

flomdemping

flomvern og

flomhandtering



Hallvard Berg, Inger Karin Engen, Ingjerd Haddeland, Øyvind Høydal,  
Eirik Traae, Morten Skoglund

# Effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet



## 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. F05

# Effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet

av

Hallvard Berg, Inger Karin Engen,  
Ingjerd Haddeland, Øyvind Høydal, Eirik Traae  
NVE

Morten Skoglund  
SINTEF

# Forord

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

Prosjektet er inndelt i 5 delprosjekter, med tilhørende notat.

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 11/1999
5. Hydrodynamisk modell for Glomma mellom Kongsvinger og Øyeren, HYDRA-notat nr 8/1999

Notatene gir fylldigere dokumentasjon av resultatene enn det er rom for i denne rapporten.

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 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.

Oslo, juni 1999

Hallvard Berg  
prosjektleder

# Innhold

|  | Side      |
|--|-----------|
| Sammendrag .....   | 5         |
| Summary .....  | 6         |
| <b>1 Innledning</b> .....  | <b>7</b>  |
| 1.1 Bakgrunn, problemstilling .....                                    | 7         |
| 1.2 Prosjektets plassering i HYDRA-programmet.....                     | 8         |
| <b>2 Effekter av flomverk på flomforløpet</b> .....                    | <b>9</b>  |
| 2.1 Målsetting og avgrensing.....                                      | 9         |
| 2.2 Problemløsning.....  | 9         |
| 2.2.1 Datagrunnlag.....  | 9         |
| 2.2.2 Modellverktøy, forutsetninger og forenklinger.....               | 9         |
| 2.2.3 Kalibrering.....   | 9         |
| 2.3 Resultater.....  | 9         |
| 2.3.1 Studieområde 1: Elverum – Kongsvinger.....                       | 9         |
| 2.3.2 Studieområde 2: Alvdal.....                                      | 12        |
| 2.3.3 Vurdering og diskusjon av resultatene.....                       | 14        |
| 2.4 Konklusjoner.....  | 14        |
| <b>3 Effekter av senkingstiltak på flomforløpet</b> .....              | <b>15</b> |
| 3.1 Målsetting og avgrensing.....                                      | 15        |
| 3.1.1 Målsetting.....  | 15        |
| 3.1.2 Avgrensing .....   | 16        |
| 3.2 Problemløsning.....  | 16        |
| 3.2.1 Vossovassdraget.....   | 16        |
| 3.2.2 Jostedalen .....   | 17        |
| 3.3 Resultater .....   | 17        |
| 3.3.1 Vossovassdraget.....   | 17        |
| 3.3.2 Myrkdalsvatn.....  | 17        |
| 3.3.3 Vangsvatn.....   | 17        |
| 3.3.4 Jostedalen .....   | 21        |
| 3.4 Konklusjoner.....  | 22        |
| <b>4 Nødoverløp på flomverk</b> .....                                  | <b>24</b> |
| 4.1 Målsetting med prosjektet.....                                     | 24        |
| 4.2 Definisjon av nødoverløp .....                                     | 24        |
| 4.3 Når er det aktuelt med nødoverløp.....                             | 24        |
| 4.4 Prosjektering .....  | 24        |
| 4.4.1 Innledende vurderinger.....                                      | 24        |
| 4.4.2 Plassering .....   | 24        |
| 4.4.3 Nødoverløpets dimensjoner.....                                   | 25        |
| 4.4.4 Type nødoverløp .....  | 25        |
| 4.5 Nødoverløp ved Kirkenær, et eksempel.....                          | 25        |
| 4.5.1 Innledende vurderinger.....                                      | 25        |
| 4.5.2 Dimensjoner på nødoverløp ved Kirkenær .....                     | 26        |
| 4.5.3 Virkning nedstrøms av en åpning av nødoverløp ved Kirkenær ..... | 27        |
| 4.6 Konklusjon.....  | 27        |

|       |   |           |
|-------|---|-----------|
| 5     | Konklusjon .....  | 28        |
| 5.1   | Sammenfattende drøfting av resultater .....   | 28        |
| 5.2   | Anbefalinger til håndtering av enkeltinngrep i vassdrag .....   | 29        |
| 5.3   | Anbefalinger til håndtering av flomsikringstiltak<br>og elvesletter i vassdragsmodellen for hele Glomma ..... | 30        |
| 5.3.1 | Innledning .....  | 30        |
| 5.3.2 | Elvesletter .....   | 30        |
| 5.3.3 | Flomverk .....  | 30        |
| 5.3.4 | Senkingstiltak .....  | 31        |
| 5.4   | Forslag til videre forskning og utvikling på området .....  | 31        |
| 5.4.1 | Datagrunnlaget .....  | 31        |
| 5.4.2 | Modelleringer .....   | 32        |
|       | <b>Vedlegg .....</b>  | <b>33</b> |
|       | <b>Begreper .....</b>   | <b>33</b> |
|       | <b>Referanser .....</b>   | <b>34</b> |
|       | <b>Tidligere utgitt i HYDRA-serien .....</b>  | <b>35</b> |

# Sammendrag

Formålet med dette prosjektet har vært å videreutvikle grunnlaget for vurdering av effektene av flomsikringstiltak (flomverk og senkingstiltak) på flomforløpet. Hypotesen har vært at flomsikringstiltak fører til at flomforløpet endres, slik at vannføringen øker og avtar raskere enn tidligere og at flomtoppen når et høyere nivå enn før.

Det konkluderes med at de elvesletter som her er undersøkt, hver for seg har beskjeden flomdempende effekt, men analysene bekrefter hypotesen med hensyn til retning på effektene. Bygging av flomverk reduserer denne naturlige funksjonen. Virkningen på kulminasjonsvannføringen nedstrøms anses som liten. Mer merkbar er endringen av flomforløpet i tid. Årsaken til den beskjedne virkningen på kulminasjonsvannføringen ligger i at elveslettene under naturlige forhold fylles gradvis opp og at det tilgjengelige volum for flomdemping omkring flomtoppen blir beskjedent i forhold til volum vann som passerer i elva.

Flomsikring i form av flomverk mellom Elverum og Kongsvinger øker maksimal vannføring med ca 40–50 m<sup>3</sup>/s, dvs med ca 1% av vannføringen i 1995 og ca 1,5% av vannføringen i 1967. I Alvdal dempes 1995-flommen med ca. 3% av elveslettene og innsnevringen ved Kveberg bru. Hvis hele området flomsikres, ville en ny flom med forløp som i 1995 resultere i ca. 1.5% høyere kulminasjonsverdi. En videre flomsikring av Steimoen vil ha minimal betydning for en flom som i 1995 fordi dempingen for en slik flom hovedsakelig ligger i nedre del av området.

For strekningen Elverum – Kongsvinger er det regnet på to tilstander – en der det ikke finnes flomverk og en der alle flomverk holder. Gitt at det ikke oppstår brudd i noen flomverk, blir tidspunktet for kulminasjon av en flom som i 1995 framskyndet ca 10–12 timer i Kirkenærområdet og ca 18–20 timer ved Kongsvinger, som følge av flomverkene. For en flom som i 1967 er det beregnet tilsvarende framskynding på ca 10 timer både ved Kirkenær og ved Kongsvinger. Beregnet tidsforskyvning dersom området i Alvdal flomsikres, er 2–3 timer.

Tidsforskyvningen av flomtoppen som følge av flomverk på strekningen Elverum – Kongsvinger må anses som betydelig. Effekten av tidsforskyvningen på flomforholdene nedstrøms, vil avhenge av de lokale forholdene og kan slå både positivt og negativt ut på flomskadene. En raskere forplantning av flomtoppen stiller uansett flomvarslingen og beredskapsapparatet overfor større utfor-

dringer, ved at tiden fra utløsende værforhold inntreffer til flommen har nådd de skadeutsatte områdene blir kortere.

For senking av innsjøer er bildet noe annerledes. De innsjøer som her er undersøkt har til dels betydelig flomdempende effekt, opptil 40–50% for kortvarige flommer. Ved ensidig flomsenkning reduseres den naturlige flomdempingen, mens en ved senking også av lavvannstanden kan beholde tilnærmet samme flomdempende effekt.

I Myrkdalsvatn er både lavvannstand og flomvannstander senket omtrent like mye. Her blir påvirkningen på flomforløpet nedstrøms minimal. I Vangsvatn er lavvannstand ikke endret, mens flomvannstanden er senket ca 1,5 m. Dette har medført en framskynding av flomtoppen ut av Vangsvatn med ca 5 timer for raskt stigende og kortvarige flommer på middelflornivå. Kulminasjonsvannføringen ut av Vangsvatn øker også med ca 10–12% ved middelflom. Effekten avtar med økende gjentakintervall. Ved flommer med gjentakintervall ca 100 år eller mer viser beregningene sågar en reduksjon av kulminasjonsvannføringen. Nedstrøms, i Evangervatn, kan dette ha ført til økt flomrisiko, særlig fordi sannsynligheten for sammenfall med flom fra Teigdalen er økt.

I Jostedalen nedenfor Myklemyr har utvidelse av Haukåsgjelet og forhøyede flomverk ført til at en tilløpsflom på størrelse med flommen i 1979, vil bli dempet med om lag 0.7% mot 3.9% før senking.

Det er gjennomført en teknisk vurdering av typer nødoverløp for flomverk samt kriterier for valg av plassering og dimensjoner. Det anbefales ikke nødoverløp som trer i funksjon av seg selv, f.eks. ved en bestemt vannstand. Flomverket på Kirkenær er valgt som eksempel på dimensjonering av et nødoverløp. Både ved prosjektering og drift av nødoverløp på flomverk er det av stor betydning å ha god kunnskap om flomforløpet samt vannbevegelsen bak flomverket. Det er nødvendig med en form for kvantitativ flomvarsling i vassdraget og rutiner som så langt mulig balanserer behov for tid til oppfylling mot faren for unødvendige åpninger. Nødoverløp skal primært begrense faremomentene og skadeomfanget bak flomverkene når flommen overstiger dimensjoneringsnivået. Analysene av de eventuelle virkningene på flomforløpet nedstrøms viser en utflating av flomtoppen, gitt at flommen kulminerer kort tid etter at nødoverløpet trer i funksjon.

# Summary

The principal objective of this project has been to study the changes in the downstream flood pattern after constructing dikes or other flood protection measures, such as the lowering of flood levels in lakes.

The results indicate that the flood plains investigated have little dampening effect on floods. Construction of dikes reduces the natural flood dampening. The effect on the peak discharge is considered small. More significant is the earlier arrival of the flood peak downstream.

The analyses indicate that the construction of dikes on the river reaches in this study has increased the flood peaks of floods with return periods 50-100 years with 1- 1.5%. About 27 km downstream the protected river reach, the analyses indicate that flood peak will arrive 10-20 hours earlier after the construction of dikes.

The effects of lowering of flood levels in lakes are somewhat different. The lakes investigated in this project has a substantial dampening effect, up to 40-50% reduction of the flood peak. The effects of lowering the flood levels depend on how this is achieved. If low water levels are unchanged, but flood

levels reduced, the reservoir capacity will be changed. A lake of this type was studied (Vangsvatn). The analyses indicate that flood peaks for mean annual floods of short duration have increased with about 10-12%. The flood peak arrives about 5 hours earlier downstream the lake. This has led to a higher risk of coincidence with floods from a large tributary downstream with possible increased risk of flood damages as a result. Floods with return periods of 100 years or more have not increased, a reduction is rather indicated.

If both low water levels and flood levels are lowered, the dampening effect could be kept at the same level as before. A lake of this type is studied (Myrkdalsvatn) and the analyses confirm the hypothesis that the effects on the downstream flood pattern is marginal.

Canalization of a river reach in Jostedalen (Myklemyr), has according to the study in this project increased the flood peaks downstream with about 3%.

A technical evaluation is conducted on emergency overflows on dikes as well as definition of criteria for choosing site and dimensions for emergency overflows.



# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn, problemstilling

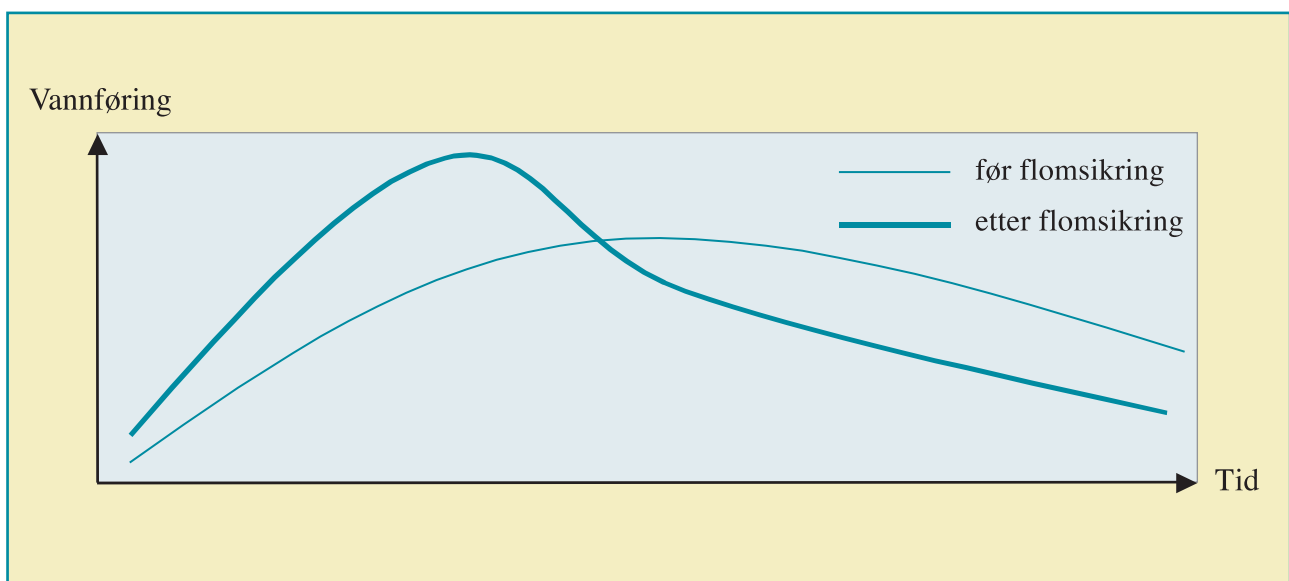
I Norge har flomsikringstiltak vært bygget i statlig regi i snart 200 år [Andersen, 1996]. Vi skiller ofte mellom flomverk, senkings- og forbygningstiltak. I dette delprosjektet rettes oppmerksomheten mot flomverk og senkingstiltak og vi omtaler disse under samlebetegnelsen flomsikringstiltak. Formålet med prosjektet har vært å videreutvile grunnlaget for å vurdere effektene av flomsikringstiltak på flomforløpet. Hypotesen har vært at flomsikringstiltak fører til at flomforløpet endres, slik at vannføringen både øker og avtar raskere enn tidligere og at flomtoppen når et høyere nivå enn før, slik det er skissert i figur 1.1.

Den primære hensikten med disse tiltakene er å redusere flomskadene lokalt. Det er kjent at flomsikringstiltak også kan påvirke flomkarakteristikken både oppstrøms og nedstrøms i en uønsket retning, dvs i form av høyere vannstand og/eller vannføring. Oppstrøms kan en oppleve høyere vannstander enn før som følge av at flomverk snevrer inn elveløpet, mens nedstrøms kan flomforløpet påvirkes fordi den naturlige magasineringen på elvesletter eller i sjøer blir redusert. Ved senking av innsjøer eller i sjøer blir redusert, avhengig av hvordan senkingen er gjennomført. Særlig oppmerksomhet har det vært omkring fenomenet at forløpet av flommen kan bli endret nedstrøms, ved at vannstandsstigningen i flom kan skje raskere og at selve

flomtoppen kan nå et høyere nivå. En annen side av dette er at vannstanden etter at toppen er nådd også kan synke raskere enn tidligere. De nedstrøms effektene er illustrert i form av en prinsippskisse i figur 1.1.

Selv om dette er velkjente effekter er det få konkrete beregninger her i landet av effekten av flomverk på flomforløpet [NOU, 1996], og de beregningene som er gjort omfatter forholdsvis korte strekninger. Hver for seg konkluderer disse studiene med at effekten på hydrologien nedstrøms er liten. Det er i Norge ikke utført noen beregninger eller modelleringer som kan gi svar på hva den samlede effekten av flere flomsikringstiltak på ulike steder i vassdraget har å si for resulterende vannstand og vannføring under en flom.

Flere studier fra elver i andre land peker i retning av at bygging av flomverk eller tilsvarende tiltak fører til forverring av flomforholdene nedstrøms. En studie av effekten på flomforløpet av inndemming for elvekraftverk i Rhinen, viste at flommene ble forsterket, slik at det som før utbygging var en 200-årsflom etter utbygging hadde et gjentaksintervall på 100 år [Rheinland-Pfalz, 1993]. Fra USA er det pekt på viktigheten av å foreta gode analyser ved hjelp av hydrauliske, ikke-stasjonære modeller. Det er påpekt at hvis flomverk til beskyttelse av jordbruksområder hadde vært høyere, ville det hatt en betydelig negativ effekt ved å høyne flomtoppen og dermed øke risikoen for nærliggende tettsteder [Wathne, 1997].



Figur 1.1: Prinsippskisse, flomforløp før og etter flomsikring på en strekning nedstrøms tiltaket.

Figure 1.1: Downstream flood pattern before and after flood protection.

På bakgrunn av erfaringene fra flommen på Østlandet i 1995, anbefalte Flomtiltaksutvalget [NOU, 1996] at det tilrettelegges for at områdene på innsiden av flomverk oversvømmes på en kontrollert måte når dimensjonerende flom overstiges. Det ble også anbefalt at HYDRA-programmet ser på utforminger av flomverk for å kombinere vern mot flomskader på produktive jordbruksarealer med reduksjon av flomtoppen ved flommer over dimensjonerende.

