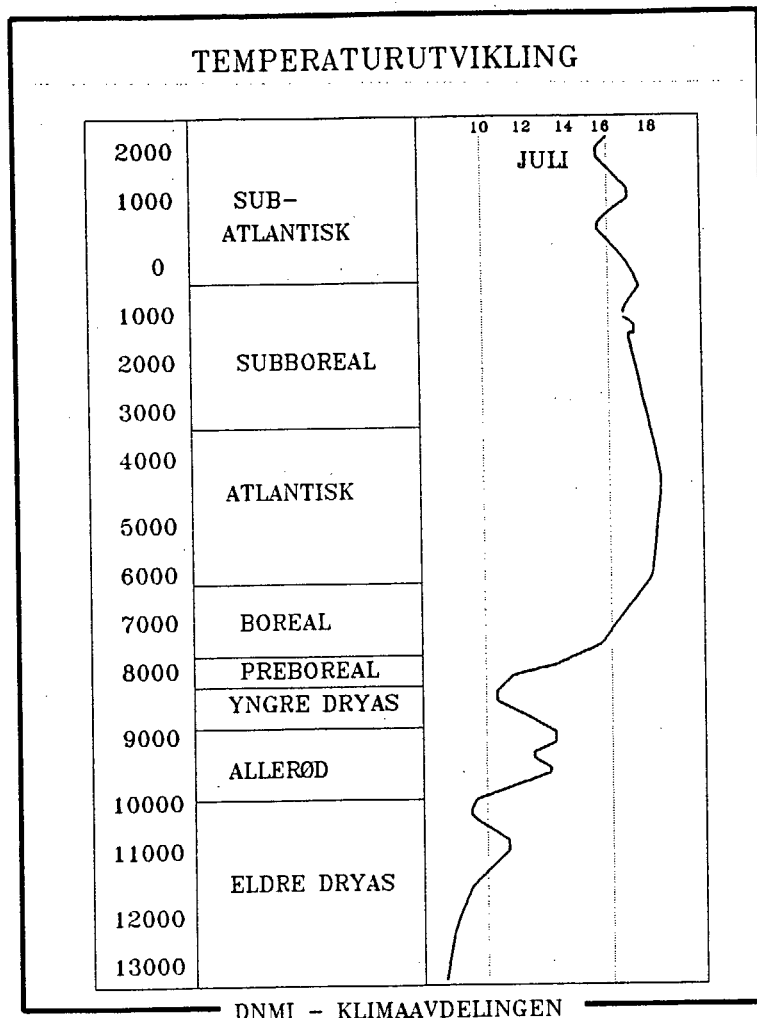
- Informasjoner om klima benyttes til langsiktig strategisk planlegging som for eksempel kan det bygges ny hovedflyplass på Hurum.
- Vær og værvarsling som hvordan blir været i neste time, brukes til kortsiktig taktisk planlegging som at SK513 kan nå gå fra Værnes fordi været tillater landing på Hurum om 50 minutter.

Figur 3.

Klima, værvarsling



Klimaet er ikke konstant. Helt siden jorda ble dannet for omkring 4600 millioner år siden, har klimaet vært under stadig forandring. For 50 millioner år siden var det varmt og stabilt. Den siste store istiden forekom for 18 millioner år siden og da var gjennomsnittstemperaturen kanskje 5° kaldere enn idag. For 8000 - 4000 år siden var temperaturen 1°-2° høyere enn i nåtiden. I den kaldeste perioden av den lille istiden i slutten av 1600-tallet, var gjennomsnittstemperaturen 0.5° kaldere enn idag (Figur 4).



Figur 4.

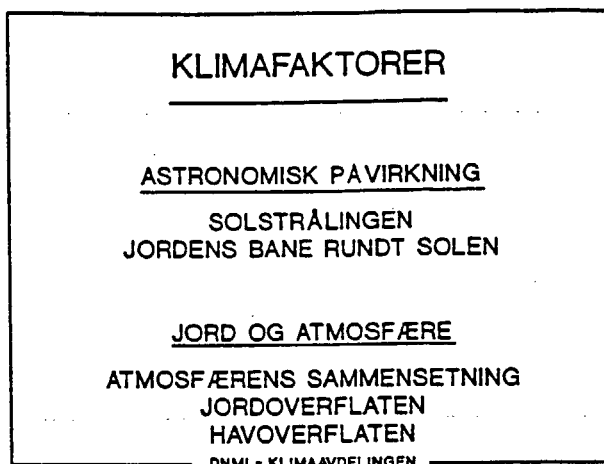
Temperaturutvikling  
fra siste istid

Vi vil sannsynligvis fortsette å få slike naturlige svingninger også i fremtiden - drivhuseffekt eller ikke drivhuseffekt -, og det er derfor meget viktig å forstå hvordan de oppstår (Figur 5).

Den mest sannsynlige teorien er at det er svingninger i jordens bane rundt sola som er den viktigste årsak til at istider kommer og går



Figur 5.  
Klimafaktorer



(Milankovich). Jordaksens såkalte presesjon eller dreining varierer med en periode på omkring 26 000 år, endringer av helningen av jordaksen i forhold til baneplanet varierer med en periode på omkring 40 000 år og endringer i jordens bane, eksentrisiteten, varierer med en periode på 90 000 - 100 000 år.

Ellers vil mer eller mindre periodiske svingninger i utstrålt energi fra solen gi seg utslag i klimavariasjoner på jorden. Men vi har ennå ingen klare bevis for at det har vært noen endringer av betydning i den utstrålte energien fra solen i vår tid. En teori for at årene mellom 1645 og 1715 var de kaldeste i den lille istiden, er imidlertid at det da var en reduksjon i styrken av solstrålingen. Solaktiviteten var meget rolig på denne tiden.

Det har heller ikke latt seg gjøre å påvise at forandringer i solens magnetfelt, med perioder på 11 år og lengre, har vært årsak til klimaendringer.

Milankovich-effekten forutsier at vi kan vente oss en langsom nedkjøling av atmosfæren, men det vil ta flere tusen år før vi kan få en ny istid. Dette var også den mest anerkjente teorien for klimautviklingen fremover før virkningene av menneskenes aktiviteter på drivhus-effekten kom inn for fullt. Det er derfor mulig at klimaet på jorden i fremtiden vil avhenge mer av menneskenes egen virksomhet enn av naturlige endringer. Men de naturlige variasjonene vil alltid være der og gi sitt bidrag. Det kan være en interessant tanke at kommende endringer som skyldes naturlige årsaker og menneskenes virksomheter, for øyeblikket ser ut til å gå i motsatte retninger.

Når man skal snakke om klima er det viktig at man kjenner de tre begrepene klima, klimavariabilitet og klimaendringer.

Jeg har allerede nevnt (Figur 6)

**KLIMA** som en syntese av været over en tidsperiode som er lang nok til å etablere været statistiske egenskaper (middelverdier, variabilitet, sannsynlighet for ekstremverdier, osv) og som i hovedsak er uavhengig av enhver øyeblikksverdi.

## **KLIMA**

DE HERSKENDE METEOROLOGISKE FORHOLD  
I FORSKJELLIGE OMRÅDER BESKREVET MED  
STATISTISKE DATA.

KLIMAET KAN OGSÅ BESKRIVES SOM ET  
KONSENTRAT AV VÆRET OVER EN LENGRE  
TIDSPERIODE.

DE OFFISIELLE NORMALPERIODER ER  
1901 - 1930, 1931 - 1960, 1961 - 1990,  
OSV.

DNMI - KLIMA-AVDELINGEN

Figur 6.

Klima

Vi har

**KLIMAVARIABILITET** som inkluderer ekstremer og variasjoner i måned-, sesong- og årsverdier rundt de forventede middelverdiene. Avvikene blir også ofte kalt fluktuasjoner.

Jeg har vært inne på

**KLIMAENDRINGER** som definerer forskjellene mellom langtids middelveidier til klimaparametre eller statistikk, hvor midlene er regnet ut over spesifiserte tidsintervall som vanligvis strekker seg over flere tiår.

