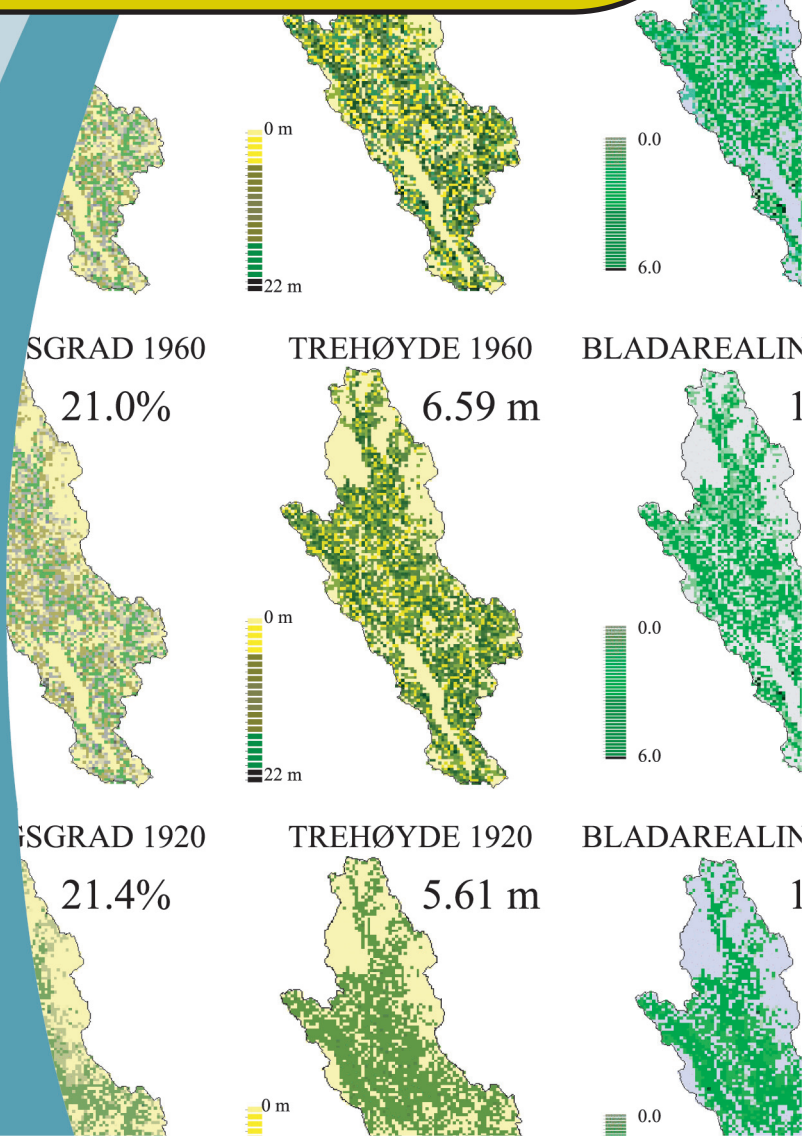




Trond Rinde, Arnor Njøs og Arne Grønlund

Virkingen av arealbruksendringer på avrenningsforhold



HYDRA - et forskningsprogram om flom

HYDRA er et forskningsprogram om flom initiert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i 1995. Programmet har en tidsramme på 3 år, med avslutning medio 1999, og en kostnadsramme på ca. 18 mill. kroner. HYDRA er i hovedsak finansiert av Olje- og energidepartementet.

Arbeidshypotesen til HYDRA er at summen av alle menneskelige påvirkninger i form av arealbruk, reguleringer, forbygningsarbeider m.m. kan ha økt risikoen for flom.

Målgruppen for HYDRA er statlige og kommunale myndigheter, forsikringsbransjen, utdannings- og forskningsinstitusjoner og andre institusjoner. Nedenfor gis en oversikt over fagfelt/tema som blir berørt i HYDRA:

- Naturgrunnlag og arealbruk
- Skaderisikoanalyse
- Tettsteder
- Miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak
- Flomdemping, flomvern og flomhandtering
- Databaser og GIS
- Modellutvikling

Sentrale aktører i HYDRA er; Det norske meteorologiske institutt (DNMI), Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB), Jordforsk, Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges Landbruks-høgskole (NLH), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), SINTEF, Stiftelsen for Naturforskning og Kulturminneforskning (NINA/NIKU) og universitetene i Oslo og Bergen. HYDRA is a research programme on floods initi-

HYDRA - a research programme on floods

ated by the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) in 1995. The programme has a time frame of 3 years, terminating in 1999, and with an economic framework of NOK 18 million. HYDRA is largely financed by the Ministry of Petroleum and Energy.

The working hypothesis for HYDRA is that the sum of all human impacts in the form of land use, regulation, flood protection etc., can have increased the risk of floods.

HYDRA is aimed at state and municipal authorities, insurance companies, educational and research institutions, and other organization.

An overview of the scientific content in HYDRA is:

- Natural resources and land use
- Risk analysis
- Urban areas
- Flood reduction, flood protection and flood management
- Databases and GIS
- Environmental consequences of floods and flood prevention measures
- Modelling

Central institutions in the HYDRA programme are; The Norwegian Meteorological Institute (DNMI), The Glommens and Laagens Water Management Association (GLB), Centre of Soil and Environmental Research (Jordforsk), The Norwegian Geological Survey (NGU), The Agriculture University of Norway (NLH), The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), The Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), The Norwegian Institute of Land Inventory (NIJOS), The Norwegian Institute for Water Research (NIVA), The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology (SINTEF), The Norwegian Institute for Nature and Cultural Heritage Research (NINA/NIKU) and the Universities of Oslo and Bergen.

HYDRA-rapport nr. N05

Virkningen av arealbruksendringer på avrenningsforhold

av

Trond Rinde, SINTEF-BM
Arnor Njøs, Jordforsk
Arne Grønlund, Jordforsk

Forord

Forskningsprosjektet HYDRA har hatt som mål å undersøke hvorvidt menneskelige inngrep har ført til endringer i avrennings- og flomforhold i norske vassdrag. En av problemstillingene i dette arbeidet har vært å studere potensielle effekter av endringer i naturgrunnlag og arealbruk på vannføringen i elver. Dette har vært ansvarsområdet til N-gruppen innen HYDRA-prosjektet. Studien av disse effektene ble organisert i fem delprosjekter:

1. Studier i små nedbørfelt. Målsetningen her var å kartlegge hvilken betydning grunnforhold og arealbruk har for lagringsevne, oppholdstid, vannforbruk, og generering av tilsig til vassdrag.
2. Studier i større nedbørfelt. Her skulle man framskaffe data over grunnforhold og eksisterende arealbruk i Glommas nedbørfelt.
3. Kartlegging av tidligere arealbruk. Målsetningen her var å kartlegge endringer i arealbruk i Glommas nedbørfelt over de siste 200-300 år.
4. Hydrologisk modellering. Her skulle man utvikle og teste hydrologiske modeller i de utvalgte nedbørfelt og foreta beregninger av avrenning som funksjon av grunnforhold, vegetasjon, topografi, arealbruk, og meteorologi.
5. Kartlegging av de naturlige magasineringsområders flomdempende eller flomdrivende effekt i flomutsatte vassdrag.

N-gruppen har hatt følgende sammensetning:

Arne Grønlund, Jordforsk, prosjektleder
Noralf Rye, Geologisk Institutt, Universitetet i Bergen
Søren Elkjær Kristensen, NVE
Steinar Myrabø, Jordforsk
Lars Andreas Roald, NVE
Trond Rinde, SINTEF
Bjørn Follestad, NGU
Stein Tomter, NIJOS
Jon Arne Eie, GLB
Torodd Hauger, Fylkesmannen i Østfold

Trondheim, mars 2000

Trond Rinde

Innhold

	Side
Sammendrag	4
Summary	5
1. Innledning.....	6
1.1 Formål.....	6
1.2 Bakgrunn	6
2. Teoretiske virkninger av arealbruk på avrenning.....	7
3. Metoder for å studere sammenheng mellom arealbruk og avløp	8
4. Tidligere forskning på arealbruks innvirkning på avløp	9
5. Metodikk brukt i dette prosjektet.....	10
5.1 Landpine-modellen	10
5.2 Simuleringsstrategi.....	11
6. Datagrunnlag.....	13
6.1 Hydrometeorologiske grunnlagsdata	13
6.2 Geografiske grunnlagsdata	15
6.3 Aktuelle arealbruksendringer.....	15
7. Simuleringer	20
7.1 Kalibrering til små nedbørfelt	20
7.2 Kalibreringsresultater i store nedbørfelt	23
7.3 Simulerte effekter av avskoging.....	26
7.3.1 Virkninger i små nedbørfelt	26
7.3.2 Virkninger i store nedbørfelt	27
8. Diskusjoner og konklusjoner	32
Referanser	34
Tidligere utgitt i HYDRA-serien	36

Sammendrag

Denne rapporten beskriver hydrologiske simuleringer som er utført for å analysere hvordan endringer i arealbruk har innvirket på avrennings- og flomforhold i norske nedbørfelt. Endret skogtilstand har blitt ansett som den viktigste arealbruksendringen i så måte, og har derfor blitt mest vektlagt i studien.

Den hydrologiske modellen LANDPINE (Rinde, 1999) ble først kalibrert til fire små nedbørfelt som hver hadde relativt ensartede arealbruksforhold. Hypotetiske skogendringer ble så lagt inn og nye hydrologiske responser beregnet. Man fant da at avskogning fører til fremskynnet og mer intens snøsmelting om våren, og redusert transpirasjon om sommeren. En overgang fra 100% til 0% skog ga en reduksjon i evapotranspirasjon og en tilhørende økning i total avrenning på mellom 150 og 200 mm per år. Maksimalvannføringene under flom ble i gjennomsnitt økt med 58%.

Manglende datagrunnlag forhindret imidlertid verifikasjon av disse resultatene mot faktiske observasjoner. Modellen ble derfor også tilpasset til to store nedbørfelt hvor man hadde lange serier med hydrometeorologiske observasjoner, og hvor man hadde mulighet til å rekonstruere data for arealbruk langt tilbake i tid. Tre tidsperioder, som man antok hadde de største forskjellene i skogtilstand, ble valgt ut og brukt som felles grunnlag for kalibrering av LANDPINE-modellen. Dette ga best mulig verifikasjon på modellens evne til å gjengi hydrologisk respons fra nedbørfelta under forskjellige vegetasjonsforhold. Tidsperiodene som ble brukt var 1920-1930, 1960-1970, og 1985-1995. Overgang til mer moderne driftsformer innen skogbruket hadde her gitt store økninger i tømmertilvekst periodene imellom.

Skogendringenes innvirkning på avrenningsforholda ble så analysert ved at avrenningen i periodene 1960-1970 og 1985-1995 ble simulert, først for aktuell skogtilstand, og deretter for skogtilstanden fra 1920. Forskjellen i simulert avrenning mellom de to vegetasjonstilstandene ble antatt og skyldes endringene i skogforhold siden 1920.

På tross av økningen i tømmertilvekst mellom de tre periodene viste rekonstruksjonen av skogtilstandene svært liten utvikling i midlere kronedekningsgrad, trehøyde, og bladarealindeks periodene imellom. Disse verdiene utgjør vegetasjonsparametrene som brukes i de hydrologiske beregningene. Simulert avrenning i periodene 1960-1970 og 1985-1995 fikk av denne grunn også helt ubetydelige endringer når aktuell skogtilstand ble byttet ut med skogtilstanden fra 1920. Dette gjaldt både med hensyn til avrenningsvolum og med hensyn til størrelsen på flomtoppene. Konklusjonen av simuleringsstudien er derfor at skogendringene siden 1920 ikke har medført merkbare endringer i avrenningsforhold eller flomrisiko i de to store nedbørfelta. Dette på tross av at begge feltene har høy skogprosent og således skulle bli sterkt påvirket av endringer som måtte ha skjedd. Glommafeltet som helhet, med en skogandel på bare 37%, bør følgelig ha blitt enda mindre påvirket og således heller ikke fått endrede avrennings- og flomforhold. Simuleringsresultatene fra de små nedbørfelta tilsier imidlertid at avskogning kan gi relativt sterk forsterkning i avrenning og flom lokalt, i felt hvor store andeler av arealene blir direkte berørt. Endringene er dog midlertidige, siden gjenplantning eller naturlig foryngelse gradvis vil reetablere ny skog.

Summary

This report describes a research project where hydrological simulations have been used to study the effects of changed land-use on runoff from catchments in Norway. Changes in forest conditions were regarded as most crucial with respect to influence on runoff, and have therefore been most emphasized in the study.

A hydrological model, LANDPINE (Rinde, 1999), was first calibrated to four small catchments of relatively homogeneous land-use characteristics. Hypothetical changes in forest conditions were then introduced, and hydrological responses were re-simulated. It was found that deforestation gives rise to earlier and more intense snowmelt during spring and reduced transpiration during summer. A shift from full to zero forestation reduced evapotranspiration, and increased runoff, by 150 to 200 mm per year. Maximum discharges during floods were increased by an average of 58%.

Insufficiency in simulation data prevented verification of these results against actual observations. The model was therefore also calibrated to two larger catchments where hydrometeorological data had been recorded over a long period, and where land-use data existed that allowed reconstruction of forest situations back in time. Three time periods, with the presumed biggest differences in forest status, were selected and used as a common basis for the model calibration. This gave the best possible verification of the model's ability to simulate hydrological responses under different vegetation conditions. The periods used were 1920-1930, 1960-1970, and 1985-1995. Transition to more modern management practices resulted in large increases in timber production over these years. The effects of the change of forest management were analyzed by first simulating runoff for the periods 1960-1970 and 1985-1995 using the actual

forest conditions, and then by using the forest condition of 1920. The differences in simulated runoff between these situations were then taken as the effect of the forest changes that had occurred after 1920.

Despite the large increase in timber production between the three selected periods, the reconstruction of the forest situations showed that very little development had occurred in the average values for canopy cover, tree height, and leaf area index. These constitute the vegetation parameters involved in the hydrological calculations. Simulated runoff in the periods 1960-1970 and 1985-1995 consequently showed no significant changes as the actual forest situations were switched with the situation from 1920. This applied both to runoff volume and to the magnitude of flood events. The conclusion of the simulation study is therefore that changes in forest conditions in the two catchments have not occasioned notable changes in runoff conditions or flood risks since 1920. This is in spite of the fact that the two catchments have large forest portions and thus should be strongly affected by any changes that may have happened. For the Glomma catchment as a whole, with only 37% of the area under forest, the influence must have been even less. No noteworthy changes in runoff volumes or in flood magnitudes or frequency are likely to have happened due to changed vegetation conditions throughout the last 80 years. However, the simulation results in the small catchments indicate that deforestation can cause relatively large increases in runoff and flood magnitudes locally, in catchments where large area portions are directly affected by the forest removal. The increases are temporary, however, since replanting and natural re-growth of trees after deforestation gradually will reestablish forest.

1. Innledning

1.1 Formål

Målsetningen med simuleringene som er beskrevet i denne rapporten har vært å kvantifisere hvor stor betydning endringer i arealbruk har på avrenningsforholda i nedbørfelt. En hydrologisk modell har blitt utviklet spesielt for formålet, og brukt til å simulere avrenningen fra nedbørfelt med forskjellige arealbruksforhold. Basert på simuleringresultatene har så slutninger om arealbrukens, og da spesielt skogtilstandens, betydning for avrenningsmønsteret blitt trukket.

1.2 Bakgrunn

Identifikasjon og kvantifisering av konsekvenser av menneskelige inngrep i naturlige systemer er oppgaver som blir tillagt stadig større betydning i vårt samfunn. Flere ekstreme flomhendelser rundt om i verden de siste år har aktualisert spørsmålet om hvorvidt konstruksjonsmessige tiltak eller endret arealbruk påvirker flomforholda i vassdrag. Som eksempel kan nevnes at Worldwatch Institute i 1998 hevdet at storflommen i Yangtse var vesentlig forsterket på grunn av avskoging som hadde skjedd i nedbørfeltet (Brown and Halweil, 1998). Lignende påstander ble også presentert om effektene av arealbruksendringer, forbygninger, og kanaliseringer etter flommene i Rhinen i 1993 og 1995, og i Oder i 1997. Storflommen i Glomma våren 1995 satte spørsmåla på dagsordenen her hjemme.

Forskningsprosjektet HYDRA ble igangsatt i 1996 med målsetning å granske hvorvidt menneskelige inngrep har endret avrenningsforhold og flomrisiko i norske vassdrag. De menneskelige inngrepene som ble definert som viktigst å studere i så måte var: (1) vassdragsreguleringer, (2) arealbruksendringer som følge landbruk og skogbruk, (3) urbanisering, og (4) etablering av flomverk og konstruksjonsmessige tiltak i vassdragene. Glommavassdraget ble valgt som studiemråde. Innen HYDRA prosjektet ble en egen faggruppe, N-gruppa, nedsatt til å jobbe med effektene av endringer i naturgrunnlag og arealbruk. De arealbruksendringene som ble identifisert som mest relevante med hensyn til innvirkning på avrenningsforhold var endringer i skogtilstand og oppdyrka areal, samt drenering og kanalisering av våtmarksområder. Urbanisering ble studert av en annen gruppe i HYDRA-prosjektet og derfor utelatt her. Manglende data- og modellgrunnlag nødvendiggjorde i tillegg at virkningene av drenering og kanalisering av våtmarksområder måtte studert kvalitativt. For endringer i skogtilstand og landbruksoppdyrking valgte man imidlertid å basere studien på beregninger ved hjelp av hydrologiske modeller. Resultatene av dette arbeidet er beskrevet nedenfor.

2. Teoretiske virkninger av arealbruk på avrenning

Å påvise sammenhenger mellom endringer i arealbruks- og vegetasjonsforhold og avrenning fra nedbørfelt er ofte svært vanskelig. Dette skyldes generelt at de enkelte arealbruks- og vegetasjonsendringer som regel berører så små andeler av de totale feltareal at virkningen på avrenningen fra feltet som helhet blir liten. Det er således vanskelig å skille effektene fra virkningene av klimatiske variasjoner og andre påvirkningsfaktorer. Det teoretiske grunnlag for sammenheng mellom arealbruks- og vegetasjonsforhold og avrenning er imidlertid klart. Vegetasjonens betydning for intersepsjon, evapotranspirasjon, og opptrekk av vann fra rotsonen er forlenget dokumentert. Det samme er at avskoging, oppdyrking, og andre arealbruksinngrep, kan påvirke infiltrasjonsevne og generering av overflateavrenning i nedbørfelt, og derigjennom innvirke på feltets reaksjon og responstid. At endring i arealbruk og vegetasjonsforhold påvirker avrenningsforhold er det således liten tvil om. Problemet ligger i å fastslå hvor mye.