Effektene av senking er studert for to innsjøer, men ikke ren senking av elveløp. I prosjektet er det likevel inkludert en analyse av et tiltak som kombinerer senking av elveløp og bygging av flomverk. Forbygningstiltak i form av ren erosjonssikring er holdt utenfor da de ikke anses å ha effekter på flomforløpet. I tråd med anbefalingen fra Flomtiltaksutvalget er det til dette prosjektet også lagt å utrede utforming av overløp på flomverk.

Det er lagt vekt på at analysene skal være detaljerte, ettersom dette har vært en mangel ved tidligere studier. Samtidig har en også i dette prosjektet måttet gjøre forenklinger. Disse anses likevel ikke å være avgjørende for konklusjonene. Det primære i denne sammenheng er å studere de relative forskjeller før og etter at tiltakene er gjennomført. Dersom en skulle gi absolutte svar på hvilke vannstander som vil opptre ved ulike flommer, ville kravet til detaljering vært større enn det en har kunnet legge inn her. Det er valgt ut områder hvor det er gjort omfattende tiltak for om mulig å identifisere samlede effekter av mange inngrep. Den overordnede sammenstillingen av denne type tiltak med andre inngrep i nedbørfeltet er forutsatt gjennomført av Modellgruppa innenfor HYDRA-programmet. Dette prosjektet har likevel fått tillagt oppgaven med å etablere en hydrodynamisk modell for en viktig strekning i nedre deler av Glomma. Dette er primært å anse som en underleveranse til modellgruppa.

## 1.2 Prosjektets plassering i HYDRA-programmet

Forskningsprogrammet HYDRA har som arbeidshypotese 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 "F-området" hvor kunnskapsgrunnlaget vedrørende effekten av vassdragsreguleringer og flomsikringstiltak på flomforhold skal videreutvikles. Delprosjektet har betegnelsen F4 – Effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet.

Prosjektet har vært delt i 5 delprosjekter, med tilhørende rapporter:

1. Forstudium; oppsummering av kunnskapsstatus på området, [Wathne, 1997]
2. Effekter av flomverk på flomforløpet, [Haddeland og Høydal, 1999]
3. Effekter av senkingstiltak, [Engen et al, 1999]
4. Utforming av nødoverløp på flomverk og effekt på ulike flomforhold, [Skoglund et al, 1999]
5. Hydrodynamisk modell for Glomma mellom Kongsvinger og Øyeren. [Haddeland og Krokli, 1999]

Det blir som det framgår ovenfor levert separate rapporter for hvert av disse delprosjektene. For mer detaljert innsyn i bakgrunnsmateriale og analysene, henvises til disse.

Prosjektgruppa har bestått av følgende personer:

Hallvard Berg (leder), NVE  
Einar Beheim, NVE  
Inger Karin Engen, NVE  
Ingjerd Haddeland, NVE  
Øyvind Høydal, NVE  
Bjarne Krokli, NVE  
Øystein Nøtsund, NVE  
Morten Skoglund, SINTEF  
Siri Stokseth, NVE  
Eirik Traae, NVE

# 2. Effekter av flomverk på flomforløpet

## 2.1 Målsetting og avgrensning

Formålet med dette delprosjektet er å studere endringer i flomforløpet som følge av flomverk, og å studere eventuell demping av flommen som følge av magasinering på elveslettene. En hydrodynamisk modell er brukt for å simulere flomforløp for to elvestrekninger.

Simuleringene er utført for to situasjoner: Én der flomverkene holder vannet borte fra elveslettene, og én situasjon uten flomverk.

Det har vært et mål for dette prosjektet at modellene skal gi relative svar på hvordan flomforholdene med og uten flomverk vil være. Med dette menes at resultatene ikke forventes å gi absolutt riktige svar på resulterende vannføringer og vannstander, men at differansene er tilnærmet riktige.

## 2.2 Problemløsning

### 2.2.1 Datagrunnlag

Studieområde 1, fra Elverum til Kongsvinger kraftverk, er en del av Glommas nedbørfelt, se figur 2.1. Det er benyttet vannstands- og vannføringsdata for målestasjonene Elverum, Knappom, Nor og Norsfoss, i tillegg til vannføringsdata fra Kongsvinger kraftverk. Tverrprofilene som er benyttet, er oppmålt i felt. I tillegg er analoge og digitale kart brukt for å konstruere noen ekstra tverrprofiler. En digital terrengmodell er brukt som grunnlag for å forlenge noen av tverrprofilene, og for å finne volumet bak flomverkene.

Studieområde 2, Alvdal, ligger i øvre del av Østerdalen ved samløpet mellom Folla og Glomma, se figur 2.1. Det er ingen målestasjoner innenfor studieområdet. Vannføringsdata fra stasjonene Dølplass (Folla), Hummelvoll (Glomma) og Høyegga (Glomma) er benyttet i modellen. Tverrprofiler og digitale kart er benyttet til å generere en terrengmodell, som er brukt for å beregne areal- og volumkurver på elveslettene.

### 2.2.2 Modellverktøy, forutsetninger og forenklinger

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 og lineær bevegelsesmengde) [DHI, 1995].

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 eller vanntap ved fordamping er det heller ikke tatt hensyn til.

### 2.2.3 Kalibrering

Modellen for studieområde 1 er kalibrert mot observasjoner gjort under flommen i 1995. Grensebetingelser er vannføringsserien for Elverum og flomkapasitetskurven ved Kongsvinger kraftverk. Lokaltilsiget er antatt å være arealproporsjonalt med tilsiget fra Flisaelva.

For studieområde 2 er oppstrøms grensebetingelse konstruerte vannføringsserier for Folla og Glomma. Nedstrøms er vannføringskurven fra Kveberg bru brukt som grensebetingelse. Denne grensebetingelsen, eller innsnevringen, har meget sterk føring på vannstanden oppover i Alvdal. Flomobservasjoner fra 1995, gjengitt på flomarealkart og andre NVE-kart, er brukt til å kalibrere modellen.

## 2.3 Resultater

### 2.3.1 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 flomverkene i dette studieområdet, er det simulert to alternative situasjoner langs vassdraget:

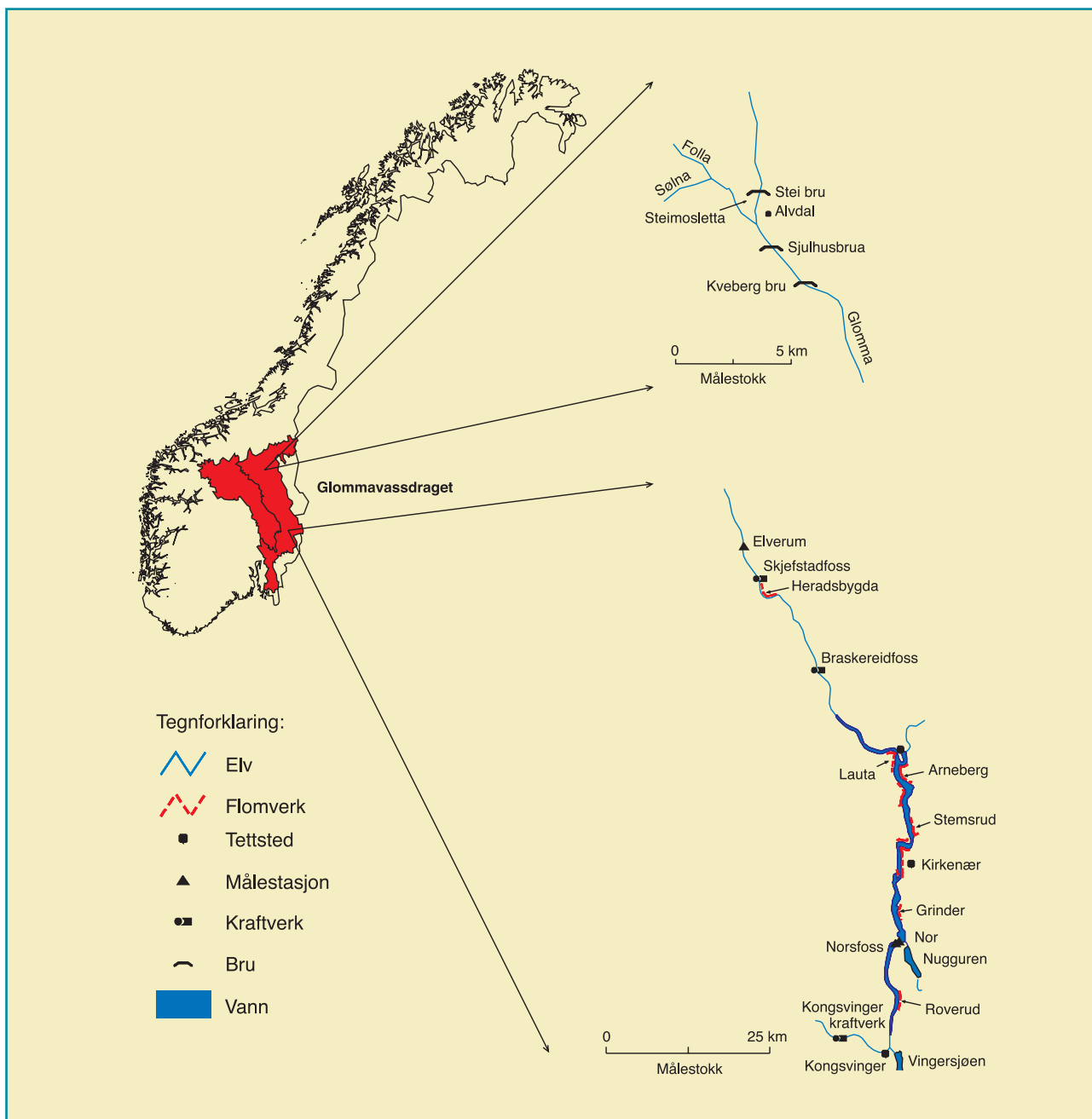
- A. Alt vannet strømmer i selve elveløpet. Dette vil si at flomverkene er antatt å være høyere enn maksimum vannstand i elva, og elveslettene bak flomverkene forblir tørre.
- B. Det er antatt at flomverkene ikke er bygd, og følgelig kan det strømme vann også på elveslettene. Det er gjort simuleringer med ulike ruhet (Manningtall på 25, 12.5 og 0.25) på elveslettene. Et Manningtall så lavt som 0.25 er urealistisk, men er brukt for å vise resultater av det absolutte ytterpunkt – ingen strømning på elveslettene.

I etterfølgende tekst og figurer er alternativ A referert til som "flomverk". De ulike simuleringene for alternativ B ("elvelletter") refereres til ved hjelp av Manningtallet som er brukt på elveløpene. Det vil si at i simuleringen "M25" er det brukt samme Manningtall på elveløpene som i elveløpet (M=25), mens det i "M12.5" er brukt et Manningtall på 12.5 på elveløpene. I alle simuleringene er det i elveløpet brukt et Manningtall på 25.

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.

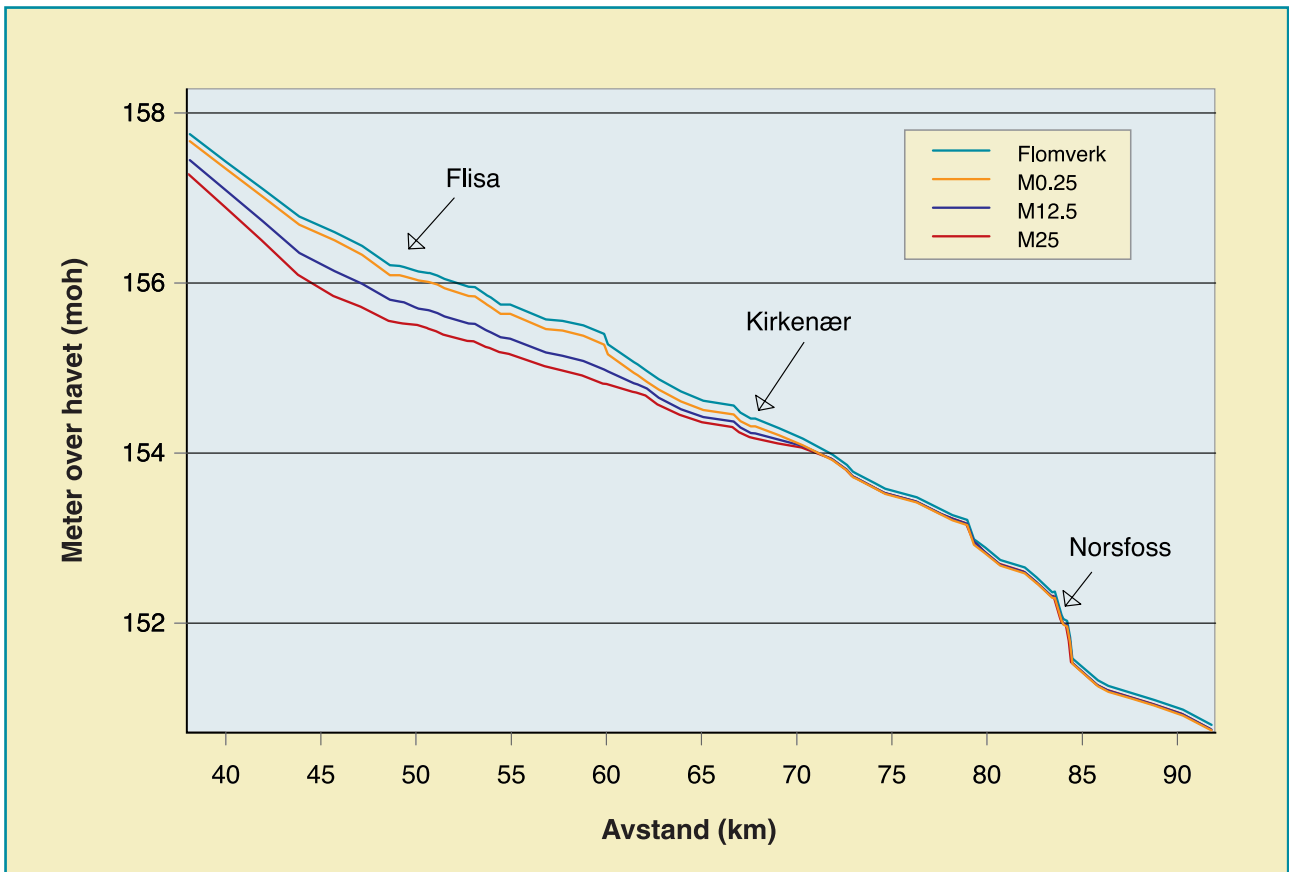
Figur 2.2 viser elveløpene virkning på vannstanden mellom Flisa og Norsfoss. Figuren viser simulert vannstand gitt at alle elveløpene forblir tørre ("flomverk"), sammen med tre alternativer der ingen flomverk eksisterer ("elvelletter"). Forskjellene i vannføring rundt kulminasjonstidspunktet for "flomverk" og "elvelletter" ved Norsfoss er vist i figur 2.3. Maksimumsverdier og tidspunktene for disse er gitt i tabell 2.1.

Som figur 2.2 viser, endrer vannstandsforskjellene seg noe nedover i elva. Flomverkene som beskytter elveløpene mellom Flisa og Norsfoss fører til en oppstuvning av vannstanden lokalt. Oppstrøms Kirkenær ser vi at vann-



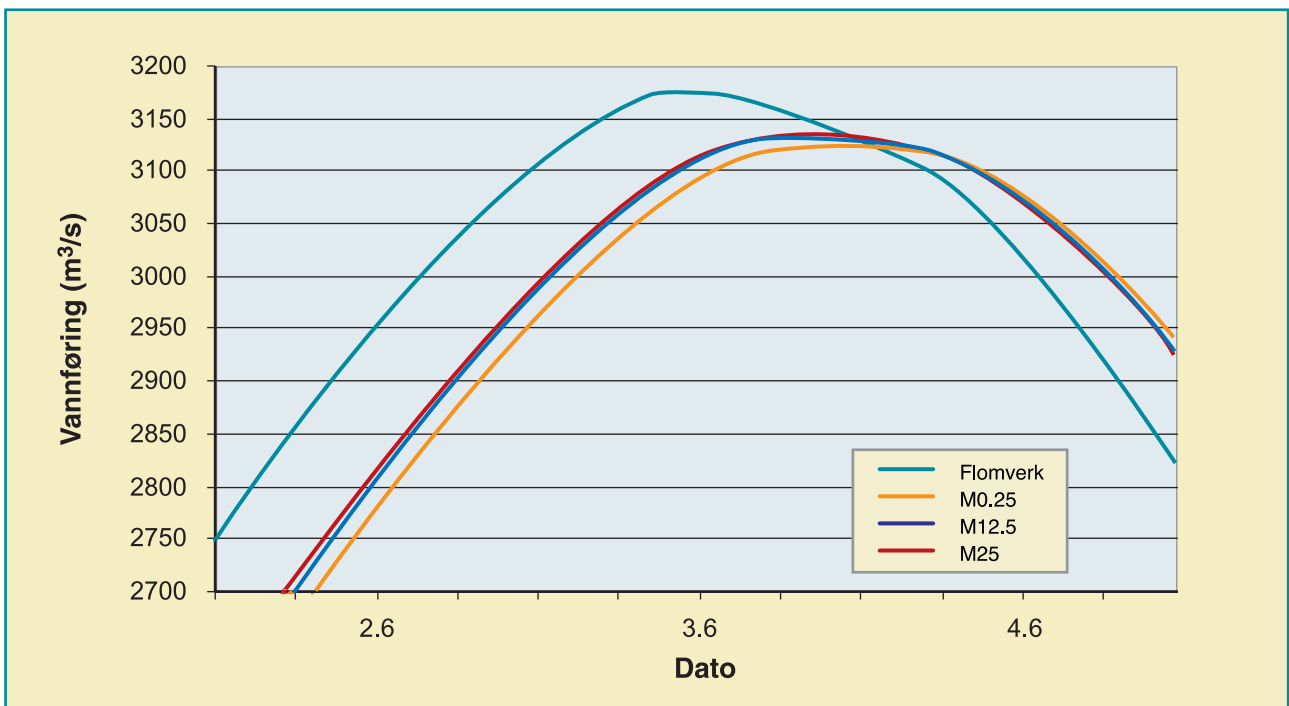
Figur 2.1: Studieområdene.