Klimaendringer blir regnet som signifikante eller ikke på basis av fysiske, økonomiske og/eller statistiske kriteria. På grunn av at man hittil stort sett har manglet generelt aksepterte fysiske og økonomiske kriterier, er klimaendringer som regel blitt bestemt ut fra rene statistiske kriterier.

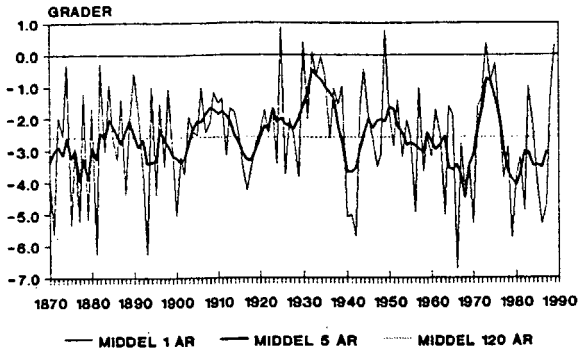
Klimavariabilitet og klimaendring tilhører to forskjellige ledd eller prosesser i klimabegrepet. Man kan tenke seg at klimaet består av

- en prosess som er stasjonær i tid
- og
- en prosess som endrer seg med tiden

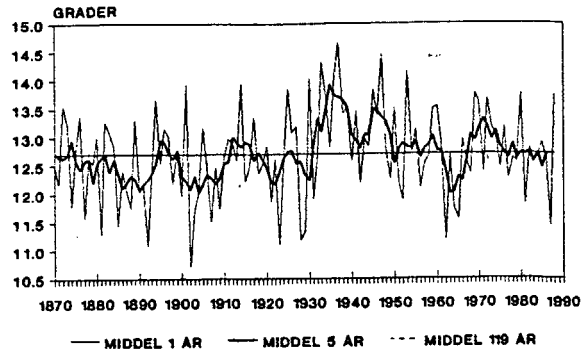
Den stasjonære prosessen har en tidsskala på noen få tiår. I denne korte tiden kan klimaet være beskrevet ved hjelp av "normaler" som gir uttrykk for sentralverdier (middelveidier) som klimaet varierer rundt. Disse variasjonene rundt middelveidene representerer **klimavariasjoner**.

Den ikke-stasjonære prosessen foregår over lengre tidsperioder og skyldes ikke-atmosfæriske påvirkninger som astronomiske endringer eller f.eks. storskala luftforurensninger med virkninger over flere tiår. Denne ikke-stasjonære prosessen representerer **klimaendringer**.

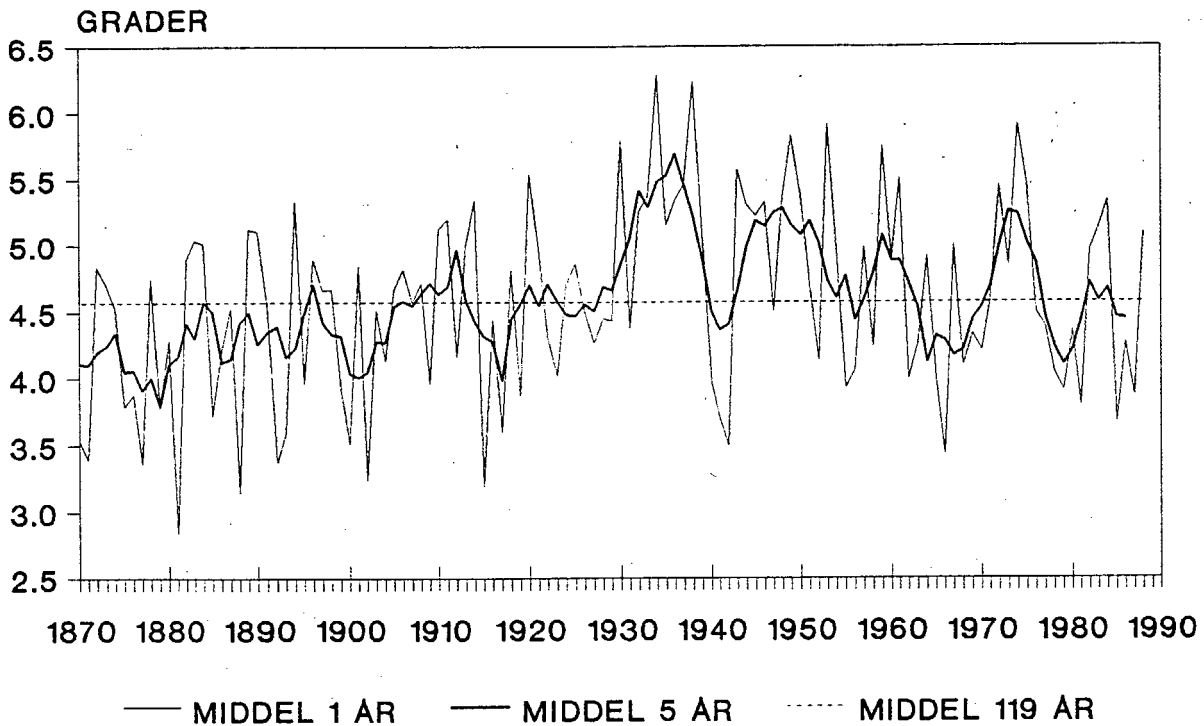
NORGE  
LUFTTEMPERATUR 1870 - 1989 DES-JAN-FEB



NORGE  
LUFTTEMPERATUR 1870 - 1988 JUN-JUL-AUG



## NORGE LUFTTEMPERATUR 1870 - 1988 AR



Figur 7.

DNMI - KLIMAAVDELINGEN

Temperaturkurver for Norge basert på verdier fra 9 meteorologiske observasjonsstasjoner.

I Norge har vi et klima som har meget stor variabilitet. Derfor er det meget vanskelig å skille ut klimaendringer på et tidlig tidspunkt fordi de vil være gjemt i de naturlige variasjonene. Dette er årsaken til at vi må ha et meget godt kjennskap til klimaet og til den naturlige variabiliteten i klimaet før vi med sikkerhet kan fastslå klimaendringer (Figur 7 ).

Det er meget mulig at de ord og begreper som jeg har benyttet her, ikke er helt logiske og riktige. Men det viktige er tidsskalaen og spredningen i dataene. Statistikk er et meget viktig verktøy for klimatologer, men teoretiske statistikere og praktiske klimatologer benytter ofte dette verktøyet på nokså forskjellig måte.

### **SOLENERGI**

Den årlige solinnstrålingen mot Norge utgjør en energimengde på ca 260 000 TWh. Dette tallet har imidlertid bare teoretisk interesse, og må på ingen måte forveksles med praktisk utnyttbar energipotensiale.

Utnyttelse av solenergi vil sannsynlighet i hovedsak være knyttet til rom- og varmtvannsoppvarming. Et meget grovt anslag gir her at innstrålingen mot bebygde arealer er ca 90 TWh.

Spørsmålet er så om hvor mye av denne energien som er tilgjengelig for utnyttning og fordelingen av den tilgjengelige delen over året.

Innkommende solstråling regnes som klimadata og måles på en del av værstasjonene til Det norske meteorologiske institutt og andre. Innkommende solstråling kan også beregnes ved bruk av andre klimaparametre som utbredning av skydekket og skytyper. Det er nå laget flere modeller som kan gi meget detaljerte opplysninger og innkommende solenergi og belysning mot flater med forskjellig orientering for de fleste steder i Norge.

Det er først i de senere år at det er blitt en seriøs, men dog liten satsning på forskning for praktisk bruk av solenergi i Norge. En meget viktig del av denne er den klimatologiske forskningen for å klarlegge en detaljert tilgang på solenergi. Her har nå DNMI og Universitetet i Bergen i samarbeid med NTNUI og IEA gjort store fremskritt i de senere år og ligger fullt på høyde med andre land.

