

Klimaendringers effekt på flom og tørke

Av Elin Langsholt

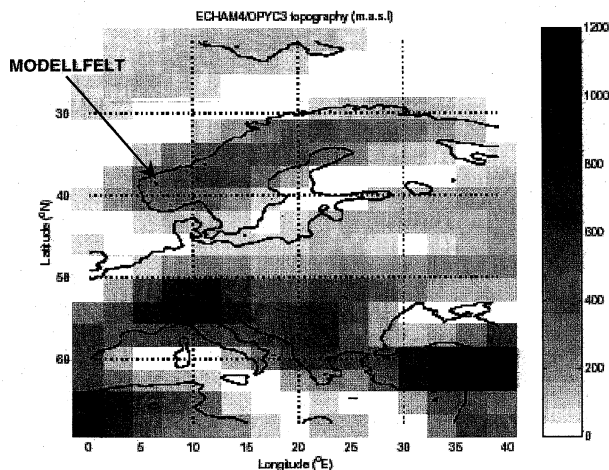
Elin Langsholt er ansatt i Norges vassdrags- og energidirektorat, Hydrologisk avdeling, Vannbalanseseksjonen

Innlegg på seminar 21. mars 2002

Innledning

Effekten av klimaendringer på hydrologi studeres vanligvis ved å bruke resultatene fra globale sirkulasjonsmodeller (GCM-modeller) og definere endringer i inndata til hydrologiske modeller ut fra disse. Ved en slik framgangsmåte koples datasett med vidt forskjellig skala. Fig. 1 viser gridnettet og topografien i en GCM-modell fra Max-Planck Institutttet. Den har en romlig oppløsning på noen titusener km² og kjøres på månedlige tidsskritt. Figuren viser også en typisk skala for et HBV-modellfelt, noen titalls km² og døgnlige

tidsskritt, eller enda kortere. Det er med andre ord nødvendig å nedskalere dataene fra GCM-modellene til en finere skala. Det er gjort en del studier ved hjelp av slike nedskalerte data av effekten av klimaendringer på akkumulerte avløpsparametre, som årsavrenning og årstidsfordeling av avløp. Vanskeligere er det å finne studier som handler om klimaendringers virkninger på hydrologiske ekstremer, altså flom og tørke. Dette er hydrologiske forhold som ofte er betinget av værhendelser som har liten romlig og temporær skala, og vanlige teknikker for nedskalering er generelt dårlig egnet til å generere slike data.



Figur 1. Gridnett og topografi for en av Max Planck-instituttets generelle sirkulasjonsmodeller. Et tenkt HBV-modellfelt er også vist.

Fra globale klimascenarier til hydrologisk modell

Data kan nedskaleres ved hjelp av flere teknikker, fra enkle interpoleringsalgoritmer til komplekse metoder, der man anvender empiriske og statistiske relasjoner.

I prosjektet RegClim (se internett-side <http://www.nilu.no/regclim/>), som er basis for mye av det som gjøres i vår region, benyttes to ulike metoder, dynamisk og empirisk nedskalering. Ved dynamisk nedskalering legger man inn data fra en global klimamodell som randbetingelser i en regional modell. Ved empirisk nedskalering utnytter man empiriske statistiske sammenhenger mellom lokale klimaparametre og storstilte atmosfæriske forhold, som klimamodellene sier noe om.

I prosjektet Klimautvikling og kraftproduksjonspotensiale, som presenteres nedenfor, skal det i tillegg benyttes stokastisk nedskalering. Her anvendes en stokastisk modell til å interpolere nedbør og temperatur til mindre skala. Med denne metoden kan man simulere et realistisk småskala værfelt, dersom den stokastiske modellen er i stand til å rekonstruere den naturlige, lokale variabiliteten i været.

Et alternativ til nedskalering er å bruke lange historiske tidsserier, og se på trender og variasjonsmønstre i flom- og lavvannsparametre. Ved å gjøre antakelser om forholdet mellom variasjonsmønsteret i den historiske tidsserien og i simulerte scenarier, kan man dra konklusjoner om klimaendringenes effekt på hydrologiske ekstremere. Men det er foreløpig dårlig grunnlag for å gjøre slike antakelser, og derfor relativt stor usikkerhet knyttet til slike studier.

En annen metode som har vært benyttet har vært å finne analoge dataserier. Man bruker resultater fra GCM-simuleringer til å finne områder som har en historisk dataserie som representerer omtrent samme klima som det aktuelle området antas å få en gang i framtiden. Man bruker så denne analoge serien som inndata i det aktuelle området for å si noe om en tilsvarende klimaendringens effekt på avløpet.

Hydrologisk modellering

HBV-modellen er svært godt innarbeidet i vårt hjørne av verden. Den er enkel og grei og fungerer tilfredsstillende til mange formål, og er mye brukt også til å beregne klimaendringers effekt på avløpet.

