



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

PUBLIKASJON

NR
V 30

*Nils Roar Sælthun
Jim Bogen
Marit Hartmann Flood
Tron Laumann
Lars Andreas Roald
Arve M. Tvede
Bjørn Wold*

KLIMAENDRINGER OG VANNRESSURSER

Bidrag til den interdepartementale
klimautredningen



VASSDRAGSDIREKTORATET

Omslagsbilde: Flom i Låtefossen
Foto: K. O. Hillestad



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

TITTEL KLIMAENDRINGER OG VANNRESSURSER Bidrag til den interdepartementale klimautredningen	NR V30
FORFATTER(E)/SAKSBEHANDLER(E) Nils Roar Sælthun, Jim Bogen, Marit Hartmann Flood, Tron Laumann, Lars Andreas Roald, Arve M. Tvede, Bjørn Wold	DATO April 1990
	ISBN 82-410-0085-5

SAMMENDRAG

Rapporten beskriver fysiske og i noen grad samfunnsøkonomiske konsekvenser av klimaendringer for norske vassdrag og vannressurser. Undersøkelsen baserer seg på klimascenarier utarbeidet av en norsk ekspertgruppe. Sentralt i analysen står beregninger av virkningene på vannføring, markvann og snødekke, og vurderinger av effektene på breer, vanntemperatur og isforhold. På denne bakgrunnen er det videre utført konsekvensanalyser for erosjonsforhold, flommer og vannkraftproduksjon, samt effekter innen landbruk, friluftsliv, vannforsyning og vannressursforvaltning.

ABSTRACT

This report describes physical and to some extent socio-economical consequences of climatic change on Norwegian water courses and water resources. The investigation is based on climate scenarios reported by a Norwegian expert team. The analysis is based on simulations of the effects on runoff, soil water and snow cover, and assessments of effects on glaciers, water temperature and ice cover. The consequences for erosion, floods and hydropower are analysed, and impacts on agriculture, recreation, water supply and water resources management are considered.

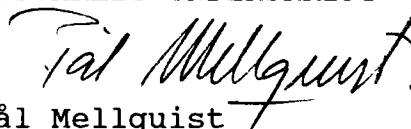
EMNEORD

Klimaendringer
Tilsig
Vannressurser

SUBJECT TERMS

Climate change
Runoff
Water resources

ANSVARLIG UNDERSKRIFT


Pål Mellquist
Vassdragsdirektør

FORORD

Denne rapporten er utarbeidet for Den interdepartementale klimagruppen. Sammen med en rekke andre nasjonale og internasjonale utredninger vil rapporten være en del av det faglige grunnlaget for klimagruppens tilrådinger om norsk klimapolitikk. De samlede anbefalinger og forslag fra Den interdepartementale klimagruppen vil foreligge våren 1991, og denne rapporten vil da bli et vedlegg til Den interdepartementale klimagruppens samlerapport.

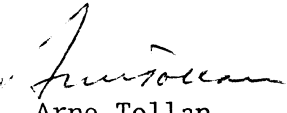
Oppdragsgiver for rapporten er Olje- og energidepartementet.

Arbeidet med rapporten er utført ved Vassdragsdirektoratet, hvor Hydrologisk avdeling har hatt prosjektledelsen. Samkjøringen av kraftverkene i Norge har ytet bistand til produksjonsberegningene i kapitlet om kraftproduksjon, og kapitlet om vannkvalitet er basert på utdrag fra NIVAs rapport til Den interdepartementale klimagruppen. Tilsigsberegningene i den foreliggende rapporten inngår i datagrunnlaget for NIVAs rapport.

Rapportforfatterene har hatt følgende kapittelansvar:

N.R. Sælthun, prosjektleder, kap. 1, 2, 7, 9 og 10.
J. Bogen, kap. 5
M. Flood, kap. 8
T. Laumann, kap. 3
L.A. Roald, kap. 2
A. Tvede, kap. 4
B. Wold, kap. 3

Oslo, april 1990


Arne Tollan
avdelingsdirektør

INNHOOLD

	Side
SAMMENDRAG	4
SUMMARY	6
1. INNLEDNING	8
1.1 Klimaendringer	8
1.2 Klimascenarier	10
2 TILSIGSSIMULERINGER	12
2.1 Simuleringsmodell	12
2.2 Analyser	14
2.2.1 Tilsig og flom	14
2.2.2 Snømagasin	16
2.2.3 Markvann og grunnvann	16
2.3 Simuleringsresultat	17
2.3.1 Vestlandet	17
2.3.2 Jotunheimen, sentrale fjellstrøk	19
2.3.3 Indre Østland	21
2.3.4 Finnmarksvidda	23
2.3.5 Kyst Trøndelag - Helgeland	25
2.3.6 Indre Trøndelag	27
2.3.7 Agder	29
2.4 Samlet oversikt	31
2.4.1 Tabularisk oversikt	31
2.4.2 Kommentarer	32
3. BREER	34
3.1 Generelt	34
3.2 Beregning av endring av nettobalanse	34
3.3 Oppsummering	37
4. VANNTEMPÉRATUR OG ISFORHOLD	38
4.1 Vanntemperatur	38
4.2 Isforhold i vassdragene	38
4.2.1 Generelt	38
4.2.2 Mulige virkninger av klimaendringer	39
4.2.3 Oppsummering	40
4.3 Isforhold på fjordene	40
4.3.1 Generelt	40
4.3.2 Mulige virkninger av klimaendringer	42
4.3.3 Oppsummering	42
5. EROSJON OG SEDIMENTTRANSPORT	43
5.1 Sedimentkilder og materialstrøm i vassdrag	43
5.2 Fluviale regioner	45
5.2.1 Breområdene	46
5.2.2 Fjordområdene på Vestlandet	47
5.2.3 Høyfjellsområdene	47
5.2.4 Indre Østland. Dalområdene	47
5.2.5 Leirområdene på Østlandet	48
5.3 Partikkelbundne stoffer og økologiske forhold	49
5.4 Virkninger for konstruksjoner og kraftverksdrift	49
5.5 Oppsummering	50

6.	VANNKVALITET	52
6.1	Eutrofiering	52
6.2	Forsuring	53
6.3	Nitrogentilførsel til fjordene	54
7.	FLOMMER OG FLOMSKADER	55
7.1	Alminnelige flomskader	55
7.2	Skadeforebyggende tiltak	58
7.3	Damsikkerhet	59
7.4	Dimensjonering under usikkerhet	60
7.5	Flommer fra bredemte sjøer	60
8.	KRAFTPRODUKSJON	61
8.1	Generelt	61
8.2	Simuleringer med Bulken vannmerke i Vosso	62
8.3	Konklusjon	65
9.	ANDRE EFFEKTER	67
9.1	Jordbruk, skogbruk	67
9.2	Friluftsliv, rekreasjon	67
9.3	Vannforsyning	67
9.4	Vannresursforvaltning	68
10.	VIDERE ARBEID	69
10.1	Videre utredningsarbeid	69
10.2	Videre FoU-arbeid	69
10.2.1	Hydrologiske modeller	70
10.2.2	Breer	71
10.2.3	Vanntemperatur, is	71
10.2.4	Erosjon og sedimenttransport	71
10.2.5	Kraftproduksjon	72
11.	LITTERATURREFERANSER	74
Vedlegg A. HBV-modellen		
Vedlegg B. Detaljresultater		
Vedlegg C. Grafiske framstillinger		

SAMMENDRAG

Denne rapporten beskriver fysiske og i noen grad sosio-økonomiske konsekvenser av klimaendringer på norske vassdrag og vannressurser. Undersøkelsen tar som de øvrige prosjekter for Den interdepartementale klimagruppen utgangspunkt i klimascenarier utarbeidet av en ekspertgruppe utgått fra de norske forskningsmiljøene (Eliassen m.fl, 1989; Eliassen & Grammeltvedt, 1990), for en økning av "drivhusgassene" tilsvarende en fordobling av CO_2 , noe som antas å inntreffe omkring år 2030. Klimaendringene er spesifisert for temperatur og nedbør; det mest sannsynlige scenariet angir 1.5 til 3.5 °C temperaturøkning, mest om vinteren og i innlandet, og en midlere nedbørøkning på 7 til 8 %.

Grunnlaget for de videre konsekvensanalysene er beregning av hvordan disse klimaendringene vil slå ut i endrete vassføringsforhold i vassdragene. Disse beregningen er utført for en tredveårsperiode for sju norske vassdrag, og er spesifisert for tre høydenivå. I tillegg til vassføringssimuleringene er også utslagene på snødekke, markvann og grunnvann beregnet.

Resultatene viser for det mest sannsynlige scenariet moderat økning av totaltilsigt i høyfjellet og nedbørrike strøk; reduksjon (pga økt fordampning) i lavlandet og skogsområdene i innlandet. Sesongfordelingen av tilsigt endres kraftig, særlig i midlere nivåer. Vårflommen blir til dels kraftig redusert; vintervassføringene mangedobles, mens sommervassføringene reduseres. Høst- og vinterflommer øker sterkt i hyppighet.

Sesongen med snødekket mark reduseres betydelig, med en til tre måneder. Markvannsunderskuddet om sommeren øker, og med det øker også vanningsbehovet i jordbruket de fleste steder bortsett fra ytre kyststrøk. Økt irrigasjonsbehov og redusert sommertilsg kan gi vannknapphet i småvassdrag som brukes som vannkilde for irrigasjon.

Med de angitte scenariene vil breene få betydelig avsmelting, særlig breene på Østlandet. På Vestlandet vil den netto avsmelting være mindre, og kystnære breer i Nordland kan opprettholde balansen etter det mest sannsynlige scenariet.

Vanntemperaturen vil om sommeren stort sett økes i takt med lufttemperaturen, og i tillegg vil den tidligere avslutningen av snøsmeltingen føre til at vanntemperaturen stiger fra nær null opp mot lufttemperaturen ca en måned tidligere enn nå. Isleggingsperioden blir kortere, og mange av de store innsjøene i Sør-Norge må forventes å bli isfrie de fleste vintrene. I innlandsvassdrag hvor en nå har stabile vinterforhold vil det kunne opptre vinterflommer med isganger.

Erosjon og sedimenttransport vil øke kraftig i vinterperioden, særlig dersom landbrukspraksis som gir åpen jord om vinteren ikke legges om. Jordtap vil kunne bli et stort problem.

Endringene i avløpsregimet ventes ikke å ha alvorlig innflytelse på vannkvaliteten i store, dype innsjøer. I grunne sjøer med høy biologisk produksjon vil imidlertid vannkvalitetsproblemene øke,

særlig i jordbruksområder. Vassdrag som er utsatt for forsurening kan få økte problemer, særlig som følge av økt nedbryting av organiske materiale, som vil frigjøre kunne frigjøre store mengder nitrogen. Økt sedimenttransport og nitrogentilførsel kan gi økt eutrofiering og algeproblemer i fjordene (Gulbrandsen m.fl, 1990).

Flomskadene vil øke, særlig i små vassdrag og tettbygde områder. En fordobling fra dagens nivå, som antas å være på minst 100 millioner kr år, er ikke usannsynlig. Økt innsats på sikrings-tiltak vil bli nødvendig. Ved nybygging og ombygging av dammer må den økte usikkerheten i flomestimatene tas i betraktning.

Kraftproduksjonen vil øke noe ved det mest sannsynlige scenariet (2-3 % er antydnet på landsbasis), delvis pga økt tilsig, og delvis pga redusert flomtap. Sesongfordelingen av tilsiget vil være bedre tilpasset forbruket, og gi økt fastkraftnivå. Ved høyt scenario (16-17 % nedbørøkning) blir tilsigsøkningen og produksjonsøkningen betydelig større, men flomtapet vil også øke dersom ikke produksjonssystemet tilpasses.

Friluftslivet vil bli særlig sterkt berørt av endringene i snøforholdene, og mange skianlegg i lavland og midlere nivå vil få sterkt forkortet og ustabil sesong.

Vannforsyning kan først og fremst bli berørt gjennom endret vannkvalitet, men vannverk med små magasiner og marginale tilsig kan oppleve knapphet i tørre somre.

Til slutt i rapporten er det gitt en oversikt over videre behov for utredninger og FoU-arbeid.

SUMMARY

This report describes physical and to some extent socio-economical consequences of climatic change on Norwegian water courses and water resources. This study is a contribution to the Interdepartmental Group for Assessing Consequences of Climatic Change. The work is based on scenarios reported by a Norwegian expert team (Eliassen & al., 1989; Eliassen & Grammeltvedt, 1990) based on an increase of the greenhouse gases corresponding to a doubling of the CO₂ content of the atmosphere, which is expected to occur around 2030. The scenarios are given for temperature and precipitation; the most likely scenario indicates a temperature increase of 1.5 to 3.5 deg., mostly in the winter and in the inland. The precipitation is expected to increase by 7 to 8 %.

The runoff has been simulated for seven Norwegian water courses over a 30 year period, both for the present climate and for two scenarios. The simulation describes the changes for basins in three elevation bands, a mountainous, an intermediate level and a lowland basin. The model applied for these simulation also predicts changes in the snow cover, soil moisture and ground water regime. These simulations are the basis for the subsequent evaluation of possible consequences.

The most likely scenario indicates a moderate increase in the annual runoff in mountainous districts and districts with high annual precipitation. The annual runoff will decrease in lowland basins and in forested basins in the inland because of increase in the evapotranspiration. The seasonal pattern will change significantly, in particular in basins within the intermediate elevation band. The spring flood will be strongly reduced in many basins. The winter runoff will increase manifold, while the summer runoff will decrease. Floods will occur more frequently in the autumn and the winter.

The duration of snow cover on the ground will be reduced by one to three months. The soil moisture deficit will increase, indicating an increase in the need for artificial irrigation in most areas except the western coastal zone. Increased irrigation demand and reduced summer runoff can give water shortage in small water courses.

The scenarios indicate that the glaciers will decrease, in particular glaciers in inland areas. The net melting will be lower on glaciers near the west coast, the glaciers near the coast of Northern Norway will most likely remain without changes.

The water temperature will most likely increase with the air temperature in the summer. The rise in the water temperature from nearly 0 deg to nearly the air temperature will occur one month earlier because of the earlier termination of the snowmelt. The duration of ice cover will decrease, and many of the larger lakes in Southern Norway are expected to remain without ice cover in most winters.

Erosion and sediment transport is expected to increase strongly during the winter unless the agricultural practices of keeping the

fields with open soil is changed. Loss of soil could develop into a serious problem.

The predicted changes in the runoff regime are not expected to cause deterioration of the water quality in large and deep lakes. Negative changes can, however, be expected in more shallow lakes with higher bioproduction. The most negative consequences are expected in shallow mesoeutrophic lakes surrounded by farmland. The nitrogen storage in Norwegian soils is large, and increased rate of decomposition of organic soil components may result in acidification of soil and water courses. Increased sediment yield and nitrogen release can also give eutrophication problems and alga bloom conditions in estuaries and fjords (Gulbrandsen & al, 1990).

Flood damage is expected to increase, in particular in small basins and urban areas. These damages are estimated to at least 100 mill. NOK per year under the present conditions; the most likely scenario indicates a doubling of this amount. The increased uncertainty in the flood estimates must be taken into account when new dams are constructed and older dams are revised.

The energy production is expected to increase with possibly 2-3 % given the most likely scenario. This is partly due to an increase in the inflow to the reservoirs, but also due to reductions in the overflow spill. The seasonal distribution of the runoff will be more similar to the consumption, and lead to increased firm power yield. The high scenario indicating 16-17 % increase in the precipitation, results in significantly higher increase in the inflow and the production. Under this scenario flood spill will increase unless the production system is adjusted.

The reduced snow cover will significantly influence the winter recreations, and commercial skiing facilities in lower altitudes will have their season reduced, and will experience winters without stable snow cover.

Watersupply will probably mainly be affected through changed water quality. Surface water systems with low reservoir capacity and marginal yield may experience increased summer shortages.

The report concludes with proposal for further investigations and R&D areas.

1. INNLEDNING

1.1 Klimaendringer

"Alle snakker om været, men vi er de første som gjør noe med det"

I hvor stor grad vinterens blåveisblomstring i februar og nedbørrekorder i fleng er et resultat av menneskelig påvirkning av klimaet eller et utslag av naturens luner skal nok diskuteres livlig framover, men en del fakta gir unektelig grunnlag for ettertanke (se f.eks Houghton & Woodwell, 1989):

- siden førindustriell tid har karbondioksydinnholdet (CO_2) i lufta økt med 25 %, og er nå høyest på 160 000 år
- så langt tilbake analysene når (ca 300 000 år) har det vært en klar samvariasjon mellom CO_2 -innhold i atmosfæren og global temperatur
- det er vel kjent at CO_2 sammen med andre gasser absorberer varmestraling og reduserer varmetapet fra jordoverflaten og de lavere delene av atmosfæren
- den globale middeltemperaturen har økt med ca en halv grad de siste hundre årene
- de seks varmeste årene globalt i dette århundret har forekommet i åttiårene
- konsentrasjonen av CO_2 og andre drivhusgasser i atmosfæren vil øke sterkt inn i 2000-tallet

Når klimatologene skal vurdere hvilke klimaendringer vi kan vente framover har de i hovedsak to informasjonskilder. Den ene er globale klimamodeller som beskriver vekselvirkningene mellom drivhusgasser, energibalansen i atmosfæren og havet, og klimaet, og den andre er sammenligninger med tidligere perioder med varmt klima; f.eks mellomistiden for 120 000 år siden og den varme perioden for 6000 år siden.

De store klimamodellene som i dag er det viktigste verktøyet for å forutsi klimaendringer er svære modellsystemer som kan etterligne værfluktuasjoner over hele kloden med 10 minutters tidsskritt for perioder på opptil 100 år. De krever store datamaskinressurser, og det finnes bare en håndfull av dem, de fleste i USA. En av modellene kjøres nå på superdatamaskinen i Trondheim. Fra de første beregningene tidlig på 70-tallet og fram til i dag har disse modellene gjennomgått store forbedringer; de opererer nå med et "fritt" hav der havstrømmene kan påvirkes av klimaendringer, og de har fått bedre beskrivelse av skydannelse osv. Men de er stadig svært grovmaskete, med maskevidde på 200 - 300 km. De kan ikke beskrive lokale klimavariasjoner, og bare til en viss grad regionale.

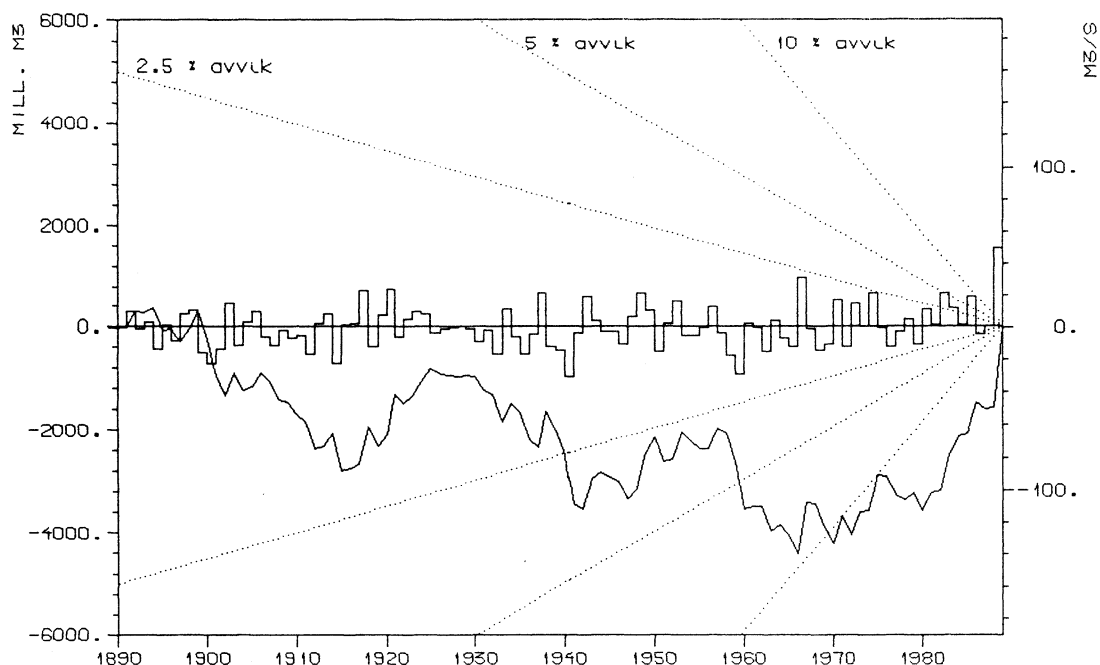


Fig. 1.1 Akkumulert avvik fra langttidsnormalen for avløp, Bulken vannmerke i Vosso. Stolper: Årlig avløp; heltrukket strek: akkumulert avvik.

Det er vanlig å referere modellresultatene til en dobling av CO_2 -innholdet i atmosfæren, eller rettere sagt en økning av drivhusgassene; karbondioksyd (CO_2), metan (CH_4), klorerte fluorkarboner (KFK), lystgass (N_2O) og ozon (O_3); tilsvarende

en fordobling av CO_2 fra før-industrielt nivå (270 ppm). I dag er økningen på 25 % og CO_2 -innholdet er oppe i 345 ppm. Med den nåværende utslipp utviklingen, som gir en økning i atmosfærisk CO_2 på ca 1 % pr år, ventes det at vi får fordobling i løpet av cirka førti år. De ulike modellene gir naturlig nok noe forskjellige resultater, men peker stort sett i samme retning. Typiske utslag er:

- økning av global middeltemperatur med rundt 2 grader (1.5-4.5)
- størst temperaturøkning på høye breddegrader
- størst temperaturøkning om vinteren
- økning av nedbøren, særlig på høye breddegrader

En temperaturøkning på to grader synes kanskje ikke dramatisk, men vil bringe den globale middeltemperaturen høyere opp enn den har vært på den siste million år. Modellene indikerer at vi om ti år når samme klima som våre forfedre opplevde for 6000 år siden, i

den varmeste periode jorden har hatt etter siste istid.

En god oversikt over status for internasjonal klimaforskning er gitt i en rapport fra Det norske meteorologiske institutt og Norsk institutt for luftforskning (Braathen m.fl, 1989).

På global basis er det observert en temperaturøkning på ca 0.5 grader det siste hundreåret. I Skandinavia og Norge er det ikke observert signifikante utslag i meteorologiske eller hydrologiske tidsserier ennå. DNMI har analysert lange nedbør- og temperaturserier (Aune, 1989). Den eneste klare tendensen er en økning av høstnedbøren. Analyser av avløpsserier viser heller ingen klare utslag, bortsett fra en betydelig økning av avrenningen på Vestlandet de siste 25 årene (fig. 1.1, fra Sælthun, 1990).

1.2 Klimascenarier

Utgangspunktet for alle konsekvensanalyser i denne undersøkelsen er klimascenariene som er presentert i rapporten "Klimaendringer globalt og i Norge ved økt drivhuseffekt" (Eliassen m.fl, 1989), som er anslag basert på en fordobling av CO₂, en nivå som antas å inntreffe ca år 2030. Denne rapporten, som er foreløpig, anslår midlere temperaturøkninger på 2 grader for månedene juni til august, og 3-4 grader for desember til februar. Endringer av nedbør er bare beskrevet i kvalitative formuleringer;

"En kan vente økning av nedbøren hele året, mest om våren"

"Det kan forventes at en større del av nedbøren kommer som byger"

I et tillegg (Eliassen & Grammeltvedt, 1990) er følgende presiseringer gitt:

	Kyst	Innland
Temperaturrendring:		
vinter	+3.0 (+3.5)	+3.5 (+5.0)
sommer	+1.5 (+2.5)	+2.0 (+3.0)
Nedbør, %:		
vår	+15 (+15)	+10 (+15)
sommer	+10 (+15)	+10 (+15)
høst	+ 5 (+20)	+ 5 (+20)
vinter	+ 5 (+15)	+ 5 (+15)

Tallene i parentes angir stor, men ikke urealistisk klimaendring.

På denne bakgrunn har vi benyttet følgende klimascenarier for hovedberegningene :

Kyst:

	"mest sannsynlig"		"høyt"	
	Temperatur	Nedbør	Temperatur	Nedbør
jan	+ 3 grader	+ 5 %	+ 3.5 grader	+ 15 %
feb	+ 3 "	+ 5 %	+ 3.5 "	+ 15 %
mar	+ 2.5 "	+ 15 %	+ 3 "	+ 15 %
apr	+ 2 "	+ 15 %	+ 2.5 "	+ 15 %
mai	+ 2 "	+ 15 %	+ 2.5 "	+ 15 %
jun	+ 1.5 "	+ 10 %	+ 2.5 "	+ 15 %
jul	+ 1.5 "	+ 10 %	+ 2.5 "	+ 15 %
aug	+ 1.5 "	+ 10 %	+ 2.5 "	+ 15 %
sep	+ 2 "	+ 5 %	+ 2.5 "	+ 20 %
okt	+ 2.5 "	+ 5 %	+ 2.5 "	+ 20 %
nov	+ 2.5 "	+ 5 %	+ 3 "	+ 20 %
des	+ 3 "	+ 5 %	+ 3.5 "	+ 15 %

Innland:

	Temperatur		Temperatur	
	Temperatur	Nedbør	Temperatur	Nedbør
jan	+ 3.5 grader	+ 5 %	+ 5 grader	+ 15 %
feb	+ 3.5 "	+ 5 %	+ 5 "	+ 15 %
mar	+ 3 "	+ 10 %	+ 4.5 "	+ 15 %
apr	+ 2.5 "	+ 10 %	+ 4 "	+ 15 %
mai	+ 2.5 "	+ 10 %	+ 3.5 "	+ 15 %
jun	+ 2 "	+ 10 %	+ 3 "	+ 15 %
jul	+ 2 "	+ 10 %	+ 3 "	+ 15 %
aug	+ 2 "	+ 10 %	+ 3 "	+ 15 %
sep	+ 2.5 "	+ 5 %	+ 3.5 "	+ 20 %
okt	+ 3 "	+ 5 %	+ 4 "	+ 20 %
nov	+ 3 "	+ 5 %	+ 4.5 "	+ 20 %
des	+ 3.5 "	+ 5 %	+ 5 "	+ 15 %

Antall nedbørdager: uendret

Disse forutsetningene gir ikke økt variabilitet i nedbør eller temperatur. Standardavviket øker riktignok for nedbøren, men ikke variasjonskoeffisienten (standardavvik dividert med middelfverdi). I ekspertgruppens rapport heter det om variabilitet at den lavtrykksaktiviteten vi har i dag ikke antas å bli vesentlig endret.

I tabellene er scenariene betegnet SC1 og SC2, for henholdsvis mest sannsynlige og høyt alternativ.

2. TILSIGSSIMULERINGER

2.1 Simuleringsmodell

Forutsetningene i kap. 1 gir oss muligheter til å manipulere historiske nedbør- og temperaturserier til nye serier som antas å være representative for det framtidige klimaet. Ved hjelp av en hydrologisk modell som regner om nedbør- og temperaturdata til vannføring og andre hydrologiske variabler kan vi finne tilsvarende hydrologiske tidsserier, og beregne statistikk for disse. Framgangsmåten er vanlig i studier av klimakonsekvenser (se f.eks Lettenmaier & Gan, 1990), og ble første gang benyttet i Norge av Dan Lundquist (1988). Metoden forutsetter at selve det hydrologiske systemet ikke endrer seg vesentlig, eller at vi kan forutse hvilke forandringer klimaendringene medfører, f.eks i vegetasjon og fordampning.

Her er HBV-modellen benyttet. HBV-modellen er en enkel hydrologisk modell opprinnelig utviklet ved Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (Bergström, 1976), og videreutviklet bl.a. i Norge (Wingård m.fl, 1978; Sælthun & Taksdal, 1990; Killingtveit m.fl, 1990). Modellen har fått stor utbredelse innen operativ hydrologi i Norden. Den er noe enkel i strukturen til å være ideell for konsekvensanalyser, men er likevel benyttet her fordi den er lett tilgjengelig og bare benytter nedbør og temperatur som inngangsdata. Det finnes også mye erfaring i tilpasning og bruk av modellen på norske felt.

Modellen er summarisk beskrevet i vedlegg A. Fordampning er i motsetning til HBV-modellen ellers gjort temperaturavhengig, ved at potensiell fordampning er gjort proporsjonal med temperatur over null grader, og dessuten er sesongavhengig. Vanlig i HBV-modellen ellers er at potensiell fordampning bare er sesongavhengig. Det er likevel forbundet med stor usikkerhet å beregne endringer i fordampning ut fra nedbør og temperatur alene; andre meteorologiske parametre, som vind og luftens vanndampinnhold, og dessuten endring av vegetasjon og arealbruk vil sterkt påvirke fordampningen. Økt CO_2 -innhold i luften har også en direkte effekt på plantene, det bidrar til å redusere transpirasjonsbehovet pr enhet produsert biomasse. Temperaturavhengigheten er i modellen satt til ca 0.2 mm potensiell fordampning pr grad, dette innebærer at to grader økning av temperaturen gir 0.4 mm økt potensiell fordampning pr døgn, uavhengig av sesong (så lenge døgnmiddeltemperaturen er over null). Dessuten utvides fordampningssesongen ved at feltene er snøbare lengre (HBV-modellen regner med at fordampning fra snø er null).

Videre er sammenhengen mellom snøsmelting og temperatur gjort avhengig av breddegrad og årstid, for å korrigere for eventuelle feil som måtte oppstå ved at smeltesesongen systematisk starter tidligere. Slik modellen foreligger her er smeltingen avhengig av temperatur, nedbør, årstid og snøens aldring.

Simuleringene er utført på døgnbasis.

Som basis for simuleringene er det benyttet modeller tilpasset for eksisterende nedbørfelt, men resultatene er presentert for tre "typefelt"; et høyfjellsfelt, med rektangulær høydefordeling fra

1000 til 1500 moh, altså middelhøyde 1250 moh; et skogsfelt med høydefordeling 500 til 1000 moh, middelhøyde 750 m; og et lavlandsfelt fra 0 til 500 moh, middelhøyde 250 moh.

For høyfjellsfeltet er markvannsmagasinet satt til 100 mm på Vestlandet og i sentrale fjellstrøk, 150 mm ellers, og potensiell fordampning til 0.15 mm/døgn pr grad året rundt. For skogsfeltet er markvannsmagasinet satt til 150 mm og potensiell fordampningsindeks varierer fra 0.15 om vinteren til 0.3 i mai. For lavlandsfeltet er markvannsmagasinet satt til 200 mm, men med samme fordampningsindekser som i skogsfeltet. Månedsvis fordampningsindeks for disse to feltene er gitt i modellparametrene i vedlegg A.

Snøfordelingen er antatt å være noe jevnere i de to laveste feltene enn i høyfjellet, og snøsmelteintensiteten også noe lavere, ca 75 % av intensiteten i høyfjellet for samme nedbør og temperatur.

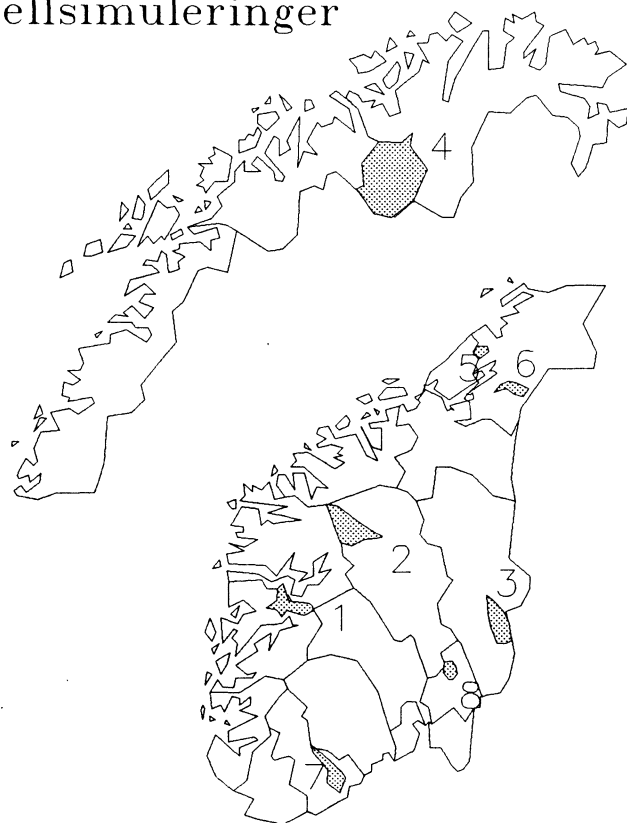
Potensielt grunnvannsmagasin er satt likt i de tre nivåene. Dette kan gi noe høy lavvannsavrenning i høyfjellet, og noe underestimering i lavlandet. HBV-modellen har en meget enkel beregning av grunnvannsdannelse. Så lenge det er vann til stede i de raskere magasinene regnes det med en konstant perkolasjon til grunnvannsmagasinet. I den utgaven av modellen som er benyttet er regnet det heller ikke med fordampning fra grunnvannsmagasinet. Selv om denne enkle strukturen fungerer bra når den kan tilpasses aktuelle forhold, er det grunn til å mistenke at den ikke beskriver konsekvensene av klimaendringer fullgodt. Det er sannsynlig at den underestimerer reduksjonen av grunnvannsnivået om sommeren og dermed også sommerlavvannføringene.

Sjøprosenten i feltene er satt til 5 %, noe som er svært nær landsgjennomsnittet. De øvrige modellparametrene er hentet fra det aktuelle vassdraget.

Modellen simulerer ikke tele og virkningen av frossen mark på avrenningen.

Simuleringene er utført for sju felt; Vosso på Vestlandet, Otta i sentrale fjellstrøk, Flisa på Østlandet, Alta i Nord-Norge, Øyungen på Fosenhalvøya, Forra i Trøndelag og Tovdalselv i Agder. I tillegg er det gjort utfyllende beregninger for Leira på Romerike. Se kartskisse i figur 2.1.

Felt benyttet i modellsimuleringer



- 1 Vosso
- 2 Otta
- 3 Flisa
- 4 Alta
- 5 Øyungen
- 6 Forra
- 7 Tovdalselv
- 8 Leira

Fig. 2.1 Vassdrag som det er utført tilsigsimuleringer for

2.2 Analyser

2.2.1 Tilsig og flom

I tabellene er framstilt årlig vannbalanse, månedsvis midlere avløp og statistikk for flommer og lavvann. For ekstremstatistikk er det benyttet følgende sesonginndeling:

vårflom: 1. februar - 31. juli
 høstflom: 1. august - 31. januar
 sommerlavvann: 1. mai - 30. november
 vinterlavvann: 1. desember - 30. april

Det er benyttet simulerte data både for dagens situasjon, og 2*CO₂ - scenariet.

I ekstremanalysene er Gumbel-fordelingen (ekstremverdifordeling type I) benyttet for beregning av 1000 års flom (døgnflom) og 10-års lavvann (også døgnverdier). I tabellene er også endringen av standardavviket oppgitt. Dette innebærer at man kan regne ut flom for ethvert gjentaksintervall ved hjelp av formelen

$$Q_T = Q_m + K(T) \cdot S$$

der Q_T står for flom med gjentaksintervall T år, Q_m er

middelflommen, S er standardavviket og $K(T)$ er en frekvensfaktor. For Gumbel-fordelingen er $K(T)$ gitt ved:

T->	5	10	25	50	100	1000
eksakt:	0.72	1.31	2.04	2.59	3.14	4.94
30 år:	0.87	1.54	2.39	3.03	3.65	5.73

Den første linjen ("eksakt") gjelder dersom Q_m og S er eksakt kjent, den andre ("30 år") dersom de er beregnet på grunnlag av 30 år med observasjoner (Haan, 1977).

