RAPPORT

17 1996

NVE
NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

FLOM- OG EROSJONSSIKRINGSTILTAK. YTTERLIGERE SIKRINGSTILTAK I FLOMUTSATTE VASSDRAG, OG ENDRINGER PÅ EKSISTERENDE ANLEGG

Delutredning 5.2 for flomtiltaksutvalget

VASSDRAGSAVDELINGEN

Omslagsbilde: Bildet viser Glomma ved Arneberg Bru sør for Flisa sett oppstrøms. Flomverk mot Glomma ved Sparbysund-Balnes på vestsida, og flomverk mot Glomma ved Arneberg på østsida
Flyfoto: FOTONOR©

NVE
NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

TITTEL	RAPPORT
FLOM- OG EROSJONSSIKRINGSTILTAK YTTERLIGERE SIKRINGSTILTAK I FLOMUTSATTE VASSDRAG, OG ENDRINGER PÅ EKSISTERENDE ANLEGG DELUTREDNING 5.2 FOR FLOMTILTAKSUTVALGET	17 /96
SAKSBEHANDLER Einar Beheim. Torstein Tjelde, Ingebrigt Bævre, Harald Sakshaug, Karl Mettenes, Asbjørn Osnes, Anne Kronen Helgestad, Ivar Øvre	DATO 18.03.1996
OPPDRAGSGIVER FLOMTILTAKSUTVALGET	OPPLAG

SAMMENDRAG

Delutredningen omfatter en gjennomgang av de ulike flomsikringstiltakene, og konsekvenser av disse for vassdragenes selvregulerende evne. Det er vurdert aktuelle forbedringspunkter, og dimensjoneringsgrunnlaget for flomsikringstiltak er gjennomgått. Mulighetene for å bruke flomverk til aktiv flomdemping er undersøkt, mht. flomdemping, økonomiske og juridiske konsekvenser.

De aktuelle problemstillingene er bl.a. belyst gjennom eksempler fra Flomverk mot Glomma ved Arneberg, Frya, Gaula, Daleelv og Jølstra.

Det er bl.a. kommet fram til disse forbedringspunktene ved flomsikringsarbeider:
Bedre fundamentering av skråningsbeskyttelse, forbedrede rutiner for tilsyn og vedlikehold av forbygningsanlegg, bedre rutiner ved etablering av konstruksjoner/bygg i tilknytning til vassdrag, bedre tetting og drenering av grunnen under flomverk, grunnundersøkelser og strømningsanalyser ved planlegging av flomverk, muligheter for innstrømming av bakvann i forbindelse med flomverk, bruk av flomsonekart i forbindelse med arealplanlegging og lokalisering av flomverksprosjekter, bevaring og styrking av eksisterende kantvegetasjon, samt etablering av ny vegetasjon på erosjonsutsatte steder.

Kontrollert åpning av flomverk vil ha svært usikker virkning mht. flomdemping i Norge, og vil innebære betydelige kostnader, sammenlignet med f.eks. forhøyning av flomverk. En annen mulighet for flomdemping kan være å bruke tilliggende innsjøer i aktiv flomregulering, dette må imidlertid utredes nærmere.

Dimensjoneringskriteriene for flomsikringstiltak må vurderes grundigere, for å sikre forsvarlige investeringer.

EMNEORD/SUBJECT TERMS

Flom	Flood
Flomsikring	Flood control
Dimensjonering	Dimensioning
Flomdemping	

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Bjørn Wold
Avdelingsdirektør

Kontoradresse: Middelthunsgate 29
Postadresse: Postboks 5091, Maj.
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Telefax: 22 95 90 00

Bankgiro: 6003 06 04221
Postgiro: 0803 5052055

Org. nr.: NO 970 205 039 MVA

INNHOLDSFORTEGNELSE.

1. Innledning.

1.1 Bakgrunn 1
1.2 Mandat for delutredning 5.2 1

2. Flomsikringstiltak.

2.1. Generell gjennomgang av flomsikringstiltak 3
2.1.1. Erosjonssikring 4
2.1.2. Flomsikring 6
2.1.3. Landskap og miljø 9
2.2. Eksempler på ulike flomsikringstiltak 10
2.2.1. Sammendrag flomverk og grunnbrudd etter flommen -95. Glomma ved Flisa - Arneberg bru 10
2.2.2. Sammendrag masseavlagring i Frya 12
2.2.3. Sammendrag flom og masseuttak i Gaula 13
2.2.4. Sammendrag flomsikring og arealbruk i Daleelv 15
2.2.5. Sammendrag flomsikring og arealbruk i Jølstra 16
2.3. Konsekvenser for selvregulerende evne 18

3. Forbedring av flomsikringstiltak.

3.0. Innledning 21
3.1. Erosjonssikring 21
3.1.1. Erosjonssikringsanlegg 21
3.1.2. Erosjonssikring og konstruksjoner i vassdrag 22
3.2. Flomsikring 22
3.2.1. Tetting og drenering av flomverk 22
3.2.2. Bakvann i forbindelse med flomverk 24
3.2.3. Bruk av flomsonekart 25
3.2.4. Kontrollert masseavlagring 26
3.3. Landskap og miljø 26
3.3.1. Vegetasjon 26

4. Dimensjoneringsgrunnlag for flomsikringsanlegg.

4.1. Innledning 29
4.2. Dimensjoneringsnivåer 29
4.3. Framtidige dimensjoneringsnivåer 30
4.4. Nytte-/Kostbetraktninger 31

5. **Flomdemping.**
5.1. **Innledning**.....33
5.2. **Egne flomdempingsmagasiner**.....33
5.3. **Bruk av flomverk som aktiv flomdemping**.....36
5.4. **Ansvar og reglement for bruk av flomverk i aktiv flomdemping**...37

6. **Referanser**.....39

Vedlegg 1. Utfyllende eksempler fra vassdragene.
1. Daleelv.
2. Jølstra.
3. Gaula.
4. Flisa - Arneberg bru.
5. Frya.

Vedlegg 2. Effekt av flomverk benyttet til flomdemping.

Vedlegg 3. Brudd i flomverk langs Glomma.
Geoteknisk analyse og vurdering.

1. INNLEDNING.

1.1. Bakgrunn.

I brev av 05.12.1995 fra Nærings- og Energidepartementet (NOE) ble Norges Vassdrags- og energiverk (NVE) gitt i oppdrag å foreta delutredning 5, Flom- og erosjonssikringstiltak, for Flomtiltaksutvalget. Delutredning 5.1 ble ferdig 05.02.96, og foreligger som en foreløpig rapport.

Delutredning 5.2 skal se på "Ytterligere sikringstiltak i flomutsatte vassdrag og endringer på eksisterende anlegg". Del 5.2 skal delvis basere seg på konklusjonene i delutredning 5.1.

For å gjennomføre arbeidet med delutredning 5, er det nedsatt en prosjektgruppe med følgende sammensetning:

Einar Beheim,	VRS	-Prosjektleder.
Torstein Tjelde,	VRØ	
Harald Sakshaug,	VRS	
Ingebrigt Bævre,	VRM	
Karl Mettenes,	VRV	
Arne Solvoll,	VRN	
Asbjørn Osnes,	VV	
Anne Kronen Helgestad,	VN	
Ivar Øvre,	Tonning & Lieng A/S	-Sekretær.

Arne Koksæter, VV, deltar i gruppen etter behov.

Delutredningen har støttet seg i arbeidene til andre prosjektarbeider, bl.a. Storsjøutvalget, arbeidsgruppe for beregning av effekt av flomverk benyttet til flomdemping, og prosjektgruppe-forskrifter/reglement for flomverk. SINTEF har vært engasjert for å beregne effekter ved åpning av flomverk , NGI har analysert brudd i flomverk langs Glomma. Deler av arbeidet har vært til uformell høring hos Fylkesmennene i Hedmark, Oppland, Sogn og Fjordane, Sør-Trøndelag og Troms.

1.2. Mandat fra delutredning 5.2.

Det foretas en generell gjennom gang av ulike sikringstiltak. Det skal vurderes tekniske løsninger med vekt på økt sikkerhet og god miljøtilpasning. Tiltakenes konsekvenser i forhold til vassdragets selvregulerende evne skal vurderes. Spesielt må effekten på nedenforliggende områder vurderes.

Videre foretas en vurdering av aktuelle forbedringspunkter særlig på teknisk side, basert på erfaringene fra flommen i år. Materialet fra delutredning 5.1 benyttes som underlag, men det foretas i tillegg en del vurderinger av mer prinsipiell karakter. Dimensjoneringsgrunnlag for flomsikringstiltak skal diskuteres/vurderes særskilt. Herunder diskuteres nyansering av dimensjoneringsgrunnlaget i forhold til verdier som skal beskyttes.

Mulighetene for å benytte flomverk til aktiv flomdempning skal vurderes. Det vurderes hvordan dette kan løses teknisk og i hvilke situasjoner det anses aktuelt. Effekten mht. flomdempning og økonomiske, juridiske, miljømessige og landbruksmessige konsekvenser for øvrig av slik manøvrering av flomverk skal vurderes.

Konklusjonen bør være av prinsipiell karakter, men følgende vassdrag kan benyttes som eksempler for å belyse generelle problemstillinger.