Etter hvert som fysiske feltparametre blir stadig mer tilgjengelige som GIS-informasjon og anvendelsen av fjernmålte data utvikles, er det et økende marked for distribuerte gridbaserte hydrologiske modeller, som kan utnytte disse dataene, spesielt i områder der det er tynt med bakkemålte hydrologiske og meteorologiske data

Uansett er det kanskje en trøst for hydrologiske modellutviklere at dersom den hydrologiske modellen er sånn rimelig fornuftig, så er inntil videre usikkerheten i klimascenariene og nedskaleringen langt større enn usikkerheten i den hydrologiske modellen.

Globale endringer i årsavløpet

FNs klimapanel har utarbeidet kartet på fig. 2 (IPCC, 2001). Det viser den globale endringen i årlig middelavløp

i mm/år fra 1961-90-middelet til 2050. Generelt sammenfaller dette kartet godt med et kart over endringer i nedbør i samme periode. Vi ser en

økning i avløpet over høye og til dels midlere bredder, avtakende avløp i subtropiske strøk og til dels økende avløp i ekvatoriale strøk.

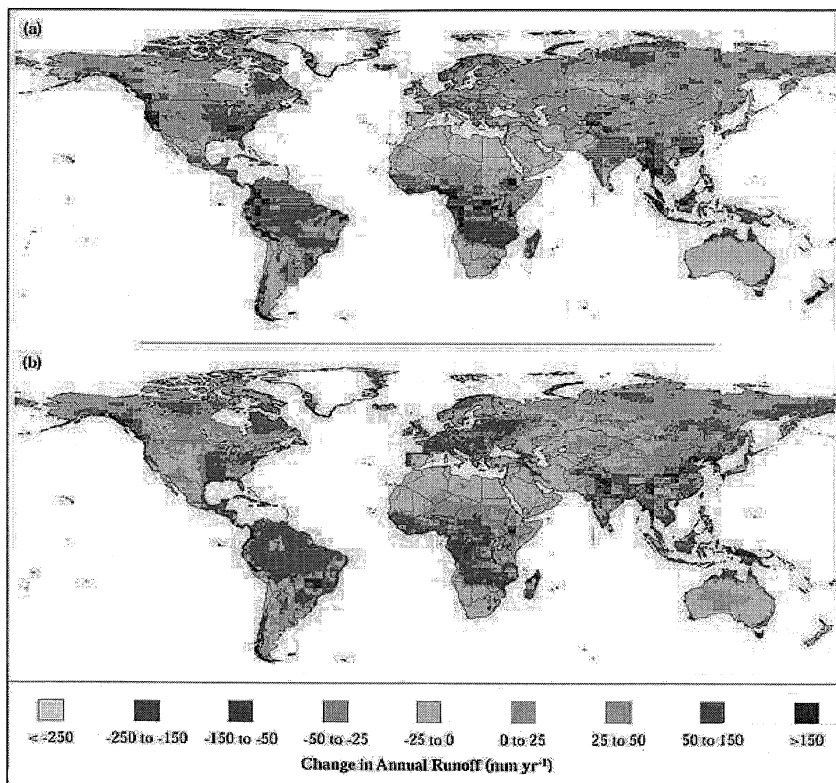


Fig. 2. Endring i årlig middelavrenning (mm/år) i 2050 i forhold til 1961-1990-middelet. Kartene viser to forskjellige sett modellresultater. Beregningene er satt sammen FNs klimapanel

Variasjonen over året er generelt godt korrelert med nedbørvariasjonen, med unntak av regioner der snødekket er sårbart for temperaturendringer. Over Nord- og Øst-Europa, deler av Nord-Amerika, Russland, Nord-Kina og Sentral-Asia vil vi få en forskyvning i avløpet fra våren til vinteren, siden mer av vinternebbøren vil falle som regn. I svært kalde regioner er ikke denne

effekten viktig, for der vil nedbøren falle som snø om vinteren uansett.

I mer tempererte klimasoner er det hydrologiske regimet dominert av årstidsvariasjonene i nedbør og evapotranspirasjon, og snø har liten effekt. Her vil klimaendringer påvirke avløpsstørrelsen i de ulike årstidene, avhengig av nedbørendringene, og flere steder vil oppleve en forsterket

årstidsvariasjon, mens fordelingen i tid ikke påvirkes. Typisk for store deler av Vest-Europa er at vinteravløpet øker, mens sommeravløpet avtar, siden sommernedbøren avtar, samtidig som fordampningen øker i de fleste scenarier.

Mange aride og semiaride regioner har uendret avløp eller en negativ endring. Avløpet her er generelt svært sensitivt overfor endringer i nedbørmengde. En gitt prosentvis endring i nedbøren kan føre til en mye større prosentvis endring i avløpet.

I humide tropiske regioner er det en tendens at årsavløpet øker. Her er avløpsregimet bestemt av tidspunktet og varigheten av regnesongen, for eksempel monsunen. Klimaendringer kan derfor påvirke avløpet både pga. endringer i mengden nedbør og endringer i når regntida starter og hvor lenge den varer.

Det er relevant for hyppigheten av flommer at frekvensen av store nedbørhendelser ser ut til å øke med global oppvarming. Generelt kan vi si at prognoserte endringer i nedbørverdier er mye mer usikre enn endringer i temperatur, og prognoserte regionale endringer er mye mer usikre enn endringer i globale middelmønstre.

