Morten Skoglund
SINTEF
Eirik Traae
NVE
Einar Tesaker
SINTEF

Nødoverløp på flomverk

NOTAT
Nr. 11
1999



HYDRA

-ET FORSKNINGSPROGRAM OM FLOM



HYDRA - et forskningsprogram om flom

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

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

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

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

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

HYDRA - a research programme on floods

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

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

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

An overview of the scientific content in HYDRA is:

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

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

SINTEF

SINTEF Bygg og miljøteknikk
Hydrologi og vassdrag

Norges vassdrags- og energidirektorat
NVE

Tittel: Nødoverløp på flomverk

Forfattere: Morten Skoglund, Eirik Traae, Einar Tesaker

Ansvarlig institusjoner: SINTEF
NVE

Hydra Prosjekt: F4

Sammendrag :

I rapporten er det diskutert når og hvor det kan være aktuelt å bruke nødoverløp på flomverk og dimensjoneringskriteriene omkring dette. Viktig grunnlag er transporttider (bølgehastigheter) for flommen, stigehastigheter for flommen på stedet og oppfyllingshastigheter bak flomverket.

Det er viktig med meget god kunnskap om flomforhold på stedet for dimensjonering av nødoverløpet. Ved etablering av nødoverløp er det viktig å ha god kunnskap om vannstrømningen som vil oppstå innenfor flomverket. Både fordi det kan oppstå betydelige erosjonsskader, og fordi det kan dannes tørre "celler" som kan redusere tilgjengelig volum.

For å konkretisere hvordan et nødoverløp bør planlegges og konstrueres har vi valgt ut flomverket på Kirkenær. Det er imidlertid ikke vurdert om det på dette sted virkelig er fordelaktig med et konkret nødoverløp.

Det vil være best med to nødoverløp som har en lengde på hhv 42 m og 33 m. Det er kostnadsberegnet to typer luker. For gummiluker er kostnadene hhv 14 MNOK og 9 MNOK. For eroderbare felt vil tilsvarende kostnader være 3 MNOK og 2 MNOK. Kostnadene må bare ses på som grove estimat.

1. SAMMENDRAG 5

2. BAKGRUNN OG MÅLSETTING 7

2.1 Bakgrunn. 7

2.2 Forskningsprosjektet HYDRA 7

2.3 Målsetning 8

2.4 Definisjon av nødoverløp 8

2.5 Bakgrunn for bruk av nødoverløp 8

3. ERFARINGER FRA GJENNOMBRUDD OG NØDOVERLØP PÅ FLOMVERK 9

3.1 Litteraturgjennomgang 1996 9

3.2 Erfaringer fra Nederland 9

3.3 Eksempler på brudd på flomverk 10

3.4 Hendelsesforløp og beregninger av åpningen på flomløpet i Heradsbygda 12

4. HVOR OG NÅR KAN DET BLI AKTUELT Å BRUKE NØDOVERLØP? 15

4.1 Generelt 15

4.2 Kriterier for hvor en bør bygge nødoverløp 15

4.3 Kriterier for når og hvordan et nødoverløp skal åpnes 16

4.4 Transporttid og stigningshastighet på flommen 17

5. PRINSIPPER FOR UTFORMING AV NØDOVERLØP 20

5.1 Innledning 20

5.2 Trygghetsfølelse ved forskjellige løsninger 20

5.3 Tekniske aspekter ved valg av løsning 20

6. BESKRIVELSE AV DE ULIKE LØSNINGENE 22

6.1 Oversikt over prinsipper 22

6.2 Beskrivelse av de ulike løsningene 23

6.3 Kommentarer 29

7. FORHOLDENE PÅ INNSIDEN AV FLOMVERKET 31

7.1 Erosjon/-beskyttelse 31

8. NØDOVERLØP PÅ ET UTVALGT FLOMVERK, ET EKSEMPEL 33

8.1 Valg av flomverk 33

8.2 Plassering av nødoverløp 37

8.3 Selve nødoverløpet 38

8.4 Erosjonsbeskyttelse av nødoverløpene 45

8.5 Kostnadsoverslag 48

9. NEDSTRØMS VIRKNINGER I VASSDRAGET 49

9.1 Beregningsmodellen 49

9.2 Definisjon av terreng og hydrauliske parametre 49

9.3 Hydrogram for over-/gjennomstrømning 51

9.4 Virkninger nedstrøms 51

10. KONKLUSJON 53

11. REFERANSER 54

FORORD

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

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

Prosjektet er inndelt i fem delprosjekter:

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

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

Med dette rapporteres fra delprosjekt nr 4, som tar for seg utformingen av nødoverløp og hvilken effekt dette kan få på flomforløp.

Trondheim, 16. november 1999

Morten Skoglund

delprosjektleder

1. Sammendrag

I rapporten er det diskutert når og hvor det kan være aktuelt å bruke nødoverløp på flomverk og dimensjoneringskriteriene omkring dette. Viktig grunnlag er transporttider (bølgehastigheter) for flommen, stigehastigheter for flommen på stedet og oppfyllingshastigheter bak flomverket. Det er viktig med meget god kunnskap om flomforhold på stedet for dimensjonering av nødoverløpet.

For drift av nødoverløpet må det etableres gode hydrauliske modeller sammen med et godt nett av målestasjoner oppstrøms. Det påpekes sterkt at åpning av nødoverløp må skje på grunnlag av meget sikre beregninger, sikrere jo større verdier som ligger innenfor nødoverløpet. Kriteriene for åpning av nødoverløpet bør være kjent og akseptert av berørte organisasjoner og personer.

Nødoverløp er i rapporten inndelt i 3 grupper:

1. **Fast overløp**
   Synlig eller usynlig, betong eller spuntvegg
2. **Regulerbare overløp**
   Gummiluke, sektorluke, bjelkestengsel
3. **Ukontrollert innslipp**
   Ingen anleggstekniske forhåndarbeider, men planlagte prosedyrer for åpning

Det finnes en rekke overløps-/luketyper som er godt kjent fra dambygging. Typene som kort beskrives i kapittel 5 er:

- Fast overløpsterskel
- Eroderbart felt
- Sprengbart felt
- Bjelkestengsel
- Gummiluker
- Segmentluker
- Klappeluker
- Ingen anleggstekniske anordninger

Ved etablering av nødoverløp er det viktig å ha god kunnskap om vannstrømningen som vil oppstå innenfor flomverket. Både fordi det kan oppstå betydelige erosjonsskader, og fordi det kan dannes tørre "celler" som kan forsinke oppfyllingen og føre til ukontrollerte brudd.

For å redusere erosjonsfaren vil det ofte være aktuelt å etablere energidrepere like innenfor nødoverløpet og lage planer for hvordan "cellene" skal åpnes. Ofte vil det være veier ol som lager disse "cellene" og planene vil da dreie seg om når, hvor og hvordan man skal grave/sprenge seg gjennom veien.

For å konkretisere hvordan et nødoverløp bør planlegges og konstrueres har vi valgt ut flomverket på Kirkenær. Det er imidlertid ikke vurdert om det på dette sted virkelig er lønnsomt med et konkret nødoverløp eller om det er tilstrekkelig med en plan for hvordan og hvor flomverket bør åpnes. Hvis det imidlertid viser seg at det er best

med et fysisk nødoverløp er det funnet fordelaktig å ha to stykker. Årsakene er at volumet bak flomverket er stort og at området er seksjonert av veifyllinger.

Det er undersøkt, skissert og grovt kostnadsberegnet to typer nødoverløp:

- Eroderbart felt
- Gummiluker

Det er videre diskutert og valgt noen dimensjoneringskriterier:

- Oppfyllingstid til 0,5 m under topp flomverk er 12 t
- Vannstand i elva ved åpningstidspunkt er satt til 0,5 under topp flomverk. Dvs at når flomverket overtoppes (etter 12 timer og med 1 m vannstandstigning pr døgn) er det 0,5 m lavere vannstand på baksiden.

De to nødoverløpene har en lengde på hhv 42 m og 33 m. Terskelhøyden er satt til 3 m under topp flomverk. For gummiluker er kostnadene hhv 14 MNOK og 9 MNOK. For eroderbare felt vil tilsvarende kostnader være 3 MNOK og 2 MNOK. Kostnadene må bare ses på som grove estimat.

En åpning av de ovenfor nevnte nødoverløp vil medføre at ved tidspunkt for maksimal vannføring inn bak flomverket vil ca 500 m^3/s tas ut fra Glomma. Dette vil selvsagt ha virkning nedover i vassdraget. Nede ved Kongsvinger Kraftverk, 80 km nedstrøms, er tilsvarende reduksjon i vannføring lik ca 400 m^3/s. Det er ikke forsøkt noen form for optimalisering av vannføring inn bak flomverket med hensikt å få størst mulig reduksjon av vannføringen nedover i vassdraget. Imidlertid er det forsøkt å starte åpningen av nødoverløpet slik at man har en stor vannføring inn bak flomverket i det kulminasjonen nås.

Ved betydelig større flommer enn dimensjonerende eller flommer med flere topper blir denne effekten mindre eller helt borte. Det er i beregningene ikke tatt hensyn til at vannet vil strømme ut i Glomma igjen når vannstanden synker.

2. Bakgrunn og målsetting

2.1 Bakgrunn.

I Norge har flomsikringstiltak foregått i statlig regi i snart 200 år [Andersen, 1996]. Det primære formålet med disse tiltakene er å redusere flomskadene lokalt. Flomverk er vanligvis dimensjonert for en 50-100-årsflom, og gir muligheter for å drive landbruksvirksomhet og å oppføre boliger og næringsbygg på lavere nivå enn man ellers kunne gjort.

Flomverk kan virke inn på flomforløpet ved å øke maksimal vannstand nedstrøms eller oppstrøms inngrepene, i tillegg til å øke maksimal vannføring nedstrøms. Det er gjort få konkrete beregninger her i landet av effekten av flomverk på flomforløpet [NOU, 1996], og de beregningene som er gjort, omfatter forholdsvis korte strekninger.

En undersøkelse av dempningseffekten i meget korte deler av Glomma viste liten effekt av relativt små flomverk [Kjellesvig og Skoglund, 1996]. I Polen, derimot, ble bygging av flomverk kansellert fordi forundersøkelser viste at det ville øke faren for oversvømmelser nedstrøms [NVE-rapport, 1996]. Modellering av endringer i flomvannstander i de øvre deler av Rhinen, antydet at vannstanden enkelte steder har økt med noen desimeter på grunn av bygging av diker oppstrøms. Under store flommer viste imidlertid modelleringen at innvirkningen av dikene er ubetydelig, siden vannet overtopper dikene uansett.

Flomverk må nødvendigvis dimensjoneres for en eller annen vannføring. Det økonomisk optimale gjentaksintervall på dimensjoneringsvannføringen vil alltid være mindre enn PMF. Dette medfører at i gjennomsnitt over lang tid vil flomverket overtoppes med det mellomrom som gjentaksintervallet på dimensjoneringsflommen tilsier.

En overtopping kan medføre store skader innenfor flomverket. Skadene kan imidlertid reduseres hvis man kontrollerer innstrømningen. En slik kontroll kan man oppnå med et nødoverløp. Avhengig av nødoverløpets utforming vil man kunne kontrollere både størrelsen på vannføringen og sted. En slik kontrollert innstrømning viste seg nødvendig under flommen i 1995 blant annet i Heradsbygda. Når vannstanden nærmet seg toppen av flomverket ble flomverket åpnet i nedre ende for å kontrollere innstrømningen på best mulig måte.

2.2 Forskningsprosjektet HYDRA.

HYDRA er et forskningsprogram om flom, initiert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i begynnelsen av 1995. HYDRA's arbeidshypotese er at summen av alle menneskelige inngrep, i form av arealbruk, reguleringer, flomverk osv, kan ha økt sannsynligheten for oversvømmelser. Forskningsprogrammet vil legge et grunnlag for å teste denne hypotesen. HYDRA vil i tillegg øke kunnskapene om effekten av vassdragsreguleringer og flomsikringstiltak på flomforholdene.

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

2.3 Målsetning

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

2.4 Definisjon av nødoverløp

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

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

2.5 Bakgrunn for bruk av nødoverløp

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

Alternativet til "kontrollert" innslipp er at vannet stiger over dimensjonerende vannstand og selv bryter igjennom flomverket. Et mulig scenarie er at vannet bryter igjennom med så stor kraft i øvre deler av området at elva tar nytt løp innenfor flomverket.

Slippes det inn vann bak flomverkene på en kontrollert måte, vil områdene bak settes under vann i samme grad som om elva selv tar seg til rette, men en vil begrense strøm- og erosjonsskader til et området nær nødoverløpet. Dette sted kan velges og beskyttes på forhånd.

3. Erfaringer fra gjennombrudd og nødoverløp på flomverk

3.1 Litteraturgjennomgang 1996

Som et tidligere delprosjekt i HYDRA F4 ble det i 1996 utført en litteraturstudie: "Effekter av flomsikringstiltak. En gjennomgang av litteraturen", SINTEF-rapport STF22 A97400. Studien omfatter referanser fra fire kilder. De fleste er referert bare med titler, men noen få er kort oppsummert.

- Universitetsbiblioteket i Trondheim. Tidskriftartikler fra databaser, bare europeiske og japanske artikler.
  Flere titler omfatter bruk av "polder", dvs å utnytte et vannvolum til planlagt flomdemping. Dette gjelder særlig beskrivelse av flomplaner og anlegg i Tyskland. Flere artikler behandler økologiske problem. Disse er anskaffet og vurdert.

- Søk på Internett. Referanser fra 16 adresser er nevnt.
  USA opplevde storflom i Mississippi i 1993. Et tilfelle der et dike ble åpnet er nevnt. Flomkontroll og flomruting er stikkord som går igjen i rapporten. Heller ikke her er det funnet noe om planlagt bruk av nødoverløp, men forskjellige typer luker, bjelkestengsler og overløp er nevnt. Stenging av lave punkter på flomverk er definert, f eks vegskjæringer.
  Bukhorn Mesa Watershed Project samler flomvann i fire dammer og omleder avløpet for å redusere flomskader.
- Søk i BIBSYS, dvs bøker i norske bibliotek. To titler er lånt og gjennomsett:
  1. "River Flood Protection in the Netherlands" (Delft Hydraulics, Publications No 494), en 11-siders oversikt bl a over metoder for å redusere "design water levels"
  2. "Floodplains or Flood Plans?" (Ross Hughes m fl., Russell Press, Nottigham,UK), en 94 siders rapport fra Bangladesh, bl a støttet av NORAD. Berører flere problem knyttet til flomverk, bl a økning av vannstand, forsumping, skader ved brudd, lokalbefolkningens holdninger og inngrep, men lite direkte nyttig for vurdering av nødoverløp.
- Kommersielt tilgjengelige bøker i USA. Tre titler gjengis her fordi de viser tematypene og kan ha noen tekniske detaljer som kan være nyttige: "Alternatives for Overtopping Protection of Dams", "When the River Rises" og "Structural Design of Closure Structures for Local Flood Protection"

3.2 Erfaringer fra Nederland

I Nederland er en type "nødoverløp" i vanlig bruk. Det gjelder såkalte sommerdiker, dvs lave sekundære flomverk nær elveløpet. De er høge nok til å hindre at en moderat økning i vannstanden skal oversvømme nærliggende områder, men ikke høge nok for de store flommene. Når større vinterflommer kommer, vil sommerdikene regelmessig overtoppes, og et område avgrenset av høgere hoveddiker lenger inne på flomsletta vil bli fylt med vann.

Sommerdikene er oftest laget av jordvoller kledd med gras, og er konstruert slik at de vanligvis ikke skades nevneverdig ved overtopping. Eksempler er avbildet i publikasjonen "Under pressure 1995", publisert av Technical Advisory Committee on Water Retainig Structures, Delft (TAW), /5/, se fig 1. Fra Ministry of Transport har vi fått opplysninger om hvilke krav som må settes til et dike med hensyn til helning, jordkvalitet og graskvalitet for små vannføringer over diket: 0,1, 1 og 10 l/m/s, se vedlegg 1. Skal et graskledd dike tåle vesentlig større vannføringer må overflaten forsterkes f eks med fibermatter eller nett. Vedlegg 1 gir noen grenseverdier for vannhastigheter over forsterkede grasdekker.



Fig 1. Nederlandske sommerdiker kledd med gras, /5/.

TAW har sammen med Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR) også gitt ut rapport 141 "Probabilistic Design of Flood Defences", med bl a et kapittel om forløp og hydraulisk beregning av innstrømning og oppfylling av poldere ved brudd, overtopping og gjennom sideoverløp.

3.3 Eksempler på brudd på flomverk

Nødoverløp er ikke installert på flomverk i Norge frem til i dag. Årsakene til dette er uklare, men en medvirkende årsak er sikkert at det virker ulogisk at man først bygger en konstruksjon for å beskytte verdier, for deretter å bygge enda en "ny" konstruksjon som tilsynelatende reduserer sikkerheten for de samme verdiene. Nødvendigheten av et kontrollert gjennomløp på et flomverk mener vi imidlertid er dokumentert både gjennom denne rapporten og andres erfaringer.

Flere av flomverkene har så store konsekvenser ved et eventuelt brudd at en igjen bør vurdere om flomverk skal komme inn under "forskrifter for vassdragsanlegg" som er under utarbeidelse (1998).

I utlandet er det installert nødoverløp på flomverk, blant annet langs elva Reuss kantonen Uri i Sveits. Her er det imidlertid et differensiert sikringsnivå, i motsetning til hva vi har tenkt på med våre nødoverløp i denne rapport. Det bemerkes at det også er klargjort for gjennomstrømning gjennom eksisterende veier i oppfyllingsområdet.

I Loire ved Montlivaut er det anlagt et nødoverløp. Dette er utformet som en fast betongterskel som ligger lavere enn topp av flomverk. Betongterskelen er tildekket av løsmasser som overtoppes før resten av flomverket. Nødoverløpet skal tre i funksjon ved en 100-årsflom. (NVE 1996)

3.3.1 Heradsbygd i Elverum kommune 1995

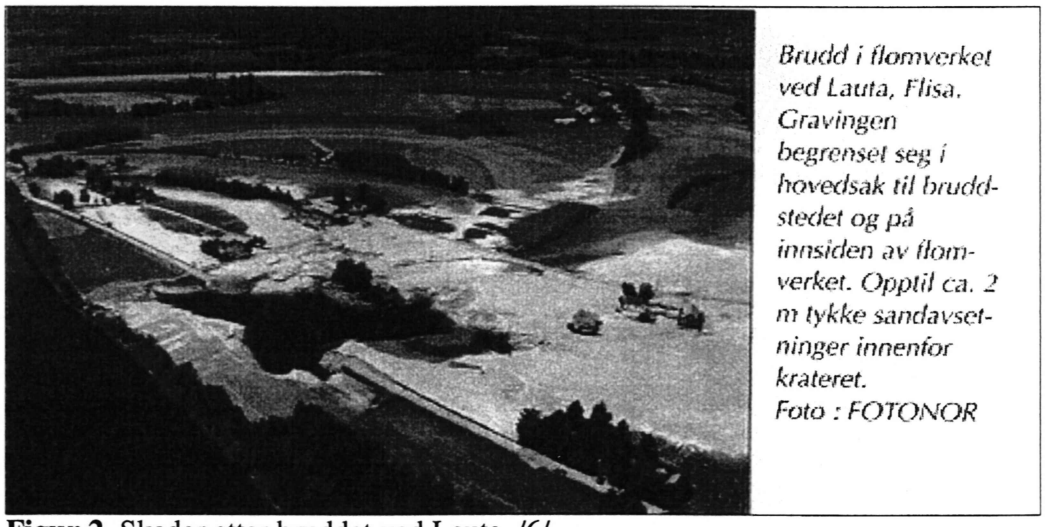
Et flomverk i Heradsbygd ble åpnet under flommen i 1995. Flomverket beskytter bebyggelse og 2800 dekar dyrket mark. Under 1995 flommen steg vannstanden så høyt at flomverket var i ferd med å overtoppes flere steder. Det ble da besluttet å åpne flomverket i nedstrøms ende for å hindre et ukontrollert brudd på flomverket på de øvre delene. Vannvolumet som oversvømte områdene i Heradsbygda var ca 3,5M(m^3).

Åpningen medførte betydelig lokal erosjon av terrenget på innsiden og betydelige vannskader på bygninger ved at bygningene ble satt under vann. Erosjonskadene begrenset seg til et område på noen få dekar. I tillegg førte erosjoskadene i en sandmæl til at det la seg en del sand utover dyrket mark

3.3.2 Lauta ved Flisa

Ved Lauta på Glommas vestside sør for Flisa ble et flomverk som beskytter et bebygget område overtoppet og brutt på to steder.

Det første bruddet skjedde i nedre del av området. Det utviklet seg raskt en vel 100 m bred åpning i flomverket, slik at området ble tilnærmet fylt opp i tide før det neste bruddet oppsto i øvre del av flomverket. Et lite antall hus i nedre del av området ble totalskadet av sterk strøm fra bruddstedet, mens mange fikk vannskader. Hadde bruddet skjedd først i øvre ende, der bebyggelsen er tettere, ville mange flere eiendommer ligget utsatt til for sterk innstrømning, dvs stor vannhastighet, og dermed sannsynligvis fått totalskade. Se figur 2.



Brudd i flomverket ved Lauta, Flisa. Gravingen begrenset seg i hovedsak til bruddstedet og på innsiden av flomverket. Opptil ca. 2 m tykke sandavsetninger innenfor krateret.
Foto : FOTONOR

Figur 2. Skader etter bruddet ved Lauta, /6/.

3.3.3 Øksna i Åmot kommune

Her brøt vannet gjennom flomverket i øvre enden. I størrelsesorden 500 dekar dyrket mark ble erodert vekk. Jord og finmasser ble erodert vekk slik at det bare var kulestein igjen. Meget omfattende skader. Dette er et eksempel på et sted hvor vannet brøt gjennom i øvre ende og påførte arealene bak meget omfattende skader pga stor vannhastighet, se fig 3.



Fig 3. Skader etter bruddet i Øksna i Åmodt, /6/. Foto FOTONOR.

3.3.4 Soløområdet

For Soløområdet er det karakteristisk for 1995 flommen at den kuliminerte ved en vannstand over det flomverkene var dimensjonert for. Det oppstod problemer på de fleste flomverkene og brudd på noen. Pga en voldsom lokal innsats og noe tilfeldigheter unngikk en brudd i øvre enden på flomverkene. Hadde flommen steget noe mer før den kuliminerte hadde skadeomfanget i Solør området sannsynligvis vært betydelig større. Flomverket rundt Kirkenær kan nevnes som et eksempel.

Flomverket ved Kirkenær er ca 8 km langt og beskytter et område på ca 10 000 dekar, ca 500 bygninger, veger o.l. Deler av selve hovedverket (Gruetjern) utviklet grunnbrudd tidlig i flommen og oversvømte mindre jordbruksarealer. Sekundærverket (Byrønningsverket) ble imidlertid forhøyet ved hjelp av stor lokal innsats, slik at Kirkenær ble spart for en større oversvømmelse.

3.4 Hendelsesforløp og beregninger av åpningen på flomløpet i Heradsbygda

Virkningene på flomvannstanden i elva er etterregnet av SINTEF og dokumentert i rapport STF22 F96402, "Nedstrøms vannstandseffekter på grunn av åpning av

vannstanden på ca 4 cm. Vannstanden sank etter ca 1-2 timer med omtrent 30 cm på samme sted. 5 km nedstrøms åpningstedet er vannstandsendringene omtrent det samme. Dette var en medvirkende årsak til at flomverket ikke ble vesentlig skadet utenom åpningsstedet, noe som ville gitt mulighet for økte erosjonsskader innenfor flomverket.

Det ble også sett på optimalt tidspunkt for åpning av flomverket og innstrømningsforløp dersom formålet hadde vært å redusere vannstanden videre nedover i vassdraget.

Åpningen skjedde på et nokså gunstig tidspunkt, få timer før flommen kulminerte, dog ikke på det optimale tidspunkt med hensyn på størst mulig reduksjon av maksimal vannstand. Vannføringen gjennom åpningen ble heller ikke optimal med tanke på vannstandsreduksjon. Virkningen ville ha vært noe større om verket hadde blitt åpnet litt tidligere og hatt en litt mindre maksimal vannføring.

Det ble videre beregnet at vannstanden 5 km nedover i elva ville ha blitt senket ca 10 cm om åpningen hadde vært gjennomført på optimalt tidspunkt og med optimal innstrømning i 1995. Se fig 4.

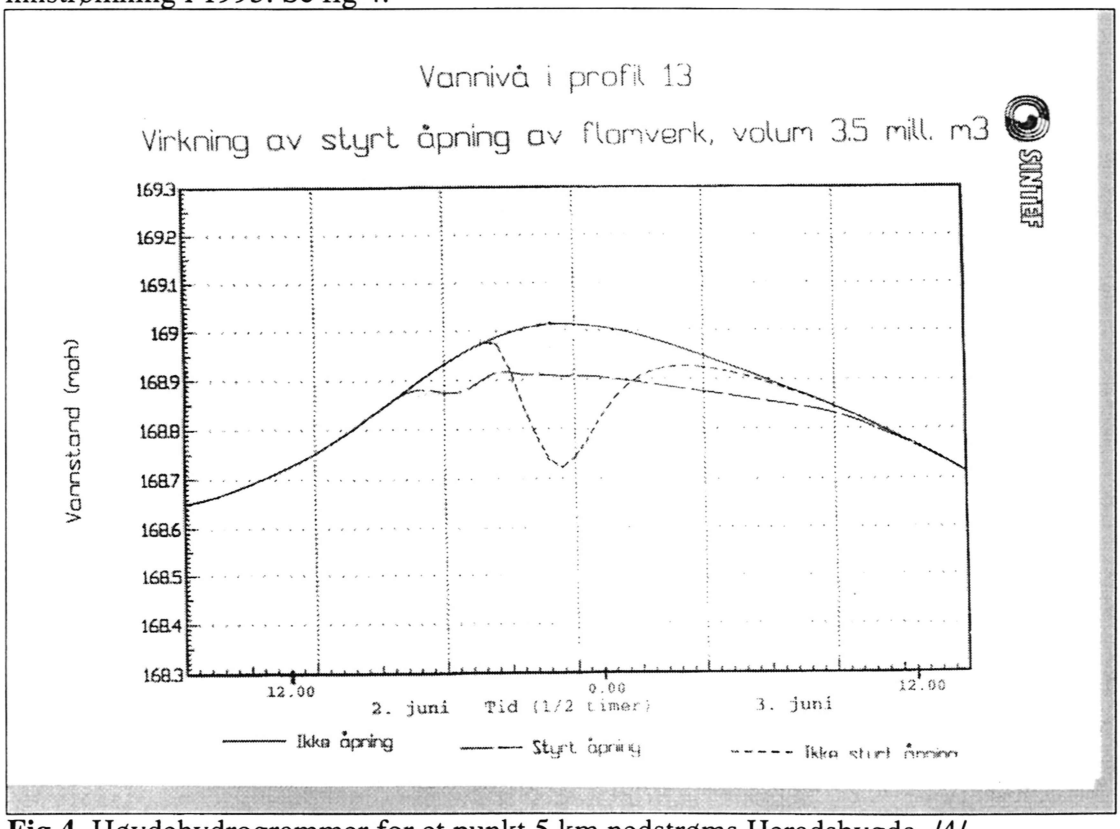


Fig 4. Høydehydrogrammer for et punkt 5 km nedstrøms Heradsbygda, /4/.