Hovedmekanismene som antas å ligge bak vegetasjonsendringers innvirkning på avrenning er at:

1. Fjerning av vegetasjon reduserer landoverflatas infiltrasjonskapasitet og gir dermed økt overflateavrenning og sterkere flomgenerering.
2. Fjerning av vegetasjon kan gi lavere løsmasseporøsitet og dermed redusere jordsmonnets evne til å oppta vann og dempe flom.
3. Fjerning av vegetasjon gir redusert fordampning og transpirasjon og frigjør således en større andel av nedbøren til avrenning.
4. Fjerning av vegetasjon forsterker innstråling og gir dermed økt intensitet i snøsmelting med påfølgende forsterkning og framskynding av vårflom.

I tillegg blir avskoging gjerne knyttet til økt erosjon, med påfølgende forsterket sedimentering i elveløp og raskere oversvømmelse under flom. For norske forhold gjelder dette imidlertid bare delvis. Hogstavfall og bunnvegetasjon beskytter landoverflata relativt bra mot erosjon sjøl når skogen fjernes. Imidlertid kan erosjonsøkning følge av at markoverflata kjøres opp og ødelegges av hogstmaskiner, eller av veibygging, markberedning, grøfting, o.l. som ofte blir gjort i sammenheng med skogavvirkning. Erosjonseffekten skyldes da imidlertid andre forhold enn sjølve fjerningen av biomasse.

Sjøl om mekanismene som er beskrevet over alle er høyst reelle og kan begrunnes ut i fra kunnskaper om hydrologiske systemers virkemåte, er store usikkerhet knyttet til de kvantitative aspektene involvert. I Norge blir hogst normalt umiddelbart fulgt opp av skogplanting. Veibygging og grøfting av vassjuk mark kan i noen tilfeller også bli utført etter hogst. Etterfølges hogsten av oppdyrking, vil stubber og røtter bli fjernet og arealene ofte grøftet, før pløying, harving og tilsåing med grass eller korn. I ravineområder kan arealene bli planert før grøfting. Dette er tiltak som alle virker inn på avrenningen, men som er vanskelig å ta inn i en kvantitativ systembeskrivelse. Det er derfor vanskelig å verifisere kvantitative beregninger av arealbruksendringers innvirkning på avrenning i større felt, hvor mange inngrep kan opptre samtidig og hvor endringene gjerne skjer over lang tid. I små felt er dette imidlertid enklere. De fleste studier som har blitt gjennomført på temaet har derfor blitt gjennomført i små nedbørfelt.

3. Metoder for å studere sammenheng mellom arealbruk og avløp

Framgangsmåtene for å analysere virkningene av endringer i arealbruk og vegetasjon på avrenning fra nedbørfelt kan generelt klassifiseres som:

1. Enkeltfeltsstudier
2. Flerfeltsstudier
3. Referansefeltsstudier
4. Verifiserte og uverifiserte modellstudier

I enkeltfeltsstudier observeres avløp i et felt i en periode før og etter en arealbruksendring. Ut ifra observert forandring i avløpsvolum og flomstørrelser trekkes så slutninger om arealbruksendringens innvirkning på avløpsmønsteret. I flerfeltsstudier sammenlignes avrenningsvolum og flomstørrelser i et antall nærliggende felt med karakteristiske arealbrukstilstander, over en felles tidsperiode. Av ulikhetene i feltas arealbruk og i respons på et felles sett med nedbørhendelser, avledes så kunnskap om arealbrukens betydning for avløpet. I referansefeltsstudier etableres regresjoner mellom avløpet i ett felt og avløpet i ett eller flere referansefelt, i periodene før og etter en arealbruksendring gjennomføres i det første feltet. Ut ifra hvordan regresjonen forandres når arealbruken i det studiefeltet endres, finnes så en sammenheng mellom forandring i arealbruk og avløpsmønsteret.

Vanskeligheten med enkeltfeltsstudier er at man ikke kan vite sikkert om de observerte endringene i avløp er forårsaket av arealbruksinngrep alene, eller om de også kan skyldes forskjell i klimatisk påtrykk i periodene før og etter inngrepene ble gjennomført. Denne usikkerheten kan imidlertid elimineres i flerfeltsstudier, forutsatt at feltene ligger så nær hverandre at klimaforholdene kan anses som like. Vanskeligheten med flerfeltsstudier er imidlertid at arealbruken neppe er det eneste som skiller feltene fra hverandre. Det er lett å tenke seg at ulikheter i feltareal, innsjøandel, topografi, og løsmasseforhold kan avstedkomme like store forskjeller i flomrespons som ulikhetene i arealbruk. I referansefeltsstudier kan også denne usikkerheten elimineres, siden de øvrige fysiografiske forhold da vil innvirke likt i periodene før og etter en arealbruksendring gjennomføres. Dette må derfor anses som den beste måten for direkte å studere virkningene av arealbruksendringer på. Samtidig er det den måten som er vanskeligst å gjennomføre i praksis, siden flatehogster, nydyrking, og andre arealbruksinngrep sjelden blir annonsert lenge nok i forveien til at man får tilstrekkelig målinger i "før-situasjonen".

For de tre metodene over gjelder i tillegg at dersom årsaks virkningsmekanismene skal tre klart fram må arealbruksendringene man analyserer virkningene av

omfatte relativt store andeler av studiefelta, og de må skje over relativt kort tid. Dette begrenser i praksis størrelsen på feltene som kan studeres. I tillegg vil alltid resultatene man kommer fram til være spesifikke for de feltene som er studert, og kun gyldige for klimaforhold tilsvarende det som har vært i periodene hvor studiene har pågått. For studier i store felt, som gjennomgående er karakterisert av sammensatt arealbruk og gradvise endringer, og for studier som tar sikte på å framskaffe generelle resultater, er man derfor i realiteten henvist til bruk av hydrologiske modeller. Avrenning fra nedbørfelt simuleres da ved hjelp av hydrologiske modeller, og ulike arealbrukssituasjoner representeres ved ulike verdier i modellens inngangsparametere. En avskoget tilstand kan f.eks. representeres ved at parametere for intersepsjons- og transpirasjonskapasitet settes lavere enn for en skogdekket tilstand. Sammenhengen mellom arealbruk og avrenning ligger dermed implisitt i modellen, og virkningene av arealbruksendringer kan kvantifiseres som differansen mellom simulert avrenning med ulike parametersett.

Fordelene med denne typen studier er at de i større grad kvantifiserer og redegjør for hvordan dynamikken i det hydrologiske systemet endrer seg når feltegenskaper endres. Dessuten brukes klimatisk påtrykk som utgangspunkt for beregningene, noe som gjør at virkningene av klimatiske fluktasjoner kan tas hensyn til samtidig som effektene av arealbruksendringer studeres. Man oppnår således mer generelle og overførbare resultater. Imidlertid er usikkerheter knyttet til kvaliteten på modellenes inngangsdata, og til modellenes evne til å representere feltegenskaper og til å gjengi hydrologiske prosesser nøyaktig nok. Dertil kommer at det for enkelte modeller kan være vanskelig å fastslå hvilke endringer i parameterverdier ulike arealbruksendringer skal avstedkomme. Særlig gjelder dette for modeller med parametere som har uklar fysisk begrunnelse og som gjøres gjeldende for store arealer. Studier av arealbrukseffekter ved hjelp av hydrologiske modeller krever derfor modeller som har mest mulig eksplisitt og fysisk korrekt representasjon av de feltegenskapene som kan påvirkes av arealbruksendringene.

I den grad parametrene i en hydrologisk modell fastsettes ut ifra målte feltegenskaper eller ved kalibrering mot observerte feltresponser, kalles hydrologisk modellstudier for verifiserte. Har ikke parameterverdiene knytning til målte egenskaper eller observerte responser er studiene uverifiserte, og således mer egnet til å indikere generelle virkninger og mekanismer, enn til å gi kvantitative estimater av virkningenes utslag i konkrete tilfeller.

4. Tidligere forskning på arealbruks innvirkning på avløp

Sammenhengen mellom skogtilstand og avløpshydrologi har lenge vært gjenstand for forskning. McCulloch og Robinson (1993) refererer studier i USA allerede fra 1911, Forster og Keller (1988) studier i Sveits fra 1919, og Kihlberg (1958) studier i Sverige fra 1920. Imidlertid er det i den nyere tid hovedtyngden av forskningen på dette området har blitt gjort. Dette illustreres ved det enorme antall publikasjoner som er utgitt om emnet i løpet av de siste par tiår. Relevante studier som her kan nevnes inkluderer blant annet Krecek og Zeleny (1980) fra Tsjekkoslovakia, Mita (1980) fra Romania, Burt og Swank (1992), Grant and Jones (1995), Meng et al. (1995) Ponce (1983), Stednick (1996), Storck et al. (1998), samt Rosencrantz et al. (1998) fra Canada og USA, og Eeeles et al. (1993), Gustard et al. (1993), samt Dunn og Mackay (1995) fra England. Fagbøker om emnet er blant annet utgitt av Lee (1980) og Hewlett (1982), mens review-artikler har blitt publisert av Bonell (1993), Bosch og Hewlett (1982), McCulloch og Robinson (1993), Molchanov (1960), og av Hibbert (1967).

Få publikasjoner er imidlertid funnet som beskriver slike studier i Skandinavia. Det beste arbeidet på skogs betydning for avrenning i Norge er antagelig Haveraaens arbeid fra 1981 (Haveraaen, 1981). Avrenning ble her målt over en periode på fem år for to skogdekte felt på Østlandet, der det ene ble snauhogd 70% midtveis i perioden. Snauhogsten ga en umiddelbar økning i avrenningen på 30% i forhold til referansefeltet. Dette tilsvarte 200-250 mm per år av en observert nedbør på ca. 1000 mm per år. Imidlertid var feltene små (0.98 og 0.76 km²) og ensartede. Resultatene kan derfor ikke lett overføres til større felt med mer sammensatt arealbruk

I Sverige ble en lignende studie basert på bruk av en hydrologisk modell utført av Brandt et. al. i (1988). Avrenningen fra tre små nedbørfelt (0.16 – 1.5 km²) ble her målt før og etter at omfattende flatehogst (70% til 100%) ble gjennomført. I alle felte ble en hydrologisk modell, PULSE-modellen (Bergstrøm et al., 1984), kalibrert både til før- og ettersituasjonen. Karakteristiske forskjeller ble funnet i de kalibrerte parameterverdiene for periodene før og etter flatehogstene. Virkningene av avskogningene ble så studert ved å sammenligne det simulerte avløpet med bruk av parameterverdiene fra før-, og etterperiodene. Forskjellene som ble funnet tilsa en økning i avrenningsvolum som følge av snauhogst varierende fra 165 til 200 mm per år. Normal årsnedbør i området var ca. 750 mm. De karakteristiske parameter-setta ble så brukt til å simulere effekten av en hypotetisk delvis avskoging (10%) i et felt på 164 km². Man fant da, foruten en marginal økning i avrenningsvolumet og i sommer og høstflommene, en relativt markert økning i vårflommene på opptil 10%. Årsaken var en forsterket og framskyndet snøsmelting i det avskogede området. Sterkest ble økningen i vårflommene hvis avskogingen ble gjort i de øverste delene av nedbørfeltet, siden smeltingen der da ble fremskyndet og i sterkere grad sammenfalt med smelting fra lavere områder.

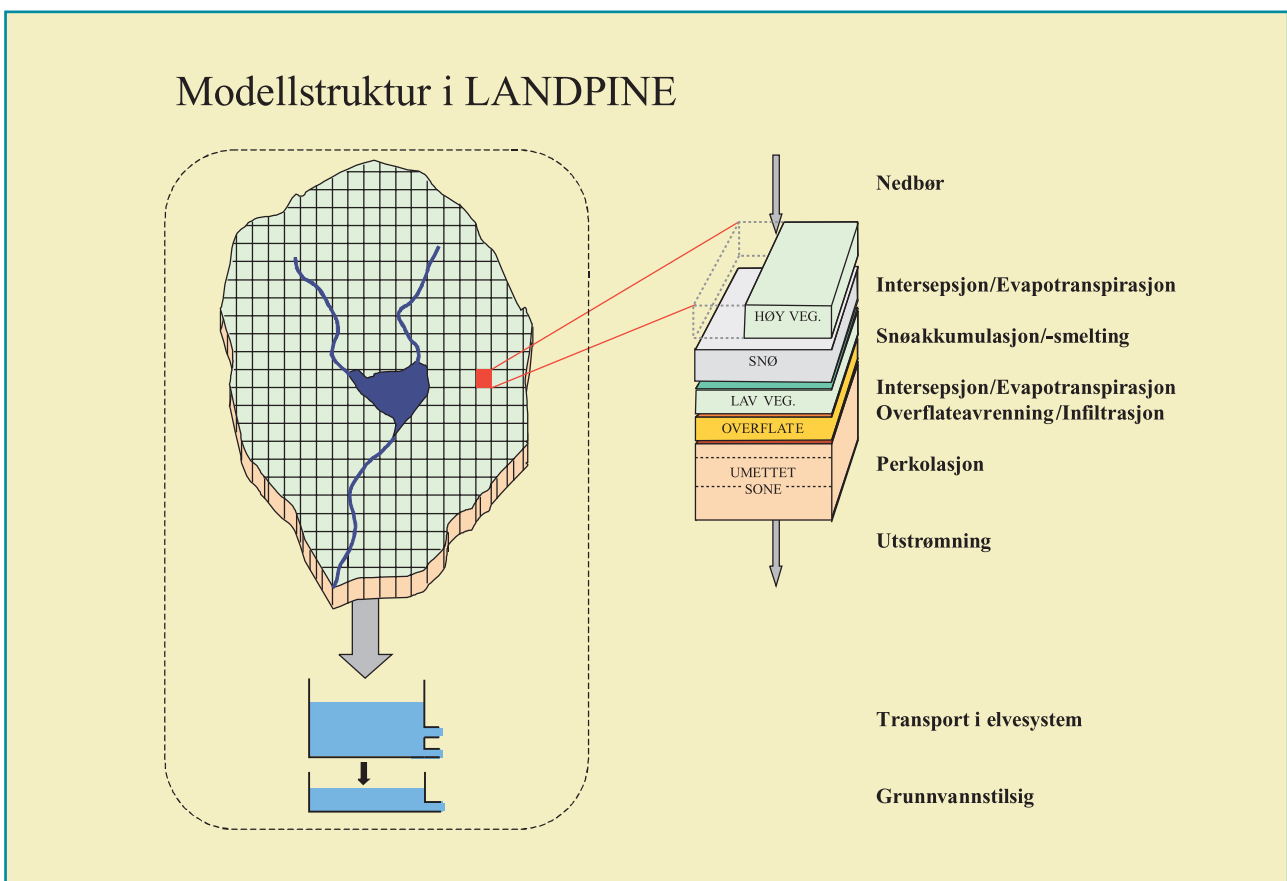
5. Metodikk brukt i dette prosjektet

En av hovedmålsetningene i HYDRA var å utvikle verktøy for konsekvensstudier av menneskelige inngrep i vassdrag. Det ble besluttet å lage dette i form av en modulært oppbygd vassdragsmodell, der delmodeller for ulike vassdragskomponenter kunne integreres i en overordna simuleringsstruktur. Såvel lokale som samlede effekter av alle typer menneskelige inngrep ville dermed kunne beskrives ved å innlemme passende delmodellene i totalmodellen. Som følge av denne strategien valgte man i N-gruppa å studere sammenhengene mellom arealbruk og avrenning ved hjelp av hydrologiske modeller. Kompatibilitetskrav med hensyn til den overordna modellen, samt restriksjoner på hvilke inngangsdata som kunne påregnes, gjorde imidlertid at ingen eksisterende modeller oppfylte N-gruppas behov. En hydrologisk modell, LANDPINE, ble derfor utviklet spesielt for formålet.

5.1 LANDPINE-modellen

LANDPINE er en distribuert hydrologisk modell spesielt utvikla for å kunne simulere effektene av endret arealbruk på avrenningsforhold. Modellen har en distribuert beskrivelse av prosessene som inngår i den vertikale vannbalansen på markoverflata og i rotsonen, og en aggregert beskrivelse av strømming gjennom grunnvannsmagasin og i overflatekanaler. Figur 1 viser den overordna modellstrukturen til LANDPINE. En kort beskrivelse av modellens virkemåte er gitt nedenunder. For en detaljert beskrivelse henvises til (Rinde, 1999).

Arealfordelingen i LANDPINE-modellen er basert på rutenettinndeling av nedbørfeltet. I hver rute beskrives egne hydrologiske responser. Prosessene som beskrives er:



Figur 1 Overordna modellstruktur i LANDPINE.

Figur 1 Overordna modellstruktur i LANDPINE. OBS!!!! Engelske billedtekster.

- nedbør og temperatur fordeling;
- intersepsjon i høy og lav vegetasjon samt lagring i gropmagasin på overflata;
- akkumulasjon og smelting av snø;
- infiltrasjon og generering av overflateavrenning;
- lagring i, og avrenning fra markvannssonen; og
- fordampning av fritt vann og transpirasjon via vegetasjon.

Modellen trenger tidsserier for nedbør og temperatur som inngangsdata. Helst bør data fra flere målestasjoner brukes. I tillegg kan data for vindhastighet benyttes hvis slike er tilgjengelige. Nedbør- og temperaturverdiene blir først korrigert for systematiske feil før de inngår i en arealinterpolasjon som gir nedbør- og temperaturfordelingen over feltet. De interpolerte verdiene brukes så i beregningen av hydrologiske responser i de enkelte gridrutene. Modellstrukturen som brukes for å representere prosessene i hver gridrute er vist i Figur 2. Nedbør som faller på skog går først med til å fylle opp et intersepsjonsmagasin i høy vegetasjon. Størrelsen på dette magasinet avhenger av skogens type, tilstand, og dekningsgrad. Når magasinet er fullt, passerer ytterligere nedbør ned til markoverflata der den akkumuleres som snø hvis temperaturen er lav nok. En lineær fordeling kan her brukes til å representere skjevfordeling i snøakkumulasjon over terrenget. Snøsmelting regnes proporsjonal med lufttemperaturen over en viss terskelverdi. Ligninga som brukes er $SNWMLT = CMLT \cdot (temp - TX)$. $SNWMLT$ er her den beregnede smeltemengden, mens $CMLT$ og TX henholdsvis er smeltekoeffisienten og terskeltemperaturen. $temp$ er aktuell lufttemperatur. For skogdekte arealer brukes en lavere smeltekoeffisient, $CMLT$, enn for åpent lende. Avrenning fra snøpakka skjer først når innholdet av fritt vann overskrider snøens lagringskapasitet. Avrenningen går da, sammen med regn som faller på snøfri mark, med til å fylle opp intersepsjonsmagasinet for lav vegetasjon og gropmagasinet på overflata. Når disse er fylt går overskytende vann til infiltrasjon, eller, hvis infiltrasjonskapasiteten overskrides, til avrenning på overflata. Vann som infiltrerer til rotsonen blir dels lagret som markfuktighet og dels sendt videre til avløp. Andelen som går til avløp avhenger av fyllingsgraden i rotsonen, etter ligninga $RUNOUT = (SM/FC)^{BETA}$. SM er her vanninnholdet i rotsonen, FC den maksimale vannmengden den kan ha, mens $BETA$ er eksponenten som definerer ulineariteten i relasjonen. Ved lav markfuktighet vil mesteparten av infiltrerende vann tilbakeholdes i rotsonen. Ved fuktig tilstand vil mestedelen sendes videre til avløp.