Over store deler av verden er trendene i nedbør forårsaket av global oppvarming relativt små sammenliknet med naturlig variasjonen fra tiår til tiår, selv mot slutten av århundret.

Regionale studier

Klimautvikling og kraftproduksjonspotensiale

Meteorologisk Institutt (met.no) og NVE har et klimaprojekt gående på oppdrag fra Energibedriftenes landsforening (EBL Kompetanse). Forprosjektet hadde som mål å lage en oversikt over langtidsvariasjoner i temperatur, nedbør og avløp gjennom det 20. århundret i Norge (Førland et al., 2000). Avløpsparameterne som ble studert var årlig akkumulert avløp og årstidsfordelingen av avløpet.

Figur 3 viser eksempler på langtidsvariasjoner i årsavløpet. For Sørøst-Norge ser man en avtakende trend fram til ca 1975 og en økende trend videre framover til i dag (fig 3a), for Vest- og Midt-Norge kan man se en stabil eller avtakende trend fram til ca. 1965 og en økende trend fram til i dag (fig. 3b), og for Nord-Norge en økende trend fram til ca. 1970 og deretter stabile forhold (fig. 3c).

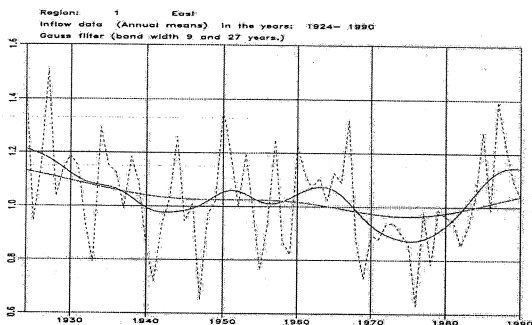


Fig. 3a. Langtidsvariasjoner i årlig avløp. Eksempel fra Østlandet

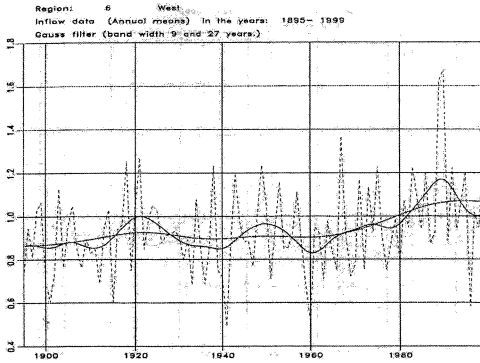


Fig. 3b.
 Langtidsvariasjoner i
 årlig avløp. Eksempel fra
 Vestlandet

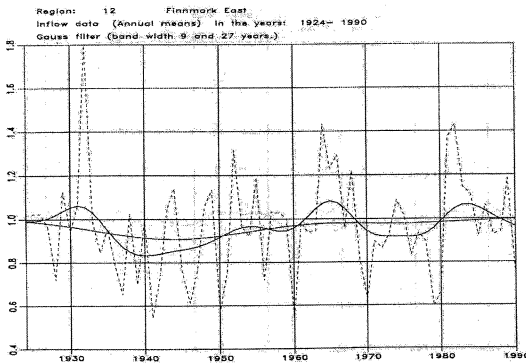


Fig. 3c.
 Langtidsvariasjoner i
 årlig avløp. Eksempel fra
 Nord-Norge

Tilsvarende kan vi se på langtidsvariasjoner i sesongavløp, se eksempler i fig. 4. Generelt har vannføringen om våren økt i alle regioner (fig. 4a), sommervannføringen er redusert i Sørøst- og Midt-Norge, eller er den stabil (fig. 4b), høstvannføringen har økt på Vestlandet, ellers er det små

endringer (fig. 4c), og vintervannføringen er stort sett stabil (fig. 4d). Dette forprosjektet forteller mye om trender i midlere avløp, men det sier ikke noe om utviklingen i hydrologiske ekstremer. I HYDRA-prosjektet har man sett på trender i flomverdier.

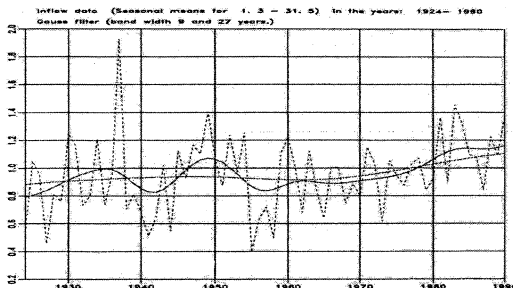


Fig. 4a.
 Langtidsvariasjoner i
 sesongavløpet. Eksempel
 på vårvannføring i Sør-
 Norge

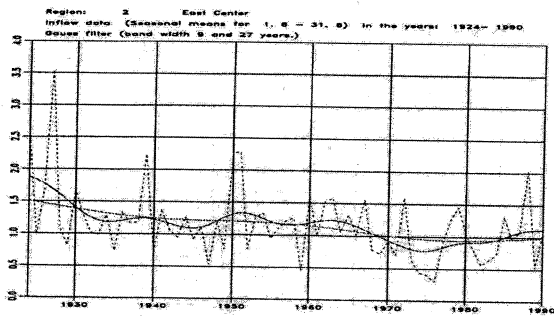


Fig. 4b.
Langtidsvariasjoner i
sesongavløpet.
Eksempel på sommer-
vannføring på
Østlandet

