Ingjerd Haddeland
Øyvind A. Høydahl
NVE

Effekten av flomverk på flomforløpet

NOTAT
Nr. 5
1999

HYDRA

-ET FORSKNINGSPROGRAM OM FLOM

HYDRA - et forskningsprogram om flom

HYDRA er et forskningsprogram om flom initiert av Norges vassdrags- og energiverk (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
- Tettsteder
- Flomdemping, flomvern og flomhandtering
- Skaderisikoanalyse
- Miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak
- 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 Landbrukshøgskole (NLH), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Norges vassdrags- og energiverk (NVE), Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), SINTEF, Stiftelsen for Naturforskning og Kulturminneforskning (NINA/NIKU), Norsk Regnesentral (NR), Direktoratet for naturforvaltning (DN), Østlandsforskning (ØF) og universitetene i Oslo og Bergen.

HYDRA - a research programme on floods

HYDRA is a research programme on floods initiated by the Norwegian Water Resources and Energy Administration (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 hypotesis 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
- Urban areas
- Databases and GIS
- Risk analysis
- Flood reduction, flood protection and flood management
- 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 and Energy Administration (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), Norwegian Computing Center (NR), Directorate for Nature Management (DN), Eastern Norway Research Institute (ØF) and the Universities of Oslo and Bergen.

HYDRA-notat nr 5/99

Effekten av flomverk på flomforløpet

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Ingjerd Haddeland, Øyvind Høydal

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 100

Sammendrag:

Formålet med dette prosjektet er å studere endringer i flomforløpet som følge av flomverk, og å studere eventuell demping av flommen som følge av magasinering på elveslettene.

For å studere effekten av flomverk på flomforløp, er det er satt opp en hydrodynamisk modell (Mike11) for to elvestrekninger i Glomma. Disse elvestrekningene er i Alvdal, og mellom Elverum og Kongsvinger. Modellene er kalibrert mot flommen i 1995. Modellstrekningene er simulert med og uten eksisterende eller planlagte flomverk.

Resultatene antyder at om det finnes flomverk eller ikke langs disse elvestrekningene, så gir dette små endringer i kulminasjonsvannføringen. Derimot vil flomkulminasjonen komme senere dersom det ikke finnes flomverk langs modellstrekningene, enn om flomverk eksisterer. Vannstanden er lavest dersom elveslettene modelleres som en del av strømningsarealet.

Abstract:

The principal objective of this project is to study the changes in discharge and water stage caused by flood dikes along a river reach. A hydrodynamic model (Mike11) is used to simulate two river reaches with and without flood dikes.

The model results suggest that the maximum discharge is only marginally affected by the dikes along these river reaches. However, the time of the culmination is delayed in the situation without flood dikes. The resulting water stages are lowest when the flood plains are modelled as retention areas.

Emneord: flom, flomverk, HYDRA

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

FORORD.

Denne rapporten inngår i et prosjekt (F4) i F-gruppas arbeid i HYDRA-programmet, hvor kunnskapsgrunnlaget vedrørende effekten av vassdragsreguleringer og flomsikringstiltak på flomforhold videreutvikles. Prosjekt F4 tar for seg effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet nedstrøms. Det er to typer flomsikringstiltak som behandles - senkingstiltak og flomverk.

Den positive effekten for flomforholdene lokalt er naturlig nok mest i fokus ved gjennomføring av flomsikringstiltak. Det har likevel i flere sammenhenger vært fokusert på mulige negative konsekvenser av flomsikringstiltak på flomforholdene nedstrøms. De analyser som er gjort i dette prosjektet er de mest omfattende som er gjort her i landet innenfor temaet. Vi mener arbeidet gir et forbedret grunnlag for vurdering av nedstrøms konsekvenser av flomsikringstiltak generelt. Hvordan tiltakene virker sammen med andre menneskelige inngrep vil bli analysert i sluttfasen av HYDRA, gjennom et større modellarbeid.

Prosjektet er inndelt i 5 delprosjekter:

1. Forstudium; oppsummering av kunnskapsstatus på området. [HYDRA-notat nr 2/1997]
2. Effekter av flomverk på flomforløpet. [HYDRA-notat nr 5/1999]
3. Effekter av senkingstiltak. [HYDRA-notat nr 6/1999]
4. Utforming av nødoverløp på flomverk og effekt på ulike flomforhold. [HYDRA-notat nr 7/1999]
5. Hydrodynamisk modell for Glomma mellom Kongsvinger og Øyeren. [HYDRA-notat nr 8/1999]

Det leveres en sluttrapport "Effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet" (HYDRA-rapport in prep.) som sammenstiller resultatene fra alle delprosjektene.

Med dette rapporteres fra delprosjekt nr 2, som tar for seg effektene på flomforløpet nedstrøms av bygging av flomverk.

Oslo, 25. juni 1999

Hallvard Berg
prosjektleder

INNHOLDSFORTEGNELSE:

1 INNLEDNING. 1
1.1 BAKGRUNN. 1
1.2 FORSKNINGSPROSJEKTET HYDRA. 1

2 PROSJEKTBESKRIVELSE. 2
2.1 MÅLSETTING OG AVGRENSING. 2
2.2 STUDIEOMRÅDE 1: ELVERUM – KONGSVINGER. 3
2.3 STUDIEOMRÅDE 2: ALVDAL. 3

3 DATAGRUNNLAG. 5
3.1 STUDIEOMRÅDE 1: ELVERUM - KONGSVINGER. 5
3.1.1 Hydrologiske data. 5
3.1.2 Terrengdata. 6
3.2 STUDIEOMRÅDE 2: ALVDAL. 6
3.2.1 Hydrologiske data. 6
3.2.2 Terrengdata 7

4 PROBLEMLØSING. 8
4.1 MODELLVERKTØYET MIKE11. 8
4.2 FORUTSETNINGER OG FORENKLINGER. 9
4.3 STUDIEOMRÅDE 1: ELVERUM - KONGSVINGER. 9
4.3.1 Modelloppsett. 9
4.3.2 Grensebetingelser 9
4.3.3 Kalibrering. 10
4.4 STUDIEOMRÅDE 2: ALVDAL. 12
4.4.1 Modelloppsett. 12
4.4.2 Grensebetingelser. 13
4.4.3 Kalibrering 13

5 RESULTATER. 14
5.1 STUDIEOMRÅDE 1: ELVERUM – KONGSVINGER. 14
5.1.1 Analyse av 1995-flommen. 14
5.1.2 Analyse av 1967-flommen. 18
5.1.3 Analyse av syntetisk flomforløp. 19
5.2 STUDIEOMRÅDE 2: ALVDAL. 19
5.3 VURDERING OG DISKUSJON AV RESULTATENE. 21
5.3.1 Usikkerheter. 21
5.3.2 Demping på elveslettene. 22
5.3.3 Aktivt/Ikke-aktivt strømningsareal. 23

6 KONKLUSJONER. 25

7 VIDERE ARBEID. 26
7.1 DATAGRUNNLAGET. 26
7.2 MODELLERINGER. 26

REFERANSER. 28

1 INNLEDNING.

1.1 Bakgrunn.

I Norge har senkings-, forbygnings- og flomsikringstiltak foregått i statlig regi i snart 200 år [Andersen, 1996]. Det primære formålet med disse tiltakene er å redusere flomskadene lokalt. Flomverk er vanligvis dimensjonert for 100-årsflommen, og gir muligheter for å drive landbruksvirksomhet og oppføre boliger og næringsbygg nærmere vassdragene enn man ellers kunne gjort.

Flomverk kan virke inn på flomforløpet ved å øke flomtoppen nedstrøms eller oppstrøms inngrepene. Det er gjort få konkrete beregninger her i landet av effekten av flomverk på flomforløpet [NOU, 1996], og de beregningene som er gjort, omfatter forholdsvis korte strekninger. I Norge er det hittil ikke utført noen detaljerte modelleringer som kan gi svar på hva den samlede effekten av flere flomverk på ulike steder i vassdraget har å si for resulterende vannstand og vannføring under en flom.

En undersøkelse av flomverks innvirkning på vannstand og vannføring i deler av Glomma viste at disse hadde liten effekt [Kjellesvig og Skoglund, 1996]. Et arbeidsutvalg har undersøkt virkningene av eksisterende og eventuelle nye flomverk i Odal og Solør, og konkluderte med at disse hadde forholdsvis liten betydning for vannstanden både nedstrøms og oppstrøms flomverkene [Berg (red), 1994]. I Polen, derimot, ble bygging av flomverk kansellert fordi forundersøkelser viste at det ville øke faren for oversvømmelser nedstrøms [Szczegielniak, 1990]. Modellering av endringer i flomvannstander i de øvre deler av Rhinen antydet at vannstanden enkelte steder har økt med noen desimeter på grunn av bygging av diker oppstrøms. Under store flommer viste imidlertid modelleringen at virkningen av dikene er ubetydelig, siden vannet overtopper dikene uansett. [EurAqua, 1996]. Modellstudier av flommene i 1993 og 1995 i elva Nahe (Rhindalen) viste at verken lagring eller strømning av vann på elveslettene førte til noen særlig endring i vannføringsforløpet, i forhold til om alt vannet befant seg i selve elveløpet [IHW, 1998].

Under den store flommen på Østlandet i 1995 ble det diskutert hvilken innvirkning flomverkene hadde på vannstanden, og da spesielt om flomverk resulterte i en økning av flomvannstanden nedstrøms. Som en konsekvens av flommen ble det satt ned et regjeringsoppnevnt utvalg, Flomtiltaksutvalget, etter råd fra det daværende Nærings- og Energidepartementet. En av Flomtiltaksutvalgets konklusjoner var at de ikke kunne se at flomverk alene hadde ført til endringer av betydning under flommen i 1995, men at de regnet med at forskningsprogrammet HYDRA ville gi klarere svar på dette [NOU, 1996].

1.2 Forskningsprosjektet HYDRA.

HYDRA er et forskningsprogram om flom, initiert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i begynnelsen av 1995. HYDRAs arbeidshypotese er at summen av alle menneskelige inngrep, i form av arealbruk, reguleringer, flomverk og så videre, kan ha økt risikoen for oversvømmelser. Forskningsprogrammet legger et grunnlag for å teste denne hypotesen.

Hydra er inndelt i 7 arbeidsområder hvorav ett er flomdemping, flomvern og flomhåndtering. Denne rapporten inngår i det såkalte F-området hvor kunnskapsgrunnlaget vedrørende effekten av vassdragsreguleringer og flomsikringstiltak på flomforhold videreutvikles.

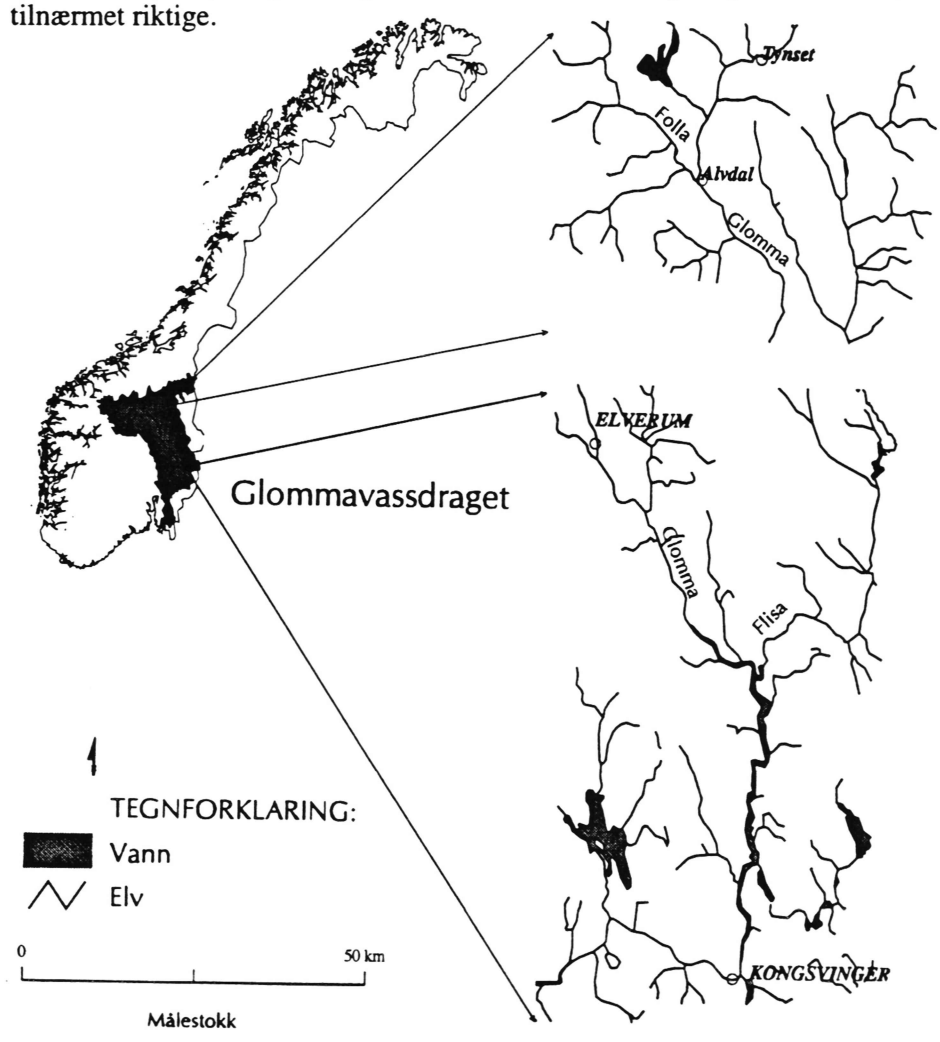
2 PROSJEKTBESKRIVELSE.

