flomdemping

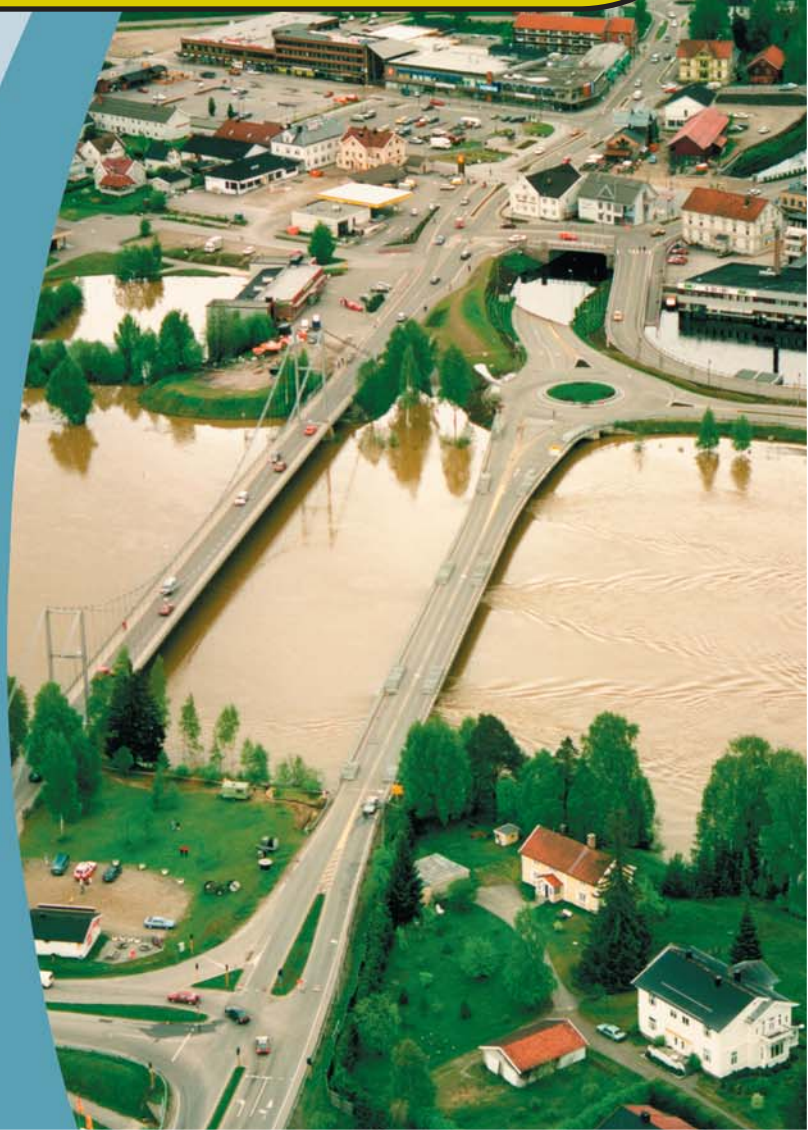
flomvern og

flomhandtering

Jens Kristian Tingvold

Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB)

Effekt av vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen på stor flom



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 Landbrukshøgskole (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 – a research programme on floods

HYDRA is a research programme on floods initiated 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 hypotesis for HYDRA is that the sum of all human impacts in the form of land use, regulation, flood protection etc., can have increased the risk of floods.

HYDRA is aimed at state and municipal authorities, insurance companies, educational and research institutions, and other organization.
An overview of the scientific content in HYDRA is:

- **Natural resources and land use**
- **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. F04

Effekt av vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen på stor flom

av

Jens Kristian Tingvold
Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB)

Forord

Denne rapporten kvantifiserer flomdempingseffekten av vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen, både eksisterende og mulig nye reguleringer. Rapporten dokumenterer en betydelig effekt. Det er spesielt gode muligheter til ytterligere reduksjon av flomskade i Glomma og rundt Mjøsa. Det er redegjort for prinsipper og tankegangen bak manøvreringen av magasinene.

Rapporten består av to hoveddeler:

I den første er effekten av eksisterende reguleringer analysert ved å beregne den naturlige selvreguleringen i sjøene/magasinene på flommen i 1995. Flommen og reguleringsforløpene er beskrevet, og effekten av aktiv regulering er analysert.

I den andre er effekten av 12 mulige reguleringsprosjekt i Glomma og Lågen analysert på de 8 største vassdragsomfattende flommene i dette århundre. Flommene er beskrevet og et omfattende datamateriale er fremskaffet og bearbeidet. Effekten av et prosjekt i Mjøsa er også analysert.

Oslo, april 1999

Jens Kristian Tingvold
prosjektleder

Innhold

Side

Sammendrag ... 5

Sammendrag ... 6

1 Historiske flommer ... 7
1.1 Målinger/datagrunnlag ... 7
1.2 Skadeflommer ... 7
1.3 Flommer i Glomma ved Stai og Elverum ... 8
1.4 Flommer i Otta ved Lalm og Lågen ved Losna ... 8
1.5 Flommer i Mjøsa og Øyeren ... 9

2 Vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen ... 13
2.1 Eksisterende reguleringer ... 13
2.2 Reguleringen av magasinene - prinsipper og praksis ... 13
2.3 Ytterligere regulering - mulige prosjekter ... 13

3 Effekten av eksisterende reguleringer på flommen i 1995 ... 21
3.1 Innledning ... 21
3.2 Sjøer og elver - naturlig selvregulering ... 21
3.3 Meteorologiske forhold ... 21
3.4 Reguleringen/effekten av reguleringer i Glomma ... 21
3.4.1 Reguleringen/effekten av Aursunden ... 21
3.4.2 Reguleringen/effekten av Fundin, Einunnaoverføringen og Savalen ... 22
3.4.3 Reguleringen/effekten av reguleringer ovenfor Alvdal og Rendalsoverføringen ... 23
3.4.4 Reguleringen/effekten av Storsjøen ... 23
3.4.5 Reguleringen/effekten av Osen ... 25
3.4.6 Sammendrag effekten av reguleringene i Glomma ... 26
3.5 Reguleringen/effekten av reguleringer i Otta, Vinstra og Lågen, av Mjøsa og Øyeren ... 27
3.5.1 Reguleringen/effekten av reguleringer i Ottadalen ... 27
3.5.2 Reguleringen/effekten av Bygdin og øvrige reguleringer i Vinstravassdraget ... 27
3.5.3 Reguleringen/effekten av reguleringer i Mesnavassdraget og av Hurdalssjøen ... 30
3.5.4 Reguleringen/effekten av Mjøsa ... 30
3.5.5 Reguleringen/effekten av Øyeren ... 31
3.6 Sammendrag ... 35
3.7 Avsluttende kommentarer ... 37

4 Effekten av ytterligere regulering på stor vassdragsomfattende flom ... 38
4.1 Innledning ... 38
4.2 Analyse av flomdempingseffekt - metodikk og datagrunnlag ... 39
4.3 Karakteristikka ved flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995 ... 39
4.4 Reguleringen/effekten av ytterligere regulering i Glomma ... 39
4.4.1 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Stai i Glomma ... 39
4.4.2 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Elverum i Glomma ... 40
4.5 Reguleringen/effekten av ytterligere regulering i Otta, Vinstra og Lågen, og av Mjøsa ... 40
4.5.1 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Lalm i Otta ... 40
4.5.2 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Losna i Lågen ... 42
4.5.3 Effekten på Mjøsa av ytterligere regulering i Otta, Vinstra og Lågen ... 42
4.5.4 Effekten av ytterligere regulering av Mjøsa ... 44
4.6 Effekten på flommene i 1927, 1939, 1967 og 1995 med illustrasjon av flomforløp ... 44
4.7 Sammendrag ... 52
4.8 Konklusjon og avsluttende kommentarer ... 53

Forklaringer til forkortelser brukt i kurveplott og tabeller ... 55

Referanser 55

Tidligere utgitt i HYDRA-serien 56

Liste over figurer

Figur 1.1 Kart over Glomma og Lågen vassdragene med nøkkelpunkt og tettsteder/byer 8
Figur 1.2 Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Glomma ved Stai 10
Figur 1.3 Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Glomma ved Elverum 10
Figur 1.4 Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Otta ved Lalm 11
Figur 1.5 Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Lågen ved Losna 11
Figur 1.6 Kulminasjonsvannstander i Mjøsa 12
Figur 1.7 Kulminasjonsvannstander i Øyeren 12
Figur 2.1 Mulige prosjekter i Nord-Østerdalen 16
Figur 2.2 Mulige prosjekter i Midtre Glomma 18
Figur 2.3 Mulige prosjekter i Otta- og Gudbrandsdalen 20
Figur 3.1 Selvreguleringsberegning for Aursunden 24
Figur 3.2 Selvreguleringsberegning for Einunna/Savalen 24
Figur 3.3 Selvreguleringsberegning for Storsjøen 25
Figur 3.4 Selvreguleringsberegning for Osen 26
Figur 3.5 Reguleringen av Storsjøen og Osen – virkningen i Glomma ved Elverum 28
Figur 3.6 Glomma ved Elverum 3.juni 1995 (”Fotonor AS) 28
Figur 3.7 Selvreguleringsberegning for magasinene i Ottadalen 29
Figur 3.8 Selvreguleringsberegning for Bygdin 32
Figur 3.9 Selvreguleringsberegning for magasinene i Vinstravassdraget 32
Figur 3.10 Reguleringen av Mjøsa - virkningen på Glomma inn i Øyeren 33
Figur 3.11 Selvreguleringsberegning for Mjøsa - uregulert tilløp 33
Figur 3.12 Selvreguleringsberegning for Mjøsa - regulert tilløp 34
Figur 3.13 Selvreguleringsberegning for Øyeren - uregulert tilløp 36
Figur 3.14 Selvreguleringsberegning for Øyeren - regulert tilløp 36
Figur 4.1 Ytterligere regulering av Mjøsa - flommen i 1995 46
Figur 4.2 Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1927 46
Figur 4.3 Ytterligere regulering ovenfor Lalm - flommen i 1939 47
Figur 4.4 Ytterligere regulering ovenfor Losna - flommen i 1939 47
Figur 4.5 Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1939 48
Figur 4.6 Ytterligere regulering ovenfor Stai - flommen i 1967 48
Figur 4.7 Ytterligere regulering av Storsjøen - flommen i 1967 49
Figur 4.8 Ytterligere regulering ovenfor Elverum - flommen i 1967 49
Figur 4.9 Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1967 50
Figur 4.10 Ytterligere regulering ovenfor Stai - flommen i 1995 50
Figur 4.11 Ytterligere regulering av Storsjøen - flommen i 1995 51
Figur 4.12 Ytterligere regulering ovenfor Elverum - flommen i 1995 51
Figur 4.13 Ytterligere regulering ovenfor Lalm - flommen i 1995 52
Figur 4.14 Ytterligere regulering ovenfor Losna - flommen i 1995 54
Figur 4.15 Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1995 54

Liste over tabeller

Tabell 2.1 GLBs eksisterende reguleringer 14
Tabell 2.2 Tilsig i ulike nedbørfelter 15
Tabell 2.3 Mulige prosjekter 17
Tabell 3.1 Snømagasin pr. 15.april 1995 og tilsigsvolum i tiden 15.april-30.juni 1995 22
Tabell 3.2 Flomdemping og kulminasjonsvannføring ved Alvdal, Stai, Elverum og Kongsvinger 27
Tabell 3.3 Flomdemping og kulminasjonsvannføring ved Lalm, Losna, Mjøsa og Rånåsfoss 35
Tabell 4.1 Snømagasin pr. 15.april i % av normalt for ulike områder og flomår 40
Tabell 4.2 Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Stai 41
Tabell 4.3 Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Elverum 41
Tabell 4.4 Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Lalm 42
Tabell 4.5 Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Losna 43
Tabell 4.6 Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Mjøsa 43

Sammendrag

Effekten av eksisterende reguleringer på flommen i 1995

Magasinene i Glomma og Lågen på ca. 3600 Mm^3 utgjør bare ca. 16% av årstilsiget. I andre regulerte vassdrag på Øst- og Sørlandet, som nesten ikke har skader under vårflommer, er magasinprosenten 30-55%. Effekten av reguleringene i Glomma og Lågen er analysert på flommen i 1995, den største flommen i Glomma i dette århundre.

Den naturlige selvreguleringen i sjøene Aursunden, Storsjøen, Osen, Bygdin, Mjøsa og Øyeren er beregnet på dagbasis utfra kjente magasin- og avløpskurver fra før regulering. For øvrige reguleringer er den naturlige selvreguleringen beregnet på grunnlag av estimert naturlig magasinering/uttapping, blant annet utfra vannstandsobservasjoner. I analysen av reguleringenes betydning har man derfor tatt hensyn til den naturlige selvreguleringen.

Storsjøen/Osen og Mjøsa er også analysert på timebasis og betydningen av aktiv regulering er beregnet og referert hhv. Elverum og Rånåsfoss. Det er lagt vekt på å beskrive reguleringsforløpene, og prinsipper/tankegangen bak manøvreringen av magasinene.

Effekten av optimal regulering utfra et flomdempingssynspunkt er beregnet og rapportert for noen av magasinene.

I Glomma ved Alvdal og i Stor-Elvdal ble flomdempningen 325 m^3/s (hhv. 18 og 14%), som tilsvarer en reduksjon i flomvannstanden på hhv. ca. 1,0 m og 0,7 m.

I Glomma ved Elverum ble flomdempningen 800 m^3/s (19%), som tilsvarer en reduksjon på ca. 0,9 m.

I Glomma ved Nor/Norsfoss ble flomdempningen 775 m^3/s (20%), som tilsvarer en reduksjon på ca. 1,0 m i flomvannstanden.

I Otta var effekten en flomdemping ved Lalm nedenfor Vågåmo på 125 m^3/s (15%), som tilsvarer ca. 0,4 m reduksjon i flomvannstanden. Tilsvarende utgjør 325 m^3/s (12%) ved Losna i Lågen nedenfor Ringebu også ca. 0,4 m.

Flomdempingen i Mjøsa ble 0,45-0,5 m som følge av reguleringene ovenfor, men effekten reduseres til ca. 0,4 m når det tas hensyn til at avløpet periodevis var redusert. Avløpsreduksjonen omkring 6.juni reduserte kulminasjonsvannstanden i Øyeren med 0,2-0,25 m.

I Øyeren var effekten av økt avløpskapasitet siden flommen i 1967 en flomdemping på 2,2 m. Reguleringene i Glomma og Lågen gav en flomdemping på ca. 1,9 m. Med effekten av forhåndstapping av Øyeren og avløpsreduksjonen fra Mjøsa på til sammen ca. 0,4 m var total flomdemping ca. 4,5 m. Uten reguleringene ovenfor og andre flomdempende tiltak ville vannføringen ved Solbergfoss kulminert ca. 700 m^3/s høyere enn observert.

Effekten av ytterligere regulering på vassdragsomfattende flom

Etter flommen i 1995 anbefalte et regjeringsoppnevnt Flomtiltaksutvalg 10 prosjekter med betydelig flomdempingseffekt. Blant disse var tilleggsreguleringer i Storsjøen i Rendalen, Raudalsvann og Mjøsa. Utvalget foreslo også mindre tilleggsreguleringer i Osensjøen, Bygdin og Vinsteren. Stortinget gav ved sin behandling av "Flommeldingen" tilslutning til at flomdemping bør tillegges vesentlig større vekt enn idag. Stortinget ga sitt samtykke til at prosjektene Storsjøen, Osensjøen, Raudalsvann, Bygdin og Vinsteren kan plasseres administrativt i Samlet Plan (SP). Markbulia, Tunna/Savalen og Jora (overføring til Aursjø i Møre og Romsdal) er allerede plassert i SP kategori I. Flomtiltaksutvalget anbefalte også Burua kraftverk/flomtunnel (delvis overføring av Glomma til Storsjøen). Vågåvann er et nytt prosjekt som også kan redusere flomtap i kraftverkene nedenfor og sandfluktproblemer ved lav vannstand. En mindre tilleggsregulering i Kaldfjorden og regulering av Imssjøene har nye elementer i forhold til SP-prosjektene i kategori II.

Det er ovenfor angitt 12 prosjekter som det synes mulig å realisere. Flomdempingseffekten i forhold til eksisterende reguleringer er analysert med utgangspunkt i de 8 største vassdragsomfattende flommene i Glomma og Lågen i dette århundre. Det er flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995. Lokalt vil effekten kunne være større på andre flommer, spesielt i Otta. Flomdempingseffekten i forhold til observert er også beregnet og rapportert.

Prosjektene ovenfor Stai i Glomma gir en flomdemping på mellom 175 og 450 m^3/s, med et gjennomsnitt på 275 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Stai på mellom 0,5 og 1,05 m (i 1995), med et gjennomsnitt på 0,75 m.

Prosjektene ovenfor Elverum i Glomma gir en flomdemping på mellom 250 og 800 m^3/s, med et gjennomsnitt på 500 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Elverum på mellom 0,35 og 1,05 m (i 1967), med et

gjennomsnitt på 0,65 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,95 m.

Prosjektene ovenfor Lalm i Otta gir en flomdemping på mellom 100 og 285 m^3/s, med et gjennomsnitt på 185 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Lalm på mellom 0,4 og 1,1 m (i 1934), med et gjennomsnitt på 0,75 m.
Prosjektene ovenfor Losna i Lågen gir en flomdemping på mellom 100 og 375 m^3/s, med et gjennomsnitt på 270 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Losna på mellom 0,15 og 0,65 m (i 1927), med et gjennomsnitt på 0,4 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,5 m.

Prosjektene ovenfor Mjøsa gir en reduksjon i flomvannstanden på mellom 0,1 og 0,45 m (i 1927), med et gjennomsnitt på 0,3 m. I tillegg kommer effekten av prosjektene i Glomma med mindre oppstuvning av Vorma. I 1995 ville reduksjonen vært 0,4 m og tilleggseffekten 0,2 m.

Prosjektet ytterligere senking av Mjøsa og Minnesund pumpe gir, uavhengig av prosjekter ovenfor Mjøsa, en reduksjon i flomvannstanden på mellom 0,5 og 1,0 m, med et gjennomsnitt på 0,7 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,85 m i Mjøsa og 1,0 m i Øyeren.

Med realisering av prosjektene i Glomma vil flomskadene bli ubetydelige. I Lågen og Mjøsa må man fortsatt regne med flomskader, spesielt i forbindelse med store sommer-/høstflommer.

Summary

The effect of water regulation schemes in the Glomma and Lågen River Basin on large scale floods

Analysis of the effect by existing regulations on the 1995 flood, through calculation of natural self-regulation of the lakes and reservoirs. The 1995 flood and the sequence of regulation measures are described, and the effect of active regulation is analysed. Documentation is presented to prove a reduction in flood water level of 0.7-1.0 m in the Glomma river, and of approx. 0.4 m in the rivers Otta and Lågen and for Lake Mjøsa.

12 potential regulation schemes are analysed in relation to their effect on the 8 largest extensive floods in the Glomma and Lågen water system recorded this century. The floods are described and the work up of comprehensive data is presented. An analysis of the effect of a project in Lake Mjøsa is also presented. Documentation is presented to prove a reduction in flood water level of approx. 0.7 m in the river Glomma and 0.4-0.7 m in the rivers Otta and Lågen and for Lake Mjøsa.

1. Historiske flommer

En brukbar definisjon av flom er høy vannføring som fører til at elva går ut over naturlig eller kunstig bredd. Nedre grense for flom kan også defineres statistisk til midlere flomvannføring. Middelflom skjer hvert 2. år i gjennomsnitt. Det er vanlig å skille mellom flom, stor flom og ekstrem flom, hendelser som skjer henholdsvis hvert 2.-10., 10.-100. og hvert 100.-1000. år i gjennomsnitt.

Den største kjente flommen i Glomma og Lågen var i 1789. Flommen ("Stor-Ofsen") kulminerte i slutten av juli etter en lang periode med nedbør og utløste en rekke skred. 68 mennesker og mange dyr omkom. Flommen gjorde stor skade på hus og jordveier.

Man kan diskutere om flommen i 1995 er den nest største. Effekten av reguleringene var her betydelige. Likevel var flomskadene på 1,8 milliarder kroner og ett mennskeliv gikk tapt.

1.1 Målinger/datagrunnlag

De første systematiske vannstandsobservasjoner i Norge ble tatt i Glomma og Vorma i 1824. Mer regelmessige observasjoner tok til i 1840-årene. Observasjoner av nedbør kom i gang i 1866, men først i større omfang fra 1895.

I GLBs dataarkiv finnes det for Glomma og Lågen med sidevassdrag 8 lange måleserier for vannføring fra før 1910, og 22 måleserier starter før 1925. De lengste seriene er målt ved Aursunden, Dølplass (Folla), Stai, Storsjøen, Elverum, Olstappen (Vinstra), Losna og Solbergfoss. Hvis man tar utgangspunkt i de 10 største flommene for 16 viktige og lange måleserier, vil det vise seg at 8 store flommer har hatt utbredelse i store deler av Glomma og Lågen med sidevassdrag. Det er flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995 og disse flommene betegnes vassdragsomfattende. Flommene i Otta har imidlertid vært moderate i alle disse årene bortsett fra i 1939. I Otta observerte man den største flommen i 1938 ca. 1.september.

Det finnes lange vannstandsserier for 6 sjøer, som i dag er regulert. Det gjelder Aursunden, Storsjøen, Bygdin, Olstappen Mjøsa og Øyeren. Vannstanden er for flere av sjøene målt fra før de ble regulert.

For nedbør finnes det i GLBs dataarkiver 4 lange serier. Det er målinger ved Gløtvola syd for Femunden (regnes som representativ for Østerdalen), i Skjåk, ved Nes (Mjøsområdet) og i Nord-Odal (nedre Glomma). Det er i denne rapporten laget snøindekser for disse stedene/områdene for årrekken 1902-98. Indeksene uttrykker snømagasinet i forhold til normalt og baserer seg på akkumulert nedbør i perioden 15.november-15.april. Basert på dette var det i Østerdalen mest snø i årene 1927, 1966 og 1982 med henholdsvis 170, 190 og 160% i forhold til normalt. I Ottadalen var det tilsvarende mest snø i 1976, 1989 og 1993 med 225, 210 og 235%, og i Mjøsområdet/N.Glomma mest i 1927, 1939 og 1951 med 175, 155 og 165% i forhold til normalt. Det var som nevnt stor flom i Glomma og Lågen i 1927, 1939 og i 1966.

1.2 Skadeflom

En definisjon av skadeflom kan være flom som forårsaker skade på mennesker og menneskeskapte verdier. En hovedregel kan være at flommer over 10-års flom har konsekvenser med oversvømmelse og skade. Men på utsatte steder kan selv middelflommen ha konsekvenser. I Glomma og Lågen gir analyse av historiske flommer skadeflom hvert 10.-20. år i gjennomsnitt. Det er størst sannsynlighet for skadeflom i Otta og Lågen.

I sammenheng med flomdemping fremholdes at det er de "siste" m^3 vann som det er viktigst å holde tilbake i magasiner på grunn av eksponentielt økende skadeomfang med lineært økende vannstandsøkning.

Begynnende flomskader skjer i dag ved ca. 1000 m^3/s langs Glomma i Stor-Elvdal, og mellom Rena og Funnefoss ved ca. 1500 m^3/s. Store skader kommer ved flommer over henholdsvis 1500 og 2500 m^3/s. Flomskader må påregnes hvert 5. år i gjennomsnitt, store skader hvert 50. år. Det er da tatt hensyn til den dempende effekten av eksisterende reguleringer. Flommene i 1934 og 1916, som kulminerte allerede omkring 10.mai, ble store selv om det (medio april) bare var normalt snømagasin de årene. I andre år med store flommer i Glomma har det vært 130-170% snø i forhold til normalt.
Flomskadene begynner å vise seg langs Otta i Vågå ved ca. 800 m^3/s, og langs Lågen i Ringebu og Øyer ved ca. 1500 m^3/s. Store skader inntreffer ved flommer over henholdsvis 1000 og 1900 m^3/s. Flomskader må påregnes hvert 5. år i gjennomsnitt, store skader hvert 25. år. I Otta betyr snømagasinet mindre for flommens størrelse. Man får her de fleste store flommene omkring 1.juli med utgangspunkt i varmt vær og nedbør. I Lågen kommer kulminasjonen noe senere enn i Glomma, vanligvis i begynnelse av juni.
I Glommavassdraget får man de største flomskadene rundt Mjøsa og Øyeren. Rundt Øyeren er omfanget redusert etter at avløpskapasiteten ble økt vesentlig etter

utsprengninger ved Mørkfoss (avsluttet i 1975) og utvidelse av Solbergfoss kraftverk (i 1985), og som følge av ytterligere regulering i Østerdalen (omkring 1970). Rundt Mjøsa må man fortsatt regne med flomskader hvert 5. år (skadegrense ved kote 123,7 m, tilsvarende 6 m på Hamar vannmerke), og store skader hvert 25. år.

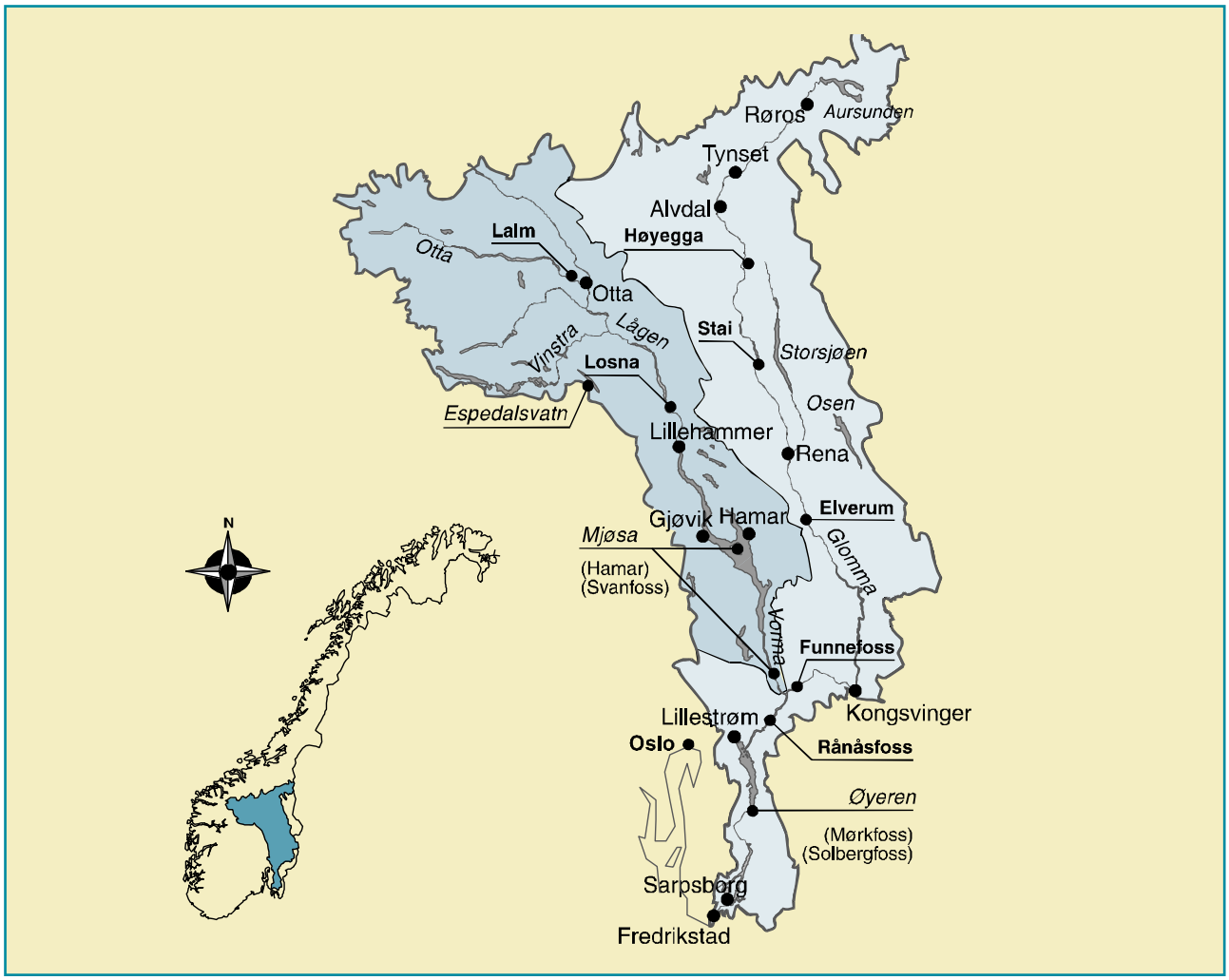
1.3 Flommer i Glomma ved Stai og Elverum

Frekvensanalyse på 91 år med data fra Stai målestasjon i Stor-Elvdal gir for vårflom (i tiden 1.4-30.6) med 20 års og 100 års gjentaksintervall hhv. 1475 og 1825 m^3/s. Tilsvarende gir 97 år med data fra Elverum hhv. 2375 og 2950 m^3/s. I Glomma er vårflommene mye større enn sommer/høstflommene. De 3 høyeste flommene i dette århundre ved Stai og Elverum var i 1995, 1934 og 1916. Ved Stai kulminerte flommene på hhv. 1935, 1820 og 1580 m^3/s (døgnmidler), og ved Elverum på hhv. 3140, 2965 og 2890 m^3/s. På figurene 1.2 og 1.3 vises at også flommene i 1966 og 1967 var store i Glomma. Flommen i 1995 i området fra Stai til Elverum kan karakteriseres som en 200-års flom.

1.4 Flommer i Otta ved Lalm og Lågen ved Losna

Frekvensanalyse på 85 år med data fra Lalm målestasjon i Otta gir for flom (i tiden 1.4-31.10) med 20 års og 100 års gjentaksintervall hhv. 1050 og 1250 m^3/s. Tilsvarende gir 97 år med data fra Losna hhv. 2075 og 2525 m^3/s.

De 3 høyeste flommene i dette århundre i Otta ved Lalm var i 1938 (1.september), 1923 (13.juli) og i 1958 (2.juli) på hhv. 1385, 1145 og 1095 m^3/s. "Otta-flommen" kulminerer mediant omkring 5.juli, vanligvis med utgangspunkt i stor snøsmelting. Flommen i 1938 var en "spiss" regnflom med gjentaksintervall på ca. 500 år. Flommen i 1995, som kulminerte på 715 m^3/s, var en middelflom.



Figur 1.1: Kart over Glomma og Lågen vassdragene med nøkkelpunkt og tettsteder/byer.

Figure 1.1: Map of the Glomma and Lågen river basin with key points and densely populated/urban areas.

1.5 Flommer i Mjøsa og Øyeren

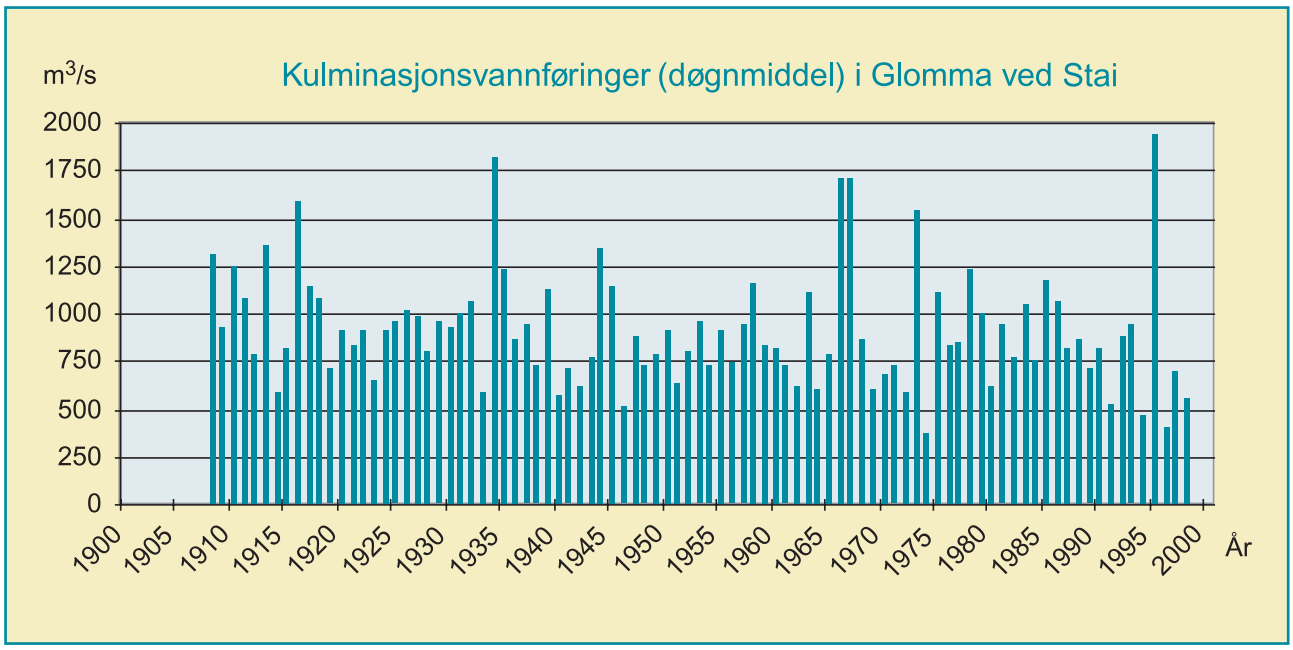
Det er observert 2 ekstreme flommer i Mjøsa, begge på 127,8 m (lokalhøyde på 10,1 m) i hhv. 1789 (24.juli) og 1860 (22.juni). Det har vært stor flom i 1808, 1827, 1846, 1863, 1910, 1927, 1967 og 1995, i middel 125,8 m (8,1 m). Det vil si hvert 25. år i gjennomsnitt. Mediant har disse flommene kulminert 20.juni. Mjøsa har vært regulert siden 1858, og reguleringen ble utvidet i 1903, 1947 og 1961, Ombygging av Svanfossdammen i Vorma i tiden 1933-35 medførte økt tappekapasitet.
De 3 høyeste flomvannstandene i dette århundre er observert i 1927 (11.juli), 1995 (11.juni) og i 1967 (7.juni) på hhv. 126,00, 125,62 og 125,41 m. Frekvensanalyse på data fra årrekken 1961-95 gir (NVE-publikasjon 6-97, "Hydrologiske data for Mjøsa") en 100-års flomvannstand på 125,9 m (8,2 m). De 10 høyeste har mediant kulminert ca. 15.juni på 125,0 m (7,3 m). Midlere flomvannstand har vært 123,7 m (6,0 m). Eksisterende reguleringer har redusert flommene med ca. 0,5 m. Frekvensanalysen gir for henholdsvis 10-, 20- og 50-års flomvannstand 124,2 m (6,5 m), 124,65 m (6,95 m) og 125,3 m (7,6 m).

I Øyeren ble det også observerte ekstreme flomforhold i 1789 og 1860, hhv. 111,5 m (lokalhøyde på 15 m) og 109,3 (12,8 m). Flommen i 1853 som kulminerte på 107,5 m (11 m) var også ekstrem.

Utsprengninger ved Mørkfoss som ble avsluttet i 1869 og 1975, og reguleringer i Glomma og Lågen, har forbedret flomforholdene i Øyeren vesentlig, men fortsatt må man regne med at store flommer vil kulminere mellom 102,5 og 104,5 m (6,0 og 8,0 m). Det tilsvarer avløp fra 3100 til 3600 m^3/s.

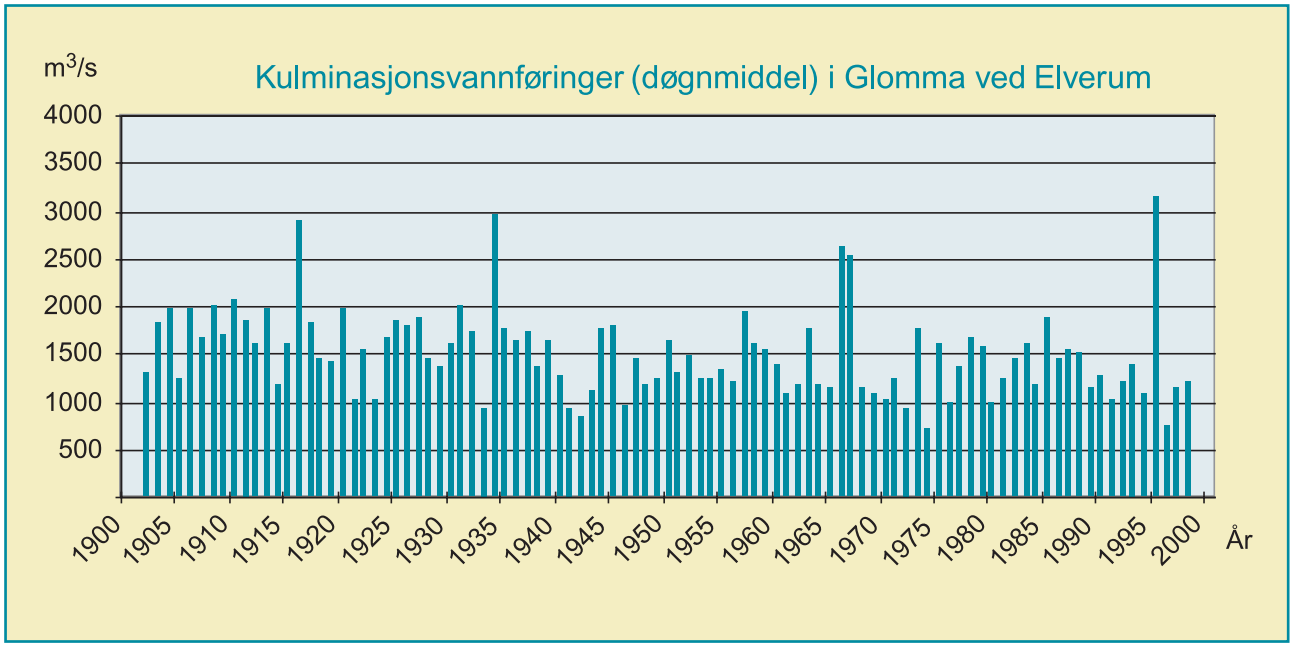
De 3 høyeste flomvannstandene i dette århundre er observert i 1967, 1927 og i 1910 på hhv. 106,61 (lokalhøyde på 10,07 m), 105,90 (9,36 m) og 105,83 m (9,29 m). Flomvannstanden i 1995 på 104,39 m (7,85 m) er den 10. høyeste. Midlere års flomvannstand har vært 103,0 m (6,45 m). Med eksisterende avløpskapasitet ville flomvannstanden i 1967 vært 2,2 m lavere enn observert.

GLB har analysert ekstreme flommer, og forutsatt eksisterende reguleringer og avløpskapasitet. Resultatet er 104,5 (8,0 m), 105,3 (8,8 m) og 107,1 m (10,6 m) for hhv. 100, 200 og 1000 års flom. Avløpet fra Øyeren ved 1000 års flomvannstand vil være 4600 m^3/s.



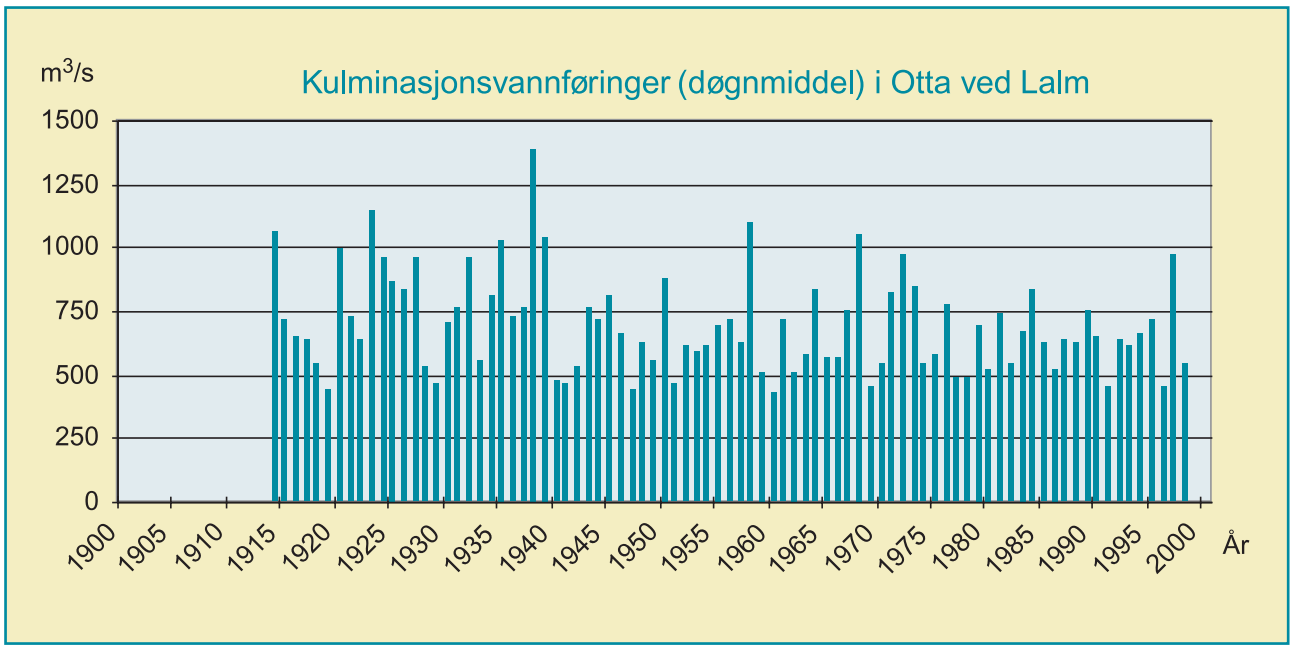
Figur 1.2: Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Glomma ved Stai.

Figure 1.2: Peak discharge (24-hour average) in River Glomma at Stai.



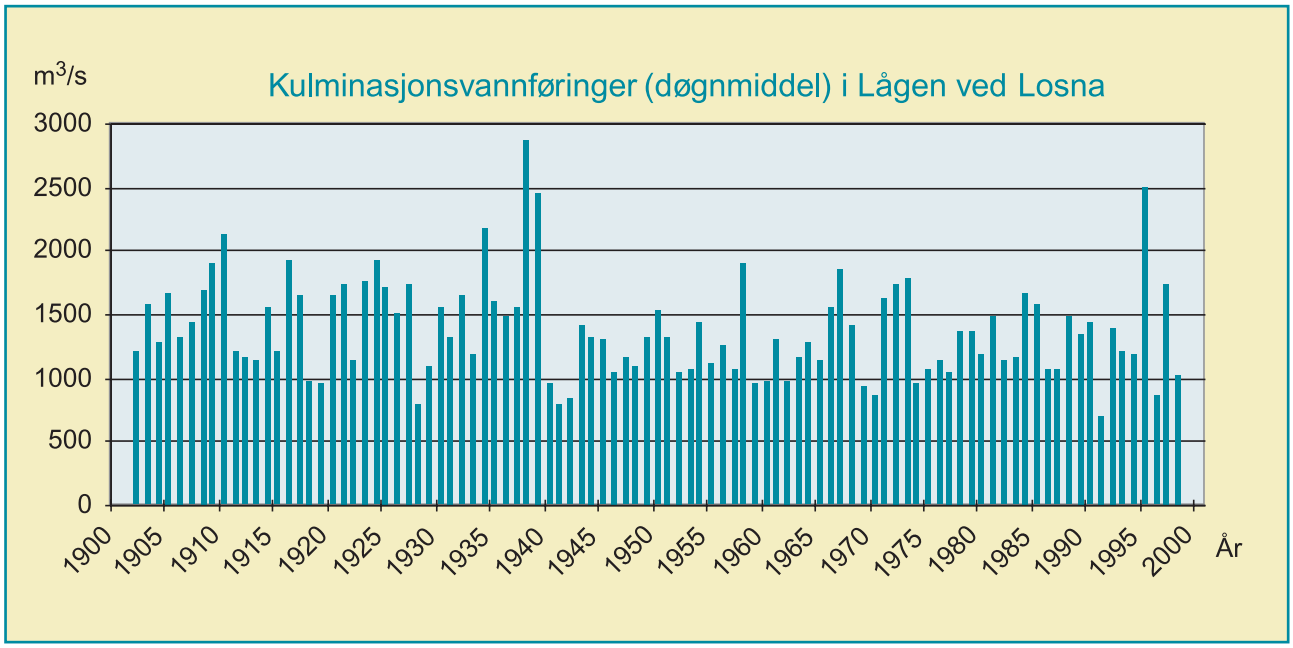
Figur 1.3: Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Glomma ved Elverum.

Figure 1.3: Peak discharge (24-hour average) in River Glomma at Elverum.



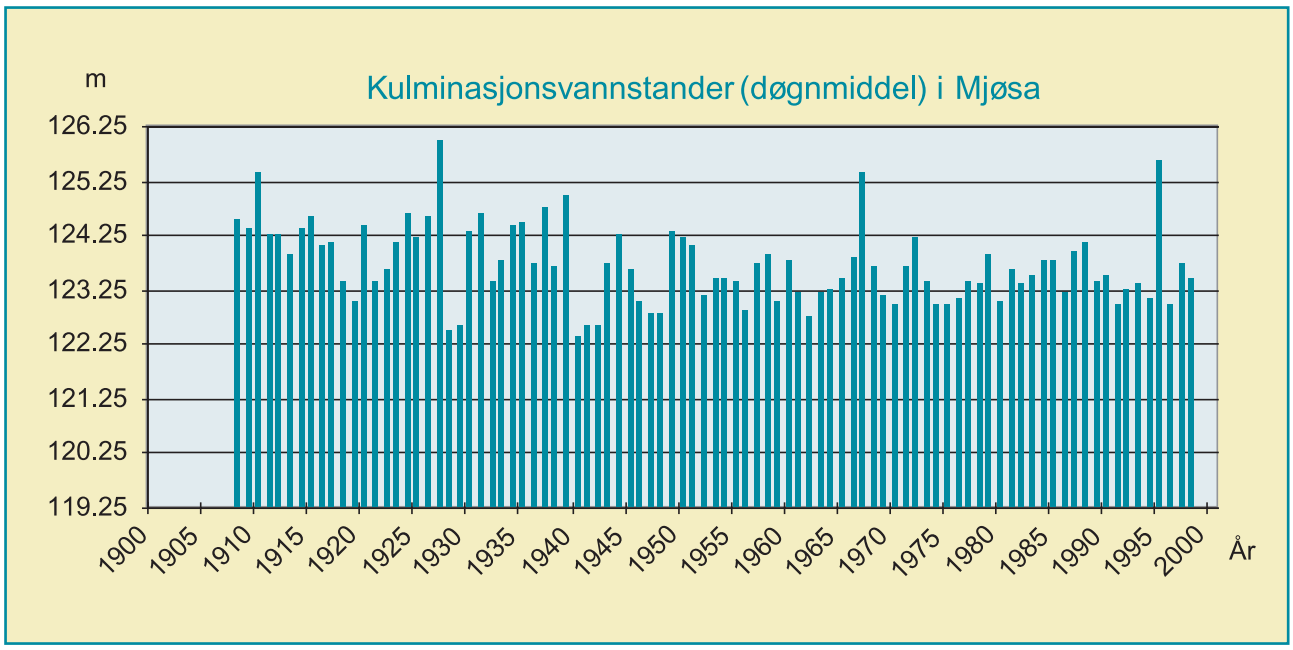
Figur 1.4: Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Otta ved Lalm.

Figure 1.4: Peak discharge (24-hour average) in River Otta at Lalm.



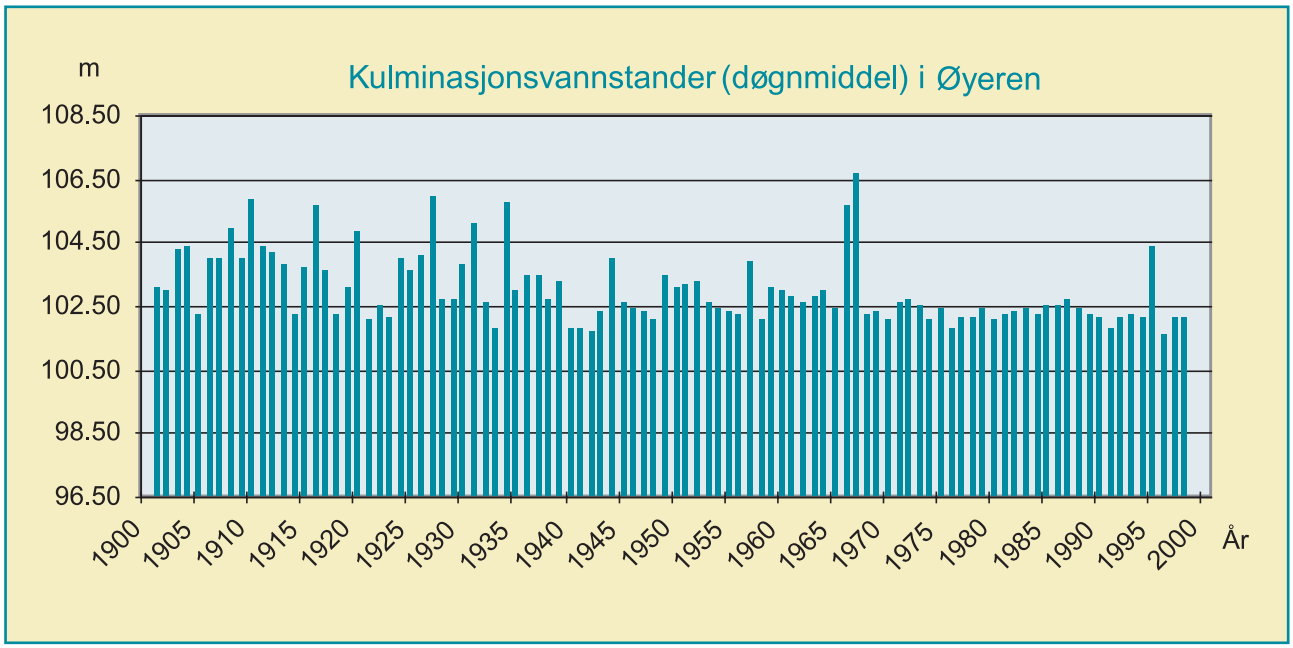
Figur 1.5: Kulminasjonsvannføringer (døgnmiddel) i Lågen ved Losna.

Figure 1.5: Peak discharge (24-hour average) in River Lågen ved Losna.



Figur 1.6: Kulminasjonsvannstander i Mjøsa.

Figure 1.6: Peak water level of Lake Mjøsa.



Figur 1.7: Kulminasjonsvannstander i Øyeren.

Figure 1.7: Peak water level of Lake Øyeren.

2. Vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen

2.1 Eksisterende reguleringer

Samlet magasinkapasitet i Glomma og Lågen er ca. 3600 millioner m^3 (Mm^3), som utgjør 16% av midlere årsavløp. GLBs reguleringer utgjør ca. 3250 Mm^3. I tillegg kommer ca. 330 Mm^3 fra reguleringer i Mesnavassdraget på 100 Mm^3, Gausavassdraget på 28 Mm^3, Moksavassdraget på 8 Mm^3, Hunnselv på 40 Mm^3, Næren på 23 Mm^3, Hurdalssjøen på 122 Mm^3, Myklebysjøen på 3 Mm^3 og Børtervann på 6 Mm^3.
Man kan uten anleggsmessige tiltak se bort fra potensialet ved å senke vannstandene under LRV for alle magasin unntatt Savalen og Osen. Tappekapasiteten er ikke stor nok til at vannet kan tømmes ut tidsnok før en større flom.

Under stor flom stiger vannstanden mange steder over HRV. Det er her et potensiale som kan dempe flommen nedenfor, men man må vurdere dette mot flomskader rundt sjøen og hva eksisterende dammer tåler.

2.2 Reguleringen av magasinene - prinsipper og praksis

Aursunden, Savalen, Storsjøen, Osen, Bygdin og Olstappen tillates svært sjelden å gå over HRV. Andre magasin, som Mjøsa og Øyeren, har normalt en årssyklus med en flomperiode over HRV. Fundin, Breidalsvann og Raudalsvann er bygd med faste overløp og ligger vanligvis en lengre periode hvert år over HRV. I Vinsteren og Kaldfjorden forutsettes at vannstanden overstiger HRV under stor flom. Dette er i henhold til manøvreringsreglementene.
Aursunden, Storsjøen og Breidalsvann fylles normalt med vårtilsiget og tappes vanligvis samtidig med fylling (såkalt forhåndstapping). Dette gir best utnyttelse i kraftverkene nedenfor og kan gi "ekstra" magasin til flomdemping. Aursunden og Storsjøen har fyllingsrestriksjoner i sommerperioden, henholdsvis 0,10 og 0,30 m under HRV, og tillates ikke fyllt til HRV før etter henholdsvis 15. og 1. september. Savalen og Osen skal fylles raskest mulig til henholdsvis 75 og 80% fylling før det tillates tapping fra magasinene. Det reduserer mulighetene til flomdemping. Magasin som Storsjøen og Mjøsa, med relativt store nedbørfelt ovenfor og god tappekapasitet, kan alltid brukes aktivt til flomdemping.

I Østerdalen utgjør vårtilsiget (i perioden 15.april til 30.juni) ca. 60% av tilsiget i vår/sommer/høstperioden (15.april til 31.oktober). I Otta- og Gudbrandsdalen smelter snøen senere og vårtilsiget utgjør 35-60% i de ulike regulerte nedbørfeltene. Alle magasinene blir fyllt før vinteren i normale år.

I år med ekstreme vårtilsig fylles nesten alle magasinene i Glomma innen 1.juli. Forhåndstapping er da av stor betydning for flomdempningen, men flommens forløp og i hvilken grad man lykkes med å tilpasse tappingen til flomtoppen vil være avgjørende.
Vårtilsiget og sommer/høsttilsiget er henholdsvis 50% (35-65%) og 90% (50-125%) større enn tilsvarende tilsig i et normalt år.

I tillegg til løpende vurderinger av magasintappinger for best utnyttelse i kraftverkene har man følgende generelle strategier for magasinene: I tørre perioder med lavt tilsig, og perioder med lave kraftpriser, legger man seg nærmere HRV enn i en mer ustabil og regnfylt tid.

2.3 Ytterligere regulering - mulige prosjekter

Etter skadeflommen i 1910 kom spørsmålet om regulering av flere sjøer på dagsorden. I juni 1919 forelå planer for ca. 20 reguleringer i Glomma og Lågen. 12 av disse er i dag gjennomført, men med et magasinvolum som er 675 Mm^3 eller 40% lavere enn den gang de ble planlagt.

Det er i innledningen vist til resultatet av Stortingets behandling av regjeringens "Flommelding" med mulige prosjekter. Det omfatter tilleggsreguleringer og utnyttelse av større overhøyder i eksisterende magasin ut fra en helhetsvurdering. Her inngår bl.a. lokaliseringen av nye prosjekter, tappekapasitet og manøvreringsreglement.

Totalt vil samlet magasinkapasitet på grunn av disse prosjektene øke med 36% til ca. 4900 Mm^3, som utgjør 22% av midlere årsavløp. Man vil om disse prosjektene blir gjennomført få vesentlig bedre muligheter enn i dag til å dempe store flommer, spesielt i Glomma.
Prosjektene er gitt en mer detaljert beskrivelse på sidene som følger.

I tillegg er prosjektet ytterligere senking av Mjøsa (1,75 m) og Minnesund pumpe interessant med tanke på flomdemping i Mjøsa, Vorma, Øyeren og Glomma. Tilleggsmagasinet utgjør 640 Mm^3. Prosjektet og flomdempingseffekten er beskrevet i kapittel 4.5.4.

Tabell 2.1: GLBs eksisterende reguleringer.

Table 2.1: Existing regulations in the Glomma and Lågen river basin managed by GLB.

Regulering	HRV – m NN-54	Regul. h. m	Magasin Mm^3	Årstilløp Mm^3	under LRV Mm^3	HRV+1 m Mm^3
Aursunden	691,10	5,90	215	630	1	42
Elgsjø	1132,39	5,35	11	25	-	2,3
Fundin	1021,75	11,00	64	135	10	10
Marsjø	1063,75	4,00	10	10	-	2,7
Savalen	707,54	4,70	61	150	75	15,3
Storsjøen	251,86	3,64	175	1100	75	47,5
Osen	437,82	6,60	265	690	35	46
Breidalsvann	900,39	13,00	70	180	4	6,4
Raudalsvann	912,80	30,30	166	235	5	7,2
Aursjø	1098,02	12,50	60	70	2	7,6
Tesse	854,42	12,40	130	230	8	11,3
Bygdin	1057,63	9,15	336	410	50	39
Vinsteren	1031,73	4,00	102	150	30	27,8
Heimdalsvann	1052,44	2,20	15	110	10	7,3
Kaldfjorden	1019,23	5,90	76	75	20	19
Øyangen	998,24	2,00	8	25	6	4,3
Olstappen	668,23	13,00	31	330	10	3,2
Mjøsa	122,94	3,61	1312	8945	150	360
Øyeren	101,34	2,40	145	8000	20	94
Totalt			3252	21500	511	753

HRV/LRV: Høyeste/laveste regulerte vannstand NN-54: Offentlig høydesystem Regul. h.: HRV-LRV

Generelt vil man forsere (om mulig) tappingen så mye som mulig før flomtoppen og utnytte den ledige magasinkapasiteten maksimalt under kulminasjonen. I noen av magasinene er det forutsatt spesielle flomdempningsmagasin (beredskapsmagasin) som bare tas i bruk under ekstreme flommer, spesielt høstflommer. Denne kapasiteten er 273 Mm^3. Generelt er det sikkerhetsmessig og økonomisk sett best å utnytte reguleringsmuligheter i fjellområder. Behovet for kostbare overløp ved fjellanleggene og forsterkning av anlegg i lavereliggende områder kan bli redusert. Det er som kjent alltid best å løse problemene ved kilden. Vinstravassdraget er et godt eksempel der ytterligere regulering av Bygdin, Vinsteren, Kaldfjorden og overføring fra Heimdalsvann bør vurderes før det planlegges ombygging av Olstappen dam.

Vågåvann har i dag betydelig selvregulering, men her kan man ved regulering få en vesentlig større flomdempingseffekt. Det er forøvrig stor selvregulering (se kapittel 3.2) i flere sjøer i Sjoa, i Losnavann i Lågen og i en del elveavsnitt.

Markbulia er i dag et lite inntaksmagasin for Einunna kraftverk Et større magasin i Markbulia vil ha stor betydning for å dempe vårflommer i Folla og i Glomma, spesielt i Alvdalområdet. Nesten hvert år er det flomtapping forbi Einunna kraftverk og Einunna/Savalenoverføringen. Disse har en kapasitet på bare 10 og 25,8 m^3/s, og det er et relativt stort lokalfelt nedenfor Fundin og Marsjø på 225 km^2. En økning av magasinet med 38 Mm^3 forutsetter 17 m ytterligere hevning av HRV og er plassert i SP kategori II (gruppe 7). Et alternativ med 18

Tabell 2.2: Tilsig i ulike nedbørfelter.

Table 2.2: Runoff in different catchments.

Nedbørfelt		Magasin Mm³	Tilsigsvolum (Mm³)			
Navn	km²		15.4-30.6	1.7-31.10	1.11-15.4	1.1-31.12
Aursunden	830	215	325	210	95	630
Einunna	280	85	90	60	20	170
Savalen	400	61	85	50	15	150
Storsjøen	2300	175	510	400	190	1100
Osen	1190	265	325	240	125	690
Breidalen	135	70	80	90	10	180
Raudalen	160	166	75	145	15	235
Aursjø	110	60	40	25	5	70
Veo/Tesse	380	130	100	115	15	230
Lalm uregul.	3200	0	1190	1200	110	2500
Bygdin	310	336	155	205	50	410
Vinsteren	160	102	80	55	15	150
Heimdalen	130	15	60	40	10	110
Kaldfj./Øyangen	145	84	55	40	5	100
Olstappen	635	31	170	110	50	330
Losna ~ureg.	5630	8 1)	1650	1400	250	3300
Mesna	270	100	75	65	30	170
Hurdalen	585	137 2)	165	120	90	375
Mjøsa	5450	1403 3)	1050	900	650	2600
Øyeren	17720	166 4)	3450	2500	2050	8000
Totalt	40020	3611	9730	7970	3800	21500

1) 4 magasin i Moksa
2) inkl. 5-6 magasin ovenfor Hurdalsjøen på tilsammen 15 Mm³
3) inkl.magasiner i Gausa, Hunnselv og Næra, tilsammen 91 Mm³
4) nkl. Myklebysjøen og Børtervann, tilsammen 9 Mm³

Mm³ og 12 m ytterligere hevning er plassert i kategori I. Et magasin på 39 Mm³ utgjør 46% av lokalt årstilsig.

Savalen er i dag regulert 4,7 m (4,1 m senkning) og kan i de fleste år holde tilbake lokaltilsiget (lokalfelt på 100 km²) og overført vann fra Einunna. Tynset/Alvdal-området nedenfor Tunna er flomutsatt, og de store flommene i 1958, 1966 og 1995 gjorde stor skade. Prosjektet omfatter en tilleggssenkning på 8,4 m og overføring av vann fra Lona og Magnilla til Tunna, med pumping videre til Savalen. Tunnas nedbørfelt er på 540 km², og det er forutsatt en pumpekapasitet på 40 m³/s og løftehøyden er ca. 30 m. Prosjektet som øker magasinkapasiteten til 139 Mm³ er plassert i SP kategori I (gruppe 5). Magasinet utgjør 66% av lokalt årstilsig og årstilløpet fra Tunna.

Rendalsoverføringen fra Høyegga har i dag ubetydelig verdi i forbindelse med flomdemping. Kapasiteten er bare 55 m³/s og i følge manøvreringsreglementet skal

overføringen stenges når avløpet fra Storsjøen overstiger 250 m^3/s. Bedre regulering i Storsjøen, og regulering i de store uregulerte feltene til Høyegga (4985 km^2) og mellom Høyegga og Stai (2330 km^2) ville hatt stor betydning for å redusere flomskade bl.a. i Stor-Elvdal.

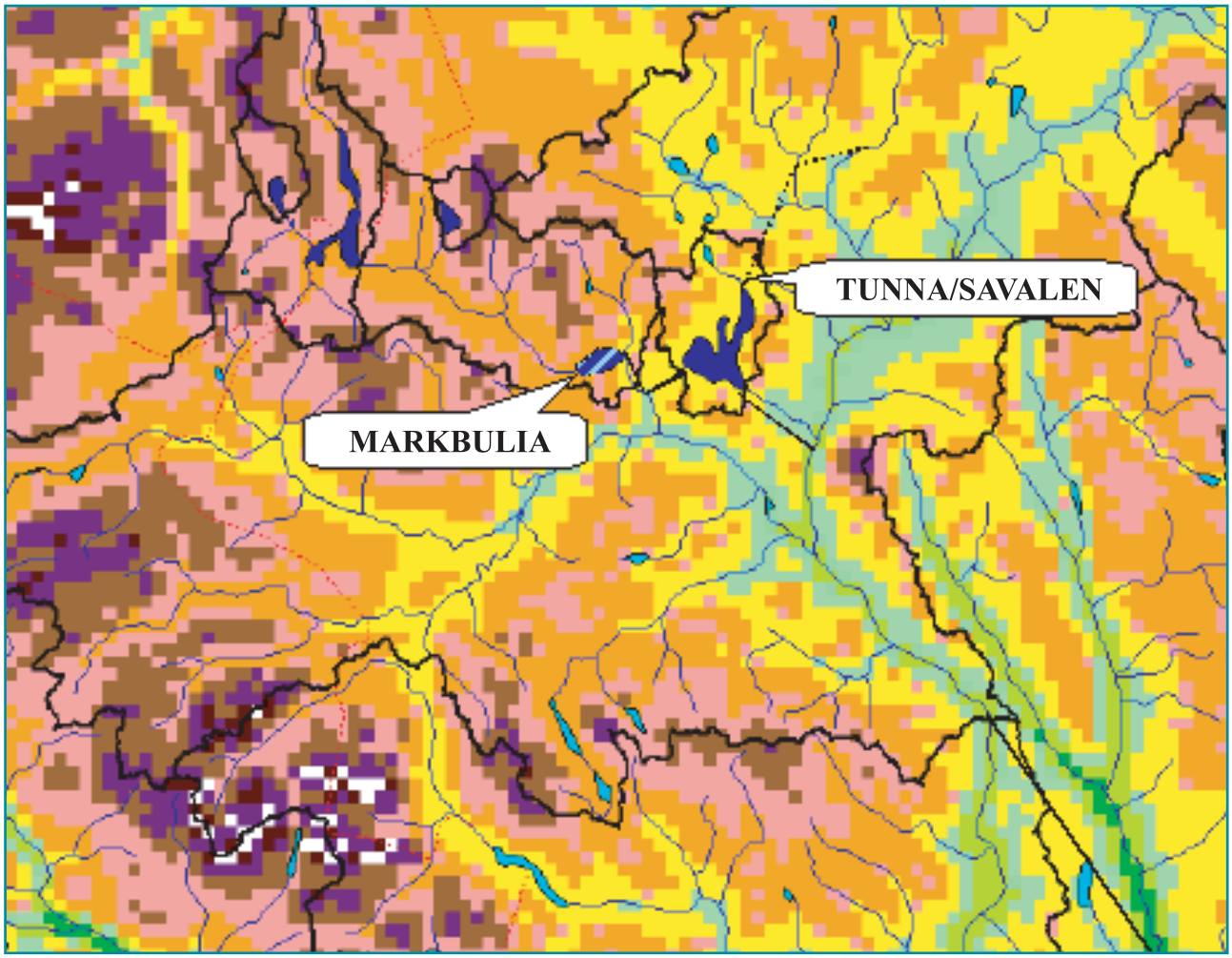
Regulering av Imsa har vært utredet i flere SP-alternativ med bl.a. 20 og 45 m heving av N. og S. Imssjøen fra kote 615, tilsvarende magasin på henholdsvis 40 og 137 Mm^3. Sistnevnte er blitt stående i kategori II (gruppe 12). Et mindre omfattende prosjekt med magasin på 60 Mm^3 forutsetter 27 m hevning. Magasinet vil utgjøre 44% av årstilløpet på 135 Mm^3, som er lokalt tilsig (160 km^2) og overført tilsig fra Trya (45 km^2) og Samdøla (35 km^2), eventuelt kan også N. og S. Eldåa (125 km^2) overføres. Et kraftverk med avløp ved Sundfloen ovenfor Stai, forutsettes bygget med kapasitet på 20 m^3/s.

Ytterligere overføring av vann fra Glomma til Storsjøen i Rendalen er svært interessant når det gjelder flomdemping. I prosjektet Burua, med overføring ved Sundfloen (265 moh.), vil tunnelen dels være driftstunnel for et nytt "Burua kraftverk" og dels være flomtunnel.

Overføringskapasiteten kan bli 60 m^3/s når kraftverket er i drift og 140 m^3/s i en flomsituasjon. Dersom Storsjøen i Rendalen reguleres ytterligere med en større tilleggssenkning (kfr. eget prosjekt) og/eller flommagasin kan flomdempningseffekten bli betydelig og med virkning helt til Fredrikstad.

Storsjøen i Rendalen er i dag regulert 3,64 m (2,4 m senkning) og magasinet regulerer bare 16% av lokaltilsiget. Et prosjekt som øker magasinkapasiteten til 500 Mm^3 forutsetter 7 m ytterligere senkning av LRV. Magasinet vil da utgjøre 26% av årstilløpet på 1900 Mm^3. Tilleggsmagasinet og tilløpet må pumpes ut når vannstanden er lavere enn nåværende LRV, ca. 100-150 m^3/s avhengig av vannstanden i Storsjøen. Kapasiteten i dag er 80 m^3/s ved LRV. Prosjektet bør ses i sammenheng med ytterligere overføring fra Glomma gjennom Burua kraftverk/flomtunnel.

Storsjøen blir i dag forhåndstappet sterkt om våren, og tappingen skal tilpasses naturlig avløp når vannstanden overstiger HRV. Prosjektet omfatter et flomdempningsmagasin i Storsjøen på 2 m (over HRV) som sammen



Figur 2.1: Mulige prosjekter i Nord-Østerdalen.

Figure 2.1: Potential projects in the northern part of the Glomma river.

Tabell 2.3: Mulige prosjekter.

Table 2.3: Potential projects.

Regulering	Idag				Fremtid		
	HRV – m NN-54	regul.h. m	mag. Mm^3	årstilløp Mm^3	årstilløp Mm^3	mag. Mm^3	regul.h. m
Markbulia	858,83	2,5	1	85	85	39	19,5
Tunna/Savalen	707,54	4,7	61	40	210	139	13,1
Imsa	(618)	-	-	-	135	60	27
Burua	(265)	-	-	-	(3000)	-	-
Storsjøen i R.	251,86	3,64	175	1100	1900	500 (+100)	10,64
Osen	437,82	6,6	265	690	720	300 (+43)	7,6
Raudalsvann	912,80	30,3	166	235	780	666	80,3
Vågåvann	(360)	-	-	-	2100	75	2,5
Jora	(890)	-	-	-	(240)	-	-
Bygdin	1057,63	9,15	336	410	460	385 (+90)	10,65
Vinsteren	1031,73	4,0	102	150	195	145 (+40)	6,1
Heimdalsvann	1052,44	2,2	15	110	15	15	2,2
Kaldfjorden	1019,23	5,9	76	75	210	175	10,4
Totalt			1197	2895	6810	2499	

med bedre fyllingsmuligheter og større tappekapasitet på lav vannstand, vil kunne redusere flomtoppen nedenfor i Rena og Glomma.

Osen er i dag regulert 6,6 m (4,9 m senkning), og magasinet regulerer 38% av tilsiget. Et prosjekt som øker magasinkapasiteten til 300 Mm^3 forutsetter 1 m senkning av LRV. Magasinet vil, forutsatt overføring av Østre Æra og Vesleflisa, utgjøre 42% av årstilløpet på 720 Mm^3. SP kategori I (gruppe 4/3) forutsetter 0,3 m senkning som gir et tilleggsmagasin på 10 Mm^3.
Osen blir i dag forhåndstappet om våren i år med store snømagasin. Tappekapasiteten er 52 m^3/s. NVE har nylig innstilt på et nytt og mer fleksibelt manøvreringsreglement, som forventes å bli godkjent i 1999.
Flomtappingen praktiseres i dag med streng håndheving av HRV. Prosjektet omfatter et flomdempningsmagasin på 1 m (over HRV) som vil kunne redusere flomtoppen nedenfor i Søre Osa, Rena og i Glomma. Det kan ikke påregnes ekstra flomdempning i vårflommen ved 1 m senkning av LRV, ut over at Østre Æra og øvre del av Flisa holdes tilbake i magasinet.

Raudalsvann er i dag regulert 30,3 m (23,3 m hevning) og magasinet regulerer 71% av årstilsiget. SP-prosjektet Øvre Otta i kategori I (gruppe 5) forutsetter overføring av bl.a. Tora (158 km^2), Føysa (90 km^2) og Måråi (80 km^2). Overføringskapasiteten vil være inntil 100 m^3/s. I SP er et annet prosjekt med ytterligere 95 m regulering av Raudalsvann plassert i kategori II (gruppe 8). Dette gir en flerårsregulering som forutsetter overføring ved pumping.

Et tredje og mindre prosjekt som forutsetter 50 m tilleggshevning øker magasinkapasiteten med 500 Mm^3. Overføringen baseres her på naturlig fall og kapasiteten forutsettes variere mellom 40 og 100 m^3/s avhengig av nivået i Raudalsvann. Magasinet på 666 Mm^3 vil utgjøre 85% av årstilløpet på 780 Mm^3.

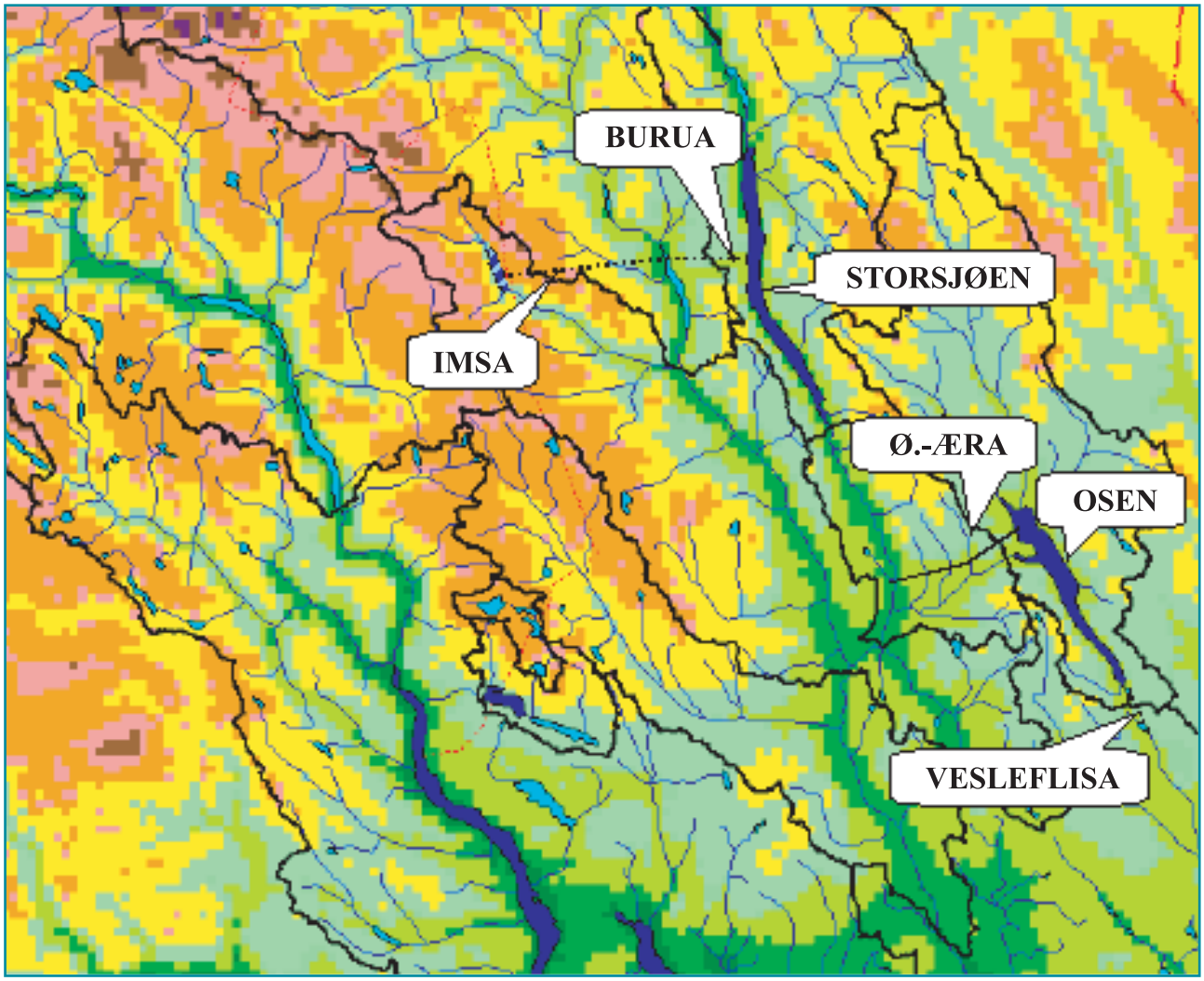
Vågåvann er naturlig selvregulert og sjøen stiger inntil 3,5 m under stor flom. Det tilsvarer en magasinering på inntil 90 Mm^3. Vanlig flomstigning om våren/forsommeren er 2-2,5 m.

Et forprosjekt ble rapportert til GLB i januar 1995 og tok utgangspunkt i en regulering som blant annet ville gi muligheter til å holde høyere nivå enn i dag (tiltak i utløpet har senket sjøen) i lavvannsperioder.
Hovedalternativet forutsatte 1,8 m regulering som tilsvarer 36 Mm^3 magasin.
Et større prosjekt som legger vekt på flomdemping forutsetter 2,5 m regulering med HRV noe lavere enn kulminasjonsvannstanden under stor flom. Man kan her eventuelt legge begrensninger på øverste del av magasi-

net i normalsituasjonen. Totalt magasin utgjør 75 Mm^3. Det er forutsatt en økning av avløpskapasiteten med inntil 100 m^3/s for å kunne utnytte magasinet effektivt til flomdemping. Vågåmo, som ligger ved utløpet av Vågåvann og Finna, er flomutsatt og flommene i 1938, 1939 og 1958 gjorde spesielt stor skade. Man vil med en regulering i Vågåvann om ønskelig kunne overføre Finna (425 km^2 og tunnel på 1,5-2 km) og redusere flomskadene der vesentlig. Det er også et poeng at Finna virker oppstuvende på Vågåvann under stor flom. Man vil derfor kunne bedre avløpsforholdene med en overføring, og regulere avløpet fra både Finna og Vågåvann. Det er ikke forutsatt overføring av Finna i analysene av Vågåvanns flomdempingseffekt. Lokalt er det mest fokusert på tørrlagte sandbanker ved Lom.

SP-prosjektet Jora med overføring (350 km^2) til Aursjømagasinet i Møre og Romsdal er plassert i kategori 1 (gruppe 5) og omfatter også opprusting av Auraverkene. Jora er et sidevassdrag til øvre del av Lågen og kan under stor flom ha en vannføring på inntil 150 m^3/s. Et utvidet prosjekt, som kan gi større flomdemping enn SP-prosjektet, forutsetter en kapasitet på 125 m^3/s om våren når Aursjø er nedtappet og 100 m^3/s om høsten. Flommene i 1938, 1973 og 1995 gjorde stor skade i Sel, og Otta tettsted der Lågen og Otta møtes er spesielt flomutsatt.

Bygdin er i dag regulert 9,15 m (8,25 m senkning) og magasinet på 336 Mm^3 regulerer 82% av årstilsiget. Et SP-prosjekt i kategori 1 (gruppe 1) forutsetter overføring av 40 Mm^3 fra Nedre Heimdalsvann (ingen tilleggsregulering her) til Bygdin ved hjelp av en ny grentunnel til Vinsteren og pumping fra Vinsteren. Det er forutsatt utvidet regulering av Vinsteren med 0,6 m senkning. Bygdin pumpekraftverk forutsettes bygget med en pumpekapasitet på 8 m^3/s, og tappekapasiteten ved LRV vil øke fra 6 til 30 m^3/s.



Figur 2.2: Mulige prosjekter i Midtre Glomma.

Figure 2.2: Potential projects in the middle part (section) of the Glomma river.

Pumping med 8 m^3/s i 2 1/2 måned vil hvert år tilsvare et tilleggsmagasin på 50 Mm^3 i Bygdin, som er ca. 50% av overført tilsig fra Heimdalsvann. Det forutsettes ytterligere 1,5 m senkning. Samlet magasin på 385 Mm^3 utgjør 84% av årstilløpet. Nytt inntak/dam for kraftverket vil sikre at minimum naturlig sommervannstand kan opprettholdes i Raufjorden lengst øst i Bygdin. Bygdin kan under stor flom stige over HRV med begge flomlukene helt åpne. Hvis Bygdin (som foreslått i Stortingsmelding 42) skal kunne stige inntil 2 m over HRV (sannsynligvis vil 1 m være tilstrekkelig for å dempe alle større flommer) må dammen ombygges. Flomdemping her vil være langt gunstigere enn å satse på mer kostbare tiltak i Vinstra og lenger ned i vassdraget .

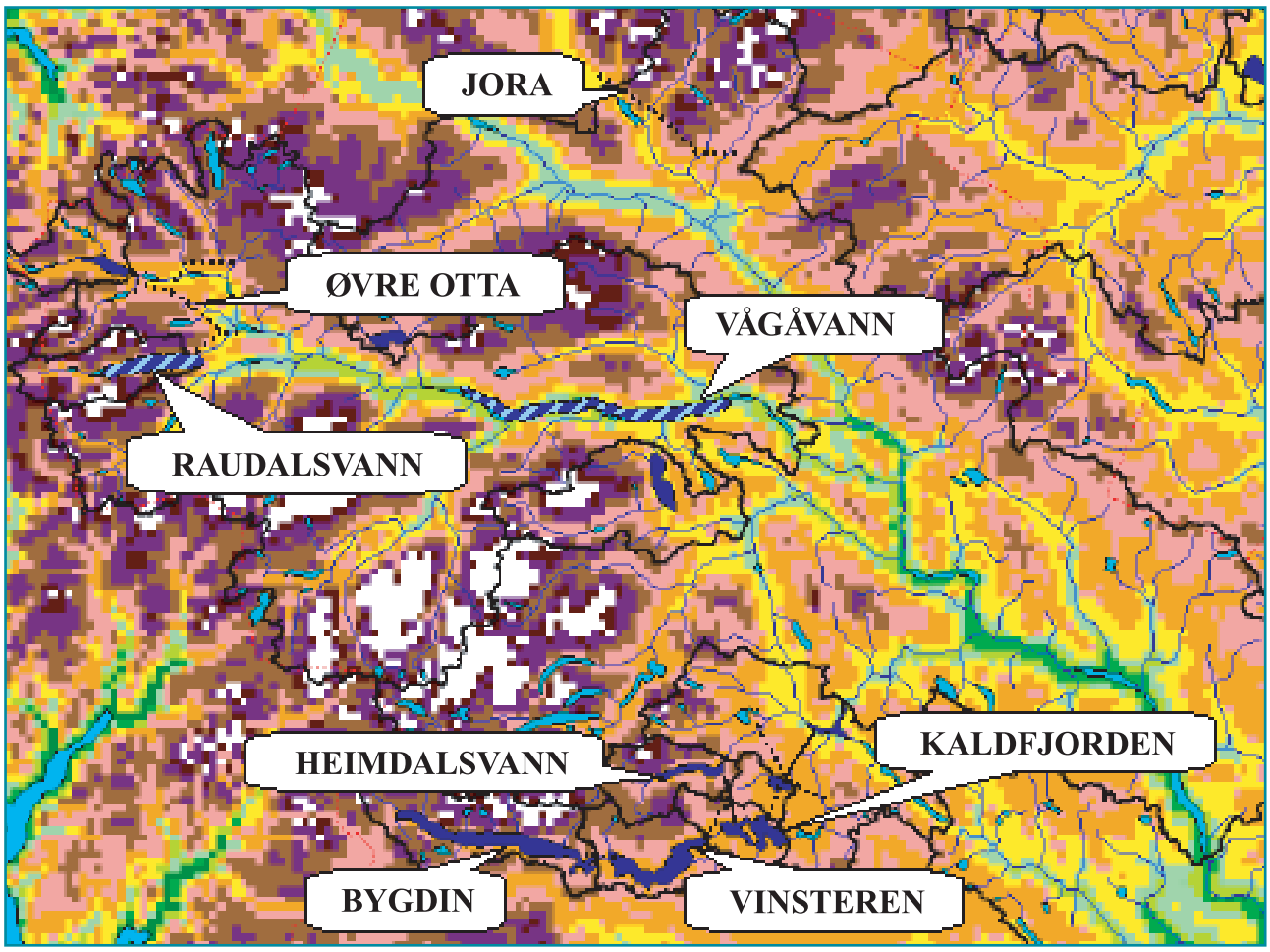
Vinsteren er i dag regulert 4 m (3 m senkning) og magasinet på 102,5 Mm^3 utgjør 68% av lokalt årstilsig. SP-prosjektet i kategori I (gruppe 1) forutsetter som nevnt en utvidet regulering med 0,6 m ytterligere senkning og overføring av 40 Mm^3 fra Nedre Heimdalsvann via Vinsteren til Bygdin. Etter at 15 Mm^3 er fyllt opp i Heimdalsvann overføres i dag det meste av resterende årstilsig på 95 Mm^3 til Kaldfjorden. Dette kan med ny overføring fordeles på Bygdin og Vinsteren. Vinsteren kan senkes ytterligere da det er brukbar tappekapasitet ved LRV. En økning av magasinkapasiteten bør imidlertid forutsette at et annet tilløp kan fylle opp magasinet i Kaldfjorden (kfr. neste avsnitt). Et prosjekt med samlet magasin i Vinsteren på 145 Mm^3 vil utgjøre 74% av årstilløpet (lokaltilsiget til Vinsteren og netto overføring fra Heimdalsvann etter bidrag til fylling av Bygdin) og forutsetter 2,1 m ytterligere senkning. Det forutsettes da ny overføringstunnel med en kapasitet på 35 m^3/s. Dagens kapasitet på overføringen til Kaldfjorden er 13 m^3/s. Man får økt flomdemping og kan se bort fra flomtap i Hinøgla nedenfor Heimdalsvann.

Vinsteren kan under stor flom kortvarig stige 0,5 m over HRV. Vinsteren dam er moden for rehabilitering og det bør (som foreslått i Stortingsmelding 42) legges til rette for at sjøen kan stige 1,5 m over HRV. Det gir et flommagasin på 40 Mm^3. Flomdemping vil også her være langt gunstigere enn å satse på vesentlig mer kostbare tiltak nedenfor.

Kaldfjorden er i dag regulert 5,9 m (5,5 m hevning) og magasinet på 76 Mm^3 utgjør 41% av årstilløpet, lokalt tilsig og overført fra Heimdalsvann. Uten overføringen utgjør magasinet 101% av tilløpet. Et SP-prosjekt kategori II (gruppe 11) forutsetter 12,5 m ytterligere hevning av Kaldfjorden som gir et tilleggsmagasin på 325 Mm^3. Prosjektet forutsetter pumping fra Olstappen og pumpehøyden vil være 345-360 m.

Et langt mindre prosjekt med 4,5 m hevning av HRV gir et samlet magasin på 175 Mm^3. Som nevnt vil overføringen fra Heimdalsvann til Vinsteren redusere grunnlaget for fyllingen av Kaldfjorden vesentlig. Det bør derfor overføres vann fra Olstappens lokalfelt, og her er man avhengig av pumping. Det er imidlertid forskjell på om overføringer/pumper dimensjoneres for vannkraftformål eller flomdempingsformål. Det er mulig å pumpe fra Åkrevann i nord (90 km^2) og Vinsterlona i øst (110 km^2) i nivå 900 m og henholdsvis 8 og 3 km fra Øyangen. I nord er det også mulig å inkludere Flekka (65 km^2). Beregninger viser at man kan ta vare på det meste av tilsiget (i et mediant år 93%) med en pumpekapasitet på 15 m^3/s. Ut fra et flomdempingssynpunkt er denne effekten liten. Statistisk kan man regne med 75, 65 og 50 m^3/s henholdsvis hvert 100, 50 og 20 år. Man har i analysene av flomdempingseffekt forutsatt kapasiteter på henholdsvis 25 og 30 m^3/s fra Åkre og Vinsterlona, og 50 m^3/s videre til Kaldfjorden. Magasinet i Øyangen er 8 Mm^3, basert på 2 m regulering. Forutsatt et årstilløp til Kaldfjorden på 210 Mm^3 vil magasinet på 175 Mm^3 utgjøre 83%.

En hevning av HRV kan som for Vinsteren ses i sammenheng med ombygging av dammen slik at man i større grad kan "overtoppe" magasinet. I Kaldfjorden vil en overhøyde på 1 m over dagens HRV utgjøre ca. 20 Mm^3 (evt. 25 Mm^3 hvis HRV økes med 4,5 m). I disse analysene er det ikke forutsatt flommagasin.



Figur 2.3: Mulige prosjekter i Otta- og Gudbrandsdalen.

Figure 2.3: Potential projects in the Otta and Lågen rivers

3. Effekten av eksisterende reguleringer på flommen i 1995

3.1 Innledning

Virkningen av eksisterende reguleringer i Glomma og Lågen under flommen i 1995 var betydelig og er allerede godt dokumentert. Det vises her til GLBs flomrapport fra april 1996 "Flommen 1995 i Glomma og Lågen". GLB-rapporten "Effekten av vassdragsreguleringene i Glomma og Lågen på flommen i 1995" fra mai 1998 er resultatet av arbeid innenfor HYDRA-programmet (prosjekt F2) og er utgangspunktet for kapittel 1 og 3 i denne HYDRA-rapporten. I GLB-rapporten er det i tillegg dokumentert avløpskurver som er brukt i selvreguleringsberegninger, og tabeller med observasjonsdata og resultater.

Virkningen av reguleringene i 1995 ble betydelig ikke bare fordi magasinene var tømt før flommen, men også fordi de ble sterkere tappet enn vanlig under oppfylling og fordi det ble foretatt aktiv regulering under flommen.

3.2 Sjøer og elver - naturlig selvregulering

Vannstanden synker og stiger i alle uregulerte sjøer og elver nesten i takt med variasjonene i tilsiget. Vannstandsvariasjonene er litt forsinket og dempet i forhold til tilsigsvariasjonene. Dette kalles selvregulering. Selvreguleringen er størst i store sjøer med store nedbørfelt og trange avløpsprofil.

I løpet av vinteren synker vannstanden i mange sjøer i Glomma og Lågen ca. 0,5 m. Vårstigningen er ca. 1 m, og gjerne 2 m i store flommer. Volumet av og varigheten på flommen er av stor betydning for flomstigningen både i ulike sjøer og i elvene nedenfor. Vannstanden i elvene stiger gjerne mer enn i sjøene, 3-4 m er ikke uvanlig. Vannstandsnivået før en flom kan være av stor betydning for kulminasjonsvannstanden.

Det er nødvendig å beregne naturlig selvregulering hvis den reelle effekt av reguleringene under flom skal komme til uttrykk. GLB har beregnet naturlig selvregulering for Aursunden, Storsjøen, Osen, Bygdin, Mjøsa og Øyeren for flommen i 1995. For mange av de øvrige magasinene foreligger typiske vannstander for sjøene i uregulert tilstand, hhv. vinter, vår, sommer. Med utgangspunkt i dette og aktuelle data fra 1995 er det utført en forenklet selvreguleringsberegning for Einunna/Savalen, Otta og Vinstravassdraget.

3.3 Meteorologiske forhold

Snøsmeltingen startet tidlig, i februar/mars, i lavtliggende områder. Snømengdene varierte endel omkring 15.april, fra ca. 125% av normalt i nordlige og nordvestlige områder, til 130-150% i midtre og sydlige områder. Totalt sett var snømagasinet 140% av normalt. I første halvdel av mai smeltet endel snø under 5-600 m. Vannføringene var synkende da smeltingen startet fra høyereliggende områder. Snømengdene økte i mai i områder over 6-700 m, frem til smeltingen startet omkring 22.-27.mai (senest i høyfjellsområdene) Fra 28.mai kom det, frem til flommen kulminerte 2.juni i de midtre delene av Glomma og Lågen, i tillegg fra 50 til over 100 mm nedbør (minst i lavereliggende områder).

3.4 Reguleringen/effekten av reguleringer i Glomma

3.4.1 Reguleringen/effekten av Aursunden

I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren 1,4 m. Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden med ca. 1 m. Flommen i 1995 ville gitt en flomstigning på 2,3 m, med kulminasjon 3.juni på kote 691,80 m (0,7 m over høyeste regulerte vannstand, HRV) og et avløp på 300 m^3/s.

Aursunden ble regulert i 1921 for å redusere skadeflommer i Glomma. Reguleringen er 5,9 m (4,5 m senkning) som tilsvarer 215 Mm^3 magasin. HRV er på 691,10 m. Det forelå planer i 1919 (etter skadeflommen i 1910) om 9 m regulering (LRV 3,1 m lavere enn i dag), som ville gitt et magasin på 300 Mm^3.

Normalt snømagasin 15.april er 300 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er 325 Mm^3. I et år med normalt tilsig kan bare 66% av vårtilsiget magasineres. Det forhåndstappes derfor de fleste år en del vann i første fase av flommen. Store flommer skal avledes ved at Aursunden "oppfører seg" som uregulert sjø, slik at flommen nedenfor ikke blir forsterket.

Snømagasinet i Aursundfeltet var 15.april 1995 beregnet til 375 Mm^3, som er 125% av normalt snømagasin. Snøsmeltingen startet for alvor 23.mai, og tilsiget kulminerte 1.juni med 330 m^3/s. Dette er høyeste tilsig i dette århundre. Det var nesten like høyt i 1934 (8.mai) med 325 m^3/s og høyt i 1944 (11.juni) med 265 m^3/s.

Tabell 3.1: Snømagasin pr. 15. april 1995 og tilsigsvolum i tiden 15. april - 30. juni 1995.

Table 3.1: Calculated snow storages by april 15, 1995 and runoff in the period april 15 to june 30, 1995.

Nedbørfelt		Magasin Mm^3	Snømagasin		Tilsigsvolum	
Navn	km^2		Mm^3	% av normalt	Mm^3	% av normalt
Aursunden	830	215	375	125	440	135
Einunna	280	85	105	125	140	155
Savalen	400	61	125	140	130	155
Storsjøen	2300	175	700	150	770	150
Osen	1190	265	430	155	485	150
Breidalen	135	70	100	100	100	125
Raudalen	160	166	135	125	90	120
Aursjø	110	60	60	135	60	150
Veo/Tesse	380	130	160	130	135	135
Lalm uregul.	3200	0	2100	130	1490	125
Bygdin	310	336	230	140	200	130
Vinsteren	160	102	90	135	105	130
Heimdalen	130	15	60	135	85	140
Kaldfj./Øyangen	145	84	50	125	75	135
Olstappen	635	31	170	120	230	135
Losna ~ureg.	5630	8	2400	140	2400	145
Mesna	270	100	120	160	115	155
Hurdalen	585	137	230	150	250	150
Mjøsa	5450	1403	1000	160	1600	150
Øyeren	17720	166	4500	140	5200	150
Totalt	40020	3611	13140	140	14070	145

Pålagt minstevannføring fra Aursunden er 8 m^3/s, men det er vanlig å tappe mer pga. det store vårflomvolumet som kan forventes. Det er imidlertid fysiske begrensninger i tappekapasiteten på lav vannstand. I 1995 ble det i tiden 8.mai-1.juni forhåndstappet (ut over 8 m^3/s) 23 Mm^3. Tappingen var 1.juni bare 10 m^3/s. Naturlig flomvannføring ville vært 230 m^3/s. Tilsvarende var tappingen og flomdempingen 2.juni hhv. 25 og 245 m^3/s. Vannstanden i Aursunden var 23.mai ca. 4 m lavere enn den ville vært i uregulert tilstand.

Naturlig vannstand ville vært ca. 1,15 m under HRV. Frem til naturlig kulminasjon 3.juni ville Aursunden ha steget 1,85 m. I 1995 nådde vannstanden HRV 7.juni. Avløpet var 140-150 m^3/s i tiden 5.-9.juni.

Flommen i Glomma ble i 1995 redusert med ca. 225 m^3/s i forhold til naturlig flom. Med en tapping på 10 m^3/s også 2.juni kunne man økt flomdempingen med 10-15 m^3/s.

3.4.2 Reguleringen/effekten av Fundin, Einunnaoverføringen og Savalen

I Einunna har det fra 1914 vært mindre reguleringer i Elgsjø og Marsjø, tilsammen 21 Mm^3 magasin. Savalen ble regulert ca. 1 m fra 1925 for småkraftverk i Sivilla. Fra 1970 har magasin i Fundin (11 m oppdemning, 64 Mm^3) og Savalen (4,1 m senkning og 0,6 m hevning, 61 Mm^3) blitt regulert med tanke på kraftverksinteressene i Savalen og Rendalen kraftverk. Det forelå planer i 1968 om ytterligere 8,4 m senkning i Savalen (basert på pumping av vann fra Glomma) som ville gitt 77 Mm^3 tilleggsmagasin. Overføringen av Einunna til Savalen (285 Mm^3/år) har en kapasitet på 25,7 m^3/s. I gjennomsnitt overføres 92% av tilløpet.

Tilsammen kan det i Einunna/Savalen magasineres 146 Mm^3. Normalt vårtilsig (15.april-30.juni) er 175 Mm^3. Det vil si at 83% av tilsiget kan magasineres.

Snømagasinet i Einunna- og Savalenfeltet (680 km^2) var 15.april 1995 beregnet til hhv. 105 og 125 Mm^3, som er hhv. 125 og 140% av normalt snømagasin.

Det smeltet litt snø i nivå 7-800 m i tiden 4.-12.mai, men snøsmeltingen startet først for alvor 23.mai. Det kom snø i tiden 12.-23.mai. Totaltilsiget til Einunna/Savalen kulminerte 1.juni med 185 m^3/s. Tilsiget er i det høyeste i dette århundre. Det var forøvrig høyt også i 1934 (7.mai) med 150 m^3/s og i 1966 (17.mai) med 175 m^3/s.

I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren i Savalen ca. 0,9 m. Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden med ca. 0,7 m. Lokalfeltet til Savalen utgjør bare ca. 15% av totalfeltet (680 km^2). Det er liten naturlig selvregulering i Einunnafeltet. Totalfeltets selvregulering er beregnet etter en forenklet metodikk. Flomforløpene (uregulert/selvregulert/naturlig og regulert) er vist nedenfor.

Pålagte minstevannføringen fra Fundin er 0,3 m^3/s. Manøvreringsreglementet for Savalen tillater ikke tapping før vannstanden er på kote 706,2 m (1 m under HRV eller 75% av fullt magasin). Da snøsmeltingen i Einunnafeltet startet for alvor 23.mai var det magasinert 28 Mm^3 (46% fylling) i Savalen. Tilsvarende for Einunna/Savalen totalt var 35 Mm^3 (24%).

Under flommen ble det tappet minstevannføring fra Fundin (og forøvrig ikke tappet fra Elgsjø og Marsjø). Savalen kraftverk ble ikke kjørt før 29.mai, og frem til og med 2.juni ble det tappet/kjørt 5 Mm^3 (i ettertid ser man at dette volumet kunne vært magasinert). Tappingen 1. og 2.juni var hhv. 18 og 17 m^3/s. Naturlig flomvannføring er beregnet til 177 og 173 m^3/s hhv. 1. og 2.juni. Forbitappingen ved Einunna overføringspunkt og tappingen fra Savalen var tilsammen hhv. 73 og 70 m^3/s. Det vil si en flomdemping nedover i Glomma på ca. 100 m^3/s.

I tiden 25.mai-2.juni ble det tappet ca. 26 Mm^3 forbi Einunna overføringspunkt. Med større magasinkapasitet, f.eks. i Markbulia, kunne flommen blitt redusert med ytterligere ca. 50 m^3/s. Hvis Savalen hadde blitt presset helt opp mot HRV kunne flommen blitt redusert med ytterligere ca. 15 m^3/s. I tiden 3.-13.juni ble det overført bare 18 m^3/s til Savalen for å redusere sannsynligheten for flomtapping i Sivilla nedenfor Savalen.

3.4.3 Reguleringen/effekten av reguleringer ovenfor Alvdal og Rendalsoverføringen

Samlet magasin ovenfor Alvdal utgjør 361 Mm^3. Glomma overføres til Rendalen ca. 25 km syd for Alvdal (ved Barkald) og utnyttes i Rendalen og Løpet kraftverk Det kan overføres inntil 55 m^3/s, i middel ca. 1200 Mm^3/år (ca. 40% av tilløpet).

Flommen i Glomma ved Alvdal kulminerte 2.juni med ca. 1450 m^3/s. Reguleringene ovenfor dempet flommen med 325 m^3/s eller ca. 18%. Reduksjonen i vannstanden var ca. 1,0 m ved Alvdal.

Rendalsoverføringen ble stengt 31.mai i hht. reglement og bidrog følgelig ikke til flomdempning i Stor-Elvdal. Her kulminerte flommen 2.juni kl.16 på ca. 2000 m^3/s. Flomdempingen er beregnet til 325 m^3/s (14% reduksjon) og utgjør ca. 0,7 m ved Stai.

3.4.4 Reguleringen/effekten av Storsjøen

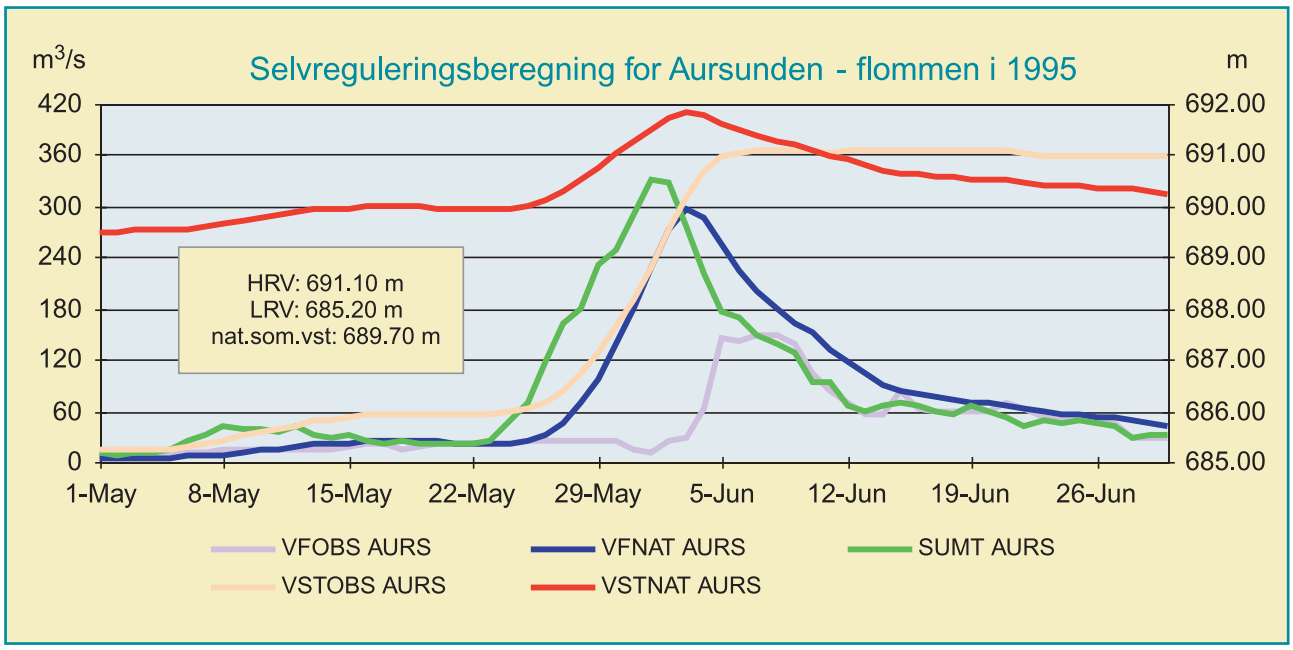
I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren ca. 1,7 m. Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden med ca. 1,4 m. Flommen i 1995 ville gitt en flomstigning på 3 m med kulminasjon 3.juni på kote 253,29 m (1,43 m over HRV) og et avløp på 575 m^3/s.

Storsjøen i Rendalen har vært regulert siden 1948. Fra 1970 har Storsjøen vært regulert mellom 251,86 m (HRV) og 248,22 m (LRV), dvs. 3,64 m (2,4 m senkning) som gir et magasin på 175 Mm^3. Det forelå planer i 1919 om 8,5 m regulering (HRV 3,25 m høyere enn i dag), som ville gitt et magasin på 425 Mm^3 (en vesentlig del som flommagasin).

Normalt snømagasin 15.april er 465 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er 510 Mm^3. Bare 34% av vårtilsiget kan magasineres. Det forhåndstappes derfor en del vann i første fase av flommen. Store flommer skal avledes ved at Storsjøen "oppfører seg" som uregulert sjø, slik at flommen nedenfor ikke blir forsterket. Flommene i 1916, 1934 og 1995 kulminerte hhv. 0,65 m, 0,8 m og 0,8 m over HRV. I 1995 ville flommen naturlig ha kulminert ca. 1,4 m over HRV.

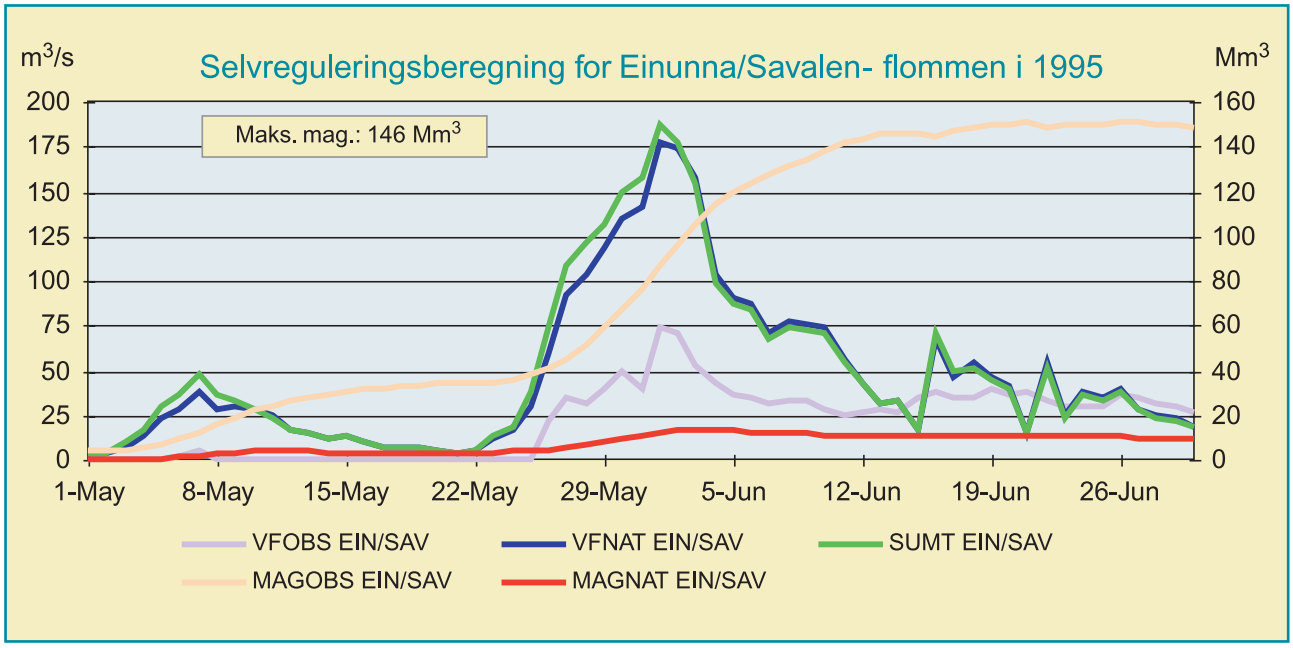
Snømagasinet i Storsjøfeltet var 15.april 1995 beregnet til 700 Mm^3, som er 150% av normalt snømagasin. Snøsmeltingen startet for alvor 23.mai, og tilsiget kulminerte 1.juni med 630 m^3/s. Dette er høyeste tilsig i dette århundre. Det var relativt høyt også i 1916 (10.mai) med 455 m^3/s, i 1934 (7.mai) med 440 m^3/s, i 1966 (20.mai) med 460 m^3/s og i 1967 (26.mai) med 480 m^3/s.

Pålagte minstevannføringen fra Storsjøen er 7 m^3/s, men i tillegg tappes som regel overført vann (inntil 55 m^3/s i Rendalsoverføringen) fra Glomma. Det er god tappe-



Figur 3.1: Selvreguleringsberegning for Aursunden.

Figure 3.1: Calculated natural self-regulation for Lake Aursunden.



Figur 3.2: Selvreguleringsberegning for Einunna/Savalen.

Figure 3.2: Calculated natural self-regulation for Einunna river basin reservoirs and Lake Savalen.

kapasitet på lav vannstand (på LRV ca. 80 m^3/s). I 1995 ble det i tiden 1.mai-1.juni forhåndstappet (ut over 7 m^3/s og overført vann) 220 Mm^3. Tappingen var 1., 2. og 3.juni hhv. 430, 345 og 300 m^3/s. Naturlig flomvannføring ville vært 440, 545 og 575 m^3/s. Det vil si en beregnet reduksjon i flomvannføringen nedover i Glomma på ca. 225 m^3/s. Storsjøens bidrag til flomdempningen i Glomma ned til Elverum, der flommen kulminerte 2.juni ca. kl. 20, settes til 225 m^3/s. Det regnes da med et naturlig avløp på 525 m^3/s og at vannføringen 5-6 timer tidligere ble satt ned til 300 m^3/s.

Vannstanden i Storsjøen var 23.mai 2,2 m lavere enn den ville vært i uregulert tilstand. Naturlig vannstand ville vært 0,85 m under HRV. Frem til kulminasjonen 3.juni ville Storsjøen naturlig ha steget 2,3 m. Vannstanden nådde HRV 2.juni og kulminerte 4.juni på 252,65 m, dvs. 0,8 m over HRV, men 0,65 m under naturlig kulminasjonsvannstand (beregnet ved selvregulering).

Flommen i Glomma ble i 1995 redusert med ca. 225 m^3/s i forhold til naturlig flom. Hvis Storsjøen hadde blitt hevet opp mot naturlig kulminasjonsvannstand, eventuelt forhåndstappet enda sterkere, kunne flommen blitt redusert med ytterligere inntil 300 m^3/s.

3.4.5 Reguleringen/effekten av Osen

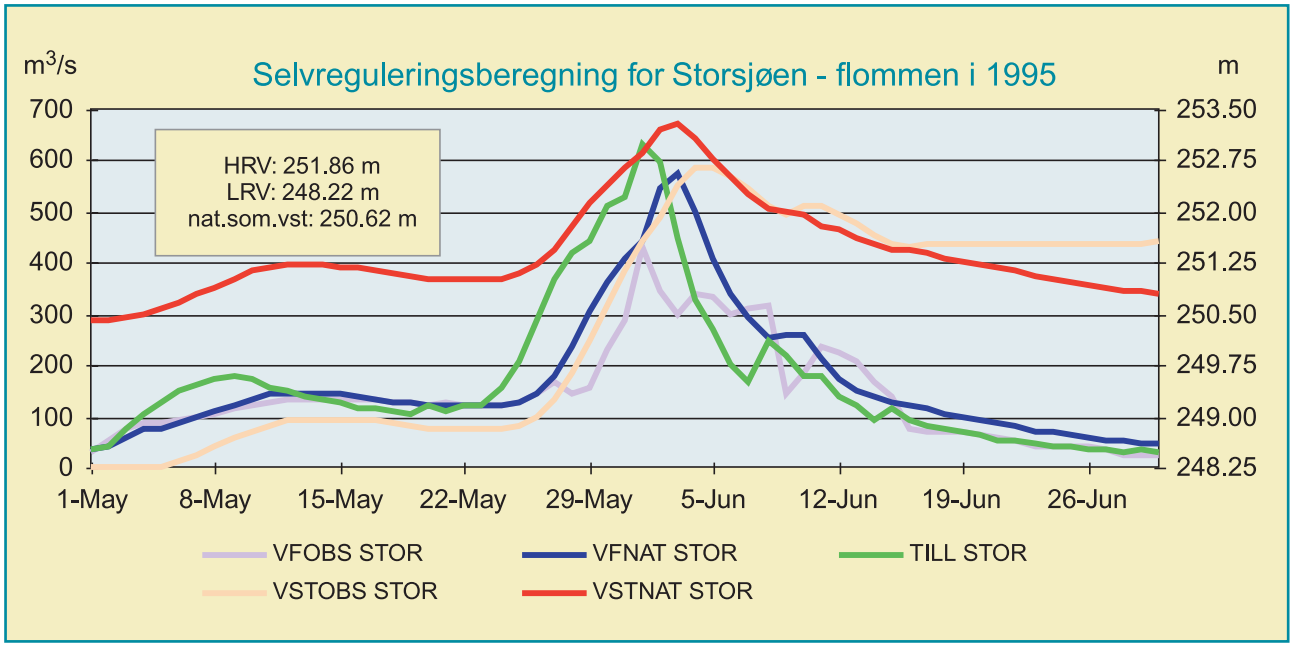
I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren ca. 1,2 m. Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden med ca. 1 m. Flommen i 1995 ville gitt en flomstigning på 2,1 m med kulminasjon 2.-3.juni på kote 438,07 m (0,25 m over HRV) og et avløp på 270 m^3/s.

Gjeldende konsesjon ble gitt i 1928, men reguleringen mellom 437,82 m (HRV) og 431,22 m (LRV) ble ikke utnyttet fullt ut før mot slutten av 1930-tallet. Reguleringen på 6,6 m (4,9 m

senkning) gir et magasin på 265 Mm^3. Det forelå planer i 1919 om 11 m regulering (LRV 3,4 m lavere enn i dag), som ville gitt et magasin på 425 Mm^3 (en vesentlig del som flommagasin).

Det kan i hht. gjeldende manøvreringsreglement bare forhåndstappes i år med store snømagasin. HRV i Osen overholdes strengt, men ikke slik at flommen nedenfor blir forsterket. Naturlig avløp på HRV (437,82 m) tilsvarer 225 m^3/s.

Normalt snømagasin 15.april er 275 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er 325 Mm^3. 82% av vårtilsiget kan magasineres. Snømagasinet var 15.april 1995 beregnet til 430 Mm^3, 155% av normalt.



Figur 3.3: Selvreguleringsberegning for Storsjøen.

Figure 3.3: Calculated natural self-regulation for Lake Storsjøen.

Snøsmeltingen startet for alvor 23.mai, og tilsiget kulminerte 31.mai med 330 m^3/s. Det var høyere i 1934 (6.mai) med 355 m^3/s, i 1959 (30.april) med 430 m^3/s og i 1967 (26.mai) med 350 m^3/s.

Det er god tappekapasitet på lav vannstand (på LRV ca. 50 m^3/s) gjennom Osa kraftverk I 1995 ble det i tiden 10.april-1.juni forhåndstappet (ut over pålagt minstevannføring på 2,5 m^3/s) 120 Mm^3. Tappingen var 1., 2. og 3.juni hhv. 95, 45 og 45 m^3/s. Naturlig flomvannføring ville vært 250, 265 og 270 m^3/s. Det vil si en beregnet reduksjon i flomvannføringen nedover i Glomma på ca. 225 m^3/s. Osens bidrag til flomdempningen i Glomma ned til Elverum, der flommen kulminerte 2.juni ca. kl. 20, settes imidlertid til 250 m^3/s da vannføringen ca. 4 timer tidligere var blitt redusert til 6 m^3/s (minstevannføringen).

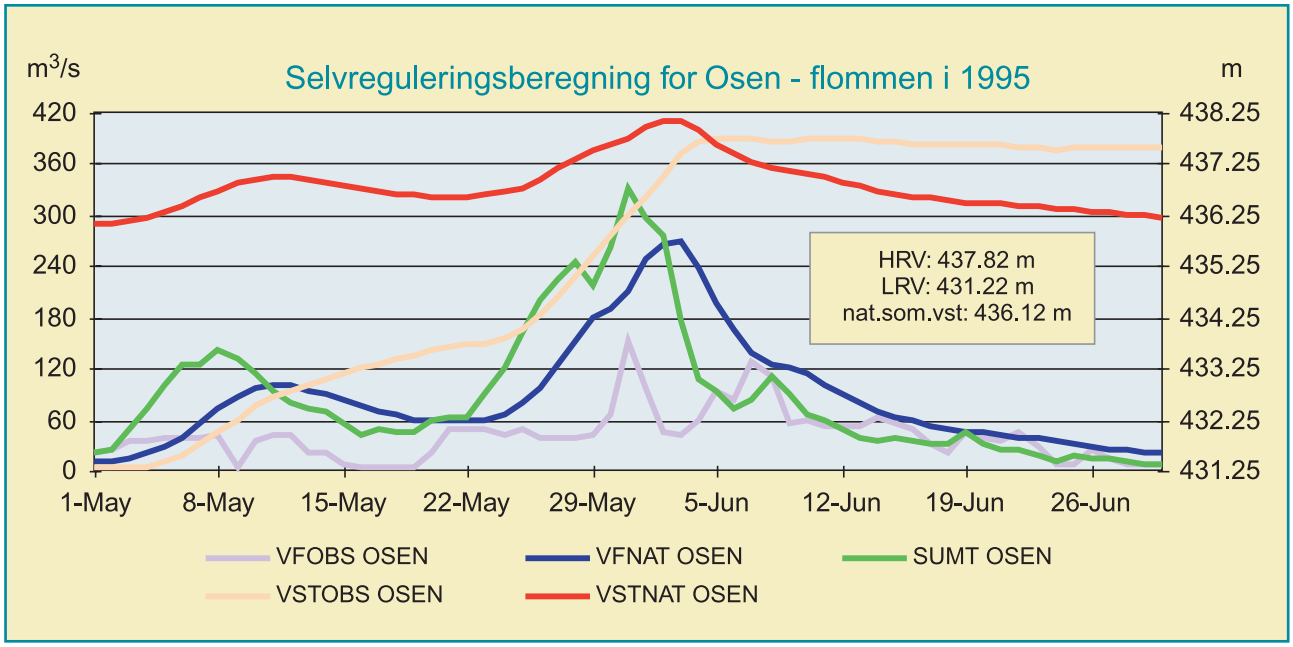
Vannstanden i Osen var 23.mai 2,9 m lavere enn den ville vært i uregulert tilstand. Naturlig vannstand ville vært 1,2 m under HRV. Frem til kulminasjonen 2.-3.juni ville Osen naturlig ha steget 1,45 m til 0,25 m over HRV. I 1995 var det 2.juni en dempning på 0,85 m (38 Mm^3 ledig magasin) og vannstanden kulminerte 5.-6.juni på 437,76 m (6 cm dempning, under HRV).

Flommen i Glomma ble i 1995 redusert med 225 m^3/s i forhold til naturlig flom, mellom Rena og Elverum med ca. 250 m^3/s. Hvis Osen hadde blitt tatt tidligere opp mot HRV, eventuelt forhåndstappet tidligere, kunne flommen syd for Elverum blitt redusert med ytterligere 30-40 m^3/s.

3.4.6 Sammendrag effekten av reguleringene i Glomma

Flomdempingene (m^3/s) i Glomma ved Alvdal, Stai, Elverum og Kongsvinger i tabellen nedenfor tar utgangspunkt i selvreguleringsberegninger og manøvreringer. Det er (i følge Kjell Hegge i rapporten "Vårflommen i Glomma 1995") tatt hensyn til 5 timers tidsforsinkelse mellom Stai (kulminasjon 2.juni kl.16) og Elverum (4-5 timer mellom Storsjøen og Elverum, og 3-4 timer mellom Osen og Elverum), 26 timer mellom Elverum (2.juni kl.20) og Nor/Norsfoss (Kongsvinger). Videre var det 12 og 19 timers tidsforsinkelse mellom henholdsvis Nor (3.juni kl.22) og Skarnes, og mellom Skarnes (5.juni kl.05) og Rånåsfoss (5.juni kl. 05). Kulminasjonsvannføringene i tabellen nedenfor og reduksjonene i vannstandene er basert på oppdaterte vannføringskurver (kfr. Hegges rapport).

Flomdempingene ved Elverum på ca. 800 m^3/s utgjør en reduksjon i flomvannstanden på ca. 0,9 m. Tilsvarende utgjør 325 m^3/s ved Alvdal og Stai hhv. 1,0 m og 0,7 m, og ca. 775 m^3/s ved Nor/Norsfoss utgjør ca. 1,0 m.



Figur 3.4: Selvreguleringsberegning for Osen.

Figure 3.4: Calculated natural self-regulation for Lake Osen.

Tabell 3.2: Flomdemping og kulminasjonsvannføring ved Alvdal, Stai, Elverum og Kongsvinger.

Table 3.2: Flood-reduction and Peak discharge in River Glomma at Alvdal, Stai, Elverum and Kongsvinger.

Magasin/overføring	Alvdal	Stai	Elverum	Kongsvinger
Aursunden	225	225	225	225
Einunna/Savalen	100	100	100	100
Rendalsoverføringen	-	0	0	0
Storsjøen	-	-	225	225
Osen	-	-	250	225
Flomdemping	325	325	800	775
Flomkulminasjon	1450	2000	3350	3200

3.5 Reguleringen/effekten av reguleringer i Otta, Vinstra og Lågen, av Mjøsa og Øyeren

3.5.1 Reguleringen/effekten av reguleringer i Ottadalen

I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren/forsommeren i Breidalsvann, Aursjø og Tesse hhv. 0,6 m, 1,0 og 1,0 m. Etter flomkulminasjonen sank vanligvis vannstanden med ca. 0,4 m. Raudalsvann var før regulering en liten sjø, og vannstanden ble da ikke observert.

Breidalsvann, Raudalsvann, Aursjø og Tesse ble regulert i hhv. 1948, 1948, 1965 og 1941. Breidalsvann er regulert 13 m (10,5 m senkning), som gir 70 Mm^3 magasin. Raudalsvann er regulert 30,3 m (hevning), 166 Mm^3 magasin. Aursjø er regulert 12,5 m (9 m senkning), 60 Mm^3 magasin. Tesse er regulert 12,4 m (11,6 m senkning) som gir 130 Mm^3 magasin. Det forelå planer i 1919 (etter skadeflommen i 1910) for Breidalsvann om 20 m regulering (HRV 7 m høyere enn i dag), som ville gitt et magasin på 120 Mm^3. For Raudalsvann forelå planer om 35 m regulering (HRV 4,7 m høyere enn i dag), som ville gitt et magasin på 215 Mm^3. Omkring 1970 ble det utarbeidet reguleringsplaner for Sjoa og Tesse. Ytterligere regulering av Tesse kunne da gitt 300-360 Mm^3 tilleggsmagasin.
Samlet magasin i Ottadalen utgjør 426 Mm^3. I tillegg overføres inntil 20 m^3/s fra Veo til Tesse. Normalt snømagasin 15.april er 380 Mm^3. Normalt vårtilsig (15.april-30.juni) er 295 Mm^3. Bare Breidalsvann fylles normalt i vårfasen (med overskudd på 10 Mm^3). I mange år er det et betydelig overskudd som må tappes. I år med ekstreme snømagasin og tidlig avsmelting kan både Raudalsvann, Aursjø og Tesse være fyllt innen 1.juli.

I 1995 var snømagasinene i feltene til Breidalsvann, Raudalsvann, Aursjø og Tesse hhv. 100, 125, 135 og 130% av normalt (totalt 120%). Magasinene var 1.juli 75% fyllt, mot normalt ca. 60%.

Snømagasinet i den uregulerte delen av Ottadalen (3200 km^2 ref. Lalm) var 15.april beregnet til 130% av normalt (2100 Mm^3). Snøsmeltingen startet først for alvor 27.mai, og flommen kulminerte 3.juni ved Lalm med en vannføring på 715 m^3/s (et tilsig på 885 m^3/s). Ca. 1/3 av årene er observert med høyere avløp i dette århundre. Det var spesielt høyt i 1938 (1.sept.) med 1385 m^3/s, i 1923 (13.juli) med 1145 m^3/s og i 1958 (2.juli) med 1095 m^3/s. I 1997 (3.juli) kulminerte vannføringen med 1030 m^3/s.

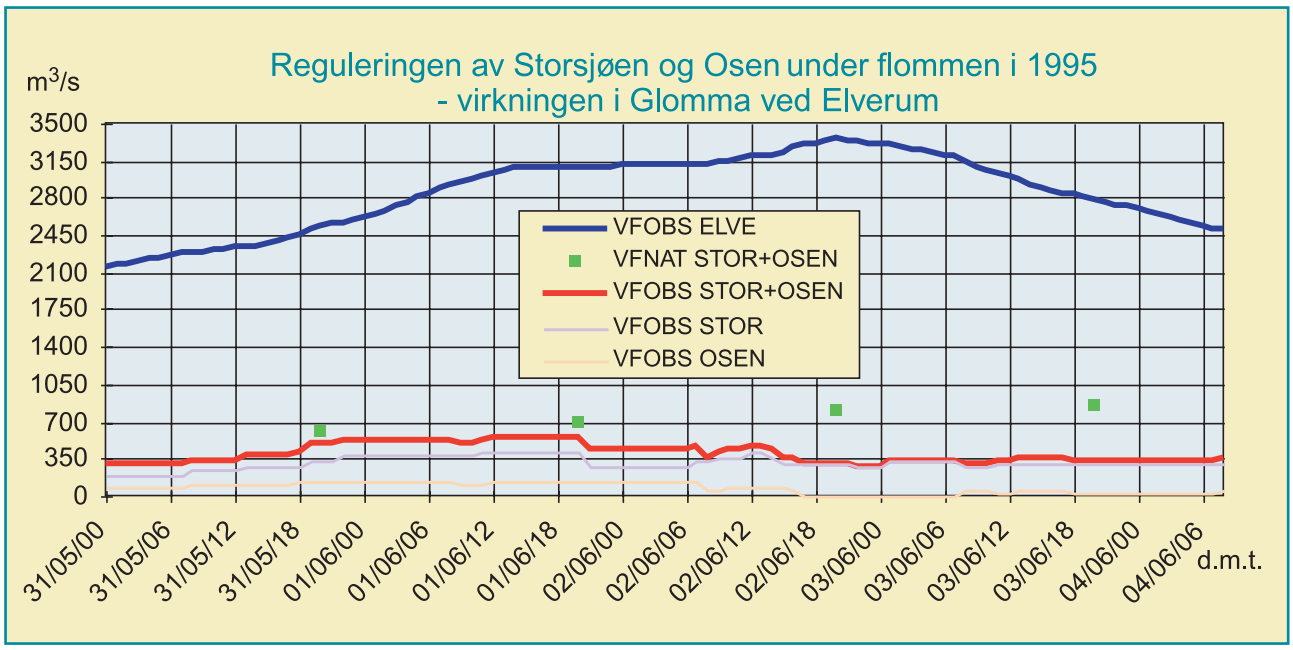
Selvreguleringen for magasinene i Ottadalen er beregnet etter en forenklet metodikk.

Naturlig flomvannføring er beregnet til 650, 775, 840 og 780 m^3/s hhv. 1., 2., 3. og 4.juni. Observerte flomvannføringer var hhv. 535, 675, 715 og 635 m^3/s. Effekten av magasinene ved Lalm der flommen kulminerte 3.juni er satt til 125 m^3/s, som tilsvarer en vannstandsreduksjon på ca. 0,4 m. Effekten i Lågen ved Losna, der flommen kulminerte 3.juni kl.19 settes også til 125 m^3/s, men da er det tatt hensyn til Veo-overføringens bidrag på ca. 20 m^3/s.

Flommen i Otta og Lågen ble i 1995 redusert med ca. 125 m^3/s i forhold til naturlig flom. Med Øvre Otta utbygd kunne flommen blitt redusert med ytterligere 90 m^3/s.

3.5.2 Reguleringen/effekten av Bygdin og øvrige reguleringer i Vinstravassdraget

I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren/forsommeren i Bygdin, Vinsteren og Heimdalsvann hhv. 0,8 m, 0,6 m og 1,3 m. I Espedalsvann, som også idag er uregulert, er vanlig flomstigning 0,8 m, og synkningen 0,5-0,6 m etter vårflommen. Vannstanden i Heimdalsvann sank vanligvis med ca. 0,6 m etter flomkulminasjonen om våren/forsommeren. Vannstanden i Bygdin og Vinsteren sank vanligvis litt gjennom etter-



Figur 3.5: Reguleringen av Storsjøen og Osen - virkningen i Glomma ved Elverum.

Figure 3.5: The effect of the Lakes Storsjøen and Osen regulation on River Glomma at Elverum.

Figur 3.6: Glomma ved Elverum 3.juni 1995. (©Fotonor AS)

Figure 3.6: River Glomma at Elverum, June 3rd, 1995.

sommeren og høsten, men steg i perioder med snø-/bre-smelting og nedbør.

Bygdin, Vinsteren, Heimdalsvann, Kaldfjorden og Olstappen ble regulert i hhv. 1928, 1950, 1956, 1954 og 1950. Bygdin er regulert 9,15 m (8,25 m senkning), som gir 336 Mm^3 magasin. Vinsteren er regulert 4 m (3 m senkning), 102,5 Mm^3 magasin. Heimdalsvann er regulert 2,2 m (hevning), med bare 15 Mm^3 magasin, men inntil 13 m^3/s kan overføres til Kaldfjorden. Kaldfjorden (Sandvann/Øyvann/Kaldfjorden) er regulert 5,9 m (5,5 m hevning) som gir 76 Mm^3 magasin. Kaldfjorden overføres til Øyangen, som er inntaksmagasin med 2 m regulering og 8 Mm^3 magasin, for utnyttelse i Øvre Vinstra kraftverk Olstappen er regulert 13 m (hevning) med 31 Mm^3 magasin og regnes som inntaksmagasin for Nedre Vinstra kraftverk Lokalfeltet til Olstappen er på 635 km^2, totalfeltet er på 1380 km^2.

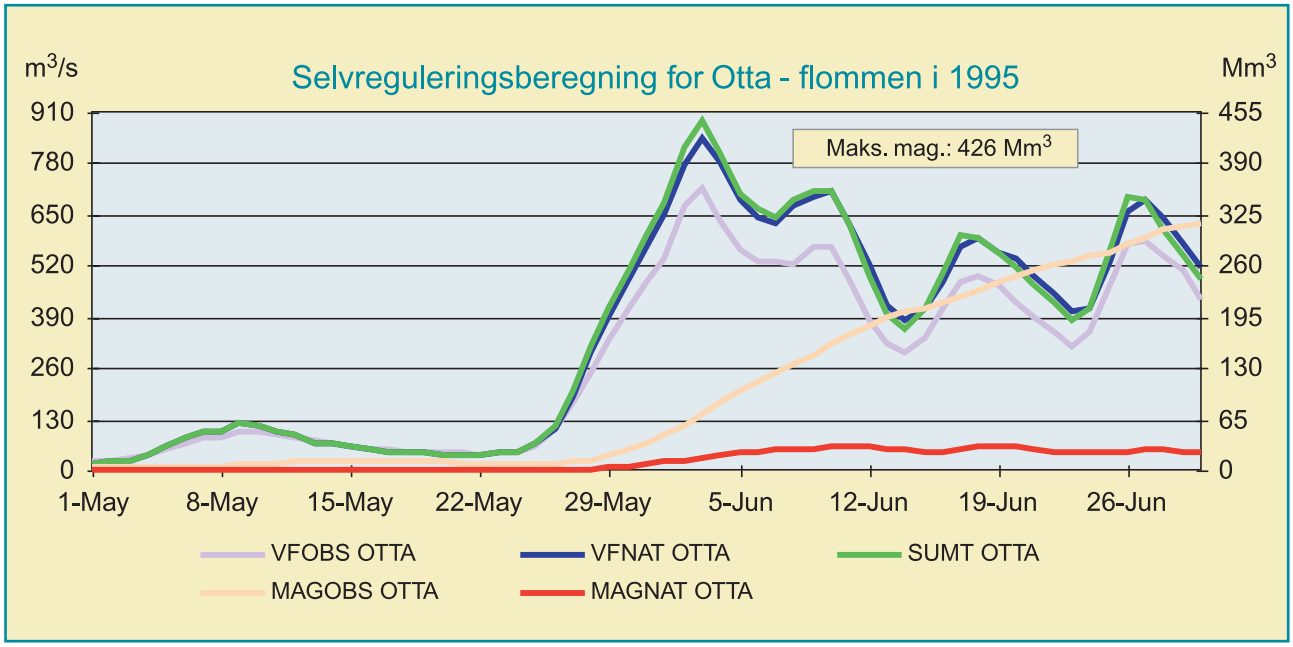
Det forelå planer i 1919 (etter skadeflommen i 1910), i tillegg til dagens regulering i Bygdin, for Vinsteren om 6,1 m regulering (LRV 2,1 m lavere enn i dag), som ville gitt et magasin på 145 Mm^3. For Heimdalsvann ville 8,4 m regulering (HRV 3,7 m høyere og LRV 2,5 m lavere enn i dag), som ville gitt et magasin på 55 Mm^3, og for Kaldfjorden ville 7,4 m regulering (LRV 1,5 m lavere enn idag) gitt magasin på 83 Mm^3.

Samlet magasin i Vinstravassdraget ovenfor Olstappen utgjør 537 Mm^3. Normalt snømagasin 15.april er 320 Mm^3. Normalt vårtilsig (15.april-30.juni) er 350 Mm^3. Normalt snømagasin 15.april lokalt til Olstappen er 140 Mm^3. Det er i alle år et overskudd som tappes gjennom Nedre Vinstra kraftverk Heimdalsvann/Kaldfjorden fylles normalt i første halvdel av juli. I mange år er det et betydelig overskudd som tappes gjennom Øvre Vinstra kraftverk, og en del vann som tappes forbi (overløp i Heimdalsvann). I år med ekstreme snømagasin og tidlig avsmelting kan Vinsteren være fyllt innen 1.juli.

I 1995 var snømagasinene i feltene til Bygdin, Vinsteren, Heimdalsvann, Kaldfjorden og Olstappen hhv. 140, 135, 135, 125 og 120% av normalt.

Snøsmeltingen startet først for alvor 26.mai, og tilsiget kulminerte 2.juni. Det ble tappet 150 m^3/s fra Olstappen, herav 82 m^3/s over dam. Totaltilsiget 2.juni på 485 m^3/s er det høyeste i dette århundre. Det ble i tiden 31.mai-11.juni tappet ca. 50 Mm^3 (47 m^3/s i middel) over Olstappen dam forbi Nedre Vinstra kraftverk, som hadde ett aggregat ute til revisjon og en slukeevne på 67 m^3/s (80% av full kapasitet). Det ble holdt ca. 1,5 m dempning i Olstappen (ca. 5 Mm^3) omkring 2.juni. Magasinene var 1.juli 74% fyllt (normalt 67%).

Det er utført en egen selvreguleringsberegning for Bygdin. Vannstanden var 26.mai 7,1 m lavere enn den ville vært i uregulert tilstand. Naturlig vannstand ville vært 1,75 m under HRV (som er 1057,63 m med naturlig avløp på 100 m^3/s). Frem til kulminasjonen 3.juni i Lågen ville Bygdin naturlig ha steget 0,95 m, til 0,8 m under HRV. Flomdempningen er beregnet til 19, 27 og 36 m^3/s hhv. 1., 2. og 3.juni.



Figur 3.7: Selvreguleringsberegning for magasinene i Ottadalen.

Figure 3.7: Calculated natural self-regulation of the Otta river basin reservoirs.

Selvreguleringen for de øvrige magasinene i Vinstravassdraget er beregnet etter en forenklet metodikk. Effekten av alle magasinene på flommen i Lågen ved Losna, som kulminerte 3.juni kl.19 på 2500 m^3/s, er satt til 200 m^3/s. Flomdempningen kunne med Olstappen høyere og større magasin-/pumpekapasitet ovenfor/i Olstappen lokalfelt vært inntil 275 m^3/s, og med større overføringskapasitet fra Heimdalsvann (eventuelt større magasinkapasitet) inntil 300 m^3/s.

I Espedalsvann (som er uregulert) ble flomstigningen 1,6 m (normalt 0,8 m) frem til kulminasjonen 2.juni. Tilsiget var da 40 m^3/s (425 $l/s.km^2$) og avløpet 30 m^3/s.

3.5.3 Reguleringen/effekten av reguleringer i Mesnavassdraget og av Hurdalssjøen

I Mesnas nedbørfelt er det regulert 6 sjøer med samlet magasin på 100 Mm^3.

Normalt snømagasin 15.april er 75 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er også 75 Mm^3 (hele vårtilsiget kan normalt magasineres). Snømagasinet var 15.april 1995 beregnet til 120 Mm^3, 160% av normalt.

I 1995 var tilsiget ca. 50 m^3/s (sannsynligvis høyere da tilsigsberegningen er basert på ukeverdier for magasinene) omkring 1.juni og tappingen var ca. 10 m^3/s. Det antas at naturlig selvreguleringen i sjøene ville vært 10-20 m^3/s. Effekten av reguleringene settes til 30 m^3/s.

I uregulert tilstand var vanlig flomstigning om våren i Hurdalsjøen ca. 2,5 m. Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden ca. 2 m.

Hurdalsjøen er regulert mellom 176,29 m (HRV) og 172,69 m (LRV), men reguleringen har en del år ikke blitt fullt utnyttet pga. "tappesvikt" (synketømmer, bark/flis, mv. i utløpet har redusert avløpskapasiteten). Ved HRV er naturlig avløp ca. 60 m^3/s. Reguleringen på 3,6 m (2,45 m senkning) gir et magasin på 122 Mm^3. I tillegg kommer 10-15 Mm^3 magasin i 5-6 sjøer ovenfor Hurdalsjøen.

Normalt snømagasin 15.april er 155 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er 165 Mm^3. 83% av vårtilsiget kan magasineres. Snømagasinet var 15.april 1995 beregnet til 230 Mm^3, 150% av normalt. I 1995 steg vannstanden 3,9 m fra ca. 15.april (0,4 m over LRV) til kulminasjon 4.juni (0,7 m over HRV). Tilsiget var ca. 80 m^3/s omkring 1.juni og sjøen steg ca. 15 cm/døgn, som tilsvarer en magasinering på ca. 50 m^3/s. På grunn mangelfulle avløpsdata og avløpskurve er det ikke analysert nærmere om reguleringen av Hurdalssjøen har gitt effekt ut over den naturlige. Det antas at effekten har vært mindre enn 10 m^3/s.

3.5.4 Reguleringen/effekten av Mjøsa

Før 1903 var vanlig flomstigning om våren 4,4 m. Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden med 3,25 m (i gj.sn.). Med Mjøsa uregulert og ingen reguleringer ovenfor ville flommen i 1995 gitt en flomstigning på 7,3 m og et avløp på 1635 m^3/s ved kulminasjon. Med dagens reguleringer ovenfor (regulert tilløp) ville flomstigningen tilsvarende blitt 6,0 m og avløpet 1465 m^3/s. Flommen ville startet 0,9 m lavere uten reguleringene ovenfor, og kulminert 0,4 m høyere (på kote 126,03 m eller i lokalhøyde 8,34 m).

Mjøsa har vært regulert siden 1858. I 1903 ble Mjøsa regulert 2,2 m (1,4 m hevning). Fra 1965 har Mjøsa vært regulert mellom 122,94 m (HRV) og 119,33 m (LRV), dvs. 3,61 m (2,8 m hevning) som gir et magasin på 1312 Mm^3. Det er i tillegg 10 mindre reguleringer i Mjøsas lokalfelt (Gausa, Hunnselv og Nærа) på tilsammen ca. 90 Mm^3.

GLB skal i h.h.t. manøvreringsreglementet, og vil også ut fra interessen i best mulig utnyttelse i kraftverkene nedenfor, ta sikte på å tømme Mjøsa hvert år. Flommer skal avledes slik at kulminasjonsvannstanden i Mjøsa og flommen nedenfor ikke forsterkes. Lukene ved Svanfoss skal settes i såkalt flomstilling (avløpsprofilet blir da som før byggingen av dammen/lukene) og overvannet på Rånåsfoss kraftverk heves tilbake til naturlig vannstand når vannføringen i Glomma ved Solbergfoss overstiger 1000 m^3/s. Når det kan ventes og er stor flom holdes lukene helt åpne, og overvannet er eventuelt også senket (i forhold til vannstandskurve mellom 119,30 og 120,15 m, hhv. 1000 og 3500 m^3/s) hvis dette er akseptabelt av hensyn til flomforholdene nedenfor. Normal flomstilling og normalt overvann på Rånåsfoss vil gi såkalt naturlig avløp, som er referansen for manøvreringsreglementet. Flomstillingene for lukene er basert på vannstandsforholdene ved Svanfoss under flommen i 1927. Med utgangspunkt i modellforsøk er det satt opp kurver for ulike vannstandsforhold. Da mange forhold påvirker avløpet fra Mjøsa vil det hefte usikkerhet til beregninger av såkalt naturlig avløp. Effekten av oppstuvning fra Glomma kan være betydelig. I selvreguleringsberegningene for Mjøsa er "1927-avløpskurven" brukt. Her er avløpet ved HRV ca. 700 m^3/s, og ved 1,5 og 3,0 m over HRV hhv. 1100 og 1600 m^3/s.

Normalt snømagasin i det uregulerte feltet til Mjøsa (14280 km^2) er 15.april 3925 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er 3890 Mm^3. Bare 36% av vårtilsiget kan magasineres.

Snømagasinet var 15.april 1995 beregnet til 5500 Mm^3, som tilsvarer 140% av normalt snømagasin. I lokalfeltet (5450 km^2), nedenfor Losna i Lågen, var snømagasinet 160% av normalt (1000 Mm^3).

Laveste vannstand i Mjøsa i 1995 ble 0,27 m over LRV p.g.a. relativt tidlig vårløsning i lavereliggende områder ca. 10.april. Snøsmeltingen startet for alvor 25.mai. Da var regulert og uregulert tilløp hhv. 500 og 515 m^3/s. Tilløpsflommen kulminerte 2.juni med tilsvarende tilløp på hhv. 3200 og 3400 m^3/s. Tilløpet på 3200 m^3/s er det høyeste i dette århundre. Det kulminerte høyt også i 1927 (27.juni) med 2200 m^3/s og i 1967 (1.juni) med 2600 m^3/s. I 1927 kulminerte imidlertid Mjøsa 0,37 m høyere (11.juli) enn i 1995 (11.juni). Tilløpsvolumet var større i 1927 (med store tilløp i slutten av juni og begynnelsen av juli).

For å tappe ut så mye vann som mulig var lukene ved Svanfoss helt åpne frem til 3.juni. I tiden 3.-6.juni ble det tappet 50-250 m^3/s mindre enn såkalt naturlig avløp for å lette presset på Øyeren. Det tilsvarer ca. 50 Mm^3. På tross av at vannstanden nærmet seg nivå 125 m (2 m over HRV) fremmet GLB på ettermiddagen 5.juni forslag om å redusere avløpet fra Mjøsa med 300 m^3/s i ett døgn, frem til "flomtoget" i Glomma hadde passert Funnefoss. NVE godkjente denne strategien samme kveld, og den ble effektuert kl. 22 og 24 med reduksjoner på 100 og 125 m^3/s.

Først 7.juni kl. 14 ble tappingen økt over såkalt naturlig avløp som da var ca. 1270 m^3/s. I denne perioden (ca. 1 1/2 døgn) ble Øyeren avlastet med ca. 35 Mm^3 (270 m^3/s i gjennomsnitt). Det tilsvarer 0,3-0,35 m i Øyeren (nivå 104 m). Tappekapasiteten ved Mørkfoss/Solbergfoss ville imidlertid økt med ca. 75 m^3/s. Nettovirkningen på kulminasjonsvannstanden i Øyeren (ved Mørkfoss i syd) blir derfor 0,2-0,25 m , dvs. kulminasjon i nivå 104,6 m (lokalt nærmere 8,1 m) uten denne spesielle manøvreringen (kfr. figuren nedenfor). Vannføringen ved Rånåsfoss og Solbergfoss var i denne perioden hhv. 3500 og 3565 m^3/s i middel. Man skal ikke se bort fra at større tilløp til Øyeren også hadde økt risikoen for utfall av aggregat ved Solbergfoss kraftverk, som igjen kunne gittt ytterligere vannstandsstigning.

Overvannet på Rånåsfoss kraftverk var senket 0,5-1,0 m, men ikke i tiden 9.-20.mai, 27.-31.mai og 4.-6.juni. I forhold til såkalt naturlig avløp for Mjøsa ble Øyeren i hele perioden frem til kulminasjonen 6.juni kl.23 avlastet med nesten 100 Mm^3. Reguleringen senere bidro til at Øyeren holdt seg i nivå 104,4 m (Mørkfoss) i ca. en uke (se forøvrig neste avsnitt om Øyeren).

Vannstanden i Mjøsa var 25.mai ca. 2 m under HRV. Vannstanden ville vært 0,3-0,35 m lavere 25.mai med ingen reguleringer ovenfor og naturlig avløp fra Mjøsa, og frem til 2.juni ville stigningen vært 2,6 m. Med regulert tilløp og naturlig avløp ville stigningen vært 2,35 m.

Observerte vannstand kulminerte 11.juni kl.20 på kote 125,63 m (lokalt 7,94 m på Hamar VM). Det er en stigning på 2,2 m fra 2.juni og 2,7 m over HRV. Med regulert tilløp og såkalt naturlig avløp ville vannstanden kulminert 7 cm lavere. Det må her kommenteres at observert vannstand lå 13 cm høyere 3.juni, blant annet som følge av Glommas spesielt sterke oppstuvning av Vorma og at overvannet ikke var senket hele tiden. Det kan derfor ikke konkluderes at reduksjonen 5.-7.juni gav høyere kuliminasjonsvannstand i Mjøsa.

Fra 8.- 14.juni ble det tappet 1525-1650 m^3/s med overvannet på Rånåsfoss senket inntil 0,8 m og vannføring i Glomma ved Funnefoss på 1500-2000 m^3/s. De nye reglementene for Mjøsa og Øyeren fra 1981 gir anledning til slike manøvreringer, og det var første gang dette ble prøvd under en stor flom. Fra 17.-27.juni sank vannstanden i Mjøsa med en tapping nær såkalt naturlig avløp på 1200-1400 m^3/s av hensyn til rasfaren i Vorma. Generelt er det viktig å senke vannstanden i sjøer og elver moderat fra høye nivåer, fordi rasfaren er størst når det er lav vannstand i sjøen/elva og grunnvannstanden er høy.

Flomdempingen i Mjøsa som følge av reguleringene ovenfor er beregnet til 0,45-0,5 m. Men

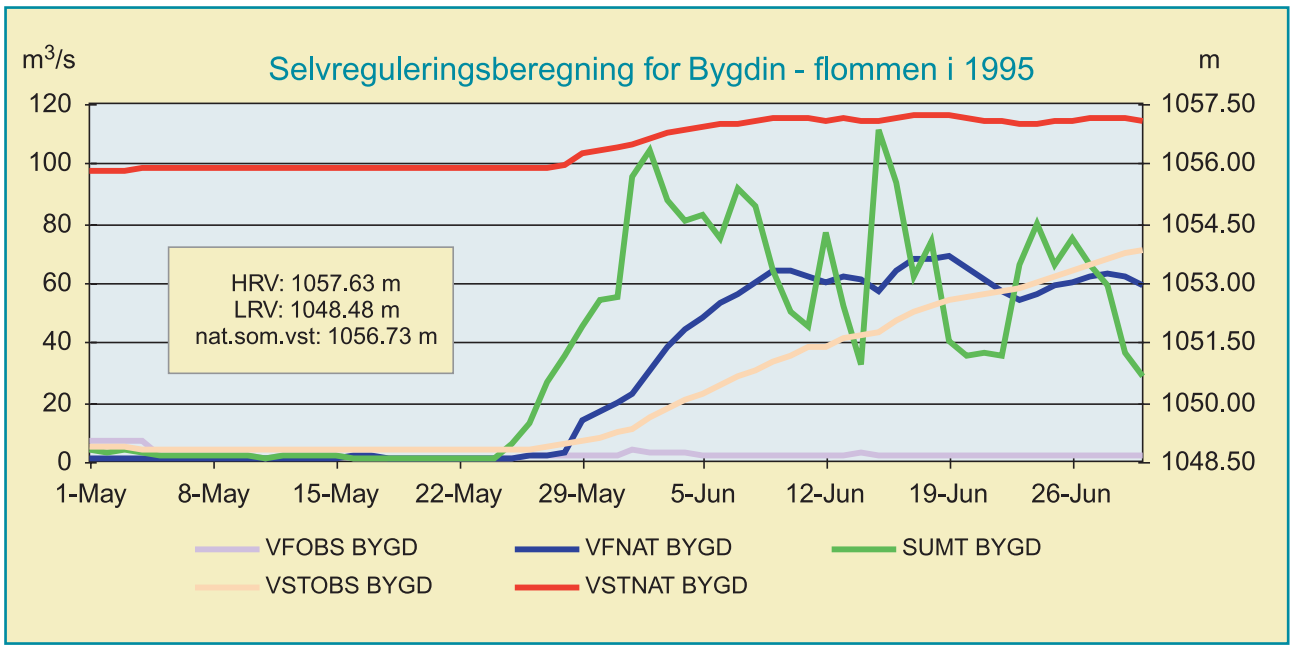
dersom det tas hensyn til periodevis redusert tapping i forhold til såkalt naturlig avløp, herunder avløpsreduksjonen omkring 6.juni, blir resulterende flomdemping ca. 0,4 m. Den spesielle manøvreringen reduserte kulminasjonsvannstanden i Øyeren med 0,2-0,25 m.

3.5.5 Reguleringen/effekten av Øyeren

Før de første utsprengningene omkring 1860 var vanlig flomstigning om våren ca. 8 m (til nivå 103,5 m). Etter vårflommen og ut over sommeren sank vannstanden med 3-4 m. Utsprengningene og en mindre dam ved Mørkfoss reduserte flomstigningen med ca. 2 m og reduserte synkningen med 1-2 m.

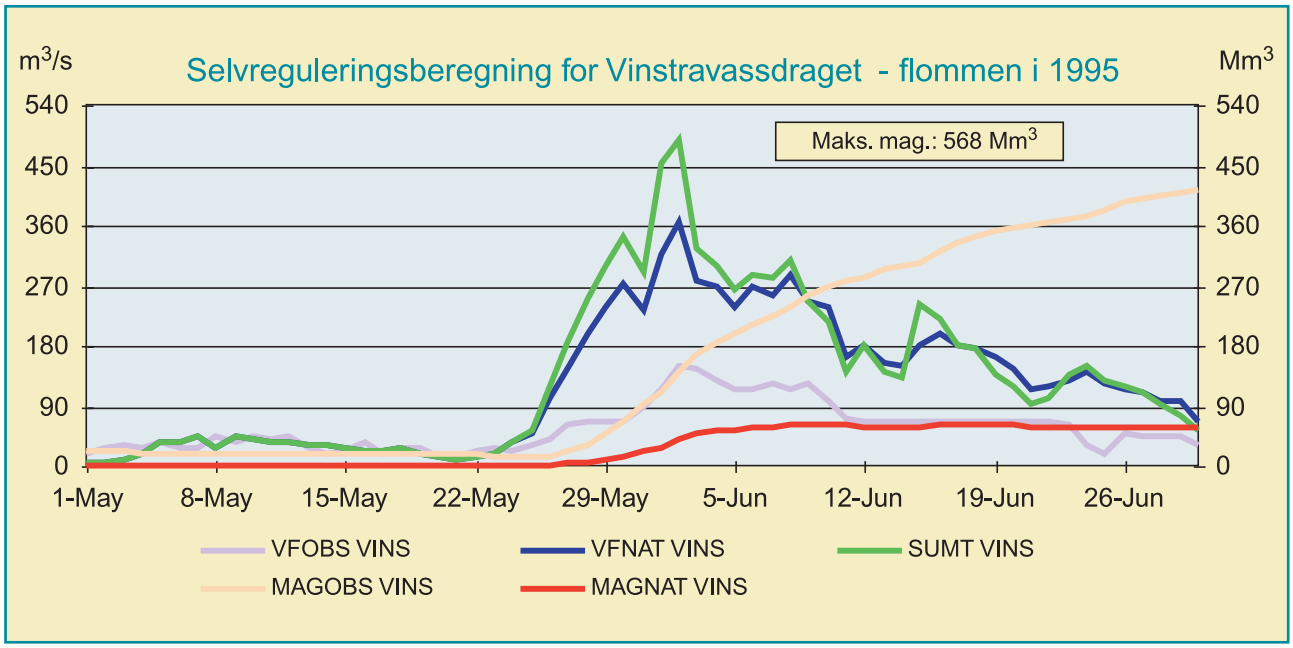
Forutsatt de første utsprengningene og dam ved Mørkfoss (såkalt "naturkurve"), og ingen reguleringer ovenfor ville flommen i 1995 gitt en flomstigning på 9,95 m og et avløp på ca. 4300 m^3/s ved kulminasjon. Det er da regnet med økt oversvømmelse i Otta/Lågen og Glomma på tilsammen ca. 100 Mm^3. Med dagens reguleringer ovenfor (regulert tilløp) og tapping etter "naturkurven" ville stigningen blitt 8,05 m og avløpet 3600 m^3/s. Flommen ville startet 0,1 m lavere uten reguleringene ovenfor, og kulminert 1,8 m høyere (på kote 108,8 m, lokalhøyde 12,25 m).

Solbergfoss kraftverk ble bygget omkring 1920. Inntaksdammen ble bygget slik at den også kunne brukes som reguleringsdam for Øyeren. Øyeren ble regulert/senket 2,4 m i 1934 mellom 101,34 m (HRV) og 98,94 m (LRV), i lokalhøyde på Mørkfoss vannmerke hhv. 4,80 og 2,40 m. Det gir et magasin på 157 Mm^3. Flommene i 1966 og 1967 initierte arbeidene med ytter-



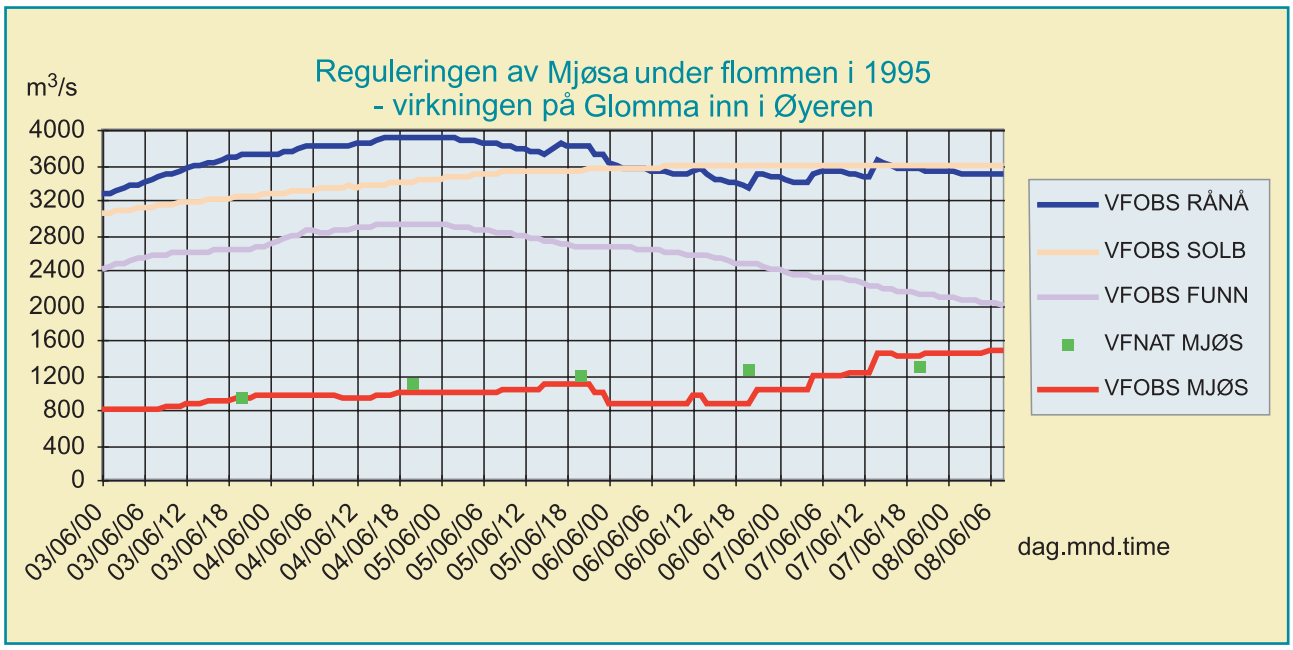
Figur 3.8: Selvreguleringsberegning for Bygdin.

Figure 3.8: Calculated natural self-regulation for Lake Bygdin.



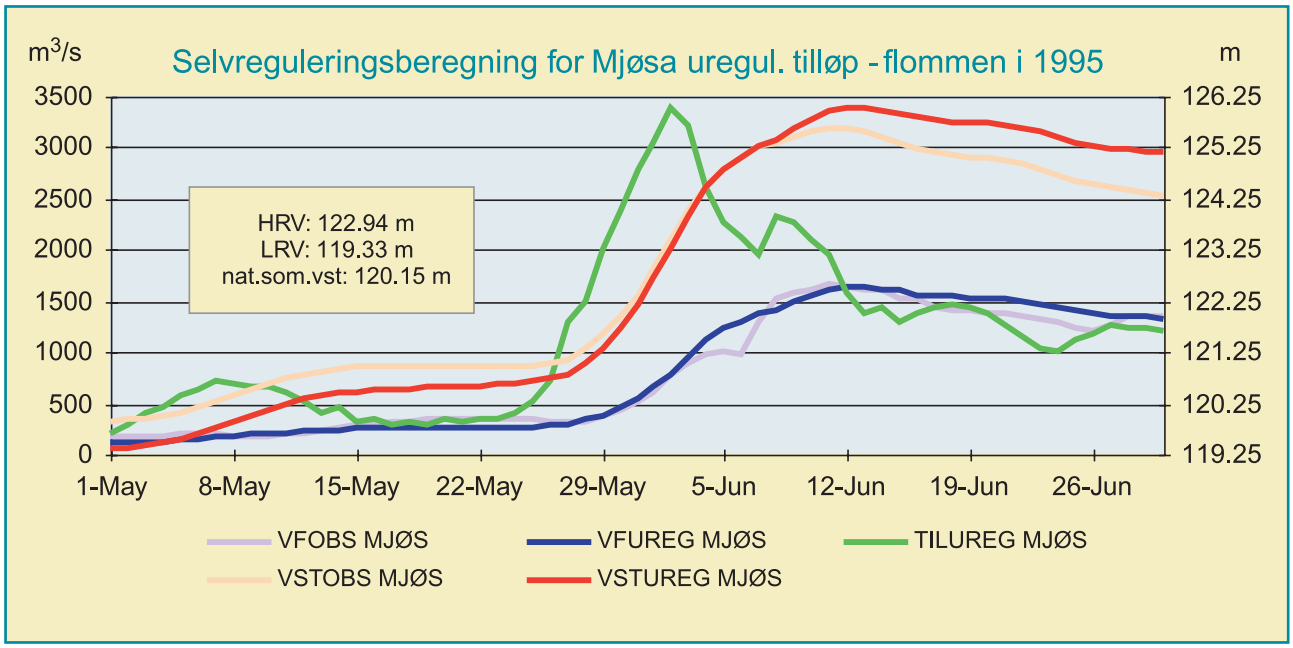
Figur 3.9: Selvreguleringsberegning for magasinene i Vinstravassdraget.

Figure 3.9: Calculated natural self-regulation for the Vinstra river basin reservoirs.



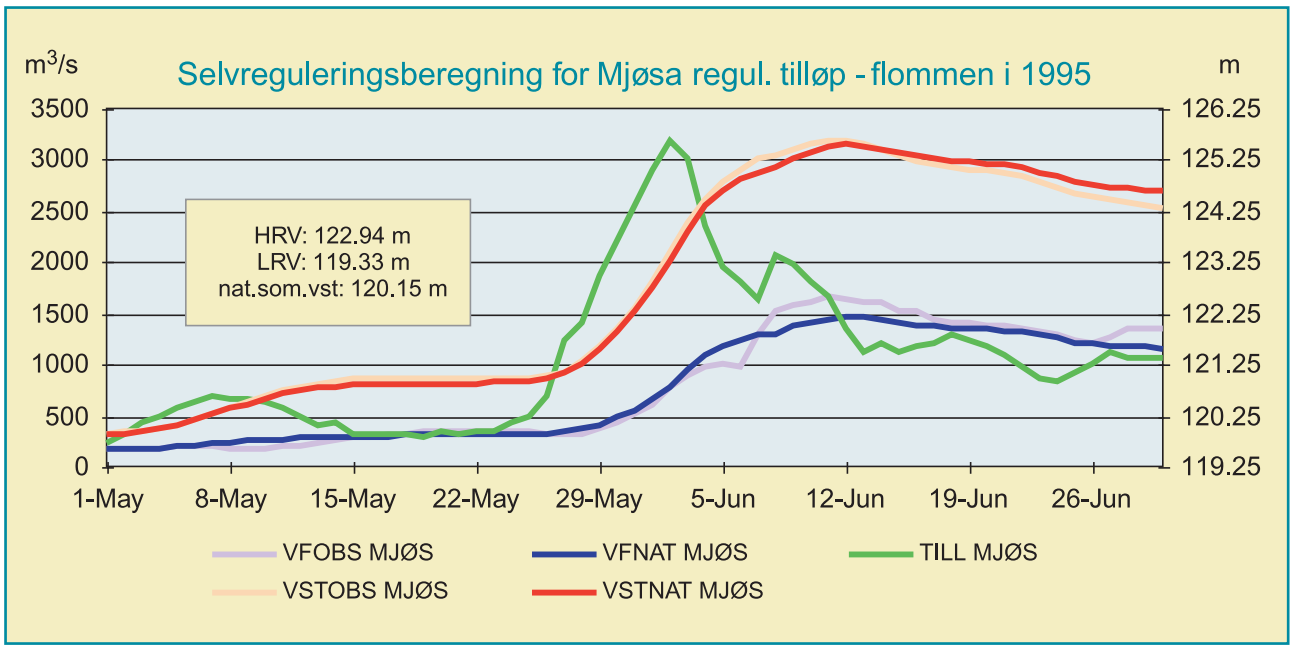
Figur 3.10: Reguleringen av Mjøsa - virkningen på Glomma inn i Øyeren.

Figure 3.10: The effect of the Lake Mjøsa regulation on River Glomma into Lake Øyeren.



Figur 3.11: Selvreguleringsberegning for Mjøsa - uregulert tilløp.

Figure 3.11: Calculated natural self-regulation of Lake Mjøsa - unregulated runoff into the lake.



Figur 3.12: Selvreguleringsberegning for Mjøsa - regulert tilløp.

Figure 3.12: Calculated natural self-regulation of Lake Mjøsa - regulated runoff into the lake.

ligere utsprengninger og gjenåpning av omløpstunnel. Dette var klart til bruk i 1975. Et nytt stort aggregat med slukeevne på 550 m^3/s (ved HRV) kom idrift i 1985.

GLB skal i h.h.t. manøvreringsreglementet følge en såkalt "vårkurve" (naturkurve) opp til kote 102,04 m (5,50 m lokalhøyde). Videre er det siden 1981, da nytt flomreglement trådte i kraft, praktisert en såkalt forsert tapping opp til kote 102,54 m (6,00 m) da alle luker i dammen ved Solbergfoss kraftverk skal være helt åpne. Eventuell forsert tapping fra Mjøsa forutsettes tappet i tillegg. "Naturkurven" og kapasitetskurven for Mørkfoss/Solbergfoss gir ved HRV i Øyeren henholdsvis 1080 og 2000 m^3/s, og ved 1,5 og 3 m over HRV hhv. 2000 og 3170, og 2625 og 3615 m^3/s. Med høyere vannstander enn 5 meter over HRV i Øyeren forutsettes de gamle aggregatene i Solbergfoss å være ute av drift (kapasitet under flom på 300-500 m^3/s). Tilsvarende forutsettes det nye aggregatet å være ute av drift (kapasitet under flom på 400-500 m^3/s) ved vannstander 7 m over HRV.

Under stor flom, og gjerne når Øyeren er kommet opp i nivå 101,5 m, tappes det forsert hvis det er akseptabelt av hensyn til flomforholdene nedenfor og erosjonsforholdene i Nordre Øyeren.

Normalt snømagasin 15.april i det uregulerte feltet til Øyeren (17720 km^2) er 3200 Mm^3 og vårtilsiget (15.april-30.juni) er 3450 Mm^3. Bare 5% av vårtilsiget kan magasineres.

Snømagasinet var 15.april 1995 beregnet til 4500 Mm^3, som tilsvarer 140% av normalt snømagasin. I lokalfeltet nedenfor Elverum (7365 km^2) var snømagasinet 145% (1000 Mm^3) av normalt.

Øyeren ble tappet ned til LRV 21.april. Frem til 12.mai steg Øyeren 2,82 m til 0,42 m over HRV. Videre frem til 28.mai ble Øyeren stort sett tappet i h.h.t. reglementet/"naturkurven".

Fra og med 28.mai ble det tappet forsert, men ikke mer enn at sikkerheten for avløpskapasiteten i Solbergfoss kraftverk var tilfredstillende. Fra 2.-17.juni ble Øyeren tappet i henhold til maksimal tappekapasitet for Mørkfoss/Solbergfoss, etter at den andre omløpsluken ble åpnet 2.juni (den første ble åpnet 31.mai). Beregninger viser at forhåndstappingen av Øyeren fra 28.mai til 3.juni, da Øyeren passerte 102,5 m (1,20 m over HRV) og alle luker skal være åpne, har redusert "flomtoppen" med 0,15-0,2 m (virkningen 6.juni da Øyeren kulminerte). Denne forserte tappingen påførte kraftverkene nedenfor Øyeren en "mervannføring" på inntil 300 m^3/s. Flomrammede ved Fetsund har kritisert at GLB/NVE ikke tappet mer før 28.mai. Det var mulig, men ville gitt en kraftig erosjon i Glommas innløp i Nordre Øyeren, og helt minimal innvirkning på "flomtoppen" i Øyeren. Mellom Fetsund og Mørkfoss (målestasjon) i sydenden var det ved kulminasjonen 6.juni en vannstandsforskjell på 0,42 m.

Som tidligere beskrevet medførte det reduserte avløpet (inntil 350 m^3/s reduksjon) fra Mjøsa omkring 6.juni en reduksjon av "flomtoppen" i Øyeren med 0,2-0,25 m. Totalt viser beregninger at denne "manøveren" og forhåndstappingen av Øyeren har redusert "flomtoppen" med ca. 0,4 m. Men størst virkning har utsprengningene ved Mørkfoss hatt. De ble utført etter flommene i 1966 og 1967. Sammenligninger med 1967 viser at effekten i 1995 var en reduksjon av vannstanden med 2,2 m da Øyeren kulminerte 2.juni kl.23 på 104,39 m (3,05 m over HRV) med et avløp på 3580 m^3/s. Beregningene viser at magasinene i Glomma og Lågen under flommen har holdt tilbake en vannmengde som ville gitt ca. 1,9 m høyere vannstand i Øyeren.

Uten reguleringer og andre flomdempende tiltak ville kulminasjonsvannstanden vært ca. 4,5 m høyere, eller på 108,8 m (12,25 m ved Mørkfoss). Vannføringen ved Solbergfoss ville kulminert på 4300 m^3/s. Det er regnet med økt oversvømmelse og økt naturlig flomdemping i Otta/Lågen og Glomma i tiden fra 28.mai til 2.-3.juni på inntil 400 m^3/s.