- *Glomma og Lågenvassdraget; Østfold, Akershus, Hedmark og Oppland.*
- *Trysilelva (Vänern-Gøta elvs sidenedbørsfelt Klaraelven); Hedmark og Sør-Trøndelag.*
- *Drammensvassdraget; Oppland, Buskerud, Vestfold og Sogn og Fjordane.*
- *Jølstravassdraget; Sogn og Fjordane.*
- *Daleelva; Sogn og Fjordane.*
- *Gaulavassdraget; (fra Støren og nedover); Sør-Trøndelag.*
- *Drivavassdraget; Oppland, Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag.*
- *Bardu/Målselv (Målselvvassdraget/Malangen); Troms.*

2. *FLOMSIKRINGSTILTAK*

2.1 GENERELT OM FLOM- OG EROSJONSSIKRINGSTILTAK

Flom- og erosjonssikring er et omfattende begrep. En grov inndeling av forskjellige typer sikringsanlegg og deres funksjon er antydet nedenfor:

- Erosjonssikring av elvetverrsnittet som beskyttelse mot vannets graving.

- Flomverk eller flomfyllinger langs elvebreddene beskytter bebyggelse, infrastruktur, landbruksområder o.a. mot oversvømmelse. Pumpestasjoner kan være en nødvendig del av anlegget. Isgangsverk er en solid utgave som skal stå også mot isganger.

- Masseavlagringsbasseng skal fange opp erosjonsmasser for å hindre disse i å bygge opp elvebunnen nedover i vassdraget. Tiltaket kombineres med opprensking i elva.

- Senking og elveløpskorreksjoner kan redusere flomfaren ved at elveløpet får større rom og dermed økt kapasitet. Senking kan eksempelvis være aktuelt i forbindelse med nydyrking av myr og andre vassrike områder. I dag er lavvannssenking sjelden aktuelt, særlig av miljøhensyn, men også fordi det generelt ikke er noen mangel på jordbruksarealer i vårt land.

- Sikringsvoller mot løsmasseskred langs bratte, masseførende elver er aktuelt mange steder, særlig på Vestlandet. Samme sikringsmetodikk nyttes også som snøskredsikring. Ofte tjener sikringsvollene begge hensikter.

Fig. 2.1. Naturlig prosess med graving i yttersving og masseavlagring i innersving. Unsetåa, Rendalen, Hedmark. Flyfoto: FOTONOR AS ©

2.1.1. Erosjonssikring.

Tekniske krav og funksjonskrav.
Sikring av elvebredder ved kledning med erosjonsbestandig materiale som bl.a. stein forbindes ofte med begrepet elveforbygning. Hensikten er å hindre elva i å grave seg innover land og utvide sitt leie sidevegs. Dermed søker en å unngå at dyrka mark, veger, hus, boligfelter, kraftlinjer o.a. blir tatt av elva. Dersom utviklingen ikke stopper av seg selv, må ofte menneskelig innsats settes inn. Sikring av skråning og elvebunn er ofte to sider av samme sak fordi en ustabilitet i skråningen gjerne utløses av en forutgående bunnsenking som forplanter seg inn mot siden.

Sikring av skråninger.
Skråningssikring utføres oftest ved bruk av sprengstein. Grunnleggende er dimensjoneringskriteriene for krav til blokkstørrelser, sortering samt utførelse av plastringslaget. Med utgangspunkt i valgte skråningshellinger baseres valg av steinstørrelse og utførelse på antatte påkjenninger fra:

- Vasshastigheter, vannstander og turbulens.
- Materialtransport (medr. isganger).
- Nedbryting av isflater og isflak i vertikal bevegelse.
- Bølger.
- Raske vannstandsendringer, f.eks. senking av vannstanden i et reguleringsmagasin.

Sikkerhet mot utvasking av grunnmaterialet gjennom steinkledningen er viktig. Filterkriteriene fra geoteknikken kan si oss noe om dette. Er forskjellen for stor kan det bli nødvendig med overgangssoner, f.eks. med grov grus eller filterduk. Ingeniørgeologiske vurderinger må foretas vedrørende steinmaterialets holdbarhet og styrke.

Fig. 2.2. Utvasking av finstoff fra massene bak erosjonssikringen. Tronsåa, Alvdal, Hedmark.

Fundament på 1-2 m er ofte nødvendig for å sikre forbygningen mot undergraving, f.eks. ved at djupålen flytter seg innunder plastringssteinen. Fotgrøft er vanskelig å få til i djupe elve-strekninger. I nyere forbygningsanlegg velger en ofte å sikre seg mot undergraving ved å legge en ekstra solid langsgående rad av stor stein langs bredden. Ved en bunnsenking skal denne steinen gli ned å beskytte skråningen også på det lavere nivå. Store steiner langs skråningsfoten er bra for fisken ved at det dannes gode skjulesteder mellom steinene.

Varianter av sikring med stein er maskinmuret skråningssikring og tørrmur.

Stein fra elvefaret har gjerne en mer eller mindre avrundet fasong etter transportslitasje som gjør den mindre egnet enn bruddstein som erosjonssikring.
Med store og kantete steinblokker kan en få gode og stabile forbygninger utført som tilnærmet tørrmur. I elver med slakere fall og gjerne med store mengder ørmasser på vandring nedover, kan det være hensiktsmessig å sikre mot erosjon og mot flom ved å doze ørmassene i slake skråninger, ikke brattere enn 1:3, opp som kombinerte erosjons- og flomvoller langs sidene.

Buner eller utstikkere er en gammel og anerkjent metode å sikre elvebredden mot erosjon på. Noen steder blir det bygd utstikkere for å lage gode fiskeplasser.

Erosjonssikring kan også utføres i betong. Bl.a. kan fallforhold og vannhastigheter, av og til gjøre det nødvendig å bruke betong ut fra stabilitetshensyn.

Alternative metoder for erosjonssikring kan være bruk av overflateforsterkende matter, duker og nett (geonett) for å få vegetasjon til å etablere seg. Dessuten kan en bruke gabioner/netting-kister fylt med stein. Disse metodene er lite brukt i Norge.

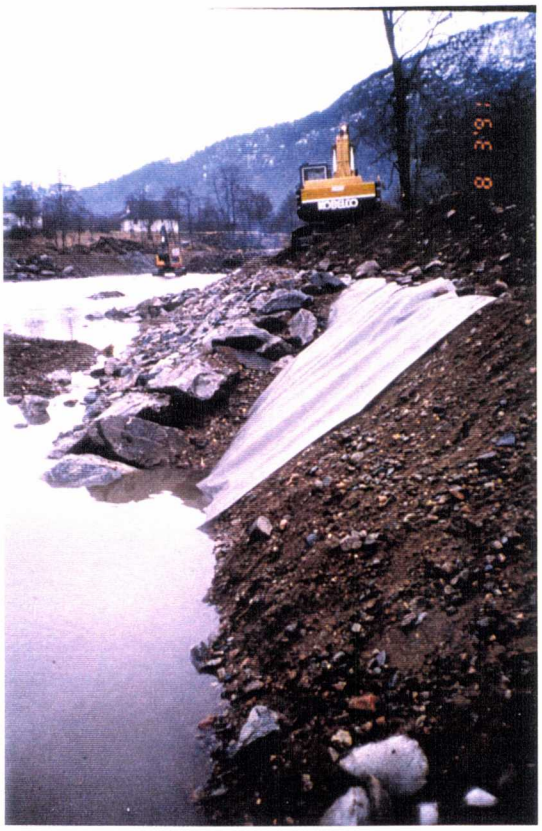


Fig. 2.3. Forbyggingsarbeider.
Anga, Førde, Sogn og Fjordane.

Sikring av elvebunn.

Formålet med bunnsikring er å hindre skadelig erosjon og senking på en miljømessig forsvarlig måte. Aktuelle tiltak er hel bunnplastring, terskler og steinbånd. Slike tiltak kan ofte utformes som biotopforbedrende tiltak for fisken.

Ustabilitet og senking får vi når bunnmaterialene er for fine til at dekksjikt dannes.
Stabilitet og ustabilitet kan enkelte steder veksle med flomperiodene.

Stabil bunn kan bygges opp ved å tilføre tilstrekkelig grovt bunnmateriale kunstig over de utsatte elvestrekninger. Tilstrekkelig grovt dekksjikt kan bygges opp som «plastring» av store steiner.

En utretting av en sving i et elveløp vil føre til at et bestemt fall i elvebunnen må skje over en kortere elvestrekning enn før. En vanlig måte er å fange opp det økte fallet i trappetrinn, gjennom en eller flere terskler. Mellom tersklene er fallet som før, slik grunnmaterialet tåler. Enhver terskel som bygges opp i et elveleie vil føre til at belastningen på bunnen nedenfor terskelen blir større enn på elvebunnen forøvrig. En lokal erosjonsgrop vil derfor utvikles i de aller fleste tilfeller. En plastret elvestrekning med innlagt ekstra fall vil kunne gi samme stabiliserende virkning som en terskel. Betegnelse som bunnterskel, steinbånd eller bunnforsterkning er også brukt.

Slike steinsatte områder i en elv med ellers fine og ensartede bunnmaterialer, vil gi skjulesteder og fine oppvekstområder for småfisk. Dette er et eksempel på biotopforbedrede tiltak.

2.1.2. Flomsikring.

Generelt.

Flomsikring betyr å hindre oversvømmelse av et område som skal tjene bestemte nytteformål, f.eks. boligområde, dyrka mark, veger, rekreasjon m.m.

Flomsikring av vassdragsnære områder kan i prinsippet skje på flere måter:

- Flomfyllinger langs elvebreddene, noen steder i kombinasjon med pumpestasjoner eller rørgjennomføringer utstyrt med enveisventiler.