Klimaet i Norge favoriserer ikke utstrakt bruk av solenergi. En av årsakene er selvfølgelig at det er minst solenergi tilgjengelig i de årstidene da det er mest behov for den. Men klimaet er ikke verre enn at solenergi kan være et verdifullt tillegg til vanlig produsert energi. Kombinert med nye byggeteknikker gir solenergi en stor utfordring til arkitekter og ingeniører.

Forbruk av solenergi er meget miljøvenlig og med de truende utsiktene for utviklingen av klimaet, vil solenergi kunne spille en mye større rolle i tiden fremover. Det gjelder sannsynligvis bare i mindre grad for Norge, men med et tørrere og mer solrikt klima for store deler av verden vil solenergi være et alternativ. Kan f. eks. solenergianlegg for destillasjon av havvann til ferskvann være en kommende eksportartikkel til landene rundt Middelhavet?

### **VINDENERGI**

Hvis vi tenker oss at vi utnytter energien i vinden som kommer inn mot Norges kyst fra Lindesnes til Nordkapp (2000 km) og at denne vinden har

en gjennomsnittshastighet på 8 m/s i den aktuelle høyden, så kan vi potensielt utnytte ca 1100 TWh/år. Men i praksis er det bare en liten del av denne energien som kan utnyttes.

Problemet med vindenergi i Norge er at vinden er meget ujevn. Men det er klart at det langs kysten av Norge er flere steder som egner seg for utnyttelse av vindenergi, enten det blir i større skala eller ved mindre anlegg. Rent klimatologisk vil det kreve en del undersøkelser av fordelingen av vinden og av lokale vindklima, for å finne steder som er godt egnet for vindmøller. Det er tidligere gjort en studie av vindforhold for utnyttelse av vindenergi i Norge, men sannsynligvis må det gjøres nye undersøkelser for å svare på dagens spørsmål (Figur 8).

Det er kontakt mellom NVE-Energidirektoratet og DNMI i forbindelse med utnyttelse av vindenergi, men det er ennå ikke kommet igang noe nærmere samarbeid. DNMI var med på en befaring i Nord-Norge for å se på plassering av vindmøller, og vi får se hvordan dette går videre.

Utnyttelse av vindenergi er miljøvennlig når vi tenker på klimaet, men det er kan diskuteres hvor miljøvennlige store vindmøller er. Men eldre vindmøller i Nederland og Nord-Tyskland betraktes nå som pittoreske kulturminner, så det hele kommer vel mest an på øynene som ser.

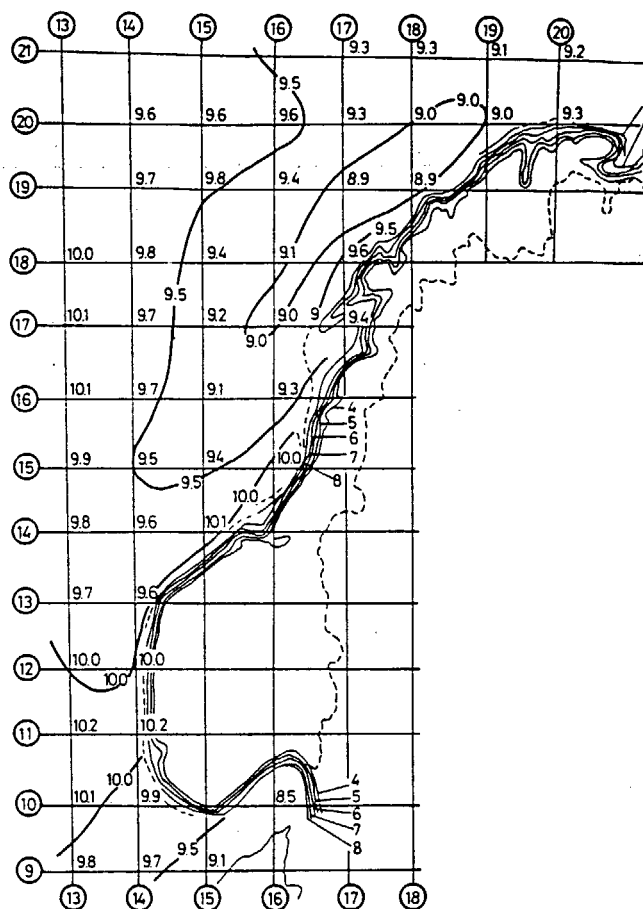


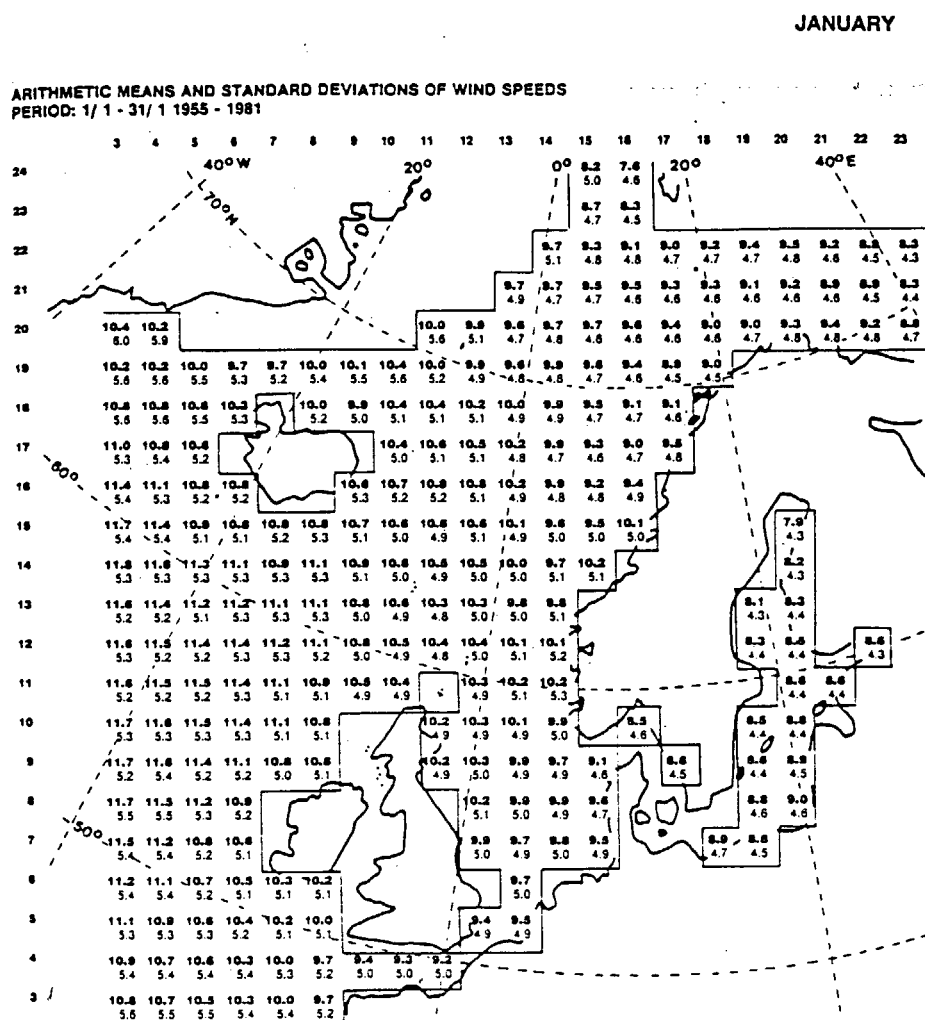
Figure 26 The mean wind speed in m/s for the month of January. The values in the grid point over the sea are monthly mean values taken from this Atlas. The isolines along the coast have been drawn on the basis of about 15 years with wind observations made at lighthouses and coastal stations. After The Norwegian Wind Energy Project, T. W. Johannessen (1980).

Figur 8.

Midlere vindhastigheter i m/s i januar

## BØLGEENERGI

Bølger dannes av vinden. Bølgehøyden i et område vil avhenge av vindstyrken, varigheten av vinden og lengden av området som vinden blåser over. Det er dønningene som er av interesse når det gjelder bølgeenergi og ikke de små vindbølgene, slik at bølgekraftverk er mest aktuelle utenfor kysten (Figur 9).