For å se hva volumet av innsluppet vann betyr for senkningen nedstrøms, ble beregninger gjennomført for antatt større volum gjennom samme åpning. Disse viste som ventet at innsluppet volum betyr mye for nedstrøms virkning. F eks ville senkningen vært 30-40 cm i stedet for 10 cm 5 km nedstrøms om volumet hadde økt fra 3,5 M(m^3) til 21 M(m^3). Dette gjelder ved en optimalisering av innstrømning med hensyn på vannstandsreduksjoner nedstrøms. Det ble også beregningsmessig påvist at flomtoppens varighet har stor betydning. Flommen i 1967 hadde mye lengre og flatere

flomtopp og ville bare fått ca 30 % av virkningen fra 1995-flommen, som hadde kortvarig flomtopp.

4. Hvor og når kan det bli aktuelt å bruke nødoverløp?

4.1 Generelt

Et nødoverløp skal fortrinnsvis brukes for å slippe vann inn bak flomverket på en kontrollert måte når vannstanden i elva kommer til å overstige det som flomverkene er dimensjonert for.

Det foreligger ingen spesielle regler eller prosedyrer for nødåpning av flomverk i dag. Nødåpning skal altså brukes for å redusere skader. Basert på observasjoner, eventuelt prognoser, vil en ha mulighet til å foregripe situasjonen med et mer kontrollert forløp av gjennombruddet, og spesielt kunne velge sted og tid for overløpet slik at skadene blir minst mulig. På spesielle steder med relativt store volum bak flomverkene kan nødoverløp også benyttes til å redusere flomtoppen videre nedover i vassdraget.

Det må stilles strenge krav til observasjonene og prognosene, som legges til grunn ved bruk av nødoverløp, slik at unødvendig åpning unngås.

Prinsipper for bruk av nødoverløp:

- En må på forhånd ha tenkt igjennom hva som kan skje når det oppstår en flom som overstiger dimensjonerende flom og hva en skal gjøre for å begrense skadene mest mulig.
- Nødoverløpet plasseres på et sted hvor det gir størst mulig effekt og en får minst mulig skader.
- Man opprettholder en bevissthet om at det kan komme flommer som overstiger dimensjonerende flomvannstand med de konsekvenser det kan få.
- Bygging av nødoverløp vil også medføre at en må ha personell til å betjene dette. I beredskapsplanene lokalt (kommuner, NVE's regionkontor) og sentralt (NVE) må det ligge planer for hvordan en skal opptre i en slik situasjon. Fordelen med planene er at når en slik situasjon er gjennomtenkt på forhånd er mulighetene for å handle korrekt mye større enn om en ikke har detaljerte planer.

4.2 Kriterier for hvor en bør bygge nødoverløp

I utgangspunktet bør det være nødoverløp på alle flomverk, eller i det minste være planlagt hvordan nødåpning kan utføres. Jo større verdier som kan bli skadet ved et ukontrollert gjennombrudd, jo viktigere er det å bygge nødoverløp. Hensikten med nødoverløp er nettopp å begrense skadene ved en flom som er større enn dimensjonerende flom for det aktuelle flomverket.

Det vil variere hvilke typer nødoverløp som egner seg på de ulike flomverkene. For de flomverkene som beskytter relativt små verdier vil det ikke være naturlig å bygge inn fysisk et ferdig nødoverløp, men en må som nevnt på forhånd lage planer for hvor og under hvilke situasjoner flomverket skal åpnes. Eventuelt kan det lages "naturlige" lavpunkter, hvor vannet først vil renne over. f.eks som en pilotkanal på en eroderbar

damdel. Lavpunktene plasseres slik at skadeomfanget blir minst mulig. Dette kommer vi tilbake til senere i rapporten.

Valg av sted for et forberedt overløp må gjøres ut fra mange hensyn:
- omfang og konsekvenser av erosjon og strømskader på innsiden av overløpet
- spredningsforløp og innfylling av vannet som passerer overløpet
- sikring og bruk av viktige bygninger, vegforbindelser mm
- adkomst, arbeidsforhold og mulighet for kontroll mens overløpet utvikler seg
- adkomst og mulighet for (rimelig) reparasjon etter flommen
- lokale private og offentlige synspunkter og hensyn

Ofte vil det være best å legge et nødoverløp i nedstrøms ende av flomverket:
- Her vil terrenget innenfor ofte være lavest, slik at det raskt vil dannes et vannspeil på innsiden som demper erosjon og strømhastighet.
- Naturlig helning på terrenget gjør at vannstanden vil stige innover i stedet for å strømme mot lavere områder .
- Det vil være lettere å forberede en lokal seksjonering når strømkreftene er små, slik at ikke hele området behøver å fylles.

4.3 Kriterier for når og hvordan et nødoverløp skal åpnes

4.3.1 Beredskap

Det finnes to hovedløsninger når det gjelder aktivering av nødoverløp:

- Overløp som aktivt må settes i funksjon, f.eks luker og eroderbare felt som aktiveres maskinelt eller manuelt.
- Overløp som trer i funksjon "automatisk" når vannstanden når et på forhånd bestemt nivå, f eks et lavpunkt hvor vannet renner over og starter erosjonen når vannstanden når et bestemt nivå.

I begge tilfeller er det nødvendig med beredskap som sikrer at overløpet til en hver tid er funksjonsdyktig. Dette betyr at noe må vedlikeholdes og personale må holdes kjent med bruken over lang tid. "Automatiske " overløp må holdes under kontroll, slik at setninger eller menneskelig aktivitet ikke medfører ukjente forandrer på høgder og utforming forøvrig. Videre må det sørges for at overløpet blir tatt i bruk i tide og ikke aktiveres unødvendig Det må til en hver tid være personer som kjenner anlegget og har nødvendig kunnskap og myndighet til å ta det i bruk. Det må foreligge klare og aksepterte kriterier for når åpning skal settes igang. De som bor i området må holdes oppdatert om hensikt og funksjon av overløpet, og samtidig motiveres til å akseptere en faglig beslutning som kan berøre personlig eiendom og sikkerhet.

4.3.2 Krav til prognoser

Det må stilles strenge krav til grunnlaget for de prognosene som legges til grunn ved bruk av aktive nødoverløp slik at en unngår "feil"- åpninger.

De mest aktuelle løsningene har overløp som aktivt må settes i funksjon.

Det er visse fysiske/praktiske grenser for hvor fort en kan fylle opp et område bak et flomverk. Vi velger i vurderingene nedenfor å legge til grunn følgende hovedprinsipper for dimensjonering og bruk av nødoverløpene:

- Det bør ikke iverksettes åpning av et nødoverløp bare ut fra meteorologiske prognoser.

- Beslutning om åpning av nødoverløp må baseres på meget gode observasjoner av vannstand/vannføring lenger oppe i vassdraget. På forhånd må en ha regnet ut og definert hvilke vannføringer og flomforløp som vil gi kritiske situasjoner for de aktuelle flomverkene. Da ingen flomforløp er like bør en ha hydrologiske og hydrauliske modeller som er operative (kalibrerte og oppdaterte mhp felttilstanden) til hjelp i slike situasjoner.

- Det må foreligge klare og aksepterte regler for beslutningsprosess og ansvarsforhold ved åpning, og disse må være kjent, slik at formelle og juridiske innvendinger ikke kan forsinke bruk av overløpet.

Som eksempel kan et flomverk i området Flisa til Kongsvinger benytte Rena som et varslingspunkt. En bør i tillegg nøye følge flomutviklingen på Stai, i Osensjøen og Storsjøen. Ellers må en prøve å være oppdatert på lokalt tilsig på strekningen Rena – Norsfoss. Her kan f.eks. nevnes lokale sideelver som Åsta og Flisa.

4.4 Transporttid og stigningshastighet på flommen

4.4.1 Generelt

Grunnleggende faktorer for dimensjonering og eventuell manøvrering av nødoverløp er:

- Transporttiden, dvs den tiden vannet bruker fra sikre observasjonspunkter frem til området hvor flomverket ligger.
- Flommens stigningshastighet, både ved selve nødoverløpet og langs hele flomverket.
- Volum innenfor flomverket.

4.4.2 Midlere vannhastighet (transporttid):

Transporttiden kan forenklet defineres som den tiden vannet (bølgen) bruker fra et punkt til et annet punkt i vassdraget. For bruk av nødoverløp er transporttider fra sikre observasjonspunkter frem til området hvor flomverket ligger av stor viktighet.

Transporttiden vil variere fra delstrekning til delstrekning. Det kan være store lokale forskjeller langs en strekning, men dette ser vi bort fra i denne rapporten. Faktorer som er avgjørende for transporttiden er:

- elvestrekningens helning
- vannføringen
- lokaltilsigets størrelse og fordeling på den aktuelle strekningen.
- kraftverk og dammer o.l

Vi ønsker som eksempel å se på strekningen fra Rena til Norsfoss i Glomma. Vi har gått igjennom data fra vannmerkene, ulike flomobservasjoner, samt følgende rapporter:

- Vårflommen i Glomma 1995, K. Hegge, februar 1997.
- Flommen i Glomma våren 1995, Ø. Solvik, juni 1996.

Hegge antyder en gjennomsnittlig bølgehastighet mellom Elverum og Skarnes på opp i mot 1 m/s. Solvik antyder en bølgehastigheten mellom Elverum og Vormsund på 0,6 m/s. Dette er imidlertid gjennomsnitthastigheter for 1995-flommen og må derfor benyttes som grove estimat på bølgehastigheten.

Tabell 1 gir en grov oversikt over aktuelle avstander:

Tabell 1: Tabell over viktige avstander.

Strekning	Avstand
Osensjøen - Rena	25 km
Storsjøen -Rena	30 km
Stai – Rena	48 km
Rena – Elverum	30 km
Elverum – Norsfoss	80 km

I tillegg må en ta høyde for fordelingen av lokaltilsig på strekningen fra Rena til Norsfoss.

4.4.3 Stigningshastighet

Et av hovedproblemene når en skal finne et anslag for midlere transporthastighet og midlere stigningshastighet er at de fleste dataene som finnes er døgndata, det finnes relativt lite data med timesoppløsning.

Vi har gått gjennom tilsvarende datagrunnlag for å finne typisk stigehastighet ved Noret ved Kirkenær. Tabell 2 gir stigningen i den 24-timers-perioden som avsluttes noen timer før toppen nås. Det er altså stigehastigheten i den perioden hvor åpning av flomverket vil være aktuelt.

Tabell 2. Stigehastighet ved Noret ved Kirkenær

Flomår	1995	1967	1966	1934	1916
Stigehastighet, m/døgn	0.7	0.6	0.6	0.8	1.1

I området fra Flisa til Norsfoss ligger stigningshastighetene for de store flommene altså i størrelsesorden 0.6 – 1.1 m/døgn.

5. Prinsipper for utforming av nødoverløp

5.1 Innledning

Etablering av et nødoverløp forutsetter:

- at det er en viss sannsynlighet for en situasjon der vannstanden i elva vil overtoppe et eksisterende flomverk.
- at skader på bygninger og grunn pga innstrømning gjennom et ukontrollert brudd kan bli vesentlig større enn ved å slippe inn vann i det beskyttede området på en kontrollert måte, slik at innstrømningen og oppfyllingen foregår mindre voldsomt, og starter på steder der skadene blir minst mulig.
- eller at flomtoppen nedover skal reduseres

Ulike flomverk kan være bygget for noe ulike flomhyppigheter, men erfaringene med overtopping av aktuelle flomverk i Norge bekrefter likevel at et nødoverløp vil bli stående ubrukt over lange perioder. Som eksempel nevnes at det i Glomma fra 1916 og frem til 1997 har vært fem flommer som har ført til brudd på eksisterende flomverk eller vært så nær dimensjonerende flom at de kunne ha ført til brudd.

5.2 Trygghetsfølelse ved forskjellige løsninger

Mens selve flomverket inngir følelse av større "trygghet", vil etablering av et nødoverløp lett kunne virke truende ved å henlede tanken på at brudd kan skje, selv om sannsynligheten er liten. Det faktum at det eksisterer et nødoverløp demonstrerer at det fortsatt regnes med en viss sannsynlighet for oversvømmelse. Mennesker reagerer forskjellig på en slik synlig trussel.

Delaktighet er en annen viktig faktor. Ved å velge løsninger der lokalbefolkningen kan være med under oppbygging og bruk av nødoverløpet, oppnås lettere en forståelse av hva et nødoverløp er og skal brukes til. Samtidig vil en sterkere bevissthet om å "være med" og ha kontroll, kunne redusere frykten for en ukjent fare.

Ved bruk av et nødoverløp vil det ofte bli liten tid til vurderinger før beslutningen må tas. Frykt for konsekvensene kan bli til hinder for en rasjonell handling.

5.3 Tekniske aspekter ved valg av løsning

Nødoverløpene kan forberedes og utformes på mange måter og etter forskjellige prinsipper. Enkleste forberedelse består i å sikre tilgjengelig redskap som kan grave en åpning i selve flomverket, gjerne på et på forhånd utvalgt sted. Det andre ytterpunkt består i faste konstruksjoner som kan åpnes og lukkes under full kontroll.

Valget kan ikke bare avgjøres av økonomiske og funksjonelle faktorer. De psykologiske virkninger for befolkningen kan være like viktige å vurdere og ta hensyn

til under planleggingen. Nødoverløpene kan bygges lite synlig, eller slik at de er gir daglig påminnelse om vannføringens variasjon, se 4.

Når et nødoverløp først er tatt i bruk, foreligger to mulige scenarier:

1. Vannstanden følger prognosen og fortsetter å stige. Det blir vesentlig å få fylt området så mye som mulig før vannet strømmer ukontrollert over verket andre steder, samtidig som skader på grunn av innstrømningen begrenses.
2. Stigningen stopper uventet opp før flomverket overtoppes. Det blir da ønskelig å kunne stanse oppfyllingen før den er fullført.

Det siste er riktignok en situasjon en vil tilstrebe å unngå. Men balansen mellom de to scenarier er ofte hårfin, og valget står gjerne mellom å komme et sannsynlig brudd i forkjøpet (scenario 1) eller å vente for lenge for å unngå scenario 2. I større vassdrag/regioner kan en ha god mulighet for å etablere observasjonspunkt eller målestasjoner så langt oppe i vassdraget at en kan ha sikre observasjoner før en åpner. Andre steder hvor en ikke har denne muligheten kan en måtte beslutte å åpne flomverk basert på kombinasjonen mellom observasjoner og meteorologiske prognoser.

Teknisk vil det være en rekke valgmuligheter, som må tilpasses lokale forhold, politisk og økonomiske rammer. Begge scenarier gjør det ønskelig med nødoverløp som helt eller delvis kan bli kontrollert under bruk. På den annen side er kontrollerbare anlegg ofte dyrere og krever mer tilsyn enn overløp som kan overlates til sin egen utvikling når de først er tatt i bruk. Siden det her er tale om hendinger med liten sannsynlighet, må derfor ønsket om kontroll veies nøye mot de praktiske og økonomiske fordeler med enklere løsninger.

6. Beskrivelse av de ulike løsningene

6.1 Oversikt over prinsipper

6.1.1 Grupper av overløp.

Tabell 3: Oversikt over grupper av nødoverløp.

Nr	Type	Beskrivelse	Eksempel
1	Fast overløp	1. Synlig, like under nivå for flomverk. Ingen ødeleggelse av flomverket.	Fast overløp, som på dammer.
		2. Usynlig, terskel som ligger lavere enn topp flomverk og er bygget inn i masser som kan fjernes.	Betongterskel eller spunt som er innebygget i eroderbare masser
2	Regulerbare overløp	Terskel med luke eller lignende som kan reguleres gjennom hele innfyllingsperioden.	Vanlige damluker som segmentluke, gummiluke, bjelkestengsel.
3	Ukontrollert innslipp	Ingen forhåndsarbeider, og man lar vannstrømmen selv erodere flomverket uten innbyggede begrensninger, hverken horisontalt eller vertikalt.	

6.1.2 Spørsmål som må besvares tidlig i en prosjekteringsfase

Fylling av et større flombeskyttet område med vann vil vanligvis bli utsatt lengst mulig. Når beslutningen evt blir tatt, vil kapasiteten av nødoverløpet være en viktig parameter. Dimensjoneringen av flomverket blir altså en optimalseringsprosess mellom nødoverløpets kapasitet og sammenhengen mellom sikkerhet og tidspunkt for vannstandsprognosene.

6.1.3 Synlige eller usynlige overløp

Valg mellom synlig eller usynlig overløp henger bla sammen med de psykologiske effekter som er nevnt i innledningen, men utseende og lokal bruk av det ferdige flomverk vil også spille inn (f eks bruk av flomverket til transport).

6.1.4 Nødoverløp av eroderbare materialer

Et annet valg som må gjøres er om overløpet skal være av eroderbart materiale eller ha en fast eller regulerbar konstruksjon.

Et planlagt nødoverløp må i alle fall sikres mot at utviklingen kan gå ut av kontroll. Når man tillater vann å passere over et eroderbart parti må utviklingen derfor begrenses både i sideretningen og i dybden.

6.1.5 Regulerbare overløp:

Dersom vannstanden i elva stiger for raskt sammenlignet med oppfyllingen bak flomverket, kan en tenke seg situasjoner hvor vannstanden ikke er nådd høyt nok før vannstanden i elva når toppen av selve flomverket og overtoppingen vil gå over til å bli ukontrollert over større deler av flomverket. Dette kan medføre erosjons og strømskader som en tok sikte på å unngå ved å etablere nødoverløpet.

Fordeler med et regulerbart nødoverløp:

- innstrømningen kan tilpasses vannstanden på begge sider slik at området blir fylt opp i tide og med hastighet tilpasset den aktuelle flomstigningen.
- hvis det ligger til rette for et bufferbasseng som kan dempe lokal erosjon på innsiden av nødoverløpet, kan dette fylles opp på forhånd.
- det kan være nyttig å ha en liten vannføring i starten og øke denne etter hvert
- det vil være mulig å avbryte innfyllingen hvis prognosene skulle bli endret mens innfyllingen pågår.

6.2 Beskrivelse av de ulike løsningene

6.2.1 Faste overløp (Type 1)

Et fast overløp består av et noe nedsenket parti med en forsterket overflate som tåler at vannet passerer når vannstanden blir høgere enn terskelen. Under terskelnivået kan flomverket ha uforandret eller spesielt utformet profil.

Antatt helning på luftsiden av flomverket er 1:2,5. Lar en vannet renne fritt ned en slik skråning gir dette store hastigheter. Enten må en plastre eller så må det brukes betong i denne skråningen. Den mest kritiske perioden er i begynnelsen inntil det fylles opp og dannes et vannspeil på innsiden av flomverket.

For å unngå for store skader på naturlig grunn innenfor verket, kan det være aktuelt å lage energidreper. Energidreperen vil ta en del plass og det vil likevel bli en del skader på dyrka mark omkring den før det dannes et tilstrekkelig stort vannspeil til at en ikke får erosjon.

Det må gjøres lokale tilpasninger for hvert enkelt tilfelle. Tatt i betraktning av at dette er løsninger som bare brukes ved de helt store flommene bør en kunne akseptere noe skader. Det vil være uforholdsmessig dyrt å sikre seg helt mot skader.

Landskapsmessig vil en løsning med synlig fritt overløp og erosjonsikring være svært dominerende. Deler av overløpskanalen og energidreperen kan nok tildekkes og tilsåes med gress e.l.

En meget viktig ting ved faste overløp er en anordning til å tappe ut vannet igjen når vannstanden i elva synker. Det må ikke bli for stort vanntrykk på «feil side» da dette kan føre til ukontrollerte brudd utover mot elva og meget alvorlige skader på flomverket.

En vanlig løsning er rør med enveisventiler mot elva. Dette er rør som må legges inn i tillegg til eksisterende dreneringsrør bla på grunn av behov for økt kapasitet når vannstanden synker. I utgangspunktet er dette et greit system som styres av vanntrykket. Men det kan bli behov for svært store eller mange rør for å sikre kapasiteten. Denne må beregnes og tilpasses nøye til sannsynlig tappebehov. En svakhet ved systemet er at en over tid kan få tilstopping av rørene pga tilslamming, drivgods o.l. For å redusere faren for skader og tilstopping bør de plasseres på steder hvor slike problem vurderes som små. Rørene kan med fordel plasseres i nivå med naturlig terreng på innsiden av flomverket.

- **Overløp i dagen (Type 1.1)**

Det er i oversikten 5.1.1 skjelnet mellom overløpsterskel i dagen (Type 1.1) og overløp overdekket med eroderbar masse eller sandsekker (Type 1.2).

Med overløpsterskel i dagen begynner vannet å renne inn straks vannstanden når overløpskronen. Vannmengden som strømmer inn, øker med økende vannstand.

Fordelen med Type 1.1 er at en ikke trenger gjøre noe for at overløpet skal tre i funksjon slik som forutsatt.

En slik overløpsterskel er tenkt plassert relativt høgt i flomverket og en ulempe er at kapasiteten er relativt liten slik at det kreves et relativt langt overløp.
Å legge terskelen lavere for å gi nok kapasitet over et kort innløp, betyr at vannet vil begynne å strømme inn på et unødvendig lavt nivå. Det siste vil spesielt være uheldig dersom flommen senere kulminerer på et lavere nivå enn det nivå en ville ha valgt for topp overdekning ved en Type 1.2 løsning.

- **Flomløpet oppfylt med eroderbar masse (Type 1.2)**

Overløpsterskelen kan f.eks legges 1-1.5 m under topp flomverk og overfylles med sandsekker, eller lett eroderbare masser. Når vannstanden begynner å nå kritisk nivå og en må åpne overløpet for å hindre overtopping av flomverket, kan en grave vekk sandsekkene eller sanden som er plassert i overløpet. Det kan være tilstrekkelig kun å lage en liten kanal (pilotkanal) slik at vannet selv eroderer vekk massene over overløpet. Det er viktig at dette må være lett å utføre uten fare for liv og helse.

Løsningen kan også være selvstartende ved at man har meget lett eroderbare masser i pilotkanalen og toppen av denne ligger noe lavere enn topp av flomverk..

Fordelen ved Type 1.2 i forhold til 1.1 er at en kan ha en høyere vannstand før vannet begynner å strømme inn, og dermed umiddelbart større vannføring og kortere overløpsterskel. Ulempene er at en vanligvis må åpne overløpet fysisk for at det skal virke slik som forutsatt.

- **Kostnader**

Kostnadene er følsomme spesielt for endringer av overløpslengden. For å gi et begrep om dimensjoner kan en si at for et flomverk som Kirkenær eller Heradsbygda snakker

vi om overløpslengder på fra 100 m og oppover til noen hundrede meter, dvs betydelige størrelser.

En slik overløpskonstruksjon må optimaliseres for hvert enkelt flomverk.

Skal en opprettholde samme sikkerhet mot oversvømmelse som i dag for type 1.1 må flomløpterskelen legges på samme nivå som dagens topp flomverk. En må da heve resten av flomverket. En slik heving av flomverket vil som regel være en betydelig kostnad som må vurderes mot f eks å anlegge en konsentrert overløpskonstruksjon slik som skissert for Type 2.

6.2.2 Eroderbart felt i flomverket (Type 1.2)

- **Utforming**

Et eroderbart felt består av en avgrenset del av flomverket som på forhånd er forberedt for erosjon, dvs med masser og utforming slik at erosjonshastigheten er kjent. Videre må det anlegges avgrensinger mot resten av verket og erosjonssikres nedstrøms om nødvendig. Ved å støpe eller spunte tverrgående vegger vinkelrett på flomverket kan en hindre ukontrollert erosjon. Erosjonsikre soner av grovere masser kan også benyttes som avgrensing

Begynnende erosjon kan starte opp på to måter:

1. Topp eroderbart felt legges i samme høyde som topp flomverk. En må fysisk grave vekk noe masse når vannstanden når kritisk høgde. Ved å lage flere tverrgående vegger kan en styre innstrømningskapasiteten ved å åpne så mange felt som en anser for nødvendig.

2. I forbindelse med den eroderbare delen etableres en liten pilotkanal som ligger noe lavere enn resten av flomverket og som har masser som eroderes enda lettere enn den større eroderbare delen. Pilotkanalen vil tre i funksjon automatisk utfra en forhåndsbestemt vannstand på samme måten som et fritt overløp. Når vannføringen gjennom pilotkanalen øker vil også erosjonen av den eroderbare delen starte opp. En må imidlertid være forberedt på at erosjonsprosessen kan bli forsinket i starten pga konsolidering og vegetasjon. Det kan derfor bli nødvendig å hjelpe prosessen videre med graveredskap også med denne løsningen.

For begge typene av eroderbart felt kan en begrense erosjonsskadene på innsiden ved å lage en energidreper.