- Masseavlagringsbasseng.
- Opprensking av avlagret masse i elveløpet.

- Senking ved bestemmende profiler, f.eks. ved en oppstuvende fjellterskel.
- Senking av elveleiet over en lengre strekning.
- Profilutvidelse over en lengre strekning.
- Profilutvidelse ved naturlige eller kunstige innsnevringer, f.eks. brugjennomløp.

Et flomsikringstiltak kan bestå av flere av de ovenfornevnte elementer.

Oversvømmelse er en del av vassdragets natur. Det kan skyldes at elveløpet ikke greier å ta imot så store vannmengder. Det vil ofte oppstå oppdemning, særlig p.g.a. en eller annen form for massetransport. Oversvømmelser fører til skader på bebyggelse, jordbruksområder og trafikkmessige ulemper. I bratte daler vil en flom gi erosjon, mens det på slakere steder blir avlagret masse. Isganger og isoppstuving kan også føre til store oversvømmelser.

Flomverk.

For de store flomverkene på Østlandet har det vist seg at det under en flom oppstår skader pga. hydraulisk grunnbrudd under flomverket. Dette fordi det er mye lagdelt ensgradert masse i grunnen. Skadene etter et slikt grunnbrudd kan bli et stort krater, som utvikles på svært kort tid. Årsak til at grunnbrudd skjer under flom er at det blir så store trykkforskjeller i grunnen p.g.a. stor horisontal permeabilitet, at sanden får en kvikksandlignende konsistens.

Overtopping er når vann går over selve verket. Når vannet strømmer over, graves det ut en åpning i flomverket, og fordi vannet da får tak eroderes massen bort i åpningen og det vil oppstå et dambrudd. For å redusere skadene ved et slikt brudd kan flomverket åpnes kontrollert.

Fig. 2.4. Skade på flomverk etter overtopping. Glomma ved Prestøya, Elverum, Hedmark.

Flomverk er en kunstig langsgående forhøyelse av terrenget langs vassdraget, beregnet på å hindre oversvømmelse av nærliggende områder.

Flomverk kan grovt deles i 3 kategorier:

- Tradisjonelt flomverk (flomfyllinger).
- Isgangsverk.
- Ledevoller.

Tradisjonelle flomverk bygges oftest med tetting og vil i flomperioder stenge for inntrenging av flomvann. Normalt er mindre lekkasjer i verket uten betydning ettersom flomperioden har kort varighet. Flomverket kan være kjørbart for anlegg og vedlikehold. Høyden avhenger av flomforhold. Støttefyllingen i flomverket bygges av stedlige masser. Tettingen utføres ved bruk av foliebelagt fiberduk der det ikke finnes stedlige leir-/siltholdige tettematerialer. Flomverkene sikres vanligvis med steinsetting på vannsiden og tilsåing på innsiden. Innenforliggende områder dreneres gjennom flomverket, om nødvendig ved pumpestasjon.

Isgangsverk skal hindre ismasser i å komme utenfor elvefaret under isganger. Verket er ikke tett og slipper vann gjennom. Når isgangsverket legges med et forland, vil is kunne lagres her, slik at det ikke oppstår så stor oppstuving av is lengre nede. Isgangsverk må beskyttes med kraftig steinplastring for å unngå skader under isgang.

Ledevoller er fyllinger som bygges for å lede flomvann i bestemte retninger. Fyllingene vil ikke hindre oversvømmelse av området, men vil imidlertid kunne hindre at vannstrømmen forårsaker erosjonsskader.

Elveløpskorreksjoner.

Utretting og senking har vært vanlige inngrep for å øke kapasiteten på elveløpet og redusere oversvømmelser. Noen ganger også for å senke grunnvannstanden, særlig i jordbruksområder. Utretting av elveløp vil føre med seg større fall og dermed større vannhastigheter, noe som igjen kan føre til erosjon og bunnsenking langs elvestrekninger med eroderbare løsmasser.

Masseavlagringsbasseng.

Masseavlagring i elveløpet fører til at bunnen hever seg, med det resultat at elva kan oversvømme omkringliggende områder. Problemet kan i enkelte tilfeller løses ved at det etableres masseavlagringsbasseng. Et masseavlagringsbasseng lages ved at bunnbredden økes, og sider og bunn flates ut, slik at vannhastigheten blir redusert så mye at massene akkumuleres. Masseavlagringsbassenget kombineres gjerne med en terskel i overgangen fra bassenget til nedenforliggende elveløp.

2.1.3. Landskap og miljø

Elvene er dynamiske systemer som forandrer seg over tid. De graver ofte i yttersvinger og masser legges igjen i innersvinger og der strømforholdene blir roligere. De forskjellige organismer som lever i og ved elva fra planter, insekter, fisk, amfibier til fugler og større pattedyr er tilpasset forholdene. Noen arter kan bare leve i strømutsatte steder med kaldt vann mens andre arter og grupper er tilpasset sakterennende vann. Ikke minst våtmarksområder og flommark inneholder et rikt utvalg av til dels sjeldne planter og dyr som er svært sårbare ovenfor endringer i vannbalansen. Vassdrag er også viktige for friluftsliv, forskning, undervisning og som identitetsskapende elementer i byer og tettsteder.

Ved tiltak i vassdrag er det derfor viktig at inngrepene tilpasses landskapet og elvas egenart. Vassdragets rolle i kulturlandskapet må søkes bevart. Mangfold og variasjon i utforming og linjeføring er viktig både ut fra biologiske og estetiske hensyn. Folks mulighet til bruk av vassdragene til friluftsliv, rekreasjon og undervisning bør opprettholdes og forbedrende tiltak kan i mange tilfeller innarbeides i planer/tiltak.

Erosjonssikring

Ei elv er ofte komplisert i form. Det kan være store variasjoner i linjeføring, bredde og dybde. I ei usikret elv vil disse forandre seg. Når elva sikres mot erosjon, låses den i form. Det er derfor viktig at den form som vi gir elva gjenspeiler det som er naturlig.

Elveskråningene kan være sterkt skadet og forandret av erosjon. I slike tilfeller må man skape et nytt miljø hvor landskapsestetiske kriterier blir viktige ved valg av form og linjeføring på skråningene. Dersom en erosjonssikring strekker seg helt til toppen av en skråning, bør toppen av sikringen avsettes til vegetasjon. Anlegging av vei på toppen av skråningen vil understreke erosjonssikringen på en uheldig måte og kan spolere andre avbøtende tiltak som utforming, beplantning osv. Det er i det siste satt i gang en del prosjekter der miljømessig erosjonssikring, slik som kokosmatter osv. er brukt.

I tillegg til å sikre verdier som dyrka mark, veier, hus, o.l., blir det etter hvert mer vanlig å ta vare på viktige biotoper, landskapstyper og andre elementer som er med på å skape variasjoner i elva som øyer, grusører, m.m. Påkjenningene på slike elementer kan bli større når elvesidene er erosjonssikret.

Flomverk

Flomverk vil ofte framstå som store, markerte og horisontalt stive drag i landskapet og spesielle tiltak bør iverksettes for å dempe den negative visuelle effekten. I tillegg vil det ofte være viktig å minske den fysiske barrieren et flomverk skaper mht. friluftsliv langs elva. Det viktigste er å legge flomverket noe inn på land slik at det kan bevares et forland mot elva. Her kan eksisterende, eventuelt nyetablert vegetasjon hjelpe til med å dempe det negative synsinntrykket av vollen. Det vil også bli enklere med ferdsel langs elva.

Et flomverk bør ikke ha samme avstand til elva hele tiden. Variasjon i bredden på forlandet vil være positivt. Flomverket bør ta hensyn til landskapsformer og andre elementer, f.eks. treklynger o.l. I start og sluttpunktene på flomverket er det viktig med en bevisst utforming. Det beste er om man finner naturlige landskapsformer å forankre flomverket til.

Et flomverk bør så langs som råd følge de dominerende landskapslinjene i elvedalen. Linjeføringen kan være gitt av terrengformasjoner som rygger og terrasser. Ved å følge disse vil man få et mindre massebehov, og det vil bli enklere å tilpasse flomverket til landskapet. Andre dominerende landskapslinjer kan være gitt av arealbruken. Som ved erosjonssikring, er toppen av anlegget visuelt mest utsatt, og bør derfor avsettes til vegetasjon. Evt. veger bør plasseres bak flomverket.

Elveløpskorreksjoner

I utgangspunktet vil det ved elveløpskorreksjoner være eksisterende løpstrasé som skal sikres, kapasitetsmessig eller mot erosjon. Ny trasé vil bare sjelden være aktuelt. Elveløpskorreksjoner ved utretting, gjennomstikk m.m. bør være unntaket og ikke regelen. Hovedregelen bør være at elven skal følge sitt eget, naturlige løp med en myk linjeføring som harmoniserer med resten av vannstrengen, og med områdets spesielle landskapstype(r).

En omlegging av et elveløp vil nesten alltid medføre store endringer i det økologiske bildet. Fjerning av kantskog, uttørring av våtmark, fjerning av kulper m.m. Man bør alltid søke å avbøte disse negative effektene ved tiltak langs/i den nye traseen. Forarbeidene må klarlegge om viktige biotoper for fugl eller fisk blir berørt, og gjennomføringen må ta hensyn til at skader må unngås eller at evt. rehabiliteringstiltak blir innarbeidet.