Figur 9.

Midlere vindhastigheter og standardavvik for januar i m/s

Med en avstand mellom to bølgetopper (bølgelengde) på 200 meter vil dønningen gå med en fart på 10 m/s. Det er da bølgeformen som beveger seg med denne farten og ikke hele vannmassen. De enkelte vannpartiklene beveger seg tilnærmet i vertikale sirkler i overflaten og i vertikale ellipser dypere ned i vannet.

I et bølgekraftverk utnytter man både bølgenes potensielle energi som skyldes høydeforskjellen mellom bølgetopp og bølgedal, og bevegelsesenergien som skyldes vannpartiklenes roterende bevegelser. I bølgene finnes det omtrent like mye av disse to energiformene.

Bølger i kystområdene langs Atlanterhavet har en energitetthet på 40 - 70 kW pr meter bølgefront, og det er beregnet at den gjennomsnittlige bølgeeffekten 10 kilometer fra land er ca 24 kW/m utenfor Lista, 39 kW/m utenfor Bremanger og 19 kW/m utenfor Lofoten.

Siden bølger dannes av vinden er bølgeenergien på samme måte som vindenergien meget klimaavhengig, og en av de store vanskelighetene utenfor Norge er variasjonene. På grunn av oljeindustrien har vi nå ganske gode informasjoner om vind og bølgeforhold i Nordsjøen. Dersom en studie av disse viser at vindklimaet er gunstig, kan man kanskje bygge bølgekraftverk rundt oljeinstallasjonene i Nordsjøen når olje- og gassproduksjonen er slutt?

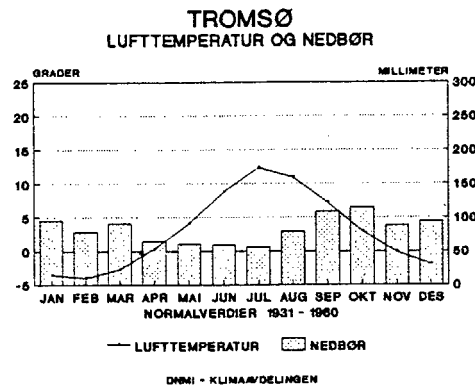
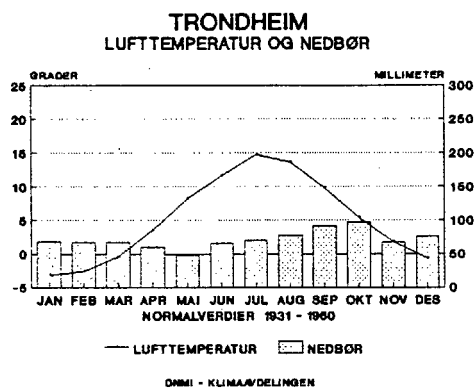
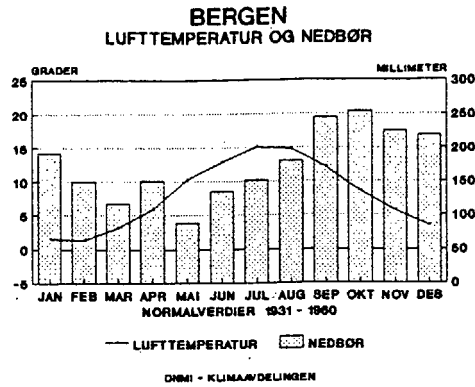
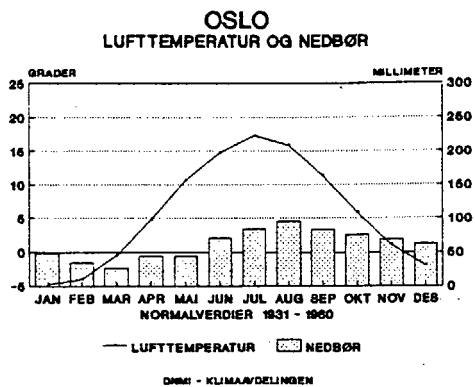
### VANNKRAFT

Norge er et av de få - om ikke det eneste - land i verden som dekker sitt elektrisitetsbehov så og si utelukkende på vannkraft. Grunnen til at vi kan gjøre dette er flere, og som kan kort uttrykkes som Norges klima, topografi og behov. Kombinasjonen av klima og topografi gjør det mulig å produsere store mengder elektrisk energi. Hvis vi regner topografien som fast, noe vi forholdsvis trygt kan gjøre i Norge, så står og faller mulighetene for vannkraft med klimaet.

Det er regnet ut at det faller gjennomsnittlig 1400 - 1500 mm over Norge hvert år. På grunn av de store lokale forskjellene har dette tallet bare akademisk interesse. Det er ikke riktig å si at topografien gjør at det faller mest nedbør i de områdene som er best egnet for produksjon av vannkraft, for da burde det kommet mer over deler av Østlandet. Men topografien et stykke innenfor kysten fra Sørlandet til Finnmark er meget godt egnet til å løse ut nedbør fra de fuktige luftmassene som til stadighet kommer vestfra og inn over kysten av Norge.

Den gjennomsnittlige nedbøren i Norge varierer fra 4500 - 5000 mm over noen av isbreene i Sørvest-Norge og til under 300 mm over deler av nordlige Østlandet og indre Finnmark. Dette er middeltall for normalperioden 1931 - 1960. Kapasiteten til de fleste kraftverk er beregnet ut fra normalverdier for periodene 1901 - 1930 eller 1931 - 1960. I en del tilfelle er det andre perioder (Figur 10).

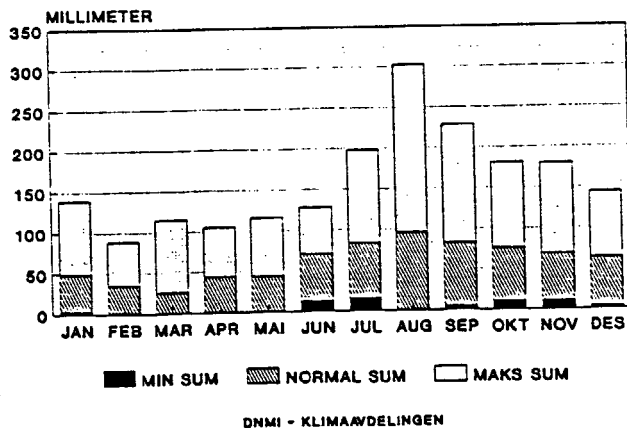
Men det kan gis en rekke andre klimainformasjoner som er viktige både for planleggingen av og driften av et vannkraftverk. Selv om middelnedbøren er tilfredsstillende, så er det i Norge store variasjoner i nedbøren på år, måneds, uke og døgnbasis (Figur 11). Det er mulig å gi informasjon om hva som er "normal" variasjon rundt middeltallene og det er mulig å gi sannsynlighet for forskjellige ekstreme situasjoner både når det gjelder mye eller lite nedbør. Klimaavdelingen ved DNMI har i de senere år arbeidet både med sannsynligheter for tørrværsperioder (minstevanns- føring) og med beregning av maksimalt mulig nedbør (damsikring). Slike beregninger kan gjøres både for enkelte steder og for regioner



Figur 10.

Midlere lufttemperatur og nedbørmengder for hver måned for Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø. Normalperiode 1931 - 1960.

### 1870 OSLO - BLINDERN MANEDSNEDBØR



Figur 11.

