

Magne Wathne
Knut Alfredsen
SINTEF

Flomdemping i Gudbrandsdalslågen

PROGRAMSTRUKTUR OG SYSTEMBESKRIVELSE

NOTAT

Nr. 7

1997



-ET FORSKNINGSPROGRAM OM FLOM



HYDRA - et forskningsprogram om flom

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

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

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

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

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

HYDRA - a research programme on floods

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

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

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

An overview of the scientific content in HYDRA is:

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

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

TITTEL: Flomdempning i Gudbrandsdalslågen. Programstruktur og systembeskrivelse

FORFATTER: Magne Wathne og Knut Alfredsen

ANSVARLIG INSTITUSJON: SINTEF Bygg og miljøteknikk

HYDRA-PROSJEKT: Flomdempning, flomvern og flomhandtering (F3)

NOTAT NR.: 7/97 **DATO:** 1997-11-14

SAMMENDRAG:

Rapporten er den første fra delprosjekt F3, "Flomdempning i regulerte vassdrag". Målet er å finne effekten av vassdragsreguleringen på flommer i Gudbrandsdalslågen. Det skal benyttes en ny vassdragsmodell for å simulere flommer, inklusive rutiner for endringer i magasin-nivå og for enkel routing av flomtopper. Først skal det foretas beregninger av flommer som er registrert i vassdraget. Siden skal det gjøres undersøkelser for å finne hvordan forløpet av historiske flommer ville ha vært om andre tappestrategier eller driftstiltak hadde vært iverksatt.

Denne rapporten omhandler en systembeskrivelse av regnemodellen. Dessuten vises det hvordan vassdraget vil bli representert skjematisk i beregningene. Modellens databehov er kort beskrevet. Modellen er utviklet som en objekt-orientert modell.

ABSTRACT:

The report is part of subproject F3, "Flood Control due to River Regulation". The purpose is to determine the effect of river regulation on floods in the river Gudbrandsdalslågen. A new model has been developed for the purpose of simulating floods in the river. The model has routines to compute the varying reservoir levels as well as simple routines for routing floods through the river. The first application of the model will be to reproduce historic floods in the river. Subsequent analyses will determine how the floods would have progressed if alternative operating rules had been in effect for the hydropower plants and the reservoirs.

This report contains a systematic description of the model. A schematic presentation of the river system is also given. Finally, data needs are briefly discussed. The model is object-oriented.

ANSVARLIG UNDERSKRIFT:

Magne Wathne

Forord

"Flomdempning i regulerte vassdrag" inngår som delprosjekt F3 i det overordnede prosjekt "Flomdempning, flomvern og flomhandtering" som styres av F-gruppa under HYDRA-programmet. Dan Lundquist fra Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB) er leder for F-gruppa og dermed kontaktperson i faglige spørsmål om delprosjektet.

Delprosjektet ble startet i september 1996 og er planlagt for perioden fram til juni 1998. Det er den første i serien av rapporter fra delprosjektet i henhold til følgende plan:

- Systembeskrivelse. (denne rapporten).
- Analyse av flommen i 1995. Desember 1997.
- Optimale driftsrutiner. Juni 1998.

Det forutsettes en god kontakt med andre tilgrensende delprosjekter under F-gruppa, spesielt F2 (Effekt av vassdragsreguleringer) og F4 (Effekt av andre reguleringsmessige tiltak).

HYDRA-programmets modellgruppe benyttes som leverandør av nødvendige data. GLB har dessuten vært behjelpelig med å skaffe informasjon.

Knut Alfredsen er for tiden ansatt på deltid ved SINTEF. Han er dessuten doktorgrads-student ved Institutt for vassbygging, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) der han arbeider med en avhandling på objekt-orientert modellering av vassdragsproblemer. Prosjektet i Lågen vil være et av eksemplene på utprøving av modellen og metodikken.

Det vil være en tett faglig kopling med et lignende prosjekt på flomdempningseffekter av regulering i Namsen-vassdraget. Prosjektet i Namsen er støttet blant annet med midler fra Energiforsyningens Fellesorganisasjon (EnFO). Det vil være en gjensidig styrke for begge prosjektene å kunne sammenligne resultatene fra mer enn ett vassdrag.

Kjetil Arne Vaskinn har lest gjennom rapporten som en del av kvalitetssikringen.

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
<i>1.1 Formål</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Framgangsmåte</i>	<i>9</i>
<i>1.3 Tidligere erfaring</i>	<i>10</i>
2. Oppbygging av modellen	12
<i>2.1 Generelt</i>	<i>12</i>
<i>2.2 Vassdragets struktur og topologi</i>	<i>13</i>
<i>2.3 Beregningsmetoder</i>	<i>14</i>
<i>2.4 Data</i>	<i>14</i>
<i>2.5 Styring av modellkjøring</i>	<i>15</i>
<i>2.6 Bruk</i>	<i>15</i>
3. Systembeskrivelse av Gudbrandsdalslågen	17
4. Videre planer	21
Referanser	22

Sammen drag

Rapporten er den første fra delprosjekt F3, "Flomdempning i regulerte vassdrag", som inngår i det overordnede prosjekt "Flomdempning, flomvern og flomhandtering" under HYDRA-programmet. Målet med delprosjektet er å finne effekten av regulering på flommer i Gudbrandsdalslågen.

For dette formål skal det benyttes en ny vassdragsmodell for å simulere flommer, inklusive rutiner for endringer i magasin-nivå og for enkel ruting av flomtopper. Først skal det foretas beregninger av flommer som er registrert i vassdraget. Siden skal det gjøres undersøkelser for å finne hvordan forløpet av historiske flommer ville ha vært om andre tappestrategier eller driftstiltak hadde vært iverksatt.