Elveløpskorreksjoner kan i mange regulerte vassdrag gå ut på å fjerne masseopplegg som har medført heving av elvebunnen og dermed redusert flomkapasitet i elveløpet. Denne form for korreksjoner kan gjennomføres uten større forandringer. Det er imidlertid viktig å beholde et dekksjikt som er tilpasset forholdene på stedet.

2.2 EKSEMPLER PÅ ULIKE FLOMSIKRINGSTILTAK.

I dette avsnittet vil noen ulike flom- og erosjonstiltak med en del typiske eksempler fra utvalgte vassdrag belyses. Disse eksemplene vil også delvis vise de ulike regionale problemtypene og måten å flomsikre på. Vedlegg 1 har mer fullstendige beskrivelser av tiltakene.

2.2.1. Eksempel fra flomverk i Solør, problemer under flommen -95, grunnbrudd og reparasjoner; Flomverk mot Glomma, Flisa-Arneberg bru, Åsnes, Hedmark. Sammendrag.

Under storflommen på Østlandet i juni 1995 ble en rekke flomverk og erosjonssikringstiltak skadet. Ved reparasjoner tas det sikte på å avverge akutt fare for ny eller forverret skadeutvikling i neste og framtidige flommer.

Flomverk mot Glomma, Flisa - Arneberg bru, ligger langs venstre bredd av Glomma mellom Flisa jernbanebru og Arneberg bru ca. 6 km sør for Flisa mellom Elverum og Kongsvinger. Under flommen 1995 brøt flomverket sammen på to steder, og satte hele området innenfor verket under vann. I tilknytning til bruddene i verket ble store mengder sand vasket inn over dyrket mark.

Fig. 2.5. Brudd i flomverket ved Arneberg bru, Åsnes, Hedmark. Flyfoto: FOTONOR AS ©

I tillegg til bruddene i flomverket avdekket flommen i 1995 flere svake punkter langs verket. Det er også planlagt tiltak som har til hensikt å forsterke verket på spesielt utsatte punkter samt en generell utbedring av drenssystemet i bakkant av verket langs deler av traseen.

Det er foretatt prøvetakinger og grunnundersøkelser i tilknytning til bruddene i verket ved Arneberg bru og Flisa jernbanebru. Prøvene fra Flisa jernbanebru viser faktisk en horisontal permeabilitet ca. 10 ganger større enn den vertikale.

Bruddene artet seg som grunnbrudd, og før bruddene i verket skjedde var situasjonen kritisk mhp. grunnbrudd flere steder langs verket.

Det er planlagt reparasjon og forsterkning av flomverket ved bruddene ved Arneberg bru og ved Flisa jernbanebru. Videre omfatter planen en generell forsterkning av flomverket ved utlegging av drens- og filtergrøft langs bakkant av fyllingen, samt tiltak for å forsterke grunnen under verket i lavpunkter.

Ved gjenoppbygging av verket må lekkasjevegen under fyllingen forlenges for å redusere poretrykksgradienten og dermed faren for nytt brudd. Lekkasjevegen forlenges mest effektivt ved å tvinge strømlinjene ned i grunnen. Dette kan utføres ved ramming av spunt eller ved injisering av massene i grunnen. Det er valgt ramming av stålspunt i grunnen langs oppstrøms skråningsfot.

Drensledningen i flomverket har ikke fungert tilfredsstillende under flommen. Drenasje langs luftsiden av flomverket har som formål å redusere faren for oppbygging av høyt poretrykk i bakkant av fyllingen samt å virke som filter for å unngå utvasking av kanaler i grunnen under verket. Utlegging av drens- og filtergrøft langs bakkant av flomverket vil gi økt lekkasje under verkene. Drens- og filtergrøft legges i bakkant av verket. Behovet for filtergrøft er størst ved høye flomfyllinger. Kfr. for øvrig fig. 3.2.

Ved bruddene i flomverket ble svakeste punkt i verket identifisert. Etter oversvømming av områdene innenfor verket ble belastningen på verket eliminert. Ved grunnbrudd som skyldes utvasking og kanaldannelser i grunnen under verkene, vil skadene ikke repareres ved bortfall av trykkgradient i massene. Brudd i flomverkene skjedde typisk i gamle elveleier/evjer. Disse ligger også i lavpunkter langs verkene og har størst belastning. Ut fra dette er det grunn til å frykte at flere slike punkter er kommet langt i bruddutviklingen og kan framstå som svake punkter i verket ved framtidige flommer.

Ved flomoppfylling innenfor flomverket strømmet vann inn via en kanalisert bekk. Bekken renner i en markert forsenking i terrenget. Innstrømming via bekken forårsaket skader på bolig- og driftsbygg i området. Ved bygging av et ca. 150 m langt forsterket sekundærverk vil de bebygde områdene sikres mot oversvømmelse i tilfelle brudd i det ytre verket.

2.2.2. Eksempel fra masseførende sideelv med masseavlagringsbasseng; Frya, Sør-Fron og Ringebu, Oppland. Sammendrag.

Elva Frya har sitt utspring fra Furusjøen i sørvestre del av Rondane, og har samløp med Lågen ved Frya, på grensen mellom Sør-Fron og Ringebu. Elva faller relativt bratt ned fra fjellet, og har ved flom stor masseføring. Under flommen 1995 oppstod det erosjonsskader i sidene og bunnen av elva.
Frya er varig vernet gjennom verneplan II.

Fra ca. 1920 - 1960 er det utført flere forbygnings- og opprensking-/kanaliseringssaker mellom jernbanen og utløpet. På slutten av 1970-tallet ble det gjort en opprensking kombinert med flomfylling ca. 1 km ovenfor E6. Området ligger der Frya får slakere fall, og fungerer som et masseavlagringsbasseng.

Under flommen 1995 ble masseavlagringsbassenget fylt opp med løsmasser. I tillegg oppstod det en del erosjonsskader i sidene og i bunnen av elva. Masseavlagringsbassenget ovenfor E6 fungerte som forutsatt under flommen, og det er i ettertid tatt ut ca. 20.000 m^3 masse.

Dersom disse massene hadde blitt akkumulert i selve elveløpet nedstrøms masseavlagringsbassenget, kunne det hatt store konsekvenser. Frya's elvevifte nedenfor bassenget er opp gjennom tidene bebygd med bl.a. E6, Dovrebanen, meieri, kornsilo, avfallsforbrenningsanlegg, industri og flyplass. Et elveløp fylt med ørmasser kunne ført til oversvømmelse og store skader på disse installasjonene.

I det samme distriktet er det for øvrig mange eksempler på skader etter oppøring av sideelver uten masseavlagringsbasseng.

Fig. 2.6. Frya ved utløpet. Foto: FJELLANGER WIDERØE A/S

2.2.3. Eksempel på flomforhold og bl.a. masseuttak; Gaula, Holtålen, Midtre Gauldal og Melhus, Sør-Trøndelag. Sammendrag.

Gaula i Sør-Trøndelag er et av Midt-Norges største vassdrag. Vassdraget drenerer i øst-vest retning gjennom kommunene Holtålen og Midtre Gauldal, fra Støren drenerer Gaula nordover gjennom Melhus kommune. Deler av vassdraget ligger dessuten i Trondheim, Klæbu, Selbu og Tynset kommuner. Gaula er gitt varig vern mot kraftutbygging gjennom verneplan III.

Gaula er kjent som en typisk flomelv som har liten selvregulering i nedslagsfeltet. Elva kan flomme voldsomt opp på kort tid, samtidig som vannføringen kan bli ekstremt liten i tørkeperioder. Elva er en av de farligste flomelvene vi har her i landet og har gjennom tidene forårsaket store skader. Generelt kan en si at flommene er karakterisert ved rask flomstigning, kort varighet. Dessuten er det lite volum over skadenivå (1400 m^3/s), noe som betyr at det skal til lite magasinvolum for å dempe flomtoppen. Den største flommen så langt dette hundreåret var på 3060 m^3/s.

Gaula er spesiell ved grusuttak i stor målestokk som startet allerede i 50- årene. Fram til 1985 ble det tatt ut ca 4 mill kubikkmeter grus fra elva, derav 1,2 mill kubikkmeter (30%) etter 1980. Virksomheten startet i Gaulas utløp og forflyttet seg oppover vassdraget etter hvert som ressursen ble mer eller mindre borte i vassdragets nedre deler. Etter at 5 års grusuttaksstopp ble innført i 1988, er det ikke tatt ut vesentlige mengder fra elva.