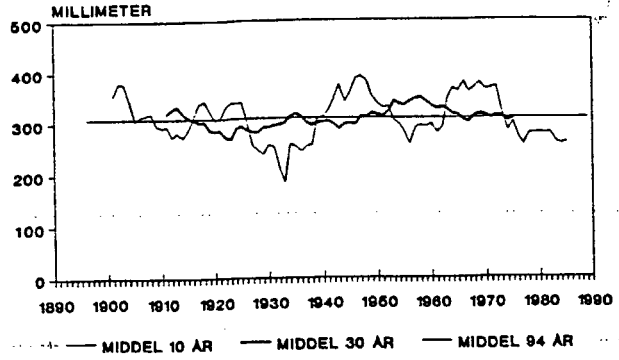
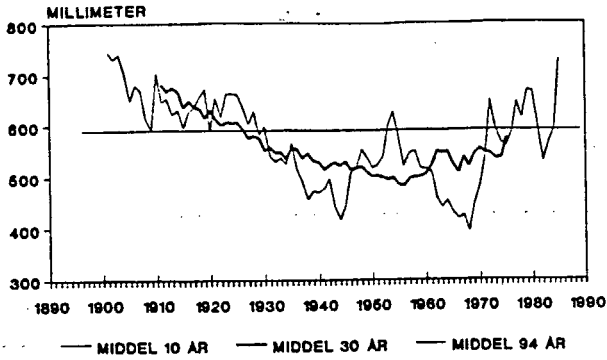
Minste målte månedssummer, normale månedssummer (middel 1931-1960) og største målte månedssummer for observasjonsstasjonen 1870 Oslo-Blindern.



# 4535 LYSEBOTN

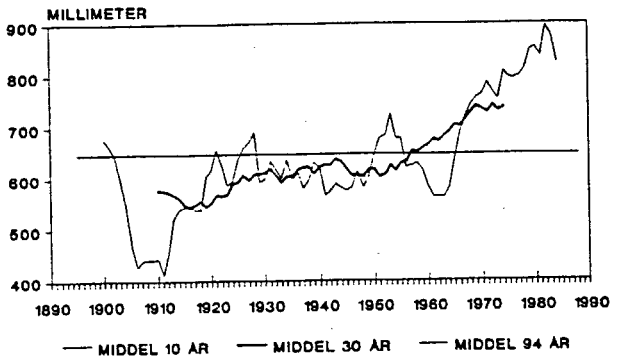
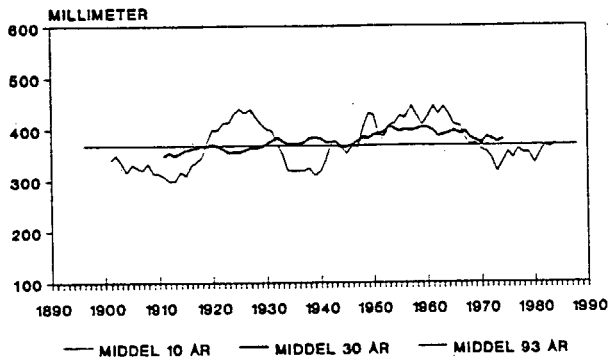
DES-JAN-MAR

MAR-APR-MAI



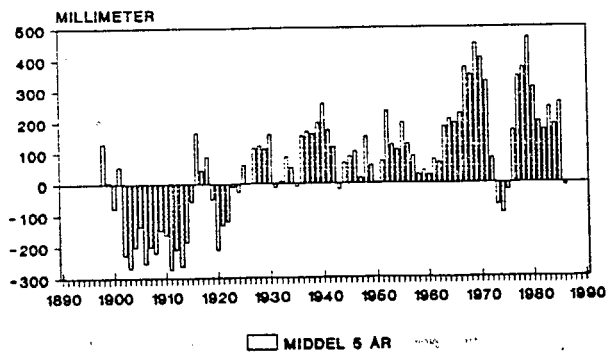
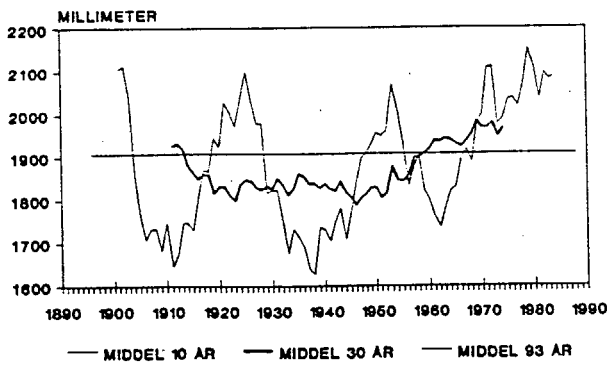
JUN-JUL-AUG

SEP-OKT-NOV



AR

5 ARS MIDLER (SEP-OKT-NOV)-(DES-JAN-FEB)



DNMI - KLIMAÅDELINGEN

Figur 12.

4535 LYSEBOTN

Nedbør des 1895 - mai 1989

Glidende middelværdier

I Norge er det bygget mange og store kraftledninger i værharde strøk for å bringe energien fra produksjonsstedet og til områdene hvor konsumentene bor. Kraftlinjene er utsatt både for kraftig vind og for sterk nedising. Hvis kraftlinjene plasseres klimamessig riktig, noe som i noen tilfeller kan være snakk om få meter, kan det spares store beløp i byggekostnader og man får en sikrere forsyning.

Når det gjelder beregningsgrunnlag for kapasiteten til et vannkraftverk er det meget viktig at man bruker et stort nok datagrunnlag. Det er også viktig at man følger opp videre, fordi som nevnt tidligere er ikke klimaet konstant. Lyse Kraft og DNMI samarbeider om en nedbørstasjon i Lysebotn, og denne stasjonen har vært i drift fra 1895. Bearbeiding av data fra denne stasjonen viser at på årsbasis var normalen for 1931 - 1960 det laveste 30-årsmiddelet som har forekommet. Deretter har det vært en økning, og 30-årsmiddelet ligger nå ca 10% høyere. Det er spesielt høst- og vinternedbøren som har variert. Det er i hovedtrekk blitt mer høstnedbør og mindre vinternedbør. Disse endringene er de samme over store deler av landet (Figur 12 ).

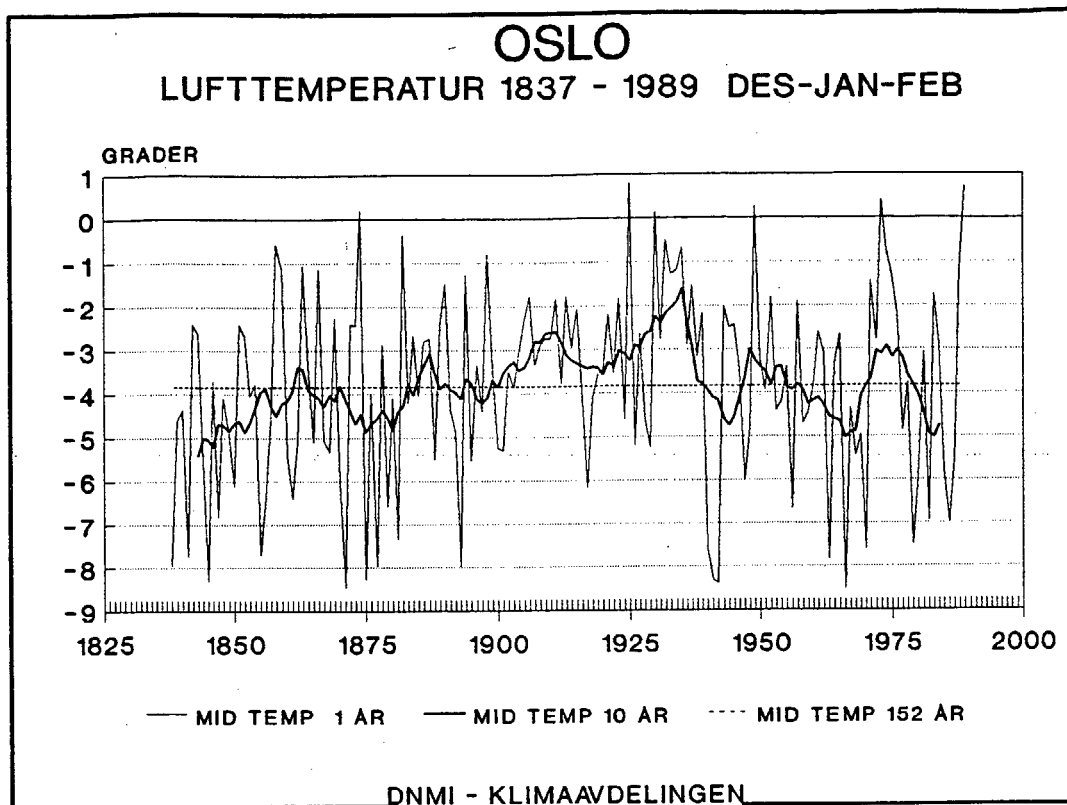
Lufttemperaturen er også en viktig faktor når det gjelder vannkraftverk. Lufttemperaturen i magasinområdene avgjør hvor mye av nedbøren som kommer som snø og hvor mye som kommer som regn. Spesielt om vinteren er det en sammenheng mellom lufttemperatur og nedbørmengder.