På planlagt bunnivå bør det plastres med stein, evt etableres en betongterskel eller spuntvegg for å hindre bunnsenking. Det er også forutsatt plastring på vannsiden (elvekanten) for å unngå skader når vannet renner ut igjen.

- **Kostnader**

For et eksisterende flomverk får en følgende kostnadselementer :

- Kostnader ved fjerning og tilbakefylling av bestemte masser og for erosjonssikring i bunnen.
- Kostnader ved spunting/støping av tverrvegger.
- Kostnader ved oppfylling av masse igjen i den eroderbare seksjonen etter at nødoverløpet har vært brukt.

Denne løsningen har en fordel ved at her kommer vannet ut igjen samme stedet som det kommer inn.

6.2.3 Sprengbart felt. (Type 1.2)

- **Utførelse**

Det bygges en betongkonstruksjon med en sprengbar plate. Når vannstanden har nådd et på forhånd bestemt nivå sprenges platen og vannet strømmer inn. Det vil være nødvendig å sikre mot ukontrollert sideveis erosjon.

Fordelen er først og fremst en rask åpning, som derfor kan utsettes noe lenger enn ved erosjonsløsningene. Dersom feltet når helt ned til naturlig terreng, kan vannet komme ut samme sted som det kommer inn.

Ulempen er at innstrømningen vil bli voldsom i starten før det er etablert et vannspeil innenfor åpningen. Løsningen krever derfor spesielt omfattende sikringstiltak for å unngå uforholdsmessig store skader på innsiden.

- **Kostnader**

For et eksisterende flomverk får en følgende kostnadselementer:
- Fjerning av nødvendige masser
- Betongplate, eventuelt grov steinsetting i bunnen
- Bygging av betongkonstruksjonen
- Bygging av ny betongplate etter eventuell bruk.

6.2.4 Bjelkestengsel (Type 2)

- **Utførelse**

Det må støpes en konstruksjon som støtte for bjelkene. Hvor høy en slik konstruksjon skal være må vurderes utfra lokale forhold, men prinsippene for bestemmelse av størrelsen blir de samme som de andre løsningene som er nevnt over.

Bjelkene kan enten stå i føringene hele tiden, eller åpningen kan være fri til det oppstår flomsituasjoner som gjør det nødvendig å sette bjelkene på plass. Det må monteres utstyr for setting og fjerning av bjelker, og etableres en sikker ordning for oppbevaring av bjelker som ikke er i bruk. For å få tilstrekkelig kapasitet må en ha flere felt med bjelker ved siden av hverandre.

Løsningen gir god kontroll med innstrømningen, og mulighet for å stenge igjen om flommen avtar.

En annen fordel er at lokalbefolkningen må medvirke ved bruken, og må derfor ha kunnskaper om hvordan et bjelkestengsel skal betjenes. Spesielt når bjelkene ikke står i føringene permanent, men skal monteres når det er nødvendig, vil et lokalt beredskapsapparat måtte opprettes, med nødvendige fullmakter til å sette og fjerne bjelker. Dette vil gi lokalbefolkningen en bedre forståelse av problemstillingen rundt dimensjonering og bruk av et flomverk, og folk vil føle at de er delaktige i å sikre sitt eget lokalsamfunn eller gårdsbruk.

- **Kostnader**

For et eksisterende flomverk vil bygging av et nytt bjelkestengsel ha følgende kostnadselementer:

- Fjerning av nødvendige masser
- Føringer for bjelkestengslene, inkludert fundamentering
- Gangbane, bjelker, opptrekkingsanordninger o.l.
- Steinsetting, eventuelt betongplate i bunnen
- Erosjonssikring, evt også energidreper
-

6.2.5 Luker (Type 2)

- **Utførelse og luketyper**

Av kontrollerbare løsninger er luker sikrest og enklest å manøvrere. Det er samtidig ofte en kostbar løsning, som vil være mest aktuell ved anlegg hvor kostnadene ved feilmanøvrering er store og prognosesikkerheten er liten. Aktuelle luketyper kan være:

- Gummi luker
- Segmentluker
- Klappeluker

I de fleste tilfellene har en relativt små trykkhøyder samtidig som en har behov for stor innstrømningskapasitet, dvs stort luketverrsnitt.

Mange av de stedene en har flomverk i dag er grunnforholdene av en slik art at det blir relativt omfattende bygningsmessige arbeider ved montering av segmentluker. Gummiluker kan være et godt alternativ. Det foreligger etter hvert gode erfaringer med disse. I de fleste tilfellene vil vi anta at en gummiluke kan være rimeligere i pris enn en stålluke. De bygningsmessige arbeidene ved gummiluker omfatter imidlertid forankring også langs terskelen og blir neppe vesentlig enklere enn for segmentluker og klappeluker.

En ulempe med luker er at det krever jevnlig tilsyn, mere vedlikehold og har en kort levetid i forhold til mange av de andre løsningene.

Den største fordelen er at luker er manøvrerbare og en kan styre åpning og stenging avhengig av flomforløpet. Manøvreringen kan fjernstyres, men det er nødvendig også å ha mulighet for manuell manøvrering, da en må regne med strømbrudd i en ekstrem flomsituasjon. Fjernstyringen gir mulighet for regelmessig automatisk funksjonskontroll, som er viktig for en konstruksjon som skal stå ubrukt i årevis.

- **Kostnader**

For et eksisterende flomverk får en følgende kostnadselementer:
- Fjerning av nødvendige masser
- Bygging av nødvendig betongkonstruksjon, inkludert fundamentering.
- Kjøp og montering av luke, inkludert reservestrøm- og nødstrømsaggregater o.l.
- Løpende driftskostnader
- Selve lukene og manøvreringsanordningene har begrenset levetid og etter en viss tid vil dette kreve utskifting. En rimelig levetid kan være 40 år. Gummiluka kan forventes å ha en levetid på ca 25 år.

6.2.6 "Ukontrollert" innslipping av vann. (Type 3)

- **Planlegging og utførelse**

Tatt i betraktning av at et nødoverløp skal brukes svært sjelden, er dette absolutt en aktuell løsning. En graver hull i flomverket på et forhånd bestemt sted når vannstanden er så høy at det begynner å bli kritisk for ukontrollert brudd.

Det som her er meget viktig er at en på forhånd har detaljerte planer om når og hvor en skal åpne flomverket. Det krever tilsvarende planer og varslingssystemer som for eroderbare overløp. Planleggingen må bl a omfatte vurdering av skaden som oppstår, og om det er nødvendig med spesielle forhåndstiltak innenfor åpningsstedet.

Skadeomfanget vil variere betydelig fra sted til sted. Størrelsen på bruddet vil være en funksjon av "magasinkurva" innenfor flomverket og flommens varighet hvis volumet innenfor flomverket ikke blir oppfylt. Videre vil bruddstørrelsen også være avhengig av eroderbarheten til massene i flomverket og trykkhøyder.

Kostnadene for reparasjon av bruddene på de store flomverkene etter 1995 flommen, var fra ca 2 mill kr og oppover.

- **Kostnader ved bruk**

For et eksisterende flomverk får en følgende kostnadselementer

- anleggsutstyr for å åpne bruddet
- reparasjon og istandsetting av området etter bruk.

6.2.7 Ingen spesielle tiltak på forhånd for åpning av flomverket

- **Situasjonsbeskrivelse**

Dette har stort vært virkeligheten fram til i dag, en gjør ingen ting etter at flomverket er bygget. En eventuell flom som er større enn dimensjonerende flom får overtoppe og/eller bryte gjennom flomverket uten at det gjøres noe for å styre det. Midlertidig påbygging kan riktignok forsinke bruddet og kanskje forhindre det, men når det ikke går lenger, får vannet fritt løp.

Fra lavlandsområder i Europa og andre verdensdeler kjenner vi mange tilfeller, men vi har også en del norske erfaringer, spesielt fra flommen i Glomma 1995. Områdene bak fikk meget store skader. Følger en ikke med under flommen kan et slikt ukontrollert brudd føre til tap av menneskeliv og store skader på bygninger og infrastruktur.

For flomverk som beskytter større verdier er ikke dette noen akseptabel løsning etter vår vurdering. En har så gode kunnskaper i dag at det bør kunne utarbeides detaljerte planer og varslingssystemer for en kontrollert håndtering av flomverkene i en ekstrem flomsituasjon. I sin enkleste form er dette altså kun planer for hvor, når og hvordan et flomverk skal åpnes uten noen form for anleggsmessige installasjoner.

- **Kostnader**

  - Istandsetting av betydelige terrengskader og eventuell gjenoppbygging av et lokalsamfunn. Spesielt dersom en snakker om bebygde områder vil kostnadene som her kan påløpe være mye større enn i de andre tilfellene som er beskrevet.
  - Reparasjon av selve flomverket, ofte en liten post i regnskapet.

6.3 Kommentarer

Det er viktig å være oppmerksom på at dersom en velger en løsning hvor vannet slippes inn f.eks på et nivå 0,3 - 1 m under topp flomverk vil en måtte vurdere om en skal heve dagens flomverk tilsvarende eller om en kan akseptere at oversvømmelsen vil starte på et nivå 0,3 -1 m lavere enn uten tiltak. Områdene bak flomverket vil statistisk bli oversvømt noe oftere enn tidligere, men samtidig vil konsekvensene være mer under kontroll. Denne vurderingen må eventuelt taes for hvert enkelt flomverk og det må taes hensyn både til kostnader ved heving samt konsekvenser.

Kostnader for en eventuell heving av flomverket er ikke tatt med i kostnadselementene ovenfor. Litt avhengig av hvilke løsninger som velges kan en heving av dagens flomverk eller bygging av "ekstra" høyde ved nybygging være en vesentlig kostnad.

Uansett hvilken løsning som velges bør det være en eller flere personer (fra NVE og kommunen) som har et ansvar for hvert enkelt flomverk og som er på stedet under flommen. Disse personer må ha gode kunnskaper om det aktuelle flomverket og ha en

forståelse for vassdragsteknikk og geoteknikk. Og ikke minst må de ha de nødvendige fullmakter samt kontakter med NVE og lokal redningssentral, (LRS).

Det må på forhånd utarbeides best mulig retningslinjer om hvordan en skal forholde seg i de ulike situasjonene som kan oppstå.

Like viktig er informasjon slik at folk i området får en forståelse av hva som må gjøres dersom det oppstår kritiske situasjoner, og at en unngår situasjoner hvor berørte personer hindrer de på forhånd bestemte tiltakene.

7. Forholdene på innsiden av flomverket

7.1 Erosjon/-beskyttelse

Strømmen fra et overløp vil forsøke å erodere både skråningen på innsiden av flomverket og terrenget innenfor. Skjærspenningen mot skråningen og grunnen nedenfor øker med høgdeforskjellen, men også med skråningsvinkelen. Slik flomverk ofte bygges i Norge av sandige materialer, vil skråninger uten beskyttelse være svært utsatt for erosjon. Nødoverløp må derfor utføres enten som erosjonssikre støpte konstruksjoner, eller sikres med plastring ol. Dersom det er meningen at flomløpet skal utvide seg selv ved erosjon etter åpningen, må dette planlegges nøye slik at prosessen ikke går ut av kontroll. Spesielt kan det være nødvendig å sikre utsatte partier som det ikke er meningen skal erodere, som skråningsfoten og grunnen like nedenfor overløpet, evt også noe inn under flomverket.

Til støtte for dette kan retningslinjer for utførelse av terskler i vassdrag og sikring av flomløp ved fyllingsdammer være til hjelp, /1/.

For å unngå å sikre store områder mot erosjon nedstrøms et planlagt nødoverløp kan det i stedet bygges en konsentrert energidreper. Det kan f.eks være en steinsatt grop litt under bakkenivå, eller et steinsatt område med en ringvoll over bakken av grove stein. En støpt konstruksjon kan like gjerne benyttes. I alle tilfeller må den formes og dimensjoneres etter erfaringsregler som finnes for flomløp eller kulvertutløp.

Vurdert på bakgrunn av at nødoverløpene bare skal brukes svært sjelden vil det være økonomisk riktig å akseptere noe erosjonsskader. Dette er ting en må vurdere konkret i hvert enkelt tilfelle. Ser en på flommene som har vært i Glomma så har en hatt 5 store flommer fra 1916 til 1995, se fig 5.

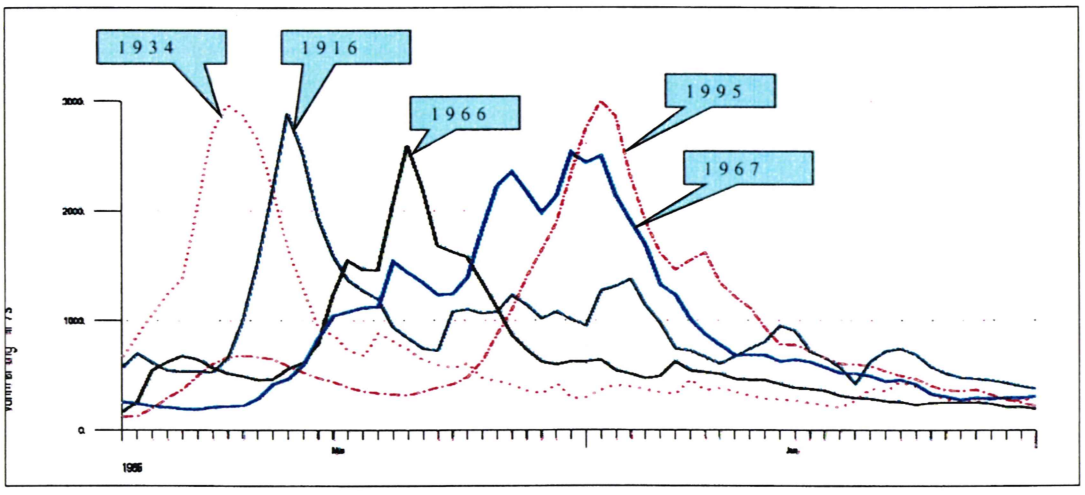


Fig 5. Store flommer i Glomma i perioden 1916-1995

7.1.1Vannspredning

Et viktig formål som også må ivaretas sammen med sikringsarbeider er at vannstrømmen må ledes i den retning der den gjør minst skade på bygninger, veger ol. På et helt flatt terreng vil spredningen snart bli så stor at strømmen mister sin skadevoldende kraft, men er terrenget ujevnt, med voller, veger og små helninger, vil strømmen kunne gi erosjon og andre skader langt fra overløpet. Dette problemet vil imidlertid avta hurtig etter som vannstanden stiger.

7.1.2 Sekundære terrenginndelinger/voller

En naturlig tanke er å øke stigehastigheten nær overløpet ved å seksjonere området. Det vil da raskere bli dannet et buffermagasin som bremser strømmen. Vegfyllinger kan gjøres tjeneste, dersom de har passe nivå og trasé. Mange steder finnes naturlige eller kunstige forhøyninger som kan knyttes sammen og forsterkes.

Høgden må være moderat slik at overløp ikke gjør nevneverdig skade på vollen ved overløp når seksjonen er fylt. Med 1-2 m høgde og slak skråning vil gras vanligvis holde som sikring mot erosjon. Det vises til erfaring fra Nederland, se vedlegg 1.

8. Nødoverløp på et utvalgt flomverk, et eksempel

8.1 Valg av flomverk

Flomverket ved Kirkenær valgt som regneeksempel, se fig 6 og 7. Her foreligger allerede betydelig datamateriale:

- Kart 1: 5000 med 1 m ekvidistanse
- Kart (økonomisk kartverk) med flomverk, deler av bebyggelsen og noen terrenghøgder
- Tverrsnitt og lengdesnitt av flomverkene
- Areal - volumkurver og kart som viser oversvømt areal ved forskjellige kotehøgder
- Vannstander ved Elverum vannmerke for fem store flommer

Mange av problemstillingene nevnt tidligere er aktuelle:

- Det oppsto brudd i øvre del av flomverket i 1995, men større skader ble unngått ved at et sekundærverk innenfor ble forsterket. Marginene var svært små før en kunne fått et betydelig større skadeomfang.
- Flomverket dekker både tett og spredt bebyggelse.
- Området stiger noe fra sør mot nord med noe ujevn overflate og flere gamle elveløp.
- Det vil egne seg for vurdering av forskjellige tidsforløp for nødåpning av flomverket, og gir mulighet for å vurdere avgrensing av bestemte områder innenfor flomverket.

Hovedbebyggelsen ligger omtrent midt i området, omkring det høgeste parti, og vil bare delvis bli vanndekket ved vannstand lik dagens høgde på flomverket, kote 154. Området innenfor flomverket vil ellers praktisk talt bli helt vanndekket (ca 85%) ved kote 154, se fig 8.

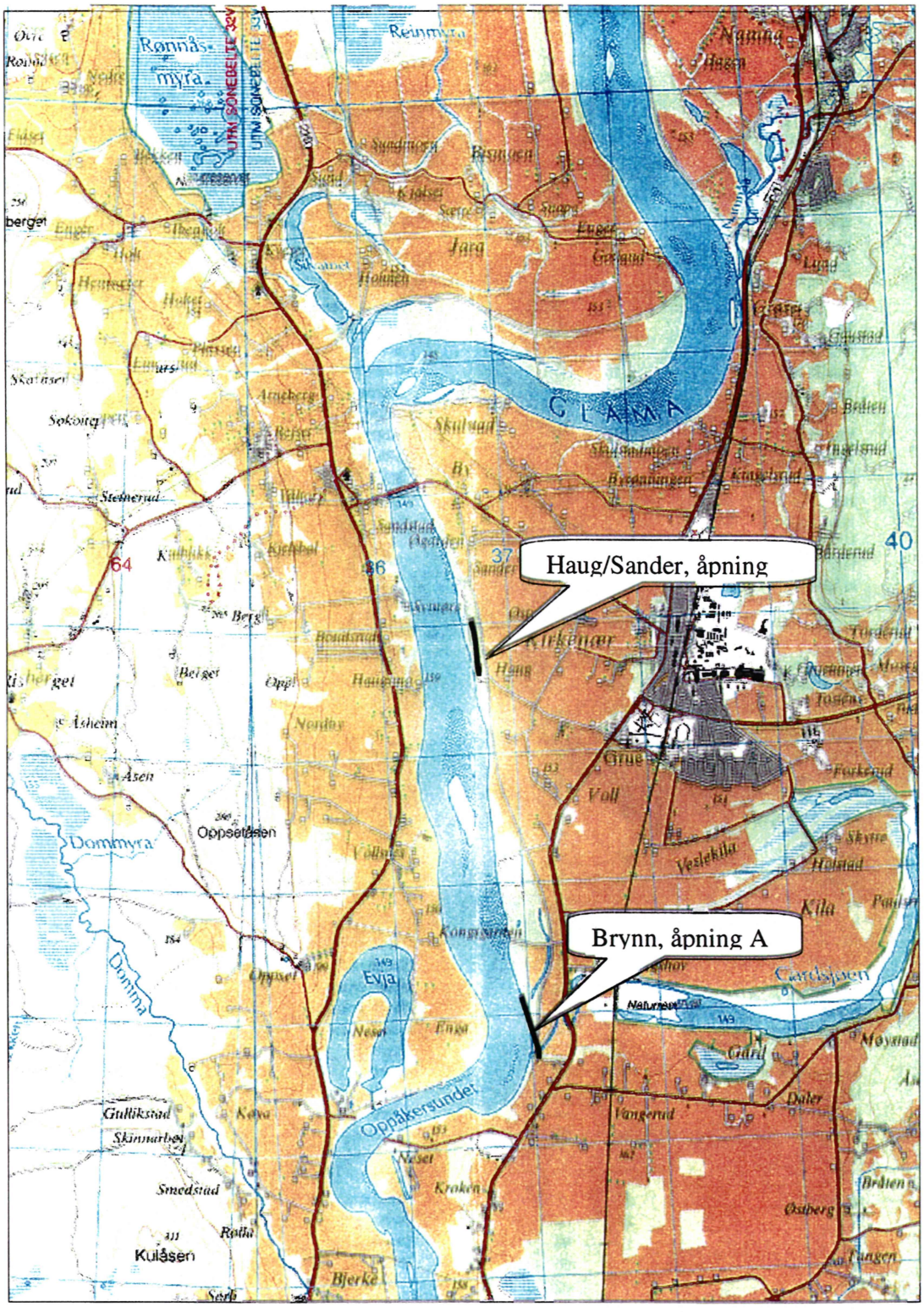


Fig 6. Kart over Kirkenærområdet, Statens Kartverk.



Fig 7. Bilde av Kirkenærområdet under flommen i 1995. Foto: FOTONOR.

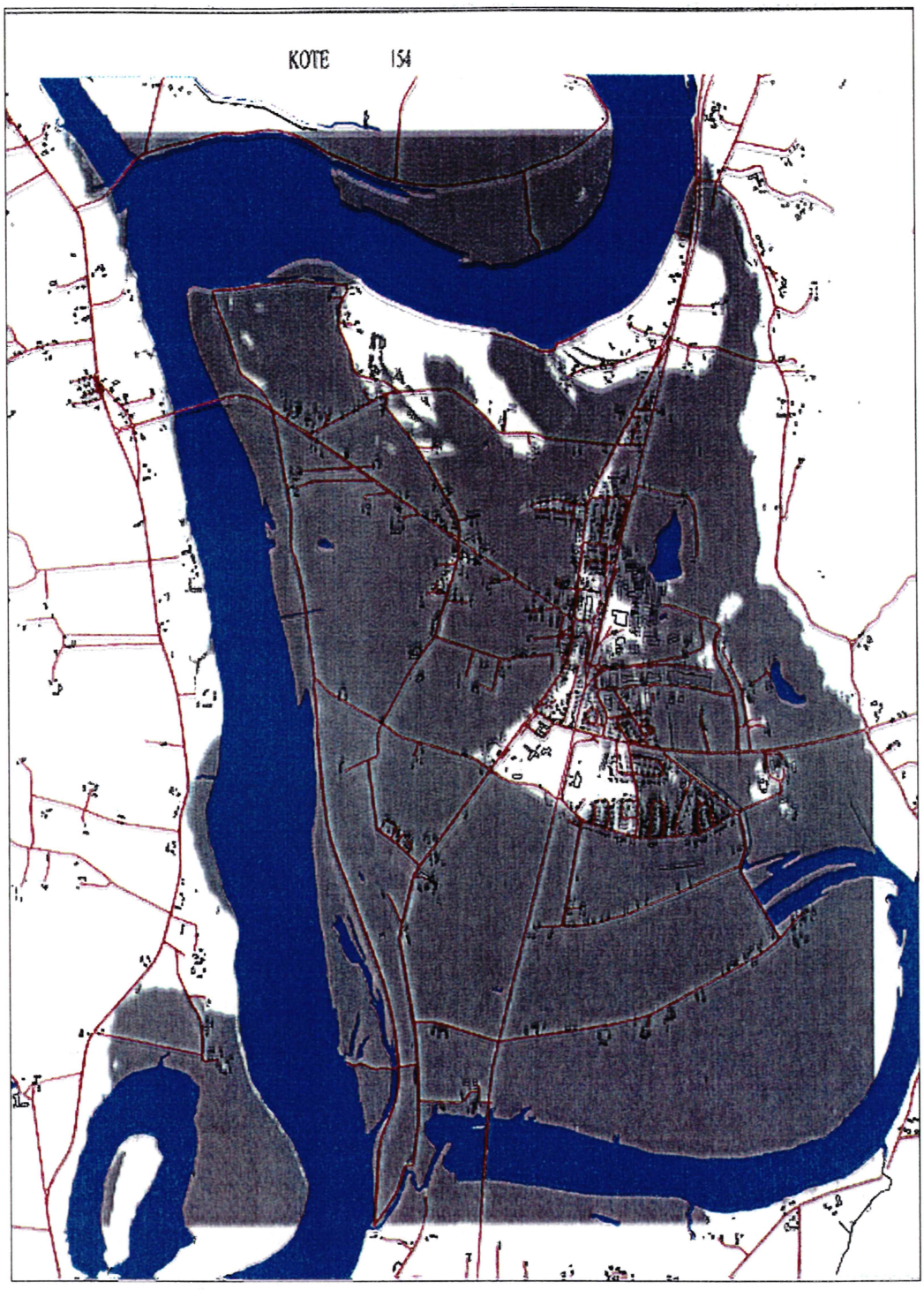


Fig 8. Vanndekt areal ved kote 154,00 ved Kirkenær. NVE.

I NVE-rapport 07-1996: "NVE's flom- og erosjonssikringstiltak i Lågen-, Glomma- og Trysilvassdragene. Funksjon og virkning under flommen 1995", /2/, er det beregnet at verdien av områdene bak flomverket på Kirkenær er i størrelsesorden 2 milliarder kroner.

Det synes klart at skadeomfanget blir betydelig større hvis man har et ukontrollert brudd med hurtig oppfylling og dermed skader fra strømkrefter enn om man har en kontrollert oppfylling slik at skadene pga strømkreftene blir minimalisert. Det er i denne sammenheng viktig å være klar over at det vanligvis vil være stor forskjell på erosjonsskadene avhengig av om vanninnstrømningen skjer i øvre eller nedre deler av flomverket.

8.2 Plassering av nødoverløp

Ut fra terreng og bebyggelse er det naturlig å tenke seg et nødoverløp ved Brynn i søndre ende av området. Her er terrenget lavest, og Gardsjøen danner et naturlig vannspeil som kan brukes som et bufferbasseng. Om nødvendig kan det anlegges en noe forhøyet bredd omkring Gardsjøen. På grunn av denne muligheten vil det være mulig å unngå store erosjonsskader og totalhavari av bygninger på grunn av strømmende vann. Det naturlige avløpet fra Gardsjøen går i dag gjennom en sluseåpning i flomverket med en pumpestasjon for å sikre avløp ved høg vannstand i Glomma.

En komplikasjon er det at riksveg 3 og jernbanen passerer mellom flomverket og Gardsjøen, så det må sikres tilstrekkelig vannføringskapasitet gjennom disse om den skal brukes som buffer. På den annen side danner jernbane og mange tverrveger mulighet for seksjonering av området.