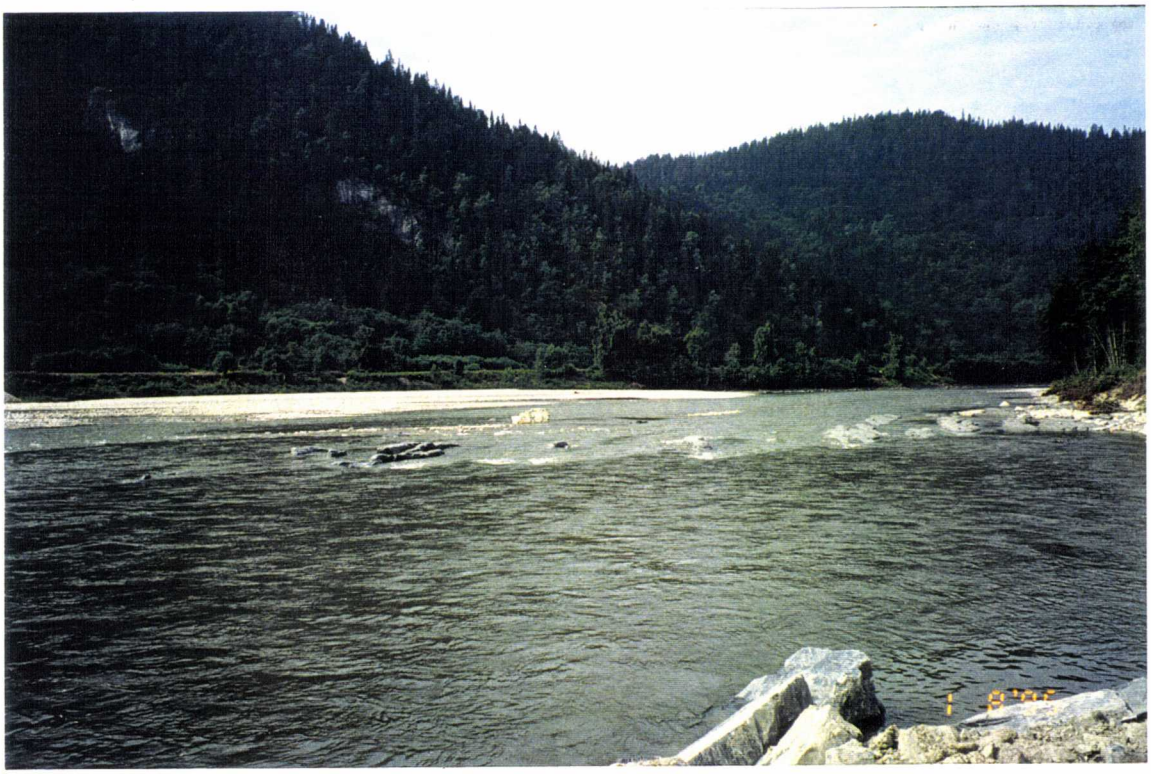


Fig. 2.7. Utvasking av finmasser pga. bunnsenking i Gaula.

De store uttakene har medført en senkning av elvebunnen på mer enn 1 m i gjennomsnitt på strekningen mellom Gaulfossen og Gaulosen. I 10 årsperioden 1977-87 var grustilførselen i gjennomsnitt mindre enn 5 % av uttaket. Grustransporten i vassdraget skjer i løpet av korte tidsperioder med stor vannføring som under vårflommen i 95. Flomtoppene, som opptrer i relativt kort tid, står for en vesentlig del av grustransporten

De negative følgene av bunnsenkningen er en mere finkornet elvebunn, undergravde brukar og forbygninger og mye blottlagt leire i elvebunn og elvekant. Bunnsenkningen bidrar til å redusere flomvannstandene i nedre del av elva og dermed skadene som følge av oversvømmelse.

I forbindelse med flommen i 1995, som hadde en maksimal vannføring på ca 1470 m^3/s, var erosjonsskadene dominerende. Betydelig graving finner sted flere steder i elva. Flommen har fjernet dekksjiktet i elvebunnen og blottlagt leira på mange steder. Elva har også senket seg i flere svinger med undergravde forbygninger som resultat. Store masseforflytninger har skjedd. Dessuten har hovedløp/djupål forflyttet seg sidevegs. Elvas naturlige erosjonshud er mange steder svært tynn og stedvis helt borte. Andre plasser er det dannet store grusører.

Erfaringer fra 95-flommen viser at masseforflytninger i elveløpet på denne strekningen har medført et betydelig skadeomfang i form av erosjon i bunn og side og blottlegging av leire.

2.2.4. Døme på arealbruk, flaumsikring og flaumproblema i regulert, masseførande vassdrag; Daleelva, Høyanger, Sogn og Fjordane. Samandrag.

Dette er eit typisk døme der det blir tatt sjansar ved utbygging langs med flaumutsette areal.

Flaumproblema knytte til Daleelva og utbyggingen i Høyanger tettstad, er problem som er vanlege på Vestlandet i fjordbotnar og dalfører der ein frå fjellsidene er truga av steinsprang og skred og i dalbotnen av flaum frå elvane.

Tettstadutbygginga i Høyanger har i over 100 år stadig kravd sikringstiltak mot Daleelv og Hålandselv etter kvart som utnytting og utbygging av areala har skride fram.

Fig. 2.8. Daleelv. Ustabilt og uryddig elveløp med stor masseflytting.

Vassdraget er og eit døme på dei problem som kan oppstå med omsyn til avlagring av masse i elvefar ved regulering av vassdrag. Ved Øvre Dale vart det ved siste terskelutbygginga bygt eit masseavlagringsbasseng. Dette fungerer bra ved mindre vassføringar og flaumar, men ved flaumar som den i 1971 er det tvilsamt om avlagringsbassenget vil ha særleg effekt.

Det bør stillast spørsmål om ikkje så store verdiar som er plassert i området, bør sikrast betre. Slik situasjonen er i dag, ser tilhøva ut til å vere nokolunde trygge ved meir vanlege flaumar. Flaumfaren ser ikkje ut til å ha redusert utbygginga og utnyttinga av areala frå Øvre Dale og nedetter. Ein vil her nemne auka bustad- og industriutbygging. Dersom Daleelva skulle bryte seg gjennom forbyggingane ved Øvre Dale, er vel i realiteten alt som er bygt ut frå Øvre Dale til Hålandselva truga.

Med dei verdiar som nå ligg i dette området, vil aktuelle tiltak vere å sjå nærare på kva som vil hende dersom det oppstår brot i elveforbyggingen ved øvre Dala. Ein må då sjå på tilhøva kring den ekstra sikringa som skal vere ovanfor øvre del av busetnaden og sjå på kva som kan betrast for å få flaumløpet til å fungere dersom det oppstår kritiske situasjonar.
Med det fall Daleelva har og dei usikre tilhøve det er med omsyn til snøskred, jordras og masseføring, må sikringstiltak ved hjelp av forbyggingar utførast med så grov stein som mogleg. Med det utstyr som er tilgjengeleg i dag, skulle det vere mogleg å styrke eksisterande anlegg ytterlegare.

Av andre tiltak med omsyn til å betre tryggleiken, bør rutinane med tilsyn, vedlikehald og oppfølging gåast gjennom. Utbyggingsplanar, der det kan tenkjast å vere flaumfare, må i større grad leggast fram for NVE før planane er vedtekne. Røynsle frå Siplo, ei sideelv til Hålandselva, viser at nye bustader vert bygd utan at flaum og rasfare kan ha blitt vurdert.

2.2.5. Døme på masseførande Vestlandsvassdrag som delvis er sjølvregulerande. Arealbruk og press ved utbyggingar; Jolstra, Førde og Jolster, Sogn og Fjordane. Samandrag.

Jølstravassdraget ligg i eit nedbørsrikt distrikt. Elvane innan dei ulike delfelt representerer det meste av dei type elvar ein finn på Vestlandet. Det er masseførande elvar påverka av isbrear, bre som kalvar i vatn med påfølgjande flaum (Vidunderdalsvatn og Sægrova ved Sægrov), elvar som er sjølvregulerte på grunn av sjøareal innan feltet og elvar utan sjøareal som kan få stor flaumføring.

Elveavsnittet i nærområda til Førde tettstad og gjennom Førde sentrum, er eit døme på dei problem ein møter med omsyn på flaumkapasitet til elvefaret, disponering av dei elvenære områda, erosjon og flaumfare og planlegging av tiltak for å møte komande flaumar i eit område under sterk utbygging.

Fig. 2.9. Førde tettstad med Jølstra og Anga.

Det har blitt utført sikringstiltak mot erosjon og flaum i dei aller fleste sidevassdrag kring Jølstravatnet. I ein del mindre bekker og grøver er det gjort sikringstiltak. I Holsavassdraget er det gjort ein del erosjonssikring og tiltak mot flaum. Elva Anga vart i 50-åra kanalisert og forbygd over lengre strekningar. I Jølstra er det utført forbyggingstiltak ved Mo.

På strekninga Brulandsfossen - sjøen, det vil seie strekninga nær opp til Førde tettstad og gjennom denne, vart det tidleg på 1900-talet utført erosjonssikring langs elvebreiddene til Jølstra over lange strekningar. Etter flaumen i 1971 vart det utetter i 70-åra forbygt ytterlegare nokre strekningar som ikkje var sikra før. I tillegg har det av private blitt oppfylt og sikra industriområder som støyter til Jølstra. Nedre del av Anga vart forbygd sist på 80-talet.

Forbyggingstiltaka som vart gjort tidleg på 1900 talet, har medført at Jølstra etter den tid og fram til no, har hatt etter måten stabilt elvefar utan større endringar. Dei gamle forbyggingane har stått godt med lite vedlikehald.

Etter nokre større flaumar frå 1983 og utetter har det einskilde stader oppstått erosjon og brot i elvebredda. Mellom anna var noko av busetnaden i Førde sentrum truga etter flaumen i 1983. Ein del søknader om sikringstiltak, tyder også på at problema langs elva aukar.
Frå midten på 60-talet, har Førde tettstad vakse svært. Den raske utbygginga har medført auka press på areala langs Jølstra til utbyggingsføremål. Land der elva før stod utover i flaum er no oppfylte og brukte til utbygging. Det vert stadig lagt fram nye arealplanar, reguleringsplanar og vegplanar, som i større og mindre grad vil virke inn på dei elvenære areal og på lengre sikt verke inn på straumtilhøva og elvefaret. Truleg vil framhaldande utbygging medføre krav om nye sikringstiltak mot flaum.