Ved alle kraftverkene nedenfor Øyeren var det utført omfattende tiltak for å sikre at så mange aggregater som mulig kunne bidra i flomavledningen. Etter et møte hos GLB 19.mai, da man drøftet den store sannsynligheten for stor flom, besluttet leder av Solbergfossanleggene å sikre mot en flom på 4000 m^3/s. Overvannet på Fossumfoss kraftverk (FKF) ble senket 0,5-1 m for å øke kapasiteten ut av Øyeren. Noen av kraftselskapene måtte betale for å få levert kraften som måtte produseres. På det høyeste steg Solbergfoss' undervann over 8 m i forhold til normalt undervann. Fallet mellom Øyeren ved Mørkfoss og Solbergfoss overvann var på det meste over 4 m og overvannet lå inntil 2,8 m lavere enn normalt overvann. Vannstanden i Øyeren ville steget 0,3-0,4 m dersom Solbergfoss kraftverk (I+II) hadde falt ut eller om omløpstunnelen hadde blitt helt tilstoppet. For nivåer i Øyeren 1,2-1,5 m over HRV var det i praksis ikke mulig å åpne valselukene i dammen ved Solbergfoss maksimalt da Solbergfoss I ellers ville fått problemer med kjølevannet.

I Øyeren var effekten av økt avløpskapasitet siden flommen i 1967 en flomdemping på 2,2 m. Reguleringene i Glomma og Lågen gav en flomdemping på ca. 1,9 m. Med effekten av forhåndstapping av Øyeren på 0,15-0,2 m og avløpsreduksjonen fra Mjøsa på 0,2-0,25 m var total flomdemping ca. 4,5 m.

Uten reguleringene ovenfor og andre flomdempende tiltak ville vannføringen ved Solbergfoss kulminert 8.juni ca. 700 m^3/s høyere enn den observerte på 3560 m^3/s. Høyeste observerte vannføring ved Solbergfoss var 7.juni med 3590 m^3/s.

3.6 Sammendrag

Det er beregnet følgende kulminasjonsvannføringer og flomdempinger (m^3/s) i Otta, Lågen, Mjøsa og nedenfor i Glomma ved Rånåsfoss:

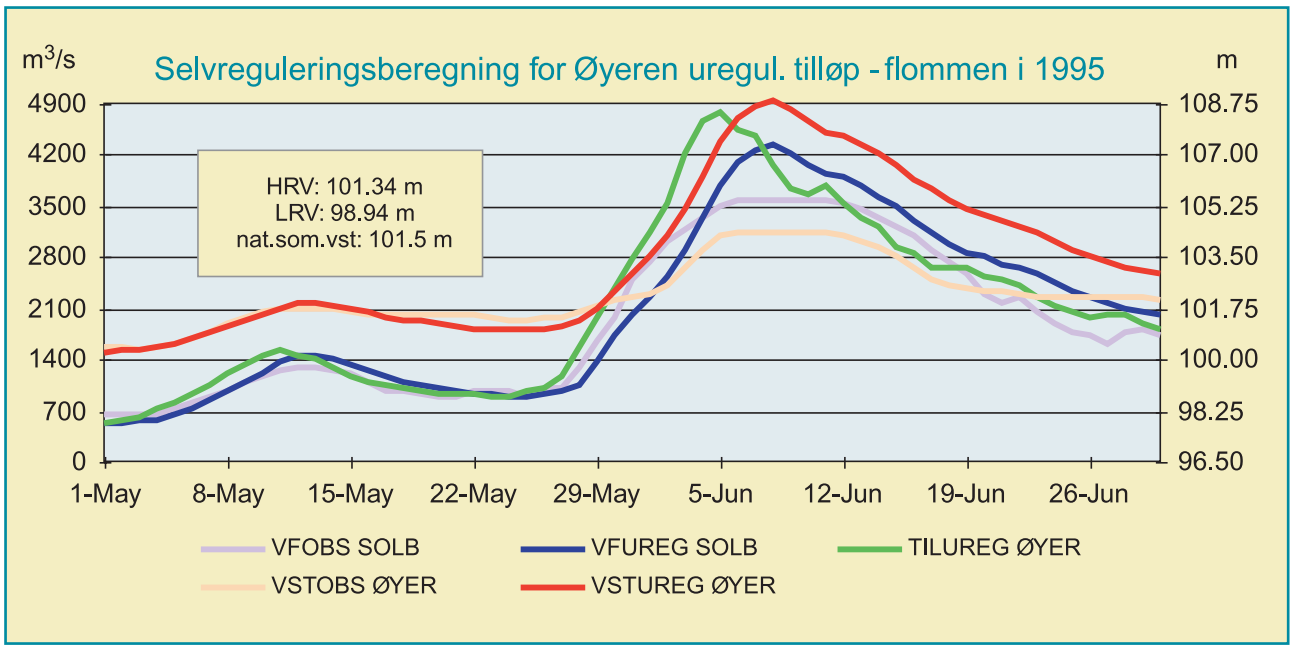
Flomdempingene ved Lalm i tabellen ovenfor på 125 m^3/s tilsvarer ca. 0,4 m reduksjon i flomvannstanden. Tilsvarende utgjør 325 m^3/s ved Losna også ca. 0,4 m.

Flomdempingen i Mjøsa som følge av reguleringene ovenfor er beregnet til 0,45-0,5 m. Men dersom det tas

Tabell 3.3: Flomdemping og kulminasjonsvannføring ved Lalm, Losna, Mjøsa og Rånåsfoss.

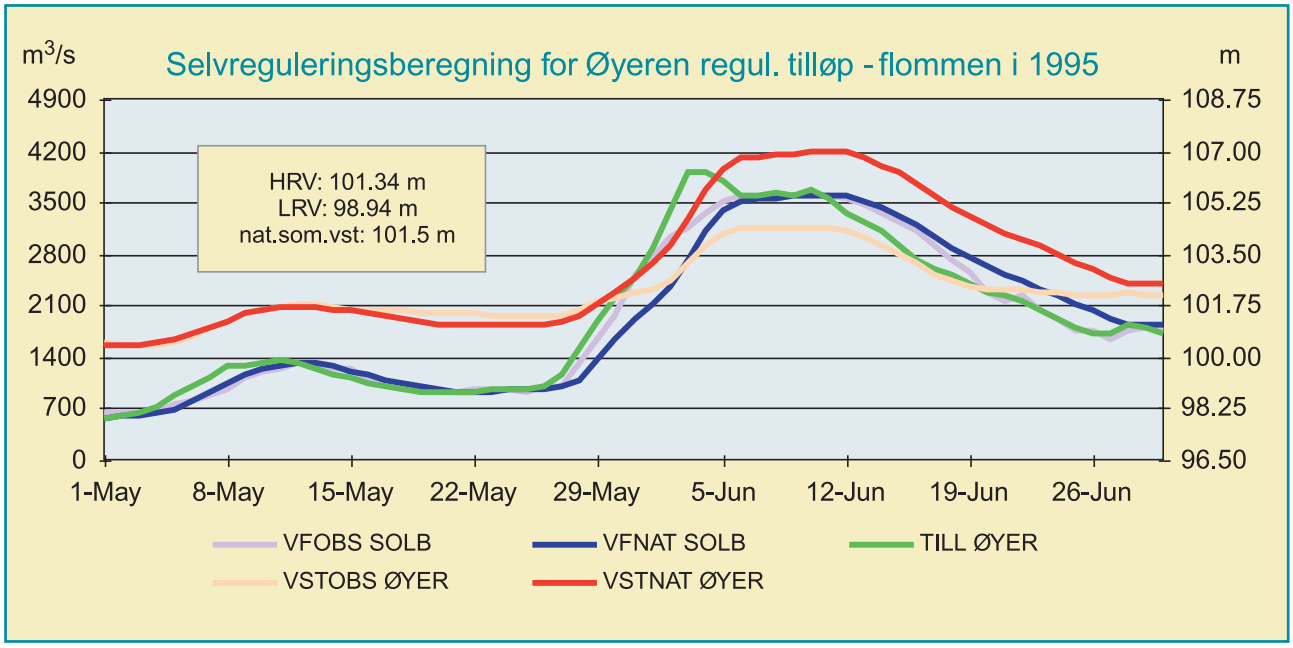
Table 3.3: Flood-reduction and Peak discharge in River Otta at Lalm and River Lågen at Losna, in Lake Mjøsa and in River Glomma at Rånåsfoss.

Magasin/overføring	Lalm	Losna	tilløp Mjøsa	Rånåsfoss
Reguleringer i Glomma	-	-	-	700
Otta-magasin (4 stk.)	125	100	80	-
Veo-overføringen	-	20	15	-
Bygdin	-	30	25	-
Øvrige Vinstramag. (5 stk.)	-	175	140	-
Mesna	-	-	30	-
Hurdalssjøen	-	-	<10	-
Mjøsa (/reguler. ovenf.)	-	-	-	125
Flomdemping	125	325	300	825
Flomkulminasjon	715	2500	3200	3800



Figur 3.13: Selvreguleringsberegning for Øyeren - uregulert tilløp.

Figure 3.13: Calculated natural self-regulation of Lake Øyeren - unregulated runoff into the lake.



Figur 3.14: Selvreguleringsberegning for Øyeren - regulert tilløp.

Figure 3.14: Calculated natural self-regulation of Lake Øyeren - regulated runoff into the lake.

hensyn til periodevis redusert tapping i forhold til såkalt naturlig avløp, herunder avløpsreduksjonen omkring 6.juni blir resulterende flomdemping ca. 0,4 m. Den spesielle manøvreringen reduserte imidlertid kulminasjonsvannstanden i Øyeren med 0,2-0,25 m.

Flomdempingene ved Elverum er som tidligere oppsummert ca. 800 m^3/s og utgjør en reduksjon i flomvannstanden på 0,9 m. Tilsvarende utgjør 325 m^3/s ved Alvdal og Stai hhv. ca. 1,0 m og 0,7 m, og 750 m^3/s ved Nor/Norsfoss ca. 1,0 m.

I Øyeren var effekten av økt avløpskapasitet siden flommen i 1967 en flomdemping på 2,2 m. Reguleringene i Glomma og Lågen gav en flomdemping på ca. 1,9 m. Med effekten av forhåndstapping av Øyeren og avløpsreduksjonen fra Mjøsa på til sammen ca. 0,4 m var total flomdemping ca. 4,5 m. Uten reguleringene ovenfor og andre flomdempende tiltak ville vannføringen ved Solbergfoss kulminert ca. 700 m^3/s høyere enn observert.

3.7 Avsluttende kommentarer

Beregningene av reguleringenes flomdempende effekt viser at den har vært betydelig Glomma.
Man ser i ettertid at flomdempingen kunne vært større nedenfor Aursunden, Savalen, Storsjøen, Osen og Olstappen med eksisterende reguleringer, men det er mindre bidrag som i stor grad forutsetter at man kjenner flomforløpet. Ytterligere regulering i Einunna, av Tunna/Savalen og Storsjøen, i Øvre Otta og Vinstravassdraget hadde gitt vesentlig økt flomdemping i 1995.

4. Effekten av ytterligere regulering på stor vassdragsomfattende flom

4.1 Innledning

Effekten av eksisterende reguleringer i Glomma og Lågen under flommen i 1995 var betydelig ikke bare fordi magasinene var tømt før flommen, men også fordi de ble sterkere tappet enn vanlig under oppfylling og fordi det ble foretatt aktiv regulering under flommen. Flomskadene i 1995 på 1,8 milliarder kroner viser imidlertid at det er et vesentlig potensiale ved ytterligere regulering.

Fordi man i forkant aldri vet hvilken størrelse, og hvilket forløp flommen får, er det en stor utfordring å regulere magasinene optimalt. Her er det selvsagt viktig å ha tilstrekkelig magasinkapasitet strategisk plassert i vassdragene, men også viktig med fleksibilitet i manøvreringsreglementene og gode prognosemodeller.

Generelt sett er det størst muligheter til å dempe vårflommer. Dempning av sommerflommer, som er aktuelt i Otta og Lågen med sidevassdrag, er i liten grad mulig med eksisterende magasinkapasitet (reguleringsprosent på 13 og 14%). Tapping under oppfylling i mai-juni kan imidlertid bidra til at mindre flommer tidlig på sommeren reduseres. Høstflommer kan bare dempes effektivt av flerårsreguleringer eller spesielle beredskapsmagasin.

GLB-rapporten "Effekt av ytterligere vassdragsregulering i Glomma og Lågen på stor flom" fra februar 1999 er resultatet av arbeid innenfor HYDRA-programmet (prosjekt F2) og er utgangspunktet for kapittel 2 og 4 i denne HYDRA-rapporten. I GLB-rapporten er det i tillegg dokumentert historisk (årrekken 1902-98) vinternedbør som indeks for snømagasin, historisk (årrekken 1902-98) "flombilde" basert på lange måleserier i Glomma og Lågen, og tabeller med resultater.

I arbeidet med Flomtiltaksutvalgets rapport NoU 1996:16 ble effekten av ca. 50 reguleringsprosjekter i Glomma og Lågen utredet. Det vises her til NVE-rapport nr. 28/1996. Utvalget anbefalte 10 prosjekter med betydelig effekt. Blant disse var tilleggsreguleringer i Storsjøen i Rendalen (7 m senkning), Raudalsvann (50 m hevning) og Mjøsa (1,75 m senkning). Samlet kan man lagre nesten 1500 Mm^3, som vil øke magasinkapasiteten i Glomma og Lågen med 43%. Men fortsatt vil en reguleringsgrad på 23% være lav sammenlignet med andre regulerte vassdrag på Øst- og Sørlandet (30-55%). I tillegg foreslo utvalget mindre tilleggsreguleringer i Osensjøen, Bygdin og Vinsteren.

Stortinget gav ved sin behandling (Stortingsmelding nr. 42, "Flommeldingen") tilslutning til at flomdemping bør tillegges vesentlig større vekt enn idag. Stortinget ga sitt samtykke til at 5 av prosjektene kan plasseres administrativt i Samlet Plan (SP). Det gjelder Storsjøen i Rendalen, Osensjøen, Raudalsvann, Bygdin og Vinsteren. I tillegg er allerede Markbulia (minste alternativ), Tunna/Savalen og Storsjøen i Odalen plassert i SP kategori I. Flomtiltaksutvalget anbefalte også overføring av Glomma til Storsjøen i Rendalen (Burua kraftverk/flomtunnel) og Jora til Aursjø i Møre og Romsdal. Burua ses i sammenheng med en moderat regulering (langt mindre enn SP-prosjektet i kategori II) i Imsa og Storsjøen i Rendalen. Overføringen av Jora (SP kategori I) og regulering av Vågåvann (nytt prosjekt) gir flomdemping blant annet ved tettstedet Otta. Vågåvann har primært blitt fokusert utfra problem med sandflukt ved lav vannstand. Prosjektene er nærmere beskrevet i kapittel 2.

Effekten av ytterligere regulering blir i denne rapporten analysert med utgangspunkt i de 8 største vassdragsomfattende flommene i dette århundre. Analysene vil gi beslutningstagere i stat og kommuner bedre grunnlag for å vurdere flomtiltak i Glomma og Lågen. Analysene vil også kunne supplere andre prosjekt/delprosjekt innenfor HYDRA-programmet.

Effekten av ytterligere regulering er analysert på flommer som har et vesentlig potensiale for reduksjon av skadeomfanget. Det er lagt spesiell vekt på flomdemping i Glomma nedenfor Rena, i Lågen nedenfor Ringebu, og i Mjøsa. Flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995 var vassdragsomfattende og peker seg derfor ut for analyse. I alle disse årene kulminerte flomvannføringen over 2000 m^3/s i Glomma ved Elverum (middelflommen er 1500 m^3/s) og 1850 m^3/s ved Losna i Lågen (middelflommen er 1375 m^3/s). Mjøsa kulminerte i middel for disse årene 1,25 m over middelflom (høyest i 1927 med 2,3 m over middelflom). I middel har disse 8 flommene kulminert 26. mai ved Elverum og 3.juni ved Losna, med variasjon henholdsvis 8.mai-20.juni og 10.mai-9.juli. Tidspunktene viser at snø er en vesentlig "drivkraft" bak de store vassdragsomfattende flommene i Glomma og Lågen. I Glomma var snømagasinet (nedbør i tiden 15.november til 15.april) i middel nesten 140% av normalt i disse årene, i Lågen imidlertid bare 115%. I Otta og Lågen er som tidligere nevnt kombinasjonen sterk snøsmelting og nedbør tidlig på sommeren mest fremtredende. Flommene i 1938, 1958 og 1993 gjorde betydelig skade, og utløste offentlige flomsikringstiltak. I denne rappor-

ten er ikke disse flommene analysert nærmere med tanke på effekt av ytterligere vassdragsregulering. Det gjelder også flommene i 1958 og 1973 i Glomma.

4.2 Analyse av flomdempingseffekt - metodikk og datagrunnlag

Effekten av prosjektene som er beskrevet i kapittel 2 er analysert ved å gjennomregne reguleringsforløp dag for dag i flomårene 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995. Det er gjort beregninger for perioden fra 1.april til 1.juli, eventuelt 1.august avhengig av når flomkulminasjonen finner sted. Eksisterende reguleringer har kommet til på ulike tidspunkt frem til ca. 1970. For å få frem reelle uttrykk for flomdempingseffekten har det derfor vært nødvendig å beregne forløp med både dagens og mulig nytt reguleringssystem. Disse sammenlignes innbyrdes og med observerte forløp. Det er tatt hensyn til tidsforsinkelse nedover i vassdragene, og brukt forsinkelser som antas å ha brukbar gyldighet under stor flom.

4.3 Karakteristikka ved flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995

I tabellen øverst neste side er snømagasin (akkumulert nedbør fra 15.november) pr. 15.april oppgitt for de 8 flomårene i % av normalt. Noe høyere snømagasin er målt for Mjøsa og Midtre Glomma i 1995.

Flommen i 1910 kulminerte 17.mai i Glomma og 15.-16. juni i Otta og Lågen. Mjøsa kulminerte 18.juni. Ca. 50 mm nedbør 5.-10. mai i Østerdalen og ca. 30 mm nedbør omkring 1.juni i Mjøs-området, og generelt mye snø, bidro til den store flommen. Flommen gjorde stor skade og initierte regulering av mange sjøer i Glomma og Lågen.

Flommen i 1916 kulminerte 11.mai i Glomma, Otta og Lågen. Ca. 40 mm nedbør 5.-10. mai, tidlig avsmelting, og sannsynligvis dyp tele etter en svært kald høst/forvinter, bidro til den store flommen.

Flommen i 1927 kulminerte 5.-6. og 28. juni i Glomma og 1.juli i Otta og Lågen. Selv om det generelt var mye snø bidro en kald vår til normale flomforhold. Ca. 125 mm nedbør i tiden 17.juni-2.juli i de nedre deler av vassdragene gav stor flom og spesielt Mjøsa fikk et ekstra "løft" og vannstanden kulminerte 11.juli på det høyeste nivået i dette århundre, vel 3 m over HRV. Flommen gjorde stor skade og flere menneskeliv gikk tapt!

Flommen i 1934 kulminerte 8.mai i Glomma, 9.mai i Otta og 10.mai i Lågen. En kraftig varmebølge (19 oC ble målt på Røros 8.mai) bidro til den store flommen. Det var under normalt med snø bortsett fra i Ottadalen, og flommen var over i løpet av en uke.

Flommen i 1939 kulminerte 20.juni i Glomma og 21.juni i Otta og Lågen. Ca. 50 mm nedbør 18.juni i Østerdalen og Mjøsområdet initierte flommen som var relativt normal i Glomma. I Otta og Lågen var det stor flom som følge av snø-/bresmelting. Ca. 85 mm nedbør i tiden 21-24. juli i de nedre deler av vassdragene gav Mjøsa et ekstra "løft" og vannstanden kulminerte her så sent som 27.juli vel 2 m over HRV.

Flommen i 1966 kulminerte 20.mai i Glomma. Svært store snømengder bidro til flommen. Vinteren 1965/66 var den kaldeste i dette århundre og våren var også kald.

Flommen i 1967 kulminerte 31.mai i Glomma og 1.juni i Lågen. Mye snø og sen snøsmelting bidro til flommen i Glomma. Ca. 20 mm nedbør i Østerdalen både 24.-26. og 31.mai-2.juni gjorde flomtoppen i Glomma relativt "flat". Mjøsa kulminerte 7.juni 2,5 m over HRV. Øyeren kulminerte 6.juni på det høyeste nivået i dette århundre nesten 5,3 m over HRV. Flommen gjorde stor skade og utsprengningen ved Mørkfoss ble vedtatt og utført ved offentlige bevilgninger.

Flommen i 1995 kulminerte 2.juni i Glomma og 3.juni i Otta og Lågen. Mye snø i områder over 600-700 m, sen snøsmelting og 50-100 mm nedbør i tiden 28.mai-2.juni bidro til skadeflommen i Glomma og Lågen. Mjøsa kulminerte 11.juni 2,7 m over HRV. Øyeren kulminerte 6.juni vel 3 m over HRV. Flommen var i Glomma en 200-års flom. Erstatninger beløp seg til 1,8 milliarder kr.

4.4 Reguleringen/effekten av ytterligere regulering i Glomma

4.4.1 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Stai i Glomma

Mulige prosjekter ovenfor Stai er Markbulia, Tunna/Savalen, Imsa og Burua. Hvis prosjektene ble realisert ville det være en aktuell strategi å forhåndstappe Markbulia i de fleste år for å ha magasinkapasitet når vannføringen i Einunna overstiger kapasiteten på overføringen til Savalen og for å dempe skadeflommer. Det gjelder også i noe grad Savalen i forhold til Rendalsoverføringen og Imsa i forhold til Buruaoverføringen. Burua forutsettes drevet som flomtunnel med en overføring på 140 m^3/s når vannføringen i Stor-Elvdal overstiger ca. 1000 m^3/s.

Tabell med beregningsresultat for de 8 vassdragsomfattende flommene (nederst gjennomsnitt).(Se tabell 4.2).

Tabell 4.1: Snømagasin pr. 15.april i % av normalt for ulike områder og flomår.

Table 4.1: Calculated snow storages by april 15, in % for different areas and the years with flood.

År \ område	Otta	Vinstra	Mjøsa	Midtre Glomma	Nord-Østerdal
1910	120	130	135	150	145
1916	90	110	120	115	120
1927	100	150	175	175	170
1934	135	100	80	85	85
1939	60	125	155	140	120
1966	60	115	145	160	190
1967	115	130	140	150	160
1995	140	125	115	125	125

Det fremgår av tabellen at effekten av prosjektene ovenfor Stai er en flomdemping på mellom 175 og 450 m^3/s, med et gjennomsnitt på 275 m^3/s. Det fremgår også at beregnet effekt av eksisterende reguleringer overstiger 200 m^3/s i gjennomsnitt. Flomdempningen tilsvarer en reduksjon i vannstanden på mellom 0,5 og 1,05 m (i 1995), med et gjennomsnitt på 0,75 m. Flomdempingen varierer mellom 17 og 24%. Med realisering av prosjektene vil man svært sjelden få store flomskader i Stor-Elvdal. I Alvdalområdet vil flomdempingen være mindre, men fortsatt betydningsfullt med inntil 110 m^3/s (i 1995) og 60 m^3/s i gjennomsnitt.

4.4.2 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Elverum i Glomma

Mulige prosjekter ovenfor Elverum er (i tillegg til Markbulia, Tunna/Savalen, Imsa og Burua) Storsjøen i Rendalen og Osen med Østre Æra og Vesleflisa.
Det vil fortsatt være aktuelt å forhåndstappe Storsjøen som med 26% regulering raskt blir fyllt om våren. Ledig kapasitet og om nødvendig flommagasinet vil i så fall bli brukt for å dempe skadeflommer i Rena over 250 m^3/s. Osen vil som nå bli forhåndstappet de fleste år tidlig i vårfasen.

Tabell med beregningsresultat for de 8 vassdragsomfattende flommene (nederst gjennomsnitt).(Se tabell 4.3).

Det fremgår av tabellen at effekten av prosjektene ovenfor Elverum er en flomdemping på mellom 250 og 800 m^3/s, med et gjennomsnitt på 500 m^3/s. Beregnet effekt av allerede eksisterende reguleringer er også 500 m^3/s i gjennomsnitt. Flomdempningen tilsvarer en reduksjon i vannstanden på mellom 0,35 og 1,05 m (i 1967), med et gjennomsnitt på 0,65 m. Reduksjonen ville vært 0,95 m i 1995. Flomdempingen varierer mellom 17 og 40%. Med eventuell realisering av nye prosjekter vil man svært sjelden få store flomskader i Glomma nedenfor Rena.

4.5 Reguleringen/effekten av ytterligere regulering i Otta, Vinstra og Lågen, og av Mjøsa

4.5.1 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Lalm i Otta

Mulige prosjekter ovenfor Lalm er Raudalsvann (forutsetter Øvre Otta) og Vågåvann. Det vil fortsatt være aktuelt å forhåndstappe Breidalsvann med hensyn på kraftverkene i Lågen, og for at vann fra blant annet Tora og Føysa kan overføres i så stor grad som mulig i perioder med høye tilsig. Det vil i liten grad være aktuelt å forhåndstappe fra Raudalsvann. Det er et ønske lokalt at Vågåvann normalt kan holdes mellom kote 361,5 og 362,5 på grunn av sandflukt. Man forutsetter på disse nivåene å ha en tappekapasitet på henholdsvis 225 og 450 m^3/s, som er 60 og 70 m^3/s mer enn naturlig. Under stor flom utnytter man den større kapasiteten så lenge det er mulig av hensyn til vassdraget nedenfor. Når flommen har kulminert i Otta vil i så fall strategien være å holde igjen så mye vann som mulig i Vågåvann inntil flommen kulminerer i Lågen og Mjøsa.

Tabell med beregningsresultat for de 8 vassdragsomfattende flommene (nederst gjennomsnitt).(Se tabell 4.4).

Det fremgår av tabellen at effekten av prosjektene ovenfor Lalm i Otta på disse 8 flommene er en flomdemping på mellom 105 og 285 m^3/s, med et gjennomsnitt på 185 m^3/s. Det fremgår også at beregnet effekt av eksisterende reguleringer er 230 m^3/s i gjennomsnitt. Flomdempningen tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Lalm på mellom 0,4 og 1,1 m (i 1934), med et

Tabell 4.2: Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Stai.

Table 4.2: The effect of existing regulations and of additional regulation upstream Stai.

Kulmin.vannf. ved Stai	Vf.-observ. (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-nå (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-simul. (m^3/s)
17. mai 1910	1243	131	1112	206	906
11. mai 1916	1582	166	1415	268	1147
28. juni 1927	954	113	841	177	664
8. mai 1934	1818	178	1640	278	1362
20. juni 1939	1120	262	858	149	710
20. mai 1966	1714	319	1395	341	1054
31. mai 1967	1701	280	1421	333	1088
2. juni 1995	1935	-	1935	447	1488
28. mai (middel for årene)	**1509**	**207**	**1327**	**275**	**1052**
1908-98:	910				

Tabell 4.3: Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Elverum.

Table 4.3: The effect of existing regulations and of additional regulation upstream Elverum.

Kulmin.vannf. ved Elverum	Vf.-observ. (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-nå (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-simul. (m^3/s)
17. mai 1910	2076	467	1609	379	1230
11. mai 1916	2892	865	2028	342	1686
9. juni 1927	1639	139	1499	595	904
8. mai 1934	2963	684	2278	400	1878
20. juni 1939	1639	379	1260	245	1015
20. mai 1966	2600	821	1780	455	1325
31. mai 1967	2533	124	2409	796	1616
2. juni 1995	3139	-	3139	777	2362
26. mai (middel for årene)	**2435**	**497**	**2000**	**499**	**1502**
1902-98:	1496				

Tabell 4.4: Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Lalm.

Table 4.4: The effect of existing regulations and of additional regulation upstream Lalm.

Kulmin.vannf. ved Lalm	Vf.-observ. (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-nå (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-simul. (m^3/s)
16. juni 1910	884	216	668	156	512
11. mai 1916	648	290	358	171	187
8. juli 1927	958	247	711	188	523
9. mai 1934	803	233	570	244	326
21. juni 1939	1041	155	887	284	602
15. juni 1966	570	-	570	154	416
1. juni 1967	606	-	606	104	502
3. juni 1995	713	-	713	195	518
6. juni (middel for årene)	**778**	**228**	**635**	**187**	**448**
1914-98:	694				

gjennomsnitt på 0,75 m. Flomdempingen varierer mellom 17 og 48%. Da Otta sjelden er i fase med de øvrige deler av vassdraget er det ikke uventet at bare flommen i 1939 er blant de 10 største flommene i Otta i dette århundre. Effekten på de største flommene antas å være som beregnet for de 8 vassdragsomfattende flommene, men flomskadene vil bli redusert.

Det omsøkte Øvre Otta prosjektet vil få en flomdempingseffekt mellom 85 og 100 m^3/s på de 8 vassdragsomfattende flommene. I disse årene er ikke Raudalsmagasinet fyllt når flommen kulminerer i Otta. De største flommene i Otta kulminerer i gjennomsnitt en måned senere, ca. 5.juli. Effekten vil da bli større. Raudalsvann vil være fullt de fleste av årene uten tilleggsregulering. Samlet effekt med tilleggsregulering vil da være 100-150 m^3/s.

4.5.2 Effekten av ytterligere regulering ovenfor Losna i Lågen

Mulige prosjekter ovenfor Losna er (i tillegg til Raudalsvann / Øvre Otta og Vågåvann) Jora, Bygdin, Vinsteren og Kaldfjorden.
En forutsetning for å overføre Jora nordvestover til Aursjøen må være at det ikke er stor flom også der. I Vinstravassdraget vil disponeringen av Olstappen stå sentralt. Her må ønsket om høyere vannstand på forsommeren veies mot flomhensyn. Som for Vågåvann er det mulig å tappe ned, evt. holde vannstanden, og magasinere så mye som mulig inntil flommen kulminerer i Lågen. Prosjektene ovenfor Olstappen vil lette presset på Olstappen. Utnyttelse av større overhøyder i Bygdin og Vinsteren vil ha stor betydning for å dempe høstflommer.

Tabell med beregningsresultat for de 8 vassdragsomfattende flommene (nederst gjennomsnitt). (Se tabell 4.5).

Det fremgår av tabellen ovenfor at effekten av prosjektene ovenfor Losna er en flomdemping på mellom 100 og 375 m^3/s, med et gjennomsnitt på 270 m^3/s. Det fremgår også at beregnet effekt av eksisterende reguleringer er 430 m^3/s i gjennomsnitt. Flomdempningen tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Losna på mellom 0,15 og 0,65 m (i 1927), med et gjennomsnitt på 0,4 m. Reduksjonen ville vært 0,5 m i 1995. Flomdempingen varierer mellom 7 og 25%.

4.5.3 Effekten på Mjøsa av ytterligere regulering i Otta, Vinstra og Lågen

Mjøsa er regulert 3,61 m (2,8 m hevning) som gir et magasin på 1312 Mm^3. Det utgjør 15% av årstilløpet. Manøvreringsreglementet krever av flomhensyn at man hvert år tar sikte på å tømme magasinet. Flommer skal avledes slik at kulminasjonsvannstanden i Mjøsa og flommen nedenfor ikke forsterkes. Man bruker såkalt naturlig avløpskurve, basert på avløpsforholdene under flommen i 1927. Effekten av oppstuvning fra Glomma kan (kfr. tabellen for 1966 og 1967) være betydelig, og det regulerte tilløpet i Lågen påvirker selvsagt kulminasjonsvannstanden.

Effekten for Mjøsa av ytterligere regulering ovenfor er beregnet ut fra de regulerte flomtilløp i hvert av de 8 årene med vassdragsomfattende flommer og såkalt naturlig avløpskurve.

Tabell med beregningsresultat for de 8 vassdragsomfattende flommene (nederst gjennomsnitt).(Se tabell 4.6).

Tabell 4.5: Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Losna.

Table 4.5: The effect of existing regulations and of additional regulation upstream Losna.

Kulmin.vannf. ved Losna	Vf.-observ. (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-nå (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-simul. (m^3/s)
15. juni 1910	2124	416	1707	268	1440
11. mai 1916	1911	530	1381	129	1252
9. juli 1927	1720	227	1493	369	1124
10. mai 1934	2178	405	1774	376	1397
21. juni 1939	2440	585	1855	323	1532
20. mai 1966	1544	-	1544	102	1443
2. juni 1967	1814	-	1814	212	1602
3. juni 1995	2500	-	2500	362	2138
3. juni (middel for årene)	**2029**	**432**	**1759**	**268**	**1491**
1902-98:	1370				

Tabell 4.6: Effekten av eksisterende reguleringer og ytterligere regulering ovenfor Mjøsa.

Table 4.6: The effect of existing regulations and of additional regulation upstream Mjøsa.

Kulmin.vannst. i Mjøsa	Vf.-observ. (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-nå (m^3/s)	Flomdemping (m^3/s)	Vf.-simul. (m^3/s)
18. juni 1910	125,39	0,40	124,99	0,32	124,67
5. juni 1916	123,99	0,23	123,76	0,25	123,50
11. juli 1927	126,00	0,52	125,48	0,47	125,02
15. mai 1934	124,40	0,73	123,67	0,25	123,42
28. juli 1939	124,98	0,50	124,48	0,37	124,12
27. mai 1966	123,84	0,40	123,44	0,10	123,34
7. juni 1967	125,41	0,32	125,09	0,29	124,80
11. juni 1995	125,62	-	125,51	0,42	125,09
15. juni (middel for årene)	**124,95**	**0,44**	**124,55**	**0,31**	**124,24**
1908-98:	123,70				

Det fremgår av tabellen at prosjektene ovenfor Mjøsa vil gi en reduksjon i flomvannstanden på mellom 0,1 og 0,45 m (i 1927), med et gjennomsnitt på 0,3 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,4 m. Vannstanden ville i 1927, 1967 og 1995 kulminert på et nivå der man fortsatt måtte forvente store flomskader, med henholdsvis 125,02 m (7,33 m lokalhøyde), 124,80 m (7,14 m) og 125,09 m (7,40 m). Flommen i 1910 ville kulminert på 124,67 m (6,98 m), som er nær grensen for større flomskader.