Det vises til kapittel 4.3 og 4.4 som bla omhandler aktuelle transporttider og stigningshastigheter i Glomma. Konklusjonene er at det kan forventes stigningshastigheter på oppmot 1,1 m pr døgn og at en har til rådighet inntil 12 timer fra en har "sikre" observasjoner og til en kan forvente en eventuell overtopping. Dvs åpning av nødoverløp og innfylling av vann må i all hovedsak være fullført innen denne tiden.

I det etterfølgende utføres beregninger for å finne dimensjoner på et mulig nødoverløp. Det er gjort flere vesentlige forenklinger som bla :

- For å sikre en rask oppfylling av områdene foreslår vi at en lager flere nødoverløp. Hovedoverløpet plasseres som omtalt ved Brynn (nødoverløp A). Vi tenker oss ellers et noe mindre overløp ved lavbrekket mellom Sander og Haug (nødoverløp B). Veien til Sandstad bru ligger relativt høyt og vi forutsetter at det sikres tilstrekkelig kapasitet forbi veien slik at områdene oppstrøms fylles samtidig.

- Det er laget en tabell, tabell 4, som viser totalt volum på de ulike kotehøydene, dvs det er ikke tatt hensyn til at vannet må renne over en del veier o.l. for å nå frem til lavtliggende punkter. Noe av dette tas det imidlertid høyde for ved at det etableres 2 nødoverløp i stedet for ett.

- For vannet som slippes inn i området ved Brynn, forutsettes det at det er tilstrekkelig kapasitet forbi riksveien og jernbanelinjen til at en får en effektiv oppfylling av Gardsjøen.

- Det forutsettes at vannet relativt raskt kan spre seg fra Gardsjøen og fylle opp de aktuelle områdene.

- Totalt volum bak flomverket opp til kote 154 er ca 23 (M)m3. Skal en fylle hele volumet bak flomverket opp til kote 154 i løpet av et halvt døgn krever dette et uforholdsmessig stort nødoverløp. Utfra en helhetsvurdering mener vi at en oppfylling til ca kote 153,5 kan være tilstrekkelig. Dette gir et volum på 17.6 (M)m3. Se tabell 4 nedenfor.

Innenfor rammene på dette prosjektet har det ikke vært mulig å unngå disse forenklingene. Dette er ting en bør gå nærmere inn på i en eventuell fortsettelse av prosjektet.

Tabell 4: Arealer og volumer bak flomverket i Kirkenær. Arealene er tatt ut av NVE sin digitale terrengmodell for området.

kotehøgder SK(NGO)	**Areal km^2 inkl. Gardsjøen**	**Dif. i volum M(m^3)**	**Totalt volum M(m^3)**
149	0,3257	-	0
150	0,615	0,470	0.47
150,5	1,095	0,428	0,9
151	2,105	0,800	1,7
151,5	3,585	1,423	3,1
152	5,215	2,200	5,3
152,5	7,305	3,130	8,5
153	9,345	4,163	12,6
153,5	10,825	5,043	17,7
154	11,595	5,605	23,3
154,5	12,085	5,920	29,2
155	12,465	6,137	35,3
155,5	12.775	6,310	41,6
156	12,955	6,433	48,1
156,5	13,035	6,498	54,6
157	13,105	6,535	61,1
158	13,325	13,215	74,3

Gardsjøen har et areal på 0,325 km^2 på kote 149. Topp flomverk er mellom 154,1 og 154,6, i flg lengdeprofil av 20. februar 1997.

8.3 Selve nødoverløpet

8.3.1 Valg av nødoverløpsløsning

I de foregående kapitlene har en omtalt mange mulige nødoverløpsløsninger.

Kriterier for valg av nødoverløpsløsning ved Kirkenær :

- Flomverket rundt Kirkenær beskytter et areal på ca 10 000 dekar samt et lokalt tettsted med betydelige verdier
- Det må settes høye krav til kunnskaper om flomforløpet for å sikre at nødoverløpet bare brukes når det er nødvendig.
- Vi mener at dersom flomforløpet følges nøye i hele vassdraget og spesielt ved Rena og Elverum har en i størrelsesorden et halvt døgn til rådighet til å åpne et nødoverløp og få en tilstrekkelig oppfylling av områdene bak .
- En tilstrekkelig oppfylling av områdene bak flomverket i løpet av ca et halvt døgn krever en stor innstrømningskapasitet.
- Et nødoverløp skal brukes relativt sjelden. For å anskueliggjøre dette litt kan det nevnes at det de siste 100 årene har det vært 5 store flommer i Glomma.
- Når en har en ekstrem flom og det blir nødvendig å åpne nødoverløpet må en være sikker på at dette fungerer.
- Kostnadene ved de ulike nødoverløpsløsningen må vurderes.

I tabell 5 er vist fordeler og ulemper med de forskjellige nødoverløpsløsningene som vi har sett på.

Tabell 5. Oversikt over fordeler og ulemper ved alternative nødoverløpsløsninger.

	Sprengbart felt i betong	Bjelke-stengsel	Luker	Fast overløps-terskel	Terskel innebygd i flomverk, f.eks spuntvegg	Eroderbart felt
Utseende	-	-	-	-	+	+
Regulerbar innstrømning /utstrømning	-	+	+	-	-	-
Egen Utstrømnings -anordning	+	-	-	-	-	-
Sikker drift	+	+	-	+	+	+
Vedlikehold	+	-	-	+	+	+
Krever god erosjons-sikring	-	-	-	-	+	+

Når det gjelder luker har vi to hovedtyper som en bør skille mellom i dette tilfellet , stålluker og gummiluker.

- **Stålluker**

Det finnes flere typer stålluker, se kap. 6, men felles for dem alle er at stålluker er relativt dyre luker i innkjøp og krever relativt omfattende bygningsmessige arbeider.

- **Gummiluker**

Gummiluker har sine klare fortrinn når det gjelder lange lave luker. De bygningsmessige arbeidene er noe mindre omfattende enn for stålluker.

8.3.2 De valgte løsninger for nødoverløpet i Kirkenær

Utfra en helhetsvurdering av de ulike alternativene mener vi det er to løsninger som peker seg ut som aktuelle for Kirkenær:

- Gummiluker
- Eroderbare overløp

8.3.3 Beskrivelse av valgte løsning

- **Gummiluker**

Det støpes en såle/fundament i bunnen hvor en bolter fast gummiluken. Fundamentet må fundamenteres for horisontale krefter og dette kan medføre kostnader av betydning. Luka fylles med luft som holder den oppe. Når en har behov for å slippe inn vann slippes luften ut og gummiluken legger seg ned og vannet strømmer over. Det monteres egne kompressorer for å fylle luft i gummilukene. Det kreves jevnlig tilsyn med kompressorer, automatikk, luker o.l., se fig 9.

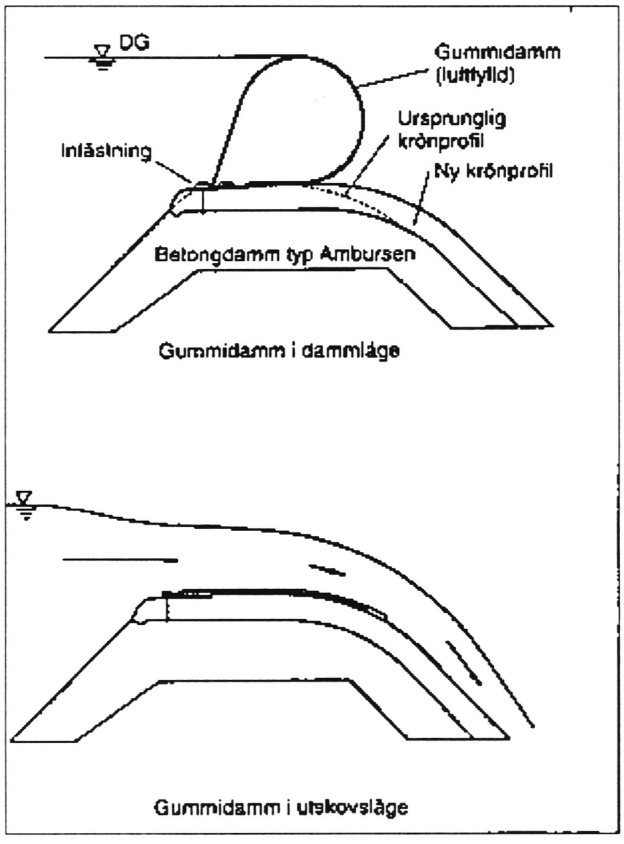


Fig 9. Prinsippløsning for gummiluke. /7/

Levetiden på en gummiluke kan være rundt 25 år. De første gummilukene ble montert i Norge på slutten av åttitallet og det er gode erfaringer med dem. I utlandet (USA, Japan) har de vært i bruk i vesentlig lengere tid.

- **Eroderbart overløp.**

Viser til kap 6.2 hvor hovedprinsippet er forklart. En kan skille mellom to hovedtyper av eroderbare overløp:

1. Der hvor en ikke gjør noen fysiske forberedelser men bare graver et hull i flomverket på et på forhånd bestemt sted og massene er de samme som ellers i flomverket.
2. En sørger for lett eroderbare masser i den eroderbare damdelen. Dette må også være masser hvor den sideveis erosjonshastigheten er kjent, /3/, se fig 10. Deretter bygges tverrgående vegger på flomverket for å avgrense størrelsen på åpningen som dannes. Man kan bygge mange tverrvegger for å kunne justere vannføringen inn bak flomverket. I tillegg kan en bygge energidreper for å avgrense erosjonsskadene nedstrøms. Som tverrgående vegger kan en benytte spunt eller betongvegger.

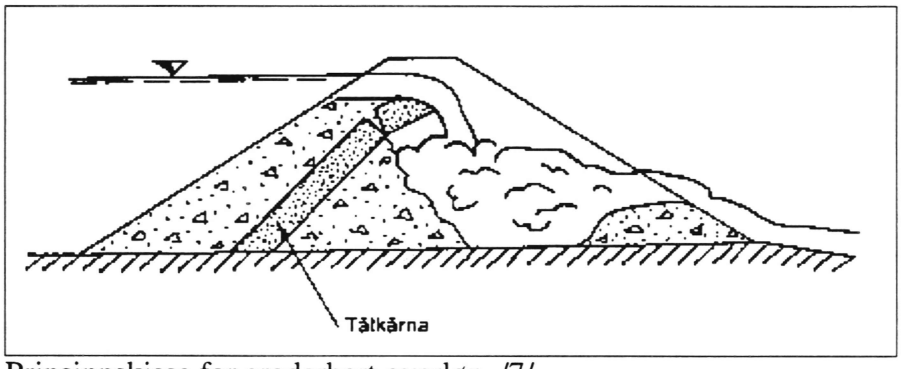


Fig 10. Prinsippskisse for eroderbart overløp. /7/

- **Plassering og vannspredning**

Ved Brynn (åpning A), se fig 6, er det viktig at det lages tilstrekkelige åpninger forbi riksveien og jernbanen slik at en får tilstrekkelige vannmengder inn i Gardsjøen og dermed så lav vannstand like innenfor flomverket at vannføringen gjennom nødoverløpet ikke påvirkes av nedstrøms vannstand (vannstand like innenfor flomverket) før sent i innstrømningsforløpet. Gjennom vegfyllingen (sekundærverket) like nord for Holstad (i nord-øst enden av Gardsjøen) må det også sikres tilstrekkelig kapasitet. Forbi andre lokale veier o.l må det sikres tilstrekkelig kapasitet. Vi har i dette prosjektet ikke gått mer i detalj på disse tingene da mye av dette er arbeider som ikke trengs å utføres før aktuell situasjon oppstår. Man bør imidlertid ha planer om hvor åpninger i fyllinger og veger skal lages og størrelsen på disse.

Ved dimensjonering av nødoverløpet har vi forutsatt at det minimum må være en oppfylling til kote 153.5 bakenfor flomverket før vannstanden i elva kommer på samme kote som topp av flomverk (154,0).

Ved Haug/Sander (åpning B), se fig 6, bør de lokale veiene i syd og øst heves til kote 153,5 slik at en her fyller opp denne "cellen" til 153,5. Det må sikres tilstrekkelig kapasitet forbi veien mellom Sandstad bru og Kirkenær sentrum til at området nord for veien fylles nesten samtidig med området syd for veien. Strekningen mellom Grøset og Sandstad bru er den viktigste strekningen å hindre ukontrollert brudd på

flomverket. I tillegg til overtopping av flomverket er også dette en skarp yttersving i Glomma med betydelige erosjonskrefter. Uten å gå nærmere inn på dette vil vi bare påpeke viktigheten av at flomverket her bør være dimensjonert for et høyere gjentaksintervall på flommen enn flomverket syd for Sandstad bru. Årsaken til dette er at konsekvensene ved brudd her er større enn konsekvensene ved brudd i sydlige deler. I verste fall kan et brudd på strekningen Grøset til Sandstad bru føre til at Glomma tar nytt løp med de konsekvenser det har.

Når vannstanden i Glomma stiger over toppen på flomverket skal det være en vannstand bak flomverket på minst kote 153,5. Vi forutsetter at toppen på flomverket legges med en slik helning at vannet først vil begynne å renne over i nedre enden, dvs ved Brynn. Terrenget bak flomverket ligger på kote 151,5 –152,5 fra litt nord for Voll og sydover. I området ved Brynn har vi antatt topp flomverk på kote 154,0. Når vannet begynner å renne over flomverket vil det etter kort tid oppstå erosjonsskader i toppen på flomverket og toppen vil eroderes vekk. Dette medfører etter kort tid et langt overløp og store vannmengder vil strømme inn bak flomverket. På store deler av områdene bak flomverket vil vanndybden være mellom 1 og 2 m. Dette representerer et betydelig vannvolum og strømningsareal som vi regner med vil gi så lave vannhastigheter at skadeomfanget blir innenfor det som må aksepteres. Detaljene rundt vannstrømmen og vannfordelingen må en regne nærmere på enten ved 3-dimensjonale hydrauliske modeller eller modellforsøk.

8.3.4 Dimensjonering av nødoverløpene

Forutsetninger/antagelser

For eksempelet som regnes gjennom i denne rapporten antar vi følgende:

- En har 15 timer fra en har sikre observasjoner ved Rena til vannstanden i området Flisa – Norsfoss vil overstige dimensjonerende vannstand. Varsling – beslutning – handling – oppfylling må skje innen denne tiden. Vi velger 12 timer som dimensjoneringsgrunnlag for nødvendig oppfyllingstid. Stigningshastighet på ca 1 m pr døgn i området Flisa – Norsfoss må påregnes.

Et hovedprinsipp bør være at en venter så lenge som mulig før en åpner for å redusere faren for å "feilåpne".

For å finne vannføringer inn bak flomverket, oppfyllingstid osv for forskjellige situasjoner og utforminger av nødoverløp er det utført en serie beregninger, i alt 12. Disse er vist i tabell 6 og vedlegg 2-13.

Viktige inngangsdata er:

- vannstanden i Glomma ved åpning av nødoverløpet
- stigehastighet av vannstanden i Glomma
- terskelnivå på nødoverløpet på åpningstidspunktet
- lengde av overløpet langs flomverket på åpningstidspunktet
- senkningshastighet for overløpsterskelen (erosjon/fjerning av bjelker/senkning av luker)

- horisontal erosjonshastighet for lengde av nødoverløp (erosjon/graving med utstyr)
- friksjon i bredt overløp
- overløpsfaktor (bredt/skarpt overløp)
- sideskråning på flomverket (påvirker overløpets bredde tvers på overløpet)
- friksjonstallet på bunn i nødoverløpet.

Det er videre gjort følgende antagelser:

- overløp har horisontal bunn
- overløpet har vertikale endevegger
- innstrømmet vann vil stille seg horisontalt og fylle alle områder som ligger under aktuell vannstand innenfor flomverket
- areal og volum av oversvømmet område innenfor flomverket som funksjon av vannstand er gitt av tabell 4, som er utarbeidet av NVE.
- Overløpets kapasitet beregnes ved formelen: $q = C \cdot l \cdot h^{1,5}$. C settes lik 1,71. Det beregnes et falltap over det brede overløpet som beregnes etter Mannings formel. Manningtallet settes til 40.
- Det tas hensyn til redusert kapasitet pga nedstrøms vannstand.

Tabell 6. Beregninger av vannføringer ved forskjellige situasjoner.

Beregning nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Elv:												
Startkote	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6	153,(
Stigehast m/h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,08	0,05	0,02	0,05	0,08	0,02
Nødoverløp:												
Type	Bredt	Bredt	Bredt	Bredt	Bredt	Bredt	Bredt	Kant	Kant	Kant	Kant	Kan
Bredde v/start												
Startkote	152	152	152	151	153	153	153	152	153	153	153	153,
Senkehast. m/h	0,3	0,2	0,3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Terskelkote	151	151	151	151	153	153	153	150	153	153	153	153,
Startlengde	5	5	5	5	500	500	500	5	500	500	500	500
Utvidelse m/h	30	10	50	30	0	0	0	30	0	0	0	0
Overl.koeff.	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Mannings M	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Simulerings-resultater:												
Tid til k 153,0 i min	386	632	310	377	454	540	399	243	455	395	354	144
Maks vf inn i m^3/s	1346	903	1686	1295	898	564	1161	1841	642	912	1226	503

Tabell 7. Forklaring til tabell 6

Beregning nr	
Elv:	Inngangsdata som har med vannføringen å gjøre
Startkote	Vannstand elva ved starttidspunkt for åpning av flomverk
Stigehast m/h	Vannstandsøkning i m/h i elva ved nødoverløpet
Nødoverløp:	
Type	Bredt eller skarpkantet. Samme overløpsformel, men et friksjonstap ved bredt overløp
Bredde v/start	Bredden i m på overløpet ved starttidspunkt for åpning av nødoverløpet
Startkote	Terskelhøyde ved starttidspunkt for åpning av nødoverløpet. Momentan åpning ned til dette nivå.
Senkehast m/h	Hastigheten i m/h på senkningen av nødoverløpet fra nivået "Startkote".
Lavkote	Terskelhøyden som nødoverløpet ikke senkes under
Startlengde	Terskellengden ved starttidspunkt for åpning av nødoverløpet. Momentan åpning til denne lengde i m.
Utvidelse m/h	Hastigheten i m/h på utvidelsen av nødoverløpet fra lengde "Startlengde".
Overl.koeff.	Koeffisienten C i overløpsformelen: $q=c \cdot l \cdot h^{1,5}$
Mannings M	Friksjonstallet i Mannings formel.
Simulerings-resultater	
Tid til k 153	Tiden det tar å fylle området bak flomverket opp til kote 153,00 i min.
Maks vf inn	Den maksimale vannføringen inn gjennom nødoverløpet i m^3/s

- **Nødvendige dimensjoner**

Ved den endelige beregningen av vannføring inn bak flomverket er det gjort følgende antagelser:

- Toppen av flomverket settes til kote 154,00.
- Totalt volum bak flomverket ved kote 154,00 er 23 M(m^3). Skal en fylle hele volumet bak flomverket opp til kote 154,00 i løpet av et halvt døgn krever dette et uforholdsmessig stort nødoverløp pga meget lav kapasitet på slutten av fyllingsperioden. Utfra en helhetsvurdering mener vi at en oppfylling til ca kote 153,5 kan være tilstrekkelig. Dette gir et volum på 17,6 M(m^3).
- Nødoverløpet ved Brynn (åpning A) forutsettes å ta inn 12,6 M(m^3)opptil kote 153,5
- Nødoverløpet mellom Sander og Haug (åpning B) forutsettes å slippe inn 5,0 M(m^3)opp til kote 153,5.
- Tilgjengelig oppfyllingstid settes til maksimum 12 timer.
- stigningshastigheten i Glomma settes til 1 m pr døgn.
- Nødoverløpene åpnes når vannstanden i elva når kote153,5.

Med de forutsetninger som er valgt vil nødvendige lukedimensjoner være i hht tabell 8:

Tabell 8. Nødvendige lukedimensjoner for nødoverløpene ved Kirkenær.

	Enhet	Nødoverløp A	Nødoverløp B
Terskel kote	moh	151	152
Nødoverløpets lengde	m	42	33
Vannstand i elva ved start åpning	moh	153,5	153,5
Stigehastighet i Glomma	m/d	1	1
Overløpsfaktor		1,71	1,71
Manningtall		40	40
Magasinvolum	$M(m^3)$	12,6	5,0
Fyllingstid til kote 153,5	timer	12,0	12,0

- **Kommentarer til beregningene.**

Skal eksemplet videreføres mot et eventuelt byggeprosjekt, er transporttider, stigningshastigheter og steder for vannføringsmålinger ting en bør gå nøyere gjennom, da dette er helt sentrale ting ved en eventuell dimensjonering av et nødoverløp.

Det ligger mange usikkerheter i beregningene. Det viktigste er nok fyllingen av volumet bak flomverket. Det er forutsatt horisontalt vannspeil gjennom hele perioden og over hele arealet. Dette vil helt sikkert ikke være tilfelle. Man vil ha områder i arealet som i perioder er beskyttet av bl.a. veier. Dette medfører høyere vannstand like bak nødoverløpet og dermed lavere vannføring inn enn det som er forutsatt når vannstanden innenfor overstiger grensen for påvirkning nedenifra. Å ta hensyn til slik seksjonering som veiene medfører går ut over rammene for dette prosjekt. Dette bør imidlertid vurderes nøye i en endelig prosjektering av et anlegg. 3-dimensjonale hydrauliske modeller eller modellforsøk kan være aktuelt å benytte. Stigehastighet i Glomma er av betydning og her er det et middeltall for flommene som er valgt. En hurtigere stigning medfører hurtigere fylling av volumet bakenfor.

Innstrømningsforholdene inn til nødoverløpet vil ha preg av sideoverløp, riktignok med lav vannhastighet parallell med terskelen, men dette reduserer nødoverløpets kapasitet. Det er imidlertid valgt en nokså lav overløpsfaktor i tillegg til at det tas hensyn til et falltap over terskelen. Kapasiteten til et slikt sideoverløp bør imidlertid vurderes nøye i en endelig prosjektering. 3 dimensjonale hydrauliske modeller eller modellforsøk kan også her være aktuelt å benytte.

8.4 Erosjonsbeskyttelse av nødoverløpene

8.4.1 Gummiluker

For å unngå store skader på den bygningsmessige konstruksjonen bør en bygge en energidreper, se fig 11. Energidreperen bygges som en grop som er ca 20 m lang og 3 m dyp. En kan enten bruke betong eller stein. I dette eksemplet har vi valgt å benytte stein.

Energidreperen bør ikke stå åpen. Vi velger derfor å fylle den med lett eroderbare masser.

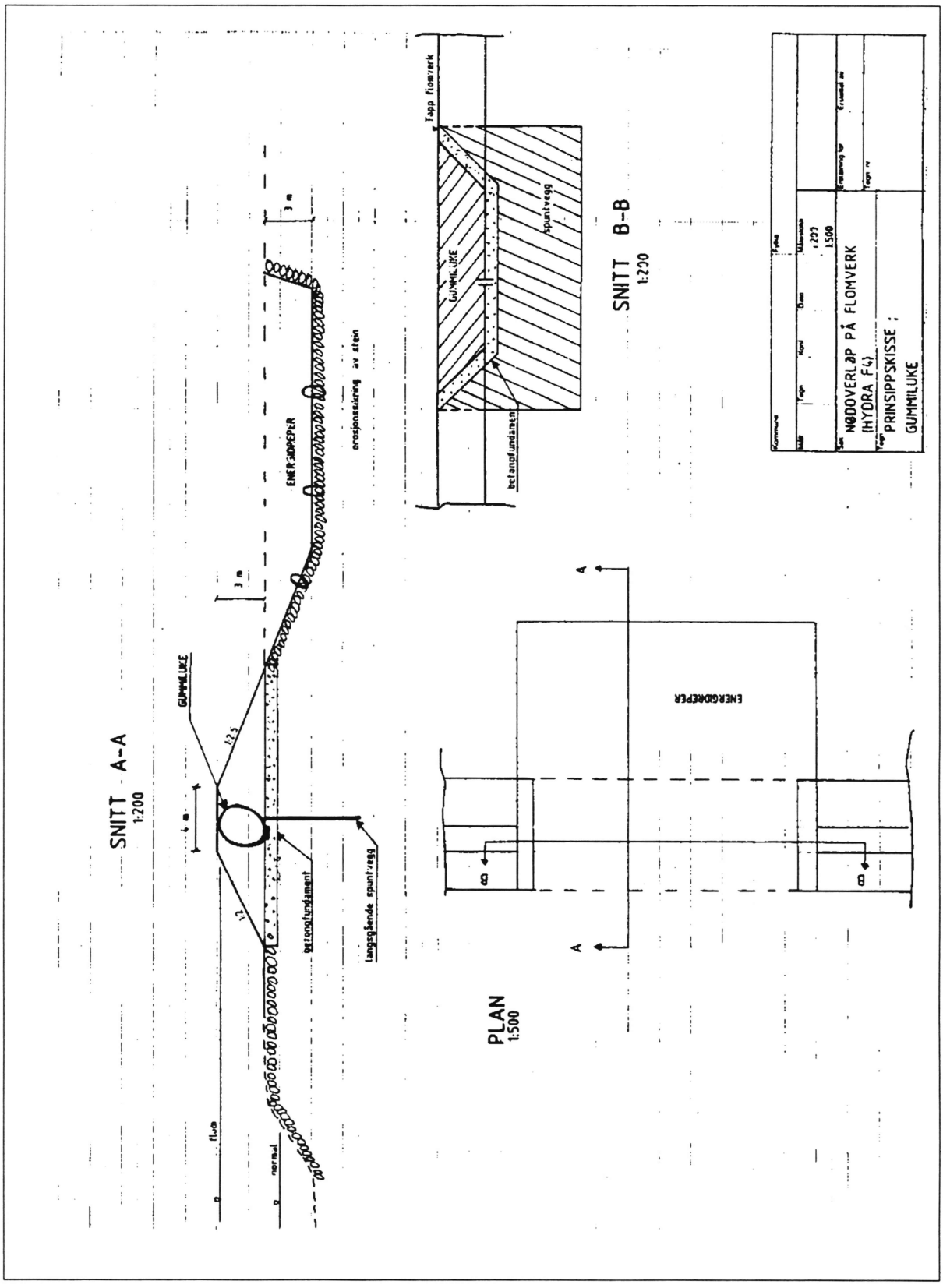


Fig 11. Skisse av energidreperen ved gummiluke.