Denne rapporten omhandler systembeskrivelsen av regnemodellen og av vassdraget slik det blir representert i beregningene. Modellen er utviklet som en objekt-orientert modell med fire uavhengige hoveddeler:

- Vassdragets struktur (klasser av objekter)
- Beregningsmetoder (hydrologiske og hydrauliske simuleringer)
- Data (faste parametre, tidsserier, magasinkurver, etc)
- Prosedyrer for styring av beregningene

Summary

The report is the first one from the project “Flood reduction in regulated rivers” under the HYDRA research programme. The purpose of the project is to find the effects of the regulation on floods in the river Gudbrandsdalslågen in Norway.

A new model will be used to simulate the progress of the flood down the river. It includes separate routines for the varying storage in the reservoirs and for a simple routing of the flood peaks through the channels. Documented floods in the river will initially be reproduced. The subsequent investigation will be to determine how the previous floods would have been affected if alternative operating strategies or procedures had been implemented before and during the flood event.

This report concerns the schematic description of the computer program developed for this purpose along with the abstract representation of the river. The model is object-oriented with four independent modules:

- Schematic structure of the river (classes of objects)
- Computational routines (hydrologic or hydraulic simulations)
- Data (parameters, time series, reservoir curves, etc.)
- Routines for administration of the computations

1. Innledning

1.1 Formål

Målet med prosjektet er å finne hvor stor virkning vassdragsreguleringen har på flomforholdene i Gudbrandsdalslågen.

Det skal foretas analyser av flommer i vassdraget ved hjelp av en ny vassdragsmodell. I første omgang skal modellen brukes til å reprodusere historiske flommer. Deretter skal det ved hjelp av modellverktøyet gjøres undersøkelser for å finne hvordan forløpet av historiske flommer ville ha vært om andre tappestrategier eller driftstiltak hadde vært iverksatt.

Modellen knytter sammen forskjellige hydrologiske og hydrauliske beregninger som trenges i de ulike deler av vassdraget. For nedbør-avrenning finnes allerede HBV-modellen som er kalibrert for de viktigste delfeltene i vassdraget, Sæther (1985). Endringer og manøvrering av magasinene samt enkel ruting av flomtopper gjennom innsjøer og elvestrekninger vil være andre rutiner som ligger inne i modellen. Den kalibrerte vassdragsmodellen vil deretter kunne benyttes til å vurdere andre flomdempende tiltak i Gudbrandsdalslågen, spesielt av en driftsmessig karakter.

Prosjektet skal bidra til den generelle forståelse av sammenhengen mellom regulering og flomdempning. Konklusjonene og anbefalingene skal være av en slik art at de kan være av nytte i andre vassdrag.

1.2 Framgangsmåte

Beregninger av flomforhold skal knyttes sammen med vurderinger av manøvreringsreglement for magasiner. Foruten en gjennomregning basert på dagens normale manøvrering innenfor eksisterende reglement, må det lages forslag til endringer i magasinmanøvreringen for å forbedre flomdempningen i vassdraget.

Videre må en vurdering av flomdempning utføres for flere ulike flomtyper, fortrinnsvis historiske flomepisoder, eller i det minste:

- Virkning på normale flommer, f.eks. 10-års flom
- Virkning på store flommer, f.eks. 100-års flom
- Virkning på ekstreme flommer, f.eks. 1000-års flom

Beregninger bør ta utgangspunkt i realistiske magasin-nivå ved start av flomepisoden, fortrinnsvis magasin-nivå som er framkommet gjennom simuleringen av systemet og som dermed tar hensyn til normal oppfylling og nedtapping som funksjon av årstid. For historiske, observerte flommer som har inntruffet etter regulering, er det rimelig å undersøke:

- Flomforhold i uregulert tilstand

- Flomforhold ved andre startverdier i magasinet, spesielt hvis det aktuelle magasin-innholdet var uvanlig for årstiden.

1.3 Tidligere erfaring

SINTEF utførte i 1987 et forprosjekt med støtte av daværende Vassdragsregulantenenes forening som munnet ut i anbefalinger om et større prosjekt for å studere flomdempning i regulerede vassdrag. Gudbrandsdalslågen var et av de vassdrag som det ble foreslått å undersøke i et eventuelt hovedprosjekt. Følgende informasjon er hentet fra rapporten etter forprosjektet, Sand et al (1987):

Grove beregninger viser at eksisterende reguleringer reduserte 1967-flommen med ca. 30 - 40 cm i Mjøsa og ca. 10 cm i Øyeren. En utvidet regulering med 1200 mill. m³ i Gjende, Tesse, Raudalsvann og Høydalsvann ville ha redusert denne flommen med ytterligere 20 - 25 cm i Mjøsa og 5 - 10 cm i Øyeren.

Oppstrøms Mjøsa finnes vannstandsregistreringer fra i alt 86 stasjoner, derav er 35 i fortsatt drift. I Gudbrandsdalslågen og Ottavassdraget har Hydrologisk avdeling ved NVE utført frekvensanalyse av flommer for tre vannmerker med lange observasjonsserier. Losna (1901 - 1984), Rosten (1917 - 1984), Lalm (1914 - 1984). I analysen er seriene delt i to; uregulerte forhold fram til 1942 og regulerede forhold fra og med 1943. For vannmerkene Losna og Lalm viser analysen at middelflommene er redusert med henholdsvis 17 % og 12 % etter regulering, 100-års flommene er tilsvarende redusert med 31 % og 25 %. Vannmerke Rosten er ikke berørt av reguleringene, og viser uendret flomfrekvens for perioden etter 1942.

Konklusjonen fra dette forprosjektet er at reguleringene i vassdraget har virket flomdempende. Virkningen anses generelt å være størst umiddelbart nedstrøms magasinene, men er tydelig merkbar i hele vassdraget.