For høstflommer i Norge er S av størrelseorden 25 % av middelflommen, det innebærer at 10 % endring i S (altså en endring i variabiliteten) endrer estimatet av 1000-års flom mer enn 10 % endring i middelflommen. Utslagene på ekstreme flommer er dermed sterkt avhengig av om det klimaendringer fører til økt variabilitet i nedbøren.

Som en grov håndregel kan vi si at en gjennomgående økning av flomstørrelsene på 15 % vil føre til en fordobling av antallet skadeflommer.

Som eksempel viser figur 2.2 frekvensanalyser for Kråkfoss vannmerke i Leira, for dagens forhold og for klimascenario 1.

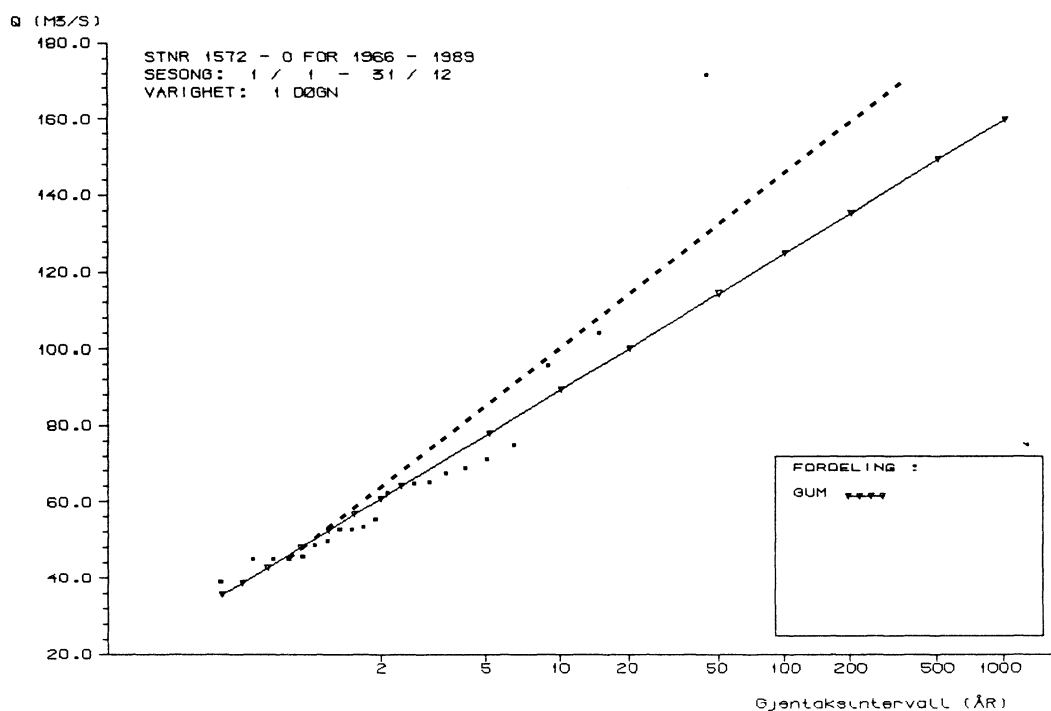


Fig. 2.2. Frekvensanalyser for Kråkfoss, dagens situasjon (heltrukket strek) og scenario 1 (stiplet)

I tabellene i vedleggene er det også angitt middelerdi og standardavvik for laveste vannføring (laveste døgnverdi hvert år), for vinter og sommer. Lavvannføring med ti års gjentaksintervall er omtrent ett standardavvik lavere enn middelerdien. Som nevnt i kapitlet foran er det nokså stor usikkerhet i beregningene av endringene av sommerlavvannføringene.

2.2.2 Snømagasin

Modellen simulerer en rekke snøvariabler. I resultattabellene er det bare tatt med en; midlere antall dager pr år med mer enn 25 % snødekke i feltet. Disse verdiene ligger på samme nøyaktighetsnivå som simuleringene av endringer i tilsig.

2.2.3 Markvann og grunnvann

I resultattabellene er det tatt med et estimat for midlere markvannsunderskudd (under feltkapasitet; det maksimale markvannsinnhold uten gravitasjonsdrenering) for månedene mai til august, og hvor mange dager underskuddet er større enn 50 mm. Markvannstilstanden vil i praksis ha store lokale variasjoner, mens modellen bare beregner en middeltilstand for hele feltet. HBV-modellen er ikke laget med tanke på å simulere markvannsmagasin nøyaktig, og påliteligheten til de simulerte verdiene er selvsagt sterkt avhengig av at endringene i evapotranspirasjonen er riktig estimert. Tallene for markvannstilstand bør derfor ikke tillegges for stor vekt.

Grunnvannsmagasinet vil også ha store lokale variasjoner, og også her angir modellen bare en middeltilstand. Dessuten er det, som nevnt tidligere, ikke gjort forsøk på å variere grunnvannsmagasinet mellom de tre høydenivåene. Grunnvannet er nokså sterkt koblet til tilsiget, og som indeksverdier antar vi at de er like nøyaktighete som tilsigssimuleringene. Tallene som er oppgitt er magasininnhold i mm vannsøyle, de angir altså ikke grunnvannsnivå direkte. Tallene angir sum vann både i selve grunnvannsmagasinet og den såkalte "øvre sone", som vann i raskere transport i nedbørfeltet. Som nevnt i kapittel 2 kan det være systematiske feil i beregningen av endringene av grunnvannsmagasinet om sommeren, særlig i de to høyeste nivåene.

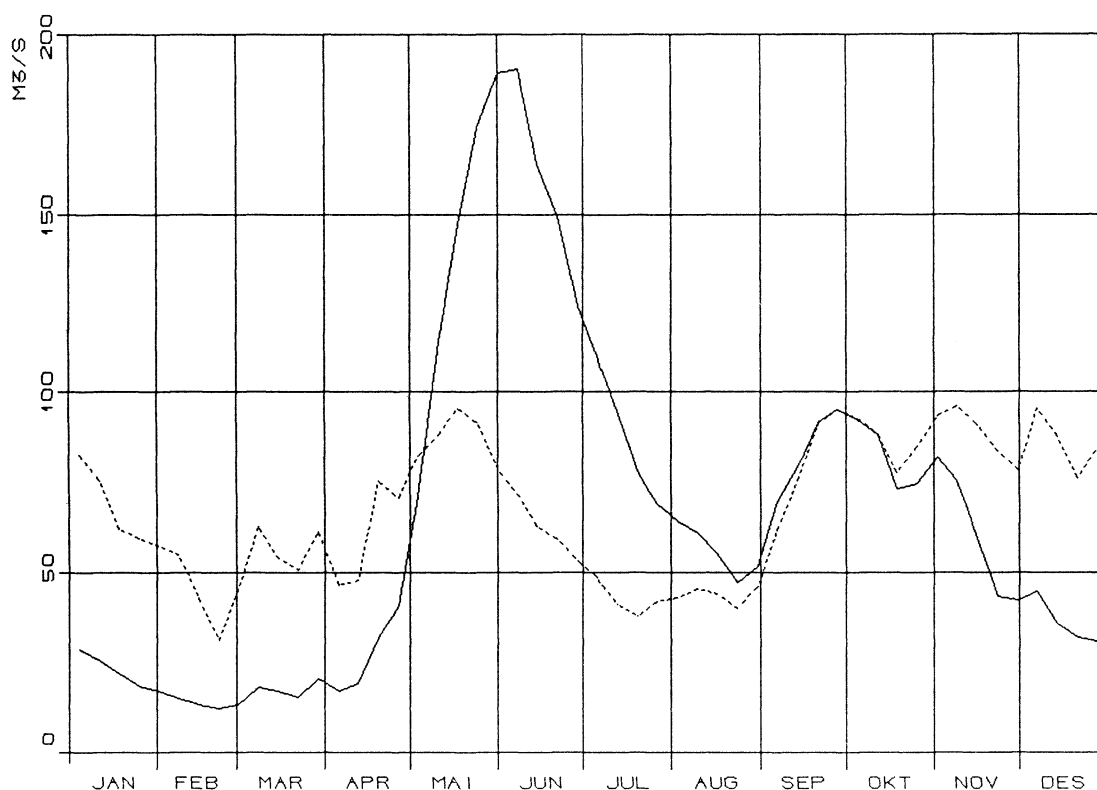


Fig. 2.3. Simulert sesongvariasjon for avløpet i Vosso, dagens situasjon (heltrukket strek) og SCl (stiplet)

2.3 Simuleringsresultater

2.3.1 Vestlandet

Her er Vosso (vassdragsnummer 062.Z) benyttet som basisfelt, med 598-0 Bulken som vassføringsstasjon og 5167 Reimegrend som klimastasjon. Feltet, som er på 1102 km², ligger mellom 47 og 1580 moh, med medianhøyde 850 m. Ca 18 % av feltet er under 500 moh, 37 % mellom 500 og 1000 m, og 45 % over 1000 moh.

Simuleringene er gjort for 29 år; 1. sept 1959 til 31. aug 1988. Klimascenariet for kyst er benyttet, feltet ligger i en overgangssone fra kyst- til innlandsklima.

Detaljresultater er gitt i vedlegg B, tabell B.1.1 og B.1.2, og i grafisk form i vedlegg C. En tabularisk oversikt er gitt i avsnitt 2.4.

Tabell 2.1 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for hele nedbørfeltet til Bulken.

Tabell 2.1 Vannbalanse for Bulken, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	2045	2200	+ 7.5	2390	+ 16.5
fordampning	170	265	+ 55	295	+ 75
avløp	1876	1935	+ 3	2095	+ 12

Figur 2.3 viser tilsigsfordelingen gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Simuleringer basert på SC1:

Tilsig. Vintervannføringen øker kraftig, og vi får betydelig tilsig også fra de øvre delene av feltet. Dette går sterkt ut over vårflommen, i de lavere delene blir den omtrent borte. Variabiliteten i vintervannføringen øker kraftig. Dette framgår særlig av de grafiske framstillingene av karakteristiske vannføringer for Bulken som er gjengitt i vedlegg C. Totalt sett øker tilsiget med fra 2 til 5 % for de forskjellige høydenivå ved en nedbørøkning på 7.5 %. Ved scenario 2 (høyt), som har en nedbørøkning på 16.5 % øker tilsiget med 11 til 14 %.

Flom. Høst/vinterflom-sesongen øker kraftig, noe som gir sterkere utslag i flomstatistikken enn den nokså moderate nedbørøkningen. For hele feltet utvides høstflomsesongen fra september-november til september-januar. Fra å være et felt med dominerende vårflom reduseres vårflommene kraftig, og vi kan få betydelige flommer også i månedene februar-april. I de lavere delene av feltet blir vårflommen nesten borte; det som i tabellene (tabell 2.7 og vedlegg) over er kalt vårflom er for lavlandsfeltets vedkommende bare en utvidelse av vinterflomsesongen. I høyfjellet øker middelflommen lite, mens 1000-års flom øker med vel 20 %. I lavlandet øker middelflommen ca 20 %, mens 1000-års flom øker med 35 %.

Lavvann. Lavvannsføringen øker om vinteren. Sommerlavvannføringene avtar, særlig i høyfjellet, der mindre snøsmelting ut over sommeren og økt fordampning begge bidrar til redusert vannføring.

Markvann, grunnvann. Markvannsforholdene endrer seg ikke vesentlig i høyfjellet, mens vi får et betydelig økt underskudd i vekstsesongen i lavlandet, pga tidlig snøsmelting og høyere fordampning. Grunnvannsmagasinet blir høyere om vinteren, lavere på sommeren og nokså uendret på høsten. Om våren blir det lavere i lavlandet pga mindre snøsmelting, og høyere i fjellet pga at snøsmeltingen forflytter seg fra sommersesongen til våren. I praksis avspeiler endringene i grunnvannet i stor grad endringene i tilsiget.

Snø. Perioden med snødekke (mer enn 25 % snødekke) blir to måneder kortere i de to høyeste nivåene, tre måneder kortere i laveste nivå.

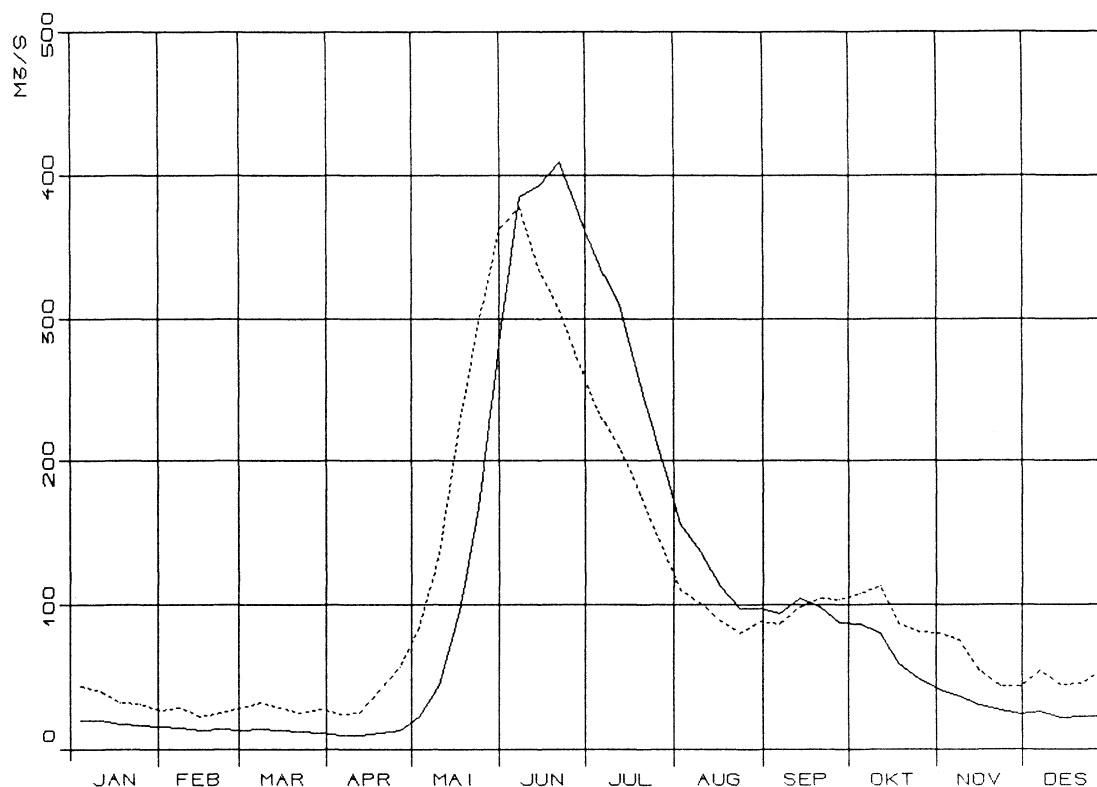


Fig. 2.4. Simulert sesongvariasjon for avløpet i Otta, dagens situasjon (heltrukket strek) og SC1 (stiplet)

2.3.2 Jotunheimen, sentrale fjellstrøk

Her er Otta (vassdragsnummer 002.DHZ) benyttet som basisfelt, med 415-0 Lalm som vassføringsstasjon. Temperaturdata er hentet fra 1572 Bråtå og 871 Sør-Nesset, mens nedbørdata er sammensatt av 1572 Bråtå og 5870 Stryn, med vekter 0.8 og 0.2. Feltet, som er på 3942 km², ligger mellom 360 og 2470 moh, med medianhøyde 1300 m. Ca 7 % av feltet er under 500 moh, 16 % mellom 500 og 1000 m, og 46 % mellom 1000 og 1500 m. Nedbøren er gitt en økning med høyden på ca 3 % av verdien i 500 moh pr 100 m.

Simuleringene er gjort for 31 år; 1. sept 1957 til 31. aug 1988. Klimascenariet for innlandsklima er benyttet.

Det er noe usikkert om klimastasjonen Bråtå, som ligger 710 m over havet, kan anses representativ for det laveste nivået. Simuleringene for laveste nivå må regnes som nokså usikre.

Detaljresultater er gjengitt i vedlegg B, tabell B.2.1 og B.2.2, og i grafisk form i vedlegg C. En tabularisk oversikt er gitt i avsnitt 2.4. Høyeste nivå er også for dette feltet 1000 til 1500 m, selv om Otta har betydelige områder over 1500 moh. Det er i tilsigsberegningene ikke tatt med tilsigsøkninger som skyldes nedsmelting av breområder; dette er en effekt som særlig vil gjøre seg gjeldende fra de delene av feltet som ligger over 1500 m.

Tabell 2.2 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for hele nedbørfeltet til Lalm.

Tabell 2.2 Vannbalanse for Lalm, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	950	1010	+ 7.5	1105	+ 16.5
fordampning	80	140	+ 75	170	+115
avløp	870	870	0	935	+ 7

Figur 2.4 viser tilsigsfordelingen gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Simuleringer basert på SC1:

Tilsig. Vintertilslaget øker betydelig på bekostning av vårflommen. Høsttilslaget øker. Variabiliteten i vintervannføringen øker kraftig, særlig i lavere nivå. Dette framgår særlig av de grafiske framstillingene av karakteristiske vannføringer for Lalm som er gjengitt i vedlegg C. Totalt sett reduseres tilsiget litt (2 %) i de lavere nivåene, mens det øker svakt (3 %) i høyfjellet.

Flom. Høstflommene øker kraftig under 500 moh, og den totale flomrisikoen øker også i dette nivået. I de høyere nivåene reduseres middelflommen, mens ekstremflommer ser ut til å bli litt redusert eller på dagens nivå.

Lavvann. Vinterlavvannføringene øker i de to høyeste nivåene, og ser ut til å reduseres svakt i laveste nivå. Sommerlavvannføringene reduseres i laveste nivå.

Markvann, grunnvann. Markvannsforholdene endrer seg ikke vesentlig i høyfjellet, mens vi får et økt underskudd i vekstsesongen i midlere og lave nivå, pga tidlig snøsmelting og høyere fordampning. Grunnvannsmagasinet blir høyere om vinteren og våren, lavere på sommeren og nokså uendret på høsten.

Snø. Perioden med snødekke blir en halvannen måned kortere i de to høyeste nivåene, to måneder kortere i laveste nivå.

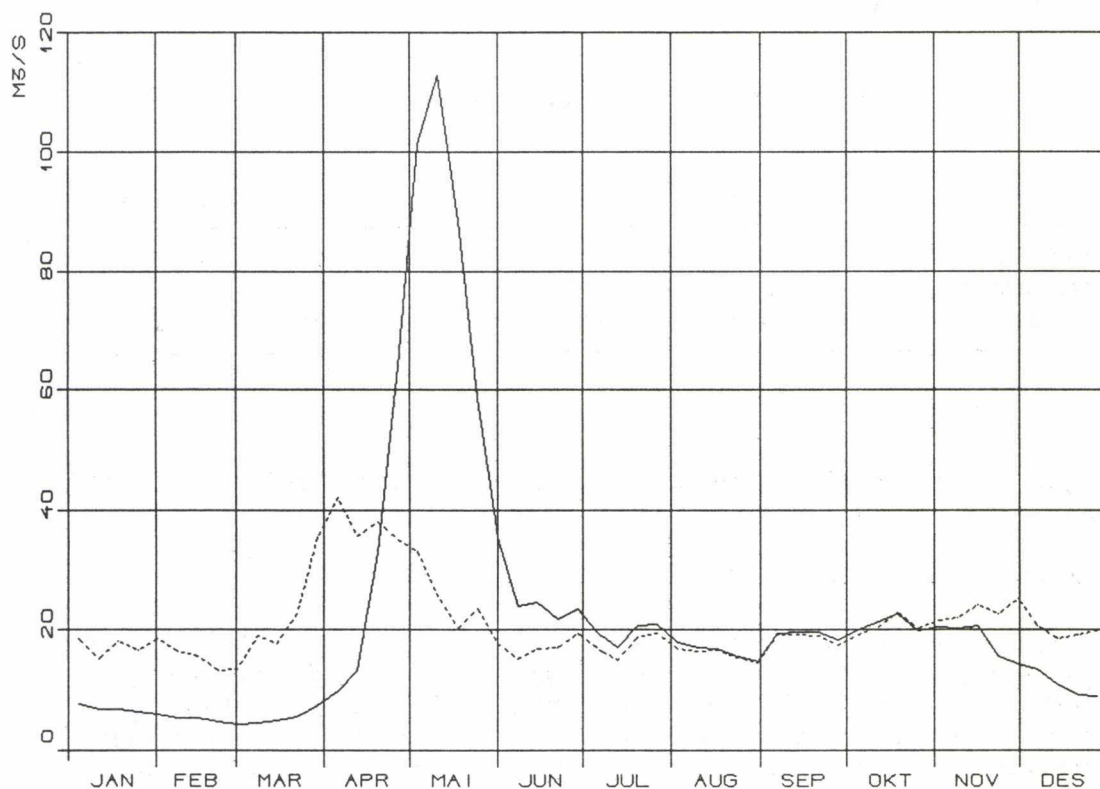


Fig. 2.5. Simulert sesongvariasjon for avløpet i Flisa, dagens situasjon (heltrukket strek) og SC1 (stiplet)

2.3.3 Indre Østland

Her er Flisa (vassdragsnummer 002.GZ) benyttet som basisfelt, med 410-0 Knappom som vassføringsstasjon og 604 Flisa som klimastasjon. Feltet, som er på 1625 km², ligger mellom 164 og 805 moh, med medianhøyde 400 m. Ca 83 % av feltet er under 500 moh, 17 % mellom 500 og 805 m.

Simuleringene er gjort for 31 år; 1. sept 1957 til 31. aug 1988. Klimascenariet for innlandsklima er benyttet.

Detaljresultater er gitt i vedlegg B; tabell B.3.1 og B.3.2, og i grafisk form i vedlegg C. En tabularisk oversikt er gitt i avsnitt 2.4.

Tabell 2.3 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for hele nedbørfeltet til Knappom.

Tabell 2.3 Vannbalanse for Knappom, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	675	725	+ 7.5	785	+ 16.5
fordampning	250	325	+ 30	365	+ 45
avløp	425	400	- 6	420	- 1

Figur 2.5 viser tilsigsfordelingen gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Simuleringer basert på SC1:

Tilsig. Vintertilslaget øker betydelig, særlig under 1000 moh, på bekostning av vårflommen. Høsttilslaget øker. Variabiliteten i vintervannføringen øker kraftig, særlig i lavere nivå. Dette framgår særlig av de grafiske framstillingene av karakteristiske vannføringer for Flisa som er gjengitt i vedlegg C. Totalt sett reduseres tilsiget noe (3 og 5 %) i de lavere nivåene, mens det øker svakt (1 %) i høyfjellet.

Flom. Høstflommene øker kraftig under 500 moh, men ikke så mye at de blir større enn vårflommene. Mens det i dagens situasjon i liten grad forekommer flommer etter 1. november, vil flomsesongen strekke seg til ut i januar. De stabile vårflommene i mai erstattes av smelteflommer fra februar til i slutten av april i lavere nivå. På årsbasis ser middelflommen ut til å bli redusert i alle nivå, mens ekstreme flommer blir uendret i laveste nivå. For småfelt kan flommene tenkes å øke, og faren for vinter- og vårflommer med isgang vil sannsynligvis øke. Når man nærmer seg kysten, og høstnedbøren øker, øker flommene med den. For Kråkfoss i Leira på Romerike øker høst- og vinterflommene til å bli på størrelse med vårflommene i dag. Det høye klimascenariet, med sterkere økning av høstnedbøren, gir for Kråkfoss dominerende høstflommer.

Lavvann. Vinterlavvannføringene øker i alle nivå, og sommerlavvannføringene reduseres i lavere nivå.

Markvann, grunnvann. Markvannsforholdene endrer seg ikke vesentlig i høyfjellet, mens vi får et økt underskudd i vekstsesongen i midlere og lave nivå, pga tidlig snøsmelting og høyere fordampning. Grunnvannsmagasinet blir høyere om vinteren og våren, lavere på sommeren og nokså uendret på høsten.

Snø. Perioden med snødekke blir en til to måneder kortere, størst reduksjon i laveste nivå.

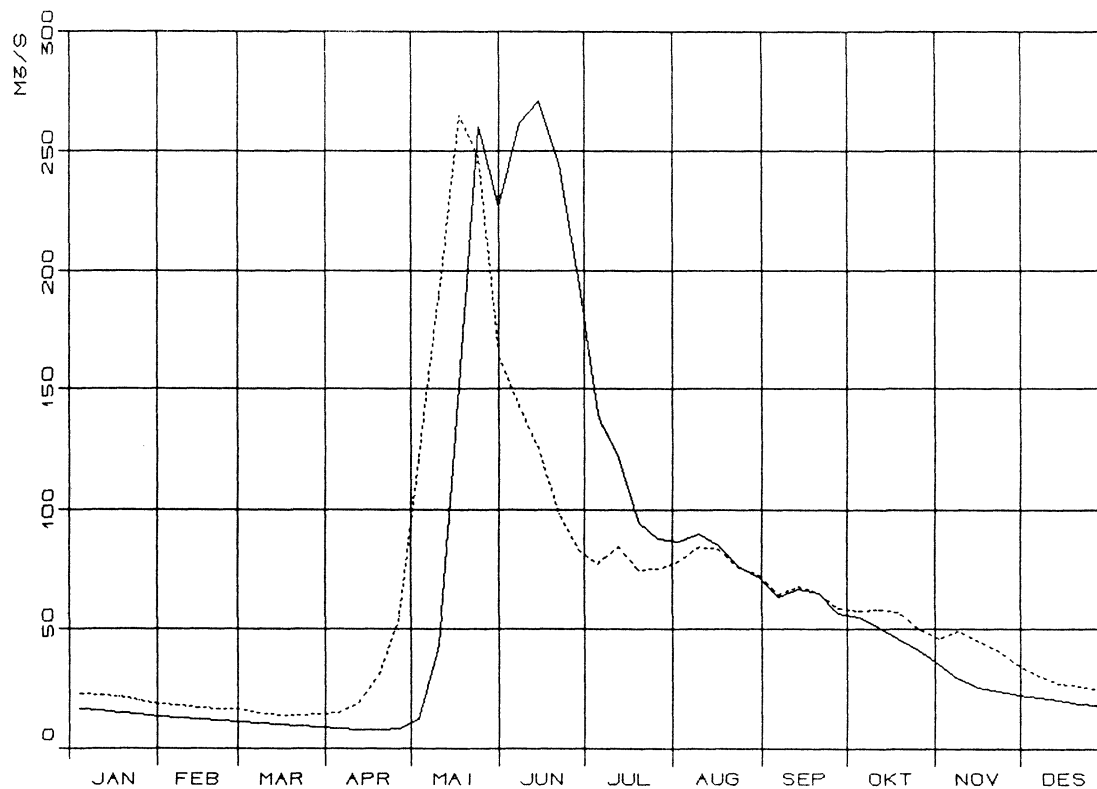


Fig. 2.6. Simulert sesongvariasjon for avløpet i Alta, dagens situasjon (heltrukket strek) og SC1 (stiplet)

2.3.4 Finnmarksvidda

Altaelva (vassdragsnummer 212.Z) er benyttet som basisfelt, med 1596-0 Masi som vassføringsstasjon. Som temperaturstasjon er 9370/71 Kautokeino benyttet, og 9330 Solovomi, 9370/71 Kautokeino og 9390 Siccajavre som nedbørstasjoner. Feltet som er på 5693 km², ligger mellom 274 og 975 moh, med medianhøyde 440 m. Ca 73 % av feltet er under 500 moh, 27 % mellom 500 og 975 m.

Simuleringene er gjort for 31 år; 1. sept 1957 til 31. aug 1988. Klimascenariet for innlandsklima er benyttet. Siden det ikke finnes fjell over 1000 m i det aktuelle klimaområdet, er det bare gjort beregninger for lavland og midlere nivå.

Detaljresultater er gitt i vedlegg B; tabell B.4.1 og B.4.2, og i grafisk form i vedlegg C. En tabularisk oversikt er gitt i avsnitt 2.4.

Tabell 2.4 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for nedbørfeltet til Masi.

Tabell 2.4 Vannbalanse for Masi, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	490	525	+ 7.5	570	+ 16.5
fordampning	135	180	+ 35	205	+ 50
avløp	355	345	- 3	365	+ 3

Figur 2.6 viser tilsigsfordelingen gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Simuleringer basert på SC1:

Tilsig. Vassdraget får fortsatt nokså stabile vinterforhold, men det blir en viss økning av vintertilsiget, særlig i lavere strøk. Det vil kunne opptre vannføringsøkninger og småflommer om vinteren, noe som ikke forekommer idag. Vannføringen i juni og juli reduseres betydelig, mens høsttilsiget øker. Totalt sett reduseres tilsiget noe (3 og 5 %) på grunn av lite nedbør og betydelig økning av fordampningen.

Flom. I dette området er vårflommen helt dominerende, og vil fortsatt være det. Den reduseres noe pga det økte vintertilsiget, og kommer noen uker tidligere. De sene vårflommene, i juni, blir flyttet fram til mai. Sommer- og høstflommene er sporadiske og små, og selv om de øker litt pga en litt lenger barmarksesong blir de fortsatt av liten betydning. Total flomrisiko synker betydelig.

Lavvann. Vinterlavvannføringene øker kraftig, og sommerlavvannføringene reduseres en del pga tidligere avsmelting og høyere fordampning.

Markvann, grunnvann. Det blir noe økt markvannsunderskudd i vekstsesongen. Grunnvannsmagasinet blir høyere om vinteren og våren, lavere på sommeren og nokså uendret på høsten i lavlandet. I høyere strøk blir det små endringer.

Snø. Perioden med snødekke blir en måned kortere.

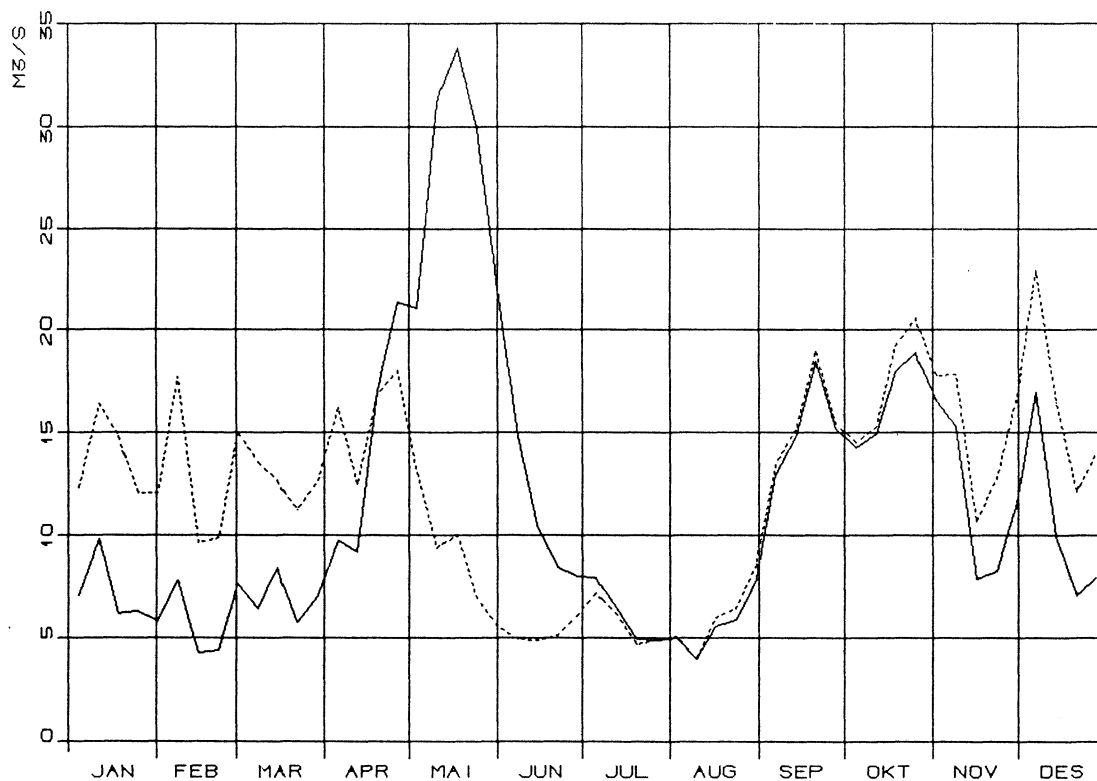


Fig. 2.7. Simulert sesongvariasjon for avløpet fra Øyungen, dagens situasjon (heltrukket strek) og SC1 (stiplet)

2.3.5 Kyst Trøndelag - Helgeland

Årgårdselva (vassdragsnummer 138.2) er benyttet som basisfelt, med 685-0 Øyungen som vassføringsstasjon. Som temperaturstasjon er det benyttet en serie satt sammen av data fra 7214 Namdalseid - Bøgset og 7210 Namdalseid. Første del av perioden er simulert på basis av data fra 7085 Kjøbli i Snåsa, 7155 Ørland III og 7165 Vallersund. Som nedbørstasjon er data fra 7210 Namdalseid benyttet for hele perioden. Feltet er på 238 km². Det ligger mellom 103 og 675 moh, med medianhøyde 355 m. Nær 90 % av feltet ligger under 500 m, det må derfor betraktes som et lavlandsfelt.

Feltet ligger nord på Fosenhalvøya i sonen med maksimal nedbør og må betraktes som et typisk kystfelt som vil være representativt for Trøndelagskysten såvel som Helgeland. Selv om det ikke ligger høyfjell i nærheten er simuleringene gjort for typefelt i alle tre nivåer for å kunne anslå konsekvensene for kystnære felt i Svart-isområdet. Simuleringene er gjort for 31 år; 1. sept 1957 til 31. aug 1988. Klimascenariet for kystklima er benyttet.

Detaljresultater er gitt i vedlegg B; tabell B.5.1 og B.5.2, og i grafisk form i vedlegg C. Tabell 2.5 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for nedslagsfeltet til Øyungen.

Tabell 2.5 Vannbalanse for Øyungen, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	1760	1900	+ 7.5	2055	+ 16.5
fordampning	220	300	+ 35	325	+ 50
avløp	1540	1600	+ 4	1735	+ 12

Figur 2.7 viser tilsigsforholdene gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Tilsig. Tilsigsforløpet i basisfeltet er karakterisert ved en moderat, men klar snøsmelteflom i april-mai og av regnflommer i september-oktober. Tilsiget er høyt på forvinteren, men avtar endel før vårflommen. Det inntreffer ofte store flommer om vinteren som regel forårsaket av sterkt regnvær eventuelt i kombinasjon med noe snøsmelting. Simuleringene for de to høyere nivåene gir et tilsigsforløp preget av en markert årsflom og mer stabile vinterforhold.

Vintervannføringen øker betydelig, særlig i høyfjell og midlere nivå. I lavlandsfeltet der vinteravrenningen allerede er stor går flomperiodene høst og vår sammen i en vinterflomperiode som kan strekke seg fra september til april. I alle nivåer øker variabiliteten av vintertilsgiet kraftig. Dette framgår særlig av de grafiske framstillingene av karakteristiske vannføringer gitt i vedlegg C.

Flom. Vårflommen øker moderat (10 - 20 %) i alle nivåer. I de laveste nivåene er vårflommen en kombinasjon av vår og ettervinterflommer. Variabiliteten øker mer (50%) i sær i de to høyeste nivåene. Høst- og vinterflommene er nå litt større enn vårflommen og øker forholdsmessig like mye som denne i alle nivåer. I simuleringene var det vanskelig å få modellen til å simulere så store vinterflommer som det virkelig er observert. Dette kan skyldes at infiltrasjonen var redusert som følge av at mark- og grunnvannsmagasinerne var fylt opp eller at bakken var frosset noe som erfaringsmessig kan gi store vinterflommer i kystnære felt.

Lavvann. Lavvannsføringene øker kraftig om vinteren, især i de to høyeste nivåene. Variabiliteten av denne endrer seg lite. Sommerlavvannsføringene avtar i alle nivåer, men særlig i høyfjellet.

Markvann, grunnvann. Markvannsforholdene endrer seg lite i vekstsesongen. Grunnvannsmagasinet blir høyere høst og vinter i alle nivåer og om våren i høyfjellet. Det blir lavere om sommeren i de to høyeste nivåene og om våren i lavlandet.

Snø. Simuleringene for høyfjellet viser at det under nåtids forhold kan forventes 363 døgn med snødekkningsgrad større enn 25%. Dersom det hadde vært så høye fjell i området, ville det sannsynligvis blitt dannet breer, slik det er andre steder i kystmaksimumssonen. I høyfjellet ville perioden med snødekke bli redusert med 3 måneder, i de to lavere nivåene med 2 måneder.

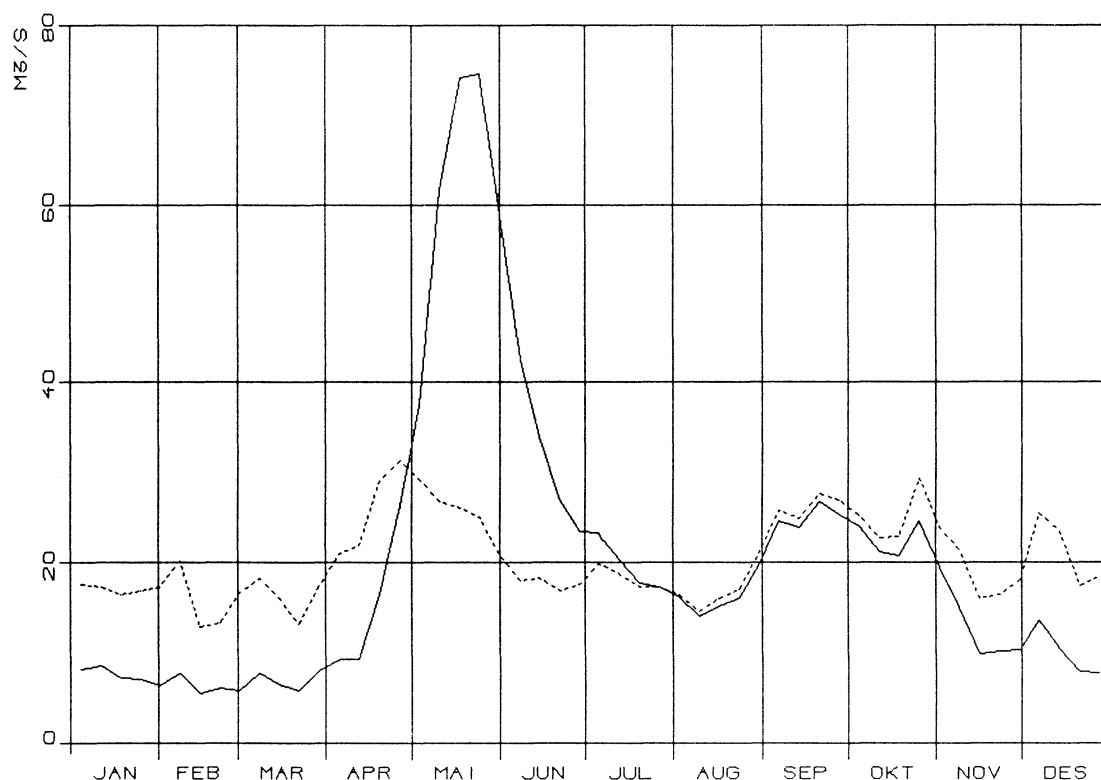


Fig. 2.8. Simulert sesongvariasjon for avløpet i Forra, dagens situasjon (heltrukket strek) og SCl (stiplet)

2.3.6 Indre Trøndelag

Forra i Stjørdalselva (vassdragsnummer 124.AZ) er benyttet som basisfelt, med 666-0 Høggås bru som vassføringsstasjon. Som temperaturstasjon er 7037 Sulstua benyttet, og 6965 Østås i Hegra og 7037 Sulstua er benyttet som nedbørstasjoner. Feltet som er på 491 km², ligger mellom 93 og 1249 moh, med medianhøyde 510 m. Ca 48 % av feltet er under 500 moh, 50 % mellom 500 og 1000 m. Hydrologisk er feltet sterkt preget av de store myrområdene, og av innsjøen Feren, som kontrollerer ca halvparten av feltet. For "typefeltene" er den dempende virkningen av innsjøen fjernet.

Simuleringene er gjort for 30 år; 1. sept 1958 til 31. aug 1988. Klimascenariet for innlandsklima er benyttet.

Detaljresultater er gitt i vedlegg B; tabell B.6.1 og B.6.2, og i grafisk form i vedlegg C. En tabularisk oversikt er gitt i avsnitt 2.4.

Tabell 2.6 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for nedbørfeltet til Høggås bru.

Tabell 2.6 Vannbalanse for Høggås bru, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	1470	1580	+ 7.5	1715	+ 16.5
fordampning	190	270	+ 50	310	+ 65
avløp	1280	1310	+ 2	1405	+ 10

Figur 2.8 viser tilsigsfordelingen gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Simuleringer basert på SC1:

Tilsig. Vintervannføringen øker kraftig, og vi får betydelig tilsig også fra de øvre delene av feltet. Dette går sterkt ut over vårflommen, i de lavere delene blir den omtrent borte. Variabiliteten i vintervannføringen øker kraftig. Dette framgår særlig av de grafiske framstillingene av karakteristiske vannføringer gitt i vedlegg C. Totalt sett øker tilsiget med fra 1 til 3 % ved en nedbørøkning på 7 %.

Flom. Vårflommen reduseres betydelig i de to høyeste nivåene. I lavlandet vil det opptre vinterflommer som er like store som vårflommen i dag. Høstflommene øker kraftig, men ikke så mye at de blir større enn vårflommene i dag i de to høyeste nivåene. I lavlandet vil det være en samlet økning av flomnivået (ca 15 %). For hele feltet utvides høstflomsesongen fra september-november til september-januar. Fra å være et felt med dominerende vårflom reduseres vårflommene kraftig, og vi kan få betydelige flommer også i månedene februar-april. I de lavere delene av feltet blir vårflommen nesten borte; det som i tabellene er kalt vårflom er for lavlandsfeltets vedkommende bare en utvidelse av vinterflomsesongen.

Lavvann. Lavvannsføringen øker om vinteren. Sommerlavvannføringene avtar, særlig i høyfjellet, der mindre snøsmelting ut over sommeren og økt fordampning begge bidrar til redusert vannføring.

Markvann, grunnvann. Markvannsforholdene endrer seg ikke vesentlig i høyfjellet, mens vi får et betydelig økt underskudd i vekstsesongen i lavlandet, pga tidlig snøsmelting og høyere fordampning. Grunnvannsmagasinet blir høyere om vinteren og våren. I lavlandet avtar grunnvannsmagasinet om sommeren og er undret om høsten. For de to øverste nivåene angir modellen økning i grunnvannsnivået om sommeren. Dette skyldes etter alt å dømme en svakhet i modellen; det store grunnvannsmagasinet tappes sterkt ned i løpet av stabile vintre, og rekker ikke å fylles opp igjen gjennom snøsmeltingen. Ved mildere vintre med mer smelting holdes nivået høyere, og modellen går inn i sommeren med et høyere grunnvannsnivå.

Snø. Perioden med snødekke blir to måneder kortere i de to høyeste nivåene, tre måneder kortere i laveste nivå.

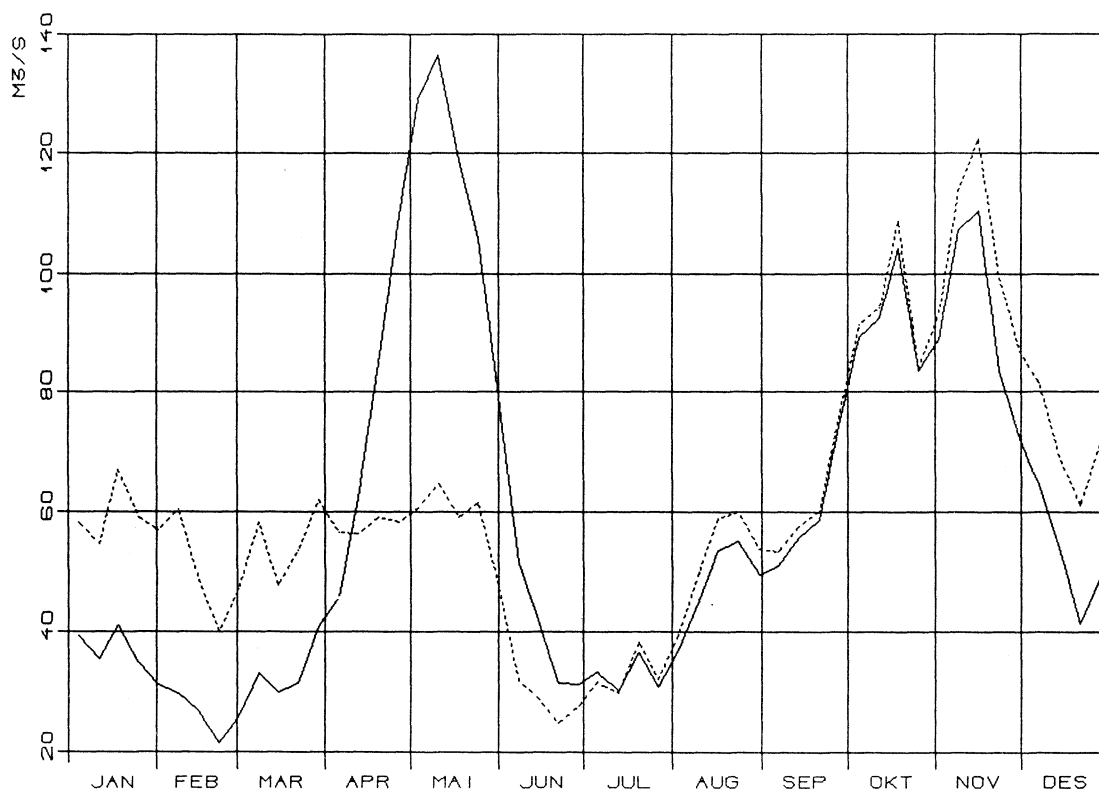


Fig. 2.9. Simulert sesongvariasjon for avløpet i Tovdalselv, dagens situasjon (heltrukket strek) og SC1 (stiplet)

2.3.7 Agder

Tovdalselv (vassdragsnummer 020.Z) er benyttet som basisfelt, med 531-0 Flaksvatn som vassføringsstasjon. Som temperaturstasjon er det benyttet en serie satt sammen av data for 3971 Byglandsfjord II og 3969 Byglandsfjord komplettert med 3814 Landvik. Tilsvarende er det satt sammen en nedbørserie for de samme stasjonene, komplettert med data fra 3880 Tovdal og 3842 Rislå. Dessuten er 3880 Tovdal benyttet som nedbørstasjon. Feltet som er på 491 km², ligger mellom 19 og 1101 moh, med medianhøyde 355 m. Ca 70 % av feltet er under 500 moh, 29 % mellom 500 og 1000 m.

Simuleringene er gjort for 31 år; 1. sept 1957 til 31. aug 1988. Klimascenariet for kystklima er benyttet.

Detaljresultater er gitt i vedlegg B; tabell B.7.1 og B.7.2, og i grafisk form i vedlegg C. En tabularisk oversikt er gitt i avsnitt 2.4.

Tabell 2.7 oppsummerer vannbalansen slik den er beregnet for nedbørfeltet til Flaksvatn.

Tabell 2.7 Vannbalanse for Flaksvatn, mm/år

	nå	SC1	endr %	SC2	endr %
nedbør	1350	1455	+ 7.5	1575	+ 16.5
fordampning	300	385	+ 30	410	+ 35
avløp	1050	1070	+ 2	1165	+ 11

Figur 2.9 viser tilsigsfordelingen gjennom året simulert med SC1 sammenlignet med dagens situasjon.

Simuleringer basert på SC1:

Tilsig. Vintervannføringen øker kraftig, særlig i høyfjell og midlere nivå; fra lavlandet er allerede vintertilslaget høyt. Dette går sterkt ut over vårflommen, i de lavere delene blir den omtrent borte. Variabiliteten i vintervannføringen øker kraftig. Dette framgår særlig av de grafiske framstillingene av karakteristiske vannføringer gitt i vedlegg C. Totalt sett øker tilslaget med fra 1 til 5 % ved en nedbørøkning på 7 %.

Flom. Vårflommen reduseres betydelig i de to høyeste nivåene, i lavlandet blir den i praksis borte. I lavlandet vil det opptre vinterflommer som er like store som vårflommen i dag. Høstflommene øker kraftig, men ikke så mye at de blir større enn vårflommene i dag i høyfjellet. I midlere nivå øker flommene totalt sett noe, særlig for ekstreme flommer, mens de i lavlandet øker omtrent proporsjonalt med nedbøren.

I denne regionen er det relativt sett mindre vintrenedbør enn på Vestlandet, så den potensielle økningen av flomsesongen pga kortere periode med stabilt snødekke gir ikke så sterkt utslag.

Lavvann. Lavvannsføringen øker om vinteren. Sommerlavvannføringene avtar, særlig i høyfjellet, der mindre snøsmelting ut over sommeren og økt fordampning begge bidrar til redusert vannføring.

Markvann, grunnvann. Markvannsforholdene endrer seg ikke vesentlig i høyfjellet, mens vi får et betydelig økt underskudd i vekstsesongen i de lavere nivåene, pga tidlig snøsmelting og høyere fordampning. Grunnvannsmagasinet blir høyere om vinteren, lavere på sommeren og nokså uendret på høsten. Om våren blir det lavere i lavlandet pga mindre snøsmelting, og høyere i fjellet pga at snøsmeltingen forflytter seg fra sommersesongen til våren. Som for de andre feltene er endringene av grunnvannsforholdene om sommeren i de to høyeste nivåene usikkert simulert.

Snø. Perioden med snødekke blir en måned kortere i høyfjellet, økende til to og en halv måned kortere i lavlandet.

2.4 Samlet oversikt

2.4.1 Tabulariske oversikter

Tabellene under oppsummerer tilsigsimuleringer basert på SCl. Mer detaljerte data finnes i vedlegg B. I sesongmidlene for tilsig refererer vinter til desember-februar, vår til mars-mai, sommer til juni-august og høst til september-november.

Tabell 2.8 Midlere endringer i prosent, lavlandet (0 - 500 moh)

	Vestlandet	Fjellstrøk	Indre Østl	Finnmarksv	Kysten	Inntrøndelag	Agder
Tilsig:							
vinter	+55	+ 70	+ 95	+ 65	+ 70	+ 65	+ 35
vår	-25	+ 10	- 30	+ 25	- 25	- 30	- 25
sommer	-30	- 35	- 15	- 35	- 20	- 5	0
høst	+10	+ 5	0	+ 25	+ 15	+ 5	+ 5
 middel	+ 3	- 2	- 5	- 5	+ 3	+ 1	+ 1
 Flom:							
middel	+20	+ 25	- 25	- 40	+ 15	+ 10	+ 5
1000-år	+25	+ 25	0	- 15	+ 10	+ 20	+ 5
 Lavvann:							
vinter	+20	- 10	+ 40	+ 80	+ 40	+ 15	+ 10
sommer	-35	- 40	- 10	- 20	- 15	- 5	- 5

Tabell 2.9 Midlere endringer i prosent, midlere nivå (500 - 1000 moh)

	Vestlandet	Fjellstrøk	Indre Østl	Finnmarksv	Kysten	Inntrøndelag	Agder
Tilsig:							
vinter	+180	+200	+140	+ 10	+210	+200	+155
vår	+ 10	+ 15	- 30	+170	+ 50	- 5	- 25
sommer	- 60	- 60	- 15	- 25	- 50	- 40	- 25
høst	+ 10	+ 35	+ 15	+ 15	+ 25	+ 25	+ 15
 middel	+ 3	0	- 3	- 3	+ 5	+ 3	+ 2
 Flom:							
middel	+ 25	- 25	- 40	- 15	+ 10	- 10	+ 0
1000-år	+ 30	0	- 30	- 15	+ 20	- 5	+ 15
 Lavvann							
vinter	+ 40	+ 90	+ 75	+ 35	+ 75	+ 60	+ 45
sommer	- 35	+ 30	0	- 15	- 5	+ 5	- 10

Tabell 2.10 Midlere endringer i prosent, høyfjell (1000 - 1500 moh)

	Vestlandet	Fjellstrøk	Indre Østl	Kysten	Inntrøndelag	Agder
Tilsig:						
vinter	+280	+105	+ 55	+275	+115	+120
vår	+ 55	+170	+ 35	+180	+125	+ 50
sommer	- 45	- 40	- 30	- 25	- 40	- 40
høst	+ 15	+ 35	- 15	+ 25	+ 50	+ 30
 middel	 + 5	 + 3	 + 1	 + 6	 + 5	 + 5
 Flom:						
middel	- 5	- 20	- 20	+ 10	- 15	- 15
1000-år	+ 10	- 10	- 10	+ 25	- 20	0
 Lavvann:						
vinter	+ 80	+ 50	+ 45	+ 80	+ 60	+ 55
sommer	- 65	- 5	0	- 30	- 10	- 10

2.4.2 Kommentarer

Totaltilsig. Endringene i totaltilsaget er bestemt av endringen av nedbør og av fordampningen. Nedbørendringen er i utgangspunktet usikker, men er her gitt gjennom scenariene. Endringen av fordampningen er gitt av den hydrologiske modellen, men modellen er som tidligere nevnt usikker på dette punktet. Når vi går ut fra de beregnede fordampningstallene finner vi (vedlegg B) at fordampningen øker med fra 40 til 55 mm/år i høyfjellet, 45 til 100 mm i midlere nivå og 50 til 110 mm i lavlandsfeltene. Disse tallene påvirkes lite av moderate nedbørendringer, og angir derfor hvor stor nedbørøkningen må være for at ikke totaltilsaget skal reduseres, og økninger ut over dette ville være tilnærmet netto økning av totaltilsaget. Dersom vi som i det mest sannsynlige scenariet regner med en økning på 7.5 % av nedbøren over hele landet, ville det innebære f.eks at de høyfjellsstrøk som i dag har over 750 mm nedbør ville få en økning av totaltilsaget.

Tilsigsfordeling. Sesongfordelingen av tilsaget endres dramatisk, med kraftig økning av vintertilsaget, redusert vårflom og lavere sommervannføringer. Disse endringene er stort sett temperaturstyrte, og godt beskrevet av den hydrologiske modellen. De er derfor relativt sikre resultater.

Den relative økningen av vintertilsaget er størst i høyfjellet, men her er jo utgangspunktet et svært lavt tilsig. Reduksjonen av vårflommen vil være mest markant i de lavere delene av de områdene som nå har stabilt snødekke. I de kyststrøk som i dag ikke har stabilt snødekke vil de sesongmessige endringene være relativt små. Reduksjonen av sommervannføringen er særlig merkbar i tørre innlandsstrøk, og i felt hvor vårflommen i dag går inn i sommermånedene og hvor sommerlavvannsføringene i dag i stor grad blir opprettholdt av smeltende snø i høytliggende fjellstrøk. Midlere høstvannføringer endres stort sett proporsjonalt med nedbøren fram til det tidspunkt snøleggingen normalt starter i feltet.

Bortsett fra de ytre kyststrøk vil variabiliteten i vintervannføringene øke sterkt, fordi en de fleste steder vil få høye vannføringer og vinterflommer, og likevel ha enkelte vintre med stabile snøforhold og lav vannføring.

Flommer. Utgangspunktet for å vurdere endringer i flomforholdene er i utgangspunktet svært usikkert, fordi en eventuell økning av variabiliteten i nedbøren vil slå sterkt ut. En slik økning er ikke tatt med i disse beregningene, hvor det antas at ekstremnedbøren vil endres proporsjonalt med totalnedbøren. Imidlertid er flomregimet i Norge sterkt påvirket av temperaturforholdene, og dette gir noe bedre grunnlag for å vurdere endringene.

Vårflommene vil med de gitte scenarier nesten overalt reduseres, og høst/vinterflommer øke, delvis gjennom økt nedbør, men særlig gjennom lengre flomsesesong. Hvordan totalutslaget blir er derfor avhengig av hvilken region feltet ligger i, og hvor stort det er. Generelt vil det gjelde at felt som er utsatt for høstflommer i dag vil få en økt flomrisiko, og det samme gjelder felt i de lavere delene av de områdene som i dag har stabilt snødekke om vinteren. Siden regnflommene vil øke på bekostning av snøsmelteflommene, og mer av nedbøren antas å komme som byger (jfr kap. 1) vil små felt være mer utsatt enn store, mens områder langs de store vassdragene som i dag er mest utsatt for vårflom kan regne med en redusert flomrisiko. For de utsatte feltene er det ikke urimelig å regne med en fordobling av risikoen for skadeflommer. For lavlandsfelt i ytre kyststrøk vil flommene stort sett øke proporsjonalt med nedbøren.

Med de forbehold som er nevnt ovenfor, kan det på grunnlag av de simuleringene som er gjort antydes følgende regionale endringer av flomforholdene:

Lavlandsfelt i ytre kyststrøk: moderat økning (5 - 10 %)

Felt opp til 1000 moh i kystnære strøk: betydelig økning (15-20 %)

Innlandsstrøk med lite nedbør: reduksjon for store felt, økning for småfelt.

Høyfjellet: uendret eller svak økning i vestlige strøk, reduksjon i østlige.

Siden høst- og vinterflommer generelt øker sterkere med fallende sannsynlighet (økende gjentakintervall) enn vårflommer vil selv felt som får redusert 1000-års flom (dimensjonerende flom for dammer) kunne få økt "påregnelig maksimal flom".

Markvann. Markvannsunderskuddet i vekstsesongen vil øke overalt med de foreliggende scenariene.

Grunnvann. Grunnvannsnivået vil overalt øke om vinteren og reduseres om sommeren. Om høsten endrer det seg lite, og om våren vil det øke i høyere strøk og reduseres i lavere.

Snøforhold. Perioden med snødekket mark vil bli en til tre måneder kortere; endringene er størst i lavlandet og i kystområdene.

3. BREER

3.1 Generelt

Breene virker som et reguleringsmagasin i nedbørfeltet. I år med stor nedbør i vinterperioden vil en del kunne lagres til senere år, mens man vil kunne få ekstra tilskudd til avrenningen i tørre år. Dette er en naturlig reguleringsmekanisme som er meget verdifull fordi den bidrar til en utjevning av avløpet, særlig ved å gi ekstra avrenning i tørre og varme år. I utpreget grad gjør dette seg gjeldende for en rekke vassdrag i Hordaland, Sogn og Fjordane og Nordland. Også enkelte vassdrag i Buskerud, Oppland, Møre og Romsdal, Troms og Finnmark påvirkes av breer.

De vanlige hydrologiske simuleringsmodellene fanger normalt ikke opp breenes særegne påvirkning. Breens utbredelse er ikke bare avhengig av meteorologiske parametere, men har også et dynamisk element som er både historisk og topografisk bestemt. Det er derfor utviklet flere dynamiske modeller for breer (eks: Budd & Jenssen, 1975; Bindschadler, 1978; Oerlemans, 1986; Reeh, 1988). Den norske kompetanse er under oppbygging for bl.a. å kunne utføre de nødvendige analyser av virkninger av mulige klimaendringer. Det er blant annet nylig utført en simulering på Gråbreen (Folgefonna) som nettopp tar hensyn til breens dynamikk og topografi i tillegg til de klimatiske faktorer (Laumann & Tvede, 1989).

Det har ikke vært mulig, med de begrensede ressurser og den korte tid som har vært til rådighet, å gjøre utfyllende beregninger med disse modellene. Vi har imidlertid gjort enkle beregninger på noen utvalgte breer som støtte til våre kvalitative vurderinger.

3.2 Beregning av endring av nettobalanse

Breene som er valgt er Nigardsbreen i Jostedalen, Hellstugubreen i Jotunheimen og Engabreen i Nordland. På disse breene er det foretatt massebalansemålinger fra begynnelsen av 1960-årene i Sør-Norge og fra 1970 på Engabreen. Engabreen og Nigardsbreen viser positiv massebalanse, det vil si at breene har holdt tilbake vann fra vassdragene nedenfor. Hellstugubreen har negativ massebalanse og har dermed bidratt med ekstra vann fra breens eget magasin. I tabell 3.1 er tallene gjengitt sammen med beregnet normalavløp i respektive vassdrag.

Beregningene har tatt utgangspunkt i de respektive midlere nettobalansekurver for periodene angitt i tabell 3.1. Disse kurvene er så blitt justert for de endringer i temperatur og nedbør som er angitt i de ulike scenarier, med de forenklinger som er kommentert nedenfor, og nye nettobalansetall er beregnet (tabell 3.2).

Tabell 3.1 Midlere årlig nettobalanse for angitte perioder og beregnet normalavløp for perioden 1931-60. (Kilde: Avrenningskart for Norge; NVE-Hydrologisk avd. 1987).

	Nettobalanse l/s km ²	Normalavløp l/s km ²
Nigardsbreen (1963-1987)	+ 8	90
Hellstugubre (1963-1987)	-11	24
Engabreen (1979-1987)	+22	131

Som en tommelfingerregel har vi antatt at en heving på 1 °C tilsvarer smelting av 50 cm vannekvivalenter is i løpet av en smeltesesong. I de ulike scenariene har vi valgt en midlere prosentvis øking av vinterneðbøren. For kyst er valgt 8% og 15% for henholdsvis SC1 og SC2. For innland er valgt 6.4% og 14.3% for SC1 og SC2. Nigardsbreen ligger i overgangen mellom kystklima og innlandsklima. Derfor er scenariene både for kyst og innland benyttet for denne breen. Tabell 3.2 oppsummerer resultatene.

Tabell 3.2 Breenes årlige nettobalanse ved ulike scenarier. Negative tall angir "uttak" fra lageret, mens positive tall viser øket brevolum.

	"Kyst"		"Innland"	
	SC1 l/s km ²	SC2 l/s km ²	SC1 l/s km ²	SC2 l/s km ²
Nigardsbreen	-11	-20	-19	-27
Hellstugubreen			-40	-53
Engabreen	+5	-2		

Beregningene viser at for alle de angitte klimascenarier vil Nigardsbreen og Hellstugubreen avgi ekstra vann fra sitt lager i tillegg til den økte nedbør. Dette slår særlig sterkt ut for Hellstugubreen der smelting av lagret, gammel is vil utgjøre 160-220 % av normalavløpet for perioden 1931-60. Dette kommer altså i tillegg til den økte årlige nedbør.

For Nigardsbreen vil det tilsvarende "lageruttak" ligge på 12-30 %, mens utslagene for Engabreen vil bli små. Det mest sannsynlige scenario for sistnevnte gir en svak økning av breens volum, altså at avløpet i vassdraget vil bli mindre enn den økte nedbøren.

Temperaturøkningen i juni, juli og august vil føre til øket avsmelting og avrenning i disse månedene. Temperaturøkningen i mai og

september vil også føre til lengre smeltesesong og at nedbør faller som regn istedenfor snø. Disse forhold er ikke tatt med i beregningen ovenfor, og vil bidra til å gjøre de reelle tall mer negative. Det antas at smelting og regn i mai vil ha relativt liten betydning fordi vannet forventes å akkumulere nede i snøpakken. I september vil nedbør som regn antagelig drenere raskt gjennom breene, mens smelting fortsatt vil gi begrenset bidrag. Temperaturøkningen i perioden oktober-april er ikke større enn at temperaturen fortsatt vil ligge under frysepunktet, og dermed bare i svært liten grad påvirke akkumulasjonsforhold eller føre til smelting.

Nedbøren i perioden oktober-april vil i hovedsak falle som snø, og kortvarig smelting eller regn vil sannsynligvis bli akkumulert i snøpakken og ikke føre til avrenning. Akkumulasjonssesongen på breene vil bli kortere og mer av nedbøren - særlig i mai og september - vil falle som regn. Likevel vil de gitte scenarier gi øket vinterakkumulasjon. Det blir altså et øket vannvolum som lagres i vinterhalvåret og som slippes løs om sommeren.

Forandringene i massebalanse og avrenning for den enkelte bre vil i tillegg til temperatur- og nedbørutviklingen også avhenge av breens areal/høyde-fordeling. Den generelle konklusjon synes å være at med de gitte klimascenarier vil nesten alle breer i Norge bli mindre. De vil den første tiden gi et øket avløp i vassdragene i tillegg til den økte nedbøren og altså bidra til større flomfare i sommerhalvåret. Dette vil være særlig utpreget for innlands-områdene. Etter hvert vil imidlertid de små breer bli vesentlig mindre eller forsvinne. I slike tilfeller vil avløpet endres i retning av mindre lavvannsføringer.

For de utpregede kystbreer med høytliggende akkumulasjonsområder vil utviklingen være mer usikker. Sommeravrenningen vil øke, men beregningen for Engabreen viser at nettobalansen vil bli nær null. Det vil si at all ekstra nedbør renner av, men at det ikke tæres på lageret og at breene opprettholder sin nåværende størrelse. Dette er imidlertid en sensitiv balanse, og det er muligheter for både voksende og minkende breer.

Glasiologene er noe skeptiske til de nedbørtall som de angitte scenarier har oppgitt. De viser bl.a. til målinger fra den Antarktiske halvøy der temperaturen de siste 30 år har steget 2°C , mens nedbøren i samme periode har øket 25 % (Peel & Mulvaney, 1988).

En tilsvarende og helt klar tendens er registrert på en bre i den maritime del av Alaska siden 1976, med kraftig vekst i breens massebalanse som følge (Mayo, 1989). Også i Norge er det de to siste årene registrert rekordstor akkumulasjon på de maritime breer, samtidig med uvanlig milde vintre.

En sterkere økning i vinternedbøren enn forutsatt vil derfor kunne endre forholdene vesentlig også for de kystnære norske breer. Dette, sammen med svakt målegrunnlag som utgangspunkt for beregningene, er usikkerhetsmomenter som gjør det ønskelig med ytterligere arbeid for å klarlegge de ulike breområders følsomhet for endrede temperatur- og nedbørsituasjoner.

3.3 Oppsummering

Ved de gitte scenarier vil alle norske breer avgi mer vann til vassdragene enn i dag. Dette vil skje i sommermånedene og i første omgang medføre både øket lavvannsføring og øket flomfare. Etter hvert som de fleste breer blir mindre og de små blir borte, vil flomfaren avta og breens naturlige reguleringsmekanisme forsvinne. Dette vil føre til mindre lavvannsføringer.

Glasilogene mener at de tall som er angitt for nedbørøkning er små i forhold til hva som er observert ved tilsvarende temperaturøkninger på andre maritime deler av jorden. En større nedbørøkning enn angitt i scenariene vil kunne føre til at de mest maritime breer i Norge vil vokse.

4. VANNTEMPERATUR OG ISFORHOLD

4.1 Vanntemperatur

I prinsippet er det et komplisert energisamspill mellom atmosfære, jord og vann som bestemmer vanntemperaturen i et vassdrag, se f.eks Roen (1984). Nedbøren har en temperatur som stort sett avhenger av temperaturen i de lavere luftlag. Grunnvannstilsig og annen vanntilførsel som har vært i kontakt med jordlagene vil stort sett ha jordtemperatur, som varierer med dypet. I selve vassdraget påvirkes temperaturen av overføring av følbare varme fra lufta, av strålingsbalansen mot atmosfæren, og av varmetap ved fordampning, dessuten av varmeutveksling med breddene og friksjonsoppvarming. I innsjøene foregår den interne varmeutvekslingen ved termiske og dynamiske prosesser. Dessuten påvirkes temperaturen av fryse- og smelteprosesser.

I praksis er vanntemperaturen i uregulerte norske vassdrag uten store innsjøer nær koblet til lufttemperaturen når feltet er snøfritt og uten breer. Vanntemperaturen vil da ligge litt under et glidende middel av døgntemperaturen. Dersom det pågår snøsmelting i feltet, vil smeltevannet ha temperatur i nærheten av null, og andelen smeltevann vil sterkt påvirke temperaturen i vassdraget.

Dette innebærer at ved klimaendringer vil vanntemperaturen i de fleste vassdrag øke like mye som lufttemperaturen i den snøfrie perioden. I tillegg vil den snøfrie perioden utvides betydelig; vanntemperaturen vil stige mot lufttemperaturen jevnt over en måned tidligere enn i dag ved scenario 1. I vassdrag med stor bredekning kan breavsmelting om ettersommeren derimot kunne senke vanntemperaturen.

Temperaturforholdene i større innsjøer og utløpselvene fra disse vil være styrt av årsgangen av de termiske og dynamiske prosessene i innsjøene. En vurdering av effektene av klimaendringene på innsjøene gjøres best med bruk av innsjømodeller med simulering av isdekke (se nedenfor). Slike simuleringer er ikke utført i denne undersøkelsen.

4.2 Isforhold i vassdragene

4.2.1 Generelt

Norske vassdrag islegger seg i større eller mindre grad de fleste vintre. Isleggingstidspunktet og isleggingsmønstret varierer svært fra en vinter til en annen, og værforholdene er bare en av flere faktorer som virker inn. De mest stabile isforhold har en vanligvis i indre deler av Østlandet og i Troms og Finnmark, mens ustabile isforhold er det normale i kystnære områder helt opp til Troms. Isforholdene på elver og vatn har betydning for en rekke brukerinteresser, hvorav de tradisjonelt viktigste har vært tømmertransport og friluftaktiviteter. Disse brukerinteressene er vanligvis interessert i ha stabile og gode isforhold så lenge som mulig. I mange vassdrag går det mer eller mindre regelmessig isganger, disse betraktes som en ulempe av de fleste bruker-

interessene, da de ødelegger ferdselsmulighetene og kan forårsake skader i og langs vassdragene.

Beskrivelser av isforholdene i norske vassdrag finnes i en rekke publikasjoner, en samlet oversikt finnes f.eks i rapporten "Isforhold i norske vassdrag" (NVE, 1970). I denne rapporten er det også gitt en gjennomgang av de meteorologiske og hydrologiske forhold som påvirker isforholdene.

Klimaendringer vil selvfølgelig påvirke isforholdene i norske vassdrag. Diskusjonen her baserer seg på de endringer som skissert av Eliassen m. fl, (1989); en midlere temperaturøkning på 3.5°C i alle vintermånedene og 5 % økning av vinternedbøren. Dette er karakterisert som den "mest sannsynlige" klimaendring i innlandsområdene.

De viktigste faktorene som påvirker isforholdene på vassdragene er:

- * Lufttemperatur. For at det kan dannes is, må overflatelaget først avkjøles til frysepunktet. Ovenforliggende luftmasser med temperatur under frysepunktet vil være en slik "kuldekilde" som avkjøler vannet ved konveksjon og adveksjon.
- * Strålingsforholdene. Sterk utstråling om natta i klart, vindstille vær kan medføre islegging på innsjøer selv om lufttemperaturen er over frysepunktet. Også for elver er avkjølingen ved langbølget utstråling viktig. Skydekket er i praksis den værparameter som påvirker strålingsforholdene mest.
- * Vindforholdene. Vinden rører om vannmassene og kan forsinke og hindre isleggingen på innsjøene, spesielt gjelder dette for dype innsjøer. Derimot kan den konvektive og advektive avkjølingen øke og fremskynde isdannelsen i elver ved kombinasjoner av lav lufttemperatur og sterk vind.
- * Vassføringen. Vannhastigheten i elvene påvirker sterkt hvordan isdannelsen foregår. Stor vassføring med tilhørende høy hastighet kan gi mer dannelse av sarr og bunnis og følgelig mer ustabile isforhold. Det synes å gå en kritisk grense ved ca 0.6 m/s . På den annen side vil større vassføring medføre at et større vannvolum må avkjøles før islegging. I forbindelse med kraftutbygginger er det gjort mange undersøkelser omkring forholdet vassføring/is i vassdrag.
- * Snødyp. Et snødekke på isen vil dempe isveksten. Ikke bare snølagets tykkelse, men også tettheten vil spille inn.
- * Topografien. Fallforholdene påvirker isleggingen i elvene, elver med sterkt fall vil ha et annet mønster i isleggingen enn elvestrekninger med lite fall.

4.2.2 Mulige effekter av klimaendringer

- * Høyere lufttemperatur. En heving av lufttemperaturen med 3.5°C vil åpenbart føre til en forkorting av perioden hvor det vil

være mulig å få isdannelse. For kyststrøkene helt opp til Troms er det sannsynlig at det "normale" vil bli isfrie elver og innsjøer, i hvertfall for dype innsjøer. I innlandet på Østlandet og i Trøndelag kan ventes mer ustabile isforhold i uregulerte vassdrag og det kan bli større hyppighet av isganger også midtvinters. Økt vassføring vil også bidra til dette. Vårisgangene, derimot, vil bli mindre. De dype innsjøene, f.eks. Mjøsa, Storsjøen, Randsfjorden, Tinnsjøen og Nisser må forventes å holde seg åpne hele vinteren. I Troms og Finnmark antas isforholdene å bli mindre endret, men også her kan hyppigheten av vinterisganger øke.

I Troms og Finnmark antas isforholdene å bli mindre endret, men også her kan hyppigheten av vinterisganger øke.

For grunne innsjøer er det gjort en undersøkelse i Finland, basert på enkle "kuldesum"-modeller (Kuusisto, 1989). Disse gir en forkortelse av isleggingssesongen på ca to måneder, omtrent tilsvarende reduksjonen i snødekke-sesongen, og en betydelig økning av år uten isdekke i Sør-Finland. For dype norske innsjøer er slike enkle modeller neppe gode nok.

- * Snøforholdene. Mindre snømengder i lavlandet og lavere fjell-områder som antydnet i kapittel 2 kan få konsekvenser også for isforholdene. Mindre snø på allerede islagte elver og vatn vil kunne føre til raskere isvekst, dette kan kompensere noe for lavere isvekst som følge av høyere lufttemperatur.

4.2.3 Oppsummering

Effektene av de antatte klimaendringer på isforholdene i norske vassdrag er ikke entydige. Høyere lufttemperatur vil forkorte de periodene hvor islegging blir mulig og gir lavere isvekst, mens mindre snø på isen kan kompensere noe for dette. Selv om isganger også idag er normalt i mange vassdrag om våren, så kan dette bli en hendelse som også opptrer midtvinters, selv i innlandsvassdrag. Det kan ikke sees bort fra at disse isgangene kan gi større ulemper enn vårisgangene gjør idag. Dype innsjøer vil de fleste vintrer være åpne.

Det eksisterer en god del modeller og formelverk som bør kunne anvendes for å kvantifisere effektene av klimaendringer på isforhold (se f.eks Erlandsen m.fl, 1990). En videreføring av denne oppsummeringen bør derfor først være en gjennomgang av de eksisterende modeller.

4.3 Isforhold på fjordene

4.3.1 Generelt

Norske fjorder islegger seg i større eller mindre grad de fleste vintrer. Isleggingstidspunktet og isleggingsmønstret varierer svært fra en vinter til en annen og værforholdene er bare en av flere faktorer som virker inn. Isforholdene har betydning for en

rekke brukerinteresser, hvorav de tradisjonelt viktigste har vært båttrafikk og utøvelse av fiske. Disse brukerinteressene betrakter is i fjorder som en hindring, andre kan ha positiv interesse av å få islagt fjordene for å kunne utøve friluftaktiviteter og benytte fjorden som ferdselsveg.

Det bør også nevnes at isforholdene har betydning for den biologiske aktiviteten i fjorden, se f.eks. rapporten om "Vassdragsreguleringers innvirkning på fjorder" (NHK, 1985). Isen har også en klar virkning på lokalklimaet langs fjordene, f.eks. har Nordli (1982) vist at lufttemperaturen i strandsonen kan bli senket flere grader etterat isen har lagt seg.

De viktigste faktorene som påvirker isforholdene på fjorder er:

- * Lufttemperatur. For at det kan dannes is må overflatelaget først avkjøles til frysepunktet (som kan være lavere enn 0°C). Ovenforliggende luftmasser med temperatur under frysepunktet vil være en slik "kuldekilde".
- * Strålingsforholdene. Sterk utstråling om natta i klart, vindstille vær kan medføre islegging på fjorden selv om lufttemperaturen er over frysepunktet. Skydekket er i praksis den værparameteren som mest påvirker strålingsforholdene.
- * Vindforholdene. Vinden rører om vannmassene og kan forsinke og hindre isleggingen. Spesielt gjelder dette i situasjoner hvor kald luft fra fjellområdene dreneres ut fjordene. Tross sterk kulde vil da oftest fjordene være isfrie fordi ferskvannet føres utover og blandes med salt dypvann. Omvendt kan svak vind innover fjorden gi raskere isdannelse fordi ferskvannet forblir i overflaten.
- * Ferskvannstilførselen. Et ferskvannslag i overflaten vil gi en stabil sjiktning av vannmassene og gir raskere isdannelse enn i fjordvann som har høyere saltholdighet enn ca. 25/1000. I Norge er det gjort mange undersøkelser for å verifisere om økt ferskvannstilførsel fra kraftutbygginger har medført mer islegging i fjordene. Det er også utviklet modellverktøy for å simulere disse effektene.
- * Topografien. Grunne terskler og markerte innsnevringer i fjordene bidrar til å stabilisere ferskvannslaget. Slike terskler eller markerte innsnevringer er derfor ofte en nødvendighet for at isleggingen skal kunne få noe særlig omfang.
- * Båttrafikk. Dersom båttrafikken opphører i en fjord opplever en at isforholdene blir mer stabile. Dette skyldes både at båttrafikk kan røre om vannmassene og at båtene bryter opp isen slik at vinden får bedre tak.

4.3.2 Mulige effekter av klimaendringer

Som i diskusjonen av isforholdene i vassdragene (4.2) tar vi utgangspunkt i ekspertgruppens "mest sannsynlige" scenario, dvs økning av lufttemperaturen med 3.5 °C og nedbøren med 5 % om vinteren.

- * Høyere lufttemperatur. En heving av lufttemperaturen med 3 °C vil åpenbart føre til en forkorting av perioden hvor det vil være mulig å få isdannelse. En analyse av lufttemperaturserien fra Sauda antyder at antall dager med middeltemperatur under 0 °C vil gå ned fra ca 50 til 30 døgn, og antall døgn med middeltemperatur under -5 °C går ned fra 20 til 10. En studie av kart over normaltemperaturen i januar (DNMI, 1972), antyder at det i Sør-Norge bare vil være områdene rundt fjordbotnene som fortsatt får middeltemperaturer under 0 °C. I Nord-Norge vil middeltemperaturen fortsatt være under frysepunktet over det meste av fjordområdene i Troms og Finnmark.
- * Vindforholdene. Det kan tenkes at klimaendringen fører til lavere hyppighet av fralandsvind om vinteren pga. mindre temperaturgradienter mellom fjellet og fjordområdene. I så fall vil dette virke i retning av at vinden i mindre grad motvirker isleggingen enn tilfellet er idag når forholdene ellers ligger tilrette for isdannelse. En analyse av hvilke endringer i vindforholdene som kan ventes i fjordområdene er ønskelig.
- * Ferskvannstilførsel. De simuleringer av tilsigsforholdene som er gitt i kapittel 2 for Vossa antyder at ferskvannstilførselen til Vestlandsfjordene vil kunne fordobles i vintermånedene. Dette gjelder for fjorder hvor tilsiget er fra uregulerte elver. På Vestlandet er de fleste store elvene allerede regulert, økningen i ferskvannstilførselen til de fleste fjordene blir derfor sannsynligvis mindre enn det simuleringene for Vossa antyder. Likevel kan det antydes at økt avløp til fjordene om vinteren vil kunne virke gunstig for islegging. Flere simuleringer for ulike fjordvassdrag, også for regulerte vassdrag, vil være nødvendig for å kunne si noe mer om dette.

4.3.3 Oppsummering

Effektene av de antatte klimaendringer på isforholdene i norske fjorder er ikke entydige. Høyere lufttemperatur vil forkorte de periodene hvor islegging blir mulig, mens økt ferskvannstilførsel om vinteren vil kunne gi økt islegging når forholdene ellers er gunstige. Stor usikkerhet knytter det seg til evt. endringer i vindforholdene, mindre hyppighet av vind ut fjordene kan være gunstig for isleggingen. Generelt sett må en forvente at de fjordområdene hvor lufttemperaturen idag er en "minimumsfaktor" vil få mindre, eller ingen islegging, ved den skisserte klimaendringen. I andre fjordområder, hvor det fortsatt vil være kaldt nok, kan en ikke se bort fra at isleggingen kan få større omfang.

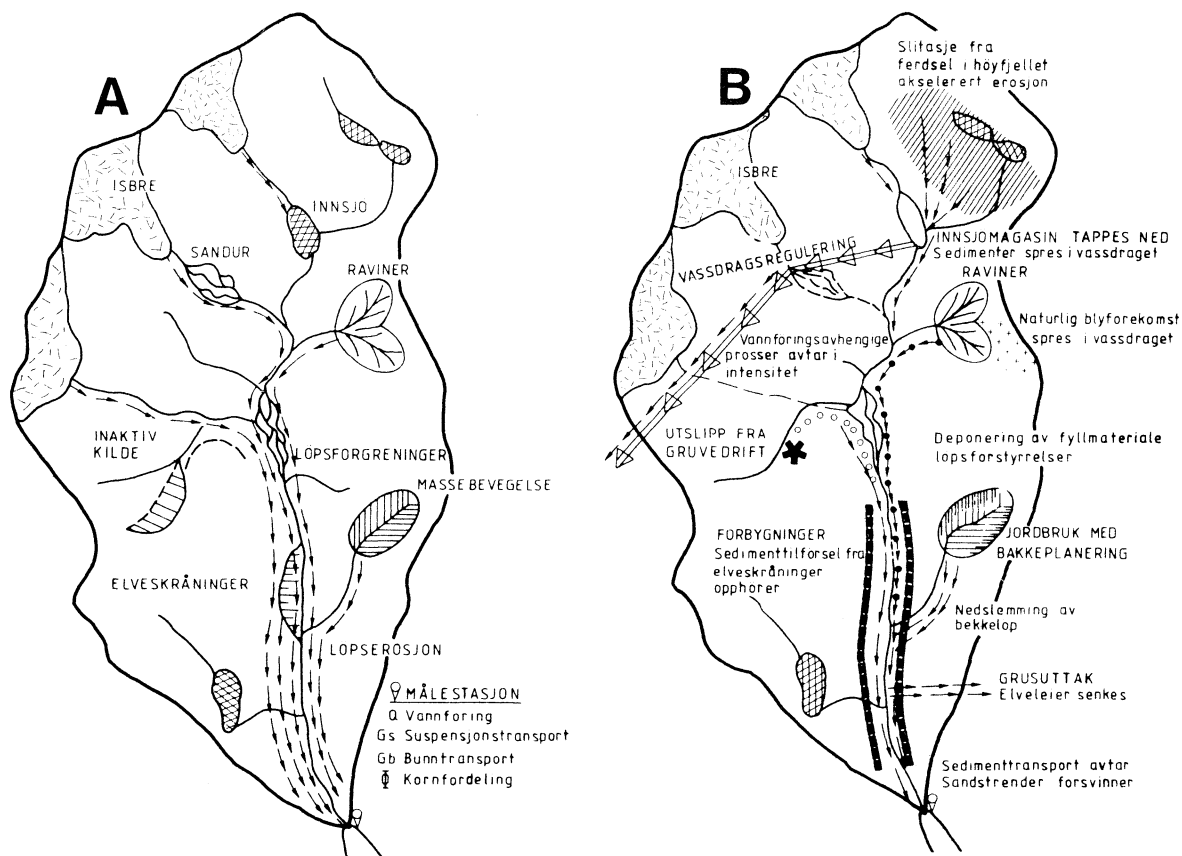


Fig. 5.1. Sedimentkilder og materialstrøm i et vassdrag som er typisk for norske forhold. A viser et upåvirket system. Materialet strømmer fra kildene og setter sitt preg på elveløpene. B viser et vassdrag som er påvirket av forskjellige aktiviteter. (Fra Bogen, 1986)

5. EROSJON OG SEDIMENTTRANSPORT

5.1 Sedimentkilder og materialstrøm i vassdrag

Et vassdrag kan betraktes som et dynamisk system hvor det kan avgrensnes en rekke forskjellige elementer som hver har ulik effekt på sedimenttransporten slik det er illustrert i figur 5.1. Klimaet og det hydrologiske regimet er en ytre påtrykt variabel som styrer aktiviteten i dette systemet.

Det går en strøm av materiale fra materialkildene og ned hovedløpene i vassdraget. Klimaet og det hydrologiske regimet vil være bestemmende for hvor raskt materiale produseres. De forskjellige materialkildene er imidlertid av ulik karakter.

Isbreene har den mest intense materialproduksjonen i norske vassdrag. Den naturlige erosjonsintensiteten i leirelvene på Østlandet kan imidlertid være av samme størrelsesorden som breene med minst erosjonsintensitet. I det skogbevokste moreneområdet på Østlandet er erosjonsintensiteten langt lavere, men kan øke sterkt hvis vegetasjonsdekket ødelegges.

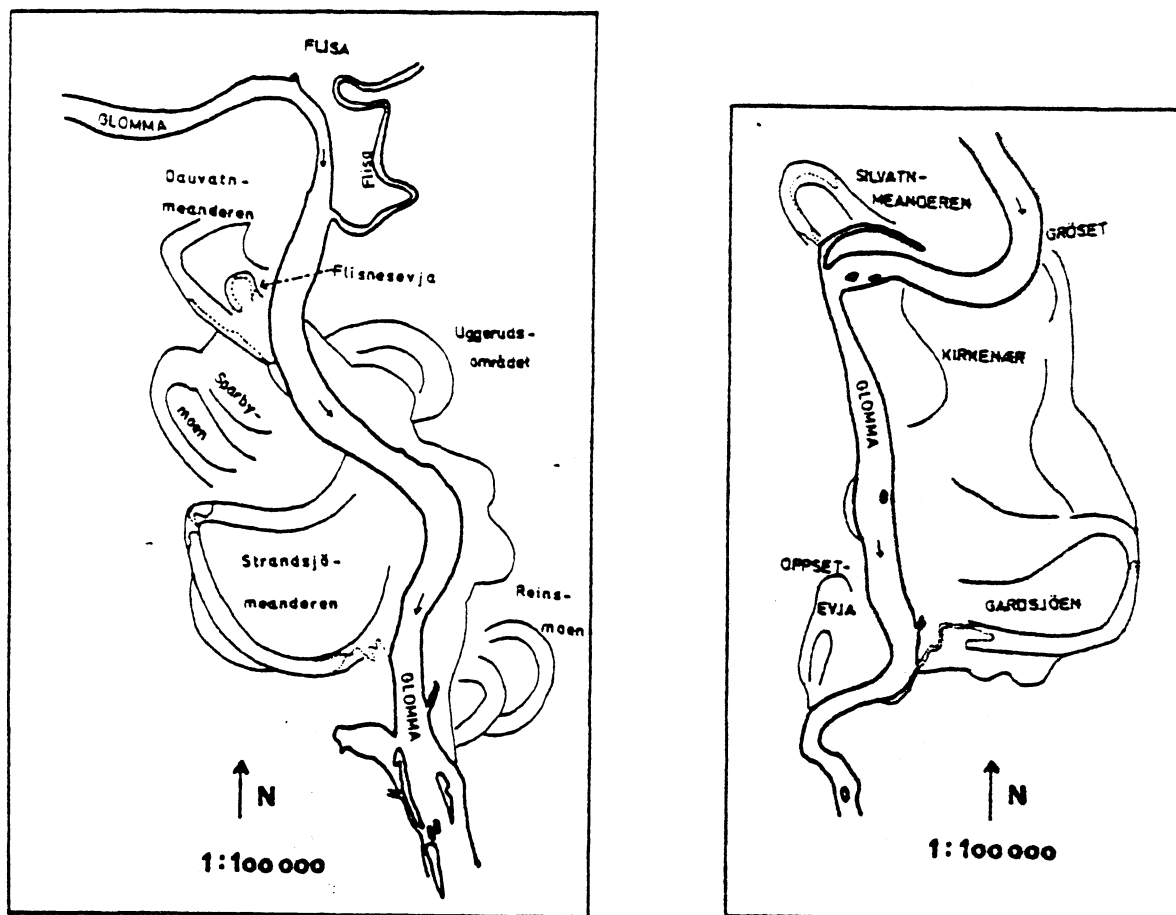


Fig. 5.2. En klimaendring i sub-atlantisk tid førte til en utretting av Glommas elveløp ved Flisa i Solør, 1680 år før nåtid. (Fra Beisland, 1983)

Mange faktorer har innvirkning på erosjon og sedimenttransport i vassdragene. Løsmaterialets sammensetning er viktig, og materialets tilgjengelighet for erosjon. Vegetasjon og topografi i de forskjellige landsdelene vil også innvirke. Sammenhengen mellom de forskjellige prosessene er ikke så godt kjent at den kan beskrives kvantitativt og simuleres med modeller. Vurderingen av effekten av klimaendringer må derfor bygge på empiriske relasjoner.

To forhold må tas i betraktning :

- Erosjonsprosessene er klimaavhengige men ikke nødvendigvis avhengig av vannføringen. Materialproduksjonen er for en stor del styrt av prosesser utenfor elveløpene.
- Elveløpene fungerer som transportsystemer for løsmaterialet og er til dels formet av materiale fra sedimenttransporten i vassdraget. Elveløpenes form og tilpasning er særlig avhengig av vannføring og sedimenttilførsel. Endringer i erosjonsprosessene i kildeområdene eller i det hydrologiske regimet vil føre til at elveløpene eroderes på nye steder.

Det fins flere eksempler på at klimaendringer i postglasial tid har medført endringer i vassdragenes løpsmønstre. For eksempel

førte en økning av Glommas vannføring i Sub-Atlantisk tid (datert til 1680 år før nåtid) til en utretting av elveløpene ved Flisa i Solør (figur 5.2) Utrettingen skjedde gradvis over en periode på flere hundre år. De meanderende elveløpene fikk gradvis en krumningsradius tilpasset en høyere middelvannføring. Når materialtilførselen fra de øvre deler av et vassdrag øker vil dette ofte føre til en forsterkning av erosjonen, også i de nedre deler. Når vassdraget er ute av likevekt vil elvebunnen heves eller senkes til en ny likevekt er etablert. En tilstrekkelig stor økning av bunntransporten kan føre til nye løpsforgreninger og løpsforflytninger slik at elveløpene kommer i stadig kontakt med nye løsmasser.

5.2 Fluviale regioner

På bakgrunn av vurderinger av løsmasser, sedimentkilder og sedimenttransport kan norske vassdrag inndeles i forskjellige regioner. Denne inndelingen er en måte å systematisere felles trekk ved vassdragene på. Vassdragene innenfor hver region vil reagere likt overfor påvirkninger. Det vil være store individuelle forskjeller. Dette kan ivaretas ved en videre inndeling i typer innenfor hver region. Regionene i Syd-Norge er skissert i figur 5.3. I Nord-Norge foreligger ikke nok måledata til en sikker inndeling.

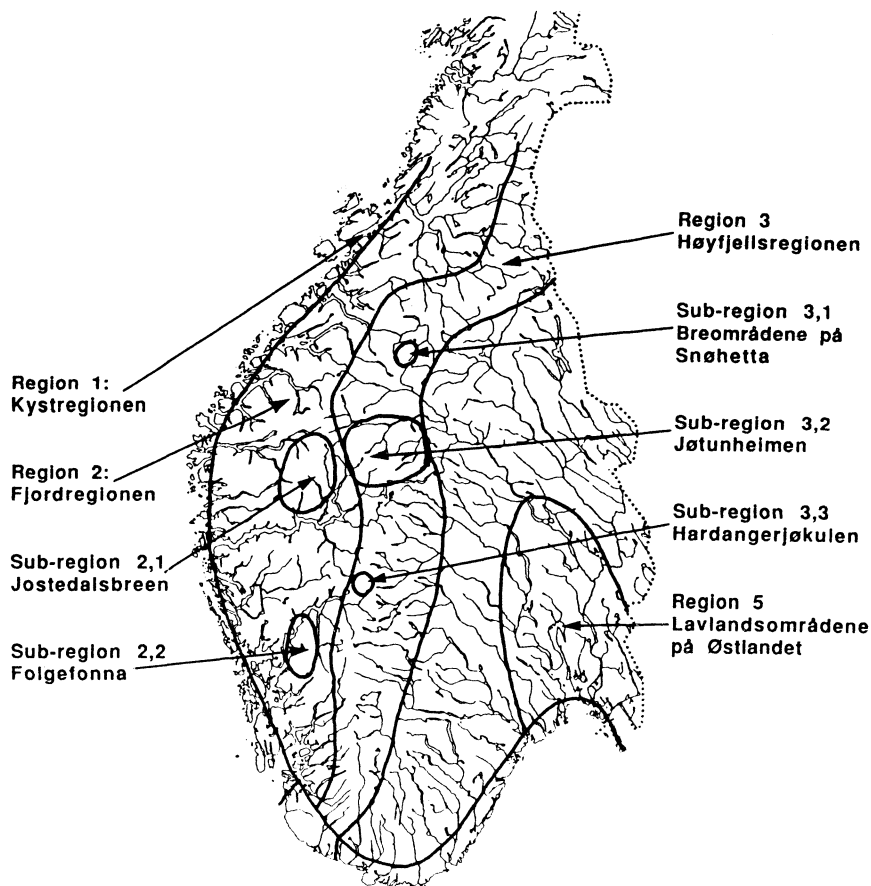


Fig. 5.3. Fluviale regioner i Sør-Norge.

5.2.1 Breområdene

Alle vassdrag der breene setter et visst preg på sedimenttransporten regnes her som brevassdrag. Materialtilførselen fra de store dalbreene rundt de store iskappene Jostedalsbreen, Folgefonna, Hardangerjøkulen og Svartisen dominerer ofte vassdragene fullstendig. Vassdragene i Jotunheimen og andre liknende områder, danner en annen gruppe der materialtransporten i vassdragene er summen av sedimenttilførselen fra en rekke forskjellige breer. En tredje gruppe omfatter vassdrag med små botnbreer og platåbreer.

Isbreer produserer materiale ved frostsprengningsprosesser og sliping på underlaget av steiner som beveger seg sammen med breen. Materiale tilføres vassdragene ved at smeltevannet fra breene åpner vannveier under breen og smelter ut materiale.

Sedimenttilførsel fra breerosjon gir de største bidragene til materialtransporten i norske vassdrag. For de største dalbreene kan den maksimale materialtilførselen være av størrelsesorden 50 000 - 100 000 tonn/år. Små botnbreer eller platåbreer produserer langt mindre. Karakteristiske tall er 100-200 tonn/år.

Klimaendringer vil innvirke på isbreenes erosjon på flere måter:

- Når det hydrologiske regimet endres, vil smeltevannstilførselen til bresålen forandres. Dette vil innvirke på utsmeltingen av materiale til det subglasiale dreneringssystemet. Utsmeltingen av materiale fra år til år er hovedsakelig bestemt av sommer-temperatur og sommernedbør.
- Økning i nedbør samtidig som avsmeltingen øker på grunn av temperaturøkning, vil føre til at de dynamiske forhold under breen endres. Dette kan føre til forflytninger av det subglasiale dreneringssystemet slik at det kommer i kontakt med nye områder og eroderer materiale som før var utilgjengelig.
- Breenes volum og bevegelseshastighet innvirker på de materialproduserende prosesser. Denne effekten vil først gjøre seg gjeldende etter lengere tid.
- Lokale forhold ved fronten av breene vil være avgjørende for hvor mye materiale som tilføres vassdragene. Når en bre går frem over dalskuldere slik de ofte vil gjøre i Norge, vil materiale som tidligere sedimenterte foran breene lettere bli ført ut i hovedløpene. Mye av dette materialet vil være grove kornstørrelser som fører til en heving av elvebunnen. Denne hevingen av elvebunnen vil kunne føre til oversvømmelser og erosjon.

Scenariene for klimaendring med 2 graders heving av sommertemperatur samtidig med en nedbørøkning vil føre til at det vaskes ut mer materiale. Måleserien fra Nigardsbreen viser at i år med stor avsmelting ligger transporten av suspendert materiale 30-40 % over de øvrige, når vi ser bort fra år med spesielt store regnflommer. Dette tyder på at materialtilførselen fra breene vil øke betydelig.

Scenariene SC1 og SC2 fører til at de fleste breene smelter tilbake. Lokale forhold vil være avgjørende for hva som skjer med materialtransporten fra hver enkelt bre. Iakttagelser av breer som smelter helt ned (Omnsbreen) tyder på at store mengder materiale frigjøres fra bresålen. Dette materialet vil etterhvert tilføres elveløpene.

Sannsynligvis vil mange lavtliggende botnbreer og mindre platåbreer smelte helt vekk. Dette kan tenkes å påvirke vassdragene like mye som endringene i de store breene, fordi sedimentregimet blir totalt endret.

Selv om breene er små, kan de ha stor betydning som sedimentkilde og som bidrag til lavvannsføringen i sommermånedene. Når breen smelter vekk i et vassdrag med lite grunnvannstilsig fra løsmasser, vil sedimenttransporten bli svært lav om sommeren og være konsentrert til perioder med mye nedbør.

5.2.2 Fjordområdene på Vestlandet

Denne regionen omfatter vassdragene i fjordområdene uten tilsig fra store dalbreer. Mange vassdrag har tilsig fra mindre breer som vil smelte helt vekk. Dette vil innebære at sedimentregimet endres som angitt i 5.2.1. Det er lite måledata på sedimenttransport fra denne regionen. På grunn av økningen i flomvannføring og økningen i skadeflommer generelt er det sannsynlig at erosjonen i området og sedimenttransporten generelt vil øke.

5.2.3 Høyfjellsområdene

I høyfjellsområdene utenom breene, er det vanskelig å si noe eksakt om endringer uten at det foreligger mer måledata for sedimenttransport. Vegetasjonen har en begrensende virkning på erosjonen i høyfjellsområdene. Gjenveksten skjer imidlertid sakte, og sår og slitasje på vegetasjonen kan holde seg i lange tider (Rapp & Strömquist, 1981).

Når grunnvannstanden synker i sommerhalvåret slik simuleringene viser, kan vegetasjonen visne raskere i tørkeperioder. Dette vil i så tilfelle medføre mer erosjon.

5.2.4 Indre Østland. Dalområdene

I skogsområdene på Østlandet er den naturlige erosjonen relativt lav. Utenfor leiområdene tilføres vassdragene materiale fra erosjon i morener eller glasifluviale avsetninger. I vassdrag hvor den årlige materialtilførselen er lav er vassdraget tilpasset en lav transport. Virkningene av økt sedimenttilførsel kan dermed bli forholdsvis store. Moderne skogdrift representerer i mange områder en sterk belastning på landskapet. Flatehugst øker overflateavrenningen og forsterker flommer. Bruk av store maskiner under avvirkningen skader overflatelaget og fører til endringer i

infiltrasjonen. Erosjonsskadene vil øke betraktelig hvis de milde vinterene fører til mindre frost og mindre beskyttende snødekke.

Raviner dannes i områder med større løsmassemektheter og er et resultat av intens erosjon. Åpning av raviner har i mange områder skjedd i tilknytning til klimaendringer. Sannsynligvis er det en heving av grunnvannspeilet eller en endring i vegetasjonen som har betydning i slike tilfeller.

Ravinering kan også oppstå i områder der skogen hugges ned og i områder med overbeiting eller intensivt jordbruk. Ravinering er blitt et omfattende problem for arealbruken i mange land. Når et landområde først er utsatt for ravinering er det vanskelig å stabilisere.

I Norge har åpning av raviner skjedd i tilknytning til ekstreme flomsituasjoner. I mange tilfelle gror ravinene igjen i tiden etter flommene. Noen ravineområder forblir imidlertid aktive i århundrer og øker i omfang.

Foruten å bidra til økt sedimenttransport som kan forårsake økologiske endringer i vassdragene så vil omfattende ravinering representere et sikkerhetsmessig problem.

I dalstrøk med mye løsmasser langs sidene vil ravineerosjon under en ekstremsituasjon kunne overfylle sidelvene og hovedelven med sedimenter og forårsake løpsforandringer. Overlagring av arealer med stein og grus eller heving av bunnen i elveløpene kan på sikt bli et mer omfattende problem enn oversvømmelser.

5.2.5 Leiområdene på Østlandet

Simuleringene basert på SCl viser at vinterflommene vil øke betraktelig. I leiområdene under marin grense kan dette få som effekt at suspensjonstransporten vil øke betydelig. Data fra Leira-vassdraget på Romerike viser at vinterflommer vil føre til unormalt høy materialtransport. I perioden 2-5 februar 1990 ble det målt en suspensjonstransport på over 5700 tonn ved Kråkfoss i Leira. Dette er nesten like mye i løpet av fire dager som den totale mengde i 1989.

I perioden 10 januar til 9 februar 1990 ble suspensjonstransporten i Glomma ved Sarpsborg målt til 250 000 tonn (Vollner, 1990). Dette er like mye som årstransporten i et normalår. Under denne flomsituasjonen var det tele i jorda over større områder på Østlandet. Når overflatevannet fra snøsmelting og nedbør ikke kan infiltrere vil betydelige deler av det smeltede jordlaget over telen eroderes vekk. Utvaskingen av materiale fra dyrket mark blir derfor spesielt stor under slike forhold.

Den totale erosjonen kan være langt større under en episode enn hva som registreres på målestasjonene. Mye av materialet blir liggende i rolige partier av elven eller på elveslettene. De påfølgende flommene vil kunne spyle ut dette materialet.

Materialet som er ført ut i grunne havområder om vinteren vil kunne resuspenderes av bølger senere på året. Vinterflommene vil

derfor kunne bidra til å forringe vannkvaliteten og bidra til algevekst også i sommermånedene.

Vinterflommene eroderer mye fordi telen bidrar til økt overflateavrenning og fordi det er begrenset med vegetasjon som kan bremse erosjonen. Åpne arealer med høstpløyd mark vil være spesielt utsatt.

5.3 Partikkelbundne stoffer og økologiske forhold

En rekke stoffer er bundet til partikler og kan vandre i vassdragene sammen med sedimenttransporten. Dette kan være næringsstoffer som fosfor eller giftstoffer som tungmetaller eller pesticider. Radioaktivt materiale bindes også til partikler.

Når erosjonen øker, vil disse stoffene følge partiklene ut i vassdragene. Økte konsentrasjoner av nærings- eller giftstoffer kan komme fra forurensninger i jordsmonnet eller fra naturlige kilder. Erosjon av kadmiumholdige elveslettemateriale langs Glomma ved Røros er et eksempel på det første. Utslipp fra gruvedrift i 200 år har blitt innlagret i elveslettene. Hvis erosjonen øker i omfang vil kadmiumholdig materiale spres raskere i vassdraget. Tiltak idag vil være enklere enn å rense opp når materialet er spredd langs større deler av vassdraget.

Erosjon av naturlig kvikksølv i jordsmonnet rundt Mjøsa er et eksempel på betydningen av naturlige kilder. Mjøsa har et høyt kvikksølvinnhold i vannmassen. Det er sannsynlig at dette har sammenheng med konsentrasjonen av kvikksølv i jordsmonnet. Økt erosjon vil dermed kunne innebære økt transport av kvikksølv. De største sedimentkildene i vassdragene er imidlertid så konsentrert at de kan regnes som punktkilder som kan forbygges med erosjonsvern.

I 80-årene har det vært iaktatt en økning i hyppigheten av flommer i mange vassdrag. Dette har i de senere år ført til en økt erosjon og stofftransport i vassdragene. Det har vært antydning at denne økningen av naturlig stofftransport har ført til at marginene for utslipp av forurensninger blir mindre. Dette kan i så tilfelle være en av grunnene til de alvorlige økologiske endringene som har inntruffet i senere år, med stadige algeoppblomstringer etc. En liknende effekt vil være sannsynlig i tilknytning til en klimændring.

5.4 Virkninger for konstruksjoner og kraftverksdrift

En generell økning av sedimenttransporten i vassdragene vil kunne føre til at turbinslitasje kan bli merkbart ved kraftverk hvor det til nå har vært lagt liten vekt på slike forhold. Det vil sannsynligvis være mye å tjene på å utrede hvor slike effekter kan bli merkbare, og ta dette i betraktning ved revisjon og oppjustering av eldre anlegg.

Det må også påregnes at terskeldammer eller liknende installasjoner kan fylles igjen raskere og ikke lenger fungere etter forutsetningene.

Det er i denne sammenhengen viktig å være klar over at mange av de eldre anleggene er planlagt under forhold da kunnskapen om materialtransport i vassdrag var langt mindre enn i dag.

Ved planlegging av nye kraftverk må de dynamiske endringene tas i betraktning. F.eks bør breers bunntopografi undersøkes foran vannkraftinntak for å klarlegge om det er nødvendig å bygge et sedimentasjonsbasseng. I noen tilfeller dukker det opp slike av seg selv når breen trekker seg tilbake.

Omfattende endringer i bunntransporten i elveløpene kan få konsekvenser for eksisterende forbygninger og erosjonsvern. Hvis elvebunnen heves vil flomforbygninger miste sin effekt. Hvis den senkes vil de kunne undergraves og rase ut slik det har skjedd i Gaula på grunn av grusuttak.

Åpning av nye sedimentkilder, f.eks raviner, kan skje overraskende under ekstremflommer. Når store mengder materiale tilføres elveløpene under en slik episode vil løpsforflytninger inntreffe. Overlagring av jordbruksland eller bebygde områder med stein og grus kan bli resultatet.

5.5 Oppsummering

Endringene i det hydrologiske regimet som følge av klimaendringer etter scenariene 1 og 2, vil generelt føre til mer intens erosjon og økning i sedimenttransporten i vassdragene.

Økningen vil være størst i leirområdene på Østlandet. Her vil sedimenttransporten avta under vårflommene. Høst- og vinterflommene vil imidlertid øke så mye at det er sannsynlig at sedimenttransporten vil øke kraftig på årsbasis.

Vassdragsreguleringer og andre inngrep i vassdragene som innebærer overføringer av vann eller forstyrrelser i sedimentbalansen kan få innvirkning på økologiske forhold i vassdragene. Effekten av klimaendringene vil ikke prinsipielt sett skille seg fra de miljøvirkningene av vassdragsutbygging som er iaktatt i mange vassdrag. Vassdragsreguleringene medfører endringer i det hydrologiske regimet som i mange tilfeller fører til endringer i sedimentbalansen.

Det er imidlertid en viktig forskjell. Klimatiske effekter vil ikke opptre i begrenset omfang i enkeltvassdrag. De vil ha regionale virkninger og få langt mer omfattende innvirkning på miljøet. Den samlede virkning av alle vassdragene i Østlandsområdet vil derfor være en betydelig økning av stofftransporten til Oslofjorden og Skagerak.

Jorderosjon i leirområdene har til nå vært betraktet først og fremst som et forurensningsproblem. Hvis vinterflommer blir mer vanlige vil det etterhvert bli mer merkbart at jordsmonnet også er

en begrenset ressurs. Situasjonen i Norge blir dermed mer lik land i andre klimaområder hvor jorderosjon er et vedvarende problem og en trussel mot landbruket og kulturlandskapet.

Som et resultat av økningen i erosjonsintensitet i Østlandsområdet, vil det bli en økning av sedimenttilførselen til Oslofjorden og Skagerak.

Avsmeltingen av breene vil føre til økt sedimenttilførsel til fjordene på Vestlandet.

Det er vanskelig å si noe om forholdene i Nord-Norge uten at det gjøres mer utredninger og målinger. Mange områder er erosjonssvake og kan lett reagere på endringer i klima og hydrologisk regime. Når perioden med snødekning blir mindre er det sannsynlig at det vaskes ut mer materiale.

Totalt sett vil det altså bli en generell økning i sedimenttilførselen til fjorder og kystfarvann.

Lokale forhold, og spesielt omfanget av forskjellige aktiviteter og inngrep er bestemmende for utviklingen i hvert enkelt vassdrag.

Mange aktiviteter har en forsterkende virkning på erosjon og materialtransport i vassdragene. Dette gjelder for eksempel moderne skogsdrift med flatehugst og bruk av tunge maskiner, moderne jordbruk med bakkeplanering, kunstig drenering og oppdyrking av svære sammenhengende arealer. Langtransporterte forurensninger og sur nedbør vil sannsynligvis representere et ekstra press på den bindende vegetasjonen i fjellområdene og gjøre områder mer erosjonsutsatt.

I en slik situasjon vil det derfor være spesielt viktig å kjenne til effekten av inngrep og aktiviteter. En kunnskapsbasert vassdragsforvaltning vil være av grunnleggende betydning for å oppnå en bærekraftig utvikling.

6. VANNKVALITET

I en parallell undersøkelse for Den interdepartementale klimagruppen har NIVA sett på konsekvensene av klimaendringer på vannkvalitet og akvatisk miljø (Gulbrandsen m.fl, 1990). Utredningen baserer seg på de samme klimascenarier og tilsigssimuleringer som denne rapporten.

NIVA har vurdert potensielle virkninger av fremtidige klimaendringer på

- eutrofiering av ferskvann
- forsuring av ferskvann
- eutrofiering av marine kystområder

I tillegg er effekter på mikroforurensninger vurdert. I praksis er forsurningsfølsomme og forsurningspåvirkete vassdrag og innsjøer sjelden også belastet med eutrofieringsproblemer. Likeledes er eutrofierte lokaliteter sjelden forsuret. Disse to problemområdene er derfor behandlet separat.

De følgende oppsummeringer er basert på NIVAs rapport. Effekter av økt materialtilførsel er behandlet i kapittel 5.

6.1 Eutrofiering

For eutrofiering av ferskvann er tilførslene av fosfor viktigste faktor. Om eutrofieringsforholdene konkluderer rapporten:

For store dype sjøer forventes ingen negativ effekt av de predikerte klimaendringer:

- *For eksempelet Mjøsa ventes en nedgang i gjennomsnittlig klorofyll på maksimum 8 % på bakgrunn av vannføringsreduksjoner om sommeren.*
- *Økt luft og vanntemperatur vil gi tidligere isgang og senere islegging. Økt vanntemperatur vil gi økt produksjon, men totalbiomassen vil ikke øke på grunn av økt temperatur så lenge fosfor er begrensende.*
- *Årsproduksjonen vil kunne øke noe, men i motsetning til terrestre systemer har ikke dette noen akkumulerende effekt da systemene "nullstilles" hvert år på grunn av vintersituasjonen.*
- *Effekter av snø- og bresmelting samt vind er betydelige usikkerhetsfaktorer for denne type sjøer. Årsvariasjoner i disse variablene vil ventelig være viktige, og bidra til å kamuflere systematiske effekter av klimaendringer.*

Grunne, mer produktive systemer vil bli mer berørt av flere årsaker. Utslagene vil her bli størst for de grunne, mesoeutrofe

til eutrofe lokaliteter i jordbruksområder:

- Redusert sommervannføring vil normalt forventes å slå negativt ut på vannkvaliteten i grunne systemer. Selv om fosforkonsentrasjonen ikke øker, er disse systemene generelt mere sensitive ovenfor reduksjoner i hydraulisk belastning.
- Økt total arealavrenning vil gi økte konsentrasjoner av fosfor i sedimentene, som kan bringes i sirkulasjon under perioder med sterk vind eller oksygensvinn.
- For sjøer som i utgangspunktet er sterkt belastet med næringssalter vil forlenget vekstsesong og forlenget stagnasjonsperiode gi økte problemer med oksygensvinn i dyplagene, med en ytterligere fosforfrigjøring som resultat.
- Det forventes en forverring av vannkvaliteten, med økte algetettheter. Sammensetningen i algesamfunnet kan endres i favør av en større andel blågrønnsalger.

6.2 Forsuring

For forsuring av ferskvann er tilstanden i det terrestriske nedbørfelt av sentral interesse.

Varmere og fuktigere klima kan forventes å forsterke nedbrytningen av organisk materiale i jordsmonnet. Dette kan føre til frigjøring av betydlige mengder av nitrogen, karbon og fosfor som kan føres ut i vassdragene. Det antydes en mulig økning med en faktor på 10-20 ganger dagens forhold for upåvirkete barskogsområder. Dette nitrogenet vil føre til øket forsuring av såvel jordsmonnet som overflatevannet. Dette kan føre til øket konsentrasjon av giftige komponenter som aluminium i vannet, og på sikt skader på vegetasjonen som kan føre til skogsdød. Øket temperatur vil imidlertid også føre til at forvittringshastigheten øker. Dette kan frigi basisiske kationer som vil motvirke forsuringen.

Ved bruk av MAGIC-modellen er mulige konsekvenser av klimaendringer på forsuringen simulert for ulike scenarier. Resultatene viser at klimaendringer kan ha stor innvirkning på forsuringstilstanden, enkelte scenarier indikerer at forsuringen kan øke vesentlig selv om utslippene av sulfat reduseres kraftig. Dette vil ha klare negative følger for fiskebestander i utsatte vassdrag.

Tilsigsscenariene beskrevet i kapittel 2 antyder en mindre utpreget vårflom, mens vinterflommer vil opptre hyppigere i steden. Dette kan medføre at det typiske surhetssjokket som opptrer i forsurete vassdrag under vårsmeltingen delvis kan utgå. Isteden kan det forekomme episoder gjennom vinteren med surt smeltevann. I vassdrag med god vannkvalitet i storparten av året, men med sure perioder om våren kan et slikt avrenningsforløp bedre situasjonen for fiskebestanden. I forsurete vassdrag kan flere sure episoder i løpet av året true fiskebestanden. Jevnere vannføring gjennom året vil føre til jevnere fortynning av ulike miljøgifter.

Snøsmelting om vinteren på frosset mark fører til mindre nøytralisering. Virkningen på vannkvaliteten er usikker. Det antydes også at grunnvannet får kortere oppholdstid og at nøytraliseringen av dette minker.

6.3 Nitrogentilførsel til fjordene

Mens fosfor vanligvis er den begrensende faktoren for algevekst i ferskvann, er nitrogen den begrensende faktoren i mange norske fjorder. Overgang til et varmere klima vil medføre at tilførslene av nitrogen gjennom tilsiget til vassdragene fra skog- og heiområdene går kraftig opp. Dette belyses med eksempel fra Kristiansandsfjorden hvor det antydes en økning av nitrogen med en faktor på 2 til 3. Dette kan føre til økt fare for algeoppblomstring, med store følger for det marine økosystemet.

7. FLOMMER OG FLOMSKADER

7.1 Alminnelige flomskader

Vi har ikke noen stringent definisjon for hva en flom er, men en vanlig beskrivelse er at vi har flom i et vassdrag når elva går ut over sine bredder (Otnes & Røstad, 1978). Dette er i samsvar med hva som i daglig tale oppfattes som flom. I et naturlig elveleie og i et uregulert vassdrag er dette en situasjon som i gjennomsnitt kan ventes å inntreffe hvert andre til tiende år; det vi gjerne betegner som en flom med to til ti års gjentaksintervall. Gjentaksintervallet defineres som den inverse verdi av sannsynligheten for at et gitt nivå skal overskrides i løpet av ett år; dersom det er 20 % sannsynlighet for at vi i løpet av ett år får en flom større eller lik 100 m/s er 5-års flommen 100 m/s.

Flomskader opptrer når elva går ut over sine bredder, og vil selvfølgelig øke raskt med økende vannstand: både oversvømt areal, vanddyp og hastighet øker. Dersom skade er kartlagt som en funksjon av flommens kulminasjonsvassføring/vannstand, og vi kjenner sannsynlighetsfordelingen for flommer for det aktuelle området kan en fordelingsfunksjon for skader framstilles ved å vekte skadefunksjonen med sannsynlighet; se figur 7.1. Midlere årlig skade er lik middelerdien av denne fordelingen.

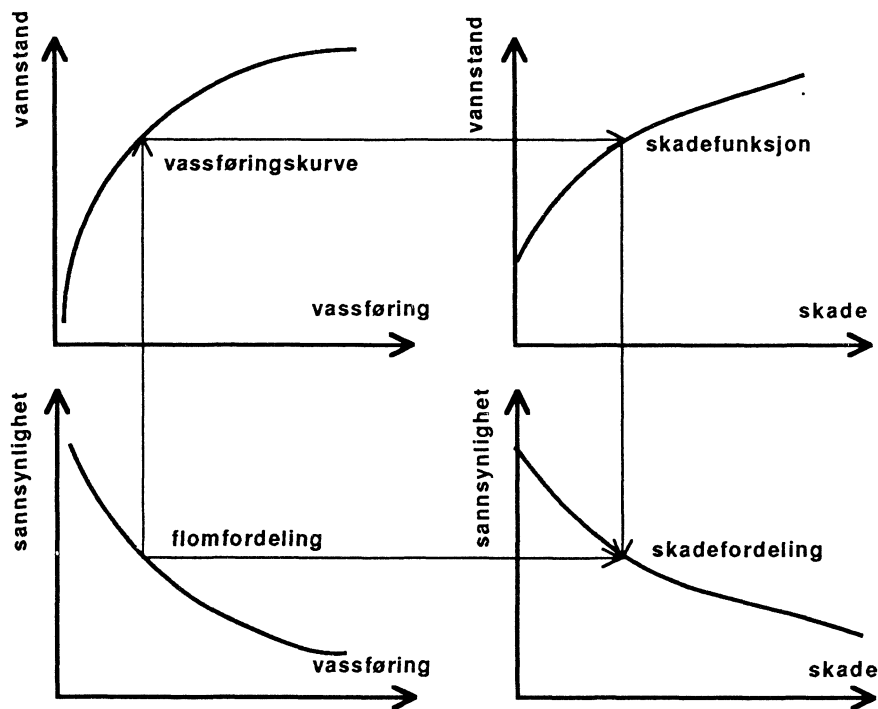


Fig. 7.1. Skadefunksjon, flomfordelingsfunksjon og skadefordelingsfunksjon.

Flomforebyggende tiltak kan være rettet mot å redusere skadefunksjonen (forbygning, flomsonering, flomvarsling) eller mot å redusere flommene (flomdempning ved hjelp av reguleringsmagasiner).

Store flommer kan ha store samfunnsøkonomiske konsekvenser. Storofsen som rammet særlig Gudbrandsdalen og Østerdalen i 1789 krevde 80 menneskeliv; 3000 hus og 10000 mål ble ødelagt bare i Gudbrandsdalen (Kjeldsen, 1989). Flommen satte fart i utvandringen fra disse områdene til Målselv i Troms. Storofsen var sannsynligvis en flom med gjentakintervall ca 1000 år (Beldring m.fl., 1989).

I dette århundredet har vi mellom annet hatt dramatiske skadeflommer i Telemark 1927, Nord-Trøndelag 1932, Telemark, Gudbrandsdalen og sentrale fjellstrøk 1938, Vestlandet 1940, Gaula 1940 (ikke samme flommen), Østlandet 1966 og 1967, Høyanger 1971, Jostedalen 1979, Sør- og Østlandet 1987, Mjøstraktene 1988.

Flommen i oktober 1987 var en høstflom som rammet store deler av Sørlandet, Telemark og Østlandet. Flommen hadde et gjentakintervall på over 100 år i Arendalsvassdraget og på Hadeland/Romeriksåsene, et areal på ca 4000 km². Gjentakintervallet var over 30 år i et område som strakte seg fra Kristiansand til Romerike (Engen, 1988). De direkte skadeutbetalingene fra forsikringsselskapene og Naturskadefondet var på ca 250 mill kr. I tillegg kommer offentlige etaters utgifter, egenandeler og ikke meldte skader. Det totale skadeomfanget var sannsynligvis i størrelseordenen en halv milliard for flomskadene, i tillegg kommer skader forårsaket av storm og stormflo, som også var i samme størrelseorden.

Flommen i Mjøstraktene i september 1988 er kartlagt i en hovedoppgave ved NTH (Harby, 1988). Flommen rammet særlig Gjøvik og Lillehammer, og hadde gjentakintervall av størrelseorden 100 år over et område på ca 2000 km² med en befolkning på ca 50000 mennesker. De direkte skadene er anslått til 50 millioner kroner, fordelt med 20 millioner på forsikringsselskapene, 9 millioner på Naturskadefondet og resten på kommunale og statlige institusjoner.

I perioden 1980 til 1988 har midlere utbetalinger for flomskader fra Naturskadepoolen (forsikringsselskapene) og Naturskadefondet 55 mill kr pr år (Andersen, 1990). For perioden 1980 til 1985 var totale direkte skader 220 mill kr, mens Naturskadepoolen og Naturskadefondets andel var 126 millioner (Sand, 1986). Det er derfor rimelig å anta at de midlere årlige skader for 1980 til 1988 er på cirka 100 millioner kroner pr år. Uten mer inngående analyser av skadefordelingsfunksjoner og flomfrekvenser er det vanskelig å vite om dette representerer et langtidsmiddel for dagens klima. I perioden 1980 til 1985 var det færre skadeflommer enn normalt, mens det altså var to store flommer på Østlandet i siste del av perioden.

Det er imidlertid grunn til å tro at de totale samfunnsøkonomiske kostnader er langt større enn de hva de direkte utbetalingene viser. For det første finnes det god del direkte kostnader som ikke dekkes; egenandeler og ikke-forsikrede verdier. I tillegg kommer ufakturert arbeidsinnsats, både privat og i offentlig

sektor. Til slutt har vi de ikke verdisatte skadene; ulemper, arealskader, redusert bruksverdi av flomarealer, skader knyttet til rekreasjon og friluftsliv, og i dramatiske situasjoner; personskader og tap av menneskeliv. Skadeanslag knyttet til flommer i tettsteder ligger høyt over de direkte skadene som er nevnt her (Skretteberg, 1989).

Som nevnt i kapittel 2 vil vårflommene etter de gitte scenarier reduseres, mens høst- og vinterflommene vil øke. Etter de store flomsikringsarbeidene i Glomma etter flommene i 1966 og 1967 er det stort sett høstflommene som har forårsaket de fleste skadeflommene. I de små avrenningsfeltene i tettstedene er det særlig sommer- og høstflommene som gir skader. For disse feltene, med sin store andel tette flater, er det et dårlig varsel at klimascenariene angir at mer av nedbøren kommer som byger (Eliassen m.fl, 1989).

I de befolkningsrike områdene gir tilsigssimuleringene flomøkninger på 5 til 30 %. Sannsynligheten for skadeflokker vil alltid øke mer enn selve flomnivået, fordi arealet under sannsynlighetsfordelingen øker raskt innover fra halen. Se figur 7.2). For norske flomregimer gir en økning av flomstørrelsene på 15 % omtrent en fordobling av overskridelsesannsynligheten for en gitt flomstørrelse (jfr 2.2.1), og dermed av flomskadene. Det er derfor ikke urimelig å anta at de økte flommene i følge klimascenario 1 ("mest sannsynlig") kan føre til økte flomskader av størrelseorden 100 millioner kroner i direkte økonomiske skader pr år dersom ikke flomsikringstiltakene økes.

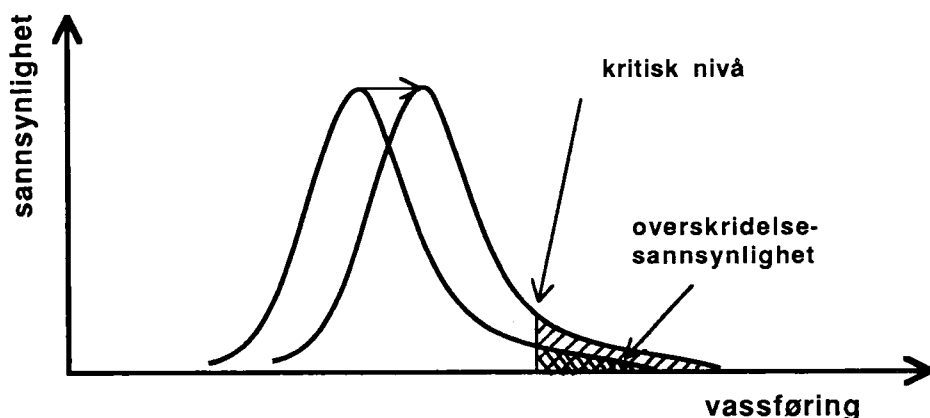


Fig. 7.2. Forskyvning av sannsynlighetsfordelingen for flom. En liten endring flomnivå kan gi stor økning i sannsynligheten for skadeflom (skravert areal under fordelingen).

7.2 Skadeforbyggende tiltak

Vi har en lang tradisjon i å redusere flomskader i form av oversvømmelser og utrasning ved hjelp av forebyggende tiltak. Forbygningsavdelingen i Vassdragsdirektoratet, NVE, planlegger og utfører slike tiltak. De viktigste typene er:

Vanlige forbyggingstiltak har til hensikt å hindre skadelig erosjon (graving) i elver og bekker. Arbeidet kan omfatte sikring av elveskråninger, omlegging av bekeløp m.v. for å beskytte jord, bebyggelse, veger, jernbane m.v.

Flomverk, diker skal forhindre oversvømmelse og utgraving under flom eller i forbindelse med isgang. Vanligvis gjelder det bygging av flomsikre fyllinger langs elv eller bekk.

Senkingstiltak omfatter senking av vannstanden i elver, bekker eller vatn for å bedre tørreleggingsmulighetene for jordbruksområder eller for å redusere skader under flom.

Flomskadetiltak omfatter stort sett de samme tiltak som tidligere nevnt, men skadene er oppstått under ekstraordinære forhold, f.eks. katastrofale nedbørsmengder, plutselig snøsmelting, ras og utglidninger eller isganger.

Disse typer av tiltak er som oftest en nødvendig forutsetning for næringsvirksomhet, boliger og kommunikasjoner langs vassdragene, og de kan betraktes som grunnlagsinvesteringer i forbindelse med utnyttelse av nye områder.

Statistikken over forbyggingstiltak viser at det er utført ca 6 500 arbeider etter år 1880. Det er sikret nesten 2 300 km elvestrekning fra 1956 til 1985. Samlete anleggsutgifter de siste 30 år er på ca en halv milliard kr. De siste 10 årene har gjennomsnittlige investeringer vært ca 30 millioner pr år. Fylkesvis fordeling av midlene viser at Hedmark og Oppland (spesielt Glomma og Lågen), er sterkt utsatt, det samme gjelder Nord- og Sør-Trøndelag (blant annet Namsen og Orkla) og til dels Nord-Norge. Sogn og Fjordane peker seg ut med et meget stort antall arbeider.

En nøktern vurdering tilsier at anslagsvis 175 000 daa er blitt sikret siden 1956, eller ca. 5 000 daa pr. år. I tillegg kommer nytten for hus, veger m.v. Det er også grunn til å påpeke at flomsikringsarbeider også bidrar til å redusere materialtransport og forurensningsbelastning i vassdragene (se kapittel 5 og 10).

Det foreligger ingen samlet beregning over nyttevirkingen ved alle disse tiltak. Kostnad og nytte blir vurdert for hver sak og de fleste tiltak har meget god rentabilitet. Et forsøk på en samfunnsøkonomisk analyse har gitt samme resultat (Sand, 1986). Det finnes da også til en hver tid lange ventelister for ønskete sikringstiltak (NVE, 1990). Innsatsen er derfor sannsynligvis mindre enn samfunnsøkonomisk optimalt.

Økning av flomrisikoen vil medføre at behovet for sikringstiltak vil vokse. Flere steder blir flomutsatt, overskridelsesansynligheten for eksisterende flomverk vil øke, og kostnadene for nye flomverk vil bli større. En rimelig antakelse er at dersom

investeringsnivået i dag var samfunnsøkonomisk optimalt vil behovet vil øke proporsjonalt med flomrisikoen.

7.3 Damsikkerhet

Konstruksjon og dimensjonering av norske demninger er regulert gjennom damforskriftene (NVE, 1981). Når det gjelder hydrologiske forhold angir forskriftene at flomavledningsorganene på en dam skal uten skader kunne avlede flommer med gjentaksintervall på 1000 år på fullt magasin ("dimensjonerende flom"), og dammens sikkerhet mot brudd skal være kontrollert mot "påregnelig maksimal flom", som er beregnet på grunnlag av de største mulige nedbørmengder (påregnelig maksimal nedbør) og eventuell snøsmelting. Beregningsmetodikken for dimensjonerende flom og påregnelig maksimal flom er gitt av NVE (1986), og Det norske meteorologiske institutt (Førland, 1983; Førland & Kristoffersen 1989).

Som nevnt i kapittel 2 knytter det seg store usikkerheter til å vurdere endringer i ekstremverdier som dimensjonerende flom som resultat av klimaendringer. Tilsigssimuleringene gir imidlertid noen indikasjoner. For felt som i dag er klart dominert av vårflom for dimensjonerende og påregnelig maksimalflom er det ikke grunn til å vente økning i flomestimatene. Der høstflommene i dag er dimensjonerende eller nær ved å bli det, kan man imidlertid regne med betydelige økninger i anslagene. Beregningene i kapittel 2 viser økninger på opptil 30 % for dimensjonerende flom (scenario 1), mer forårsaket av forlenget flomsesong enn av økt nedbør.

Påregnelig maksimal flom (PMF) er nær knyttet til DNMI's estimer av påregnelig maksimal nedbør (PMP), og det er ennå ikke vurdert hvordan disse kan ventes påvirket av endrete klimaforhold. For felt hvor sommernedbøren er dimensjonerende vil PMF stort sett endres proporsjonalt med PMP. For de fleste felt beregnes PMF på grunnlag av PMP kombinert med et snøsmeltingsbidrag. I felt hvor det antas full smelting fra hele feltet under flommen vil dette bidraget øke proporsjonalt med temperaturøkningen. Der det er gjort vurderinger av maksimalt mulig snømagasin i forbindelse med nedbør om høsten, kan dette estimatet bli endret når mulig flomsesong strekker seg innover i vinteren. For PMF beregnet i forbindelse med vårflom vil 30-års snømagasin som normalt legges til grunn, bli redusert.

Dammer dimensjoneres for lang levetid og vil selvsagt oppleve kommende klimaendringer. De er også kostbare konstruksjoner som ikke gjerne ombygges ofte i takt med et endret klima. Dette innebærer at for dammer som bygges eller revideres i dag vil det være økonomisk og sikkerhetsmessig riktig å ta hensyn til muligheten for kommende klimaendringer. Siden disse ikke kan forutsis med særlig presisjon ennå, vil de først og fremst komme til uttrykk som en økt usikkerhet i estimatene av dimensjonerende flom og PMF. I praksis vil disse usikkerhetene kunne tas hensyn til som en ekstra sikkerhetsfaktor ved dimensjoneringen.

For eksisterende dammer betyr klimaendringer at dammene bare kan bedømmes som sikre i dag, ikke for hele sin levetid. Dette innebærer at de bør kontrollberegnes med jevne mellomrom eller at de

klassifiseres etter hvilken sikkerhetsmargin de har for klimaendringer, og at beregningene gjentas etter behov.

7.4 Dimensjonering under usikkerhet

Tradisjonelt har det vært tatt lite hensyn til hydrologisk usikkerhet ved dimensjonering innen vassbygging. Stort sett har man regnet med at framtiden vil bli en repetisjon av de siste tredve år eller hvilket datamateriale som måtte ligge til grunn. Bortsett fra i utforming av dammer og damoverløp har man vært lite opptatt av robust design, det vil si konstruksjoner og dimensjoneringsvurderinger som tåler usikkerhet og avvik i dimensjoneringsgrunnlaget uten alvorlige økonomiske og sikkerhetsmessige konsekvenser.

Selv uten klimaendringer har vi en betydelig klimatisk variabilitet (se f.eks. fig 1.1) som i selv burde betinge at man i større grad vurderte konsekvenser av under- og overdimensjonering. Når vi nå i tillegg etter alt å dømme står overfor betydelige endringer i avløp- og flomregimer må all planleggingsvirksomhet med horisont mer enn ti år ta i betraktning muligheten for endrete flomforhold. Dette vil gjelde broer, flomverk, urbane avløpssystem, generalplaner med flomsoneering osv. Siden vi ikke har eksakt viten om hvordan flomforholdene vil endres vil den økte usikkerheten først og fremst komme til uttrykk som en ny sikkerhetsfaktor.

7.5 Flommer fra bredemte sjøer

Breer vil kunne virke som demninger som sperrer større eller mindre mengder vann i sidedaler eller inn mot fjellsider. Slike sjøer har en selvforsterkende effekt som gjør at de i løpet av noen år vokser seg større. Ved et visst nivå vil bredemningen sprenges og vannet tappes på meget kort tid. Dette er fra tidligere tider et kjent fenomen i Norge, som bl.a. har ført til store ulykker i Simadal og Jostedal.

Nye bredemte sjøer dannes særlig i perioder når breene går raskt frem eller tilbake. En rask tilbakesmelting av breene vil derfor kunne føre til at nye sjøer utvikles. Det er idag flere kjente småsjøer på mange norske breer. Disse er forløpig av beskjedne størrelse, men de vil kunne utvikle seg til problematiske eller farlige sjøer i løpet av kort tid. Kjente småsjøer finnes idag bl.a. i Beiarn og andre steder i Svartisen-området, på Tystigbreen og på Spørteggbreen.

Det er viktig å være oppmerksom på slike potensielle farer og at de blir gjenstand for en regelmessig overvåkning. Erfaringen viser at det ellers gjerne må skje en alvorlig flomulykke før man tar problemet på alvor.

8. KRAFTPRODUKSJON

8.1 Generelt

Ut fra det som er beskrevet om tilsigsforholdene i norske elver som følge av en klimaendring, vil en umiddelbart kunne tenke seg gunstigere forhold for vannkraftproduksjon. Nedbørmengden forventes å øke, og som en følge av det også tilsiget de fleste steder. Imidlertid vil middelavløpet for flere lavereliggende felts vedkommende bli noe redusert som følge av øket fordunstning. Fordelingen av tilsiget over året blir gunstigere i forhold til forbruksfordelingen over året.

I og med at midlere vinteravløp de fleste steder forventes å bli høyere, og vårflommen vil bli redusert og mange steder ikke lenger være årviss, vil en få en annen magasindisponering enn den en har i dag. De årene en har høyt vinteravløp vil en ikke ha behov for å tappe ned magasinene så meget i vintersesongen. Snømagasinet og dermed vårflommen blir tilsvarende mindre. I kalde år vil en måtte bruke vann fra magasinene slik som i dag, men da vil en også få en vårflom som følge av snøsmelting som vil fylle opp magasinene tilsvarende.

De simuleringer som her er gjort tar ikke hensyn til økte variasjoner fra år til år i nedbørmengde. Dersom variasjonene skulle bli større enn de en har i dag, kan det føre til økt magasinbehov.

Ved simulering av kraftproduksjon er midlere årlig avløp svært utslagsgivende. Ved å simulere kraftproduksjon i dagens system, kan en forvente en midlere produksjonsøkning som stiger proporsjonalt med middelavløpet inntil økningen blir så stor at en får øket flomtap i stedet. Dersom tilsigsøkningen ledsages av en gunstigere tilsigsfordeling over året, kan flomtapet bli redusert for moderate tilsigsøkninger, slik at produksjonsøkningen blir større enn tilsigsøkningen. Som beskrevet tidligere hefter det seg store usikkerheter til både økningene av nedbøren, og ikke minst til fordunstningen. De tilsigstall som legges inn i modellen er derfor beheftet med store usikkerheter.

Det er viktig å presisere følgende: Det er i denne omgang kun foretatt simuleringer med tilsigsdata fra SC1. Det er også bare foretatt simuleringer i en del av landet. De betraktningene som gjøres i det følgende må derfor tas med alle mulige forbehold. Det er sterkt ønskelig å se på flere vannmerker og flere tilsigsscenarioer før en kan si noe mer om følgene en klimaendring vil kunne få for vannkraftproduksjonen i Norge.

8.3 Simuleringer med Bulken vannmerke i Vosso

For å få et eksempel på de endringene en klimaendring vil kunne få for kraftproduksjonen i landet, er det simulert kraftproduksjon i Bergenshalvøens Kommunale Kraftselskaps (BKK) område ved hjelp av data fra Bulken vannmerke for scenario 1. Simuleringene er foretatt av Samkjøringen (Mørk, 1990).

Ved disse simuleringene har en gått fram på følgende måte. Utgangspunktet er BKKs grunnlagsdata og tre tilsigsserier for Bulken vannmerke for tre høydenivå (se punkt 2.3.1). For sammenligningens skyld er det simulert på samme måte for stadium 1989 og stadium 2030 (SC1).

Som tidligere nevnt vil økningen av middelavløpet ha en vesentlig betydning for resultatet. For å få en best mulig beskrivelse av midlere endring av tilsiget, ble medianhøyden bestemt for hvert delfelt i grunnlagsdataene. Så ble middeltilsiget endret for hvert felt med en faktor som varierte med medianhøyden. For SC1 i Bulken varierer denne faktoren fra +2.5 % ved 250 moh, til +5.6 % ved 1 500 moh. Medianhøyden for feltet bestemte også hvilken av de tre tilsigsseriene som ble brukt.

Resultatet av disse simuleringen må sees i sammenheng med de inngangsdata som ble brukt, og det vises til tabellene 2.7, 2.8 og 2.9 hvor endringene i tilsiget er satt opp for hvert felt og for hver sesong.

Det ble i simuleringene lagt inn en endret fastkraftfordeling over året som følge av mildere klima, med utgangspunkt i de temperaturkorreksjoner som gjelder for BKK.

Total økning av midlere årlig avløp for BKKs område ble 3.35 %, økningen av tilløpsenergien (tilsig ganger fallhøyde) ble nesten den samme, nemlig 3.34 %. Produksjonsøkningen ble imidlertid på 4.46 %. Det skyldes at en pga en gunstigere avløpsfordeling over året fikk et mindre flomtap enn det en har i dag.

En fikk altså en midlere produksjonsøkning på 3.34 % pga øket midlere tilsig, og en økning på 1.12 % pga mindre flomtap. Det må da kommenteres at BKK har noe lavere magasinprosent enn gjennomsnittlig for landet, og at systemet derfor i dag har et noe større flomtap enn gjennomsnittet. Områder som i dag har mindre flomtap kan ikke forventes å innvinne tilsvarende flomtap, og innvunnet flomtap for hele landet må antas å bli mindre enn for BKKs område.

Figur 8.1 viser endringene av årsverdiene for vannkraftproduksjonen, figur 8.2 endringen av midlere ukeproduksjon.

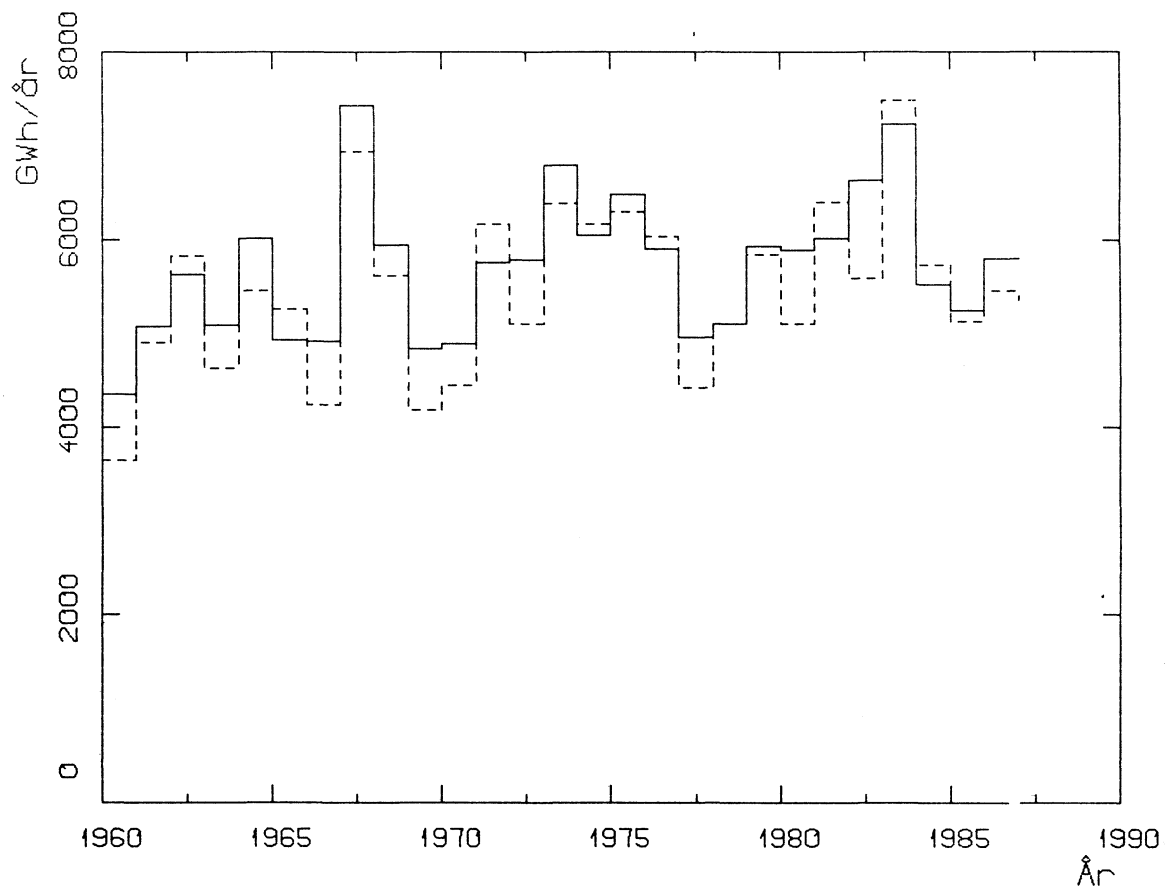


Fig. 8.1. Årsverdier av vannkraftproduksjon for BKK, fra Mørk (1990). Heltrukket: 1989, stiplet: 1990

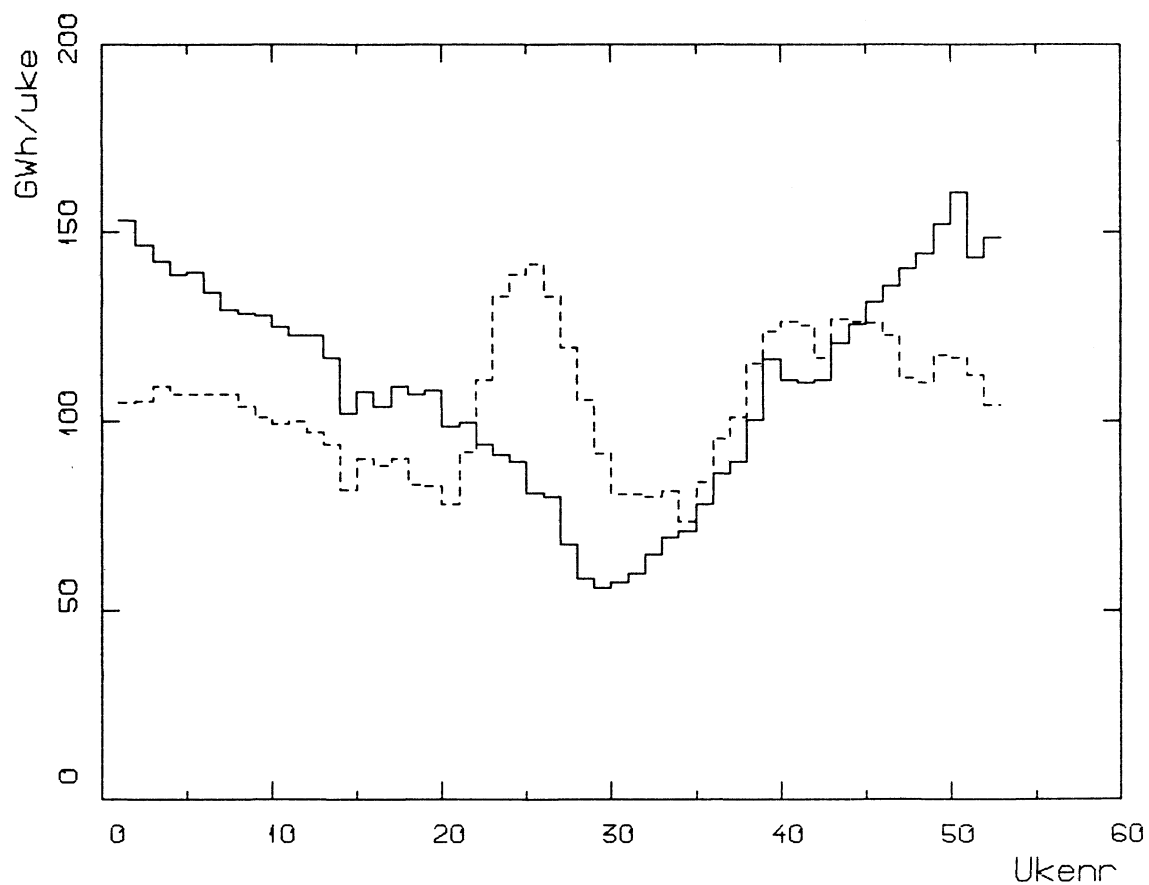


Fig. 8.2. Sesongvariasjon av vannkraftproduksjon for BKK, fra Mørk (1990). Heltrukket: 1989, stiplet: SC1

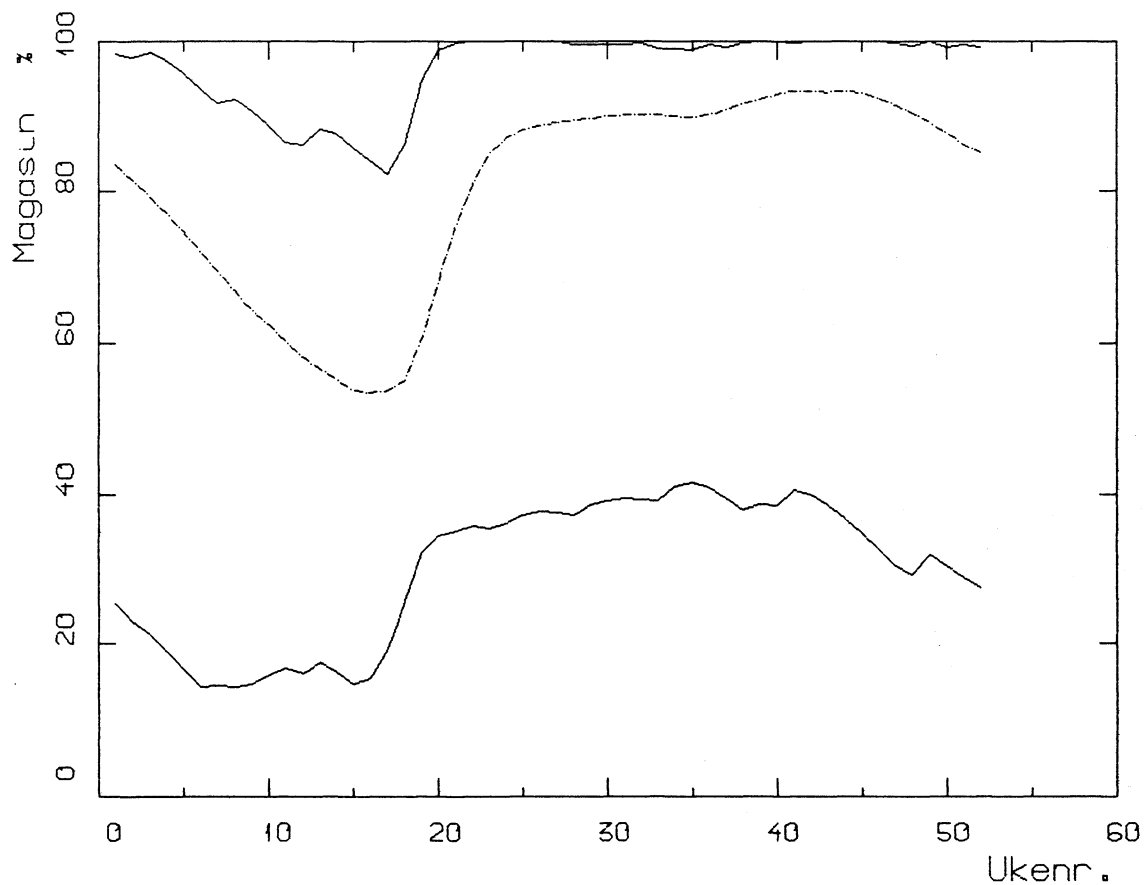


Fig. 8.3. Variasjonsområde for magasininnhold for BKK, dagens tilsig, fra Mørk (1990).

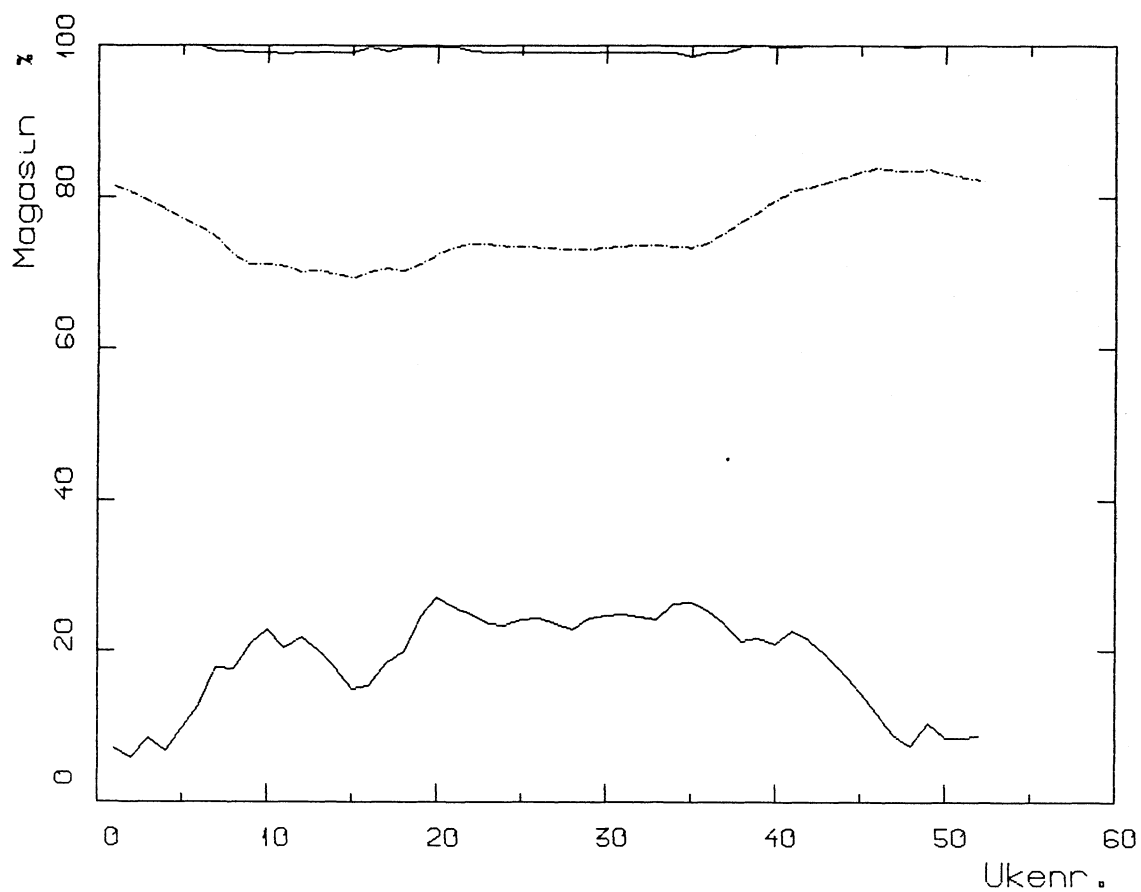


Fig. 8.4. Variasjonsområde for magasininnhold for BKK, scenario 1, fra Mørk (1990).

Det kan være interessant å se på endringen i bruk av magasinene fra stadium 1989 til 2030. En kunne tenke seg at behovet for magasinene ville bli mindre og at de derfor ville bli dårligere utnyttet for scenariet 2030, men det ble ikke slik i dette området. En fikk som ventet en langt mindre årvisse nedtapping av magasinene om vinteren, men utnyttelsen av magasinet totalt ble heller større. Se figur 8.3 og 8.4. Årsverdiene viser en omtrent like stor variasjon i magasin vannstand innenfor hvert enkelt år, og en noe større variasjon fra år til år for 2030 enn for stadium 1989.

Andel fastkraft av kraftproduksjonen lar seg ikke beregne med utgangspunkt i simuleringer for isolert system; det fordrer landsomfattende simuleringer. Det er også mye som tyder på at skarpe skillet mellom fastkraft og tilfeldig kraft vil mer utvirket i framtidens energimarked. Figur 8.2 viser imidlertid en betydelig bedre forbrukstilpasning i kraftproduksjonen for år 2030 enn i dag. Figur 8.1 viser at produksjonen i de dårligste årene er økt med opptil 15 %, altså betydelig mer enn tilsiget. Dette ser ut til å først og fremst å være et resultat av bedre magasinutnyttelse, siden dette er år som har svært lite flomtap i utgangspunktet. Om dette er en reell og generell effekt, eller om den er knyttet til denne spesielle tilsigsserien og dette produksjonssystemet, må undersøkes nærmere.

8.3 Konklusjoner

Som nevnt tidligere er de simuleringene som er utført så langt et alt for spinkelt grunnlag til å trekke bastante konklusjoner om klimaendringers innvirkning på landets vannkraftproduksjon. BKKs kraftproduksjon utgjør omtrent 5 % av landets totale vannkraftproduksjon. Kraftstasjoner som kan antas å ha noe tilsvarende tilsigsforhold som BKKs kraftverk, (dvs. kraftverk på Vestlandet) produserer ca 35 % av landets vannkraft i dag.

Ser en på forholdene for alle de sju vannmerkene som det er simulert tilsig for basert på SC1, ser en at alle vannmerkene gjennomsnittlig får en gunstigere fordeling over året med tanke på kraftproduksjon. Årvisse høy vintervannføring kan en imidlertid bare regne med i lavlandet.

Ser en på forholdene for hvert av de sju vannmerkene det er simulert avløpsserier for, kan en helt kort si følgende når det gjelder SC1:

Avløpet fra fjellstrøk (Lalm vannmerke) må sies å endre seg relativt lite. Den store prosentvise økningen om vinteren skyldes svært lav vintervannføring i dag. Det vil fortsatt bli årlig vårflom, men denne vil komme noe tidligere enn den gjør i dag, slik at den perioden en må tappe fra magasinene blir gjennomsnittlig noe kortere. Midlere årlig tilsig antas å øke lite eller ikke noe, slik at en heller ikke kan regne med noe særlig økning av middelproduksjonen. Disse forhold kan antas å gjelde for ca 15 % av landets vannkraftproduksjon.

Tilsiget fra Inntrøndelag (Høggås bru) får en midlere økning tilsvarende eller noe lavere enn Bulken vannmerke. Midlere vannføring vil variere lite over året, men mye fra år til år. En må derfor anta at magasinene får endret bruk, men blir like viktige som i dag, slik som en fant det i BKKs område. Disse forholdene kan antagelig beskrive ca 10 % av vår vannkraftproduksjon.

Tilsiget i maksimumssonen i kyststrøkene (representert av Øyungen) får den største tilsigsøkningen, noe større enn Bulken. Forholdene ellers blir ganske lik Bulken, og kan antas å beskrive 10 % av vannkraftproduksjonen.

Midlere tilsig i Agder (Flaksvatn) antas også å øke omtrent som på Vestlandet og i Inntrøndelag eller litt lavere. Vårflommen vil også her bli borte til fordel for vintervannføringene, men det synes også her å bli store variasjoner fra år til år. Dette kan antas å representere ca 20 % av landets vannkraftproduksjon.

Indre Østlandet og Finnmarksvidda representerer en relativt liten del av vår vannkraftproduksjon. Fra disse feltene må en imidlertid forvente en reduksjon på 5-3 % av midlere tilsig, og i Finnmark kan en ikke forvente noe særlig gunstigere fordeling over året av vannføringen. Til sammen kan disse feltene antas å representere ca 10 % av landets vannkraftproduksjon.

På grunnlag av disse grove overslagsberegningene ser det ut til at man ved scenario 1 (midlere nedbørøkning på 7.5 %) og dagens vannkraftsystem kan få en midlere produksjonsøkning for landet på 2 - 3 %. Det er da tatt hensyn til at innvunnet flomkraft må forventes å bli mindre for hele landet; den er satt til ca. halvparten av det en fikk i BKKs område. Det må imidlertid poengteres at det er store usikkerheter heftet ved dette overslaget. Det er nødvendig med langt flere simuleringer som dekker meget større deler av landet for å stadfeste et slikt tall. I tillegg kommer usikkerheten i tilsigssimuleringene, særlig usikkerheten i forundstningsestimatene.

Det er ikke utført produksjonsberegninger for scenario 2 (16.5 % nedbørøkning), men det er klart at produksjonsøkningen ved dette scenariet blir betydelig større. Med dagens produksjonssystem vil imidlertid flomtapene øke igjen ved så store tilsigsøkninger som dette scenariet innebærer.

Som nevnt ovenfor vil mildere vintre føre til redusert oppvarmingsbehov og mindre energiforbruk til dette formålet. NVE, Samkjøringen og kraftverkene har modeller for å korrigere forbruket for avvik fra normaltemperaturen. For kalenderåret 1989, som hadde en svært mild vinter, er det beregnet at forbruket pga mindre oppvarmingsbehov ble redusert med ca 2.5 TWh i forhold til et normalår (kilde: Samkjøringen). Dette gjelder imidlertid avvik fra en normalsituasjon. Ved endringer over lang sikt vil også forbruksmønsteret endre seg, og det kan bli vridning mellom energibærerne. Den milde vinteren 1989/90 har hatt et overraskende høyt alminnelig forbruk av elektrisk strøm, noe som sannsynligvis skyldes overgang fra ved- og oljefyring til elektrisitet.

9. ANDRE EFFEKTER

9.1 Jordbruk, skogbruk

Landbrukssektoren har en nær tilknytning til vassdragene, og vil derfor bli sterkt påvirket av "vannbårne" konsekvenser av klimaendringer. Som nevnt i kapittel 5 forventes problemene omkring erosjon og jordtap å bli betydelig større, og det vil sannsynligvis bli nødvendig med omlegging av pløyepraksis osv.

På grunn av tidligere snøsmelting vil jorda tørke opp tidligere, sannsynligvis i middel en måned før. Dette er selvsagt gunstig for våronn og vekstsesongens lengde. Sammen med økt evapotranspirasjon vil det imidlertid føre til betydelige økninger i markvannsunderskuddet ut over sommeren, og dermed økt tørkestress og vanningsbehov. Samtidig vil sommervannføringen i elvene bli redusert, og i små vassdrag kan det bli knapphet på vanntilgang for vanning. Dette gjelder i alle lavlandsområder, bortsett fra ytre kystsrøk.

Snødekket vil bli redusert, både i tykkelse og i tidsutstrekning, dette vil endre overvintringsforholdene for flerårige planter.

9.2 Friluftsliv, rekreasjon

Artssammensetningen i vassdragene vil endres som følge av endret vannføring (kapittel 2), vanntemperatur (kapittel 4) og vannkvalitet (kapittel 5 og 6, Gulbrandsen m.fl, 1990). Dette vil selvsagt kunne få betydelig virkning for både fritidsfiske og yrkesfiske.

Perioden med snødekke blir betydelig kortere, og snøforholdene generelt dårligere. Muligheten for å drive skisport som en regulær treningsaktivitet vil bli redusert i de store befolkningssentrene. Sesongen for alpinanlegg i lavlandet og midlere høydenivå kraftig forkortet, og for lavtliggende anlegg ikke årviss. Tyngdepunktet for skiaktivitetene vil flytte seg mot de snørike høyfjellsområdene.

Om skimulighetene blir redusert, blir vandringssesongen i fjellet forlenget. Høyfjellet blir tidligere snøbart, og elver og bekker blir lettere å krysse i juni og juli.

Disponeringen av kraftverkmagasiner vil bli endret, sannsynligvis med mindre nedtapping om vinteren og gjennomgående noe lavere vannstand sommer og høst. Dette vil kunne påvirke bruken av magasinene til rekreasjonsformål.

9.3 Vannforsyning

Vannforsyningssystemer vil neppe bli mer utsatt for vannknapphet, bortsett fra vannverk med liten magasinkapasitet og marginalt tilsig, hvor redusert sommertilsig kan bli et problem. Derimot kan

vannkvaliteten bli et problem i enkelte verk; jfr kapittel 5 og 6.

I Sør-Sverige og Danmark er man bekymret for saltvannsinntrenging i grunnvannsbrønner pga havnivåstigning (Lindh m.fl, 1989). Effekten vil være særlig sterk dersom havnivåstigning ledsages av redusert grunnvannsfornyelse eller økt press på grunnvannsutnyttelsen pga at overflatekilder får uakseptabel kvalitet. I Norge vil slike problemstillinger først og fremst være aktuelle på øyer med grunnvannsforsyning.

9.4 Vannressursforvaltning

Endringer utløser konflikter, og klimaendringer vil neppe være noe unntak. I vassdragene vil særlig endrete rammebetingelser for vannkraften, endret magasindisponering. Økte flomproblemer, eventuelt lavvannsproblemer om sommeren og problemer med vannkvalitet kunne føre til nye konflikter og oppblussing av gamle. Vassdragsforvaltningen vil bli stilt overfor nye utfordringer, og en av de viktigste vil være å kunne skille mellom de effekter som skyldes klimaendringer, og de som skyldes direkte menneskelig påvirkning av nedbørfelt og vassdrag; vannkraftreguleringer, endret arealbruk, endrete driftsformer i landbruket osv. Vi vil ikke lengre ha en uforanderlig naturtilstand som referanse.

Nøkkelen til å løse disse problemene vil ligge i økt prosessforståelse, og ikke minst i kunnskaper om hvordan samspillet mellom lokale og klimatiske påvirkninger fungerer.

10. VIDERE ARBEID

10.1 Videre utredningsarbeid

De foreliggende undersøkelsene må regnes som foreløpige. For det første bør måten HBV-modellen er benyttet på uttestes og verifiseres ytterligere, og det bør gjennomføres en systematisk følsomhetsanalyse, både for modellparametre og variasjoner i klimascenariene. Dessuten bør beregningene gjennomføres for flere felt; sju felt gir dårlig regional dekning, og gir heller ikke ekstra kontroll innen regionene. Dersom det skal være mulig å gjennomføre landsomfattende modellsimuleringer av konsekvensene for vannkraftproduksjonen må det også beregnes tilsigsserier for flere felt. Dette vil muliggjøre simuleringer av totalproduksjon og fastkraftnivå på landsbasis.

For kartlegging av omfanget av flomskader i dag og under påvirkning av klimaendringer, og for planlegging av sikringstiltak og fornuftig arealutnyttelse, vil utarbeidelse av flomkart være det viktigste hjelpemidlet. Et utredningsarbeid i regi av Vassdragsdirektoratet er allerede startet.

Fysiske sikringstiltak mot forurensninger blir vurdert i "Miljøpakke Romerike", en arbeidsgruppe med representasjon fra NVE, Norsk geoteknisk institutt, Fylkesmannens miljøvernavdeling og Fylkeslandbrukskontoret i Akershus. Arbeidet ledes av Forbygningsavdelingen, NVE.

Geofysisk institutt; Universitetet i Oslo og Hydrologisk avdeling har startet en studie av innvirkningen av klimatisk variabilitet på dimensjoneringsusikkerhet (Gottschalk & Sælthun, 1990). Det er behov for å revurdere retningslinjene for flomberegninger (NVE, 1986) med tanke på å innføre sikkerhetsfaktorer for dimensjonerende flom avhengig av planperiodens lengde.

10.2 Videre FoU-arbeid

FoU-arbeidet innen dette feltet er i sin natur sterkt tverrfaglig, og krever et sterkere samarbeide mellom forskningsmiljøene enn hva som er vanlig i dag. Det utviklingsarbeidet som er satt i gang i forbindelse med utviklingen av en vassdragssimulator (Erlandsen m.fl, 1990) er eksempel på en slik tverrfaglig satsning. Vassdragssimulatoren vil bli et generelt verktøy for konsekvensanalyser for vassdrag som vil være velegnet også for vurdering av klimaendringer. I det nordiske prosjektet "Klimaendringer og vannressurser" (CHIN & KOHYNO, 1989) er det lagt om til et tverrfaglig og flernasjonelt samarbeid.

I den følgende beskrivelsen er det samlet en del FoU-momenter som er blitt avdekket under arbeidet med denne rapporten. Listen er langt fra utfyllende, og beskrivelsen er organisert etter fagområde, så det tverrfaglige aspektet kommer noe i bakgrunnen.

10.2.1 Hydrologiske modeller

Videre FoU-arbeid på bruk av hydrologiske modeller bør ha to mål:

Kortsiktig: Å forbedre de svakheter og mangler disse foreløpige undersøkelsene har avdekket i modellverktøyet, sett i lys av den usikkerhet som i dag foreligger i klimascenariene.

Langsiktig: Å utvikle modellverktøyet videre slik at det til en hver tid er i stand til å overføre klimascenariene til hydrologiske scenarier uten signifikant økning av usikkerheten. En må regne med at det i tiden framover vil foreligge stadig sikrere estimat av endringene av nedbør og temperatur, og etter hvert andre klimavariabler som vind, luftfuktighet og stråling.

Her skal vi først og fremst konsentrere oss om mulighetene for forbedringer av det foreliggende modellverktøyet.

Fordampningsberegning. Bortsett fra usikkerheten i klimascenariene er det i de resultatene som er gitt i denne rapporten betydelig usikkerhet i estimatene av totaltilsig, markvannsforhold og sommerlavvann som skyldes usikkerhet og manglende verifisering av fordampningsdelen av modellen; både for dagens forhold og under framtidige vegetasjonsendringer. Det ligger her betydelig kompetanse i de norske miljøene, både ved DNMI og NLH som bør utnyttes i et tverrfaglig samarbeid.

Grunnvannssimulering. Endringene av lavvannsføringene er i stor grad styrt av grunnvannsnivået. Som nevnt i kapittel 2 har HBV-modellen en meget enkel beskrivelse av grunnvann og grunnvannsdannelse, så enkel at den ikke er særlig egnet til konsekvensanalyse på dette feltet. De største svakheter ligger i at modellen regner med et jevnt fordelt grunnvannsmagasin; stort sett ser bort fra fordampning fra grunnvannsmagasinet og regner med konstant perkolasjon i fuktige perioder. Modellforbedringer på dette området krever bedre kjennskap til grunnvann og grunnvannsdannelse i moreneområdene som utgjør størstedelen av det norske jordsmonnet.

Tele, frossen mark. HBV-modellen som er benyttet i disse simuleringene beregner ikke tele, og regner med samme reaksjon på nedbør på barmark om vinteren som om sommeren, når markvannstilstanden er den samme. Vinteren 1989/90 har operative utgaver av modellen hatt problemer under de skiftende barmarksforholdene. Forbedring av modellen på dette punktet vil kunne gi bedre estimat av endrete flomforhold om vinteren for felt som i dag stort sett har stabile vinterforhold, men som i framtiden må ventes å få mer barmarksavrenning. Simulering av teleforhold vil også være av interesse for vurderinger av erosjon og geotekniske forhold. I Sovjet-samveldet er det utviklet modeller for jordtemperatursimulering og avansert beregning av evapotranspirasjon som lar seg kombinere med HBV-modellen (Kuchment m.fl, 1989).

10.2.2 Breer

For å kunne kvantifisere endringer i breers volum og areal, og avløpet fra breområder på en tilfredsstillende måte, gjenstår en del FoU-arbeid. De modellverktøy som trengs til dette kan deles i to grupper:

- modeller som med utgangspunkt i klimaparametre beregner snøfordeling og avsmelting i breens ulike høydenivå
- dynamiske modeller som beregner hvordan breens dynamikk og utbredelse forandres

Sammen vil slike modeller gi oss verktøy til å beregne avløpsforandringer i brefelt, materialtilførsel til vassdragene, ha relevans til rasproblemer fra breer, og muligheter til å forutsi flom fra bredemte sjøer.

10.2.3 Vanntemperatur, is

Endret vanntemperatur har stor betydning for isforhold, akvatisk biologi osv. Komplette vanntemperaturmodeller er kompliserte modellsystemer som krever mye inngangsdata, men som påpekt tidligere (kap 4) er vanntemperatur i norske vassdrag uten større sjøer i hovedsak bestemt av atmosfæreteperatur og andel snøsmelting i avrenningen. Dette tyder på at det med enkle utvidelser av HBV-modellen skulle være mulig å lage en vanntemperaturmodell for en første vurdering av konsekvenser av klimaendringer.

For innsjøer trengs det større modellsystemer, en del slike er testet ut på norske forhold (Erlandsen m.fl, 1990).

10.2.4 Erosjon og sedimenttransport

Tilførselmodeller: Utvidete hydrologiske modeller som kan simulere teleforhold og diffuse materialtilførseler som funksjon av vegetasjon, jordsmonn og arealbruk ville være meget nyttige for konsekvensanalyser, både av klimaendringer og arealbrukendringer. For å utvikle slike modeller vil det være nødvendig med mer feltundersøkelser av sammenhengen mellom avrenning og erosjonsprosessene.

Ravineutvikling: Ravineutvikling er ikke enkelt å simulere med modeller, til det er det for prosessene for lite kjent. Nøkkelen til mer kunnskap om ravinering vil være feltforsøk med sikte på å kartlegge de hydrauliske og geotekniske prosessene, og å undersøke grunnvannets betydning. For konsekvensanalyser er det nødvendig med kartlegging av hvilke områder som er utsatt for ravinering.

Elveløpsendringer: De fleste hydrauliske sedimenttransportmodellene simulerer bare selve transportprosessen gjennom et statisk elveløp. De som i prinsippet kan beregne elveløpsendringer egner seg dårlig for det sammensatte materialet i de fleste norske

elver. Modeller og relasjoner som kan benyttes til å beregne kritiske områder og terskelverdier for påvirkninger som kan utløse utgravning og utrasing ville være av stor verdi i vassdragsforvaltningen.

Regionale undersøkelser: Erosjonsprosessene og materialtransporten i høyfjellet og Nord-Norge er lite kjent. Kartlegging og feltmålinger er nødvendig for å vurdere om dette kan bli framtidige problemområder.

10.2.5 Kraftproduksjon

Tilsigsrepresentasjon: Modellene for energigrunnlagsberegninger (VANSIMTAP, Samkjøringsmodellen og JARSIM) benyttes i dag nokså ukritisk med hensyn til valg av representative tilsigsserier. Ofte benyttes serier som har en stor del av feltet lavere enn det aktuelle tilsigsfeltet. Dette gir ofte systematisk overestimering av vintertilsiget. Dette er et generelt problem, men det blir særlig prekært i forbindelse med beregning av konsekvenser av klimaendringer, siden forskjellen mellom høyfjell og lavere nivåer ser ut til å bli større ved de aktuelle klimascenariene. I dette prosjektet har vi systematisk referert tilsigsendringene til faste høydenivå.

Planleggingsmodellene: Optimaliseringsmodeller med vannverdi-beregninger (JARSIM, VANSIMTAP) er godt egnet til å beregne konsekvensene av klimaendringer når endringene av tilsiget er gitt. En svakhet i modellene er at alminnelig forbruk ikke kan temperaturskorrigeres for hvert år, slik at milde vintre med høyt vintertilsig og lavt forbruk ikke blir riktig simulert.

Planlegging under usikkerhet: Utbyggingsplanlegging med dagens modeller baserer seg på en historisk tilsigsserie f.eks 1930-60, og resultatet blir optimalt tilpasset denne serien, og forventet forbruk/pris-mønster. Med erkjennelsen av at denne serien ikke representerer en sannsynlig tilstand for planleggingsperioden kan vi selvsagt ved hjelp av forventete nedbør- og temperaturendringer beregne justerte og mer sannsynlige tilsigsserier som underlag for planleggingsmodellene. Vi har likevel ikke tatt hensyn til den økte usikkerheten (dagens metode tar heller ikke hensyn til usikkerheten i de historiske dataene, og representerer ikke optimal planlegging under usikkerhet). Mer robust planlegging ville oppnås ved at man lot planleggingsmodellene operere på en suite av tilsigsserier som representerte usikkerheten i det framtidige tilsig. På tilsvarende måte kunne usikkerhet i forbruk representeres. Med dagens regnekraft betyr det ingen ting om regnetiden blir 100 eller 1000 ganger en enkel gjennomkjøring.

Etterspørsel/forbruk: Etterspørselsiden vil helt klart påvirkes. Viktige momenter her er endring av oppvarmingsbehov pga klimaendringer; miljøavgifter på andre energibærere; endringer på eksportmarkedet og av eksportmuligheter.

11. LITTERATURREFERANSER

- Andersen, Bård, 1990:
Personlig meddelelse. (Forbygningsavdelingen, NVE)
- Aune, Bjørn, 1989:
Lufttemperatur og nedbør i Norge. Utviklingen i løpet av tiden med instrumentelle målinger. DNMI, rapport KLIMA 26/89.
- Beisland, Kjell, 1983:
Postglasial elveløpsutvikling og recent materialtransport i Glomma mellom Flisa og Brandval. Hovedoppgave i naturgeografi, Geografisk institutt, Universitetet i Oslo.
- Beldring, S., E.Førland & N.R.Sælthun, 1989:
Store flommer. En sammenligning mellom nedbørepisoder og flommer i en del norske vassdrag. DNMI-rapport 24/89
Klima, Hydrologisk avd. oppdragsrapport 12-89. 94 s.
- Bergström, Sten, 1976:
Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI rapporter, RHO 7, Norrköping. 134 s.
- Bindschadler, R.A., 1978:
A time-dependent model of temperate glacier flow and its application to predict changes in the surge-type Variegated Glacier during its quiescent phase. Unpublished thesis, University of Washington Geophysics Program, Seattle, WA, 244 s.
- Bogen, Jim, 1986:
Erosjonsprosesser og sedimenttransport i norske vassdrag. Utredning av forvaltningsansvar, faglig status og forskningsbehov. Norsk Hydrologisk Komité, rapp. 20. 107 s.
- Braathen, G.O., H.Dovland & B. Aune, 1989:
Foreløpig rapport fra NILU og DNMI om drivhuseffekten og klimautviklingen. NILU OR:79/89. ISBN 82-425-0095-9. 76 s.
- Budd, W.E. & D.Jensen, 1975:
Numerical modelling of glacier systems. IAHS Publ. 104, 257-291.
- CHIN & KOHYNO, 1989:
Klimatförändringar och vattenresurser - ett nordiskt forskningsprogram. Det Danske Vandråd og Hydrometriske Undersøgelser, Danmark. IHP-komiteen og Vatten och Miljöstyrelsen, Finland. Islands Hydrologisk Komité og Orkustofnun, Island. Norges Vassdrags- og Energiverk og Norsk Hydrologisk Komité, Norge. IHP-komiteen og Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Sverige. 24 s.

- DNMI, 1972:
Døgnet's normaltemperatur i Skandinavia, januar måned.
Kart i målestokk 1:4 000 000.
- Eliassen, A., A.Grammeltvedt, M.Mork, K.Pedersen, J.E.Weber,
G.Braathen & H.Dovland, 1989:
Klimaendringer i Norge ved økt drivhuseffekt. Rapport til
Miljøverndepartementets klimautredningsgruppe.
- Eliassen, A. & A.Grammeltvedt, 1990:
Scenarier ($2\times\text{CO}_2$) i Norge. Notat til Den
interdepartementale klimagruppen, 1.2.1990.
- Engen, Inger Karin, 1988:
Flommen på Sør- og Østlandet i oktober 1987.
V-publikasjon V-15, Vassdragsdirektoratet, NVE. 40 s.
- Erlandsen, A., M.L.Fossdal, H.O.Ibrekk, O.Lingaas, E.Olaussen,
H.F.Sande, N.R.Sælthun & K.Vaskinn, 1990:
Plan for utvikling av vassdragssimulator.
Vassdragsregulantenenes forening.
- Førland, Eirik, 1983:
Påregnelige ekstreme nedbørmengder. - KLIMA 3/83. DNMI.
- Førland, E.J. & D.Kristoffersen, 1989:
Estimation of extreme precipitation in Norway. Nordic
Hydrology 20, 257-279.
- Gottschalk, L. & N.R.Sælthun, 1990:
Large scale temporal variability and risk of design
failure. Bidrag til EGS-symposium: Predicting the impacts
of climate change. København.
- Gulbrandsen, R., T.Bakke, D.Hessen, R.Konieczny, J.Magnusson,
J.Skei & R.Wright, 1990:
Klimaendringer - effekter på akvatisk miljø. Bidrag til den
interdepartementale klimautredningen. NIVA-rapport O-89258,
E-9415.
- Haan, C.T, 1977:
Statistical methods in hydrology. The Iowa State
University Press, Ames. ISBN 0-8138-1510-X.
- Harby, Atle, 1988:
Flomskader; årsak, omfang og mottiltak. En detaljstudie av
flommen 3.-4. september 1988. Hovedoppgave, Institutt for
vassbygging, NTH, D-1-1988-20. 99 s + vedl.
- Houghton, Richard A. & George M. Woodwell, 1989:
Global climatic change. Scientific American 260(4)18-26.
- Killingtveit, Å., N.R.Sælthun, S.Taksdal, R.von Hirsch &
B.Sæther, 1990:
Forbedret versjon av HBV-modellen. Nordisk Hydrologisk
Konferanse, Kalmar.

- Kjeldsen, Ola, 1989:
 "Storofsen"- flomkatastrofen i 1789. Lesehesten, NVE -
 spesialnummer juli 1989.
- Kuchment, L.S., Yu.G.Motovilov & Z.P.Startseva, 1989:
 Sensitivity of evapotranspiration and soil moisture to
 possible climatic change. Proc. Conf. on Climate & Wat.,
 vol 1., Government Printing Centre, Helsinki, ISBN
 951-861-668-X.
- Kuusisto, Esko, 1989:
 Snow and ice - nonrenewable natural resources in the
 future? Proc. Conf. on Climate & Wat., vol 1., Government
 Printing Centre, Helsinki, ISBN 951-861-668-X.
- Laumann, T. & A.M.Tvede, 1989:
 Simulation of the effects of climate changes on a glacier
 in western Norway. Proc. Conf. on Climate & Wat., vol 1.,
 Government Printing Centre, Helsinki, ISBN 951-861-668-X.
- Lettenmaier, Dennis P. & Than Yew Gan, 1990:
 Hydrologic sensitivities of the Sacramento-San Joaquin
 river basin, California, to global warming. Wat. Res. Res.,
 26(1)69-86.
- Lindh, G., H.Hansson & M.Larson, 1989:
 Impact of sea level rise on costal zone management in
 Sweden. Proc. Conf. on Climate & Wat., vol 1., Government
 Printing Centre, Helsinki, ISBN 951-861-668-X.
- Lundquist, Dan, 1988:
 Use of a rainfall-runoff model for forecasting the effect
 of climatic changes on runoff processes. Bidrag til
 Nordisk Hydrologisk Konferanse, Rovaniemi.
- Mayo, L., 1989:
 Personlig meddelelse. (US Geological Service).
- Mørk, Ella, 1990:
 Klimaendringers innvirkning på vannkraftproduksjonen.
 KØE-notat 7/90. Samkjøringen.
- Norsk Hydrologisk Komite, 1985:
 Vassdragsregulerings innvirkning på fjorder. Rapport nr.
 19.
- Nordli, P.E, 1982:
 Klimaverknader på grunn av fjordis ved vassdragsregul-
 eringer i Breheimen. Været nr. 1-82. 32 s.
- NVE, 1970:
 Isforhold i norske vassdrag. Kompendium, Hydrologisk avd.,
 Iskcontoret
- NVE, 1981:
 Forskrifter for dammer. Universitetsforlaget.

- NVE, 1986:
Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal flom.
Retningslinjer. V-informasjon 1, Vassdragsdirektoratet.
- NVE, 1990:
Forbygningsavdelingen -89. Årsoversikt.
- Oerlemans, J., 1986:
An attempt to simulate historic front variations of
Nigardsbreen, Norway. Theo. Appl. Climatol., 37,
126-135.
- Otnes, Jakob & Erik Ræstad, 1978:
Hydrologi i praksis. Ingeniørforlaget.
- Peel, D.A. & R. Mulvaney, 1988:
Air temperature and snow accumulation in the Antarctic
Peninsula during the past 50 years. Ann. Glaciol.,
11, 206-207.
- Rapp, A. & L. Strömquist, 1976:
Slope erosion due to extreme rainfall in the Scandinavian
mountains. Geogr. Ann., 58A(3)193-200.
- Reeh, Nils, 1988:
A flow-line model for calculating the surface profile and
the velocity, strain-rate, and stress fields in an ice
sheet. J. Glaciol., 34(116)46-55.
- Roen, Syver, 1984:
Vanntemperatur, is. I: K. Vennerød, red:
Vassdragsundersøkelser, en metodebok i limnologi.
Universitetsforlaget.
- Sand, Knut, 1986:
Samfunnsøkonomiske konsekvenser av flomsikrings-
virksomheten. Norsk hydroteknisk laboratorium, rapport
STF60 A86067, ISBN 82-595-4344-3. 45 s.
- Skretteberg, Rolf Johan, 1989:
Oversvømmelser i tettsteder. Lesehesten, NVE -
spesialnummer juli 1989.
- Sælthun, Nils Roar, 1990:
Langtidsvariasjoner av avløpet i Norge. Rapport til
Vassdragsregulantenenes forening.
- Sælthun, N.R. & D. Lundquist, 1989:
KARMEN - En brukerveiledning. Hydrologisk avdeling, NVE.
- Sælthun, N.R. & S. Taksdal, 1990:
KARMEN - System for hydrological simulation and
forecasting. Proc., NATO ASI: Recent advances in the
modelling of hydrologic system, Sintra 1988.
- Vollner, Per, 1990:
Personlig meddelelse. (Miljøvern avdelingen, Fylkesmannen i
Østfold).

Wingård, B., N.R. Sælthun, S. Aam & Å.Killingtveit, 1978:
Hydrologiske modeller for tilsigsprognoser og
kraftverksdrift. Hydrologisk avdeling,
Elektrisitetsforsyningens forskningsinstitutt, Institutt
for vassbygging, rapport EFI-TR 2314.

VEDLEGG A

HBV-MODELLEN

Dokumentasjon av modelltilpasning og parameteroppsett for feltene er gitt i eget notat (Sælthun & Roald, 1990).

HBV-modellen ble opprinnelig utviklet ved Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut av Sten Bergström (Bergström, 1976). Modellen har vist seg godt egnet for norske forhold, (Wingård m.fl, 1978), og har hevdet seg godt i internasjonale modell-sammenligninger.

Modellen hører til den gruppe modeller som baserer strukturen på en forenklet matematisk framstilling av de hydrologiske prosessene i naturen, og kan oppfattes som en avansert vannbalanseberegning, der vanntransporten mellom de forskjellige hydrologiske magasinene i modellstrukturen blir bestemt av innholdet i magasinene. En skisse av modellstrukturen er gitt i figur A.1. En nærmere beskrivelse av modellen finnes i Sælthun & Lundquist (1989) og Killingtveit m.fl (1990). Inngangsdata til modellen er daglige nedbør- og temperaturdata fra en eller flere meteorologiske stasjoner.

Modellen har tre hovedkomponenter, som hver står for viktige hovedprosesser i nedslagsfeltet. Disse tre hovedkomponentene er:

Snø. At nedbør holdes tilbake i nedslagsfeltet som snø er uten tvil den viktigste hydrologiske prosessen i norske felt, og det er svært viktig at modellen beskriver den effekten godt. Ut fra nedbør- og temperaturobservasjoner holder modellen regnskap med snø-akkumulasjon og -smelting i fem høydenivå i feltet. Modellen regner med en viss skjev arealfordeling av snøen innen hvert høydenivå. Under smelting holdes det tilbake smeltevann tilsvarende 8-10 % av snømagasinet. Innen hver høydesone holder altså modellen regnskap med snømagasin, snøfordeling, snødekket areal, modningsgrad av snøen og avsmelting. Smeltingen beregnes som en funksjon av temperatur, snøen alder og om det regner eller ikke. Videre er sammenhengen mellom snøsmelting og temperatur gjort avhengig av breddegrad og årstid, for å korrigere for eventuelle feil som måtte oppstå ved at smeltesesongen systematisk starter tidligere. Slik modellen foreligger her er smeltingen avhengig av temperatur, nedbør, årstid og snøens aldring. Dessuten kan modellen berene akkumulasjon og avsmelting på breer, men ikke endringer av utbredelsen av breer.

Rotsonen. Vannet i den øverste meteren eller så av jordsmonnet blir først og fremst utnyttet av vegetasjonen. Denne sonen uttørres i perioder med lite nedbør på grunn av fordampning og plantenes vannopptak, og fylles opp igjen i første del av nedbørperioder. Denne variasjonen er viktig hydrologisk fordi den bestemmer hvor sterkt feltet vil reagere på nedbør om sommeren og første del av høsten. Når rotsonen er fylt, reagerer feltet raskt og sterkt på nedbør, og det reagerer da nokså likt på like nedbørtilfelle. Derimot kan nedbørsituasjoner som gir flom på oppfuktet felt såvidt gi tilsigsøkning på tørt felt. Modellen

identifiserer en rotsone der regn på snøfritt areal og smeltevann delvis blir holdt tilbake. Er sonen nær tørr blir nesten all vanntilførsel holdt tilbake, er den helt oppfuktet går alt vann videre. Vann fjernes fra rotsonen ved fordampning, som varierer med årstid, temperatur og vanninnhold i sonen. Variasjonsområdet for vanninnhold i sonen er typisk 50-100 mm nedbørhøyde.

Avrenningsdelen. Det vannet som ikke er bundet i snømagasin eller rotmagasin er i bevegelse i feltet. Før det opptrer som tilsig blir det imidlertid forsinket av opphold i grunnvannsmagasin, bekker, elvløp og innsjøer. Modellen beskriver denne forsinkelsen som strøming gjennom sammenkoblede kar eller magasin der det er en enkel sammenheng mellom innhold og utstrømning. Tømmehastigheten varierer sterkt; det raskeste karet halverer gjerne sitt innhold i løpet av et døgn uten innstrømning, mens det langsomste, som tilsvarer grunnvann, kanskje halverer seg i løpet av et par måneder. Modellen kan videre ta hensyn til utjevning av avløpet gjennom innsjøer og elvestrekninger.

Strukturen av modellen gir gitt, men modellen spesifiseres av et titall parametre som varierer fra felt til felt. En del av disse parametrene kan bestemmes ut fra feltegenskaper som hypsografisk kurve, areal og sjøprosent. Andre parametre kjenner vi bare et variasjonsområde for, og selv om vi nok kan gjette på fornuftige verdier ut fra kunnskap om feltet og erfaring, er vi avhengig av en modellkalibrering for å gi en sikker fastsettelse. Særlig gjelder dette tømmekonstantene i avrenningsdelen. Modellkalibrering foretas ved at vi varierer parametre til vi får best mulig overenstemmelse mellom observert og modellberegnet (simulert) tilsig eller vassføring når vi lar modellen operere på samhørende historiske nedbør- og temperaturserier. Et eksempel på simulering med modellen er vist i figur A.2.

HBV-modellen, oversikt

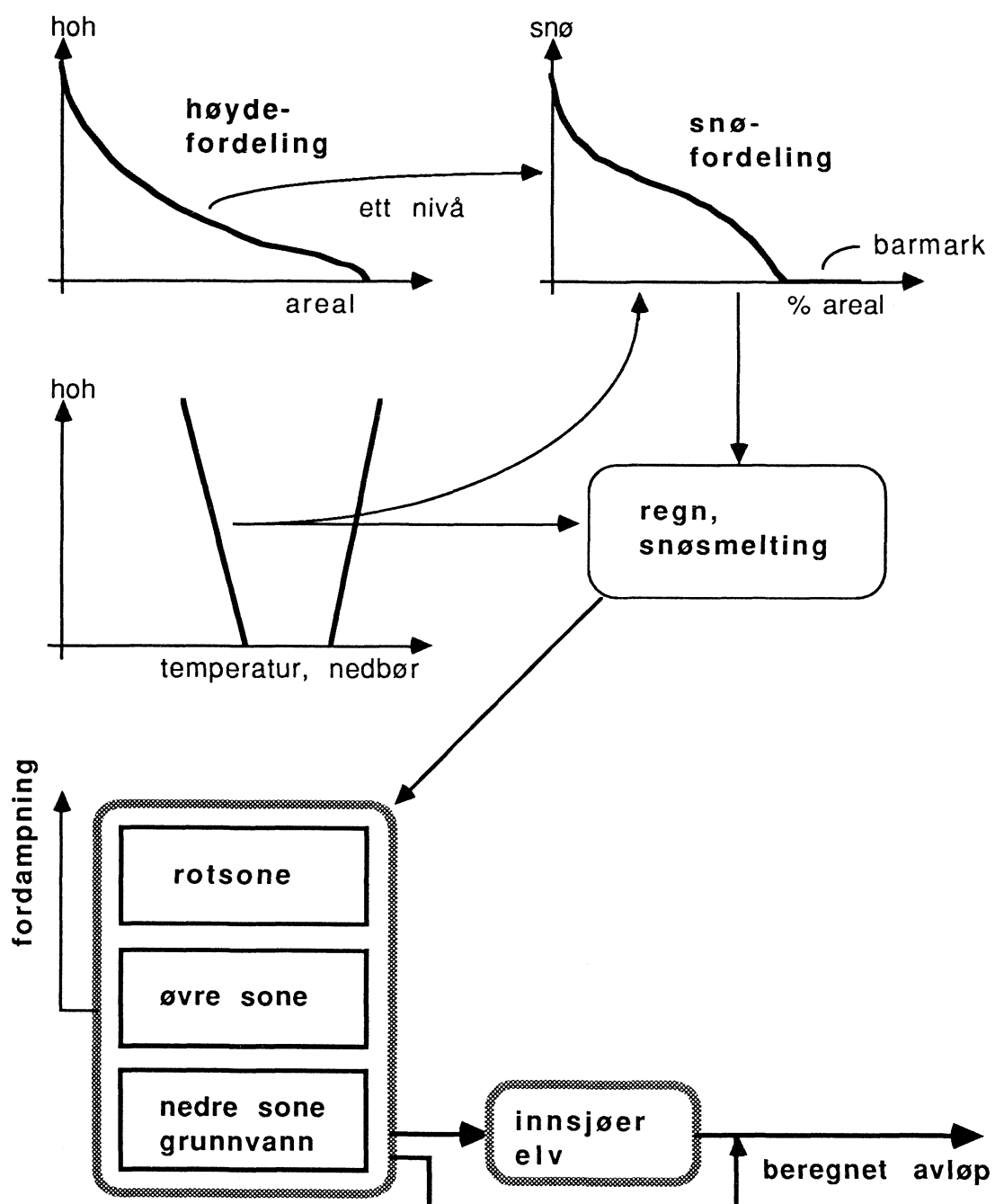


Fig. A.1. HBV-modellens struktur.

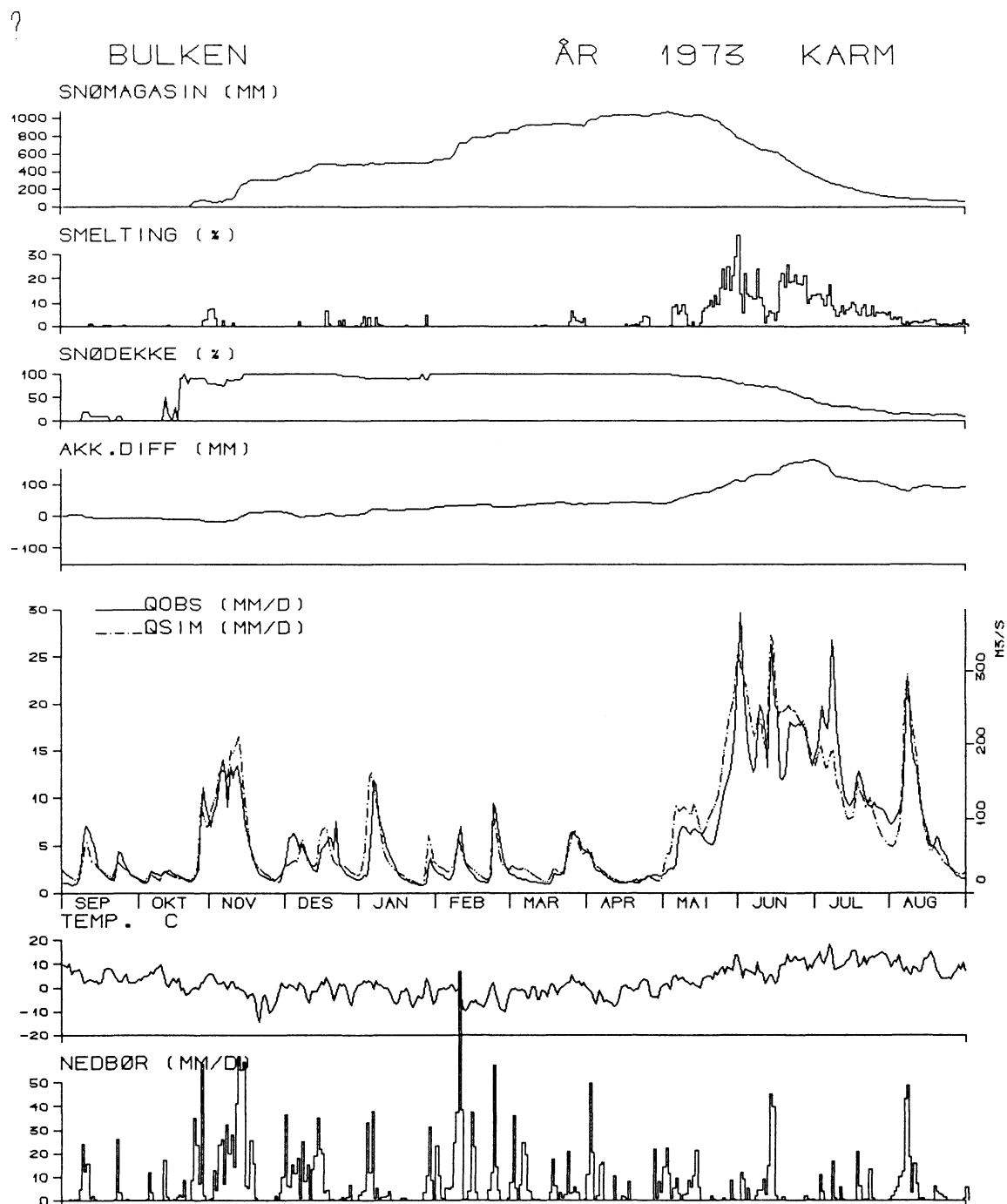


Fig. A.2. Simuleringer med HBV-modellen for Bulken vannmerke. Inngangsdata er daglig nedbør og temperatur. Observert vannføring er vist for sammenligningens skyld.

V E D L E G G B

DETALJRESULTATER

TABELL B.1.1
SIMULERINGER FOR VESTLANDSKLIMA, VASSFØRINGER
REFERANSEFELT: 062.Z BULKEN I VOSSO

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør, mm	2050	2200	+ 7	2050	2200	+ 7	2050	2200	+ 7
fordampning, mm	100	155	+55	155	255	+65	280	390	+40
avløp, mm	1950	2055	+ 5	1895	1945	+ 3	1770	1810	+ 2
jan, l/s km ²	10	41	+310	22	71	+225	52	86	+65
feb "	7	26	+270	14	46	+230	34	58	+70
mar "	6	32	+430	17	59	+250	48	71	+50
apr "	10	53	+430	30	59	+100	58	46	-20
mai "	130	140	+ 10	125	70	- 45	91	28	-70
jun "	200	100	- 50	140	40	- 70	50	22	-55
jul "	110	54	- 50	73	31	- 60	30	25	-15
aug "	62	46	- 25	45	36	- 20	31	32	+ 5
sep "	81	77	- 5	71	69	- 5	61	63	+ 5
okt "	74	80	+ 10	75	78	+ 5	72	74	+20
nov "	39	70	+ 80	58	84	+ 45	75	89	+20
des "	16	60	+280	36	85	+135	67	92	+35
vårflom (1/2 - 31/7):									
middel, l/s km ²	345	260	- 25	240	235	0	205	245	+20
std. av. "	75	65	- 15	50	100	+100	75	125	+65
1000-års flom	775	630	- 20	525	810	+ 50	635	960	+50
høstflom (1/8 -31/1):									
middel, l/s km ²	255	330	+ 25	255	330	+ 30	290	340	+20
std. av. "	80	90	+ 15	75	95	+ 25	95	115	+25
1000-års flom	715	845	+ 20	685	875	+ 30	835	1000	+20
årsflom (1/1 - 31/12):									
middel, l/s km ²	360	345	- 5	280	350	+ 25	305	370	+20
std. av. "	65	75	+ 15	60	85	+ 45	79	120	+50
1000-års flom	730	775	+ 5	625	835	+ 35	760	1060	+40
alle sesonger:									
middel, l/s km ²	360	345	- 5	280	350	+ 25	305	370	+20
1000-års flom	775	845	+ 10	685	875	+ 30	835	1060	+25
vinterlavyann (1/10 - 31/5):									
				<u>1/10 - 30/4:</u>					
middel, l/s km ²	4.1	7.5	+ 85	5.3	7.4	+ 40	6.7	8.1	+20
std. av. "	0.8	3.1	+290	1.3	3.1	+160	2.5	3.3	+30
sommerlavyann (1/6 - 30/9):									
				<u>1/5 - 30/9:</u>					
middel, l/s km ²	21.9	7.4	- 65	14.9	9.6	- 35	10.3	6.8	-35
std. av. "	7.9	3.0	- 60	7.0	3.5	- 50	4.8	2.9	-40

TABELL B.1.2
SIMULERINGER FOR VESTLANDSKLIMA, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:									
dager > 25 %	285	225	-60	245	180	-65	185	100	-85
markvannsunderskudd i vekstsesongen (1/5 - 31/8):									
midlere:	5	10	+ 5	15	30	+15	40	55	+15
dager > 50 mm	0	0	0	2	12	+10	35	75	+40
midlere grunnvannsmagasin, mm:									
vinter	55	70	+15	60	80	+20	75	80	+15
vår	60	80	+20	95	85	-10	85	80	- 5
sommer	95	85	-10	85	75	-10	70	60	-10
høst	80	85	+ 5	80	90	+10	85	85	0

TABELL B.2.1
SIMULERINGER FOR SENTRALE FJELLSTRØK, VASSFØRINGER
REFERANSEFELT: 002.DHZ LALM I OTTA

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør, mm	935	1005	+ 7	840	905	+ 7	700	755	+ 7
fordampning, mm	75	120	+60	160	225	+40	255	320	+30
avløp, mm	860	835	+ 3	680	680	0	445	435	- 2
jan, l/s km ²	4	9	+125	6	17	+180	13	23	+ 75
feb "	4	6	+ 50	4	12	+200	9	17	+ 90
mar "	3	7	+135	5	14	+180	11	20	+ 80
apr "	2	11	+450	6	27	+350	22	16	- 25
mai "	34	87	+155	74	58	- 20	37	9	- 75
jun "	136	87	- 35	79	21	- 75	11	5	- 55
jul "	65	30	- 55	21	11	- 50	7	5	- 30
aug "	23	17	- 25	10	9	- 10	6	5	- 15
sep "	22	23	+ 5	16	16	0	8	7	- 10
okt "	18	27	+ 50	20	24	+ 20	13	12	- 10
nov "	8	16	+100	12	24	+100	15	19	+ 25
des "	5	12	+140	8	25	+210	17	26	+ 55
vårflom (1/2 - 31/7):									
midde, l/s km ²	230	180	- 20	170	105	- 40	70	67	- 5
std. av. "	50	50	0	46	36	- 20	32	46	+ 45
1000-års flom	515	465	- 20	435	310	- 30	255	330	+ 30
høstflom (1/8 -31/1):									
midde, l/s km ²	71	89	+ 25	55	94	+ 70	64	89	+40
std. av. "	30	45	+ 50	33	60	+ 80	47	56	+20
1000-års flom	245	345	+ 40	245	440	+ 80	335	410	+25
årsflom (1/1 - 31/12):									
midde, l/s km ²	230	185	- 20	170	130	- 25	88	110	+ 25
std. av. "	50	49	0	46	47	0	38	52	+ 35
1000-års flom	515	465	- 10	435	440	- 10	305	410	+ 35
alle sesonger:									
midde, l/s km ²	230	185	- 20	170	130	- 25	88	110	+ 25
1000-års flom	515	465	- 10	435	440	0	335	410	+ 25
vinterlavvann (1/10 - 31/5):									
midde, l/s km ²	1.7	3.2	+ 90	2.4	4.1	+ 95	<u>1/10 -30/4:</u>		
std. av. "	0.3	0.9	+200	0.7	0.9	+ 30	3.5	3.7	+ 5
							0.9	1.1	+ 20
sommerlavvann (1/6 - 30/9):									
midde, l/s km ²	8.3	6.5	- 25	4.9	4.6	- 10	<u>1/5 - 30/9:</u>		
std. av. "	4.3	2.8	- 35	1.5	1.2	- 20	3.5	2.6	- 25
							0.8	0.7	- 10

TABELL B.2.2
SIMULERINGER FOR SENTRALE FJELLSTRØK, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:									
dager > 25 %	290	245	-45	250	205	-45	190	120	-70
markvannsunderskudd i vekstsesongen, mm (1/5 - 31/8):									
midlere:	10	12	+ 2	25	40	+15	70	95	+25
dager > 50 mm	0	0	0	15	50	+25	90	115	+25
midlere grunnvannsmagasin, mm:									
vinter	25	45	+20	35	55	+20	45	55	+10
vår	25	50	+25	35	60	+25	50	50	0
sommer	70	65	- 5	60	50	-10	45	35	-10
høst	55	60	+ 5	50	55	+ 5	45	40	5

TABELL B.3.1
SIMULERINGER FOR INDRE ØSTLAND, VASSFØRINGER
REFERANSEFELT: 002.GZ KNAPPOM I FLISA

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør, mm	675	725	+ 7	675	725	+ 7	675	725	+ 7
fordampning, mm	100	145	+45	180	245	+35	245	315	+30
avløp, mm	575	580	+ 1	495	480	- 3	430	410	- 5
jan, l/s km ²	3	6	+50	4	10	+150	6	12	+100
feb "	3	4	+40	3	8	+165	5	11	+120
mar "	2	4	+70	3	10	+235	5	12	+140
apr "	3	14	+370	8	28	+250	21	22	+ 5
mai "	55	64	+15	67	32	-55	45	15	-65
jun "	65	35	-45	32	16	-50	17	12	-30
jul "	25	21	-15	14	13	- 5	12	11	-10
aug "	16	16	0	11	11	0	10	10	0
sep "	18	18	0	14	14	0	12	12	0
okt "	16	18	+10	14	15	+ 5	13	13	0
nov "	7	10	+45	8	12	+50	9	12	+35
des "	5	9	+80	6	13	+115	8	14	+75
vårflom (1/2 - 31/7):									
middel, l/s km ²	165	130	- 20	145	82	- 45	92	63	-30
std. av. "	42	40	- 5	45	33	- 25	34	33	- 5
1000-års flom	405	360	- 10	405	270	- 35	285	250	-15
høstflom (1/8 -31/1):									
middel, l/s km ²	44	54	+ 20	41	52	+ 25	37	52	+40
std. av. "	25	38	+ 50	31	38	+ 25	33	35	+ 5
1000-års flom	185	270	+ 40	220	270	+ 25	225	250	+15
årsflom (1/1 - 31/12):									
middel, l/s km ²	165	134	- 20	147	91	- 40	97	75	-25
std. av. "	42	39	- 5	43	33	- 25	34	36	+ 5
1000-års flom	405	355	- 10	395	280	- 30	290	280	- 5
alle sesonger:									
middel, l/s km ²	165	134	- 20	147	91	- 40	97	75	-25
1000-års flom	405	360	- 10	405	280	- 30	290	280	- 5
vinterlavvann (1/10 - 31/5):									
				<u>1/10 - 30/4:</u>					
middel, l/s km ²	1.8	2.6	+ 45	2.0	3.5	+ 75	2.6	3.7	+40
std. av. "	0.3	0.6	+ 50	0.4	1.1	+175	0.7	1.2	+70
sommerlavvann (1/6 - 30/9):									
				<u>1/5 - 30/9:</u>					
middel, l/s km ²	5.3	5.4	0	4.1	4.2	0	4.0	3.6	-10
std. av. "	2.3	2.1	- 10	1.4	1.1	-20	1.3	0.9	-30

TABELL B.3.2
SIMULERINGER FOR INDRE ØSTLAND, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:									
dager > 25 %	245	210	-35	220	175	-45	185	125	-60
markvannsunderskudd i vekstsesongen, mm (1/5 - 31/8):									
midlere:	20	25	+ 5	40	50	+10	65	80	+15
dager > 50 mm	1	3	+ 2	40	60	+20	85	110	+35
midlere grunnvannsmagasin, mm:									
vinter	30	35	+15	30	45	+15	35	45	+10
vår	30	30	0	35	50	+15	45	50	+ 5
sommer	50	55	+ 5	45	45	0	45	40	- 5
høst	50	55	+ 5	45	50	+ 5	45	45	0

TABELL B.4.1
SIMULERINGER FOR FINNMARKSVIDDA, VASSFØRINGER
REFERANSEFELT: 212.Z MASI I ALTA

	MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør, mm	490	525	+ 7	490	525	+ 7
fordampning, mm	100	145	+45	155	205	+30
avløp, mm	390	380	- 3	335	320	- 5
jan, l/s km ²	3	3	+ 20	3	5	+ 65
feb "	2	2	+ 20	2	4	+100
mar "	2	2	+ 20	2	4	+100
apr "	1	2	+100	2	9	+350
mai "	13	31	+140	29	29	0
jun "	52	38	-25	32	15	-55
jul "	30	20	-35	16	12	-25
aug "	18	16	-11	13	13	0
sep "	12	12	0	10	11	+10
okt "	7	9	+30	8	10	+25
nov "	4	6	+50	5	8	+60
des "	3	4	+35	4	6	+50
vårflom (1/2 - 31/7)						
middel, l/s km ²	120	105	-15	91	56	-40
std. av. "	32	28	-10	25	26	+ 5
1000-års flom	305	265	-15	235	205	-15
høstflom (1/8 - 31/1)						
middel, l/s km ²	29	28	- 5	22	23	+ 5
std. av. "	16	17	+ 5	13	14	+ 5
1000-års flom	120	125	+ 5	95	105	+10
vinterlavvann (1/9 - 15/6):						
middel, l/s km ²	1.1	1.5	+35	1.4	2.5	+80
std. av. "	0.2	0.3	+50	0.3	0.6	+100
sommerlavvann (16/6 - 31/8):						
middel, l/s km ²	11.0	9.3	-15	7.6	5.9	-20
std. av. "	5.5	5.3	- 5	4.5	2.7	-40

TABELL B.4.2
SIMULERINGER FOR FINNMARKSVIDDA, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:						
dager > 25 %	275	245	-30	240	205	-35
markvannsunderskudd i vekstsesongen, mm (1/5 - 31/8):						
midlere:	25	30	+ 5	35	45	+10
dager > 50 mm	1	12	+11	20	50	+30
midlere grunnvannsmagasin, mm:						
vinter	20	20	0	20	30	+10
vår	35	40	+ 5	40	50	+10
sommer	55	55	0	50	50	0
høst	35	40	+ 5	40	45	+ 5

TABELL B.5.1

SIMULERINGER FOR KYST TRØNDELAG - HELGELAND, VASSFØRINGER REFERANSEFELT: 138.Z ØYUNGEN I ÅRGÅRSELV

		HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
		nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør		3075	3310	+ 7	2505	2700	+ 7	1655	1780	+ 7
fordampning		30	80	+180	110	185	+70	235	315	+35
avløp		3045	3230	+ 6	2395	2515	+5	1420	1465	+3
jan	l/s km2	11	39	+255	18	52	+190	29	55	+90
feb	"	7	33	+170	12	49	+310	27	53	+100
mar	"	8	34	+325	14	49	+250	30	52	+75
apr	"	9	61	+580	29	81	+180	62	60	+5
mai	"	71	153	+115	140	146	+5	102	30	-70
jun	"	297	273	-10	260	107	-60	35	18	-50
jul	"	266	152	-45	113	55	-50	22	21	-5
aug	"	149	92	-40	61	50	-18	20	21	+5
sep	"	145	140	-3	104	104	0	57	59	+5
okt	"	101	131	+30	97	110	+15	65	68	-5
nov	"	23	67	+190	39	76	+95	47	58	+25
des	"	17	60	+255	28	78	+280	45	65	+45
vårflom (1/2-31/7)										
middel	l/s km2	620	630	+2	500	500	0	290	320	+10
std.avv.	"	98	150	+50	95	145	+50	87	105	+20
1000 års flom		1100	1370	+25	970	1215	+25	720	840	+15
høstflom (1/8-31/1)										
middel	l/s km2	550	625	+15	460	535	+15	315	360	+15
std.avv.	"	150	185	+25	145	150	+2	105	105	+0
1000 års flom		1290	1540	+20	1175	1275	+10	835	880	+ 5
årsflom (1/12-31/12)										
middel	l/s km2	645	705	+10	540	580	+10	345	390	+15
std.avv.	"	120	175	+50	120	170	+40	105	110	+5
1000 års flom		1235	1570	+25	1135	1420	+25	865	935	+10
alle sesonger										
middel	l/s/km2	645	705	+10	540	580	+10	345	390	+15
1000 års flom		1235	1570	+25	1175	1420	+20	865	935	+10
vinterlavvann (1/10-31/5)										
middel		2.8	5.0	+80	3.5	6.1	+75	5.2	7.1	+40
std.avv		1.2	1.6	+35	1.4	1.6	+15	1.7	1.7	0
(1/10-30/4)										
sommerlavvann (1/6-30/9)										
middel		22.0	15.7	-30	10.1	9.6	-5	6.7	5.7	-15
std.avv		9.3	5.6	-40	3.7	2.1	-20	2.0	1.9	-5
(1/5-30/9)										

TABELL B.5.2

SIMULERINGER FOR KYSTEN TRØNDELAG - HELGELAND, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:									
dager > 25 %	365	275	-90	270	205	-65	200	145	-55
markvannsunderskudd i vekstsesongen, mm (1/5-31/8)									
midlere	1	2	+1	4	9	+5	19	26	+7
dager > 50 mm	0	0	0	0	0	0	1	1	0
midlere grunnvannsmagasin, mm:									
vinter	15	30	+15	20	35	+15	30	35	+5
vår	35	50	+15	45	45	+0	40	35	-5
sommer	55	50	-5	45	45	-0	30	30	-0
høst	35	40	+5	35	45	+10	35	40	+5

Tabell B.6.1

Simuleringer for Indre Trøndelag, vassføringer

Referansefelt: 124.AZ Høggås bru i Forra

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør, mm	1430	1535	+ 7	1430	1535	+ 7	1430	1535	+ 7
fordampning, mm	75	135	+80	150	230	+55	240	330	+40
avløp, mm	1355	1400	+ 3	1280	1305	+ 2	1190	1205	+ 1
jan, l/s km ²	6	13	+115	10	28	+140	22	38	+75
feb "	5	10	+100	8	28	+250	21	37	+75
mar "	4	10	+150	9	29	+220	24	37	+55
apr "	4	21	+425	17	56	+230	50	40	-20
mai "	68	140	+105	140	74	-45	74	25	-65
jun "	200	115	-40	105	37	-65	33	27	-20
jul "	92	51	-45	41	37	-10	32	31	- 5
aug "	45	38	-15	32	34	+ 5	28	29	+ 5
sep "	44	55	+25	50	54	+10	46	46	0
okt "	27	45	+60	43	50	+15	44	45	0
nov "	10	20	+100	18	33	+85	29	36	+25
des "	7	16	+130	13	37	+185	29	43	+50
vårflom (1/2 - 31/7):									
middel, l/s km ²	435	335	-25	325	250	-25	225	220	- 5
std. av. "	87	71	-20	71	71	0	62	70	+10
1000-års flom	935	740	-20	730	655	-10	580	620	+ 5
høstflom (1/8 -31/1):									
middel, l/s km ²	205	250	+20	225	270	+20	235	265	+15
std. av. "	55	72	+40	66	73	+10	66	82	+25
1000-års flom	520	665	+25	605	690	+15	615	735	+20
årsflom (1/1 - 31/12):									
middel, l/s km ²	435	345	-15	330	290	-15	250	270	+10
std. av. "	87	67	-20	68	70	+ 5	59	74	+25
1000-års flom	935	730	-20	720	690	- 5	590	695	+15
alle sesonger:									
middel, l/s km ²	435	345	-15	330	290	-10	250	270	+10
1000-års flom	935	740	-20	730	690	- 5	615	735	+20
vinterlavvann (1/10 - 31/5):									
middel, l/s km ²	3.0	4.8	+ 60	4.5	7.1	+60	6.7	7.8	+15
std. av. "	0.5	1.1	+120	1.0	1.3	+30	1.3	1.2	-10
sommerlavvann (1/6 - 30/9):									
middel, l/s km ²	9.9	8.8	- 10	8.1	8.5	+ 5	8.2	7.8	- 5
std. av. "	3.5	1.7	- 50	1.3	0.9	-30	0.9	0.9	0

TABELL B.6.2
SIMULERINGER FOR INDRE TRØNDELAG, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:									
dager > 25 %	305	245	-60	260	195	-65	195	110	-85
markvannsunderskudd i vekstsesongen, mm (1/5 - 31/8):									
midlere:	10	15	+ 5	25	40	+15	55	75	+20
dager > 50 mm	0	1	+ 1	10	35	+25	75	100	+25
midlere grunnvannsmagasin, mm:									
vinter	50	65	+15	60	80	+20	75	80	+ 5
vår	35	60	+25	55	80	+25	70	80	+10
sommer	75	85	+10	80	85	+ 5	80	80	0
høst	80	85	+ 5	85	90	+ 5	85	85	0

TABELL B.7.1
SIMULERINGER FOR AGDER, VASSFØRINGER
REFERANSEFELT: 020.Z FLAKSVATN I TOVDALSELV

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %	nå	SC1	endr %
årsnedbør, mm	1350	1455	+ 8	1350	1455	+ 8	1350	1455	+ 8
fordampning, mm	110	150	+35	230	310	+35	340	430	+25
avløp, mm	1240	1305	+ 5	1120	1145	+ 2	1010	1025	+ 1
jan, l/s km ²	5	10	+100	9	27	+200	25	34	+35
feb "	4	6	+ 50	6	20	+235	19	30	+60
mar "	3	6	+100	6	23	+285	24	32	+35
apr "	4	22	+450	25	48	+90	45	28	-40
mai "	110	145	+ 30	135	57	-60	45	26	-60
jun "	150	67	-55	48	20	-60	16	15	- 5
jul "	38	31	-20	21	21	0	16	17	+ 5
aug "	38	42	-15	30	33	+10	26	28	+10
sep "	41	42	+10	34	35	+ 5	29	31	+ 5
okt "	50	57	+15	52	54	+ 5	49	50	0
nov "	20	43	+115	44	59	+35	55	58	+ 5
des "	7	19	+170	17	35	+105	33	40	+20
vårflom (1/2 - 31/7):									
middel, l/s km ²	340	270	-20	235	165	-30	145	140	- 5
std. av. "	75	65	-15	54	60	+10	54	47	+15
1000-års flom	770	640	-15	545	510	-10	455	410	+10
høstflom (1/8 -31/1):									
middel, l/s km ²	185	225	+20	205	245	+20	220	225	+ 5
std. av. "	75	95	+25	105	125	+20	120	125	+ 5
1000-års flom	615	770	+25	805	960	+20	905	940	+ 5
årsflom (1/1 - 31/12):									
middel, l/s km ²	345	295	-15	260	260	0	235	240	+ 5
std. av. "	73	70	- 5	79	110	+40	105	115	+10
1000-års flom	765	695	-10	715	890	+25	835	900	+10
alle sesonger:									
middel, l/s km ²	345	295	-15	260	260	0	235	240	+ 5
1000-års flom	770	770	0	805	960	+20	905	940	+ 5
vinterlavvann (1/10 - 31/5):				<u>1/10 - 30/4:</u>					
middel, l/s km ²	2.3	3.6	+ 55	3.5	5.1	+45	5.0	5.5	+10
std. av. "	0.3	0.8	+165	0.8	1.0	+20	1.1	1.1	0
sommerlavvann (1/6 - 30/9):				<u>1/5 - 30/9:</u>					
middel, l/s km ²	8.4	7.8	-10	5.8	5.2	-10	4.7	4.5	- 5
std. av. "	4.6	3.9	-15	2.6	1.5	-40	1.3	1.4	+10

TABELL B.7.2
SIMULERINGER FOR ÅGDER, ANDRE HYDROLOGISKE PARAMETRE

	HØYFJELL			MIDLERE NIVÅ			LAVLAND		
	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr	nå	SC1	endr
snødekke:									
dager > 25 %	245	215	-30	205	160	-45	150	75	-75
markvannsunderskudd i vekstsesongen, mm (1/5 - 31/8):									
midlere:	10	15	+ 5	30	40	+10	50	60	+20
dager > 50 mm	2	3	+ 1	20	35	+15	55	70	+25
midlere grunnvannsmagasin, mm:									
vinter	40	60	+10	50	60	+10	60	70	+10
vår	35	55	+20	55	70	+20	65	65	0
sommer	65	65	0	60	60	0	55	55	0
høst	65	70	+ 5	65	70	+10	65	65	0

V E D L E G G C

GRAFISKE FRAMSTILLINGER

Figurene gir resultater fra de aktuelle feltene, ikke typefeltene. For hver felt er framstilt:

- 1) For hver dag i året høyeste, median og laveste døgnavløp for dagens situasjon
- 2) For hver dag i året høyeste, median og laveste døgnavløp for SC1
- 3) For hver dag i året høyeste, median og laveste døgnavløp for SC2

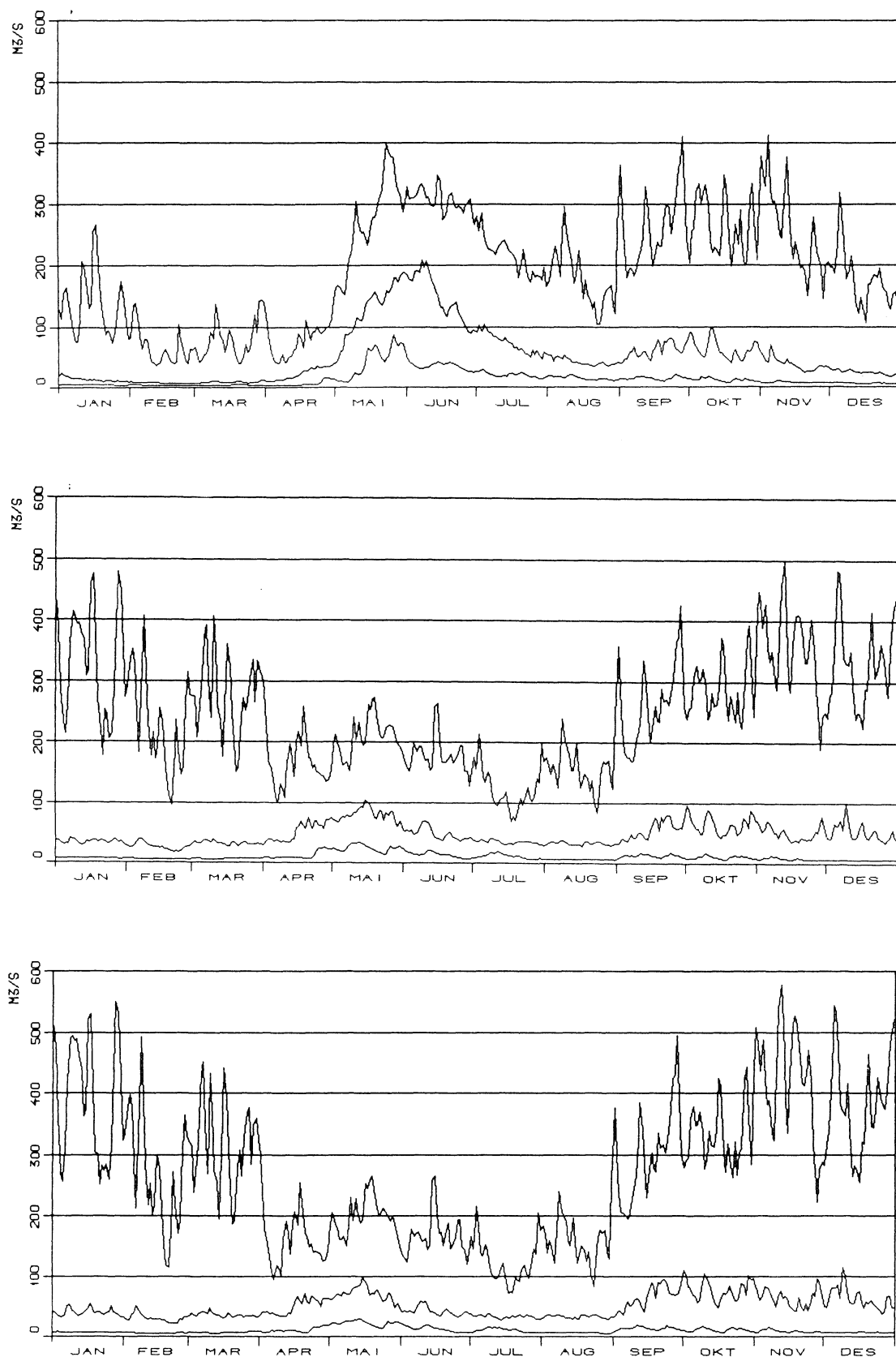


Fig C.1.1-3

Simulerte vannføringer for Bulken. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1959 - 1988. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

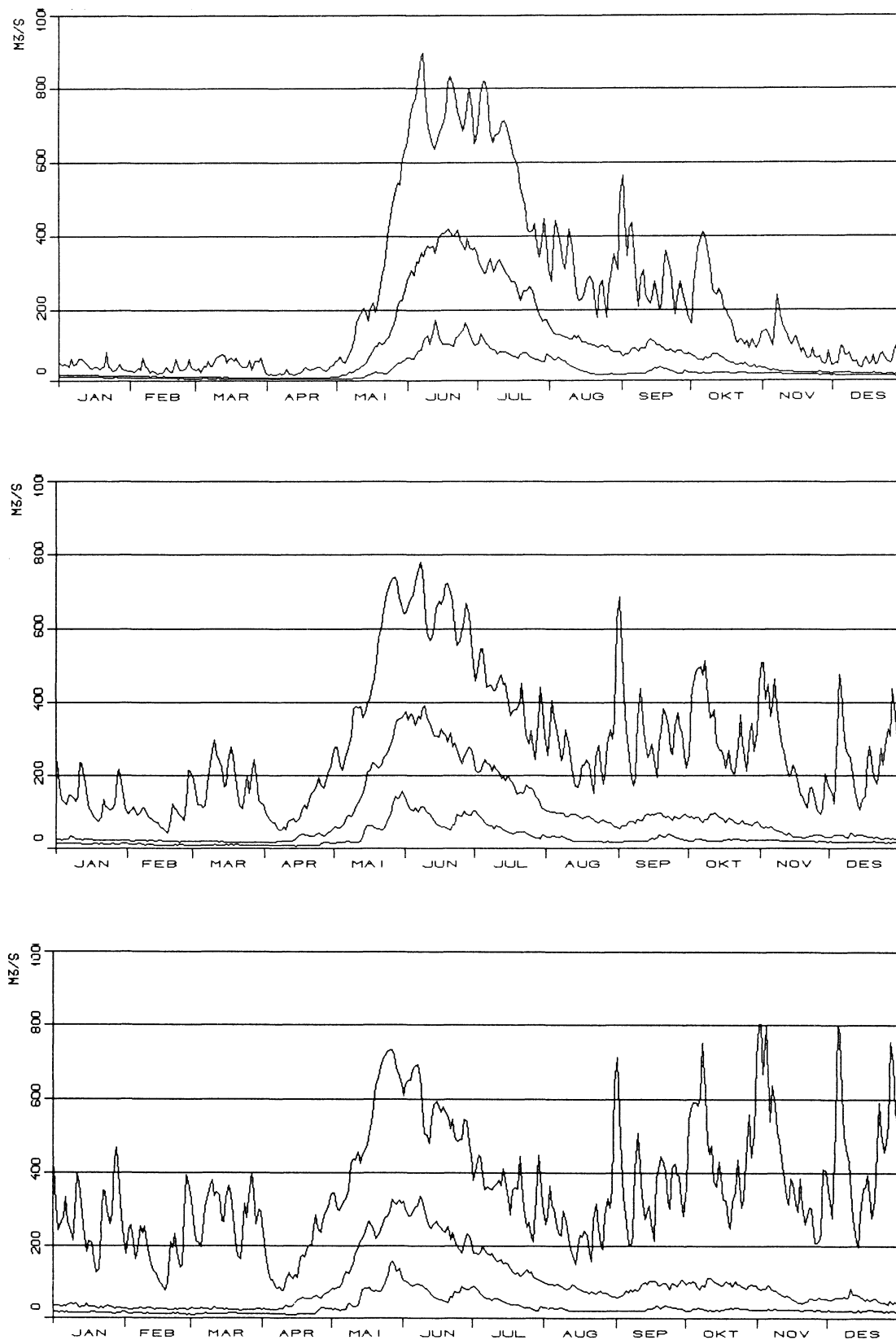


Fig C.2.1-3

Simulerte vannføringer for Lalm. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1957 - 1988. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

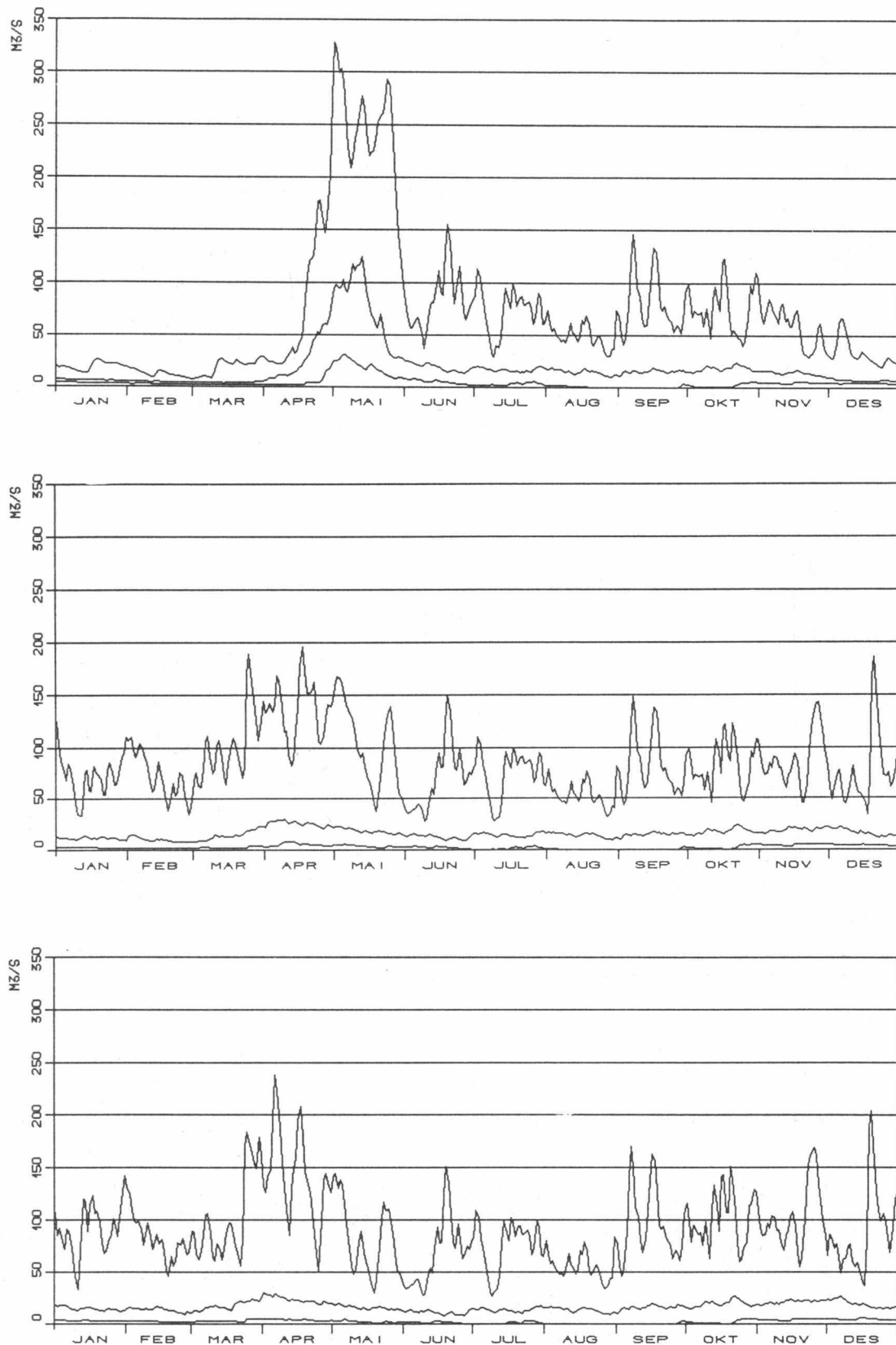


Fig C.3.1-3

Simulerte vannføringer for Knappom. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1957 - 1988. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

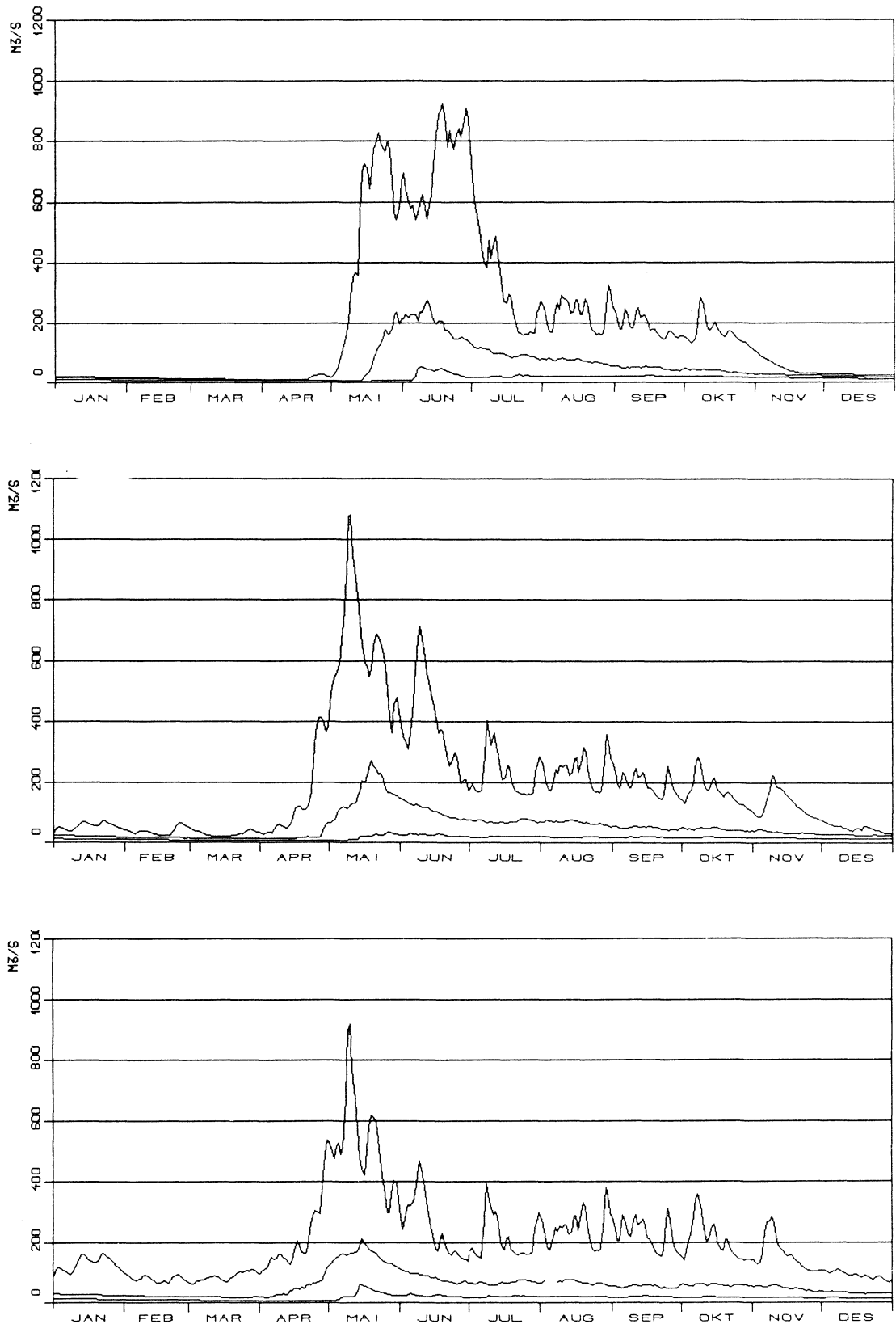


Fig C.4.1-3

Simulerte vannføringer for Masi. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1957 - 1987. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

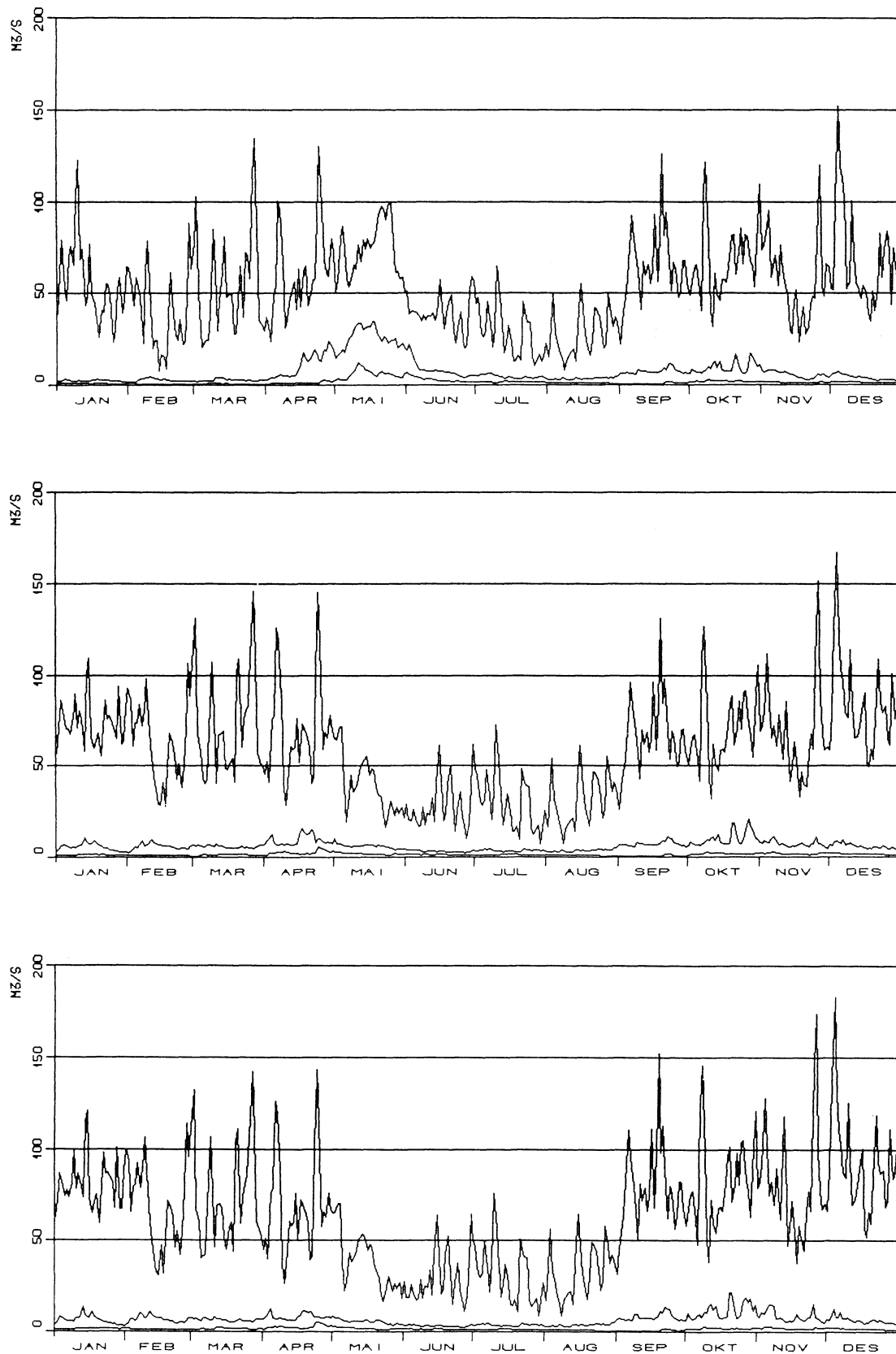


Fig C.5.1-3

Simulerte vannføringer for Øyungen. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1957 - 1988. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

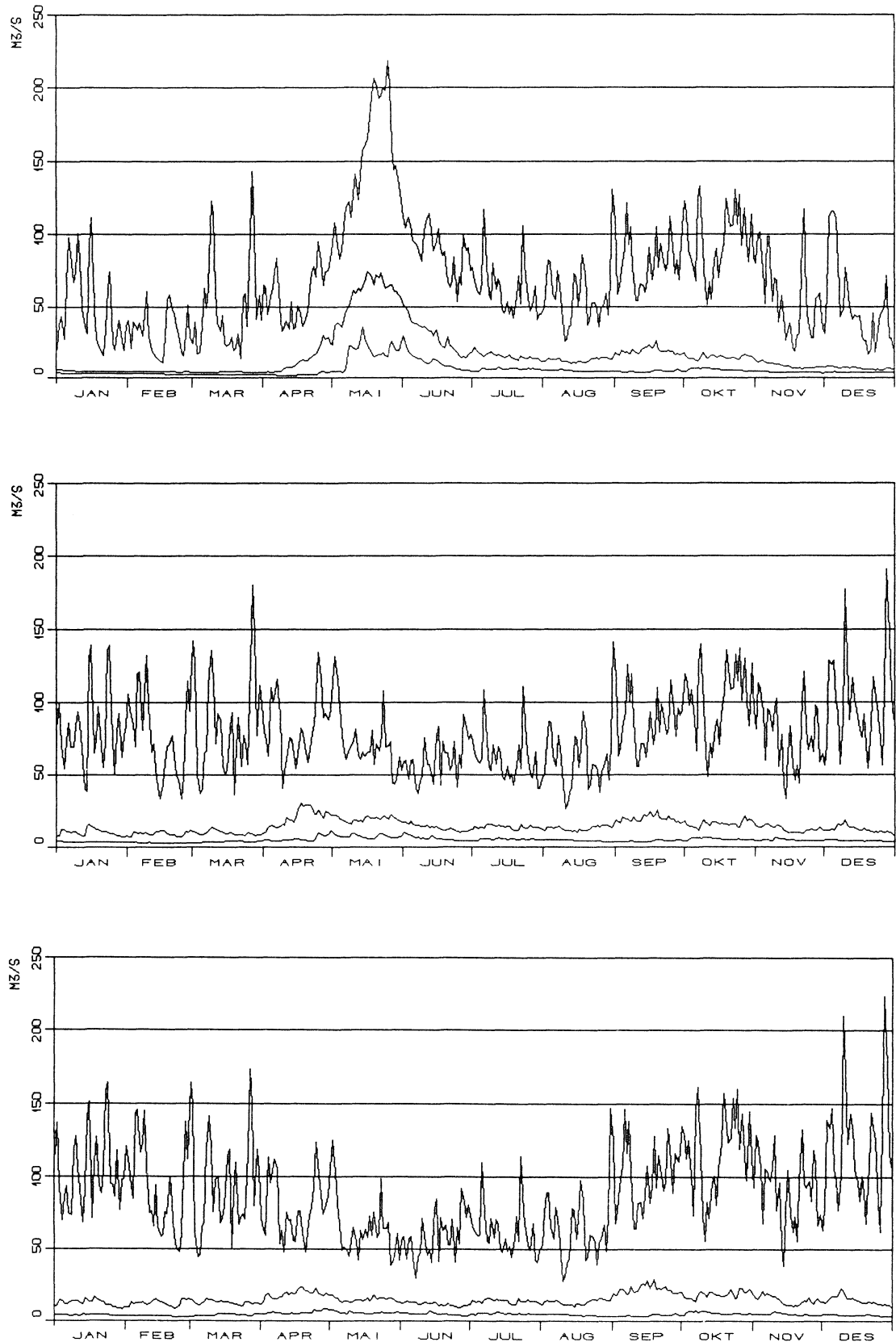


Fig C.6.1-3

Simulerte vannføringer for Høggås bru. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1958 - 1988. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

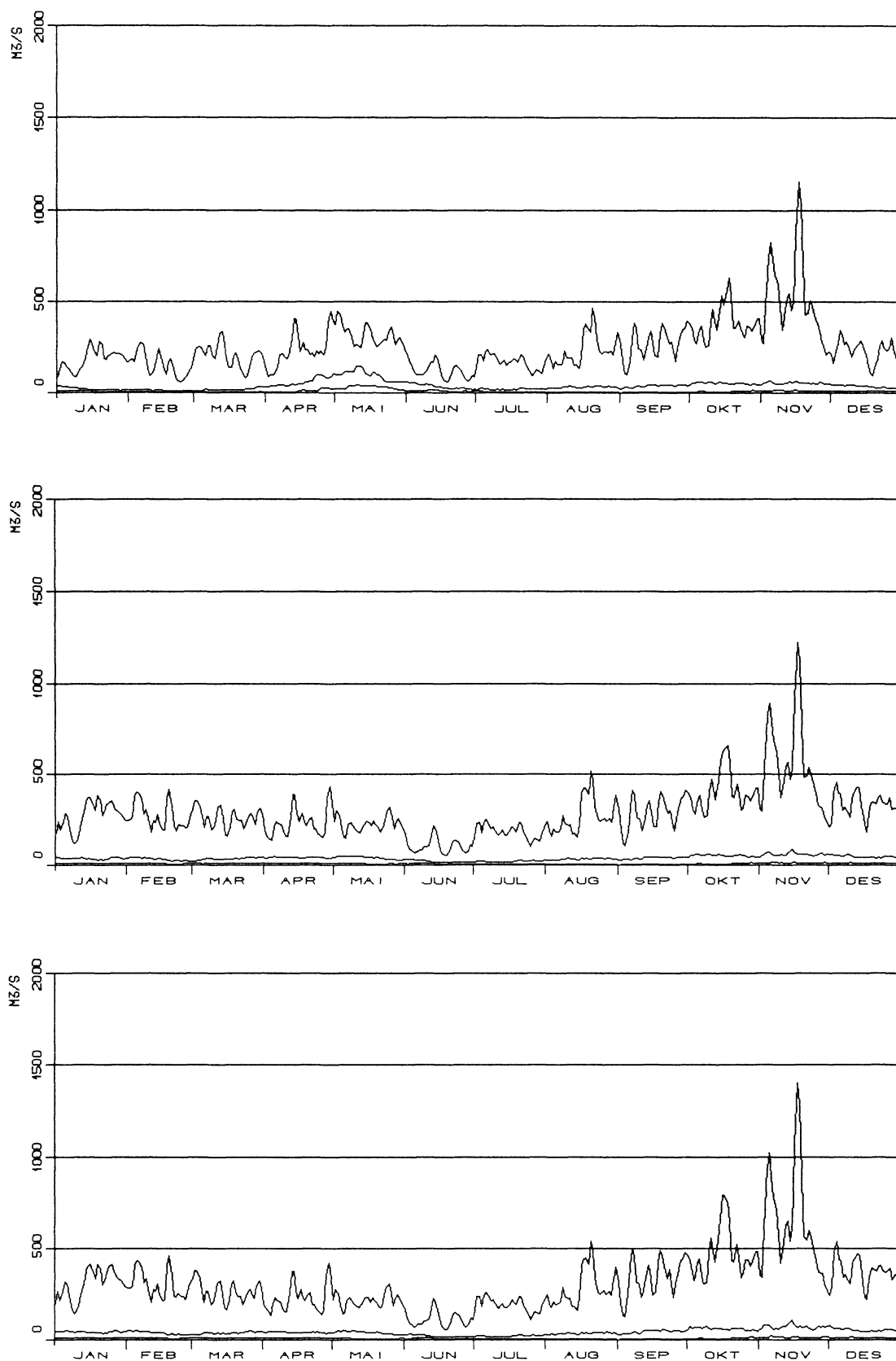


Fig C.7.1-3

Simulerte vannføringer for Flaksvatn. I hvert diagram er høyeste og laveste og median vannføring plottet for hver dag i året for perioden 1957 - 1988. Det øverste diagrammet viser simulert vannføring under nåtidsforhold, det midterste under scenario 1 og det nederste under scenario 2.

Denne serien utgis av NVE-Vassdragsdirektoratet.

Adresse: Postboks 5091 Majorstua 0301 Oslo 3.

I PUBLIKASJONSSERIEN ER UTGITT:

- Nr. V. 1. D. Lundquist, L.-E. Petterson, E. Skofteland, N. R. Sælthun: Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal flom. Retningslinjer. (32 s.) 1986.
- " 2. J. A. Eie, O. Fossheim, Å. Hjelm-Hansen: "Nytt rundskriv 36". Vassdragsreguleringsloven - krav til søknader. (39 s.) 1986.
- " 3. T. Jensen: Hydroelectric Power in Lesotho. (35 s.) 1987.
- " 4. B. Aspen, T. Jensen, H. Stensby: Nyttbar vannkraft pr. 01.01.87. Vannkrafttilgang fram til år 2000. (75 s.) 1987.
- " 5. Bård Andersen: Biological and technical efforts to protect against nature damages and to improve conditions of living in Norway. (6 s.) 1987.
- " 6. Per Einar Faugli (red.): FoU i Jostedøla - seminarrapport. (249 s.) 1987.
- " 7. Ola Kjeldsen (red.): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1984. (70 s.) 1987.
- " 8. Tron Laumann: En dynamisk modell for isbreers bevegelse. (37 s.) 1987.
- " 9. Jon Arne Eie, Bjørn-Thore Amundsen: Biotopjusteringsprosjektet. Status 1987. (21 s.) 1988.
- " 10. J. A. Eie, O. Fossheim, Å. Hjelm-Hansen: Nytt rundskriv 36. Retningslinjer: Konsesjonssøknader vedr. vassdragsreguleringer. (20 s.) 1986-88.
- " 11. K. Wold (red.): Lomenprosjektet. Råkdannelse ved utslipp i innsjøer. (98 s.) 1988.
- " 12. Ø. A. Tilrem, H. A. Viken: Instruks for vannføringsmåling med flygel. (50 s.) 1988.
- " 13. T. Laumann, N. Haakensen, B. Wold: Massebalansemålinger på norske breer 1985, 1986 og 1987. (46 s.) 1988.
- " 14. B. Krokli: Analyse av lavvannføringer. (46 s.) 1988.
- " 15. I. K. Engen: Flommen på Sør- og Østlandet i oktober 1987. (37 s.) 1988.
- " 16. H. Ytterstad (red.): Erfaringer fra flomvarsling 1988. (21 s.) 1988.
- " 17. Per Einar Faugli (red.): FoU-program 1988-1992. (57 s.) 1988.

- " 18. Vidar Nebdal Svendsen: Flomavledning ved dammer. Erfaringer fra oktoberflommen 1987. (24 s.) 1989.
- " 19. V.N. Svendsen, E. Torblaa: Karbonatisering av betong, et problem på norske dammer? (21s.) 1989.
- " 20. V.N. Svendsen, E. Torblaa: Alkali - tilslagreaksjoner i norske betongdammer. (33s.) 1989.
- " 21. B. Jakobsen, T. Herfjord: A case study on optimal water management of small catchments, Aaros river in Norway. (20s.) 1989.
- " 22. S. Homstvedt: Nedbørfelt i vassdragsregisteret. (13s.) 1989.
- " 23. M. Flood, T. Jensen, H. Stensby, S. Norbom, J. Slapgård: Mulig vannkrafttilgang fram til år 2005. (77s.) 1989.
- " 24. S. Homstvedt (red): Vassdragsregisterets kartbok (137s.) 1990.
- " 25. B. Jakobsen, T. Herfjord: Vannbruksplan for Årosvassdraget. (42s.) 1990.
- " 26. P. E. Faugli: Vassdragsforskning mot år 2000. 1990. (234s)1990.
- " 27. G. Berg, P.E. Faugli (red): Etterundersøkelsesprogrammet-statusrapport. (89s.) 1990.
- " 28. J.A. Eie, J. Brittain: Biotopjusteringsprogrammet-status 1988. (54s)1990.
- " 29. J. Brittain, J.A. Eie: Biotpjusteringsprogrammet-status 1989. (s)1990.
- " 30. N.R. Sælthun, J. Bogen, M.H. Flood, T. Laumann, L.A. Roald, A.M. Tvede, B. Wold: Klimaendringer og vannressurser. (105s)1990.