8.4.2 Eroderbart overløp

Som omtalt foran kan en ha ulike varianter av eroderbare overløp. I dette eksempelet har vi valgt følgende løsning: Det spuntes tverrvegger på flomverket for å avgrense åpningen som blir erodert i flomverket. I tillegg til dette har spuntveggene en viktig funksjon ved at de øker sikkerheten for gravemaskin når en skal åpne flomverket. Flomverket må forsterkes slik at det er mulig å ferdes rimelig trygt med gravemaskin når en skal åpne flomverket. For å hindre ukontrollert erosjon på terrenget like innenfor flomverket samt terrenget under flomverket har vi valgt å erosjonssikre under flomverket samt bygge energidreper. Energidreperen har samme utforming og dimensjoner som den som er valgt for gummiluken ovenfor, se fig 12.

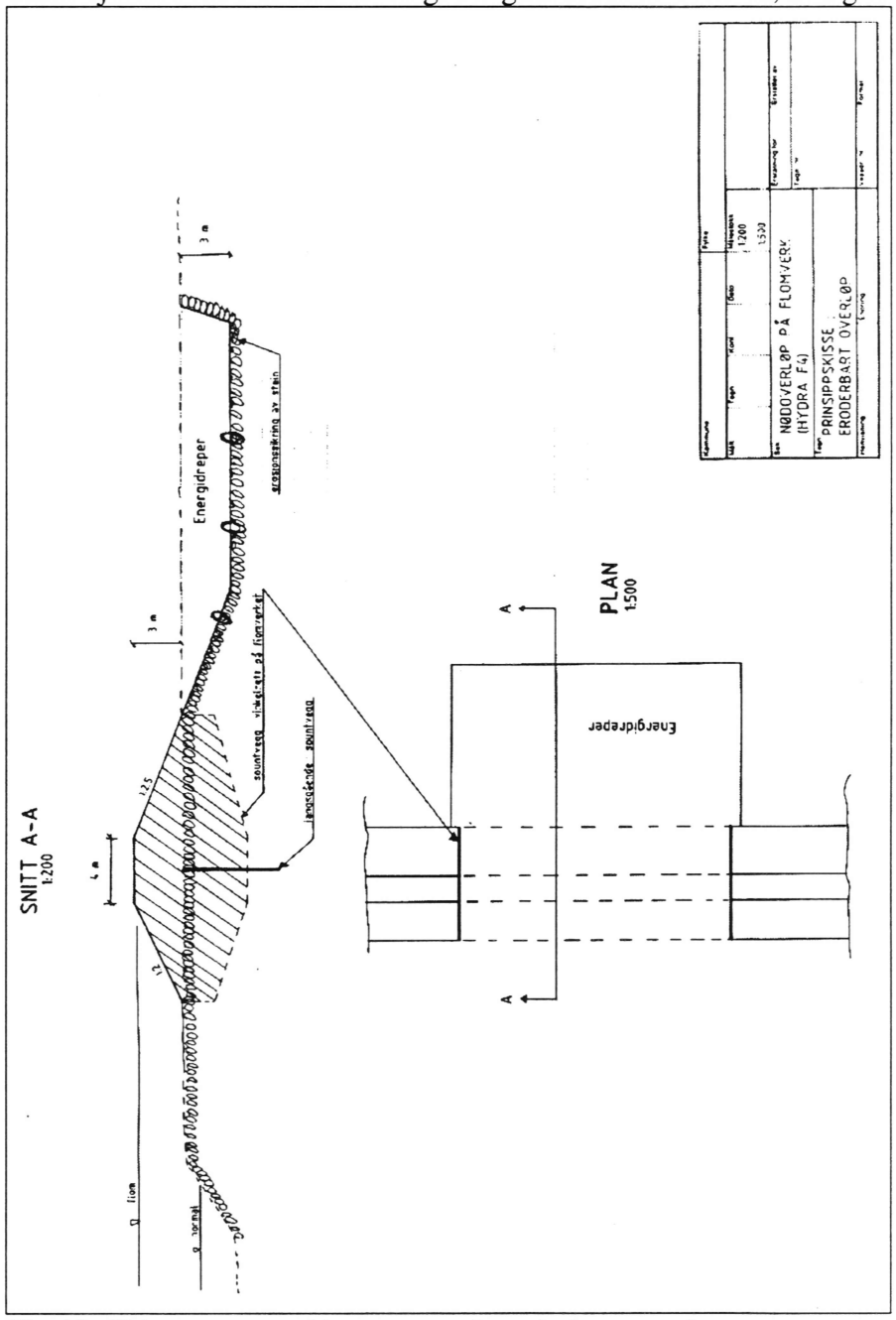


Fig 12. Skisse av energidreperen ved eroderbart overløp.

8.5 Kostnadsoverslag

Kostnadsoverslagene er utført for både nødoverløp Brynn (A) og nødoverløp Sander/Haug (B), se tabell 9 og vedlegg 14. For begge nødoverløpene er det beregnet kostnader for både gummiluke og eroderbart felt da disse løsningene virker som de mest realistiske.

Tabell 9: Kostnader for de forskjellige nødoverløp i Mkr.

	Gummiluker	**Eroderbart overløp**
Brynn (A)	14	3
Haug/Sander (B)	9	2
Totalt	**23**	**5**

- Kostnadene omfatter bare selve nødoverløpskonstruksjonen og ikke eventuelle tiltak som må gjøres inne bak flomverket. Eksempel på kostnader som ikke er tatt med er nødvendige tiltak for å sikre tilstrekkelig kapasitet forbi veier, jernbane o.l.
- Eventuell heving av flomverket.
- Geotekniske tiltak som drenssystemer o.l.
- Nødvendige adkomstveier for å ha nødvendige adkomster ut til flomverket og eventuell forsterkning av flomverket på kortere strekninger for å kunne kjøre/gå "sikkert" i en flomsituasjon.
- Posten for ikke medtatte og uforutsette utgifter er relativt høy. Grunnen til dette er at vi bare har tatt med de største kostnadene og det er mange mindre kostnader vi ikke har tatt med. Eksempler på dette kan være: bygging av hus til kompressorer og annet utstyr, fremføring av strøm o.l.
- Kostnader for oppbygging av en 3 dimensjonal hydraulisk modell eller en fysisk modell er ikke tatt med.
- Kostnader for nødvendig oppbygging av målestasjoner e.l. i vassdraget er ikke tatt med.

9. Nedstrøms virkninger i vassdraget

Det er gjennomført en forenklet beregning av nødoverløpets effekt på flomforholdene fra Kirkenær og nedover i vassdraget. Nedre grense for disse beregningene er Kongsvinger kraftverk. Øvre grense er Braskereidfoss Kraftverk. Effekten er beregnet for 1995-flommen og det er antatt at vannet som renner inn bak flomverket beholdes bak flomverket i hele beregningstiden. Hvis vannet derimot renner ut igjen, f.eks slik at vannstanden i elva og vannstanden bak flomverket holdes lik, vil dette medføre at effekten av flomverket blir noe mindre enn beregnet.

9.1 Beregningsmodellen

Den matematiske ikke-stasjonære modellen DAMBRK er benyttet som beregningsverktøy. Den benytter seg av St Venants ligninger og er dermed en-dimensjonal. De viktigste resultatene herfra er vannstand og vannføring som funksjon av tid på forskjellige steder i vassdraget.

De viktigste inngangsdata er profiler av elva, innløpshydrogram og friksjonstall i tillegg til hydrogrammet ut av elva i Kirkenær.

9.2 Definisjon av terreng og hydrauliske parametre

Hele den 80 km lange strekningen mellom Braskereidfoss Kraftstasjon og Kongsvinger Kraftstasjon, se fig 13, er enkelt modellert.

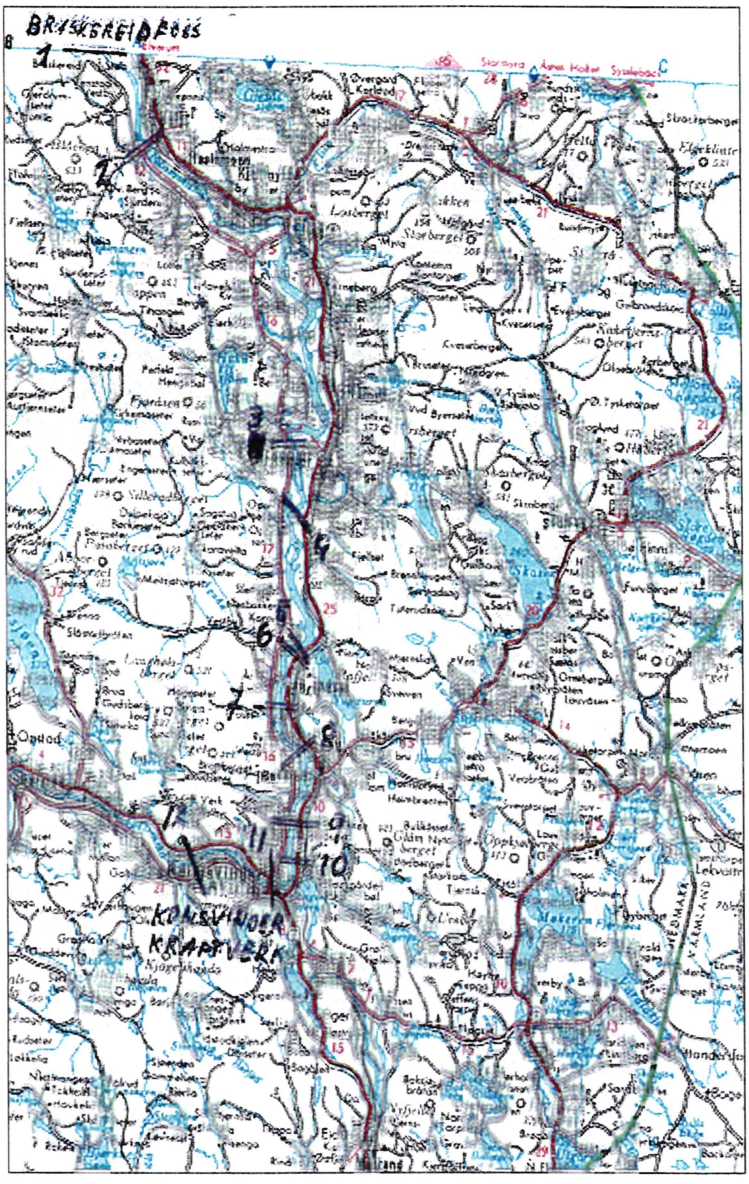


Fig 13. Beregningsstrekning for effekten av en åpning av flomverket i Kirkenær. NAF veibok.

Det er kun benyttet 12 profiler på strekningen, 10 profiler fra Sandstad bru og nedover. Det er ikke tatt hensyn til ikke-aktive strømningsareal dvs at **hele** profilet er benyttet som aktivt strømningsareal. Profilene er oppmålte profiler og mottatt fra NVE høsten -98. Det er hele tiden benyttet et Manningtall på 33. Pga at det ikke er benyttet ikke-aktivt strømningsareal i tillegg til få profiler blir nok den virkelige effekten nedover i vassdraget noe mindre enn det som er beregnet.

For enkelhets skyld er det benyttet samme innløpshydrogram som ble benyttet i beregningene om "Nedstrøms vannstandseffekter pga åpning av flomverk", STF22F96402, /4/. Øvre grense i den beregningen var Skjefstadfoss. I denne beregningen er øvre grense Braskereidfoss. Avstanden mellom Skjefstadfoss og Braskereidfoss er bare 15-16 km. Det antas derfor ubetydelige endringer av hydrogrammet mellom Skjefstadfoss og Braskereidfoss, se figur 14.

9.3 Hydrogram for over-/gjennomstrømning

Det benyttede hydrogrammet for vannføring ut av Glomma ved Kirkenær er tatt fra beregningene i kap 8.3.4. Det er summen av vannføringene for de to overløp (A og B) som er brukt, se fig 14. Det bemerkes at det bare er sett på **uttaket** av vann og at det er ikke tatt hensyn til at dette vannet vil komme tilbake i elva etter at vannstanden i elva har sunket. Dette medfører at vi har beregnet en litt større effekt av nødoverløpet enn man ville hatt hvis vannet rant ut igjen sammen med vannstandsynkningen i elva. Dessuten vil varigheten på flommen bli større. På nøyaktige beregninger må tilbakestrømningen tas med i vurderingene når det skal ses på nedstrøms effekter. Da må man imidlertid ha kunnskap om hvilke typer nødoverløp som benyttes slik at man virkelig kjenner tilbakestrømningen.

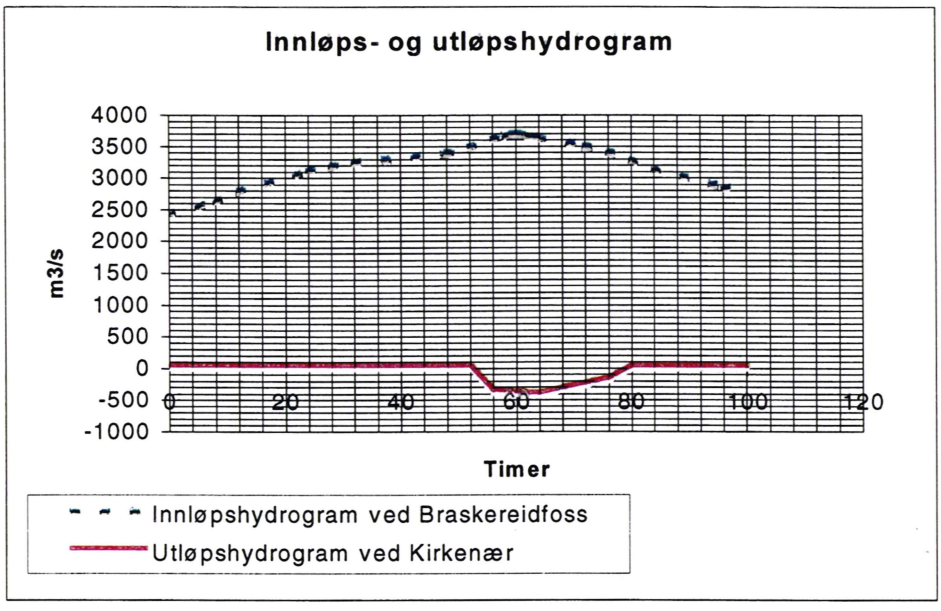


Fig 14. Innløpshydrogram til Glomma ved Braskereidfoss og utløpshydrogrammet fra Glomma ved Kirkenær.

9.4 Virkninger nedstrøms

Det er ikke gjennomført noen form for optimalisering av innstrømningen i Kirkenær med hensyn på reduksjon av flomtoppen nedover i vassdraget. Åpningen av nødoverløpet starter prinsipielt som beskrevet foran i denne rapport. I dette eksemplet begynner man da å åpne nødoverløpet 8-9 timer før kuliminasjonstidspunkt ved Braskereidfoss. Maksimal vannføring gjennom nødoverløpet oppnås 3-4 timer etter samme kuliminasjonstidspunkt. Oppfyllingen av volumet i Kirkenær skjer med den hastighet som tidligere beskrevet, dvs opp til kote 153,5 i løpet av ca 12 timer. Figurene fig 15 og vedlegg 15-20, viser vannføringer og vannstander nedover i Glomma ved de to situasjonene; **uten** åpning av flomverket og **med** åpning av flomverket. Man ville oppnådd noe større vannstand-/vannføringssreduksjoner ved optimalisering av innstrømningen inn bak flomverket i Kirkenær.

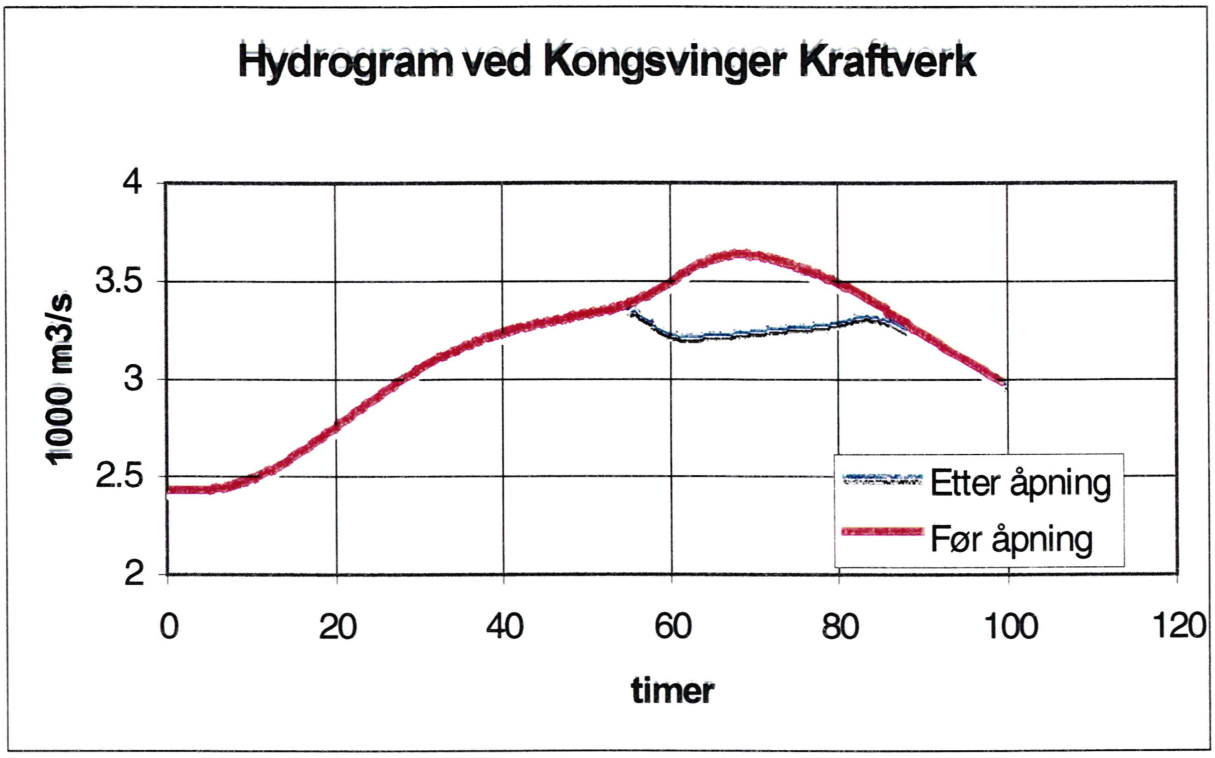


Fig 15. Hydrogram ved Kongsvinger Kraftstasjon ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.

10. Konklusjon

Gjennom dette prosjektet har det kommet tydelig frem at kunnskap om flomstørrelse og flombølgeforplantning er av vesentlig betydning ved prosjektering av et nødoverløp. Det er viktig at en i prosjekteringen legger meget høye krav til kapasiteter og manøvrerbarhet på innslippingsorganene.

Det er viktig å ha kunnskap om vannbevegelsen bak flomverket. Dette fordi enkelte "celler " kan fylles opp raskt og dermed forsinke innstrømningen. Det bør eksistere planer for hvordan "cellene" skal brytes opp ved bruk av nødoverløpet.

Videre vil det i drift og eventuell benyttelse av nødoverløpet være viktig å ha oppegående og nøyaktige hydrauliske modeller som raskt kan beregne flomstørrelser ved det aktuelle flomverket. I denne forbindelse er det også viktig å ha nøyaktige inngangsdata til modellen, slike som vannføringer og lokaltilsig de nærmeste timene/dagene. Dvs at det kreves et godt nett av målestasjoner.

Hvilke typer nødoverløpe som velges vil være avhengig av verdier innenfor flomverket. Generelt kan en si at store verdier innenfor flomverket favoriserer stor manøvrerbarhet på nødoverløpet.

Gummiluker ser etter vår mening ut til å være velegnet hvis man ønsker godt manøvrerbare luker. Dersom en ikke ønsker luker er eroderbart felt en meget god løsning. Vi mener nødoverløp som fysisk må åpnes er bedre enn nødoverløp som aktiverer seg selv.

For Kirkenær er det fordelaktig med to nødoverløp. Overløpenes lengde bør være omtrent 60 m til sammen og 3 m høye. Kostnadsoverslagene er unøyaktige, men det antydes kostnader på ca 5 MNOK hvis det velges eroderbare felt, og ca 23 MNOK hvis det velges gummiluker.

Virkningen på flomforholdene som oppstår like nedenfor nødoverløpet avtar sakte nedover i vassdraget.

11. Referanser

/1/ Retningslinjer for utførelse av terskler i vassdrag og sikring av flomløp ved fyllingsdammer. Pkt 6.1.

/2/ NVE's flom og erosjonssikringstiltak i Lågen-, Glomma- og Trysilvassdragene. Funksjon og virkning under flommen 1995. NVE rapport nr 07.1996.

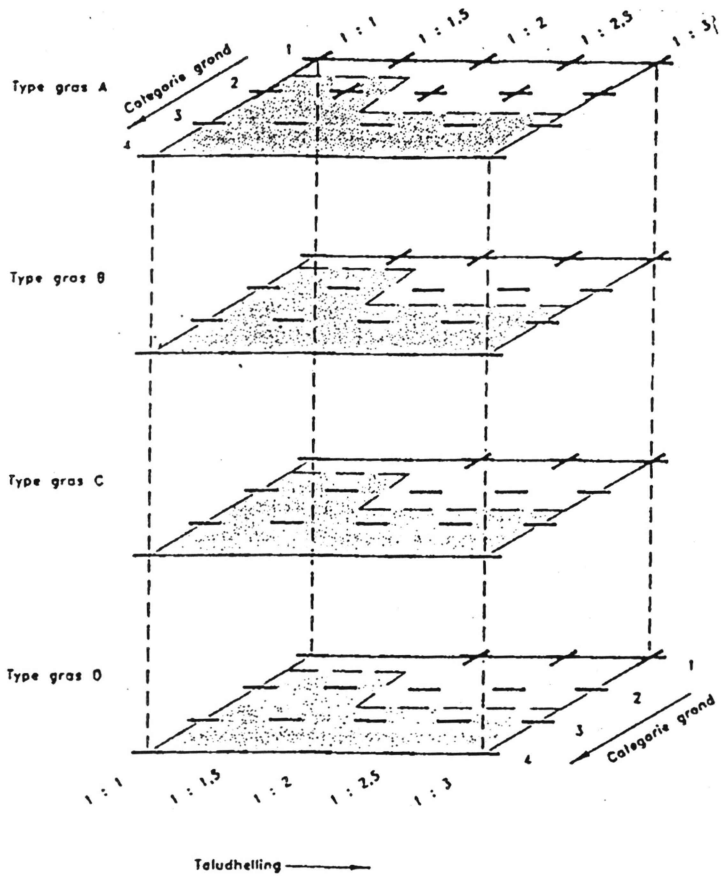
/3/ Tinney, E. Roy, m fl, Mechanics of washout of an erodible fuse plug. Journal of Hydraulic Division. May 1961.

/4/ Kjellesvig, Hilde Marie, m fl. Nedstrøms vannstandseffekter pga åpning av flomverk. SINTEF-rapport STF22 F96402.

/5/ Technical Advisory Committee on Water Retainig Structures, Delft (TAW). "Under pressure 1995". August 1996.

/6/ Jordforsk, "Skader på jordbruksarealer langs Glomma og Guldbrandsdalslågen". Øygarden, L., m.fl.Mars 1996.

/7/ VASO, "Fuseplug som hjelputskov vid befintliga svenska dammar".Michaela Dan, 1996.