Figure 2.1: Location of the study areas.



Figur 2.2: Vannlinje i Glomma gitt at alle elvesletter er tørre ("flomverk"), sammenlignet med vannlinjer i Glomma ved situasjoner uten flomverk (M25, M12.5 og M0.25) ved en flom som i 1995.

Figure 2.2: Water stages in Glomma given discharges similar to the flood in 1995.



Figur 2.3: Sammenligning av vannføringer, Norsfoss, 1995.

Figure 2.3: Comparison of discharges, Norsfoss, 1995.

standsforskjellen er ca 0.5 m ved en flom som i 1995. I trange partier og i strykene nedover vassdraget er forskjellene minimale. Årsaken til at vannstandsforskjellene nærmest forsvinner nedover i vassdraget kan man se ut fra figur 2.3, som viser at det er forholdsvis små forskjeller i vannføring mellom "flomverk" og "elvesletter". 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 vannstrømming, kun lagring av vann). Ved Kirkenær stiger vannstanden fra 153.9 til 154.2 meter ( $\approx$  simulert kulminasjonsvannstand) i løpet av 24 timer, i alternativet med "elvesletter" og  $M=25$ . Dette tilsvarer et volum på 3.36 Mm<sup>3</sup> bak flomverket ved Kirkenær. Gjennomsnittlig vannføring ut av hovedelva og inn på elvesletta ved Kirkenær blir i dette eksempelet ca. 39 m<sup>3</sup>/s, forutsatt at vannstanden på elvesletta stiger i samme takt som i elva. 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 2.1. 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. Dette ville det være interessant å undersøke nærmere.

Sammenligner man "flomverk"- og "elveslette"-simuleringene, viser tabell 2.1 at forskjellene i kulminasjonsvannføring ved Norsfoss ligger på 40–50 m<sup>3</sup>/s. Forskjellene i maksimum vannføring mellom simuleringalternativene "flomverk" og "elvesletter" er kanskje ikke av så stor betydning, men det kan derimot kulminasjonstidspunktet være. Ved Norsfoss kommer flomtoppen ved "elvesletter" omtrent 10 timer senere enn ved "flomverk", og tidsforskyvningen øker nedover vassdraget. Analysene av 1967-flommen gir tilsvarende resultater som for 1995-flommen.

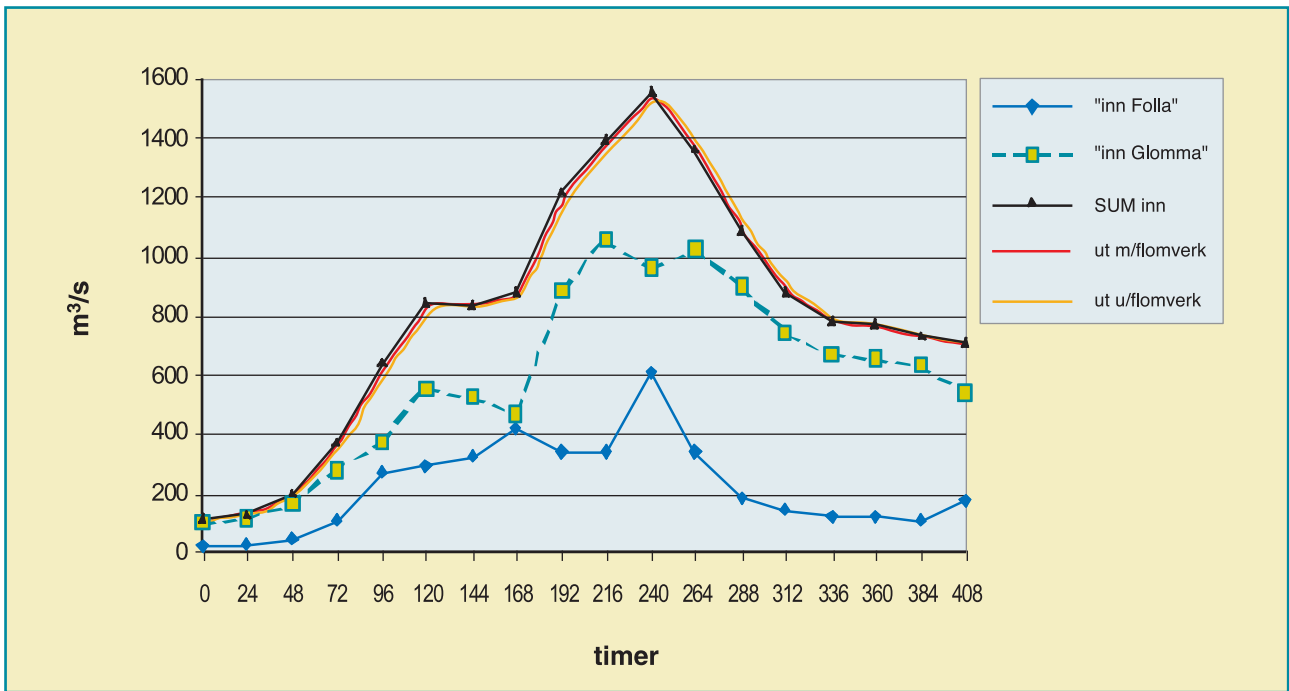
### 2.3.2 Studieområde 2: Alvdal

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 øker fra 1513 m<sup>3</sup>/s til 1537 m<sup>3</sup>/s når områdene sikres med flomverk. Dette tilsvarer 1.5% økning i kulminasjonsvannføringen. Flomforløp og tabeller er vist i figur 2.4. "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 maksimal døgnvannføring i 1995 med omlag 3%. En total flomsikring av området ville derfor redusere denne dempingen til det halve.

Tabell 2.1: Simulert kulminasjonsvannføring (m<sup>3</sup>/s) og tidspunkt, 1995.

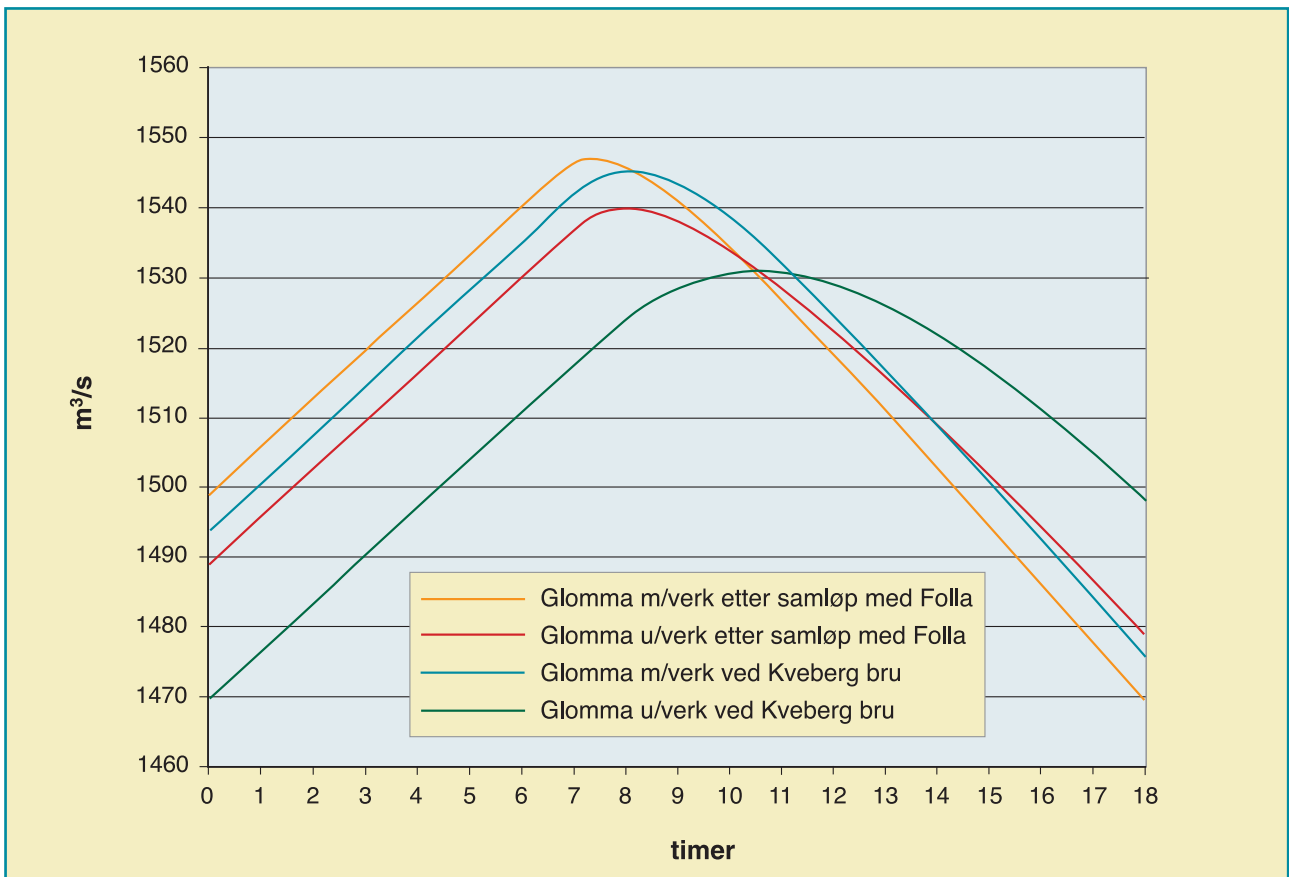
Table 2.1: Simulated peak discharges (m<sup>3</sup>/s) and time of arrival, 1995.

|                  |         | Kirkenær |                    | Norsfoss |                    | Kongsvinger |                    |
|------------------|---------|----------|--------------------|----------|--------------------|-------------|--------------------|
|                  |         | Max vf   | <u>Dato</u><br>Tid | Max vf   | <u>Dato</u><br>Tid | Max vf      | <u>Dato</u><br>Tid |
| A) 'Flomverk'    |         | 3200     | <u>02.06</u>       | 3173     | <u>02.06</u>       | 3195        | <u>03.06</u>       |
|                  |         |          | 20.45              |          | 22.45              |             | 03.30              |
| B) 'Elvesletter' | 'M0.25' | 3143     | <u>03.06</u>       | 3124     | <u>03.06</u>       | 3161        | <u>03.06</u>       |
|                  |         |          | 08.00              |          | 10.15              |             | 22.15              |
|                  | 'M12.5' | 3152     | <u>03.06</u>       | 3132     | <u>03.06</u>       | 3169        | <u>03.06</u>       |
|                  | 06.30   |          | 08.45              |          | 21.15              |             |                    |
|                  | 'M25'   | 3152     | <u>03.06</u>       | 3132     | <u>03.06</u>       | 3170        | <u>03.06</u>       |
|                  | 06.00   |          | 08.30              |          | 21.00              |             |                    |



Figur 2.4: Resultater vannføring, studieområde Alvdal.

Figure 2.4: Simulated discharges, study area Alvdal.



Figur 2.5: Detaljresultater – endring av flomtopper, 1995.

Figure 2.5: Detail – changes at peak discharge.



De tynne linjene "ut m/flomverk" og "ut u/flomverk" og figur 2.5 viser mer i detalj hvordan flomtoppen økes og framskyndes når flomverk bygges. Flomtoppen framskyndes ca 2.5 timer ved utløpet, men mindre enn en time oppe ved samløpet til Folla. Det kan utfra figur 2.5 se ut som om dempingen ligger jevnt fordelt mellom området ovenfor og nedenfor samløpet Glomma – Folla. En må her ta i betraktning at en oppstuvning 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.

I modellen blir et flomareal på litt over 5 km<sup>2</sup> tatt i bruk. Vanddyptet på dette arealet er i gjennomsnitt 2.5 m. Det vil si at et vannvolum på om lag 13 Mm<sup>3</sup> mellomlagres på elveslettene under flommen. Til sammenligning kan det nevnes at 13 Mm<sup>3</sup> tilsvarer vannmengden som passerer Kveberg bru i løpet av to timer ved kulminasjonen. Modellstrekningen er ca 8 km.

### 2.3.3 Vurdering og diskusjon av resultatene

Det finnes usikkerheter i vannstandsdataene, vannføringskurvene og de digitale terrengmodellene. Modellene er kalibrert mot vannstander og vannføringer målt under flommen i 1995, og ruhetstall for elveløpet er bestemt ut fra denne kalibreringen. Ruhetstallet er 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.

Når vann strømmer ut på elveslettene, må vannet få en viss dybde før det kommer i bevegelse. Vegetasjon, bygninger og vegger på elvesletta hindrer til en viss grad vannstrømningen, og dess høyere og tettere vegetasjon, bebyggelse og andre ujevnheter i terrenget, dess mer motstand, og mindre strømning av vann. Disse fakta, samt erfaringene fra 1995, gjør at vi mener vannstrømningen på elveslettene mellom Elverum og Kongsvinger vil være forholdsvis liten gitt en situasjon der flomverk ikke eksisterte. 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 forårsaker at vannstrømning på elveslettene er uten betydning for flomforløpet.

Det er likevel et usikkerhetsmoment i modelleringene hvor stor del av elveslettene som bør regnes som aktivt strømningsareal, og hvor mye som ikke er aktivt strømningsareal. I dette prosjektet er ytterpunkter analysert. Det er tidligere nevnt at det ikke var forventet at modellene skulle representere virkeligheten nøyaktig. Svarene kan dermed heller ikke tolkes absolutt, men størrelsesordenen av virkningen av flomverk på flomforløpet vurderes å ha akseptabel presisjon.

En elveslette vil normalt ikke dempe flommen optimalt, slik et manøvrerbart magasin kan gjøre det. 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. Prosentvis demping er generelt størst tidlig i en flomstigning, og større jo brattere flomstigningen er. Når tilløpet er mer konstant, reduseres dempingen. Størst demping vil en oppnå med raske og kortvarige flomtopper.

Når flommen overstiger dimensjoneringsnivået for flomverk, vil det oppstå brudd i flomverket eller nød-overløpskonstruksjoner trer i funksjon. Området på innsiden av flomverket blir da fylt opp i løpet av en mye kortere periode enn i en naturtilstand. Oppfyllingen kan kontrolleres i større eller mindre grad avhengig av om det finnes manøvrerbare nødoverløp eller ikke. Tidspunktet for dette bruddet er også av betydning for hvor stor flomdempingen blir nedstrøms. Et brudd på "optimalt" tidspunkt kan gi merkbar flomdemping nedstrøms, se også [Kjellesvig og Skoglund 1996]. Størst effekt oppnås dersom en også har manøvreringsmulighet. ETH i Sveits fant at virkningen på flomforløpet er større dersom elveslettene modelleres som aktivt strømningsareal, enn om de modelleres som ikke-aktivt strømningsareal (magasinering) [IHW, 1998]. Berg et al. 1994 fant, ved hjelp av magasinrouting, at effektene på flomforløpet av flomverkene i Solør er små. Disse beregningene stemmer godt overens med resultatene fra dette prosjektet.

## 2.4 Konklusjoner

Resultatene fra dette prosjektet viser at i studieområdene er flomforløpet forholdsvis uavhengig av hvorvidt det finnes flomverk eller ikke. Dersom ingen flomverk finnes, og elveslettene oversvømmes, vil imidlertid flomtoppen forsinkes noe, og dempes litt.

Vannstands nivået i et elvetvernsnitt med elvesletter, kan bli betydelig lavere uten flomverk enn i samme punkt i elva dersom flomverkene holder vannet borte fra elveslettene. Dess større ruhet som er antatt på elveslettene, dess høyere blir vannstanden på elveslettene. Ulik ruhet har imidlertid lite å si for vannføringen, og nedstrøms elveslettene er derfor virkningen av ulik ruhet på elveslettene liten. I studieområdet mellom Kongsvinger og Elverum vurderes effekten på vannstanden å være liten.

I Alvdal dempes 1995-flommen med ca 3% av elveslettene og innsnevringen ved Kveberg bru. Hvis nedre del av området flomsikres ville en ny flom med forløp som i 1995 resultere i ca 1.5% høyere kulminasjonsverdi. En videre flomsikring av Steimoen vil ha minimal betydning for en flom som i 1995. En total flomsikring i Alvdal vil føre til 3-4 cm høyere vannstand i området.