Intersepsjonsmagasina i høy og lav vegetasjon samt gropmagasinet på overflata tømmes via fordampning. Markvannsmagasinet tømmes via transpirasjon fra plantene. Modellen beregner en potensiell evapotranspirasjonskapasitet ut ifra en normalverdi for månedlig potensiell døgnfordampning. Denne korrigeres for aktuell temperatur, vindhastighet, luftfuktighet, og lokale vegetasjonsforhold. Aktuell fordampning fra inter-

sepsjonsmagasina og gropmagasinet skjer med potensiell intensitet så lenge det er vann igjen i disse magasina. Transpirasjonen fra rotsonen skjer med potensiell intensitet så lenge markvannsinholdet ligger over en viss terskel, og ellers med en intensitet som er redusert i forhold til fyllingsgraden i sonen. Samlet fordampning og transpirasjon i et tidsskritt kan ikke overstige den potensielle verdien. Når det er mer vann tilstede i modellen enn det som kan fordampe i et tidsskritt, skjer fordampning først fra høyt intersepsjonsmagasin, deretter fra lavt, så fra gropmagasinet, og til slutt fra markvannsmagasinet i den grad det er evapotranspirasjonskapasitet igjen. Summen av rotsoneavrenning og eventuelt overflateavløp fra alle gridrutene tilføres til slutt den aggregerte responsrutina, se Figur 1, som så beregner fordrøyning og utjamning av vannstrømmen gjennom grunnvannsmagasin og i elver og bekker. Resultatet fra denne responsrutina utgjør det simulerte avløpet for nedbørfeltet.

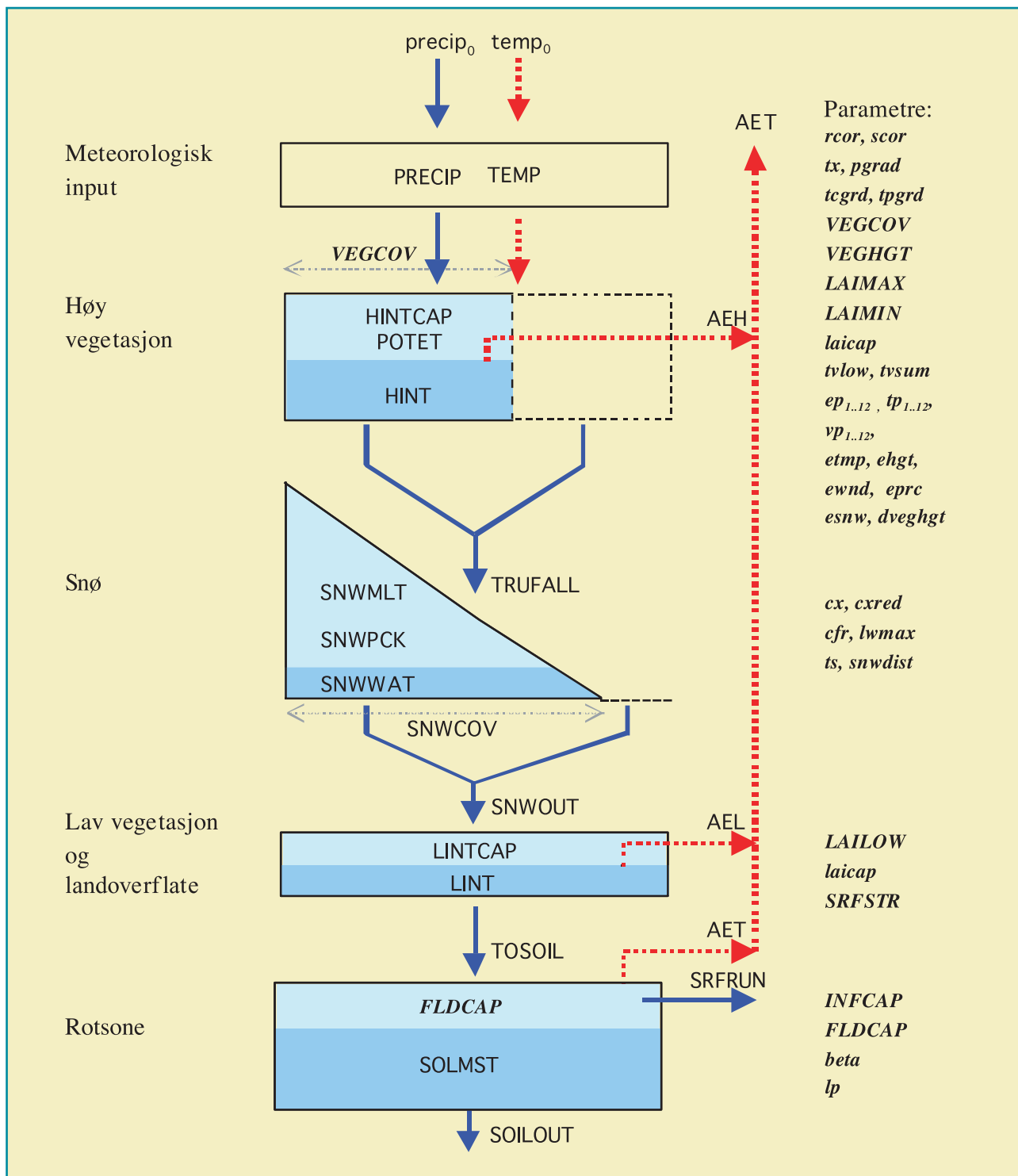
5.2 Simuleringsstrategi

I prosjektet ble LANDPINE modellen først tilpasset til fire små nedbørfelt hvor man hadde hatt løpende registrering av mange hydrometeorologiske variable, og hvor topografi, og vegetasjons- og løsmasseforhold allerede var kartlagt i detalj. Grunnen til at man valgte å modellere i disse felte, sjøl om man her ikke hadde registrerte endringer i arealbruk, var at man samtidig med utviklingen av LANDPINE-modellen også måtte utvikle metodikk for estimering av modellens fordelte inngangsparmetre. Konkret gjaldt dette fordelingene for vegetasjons-, overflate-, og rotsoneparametrene. Ved å ta utgangspunkt i felt som hadde de beste registreringer av disse egenskapene på forhånd, hadde man muligheten til å etablere sammenhenger mellom disse og mer allment tilgjengelige geografiske parametre som topografi, bonitet, skogutbredelse. Dessuten hadde felte hver for seg også relativt homogen arealbruk. Dette ønsket man å utnytte til å teste LANDPINE-modellens evne til å gjengi respons fra felt med ulike arealbruksforhold, og om mulig også til å indikere karakteristiske avrenningsmønstre fra forskjellige arealbrukstyper. Etter at LANDPINE-modellen var tilpasset til de små felte, og hadde demonstrert sin evne til å simulere disses respons, ble modellen brukt til å simulere virkningene av hypotetiske av-, og påskogningsscenarioer i felte. Disse simuleringene ble brukt til å illustrere hvilke innvirkninger skogendringer har på den hydrologiske dynamikken til nedbørfelt, og til å indikere i hvilken størrelsesorden maksimale endringer i vegetasjonsforhold kan påvirke avrenningsforholda.

For så å analysere effektene av de faktiske endringene som har skjedd i skogtilstand innefor HYDRA-prosjektets studieområde, valgte man ut to av Glommas delfelt hvor hydrometeorologiske data forelå fra langt tilbake i tid. LANDPINE-modellens inngangsparmetre ble så rekonstruert for tidspunktene 1920, 1960 og 1990, som man

antok hadde de største forskjellene i skogtilstand. Deretter ble modellen kalibrert, med periodene 1920-30, 1960-70, og 1985-95 som et felles kalibreringsgrunnlag. Man fikk på denne måten en verifikasjon av LANDPINE-modellens evne til å gjengi avrenning fra nedbørfelta under ulike arealbrukssituasjoner, siden kalibreringene ble gjort mot observerte data over perioder med faktiske forskjeller i vegetasjonstilstand. Etter at modellen var

kalibrert ble periodene 1960-70 og 1985-95 simulert på nytt, men nå med vegetasjonstilstanden fra 1920 lagt til grunn. Forskjellen dette ga i simulert avrenning sammenlignet med avrenningen man fikk for de aktuelle skogsituasjonene, ble antatt å skyldes endringene som hadde skjedd i skogtilstand fra 1920 og fram til i dag.



Figur 2 Modellstruktur internt i gridrutene.

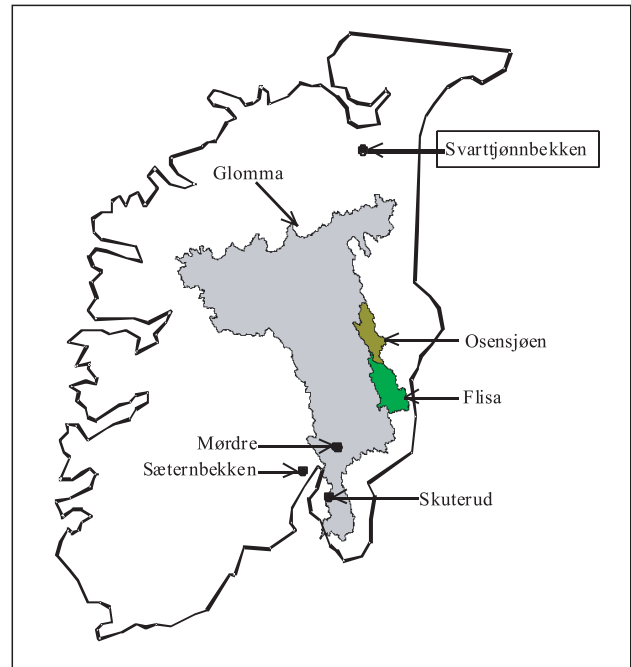
Figur 2 Modellstruktur internt i gridrutene.

6. Datagrunnlag

De små nedbørfelta som ble brukt i studien ut var Svarttjønnbekken i Sør Trøndelag, samt Mørdrefeltet, Sæternbekken, og Skuterudfeltet i Akershus. De to store nedbørfelta var Flisa og Osensjøen i Hedmark. Figur 3 viser beliggenheten til feltene, mens karakteristiske størrelser for nedbørfelta er gitt i Tabell 1.

6.1 Hydrometeorologiske grunnlagsdata

Tabell 2 viser en oversikt over hvilke vannførings-, nedbør-, og temperaturserier som ble brukt i simuleringene. I alle forskningsfeltene fantes registreringer av nedbør og temperatur innenfor feltgrensene. Imidlertid var seriene av og til ufullstendige, slik at det ble mest praktisk å bruke data fra nærmeste ordinære nedbør-, eller temperaturstasjon i stedet. Kun for Svarttjønnbekken var dataene fullstendige nok til at kun verdier fra forskningsfeltet selv ble brukt.



Figur 3 Nedbørfeltas plassering.

Figur 3 Nedbørfeltas plassering.

Tabell 1 Karakteristiske data for småfeltene.

Tabell 1 Karakteristiske data for småfeltene.

Felt	Areal km ²	HOH m	Sjø %	Skog %	Myr %	Dyrka %	Urban %	P _{år} mm	E _{år} mm	O _{år} mm
Svarttjønnbekken	3.4	279 515	3	78	19	-	-	1160	350	945
Mørdre	6.8	130 237	-	28	4	65	3	643	390	335
Skuterud	4.5	91 146		29	2	61	8	785	450	483
Sæternbekken	6.3	102 423	1	86	7	6	-	890	410	460
Flisa	1667	150 790	1.5	73	23	2	0.5	-	-	429
Osensjøen	1178	361 4132	4.3	95.7	-	-	-	-	-	565

Kilder: Alfredsen og Bruland (1992), Harby (1990), Killingtveit (1976), Tveit (1994), Harildstad (1969), og Kaarstad (1971).

Tabell 2 Hydrometeorologiske grunnlagsdata.

Tabell 2 Hydrometeorologiske grunnlagsdata.

AVRENNING			NEDBØR			TEMKPERATUR		
Felt	NVE nr. Hydra II nr	Serie	Stasj.nr.	HOH	Serie	Stasj.nr.	HOH	Serie
Svarttjønn-bekken	21 93-0 123.29.0	1971-dd	Svarttjønn-bekken	279 m	1969-dd	Svarttjønn-bekken	279 m	1969-dd
Mødre	2.40.0	1982-dd	494 Hvam-Tolvhus	159 m	1991-dd	Mødre	175 m	1991-dd
Skuterud	5.08.0	1993-dd	494 Hvam-tolvhus	159 m	1991-dd	Skuterud	92 m	1991-dd
Settem-bekken	1880-0 8.06.0	1971-dd	1948 Dønski	59 m	1970-dd	1948 Dønski	59 m	1970-dd
Flisa - Knapom	410.0 2.142.0	1916-dd	60 Glotvola 5353 Nord-Odal	696 m 147 m	1895-dd 1985-dd	604 Flisa	184 m	1920-30 1960-dd
Osensjøen	410.0 2.142.0	1916-dd	60 Glotvola 5353 Nord-Odal	696 m 147 m	1895-dd 1985-dd	604 Flisa	184 m	1920-30 1960-dd

Tabell 3 Distribuerte inngangsparametre til LANDPINE

Tabell 3 Distribuerte inngangsparametre til LANDPINE

Parameter	Enhet	Beskrivelse
ELEVAT	[moh]	Terrenghøyde
LNDUSE	[-]	Arealbruk
VEGHGT	[m]	Midlere trehøyde
VEGTYP	[-]	Tretype
VEGCOV	[%]	Kronedekningsgrad
LAIMAX	[-]	Maksimal årlig bladarealindeks
LAIMIN	[-]	Minimal årlig bladarealindeks
LAILOW	[-]	Maksimal årlig bladarealindeks for bunnvegetasjon
SRFSTR	[mm]	Gropmagasin på overflata
INFCAP	[mm/d]	Infiltrasjonskapasitet
FLDCAP	[mm]	Maksimal plantetilgjengelig vannmengde i rotsonen

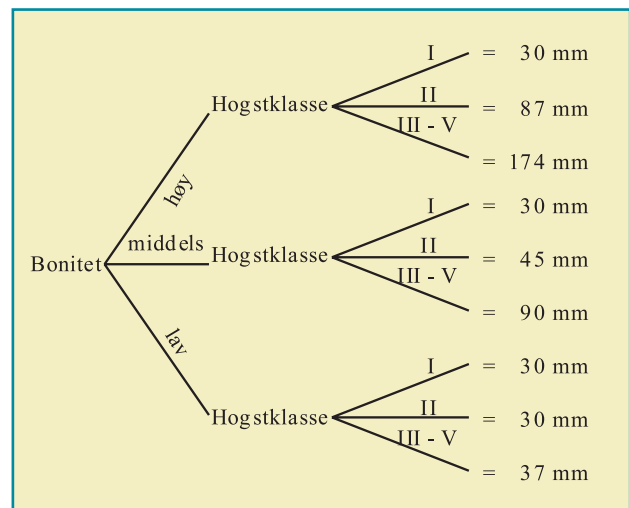
6.2 Geografiske grunnlagsdata

For de små nedbørfelta forelå digitale kart over arealbruk samt høydemodeller med god detaljering. Disse ble aggregert til en felles oppløsning på 50x50 m. Arealfordelte verdier for vegetasjon (treslag, dekningsgrad, og trehøyde) ble så generert ut i fra økonomisk kartverk, skogbestandskart, og flyfotos. I tillegg ble data om grunnforhold innsamlet og digitalisert fra kart over jordsmonn og kvartærgeologi der slike fantes. For de store felta hadde man tilgjengelig digitale kart over terrenghøyde og eksisterende arealbruk. Disse ble aggregert til en felles oppløsning på 500x500 m. Ut i fra grunnlagsdataene ble distribuerte verdier for LANDPINE-parametrene etablert. En oversikt over de angjeldende parametrene er gitt i Tabell 3. Fordelingene til de viktigste er vist i Figur 5 til Figur 8 nedenfor

I de små nedbørfelta ble parametrene ELEVAT, LANDUSE, VEGTYP, VEGCOV, og VEGHGT alle bestemt direkte i fra ekstern informasjon. For de store nedbørfelta måtte parametrene VEGCOV, VEGTYP, og VEGHGT estimeres ut ifra regresjon mellom skogtakseringsdata og fysiografiske parametere. Dette er beskrevet i Grønlund (1999). På grunnlag av publiserte verdier for bladarealindeks (LAI¹) for karakteristiske skogbestand, ble sammenhenger mellom aktuell LAI og VEGTYP og VEGHGT etablert (Grønlund, 1999). Sammenhengene ble så brukt til å beregne parametrene LAIMAX og LAIMIN. Intet materiale forelå som ga grunnlag for å avlede arealfordelte verdier for parametrene LAILOW, SRFSTR, og INFCAP. Karakteristiske verdier ble derfor tilordnet til ulike arealbruksklasser på grunnlag av størrelser oppgitt i litteratur (Chow et al. (1988), Dingman (1993), Grip og Rohde (1985), Thompson et al. (1981), Tveit (1994)). Intet materiale forelå heller som ga grunnlag for estimering av maksimumsverdien for plantetilgjengelig vann i rotsonen, FLDCAP. Denne størrelsen avhenger av både jordart, løsmassemekthet, og rotutvikling, og er således svært vanskelig å måle. En skjønnsmessig sammenheng, vist i Figur 4 nedenfor, ble derfor utarbeidet og brukt til å beregne FLDCAP som funksjon av bonitet, jordart, og vegetasjonstilstand.