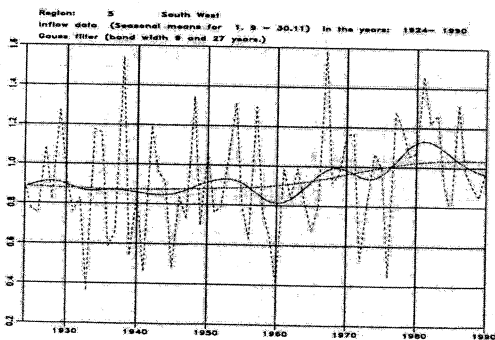


Fig. 4c.
Langtidsvariasjoner i
sesongavløpet. Eksempel
høstvannføring på
Vestlandet

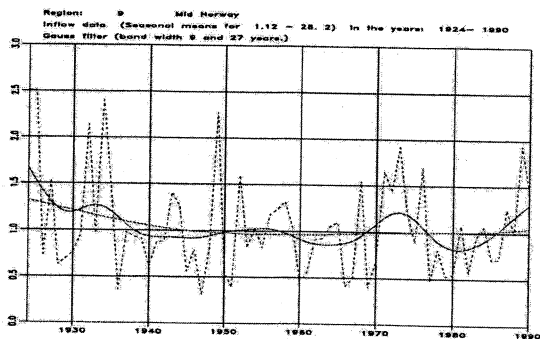


Fig. 4d.
Langtidsvariasjoner i
sesongavløpet. Eksempel
på vintervannføring i
Midt-Norge

Analyse av lange flomserier

For å undersøke om det er mulig å identifisere systematiske endringer i flomforholdene over tid, har man i HYDRA-prosjektet sett på langtidsvariabiliteten i årlig maksimal vannføring (Roald, 1999). I motsetning til for midlere avløp, var det for største årlige avløp ikke mulig å påvise klare trender i de uregulerte flomseriene, og

man kan ikke på grunnlag av dette si at flommene er blitt større i noen del av landet. Heller ikke når det gjelder tidspunktet for største årlige flom er det mulig å se klare trender. Det mest påfallende trekket her er hvordan det, særlig i noen regioner, er et dekadisk mønster der perioder med dominans av vårflom veksler med perioder med dominerende høstflommer, se fig. 5 for et eksempel.

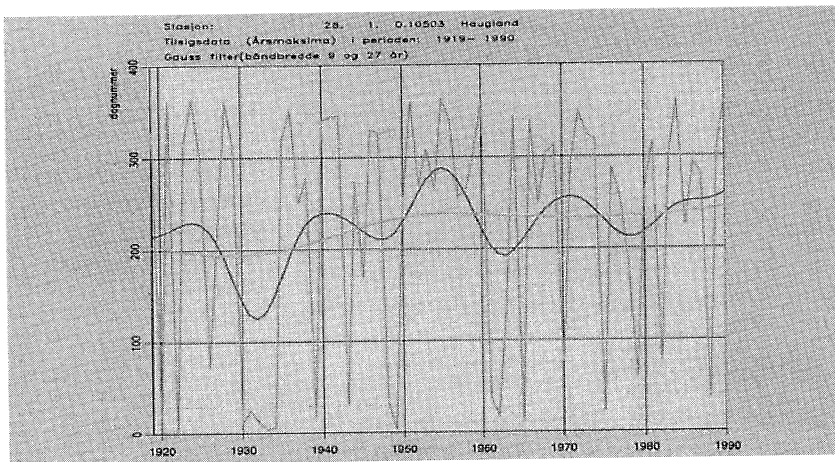


Fig. 5. Tidsserie som viser døgnnummer i året for største årlige flom, eksempel fra Sørvestlandet.

Man kan dessuten legge merke til en regional opphoping av flommer i enkelte perioder. Typisk er perioden 1927 - 1940 og fra 1987 og utover på Østlandet, se fig. 6. Den statistiske sammenhengen mellom største årlige flomverdi og årlig middelvannføring er moderat, noe som er med å forklare at det ikke ble påvist trender for flomverdiene der det var trender i middelvannføringen. Et eksempel har vi på Vestlandet, der både nedbørmengdene og årsavløpet har en tydelig

stigende trend. Studier her har vist at nedbørepisodene opptrer hyppigere enn før, men det er ingen økning å finne i maksimal døgnnedbør. Dette forklarer hvorfor det stort sett ikke er funnet en tilsvarende trend i flomvannføringer på Vestlandet.

Det er imidlertid vanskelig å regionalisere flomseriene, fordi flomverdiene er sterkere avhengig av nedbørfeltets egenskaper enn midlere avløp. Det kan derfor hende at man kunne påvist trender lokalt.