# 3. Effekter av senkingstiltak på flomforløpet

## 3.1 Målsetting og avgrensning

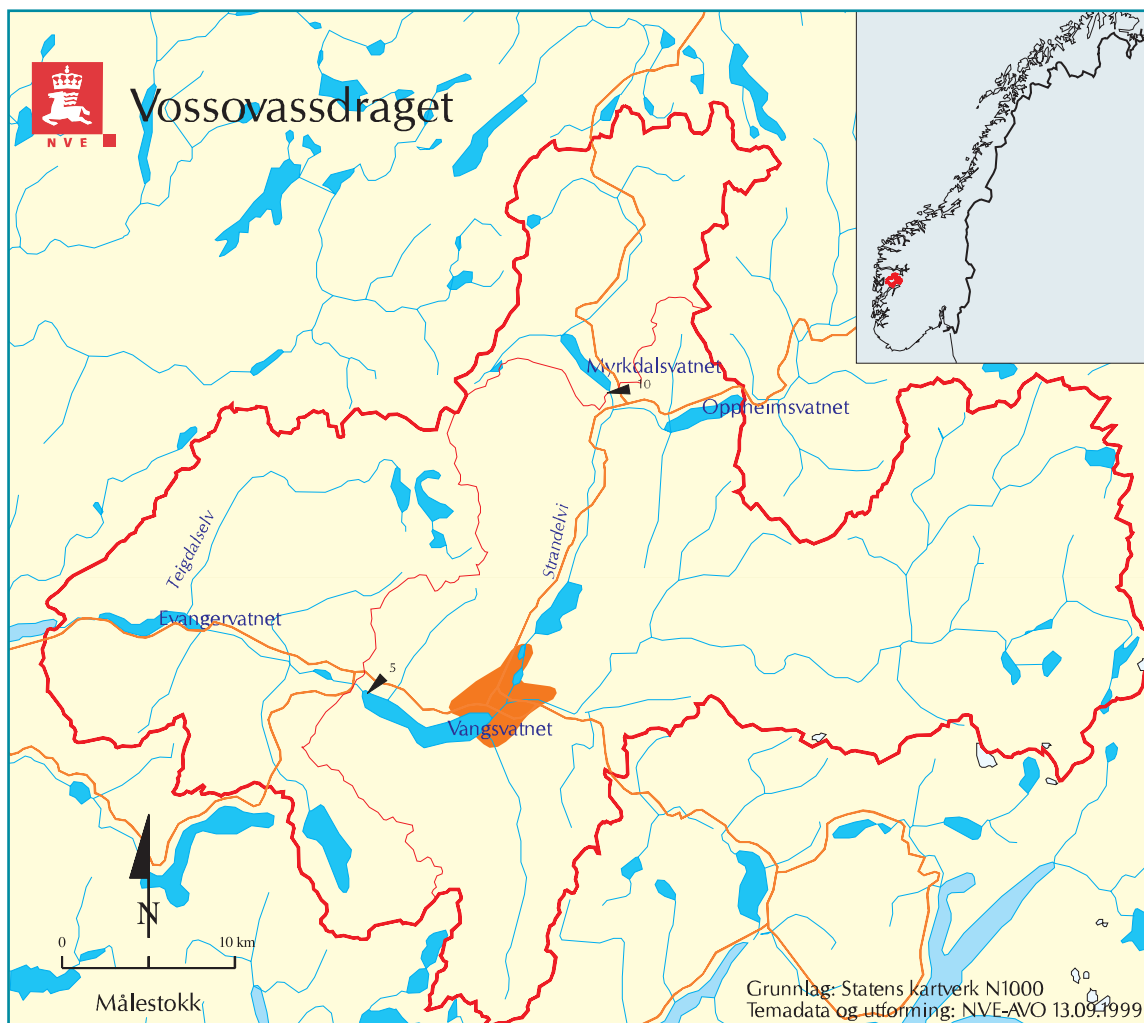
### 3.1.1 Målsetting

I dette delprosjektet er formålet å studere endringer i avløpsforholdene som følge av senkingstiltak i vassdrag. Vi har valgt å studere effekten av to senkingstiltak i Vossovassdraget i Hordaland, og ett på Myklemyr i Jostedalen.

Begge senkingstiltakene i Vossovassdraget er utført for å redusere vannstanden i sjøene, det ene under flom for å redusere skader grunnet oversvømmelse, og det andre primært ved lavvann for bedre utnyttelse av jordbruksarealer. Vannmengdene forventes å passere raskere gjennom sjøene enn tidligere, og det er utført beregninger for å se hvilken effekt dette har på vannføringen

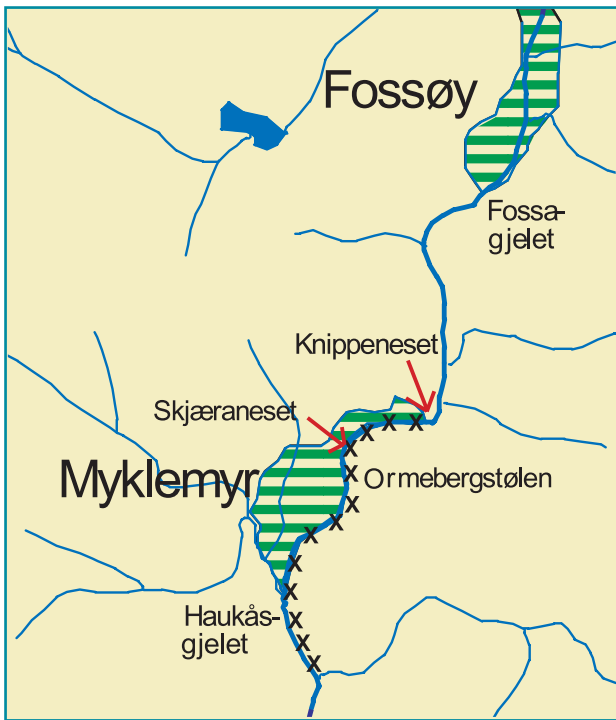
nedstrøms. Det påstås fra lokalt hold at begge senkingstiltakene har ført til større problemer under flom nedstrøms sjøene. Dette antas å skyldes mer sammenfall i tid mellom avløpet fra sjøene og avløpet fra sideelver nedstrøms. Det er denne hypotesen som blir nærmere undersøkt i dette delprosjektet. Senkingseffekten er beregnet for flere flomsituasjoner, både observerte og konstruerte.

Jostedalen og området på Myklemyr har blitt rammet av skadeflom en rekke ganger. De to største i senere tid skjedde i 1898 og 1979. Senkingstiltaket ved Myklemyr er foretatt ved utvidelse av et gjel (Haukåsgjelet) og opprensning av elvebunnen, samtidig med bygging av flomverk. Effekten av disse tiltakene nedstrøms og på Myklemyr er kvantifisert i dette delprosjektet.



Figur 3.1: Oversiktskart over Vossovassdraget.

Figure 3.1: Map of Vosso river system.



Figur 3.2: Oversiktskart over området ved Myklemyr. De skraverte områdene er elvesletter. Markørene mellom Knippeneset og Haukås-gjelet viser beliggenheten av tverrprofilene.

Figure 3.2: Location of the study area Myklemyr in Jostedalen. The shades are floodplains. The marks between Knippeneset and Haukås-gjelet show the location of the cross sections.

### 3.1.2 Avgrensning

I Vossovassdraget er det senkingseffektene i sjøene Myrkdalsvatn og Vangsvatn som er beregnet (se oversiktskart i figur 3.1).

Myrkdalsvatn er en sjø med overflateareal på 1.7 km<sup>2</sup> som drenerer et nedbørfelt på 157 km<sup>2</sup>. Senkingen i Myrkdalsvatn er primært en lavvannssenking hvor formålet er å bedre utnyttelsen av jordbruksarealer. Avløpet fra Oppheimsvatn renner ut i Strandaelvi like nedstrøms Myrkdalsvatn, og det hevdes fra lokalt hold at senkingen har ført til økt flomvannføring nedstrøms pga. mer sammenfall i tid mellom flomtoppene fra Myrkdalsvatn og Oppheimsvatn.

Vangsvatn er en sjø med overflateareal på 7 km<sup>2</sup> som drenerer et nedbørfelt på 1492 km<sup>2</sup>. Senkingen her er en ren flomsenkning som er foretatt for å redusere faren for flomskader i Voss sentrum, en konsekvens av oversvømmelser i Vangsvatn. Det hevdes fra lokalt hold at problemene med oversvømmelse av områder langs Evangervatn har økt etter senking, spesielt pga. mer sammenfall i tid mellom flomtoppene fra Vangsvatn og Teigdalen.

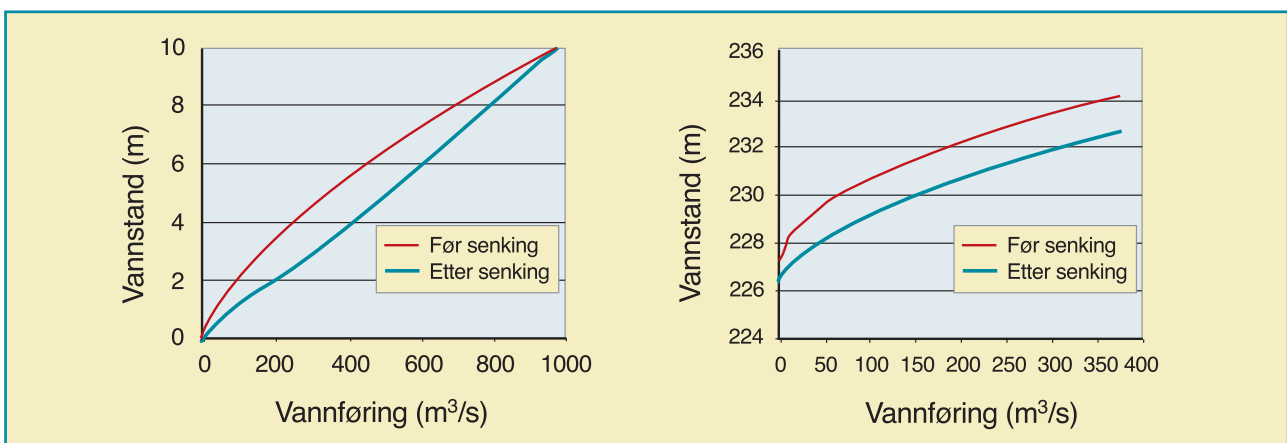
Myklemyr i Jostedalen ligger i nedre del av Jostedalen og har et nedbørfelt på 572 km<sup>2</sup>. Ved utløpet til Sognefjorden er nedbørfeltet 865 km<sup>2</sup>. Store deler av Jostedalsbreen drenerer til Jostedalen og ved Myklemyr er breandelen i nedbørfeltet 33%. Figur 3.2 viser området ved Myklemyr. Markørene i elva viser plassering av tverrprofiler og modellstrekning.

## 3.2 Problemløsning

### 3.2.1 Vossovassdraget

Vannføringskurvene før og etter senking er vist i figur 3.3 og illustrerer endringen som er utført i utløpet av sjøene. Beregningene ble utført med tidsoppløsning på én time.

Senkingseffekten ble beregnet for fire observerte flomforløp i hver av sjøene. Ved hjelp av vannføringsdata i utløpet av sjøene og vannstandsdata i sjøene, ble det



Figur 3.3: Vannføringskurver for Vangsvatn (til venstre) og Myrkdalsvatn før og etter senking.

Figure 3.3: Rating curve for Vangsvatn and Myrkdalsvatn before and after lowering of flood levels.

først beregnet et tilløp som så ble routet gjennom sjøene med gjeldende vannføringskurve før og etter senking. For en mer direkte sammenligning av samme type flomforløp ved Vangsvatn og Myrkdalsvatn, ble det også analysert to typer identiske forløp hvert sted. Hvert av disse flomforløpene (et raskt stigende og kortvarig, og et mindre raskt stigende og langvarig) ble skalert slik at de representerer flom med gjentakintervallene 2–3 år (middelflom), 10 og 100 år. Det er resultatet av denne sammenligningen som presenteres i kapittel 3.3. Disse resultatene er i samsvar med det som ble funnet også for de observerte flommene.

### 3.2.2 Jostedalen

Effekten av senkingstiltakene ved Myklemyr ble beregnet ved hjelp av hydraulisk modell. Tilløpet til Myklemyr under flommen i 1979 ble beregnet, basert på observert avløp i Haukåsgjelet i 1979 (før senking) og gjeldende tverrprofiler for Myklemyr og Haukåsgjelet i 1979. Avløpet i Haukåsgjelet etter senking ble modellert på grunnlag av beregnet tilløp og tverrprofilene for Myklemyr og Haukåsgjelet etter senking.

## 3.3 Resultater

### 3.3.1 Vossovasstraget

Resultatet av beregningene er vist i tabell 3.1. Figur 3.4 viser en skisse som forklarer parameterne som er benyttet i tabellen. Figur 3.5 og 3.6 viser tilløp og avløp før og etter senking ved flommer med forskjellig gjentakintervall for hver av sjøene.

Vannstanden i begge sjøene er under flom redusert med 1.3 – 1.6 meter etter senking. Dette er en stor gevinst spesielt for områdene omkring Vangsvatn hvor bl. a. Voss sentrum ofte har vært utsatt for oversvømmelser før senkingen ble utført. Beregningene viser at avløpet ut av begge sjøene øker raskere etter senking. Etter senking kulminerer avløpet tidligere enn, eller samtidig med avløpet før senking. I hvor stor grad avløpsforholdene nedstrøms er endret, blir nærmere beskrevet under.

### 3.3.2 Myrkdalsvatn

Tidsforskyvningen er ikke større enn to-tre timer i den stigende fasen av forløpet, og det er praktisk talt ingen forskyvning av kulminasjonstidspunktet. Avløpet kulminerte på det meste 3% høyere etter enn før senking, og forskjellen i kulminasjonsverdi avtar med økende gjentakintervall. Påstanden om at senkingen av Myrkdalsvatn har ført til større sammenfall mellom flomtoppene fra Myrkdalsvatn og Oppheimselv, med økt flomvannføring nedstrøms samløpet som resultat, er vanskelig å dokumentere da det ikke finnes vannføringsdata fra Oppheimselv. Det er imidlertid liten grunn til å anta at avløpet fra Oppheimsvatn opprinnelig kulmi-

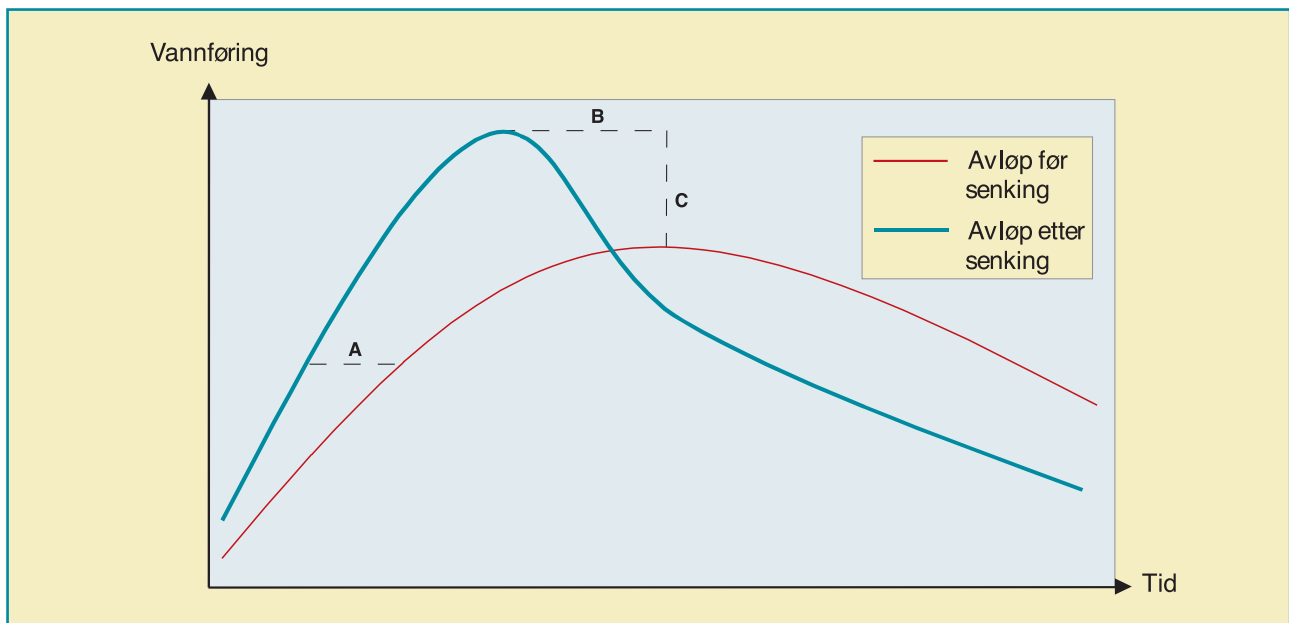
nerte før avløpet fra Myrkdalsvatn. Nedbørfeltet (dreneringsområdet) til Oppheimsvatn er noe mindre enn Myrkdalsvatns nedbørfelt, samtidig som arealet av Oppheimsvatn er større enn Myrkdalsvatn. Det er dermed mindre tilløp og større flomdemplingsmagasin i Oppheimsvatn, noe som tilsier at avløpet fra Oppheimsvatn snarere skulle kulminere senere enn avløpet fra Myrkdalsvatn. I såfall skulle senkingen i Myrkdalsvatn ha ført til større avstand i tid mellom avløpskulminasjonen fra de to sjøene og snarere en liten reduksjon i avløpet nedstrøms samløpet mellom elvene fra Myrkdalsvatn og Oppheimsvatn. Det er imidlertid en del relativt lavtliggende områder som drenerer til elvestrekningene nedstrøms disse to sjøene. Avløpet fra disse områdene kulminerer tidligere enn det opprinnelige avløpet fra Myrkdalsvatn, og vil dermed oppveie effekten beskrevet over. Selv om det er vanskelig å dokumentere, kan det derfor tenkes at senkingen i Myrkdalsvatn i visse tilfelle kan ha en liten effekt på midlere flommer. Senkingen har i alle fall minimal betydning for større flommer.

### 3.3.3 Vangsvatn

Største tidsforskyvning i avløpet etter senking er på inntil 10 timer i den stigende fasen. Forskyvningen av kulminasjonstidspunktet er inntil fem timer. Kulminasjonsverdien for avløpet etter senking er inntil 12% større enn for avløpet før senking.

Det vil altså være økt sannsynlighet for overskridelse av en gitt vannføring etter senking. Dette er vist i figur 3.7. F. eks. vil en vannføring som før senking, hadde 5 års gjentakintervall, etter senking ha et gjentakintervall på 4.5 år. Det vil si at sannsynligheten for overskridelse av en slik vannføring, har økt fra 20% til 22%. For vannføring med 100 års gjentakintervall innebærer imidlertid senkingen ingen slik endring. Figur 3.6 og 3.7 viser at effekten på avløpet er størst for midlere flommer (gjentakintervall 2–3 år) som har et raskt forløp. Effekten avtar raskt med økende gjentakintervall.

Vannføringsdata fra Teigdalselv, 2–3 km oppstrøms utløpet i Evangervatn, viser at vannføringen i Teigdalselv kulminerer alt fra få timer til flere dager før avløpet fra Vangsvatn. Påstanden om at senkingen av Vangsvatn har ført til at flomtoppene fra Vangsvatn og Teigdalen sammenfaller mer i tid nå enn før senking, synes derfor å være sannsynlig i noen tilfelle. Utførte beregninger viser at det er midlere flommer (2–3 års gjentakintervall) med kort varighet og rask vannføringsøkning som gir størst sannsynlighet for betydelig økning i summen av avløpet fra Vangsvatn og Teigdalen. Det er imidlertid svært avgjørende når og hvor raskt flomtoppene fra Teigdalen passerer. Historiske data viser at flommen i Teigdalen i en del tilfelle kan passere så tidlig sammenlignet med avløpet fra Vangsvatn, at sum avløp fra Vangsvatn og Teigdalen ikke øker vesentlig etter senking selv ved midlere og raske flommer.



Figur 3.4: Skisse som forklarer de forskjellige parameterne benyttet i tabellen i dette kapitlet.

A = største tidsforskyvning i stigende fase.  
 A>0: avløpet stiger raskere etter senking enn før

C = differanse i kulminasjonsverdien  
 C>0: avløpet kulminerer på et høyere nivå etter senking enn før.

B = forskyvning av kulminasjonstidspunktet  
 B>0: avløpet kulminerer tidligere etter senking enn før

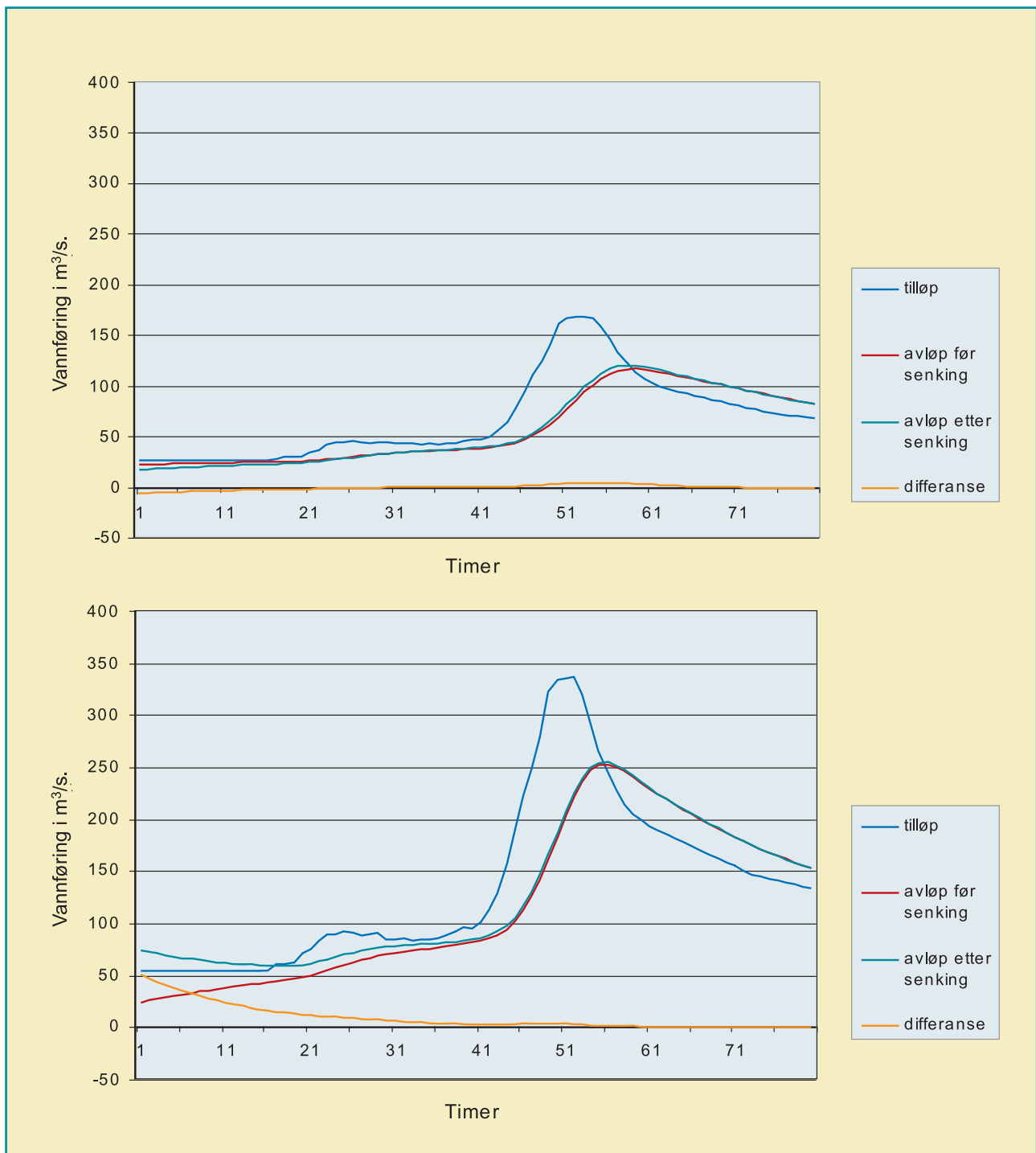
Figure 3.4: Sketch explaining the different parameters used in table 3.1.

Tabell 3.1: Myrkdalsvatn og Vangsvatn. Sammenligning av avløpet før og etter senking for to typer konstruerte flomforløp, hver med tre forskjellige gjentaksintervall.

Forskjell i kuminasjonsvannstand < 0: Avløpet kulminerer på lavere vannstand etter senking enn før.

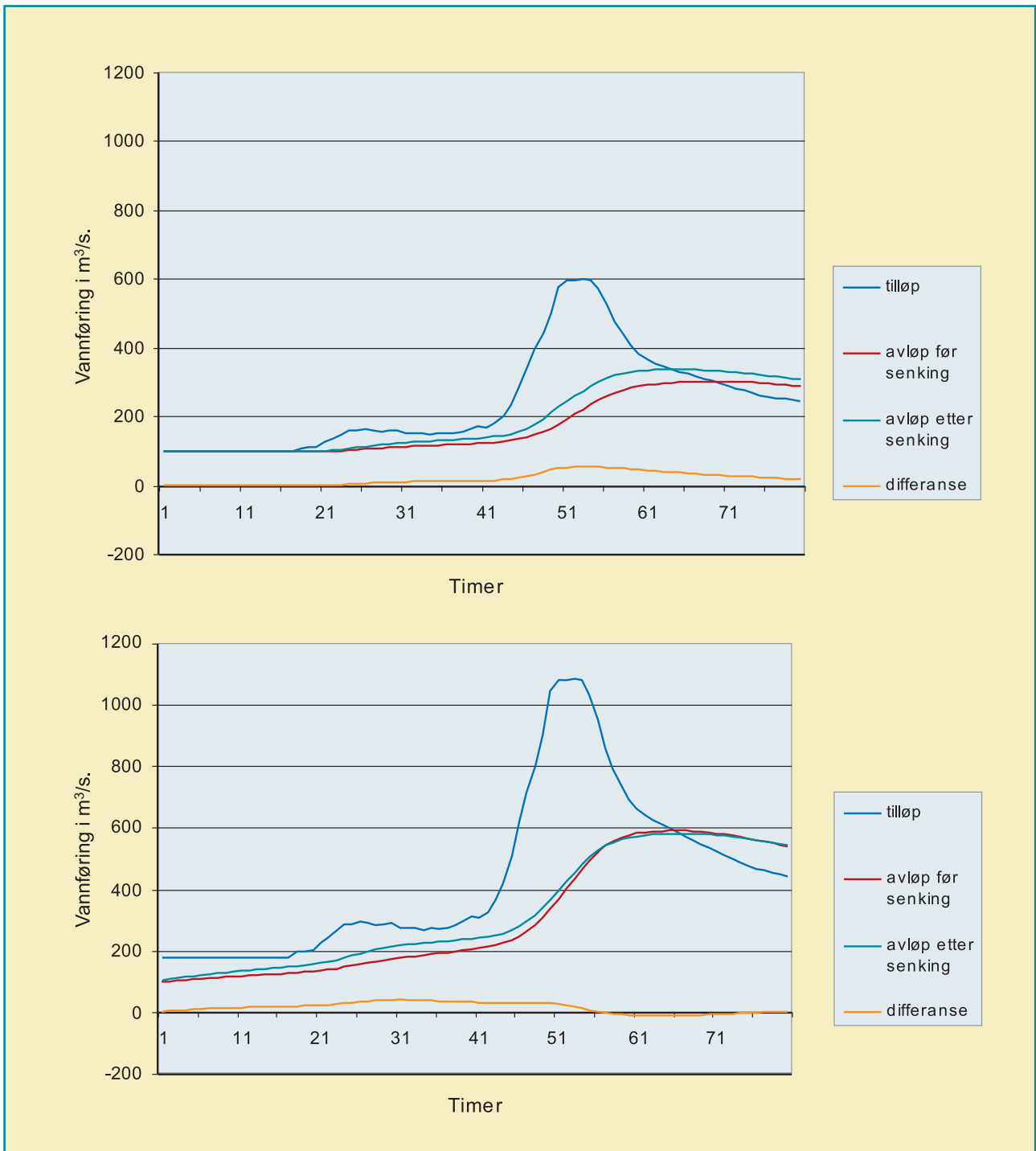
Table 3.1: Comparison of discharges before and after lowering of flood levels. Two types of synthetic floods of different magnitudes are routed through the lakes Myrkdalsvatn and Vangsvatn.

| Flomforløp med gjentaksintervall                                     | Største tidsforskyvning<br>A<br>timer |           | Tidsforskyvning av kulminasjonen<br>B<br>timer |           | Forskjell i kulminasjonsvannføring<br>C<br>% (m <sup>3</sup> /s) |           | Forskjell i kulminasjonsvannstand før og etter senking<br>meter |           |
|--|---------------------------------------|-----------|--|-----------|--|-----------|---|-----------|
|  | Myrkdalsvatn                          | Vangsvatn | Myrkdalsvatn                                   | Vangsvatn | Myrkdalsvatn   | Vangsvatn | Myrkdalsvatn  | Vangsvatn |
| 2-3 år }<br>10 år }<br>100 år }<br>rask og kortvarig flom            | + 0-1                                 | +10       | 0  | +5        | +3 (+4)  | +12 (+35) | ±1.48   | ±1.42     |
|  | + 0-1                                 | +5        | 0  | +3        | +2 (+3)  | +5 (+20)  | ±1.53   | ±1.51     |
|  | + 0-1                                 | +2        | 0  | ±2        | +1 (+2)  | ±2 (±9)   | ±1.55   | ±1.46     |
| 2-3 år }<br>10 år }<br>100 år }<br>mindre rask og mer langvarig flom | +3                                    | +10       | 0  | 0         | +1 (+1)  | +9 (+29)  | ±1.54   | ±1.47     |
|  | +1                                    | +5        | 0  | +1        | 0 (1)  | +3 (+14)  | ±1.56   | ±1.48     |
|  | + 0-1                                 | +3        | 0  | 0         | 0 (0)  | ±3 (±17)  | ±1.57   | ±1.31     |



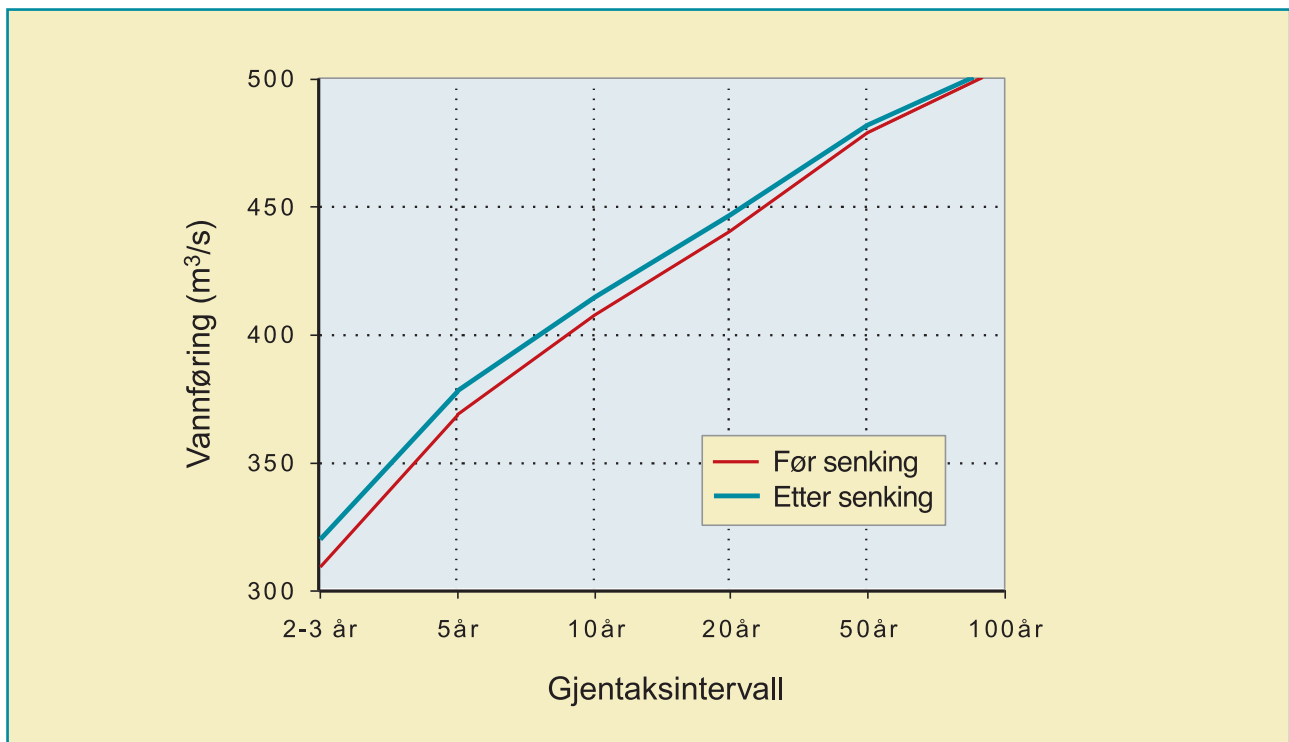
Figur 3.5: Myrkdalsvatn. Rask og kortvarig tilløpsflom, og tilhørende avløp før og etter senking. Gjentakintervallet på tilløpsflommene er henholdsvis 2-3 og 100 år.

Figure 3.5: Myrkdalsvatn. Fast and brief inflow flood, and discharge out of the lake, before and after the lowering. The return periods are respectively 2-3 and 100 years.



Figur 3.6: Vangsvatn. Rask og kortvarig tilløpsflom, og tilhørende avløp før og etter senking. Gjentakintervallet på tilløpsflommene er henholdsvis 2-3 og 100 år.

Figure 3.6: Vangsvatn. Fast and brief inflow flood, and discharge out of the lake, before and after the lowering. The return periods are respectively 2-3 and 100 years.



Figur 3.7: Gjentaksintervall for forskjellige flomstørrelser før og etter senking.

Figure 3.7: Return periods for floods before and after lowering of flood levels.

### 3.3.4 Jostedalen

Figur 3.8 og 3.9 viser resultatet av simuleringene. Figur 3.8 viser at avløpet i Haukåsgjelet før senkingstiltak kulminerte på 790 m<sup>3</sup>/s, 3.9% lavere enn tilløpet på Myklemyr som kulminerte på 821 m<sup>3</sup>/s. Etter senking vil en tilsvarende flom bli dempet med om lag 0.7% til 815 m<sup>3</sup>/s, og flomtoppen vil passere gjennom Haukåsgjelet ca én time tidligere.

Figur 3.9 viser at det er opptil 0.5 m forskjell mellom observerte og modellerte flomvannstander i 1979. Dette skyldes to forhold. For det første er det benyttet de samme tverrprofilene i elvebunnen både for situasjonen før 1979 (før senking) og etter senking opp langs Myklemyr. En vet at det ble gjort noe opprensning i elveløpet, men situasjonen før senking er ikke dokumentert. Bare i Haukåsgjelet er situasjonen før og etter senking dokumentert i form av profiler. For det andre er flomobservasjonene foretatt "inne" på land. Vannlinja ute i elva vil være lavere, og høyere i yttersving enn innersving.

Figur 3.9 viser også at tiltak utført etter 1898-flommen, som var betydelig mindre enn flommen i 1979, har hatt en betydelig effekt på avløpskapasiteten i Haukåsgjelet. Vannlinja var flattere på et lavere nivå i 1898 enn i 1979. Den oppstuvende virkningen relativt til tiløpsflommen må ha vært større i 1898 enn i 1979.