I forbindelse med vannbruksplan for Gudbrandsdalslågen, Oppland fylkeskommune (1987), utførte SINTEF beregninger av regulert og uregulert vassføring en rekke steder i vassdraget, ved simulering med ENMAG-modellen som brukes på kraftverkssystem med et enkelt magasin, Sæther (1985). Disse dataene er også brukt for analyse av flomforhold i vassdraget, og er videre kombinert med en modell for stasjonær strømning i vassdrag (HEC-2) til å finne vannstand og oversvømmet areal.

I følge en foreløpig undersøkelse etter flommen i 1995, Tingvold (1996), var det en ubetydelig forhåndstapping i magasinene i Otta og Vinstra. Flomvannstanden i Losnavatn er antatt å ha blitt redusert med 450 m³/s eller 15%. Når det gjelder vannstanden i Mjøsa, påvirkes den også av oppstrøms magasiner men også av tappingen nedstrøms ved Svanfoss. Den totale effekten av disse tiltakene har medført en reduksjon av flomvannstanden på 0,5-0,75 m.

Flomtiltaksutvalget som ble nedsatt av Nærings- og energidepartementet i 1995, har sett ganske inngående på muligheten for vassdragsregulering som et tiltak mot flom, NOU 1996:16 (1996). Rapporten aktualiserer spørsmålet om ytterligere regulering i vassdrag med lav reguleringsgrad, inkludert Glomma og Lågen. Et av virkemidlene er å la flomdempning inngå som et formål i tillegg til kraftproduksjon ved planlegging og prosjektering av et magasin. Dette delprosjektet under HYDRA-programmet vil likevel

begrense seg til å se på mulighetene for flomdempning ved hjelp av eksisterende magasiner som er bygd for kraftverk alene.

Litteratursøket utført i regi av HYDRA-programmet har vist at det er en del erfaringer å hente fra de undersøkelser som ble iverksatt i USA etter den store flommen i Mississippi i 1993, Wathne (1997). Det er mye informasjon om faktiske erfaringer med regulering av typen magasiner bygd for flere formål, inklusive navigasjon og flomdempning, US Army Corps of Engineers (1994). Det er først og fremst slått fast at de store magasinene langs Mississippi har fungert bra. På den andre siden kan disse ferske erfaringene bare i begrenset grad overføres til Norge på grunn av at Mississippi avviker så sterkt fra norske vassdrag både med hensyn på størrelse og form, Perry (1994). Reguleringen og dermed flomsikringen i Mississippi foregår i vesentlig grad i selve elveleiet og ikke i oppstrøms magasiner.

En av konklusjonene fra USA er at det er viktig å kunne foreta en god ruting ved hjelp av hydrauliske (ikke-stasjonære) beregninger. Detaljerte analyser anbefales av kritiske strekninger langs vassdraget. Dette fordrer pålitelige og detaljerte måledata. Gode data er også nødvendige å ha for å kunne analysere utviklingen av flommen og mulige mottiltak.

2. Oppbygging av modellen

2.1 Generelt

Vassdragsmodellen skal kunne simulere transporten av vann i et regulert vassdrag som består av elver, tunneler, kraftverk og magasin. Modellen tillater stor fleksibilitet for å kunne simulere et vilkårlig vassdrag. Oppbyggingen av en objekt-orientert modell innebærer at det må spesifiseres hvilke hydrauliske eller hydrologiske beregninger som skal utføres for hver enkelt del av vassdraget. Generelt vil ulike metoder være relevante for ulike deler av vassdraget og kraftverksystemet. I denne sammenhengen der formålet er å se på regulering og flomdempning, er det tilstrekkelig å utstyre modellen først og fremst med metoder for hydrologisk ruting. Andre beregningsmetoder skal kunne legges inn dersom det er nødvendig, og uten at det krever en omfattende endring i selve programvaren.

Programmet består av fire hoveddeler som er beskrevet hver for seg i de følgende avsnitt. Til sammen danner dette en abstrakt representasjon av vassdraget med tilhørende data og aktuelle beregningsmetoder. Hver enkelt av disse fire delene er frittstående og har ingen direkte innvirkning på hverandre.

Ordbruken i denne rapporten er influert av moderne teknologi på utvikling av programvare. Såkalt objekt-orientert programmering ligger til grunn for det regneverktøyet som i dette delprosjektet blir tilrettelagt for Gudbrandsdalslågen, Alfredsen og Sæther (1997). En del av de ord som benyttes i rapporten er tillagt en spesiell mening:

Komponent

Avgrenset del av et reelt vassdrag og kraftverksystem, så som elvestrekning, tunnel, nedslagsfelt, kraftverk, magasin eller sjø, luke eller overløp.

Objekt

Abstrakt representasjon av en fysisk komponent.

Modell eller program

Det overordnede regneverktøyet som blir benyttet i simuleringen og som er tilkopleet flere uavhengige beregningsrutiner.

Struktur eller topologi

Abstrakt representasjon av hele vassdraget slik at det lar seg analysere ved hjelp av programmet. (Det er på dette punkt at det kan oppstå forvirring da det i mange andre sammenhenger er nærliggende å bruke ordet "modell" med referanse til den matematiske framstilling av selve vassdraget.) Strukturen består av et sett med objekter samt en innbyrdes avhengighet mellom objektene. Koplingen mellom to objekter samsvarer med grensen mellom de to fysiske komponentene i vassdraget.

2.2 Vassdragets struktur og topologi

Elementene i strukturen er de fysiske komponentene som vi finner i et regulert vassdrag. Modellen har komponenter som representerer de mest vanlige delene av et vassdrag. Følgende typer er definert i sammenheng med HYDRA-prosjektet:

- Elvestrekninger
- Tunneler
- Nedslagsfelt
- Kraftverk
- Magasin og sjøer
- Luker og overløp

Dersom problemstillingen er en annen enn å analysere effekt av regulering på flomdempning, kan det være aktuelt å inkludere andre typer av komponenter i simuleringen. I så fall kan disse defineres og føyes inn i systemet ved behov. Eksempelvis kan det være aktuelt å definere noen nye typer komponenter for bedre å kunne simulere flomsituasjoner, blant annet flomsletter. Dette prinsippet forenkler eventuelle utvidelser, endringer og større detaljeringsgrad i den skjematiske framstilling av vassdraget.

Uttrykket topologi kommer fra matematikk og refererer til den skjematiske formen på en geometrisk figur. Vassdragsmodellen som skal benyttes i simuleringen er basert på at vassdraget er representert av et nettverk med knutepunkt og linjer. Topologien av vassdraget er en beskrivelse av hvordan knutepunktene er plassert i forhold til hverandre og forbundet ved hjelp av linjer.

Et vassdrag med sideelver og et tilhørende kraftverksystem vil som regel framstå med en tilnærmet tre-struktur der grenene i treet tilsvarende sideelvene. Den samme strukturen vil bevares når de fysiske komponentene i vassdraget representeres av knutepunkter i den skjematiske figuren. Bevegelsen av vannet må være entydig spesifisert med hensyn på hva som er oppstrøms og hva som er nedstrøms. To elvestrekninger på rad vil dermed framstå som to knutepunkter med en forbindelseslinje mellom seg. Eventuelle hydrologiske eller hydrauliske beregninger er knyttet til de to knutepunktene. Linjen mellom dem har ingen fysisk tolkning og markerer bare at det finnes en fysisk eller logisk kopling mellom de to objektene. Hvis de to knutepunktene er tilstøtende elvestrekninger, vil forbindelsen bestå i at data om vannføringen blir overført fra den øvre av de to strekningene til den nedre.

Elvestrengen kan om ønskelig deles opp i flere strekninger, dermed flere knutepunkter og flere linjer i den skjematiske framstillingen. Detaljeringsgraden på dette nivå er bestemt av hydrologiske betraktninger ved at hver strekning har tilsig fra et lokalfelt. Jo flere knutepunkter det er i strukturen, jo mer nøyaktig vil beregningene av tilsiget bli, men jo større vil også behovet for data bli.

Hvis det skal foretas hydrauliske analyser i enkelte strekninger, eksempelvis vannlinjeberegning eller dynamisk ruting, vil det bli spørsmål om detaljeringsgrad på

et lavere nivå. Antallet tverrprofiler over en strekning øker nøyaktigheten for vedkommende strekning, men på bekostning av databehovet.

Topologidelen av modellen inneholder rutiner for å bygge strukturen i vassdraget og definere koplinger mellom modulene. Her bestemmes også rekkefølgen av beregninger blant komponentene slik at dette er logisk og fysisk riktig. Beregningene må samsvare med vannets bevegelse fra de mindre sideelver til de større og endelig inn i hovedløpet. Modellen har en begrensning ved at den ikke kan simulere et system der vannet kunne gå i ring og komme tilbake til utgangspunktet. Parallell transportveier fra et magasin er derimot fullt mulig, eksempelvis gjennom et kraftverk samt gjennom et overløp.

2.3 Beregningsmetoder

Det må legges inn et sett med beregningsmetoder i programmet for å kunne foreta tekniske, økonomiske eller andre analyser på de ulike fysiske komponentene. Hvilke beregningsmetoder som anvendes i en gitt modell, avhenger av det problemet som foreligger. Ved en simulering av flom er det naturlig å ta med blant annet følgende beregningsrutiner:

- Tilsig fra nedslagsfelt (HBV-modell).
- Tapping fra magasiner (manøvreringsreglement, overløpsformel).
- Ruting av flomtopper gjennom magasin og innsjøer (level pool ruting).
- Ruting av flomtopper i elver (Muskingum-metode).
- Hydrauliske beregninger av tunneler (Mannings formel).

Beregningsmetodene som ligger inne i en modell, kan anses som verktøy til bruk på de delene av vassdraget der vedkommende beregning er aktuell. Beregning av tilsig er bare relevant i komponenter med et angitt nedslagsfelt. På samme måten er det bare mulig å finne strømning i fylte tverrsnitt for objekter som representerer tunneler. Metodene er programmert med en innebygd logikk for å kontrollere at komponenten har de rette egenskaper og at alle nødvendige data er tilgjengelig.

Det vil være fullt mulig å legge inn mer avanserte beregningsrutiner enn de som er nevnt ovenfor. Spesielt aktuelt kan det være å benytte en dynamisk ruting (f.eks. DAMBRK) i stedet for Muskingum-metoden. Dette ligger imidlertid utenfor rammen av dette prosjektet.

2.4 Data

I utgangspunktet er et objekt kun en representasjon av et fysisk element i vassdraget. For at det skal kunne brukes i beregninger, må det finnes tilhørende data. Mengden av data i hver komponent er fleksibel, og kan tilpasses de krav som bruken av komponenten stiller. I praksis vil en kunne ha elvestrekninger i modellen med ulik mengde data tilgjengelig, for noen strekninger er det gjort mange oppmålinger mens for andre er det få eller ingen beskrivende data tilkople. Av hensyn til programmeringen er data delt inn i to kategorier som internt i programmet behandles hver for seg:

Faste data

Dette er konstanter som vanligvis vil være en del av inngangsdata. Det omfatter egenskapsdata, dvs den nødvendige beskrivelsen av vedkommende komponent ved hjelp av parametre så som størrelse, geometri og andre fysiske karakteristika. Noen av disse er målte verdier, f. eks. tverrprofiler i ei elv, areal av et nedslagsfelt. Andre parametre er avledet, f.eks. Mannings faktor, for tunnel og elv.

Variable data

Den andre kategorien er de variable som generelt endrer seg fra et tidsskritt til det neste. Noen av disse variable er resultatene av simuleringen, så som vannstand og vassføring. Startverdier må angis for disse variable, enten som standardverdier eller som inngangsdata.

Data kan koples til komponentene i et fritt format. Data kan spenne fra enkle verdier (eksempelvis en vannstand) til sammensatte datasett. Eksempler på det siste er magasinkurver for vannstand-areal eller tidsserier.

2.5 Styring av modellkjøring

Den siste hoveddelen av modellen er styremodulen. Denne leser inn og setter opp systemet og styrer simuleringen.

2.6 Bruk

Prosedyren for bruk av modellen er som følger:

1. Inndeling av systemet og oppsett av modellkomponenter.
Systemet må deles inn i høvelige komponenter, kalt objekter. Spesielt ved inndeling av elvestrekningene må det utvises et visst skjønn. Inndeling av lange strekninger vil være styrt både av hvilke beregningsmetoder som skal anvendes samt av hydrauliske forhold. Samløpet av to elver vil bli definert som to komponenter.
2. Valg av metoder for komponentene.
Det må være angitt en form for databehandling til hver enkel komponent. Dette spenner fra simulering av hydrologiske eller hydrauliske prosesser til håndtering av eksterne data.
3. Tilrettelegging av data.
Mengden av data som skal inn i hver komponent, er direkte styrt av den typen databehandling som skal utføres for vedkommende komponent. Det er ikke noe problem å legge inn mer data, men dersom ikke alle nødvendige data er tilgjengelige vil ikke modellen kunne kjøre. Data blir tatt inn via tekst-filer.
4. Oppsett av simuleringsvariable.
Modellen kan ha et vilkårlig antall variable i simuleringen av vassdraget. I forbindelse med flomberegning vil vannføring eller vannstand være de mest aktuelle, men modellstrukturen gjør det mulig å ta med andre tidsvarierende variable som inngår i flere komponenter. Brukeren må derfor definere de variable

som skal transporteres mellom komponentene og hvordan disse skal bli overført. Brukeren kan dessuten definere hvilke parametre som skal lagres eksternt under simuleringen.

5. Valg av numeriske parametre.

Periode og tidssteg for simuleringen må spesifiseres for å oppnå sikre og nyttige resultater.

3. Systembeskrivelse av Gudbrandsdalslågen

Arbeidsoppgaven hittil har vært å spesifisere en skjematisk modell av vassdraget samt tilhørende databehov. Elementene består av: nedslagsfelt, magasin, kraftverk og elvestrekninger. Nødvendige data omfatter: tilsigsserier, magasinfunksjoner (areal, dybde), tappeorganer (kapasitet), profildata (ved hydrologisk eller hydraulisk ruting), Muskingum-parametre (ved kinematisk ruting), vannføring i flere punkter og hvilke tiltak som ble gjort av regulanten (GLB) i 1995 med hensyn på manøvrering.

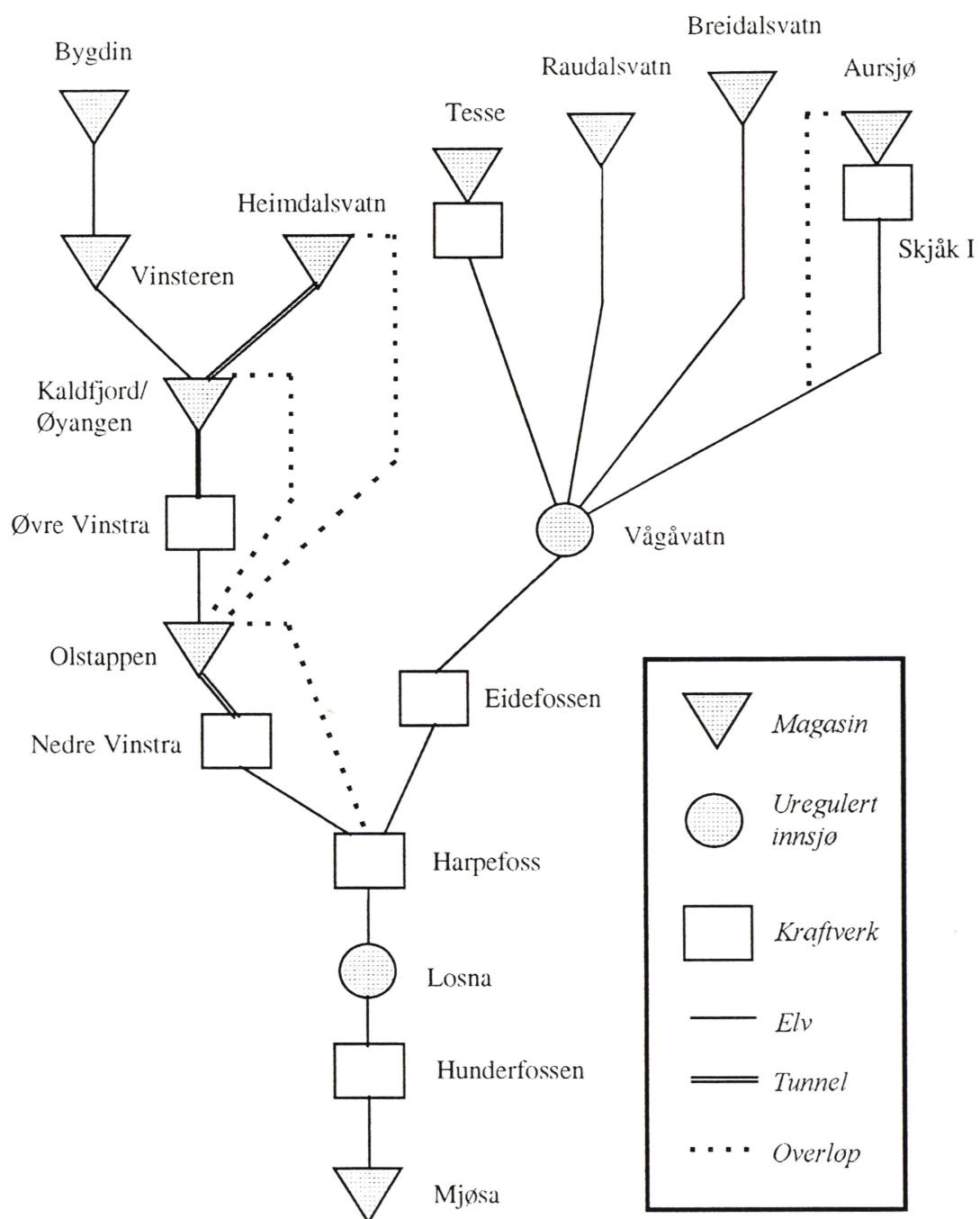
En skjematisk men grov oversikt over det fysiske systemet er vist i Figur 1. Den geografiske avgrensning for analysen settes til utløpet av Mjøsa for å få med reguleringen av Mjøsa som kan være av vesentlig betydning i den store helheten.

En serie med punkt som vist i Tabell 1 er definert langs vassdraget. Hvert punkt markerer nedstrøms ende av et delfelt som blir et objekt i modellen. Punktene blir dermed også grensen mellom to komponenter eller objekter.

Tabell 2 er magasinene som inngår i simuleringen. I samme tabellen er det tatt med uregulerte innsjøer. En del mindre magasiner i Gudbrandsdalslågen er ikke tatt med. Summen av de regulerte magasinene er 2306 million m^3 som er 994 million m^3 i tillegg til Mjøsa. Den totale kapasiteten inklusive Mjøsa er 2435 million m^3 .

Tabell 3 har de aktuelle kraftverkene. En del mindre kraftverk er utelatt, deriblant Mesna og Moksa. Den totale installerte effekten som inngår i modelleringen er 764 MW av en total kapasitet på 817 MW for alle Gudbrandsdalsverkene.

Tabell 4 viser bare de store tunnelene i systemet. To av dem er overføringstunneler og de to andre er driftstunneler.



Figur 1. Skjematisk oversikt over Gudbrandsdalslågen.

Tabell 1. Delfelter.

Punktnavn	Vassdragsnummer	Høyde (moh)	Feltareal (km ²)	Totalt areal (km ²)	Spesifikt avløp (l/s/km ²)	Årstilsig (mill. m ³ pr år)
Breidalsvatn	002.DHL	898	126,97	126,97	46,59	186,62
Raudalsvatn	002.DHFB	893	146,74	146,74	46,91	217,16
Pollfoss	002.DHG1	578	568,05	695,02	36,92	661,71
Aura	002.DHCA	371	25,37	130,05	15,25	12,20
Aursjøen	002.DHCC	1095	104,68	104,68	18,11	59,80
Bøvra	002.DHBA	362	838,64	838,64	29,97	792,88
Storøya	002.DHD	371	940,65	1782,41	27,06	803,06
Vågåmo	002.DHB	362	392,74	3285,98	12,97	160,75
Eidefossen	002.DHA32	340	115,99	3865,58	11,59	42,42
Tessevatn	002.DHB2C	851	85,12	224,42	16,46	44,21
Utløp Tesse	002.DHB2A	362	47,77	272,19	13,98	21,07
Finna	002.DHAA	361	463,61	463,61	16,90	247,22
Smådøla	002.DHB2D	851	139,30	139,30	18,72	82,28
Otta	002.DHA	282	69,12	4064,75	12,25	26,71
Bygdin	002.DFJ	1048	305,98	305,98	42,60	411,27
Vinsteren	002.DFG	1028	159,69	465,67	26,07	131,35
Heimdalsvatn	002.DFBE	1050	129,93	129,93	27,42	112,41
Kaldfjorden	002.DFE	1013	105,28	570,95	20,84	69,22
Øyangen	002.DFCB	996	44,07	44,07	20,86	29,00
Olstappen	002.DFB5	655	558,49	1303,44	18,32	322,86
Utløp Vinstra	002.DFA	232	289,21	1592,65	16,31	148,80
Gausa	002.DDA	123	944,70	944,70	14,75	439,69
Mesna	002.DD5A	123	251,27	251,27	19,62	155,52
Sjoa	002.DGA	275	1529,60	1529,61	25,32	1222,10
Moksa	002.DE3A	179	94,17	94,17	17,51	52,01
Sel	002.DJ3	340	1831,00	1831,00	18,60	1074,60
Utløp Otta	002.DJ1	282	265,25	2096,28	20,14	168,54
Utløp Sjoa	002.DH	275	56,61	6217,64	13,88	24,79
Utløp Vinstra	002.DG1	232	232,07	7979,32	16,07	117,64
Utløp Vinstra krv	002.DF73	218	56,58	9628,55	13,81	24,66
Harpefossen	002.DF71	195	6,70	9635,25	10,56	2,23
Ringebu	002.DF3	183	619,92	10255,17	14,87	290,79
Losna	002.DE5	180	953,32	11208,49	14,79	444,79
Øyer	002.DE3	172	99,73	11402,39	11,57	36,41
Hunderfossen	002.DE31	164	93,38	11495,77	16,64	49,02
Fåberg	002.DE	123	65,92	11561,69	13,10	27,24
Mjøsa	002.DC	123	3809,04	16566,70	11,56	1389,40

Tabell 2. Magasiner.

Magasin	LRV (moh)	HRV (moh)	Magasinvolum (mill. m ³)	Nedslagsfelt (km ²)
Aursjø	1085.00	1097.50	60	109
Breidalsvatn	895.00	908.00	70	137
Raudalsvatn	886.00	916.30	166	160
Tesse	841.50	853.90	130	380
Vågåvatn ¹				
Heimdalsvatn	1050.00	1052.20	15	128
Bygdin	1048.50	1057.40	336	308
Vinsteren	1027.50	1031.50	102	162
Kaldfjorden	1013.10	1019.00	76	104
Øyangen	996.00	998.00	8	42
Olstappen	655.00	668.00	31	636
Losna ¹				
Mjøsa	1.64	5.25	1312	6000

¹ Uregulert innsjø

Tabell 3. Kraftverk

Kraftverk	Fall (meter)	Installert effekt (MW)	Slukeevne (m ³ /s)	Midlere års- produksjon (GWh)
Skjåk 1	684,8	33	6	105
Tesse	309,8	46	11	253
Eidefossen	16,0	33	6	75
Øvre Vinstra	329,8	140	49	522
Nedre Vinstra	446,0	310	84	1070
Harpefoss	34,5	90	320	433
Hunderfossen	46,7	112	320	595

Tabell 4. Tunneler

Strekning	Type	Lengde (km)	Tverrsnitts- areal (m ²)
Heimdalsvatn-Kaldfjorden	Overføring	5,8	9 - 7
Kaldfjorden-Øyangen	Overføring	2,7	22
Øyangen-Øvre Vinstra	Drift	7,5	32
Olstappen-Nedre Vinstra	Drift	24,0	to løp

4. Videre planer

Arbeidsoppgavene hittil har vært de følgende:

- Klargjøring av vassdragsmodellen
- Sammenstilling av erfaringer fra andre land

Når det gjelder flommodellen er det konkludert med at for å oppnå den best mulige simulering av faktiske hendelser (1995-flommen), skal måleserier av tilsig benyttes i stedet for HBV-modellen i første omgang. Behovet for å ta inn HBV må vurderes på et senere stadium hvis modellen skal tilrettelegges for prognosering.

Vassdragsmodellen er tilgjengelig i en første versjon. Den er objekt-orientert slik at et system med en vilkårlig sammensetning av elementer skal kunne modelleres. For å modellere transporten av en flomtopp vil det i første omgang være tilstrekkelig å bruke Muskingum-ruting.

Det sistnevnte punktet er egentlig arbeid som ble igangsatt for et annet delprosjekt under HYDRA-programmet (F4). Det ble imidlertid klart at emnet ville være meget relevant også under F3 prosjektet slik at en del timer ble brukt på å undersøke den aktuelle litteraturen. En gjennomgang av litteraturen om effekter av flomsikringstiltak er tilgjengelig som en egen rapport, Wathne (1997).

Arbeidsoppgavene framover er:

- Klargjøring av modell og dens elementer
- Klargjøring av ruting (Muskingum-parametre)
- Rekonstruering av driftstiltak i 1995
- Rekonstruering av 1995-flommen
- Forslag til driftsrutiner for flomdempning
- Uprøving av modell og driftsrutiner
 - ved forskjellige flommer (Q_{10} , Q_{100} , ...)
 - ved forskjellige starttilstander (magasininnhold)

I grove trekk er flommen og dermed flomdempningen avhengig av fire forhold:

- Tilsiget til magasinene
- Manøvreringen av magasinene
- Ruting av flomtopper gjennom elvestrekninger
- Regulering av Mjøsa

Det må antas at enkelte av disse forhold vil ha en større effekt enn andre. Å påvise hvilke som dominerer må være en av hovedkonklusjonene i prosjektet. Her ligger en av fordelene med å undersøke to vassdrag i parallele prosjekt siden det ikke er gitt at Lågen oppfører seg likeens som Namsen eller et annet vassdrag. En annen side er å undersøke hvilke inngangsdata som har størst betydning som feilkilde ved hjelp av følsomhetsanalyse.

Referanser

1. Alfredsen, K. og B. Sæther: "An Object Oriented Framework for Creating Models in Hydrology". ACM Sigplan Notices. Vol. 32, No. 2, 1997. side 16-19.
2. NOU 1996: 16: "Tiltak mot flom". Norges offentlige utredninger. Statens forvaltningstjeneste. 1996.
3. Oppland fylkeskommune, Plan- og utbyggingsetaten: "Vannkraft og vassdrag". Flerbruksplan for vassdrag i Gudbrandsdalen, Del 1. 1987.
4. Perry, C.A.: "Effects of reservoirs on flood discharges in the Kansas and the Missouri river basins, 1993". Circular 1120-E. U.S. Geological Survey. 1994.
5. Sand, K., Å. Killingtveit og O. Guttormsen: "Flomdempning i regulerte vassdrag. Forprosjekt". Rapport nr. STF60 A87089. SINTEF NHL. 1987.
6. Sæther, B.: "Oppdatering av ENMAG for Lågen". Rapport nr. STF60 A85138. SINTEF NHL. 1985.
7. Tingvold, J.K.: "Flommen i Glomma og Lågen våren 1995. Magasinenes flomdempende effekt". Nordic Hydrological Conference 1996, Volume 1. Nordisk hydrologisk forening. 1996.
8. US Army Corps of Engineers: "The Great Flood of 1993 Post-flood Report". 1994.
9. Wathne, M.: "Effekter av flomsikringstiltak. En gjennomgang av litteraturen". Rapport nr. STF22 A97400. SINTEF. 1997.



SINTEF Bygg og miljøteknikk
Hydrologi og vassdrag

Postadresse: 7034 Trondheim
Besøksadresse: Klæbuveien 153
Telefon: 73 59 23 59
Telefaks: 73 59 02 01

Foretaksnr: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Flomdempning i Gudbrandsdalslågen.
Programstruktur og systembeskrivelse**

FORFATTER(E)

Magne Wathne og Knut Alfredsen

OPPDRAKSGIVER(E)

Norges vassdrags- og energiverk

RAPPORTNR

STF22 A97410

GRADERING

Åpen

OPPDRAKSGIVERS REF.

Per E. Faugli

GRADERING 1. SIDE

Åpen

ISBN

82-14-00303-2

PROSJEKTNR.

22E1013.10

ANTALL SIDER OG BILAG

22

ELEKTRONISK ARKIVKODE

PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)

Magne Wathne

VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)

Kjetil Arne Vaskinn

ARKIVKODE

22E1013/MW/AS

DATO

1997-08-19

GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)

Kjetil Arne Vaskinn, avdelingssjef

SAMMENDRAG

Rapporten er den første fra delprosjekt F3, "Flomdempning i regulerte vassdrag", som inngår i det overordnede prosjekt "Flomdempning, flomvern og flomhandtering" under HYDRA-programmet. Målet med delprosjektet er å finne effekten av regulering på flommer i Gudbrandsdalslågen.

For dette formål skal det benyttes en ny vassdragsmodell for å simulere flommer, inklusive rutiner for endringer i magasin-nivå og for enkel ruting av flomtopper. Først skal det foretas beregninger av flommer som er registrert i vassdraget. Siden skal det gjøres undersøkelser for å finne hvordan forløpet av historiske flommer ville ha vært om andre tappestrategier eller driftstiltak hadde vært iverksatt.

Denne rapporten omhandler systembeskrivelsen av regnemodellen og av vassdraget slik det blir representert i beregningene. Modellen er utviklet som en objekt-orientert modell med fire uavhengige hoveddeler:

- Vassdragets struktur (klasser av objekter)
- Beregningsmetoder (hydrologiske og hydrauliske simuleringer)
- Data (faste parametre, tidsserier, magasincurver, etc)
- Prosedyrer for styring av beregningene

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Hydroteknikk	Hydraulic Engineering
GRUPPE 2	Vassdrag	River
EGENVALGTE	Flom	Flood
	Regulering	Regulation
	Manøvreringsreglement	Reservoir operation



Kontaktpersoner

formann i styringsgruppen: Fylkesmann Erling Norvik

Tlf. 69 24 70 00

E-post: erling.norvik@fm-os.sri.telemax.no

programleder: Arnor Njøs

Jordforsk

Tlf. 64 94 81 70 (Jordforsk)

Tlf. 22 95 90 98 (NVE)

E-post: arnor.njos@jordforsk.nlh.no

E-post: xarn@nve.no.

naturgrunnlag og arealbruk: Arne Grønlund

Jordforsk

Tlf. 64 94 81 09

E-post: arne.gronlund@jordforsk.nlh.no

Noralf Rye

Universitetet i Bergen

Tlf. 55 58 34 98

E-post: noralf.rye@geol.uib.no

tettsteder: Oddvar Lindholm

Norges Landbrukshøgskole

Tlf. 64 94 87 08

E-post: oddvar.lindholm@itf.nlh.no

flomdemping, flomvern

og flomhandtering:

Dan Lundquist

Glommens og Laagens

Brukseierforening

Tlf. 22 54 96 00

E-post: danlund@sn.no

skaderisikoanalyse: Nils Roar Sælthun

Norsk institutt for vannforskning

Tlf. 22 18 51 21

E-post: nils.saelthun@niva.no

miljøvirkninger av flom og

flomforebyggende tiltak:

Olianne Eikenæs

Norges vassdrags- og energiverk

Tlf. 22 95 92 24

E-post: ole@nve.no

databaser og GIS: Lars Andreas Roald

Norges vassdrags- og energiverk

Tlf. 22 95 92 40

E-post: lars.roald@nve.no

modellarbeid: Ånund Killingtveit

Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet

Tlf. 73 59 47 51

E-post: aanund.killingtveit@bygg.ntnu.no

programadministrasjon: Olianne Eikenæs

Norges vassdrags- og energiverk

Tlf. 22 95 92 24

E-post: ole@nve.no

Hjemmeside: <http://www.nve.no>

Per Einar Faugli

Norges vassdrags- og energiverk

Tlf. 22 95 90 85

E-post: pef@nve.no

TIDLIGERE UTGITTE NOTAT I HYDRA-SERIEN

- 1/97 Metoder for kvantifisering av hydrologiske prognosefelts representativitet.
Kai Fjelstad, NLH (diplomarbeid).
- 2/97 Effekter av flomsikringstiltak. En gjennomgang av litteraturen.
Magne Wathne, SINTEF.
- 3/97 Virkningen av lokal overvannsdiskonering på tettstedsflommer.
Dag Rogstad og Bjørn Vestheim, NLH (hovedoppgave).
- 4/97 Forslag til kravspesifikasjon av vassdragsmodell.
Lars A. Roald, NVE.
- 5/97 A note on floods in high latitude countries.
Lars A. Roald, NVE.
- 6/97 Climate change and floods.
Nils Roar Sælthun, NIVA.
- 7/97 Flomdemping i Gudbrandsdalslågen. Programstruktur og systembeskrivelse.
Magne Wathne, SINTEF.