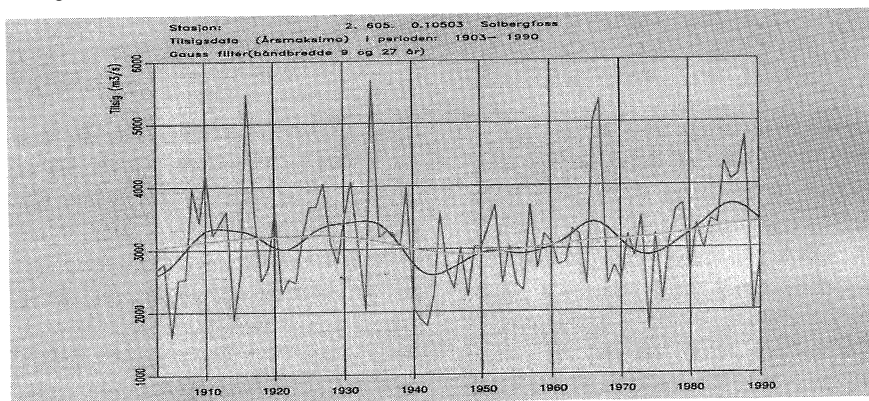


Fig. 6. Tidsserie som viser største årlige vannføring, eksempel fra Glomma

Klimaendring og vannkraftproduksjon

Klimaendringers effekt på vannkraftproduksjonen er tema for nordisk samarbeid. De hydrologiske tjenestene i Norden og det nordiske vannkraftmiljøet startet i 2001 opp prosjektet "Klima, vann og energi", og et tilsvarende prosjekt, "Klimaendring og vannkraftproduksjon", i perioden 1991 til 1996, hadde til hensikt å studere effekten av de da foreliggende klimascenariene på det nordiske vannkraftsystemet (Sælthun et al., 1998).

Figur 7a viser temperatur- og nedbørscenariet som ligger til grunn for dette prosjektet. Den største temperaturøkningen ventes over Finland og Nord-Sverige og indre deler av Finnmark. Økningen avtar mot ytre og sørvestlige strøk. Temperaturøkningen over året ventes å følge en sinuskurve med størst økning om vinteren og minst om sommeren. Usikkerheten i nedbørscenariene er mye større enn usikkerheten i temperaturscenariene, men en mulig ned-

børøkning ligger på 3-4% per grad temperaturøkning over Finland og nordlige deler av Sverige økende til 5-6% per grad langs norskekysten. I tråd med temperatursvingningene ventes størst nedbørøkning om vinteren og minst om sommeren. Evapotranspirasjonen ventes å øke med 100 til 200 mm pga. økning i sommertemperaturen, og fordi snødekt periode blir kortere slik at vekstsesongen og dermed transpirasjonen øker. Vinteren kortes grovt ned med en måned i hver ende. Når nedbøren endres med 15 - 20 % vil altså denne økningen mange steder elimineres av det økte fordampningstapet. En fordampningsøkning på 150 mm vil veie opp nedbørøkningen når årsnedbøren ligger på 1000 mm.

Dermed vil årsavløpet øke i vestlige, mer nedbørrike strøk og avta i de mer kontinentale østlige områdene. Figur 7b viser beregnet prosentvis årlig avløpsøkning etter 100 år. Vestlandet har opp til 20 % avløpsøkning og en tilsvarende reduksjon ser vi i Sør-Sverige.

Temperature and precipitation scenarios

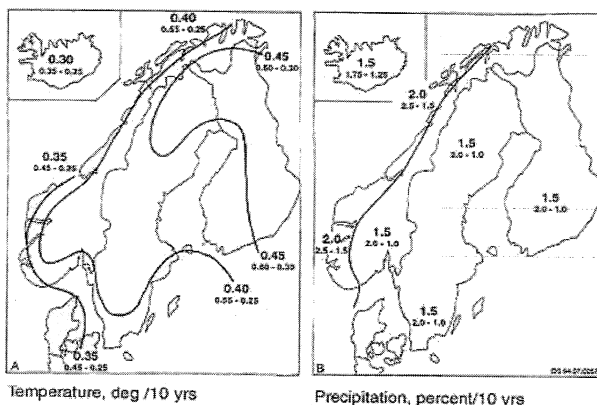


Fig. 7a. Temperatur- og nedbørscenariet som ligger til grunn i prosjektet "Klimaendring og vannkraftproduksjon. Temperaturscenariet til venstre er gitt i grader endring per 10 år, nedbørscenariet til høyre er gitt i % endring per 10 år.

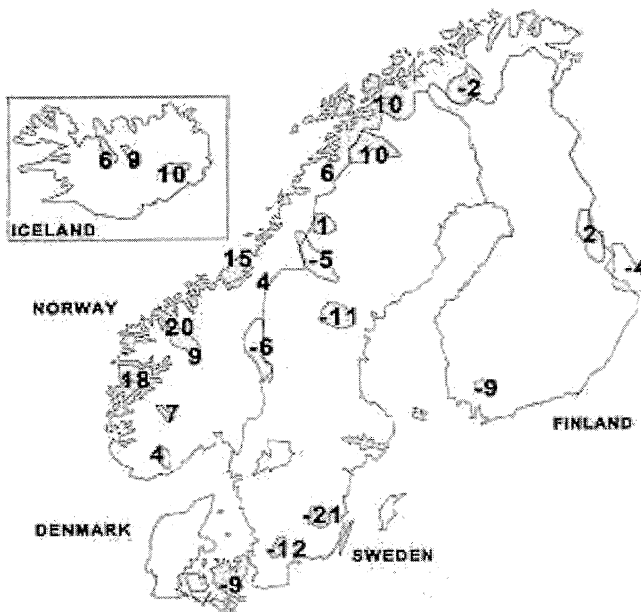


Fig. 7b.
 Prosjektet
 "Klimaendring og
 vannkraftproduksjon": prosentvis
 årlig avløpsøkning
 etter 100 år.