Figuur 5c Combinaties van talud, grond en gras bij overslagdebiet 10 l/m/sec

Verklaring:
+ combinatie met aanvaardbaar weinig erosie
- combinatie met te veel erosie
Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven
Type gras zie figuur 2
Categorie grond zie paragraaf 2.5.2

Translation of the Dutch design graphs derived from :

Guideline structural design (of river dikes)

Technical Advisory Committee on Flood Defences, April 1994

- The three graphs are valid for three overtopping discharges : 0,1 - 1,0 - 10,0 l/m/s
- Each graph is valid for various inner slopes : 1:1 - 1:3
- Each graph is valid for four categories of subsoil : 1 (very good clay cover) - 4 (sand)
- Each graphs is valid for four types of grass : A (very good quality grass) - D (very poor quality grass)

The graphs are used as follows :

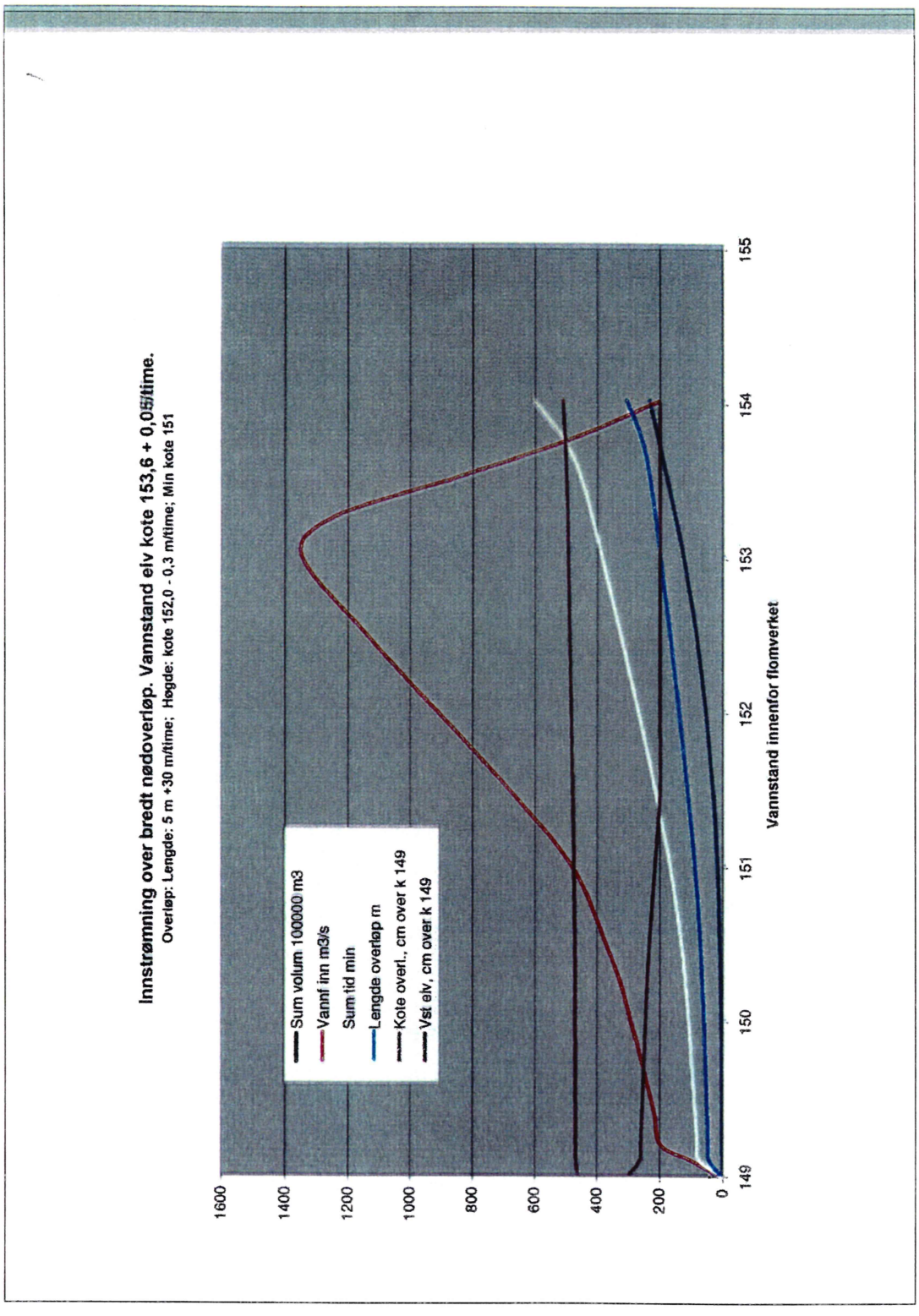
- start with an overtopping discharge : 1 l/m/s/ (second graph on page 40)
- slope is 1:2,5
- category subsoil is 2 (good clay)
- type of grass is B (good grass)

In the graph a + is found at the intersection, which means that superficial erosion will not lead to failure. In addition to that the plane area of the graph is not shaded which means that a geotechnical failure is not likely. The slope is therefore stable.

For a soil category 2 both erosion and geotechnical failure are likely. Increasing the overtopping discharge to 10 l/m/s (graph on page 41) will lead to erosion (a - at the intersection), but no geotechnical failure.

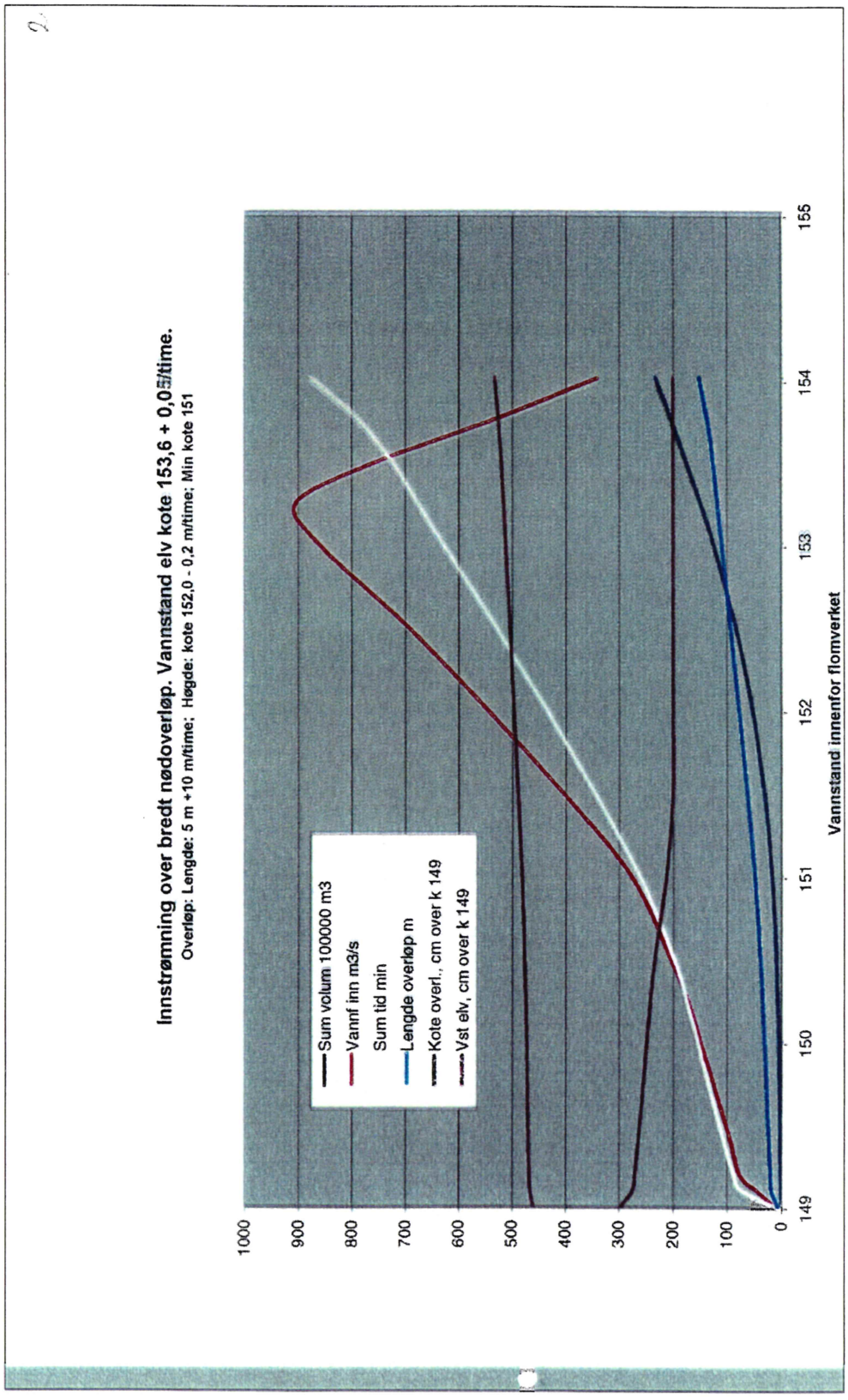
Vedlegg 2.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



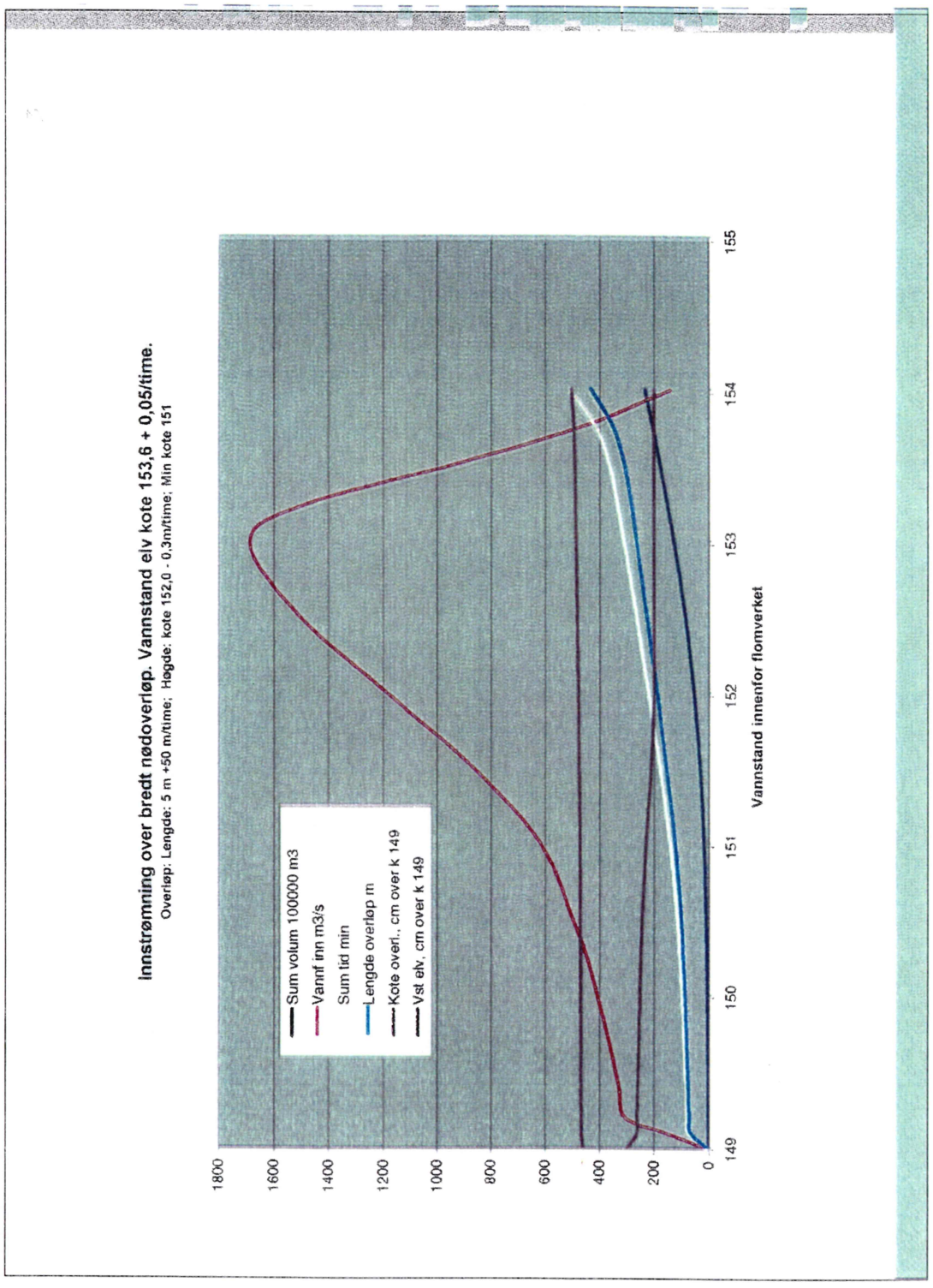
Vedlegg 3.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



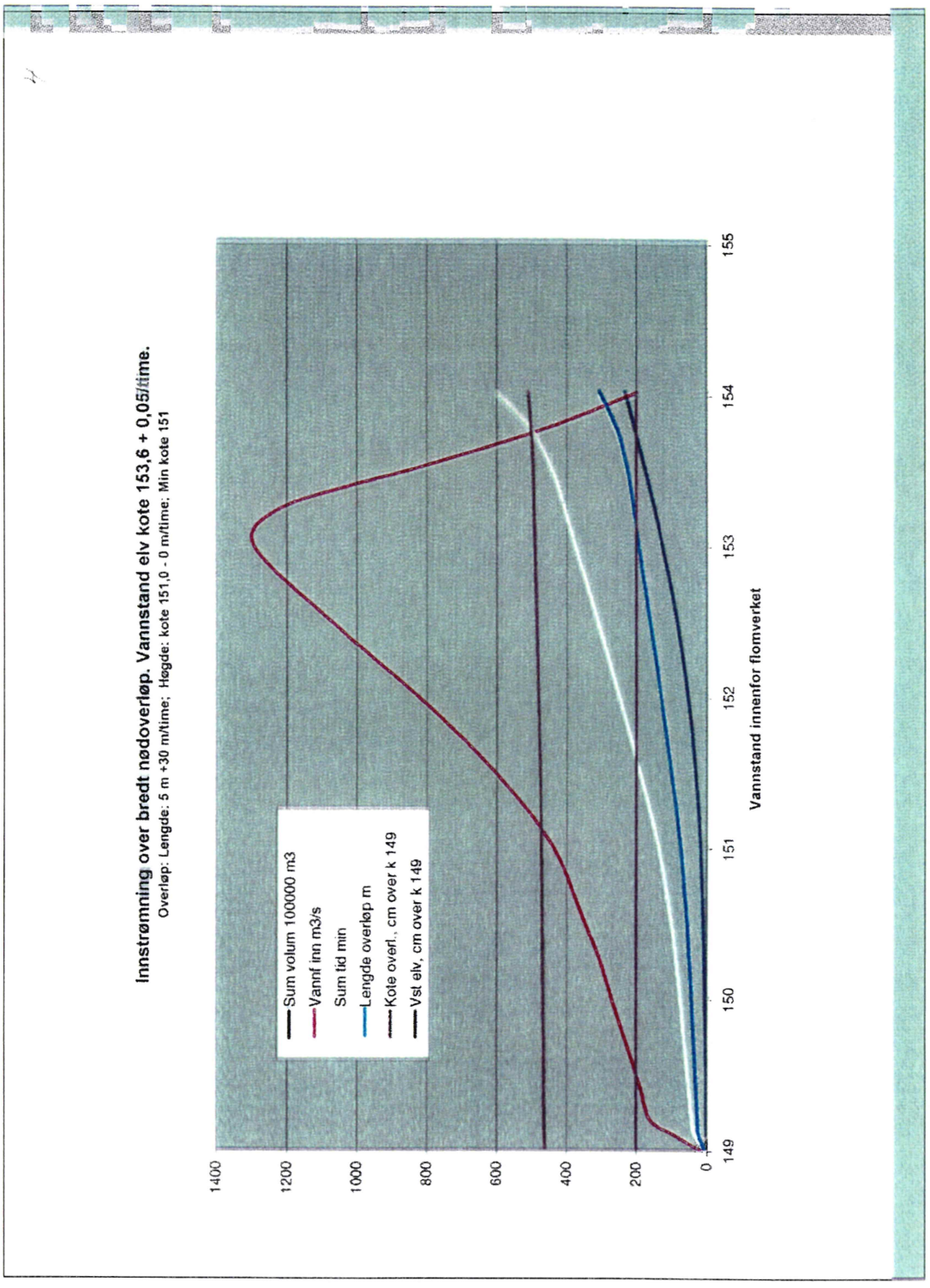
Vedlegg 4.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



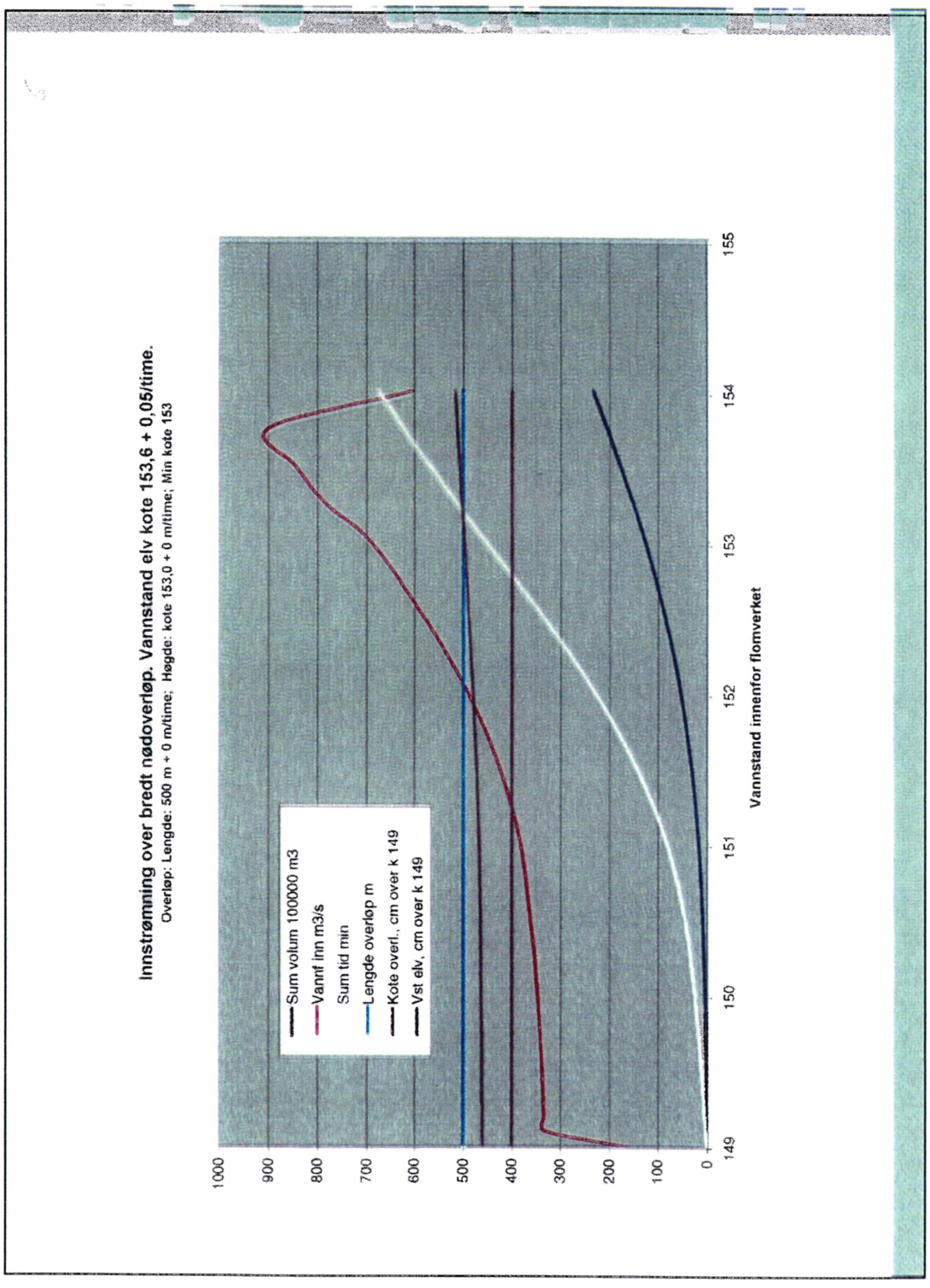
Vedlegg 5.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



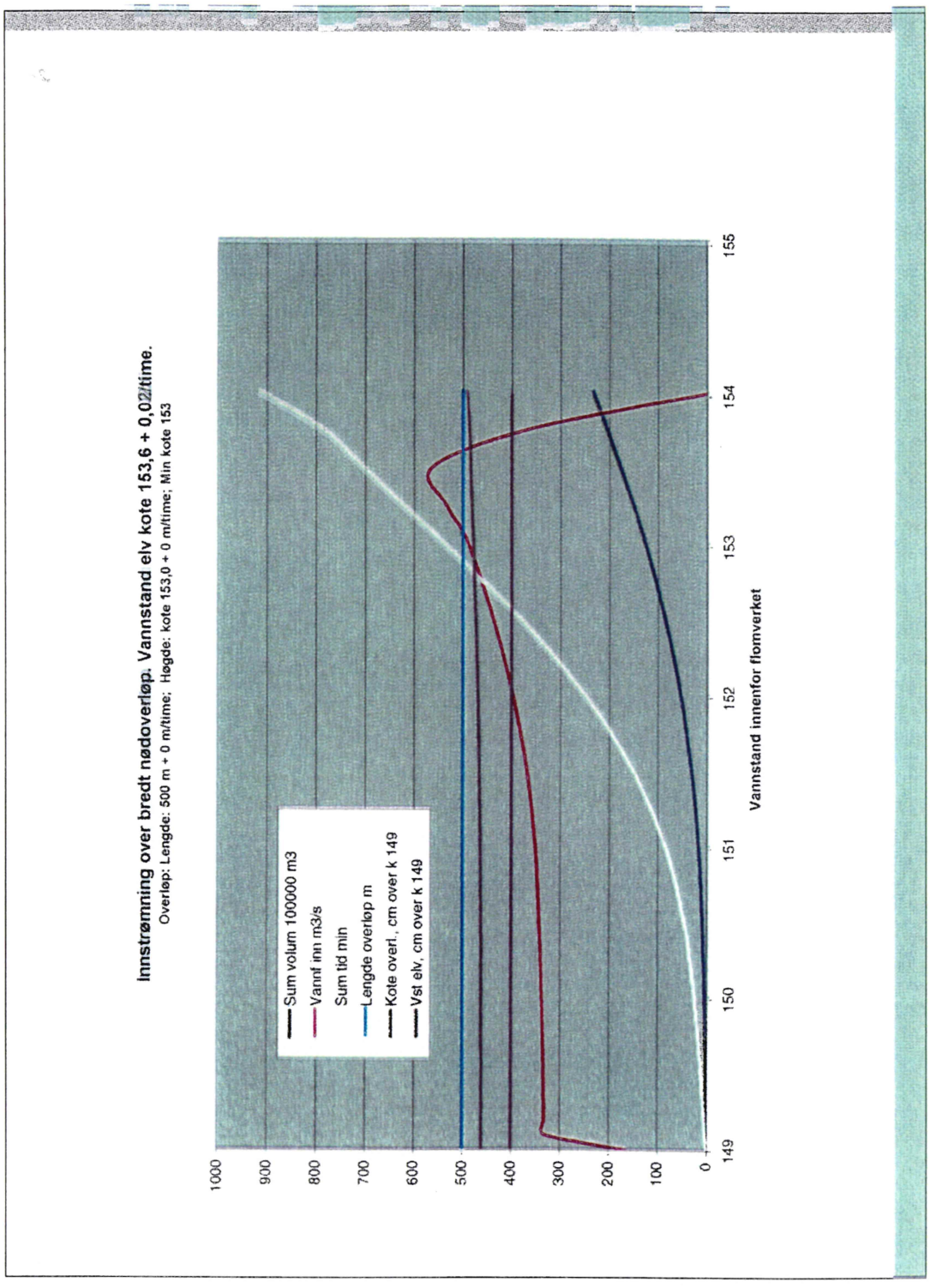
Vedlegg 6.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



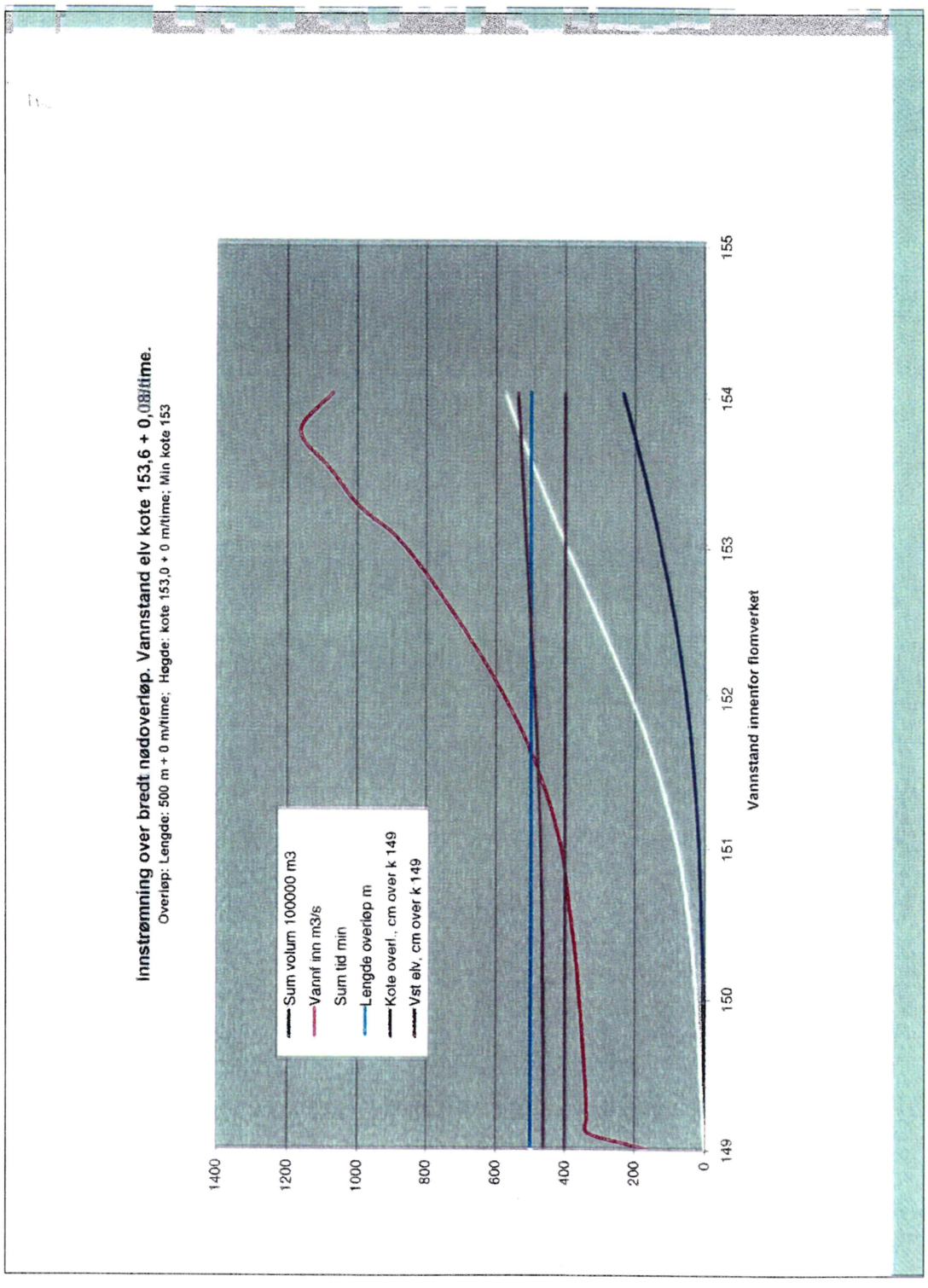
Vedlegg 7.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



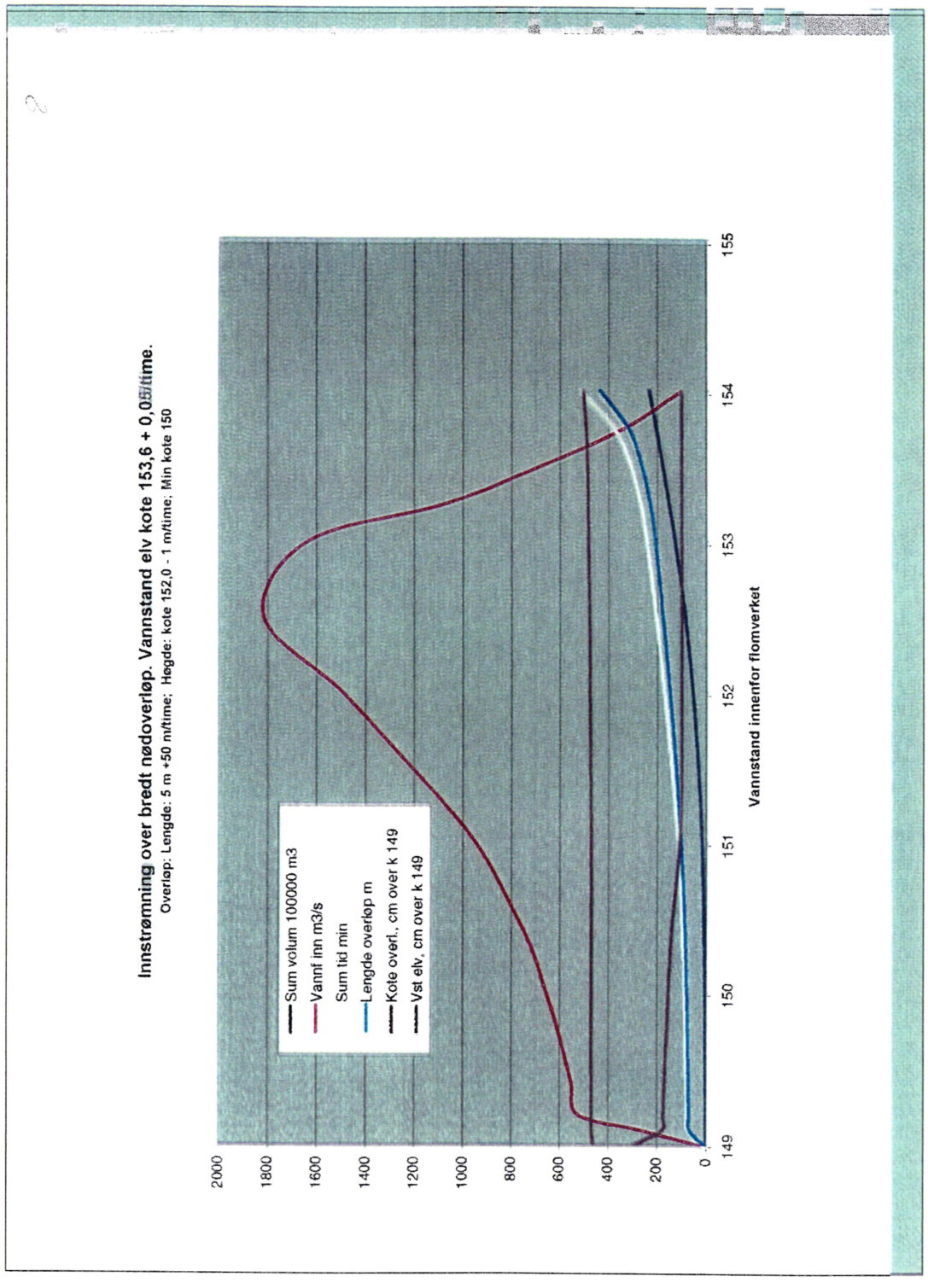
Vedlegg 8.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



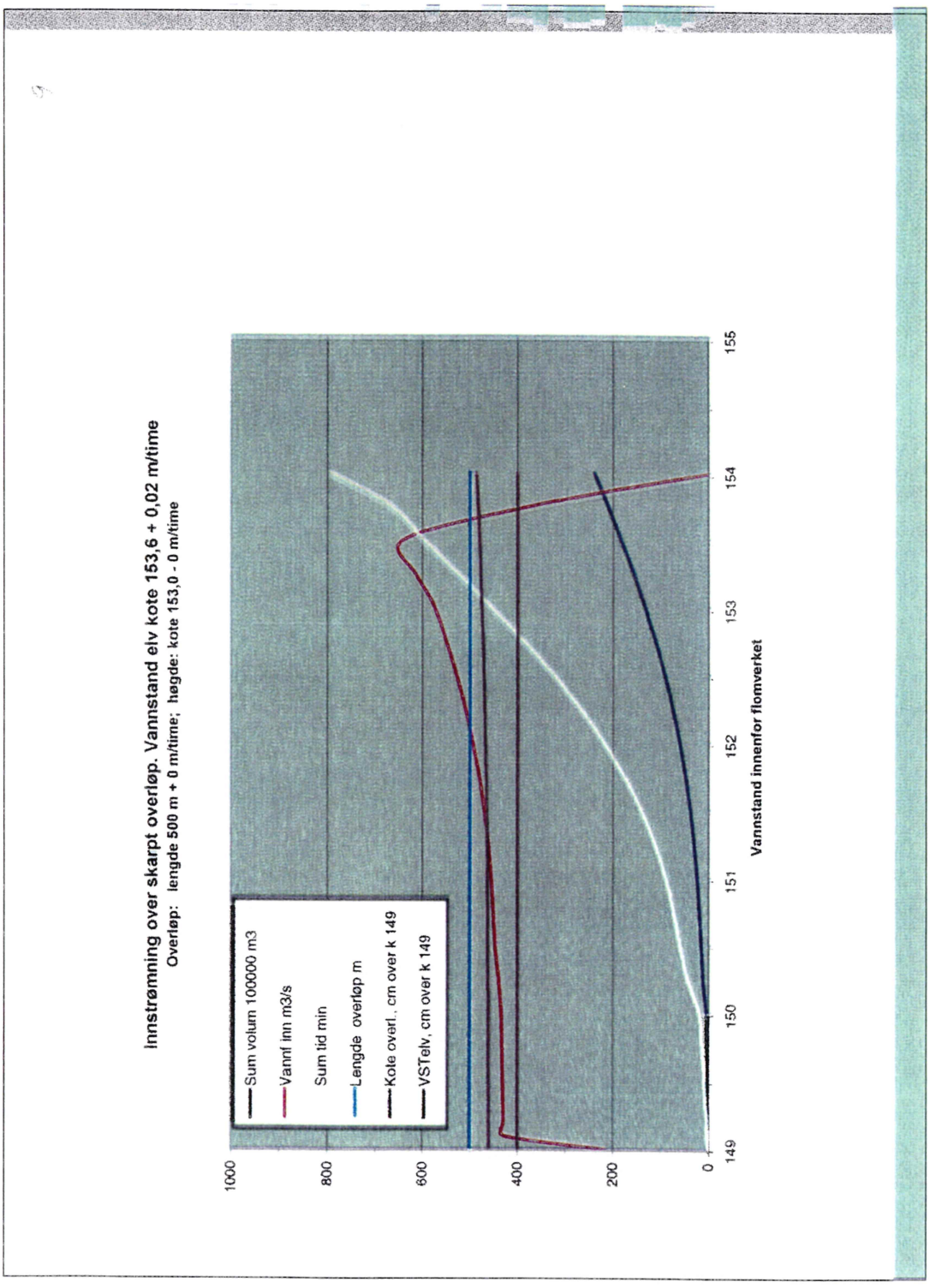
Vedlegg 9.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



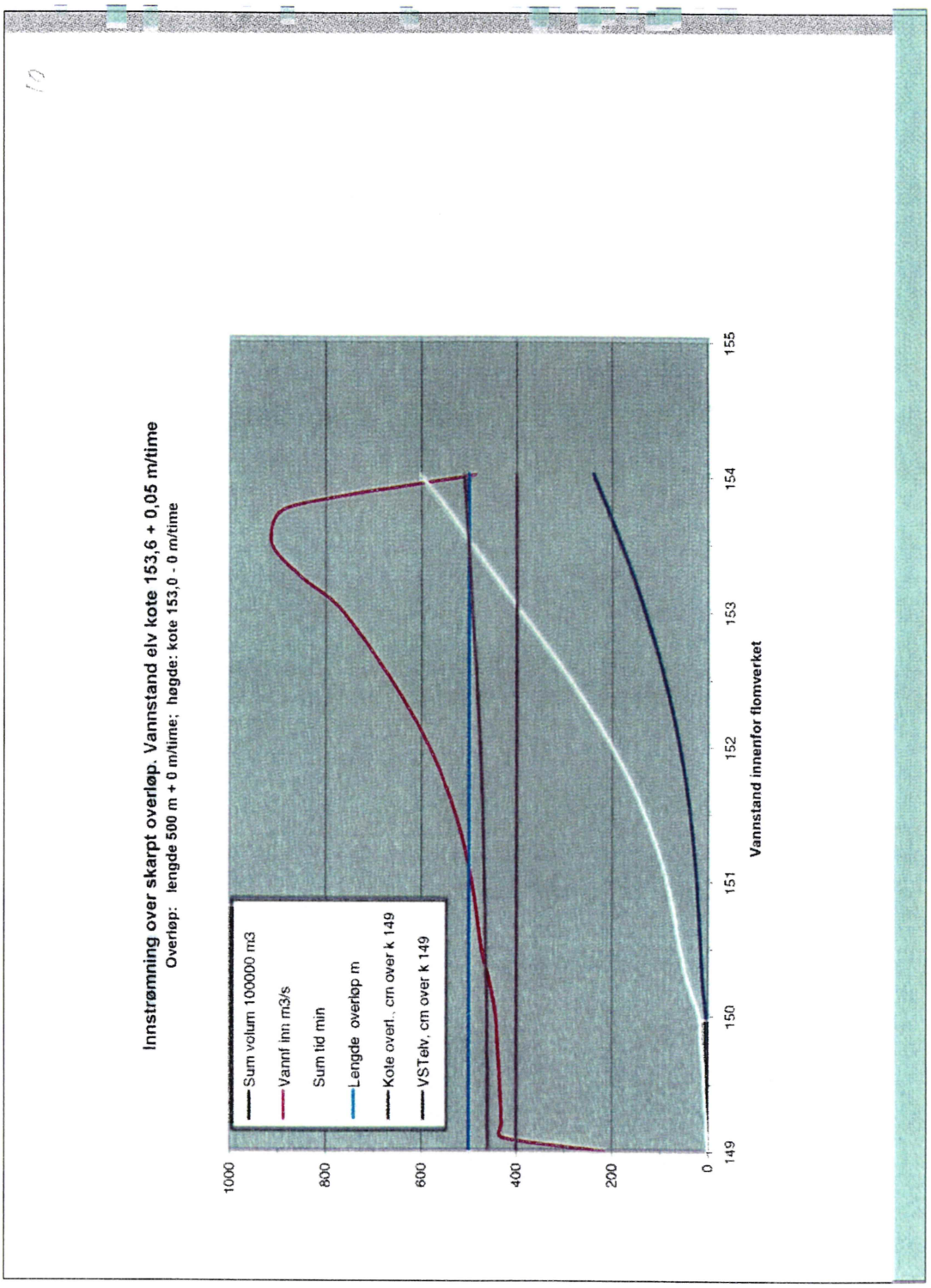
Vedlegg 10.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



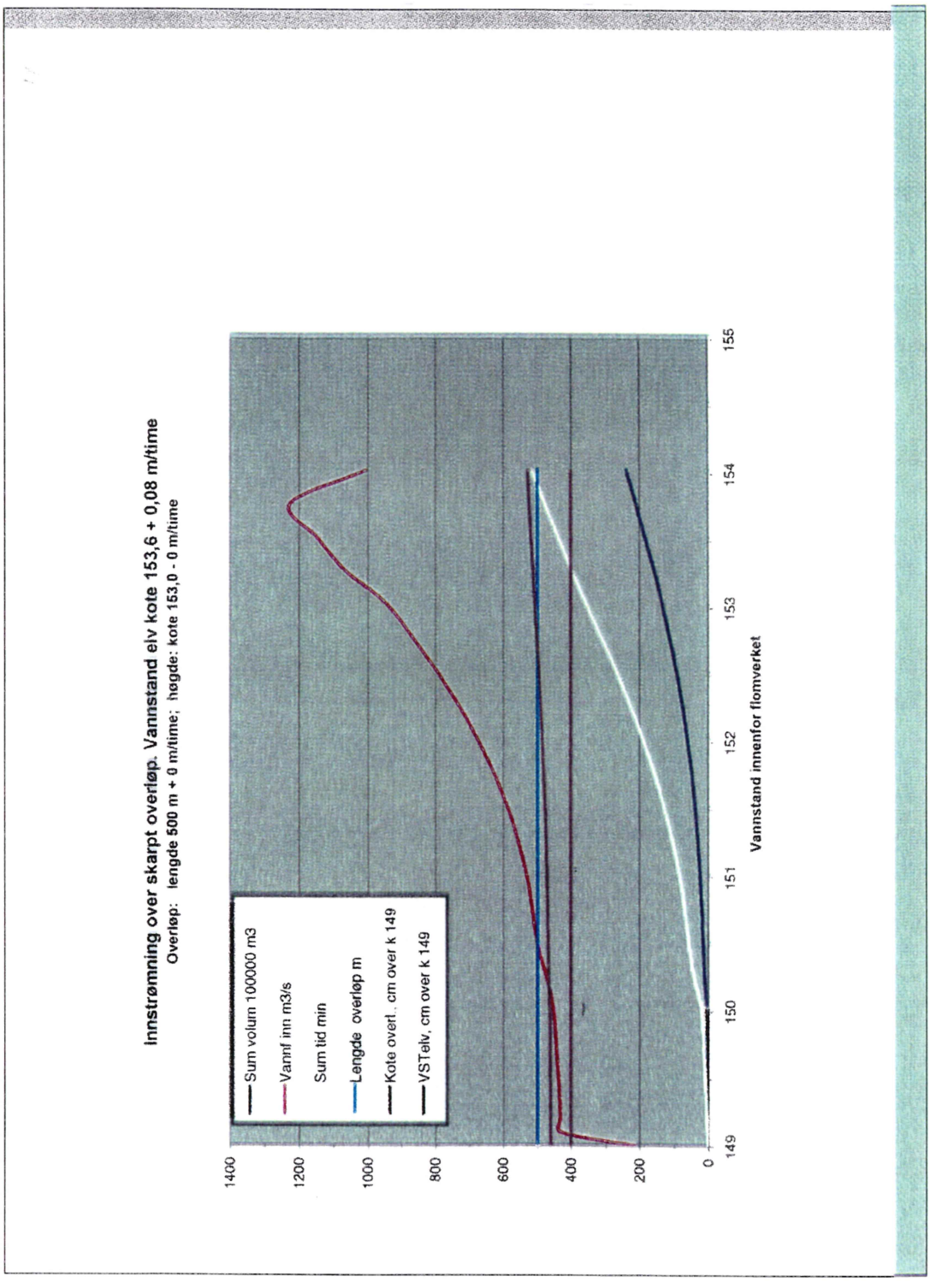
Vedlegg 11.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



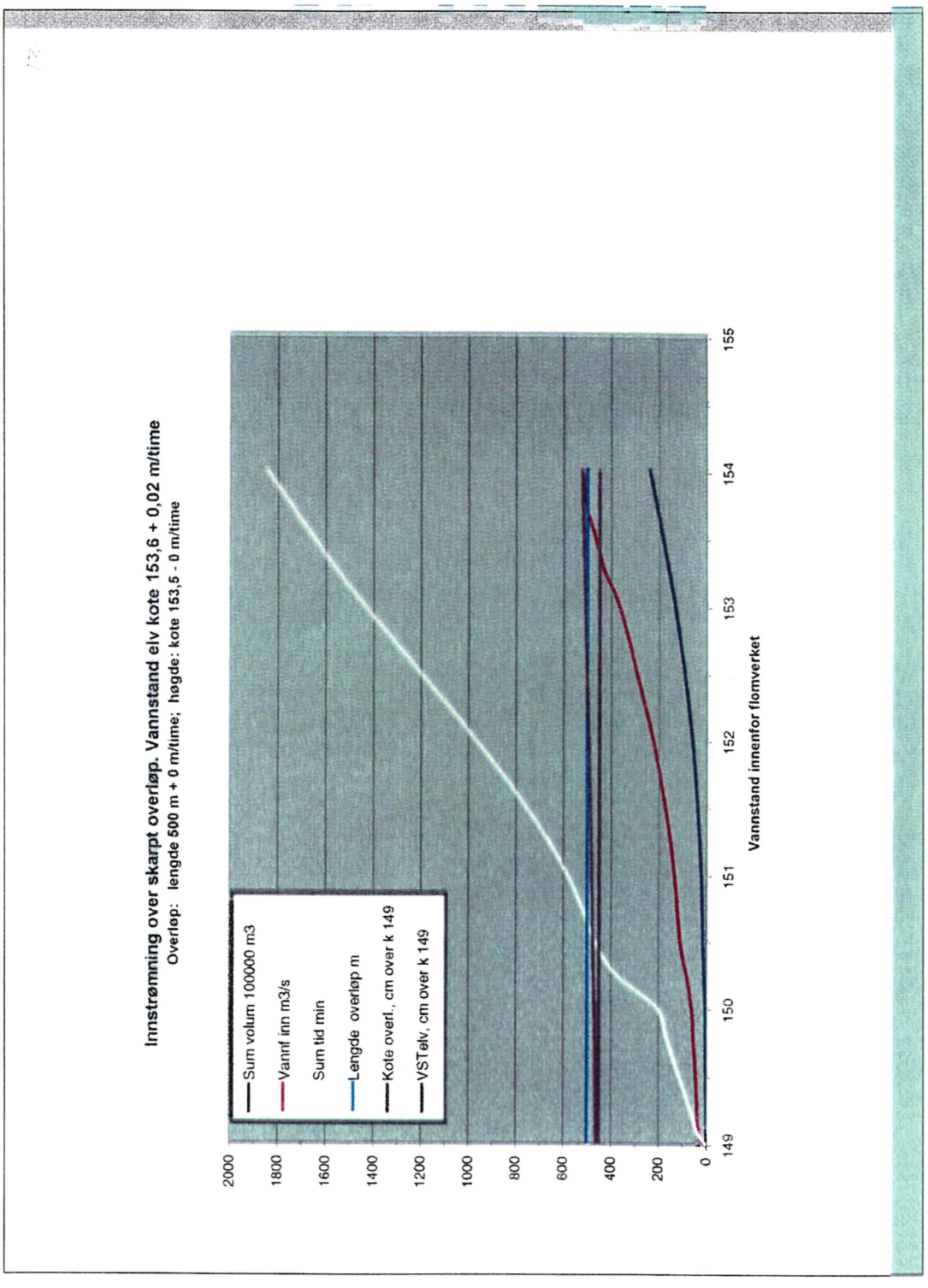
Vedlegg 12.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



Vedlegg 13.

Beregningsresultater for innstrømningen ved Kirkenær.



Vedlegg 14.

Kostnadsoverslag for nødoverløpene

Gummiluker

Kostnadsoverslag for åpning A (Brynn) :

Beskrivelse	Mengde	Enhetspris	Totalsum i kr.
Luka			
Gummiluke	135m2	28 000 kr/m2	3 800 000
Betongvolum	1400 m3	2 300 kr/m3	3 250 000
Spunt	300 m2	1 100 kr/m2	330 000
Gravemasser, flomverk fjerning av massene	1500 m3	60 kr/m3	90 000
Energidreper			
Steinplastring	2000 m3	180 kr/m3	360 000
Filtermasser	1500 m3	60 kr/m3	90 000
Gravemasser , energidreper Vekkgraving pluss tilbakelegging	3100 m3	60 kr/m3	190 000
Ikke medtatte og uforutsette utgifter		RS	1 500 000
Prosjekteringskostnader		10 %	1 000 000
Byggherreutgifter		10 %	1 000 000
MVA		23 %	2 700 000
SUM (avrundet)			**14 000 000**

Kostnadsoverslag for åpning B (Sander/Haug).

Beskrivelse		Mengde	Enhetspris	Totalsum
Luka				
Gummiluke		70 m2	28 000 kr/m2	2 000 000
Betongvolum		900 m3	2 300 kr/m3	2 100 000
Spunt		230 m2	1 100 kr/m2	260 000
Gravemasser flomverk		1000 m3	60 kr/m3	60 000
Energidreper				
Steinplastring		1700 m3	180 kr/m3	310 000
Filtermasser		1200 m3	60 kr/m3	75 000
Gravemasser, energidreper Vekkgraving pluss tilbakelegging		2400m3	60 kr/m3	150 000
Ikke medtatte og uforutsette utgifter			RS	1 000 000
Prosjekteringskostnader			10 %	600 000
Byggherreutgifter			10 %	600 000
MVA			23 %	1 700 000
SUM (avrundet)				**9 000 000**

Eroderbare overløp

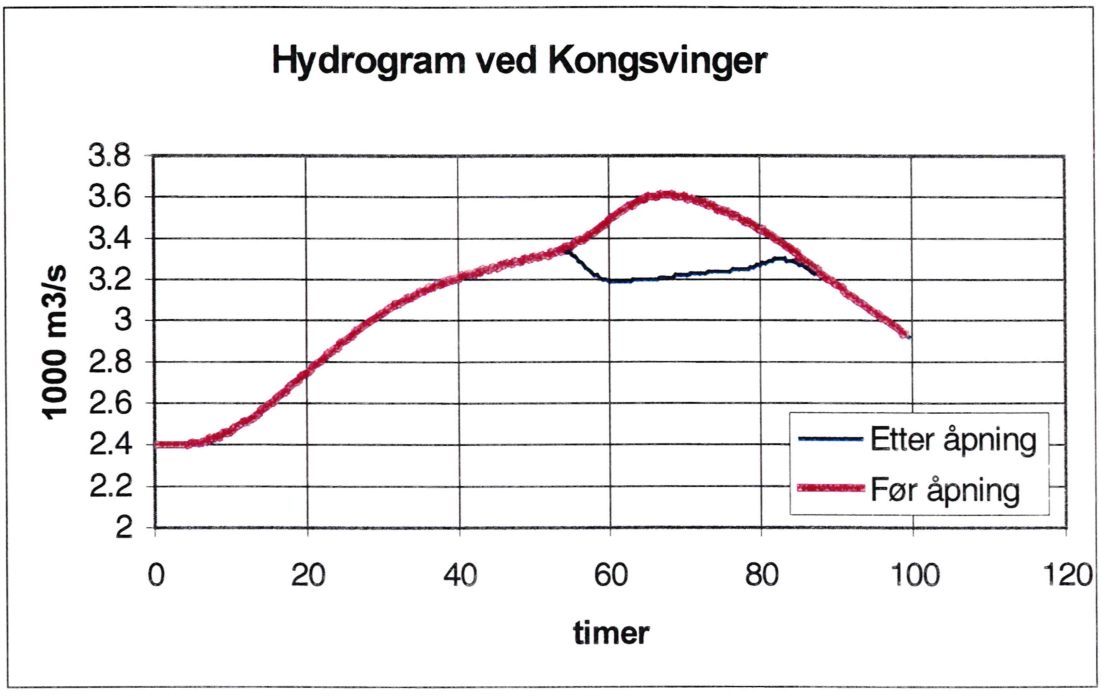
Kostnadsoverslag for åpning A (Brynn):

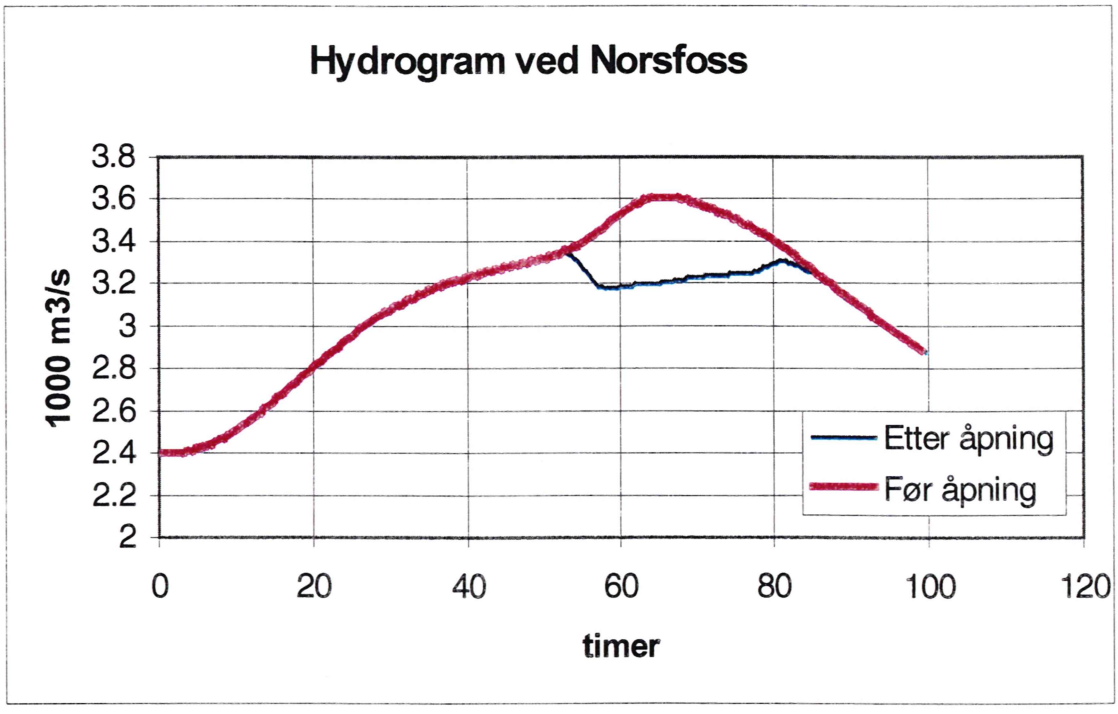
Beskrivelse		Mengde	Enhetspris	Totalsum i kr.
Luka				
Spunt		360 m2	1 100 kr/m2	330 000
Gravemasser, flomverk		1500 m3	60 kr/m3	90 000
Steinplastring		900 m3	180 kr/m3	170 000
Energidreper				
Steinplastring		2000 m3	180 kr/m3	360 000
Filtermasser		1500 m3	60 kr/m3	90 000
Gravemasser , energidreper Vekkgraving pluss tilbakelegging		3100 m3	60 kr/m3	190 000
Ikke medtatte og uforutsette utgifter			RS	500 000
Prosjekteringskostnader			ca 10 %	200 000
Byggherreutgifter			ca 10 %	200 000
MVA			23 %	550 000
SUM (avrundet)				**3 000 000**

Kostnadsoverslag for åpning B (Sander/Haug)

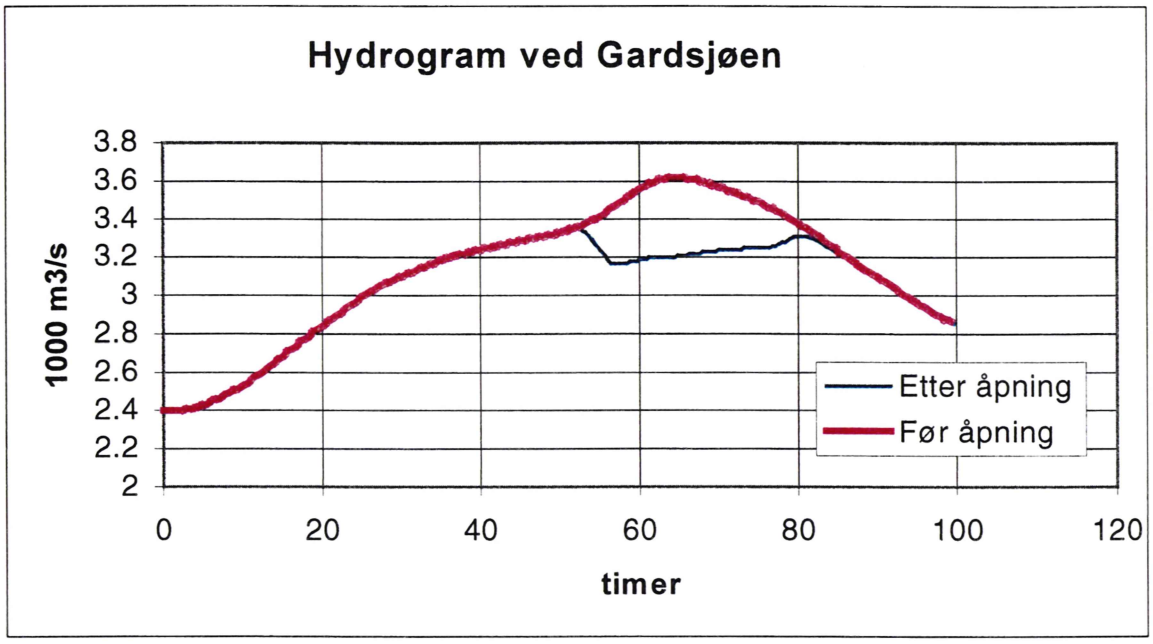
Beskrivelse		Mengde	Enhetspris	Totalsum
Luka				
Spunt		230 m2	1 100 kr/m2	260 000
Gravemasser flomverk		1000 m3	60 kr/m3	60 000
Steinplastring		550 m3	180 kr/m3	100 000
Energidreper				
Steinplastring		1700 m3	180 kr/m3	310 000
Filtermasser		1200 m3	60 kr/m3	75 000
Gravemasser , energidreper Vekkgraving pluss tilbakelegging		2400m3	60 kr/m3	150 000
Ikke medtatte og uforutsette utgifter			RS	350 000
Prosjekteringskostnader			10 %	130 000
Byggherreutgifter			10 %	130 000
MVA			23 %	400 000
SUM (avrundet)				**2 000 000**

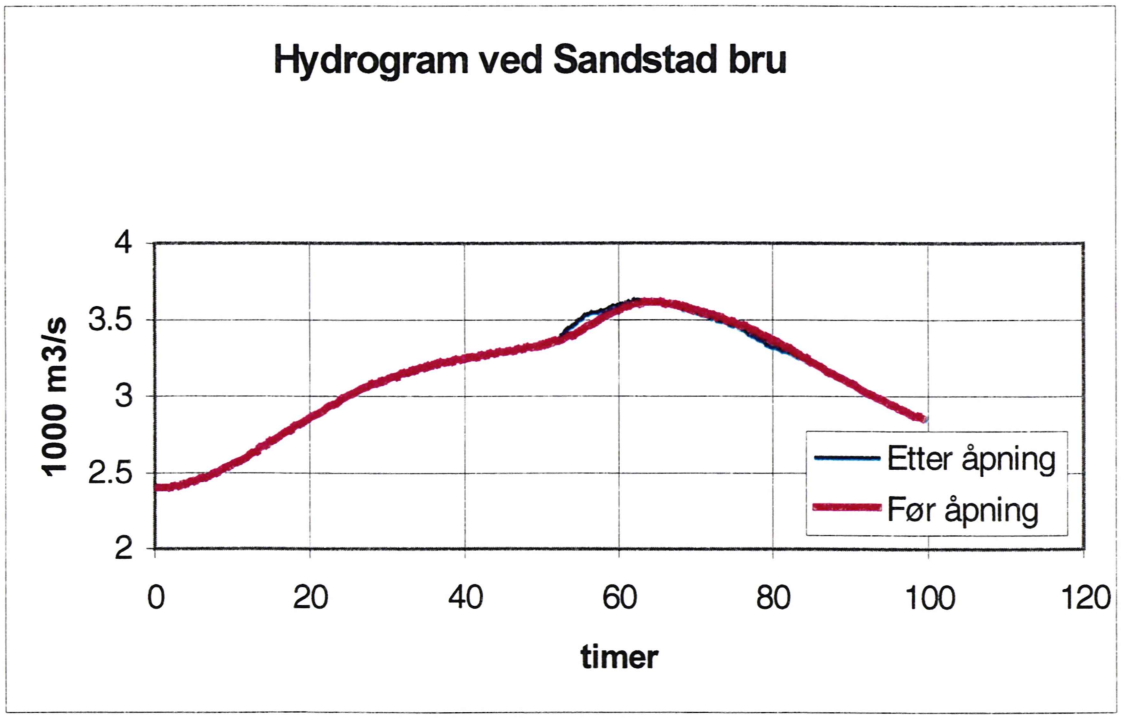
Vedlegg 15. Hydrogram ved Kongsvinger og Norsfoss ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.



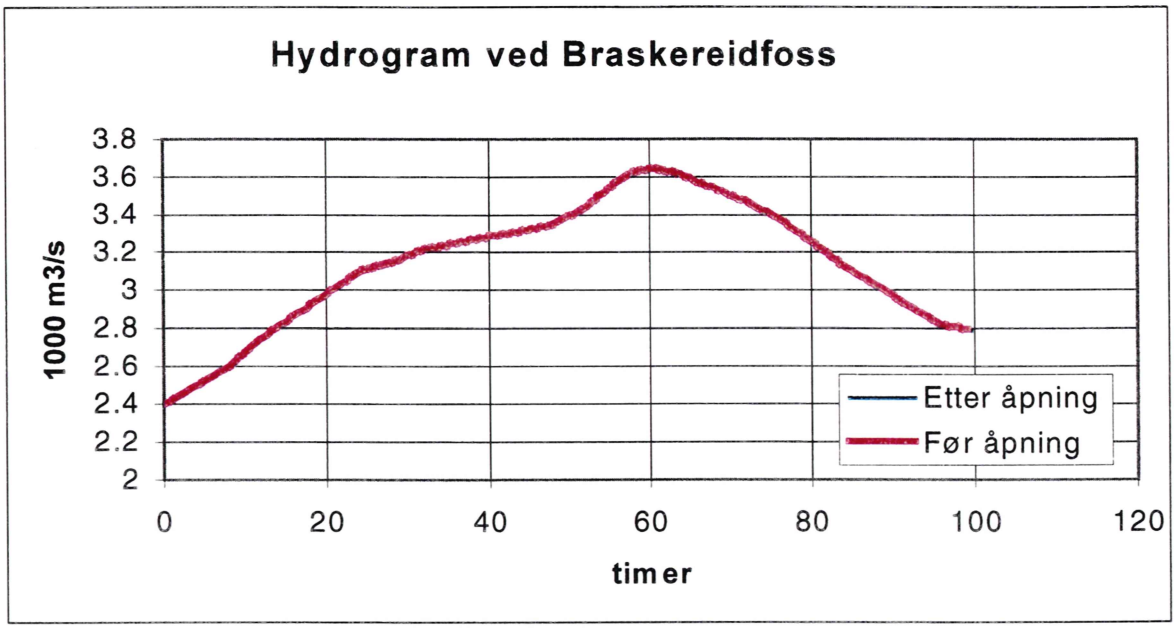


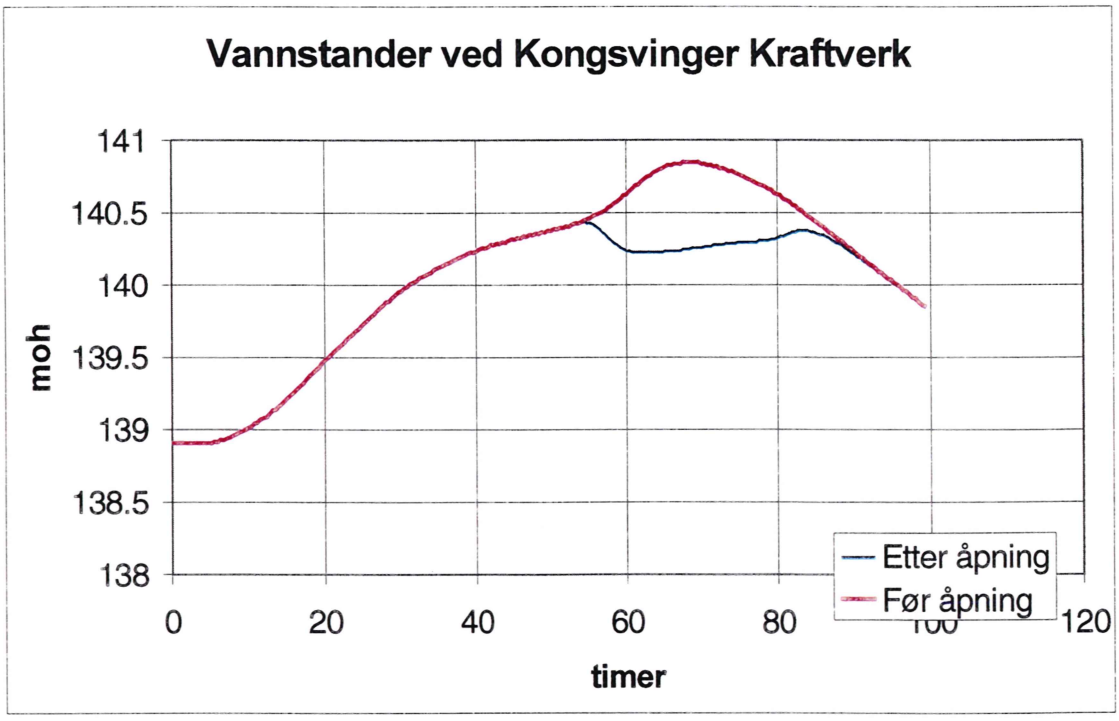
Vedlegg 16. Hydrogram ved Gardsjøen og Sandstad bru ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.



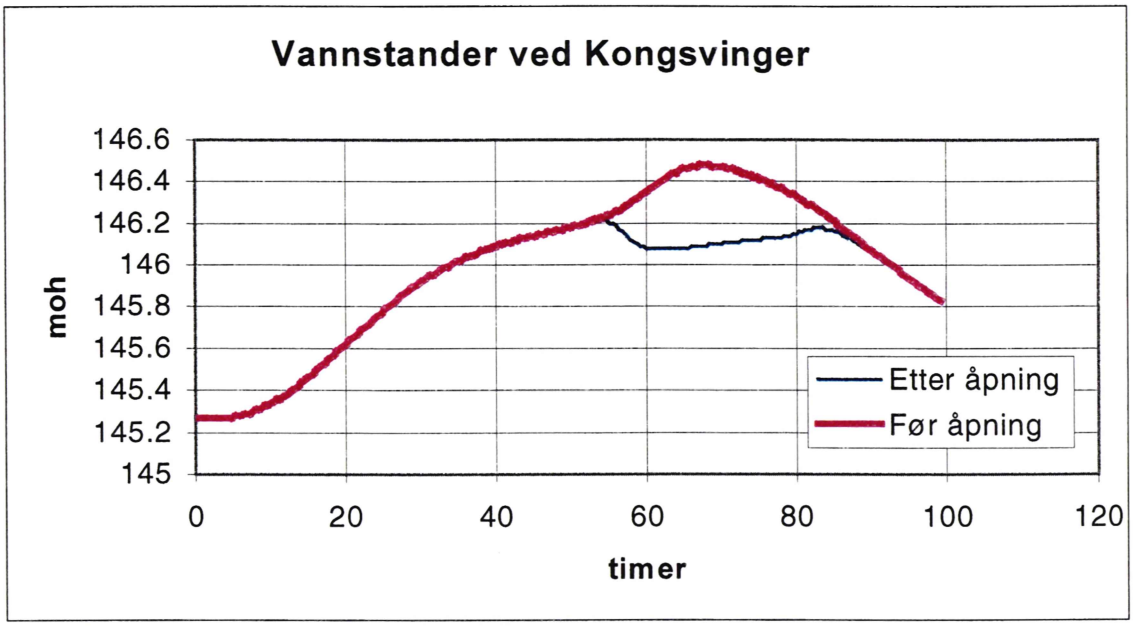


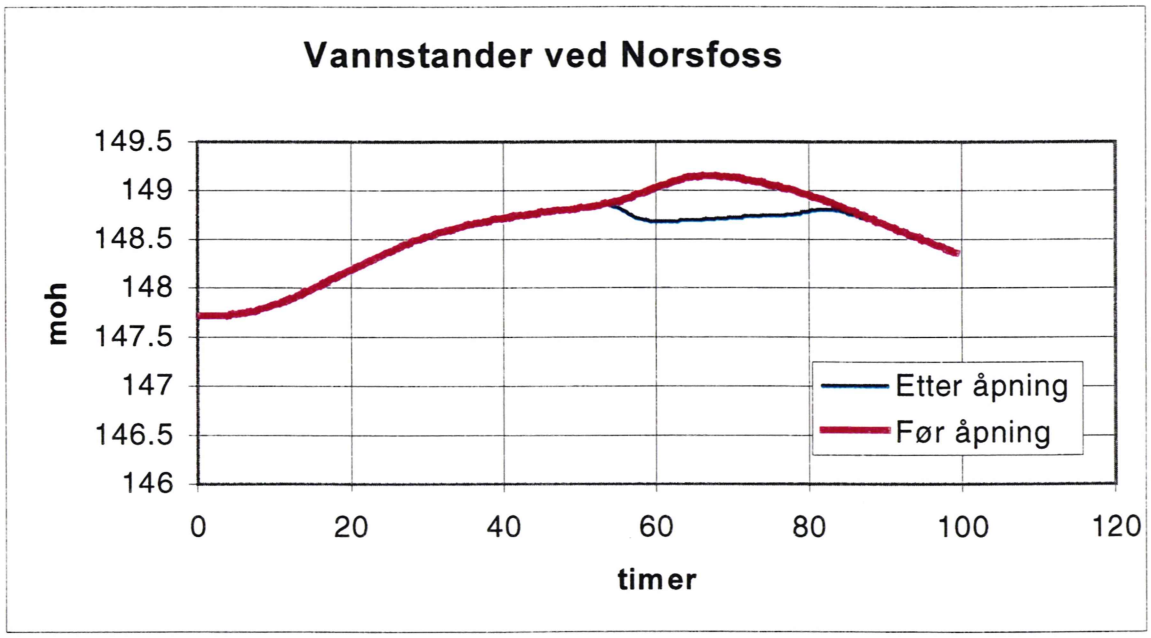
Vedlegg 17. Hydrogram ved Braskereidfoss og vannstander ved Kongsvinger Kraftstasjon ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.



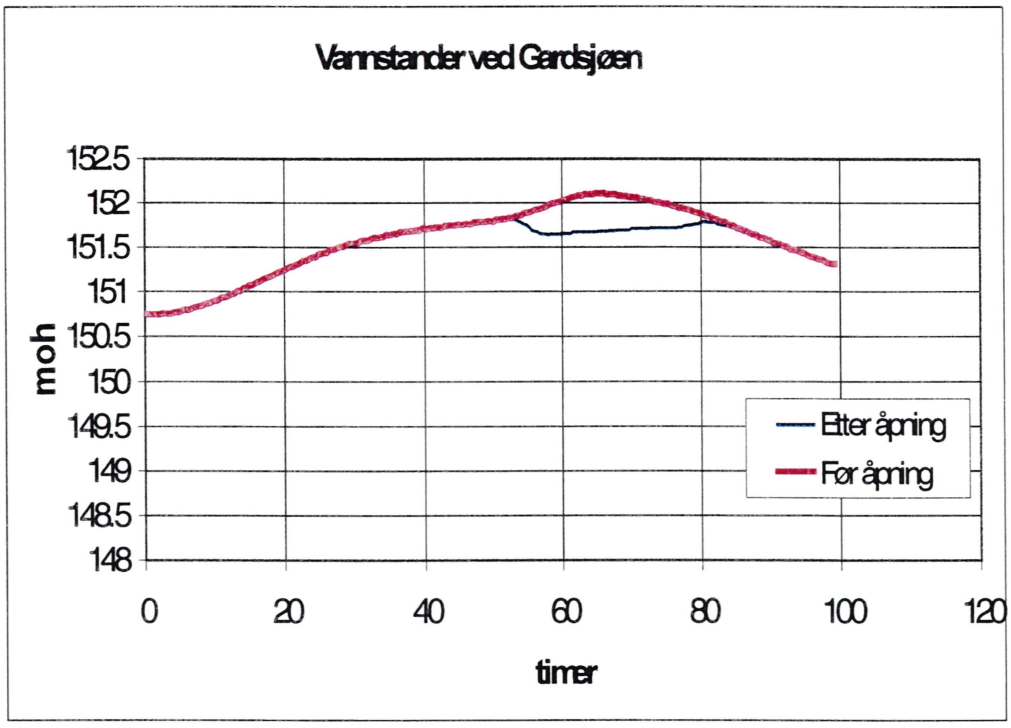


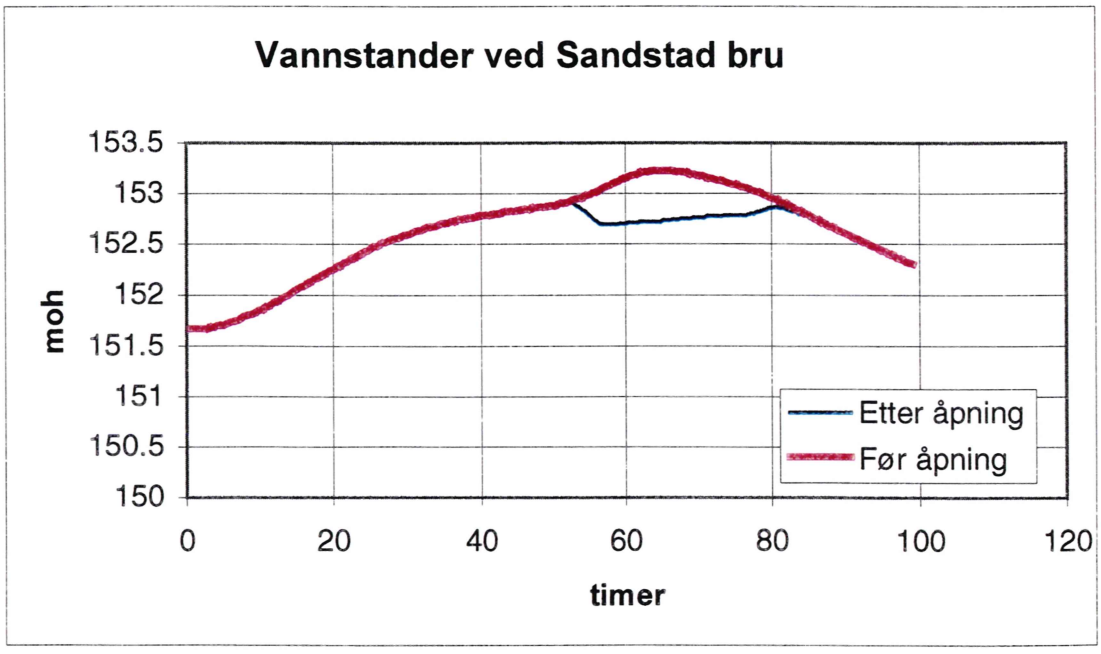
Vedlegg 18. Vannstander ved Kongsvinger Kraftstasjon og Norsfoss ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.



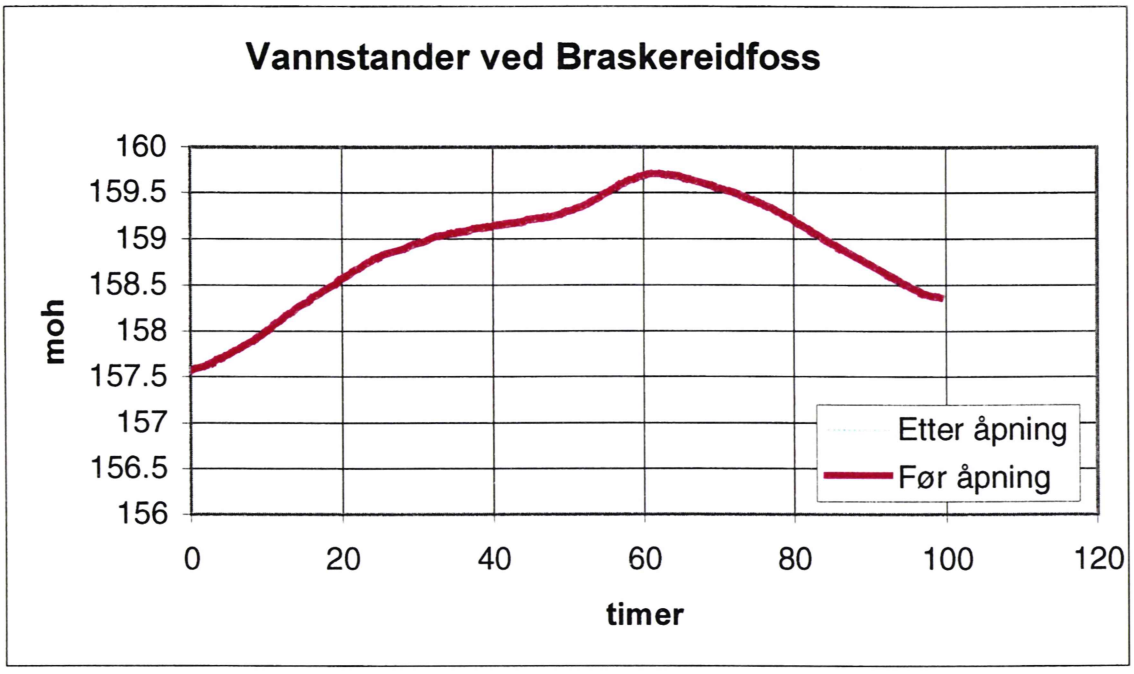


Vedlegg 19. Vannstander ved Gardsjøen og Sandstad Bru ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.





Vedlegg 20. Vannstander ved Braskereidfoss ved en åpning av nødoverløpet på Kirkenær.



UTGITTE NOTAT I HYDRA-SERIEN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6/99 **Effekter av senkingstiltak på flomforløpet.**
Inger Karin Engen, Øyvind Høydal, Øystein Nøtsund og Eirik Traae, NVE

7/99 **Nødoverløp på flomverk**
Morten Skoglund og Einar Tesaker, SINTEF
Eirik Traae, NVE

8/99 **Hydrodynamisk modell for Glomma mellom Kongsvinger og Øyeren**
Ingjerd Haddeland og Bjarne Krokli, NVE

9/99 **Storflommers effekt på laksunger i Gaula**
Kjetil Hindar (NINA), Jan Henning L'Abée-Lund (NVE) og Jo Vegar Arnekleiv (NTNU)

10/99 **Effekten av regulering på flomdempning i Namsen – datarapport**
Magne Wathne, SINTEF

11/99 **Nødoverløp på flomverk**
Morten Skoglund (SINTEF), Eirik Traae (NVE) og Einar Tesaker (SINTEF)

Kontaktpersoner

formann i styringsgruppen: Ola Skauge
Tlf. 73 58 05 00
E-post: ola.skauge@dirnat.no

programleder: Arnor Njøs
Jordforsk
Tlf. 64 94 81 70 (Jordforsk)
Tlf. 22 95 90 98 (NVE)
E-post: arnor.njos@jordforsk.nlh.no
E-post: xarn@nve.no.

naturgrunnlag og arealbruk: Arne Grønlund
Jordforsk
Tlf. 64 94 81 09
E-post: arne.gronlund@jordforsk.nlh.no

Noralf Rye
Universitetet i Bergen
Tlf. 55 58 34 98
E-post: noralf.rye@geol.uib.no

tettsteder: Oddvar Lindholm
Norges Landbrukshøgskole
Tlf. 64 94 87 08
E-post: oddvar.lindholm@itf.nlh.no

flomdemping, flomvern og flomhandtering: Dan Lundquist
Glommens og Laagens Brukseierforening
Tlf. 22 54 96 00
E-post: danlund@sn.no

skaderisikoanalyse: Nils Roar Sælthun
Norsk institutt for vannforskning
Tlf. 22 18 51 21
E-post: nils.saelthun@niva.no

miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak: Olianne Eikenæs
Norges vassdrags- og energiverk
Tlf. 22 95 92 24
E-post: oli@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 47
E-post: aanund.killingtveit@bygg.ntnu.no

programadministrasjon: Olianne Eikenæs
Norges vassdrags- og energiverk
Tlf. 22 95 92 24
E-post: oli@nve.no
Hjemmeside: http://www.nve.no

Per Einar Faugli
Norges vassdrags- og energiverk
Tlf. 22 95 90 85
E-post: pef@nve.no