6.3 Aktuelle arealbruksendringer

Av arealbruksendringer som har skjedd fra 1920 og fram til i dag ble endringene som har skjedd i vegetasjonsforholda ansett som mest relevant i forhold til avrenning. Arealfordelinger av vegetasjonstype, -høyde, -tetthet, og bladarealindeks ble derfor rekonstruert for periodene 1920-30 og 1960-70, i tillegg til for dagens situasjon. Estimering av de tidligere tiders skogtetthet og høyder ble gjort ved å sammenligne dagens og de tidligere tiders landskogstakseringer. Dette ga et mål på det stående skogvolum i de ulike periodene. Arealfordelingen av treslag og kronedekningsgrad ble

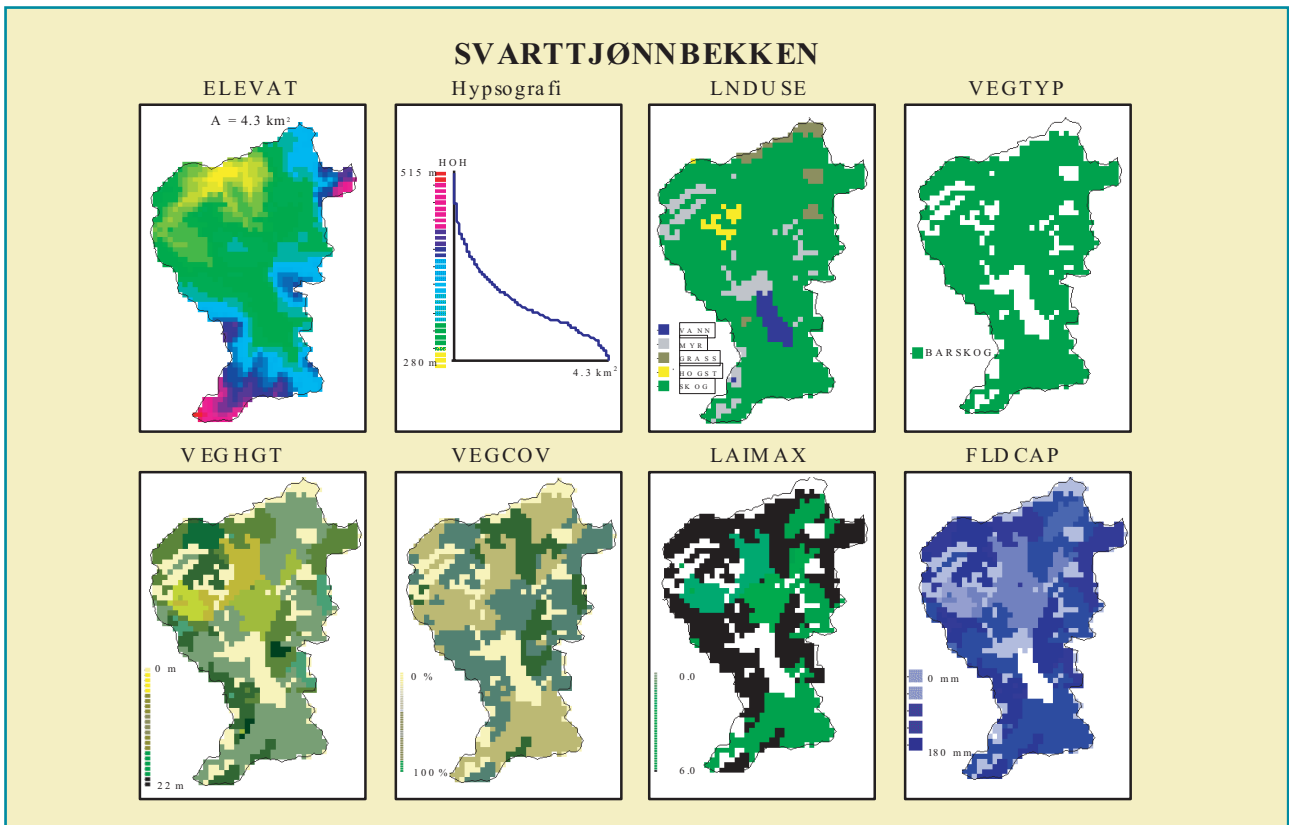


Figur 4 Metode for estimering av FLDCAP.

Figur 4 Metode for estimering av FLDCAP.

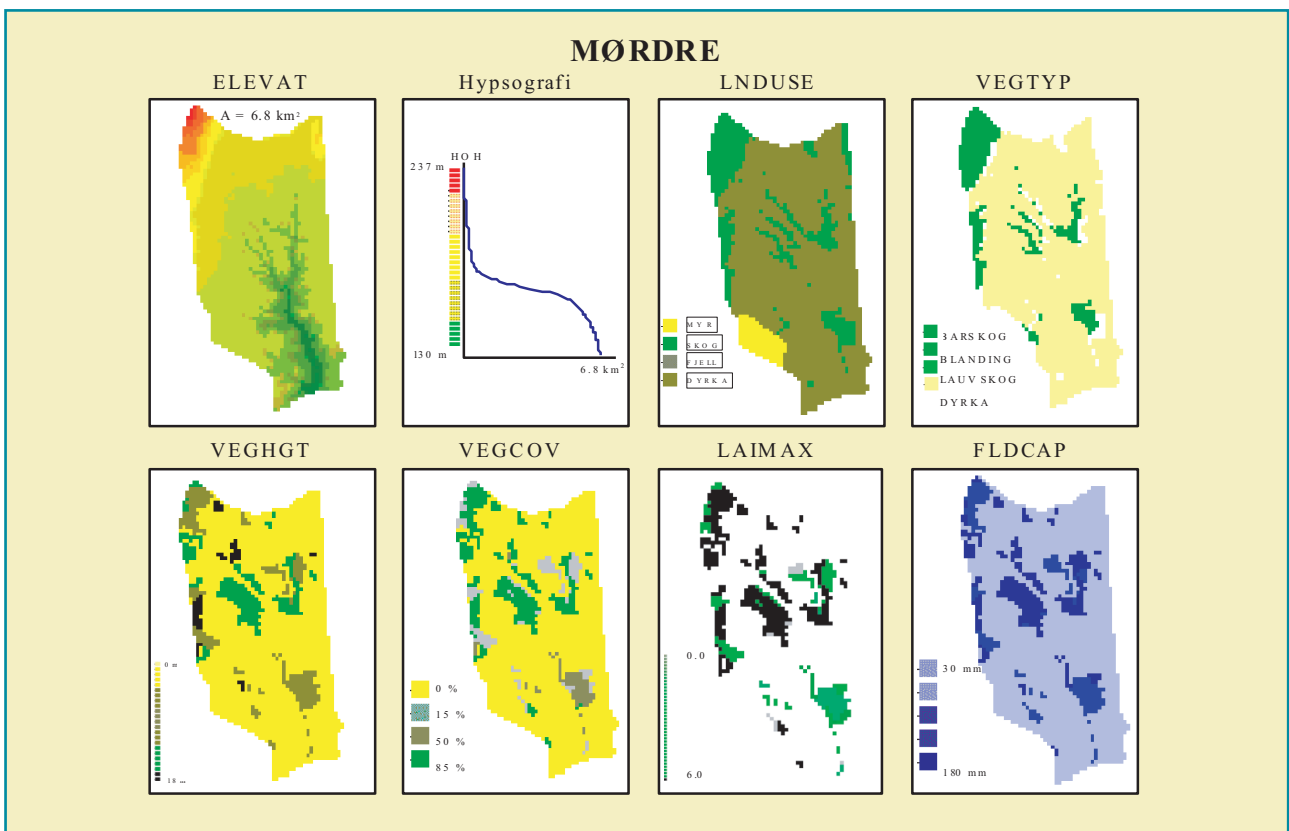
etterpå gjort på grunnlag av skogområdenes bonitet, som i sin tur ble tatt som en funksjon av terrenghøyde, kurvatur, og eksposisjon. For de enkelte bonitets- og treslagsklassene ble tilslutt trehøyder fordelt etter en randomisering basert på skogens alderssammensetning. For mer detaljert beskrivelse av dataframskaffingen henvises til Grønlund (1999). Estimert utviking i arealmidlet bestandshøyde, kronedekningsgrad, og bladarealindeks for Osensjøen og Flisafeltet fra 1920 til 1990 er vist i Figur 9 og Figur 10. Som det går fram av tallene er de estimerte endringene svært marginale.

¹ LAI = "Leaf Area Index" = bladarealindeks. LAI er arealet av vegetasjonens transpirerende overflateareal per arealenhet landoverflate (Dingman, 1993).



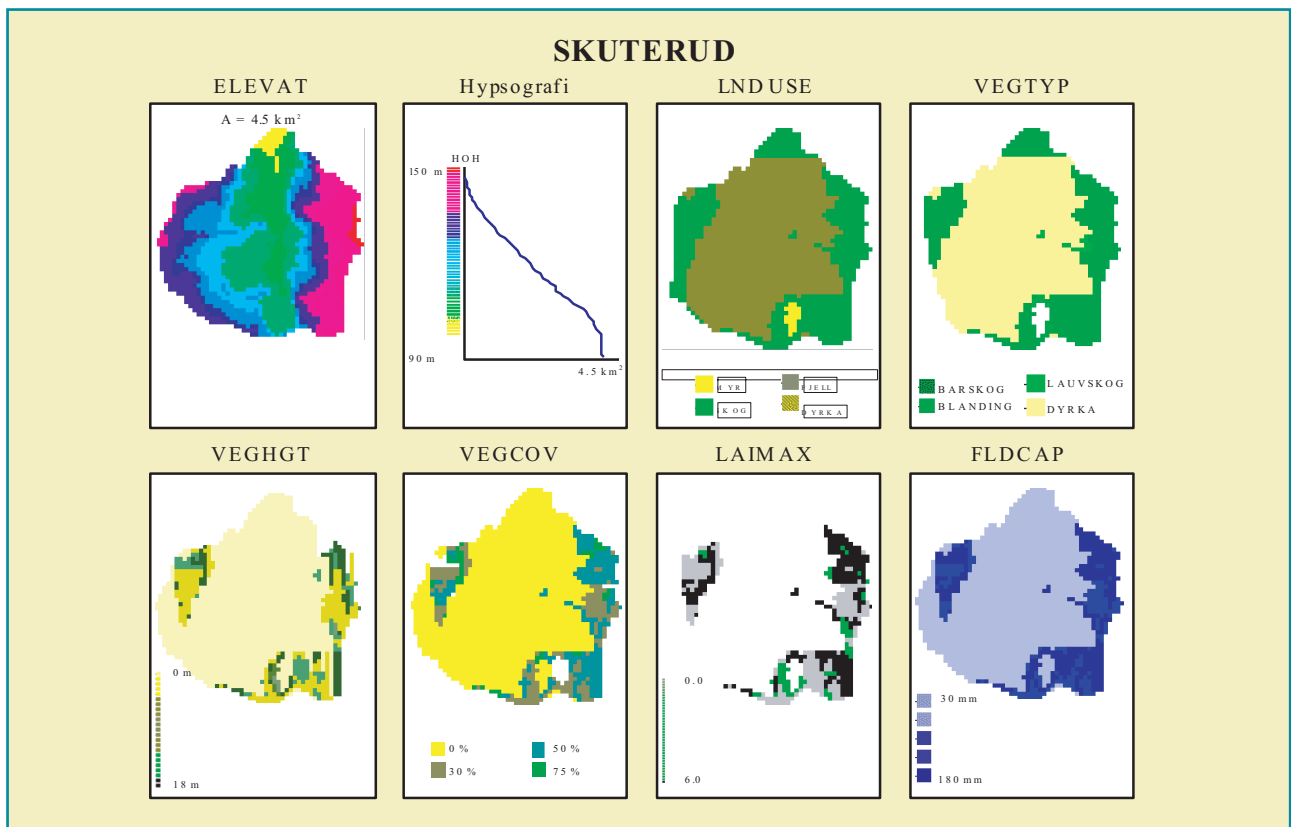
Figur 5 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Svarttjønnbekken.

Figur 5 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Svarttjønnbekken.



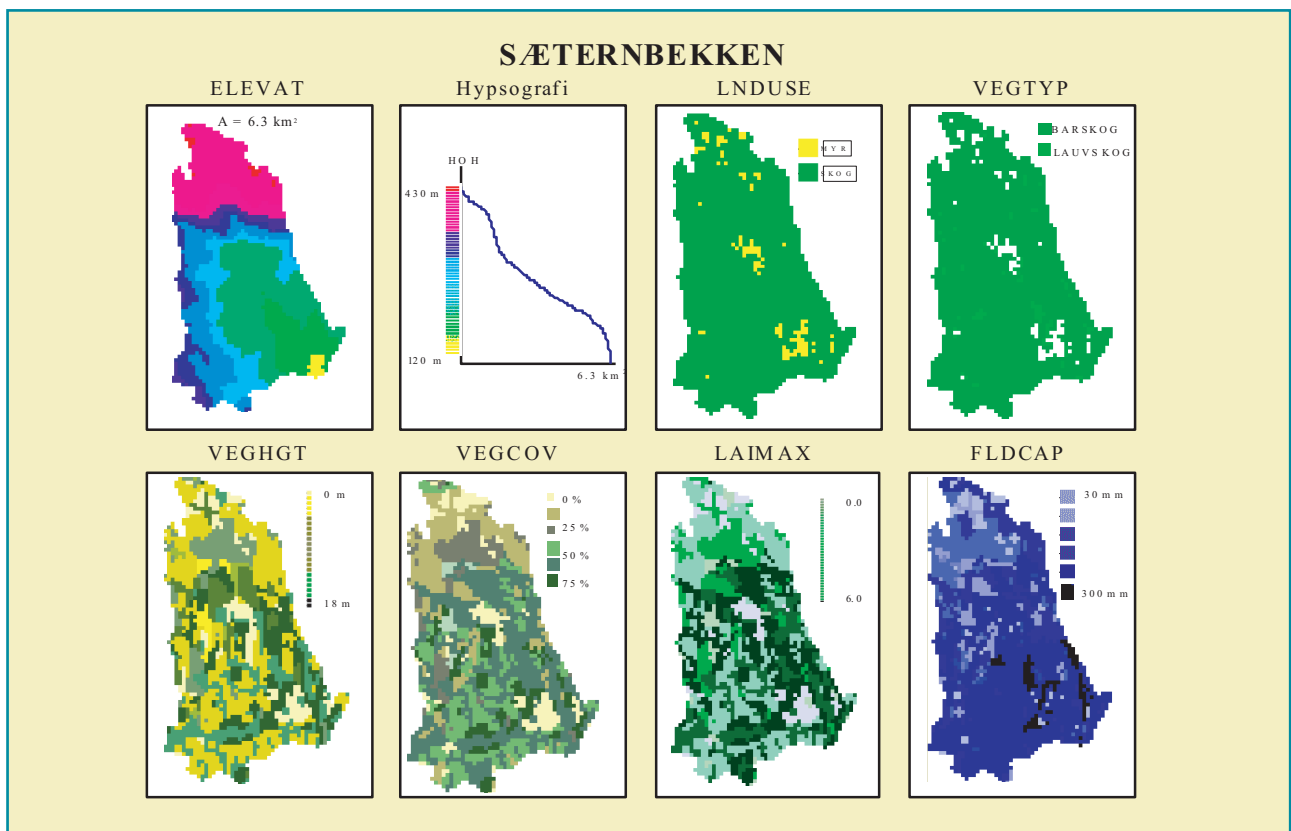
Figur 6 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Mørdrefeltet.

Figur 6 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Mørdrefeltet.



Figur 7 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Skuterudfeltet.

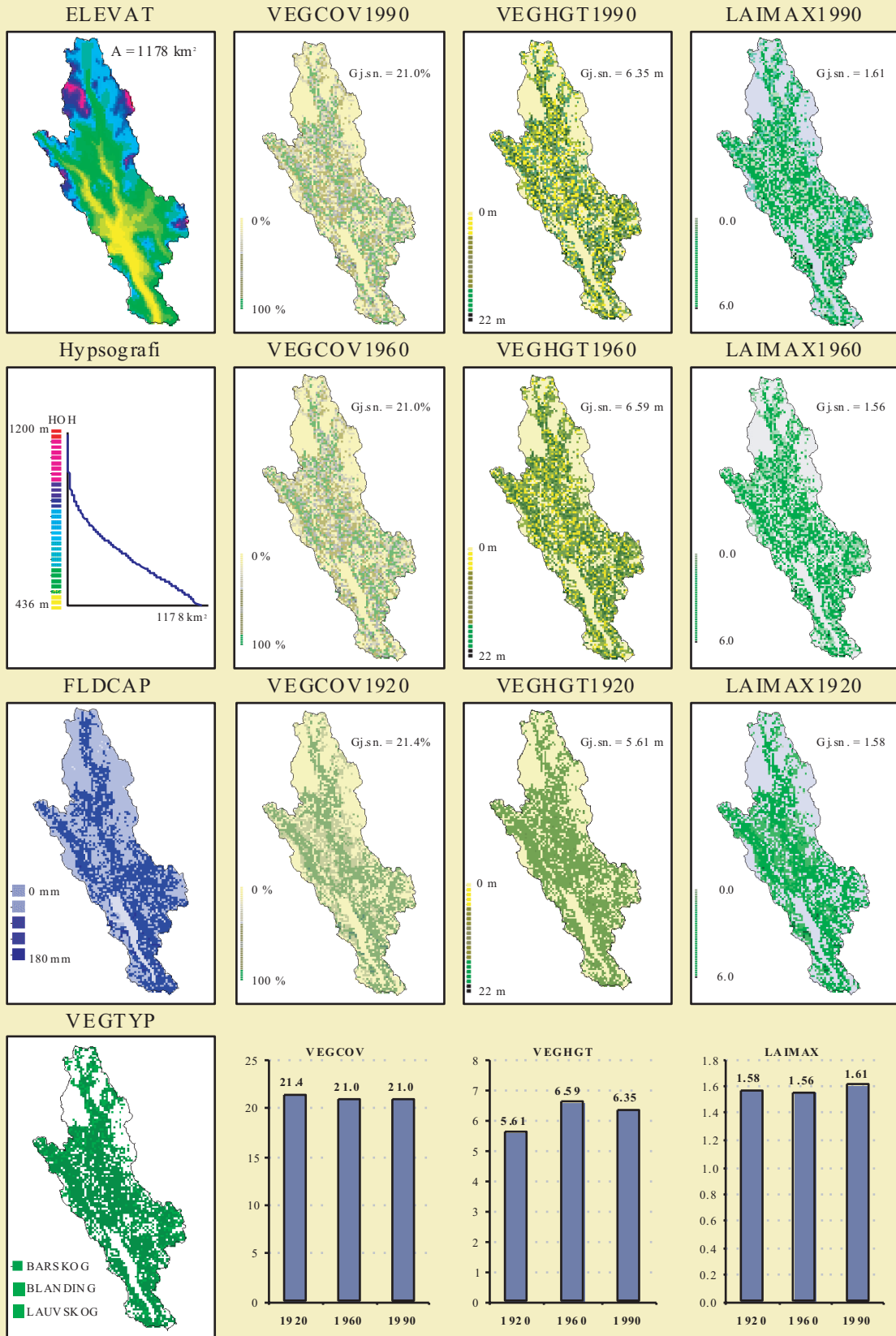
Figur 7 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Skuterudfeltet.