2.1 Målsetting og avgrensing.

Dette prosjektet er en del av HYDRA, og formålet er å studere endringer i flomforløpet som følge av flomverk, og å studere eventuell demping av flommen som følge av magasinering på elveslettene. Prosjektet bidrar til å øke kunnskapsnivået når det gjelder flomforholdene før og etter bygging av flomverk.

En hydrodynamisk modell er brukt for å sette opp modeller for to studieområder, se figur 2.1, og ulike flomforløp er modellert i disse strekningene. Modelleringen er gjort for to situasjoner: En der flomverkene holder vannet borte fra elveslettene, og en situasjon der flomverkene er tenkt fjernet. På grunnlag av resultatene fra disse modelleringene er det forsøkt å gi en generell vurdering av hva flomverk har å si for flomforholdene. Denne generelle vurderingen kan selvfølgelig ikke gi svar på hva som er følgene av bygging av flomverk i et hvert vassdrag i Norge, - til det er Norges topografi og klima for variert.

Modellene som er bygd opp gir ikke absolutte eller helt nøyaktige svar. Kravene til inngangs- og kalibreringsdata og selve modelleringsarbeidet for en slik modell er større enn det som kan gjennomføres i HYDRA-programmet. Målet for dette prosjektet er at modellene skal gi relative svar på hvordan flomforholdene med og uten flomverk vil være. Med dette menes at resultatene ikke forventes å gi nøyaktige svar på resulterende vannføringer og vannstander, men at differensene er tilnærmet riktige.



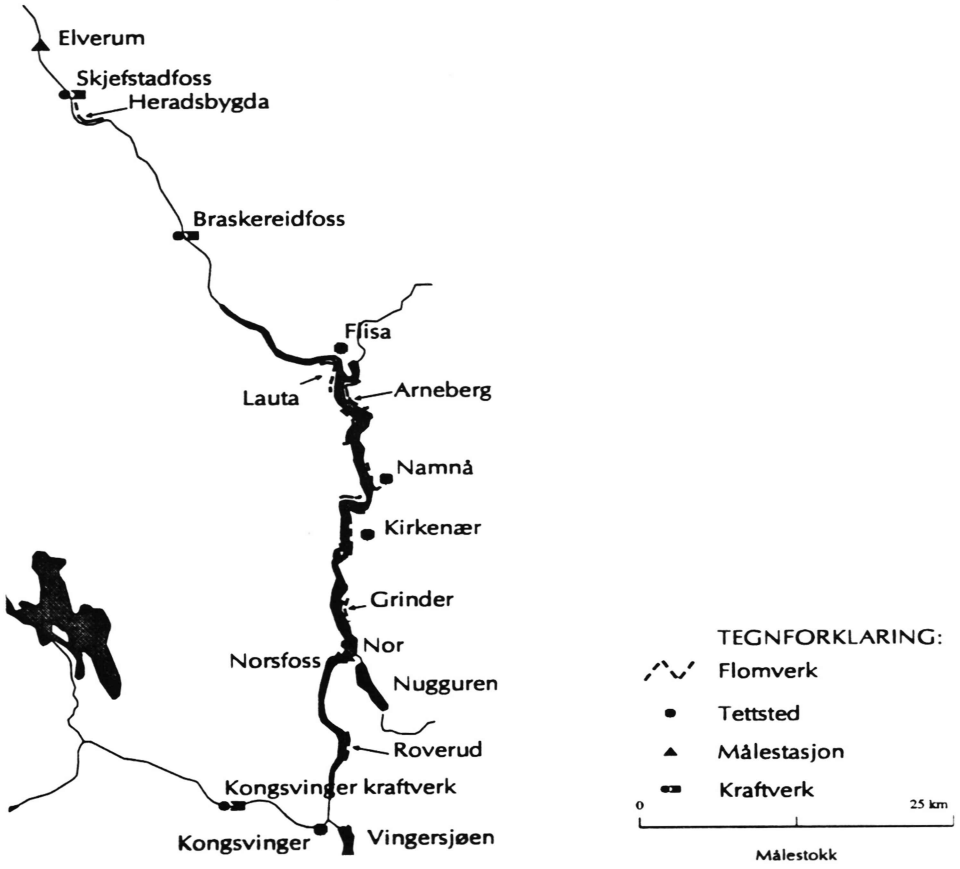
Figur 2.1: Studieområdene.

2.2 Studieområde 1: Elverum – Kongsvinger.

Studieområde 1, fra Elverum til Kongsvinger kraftverk, er en del av Glommas nedbørfelt, se figur 2.1. Avstanden mellom Elverum og Kongsvinger, langs Glomma, er ca. 110 km. Høydeforskjellen er omtrent 40 m, noe som gir elva et gjennomsnittlig fall på litt mer enn 1:3000. Totalt oppstrøms feltareal ved Kongsvinger kraftverk er 19277 km^2, mens lokalfeltet for området mellom Elverum og Kongsvinger kraftverk er 3849 km^2.

Innenfor studieområdet finnes to innsjøer av spesiell interesse; Nugguren og Vingersjøen, se figur 2.2. Normalt har disse innsjøene avløp til Glomma, men når vannstanden i Glomma overstiger et visst nivå, renner det vann fra Glomma og inn i innsjøene.

Under flommen i 1995 ble noen av flomverkene overtoppet, eller det oppstod brudd i dem av andre årsaker. Dette førte til at areal bak flomverkene ble oversvømmet, og det ble diskutert hvorvidt flomverkene påvirket Glommas flomdempingsevner. Figur 2.2 viser lokaliseringen av flomverkene mellom Elverum og Kongsvinger.

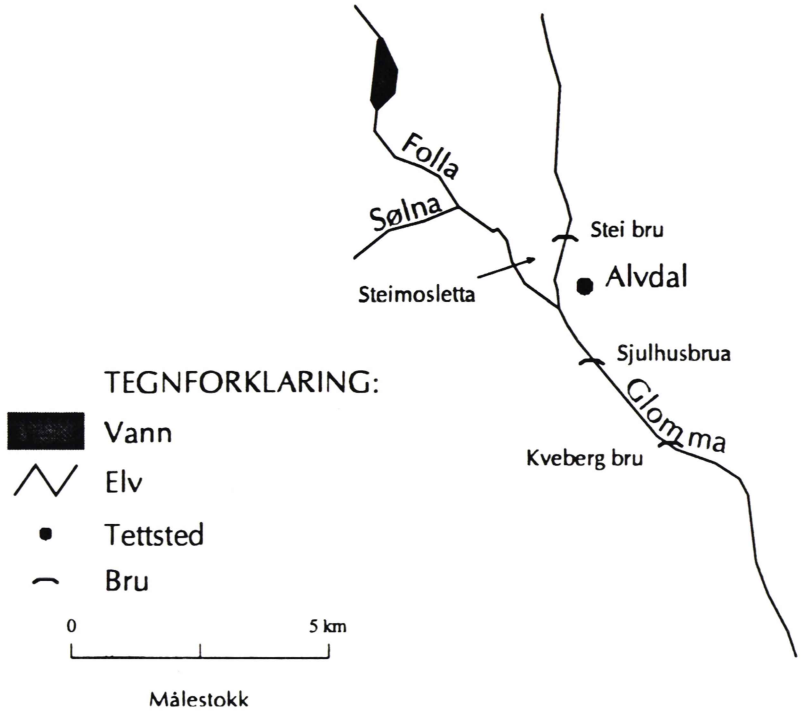


Figur 2.2: Detaljkart, studieområde 1.

2.3 Studieområde 2: Alvdal.

Alvdal ligger i øvre del av Østerdalen, ved samløpet mellom Folla og Glomma, se figur 2.1. Folla har ved samløpet et feltareal på 2432 km^2, mens Glomma etter samløp med Folla har et totalt feltareal på 6367 km^2 ved Kveberg bru. Kveberg bru er en gammel målestasjon og avgrenser nedre del av studieområdet. Studieområdet er ca 7.7 km^2, og er vist i figur 2.3. Selve flomarealet på slettene utgjorde i 1995 ca 5 km^2. Øvre del av området - Steimosletta, er forbygd med flomverk mot Glomma. Steimosletta er ikke flomsikret fra Folla. I 1995 var det fare for at verket mot Glomma skulle ryke, og NVE var klar til å åpne verket. Samtidig steg Folla raskt slik at denne gikk over sine bredder. Vannet

rant dermed over Steimosletta og samlet seg mot Glommaverket slik at dette ble stabilisert. Steimosletta ligger på ca 478 m.o.h. Langs sletta ligger Folla høyere enn Glomma, slik at sletta både heller mot Glomma og nedover dalen. Glomma har et markert fall fra Stei bru og omtrent til samløp med Folla. Nedre del av elveslettene smales inn mot Kveberg bru. Kapasiteten her er langt på vei styrende for vannstanden i studieområdet.



Figur 2.3: Detaljkart, studieområde 2.

3 DATAGRUNNLAG.

3.1 Studieområde 1: Elverum - Kongsvinger.

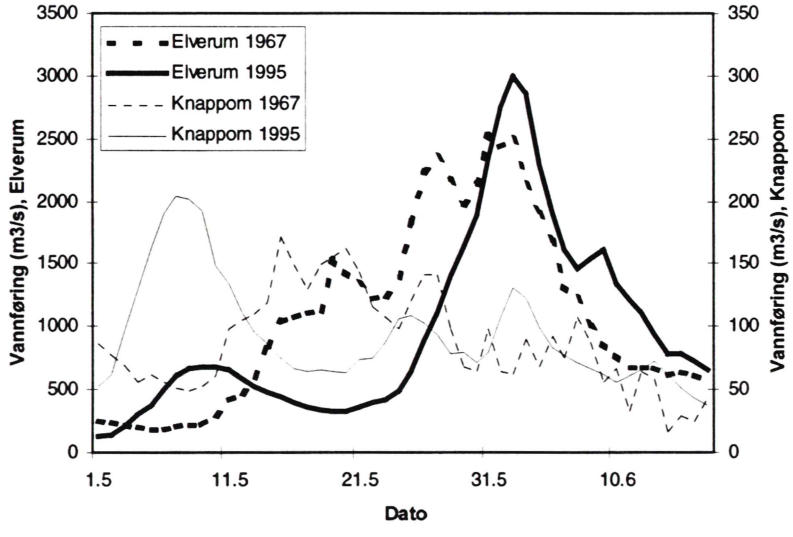
3.1.1 Hydrologiske data.

Innenfor studieområdet finnes fire målestasjoner for vannstand; Elverum, Knappom, Nor og Norsfoss, se figur 2.2. Fra disse målestasjonene er det også tilgjengelig vannføringsdata[1]. Figur 2.2 viser også plasseringen av kraftverkene som finnes innenfor studieområdet. For strekningen oppstrøms Kongsvinger kraftverk er det brukt daglige vannføringsdata for tre av målestasjonene (Elverum, Knappom og Norsfoss i 1995, og Elverum, Knappom og Nor i 1967). I tillegg er det benyttet vannføringsdata fra Kongsvinger kraftverk (1995). Vannføringsdata for Kongsvinger kraftverk for 1967 var ikke tilgjengelig.

Vannføringsdata for ulike gjentaksintervall ved ulike steder i studieområdet er gitt i tabell 3.1. Dataene er hentet fra NVEs database (Hydra II). I tillegg viser tabellen vannføringsdata for flommene i 1995 og 1967, som er de historiske flommene som er studert for denne elvestrekningen. Figur 3.1 viser hydrogrammer for Elverum og Knappom fra 1967 og 1995. Alle verdier er døgnverdier. Flommen i 1995 er estimert til å ha et gjentaksintervall mellom 100 og 200 år i Glommas hovedløp [Erichsen, 1995], mens flommen i 1967 var tilnærmet en 50-årsflom.

Tabell 3.1: Vannføringsdata (m^3/s), studieområde 1.

Gjentaksintervall	Q_m	Q_{10}	*Mai 1967*	*Juni 1995*
Elverum	1366	1878	2533	3000
Knappom	178	264	162	130
Norsfoss[2]	1518	2050	2866	3176



Figur 3.1: Tilløpshydrogrammer, studieområde 1. Legg merke til at det er to y-akser.

[1] I rapporten refereres det flere ganger til observerte vannføringer. Egentlig er det vannstand som er observert, mens vannføringene er avledet ved hjelp av vannføringskurver.

[2] Tallet fra 1967 refererer til målestasjon Nor, like oppstrøms Norsfoss.

Ut fra vannstandsobservasjoner i 1995 er det laget et flomnivellement som viser et lengdeprofil av maksimum vannstand under flommen.

3.1.2 Terrengdata.

Tverrprofilene som er brukt i dette prosjektet, er målt opp i løpet av de siste ti årene. I områder der tilgjengeligheten av tverrprofil er utilfredsstillende, er kartinformajon (analog og digital) brukt for å konstruere ekstra tverrprofiler for modellformål. Analoge og/eller digitale kart er også brukt for å forlenge enkelte av tverrprofilene ut på elveslettene.