Lufttemperaturen i områdene hvor den elektriske kraften forbrukes, er også en viktig faktor i behovet for elektrisk kraft. Det er flere metoder å utnytte denne på, både i planleggingsfasen for bygging av kraftverk og under planlegging av produksjonen for f.eks. vinterseongen. Noen av metodene kan også benyttes sammen med værvarsel for å planlegge produksjonen for de nærmeste dagene. Man kan også bruke dataene i ettertid for å studere hvor optimal produksjonen var. De vanligste metodene er forskjellige former for kulde- og varmeindekser, graddager (enten direkte eller vektet i forhold til befolkningensmengde), energiindekser. Det er her fortsatt et stort informasjonspotensiale som ikke er utnyttet og som kan bedre produksjonen (Figur 13).

Etter hvert som større bygninger får innstallert mer avanserte fyringsanlegg, eller riktigere totale energianlegg som omfatter både varme og belysning for bygningen, øker interessen for vær- og klimaforhold. Det er klart at kjøres slike energianlegg effektivt så kan eieren begrense både forbruket av energi og kostnader.

Etter alt som har skjedd i Norge de senere år når det gjelder utbygging av vannkraft og miljø, kan det være farlig å si at vannkraften er miljøvennlig. En vassdragsutbygging vil endre opplevelsen av urørt natur. Men i hvert fall med utbygginger av norsk størrelsesorden vil en utbygging bare endre klimaet helt lokalt. Men det er klart at selv en mindre lokal endring kan få store virkninger for et lokalsamfunn som f.eks driver jordbruk under marginale klimaforhold.

Mikroklimaet og lokalklimaet påvirkes av endringer i vannarealene, i vannstanden, i vanntemperaturen og i isforholdene. Mikroklimaet er klimaet i umiddelbar nærhet av jord, gress, vannflate, o.l. Lokalklimaet er klimaet over områder fra noen få kvadratkilometer og opp til hundre kvadratkilometer.



Figur 13.

Middeltemperaturer for hvert år og glidende middeltemperaturer for 10 år for observasjonsstasjonen 1870 Oslo-Blindern for månedene desember - januar - februar for perioden 1837 - 1989. Temperaturene som er målt før 1937, er regnet om så de tilsvarer temperaturer målt på Blindern.

I innlandet knytter endringer i temperaturforholdene i luften seg hovedsakelig til neddemming av store områder. Ved reguleringsmagasiner på mange tusen kvadratkilometer er endringene i lufttemperaturen merkbare i en avstand på flere kilometer fra strandkantene. Ved et kjempemagasin, nesten på størrelse med Telemark fylke, i Sovjetsamveldet har man funnet endringer på opptil 3°- 5° i månedsmiddeltemperaturene innenfor 5 kilometer fra magasinet. Med magasin størrelser på noen hundre kvadratkilometer kan endringene i gjennomsnittstemperaturene komme opp i 1°- 2° i de nærmeste noen hundre meter fra strandkanten.

Endringer i lufttemperaturen knyttet til mindre neddemninger og endret vannføring i vassdrag, er som oftest vanskelig å påvise. Temperaturendringene er som regel mindre enn de naturlige variasjonene.

Forandringer i isforholdene er sannsynligvis årsak til de største endringene i norske dalfører og fjorder. I dalførene vil det over og i området rundt de delene av vassdragene som får åpent vann om vinteren bli økt hyppighet av frostrøyk og rimavsetning.

Inne i fjordene er det den samme effekten hvis fjorden blir isfri etter en utbygging. Men her kan også økt ferskvannstilførsel om vinteren føre til at isen legger seg hyppigere og dekker et større område enn tidligere. Dermed kan det oftere bli lave lufttemperaturer i de indre delene av fjorden. Minimumtemperaturene vil også bli lavere enn tidligere.

### FOSSIL ENERGI

Fossil energi - olje, gass, kull, tre - er vår største energikilde idag. Klimaet har og har hatt en viktig rolle i dannelsen av disse energikildene, men det er ikke det eneste. Forbruket av fossilt brensel har opp gjennom årene økt så mye at det er en meget alvorlig trussel mot klimaet på jorden og levevilkårene til store deler av menneskeheten.

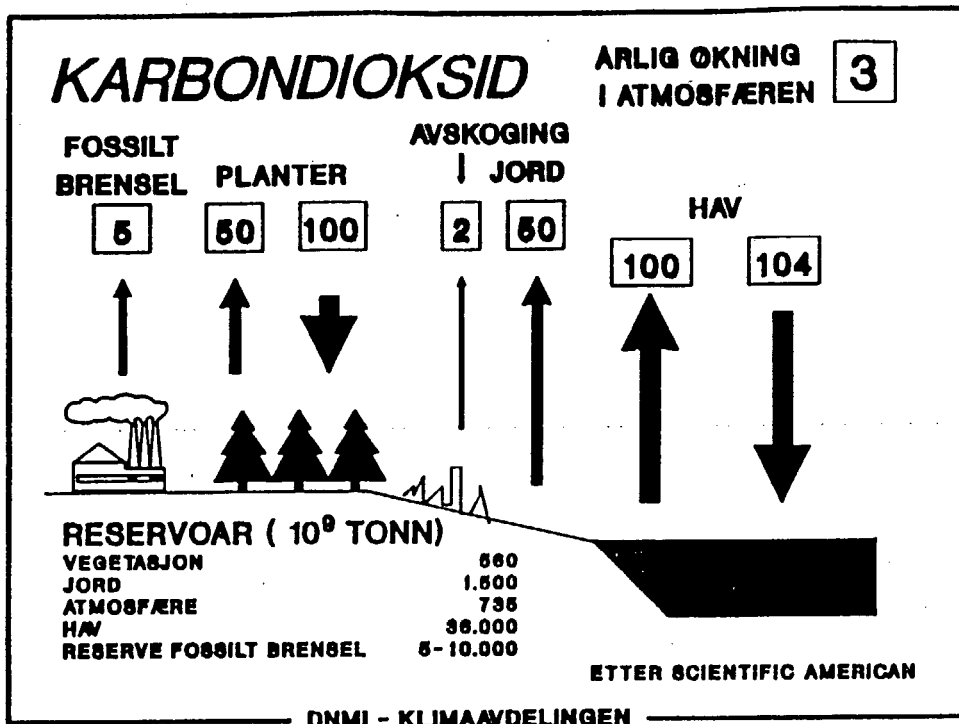
### KLIMAENDRINGER

Jeg har nettopp snakket om lokale klimaendringer på grunn av vassdragsutbygging. Det gjaldt endringer på produksjonsstedene. Vannkraft er sammen med alle andre energiformer med på å endre lokalklimaet i større byer. Varme fra f.eks. bygninger, industri, trafikk, osv. fører til at lufttemperaturen spesielt om vinteren kan bli opp til et par-tre grader høyere enn landområdene omkring. Selve "varmeforurensningen" er imidlertid ren og foregår over mindre deler av den totale jordkloden. Det er derfor lite trolig at den vil gi noe særlig bidrag til en global oppvarming. Men det er ikke det samme som at man kan se bort fra denne effekten. Dessuten representerer den bortkastet energi, som man vil tjene på å redusere.