Naudsynte tiltak frametter må bli å få handsama dei søknadene om sikringstiltak som ligg føre. Det er avgjerande at det ikkje oppstår større brot og erosjon i elvebreiddene. Får elva tak i breidda og grev seg inn under dei høge elvebardane ved Bruland, kan det medføre ras ut i Jølstra. Det kan få følgjer nedstraums.

Eit anna tiltak må bli at det vert gjort mogleg for NVE å påverke arealplanar og utbyggingsplanar på ein slik måte at elva også i framtida får nok plass gjennom bygda. Like eins at det vert sett av areal og gjort mogleg for tilkomst om det skulle oppstå situasjonar som krev ytterlegare sikringstiltak. Eit flaumsonekart med faregrense for ulik utbygging vil kunne vere til god hjelp. Nyleg utført bustadbygging langs elva Anga syner at det ikkje er teke nok omsyn til flaum og isgang.

2.3. KONSEKVENSER FOR SELVREGULERENDE EVNE.

Ved bygging av flomverk vil den selvregulerende virkning kunne bli redusert som følge av at flomvann ikke lenger oversvømmer elveslettene. Ved at mindre vann magasineres på elveslettene, kan vi få raskere stigning av flommen og en tilsvarende raskere synking. I tillegg vil selve flomtoppen nå et høyere nivå enn tidligere.

Et arbeidsutvalg (Storsjøutvalget) som skulle se på mulighetene for bedring av flomforholdene langs Glomma mellom Funnefoss og Skarnes, langs Oppstadåa og rundt Storsjøen; har vurdert nedstrøms virkninger av flomverkene i Solør. Utvalgets resultater er presentert i Publikasjon nr. 1, 1994 fra NVE.
Utvalget har beregnet at de store flomsikringsanleggene NVE har bygget i Åsnes, Grue og Kongsvinger maksimalt stenger ute ca. 67,4 millioner m^3 vann. Noe av dette volumet vil i flomperiodene bli brukt til magasinering av vann fra lokalfeltet, samt evt. innslipping/lekkasje fra Glomma.

Storsjøutvalget kom til at virkningen på flomforløpet nedstrøms vil variere med hvordan flomforløpet er i det enkelte år. Størst virkning får en ved flommer som har rask stigning fra en allerede høy vannstand, mens en ved langvarige flommer uten markerte topper får tilnærmet ingen virkning. Forløpet for fem flommer ved Elverum Vannmerke (VM) er vist i tabell på neste side.

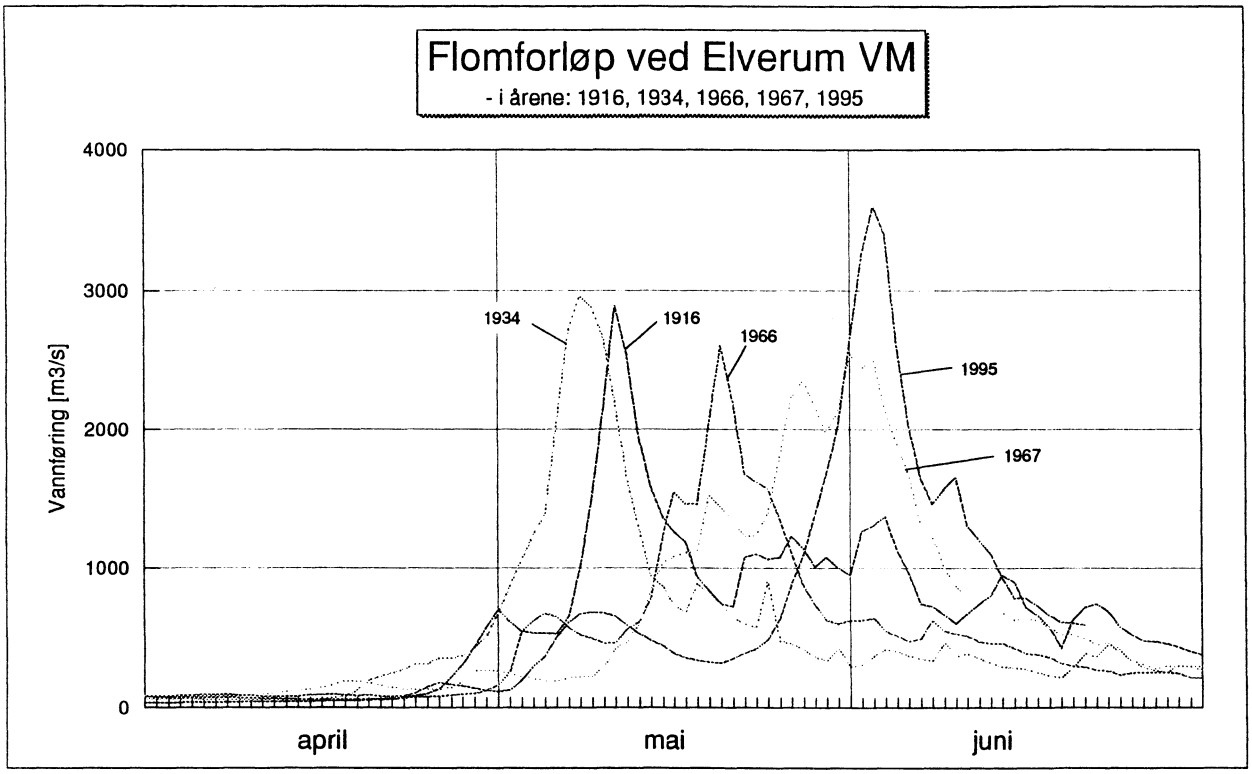


Fig. 2.10. Flomforløp for Elverum VM 1916, 1934, 1966, 1967 og 1995.

For beregning av virkningen av flomverkene, ble strekningen mellom Flisa og Skarnes delt opp i 3 parseller, som hver betraktes som et magasin (innsjø). Magasinene representerer henholdsvis strekningen Elverum - Norsfoss (Nor VM), Norsfoss - Kongsvinger (Nors bru VM) og Kongsvinger - Skarnes (Skarnes VM).

Utvalget utførte beregninger for 3 ulike flomforløp, 1966, 1967 og 1982. Flommen i 1982 representerer ca. en middelflom med «normalt» forløp. Flommene i 1966 og 1967 har gjentaksintervall i størrelsesorden 50-100 år avhengig av hvor i vassdraget en foretar analysen. De hadde nær samme kulminasjonsvannstand i Solør, men flommen i 1966 hadde en raskere stigning enn flommen i 1967.

I tabell på neste side er vist virkningen av flomverkene på de tre aktuelle stedene i vassdraget, Nor VM, Nors bru VM og Skarnes VM. I tabellen framgår vannføring og vannstand på de respektive vannmerkene for tilstanden uten flomverk («naturtilstand») og med flomverk. Vannstandsendringen på kulminasjonstidspunktet, som følge av flomverkene, er også vist.

Tabell.
Beregnede vannstandsendringer ved flomkulminasjon før og etter bygging av flomverk i Solør.

Sted/Vannmerke	Flom 1966	Flom 1967	Flom 1982
Nor (Solør)	+ 0.08 m	+ 0.01 m	+0.03 m
Nors bru (Kongsv.)	+ 0.10 m	+ 0.02 m	+ 0.02 m
Skarnes	+ 0.05 m	+ 0.03 m	+ 0.01 m

Et eksempel på hvordan virkningen på flomforløpet arter seg, er vist i figur 2.11. Her er framstilt resultatet av routingberegning for 1966-flommen ved Skarnes VM, med og uten flomverk i Solør.