Figur 8 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Sæternbekken.

Figur 8 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Sæternbekken.

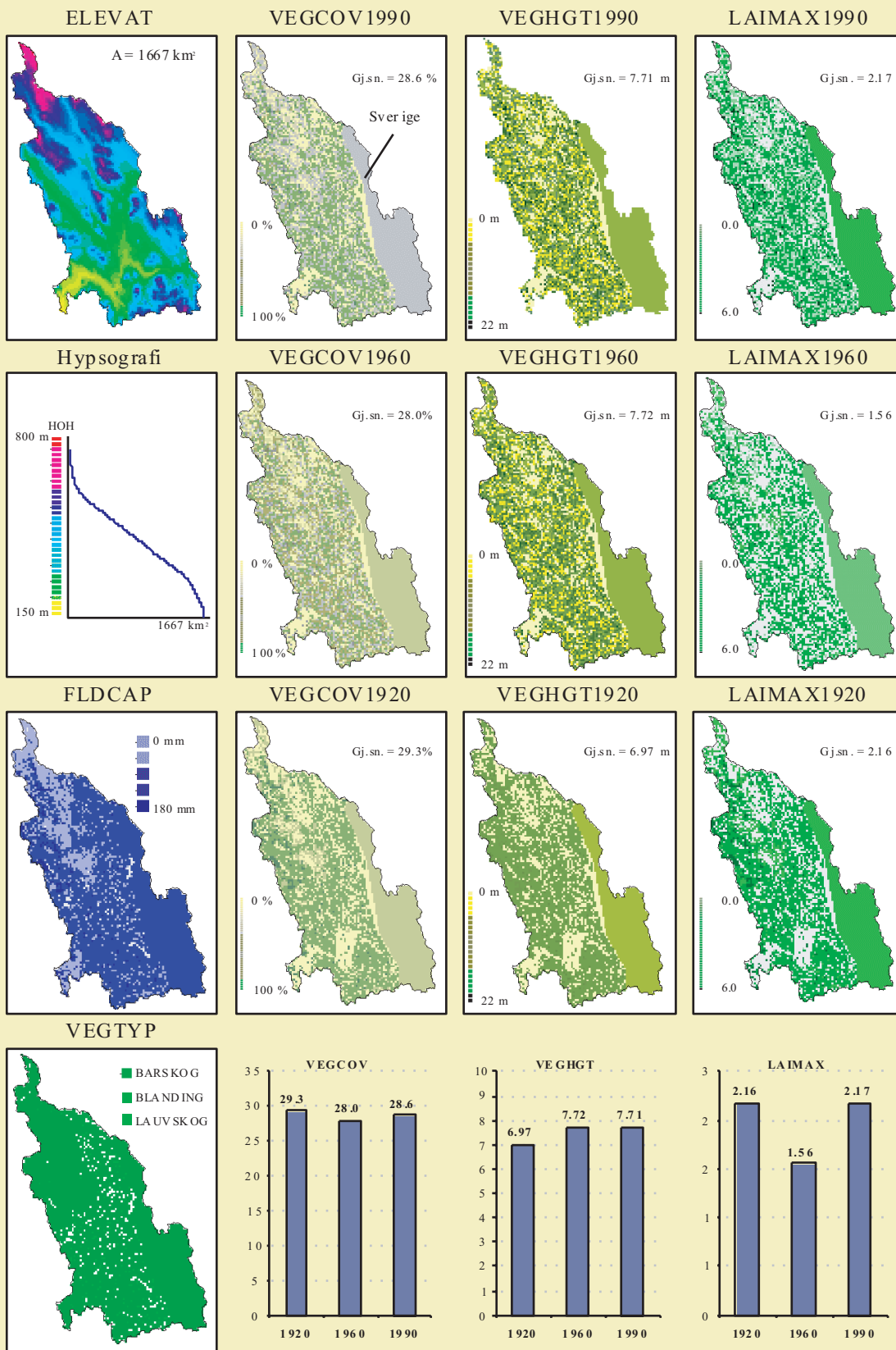
OSENSJØEN



Figur 9 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Osensjøen, for 1920, 1960, og 1990.

Figur 9 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Osensjøen, for 1920, 1960, og 1990.

FLISA



Figur 10 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Flisa, for 1920, 1960, og 1990.

Figur 10 Arealfordelte LANDPINE-parametre for Flisa, for 1920, 1960, og 1990.

7. Simuleringer

LANDPINE-modellen ble kalibrert for de fire små og de to store nedbørfelta ved hjelp av det automatiske kalibreringsverktøyet PESTCAL (Kolberg et al., 1999). I kalibreringene ble målfunksjonen

$$R2 = 1 - \frac{(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{(\overline{Q_{obs}} - Q_{sim})^2}$$

hvor Q_{obs} , Q_{sim} , og $\overline{Q_{obs}}$ henholdsvis representerer simulert, observert, og gjennomsnittet av observert avrenning, brukt som kriterium for å vurdere kalibreringsgodheten. $R2$ varierer mellom +1.0, ved perfekt tilpasning, og - ved dårligste tilpasning. I tillegg ble det lagt vekt på at det akkumulerte avvik mellom simulert og observert avrenning

$$ACCD = (Q_{obs} - Q_{sim})$$

ble minimalisert.

7.1 Kalibrering til små nedbørfelt

Kalibrering av hydrologiske modeller til små nedbørfelt er generelt vanskelig. Felta har gjerne rask og sterk respons på nedbør, og store flomhendelser blir ofte forårsaket av intense og svært lokale nedbørfellinger som lett kan unngå å bli fanget opp i nedbørmålingene. Det motsatte er også et problem, at intense nedbørhendelser treffer målerne men ikke feltet. Vurdering av kalibreringsgodhet i små felt må derfor alltid ledsages av en vurdering av nedbørverdiens representativitet i forhold til felta. Enkelt store avvik mellom simulert og observert avrenning vil ofte skyldes urepresentative nedbørverdier.

I dette prosjektet ble LANDPINE-modellen kalibrert for de små felta for dagens arealbrukstilstand. I tillegg til god overensstemmelse mellom observert og simulert avløp, ble det i kalibreringene lagt vekt på at vannbalansen over kalibreringsperiodene ble riktig. Normalverdiene for fordampning fra Tabell 1 ble brukt som veiledende størrelser for å bestemme parameterne for evapotranspirasjon i modellen. Direkte sammenligning mellom simulert evapotranspirasjon og verdiene fra Tabell 1 er imidlertid vanskelig siden tallene refererer til forskjellige

Tabell 4 Kalibreringer og verifisering i små felt.

Tabell 4 Kalibreringer og verifisering i små felt.

Felt	Periode	Tilpasning		Vannbalanse			
		R2	Akk. Diff.	Nedb.	Ford.	Avr.	
		-	mm/år	mm/år	mm/år	mm/år	
Svarttjønnen							
Kalibrering	78% skog	1982 - 1987	0.79	5.6	1333	432	901
Verifisering	78% skog	1988 - 1992	0.53	46	1621	402	1084*
Mørdre							
Kalibrering	28% skog	1994 - 1998	0.58	±7.6	801	537	264
Verifisering	28% skog	1992 - 1994	0.60	11	747	432	315
Skuterud							
Kalibrering	29% skog	1993 - 1997	0.55	±18.6	838	500	338
Verifisering	29% skog	-	-	-	-	-	
Seternbekken							
Kalibrering	86% skog	1974 - 1979	0.74	±0.8	1016	456	560
Verifisering	86% skog	1979 - 1984	0.72	±18.4	969	494	1475

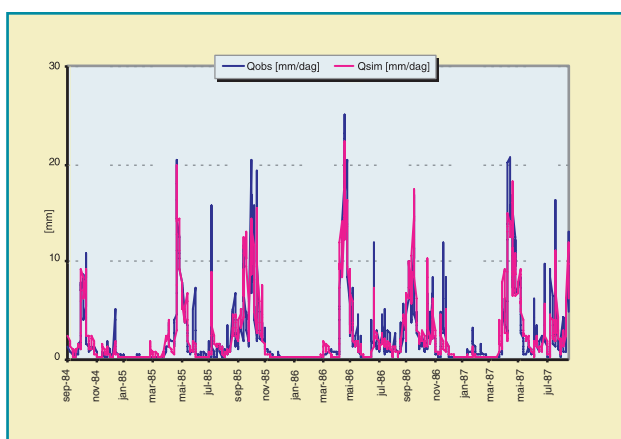
(*) Restemagasin av snø på 135 mm igjen i feltet i slutten av perioden.

perioder med tilhørende forskjellig klimatisk påtrykk. I den grad de tilgjengelige dataene gjorde det mulig, ble kalibreringene verifisert ved simulering av perioder som ikke ble brukt i sjølve kalibreringene. Kalibrerings-, og verifiseringsresultatene for de små nedbørfelta er oppsummert i Tabell 4. Tilhørende avløpshydrogram er vist i Figur 11 til Figur 17.

Kommentarer

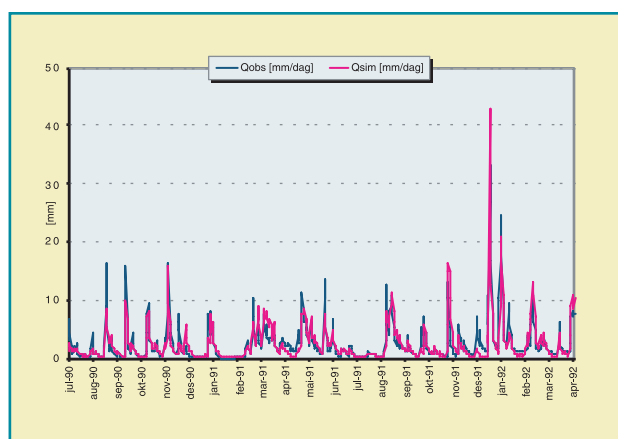
Kalibreringene for Svarttjønnbekken og Seternbekken er generelt gode, både med hensyn til målfunksjonen (R2) og vannbalansen (Akk.Diff.). Simulerte avløp stemmer her godt overens med det som er observert i felte (se Figur 11 og Figur 15). For Seternbekken er overensstemmelsen tilsvarende god også i verifiseringsperioden (Figur

16). For Svarttjønnbekken er overensstemmelsen her en del dårligere (se Figur 12). Den anses imidlertid ikke verre enn at den er tolererbar, gitt usikkerhetene nevnt innledningsvis. Tilpasningene i Mørdre og Skuterud, som begge er felt med svært rask og sterk respons, er en del dårligere enn for de to andre felte. En årsak til dette kan være at Mørdre og Skuterud har store andeler dyrka mark, henholdsvis 65% og 61%, og at overflateavrenning dermed kan spille en stor rolle i avløpsgenereringen. Denne typen avrenning er relativt enkelt håndtert i LANDPINE, samtidig som man i prosjektet ikke har hatt tilgjengelig detaljerte data om infiltrasjonskapasiteter, osv. Tilpasningene anses imidlertid som klart akseptable. Dette understøttes av at overensstemmelsen i verifiseringsperioden for Mørdrefeltet faktisk er bedre enn i kalibreringsperioden. I Skuterud var ikke dataserien lang nok til å kunne gjøre verifisering.



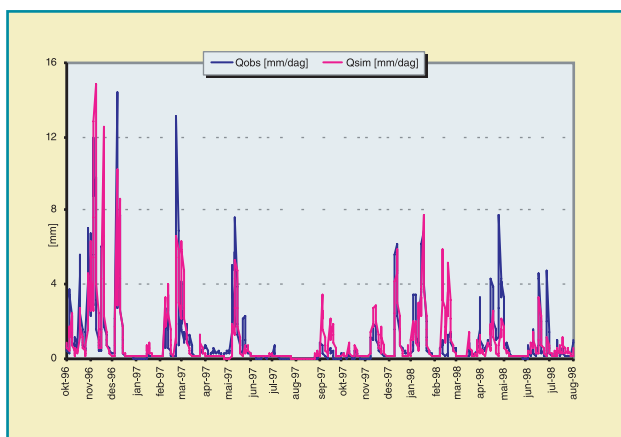
Figur 11 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Svarttjønnbekken.

Figur 11 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Svarttjønnbekken.



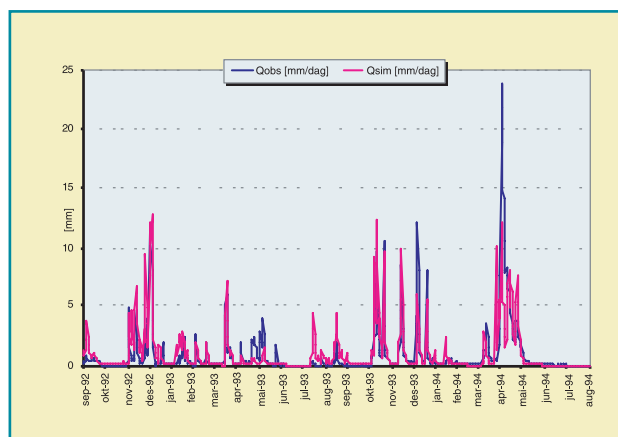
Figur 12 Simulert avrenning i verifiseringsperioden for Svarttjønnbekken.

Figur 12 Simulert avrenning i verifiseringsperioden for Svarttjønnbekken.



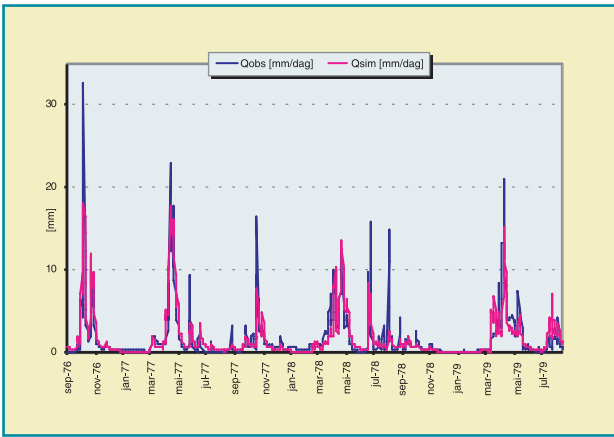
Figur 13 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Mørdrefeltet.

Figur 13 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Mørdrefeltet.



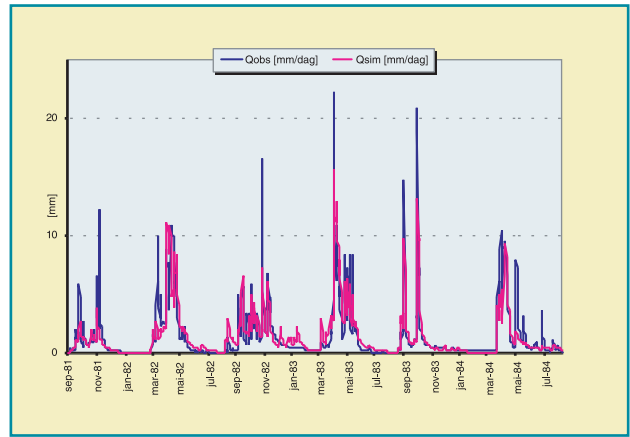
Figur 14 Simulert avrenning i verifiseringsperioden for Mørdrefeltet.

Figur 14 Simulert avrenning i verifiseringsperioden for Mørdrefeltet.



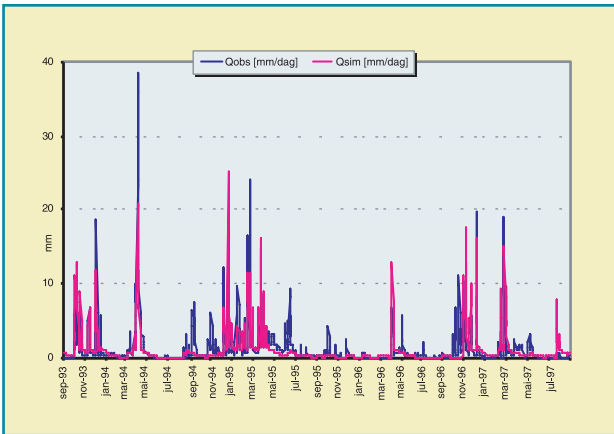
Figur 15 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Sætern-bekken.

Figur 15 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Sætern-bekken.



Figur 16 Simulert avrenning i verifiseringsperioden for Sætern-bekken.

Figur 16 Simulert avrenning i verifiseringsperioden for Sætern-bekken.



Figur 17 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Skuterudfeltet.

Figur 17 Simulert avrenning i kalibreringsperioden for Skuterudfeltet.

Tabell 5 Kalibreringer og verifisering i store felt.

Tabell 5 Kalibreringer og verifisering i store felt.

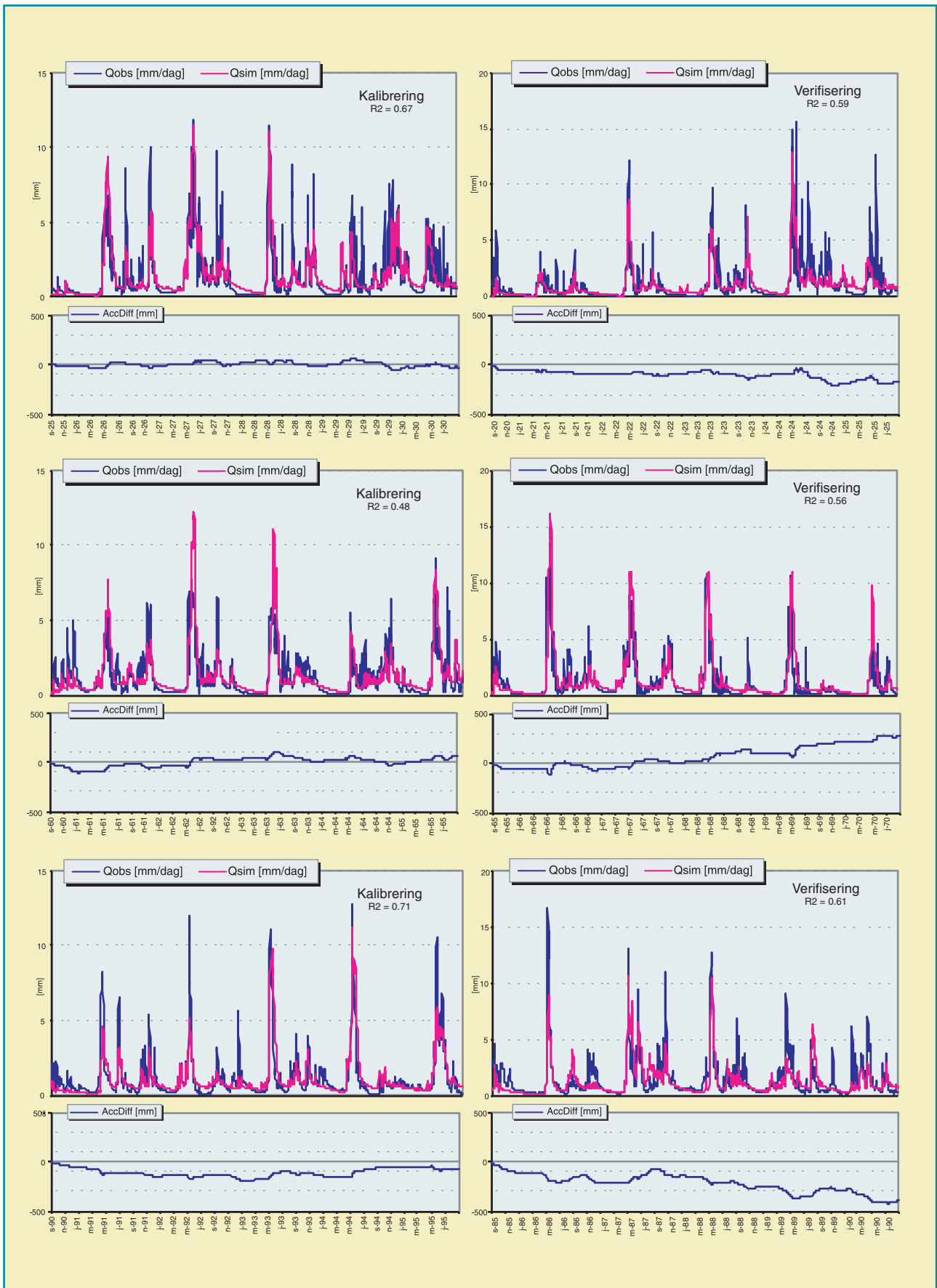
Felt	Periode	Tilpasning		Vannbalanse		
		R2	Akk. Diff.	Nedb.	Ford.	Avr.
		-	mm/år	mm/år	mm/år	mm/år
Flisa Kalibrering	1925 - 1930	0.69	÷7,4	797	266	525
	1960 - 1965	0.49	14.2	786	280	487
	1990 - 1995	0.71	÷10.0	659	239	414
Verifisering	1920 - 1925	0.60	÷30,0	680	274	394
	1960 - 1965	0.57	57.8	729	246	479
	1990 - 1995	0.621	÷68.2	781	300	472
Osensjøen Kalibrering	1925 - 1930	0.59	÷22.0	685	175	504
	1960 - 1965	0.74	35.6	668	184	469
	1990 - 1995	0.63	÷14.6	563	161	396
Verifisering	1920 - 1925	0.43	÷90.2	577	179	387
	1965 - 1970	0.73	36.4	629	174	451
	1985 - 1990	0.56	÷11.4	666	199	458

7.2 Kalibreringsresultater i store nedbørfelt

For de store nedbørfelta ble dataserier fra periodene 1920-1930, 1960-1970, og 1985-1995, som alle var karakterisert av forskjellige skogtilstander, brukt som et felles kalibreringsgrunnlag. Skogtilstandene hadde man tidligere rekonstruert, blant annet ut i fra historiske nedtegnelser om skog- og landbruksaktivitet (se (Grønlund, 1999)). Bakgrunnen for å gjøre kalibreringen på denne måten var at man ønsket å få en best mulig verifikasjon på LANDPINE-modellens evne til å gjengi avrenningen under ulike vegetasjonsforhold, samtidig som man ønsket å kalibrere modellen for hele den perioden som var av interesse med hensyn til studien av arealbrukseffekter. Kalibrerings- og verifiseringsresultatene for de to store nedbørfelta er oppsummert i Tabell 5. De tilhørende avløpshydrogram er vist i Figur 18 og Figur 19.

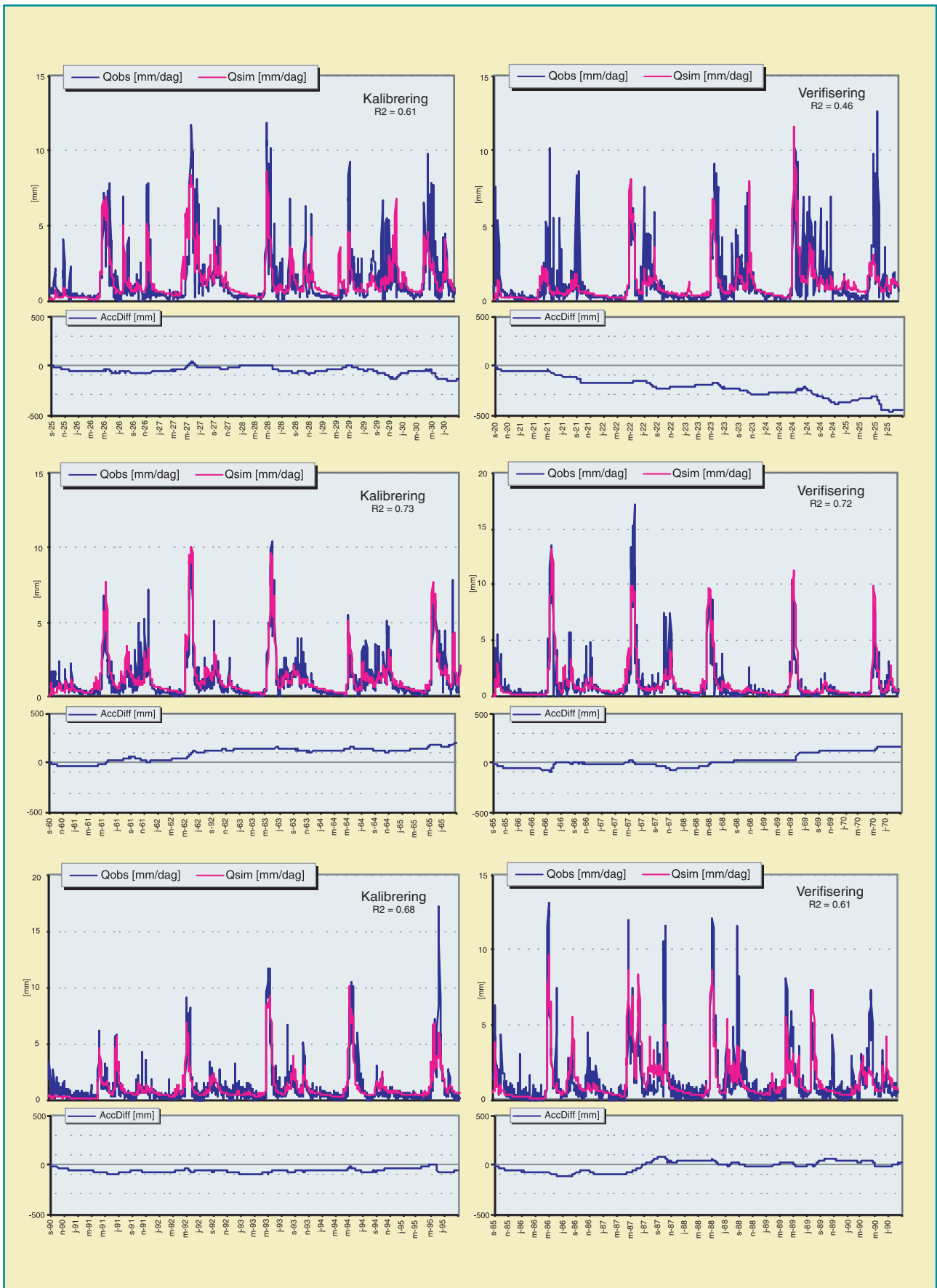
Kommentarer

Kalibreringsresultatene for de store nedbørfelta er akseptable, men ikke spesielt gode. Kravet om å legge like stor vekt på alle de tre periodene i kalibreringene er relativt strengt, og inneholder en forutsetning om at vegetasjonsdataene er riktig rekonstruert, og at de hydrometeorologiske dataseriene har lik kvalitet over det hele. Ingen av disse forholda har man sikkerhet for. Dobbeltmasseanalyse av avløpsseriene mot fire nærliggende nedbørstasjoner viste homogenitetsbrudd flere steder for Osensjøen. Dette kan forklare at vannbalansene her kommer forskjellig ut mellom periodene. For Flisa var ikke slike homogenitetsbrudd synlige, men usikkerhetene knyttet til skogdataene og til representativiteten av nedbørverdiene spiller også inn og påvirker kalibreringsresultatene. Kalibrering til de tre periodene under ett, må derfor gi et kompromiss. Ved kalibrering til hver enkelt tidsperiode separat ville langt bedre tilpasninger oppnås, men da ville man ikke kunnet studere effektene av endrede skogforhold like lett, fordi andre forhold enn skogsituasjonen også ville ha vært forskjellige og bidratt til forskjellene i de beregnede responser.



Figur 18 Kalibrering og verifisering i Flisafeltet.

Figur 18 Kalibrering og verifisering i Flisafeltet.



Figur 19 Kalibrering og verifiseringer i Osensjøen.

Figur 19 Kalibrering og verifiseringer i Osensjøen.

7.3 Simulerte effekter av avskogning

7.3.1 Virkninger i små nedbørfelt

For så å studere hvordan endringer i skogtilstand påvirker avrenningsforholda ble de små nedbørfelta simulert for to hypotetiske arealbruksituasjoner, henholdsvis med 100% og 0% beskogning. I situasjonen med 100% beskogning ble alt areal unntatt innsjø, bebyggelse, barfjell, og myr, definert som barskog med en kronedekningsgrad på 75% og en midlere trehøyde på 12 m. I 0% situasjonen ble de samme arealene definert som skog, men trehøyden ble satt lik 0 m.

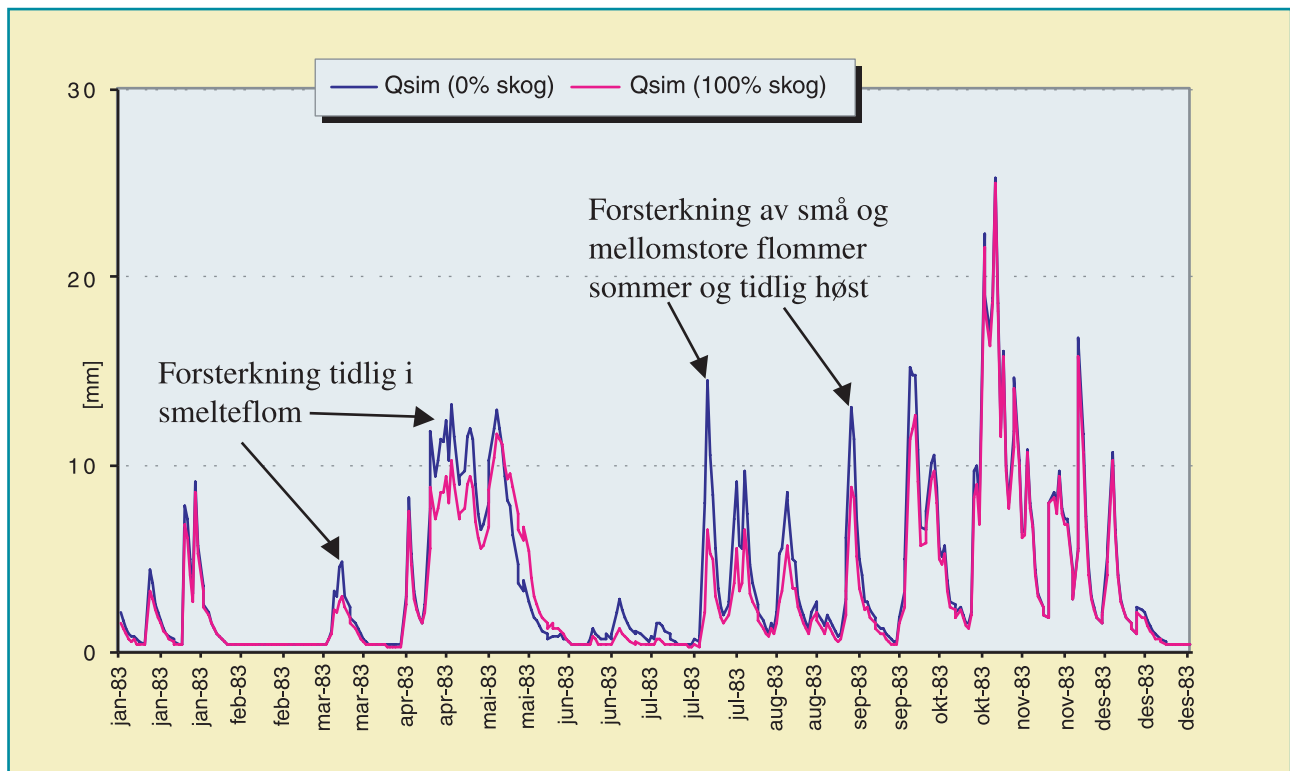
7.3.1.1 Virkninger på nedbørfeltshydrologien

Med hensyn til nedbørfeltas hydrologi viste simuleringene at de mest karakteristiske virkningene av avskoging er at snøsmelting om våren forsterkes og framskyndes på grunn av økt eksponering mot sol og vind, og at markfuktigheten om sommeren forhøyes som følge av redusert opptrekk til transpirasjon i planter. Konsekvensene av endringene i snøsmelteforholda er generelt at flomtopper tidlig i smelteperioden øker, mens flomtoppene sent i perioden blir redusert. Den forhøyede markfuktigheten på sommerstid fører til at små og mellomstore flommer om sommeren og tidlig på høsten

øker fordi jordsmonnet får mindre kapasitet enn før til å oppta regn. Store flommer blir imidlertid lite påvirket. Dette skyldes at disse generelt er forårsaket av så store nedbørmengder at lagring i jordsmonnet betyr lite fra eller til, sjøl når det initielle markfuktighetsnivået er lavt. Flommer sent på høsten blir i regelen også lite påvirket av avskoging. Årsaken til dette er at lavere temperatur og redusert plantevekst utover høsten gjør at mindre deler av nedbøren går til fordampning og transpirasjon. Markvannssonen, sjøl under skog, blir dermed gradvis fylt opp, og restkapasiteten til å tilbakeholde nedbør blir redusert. Flomhendelsene blir dermed lite påvirket av om det er skog eller ikke. Figur 20 illustrerer de beskrevne effektene av avskoging for et utsnitt av simuleringene i Svarttjønnbekken.

7.3.1.2 Virkninger på vannbalansen

Sammenligning av de simulerte responsene for de to skogsituasjonene i de fire felta viste at en overgang fra 100% til 0% beskogning i gjennomsnitt ga en reduksjon i evapotranspirasjon, og en tilhørende økning i avrenning, på 174 mm per år. Dette tilsvarte henholdsvis 32% og 57% av utgangsverdiene. Resultatene for de enkelte felta varierte en del og er listet i Tabell 6.



Figur 1. Mål på flomstørrelse. Rød linje angir en bestemt flomstørrelse.

Measures of flood magnitude. Red line indicates one specific flood magnitude.

Tabell 6 Virkning av å endre fra 100% til 0% beskogning i små nedbørfelt.

Tabell 6 Virkning av å endre fra 100% til 0% beskogning i små nedbørfelt.

Felt	Periode	Vannbalanse			Virkning av 100% avskogning				
		Nedb.	Ford.	Avr.	Endring i Avr.		Endring i Avr.		
		mm/år	mm/år	mm/år	mm/år	%	mm/år	%	
Svarttjønnneken									
Scenario	100% skog	1982 - 1987	1333	461	872				
Scenario	0% skog	1982 - 1987	1333	286	1047	±175	±38%	175	20%
Mørdre									
Scenario	100% skog	1992 - 1998	821	638	183				
Scenario	0% skog	1992 - 1998	821	482	339	±156	±24%	156	85%
Skuterud									
Scenario	100% skog	1993 - 1997	838	629	209				
Scenario	0% skog	1993 - 1997	838	463	375	±166	±26%	166	79%
Seternbekken									
Scenario	100% skog	1974 - 1984	992	519	473				
Scenario	0% skog	1994 - 1984	992	319	673	±200	±39%	200	42%
Gjn.sn.						±174	±32%	174	57%

7.3.1.3 Virkninger på flomtopper

Så man på flomtoppene viste beregningene at vårflommenes maksimalverdier i gjennomsnitt ble økt med 4.7 mm per dag, til 150% av utgangsverdiene, mens høstflommene i gjennomsnitt økte med 5.6 mm per dag, til 166% av utgangsverdiene. Resultatene fra de enkelte felte i de enkelte år er gitt i Tabell 7.

7.3.1.4 Drøfting

Analysen som er gjort av avrenningsforholda for de to vegetasjonstilstandene i de små nedbørfelta lider av to svakheter. Dataseriene som er brukt i analysene er relativt korte, fra 5 til 10 år. Flomhendelsene som inngår i analysene blir dermed et svært lite utvalg sammenlignet med den samlede populasjon av slike hendelser i felte. Noen hendelser, særlig om høsten, er i tillegg så små at de knapt er å regne som flommer (se f.eks. høstflommene i 1995 i Mørdre og i 1984 i Sæternbekken i Tabell 7). Samtidig har disse hendelsene generelt store relative endringer mellom av- og påskoget tilstand, og bidrar således uforholdsmessig mye til å "blåse opp" den prosentvise økningen i flomstørrelser som avskogning fører til. Den andre svakheten er at man ikke har registrert avrenning fra ulike arealbrukstilstander i de fire felte. Man har dermed ikke hatt mulighet til å verifisere de simulerte effektene av avskoging mot direkte observasjoner i disse felte.

9.3.2 Virkninger i store nedbørfelt

For å finne et mål på hvor stor effekt endringene som har skjedd i skogforhold fra 1920 og fram til i dag har hatt på avrenningen fra nedbørfelt i Glomma ble felte Osensjøen og Flisa simulert på nytt, men nå med skogsituasjonen fra 1920 lagt til grunn også i periodene 1960-1970 og 1985-1995. Forskjellene i simulert avrenning for denne skogsituasjonen sammenlignet med det man fikk ved simulering for de aktuelle skogsituasjonene var helt minimale. Dette kunne man også forvente ut ifra at de rekonstruerte vegetasjonsparametrene for tidspunktene 1920, 1960, og 1990 var svært like (se Figur 9 og Figur 10). Dette til tross for at stående tømmervolum over denne perioden hadde økt med mer enn 70% (Grønlund et al., 1999).

9.3.2.1 Virkninger på vannbalansen

Virkningene av å bruke skogsituasjonen fra 1920 i periodene 1960-1970 og 1985-1995 på årlig fordampning og avrenningsvolum er oppsummert i Tabell 8. Tabellen viser også forskjellene i disse verdiene i forhold til hva man fikk når de aktuelle skogtilstandene ble lagt til grunn for simuleringene (se Tabell 5).

Simulering av periodene 1960-1970 og 1985-1995 med bruk av skogtilstanden fra 1920 ga en gjennomsnittlig reduksjon i evapotranspirasjon og tilsvarende økning i avrenning på 0.8 mm per år. Dette tilsvarte henholdsvis

Tabell 7 Økning i flomstørrelser ved 100% avskogning i små felt.

Tabell 7 Økning i flomstørrelser ved 100% avskogning i små felt.

	VÅRFLOMMER				HØSTFLOMMER			
	Flomtopp				Flomtopp			
	0% skog mm/dag	100% skog mm/dag	Økning mm/	Økning %	0% skog mm/dag	100% skog mm/dag	Økning mm	Økning (%)
Svarttjønnbekken								
1982					13.9	11.8	2.2	18.3%
1983	13.2	11.7	1.5	12.9%	25.3	25.0	0.3	1.4%
1984	20.6	18.0	2.6	14.6%	21.7	19.4	2.3	12.0%
1985	23.6	18.5	5.1	27.4%	16.2	15.4	0.8	5.2%
1986	24.6	21.5	3.1	14.4%	18.1	17.6	0.6	3.3%
1987	20.9	17.0	3.9	22.6%	14.9	11.5	3.4	30.0%
gj.sn.	20.6	17.4	3.9	18.4%	18.4	16.8	1.6	11.7%
Mørdre								
1992					13.5	8.8	4.6	52.1%
1993	7.8	3.9	3.9	99.3%	13.9	5.7	8.2	142.5%
1994	12.9	8.1	4.8	59.98%	20.2	6.9	13.3	191.7%
1995	12.5	6.3	6.2	98.9%	2.0	0.5	1.5	300.2%
1996	8.5	2.9	5.6	195.3%	16.0	8.0	8.1	100.9%
1997	7.1	4.0	3.1	75.8%	6.5	2.4	4.0	165.3%
	8.5	3.9	4.6	118.9%	4.8	2.0	2.8	137.7%
gj.sn.	9.6	4.9	4.7	108.0%	11.0	4.9	6.1	155.8%
Skuterud								
1993					13.9	8.9	4.9	55.3%
1994	22.3	15.4	6.9	42.2%	28.9	8.8	20.2	229.3%
1995	17.7	11.5	6.2	53.8%	0.6	0.4	0.2	49.6%
1996	15.9	0.9	15.0	1661.7%	19.7	10.0	9.7	98.0%
1997	16.4	10.5	5.9	55.9%	10.3	0.7	9.6	1435.5%
gj.sn.	18.1	9.6	8.5	454.2%	14.7	5.7	8.9	373.5%
Settembekken								
1974					14.9	11.5	3.4	29.5%
1975	15.6	11.9	3.7	31.5%	10.2	5.5	4.7	84.9%
1976	6.3	6.9	÷0.6	÷9.1%	23.8	15.1	8.6	57.0%
1977	20.3	16.7	3.7	22.0%	12.3	5.9	6.4	108.3%
1978	14.3	13.2	1.1	8.6%	14.8	5.5	9.3	169.9%
1979	17.1	14.2	2.9	20.3%	11.9	6.2	5.7	92.2%
1980	10.5	9.1	1.4	15.7%	12.0	6.6	5.4	81.1%
1981	18.8	14.5	4.3	29.8%	9.9	2.7	7.2	268.1%
1982	14.7	10.2	4.5	44.8%	9.7	6.5	3.1	48.2%
1983	17.7	14.5	3.2	21.7%	18.8	11.3	7.6	67.4%
1984	9.7	9.0	0.6	7.2%	1.9	0.4	1.4	329.8%
gj.sn.	14.5	12.2	2.4	19.3%	12.7	7.0	5.7	121.5%
	15.5	10.9	4.7	150%	14.2	8.6	5.6	166%

Tabell 8. Simulert vannbalanse for Flisa og Osensjøen med bruk av skogtilstand fra 1920. Kolonnene til høyre viser endringen i evapotranspirasjon og avrenning som følger av å bytte ut aktuell skogtilstand i periodene med skogtilstanden fra 1920.

Tabell 8. Simulert vannbalanse for Flisa og Osensjøen med bruk av skogtilstand fra 1920. Kolonnene til høyre viser endringen i evapotranspirasjon og avrenning som følger av å bytte ut aktuell skogtilstand i periodene med skogtilstanden fra 1920.

Felt	Periode	Vannbalanse			Endring fra aktuell skogtilst.			
		Nedb.	Ford.	Avr.	Endring i Ford.		Endring i Avr.	
		mm/år	mm/år	mm/år	mm/år	%	mm/år	%
Flisa								
Scenario: 1920 Skogtilstand	1960 - 1965	786	280	487	÷0.8	÷0.27	0.7	0.14
» »	1965 - 1970	729	248	477	2.3	0.94	÷1.9	÷0.40
» »	1985 - 1990	781	298	474	÷1.9	÷0.64	1.8	0.39
» »	1990 - 1995	659	239	415	÷0,4	÷0.18	0.6	0.14
Skuterud								
Scenario: 1920 Skogtilstand	1960 - 1965	668	180	472	÷0.3	÷1.64	2.8	0,60
» »	1965 - 1970	629	173	452	÷0.7	÷0.42	0.8	0.17
» »	1985 - 1990	666	198	460	÷1.3	÷0.67	1.3	0.28
» »	1990 - 1995	563	161	396	÷0.2	÷0.13	0.4	0.10
Gjn.sn.					÷0.8	÷0.38	0.8	0.18

-0.38% og 0.18% av utgangsverdiene. Sagt på en annen måte har altså skogendringen fra 1920 og fram til i dag gitt en marginal økning i evapotranspirasjonen og en tilsvarende marginal reduksjon i avrenningsvolum. Effektene er imidlertid så små at de ligger innenfor feilmarginene som finnes i datagrunnlaget.

9.3.2.2 Virkninger på flommer

Så en på flomtoppene i de to felta for de enkelte år viste ikke simuleringene noen entydige forandringer ved innsetting av skogtilstanden fra 1920 i stedet for de aktuelle tilstandene. I gjennomsnitt var endringene helt ubetydelige. Vårflommene fikk en midlere økning på 0.17%, mens høstflommene fikk en midlere reduksjon på 0.34%. Begge felta hadde både positive og negative endringer i vår- og høstflomstørrelser over de enkelte år. Resultatene er oppsummert i Tabell 9 nedenfor.

9.3.2.3 Drøfting

Forskjellene i simulert avrenning med bruk av henholdsvis de aktuelle skogtilstandene og skogtilstanden fra 1920 i de to nedbørfelta er så små at man ikke kan hevde at avrenningsforholda har blitt forandret i noen spesiell retning som følge av skogendringer siden 1920. Endringene i årlig evapotranspirasjon og avrenningsvolum er så marginale at de kan forklares med små ulikheter i lagret vannvolum i modellen mellom start og slutt

av simuleringstidene. En liten forlengelse eller innkorting av simuleringstidene kunne således gitt et annet resultat.

Størrelsene på vår- og høstflommene i de to felta for de enkelte år viser både positive og negative endringer når aktuell skogtilstand ble byttet ut med tilstanden fra 1920. Også her er imidlertid endringene marginale. Med hensyn til vårflommene vil generelt en reduksjon i skog framskynde og forsterke snøsmelting. Hvorvidt dette gir økt flomtopp avhenger så av om temperaturøkningen om våren kommer raskt eller langsomt. Ved en langsom temperaturøkning vil smelting starte tidligere men pågå med moderat intensitet fra begynnelsen. Når temperaturen senere blir så høy at smelteintensiteten kunne gitt forsterket flom, er gjerne snømagasinet og snødekningsgraden redusert så mye at man ikke når opp i en flomtopp tilsvarende det man hadde i påskoget tilstand. Man får altså vårflommer av lengre varighet, men med lavere maksimalverdi enn det man hadde før. Ved rask temperaturøkning om våren derimot, vil smeltingen forsterkes i den tidlige fasen hvor både snømagasinet og snødekningsgraden er størst. Dette gir kortere flom med høyere maksimalverdi.

Forsterkning eller reduksjon i høstflommene avhenger først og fremst av om markfuktighetstilstanden forut for nedbørhendelsene blir endret når skogtilstanden endres. Markfuktighetstilstanden bestemmes sin tur av vegetasjonens opptrekk av vann til transpirasjon. En økning i skogmengde vil generelt bety økt transpirasjon, redusert

Tabell 9 Skogendringenes innvirkning på flomtopper i Flisa og Osensjøen.

Tabell 9 Skogendringenes innvirkning på flomtopper i Flisa og Osensjøen.

		Økning i flomstørrelser ved innsetting av skogtilstanden fra 1920							
		VÅRFLOMMER				HØSTFLOMMER			
		Flomtopper simulert på gr.lag av				Flomtopper simulert på gr.lag av			
		fakt.tilst.	1920-tilst.	Endring		fakt.tilst.	1920-tilst.	Endring	
mm/dag	mm/dag	mm/dag	%	mm/dag	mm/dag	mm/dag	(%)		
Flisa									
1960					1.94	1.92	÷0.02	÷0.9%	
1961	8.31	8.39	0.08	1.0%	4.06	4.03	÷0.03	÷0.7%	
1962	12.04	12.11	0.07	0.6%	3.24	3.26	0.02	0.6%	
1963	11.71	11.69	÷0.03	÷0.2%	2.24	2.23	0.00	÷0.2%	
1964	4.58	4.50	÷0.07	÷1.6%	3.58	3.60	0.02	0.4%	
1965	7.54	7.38	÷0.16	÷2.1%	4.03	3.98	÷0.05	÷1.2%	
1966	16.24	16.18	÷0.05	÷0.3%	2.67	2.67	÷0.01	÷0.3%	
1967	11.26	11.16	÷0.10	÷0.9%	4.23	4.24	0.01	0.2%	
1968	11.14	11.06	÷0.08	÷0.7%	2.29	2.21	÷0.08	÷3.5%	
1969	11.80	11.70	÷0.10	÷0.8%	1.86	1.81	÷0.05	÷2.6%	
1970	10.67	10.57	÷0.10	÷1.0%					
1985					2.86	2.83	÷0.02	÷0.9%	
1986	10.14	10.17	0.3	0.3%	4.26	4.28	0.02	0.5%	
1987	10.78	10.71	÷0.7	÷0.6%	4.39	4.43	0.04	0.9%	
1988	10.61	10.61	0.00	0.0%	4.19	4.12	÷0.07	÷1.6%	
1989	3.52	3.53	0.01	0.3%	7.54	7.43	÷0.11	÷1.4%	
1990	2.72	2.73	0.01	0.5%	3.37	3.34	0.00	0.1%	
1991	4.65	4.59	÷0.05	÷1.1%	3.23	3.24	0.00	0.1%	
1992	4.55	4.59	0.04	0.8%	1.91	1.93	0.02	1.0%	
1993	9.71	9.81	0.10	1.0%	3.19	3.21	0.02	0.5%	
1994	11.43	11.30	÷0.13	÷1.1%	2.30	2.30	0.00	÷0.1%	
1995	5.60	5.55	÷0.05	÷0.9%					
gj.sn.	8.95	8.92	÷0.03	÷0.03%	3.37	3.35	÷0.02	÷0.5%	
Osensjøen									
1960					1.61	1.60	0.00	÷0.2%	
1961	6.81	6.93	0.12	1.7%	4.67	4.70	0.03	0.7%	
1962	9.76	9.83	0.08	0.8%	3.14	3.21	0.07	2.3%	
1963	9.68	9.81	0.13	1.3%	2.11	2.13	0.01	0.6%	
1964	5.34	5.36	0.02	0.4%	2.71	2.77	0.06	2.2%	
1965	7.46	7.49	0.03	0.4%	4.13	4.14	0.00	0.1%	
1966	13.49	13.62	0.14	1.0%	2.37	2.38	0.01	0.5%	
1967	10.24	10.31	0.07	0.7%	4.72	4.75	0.03	0.6%	
1968	9.36	9.42	0.6	0.6%	2.04	2.00	÷0.03	÷1.6%	
1969	10.63	10.69	0.6	0.5%	1.74	1.73	÷0.02	÷1.0%	
1970	9.57	9.62	0.05	0.5%					
1985					2.38	2.34	÷0.04	÷1.7%	
1986	8.79	8.86	0.07	0.8%	5.03	5.06	0.02	0.5%	
1987	8.35	8.41	0.05	0.6%	4.62	4.67	0.05	1.1%	
1988	8.27	8.33	0.06	0.8%	5.01	4.92	0.09	÷1.8%	
1989	3.25	3.30	0.05	1.6%	6.93	6.90	÷0.03	÷0.5%	
1990	2.17	2.13	÷0.05	÷2.2%	3.81	3.78	÷0.03	÷0.9%	
1991	5.06	5.09	0.02	0.5%	2.47	2.34	÷1.13	÷5.1%	
1992	5.38	5.42	0.04	0.8%	1.98	1.98	0.00	0.1%	
1993	9.50	9.63	0.13	1.4%	2.94	2.96	0.02	0.8%	
1994	10.43	10.44	0.01	0.1%	2.19	2.19	÷0.01	÷0.2%	
1995	6.02	6.09	0.06	1.0%					
gj.sn.	7.90	8.04	0.06	0.7%	3.33	3.33	0.00	÷0.2%	
Gj.sn.	8.5	8.5	0.01	0.17%	3.3	3.3	÷0.01	÷0.34%	

markfuktighet, og dermed mindre flomstørrelser. Imidlertid kan bildet være mer sammensatt. I LANDPINE-modellen representeres skog hovedsakelig av de tre parametrene VEGCOV, VEGHGT, og LAIMAX. VEGCOV representerer skogsvegetasjonens arealmessige dekningsgrad. Parameteren definerer dermed også rotsonens arealmessige utbredelse. Forhøyet VEGCOV fører således til at større arealandeler kan få uttørring av rotsonen som følge av opptrekk til transpirasjon. Dette gir fører generelt til flomreduksjon siden lagringskapasiteten i jordsmonnet da kan øke. Parameteren VEGHGT innvirker først og fremst på beregning av potensiell evapotranspirasjonskapasitet. Høyere VEGHGT øker denne kapasiteten, noe som i sin tur forårsaker større transpirasjon, redusert markfuktighet, og dermed også reduserte flomtopper. Parameteren LAIMAX innvirker i modellen på vegetasjonens evne til å lagre vann i nåler og løvverk, og på fordampningen fra vann som lagres på denne måten. Denne fordampningen utgjør imidlertid lite i forhold til transpirasjonen. Endringer i LAIMAX har derfor lite å si med hensyn til virkning på flomstørrelsene.

Vegetasjonsdataene for Flisa og Osensjøen viser at verdiene for VEGCOV er høyere i 1920 enn i 1960 og i 1990 (se Figur 9 og Figur 10). Verdiene for VEGHGT viser motsatt utvikling, mens verdiene for LAIMAX reduseres fra 1920 til 1960 for så å øke igjen fram til 1990. Når skogsituasjonen fra 1920 så brukes i periodene 1960-1970 og 1985-1995 får man to motvirkende effekter med hensyn på endringene i høstflommene.

Høyere VEGCOV tilsier lavere flomtopper, siden arealandelene hvor rotsonen kan uttørkes øker. Lavere VEGHGT tilsier på den annen side større flomtopper, siden redusert evapotranspirasjonskapasitet gir mindre uttørring av rotsonen generelt. Hvilken effekt som vil dominere i de enkelte tilfellene avhenger av nedbør- og temperaturforholda i de angjeldende år. Dette er bakgrunnen for at de simulerte høstflomstørrelsene kan vise både økninger og reduksjoner når aktuell skogtilstand i 1960-1970 og 1985-1995 periodene byttes ut med tilstanden fra 1920.

Generelt for simuleringsresultatene i de store nedbørfelta gjelder at de simulerte endringene i flomstørrelser, både for vår- og høstflommer, er så små at de må anses å ligge langt innenfor usikkerhetene som er tilstede i data-materialet. Analysen som er gjort gir derfor ikke grunnlag for å hevde at flomforholda i Osensjøen og Flisafeltet har blitt endret som følge av endringer i skogtilstanden siden 1920.

8. Diskusjon og konklusjoner

Prosjektet beskrevet i denne rapporten har gått ut på å studere hvordan endringer i skogforhold påvirker avrenningsforholda i nedbørfelt. En distribuert hydrologisk modell med detaljert representasjon av vegetasjonens egenskaper har blitt brukt til å simulere avrenningen fra fire små og to store nedbørfelt under ulike karakteristiske skogtilstander.