På global skala er det utslippene av forskjellige gasser i forbindelse med bruk av energi som nå truer klimaet på global skala. Dette gjelder både gasser som kommer direkte på grunn av forbruk av energi, og gasser som kommer som resultat av industrielle prosesser. Klorfluorkarbon-gass (KFK) er et industrielt produkt.

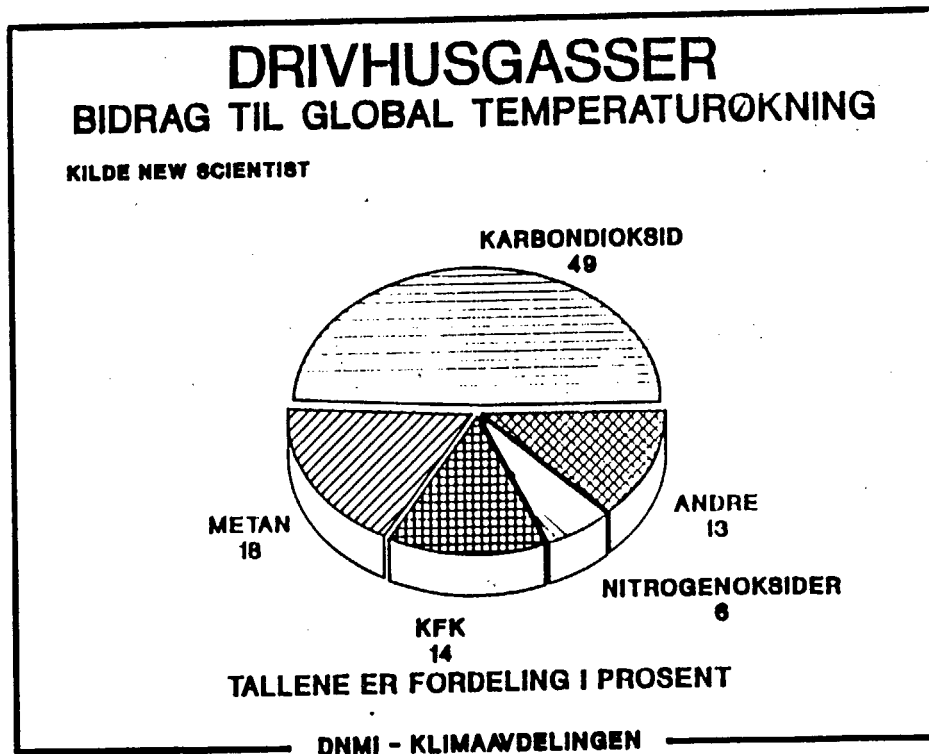
Hoveddelen av de fleste drivhusgassene kommer fra naturen selv og har alltid vært der. Den naturlige drivhuseffekten som er grunnlaget for at vi har en levelig temperatur på jorden, holdes ved like av naturlig nydannelse av de samme gassene. Drivhusgassene utgjør en meget liten del av atmosfæren (< 1%), men siden de er meget effektive når det gjelder å absorbere den langbølgede utstrålingen fra jordoverflaten, vil en økning ha stor effekt. Og siden den totale mengden av drivhusgassene er så liten, er det også lett å øke konsentrasjonen av dem. En økning av konsentrasjonen av hvilken som helst av dem øker atmosfærens kapasitet til å holde igjen varme, og dermed øker likevektstemperaturen som atmosfæren må ha for å holde likevekt med den innkomne strålings energien for solen. Den nye likevekten oppnås ved at det blir varmere i den lavere delen og kaldere i de høyere deler av luftlaget som omgir jorden (Figur 14 og 15).

Analyser av temperaturobservasjoner som går tilbake til 1860 antyder at den midlere globale lufttemperaturen har økt med 0.5°- 0.7° siden dette året. Den største økningen er kommet i de siste 10 årene. Denne økningen er statistisk signifikant og passer sammen med både teorier og



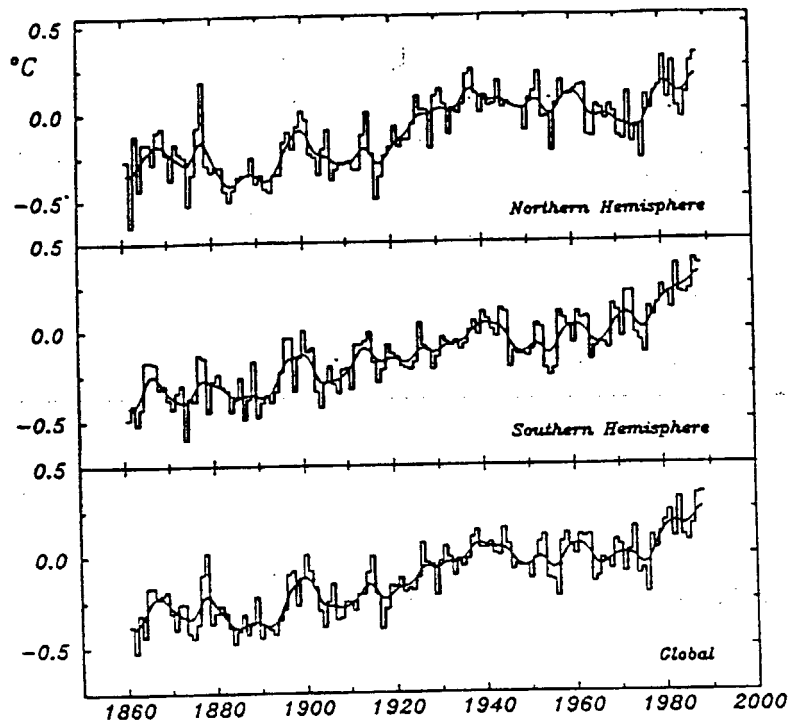
Figur 14.

Karbondioksid - budsjett



Figur 15.

Forskjellige gassers bidrag til global temperaturøkning.



The bottom graph shows global surface air temperatures (land and marine areas) for 1861 to 1988. Annual values are plotted as anomalies from the 1950-79 period. This series is maintained month by month in the Climatic Research Unit, University of East Anglia. For further details, see e.g. *Nature* 322, 430-434; *Nature* 332, 790; *Nature* 333, 122.

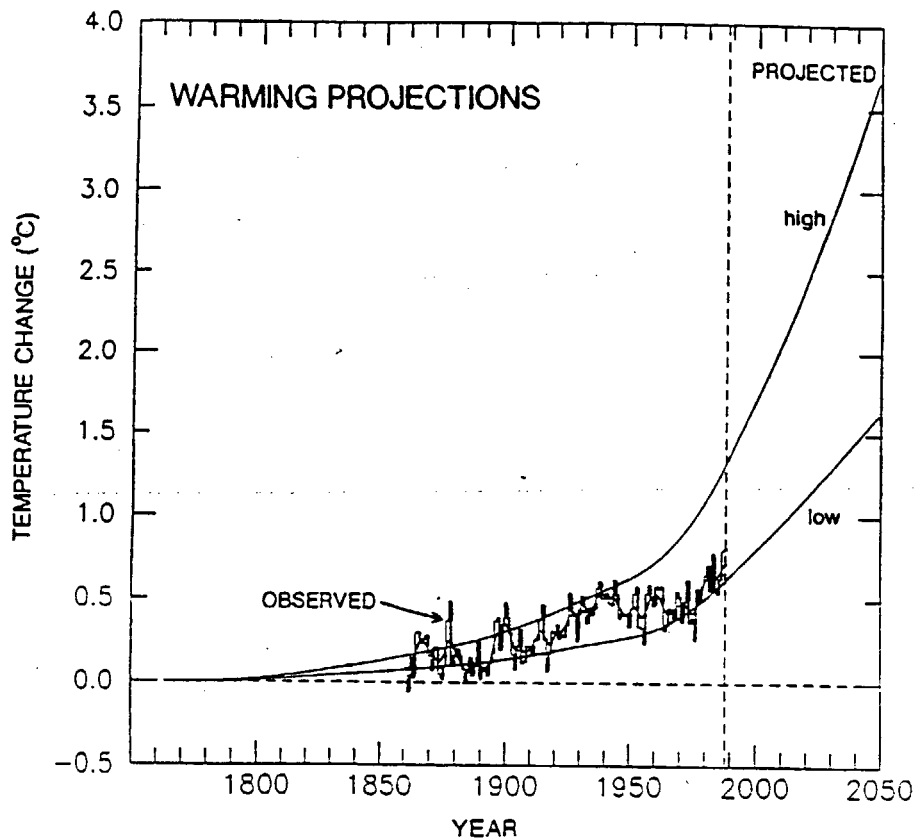
Figur 16.