Den digitale terrengmodellen som er brukt i dette prosjektet har en oppløsning på 7*7 meter, og en høydenøyaktighet på ±20-30 cm. Terrengmodellen dekker området mellom Flisa og Norsfoss. I tillegg til å bruke terrengmodellen som grunnlag for å forlenge noen av tverrprofilene, er den også brukt for å finne volumet bak flomverkene.

I løpet av flommen i 1995 ble det tatt vertikalfoto av elva så nær kulminasjonen som mulig. Ut fra flybildene er flomutbredelsen digitalisert, og det er laget et flomarealkart som viser maksimum vannstand under flommen.

3.2 Studieområde 2: Alvdal.

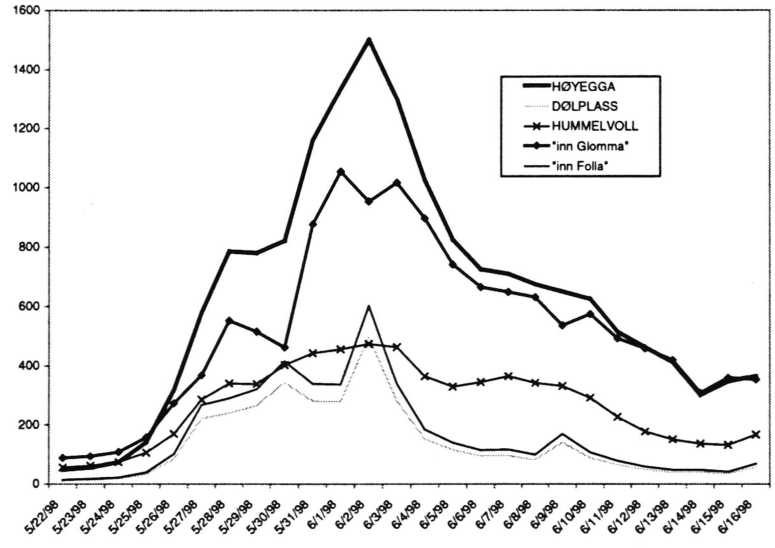
3.2.1 Hydrologiske data.

Det er ingen målestasjoner innenfor studieområdet. Stasjonene Dølplass (Folla), Hummelvoll (oppstrøms Glomma) og Høyegga (nedstrøms Glomma) er benyttet. Hummelvoll fanger bare opp 61% av feltarealet i Glomma oppstrøms Alvdal og er dermed ingen god kilde for direkte observasjon av flomforløpet. Dølplass dekker 83% av feltarealet for Follas nedbørfelt, mens Høyegga dekker 97%. Vannføringsdata er gitt i tabell 3.2. En kan merke seg at på Dølplass og Høyegga var flommen i 1995 i størrelsesorden en 100-års flom, mens flommen i øvre del av Glomma ved Hummelvoll var i størrelsesorden en 50-års flom.

Tabell 3.2: Vannføringsdata (m^3/s), studieområde 2.

Gjentaksintervall	Q_m	Q_{10}	$\sim Q_{100}$	*Juni 1995*
Dølplass	226	342	489	497
Hummelvoll	261	373	532	474
Høyegga	663	994	1458	1500

Døgnobservasjoner fra disse 3 stasjonene, sammen med feltarealer, er brukt til å beregne tilløpshydrogrammer for "inn Glomma" og "inn Folla" (figur 3.2). Det er ikke tatt hensyn til tidsforskyvninger mellom stasjonene. Dataene er for grove til at dette har noen hensikt.



Figur 3.2: Tilløpshydrogrammer, studieområde 2.

3.2.2 Terrengdata

I Alvdal har det vært et Geovekst[3]-prosjekt der eldre 1:5000-kart ble oppdatert og digitalisert, i tillegg til noe nykonstruksjon. Tverrprofiler og karttemaer med høydeinformasjon (veier, jernbane, høydekurver og vanntema) er benyttet til å generere terrengmodellen. Området er også laserscannet, men data herfra er så langt ikke tilgjengelig. Terrengmodellen er benyttet for å beregne areal- og volumkurvene inne på elveslettene.

[3] Geovekst er et offentlig samarbeidsprosjekt innen kartlegging, og er ledet av Statens Kartverk.

4 PROBLEMLØSING.

4.1 Modellverktøyet Mike11.

Mike11 er en hydrodynamisk modell utviklet ved Dansk Hydraulisk Institutt. Modellen er basert på en numerisk løsning av fullstendige, ikke-lineære St. Venants ligninger for én-dimensjonal, ikke-stasjonær vannføring (bevaring av masse (1) og lineær bevegelsesmengde (impuls) (2)) [Dansk Hydraulisk Institutt, 1995]:

$$(1) \qquad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

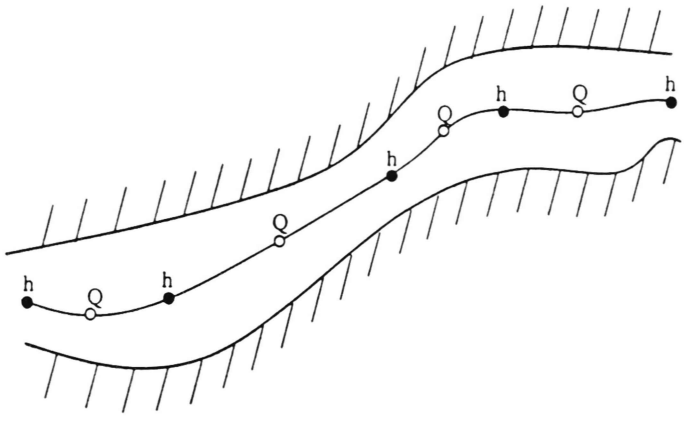
$$(2) \qquad \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\alpha Q^2}{A}\right] + \frac{\partial Q}{\partial t} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g|Q|Q}{C^2AR} = 0$$

Her er:

Q	Vannføring [m^3s^{-1}]
A	Tverrsnittsareal [m^2]
q	Lateral innstrømning [m^2s^{-1}]
h	Vannstand over referansenivå [m]
C	Chezy motstandskoeffisient [$m^{1/2}s^{-1}$] (C er dybdeavhengig, Manningtallet, M, benyttes vanligvis.)
R	Hydraulisk radius [m]
α	Impulsfordelingskoeffisient

Beregning av vannstand og vannføring blir foretatt i punkter som vist i figur 4.1. Punkter merket 'h' tilsvarer lokaliseringen av tverrprofiler i elva som er lagt inn i modellen. Her beregnes vannstander. Midt mellom tverrsnittene beregnes vannføring (Q). Inngangsdata til modellen er vannførings- og/eller vannstandsserier, tverrprofiler, ruhetskoeffisienter og eventuelt terrengdata.

Mike11 blir brukt til vannføringssimulering, studier av sedimenttransport og vannkvalitet i estuarier, elver, irrigasjonssystem og lignende vannsystemer. Modellen kan integreres med et geografisk informasjonssystem, og på den måten produsere kart som kan brukes til støtte i vassdragsforvaltningen.



Figur 4.1: Beregningspunkter i elvestrekning, Mike11.

4.2 Forutsetninger og forenklinger.

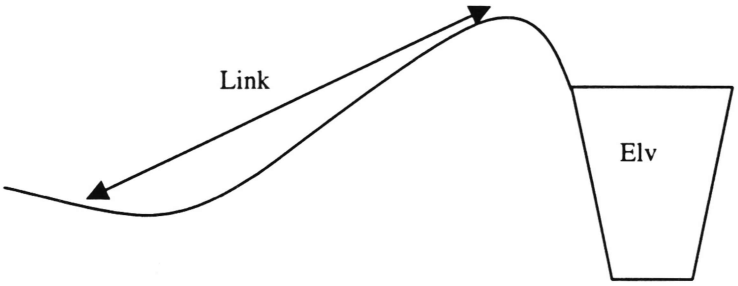
Mike11 er en én-dimensjonal modell, og følgelig er vannstrømningen i modellstrekningene forutsatt én-dimensjonal. Dette medfører en antagelse om at trykkfordelingen i et snitt i elva er hydrostatisk, noe som skulle være greit i et elveforløp som er såpass rolig og sakteflytende som disse områdene i Glommavassdraget er.

Det er i modellarbeidet ikke tatt hensyn til eventuelt vann som trenger inn under flomverkene (grunnvannsstrømning). Infiltrasjon i grunnen på elveslettene er det heller ikke tatt hensyn til.

4.3 Studieområde 1: Elverum - Kongsvinger.

4.3.1 Modelloppsett.

For å simulere vannets bevegelse bak flomverkene under kalibreringen av modellen, er det laget en forbindelse mellom elva og arealet bak flomverkene, se figur 4.2. Denne forbindelsen kalles i Mike11 en "link", og fungerer som en kanal mellom elva og det magasinet som oppstår når vann bryter gjennom flomverket. Det er satt opp en "link" i øvre ende av flomverket, og en "link" i nedre ende. På denne måten kan vann renne inn bak flomverket når vannstanden i hovedelva når et visst nivå, og ut i hovedelva når vannstanden synker igjen. På samme måte som arealet bak flomverkene er forbundet med hovedelva ved hjelp av "linker", er innsjøene Nugguren og Vingersjøen forbundet til Glomma med "linker".



Figur 4.2: Tverrsnittsillustrasjon av hvordan en 'link' fungerer i Mike11.

De fleste broene i området er tatt hensyn til, men de er ikke fullstendig beskrevet (brokar og pillarer er utelatt) i modellen.

Modellen er kalibrert mot flommen i juni 1995. Dette betyr at modellen er kalibrert mot store vannføringer og vannstander, og vil følgelig ikke gi like gode resultater på normal- og lavvannføringer.

4.3.2 Grensebetingelser.

Tilløpshydrogrammet til modellen er satt lik observert vannføring ved Elverum. Observert vannføring ved Knappom (Flisaelva) er definert som et tidsvariabelt tilsig til hovedelva. Figur 3.1 viser hydrogrammene ved Elverum og Knappom. Ved Skjefstadfoss, Braskereidfoss og Kongsvinger kraftverk er de respektive flomkapasitetskurver brukt i modellen. Flomkapasitetskurven gir sammenhengen mellom vannstand i magasinet og dammens avledningskapasitet (åpne luker og overløp).

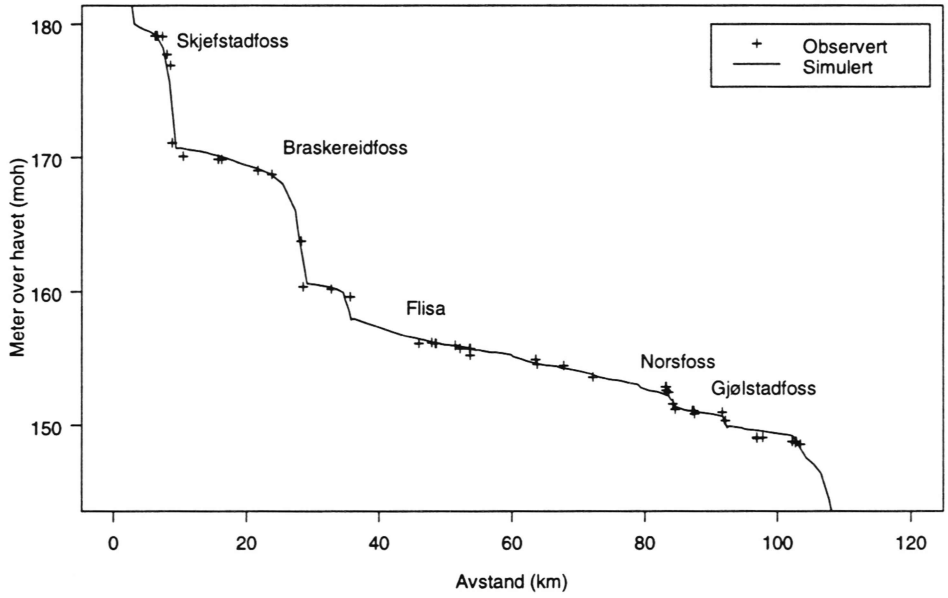
Lokaltilsiget i 1995 er beregnet på grunnlag av observert tilsig fra Flisaelva. REGINEs (NVEs REGIster over NEdbørfelt) nedbørfeltinndeling er brukt for å dele opp lokalfeltet i mindre områder og

beregne arealet av disse. Lokaltilsiget er antatt å være proporsjonalt med tilsiget fra Flisaelva, det vil si det er gjort en enkel arealskalering.

4.3.3 Kalibrering.

Modellen er kalibrert mot flommen i 1995, ved hjelp av flomkartet, observerte kulminasjonsvannstander ulike steder langs elvestrekningen (flomnivellementet), og vannførings- og vannstandsdata fra målestasjonene. Manningtallet (et tegn på ruhet) er brukt for å justere vannføring og vannstand slik at de best mulig samsvarer med de observerte dataene fra 1995. I området mellom Elverum og Kongsvinger er Manningtallet satt til 25. Dette ligger innenfor de verdiene som er anbefalt i litteraturen [Chow, 1959].