Selve arbeidet med senking av Haukåsgjelet skulle sammen med utbyggingen av Breheimen, sikre mot en flom tilsvarende 1979 slik at denne ble 2.5 m lavere i Haukåsgjelet – noe figur 3.9 viser at langt på vei er oppnådd. Disse beregningene viser at kapasiteten til elva er tilfredsstillende. Selve brua over til Ornebergstølen og kraftstasjonen er imidlertid ikke fullt implementert i modellen. Likevel må trolig vannføringen under skadeflommer øke betydelig sammenlignet med tidligere flommer for at flomverkene skal overtoppes. Ved stor løsmassetransport vil nok imidlertid mye av denne overhøyden bli redusert.

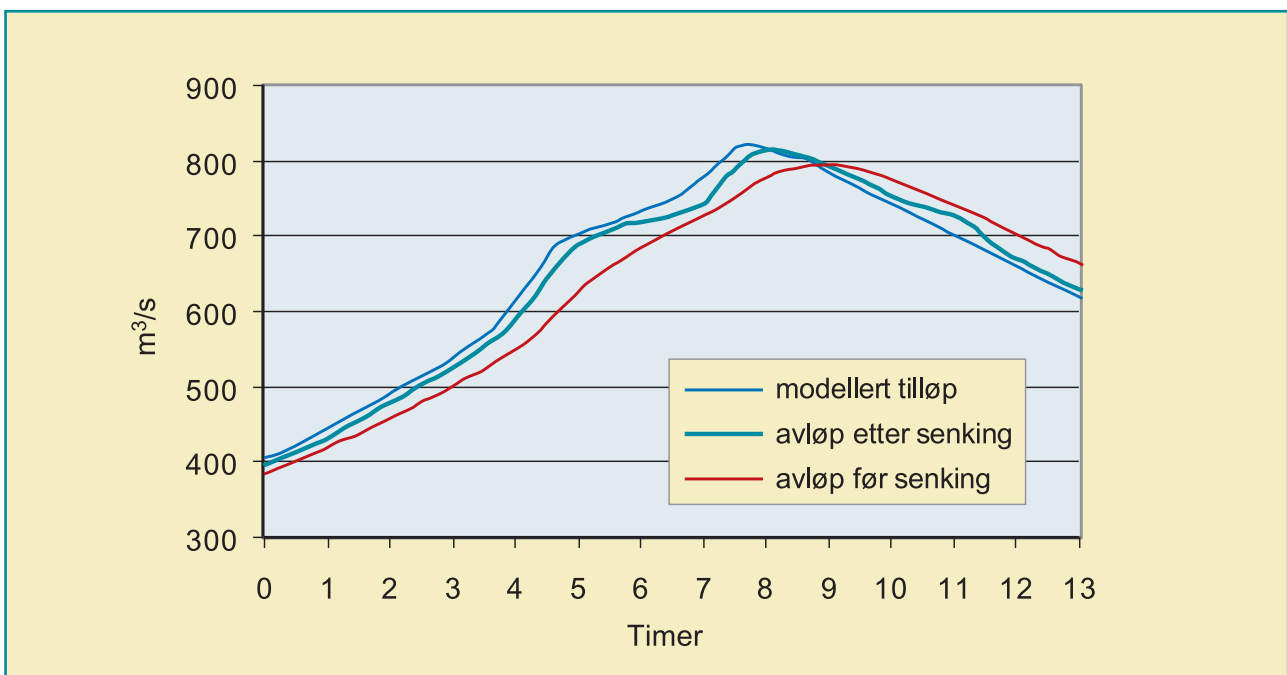
Utvidelsen av Fossagjelet, som ble utført samtidig med utvidelsen i Haukåsgjelet, vil endre flomforløpet på Fossøy og nedover. Dette gjør at tilløpet til Myklemyrområdet trolig vil ha et raskere og mer korvarig forløp ved en gjentakelse av 1979-flommen etter senking. Fossagjelet har for Fossøy omtrent samme effekt som Haukåsgjelet har for Myklemyr. Den største usikkerheten i modelloppsettet ligger nettopp i endring av flomforløp som følge av kapasitetsutvidelse av gjelene. For å få med effekten av Fossagjelet, er det nødvendig å lage en hydraulisk modell der det er sammenheng mellom Myklemyr og Fossøy. Det er ikke gjort i dette prosjektet. Det antas likevel at resultatet av beregningene gir et riktig bilde av kapasitetsforbedringen i Haukåsgjelet.

### 3.4 Konklusjoner

Senkingstiltakene i Myrkdalsvatn og Vangsvatn i Vossovassdraget har ført til at vannstanden i sjøene under flom er blitt redusert med 1.3-1.6 meter, noe som er en stor gevinst spesielt for områdene omkring Vangsvatn, hvor bl. a. Voss sentrum ofte har vært utsatt for oversvømmelser før senkingen ble utført. Når det gjelder senkingstiltakenes effekt på flomforløpet nedstrøms sjøene, er effekten nedenfor begge sjøene minimal for flommer med gjentaksintervall på 5-10 år og mer. Senkingen i utløpet av Myrkdalsvatn kan ha en liten effekt på midlere flommer, da avløpet øker litt raskere enn før, men senkingen har ikke ført til vesentlige endringer nedstrøms.

Effekten av senkingstiltakene i Vangsvatn er noe større, spesielt for midlere og raske flommer. Dette vil, avhengig av når og hvor raskt flomtoppen fra Teigdalen passerer, kunne føre til økt vannstandsøkning i Evangervatn ved midlere flom i Vangsvatn. Effekten avtar med økt gjentaksintervall og vil ved større flommer i alle tilfelle være helt marginal.

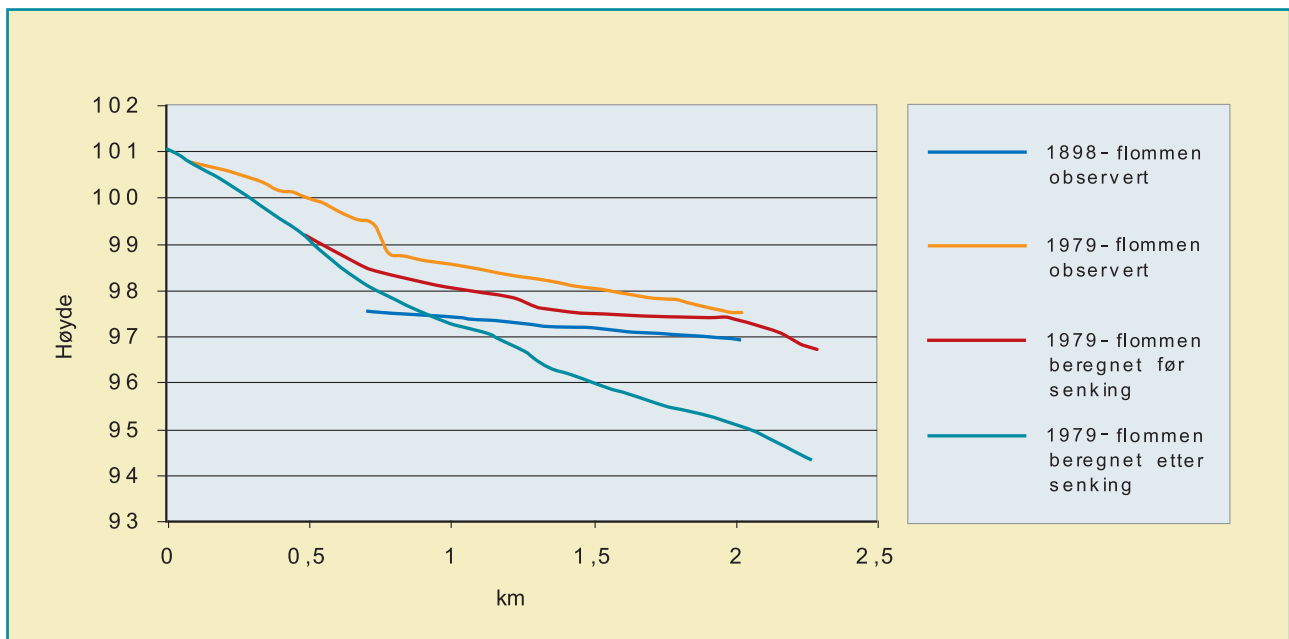
I Jostedalen nedenfor Myklemyr har utvidelse av Haukåsgjelet og forhøyede flomverk ført til at en tilløpsflom på størrelse med flommen i 1979, vil bli dempet med om lag 0.7% mot 3.9% før senking. Dette innebærer en senket vannlinje på Myklemyr, og har ført til at området i dag er godt sikret mot flommer av størrelser som er kjent i dalen.



Figur 3.8: Modellert tilløp ved Myklemyr. Avløp i Haukåsgjelet før og etter senking.

Figure 3.8: Simulated inflow at Myklemyr. Discharges at Haukåsgjelet before and after lowering.





Figur 3.9: Observert og simulert vannstand ved Myklemyr. 0 km tilsvarer Knippeneset, 0.7 km tilsvarer Skjæraneset og 2 km svarer til Haukåsgjelet (se for øvrig figur 3.2).

Figure 3.9: Observed and simulated flood profiles at Myklemyr. 0 km is at Knippeneset, 0.7 km corresponds to Skjæraneset, and 2 km corresponds to Haukåsgjelet (see figure 3.2)

# 4. Nødoverløp på flomverk

## 4.1 Målsetting med prosjektet

Dette delprosjektet i Hydra F4: "Nødoverløp på flomverk", skal foruten en generell beskrivelse av mulige løsninger av en slik konstruksjon, velge et bestemt flomverk langs Glomma og beskrive hvordan dette nødoverløpet kan utformes. Dette skal gjøres med tanke både på hydraulikk, flomforhold, kostnader og skader innenfor flomverket. Nødoverløpets effekt ved eventuelt bruk på nedstrøms flomforhold og nødoverløpets kostnader er også beskrevet

## 4.2 Definisjon av nødoverløp

I dette prosjekt er nødoverløp definert som en konstruksjon, som skal lede vann kontrollert over, evt gjennom et flomverk i situasjoner hvor det er (stor) fare for ukontrollert brudd på flomverket. Hensikten er å begrense skadene ved et ukontrollert brudd.

Som nødoverløp kan også regnes et forhåndsutvalgt sted på flomverket som i henhold til en beredskapsplan skal åpnes for å avverge ukontrollert brudd.

## 4.3 Når er det aktuelt med nødoverløp

Hensikten med nødoverløp er at det skal kunne slippes inn vann bak flomverkene på en kontrollert måte (bl.a. med lav vannhastighet) når vannstanden i elva kommer til å overstige det som flomverkene er dimensjonert for. Dersom et område kan settes under vann ved lav vannhastighet blir skadeomfanget av en helt annen karakter enn om vannet kommer med stor hastighet.

## 4.4 Prosjektering

### 4.4.1 Innledende vurderinger

I Norge er det frem til i dag ikke bygget nødoverløp på noen flomverk. Sveits, Polen og Frankrike er imidlertid eksempler på land hvor det er bygget nødoverløp.

1995-flommen medførte brudd på noen av flomverkene langs Glomma. Lauta, Heradsbygda og Øksna kan nevnes som eksempler.

På de aller fleste flomverk bør det være nødoverløp på et forhåndsutvalgt sted (se definisjon ovenfor). Før man bestemmer seg for å etablere et slikt, vil det imidlertid være fordelaktig å ha diskutert og gjennomtenkt de nedenfor nevnte tema.

- Det bør være kjent hva som skjer når en flom overstiger dimensjonerende flom for flomverket.
- Et nødoverløp vil være en påminnelse om at flommer som er større enn dimensjonerende kan inntre.
- Et nødoverløp medfører beredskap og vanligvis kostnader til betjening og vedlikehold.

### 4.4.2 Plassering

Når det er tatt stilling til etablering av nødoverløp på et flomverk vil det være av vesentlig betydning å plassere dette på rett sted på flomverket. Med rett sted menes der hvor nødoverløpet, ved bruk, gjør mest nytte. Nyttien av et flomverk kommer til uttrykk som reduserte skader i forhold til et helt ukontrollert brudd. Hvis man kan uttrykke alle konsekvenser av brudd i flomverk og av ulike plasseringer av nødoverløpet i pengeverdi, vil det være mulig å gjennomføre en fullstendig økonomisk optimaliseringsprosess. Problemet er imidlertid både å identifisere sannsynligheten for de ulike hendelsene og alle tilhørende kostnader i pengeverdier. I Hydras R-gruppe er det etablert noen kostnadsfunksjoner for flomskader, som ville være til hjelp i en slik prosess.

En slik økonomisk optimaliseringsprosess er imidlertid ikke utført i dette prosjekt. Her er følgende punkter vektlagt for stedsvalg av nødoverløp:

- omfang og konsekvenser av erosjon- og strømskader på innsiden av overløpet
- spredningsforløp og innfylling av vannet som passerer overløpet
- sikring og bruk av viktige bygninger, vegforbindelser mm
- adkomst, arbeidsforhold og mulighet for kontroll mens innfylling pågår
- adkomst og mulighet for (rimelig) reparasjon etter flommen
- lokale private og offentlige synspunkter og hensyn

Ofte vil det være best å legge et nødoverløp i nedstrøms ende av flomverket fordi:

- Her vil terrenget innenfor ofte være lavest, slik at det raskt vil dannes et vannspeil på innsiden som demper strømhastighet og dermed erosjonen.
- Naturlig helning på terrenget gjør at vannstanden vil stige innover i stedet for å strømme mot lavere områder.
- Det vil være lettere å forberede en lokal seksjonering når strømkraftene er små, slik at ikke hele området behøver å fylles.

#### 4.4.3 Nødoverløpets dimensjoner

Når plasseringen av nødoverløpet er bestemt, er det viktig å bestemme nødoverløpets dimensjoner. Disse bestemmes i stor grad av innfyllingstiden.

Viktige data for å bestemme innfyllingstiden er:

- Transporttiden, dvs den tiden bølgen bruker fra sikre observasjonspunkter ovenfor flomverket og frem til området hvor flomverket ligger.
- Vannstandens stigningshastighet
- Volum innenfor flomverket.

Tiden man har til rådighet er viktig, dvs tiden fra man har sikre observasjoner og beslutning om åpning tas, til nødvendig oppfylling må være gjennomført. Jo lengre tid man har til rådighet, jo mindre størrelse på nødoverløpet er nødvendig. Dette betyr altså at målepunkter oppover i vassdraget og varslings-/prognosesystemer kommer inn som en del av optimaliseringen av selve nødoverløpet. Dette betyr videre at man ikke bare skal se på et enkelt flomverk i vassdraget, men man skal se på alle flomverk slik at måle-, varslings- og prognosesystemet blir optimalt utformet. Dette er viktig også av den grunn at en eventuell åpning vil ha virkning på flommens forløp videre nedover i elva.

#### 4.4.4 Type nødoverløp

Etter at innfyllingstid og nødoverløpets dimensjoner er beregnet må man bestemme seg for hvilken type nødoverløp man ønsker. Vi har valgt å dele overløpene inn i tre hovedgrupper:

1. Faste overløp
2. Regulerbare overløp
3. Ukontrollert innslipp

Faste overløp, type 1, kan igjen deles i to; synlige eller usynlige.

Tabell 4.1: Typeinndeling av nødoverløp.

Table 4-1: Different categories of emergency overflows.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Type 1.1,<br>Synlige faste overløp:  | Fast overløpsterkel, f.eks Standard-(ogee-)overløp, spuntvegg eller bredt overløp  |
| Type 1.2,<br>Usynlige faste overløp: | Fast overløpsterkel tildekket av løsmasser, f.eks spuntvegg, sprengbart felt, eroderbart felt  |
| Type 2,<br>Regulerbare overløp:      | Bjelkestengsel, gummiluker, segmentluker, klappeluker,   |
| Type 3,<br>Ukontrollert innslipp:    | Ingen konstruksjon, men planlagte aksjoner ved gitte hendinger, f.eks at flomverket skal åpnes på ett bestemt sted ved en gitt vannstand |

For å redusere erosjonsskadene like på innsiden av flomverket, kan det i tillegg til selve nødoverløpet, være aktuelt å etablere en energidreper like innenfor åpningsstedet.

Det vil også være nødvendig å ha god kunnskap om vannspredningen inne bak flomverket og hvordan oppfyllingen på de enkelte steder/seksjoner skjer. Dette gjelder spesielt på områder hvor flomverket sikrer store arealer som kan være seksjonert av f.eks veier inne på området. Et eksempel på område med stor seksjonering er Kirkenær. På slike områder kan det også være aktuelt i en åpningssituasjon å gjøre tiltak på de konstruksjonene som sørger for seksjoneringen, feks gjennomgraving av veier eller motsatt; stenging av rør og kulverter.

#### 4.5 Nødoverløp ved Kirkenær, et eksempel

##### 4.5.1 Innledende vurderinger

Her er det valgt å benytte flomverket på Kirkenær som eksempel på dimensjonering av et nødoverløp. Dette området er valgt fordi området har mange interessante problemstillinger:

- Flomverket beskytter både tett og spredt bebyggelse.
- Området stiger noe fra sør mot nord med ujevn overflate og flere gamle elveløp.
- Det vil egne seg for vurdering av forskjellige tidsforløp for nødåpning av flomverket, og gir mulighet for seksjonering innenfor flomverket.
- Flomverket er langt og har et stort volum innenfor.
- Flomverket sikrer store verdier, ca 2 milliarder kr.
- Det oppsto brudd i øvre del av flomverket i 1995, men større skader ble unngått ved at et sekundærverk innenfor ble forsterket. Marginene var svært små for det kunne blitt et betydelig større skadeomfang.

I tillegg finnes det gode data for dette området.

#### 4.5.2 Dimensjoner på nødoverløp ved Kirkenær

Vi har måttet foreta mange valg og forutsetninger for å kunne dimensjonere nødoverløpet. Et av de viktigste er oppfyllingstida på ca 12 timer fra åpningstidspunkt. Dette er valgt fordi:

- Det er rimelig at åpning starter ved vannstand i Glomma ca 0,5 m under topp av flomverk.
- Volumet innenfor bør være nesten oppfylt i det vannstanden i elva når topp av flomverk.
- Erfaringer fra store flommer i dette århundre viser at det er vanlig med en vannstandstigning i dette området på ca 1 m/døgn eller noe i underkant.

Dvs at det tar ca 12 timer å oppnå en vannstandstigning på ca 0,5 m, eller med andre ord det tar 12 timer før man får overtopping av flomverket.

Vurderinger av vandringstider for flomtoppen fra målestasjoner i området Rena og Elverum tilsier også at det er fornuftig med ca 12 timers oppfyllingstid på dette flomverket.

Vannføringskapasiteten til nødoverløpet vil raskt bli avhengig av vannstanden innenfor flomverket. Etter hvert som vannstandene utenfor og innenfor flomverket nærmer seg hverandre, vil nødoverløpet få mindre og mindre kapasitet.

For å unngå store erosjonsskader innenfor flomverket ved overtopping har vi antatt at det er tilstrekkelig med en vannstand innenfor flomverket på ca 0,5 m under topp flomverk i det vannet ute i elva begynner å renne over flomverket. Oppfyllingsvolum innenfor blir derfor ca 18 Mm<sup>3</sup>.

Pga av de lokale forhold, seksjonering osv, har vi valgt å benytte to nødoverløp. Ett lite ved Sander/Haug og ett stort ved Brynn.

Lengden på overløpet ved Brynn blir 42 m og lengden på overløpet ved Sander/Haug blir 33 m. Tilsvarende høyder blir henholdsvis 3 m og 2 m.

Det er i dette prosjekt ikke tatt stilling til type nødoverløp, men generelt mener vi at et nødoverløp ikke bør tre i funksjon av seg selv, ved f.eks en bestemt vannstand. Åpningen bør derimot skje ved en aktiv handling. Gummiluker eller eroderbart felt er etter vår oppfatning velegnede som nødoverløp på flomverk. Gummiluker bl.a. fordi den generelt er en økonomisk luketype ved lave og lange overløp, noe som vanligvis er tilfellet ved nødoverløp på flomverk. Eroderbart felt har sin fordel ved at den er billig, både i anlegg og drift.

Gummiluken har selvsagt sin store fordel ved at den er reversibel, dvs man kan avbryte innfyllingen av vann hvis det viser seg nødvendig, f.eks ved feil i prognosene som medfører feil beslutning om åpning.

Begge nødoverløp, både Brynn og Sander/Haug, er kostnadsberegnet med de to ovenfor nevnte nødoverløps-typer.

| Nødoverløp      | Brynn           |           | Sander/Haug     |           |
|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
|                 | Eroderbart felt | Gummiluke | Eroderbart felt | Gummiluke |
| Kostnader, MNOK | 3               | 14        | 2               | 9         |

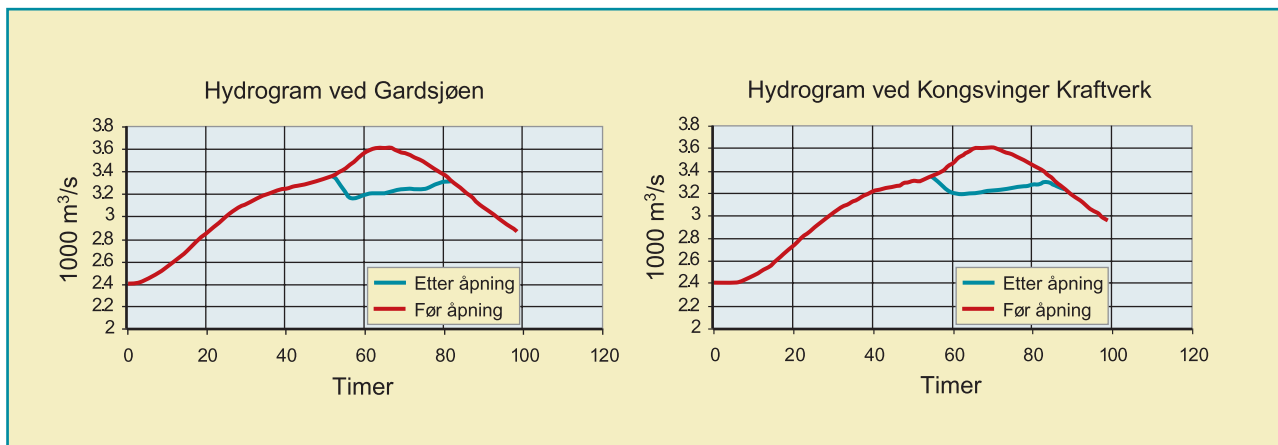
### 4.5.3 Virkning nedstrøms av en åpning av nødoverløp ved Kirkenær

En åpning av et flomverk medfører en vannstrøm inn i området bak flomverket, dette påvirker i neste omgang vannføringen i hovedelva. Denne endringen i vannføring kan i prinsippet medføre en endring helt til elvas utløp i havet. Virkningen vil imidlertid alltid avta nedover langs elva.

Vi har sett på hvilken endring en åpning av flomverket i Kirkenær har på vannføringen og vannstander i Glomma

ned til Kongsvinger kraftverk. Dette er gjort med flommen i 1995 og med de nødoverløpsdimensjoner som er nevnt ovenfor. Det er ikke utført noen optimalisering av vannstrømmen inn bak flomverket med sikte på å redusere maksimale vannstander nedstrøms.

Det er benyttet en modell med svært få profiler på strekningen, og det er ikke tatt hensyn til ikke-aktivt strømningsareal. Resultatene fra denne enkle beregningen tyder imidlertid på at den vannføringsreduksjonen man oppnår oppe ved nødoverløpet, endres lite nedover i vassdraget.



Figur 4.1: Hydrogram som viser en forenklet beregning av vannføringene like nedstrøms et nødoverløp i Kirkenær og ved Kongsvinger Kraftverk med og uten en åpning av nødoverløp i Kirkenær.

Figure 4.1: Hydrogrammes downstream with and without opening of an emergency overflow.

## 4.6 Konklusjon

På de aller fleste flomverk bør det etableres nødoverløp, se pkt 4.2. Både i forbindelse med prosjektering og i forbindelse med drift av et nødoverløp er det av stor betydning å ha god kunnskap om flomforløpet. Dette for å dimensjonere nødoverløpet så korrekt som mulig, og for å benytte det på best mulig måte. Videre må det eksistere et godt nettverk av målestasjoner for vannføring, i tillegg til gode hydrologiske/hydrauliske modeller som beregner flomforløp på aktuelle elvestrekninger med stor nok nøyaktighet.

Kunnskap om hvordan vannspredningen innenfor flomverket vil skje er også av stor viktighet, da en eventuell seksjonering, av f.eks veier, gjerne medfører høy vannstand ved flomverket og dermed liten vannføringskapasitet på nødoverløpet.

Hvilken type nødoverløp som bør benyttes vil være avhengig av hvor store kostnader flomverket beskytter og anleggskostnader med nødoverløpet. Nødoverløpet kan bestå av alt fra kun en plan som beskriver hvor, når og hvordan et flomverk skal åpnes og til godt regulerbare luker. En generell anbefaling er imidlertid at åpning av nødoverløpet skal skje med en aktiv handling og ikke automatisk åpning ved f.eks en bestemt vannstand.

# 5. Konklusjon

## 5.1 Sammenfattende drøfting av resultater

Flomsikringstiltak i form av flomverk eller senkingstiltak skal hindre skader lokalt som følge av oversvømmelser/høy vannstand. Ut fra dette primærformålet må tiltakene anses vellykket. I dette prosjektet har vi satt fokus på de mulige negative effektene på flomforløpet for områdene som ligger nedstrøms i vassdraget.

Resultatene fra studiene i dette prosjektet viser at flomforløpet blir lite endret av flomsikringstiltak. De endringer som er registrert er i samsvar med hypotesen, dvs at flommen stiger og synker raskere etter flomsikring, og flomtoppen blir noe høyere. Effekten på kulminasjonsvannføringen må karakteriseres som liten. Mer merkbar er endringen av flomforløpet i tid.

Flomsikring i form av flomverk mellom Flisa og Norsfoss (Solør) øker maksimal vannføring med ca 40–50 m<sup>3</sup>/s, dvs med ca 1% av vannføringen i 1995 og ca 1,5% av vannføringen i 1967. I Alvdal dempes 1995-flommen med ca 3% av elveslettene og innsnevringen ved Kveberg bru. Hvis hele området flomsikres, ville en ny flom med forløp som i 1995 resultere i ca 1.5% høyere kulminasjonsverdi. En videre flomsikring av Steimoen vil ha minimal betydning for en flom som i 1995.

Tidspunktet for kulminasjon av en flom som i 1995 blir framskyndet ca 10–12 timer i Kirkenærområdet og ca 18–20 timer ved Kongsvinger, som følge av flomverkene på strekningen Elverum - Kongsvinger. For en flom som i 1967 er det beregnet tilsvarende framskynding på ca 8 timer både ved Kirkenær og ved Kongsvinger. Beregnet tidsforskyvning dersom området i Alvdal flomsikres, er 2–3 timer.

Ser vi på den stigende fasen ca 1 døgn før kulminasjon, blir vannføringen i Kongsvinger-området på et gitt tidspunkt ca 150 m<sup>3</sup>/s høyere etter flomsikring i Solør enn før, ved en flom som i 1995. Dette er en funksjon av den samme tidsforskyvningen. Sagt på en annen måte vil vannstanden på et gitt tidspunkt i denne fasen av flommen bli ca 20 cm høyere nå enn før. Dette er særlig av betydning for den beredskapsmessige håndteringen av flommen. Ved Kongsvinger har man nå kortere tid på seg til å gjennomføre beredskapstiltak, noe som kan få betydning for skadeomfanget. Skadeomfang som kun er en funksjon av en bestemt vannstand, vil imidlertid bli lite berørt i områder uten flomsikring. Dette begrunnes med at kulminasjonsvannstanden blir lite forhøyet. Eksempelvis vil kulminasjonsvannstanden ved Norsfoss, som ligger like nedstrøms de store flomverksanleggene i Grue og Åsnes, bare bli forhøyet med ca 5 cm.

Hvilke effekter en vil få lenger ned i vassdraget, vil en få svar på gjennom modelleringen som skal skje i HYDRAs modellgruppe. Det samme gjelder sumvirkningen av alle tiltak oppstrøms. Strekningen mellom Kongsvinger og Øyeren vil bli modellert ved hjelp av MIKE 11 på tilsvarende måte som det er gjort for strekningen Elverum - Kongsvinger i dette prosjektet. Det vil være særlig interessant å se hvordan forplantningen av flommen i tid vil slå ut nedstrøms.

Resultatene fra simuleringer i Vossovassdraget, er delvis i samsvar med hypotesen. For effekten på flomforløpet nedstrøms av senkingstiltak, er det avgjørende om det er en ren flomsenkning eller om både lavvannstand og flomvannstand senkes. I Myrkdalsvatn er både lavvannstand og flomvannstander senket omtrent like mye. Her blir påvirkningen på flomforløpet nedstrøms minimal. I Vangsvatn er lavvannstand ikke endret, mens flomvannstanden er senket ca 1,5 m. Dette har medført en framskynding av flomtoppen ut av Vangsvatn med ca 5 timer for raske kortvarige flommer på middelflommivå. Kulminasjonsverdien for vannføring øker med ca 10–12% ved middelflom. Sagt på en annen måte vil det være økt sannsynlighet for overskridelse av en gitt vannføring etter senking. En vannføring som før senking, hadde gjentaksintervall på 5 år, vil etter senking ha et gjentaksintervall på 4.5 år. Det vil si at sannsynligheten for overskridelse av en slik vannføring, har økt fra 20% til 22%. Effekten avtar med økt gjentaksintervall, og er helt borte for flommer med 100 års gjentaksintervall. Nedstrøms, i Evangervatn, kan senkingen ha ført til økt flomrisiko fordi sannsynligheten for sammenfall med flom fra Teigdalen er økt.

Oppsummert vil vi konkludere med at de elvesletter som her er undersøkt, hver for seg har beskjeden flomdempende effekt og at effekten av å fjerne denne naturlige funksjonen ved bygging av flomverk heller ikke blir stor. Årsaken ligger i at elveslettene under naturlige forhold fylles gradvis opp og at det tilgjengelige volum for flomdemping omkring flomtoppen blir beskjedent i forhold til volum vann som passerer i elva. For senking av innsjøer er bildet noe annerledes. De innsjøer som her er undersøkt, har til dels betydelig flomdempende effekt, opptil 25–50% for kortvarige flommer. Det kan være verdt å minne om at de sjøer som er undersøkt i dette prosjektet, kjennetegnes nettopp ved stor dempingsevne som følge av naturlig stor vannstandsforskjell mellom flom og lavvannstand. Ved ensidig flomsenkning reduseres den naturlige flomdempingen, mens en ved senking også av lavvannstanden kan beholde tilnærmet samme flomdempende effekt. Effekten på flomtoppen nedstrøms er funnet å bli opptil 10% ved ren flomsenkning. Dette ble funnet gjeldende for en middelflom, mens effekten på større flommer var mindre.



Størst grunn til oppmerksomhet finner vi å rette mot den raskere forplantningen av flommen som følger av flomsikring. Tidsforskyvningen av flomtoppen må anses som betydelig i Glomma. Hvilken effekt dette vil ha for flomforholdene nedstrøms, vil avhenge av de lokale forholdene. I noen tilfeller kan det være en fordel ved at faren for sammenfall med flommer fra sideelver nedstrøms blir mindre. Som eksempel på en slik problemstilling i storskalaformat, er samløpet mellom Glomma og Vorma. Under flommen i 1995 holdt en tilbake vann i Mjøsa for å redusere flomtoppen og flomskadene nedstrøms. I andre tilfeller kan situasjonen være helt motsatt, ved at raskere forplantning i en del av vassdraget øker sannsynligheten for sammenfall av flomtopper. Dette er her illustrert gjennom analysen av Vossovassdraget nedstrøms Vangsvatn. En raskere forplantning av flomtoppen stiller uansett flomvarslingen og beredskapsapparatet overfor større utfordringer, ved at tiden fra utløsning værforhold inntreffer til flommen er et faktum blir kortere.

Ved prosjektering av nødoverløp på flomverk er det av vesentlig betydning å ha god kunnskap om flomstørrelser og flombølgeforplantning i vassdraget, samt vannbevegelsen bak flomverket. Nødoverløp skal primært begrense faremomentene og skadeomfanget bak flomverkene når flommen overstiger dimensjoneringsnivået. Analysene av de eventuelle virkningene på flomforløpet nedstrøms viser en utflating av flomtoppen, gitt at flommen kulminerer like før nødoverløpet treffer i funksjon.

Det understrekes at disse vurderinger er basert på et begrenset antall analyser og at det ikke har ligget til prosjektet å vurdere sumeffekten av mange sikringstiltak spredt i vassdraget eller sumvirkningen av ulike typer inngrep. Slike vurderinger vil bli gjort på bakgrunn av kjøring av modell for hele Glomma i regi av modellgruppa i HYDRA.

## 5.2 Anbefalinger til håndtering av enkeltinngrep i vassdrag

Resultatene fra analysene viser at flomsikringstiltak kan få merkbare effekter på flomforløpet nedstrøms. Det medfører et behov for å avklare slike eventuelle konsekvenser i forkant av nye inngrep. Vi vil her gi noen anbefalinger til hvordan dette med rimelig ressursbruk kan gjøres for enkeltinngrep. Vi legger til grunn at det normalt ikke vil kunne forsvares å kjøre omfattende modelleringer for utredningen av konsekvensene av hvert eneste tiltak. Så langt det anses faglig forsvarlig, bør en derfor søke løsninger som krever lite ressurser. Vi har i denne omgang forutsatt at det ikke er aktuelt å trekke inn i beregningene eventuelle virkninger nødoverløp måtte ha på flomforløpet. Skulle det bli aktuelt, vil det stille svært store krav til både modellverktøy og datagrunnlag.

Analysene i dette prosjektet viser at det er forholdet mellom volum som kan lagres på berørte elvesletter eller innsjøer i forhold til volum vann som passerer strekningen i løpet av flommen, som er avgjørende for den flomdempende effekten.

Det er derfor nødvendig å kjenne følgende parametre:

- aktuelle vannføringer på strekningen
- vannstandsstigning pr tidsenhet
- tilgjengelig volum for flomdemping i samme tidsrom

Dersom en kun ønsker svar på endringen i kulminasjonsvannføring nedstrøms, kan det ved vurdering av enkeltprosjekter oppnås tilfredsstillende resultater ved svært enkle beregninger. En slik håndregning er eksempelvis gjennomført i kap 2.3.1 for vurdering om modellen gir rimelige svar. En kan da avgrense beregningen til en kort tidsperiode omkring kulminasjon. Dette kan gjelde ved vurdering av sikring av elvesletter mot oversvømmelse, der de nedstrøms forhold er enkle og tidsforskyvning av flommen ikke forventes å være av vesentlig betydning for flomskadene nedstrøms. Denne vurderingen må gjøres av hydrologisk og hydraulisk sakkyndige med tilstrekkelige opplysninger om de lokale forhold.

Ved vurdering av senking av innsjøer er det svært avgjørende å definere hvorvidt tilgjengelig volum for flomdemping endres eller ikke. Dette vil en finne ved å kombinere vannføringskurver før og etter tiltak med volumkurven for innsjøen. Endres ikke tilgjengelig volum for noen aktuelle vannføringer er det ingen grunn til å gjennomføre routingberegninger. Det kan imidlertid være nødvendig å gjennomføre hydrauliske analyser for å definere vannføringskurvene. Dersom det er grunn til å forvente endring i flomdempingsevnen bør det gjennomføres routingberegning knyttet til den aktuelle innsjøen.

Ved mer komplekse vassdragssystemer og der skadepotensialet nedstrøms er større, vil det være større grunn til å inkludere tidsaspektet i analysen. Det vil være nødvendig å kjøre en hydraulisk routing over den aktuelle strekning, enten gjennom en hydrodynamisk modell som MIKE 11 eller en enklere magasinrouting.

Vurderingene fra studieområdene i Glomma indikerer at dempingsevnen er lite avhengig av strømningshastigheten over elvesletta. En kan dermed etter vår vurdering i svært mange tilfeller få tilfredsstillende resultater selv om en forenkler modelleringen til magasinrouting.

## 5.3 Anbefalinger til håndtering av flomsikringstiltak og elvesletter i vassdragsmodellen for hele Glomma

### 5.3.1 Innledning

I vårt prosjekt har vi hatt mulighet til å benytte en hydrodynamisk modell for simulering av effektene av elvesletter og flomsikringstiltak på flomforløpet. En slik modell stiller store krav til grunnlagsdata og blir dermed svært ressurskrevende å sette opp. Det har derfor vært ansett nødvendig å foreta forenklinger når en skal simulere effekten av samtlige flomsikringstiltak i Glomma.

Forenklete betraktninger anses i svært mange tilfeller å gi tilfredsstillende svar både med hensyn til endring av kulminasjonsvannføringer og tidsforskyvningen av flomforløpet. Det gjelder under forutsetning av at det er endringer av vannføring og tidsforskyvning som er i fokus, framfor en absolutt definering av vannføringer, vannstander og tidspunkter for inntreden av disse.

Vi anbefaler at en foretar en systematisk gjennomgang av samtlige flomsikringstiltak i de deler av Glommas nedbørfelt som skal inngå i modellen. Strekingen i Glomma fra Elverum til samløp med Vorma og videre ned til Øyeren skal simuleres ved hjelp av MIKE 11. Denne modellen er under oppbygging og vil gi mulighet for å simulere en tilstand med og uten flomverk på disse strekningene. Det er derfor særlig tiltak oppstrøms Elverum og i Lågen-delen som vi her skal vurdere. I tillegg må det undersøkes hvilke tiltak som ligger i sideelver på strekingen som dekkes av MIKE 11- modellen og om det er grunn til å ta hensyn til disse ved modelleringen.

I det følgende beskrives en mulig måte å håndtere elvesletter og flomsikringstiltak i modellen, basert på at det må gjøres forenklinger tilpasset det tilgjengelige datatilfang.

### 5.3.2 Elvesletter

Det anses ikke realistisk med detaljerte simuleringer av alle elvesletter, der disse ikke er påvirket av flomverk eller senkingstiltak. Flomdempingen på disse anses dekket gjennom kalibreringen av modellen for det aktuelle delfeltet. I noen spesielle tilfeller der en har tilgang til aktuelle data, og elveslettene er av en slik størrelse at de forventes å ha signifikant effekt på flomforløpet, kan det være aktuelt å dele opp modellen og inkludere enten en MIKE 11- modell eller en magasinrouting.

Det finnes på bakgrunn av flommen i 1995 noe mer grunnlagsmateriale som kan benyttes. Både langs Glommas hovedløp og langs Lågen finnes det flomarealkart som viser utbredelsen av flommen i 1995. Videre er det gjennomført flomsoneanalyse for flere strekninger langs Glomma. Dette kan en vurdere å benytte som grunnlag for å legge inn elveslettene som egne elementer i modellen langs hovedløpene. Se også kap 5.3.3 angående flomverk.

### 5.3.3 Flomverk

Elvesletter som er beskyttet med flomverk bør i prinsippet modelleres i naturtilstand og med flomverk. Heller ikke her er det realistisk å dele opp modellen ved hver eneste flomverkstreking. Der de største tiltakene ligger, kan det legges inn et element i modellen som gir mulighet for å simulere en tilstand uten flomverk ("naturtilstand") og en tilstand med flomverk. Vi mener dette normalt kan gjøres i form av magasinrouting. Hvilken type simulering som er aktuell må avgjøres i samarbeid med modellgruppa.

Følgende datatilfang anses realistisk å skaffe til veie for alle flomverksanlegg av en viss størrelse:

- flomareal ved dimensjonerende flomvannstand med og uten flomverk
- dimensjonerende flom, gitt enten ved historisk hendelse eller som gjentakintervall
- anslått gjennomsnittlig flomdyp på elveslettene ved dimensjonerende flom
- vannareal ved "normalvannstand"

Selv disse må nok for en del anlegg baseres på stor grad av skjønn. Ved å bruke personer med godt kjennskap til anleggene og lokale forhold kan en få rimelig god kvalitet på disse data.

Vi forutsetter at det finnes eller lar seg etablere en vannføringskurve for det stedet der en ønsker å legge inn et magasin som skal simulere effekten av flomsikring. Basert på grunnlagsmaterialet nevnt ovenfor kan en konstruere to vannstand/ volumnkurver for magasinet, henholdsvis med og uten flomverk. Figur 5.1 viser hvordan disse kurvene i prinsippet kan se ut. Kurven etter flomverk har et knekkpunkt ved dimensjonerende vannstand for flomverket, i dette tilfelle på kote 104. Så snart det oppstår brudd i flomverket eller nødoverløp trer i funksjon vil en begynne å ta i bruk magasinet på innsiden av flomverket. Et forslag til standardisering av denne effekten er vist ved at oppfyllingen på innsiden, dvs overgangen tilbake til den naturlige kurven (før flomverk) fordeles på 0.5 m vannstandsstigning. Over kote 104.5 i dette eksemplet vil de to kurvene være identiske.



Ved hjelp av den tilhørende vannføringskurven for magasinet vil en etter dette være i stand til å route samme flomforløp gjennom et magasin i to ulike tilstander og la dette bli inngangsdata til neste element i modellen.

Dette kan gjøres for alle anlegg som er av en viss størrelse. Det vurderes om flere anlegg som ligger spredt, skal samles til ett element, dvs ikke nødvendigvis nøyaktig der de fysisk ligger i vassdraget. For alle anlegg må det gjøres en vurdering av aktuelle flomareal. Det tas stilling til om anleggene skal simuleres i modellen. For de anlegg som ikke inkluderes, skal aktuelle flomareal dokumenteres.

Flomarealkartene som viser utbredelsen av flommen i 1995 langs Glommas hovedløp og langs Lågen kan være et hjelpemiddel til å definere utbredelsen av flommen ved dimensjonerende flom. Det fordrer kjennskap til om vannet gikk over de aktuelle flomverkene på strekningen eller ikke. Dersom det finnes høydeinformasjon av tilfredsstillende kvalitet for vannstand og terreng, kan en kombinere disse datasettene og definere aktuelle flomdyp på elveslettene.

I HYDRA er det gjennomført flomanalyse for flere strekninger langs Glomma oppstrøms Elverum, (HYDRA-rapport R03 [Sælthun et al, 1999]). For disse strekningene vil det være mulig å utlede flomareal og flomdyp med god nøyaktighet. Det kan på grunnlag av disse analysene settes opp volumkurver, som viser tilgjengelig volum i forhold til vannføring på et kontrollpunkt i rimelig nærhet. Dersom formen på disse volumkurvene kan anses å ha en viss generell gyldighet, kan det være aktuelt å bruke dem til å legge inn flere punkter på volumkurver av typen som er vist i figur 5.1.

#### 5.3.4 Senkingstiltak

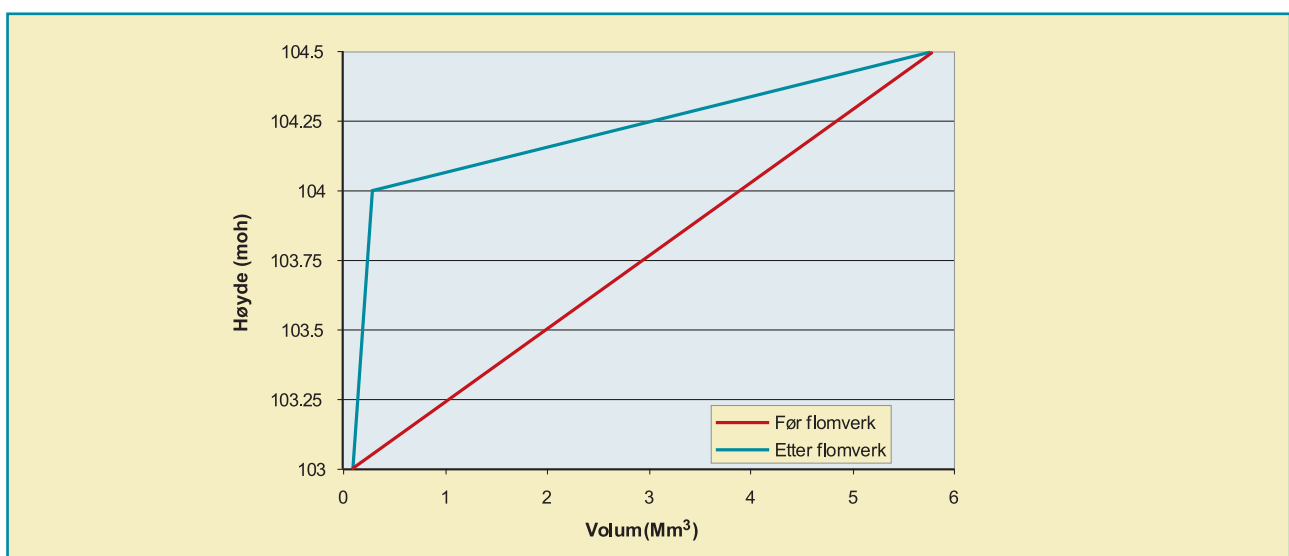
Senkingstiltak som omfatter senking av elveløp for å hindre oversvømmelse av tiliggende elvesletter, anses å ha tilsvarende effekter som flomverk og behandles derfor på tilsvarende måte som beskrevet i kap 5.3.3. Større innsjøer forutsettes å være inkludert som egne elementer i modellen. For disse forutsettes at det er etablert en relasjon mellom vannføring ut av sjøen og volum. Dersom noen av disse er berørt av senkingstiltak, settes det opp en volum/ vannføringskurve slik at både tilstanden før og etter senking er dekket. For mindre innsjøer kan det gjøres en tilsvarende vurdering av aktuelle flomdemningsvolumer som beskrevet i kap 5.3.3. Det antas å være svært få tiltak av denne typen innenfor de deler av Glomma som skal simuleres.

### 5.4 Forslag til videre forskning og utvikling på området

#### 5.4.1 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. 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.



Figur 5.1: Tilgjengelig volum for lagring av vann på elveslettene – prinsipp.

Figure 5.1: Available volume for storage of water on flood plains, before and after construction of dikes.

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 utredningssammenhenger 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.

#### 5.4.2 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 samfunnmessige betydningen 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. Forbedringspotensial 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 få 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.

## Vedlegg

### Begreper

- aktivt/ ikke aktivt strømningsareal

Her: Den delen av vanndekt areal der vannet beveger seg, er aktivt strømningsareal. Der vann magasineres, men vannutveksling kan skje mellom det aktive strømningsarealet og dette arealet, er ikke-aktivt strømningsareal.

- avløp

Total mengde vann som strømmer ut av en sjø eller et område. Avløpet oppgis vanligvis i m<sup>3</sup>/s. Avløpet ut av en sjø får et forløp med større varighet og lavere kulminasjon enn tilløpet til sjøen, fordi vannet forsinkes gjennom sjøen. Avløpsforløpet bestemmes av sjøarealet og utformingen av utløpet (utløpsprofilen).

- flom

Flom kan generelt defineres som en forholdsvis stor vannføring, men som ikke nødvendigvis fører til skader.

- flomareal

Vanligvis menes areal utenfor selve elvestrengen som i flomperioder settes under vann. I en numerisk modell som bygger på kontinuitet er dette arealet en del av det totale våte areal eller volum som modellen har til rådighet for magasinering av vann. Flomarealet tilgjengeliggjøres i modellen når vannstanden kommer over visse nivåer.

- flomforløp

Endring av vannføringen over tid under flom.

- flomsenkning

Flomsenkning er tiltak som har til hensikt å redusere vannstanden i elver og vann under flom ved at elveprofil eller utløp av vann utvides. Dette kan være en utvidelse i bredden og/eller en senking av elveløpet. Flomsenkning utføres for å redusere skader grunnet oversvømmelse under flom.

- flomverk

Et flomverk er en voll/ langsgående rygg mot elv eller vann som skal hindre at tidligere flomutsatt areal skal oversvømmes. Flomverkene er ofte enkle konstruksjoner bygd av stedlige løsmasser som til forskjell fra en damkonstruksjon ikke er bygd for å tåle overtopping eller vedvarende vanntrykk over lang tid.

- gjentakintervall

Gjennomsnittlig antall år mellom hver gang en viss vannføringsverdi overskrides. Begrepet er et uttrykk for sannsynlighet. Sannsynligheten for at en vannføring med x års gjentakintervall skal overskrides, er hvert år 1/x.

- hydrodynamisk modell

Her: Beregningsmodell som simulerer vannføringer og vannstander som funksjon av tid, i en elvestrekning

- kulminasjonsvannføring

Størrelsen på vannføringen idet den begynner å avta (kulminere); dvs. største registrerte vannføring i løpet av en periode hvor vannføringen går over fra å være stigende til synkende.

- kulminasjonstidspunkt

Tidspunktet for vannføringens kulminasjon.

- lavvannssenking

Lavvannssenking er tiltak som har til hensikt å frigjøre større areal til jordbruksformål. Dette gjøres ved elvebunnsenkning og/eller senking av utløp i sjøer slik at vannstanden først og fremst ved liten vannføring får lavere vannstand. Ofte vil et senkingsinngrep ha et element av både flomsenkning og lavvannssenking, også selv om formålet er det ene eller det andre.

- manningstall

Ruhetskoeffisient. Dess mindre Mannings tall (M), dess større ruhet.

- middelflom (midlere flom):

Middelverdien av den største vannføringen hvert år i en årrekke. Middelflommen har 2-3 års gjentakintervall. Som regel refererer begrepet seg til døgnmiddelvannføring og ikke kulminasjonsvannføring.

- nødoverløp

I dette prosjekt er nødoverløp definert som en konstruksjon, (teknisk innretning) som skal lede vann kontrollert over, (evt gjennom) et flomverk i situasjoner hvor det er (stor) fare for ukontrollert brudd.

Som nødoverløp kan også regnes et forhåndsutvalgt sted på flomverket som i henhold til en beredskapsplan skal åpnes for å avverge stor fare for ukontrollert brudd.

- tilløp

Total mengde vann som strømmer til en sjø eller et område. Tilløpet oppgis vanligvis i m<sup>3</sup>/s.

- tverrprofil

Her: Topografisk beskrivelse av terrengforholdene i et snitt på tvers av elva (normalt på strømningsretningen).

- vannføringskurve

Sammenheng mellom vannstand og vannføring ved en målestasjon. Denne sammenhengen er beregnet på grunnlag av målt vannføring på forskjellige vannstander

## 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
- DHI 1995, Mike 11 Technical Reference, Dansk Hydraulisk Institutt, Hørsholm, Danmark.
- Engen, I.K., Høydal, Ø., Nøtsund, Ø., Traae, E. 1999, Effekter av senkingstiltak på flomforløpet, HYDRA-notat nr 6/99, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge
- Haddeland, I. og Høydal, Ø. 1999, Effekter av flomverk på flomforløpet, HYDRA-notat nr 5/99, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge
- Haddeland, I. og Krokli, B. 1999, Hydrodynamisk modell for Glomma mellom Kongsvinger og Øyeren, HYDRA-notat nr 8/99, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge
- IHW 1998, Die Wirkung 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. og Skoglund, M. 1996, Nedstrøms vannstandseffekter pga åpning av flomverk, SINTEF Bygg- og miljøteknikk, Trondheim, Norge.
- NOU 1996, Norges Offentlige Utredninger, 1996:16: Tiltak mot flom, Utredning fra Flomtiltaksutvalget, juni 1996
- Rheinland-Pfalz 1993, Rheinland-Pfalz – ministerium für Umwelt. Der einfluss des Oberrheinausbaus und der Oberrhein vorgesehener Retentionsmassnahmen auf die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln, 1993.
- Skoglund, M., Traae, E., Tesaker, E. 1999, Nødoverløp på flomverk, HYDRA-notat nr 11/99, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge
- Sælthun, N.R., Berg, H., Eggestad, H.O., Gottschalk, L., Krasovskaia, I., Kristensen, S.E., Skoglund, M., Voksø, A., Wathne, M. 1999, Økonomisk risikoanalyse for flommer, HYDRA-rapport, in prep
- Wathne, M. 1997, Effekter av flomsikringstiltak – en gjennomgang av litteraturen, HYDRA-notat nr 2/97, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge.

## 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).

### Miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak (Mi)

- Mi01 Miljøkonsekvenser av flom - flom og vannkvalitet.  
Bjørn Faafeng, Espen Lydersen, Gøsta Kjellberg, Vilhelm Bjerknæs, 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 overvannsdiskonponering (LOD/TOD) på flommer.  
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS.
- T03 Lokal og total overvannsdiskonponering (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 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: 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:** 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



**Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat**

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

Forside: Glomma ved Arneberg bru i Åsnes kommune, 3. juni 1995. Flomverk på begge sider av elva - flomverket til venstre hindrer oversvømmelse av elvesletta, mens brudd har oppstått i flomverket til høyre. Foto: Fotonor a.s. Omslag: Gazette. Layout: ABC Visuell Kommunikasjon. Trykk: Worum's Trykkeri. ISBN: 82-410-0398-6.