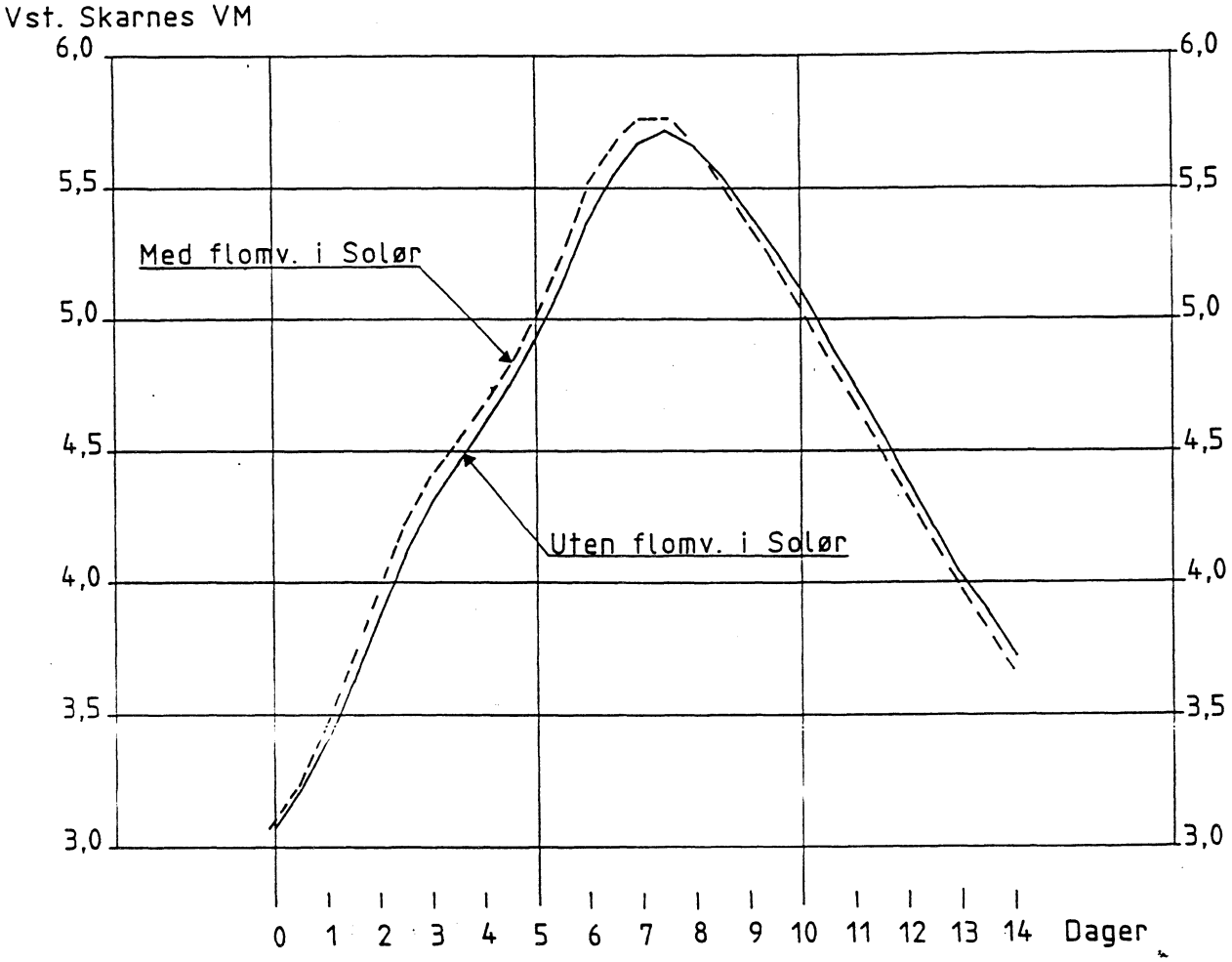


Fig. 2.11. Flomforløp i Glomma ved Skarnes VM, 1966 flom, med- og uten flomverk i Solør.

Som ovenstående tabell/figurer viser, kom Storsjøutvalget til at nedstrøms konsekvenser av flomverkene i Solør var beskjedne 3 cm ved flommer med «flatt» forløp. For flommer med «spissere» forløp var nedstrøms virkning en økning i vannstanden på inntil 10 cm. Det viser seg ellers at flomtoppen vil inntreffe noe tidligere nedstrøms.

En senking av elveløpet kan i prinsippet ha samme effekter som flomverk. Erosjonssikring har imidlertid ikke merkbare nedstrøms effekter.

3. *FORBEDRING AV FLOMSIKRINGSTILTAK.*

3.0 Innledning.

Flommen 1995 var større enn de fleste flomsikringstiltakene var dimensjonert for. Til tross for det, viser delutredning 5.1 at størstedelen av tiltakene fungerte som forutsatt uten alt for store skader. Erfaringene fra flommen viser imidlertid at en del kunne vært gjort annerledes. Vi skal i dette kapittelet ta for oss noen punkter som kan gjøres bedre. Dette gjelder både erosjonssikring, flomsikring/flomverk, bruken av flomsonekart, samt landskap- og miljø.

3.1 Erosjonssikring.

3.1.1 Erosjonssikringsanlegg.

Det er registrert lite omfang av skader på erosjonssikringsanlegg utført som skråningsbeskyttelse. Av totalt 400 km beskyttet lengde, må kun 20 km repareres eller forsterkes. Det utgjør bare 5 % , og betyr at erosjonssikringsarbeider gjennomgående utføres solid og med egnede materialer.

Registrerte skader er stort sett avgrenset til elveskråningen. Det er bare beskjedne skader på bakenforliggende arealer som kan tilbakeføres til brudd i skråningsbeskyttelsen.

Der skader har oppstått, har disse med få unntak sin årsak i undergraving i skråningsfoten. Ett forbedringspunkt vil derfor være mer solid fundamentering av skråningsbeskyttelsen. Fundamentering min. 1 m under elvebunnen vil være en tilfredsstillende forsterkning i forhold til nåværende praksis. Alternativt vil sikringen kunne legges 2 - 3 m horisontalt ut fra skråningsfoten. Det vil alltid være aktuelt når arbeidet utføres fra utlagt fylling i foten av skråningen.

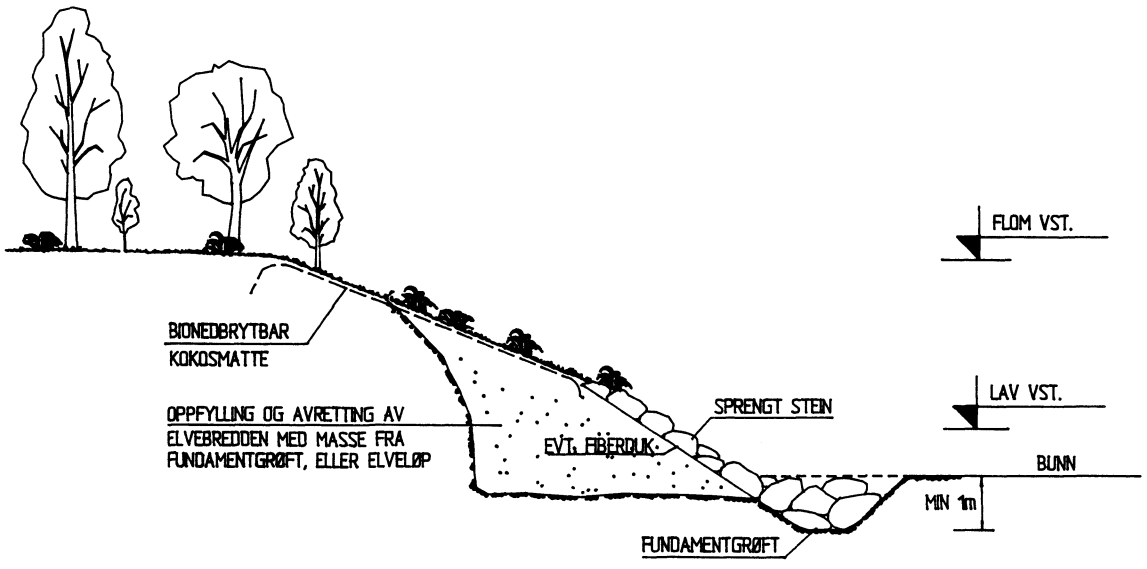


Fig. 3.1. Erosjonssikring prinsippskisse.

Det er ellers ikke registrert svakheter som skulle tilsi endringer i dimensjoneringsgrunnlaget for stabil erosjonssikring ved bruk av stein. Befaringsrapporter etter flommen antyder imidlertid at steinstørrelsen på enkelte anlegg i sidevassdragene kunne vært større, mens steinstørrelsen på anlegg i hovedvassdrag kan synes unødig stor.

Forbedringer på dette området vil være å kunne forutsi hvilke endringer som kan tenkes å oppstå hva angår strømkrefter, og hvordan det bør påvirke prosjektering og utførelse.

Forbedrede rutiner for tilsyn og vedlikehold ville trolig i noen grad ha redusert skadene. Dette fordi bedre oppfølging vil gi muligheter for å forsterke anlegg i forhold til endringer i elveløpet. Særlig aktuelt vil det være i forbindelse med sedimenttransport og ørdannelser som kan forårsake tverrstrømmer og økt erosjonspåkjenning på nye treffpunkter for vannstrømmen.

Framtidige alternative materialer i erosjonssikringsanlegg kan være bionedbrytbare materialer som matter, i kombinasjon med hurtig etablering av vegetasjon ved bruk av stiklinger og rotkraftige grasarter. Mattene vil holde på fuktigheten og beskytte jordskråningen mot erosjon, inntil ny vegetasjon er tilstrekkelig utviklet til å tåle påkjenningen fra vannstrømmen. Det forutsettes at foten av elveskråningen er erosjonssikret og solid fundamentert med stein.

3.1.2 Erosjonsikring og konstruksjoner i vassdrag

Det er spesielt i sidevassdragene registrert en del skader på private og kommunale bruer og andre konstruksjoner.

Typisk for flere av bruene, er at de i varierende grad innsnevrer elveløpet og dermed er årsak til viss lokal økning av vannhastigheten. Hastighetsøkningen medfører ofte at erosjon i elvebunnen starter umiddelbart nedstrøms brua og utvikler seg oppstrøms til landkar og evt. pillarer. Fundamenteringsdybden og erosjonssikringen rundt landkarene og evt. pillarene avgjør om bunnerosjonen medfører skader på brua.

Generelt vil et tiltak som innsnevrer elveløpet alltid medføre en viss oppstuvning og økte erosjonskrefter i elveløpet.

Andre konstruksjoner som er spesielt utsatt for erosjonsskader er rør- og kulvertutløp, glatte forstøtningsmuren, terskler, o.l.

3.2. Flomsikring.

Delutredning 5.1 viser at det er skader på 23 flomverk, med en anslått reparasjonskostnad på ca. 31 mill. Kr. Dette utgjør ca. 40 % av alle flomverkanlegg i Glomma , Lågen og Trysilelva.