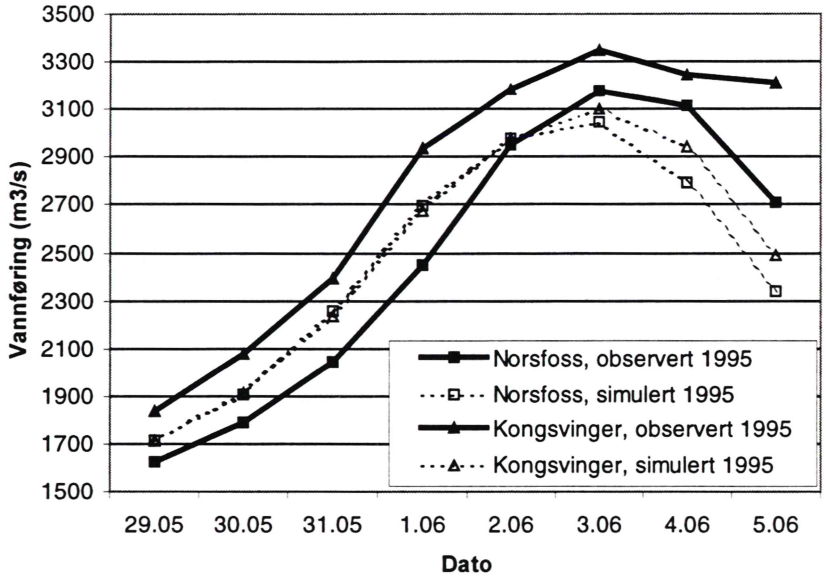
Figur 4.3 viser maksimum simulerte og observerte vannstander under flommen i 1995, mens figur 4.4 viser simulerte og observerte vannføringer ved Norsfoss og Kongsvinger kraftverk. Det som her kalles observert vannstand er punktobservasjoner av vannstand, gjort under eller etter flommen i 1995. Mange av knekkpunktene i den virkelige flomlinjen er med her, men ikke alle. Blant annet vet man at det nedstrøms Braskereidfoss var et vannstandsfall man ikke har punktobservasjoner fra.



Figur 4.3: Observerte og simulerte maksimum vannstander, 1995.

Modellert vannstand korresponderer bra med observert vannstand i deler av elva, mens avvikene er til dels store i andre deler. Elvestrekningen der tilpasningen er best (Flisa-Norsfoss), er den delen av elva der den største delen av flomverkene befinner seg, og dermed den mest interessante delen av elva. Her er maksimum forskjell i observert og simulert vannstand 0.15 m; noen steder er modellert vannstand høyere enn observert, andre steder lavere. Dette er en elvestrekning med rolige strømningsforhold, noe som bidrar til at det er enklere å kalibrere modellen her. Tilgjengeligheten av tverrprofiler er bedre her enn i resten av området, og dette kan også bidra til den gode tilpasningen her.

De avvikene som finnes, kan ha ulike årsaker. Usikkerheter i selve vannstandsmålingene er en mulig forklaring. I modellen er hastighetsfordelingen lik over hele elvetverrsnittet, det vil si at vannstanden også er lik over hele tverrsnittet. I virkeligheten vil det være forskjell i vannstand i elvas hovedløp, der vannhastigheten er stor, og på elveslettene, der vannhastigheten er mindre. Der elva svinger kan det være ulik vannstand på høyre og venstre side av elva. Dette er det ikke tatt hensyn til når punktobservasjonene er presentert.



Figur 4.4: Observert og simulert vannføring, Norsfoss og Kongsvinger, 1995.

En tilsvarende usikkerhet kan man få på grunn av metoden som er benyttet for å tilegne de målte vannstandene til elvas midtlinje: Vannstandsmålingene er tilegnet nærmeste elvebit, mens de i enkelte tilfeller (for eksempel bakevjer) skulle vært tilegnet et punkt litt lenger oppe eller nede i elva.

Vannstandsendringene forårsaket av strykene ved Norsfoss og Gjølstadfoss er dessverre dårlig beskrevet i modellen, til tross for god dekning med tverrprofiler. Ved Norsfoss er avviket opp mot 0.6 m, mens det er noe mindre ved Gjølstadfoss. For å prøve å "samle" vannstandsfallet til selve fossene, ble det prøvd å endre Manningtall, samt å minske aktivt strømningsareal i øvre del av strykene. Dette var ikke nok til å skape en modell som gir resultater som er sammenfallende med vannstandsobservasjonene i 1995. Noe av avvikene kan også tilskrives at vannstandsmålingene er gjort i elvekanten, der vannhastigheten er lavere enn midt i elva, se også ovenfor. Ved en vannhastighet på 2.5 m/s (modellert gjennomsnittlig vannhastighet i tverrprofilet ligger på dette nivå ved maksimum vannføring i Norsfoss), blir hastighetshøyden ($v^2/2g$) 32 cm. Avvikene i fossene betyr trolig ikke så mye for de totale resultatene, da modellert og simulert vannstand oppstrøms og nedstrøms fossene er noenlunde riktige.

I modelleringsarbeidet er det gjort simuleringer på grunnlag av døgnverdier av vannføring. Den momentane kulminasjonsvannføringen vil alltid være større enn den største døgnvannføringen. De observerte vannstandene i figur 4.3 representerer vannstanden ved kulminasjonen, mens den simulerte vannlinja er beregnet ved hjelp av døgnverdier. Dette betyr at ruheten i elvetverrsnittet antagelig skulle vært noe lavere enn det som er brukt for å kalibrere modellen, slik at samme vannstand ville blitt oppnådd ved en noe høyere vannføring.

Figur 4.4 viser at rundt kulminasjonstidspunktet simulerer modellen totalt vannvolum ved Norsfoss omtrent riktig, mens simulert volum ved Kongsvinger kraftverk er mindre enn observert. I forhold til observert vannføring er den simulerte vannføringen for stor ved Norsfoss i stigningsfasen, og for liten ved og etter kulminasjonstidspunktet. Ved Kongsvinger kraftverk ligger simulert vannføring konsekvent lavere enn observert vannføring. Simulerte døgnvannføringer ved Norsfoss og Kongsvinger kraftverk er forholdsvis like i denne tidsperioden, mens de observerte vannføringene ved Kongsvinger ligger ca. 200 m^3/s over observert vannføring ved Norsfoss. Modellsimuleringen er altså ikke perfekt når man ser på vannføringer.

Årsaken til avvikene i vannføring ved Norsfoss kan være at simulert vannhastighet er for stor, eller at det i begynnelsen av flomforløpet ble lagret mer vann på elveslettene enn det modellen simulerer. Dette er vanskelig å kontrollere, da det ikke finnes målinger av vannhastighet, vanngjennomstrømning

og lagring av vann på elveslettene under flommen i 1995. Et annet usikerhetsmoment i modellen er lokaltilsiget. I modellen er vannføringen i Flisaelva brukt som norm for lokaltisiget for hele studieområdet. I virkeligheten finnes det bare målinger av tilsiget fra Flisaelva.

For dette prosjektet anses det ikke å være av stor betydning at det er forskjeller i observert og simulert vannføring. De videre analysene baserer seg på situasjoner der elveslettene enten er utelatt i simuleringene, eller det antas at flomverkene ikke eksisterer. Som tidligere nevnt er det i dette prosjektet heller ikke meningen å kunne gi nøyaktige vannstander og vannføringer som svar; det interessante er forskjellene mellom de ulike simuleringene. Dette vil kunne besvares så lenge modellsimuleringene gjøres med de samme forutsetninger.

Figur 4.4 viser at modellen simulerer en lavere kulminasjonsvannføring enn det som ble observert. Dette betyr at ruheten i elva antagelig er noe mindre enn det som er brukt i modellen.

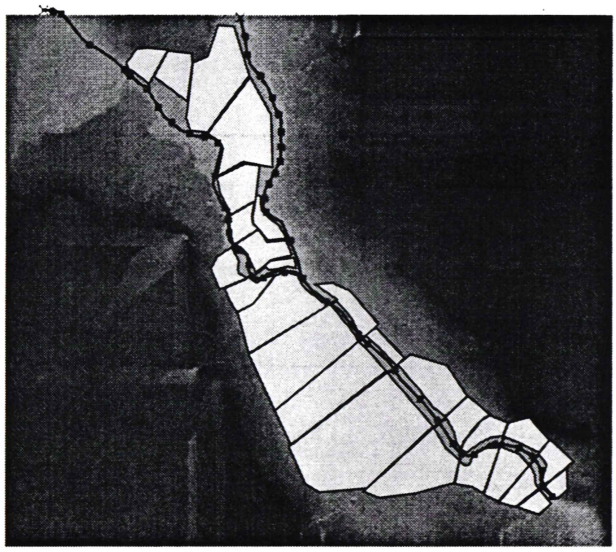
Den utilfredsstillende representasjonen av kraftverkene og broene innenfor området er en annen årsak som kan forklare avvik mellom modellert og observert vannstand og vannføring. Som nevnt tidligere, er ikke observert vannføring ved kraftverkene brukt i modellen, men derimot flomkapasitetskurvene.

Mer informasjon om vannføring og magasinering på elveslettene, sammen med informasjon om avløp inn i, og ut av, innsjøene Nugguren og Vingersjøen, ville også vært til hjelp i kalibreringsarbeidet.

4.4 Studieområde 2: Alvdal.

4.4.1 Modelloppsett.

Figur 4.5 viser området som er modellert. Firkantete punkter viser punkter der vanndybde beregnes (H-punkter), mens runde punkter viser lokalisering av Q-punkter der kontinuitet løses. Modellen er satt opp med 2 ulike tverrprofilbaser. I den første modellen er flomslettene koblet til tverrprofilene som flomareal (additional flooded area). Disse flatene er markert med lys grå farge. I den andre tverrprofilbasen er flomarealet som er vist i figur 4.5 fjernet fra hvert av tverrprofilene. Det effektive strømningsarealet og hydrauliske egenskaper for øvrig er identisk for de to basene. Flomarealene er koblet til H-punktene slik at enhver endring av vannstand gir øyeblikkelig magasinering ut eller inn av flomvannet. For Q-punkt nedstrøms et H-punkt vil en da oppnå en demping av flomstigningen ($\Delta Q/\Delta t$) sammenlignet med oppstrøms Q-punkt tilsvarende berørt magasinvolum i samme tidsrom. En får dermed en noe flatere Q-kurve i nedstrøms Q-punkt, og dette svarer til endringen i magasinvolumet.



Figur 4.5: Modelloppsett, Alvdal.

4.4.2 Grensebetingelser.

Oppstrøms grensebetingelse er som tidligere nevnt hydrogrammene "inn Folla" og "inn Glomma". Nedstrøms er vannføringskurven fra Kveberg bru brukt som grensebetingelse. Denne grensebetingelsen, eller innsnevringen, har meget sterk føring på vannstanden oppover i Alvdal.

4.4.3 Kalibrering

Flomobservasjoner gjengitt på flomarealkart og andre NVE-kart er brukt til å kalibrere modellen. Det er registrert flomhøyder på følgende steder i modellområdet: *Glomma*: 1) nord på Steimosletta, ved Stei bru (flere), ved Sjulhusbrua og et stykke nedenfor Kveberg bru. *Folla*: 1) ved trafostasjon – utløp Sølna, ved ny bru ut til Steimoen. Ved Steibrua og Sjulhusbrua er det flere observasjoner - både oppstrøms og nedstrøms. Disse er til dels ikke entydige når det gjelder fallforhold. Dette trenger ikke å skyldes feil i observasjon eller innmåling. Numeriske beregninger gir også vannstandssprang nedenfor brua. Elva får her karakter av stryk med stående bølger under flom. Det er to forhold som her spiller inn:

1) Ved vannføringer opp mot maksimalvannføingen i 1995, går strømningen fra underkritisk til overkritisk nedenfor disse bruene. Bilder tatt 3. juni 1995 av Stei bru viser at strømningen endrer seg fra rolig ovenfor bru til å få karakter av stryk nedenfor bru med stående bølger. På dette tidspunktet var vannføringen trolig 100 – 150 m^3/s lavere enn ved maksimalvannføring. Brua er ikke lagt inn som kulverter i modellen, men som et tverrprofil. Vannstanden gikk i 1995 ikke opp i brulegemet.

2) Vannstandspranget i modellen forsterkes også av at det kommer en flomtopp ned gjennom Folla som gir oppstuvning. Det er for få observasjoner av vannstand over tid i begge elver til at en her i stor detalj kan forklare strømningsmønsteret i dette området. Både faktisk hendelse og numerisk resultat er helt avhengig av samfall med flomvannføringer i Folla og Glomma.

Modellen er ikke kalibrert ved lavere vannstander.

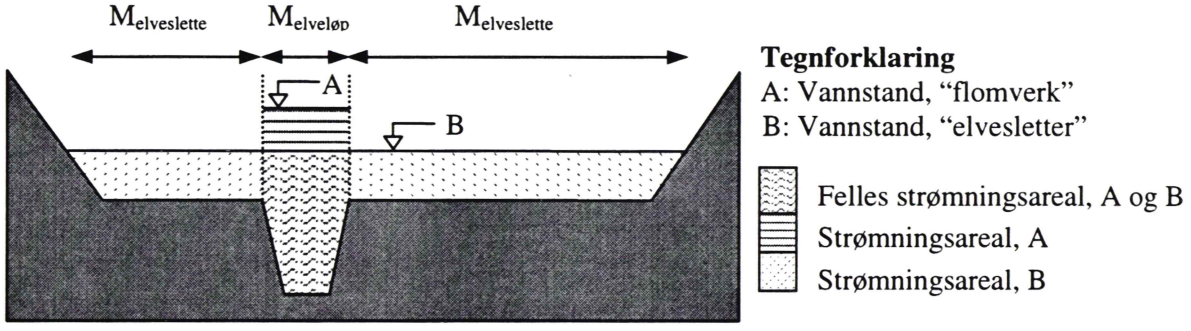
5 RESULTATER.