I de små nedbørfelta ble modellen først kalibrert til aktuell skogtilstand. Deretter ble avrenningen simulert for to hypotetiske skogsituasjoner, henholdsvis med 100% og 0% beskogning. Simuleringsresultatene viste at en overgang fra full til ingen beskogning ga en reduksjon i evapotranspirasjon og en tilhørende økning i avrenning på fra 156 til 200 mm per år. Flommenes maksimalverdier økte i gjennomsnitt med 58% som følge av avskogingen. Manglende datagrunnlag forhindret her verifikasjon av resultatene mot faktiske observasjoner. Resultatene synes imidlertid rimelige. Endringene i de simulerte avløpsvolum ligger litt under de verdiene som ble rapportert av Haveråen i 1981, men stemmer godt overens med det som ble rapportert av Brandt et. al. i 1988. Med hensyn til nedbørfeltshydrologien viste simuleringene at de mest karakteristiske effektene av avskogning er framskyndet og forsterket snøsmelting om våren, og redusert transpirasjon om sommeren. Endringene i snøsmelting skyldes generelt økt eksponering mot sol og vind, og fører i første rekke til at vårflommer starter tidligere. Hvorvidt flomtoppene i tillegg forhøyes avhenger av om temperaturutviklingen den enkelte vår skjer raskt eller langsomt. Ved langsom temperaturøkning kan avskoging gi flommer som starter tidligere men som pågår med lavere intensitet enn før avskogingen (se avsnitt 9.3.2.3). Ved rask temperaturøkning gir imidlertid avskogning generelt kortere og mer intense flomforløp. Disse betraktningene gjelder imidlertid for overgang mellom full og ingen beskogning. Ved bare delvis avskogning vil plasseringen til de avskogede områdene internt i nedbørfeltet også spille inn. Avskogning i øvre del av et nedbørfelt, med tilhørende framskyndet og forsterket snøsmelting der, vil kunne gjøre at tilsig fra dette området i større grad faller sammen med tilsig fra laveliggende områder. Da kan sjøl langsom temperaturutvikling om våren gi forsterket flom etter avskogning, siden smeltevannsbølgene i større grad overlages. Den økte markfuktigheten sommerstid skyldes at transpirasjon gjennom vegetasjonen blir mindre når skog fjernes. Mindre vann blir da trukket opp fra markvannssonen, og restkapasiteten til å lagre nedbør blir redusert. Flomresponsen om sommeren og høsten blir dermed forsterket. Dette gjelder imidlertid i første rekke små og mellomstore flommer. For stor flommer er nedbørmengdene oftest så store at andelen som kan tilbakeholdes i markvannssonen uansett blir marginal. Flommer sent på høsten blir generelt også lite påvirket. Jordsmonnet,

uansett skogtilstand, er da gjerne så mettet på vann at flomhendelsene påvirkes lite av endringer i vegetasjonen.

I de store nedbørfelta ble tre separate perioder med forskjellig skogtilstand brukt som felles grunnlag for modellkalibreringen. Man fikk med dette en verifikasjon på modellens evne til å simulere aktuell avrenning under ulike vegetasjonsforhold. Periodene som ble brukt var henholdsvis 1920-1930, 1960-1970, og 1985-1995. Etter kalibreringen ble nedbørfelta simulert på nytt, men med bruk vegetasjonstilstanden fra den første perioden også i de to siste periodene. Forskjellen dette ga i simulert avrenning i forhold til den avrenningen simuleringene for de aktuelle skogforholda ga ble antatt å være forårsaket av skogendringene som hadde skjedd etter 1920. Vegetasjonsparameterne som inngikk i modelleringen var først og fremst midlere kronedekningsgrad, trehøyde, og bladarealindeks. Disse størrelsene hadde man rekonstruert for de tre tidsperiodene ut ifra relasjoner mellom skogtakseringsdata og feltfysiografiske forhold. På tross av endringene som hadde skjedd i skogbrukspraksis siden 1920, og som hadde forårsaket en sterk økning i stående tømmervolum i løpet av de angjeldende åra, var imidlertid endringene i modellens skogparametere helt marginale. Endringene som hadde skjedd i skogtilstand mellom 1920 og 1990 ga derfor ikke opphav til noen signifikante endringer i avløpet fra nedbørfelta. Dette gjaldt både med hensyn til avrenningsvolum og med hensyn til flomstørrelsene. Helt konkret viste simuleringene en midlere endring på 0.18% i årlig avrenningsvolum og på 0.08% i flommenes maksimalverdier. Begge tallene er så små at de ligger langt innenfor usikkerhetene innbakt datagrunnlaget.

Virkningene nevnt over framkom for to nedbørfelt med svært høye skogandeler, henholdsvis 73% og 96%. Dersom resultatene overføres til felt med lavere skogandeler blir virkningene tilsvarende mindre. Glommafeltet som helhet, med en skogandel på 37%, skal etter dette ikke kunne ha blitt påført nevneverdige endringer avrenningsforhold som følge av skogendringer som har skjedd fra 1920 og fram til i dag. Ekstrapolerer man resultatene som ble funnet for de små nedbørfelta, skulle en fullstendig avskogning av alt skogdekket areal i Glommafeltet tilsa en økning i avrenningen på mellom 50 og 75 mm per år, og en økning i flomstørrelsene på mellom 18% og 24%. Disse anslagene er imidlertid sannsynligvis for store, siden store deler av Glommafeltet er høyfjellsområder uten skogdekning uansett. Vårflommene vil i praksis være bestemt av smelteforløpet i disse områdene og kun i mindre grad påvirkes av skogforholda lengre ned. Høstflommene vil i praksis også være dominert av tilsig fra høyfjellsområdene, siden høyreliggende områder generelt mottar mer nedbør enn laveliggende områder, og siden høyfjellsområder gjerne

har mindre bufferkapasitet i jordsmonn og dermed raskere responstid enn lavereliggende strøk. Virkningene av avskogning vil dermed formodentlig kun kunne bli signifikante lokalt, i delfelt hvor store arealandeler blir berørt av endringene.

De største usikkerhetene knyttet til analysene som er gjort er knyttet til kvaliteten av de rekonstruerte vegetasjonsdataene. Det er et paradoks at endringene i modellens vegetasjonsparametere, VEGCOV, VEGHGT, og LAIMAX, fra 1920 og fram til i dag er såvidt små, tatt i betraktning at det stående tømmer volum i samme periode har økt med over 70%. At metodene som ble brukt for å estimere skogparametrene ikke ga større ulik-

heter må man imidlertid bare akseptere inntil bedre metoder eller mere nøyaktige grunnlagsdata blir tilgjengelige. Hadde skogparametrene vist større forskjeller mellom tidsperiodene ville dette ført til større ulikheter i simulert avrenning. I et pågående EU-prosjekt kalt ARSGISIP (Fluegel and Mueschen, 1998) gjøres det forsøk på å bestemme LANDPINE-modellens vegetasjonsparametere ut i fra informasjon fra satellittbilder. Resultatene man her kommer fram til ønsker man å sammenligne med dataene framskaffet gjennom HYDRA-prosjektet, for å se om bruk av satellittbilder kan være en mer effektiv og nøyaktig metode for å kartlegge vegetasjonsparametere.

Referanser

- Alfredsen, K. and Bruland, O., 1992. Klimaobservasjoner og nedbørtotalisatormålinger i Sagelva, Institutt for vassbygging, Universitetet i Trondheim, Trondheim.
- Bergstrøm, S., Carlsson, B. and Sandberg, G., 1984. An approach to streamwater pH modeling. The PULSE model. NHP-Report No. 5, Nyborg, Denmark.
- Bonell, M., 1993. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. *Journal of Hydrology*, 150: 217-275.
- Bosch, J.M. and Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- Brown, L. and Halweil, B., 1998. Worldwatch Briefing On The Yangtze Flood. THE YANGTZE FLOOD: THE HUMAN HAND, LOCAL AND GLOBAL. Worldwatch Institute, <http://www.worldwatch.org/alerts/pr98813.html>.
- Burt, T.P. and Swank, W.T., 1992. Flow frequency responses to hardwood-to-grass conversion and subsequent succession. *Hydrological processes*, 6(2): 178-188.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. Water Resources and Environmental Engineering. McGraw-Hill Publishing Company, New York, 554 pp.
- Dingman, S.L., 1993. *Physical Hydrology*. Hydrology. Prentice Hall, London, 575 pages.
- Dunn, S.M. and Mackay, R., 1995. Spatial variation in evapotranspiration and the influence of land use on catchment hydrology. *Journal of hydrology*, 171(1-2): 49-73.
- Eeeles, C.W.O., Blackie, J.R., Whitehead, P.G. and Calder, I.R., 1993. Land-use changes in the Balquhider catchments simulated by a daily streamflow model. The Balquhider catchment and process studies. *Journal of hydrology*, 145(3-4): 315-336.
- Fluegel, W.A. and Mueschen, B., 1998. ARSGISIP - Applied remote sensing and GIS integration for catchment model parameterization. contact no. ENV-CT97-0396, Institute of Geography, Friedrich Schiller University, Jena.
- Grant, G.E. and Jones, J.A., 1995. Peak Flow Responses to Clearcutting and Roads in Small and Large Basins, Western Cascades, Oregon. *Water Resources Research*, 32(4): 959-974.
- Grip, H. and Rohde, A., 1985. Vattnets väg från regn til bäck (in Swedish). Forskningsrådets Förlagstjänst, Lagerblads Tryckeri, Karlshamn, 156 pp.
- Grønlund, A., 1999. Naturgrunnlag og arealbruk i Glommas nedbørfelt. HYDRA-rapport nr. N03, Jordforsk, Ås.
- Grønlund, A., Njøs, A. and Kløve, B., 1999. Endringer i landbrukets arealbruk i Glommas nedbørfelt. HYDRA-rapport nr. N02, Jordforsk, Ås.
- Gustard, A., Wesselink, A.J., Whitehead, P.J. and Calder, I.R., 1993. Impact of land-use change on water resources : Balquhider catchments. The Balquhider catchment and process studies. *Journal of hydrology*, 145(3-4): 389-401.
- Harby, A., 1990. Vannføringsobservasjoner i Sagelva. B-1-1990-3, Institutt for vassbygging, Universitetet i Trondheim, Trondheim.
- Harildstad, E., 1969. Avrenningsundersøkelser i små vassdrag. Melding nr. 14, Institutt for kulturteknikk, NLH, Ås.
- Haveraaen, O., 1981. Virkningen av hogst på vannmengde og vannkvalitet fra en østnorsk barskog. [The effect of cutting on water quantity and water quality from an East-Norwegian coniferous forest] (in Norwegian). Rapport No. 36.7, Norsk institutt for skogforskning, Ås.
- Hewlett, J.D., 1982. *Principles of Forest Hydrology*. Univ. of Georgia Press, Athens, Ga.
- Hibbert, A.R., 1967. Forest treatment effects on water yield. In: W.E. Sopper and H.W. Lull (Editors), *International symposium on forest hydrology*. Pergamon Press, New York, pp. 527-543.
- Killingtveit, Å., 1976. En studie av vannbalansen i Sagelva hydrologiske forskningsfelt. doktor ingeniør avhandling Thesis, Universitetet i Trondheim, Trondheim, 279 pp.
- Kolberg, S., Rinde, T. and Tøfte, S.L., 1999. Automatisk kalibrering av hydrologiske modeller (in Norwegian). STF22 A99402, SINTEF - Bygg og miljøteknikk, Trondheim.
- Krecek, J. and Zeleny, V., 1980. Effect of commercial forest logging upon streamflow processes in small basins in the Moravian-Silesian Beskydy Mountains. IAHS Publication No. 130.
- Kaarstad, 1971. Avrenningsmålinger i små nedbørfelt. Melding nr 21, Institutt for kulturteknikk, NLH, Ås.
- Lee, R., 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York, 349 pp.

- McCulloch, J.S.G. and Robinson, M., 1993. History of forest hydrology. *Journal of Hydrology*, 150: 189-216.
- Meng, F.R., Bourque, C.P.A., Jewett, K., Daugharty, D. and Arp, P.A., 1995. The Nashwaak experimental watershed project : analysing effects of clearcutting on soil temperature, soil moisture, snowpack, snowmelt and stream flow. *Boreal forests and global change. Water, air and soil pollution*, 82(1-2): 363-374.
- Mita, P., 1980. The effects of forest on runoff generation. IAHS Publication No. 130.
- Molchanov, A.A., 1960. The hydrological Role of forests (translated from Russian), Israel program for scientific translations. Jerusalem 1963, Jerusalem 1963.
- Ponce, S.L., 1983. The potential for water yield augmentation through forest and range management. *Water Res. Bulletin*, 19(3).
- Rinde, T., 1999. LANDPINE - En hydrologisk modell for simulering av arealbruksendringers innvirkning på avrenningsforhold (in Norwegian). N04, SINTEF - Bygg og miljøteknikk, Trondheim.
- Rosencrantz, S.D., Storck, P. and Lettenmayer, D.P., 1998. Statistical analysis of logging effects on flooding in the Snoqualmie River basin, Washington, http://ontario.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Publications/small_watershed/poster.html.
- Stednick, J.D., 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of hydrology*, 176(1-4): 70-95.
- Storck, P., Bowling, L., Wetherbee, P. and Lettenmaier, D., 1998. Application of a GIS-based distributed hydrology model for prediction of forest harvest effects on peak stream flow in the Pacific Northwest. *Hydrological Processes*, 12: 889-904.
- Thompson, N., Barrie, I.A. and Ayles, M., 1981. The meteorological office rainfall and evaporation calculation system: MORECS (July 1981). Hydrological memorandum no.45, Meteorological office.
- Tveit, J., 1994. *Ingeniørhydrologi* (in Norwegian), 2. Institutt for vassbygging, NTNU, Trondheim.

Tidligere utgitt i HYDRA-serien

Flomdemping, flomvern og flomhandtering (F)

- F01 Analyse av lange flomserier.
Lars Andreas Roald, NVE.
- F02 Estimating the mean areal snow water equivalent from satellite images and snow pillows.
Thomas Skaugen, NVE.
- F03 Modellstudie av reguleringens flomdempende effekt i Gudbrandsdalslågen.
Magne Wathne og Knut Alfredsen, SINTEF.
- F04 Effekt av vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen på stor flom.
Jens Kristian Tingvold, Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB).
- F05 Effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet.
Hallvard Berg, Inger Karin Engen, Ingrid Haddeland, Øyvind Høydal, Eirik Traaa, NVE
Morten Skoglund, SINTEF.

Miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak (Mi)

- Mi01 Miljøkonsekvenser av flom - flom og vannkvalitet.
Bjørn Faafeng, Espen Lydersen, Gøsta Kjellberg, Vilhelm Bjerknes, NIVA.
- Mi02 Virkning av flom på vannlevende organismer.
Åge Brabrand, John E. Brittain, Ketil Sand, Per Aass, UiO
Gunnar Halvorsen, Kjetil Hindar, Arne Jensen, Bjørn Ove Johnsen, NINA
Jo Vegar Arnekleiv, Dag Dolmen, NTNU
Bjørn Rørslett, NIVA
Jan Henning L'Abée-Lund, NVE.
- Mi03 Miljøeffekter av flomforebyggende tiltak - en litteraturstudie.
Torbjørn Østdahl, Trond Taugbøl og Børre Dervo, Østlandsforskning.
- Mi04 Miljøtilpasninger ved eksisterende og nye flomsikringstiltak - en litteraturstudie.
Torbjørn Østdahl og Trond Taugbøl, Østlandsforskning.
- Mi05 Miljøvirkninger av erosjon og sedimenttransport under flommer.
Jim Bogen og Truls Erik Bønsnes, NVE.

Naturgrunnlag og arealbruk (N)

- N01 Naturlige magasineringsområder.
Bjørn Follestad, Norges geologiske undersøkelse
Noralf Rye, Geologisk institutt, UiB.
- N02 Endringer i landbrukets arealbruk i Glommas nedbørfelt.
Arne Grønlund, Arnor Njøs og Bjørn Kløve, Jordforsk.
- N03 Naturgrunnlag og arealbruk i Glommas nedbørfelt.
Arne Grønlund, Jordforsk.
- N04 LANDPINE - en hydrologisk modell for simulering av arealbruksendringers innvirkning på avrenningsforhold.
Trond Rinde, SINTEF - Bygg og miljøteknikk.

Skaderisikoanalyse (R)

- R01 Economic Risk of Flooding - a case study for the floodplain upstream Nor in the Glomma River, Norway.
Lars Gottschalk, Dept. of Geophysics, University of Oslo
Irina Krasovskaia, Dept. of Earth Sciences, Hydrology, University of Uppsala.
- R02 Samfunnskostnader på grunn av flom i vassdrag.
Magne Wathne og Morten Skoglund, SINTEF
Hans Olav Eggestad, Jordforsk.

Tettsteder (T)

- T01 Betydningen av lokal-/total overvannsdiskontering (LOD/TOD) på flommer.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS.
- T02 Urbaniserte områders innvirkning på flomforhold.
Oddvar Lindholm, NLH
Steinar Myrabø, Jordforsk
Jadranka Milina, Sveinung Sægrov og Ingrid Selseth, SINTEF.
- T03 Lokal og total overvannsdiskontering (LOD/TOD) - Beskrivelser av anlegg, erfaringer mm.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS.
- T04 Skadereduserende kommunaltekniske tiltak med tanke på flom.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS og Oddvar Lindholm, NLH.

Kontaktpersoner

- formann i styringsgruppen:** Ola Skauge
Tlf. 73 58 05 00
E-post: ola.skauge@dirnat.no
- programleder:** Arnor Njøs
Jordforsk
Tlf. 64 94 81 70 (Jordforsk)
Tlf. 22 95 90 98 (NVE)
E-post: arnor.njos@jordforsk.nlh.no
E-post: xarn@nve.no.
- naturgrunnlag og arealbruk:** Arne Grønlund
Jordforsk
Tlf. 64 94 81 09
E-post: arne.gronlund@jordforsk.nlh.no
- Noralf Rye
Universitetet i Bergen
Tlf. 55 58 34 98
E-post: noralf.rye@geol.uib.no
- tettsteder:** Oddvar Lindholm
Norges Landbrukskøghøgskole
Tlf. 64 94 87 08
E-post: oddvar.lindholm@itf.nlh.no
- flomdemping, flomvern og flomhandtering:** Dan Lundquist
Glommens og Laagens
Brukseierforening
Tlf. 22 54 96 00
E-post: post@glb.no
E-post: danlund@sn.no
- skaderisikoanalyse:** Nils Roar Sælthun
Norsk institutt for vannforskning
Tlf. 22 18 51 21
E-post: nils.saelthun@niva.no
- miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak:** Ollianne Eikenæs
Norges vassdrags- og energidirektorat
Tlf. 22 95 92 24
E-post: oli@nve.no
- databaser og GIS:** Lars Andreas Roald
Norges vassdrags- og energidirektorat
Tlf. 22 95 92 40
E-post: lars.roald@nve.no
- modellarbeid:** Ånund Killingtveit
Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet
Tlf. 73 59 47 47
E-post: aanund.killingtveit@bygg.ntnu.no
- programadministrasjon:** Ollianne Eikenæs
Norges vassdrags- og energidirektorat
Tlf. 22 95 92 24
E-post: oli@nve.no
Hjemmeside: <http://www.nve.no>
- Per Einar Faugli
Norges vassdrags- og energidirektorat
Tlf. 22 95 90 85
E-post: pef@nve.no



**Norges
vassdrags- og
energidirektorat**

Kontoradresse: Middelthuns gt. 29
Postadresse: Postboks 5091 Maj. 0301 Oslo