Avløpet fra Mjøsa bestemmes av vannstanden i Mjøsa, lukestillinger ved Svanfoss, vannføringen i Glomma og overvannet på Rånåsfoss. Prosjektene i Glomma gir som nevnt en flomdemping ved Elverum på 500 m^3/s i gjennomsnitt, 775 m^3/s i 1995. Analyse av data fra flommene i 1986 (da Glomma nedenfor Funnefoss steg så raskt at Glommavann rant inn i Mjøsa) og i 1995, indikerer at ca. 500 m^3/s i redusert vannføring ved Funnefoss (og relativt små endringer ellers) gir inntil 100 m^3/s i økt avløp fra Mjøsa. En beregning for 1995 (perioden 27.mai-11.juni), der effekten av prosjektene i Glomma med mindre oppstuvning av Vorma er lagt inn, gir som resultat en tilleggseffekt for Mjøsa på 0,2 m. Det vil si at flomvannstanden i 1995 ville kulminert under 125,0 m (7,3 m lokalhøyde).

Det fremgår av tabellen at effekten av eksisterende reguleringer i gjennomsnitt for de 5 årene med vassdragsomfattende flommer før 1966 ville vært 0,5 m. Effekten på den store flommen i 1927 ville også vært 0,5 m. I tillegg kommer også her effekten av eksisterende reguleringer i Glomma med mindre oppstuvning av Vorma.

4.5.4 Effekten av ytterligere regulering av Mjøsa

Prosjektet ytterligere senking av Mjøsa (1,75 m) med Minnesund pumpe var som nevnt blant de 10 prosjektene som Flomtiltaksutvalget anbefalte. Det var anført en betydelig flomdempingseffekt nedenfor i Vorma og Glomma (250 m^3/s hvert 50. år).

Prosjektet ble av enkelte oppfattet å forsinke Mjøsas oppfylling de fleste år. Tørrlegging av Vorma var også nevnt. Selv om Mjøsa senkes ytterligere 1,75 m (i dag 3,61 m), som gir et magasin på ca. 1950 Mm^3 (i dag 1312 Mm^3), vil magasinet bare utgjøre 50% (i 1995: 34%) av det uregulerte tilløpet (fra et nedbørfelt på 14900 km^2) i tiden 15.april-30.juni. I en stor del av denne tiden er det høy vannføring i Glomma og en del kan eventuelt ledes inn i Mjøsa for å øke flomdempingen nedenfor og/eller redusere forbitappingen i kraftverkene. I år med lite/seint tilløp til Mjøsa kan vann fra Glomma eventuelt bidra til å bedre vannstandsforholdene i Mjøsa.

Prosjektet forutsetter et pumpeverk ved Minnesund (med pumpekapasitet på 400 m^3/s), som kan tømme tilleggsmagasinet i løpet av en måned og holde vannstanden nede i år med stor risiko for skadeflom. Utnyttelsen av kapasiteten må imidlertid vurderes i forhold til flomrisiko og mulighetene for oppfylling, spesielt i siste halvdel av mai.

Flomdempingseffekten til dette prosjektet, uavhengig av prosjekter ovenfor Mjøsa, er analysert for 10 år med store snømagasin (150% av normalt i gjennomsnitt). Det er årene 1939, 1950, 1951, 1960, 1966, 1967, 1985, 1988, 1990 og 1995. Beregningene gir som resultat en reduksjon i flomvannstanden i Mjøsa på mellom 0,5 og 1,0 m, med et gjennomsnitt på 0,7 m. Det vil si at flomvannstanden ville kulminert på 123,8 m (6,1 m lokalhøyde) i gjennomsnitt.

I 1995 ville flomvannstanden kulminert 12.juni på 124,8 m (7,1 m) som er 0,85 m lavere enn den som ble observert. Avløpet ville på det meste vært redusert med 480 m^3/s (4.juni), og maksimalt avløp vært redusert fra 1650 til 1450 m^3/s.

Tilløpet til Øyeren i Glomma oversteg 3000 m^3/s i tiden 2.-14.juni. Prosjektet ville redusert tilløpet med 250 m^3/s i gjennomsnitt i denne perioden. I tiden fra 28.mai, da avløpet ved Solbergfoss oversteg 1000 m^3/s og frem til 8.juni, da Øyeren ville kulminert, kunne tilløpet blitt redusert med 260 m^3/s i gjennomsnitt (tilsvarer et volum på 270 Mm^3). Øyeren ville kulminert 1,0 m lavere enn observert på 103,4 m (6,85 m lokalhøyde) og maksimalt avløp ville vært 3325 m^3/s (250 m^3/s lavere enn observert).

4.6 Effekten på flommene i 1927, 1939, 1967 og 1995 med illustrasjon av flomforløp

Resultatet av beregningene for de 8 vassdragsomfattende flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995 er et omfattende materiale som er fremstillet på døgnbasis for referansepunktene Stai, Elverum, Lalm, Losna, Olstappen (Vinstravassdraget) og Mjøsa i vedlegg 3 i GLB-rapporten "Effekt av ytterligere vassdragsregulering i Glomma og Lågen på stor flom". For enda mer detaljerte studier kan det henvises til fra regnearkene som er brukt. Her er det data for "observert", "simulert" og "nå", referert til alle de 12 prosjektstedene. I tillegg finner man der også data for viktige referansepunkt som Einunna, Høyegga overføringspunkt, Alvdal i Glomma og Fredriksvann i Øvre Otta.

Det er i dette avsnittet illustrert (kfr. forklaringer til forkortelser brukt i kurveplott og tabeller, bakerst i rapporten) forløpene til de største flommene i 1927, 1939, 1967 og 1995 på viktige steder som Stai og Elverum i Glomma, Lalm i Otta, Losna i Lågen og i Mjøsa. Effekten av det svært sentrale Storsjømagasinet er også illustrert.

Flommen i 1927 kulminerte sent. Mye nedbør i slutten av juni i de nedre deler av vassdragene gav Mjøsa et stort "løft" og vannstanden kulminerte 11.juli på det høyeste nivået i dette århundre, vel 3 m over HRV. Prosjektene ovenfor Mjøsa ville redusert flomvannstanden i 1927 med 0,47 m ved kulminasjonstidspunktet 11.juli. I tiden 1.-11. juli ville prosjektene ha redusert tilløpet med 200 Mm^3 eller 210 m^3/s i gjennomsnitt. I Øvre Otta ville ikke Breidals- og Raudalsmagasinet ha nådd opp til eksisterende magasinkapasitet, da snøsmeltingen var beskjeden i fjellet frem til ca. 20.juni. Mer normal avsmelting hadde gitt effekt av ytterligere regulering i Raudalsvann. For øvrig ville prosjektene i Vinstravassdraget, Vågåvann og Jora bidratt til at inntil 370 m^3/s kunne holdes tilbake ovenfor Mjøsa.

Flommen i 1939 var stor i Otta og Lågen som følge av nedbør og snø-/bresmelting, og den kulminerte 21.juni. Mjøsa fikk et stort "løft" i slutten av juli og vannstanden kulminerte så sent som 28.juli, vel 2 m over HRV.

Prosjektene Øvre Otta og Vågåvann ville redusert flommen i 1939 ved Lalm i Otta med henholdsvis 85 og 200 m^3/s. Breidals- og Raudalsmagasinet ville på kulminasjonstidspunktet 21.juni hatt en magasinfylling på 190 Mm^3, som er henholdsvis 81 og 26% av eksisterende og mulig ny magasinkapasitet.

I 1939 ville prosjektene i Otta-området, Jora og i Vinstravassdraget redusert flommen 21.juni i Lågen ved Losna med 325 m^3/s, og bidratt med henholdsvis 170, 80 og 75 m^3/s. Eksisterende reguleringer ovenfor Losna ville redusert flommen med 585 m^3/s. I 1939 var det i Lågen bare Bygdin som bidro med flomdemping.

Prosjektene ovenfor Mjøsa ville redusert flomvannstanden i 1939 med 0,37 m ved kulminasjonstidspunktet 28.juli. I Øvre Otta ville Breidals/Raudalsmagasinet ha nådd opp til eksisterende magasinkapasitet (236 Mm^3) 27.juni, og frem til Mjøsa ville kulminert på 124,12 m (6,43 m lokalhøyde) hadde Raudalsmagasinet holdt tilbake ytterligere 150 Mm^3. For øvrig ville prosjektene i Vinstravassdraget, Vågåvann og Jora bidratt til at inntil 175 m^3/s kunne holdes tilbake ovenfor Mjøsa.

I 1967 bidro mye snø og sen snøsmelting til stor flom i Glomma og Lågen. Flommen kulminerte henholdsvis 31.mai og 1.juni. Mjøsa kulminerte 7.juni 2,5 m over HRV.

I 1967 ville prosjektene ovenfor Stai i Glomma redusert flommen som kulminerte 31.mai med 335 m^3/s. Markbulia, Tunna/Savalen, Imsa og Burua ville bidratt med henholdsvis 30, 40, 75 og 140 m^3/s, og i tillegg ville full overføring til Rendalen bidratt med 55 m^3/s. Burua ville blitt drevet som flomtunnel i tiden 26.mai-3.juni for, om mulig, å holde vannføringen under 1000 m^3/s. Flomvannføringen ville 31.mai blitt 1090 m^3/s. Eksisterende reguleringer ville bidratt med 280 m^3/s.

I 1967 ville Storsjøen med ytterligere regulering blitt forhåndstappet sterkere i tiden 10.-18.mai, 10-65 m^3/s mer enn i dag. Flommen i Glomma nedenfor Rena ville 26.-27.mai blitt dempet med 245-270 m^3/s, og 31.mai med hele 340 m^3/s. Flommen oversteg 1500 m^3/s i tiden 27.mai-3.juni. Flomdempingsmagasinet over HRV ville blitt utnyttet fra 1.juni. Maksimalt 325 m^3/s ville blitt tappet fra Storsjøen. Flommen i Glomma ville blitt dempet inntil 800 m^3/s og ville kulminert på 1615 m^3/s 31.mai-2.juni. Storsjøen ville 1.-2.juni bidratt med en flomdemping på 200 m^3/s.

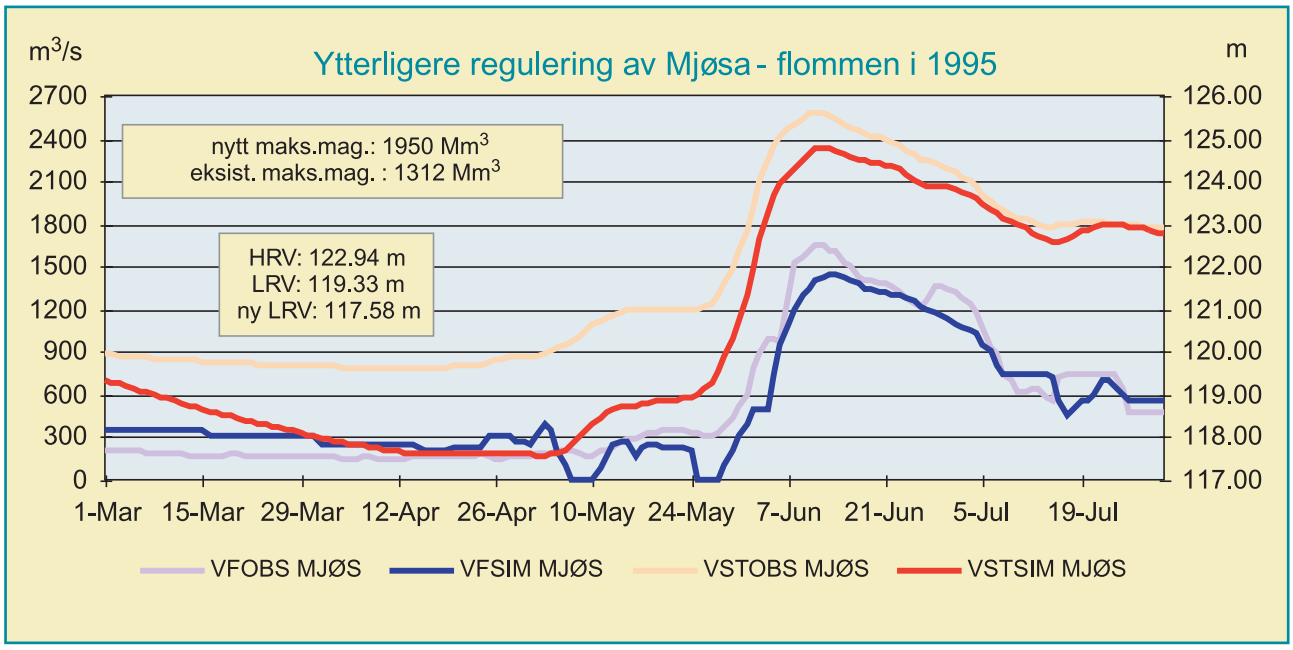
I 1967 ville prosjektene ovenfor Elverum i Glomma bidratt til en flomdemping 31.mai på 795 m^3/s, fra 2410 til 1615 m^3/s. Prosjektene ovenfor Stai, Storsjøen, og Osen med Østre Æra og Vesleflisa, ville bidratt med henholdsvis 335, 340 og 120 m^3/s. Flommagasinet over HRV i Osen ville gitt muligheter til å redusere helt ned til minstevannføringen. Flomdempingen på ca. 800 m^3/s tilsvarer en vannstandsreduksjon på 1,05 m.

I 1967 kulminerte flommen i Lågen 2.juni på 1815 m^3/s. Flommen kunne med eksisterende reguleringer vært redusert med 140 m^3/s. Prosjektene ovenfor Mjøsa ville redusert flommen ytterligere 200 m^3/s, og tilløpet til Mjøsa i perioden 28.mai-7.juni med 165 m^3/s i gjennomsnitt og 155 Mm^3 i volum. Sammenliknet med observert, reduserte den høye vannføringen i Glomma (over 2000 m^3/s) avløpet fra Mjøsa i denne perioden med 70-100 m^3/s. Mjøsa kulminerte 7.juni i 1967 på 125,41 m (7,72 m lokalhøyde). Det er beregnet en kulminasjon på 125,09 m (7,40 m) og en flomdempingseffekt av prosjektene ovenfor Mjøsa på 0,29 m.

Flommen i 1995 kulminerte 2.juni i Glomma og 3.juni i Otta og Lågen. Mye snø i områder over 6-700 m, sen snøsmelting og mye nedbør bidro til flommen i Glomma og Lågen. Mjøsa kulminerte 11.juni 2,7 m over HRV. Øyeren kulminerte 6.juni vel 3 m over HRV.

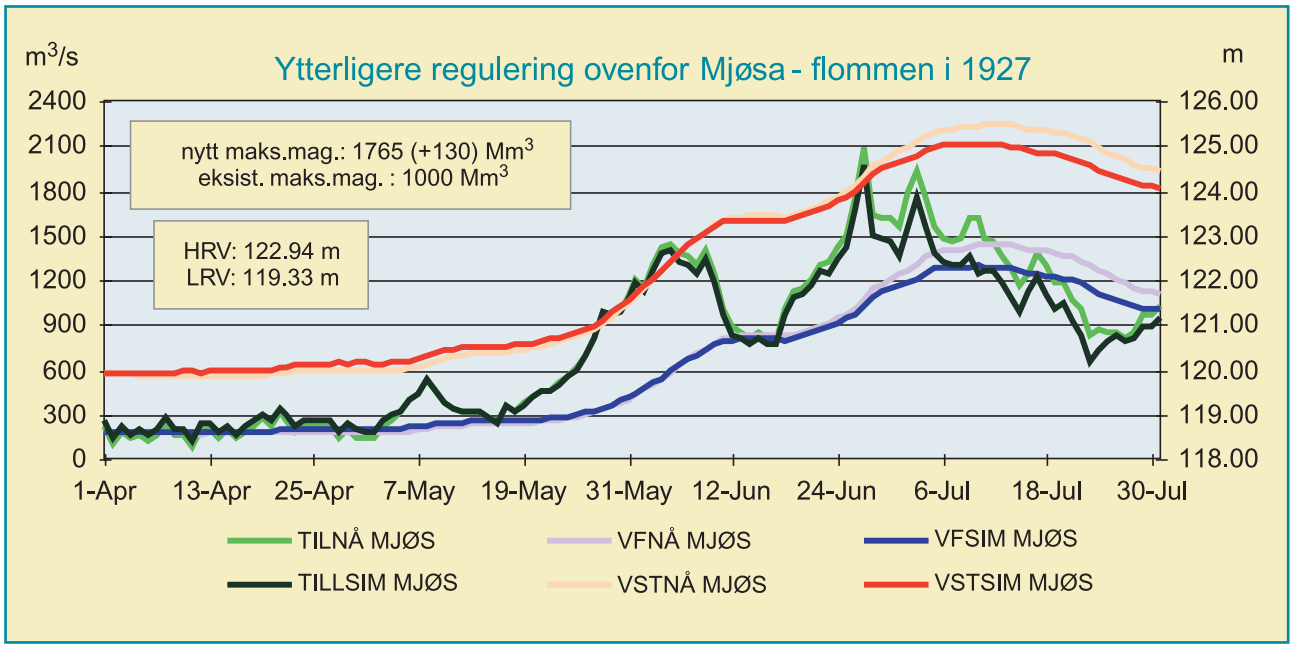
I 1995 ville prosjektene ovenfor Stai i Glomma redusert flommen, som kulminerte 2.juni, med 445 m^3/s eller 1,05 m. Markbulia, Tunna/Savalen, Imsa og Burua ville bidratt med henholdsvis 55, 55, 140 og 140 m^3/s, og i tillegg ville Rendalsoverføringen bidratt med 55 m^3/s. Burua ville blitt drevet som flomtunnel i tiden 31.mai-3.juni. Flommen ville kulminert på 1490 m^3/s. I feltene over 6-700 m vest for Glomma var tilsiget 1.-2.juni nærmere 600 $l/s.km^2$. En tilleggsoverføring her til magasinet i Imsa, for eksempel fra syd (N. og S. Eldåa) og forutsatt god kapasitet, kunne ha dempet flommen 1.-2.juni ytterligere 50-100 m^3/s uten at magasinet ville blitt fyllt.

Storsjøen ville dempet flommen i Glomma nedenfor Rena 31.mai-3.juni med 300-400 m^3/s, 1.juni med hele 425 m^3/s. Flomdempingsmagasinet over HRV ville blitt tatt i bruk fra 4.juni og blitt fullt utnyttet frem mot ca. 15.juni for å lette presset i Nedre Glomma. Maksimalt 250 m^3/s ville blitt tappet fra Storsjøen.



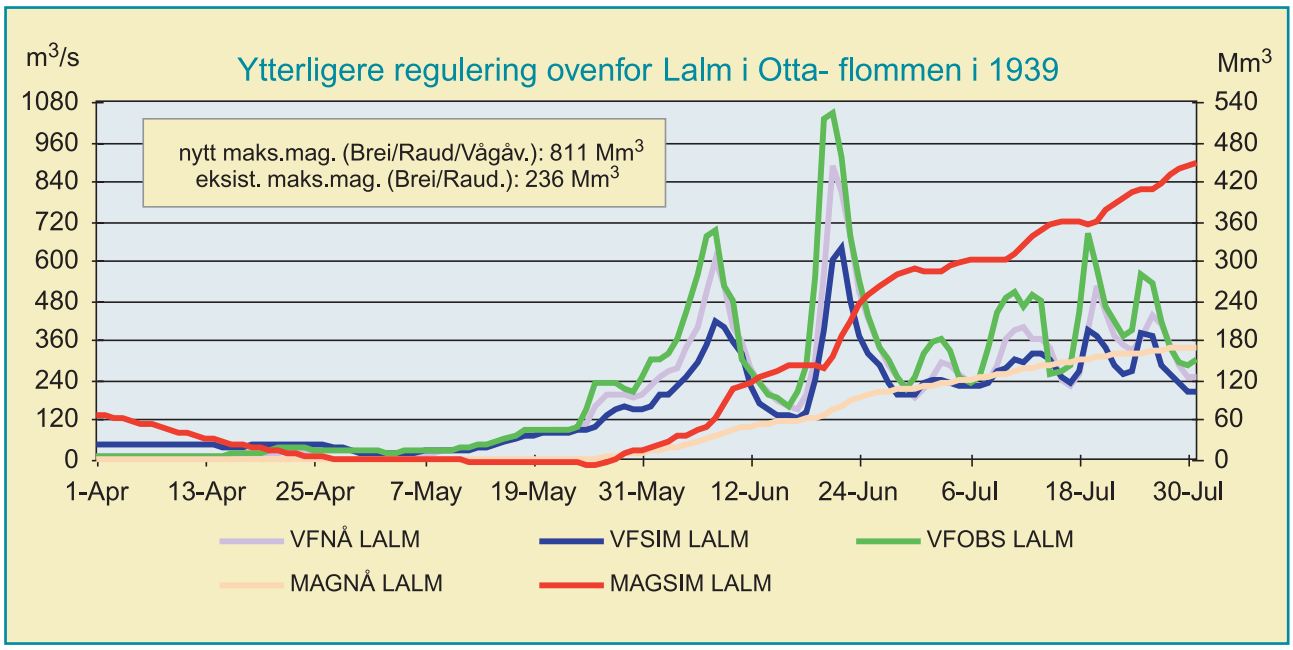
Figur 4.1: Ytterligere regulering av Mjøsa - flommen i 1995.

Figure 4.1: Additional regulation of Lake Mjøsa - the 1995 flood.



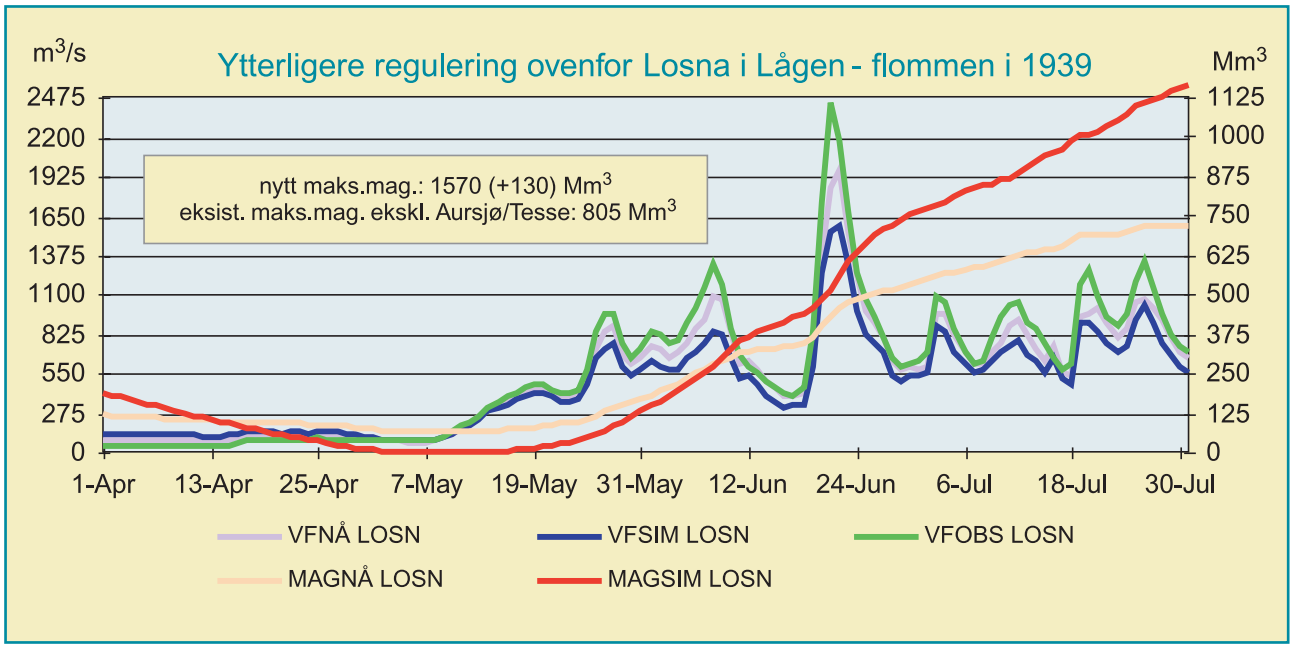
Figur 4.2: Ytterligere regulering nedenfor Mjøsa - flommen i 1927.

Figure 4.2: Additional regulation upstream Lake Mjøsa - the 1927 flood.



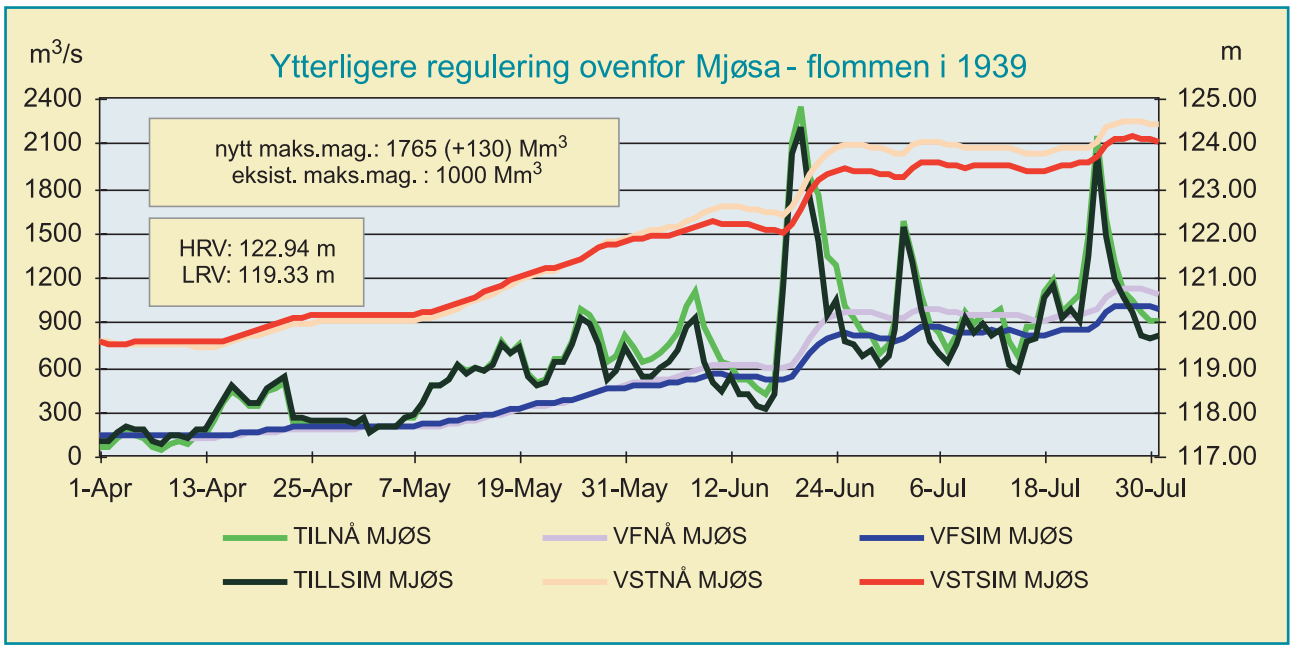
Figur 4.3: Ytterligere regulering ovenfor Lalm - flommen i 1939.

Figure 4.3: Additional regulation upstream Lalm - the 1939 flood.



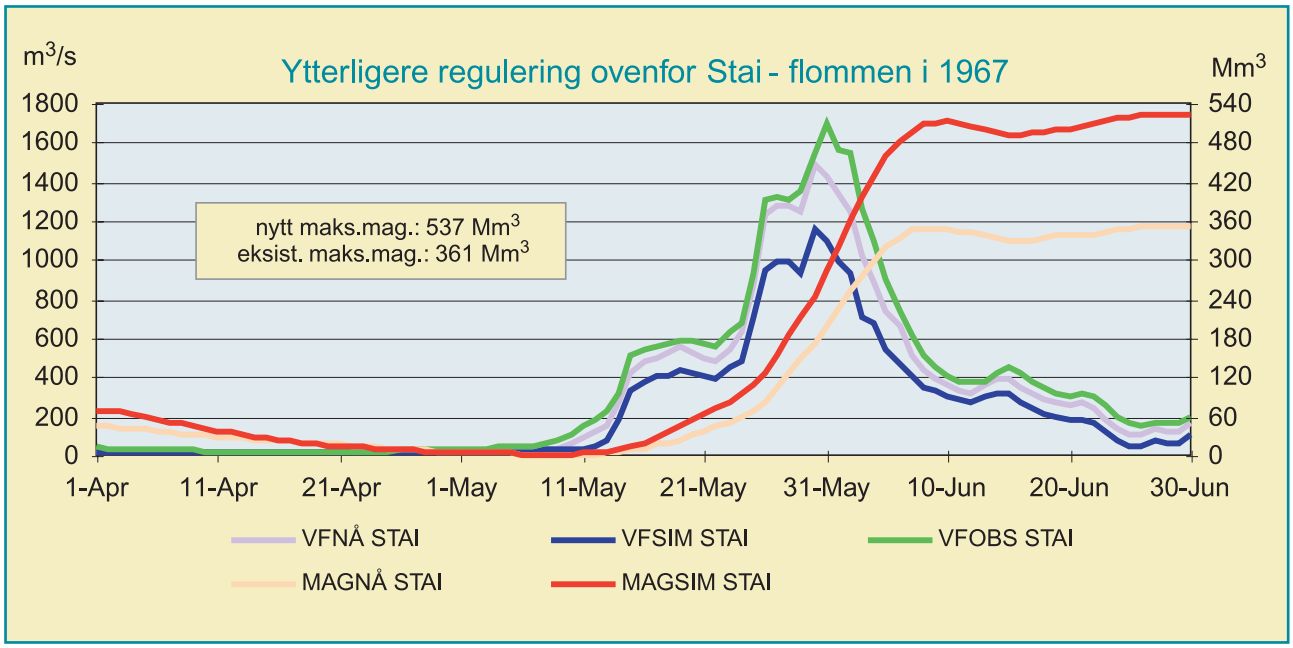
Figur 4.4: Ytterligere regulering ovenfor Losna - flommen i 1939.

Figure 4.4: Additional regulation upstream Losna - the 1939 flood.



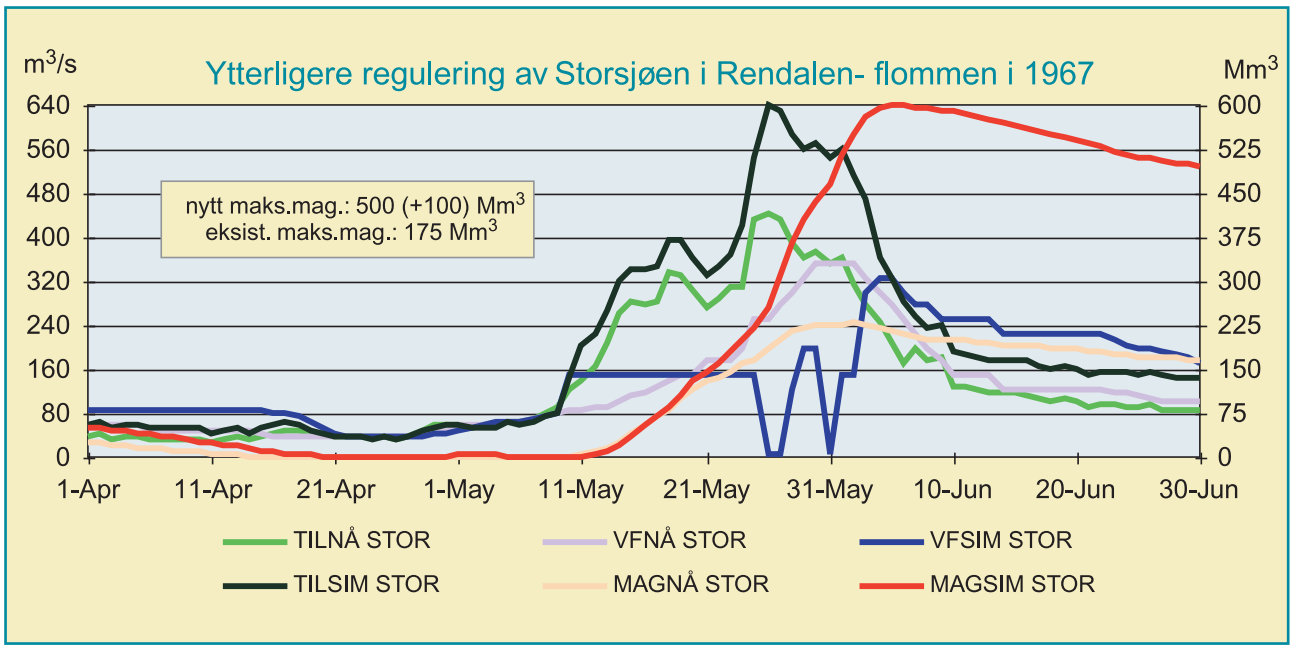
Figur 4.5: Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1939.

Figure 4.5: Additional regulation upstream Lake Mjøsa - the 1939 flood.