3.2.1 Tetting og drenering av flomverk.

Flommen 1995 viste at mange av bruddene i flomverkene artet seg som hydrauliske grunnbrudd i lavpunkter/gamle elveløp. Mange flomverk fikk imidlertid også store skader pga. overtopping. Hydraulisk grunnbrudd utvikler seg i lagdelte masser, der fingraderte masser ligger over grovere masser, og der vanntrykk får bygge seg opp i grunnen pga. større horisontal enn vertikal permeabilitet.

For å hindre slik oppbygging av poreovertrykk i grunnen, er det viktig at lekkasjevegen under flomverkene forlenges. Lekkasjevegen forlenges mest effektivt ved å tvinge strømlinjene dypere ned i grunnen. Dette kan utføres ved ramming av spunt, ved injisering av massene i grunnen, eller ved begrensede dybder; bruk av foliebelagt fiberduk evt. masseutskifting under flomverket. Til spunt benyttes enten tradisjonell stålspunt, spunt i korrosjonsbeskyttet stål; eller plastspunt som er brukt en del i utlandet.

For at tetting av grunnen under flomverkene skal bli mest effektiv, er det viktig at den skjøtes sammen med tetningen i selve flomfyllingen. Slik tetning er ofte utført med foliebelagt fiberduk.

Erfaringer fra flommen -95 viser ellers at drensledningene i bakkant av flomverkene heller ikke har fungert tilfredsstillende. Drenasje langs luftsiden av flomverkene har som formål å redusere faren for oppbygging av poreovertrykk i bakkant av fyllingen, samt å virke som filter for å unngå utvasking av kanaler i grunnen under verket. En drens- og filtergrøft langs bakkant av flomverkene vil imidlertid føre til økt lekkasje under flom.

Drens- og filtergrøft vil være mest påkrevet ved høye flomfyllinger, og utføres ved graving av en ca. 2 m dyp grøft langs bakkant av støttefyllingen. Grøfta kles med filterduk, og fylles med pukk.

Ved framtidige, større flomverksprosjekter bør det derfor foretas grunnundersøkelser for å lokalisere evt. soner med lagdelte masser med stor horisontal gradient, og fare for hydraulisk grunnbrudd. I situasjoner der det avdekkes slike vilkår, må det utføres grundige strømningsanalyser for å sikre en mest mulig effektiv tetting av undergrunnen, og drenering i bakkant av fyllingene. Det kan også være aktuelt med en gjennomgang av enkelte eksisterende flomverk.

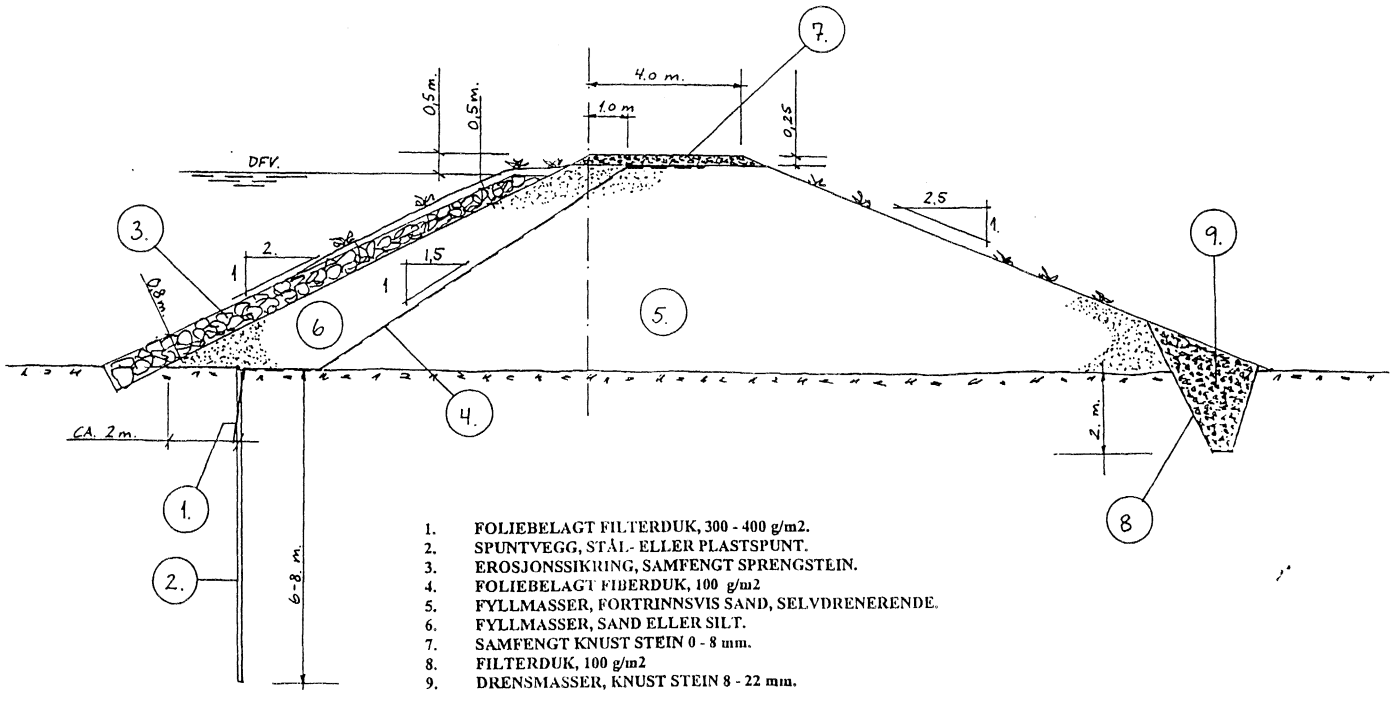


Fig. 3.2. Tetting og drenering av flomverk. Prinsipp for reparasjonspunkter. Tegning fra NGI.

3.2.2 Bakvann i forbindelse med flomverk.

Bakvann er stillestående vann som tillates å komme inn og oversvømme arealer bak flomverket. Det blir mindre skader når et areal med bakvann oversvømmes, enn om vannet strømmer over arealet ovenifra, f.eks. som følge av overtopping.

Flomverket må ha større sikkerhetsmargin i forhold til flomlinja øverst enn nederst. Det innebærer overstrømming ved nedre ende før det evt. renner over ved øvre.

Det er nødvendig i hvert enkelt tilfelle å foreta overstrømningsanalyser for å finne det faktiske forhold mellom bakvann og overstrømning. I første omgang bør en analysere de flomverk, der brudd førte til store skader på dyrka mark.

Det er hovedsaklig på landbruksarealer det er aktuelt å la bakvann ved store flommer oversvømme de beskyttede landområdene.

Fig. 3.3 Bakvann under flommen -95. Flomverk mot Glomma ved Rena, Åmot, Hedmark. Flyfoto: FOTONOR AS ©

Fig. 3.4. Samme flomverk ca. 1 mnd. etter flommen.
Bakvannet har medført avlingsskade, men ikke erosjonsskade.

3.2.3 Bruk av flomsonekart.

Forløperen for flomsonekart er vassdragsnivellement som angir flomlinjer langs vassdragene basert på historisk store, kjente flommer.

Det flomsonekartarbeidet som drives i dag, har grunnlag i statistiske gjentaksintervall og EDB-baserte vannlinjeberegninger. Når vi snakker om flomsonekart, tenker vi altså ikke bare på enkle flomlinjer, men flomsituasjoner knyttet opp mot forskjellige gjentaksintervall; samt kjente historiske flommer.

Et flomsonekart gir opplysninger om områder utsatt for oversvømmelse. Et område som kan være truet av erosjon vil ikke uten videre framgå fra flomsonekartet. Dersom flomsonekartet skal brukes til arealplanlegging og evt. båndlegging av arealer, krever det visse tilleggsopplysninger/lokalkunnskap.

For lokalisering av aktuelle flomverksprosjekter kan imidlertid flomsonekart være et godt hjelpemiddel. De kan brukes til å finne fram til de prosjektene som har best nytte/kostforhold. For å beregne nytte (risikoreduksjon) med rimelig nøyaktighet ved bygging av flomverk, er en avhengig av de opplysninger som flomsonekartene gir.

Under utarbeidelsen av flomsonekart behøves hydrauliske modeller. Disse kan også benyttes til å beregne effektene av inngrep som f.eks. bygging av flomverk.

3.2.4 Kontrollert masseavlagring.

Det viser seg at i mange masseførende vassdrag skjer oversvømmelse ofte som en følge av masseavlagring og bunnheving i selve elveløpet. En slik oppøring av masser kan reduseres ved bygging av masseavlagringsbasseng oppstrøms de områdene som er utsatt for oversvømmelse.

I forbindelse med opprensking og flomsikring/senking av masseførende vassdrag kan derfor bygging av egne masseavlagringsbassenger være et effektivt tiltak. Det må være en forutsetning at bassenget tømmes for masse etter fastlagte retningslinjer.

I tillegg bør det etableres bedre rutiner mhp. opprensking av avlagrede masser i vassdrag generelt. Altså uavhengig av egne masseavlagringsbassenger.

3.3. Landskap og miljø.

3.3.1 Vegetasjon.

En vet at vegetasjon i forbindelse med erosjon- og flomsikringsanlegg har en høy estetisk verdi og at det er en nødvendighet for det biologiske mangfoldet. Flommen viste at vegetasjon også kan styrke og beskytte selve flomsikringsanleggene, i tillegg til å hindre overflateerosjon på bakenforliggende arealer (se delutredning 5.1). