

Globale miljøproblemer fører til store konsekvenser for vannressursene!

Av Bjørn Edvard Moltzau.

Bjørn Edvard Moltzau er ansatt ved Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo.

«En morgen kan vi våkne opp og oppdage at vi har påført oss selv en permanent oppgave som vedlikeholdingenører for kloden.»

Max Prognosis

Innledning

I de siste årene har det vært en sterkt økende bekymring over det aksellererende omfanget av miljøødeleggelsene, samt den menneskelig påvirkede klimaendringen på Jorden. Miljøproblemene kan inndeles i to hovedgrupper. De lokale som bare gjelder et begrenset område, og de globale som omfatter hele verden. Hovedforskjellen mellom klimaproblemet og andre miljøproblem er at det er mye vanskeligere å regulere effektivt. Klimaendringsproblemet angår alle, og følgelig bør man inngå internasjonale forpliktende avtaler for å løse det.

Hvilken innvirkning på vannressursene vil en klimaendring ha? En av de største konsekvensene vil for menneskene være de regionale forandringer i det hydrologiske regimet, vannbalansen, endringer i vanntilgangen og vannressursene generelt. Disse konsekvensene er nettopp de man minst kjenner omfanget av. Så lenge verdens vannres-

surser er avhengig av det hydrologiske kretsløp, bør hydrologi-faget i langt større grad enn i dag integreres i klimaendringsproblematikken. Hydrologene bør samordne og videreutvikle kunnskap for å ta del i løsningene av disse fundamentale og alvorlige problemene. Dette vil åpne for mange nye og spennende utfordringer i årene som kommer.

Forurenset vann: Et stort miljøproblem!

Vannets viktige rolle som transportør av kjemiske stoffer gjør at man får en naturlig kobling mot forurensning og dens ulike effekter på miljøet. Menneskelig inngrep i miljøet vil påvirke den hydrologiske balansen på flere måter. Enkelte inngrep påvirker i hovedsak vannbalansen og erosjonshastigheten, f.eks. skoghogst, grøfting, vanning, damanlegg, veibygging og bakkeplanering. Konsekvensene for miljøet kan være store, men skikkelig planlegging og iverksetting av spesielle tiltak kan redusere skadevirkningene. Mer alvorlig er forurensning av miljøet i form av utslipp av skadelige stoffer. Vann har en betydelig rolle for spredning av disse stoffene. Det er i denne sammenhengen avgjørende å kjenne til de viktigste pro-

sessene bak generering av avløp. Spesielt viktig er oppholdstiden i ulike medier og nedbrytningsprosesser som finner sted.

Å skaffe tilveie nok rent vann og tilfredsstillende sanitære forhold, er et av de mest presserende problemene i utviklingsland i dag. I mangel på slike muligheter blir elver og innsjøer brukt både til å hente «rent» vann og samtidig som søppel- og vaskeplass. Drikkevannet blir ofte hentet fra steder der mennesker og dyr bader, og om ikke dette er nok så brukes ofte den samme vannkilden som offentlig toalett.

Man antar at forurenset vann er den viktigste smittevei for minst 80% av de sykdommer som rammer den tredje verden. Diaré er den alvorligste av disse. Nesten 50% av dødsfallene i den tredje verden gjelder barn under 5 år som lider av en eller annen form for diaré.

FN's internasjonale vanndekade (1981—90), hadde som målsetting:

«Å tilskynde vann- og sanitærprosjekt, prioritere de grupper som er dårligst tilgodesett, utvikle program som kan brukes på ulike steder og som bærer seg selv, utvikle sosialt høvelige og rimelige system og knytte vannforsyning og sanitæranlegg sammen med andre forbedringer.»

Rekkevidden av FN's vanndekade har vært stor. Verdens helseorganisasjon har koordinert tiåret. I planleggingsfasen av prosjektet regnet man med at 1.8 milliarder mennesker i den tredje verden må få tilgang på rent vann og at 2.4 milliarder flere trenger tilgang til sanitæranlegg. Perspektivene er enorme.

I følge Verdens helseorganisasjon vil «antallet vannkraner pr. 1000 mennesker være et bedre mål på helsetilstanden enn antall sykehussenger» for et utviklingsland. Med andre ord vil effekten bli langt større hvis man investerer i forebyggende tiltak, først og fremst i form av rikelige forsyninger med rent vann. Vanntilgang og vannforurensning har lenge vært et problem og vil dessverre forbli det i mange år ennå. En global klimaendring vil ytterligere forsterke problemet p.g.a. endringer i verdens vanntilgang.

Internasjonalt samarbeid: En nødvendighet!

FN vil etter all sannsynlighet være koordinatør og ansvarlig for å få istand en internasjonal klimakonvensjon, bl.a. for å klarlegge de globale klima-problemene verden står overfor. Arbeidet skal resultere i en rapport som skal debatteres av FN's hovedforsamling. Flest mulig fakta skal på bordet, samtidig som mottiltak foreslås. Tanken er at dette så skal danne grunnlaget for en internasjonal klimaavtale, hvor all verdens land eventuelt erkjenner problemene og skisserer hvordan man skal angripe dem. Mye tyder på at tidligere miljøforhandlinger som regionale tvistemål og nedrustningsforhandlinger vil fortone seg som enkle i forhold. Forhandlinger om en internasjonal klimakonvensjon vil nemlig berøre de fleste sider av verdenssamfunnet, fra oljepriser og våpenindustri til stor-kapital og hele øst/vest-problemet. Men ingen avtale går lenger enn det den minst entusiastiske part ønsker. Erfaring tilsier at avtaler som er inngått innenfor rammen av FN vil bidra til politisk legitimitet fra de fleste av ver-

dens land, og særlig fra utviklingslandene og små og mellomstore industri-land.

Ved hjelp av globale klimamodeller kan endringer beregnes!

Selv relativt enkle modeller kan forklare visse globale fenomener. Med kjennskap til Jordens gjennomsnittlige refleksjonsevne (albedo) og konsentrasjonen av de forskjellige drivhusgasser kan man regne seg frem til Jordens gjennomsnittstemperatur.

Klimamodeller brukes i dag for å kunne studere hvilke effekter en eventuell klimaendring får for oss. Dette gjøres ved enten å velge tenkte forhold i fremtiden (scenarier), eller ved å koble fysiske og kjemiske modeller til klimamodellen slik at man direkte beregner effekten av økt innhold av CO₂ og andre klimagasser i atmosfæren.

I dag finnes det hundrevis av klimamodeller i bruk og under utvikling. De kan generelt inndeles i fire ulike grupper:

- 1) Energifalanse modeller
- 2) Strålings- og konveksjonsmodeller
- 3) Statistisk dynamiske modeller
- 4) Generelle sirkulasjonsmodeller (GCMs)

For å kunne utarbeide prognoser for Jordens fremtidige klima og dets geografiske fordeling er man avhengig av å benytte globale sirkulasjonsmodeller der hele atmosfærens sirkulasjonsmønster er inkludert. Men GCMs er begrenset av oppløsningen på det horisontale rutenettet, som for de vanligste modellene er 500 × 500 km. Dette betyr at regionale forhold som topografiske og hydrologiske detaljer ikke blir

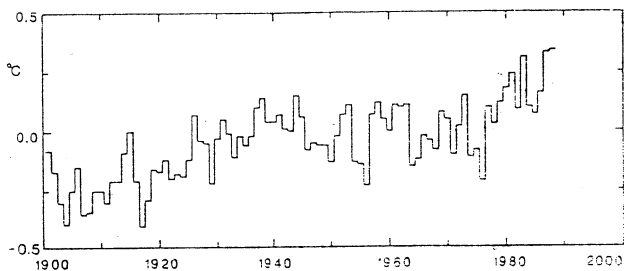
godt nok ivaretatt og integrert i disse modellene. For å kunne forutsi klimaet regionalt må man bruke tredimensjonale modeller.

Hvilke konsekvenser vil en global klimaendring få?

Naturlige klimavariasjoner på Jorden har vært normalt i historien, og det finnes flere teorier om årsakene til dette (Moltzau, 1989a). Konsekvensene har vært store som f.eks. tørke, matmangel og flomkatastrofer. Årsakene kan være flere, bl.a. forandringer i solintensiteten, jordaksens helning i forhold til jordbanen, vulkansk aktivitet. Det er behov for bedre kjennskap til de mekanismer som styrer klimaet før vi med tilfredsstillende sikkerhet kan si i hvilken grad dagens temperaturøkning har en naturlig eller antropogen årsak.

I løpet av de siste 100 år har den globale temperaturen steget svakt frem til 1940, deretter har det vært en svak avkjøling avbrutt av en raskere stigning i 1970-årene (Jones et al., 1986). De seks varmeste årene er på 1980-tallet med 1988 som en foreløpig topp. For Norge var avviket i gjennomsnitt fra «normalen» (1951–80), + 0.35 grader Celsius. Dette er tre ganger høyere enn den naturlige fluktuasjonen i årsmiddeltemperaturen omkring 30-årstallet. Dette underbygger hypotesen om at en signifikant temperaturøkning finner sted, og at man ikke bare er vitne til en tilfeldig variasjon omkring en konstant middelverdi.

Det knytter seg imidlertid usikkerhet til hvor mye av denne oppvarmingen som har naturlige årsaker og hvor mye som er forårsaket av utslipp av driv-



Figur 1. *Figuren viser lufttemperaturvariasjonene globalt fra 1900 og frem til i dag (etter Lloyd, 1989).*

husgasser som har funnet sted siden den industrielle revolusjon. Selv om det er klare indikasjoner på at vi i dag er vitne til en klimaendring, er det likevel en utbredt oppfatning i litteraturen og i forskningsmiljøene at man behøver enda 10 år med gode observasjoner for å kunne fastslå hvorvidt en menneskelig påvirket endring av klimaet finner sted og hvor stor denne er.

Den observerte globale oppvarmingen de siste 30 år er omtrent som forventet ut fra numeriske modellberegninger for klimaet som tar hensyn til økningen i atmosfærens innhold av drivhusgasser. Det virker derfor sannsynlig at den observerte temperaturøkning i det vesentligste skyldes våre utslipp av drivhusgasser.

Det må likevel understrekes at modellene er beheftet med store usikkerheter. Bare små endringer f.eks. i havstrømmene kan få store klimatiske konsekvenser. Dagens modeller tar bl.a. ikke tilstrekkelig hensyn til en svært viktig faktor som verdenshavens sirkulasjon, noe som fører til en lavere presisjon i beregningsresultatene i regional skala. Hvis f.eks. Golfstrømmen skulle endre retning slik at den ikke når norskekysten, vil vi i Norge kunne risikere en dramatisk nedgang i

gjennomsnittstemperaturen selv om man globalt opplever en oppvarming.

På grunn av havets store varmekapasitet vil en temperaturendring manifestere seg lenge etter årsaken til den. Man regner med at det tar ca. 50 år for atmosfæren å komme i likevekt med havet. Det er derfor av stor betydning å utvikle klimamodeller som tar hensyn til en slik forsinkelse av likevekts-tilstanden, slik at man kan få resultater for tidsrommet frem til likevekt inntre.

Det er også viktig å få bedre kunnskap om havets og biosfærens rolle som kilde og magasin for drivhusgasser. De fleste klimamodeller forutsier, ved en dobling av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren, en temperaturøkning på omkring 3.5—4.5 grader Celsius, og en økning i nedbøren på 7—11% (Schlesinger & Mitchell, 1987). Men den geografiske fordelingen til disse endringene varierer signifikant fra modell til modell.

En temperaturøkning som følge av økt absorpsjon av Jordens varmestråling i atmosfæren vil ikke bli jevnt fordelt over Jorden. Simuleringer viser at temperaturoppgangen vil bli størst på høye breddegrader. Noen modellberegninger viser at den gjennomsnittlige vintertemperaturen i deler av Skan-

dinavia kan bli ca. 10 grader Celsius høyere enn i dag, dersom atmosfærens innhold av CO₂ fordobles.

Man regner med at en økning i temperaturen vil føre til en delvis avsmelting av isen ved polene. Først vil havisen smelte, og dette vil medføre en endring i Jordens albedo, slik at mer stråling blir absorbert. Hvis havisen forsvinner vil også havets sirkulasjonsmønster endres, med ukjente klimatiske konsekvenser. Den rene termiske ekspansjonen av verdenshavene vil bidra til heving av havets nivå. En slik heving vil forårsake alvorlige problemer i kystnære områder for store deler av Jordens befolkning.

Med konsekvenser forårsaket av en mer permanent menneskelig påvirket klimaendring tenker man på virkninger dette vil få på plantelivet, på menneskets levevilkår og på samfunnet generelt. En global temperaturøkning kan få store følger for det biologiske systemet i havet og på land. Grensene for utbredelse av dyr og planter vil endres. Hvert eneste land på hele kloden vil berøres. I dag er det få som betviler at en omfattende klimaendring vil komme. Men det er ingen pr. i dag som har en tilstrekkelig oversikt over hvor store endringene blir og over de reelle konsekvensene. Man har bare formeninger om noen av de naturvitenskapelige konsekvensene menneskene risikerer å stå overfor (Erichsen og Moltzau, 1990).

Hvordan beregne de regionale konsekvensene for vannressursene?

Den romlige oppløsningen i generelle sirkulasjonsmodeller blir for grov til å gi et innblikk i de regionale endringene. Hvordan kan man så få bedre in-

formasjon om de forventede endringene i vannressursene i et regionalt og ikke bare i et globalt perspektiv? En fremgangsmåte er å benytte ulike hydrologiske modeller, men da må man kjenne til hvilke fordeler og begrensninger disse har for simuleringer i regional skala.

De mest fleksible hydrologiske modellene som kan brukes til dette formålet er modeller som bygger på vannbalanseprinsippet. Vannbalansemodellene har blitt brukt under mange ulike hydrologiske forhold. De har den fordel at modellene lett kan tilpasses og modifiseres for bruk under ulike hydrologiske regimer og forhold (Gleick, 1986). Under forhold der klimaet endrer seg vil modellenes fleksibilitet by på mange fordeler. I estimater av mulige konsekvenser av klimaendringer vil store usikkerheter og fallgruver begrense presisjonen i beregningene. Disse problemene kan reduseres hvis man tar hensyn til anvendeligheten av modellen som velges.

Tar man hensyn til de overfor nevnte betraktningene vil koblingen mellom GCMs og regionale vannbalansemodeller kunne sørge for bedre og ny informasjon om de regionale vannressursforholdene ved en global klimaendring. Dette er viktig informasjon for beslutningstakere som skal fatte rasjonelle vedtak for å dempe effekten av fremtidige klimaendringer.

I de siste årene er det gjort forsøk på å vurdere de regionale konsekvensene av en klimaendring (Nemec & Schaake, 1982, Revelle & Waggoner, 1983). Disse arbeidene viser at relativt små forandringer i det regionale nedbør- og evapotranspirasjonsmønsteret kan føre til store regionale endringer i vannressursene. For å få mer realistiske estimater

av de aktuelle endringene, bør visse forbedringer i beregningsgrunnlaget gjøres.

I nær fremtid vil en større forståelse av stor-skala hydrologiske prosesser bli stadig viktigere p.g.a. at klimaendringsspøblematikken må sees i en regional og ikke bare i en global sammenheng. Behovet for en større forståelse av de regionale hydrologiske forholdene blir nærmere belyst i Moltzau (1989b og 1989c).

En utfordring for fremtidig forskning

Etter som bruken av generelle sirkulasjonsmodeller øker bør tidligere hydrologiske forskningsresultater og eksisterende hydrologiske modeller kunne kobles til disse. Dette er av særlig betydning for å få mer detaljerte beskrivelser av de regionale- og lokale konsekvensene av den fremtidige situasjon med hensyn til Norges vannressurser.

Det er bl.a. behov for å analysere:

- * Historiske naturlige variasjonsmønstre i det hydrologiske regimet.
- * Sammenhengen mellom prosessene i naturen (atmosfære — vegetasjon — bakke), som har stor betydning for modellutvikling.
- * De regionale fordelingene av hydrologiske og fysiografiske variable for å utvikle en prosedyre for å overføre hydrologisk informasjon mellom ulike skalanivåer.

Videre bør man kartlegge konsekvensene av en klimaendring. Dette vil bl.a. være av betydning for:

- * Damsikkerhet
- * Grunnvannsforholdene
- * Energiforsyning
- * Vannforsyning

Konklusjon

De samfunnsmessige virkningene av en global klimaendring er vanskelig å forutsi, men man må regne med at konsekvensene vil bli store innen de fleste områder som f.eks. jordbruksproduksjon, bosetningsmønster og vannressurser.

Det vil bli nødvendig for verdens politikere å iverksette omfattende tiltak, hvilket vil kunne få store konsekvenser for internasjonal handel, økonomisk vekst og for den enkeltes livsstil.

Menneskene har en lang vei å gå som gryende ansvarsbevisste forvaltere av Jorden. Selv om vi har en strøm av tilgjengelige data, er det mange kritiske områder hvor vi vet for lite, måler de gale tingene eller må stole på gjetninger. Det påligger derfor alle et ansvar for å utforme en lokal politikk som bygger på global forståelse.

LITTERATUR

- Erichsen, B. & Moltzau, B.E., 1990: Klimaendringer og Hydrologi: En statusrapport. Rapp. Hydr. Univ. Oslo, Nr. 23. (in prep.)
- Gleick, P.H., 1986: Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes. Journ. Hydrol. 88, 97—116.

- Gleick, P.H., 1987: Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO₂ and other trace gases. *Climatic Change* 10, 137—167.
- Moltzau, B.E., 1989a: Hydrologi — Klimaendringer — Samarbeid. *Vannet i Norden*, Nr. 2, 3—13.
- Moltzau, B.E., 1989b: Hydrologi — Klimaendringer — Samarbeid. Del II. *Vannet i Norden*, Nr. 3, 3—12.
- Moltzau, B.E., 1989c: Regionaliseringsmetoder i Hydrologi. *Rapp. Hydr., Univ. Oslo*, Nr. 22, 53 s.
- Jones, P.D., Wigley, T.M.L., Wigley & Wright, P.B., 1986: Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*, 322, 430—434.
- Lloyd, P., 1989: News and Views. *Nature*, 337, 598.
- Nemec, J. & Schaake, J., 1982: Sensitivity of Water Resource Systems to Climate Variation. *Hydrol. Sciences*, 27, 327—343.
- Revelle, R.R. & Waggoner, P.E., 1983: Effects of a Carbon Dioxide-Induced Climatic Change on Water Supplies in the Western United States. In: *Changing Climate*. National Academy of Sciences. *Nation. Acad. Press*, Washington D.C., 419—432.
- Schlesinger, M.E. & Mitchell, J.F.B., 1987: Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. *Rev. Geophys.*, 25, 760—798.