Utviklingen av midlere global lufttemperatur i årene 1861 - 1988.

for modellberegninger for det globale klimasystemet. Stigningen har imidlertid ikke blitt observert i alle regioner og de to halvkulene har hatt noe forskjellig utvikling. Slike regionale variasjoner er ikke uventet (Figur 16).

Men den observerte stigningen i lufttemperaturen har ikke vært jevn og den er helt klart ikke bare på grunn av en økt drivhuseffekt. Det var for eksempel en nedgang i den globale middeltemperaturen mellom 1940 og 1965 til tross for fortsatt økning i utslipp av drivhusgasser. Det er derfor idag ikke mulig å uttale seg bastant og sikkert om den videre temperaturutviklingen på jorden. Det er for mange usikre faktorer, modellene som benyttes har en rekke begrensninger og forenklinger, observasjonene peker ikke entydig en vei og flere faktorer er usikre. En av dem er havet som med sin store varmekapasitet spiller en stor rolle.

Men til tross for usikkerheter så er det klart hvilken første effekt drivhusgassene har. Det er den videre helhetsvirkningen som er usikker. I tillegg er det så store naturlige svingninger i været på årsbasis at det vil ennå ta flere år før man kan få sikre bevis for utviklingen



Predicted values of global warming due to observed and predicted changes in greenhouse gas concentrations. The range of values between the upper and lower curves reflects uncertainties in the climate system's equilibrium sensitivity to greenhouse gas concentration changes. The zero-point for the observed time series has been raised to make actual and model results directly comparable. Source: T.M.L. Wigley, Climatic Research Unit.

Figur 17.

Antatte (beregnete) verdier for global varming på grunnlag av observerte og antatte endringer i konsentrasjonene av drivhusgasser.

gjennom observasjoner. Men mulighetene for at modellresultatene og andre indikasjoner i hvert fall i hovedsak er riktige, er så stor at man ikke kan sitte å vente på hva som vil komme til å skje. Når man har fått beviset for klimaendringene er det for sent å gjøre noe med dem, slik at man må ta alle mulige forebyggende tiltak så raskt som mulig. Man må arbeide ut fra prinsippet om at man ikke ønsker å forurense atmosfæren.

Beregningene av de kommende klimaendringene går alle samme vei, men sluttresultatene er naturlig nok noe forskjellige. Alle kommer frem til en økning i lufttemperaturen. Forutsetter man en fordobling av karbondioksid i atmosfæren frem til år 2030, så vil en ny likevektstemperatur bli mellom ca 1.5° og 3.5° høyere enn dagens globale middeltemperatur (Figur 17). Man regner med at den største temperaturøkningen vil komme på høyere breddegrader og at den blir størst i vinterhalvåret. På grunn av høyere lufttemperatur vil det bli økt fordampning og dermed økt nedbør. Flere modellresultat virker ikke helt overbevisende når det gjelder nedbøren, men jeg må innrømme at jeg ikke har nok detaljer til å uttale meg sikkert. Det virker som de fleste ender opp med en negativ

vannbalanse over store deler av kontinentene, og at områdene med positiv vannbalanse blir for små når man tar hensyn til at den totale nedbørmengden vil øke.

Hva kan vi så vente oss i Norge dersom prognosene er riktige? Et svar på det må bli meget usikkert, fordi modellene opererer med middelverdier over meget store areal. Men hvis vi velger en noe forsiktig utvikling så er det mest sannsynlige at

- Lufttemperaturen øker mest i vinterhalvåret og det blir mindre økning i sommerhalvåret.
- Nedbøren øker i vinterhalvåret. Temperaturøkningen vil avgjøre hvor mye av nedbøren som kommer som snø og hvor mye som kommer som regn. I høyere nivå kan en kortere sesong med mer nedbør likevel gi mer snø enn idag. Dersom det blir økt nedbør også i sommerhalvåret, så vil det medføre mere skyer og mindre solskinn, noe som vil motvirke en temperaturøkning.
- Det kan bli flere ekstreme vær-situasjoner enn tidligere, f. eks. episoder med kraftig nedbør.

Jeg våger på det nåværende tidspunkt ikke å gå noe lengre i spådommen, men det er klart at det skal ikke så stor endring til før den får vesentlig betydning for produksjonen av vannkraft.

Det vil få betydning både om årssummene av nedbør endres og om fordelingen over året endres.

Magasinbehov vil endres, både om det blir endrede nedbørmengder og/eller fordeling og om forholdet snø/regn-nedbør forandres.

Mildere vintre vil føre til lavere energibehov til oppvarming o.l.

Avløps- og isforholdene kan endres i elver og magasiner.

Hvis det blir flere eller mer ekstreme nedbørtilfeller, så kan det øke risikoen for uhell. Det vil få betydning for dampsikkerhet og regulering.

Det vil få betydning om nedbørfordelingen mellom regioner endres, og det vil også få betydning hvordan nedbørforholdene blir i resten av Europa. Vannkraft vil få økt betydning siden den ikke forurenser. Dersom resultatet blir at vi kan produsere mere energi samtidig som vårt eget behov ikke blir større men kanskje mindre, så burde mulighetene for å eksportere kraft være tilstede.

Det sendes i disse dagene eller om kort tid inn en søknad til Nordisk Ministerråd på vegne av de hydrologiske institusjoner og de hydrologiske komiteer i Norden om et nordisk forskningsprogram om klimaendringer og vannressurser. En viktig del av dette prosjektet vil være å undersøke effekten av mulige klimaendringer på vannkraftproduksjonen.



Vi håper å kunne samle de best kvalifiserte institusjoner/personer i Norden i dette prosjektet og det vil også samarbeide med internasjonale forskningsprogram. Hvis det blir noe av dette prosjektet skulle vi i Norden kunne reagere i tide på mulige endringer og best mulig tilpasse oss til de nye forholdene som måtte komme. Og hvis endringene blir mindre enn hva som fryktes idag, vil ha fått en mye bedre forståelse av samspillet mellom klima og vannressurser og samspillet mellom ulik bruk av vannressursene enn det vi har idag.

Jeg begynte med å si at det var et nært samspill mellom klima og energi. Jeg håper at jeg gjennom dette foredraget har klart å bekrefte denne påstanden, og takker for oppmerksomheten.

#### LITTERATUR:

Aune, B:

"Lufttemperatur og nedbør i Norge. Utvikling i løpet av tiden med instrumentelle målinger"

DNMI - KLIMA Rapport nr 26/89, 1989

Børresen, J.A.:

"Wind Atlas for the North Sea and the Norwegian Sea"

Norwegian University Press/The Norwegian Meteorological Institute, 1987.

Dahl, E.:

"Verdens ressurser, norsk utgave"

Tiden Norsk Forlag, 1981

Farmer, G.:

"Observed global and arctic temperature variations"

Norsk Polarinstituttts rapportserie nr 53, 1989:

Hva skjer med klimaet i polarområdene, symposium 25.- 26. april 1989.

Henderson-Sellers, A. and Robinson, P.J.:

"Contemporary Climatology"

Longman Scientific & Technical, 1986

Maunder, W.J.:

"The human impact of climate uncertainty"

Routledge, London and New York, 1989

Pleym, H. m.fl.:

"Miljøstudier"

NKI Forlaget, 1989

#### FIGURER:

De fleste figurene er kopier av transparenter vist under foredraget.