Endringer i årstidsfordelingen av avløpet er avhengig av hvor følsomt snødekket i det aktuelle feltet er for endringer i temperaturen. Generelle trekk er at vinteravløpet øker, vårfloppen blir mindre markert eller helt borte og vårfloppen kulminerer før. Sommeravløpet avtar mange steder på grunn av økningen i evapotranspirasjon, unntatt i brefelt, der vi ser en økning på grunn av økt smelting fra breen. Scenarier for årstidsfordelingen av avløp har generelt mindre usikkerhet enn scenarier for størrelsen på avløp, siden den er hovedsakelig temperaturstyrt, og temperaturscenariene er mer entydige enn nedbørscenariene.

I denne studien har man også sett på flomfrekvens under et endret klimaregime. Det er da antatt at variabiliteten i klimavariablene ikke endres. Det betyr at eventuelle fram-

tidige endringer i flomfrekvens som skyldes endringer i klimatisk variabilitet, som for eksempel hyppighet og intensitet til nedbørhendelser, ikke kommer i betraktning. Antall nedbørdager er altså konstant, og nedbørekstremene er justert etter samme forhold som middelnedbør. Hvis for eksempel antall nedbørdager øker, som i eksempelet fra Vestlandet, ville det virke i retning av mindre økning i ekstremnedbør enn i middelnedbør.

Generelle trekk er at vårfloppen reduseres pga. mindre snøakkumulasjon, og høst- og vinterfloppene øker på grunn av nedbørøkning, men også fordi denne sesongen blir lengre, slik at sannsynligheten for flom generelt øker. Årlig middelflom og ekstremflopper avtar i regioner med en dominerende vårflopp, og øker i områder med dominerende høstflopp. Dette gjelder for døgnlige data. Hvis

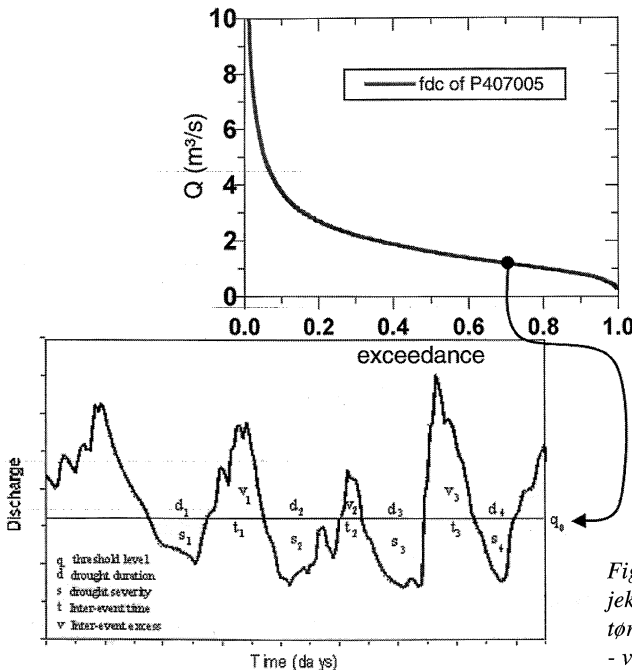
man tok hensyn til at vårfloppen vanligvis har en større varighet enn høstflopper ville kanskje bildet se annerledes ut.

ARIDE: Forekommer tørke i Europa hyppigere, og har tørkene blitt mer alvorlige?

Endelig skal vi se på en studie som er gjort på tørke. ARIDE-prosjektet er et europeisk prosjekt, der Norge er med. Bakgrunnen for prosjektet var en generell enighet om at klimascenarienes temperaturøkning vil føre til en forsterket årstidsvariasjon i den hydrologiske syklusen, med hyppigere ekstremisituasjoner i Europa. Dette vil mange steder ha stor effekt på vannforsyningen, jordbruket og våtmarkenes økosystem. Vannbehovet i Europa er sterkt økende. Mange

Europeiske vassdrag har opplevd ekstreme tørkeepisoder seint på 80- og på 90-tallet. Denne studien undersøker om det kan påvises at lavvannsepisoder de siste årene har forekommet oftere og vært verre enn før (Demuth and Stahl, 2001).

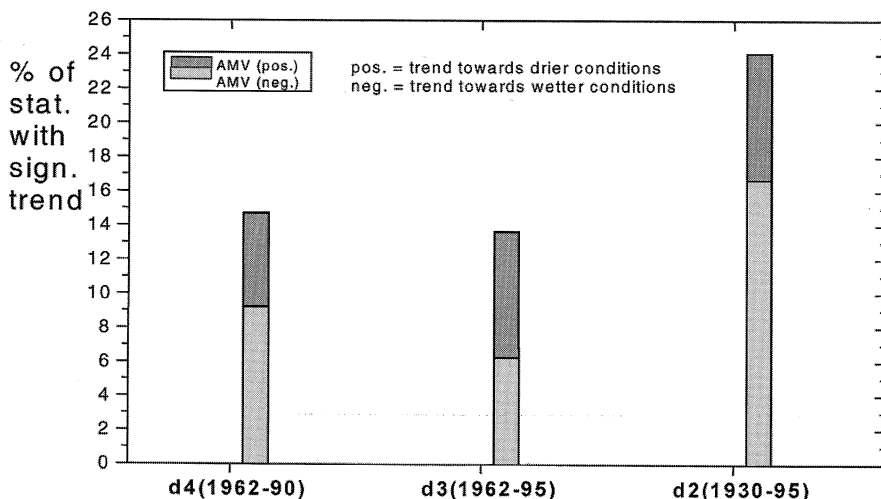
Tørke kan defineres på mange måter. Her er tørke relatert til vannføring, og en terskelmetode er brukt, se fig. 8. Det er definert en terskel lik Q_{70} , på varighetskurven for gjeldende stasjon for en referanseperiode., dvs vannføringen som er overskredet 70 % av tiden. Så plottes man et glidende middel av dataserien, for å unngå avhengighet mellom tørkene. Fra dette plottet kan det defineres flere tørkeparametre, som varighet, defisitt volum, antall tørker osv.



Figur 8. ARIDE-prosjektet: definisjon av tørke. Terskelmetoden - valgt terskel er Q_{70} .

Referanseperioden som er valgt er perioden 1962 til 1990. Denne studien omfatter bare sommertørke, dvs. tørke forårsaket av høy evapotranspirasjon og fravær av regn, og ikke tørke forårsaket av at nedbøren lagres som snø i lange perioder. Tre ulike lengder på sesongen er definert etter hvor lang den snøfrie årstiden er. Norge og alpine har en kort sesong, fra juni til oktober, østlige områder har sommersesong fra april til november og resten av Europa har potensiell sommertørke hele året.

Figur 9 viser totalresultatet fra trendanalysen. Den tørkeparameteren som er analysert er et standardisert årlig maksimalt defisitivolum. Den viser antall stasjoner i % med signifikant negativ eller positiv trend. Negativ trend betyr her trend mot mindre tørkevolumer og færre tørkeepisoder. Vi ser at alt i alt er det flere negative trender å observere enn positive. Denne testen kan vi altså ikke si at indikerer en utvikling mot flere og verre tørker.

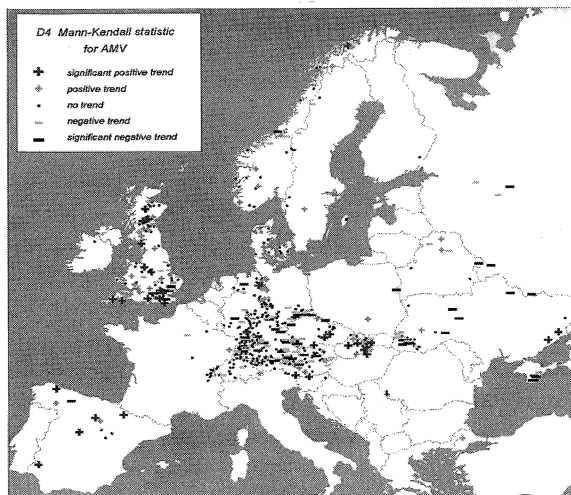


Figur 9. ARIDE-prosjektet: totalresultatet fra trendanalysen. Antall (i %) stasjoner med en signifikant trend i standardisert årlig maksimalt defisitivolum. De tre søylene representerer dataserier med ulike lengder.

Figur 10 er en framstilling av resultatet hvis vi ser mer regionvis på dataene og ikke behandler alle under ett. Vi ser en antydning til regionale forskjeller. Signifikante trender ble funnet på et fåtall av stasjonene, men de har en tendens til å ligge i samme region. Det er også en tendens at nærliggende stasjoner har en trend i samme retning,

om ikke signifikant. Det ser ut som det er en trend mot alvorligere tørkehendelser i Spania, vestlige og sørlige deler av Storbritannia, vestlige deler av Øst-Europa, Nord-Tyskland og nordvestkysten av Norge. Det er en trend mot mindre alvorlige tørkehendelser i sørlige deler av Tyskland, Østerrike og østlige deler av Øst-Europa.

Figur 10. ARIDE-prosjektet: regionale trender i referanseperioden 1962 til 1990.



Mann-Kendall test verdier for AMV

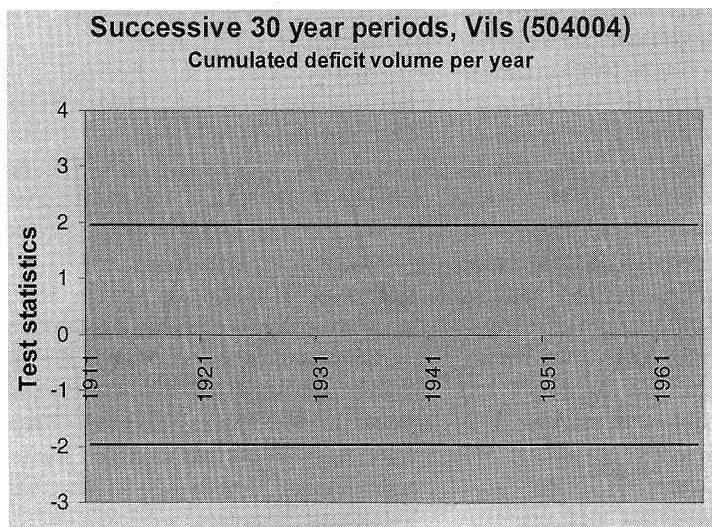
- ⊕ 1.96 - 5
- ⊙ 1 - -1-959
- ⊙ 0-999 - 0.999
- ∕ -1.959 - -1
- ∕ -5.1 - -1.96

rød - signifikant positiv (mot tørrere forhold)

blå - signifikant negativ (mot våtere forhold)

Denne analysen er imidlertid svært avhengig av perioden det analyseres for. Figur 11 er et plott av resultatet for løpende 30-årsserier for en stasjon med en lang observasjonsserie. Ser vi på hele serien fra

1911 legger vi merke til at denne dataserien gir både signifikante positive og negative trender avhengig av perioden vi analyserer, og de overstående resultatene må tolkes i lys av dette.



Figur 11. ARIDE-prosjektet: årlig akkumulert defisitivolum beregnet for påfølgende 30-årsperioder for stasjonen Vils i Sør-Tyskland.

Avslutning

GCM-modellene er relativt entydige når det gjelder temperaturscenarier. Nedbørs scenariene er det mye større usikkerhet i, og enda større er usikkerheten når det gjelder midlere avløpsforhold, som årsavløp. Når vi skal si noe om effekten av klimaendringer på hydrologiske ekstremer er det vanskelig å trekke meningsfulle konklusjoner.

Dette har å gjøre med at flommer og tørkeperioder kan relateres til sirkulasjonsmønstre snarere enn til temperaturtrender. Gjentatte flomepisoder på Østlandet har sin årsak i et værbilde der det kommer inn lavtrykk over de britiske øyer, og et blokkerende høytrykk over Finland gir en lavtrykksbane som leder nedbørdannende varm, fuktig luft fra Skagerrak nordover Østlandet. Flomepisodene høsten 2000 er et eksempel. En situasjon som kan gi voldsomme flommer over Vestlandet er der lavtrykksbanen går inn over Island og følger norskekysten nordøstover. Det er mange eksempler på store vestlandsflommer seint på høsten eller tidlig på vinteren, der det har vært en kombinasjonen av store nedbørmengder og smelting av tidligere snøfall.

Men foreløpig er det vanskelig å dra slutninger om framtidige framherskende sirkulasjonsmønstre på basis av GCM-scenarier. Slike scenarier viser dekadiske svingninger, som kan knyttes til den kvasiperiodiske North Atlantic Ocean (NAO) indeksen. Studier av historiske flommer viser hvor korte tidsseriene våre egentlig er, og hvor mange eksepsjonelle hendelse vi aldri får med i vår statistikk. Slike studier tyder på at flomfrekvensen kan knyttes til svingninger i NAO-indeksen, som igjen har sammenheng med overgan-

gen mellom framherskende sirkulasjonsmønstre. Mye tyder dessuten på at det er flere flommer i spesielt varme eller spesielt kalde perioder, mens det i perioder med mer midlere forhold er liten flomaktivitet.

Når vi er kommet lenger i å kvantifisere sammenhenger mellom framtidige framherskende sirkulasjonsmønstre og GCM-scenarier har vi kanskje kommet et skritt videre mot å si noe om klimaendringers effekt på flom og tørke.

Litteratur

Demuth, S. and K. Stahl (eds), 2001. ARIDE -Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe. Final Report. Institute of Hydrology, University of Freiburg, Germany.

Førland, E., L.A. Roald, O.E. Tveito og I. Hanssen-Bauer, 2000. Past and future variations in climate and runoff in Norway. DNMI report 19/00 KLIMA. Det norske meteorologiske institutt.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaption and Vulnerability. UNEP, WMO.

Roald, L.A., E. Førland, I. Hanssen-Bauer og O.E. Tveito, 2000. Past and future variations in climate and runoff in Norway. ANNEXES. DNMI Report 20/00 KLIMA. Det norske meteorologiske institutt.

Roald, L.A. 1999. Analyse av lange flomserier. HYDRA-rapport nr. F01. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Sælthun, N.R. et al. 1998. Climate change impacts on runoff and hydro-power in the Nordic countries. Final report from the project "Climate Change and Energy Production". Nordisk Ministerråd. TemaNord 1998:552.