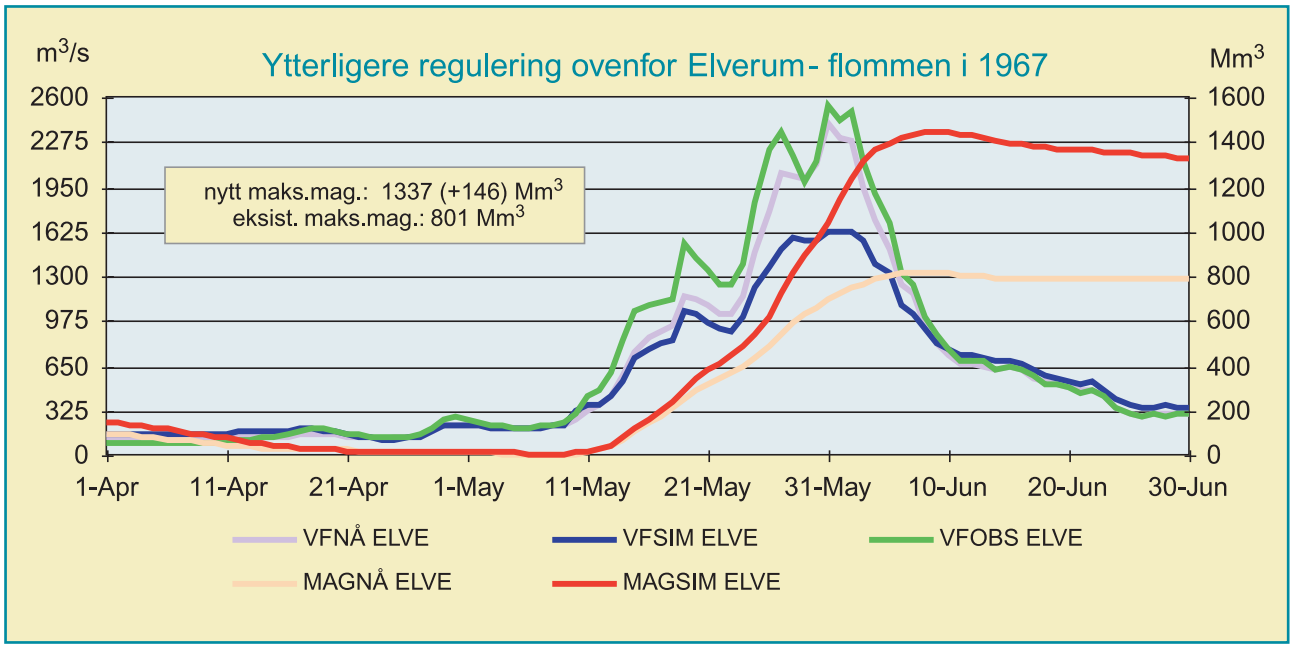
Figur 4.6: Ytterligere regulering ovenfor Stai - flommen i 1967.

Figure 4.6: Additional regulation upstream Stai - the 1967 flood.



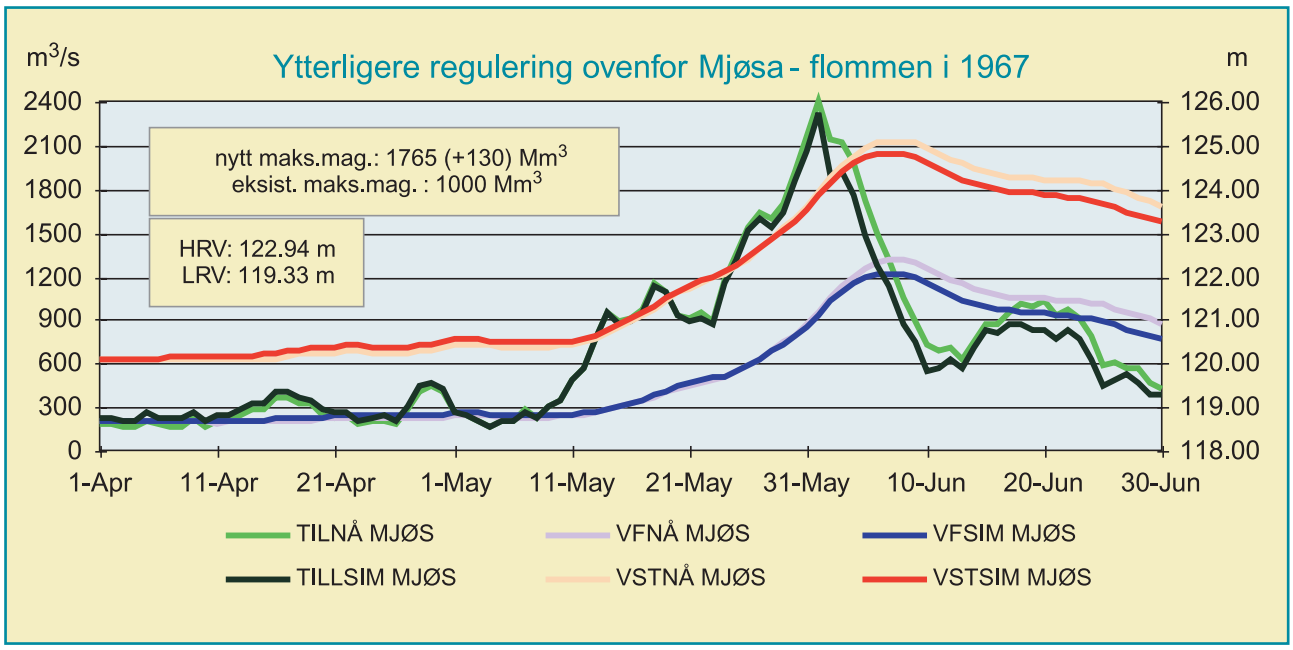
Figur 4.7: Ytterligere regulering av Storsjøen - flommen i 1967.

Figure 4.7: Additional regulation of Lake Storsjøen - the 1967 flood.



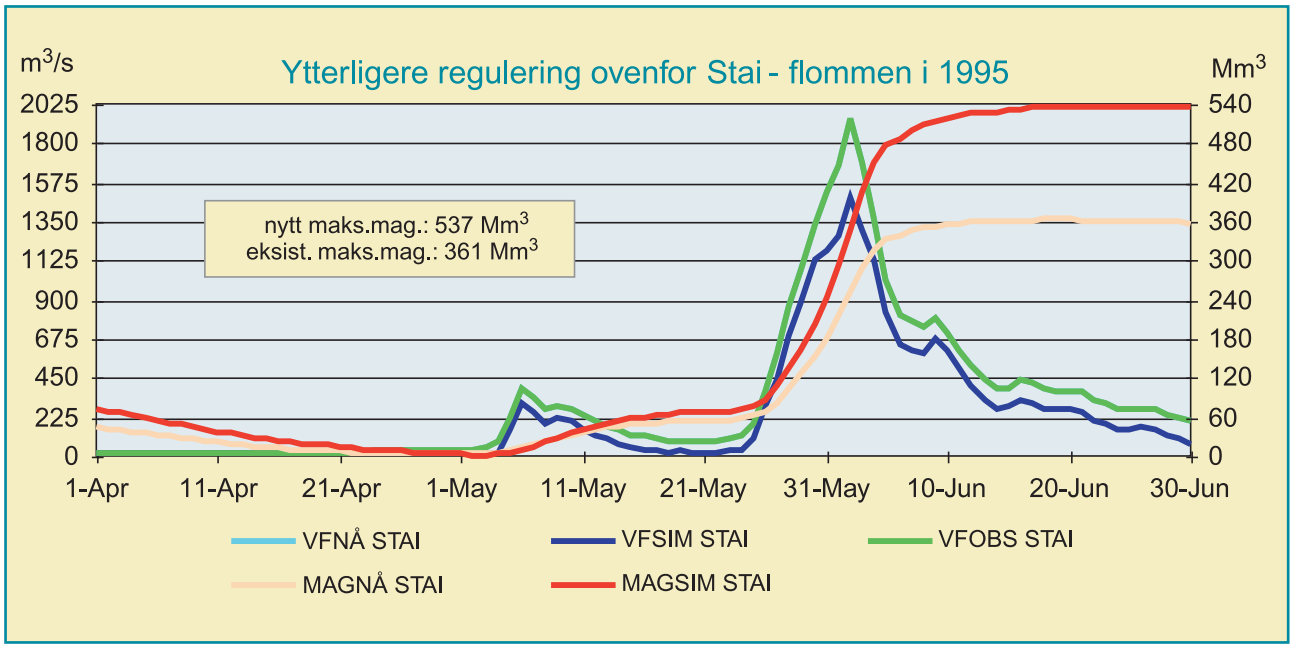
Figur 4.8: Ytterligere regulering ovenfor Elverum - flommen i 1967.

Figure 4.8: Additional regulation upstream Elverum - the 1967 flood.



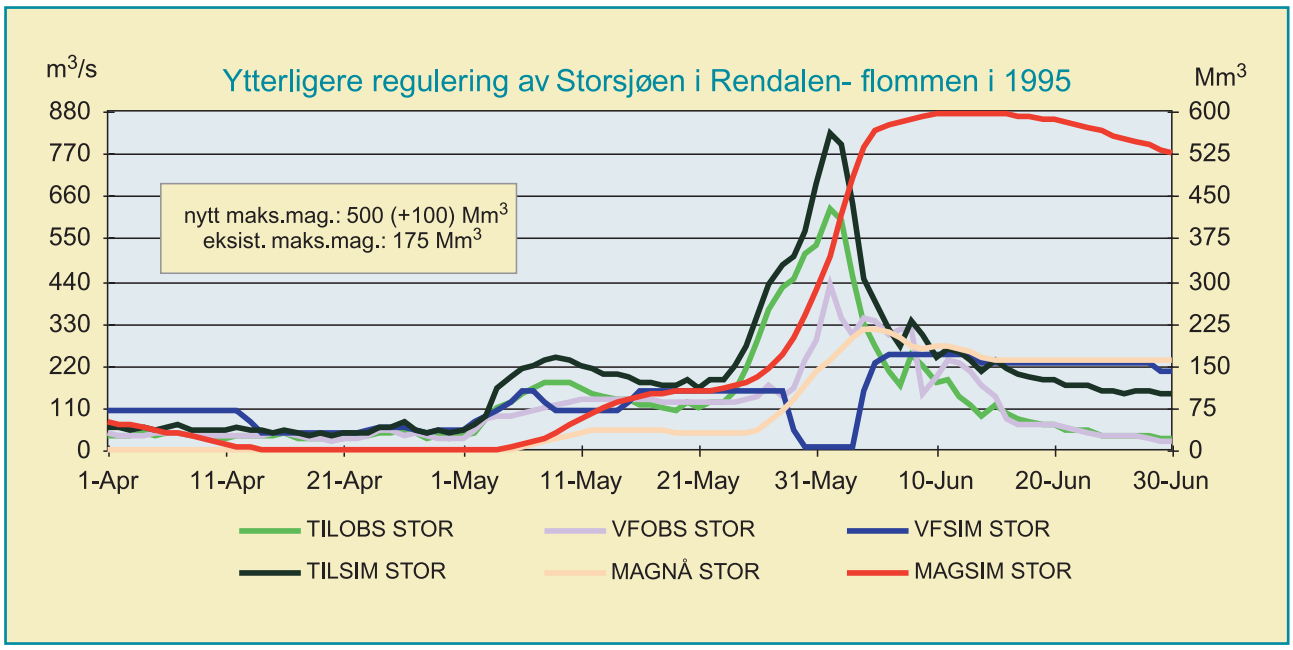
Figur 4.9: Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1967.

Figure 4.9: Additional regulation upstream Lake Mjøsa - the 1967 flood.



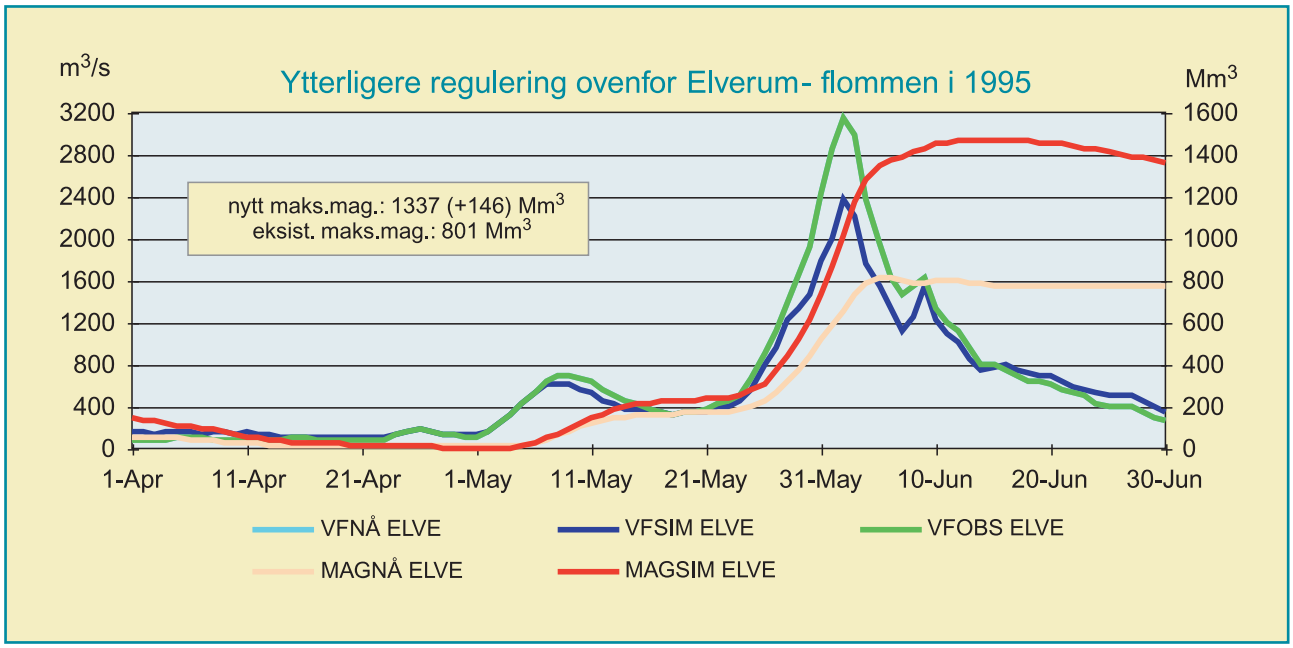
Figur 4.10: Ytterligere regulering ovenfor Stai - flommen i 1995.

Figure 4.10: Additional regulation upstream Stai - the 1995 flood.



Figur 4.11: Ytterligere regulering av Storsjøen - flommen i 1995.

Figure 4.11: Additional regulation of Lake Storsjøen - the 1995 flood.



Figur 4.12: Ytterligere regulering ovenfor Elverum - flommen i 1995.

Figure 4.12: Additional regulation upstream Elverum - the 1995 flood.

I 1995 ville prosjektene ovenfor Elverum i Glomma bidratt til en flomdemping 2.juni på 775 m^3/s, fra 3140 (døgnmiddel) til 2365 m^3/s. Prosjektene ovenfor Stai, Storsjøen, og Osen med Østre Æra og Vesleflisa, ville bidratt med henholdsvis 405, 335 og 35 m^3/s. Flomdempingen ville vært stor også 1. og 3.juni med henholdsvis 850 og 775 m^3/s. Ved Elverum kulminerte flommen om kvelden 2.juni på 3350 m^3/s og flomdempingen på 775 m^3/s tilsvarer en vannstandsreduksjon på 0,9 m. Flommagasinet over HRV i Osen ville blitt tatt i bruk fra 5.juni for å lette presset i de nedre delene av Glomma.

I 1995 kom snøsmeltingen fra høyfjellsområdene først i gang omkring 1.juni. Breidals/Raudals-magasinet hadde på kulminasjonstidspunktet 3.juni en magasinfylling på bare 40 Mm^3 som med Øvre Otta ville økt til 65 Mm^3 (tilsvarer 25% av eksisterende magasinkapasitet). Prosjektene Øvre Otta og Vågåvann ville redusert flommen ved Lalm i Otta med henholdsvis 90 og 105 m^3/s.

I 1995 ville prosjektene i Otta-området, Jora og i Vinstravassdraget redusert flommen 3.juni i Lågen ved Losna med 360 m^3/s eller 0,5 m, og bidratt med henholdsvis 95, 125 og 140 m^3/s. Vannføringen ville blitt redusert til 2140 m^3/s. I tiden 1.-11. juni, frem til Mjøsa kulminerte, ville prosjektene ovenfor Losna redusert tilløpet med 225 Mm^3 eller 235 m^3/s i gjennomsnitt. Fra Jora ville det blitt ført ut av vassdraget 125 og 105 m^3/s henholdsvis 2. og 3.juni. Kapasiteten ville blitt fullt utnyttet 2.juni da tilløpet var 140 m^3/s.

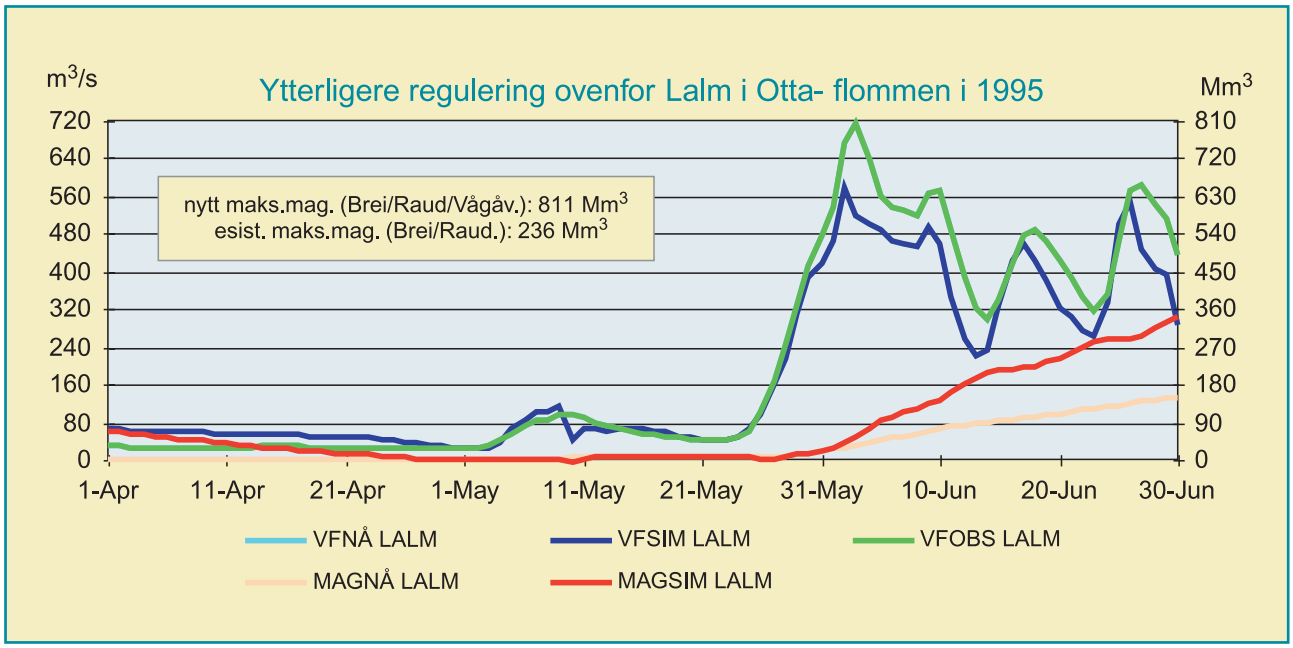
Prosjektene ovenfor Mjøsa ville redusert flomvannstanden i 1995 med 0,42 m ved kulminasjonstidspunktet 11.juni. Det er som tidligere nevnt beregnet en tilleggseffekt ved at prosjektene i Glomma ville redusere oppstuvningen av Vorma. Effekten er beregnet til 0,2 m. Mjøsa ville da kulminert på 124,9 m (7,2 m lokalhøyde).

Tilløpet til Øyeren ville fra 31.mai og frem til kulminasjonen 6.juni blitt redusert med 775 m^3/s i gjennomsnitt (variasjon på 500-1100 m^3/s), og avløpet ville kulminert på ca. 3000 m^3/s.

4.7 Sammendrag

Flomdempingseffekten av 12 prosjekter i Glomma og Lågen er analysert med utgangspunkt i de 8 største vassdragsomfattende flommene i dette århundre. Det er flommene i 1910, 1916, 1927, 1934, 1939, 1966, 1967 og 1995. Total effekt er stor, og lokalt vil den kunne være enda større på andre flommer, spesielt i Otta. Prosjektene er for det meste utvidelse av eksisterende reguleringer og de fleste har i prosessen som fulgte etter flommen i 1995 blitt drøftet som interessante med et betydelig flomdempingspotensiale.

Prosjektene ovenfor Stai i Glomma gir en flomdemping på mellom 175 og 450 m^3/s, med et gjennomsnitt på 275 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Stai på mellom 0,5 og 1,05 m (i 1995), med et gjennomsnitt på 0,75 m.



Figur 4.13: Ytterligere regulering ovenfor Lalm - flommen i 1995.

Figure 4.13: Additional regulation upstream Lalm - the 1995 flood.

Prosjektene ovenfor Elverum i Glomma gir en flomdemping på mellom 250 og 800 m^3/s, med et gjennomsnitt på 500 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Elverum på mellom 0,35 og 1,05 m (i 1967), med et gjennomsnitt på 0,65 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,95 m.

Prosjektene ovenfor Lalm i Otta gir en flomdemping på mellom 100 og 285 m^3/s, med et gjennomsnitt på 185 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Lalm på mellom 0,4 og 1,1 m (i 1934), med et gjennomsnitt på 0,75 m.

Prosjektene ovenfor Losna i Lågen gir en flomdemping på mellom 100 og 375 m^3/s, med et gjennomsnitt på 270 m^3/s. Det tilsvarer en reduksjon i vannstanden ved Losna på mellom 0,15 og 0,65 m (i 1927), med et gjennomsnitt på 0,4 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,5 m.

Prosjektene ovenfor Mjøsa gir en reduksjon i flomvannstanden på mellom 0,1 og 0,45 m (i 1927), med et gjennomsnitt på 0,3 m. I tillegg kommer effekten av prosjektene i Glomma med mindre oppstuvning av Vorma. I 1995 ville reduksjonen vært 0,4 m og tilleggseffekten 0,2 m.

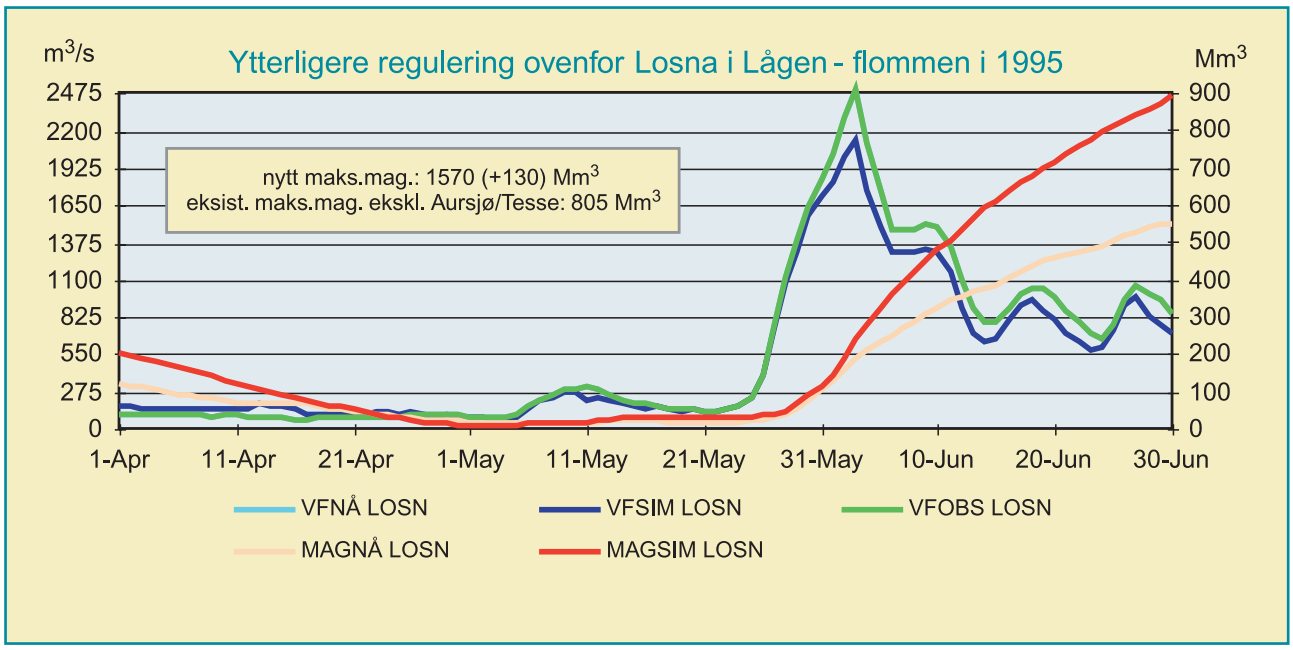
Prosjektet ytterligere senking av Mjøsa og Minnesund pumpe gir, uavhengig av prosjekter ovenfor Mjøsa, en reduksjon i flomvannstanden på mellom 0,5 og 1,0 m, med et gjennomsnitt på 0,7 m. I 1995 ville reduksjonen vært 0,85 m i Mjøsa og 1,0 m i Øyeren.

4.8 Konklusjon og avsluttende kommentarer

Mulige flomdempingsprosjekter i vassdragene Glomma og Lågen har et stort potensiale og kan i stor grad finansieres av vannkraftinteressene. Resultatene fra beregninger av effekten på de 8 største vassdragsomfattende flommer i dette århundre viser at man i Glomma og Otta kan regne med en flomdemping på ca. 0,8 m i gjennomsnitt hvert 20. år, i Lågen og Mjøsa ca. 0,5 m. Mjøsa vil kulminere ned mot 124,6 m (6,9 m lokalhøyde) hvert 20. år og under 125,0 m hvert 100. år.

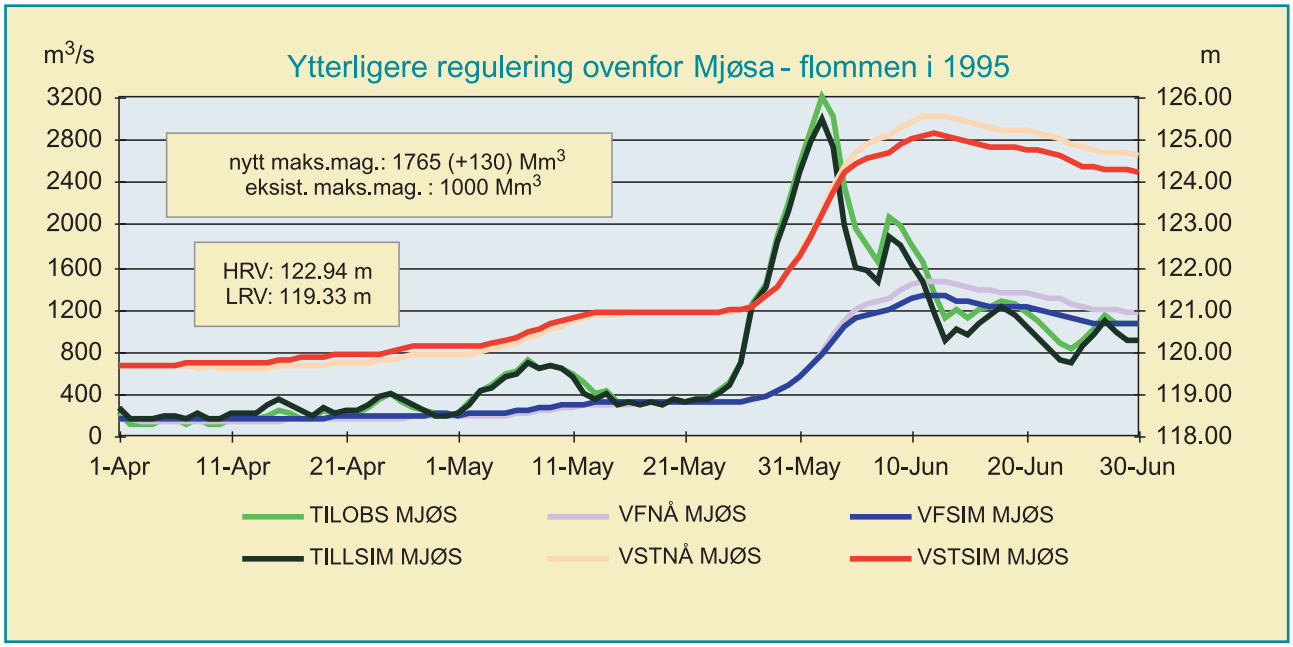
Med realisering av de 12 prosjektene kan man se bort fra store flomskader i Glomma. I Otta, Lågen og Mjøsa må man fortsatt regne med flomskader, spesielt i forbindelse med store sommer-/høstflommer. Prosjektet "Mjøsa pumpe" kan redusere skadene vesentlig rundt Mjøsa i vårflommer. I Øyeren og nedenfor kan man se bort fra flomskader av betydning.

Beregningene/analysene som er utført er basert på et betydelig arbeid med tilrettelegging av data. Datamaterialet vil være grunnlag for eventuelle videre analyser av mer lokale forhold, og beregningsopplegget og resultatene gir om ønskelig muligheter for å studere mulige effekter mer i detalj.



Figur 4.14: Ytterligere regulering ovenfor Losna - flommen i 1995.

Figure 4.14: Additional regulation upstream Losna - the 1995 flood.



Figur 4.15: Ytterligere regulering ovenfor Mjøsa - flommen i 1995.

Figure 4.15: Additional regulation upstream Lake Mjøsa - the 1995 flood.

Forklaring til forkortelser brukt i kurveplott og tabeller

Parameter

MAGNAT	Naturlig magasin (Mm^3)
MAGNÅ	Magasin dagens system (Mm^3)
MAGOBS	Observert magasin (Mm^3
MAGSIM	Simulert magasin (Mm^3
SUMT	Totaltilsig (m^3/s)
TILL	Tilløp (m^3/s)
TILNÅ	Tilløp dagens system (m^3/s)
TILOBS	Observert tilløp (m^3/s)
TILSIM	Simulert tilløp (m^3/s)
TILUREG	Uregulert tilløp (m^3/s)
VFNAT	Naturlig vannføring (m^3/s)
VFNÅ	Vannføring dagens system (m^3/s)
VFOBS	Observert vannføring (m^3/s)
VFSIM	Simulert vannføring (m^3/s)
VFUREG	Uregulert vannføring (m^3/s)
VSTNAT	Naturlig vannstand (m)
VSTNÅ	Vannstand dagens system (m)
VSTOBS	Observert vannstand (m)
VSTSIM	Simulert vannstand (m)
VSTUREG	Uregulert vannstand (m)

Lokalitet

AURS	Aursunden
BREI	Breidalsvann
BYGD	Bygdin
EIN/SAV	Einunna/Savalen
ELVE	Elverum
LOSN	Losnavann
MJØS	Mjøsa
OSEN	Osen
OTTA	Otta (ref. Lalm)
RAUD	Raudalsvann
RÅNÅ	Rånåsfoss
SOLB	Solbergfoss
STAI	Stai
STOR	Storsjøen
VINS	Vinstravassdraget
ØYER	Øyeren

REFERANSER

GLBs flomrapport "Flommen 1995 i Glomma og Lågen" fra april 1996

NVE rapport nr. 28/1996, delrapport for flomtiltaksutvalget, "Ytterligere reguleringer i Glomma og Lågen" fra mai 1996

NVE-publikasjon 6-97 "Hydrologiske data for Mjøsa" fra januar 1997

GLB-rapport "Effekt av vassdragsreguleringene i Glomma og Lågen på flommen i 1995" fra mai 1998

GLB-rapport "Effekt av vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen på stor flom" fra mars 1999

Tidligere utgitt i HYDRA-serien

Flomdemping, flomvern og flomhandtering (F)

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

Miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak (Mi)

Mi01 Miljøkonsekvenser av flom - flom og vannkvalitet.
Bjørn Faafeng, Espen Lydersen, Gøsta Kjellberg, Vilhelm Bjerknes, NIVA

Mi02 Virkning av flom på vannlevende organismer.
Åge Brabrand, John E. Brittain, Ketil Sand, Per Aass, UiO
Gunnar Halvorsen, Kjetil Hindar, Arne Jensen, Bjørn Ove Johnsen, NINA
Jo Vegar Arnekleiv, Dag Dolmen, NTNU
Bjørn Rørslett, NIVA
Jan Henning L'Abée-Lund, NVE

Mi03 Miljøeffekter av flomforebyggende tiltak - en litteraturstudie.
Torbjørn Østdahl, Trond Taugbøl og Børre Dervo, Østlandsforskning.

Mi04 Miljøtilpasninger ved eksisterende og nye flomsikringstiltak – en litteraturstudie.
Torbjørn Østdahl og Trond Taugbøl, Østlandsforskning

Naturgrunnlag og arealbruk (N)

N01 Naturlige magasineringsområder.
Bjørn Follestad, Norges geologiske undersøkelse
Noralf Rye, Geologisk institutt, UiB

N02 Naturgrunnlag og arealbruk i Glommas nedbørfelt.
Arne Grønlund, Jordforsk

N03 Endringer i landbrukets arealbruk i Glommas nedbørfelt.
Arne Grønlund, Arnor Njøs og Bjørn Kløve, Jordforsk

Tettsteder (T)

T01 Betydningen av lokal-/total overvannsdisponering (LOD/TOD) på flommer.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS.

T03 Lokal og total overvannsdisponering (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

NVE

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

Forsidefoto: Glomma ved Elverum 3. juni 1995, Fotonor a.s. Omslag: Gazette.
Layout: ABC Visuell Kommunikasjon. Trykk: Worums Trykkeri. ISBN 82 410 0392-7.