5.1 Studieområde 1: Elverum – Kongsvinger.

Det er bygd mange flomverk i Glomma mellom Elverum og Kongsvinger. Flomverkene beskytter landbruksområder og bebyggelse mot oversvømmelser. For å studere effekten av flomverk på elvestrekningen mellom Elverum og Kongsvinger, er det simulert alternative situasjoner langs vassdraget. De ulike alternativene kan deles i to hovedgrupper:

A. Alt vannet strømmer i selve elveløpet. Dette vil si at flomverkene er antatt å være høyere enn maksimum vannstand i elva, og elveslettene bak flomverkene forblir tørre.
B. Det er antatt at flomverkene ikke er bygd, og følgelig kan det strømme vann også på elveslettene. Det er gjort simuleringer med ulik ruhet (Manningtall på 25, 12.5 og 0.25) på elveslettene.

Alternativene er illustrert i figur 5.1. I etterfølgende tekst og figurer er alternativ A referert til som "flomverk". De ulike simuleringene for alternativ B ("elvesletter") refereres til ved hjelp av Manningtallet som er brukt på elveslettene. Det vil si at i simuleringen "M25" er det brukt samme Manningtall på elveslettene som i elveløpet (M=25), mens det i "M12.5" er brukt et Manningtall på 12.5 på elveslettene. I alle simuleringene er det i elveløpet brukt et Manningtall på 25. Figur 5.1 viser et vertikalt skille mellom strømning i elv og strømning på elveslette. I virkeligheten vil dette skillet være mer skrått, det vil si at noe av vannstrømningen på elvesletta kunne vært simulert som en del av elveløpet. Dette er ikke gjort i dette prosjektet, siden poenget er å vise ytterpunktene ved de ulike alternativene.



Figur 5.1: Prinsippskisse av simuleringsalternativene, med ulike Manningtall i elveløpet og på elveslettene.

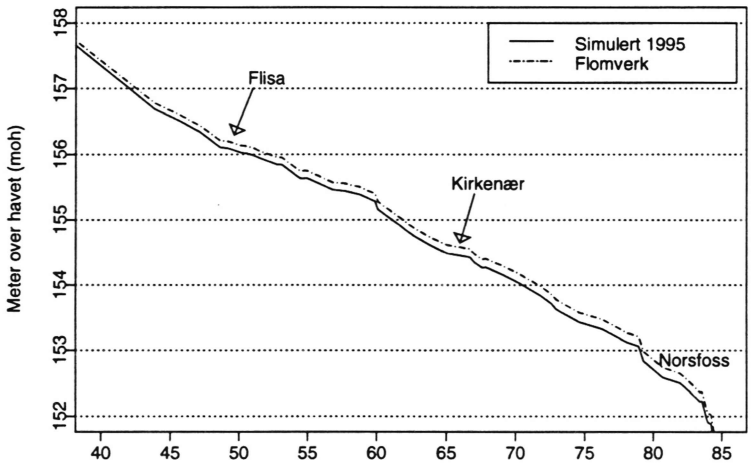
To historiske flommer er analysert: Flommen i 1995, som har et gjentaksintervall på 100-200 år, og flommen i 1967, som har ca. 50 års gjentaksintervall. Disse flommene er simulert over en tidsperiode på en måned; fra begynnelsen av mai til begynnelsen av juni. For deler av elvestrekningen er det i tillegg simulert et syntetisk flomforløp, for å studere effekten av en raskere vannføringsøkning enn hva som var tilfellet i 1967 og 1995.

Mike11 er en én-dimensjonal modell, og når elveslettene modelleres som en del av det aktive strømningsarealet, er vannhastigheten den samme på elveslettene som i elvetrauet. Det er som tidligere nevnt brukt ulik ruhet på elveslettene. Økt ruhet på elveslettene fører til at elvas kapasitet minkes. Dette betyr at vannstanden vil være høyere enn ved glatte elvesletter, gitt samme vannføring. Vannstanden på elveslettene er i alle tilfeller (utenom "flomverk") den samme på elvesletta som ellers i elva, se også figur 5.1.

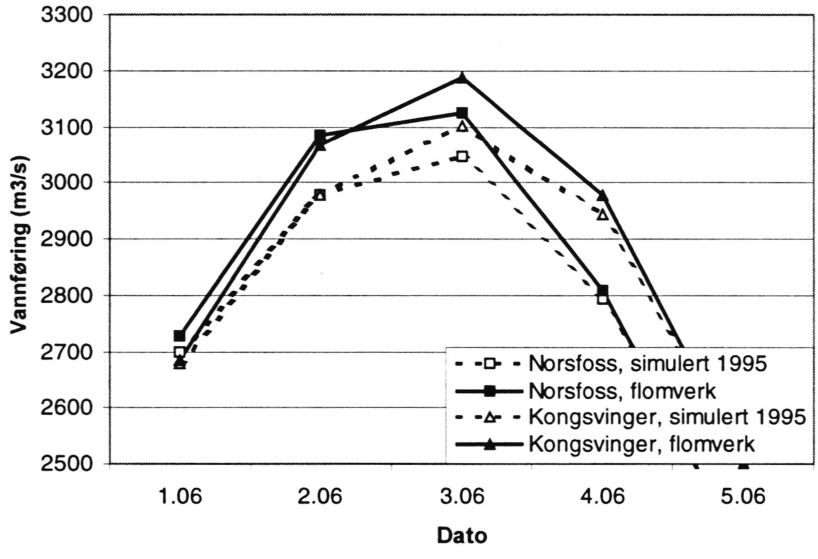
5.1.1 Analyse av 1995-flommen.

Figur 5.2 viser simulert vannlinje under flommen i 1995, sammenlignet med simulert vannlinje gitt at ingen elvesletter ble oversvømmet (alternativ A i figur 5.1). I figuren er det bare strekningen Flisa –

Norsfoss som er vist. Figur 5.3 viser simulerte vannføringer (døgnverdier) rundt kulminasjonstidspunktet ved Norsfoss og Kongsvinger kraftverk.



Figur 5.2: Simulert vannlinje i 1995, sammenlignet med simulert vannlinje forutsatt at ingen elvesletter var oversvømmet.

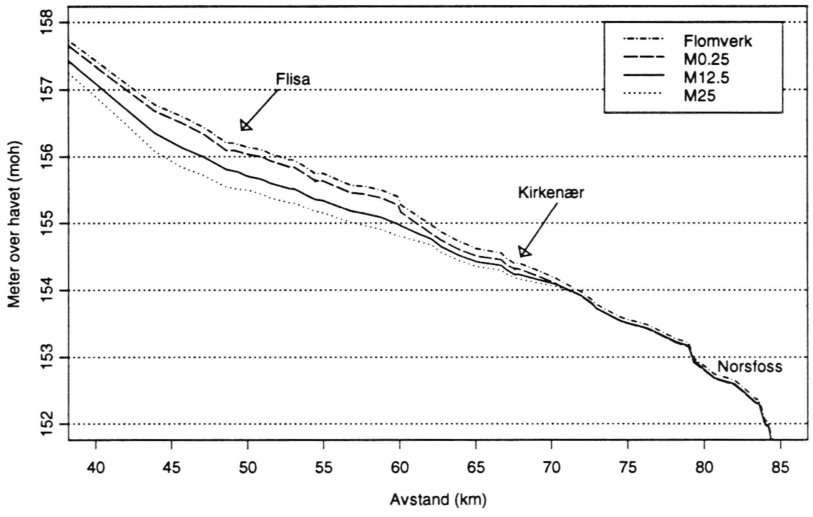


Figur 5.3: Sammenligning av vannføringer, "simulert 1995" og "med flomverk".

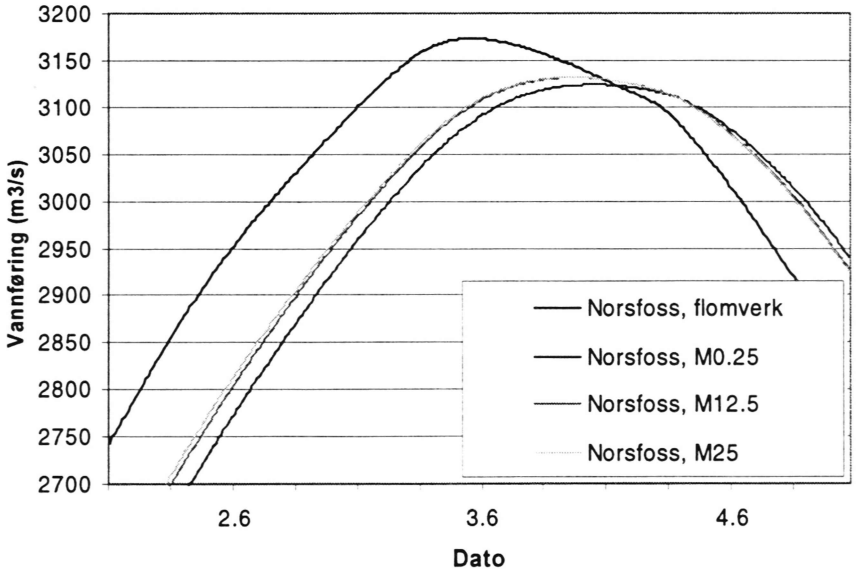
Forskjellen mellom disse to simuleringene er at i "flomverk" er det ingen magasinering eller strømning av vann på elveslettene, mens det i simuleringen av flomforløpet i 1995 ble forsøkt å gjenskape virkningen av elveslettene, det vil si det ble simulert en blanding av magasinering og vannstrømning på de elveslettene som faktisk ble oversvømmet. I simuleringen med flomverk er altså alle "linkene" tatt bort (bortsett fra Nugguren og Vingersjøen). Denne forskjellen fører både til økt vannføring og økt vannstand rundt kulminasjonen i "flomverk", i forhold til simulert 1995-situasjon. Differansen i vannstand er mellom 10 og 20 cm området mellom Flisa og Norsfoss, og maksimum differanse i vannføring er 103 m^3/s (momentanverdi) ved Norsfoss, se også figur 5.3. Lenger nedstrøms minker forskjellen, og ved Kongsvinger er forskjellen redusert til 83 m^3/s. Flomtoppen

kommer noe tidligere i tilfellet uten magasinering/strømning på elveslettene; ved Norsfoss er tidsforskjellen 2 timer.

Figur 5.4 viser elveslettenes virkning på vannstanden mellom Flisa og Norsfoss. Figuren viser vannstanden gitt at alle elveslettene forblir tørre ("flomverk", samme som i figur 5.2), sammen med tre alternativer der ingen flomverk eksisterer, det vil si elveslettene er oversvømmet og vannet der er i bevegelse (aktivt strømningsareal). Her er det vist simuleringsresultater gitt tre ulike ruheter på elveslettene. Det ble i tillegg simulert et alternativ med M=2.5 på elveslettene. Denne simuleringen ga nesten like resultater som med M=0.25 på elveslettene. Forskjellene i vannføring rundt kulminasjonstidspunktet ved Norsfoss er vist i figur 5.5. Kulminasjonsverdier og –tidspunkter for utvalgte steder er gitt i tabell 5.1.



Figur 5.4: Vannlinje i Glomma gitt at alle elvesletter er tørre ("flomverk"), sammenlignet med vannlinjer i Glomma ved situasjoner uten flomverk.



Figur 5.5: Sammenligning av vannføringer, Norsfoss, 1995.

Tabell 5.1: Simulert kulminasjonsvannføring (m^3/s) og tidspunkt, 1995. Det første tidspunktet for Kirkenær og Norsfoss ("flomverk") gjelder 2. juni, ellers 3. juni.

		Kirkenær		Norsfoss		Kongsvinger	
		Max vf	Tid	Max vf	Tid	Max vf	Tid
"Flomverk"		3200	20.45	3173	22.45	3195	03.30
"Elve-sletter"	"M0.25"	3143	08.00	3124	10.15	3161	22.15
	"M12.5"	3152	06.30	3132	08.45	3169	21.15
	"M25"	3152	06.00	3132	08.30	3170	21.00

Som figur 5.4 viser, endrer vannstandsforskjellene seg noe nedover i elva. Elveslettene mellom Flisa og Norsfoss har stor virkning på lokal vannstand dersom de modelleres som en del av strømningsarealet. Vannstandsforskjellen er da maksimum 76 cm, sammenlignet med situasjonen med tørre elvesletter. I trange partier og i strykene nedover vassdraget er forskjellene minimale.

Elveslettene ved Flisa forårsaker at vannstanden et stykke oppstrøms disse er lavere enn om elveslettene var beskyttet av flomverk. Dette er årsaken til av vannlinja ved "flomverk" i figur 5.4 ligger over de andre vannlinjene oppstrøms Flisa, selv om det her ikke er flomverk. Elvesletta ved Heradsbygda har liten innvirkning på vannstanden, og heller ikke elvesletta ved Grinder. Disse to elveslettene er forholdsvis små.

Figur 5.5 viser hvorfor vannstandsforskjellene nærmest forsvinner nedover i vassdraget. Denne figuren illustrerer at det er forholdsvis små forskjeller i vannføring i de ulike simuleringene. Her vises vannføringen ved Norsfoss, men figuren er representativ for forholdene i hele modellstrekningen. Det som gjør størst utslag på kulminasjonsvannføringen og tidspunktet dette inntreffer, er om elveslettene er antatt å være en del av strømningsarealet eller ikke. Forskjellen i maksimum vannføring er ikke særlig stor, men flomtoppen kommer senere dersom elveslettene er med i simuleringene.

Flomtoppen endres ikke så mye når elveslettene oversvømmes, i forhold til om flomverkene holder vannet borte fra elveslettene. Årsaken til dette kan illustreres med følgende eksempel: Det er tenkt at elvesletta ved Kirkenær fungerer som et magasin (ingen vannstrømning, kun lagring av vann). Ved Kirkenær stiger vannstanden fra 153.9 til 154.2 meter (≈ simulert kulminasjonsvannstand) i løpet av 24 timer, i alternativet med "elvesletter" og samme ruhet på elvesletta som i elveløpet. Dette tilsvarer et volum på 3.36 Mm^3 bak flomverket ved Kirkenær[1]. Gjennomsnittlig vannføring ut av hovedelva og inn på elvesletta ved Kirkenær blir i dette eksempelet ca. 39 m^3/s, forutsatt at vannstanden på elvesletta stiger i samme takt som i elva. Med et flomforløp med så sakte stigning som vi ser her, blir altså magasineringseffekten liten. Vannet som strømmer inn på elvesletta er altså bare litt over 1% av den vannmengden som går i elva. Dette eksemplet forutsetter at vannet magasineres på elvesletta, men resultatenes størrelsesorden kan likevel sammenlignes med forskjellene i vannføring mellom "flomverk" og "elvesletter" som vises i tabell 5.1.

Flomverket ved Kirkenær er det flomverket som har størst bakenforliggende volum i studieområdet. Totalt volum på elveslettene mellom Flisa og Norsfoss, gitt vannstanden ved simuleringsalternativet "flomverk", er ca. 70 Mm^3. Av dette er ca. 30 Mm^3 i Kirkenær. Tilsvarende volum gitt vannstanden ved aktivt strømningsareal ("M25") er ca. 63 Mm^3, derav ca. 25 Mm^3 i Kirkenær.

Forskjellene i maksimum vannføring mellom simuleringsalternativene "flomverk" og "elvesletter" er kanskje ikke av så stor betydning, men det kan derimot kulminasjonstidspunktet være. Ved Kirkenær kommer flomtoppen ved "elvesletter" omtrent 10 timer senere enn ved "flomverk", og tidsforskyvningen øker nedover vassdraget. Dette kan være verdifulle timer i en beredskapssituasjon. På den annen side kan dette føre til at flomtoppene fra Glomma og Vorma, ved samløpet mellom disse

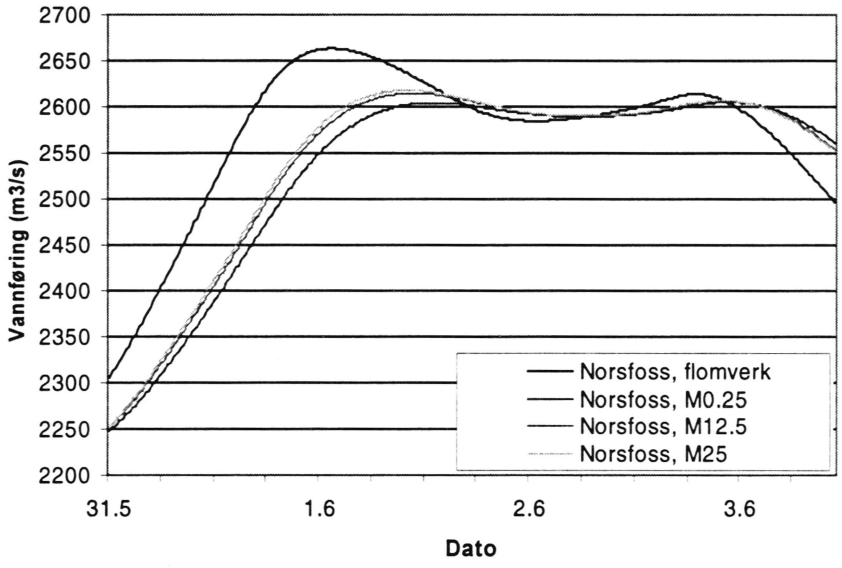
[1] De oppgitte tallene for volum bak flomverkene er estimert ut fra den digitale terrengmodellen for området.

elvene, kommer nærmere hverandre i tid ved "elveslette"-alternativet, siden kulminasjonen i Østerdalen normalt kommer tidligere enn i Gudbrandsdalen.

De forholdsvis små forskjellene i kulminasjonsverdi mellom "flomverk" og "elvesletter" kan forklares med at magasineringsvolumet på elveslettene er lite, i forhold til vannmengden som passerer i elva. Det var imidlertid ventet at det ville bli noe større forskjell mellom simuleringene med ulike Manningtall på elveslettene, og det ville være interessant å undersøke nærmere hvorfor forskjellen blir liten.

5.1.2 Analyse av 1967-flommen.

Det er gjort tilsvarende analyser for flommen i 1967 som for den i 1995. Det er antatt at foholdene i Glomma i 1967 var lik situasjonen i 1995; 1967-flommen er altså modellert med de samme flomverk som i 1995, selv om en del av flomverkene er bygd etter flommen i 1967. Flommen i 1967 var mindre i størrelse enn den i 1995, men den varte over et lengre tidsrom. Figur 5.6 viser vannføringen ved Norsfoss, og i tabell 5.2 presenteres nøkkeltall for utvalgte steder i elvestrekningen. I tabellen er det nøkkeltall for første flomtopp som presenteres, selv om andre flomtopp i alternativet "M0.25" faktisk er større enn første flomtopp.



Figur 5.6: Sammenligning av vannføringer, Norsfoss, 1967.

Tabell 5.2: Kulminasjonsvannføring (m^3/s) og tidspunkt, 1967. Det første tidspunktet for Kirkenær gjelder 31. mai, ellers 1. juni.

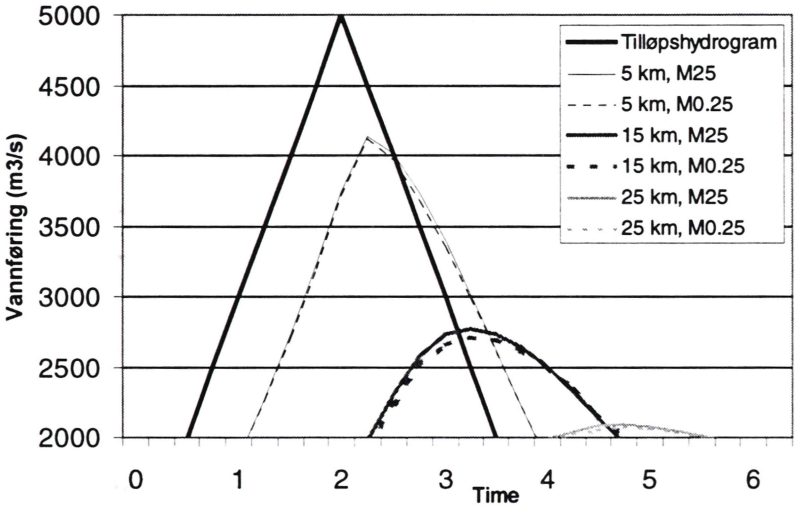
		Kirkenær		Norsfoss		Kongsvinger	
		Max vf	Tid	Max vf	Tid	Max vf	Tid
"Flomverk"		2653	23.00	2664	01.00	2665	07.45
"Elve-sletter"	"M0.25"	2592	11.15	2604	13.00	2613	19.00
	"M12.5"	2603	09.00	2615	10.45	2622	17.00
	"M25"	2606	08.30	2618	10.00	2625	16.15

Figur 5.6 og tabell 5.2 viser at det er liten forskjell i resultatene for flommen i 1995 og flommen i 1967. Vannføringsforskjellen mellom "flomverk" og "elvesletter" er liten også i dette flomforløpet,

men også her skjer det en viss tidsforsinkelse. At flommen i 1967 strakk seg over en lengre tidsperiode, fører ikke til andre resultater enn den noe mer kortvarige flommen i 1995. De samme vurderinger som er gjort i analysen av 1995-flommen gjelder altså også for 1967-flommen.

5.1.3 Analyse av syntetisk flomforløp.

Flommene i 1967 og 1995 steg begge forholdsvis sakte, noe man vil forvente av en vårflom i Glommavassdraget. For å se om en raskere stigningshastighet vil gi større vannføringsendring på grunn av større ruhet på elveslettene, ble det laget en syntetisk flom, der vannføringen stiger fra 1000 m^3/s til 5000 m^3/s i løpet av to timer. Et slikt flomforløp er urealistisk i Glomma, men kan gi en pekepinn på hva som kan skje i vassdrag der flommene er av en annen karakter enn i Glomma. Denne flommen er modellert for en 25 km lang strekning fra Flisa og sørover, med elvesletter med Manningtall på 25 og 0.25. Det er ikke tatt hensyn til lokaltilsig. Resultatene er vist i figur 5.7.

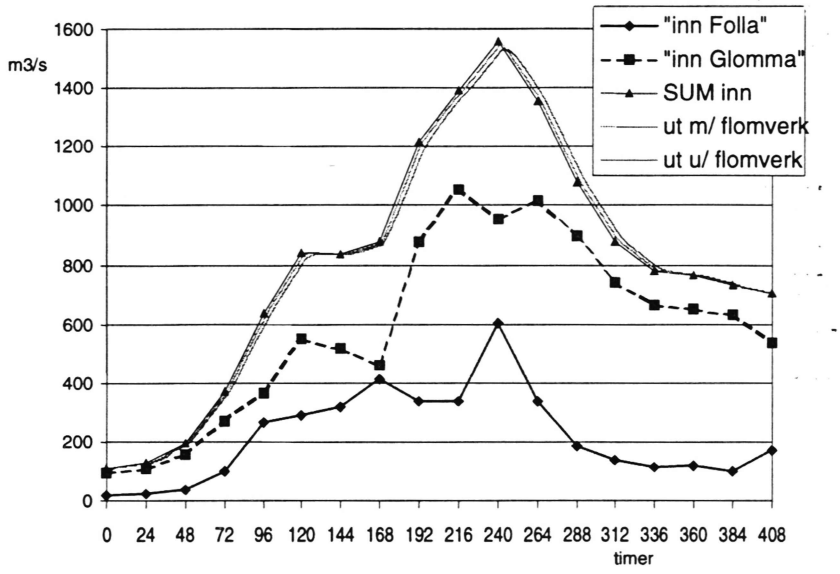


Figur 5.7: Sammenligning av vannføringer, syntetisk flom. Antall kilometer som er oppgitt henviser til avstand fra modellens startsted.

Som figuren viser, blir det heller ikke i dette tilfellet store endringer i vannføringsforløpet på grunn av ulik ruhet på elveslettene. Større ruhet demper kulminasjonsvannføringen noe, men både dempingen og tidsforskyvningen er liten. Flomtoppen blir imidlertid kraftig dempet nedover i vassdraget. Dette er et utslag av elvas og elveslettenes selvregulerende virkning.

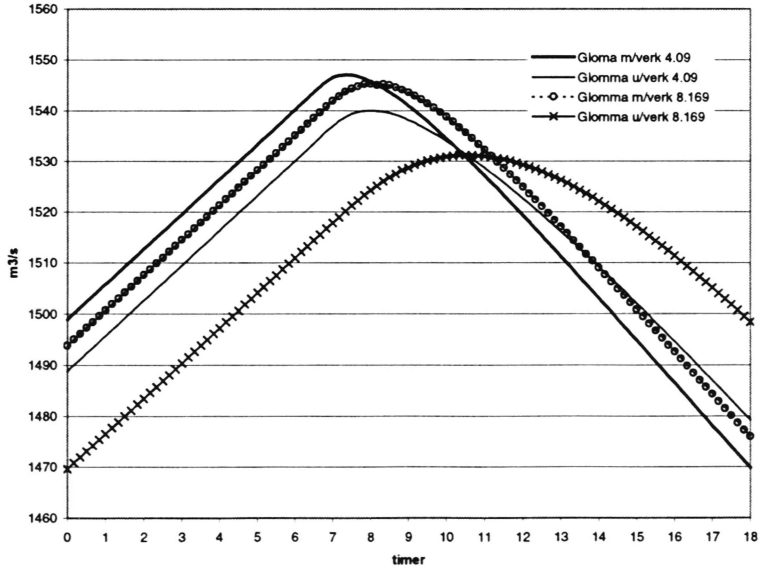
5.2 Studieområde 2: Alvdal.

Mellom Folla og Steimosletta i Alvdal er det planlagt å bygge et flomverk. Resultatene viser at bygging av flomverk både langs Folla og i nedre del av området mot Glomma, vil føre til 3 cm forhøyet vannstand i øvre del, 4 cm i nedre del. Maksimalvannføringen ut av området (ved Kveberg bru) øker fra 1513 m^3/s til 1537 m^3/s når områdene sikres med flomverk. Dette tilsvarer 1.5% økning i kulminasjonsvannføringen. Hydrogrammer og tabeller er vist i figur 5.8. "Sum inn" er summen av "inn Folla" og "inn Glomma". Forskjellen mellom kurvene "Sum inn" og "ut u/flomverk" viser at området i dag, med flomareal på elvesletter og innsnevret utløp, dempet flommen i 1995 med omlag 3%. En total flomsikring av området ville derfor redusere denne dempingen til det halve. Innsnevring ved Kveberg bru vil uansett virke oppstuvende og dempende på avløpet. "Ut-kurvene" i figur 5.8 har mindre tidsoppløsning enn de andre kurvene.



Figur 5.8: Resultater vannføring.

Figur 5.9 viser mer i detalj hvordan flomtoppen blir hevet og framskyndet når flomverk bygges. Glomma 4.09 er Q-punkt (beregningspunkt for vannføring, se kapittel 4.1) etter samløp med Folla. Glomma 8.169 er ved Kveberg bru. Forskyvningen svarer til ca 2.5 timer ved Kveberg bru, men bare om lag 40 minutter oppe ved samløpet til Folla. Det kan utfra figur 5.9 se ut som om dempingen ligger jevnt fordelt mellom området ovenfor og nedenfor samløpet Glomma – Folla. En må her ta i betrakning at en oppstuving nedenfra påvirker ovenforliggende område slik at en ikke uten videre kan tillegge deler av strekningen flomdempende evne. Forskyvningen av flomtopp i tid ligger vesentlig i nedre del av området. Dette indikerer at det er her den vesentlige del av den flomdempende effekten ligger.



Figur 5.9: Detaljresultater – endring av flomtopper.

I områder der strømningen skifter fra underkritisk til overkritisk (under - nedenfor bruer) vil effekten av nedpresset vannlinje forsterke seg når ovenforliggende områder sikres med flomverk slik at vannstanden øker. Det vil si at en nedenfor bruer kan få lavere vannstand med økt hastighet etter at flomsikring er gjennomført.

I modellen blir et vått flomareal på litt over 5 km^2 tatt i bruk. Vanndypet på dette våte arealet er i gjennomsnitt 2.5 m. Det vil si at et vannvolum på om lag 13 Mm^3 mellomlagres på elveslettene under flommen. Hvis en beregner volumet mellom de to kurvene i figur 5.8 fra 23. mai til kulminasjonen den 1. juni (~9 døgn) finner en igjen samme volumet. Til sammenligning kan det nevnes at 13 Mm^3 tilsvarer to timers vannføring ved Kveberg bru ved kulminasjonen. Under hele flomforløpet som her er modellert rant det ca 1500 Mm^3 vann i Glomma. Modellstrekningen er ca 8 km. Dette gir grovt sett en gjennomsnittlig demping på 0.5 cm per km, fordelt på 0.6 km^2 flomareal per km elv.

I dette forsøket er flomstigningen modellert over ~9 døgn. Dette er trolig lang nok tid for også å få god respons av grunnvannsstigningen som ikke er tatt med i beregningene. Dersom en kjenner grunnvannsnivået i området før flommen i 1995, kan en god tilnærming være at totalt effektivt porevolum over mettet sone vil relativt ha samme effekt som det volumet (13 Mm^3) som i dette forsøket mellomlagres på elveslettene.

5.3 Vurdering og diskusjon av resultatene.

5.3.1 Usikkerheter.

Det finnes usikkerheter i de data og beregninger som vurderingene er basert på. De målte vannstandsdata kan inneholde unøyaktigheter, og vil heller ikke alltid være helt representative for vannstanden i elva. Når vannstand blir omregnet til vannføring, innføres det nye usikkerhetsmomenter. Spesielt bør det nevnes at vannføringskurvene blir ekstrapolert utover den største målte vannføringen, noe som kan gi store usikkerheter i vannføringstallene for høye vannstander. I tillegg inneholder den digitale terrengmodellen usikkerheter.

Modellene er kalibrert mot vannstander og vannføringer målt under flommen i 1995, og ruhetstall for elveløpet er bestemt ut fra denne kalibreringen. De vannstandene som ble målt i 1995 representerer maksimum vannføring, mens det i modellen er brukt døgnverdier. Dette betyr at ruhetstallet antagelig er noe lavere enn det vi ville fått om modellen var kalibrert ved hjelp av timesverdier. Ruhetstallet er heller ikke nødvendigvis gjeldende for vannføringer av andre størrelser enn 1995-flommen. Disse usikkerhetene betyr ikke så mye for konklusjonene i denne rapporten, siden flommene som analyseres er store, og vi her er ute etter de relative forskjellene mellom ulike flomforløp.

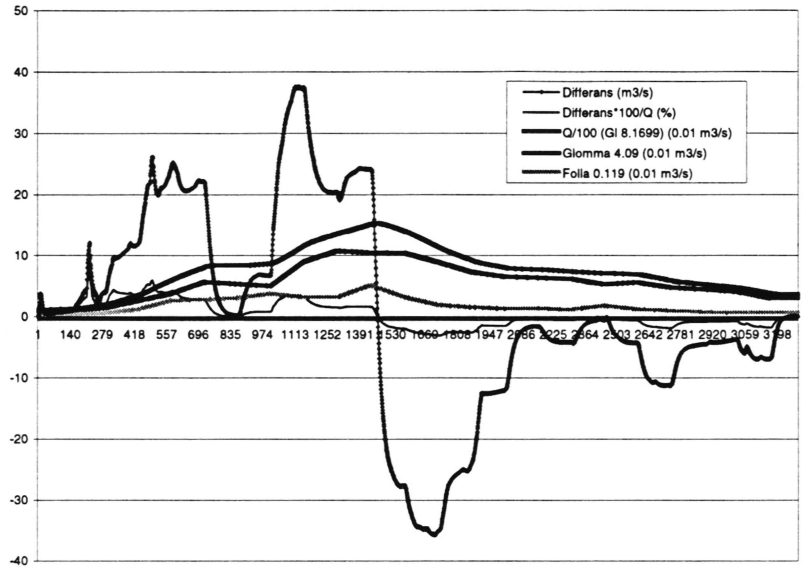
Tilgjengelige opplysninger om *når* flomverkene sør for Elverum ble overtoppet eller brøt sammen, og hvor mye vann som strømmet inn bak dem, var heller sparsomme. Det finnes heller ikke tall på vannføringsmengden inn og ut av Nugguren/Vingersjøen. Dette er usikkerhetsmomenter i kalibreringen, og overføres til de andre analysene for studieområdet sør for Elverum. Disse usikkerhetene vil gjelde for alle analysene, og dermed ikke være særlig utslagsgivende for de innbyrdes resultatene.

Et annet usikkerhetsmoment er hvor stor del av elveslettene som bør regnes som aktivt strømningsareal, og hvor mye som ikke er aktivt strømningsareal. I denne rapporten er ytterpunktene analysert og presentert, dette blir nærmere diskutert i kapittel 5.3.3.

Det er tidligere nevnt at det ikke var forventet at modellen skulle representere virkeligheten nøyaktig, noe den heller ikke gjør. Svarene kan dermed heller ikke tolkes absolutt, og tallene som presenteres må oppfattes som omtrentlige. Størrelsesordenen av virkningene av flomverk på flomforløpet er imidlertid trolig riktige.

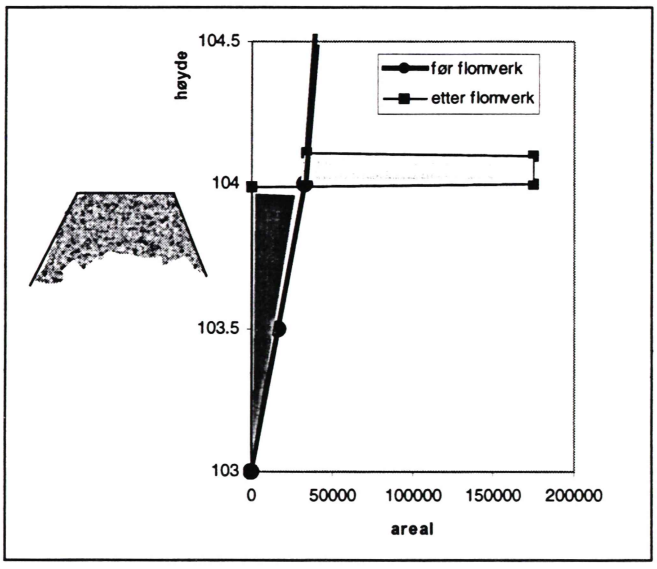
5.3.2 *Demping på elveslettene.*

En elveslette vil sjelden dempe en flom optimalt. Dempingen er hele tiden avhengig av hvilket tilleggsareal eller volum som er tilgjengelig når vannstanden stiger, og hvor stort dette volumet er i forhold til flomvolumet på dette nivået. For å illustrere dette beskrives i det følgende et ekempel fra Alvdal: Figur 5.10 viser at i perioder av flommen er dempingen betydelig større enn det den var under kulminasjonen. Figur 5.10 viser hvordan differansen mellom flommene forløper over tid. Prosentvis demping er generelt størst tidlig i en flomstigning, og større jo brattere flomstigningen er. Når tilløpet er mer konstant, går forskjellen mot null. Figuren viser også at dempingen vil gå noe rykkvis. Dette skyldes at flomarealenes høyde ikke er relativt konstant sammenlignet med vannlinja. Størst demping vil en oppnå med raske og kortvarige flomtopper, se også resultatene fra kapittel 5.1. Flomtoppens varighet er helt avgjørende for dempingseffekten.



Figur 5.10: Endringer – diverse kurver.

Før flommen i 1995 var det flommene i 1916 og 1934 (høyeste observerte flommer i Glomma i nyere tid) som var dimensjonerende for bygging av flomverk langs Glomma. Figur 5.11 viser prinsipielt hvordan volumet på en elveslette vil fungere før og etter bygging av et flomverk, gitt at elvesletta i begge tilfeller fungerer som ikke-aktivt strømningsareal. Kurven "før flomverk" viser hvordan arealet (og volumet) på elvesletta tas gradvis i bruk. En får her en jevn og gradvis demping av flomforløpet nedstrøms, men dempingen er liten. Effekten på vannstand i området er følgelig også liten (modellforsøkene i Alvdal ga en forskjell på 3-4 cm). I nedre deler av Glomma er det bygd en rekke flomverk hovedsakelig dimensjonert etter 1934-flommen. La oss tenke oss at høyden på flomverket ligger på 104 m slik som illustrert i figur 5.11. Volumet på elvesletta blir da først tilgjengelig etter at kote 104 er nådd. Kurve "etter flomverk" illustrerer dette. De to skraverte feltene har samme areal. I de deler av Glomma som er sikret med flomverk med basis i 1934-flommen, er det dermed en mer effektiv demping av flommer rett over dette flomnivået, enn elvesletter som ikke er sikret. Vannføringen vil altså dempes mest rett etter at flomverkene overtoppes, mens den momentane dempingen blir mindre dersom vannstanden fortsetter å stige lenge etter at flomverket er overtoppet. Av dette følger at forskjellen i maksimum vannføring og tidspunktet maksimum vannføring inntreffer, er størst dersom kulminasjonsvannstanden er litt høyere enn flomverket. Flomverk har altså en optimal demping på flomstørrelser rett over det som er dimensjoneringskriteriet for verket. Disse konklusjonene forutsetter at det ikke blir brudd i flomverkene.



Figur 5.11: Illustrasjon av hvordan volumet bak et flomverk vil fungere før og etter bygging av et flomverk.

Det hender at det blir brudd i flomverk. Tidspunktet for dette bruddet er også av betydning for hvor stor flomdempingen blir nedstrøms. En analyse av dette finner vi i Kjellesvig og Skoglund [1996]. De sammenlignet en situasjon med og uten flomverk i Heradsbygda (Elverum kommune), og studerte også betydningen av *når* et eventuelt brudd i flomverket oppstår. Uten flomverket i Heradsbygda ville høyeste vannstand 5 km nedstrøms vært ca. 5 cm lavere enn om flomverket hadde vært intakt. Dette er noenlunde den samme vannstanden som ble resultatet etter at verket i 1995 faktisk ble åpnet. Det er likevel ca. 5 cm høyere enn om flomverket hadde blitt åpnet på det tidspunkt som ga størst vannstandsdemping nedstrøms. Vannstandsforskjellen 5 km nedstrøms åpningsstedet, for de to alternativene "flomverket intakt" og "flomverket åpnet på optimalt tidspunkt", er altså 10 cm.

ETH i Sveits har undersøkt forskjellen mellom aktivt og ikke-aktivt strømningsareal i en sideelv til Rhinen [IHW, 1998]. De fant at virkningen på flomforløpet er større dersom elveslettene modelleres som aktivt strømningsareal, enn om de modelleres som ikke-aktivt strømningsareal (magasinering). Dette samsvarer med undersøkelsene i dette prosjektet.

Berg m.fl. [1994] har beregnet effekten av flomverkene mellom Flisa og Skarnes ved hjelp av routing, der volumet bak flomverkene ble betraktet som magasin. Resultatene fra beregningene for flommen i 1967 viser små endringer både i vannføring og vannstand. 1966-flommen, som hadde en spissere flomtopp, gir noe større utslag, men også for dette flomforløpet er effektene av flomverkene små: Maksimal døgnvannføring ved Kongsvinger øker fra 2734 m^3/s (uten flomverk) til 2805 m^3/s (med flomverk). Disse beregningene stemmer også godt overens med resultatene fra dette prosjektet.

5.3.3 Aktivt/Ikke-aktivt strømningsareal.

Når vann strømmer ut på elveslettene, må vannet få en viss dybde før det kommer i bevegelse. Vegetasjon, bygninger og veger på elvesletta hindrer til en viss grad vannstrømningen. Dess høyere og tettere vegetasjon, bebyggelse og andre ujevnheter i terrenget, dess mer motstand, og følgelig mindre strømning av vann.

Dersom det ikke hadde vært bygd flomverk, ville trolig vegetasjonen både i kantsonen mot elva og på selve elveslettene vært annerledes enn i den situasjonen at flomverk eksisterer. En tettere vegetasjon ville vært sannsynlig, og dermed ville friksjonen på elvesletta vært større enn den er på dyrka mark, som finnes på de fleste av elveslettene langs Glomma i dag.

Disse fakta, samt erfaringene fra 1995, gjør at vi tror vannstrømningen på elveslettene mellom Elverum og Kongsvinger ville være forholdsvis liten gitt en situasjon der flomverk ikke eksisterte. Blant de analysene som er gjort, er det alternativet med M=12.5 som antagelig er nærmest "sannheten".

I Alvdal er elveslettene kun modellert som ikke-aktivt strømningsareal. I dette området vil Kveberg bru virke oppstuvende, og styre vannføringen ut av modellområdet. Dette vil forårsake at det ikke vil bli vannstrømning av betydning på elveslettene.

6 KONKLUSJONER.

Resultatene fra dette prosjektet viser at i studieområdene er flomforløpet forholdsvis lite påvirket av hvorvidt flomverk eksisterer eller ikke. Imidlertid vil flomtoppen trolig forsinkes noe, og dempes litt. Kulminasjonsverdiene for vannstand vil minke noe, og lokalt kan vannstanden bli betydelig lavere.

I Glomma kunne vannstandsnivået under flommen i 1995 vært 10 til 20 cm høyere mellom Flisa og Norsfoss, dersom det ikke strømmet vann inn bak flomverkene. Dersom ingen flomverk fantes, og gitt at elveslettene fungerte som aktivt strømningsareal, ville flomnivået lokalt vært lavere, vannføringen ville bli dempet noe, og flomtoppen ville kommet senere. Dess større ruhet som er antatt på elveslettene, dess høyere blir vannstanden lokalt, det vil si der elveslettene er. Ulik ruhet har imidlertid lite å si for vannføringen, og nedstrøms elveslettene er derfor virkningen av ulik ruhet på elveslettene liten.

Dersom man antar at det er et Manningtall på 12.5 på elveslettene mellom Elverum og Kongsvinger som ligger nærmest virkeligheten, er maksimum vannstandsforskjell mellom "elvesletter" og "flomverk" ca 0.5 m, og forskjellen i vannføring er ca 30 m^3/s (mindre enn 1%). Tidsforsinkelsen av kulminasjonstidspunktet ved Norsfoss er ca 8 timer.

I Alvdal dempet flomslettene og innsnevringen ved Kveberg bru 1995-flommen ut av området med ca. 3%. Hvis hele området flomsikres, vil en ny flom med forløp som i 1995 resultere i ca. 1.5% høyere kulminasjonsverdi. Dette vil føre til 3-4 cm høyere vannstand. En videre flomsikring av Steimoen vil ha minimal betydning for en flom av type 1995, fordi dempningen hovedsakelig ligger i nedre del av området.

7 VIDERE ARBEID.

7.1 Datagrunnlaget.

Det er ofte ønskelig å forbedre datagrunnlaget som blir brukt i modelleringsarbeid. Dette gjelder både vannstandsobservasjoner, som ofte mangler på store vannføringer, og godheten av vannføringskurvene som er brukt.

I analysene i denne rapporten er det brukt digitale terrengmodeller som inneholder usikkerheter. Terrengmodellen for Alvdal er laget på grunnlag av eldre 1:5000-kart, og denne er benyttet til å generere arealkurver for flomcellene. Når de laserskannede dataene blir tilgjengelig, vil terrengmodellen forbedres. I den hydrauliske modellen er det kun arealkurver knyttet til hvert tverrprofil som inngår. En ny terrengmodell kan benyttes for å evaluere de arealkurvene som er benyttet.

Målinger av vannføringen inn og ut av Nugguren og Vingersjøen ville være til hjelp i kalibreringen av dette fenomenet. I tillegg bør bekkene som forbinder sjøene med Glomma representeres i modellen med virkelige profiler, ikke bare med en kanal som er ment å gi et noenlunde korrekt bilde av virkeligheten.

Dersom modellen mellom Elverum og Kongsvinger skal benyttes i utredningssammmenhenger eller operasjonell drift, for eksempel for varslingsformål og konsekvensutredninger i en flomsituasjon, må kraftverkene representeres på en mer fullstendig måte. Det må da være mulig å simulere både driftsvannføring og overløp under en aktuell vannføringssituasjon.

7.2 Modelleringer.

Konklusjonene fra dette prosjektet baserer seg på resultatene fra to steder i Glomma; Alvdal og Elverum-Kongsvinger. For å kunne gi et mer generelt svar på hva flomverk har å si for resulterende vannstand under flom, burde flere elvestrekninger, fortrinnsvis av ulik topografisk karakter og med flomverk med ulikt bakenforliggende volum, studeres.

Flomforløpet er av avgjørende betydning for resultatet av de inngrep som her studeres. Det må simuleres en rekke forskjellige typer flommer og flomforløp hvis resultatene herfra skal benyttes for å vurdere den samfunnsmessige verdien av flomverkene. Flommene i 1995 og 1967 var kun to flommer av mange mulige. Frekvensanalyser som også inkluderer varighet, vil belyse faktisk variasjon i flomforløpene.

Modellene har, som tidligere nevnt, sine begrensninger. Forbedringspotensiale finnes imidlertid, og en forbedring ville være å kalibrere mot både små og store vannføringer, for eksempel de nivellementene som finnes for normalvannføring og for flommene i 1934 og 1966. Et enda bedre kalibreringsgrunnlag ville man få dersom vannstandsmålinger ble gjort på ulike steder langs elva med jevne mellomrom i løpet av en vårflom, slik at man kunne kalibrere mot en observert vannstandsserie over tid, og med stigende og synkende vannstander. Under målingene bør man måle vannstand oppstrøms og nedstrøms Norsfoss og Gjølstadfoss, for å prøve å få disse strekningene bedre tilpasset i modellen.

Modellen bør også utsettes for en sensitivitetsanalyse, for å få et inntrykk av hva inngangsdataene og kalibreringsdataene har å si for resultatet. For eksempel: Hvor stor endring i vannstanden vil man får dersom Manningtallet endres? Hvor mye endres vannstanden dersom aktivt strømningsareal reduseres/økes? Hva betyr tettheten av tverrprofil i elvas lengderetning, og tettheten av punkter i et tverrprofil? Hvor stor endring i vannstanden ved Norsfoss får man dersom man øker vannlagringskapasiteten på elveslettene oppstrøms?

Det ville også være interessant å studere forholdene under flommen i 1995 mer inngående. En studie av hva som ville skjedd dersom flomverkene ble overtoppet/brøt sammen på et annet tidspunkt enn de virkelig gjorde, ville vært verdifullt.

I Alvdal er dempingsevnen også uttrykt som funksjon av kilometer elv med tilhørende flomareal. Dette kan være en metode som kan utvikles for å vurdere dempingsevnen av lignende flomsletter for lignende flomforløp.

REFERANSER.

Andersen, B. 1996: *Flomsikring i 200 år*, Norges vassdrags- og energiverk, Oslo, Norge.

Berg, H., Bøe, P.C., Einevoll, H. 1994*: Sikring mot skadeflom, Storsjøen i Odal*, NVE-Publikasjon nr. 1/1994, Norges vassdrags- og energiverk, Oslo, Norge.

Chow, V. T. 1959: *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York, USA.

Dansk Hydraulisk Institutt 1995: *Mike11 Technical Reference,* Dansk Hydraulisk Institutt, Hørsholm, Danmark.

Erichsen, B. 1995: *Frekvensanalyse av 1995 flommen i Glomma, Gudbrandsdalslågen og Trysilelven.* NVE-Publikasjon nr. 23/1995, Norges vassdrags- og energiverk, Oslo, Norge.

EurAqua 1996. Management and Prevention of Crisis Situations: Floods, Droughts and Institutional Aspects. EurAqua, *Third Technical Review, Proceedings*, Rome, October 23 – 25, 1996. European Network of Fresh Water Research Organisations, Roma, Italia.

IHW 1998: *Die Wirknung der Retention auf den Abfluss der Nahe bei extremen Hochwassern*, Bericht Nr. AV 4110, Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich, Sveits.

Kjellesvig, H.M. and Skoglund, M. 1996. *Nedstrøms vannstandseffekter pga åpning av flomverk,* SINTEF Bygg- og miljøteknikk, Trondheim, Norge.

NOU 16/1996: *Tiltak mot flom*, Norges offentlige utredninger, Oslo, Norge.

Szczegielniak, C 1990: *Badania hydrologiczne i hydrauliczne dla potrzeb studium w zakresie modernizacji systemu ochrony przeciwpowodziowej w dolinie gornej Odry,* Maszynopis, Instytut Inzynierii Srodowiska AR we Wroclawiu, Wroclaw, Polen.

UTGITTE NOTAT I HYDRA-SERIEN

1/97 **Metoder for kvantifisering av hydrologiske prognosefelts representativitet.**
Kai Fjelstad, NLH (diplomarbeid).

2/97 **Effekter av flomsikringstiltak. En gjennomgang av litteraturen.**
Magne Wathne, SINTEF.

3/97 **Virkningen av lokal overvannsdisponering på tettstedsflommer.**
Dag Rogstad og Bjørn Vestheim, NLH (hovedoppgave).

4/97 **Forslag til kravspesifikasjon av vassdragsmodell.**
Lars A. Roald, NVE.

5/97 **A note on floods in high lattitude countries.**
Lars A. Roald, NVE.

6/97 **Climate change and floods.**
Nils Roar Sælthun, NIVA.

7/97 **Flomdemping i Gudbrandsdalslågen. Programstruktur og systembeskrivelse.**
Magne Wathne og Knut Alfredsen, SINTEF.

8/97 **Klima, arealbruk og flommer i perspektiv.**
Arnor Njøs, Jordforsk.

9/97 **Flood forecasting in practice.**
Dan Lundquist, GLB.

1/98 **Bruk av ensembleprognoser til estimering av usikkerhet i lokale nedbørprognoser.**
Marit Helene Jensen, DNMI.

2/98 **LANDSKAP OG ESTETIKK –et kulturelt perspektiv.**
Oddrun Sæter, Byggforsk.

3/98 **Betydning av vårflommens størrelse for tetthet av laks- og ørretunger i Saltdalselva.**
Arne J. Jensen og Bjørn Ove Johnsen, NINA.

4/98 **Pure Model Error of the HBV-model.**
Øyvind Langsrud, Arnoldo Frigessi and Gudmund Høst, Norwegian Computing Center (Norsk Regnesentral)

5/98 **Analyse av effekter av urbanisering og avrenningsutjevnende tiltak i Svebestadfeltet – Sandnes kommune.**
Jadranka Milina, SINTEF.

6/98 **Virkning av urbanisering på avrenningsforhold i Storånavassdraget.**
Jadranka Milina, SINTEF.

7/98 **Metodebeskrivelse for flomsoneanalyse med eksempler fra Flisa og Kirkenær.**
Søren Elkjær Kristensen og Astrid Voksø, NVE.

8/98 **Statistical Forecasting of Precipitation Conditional on Numerical Weather Prediction Models.**
John Bjørnar Bremnes, DNMI

9/98 **1995-flommens volum, stigningstid og varighet i Gudbrandsdalslågen.**
Jan Ove Søderholm (Hovedfagsoppgave ved Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo, våren 1998).

10/98 **Vårflommer i Glomma. Modellering av maksimalvannføringen på bakgrunn av volum og flomhydrogrammets form.**
Grete Orderud Solberg (Hovedfagsoppgave ved Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo, våren 1998).

11/98 **Flomvolum Østlandet våren 1995. Frekvens og regional fordeling.**
Grete Orderud Solberg og Kjell Nordseth. Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo.

12/98 **A Statistical Model for the Uncertainty in Meteorological Forecasts, with Applications to the Knappom and Røykenes Catchments.**
Turid Follestad og Gudmund Høst. Norwegian Computing Center (Norsk Regnesentral)

13/98 **Precipitation estimation using satellite remote sensing.**
Øystein Godøy, Det norske meteorologiske institutt.

14/98 **High Resolution Precipitation Forecasting with Initial and Boundary Conditions from Ensemble Forecasts.**
Viel Ødegaard, Det norske meteorologiske institutt.

1/99 **Døgnarealnedbør for flomvarsling.**
Ole Einar Tveito, Det norske meteorologiske institutt.

2/99 **Quantifying uncertainty in HBV runoff forecasts by stochastic simulations.**
Øyvind Langsrud, Gudmund Høst, Turid Follestad, Arnoldo Frigessi og David Hirst, Norsk Regnesentral.

3/99 **Kvantifisering av usikkerhet i meteorologiske og hydrologiske prognoser.**
Thomas Skaugen, Norges vassdrags- og energidirektorat.

4/99 **The Effect of Peatland Drainage and Afforestation on Runoff Generation. Consequences on Floods in River Glomma.**
Bjørn Kløve, Jordforsk.

5/99 **Effekten av flomverk på flomforløpet.**
Ingjerd Haddeland og Øyvind A. Høydal, NVE

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 Landbrukshøgskole
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: 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: Olianne 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: Olianne 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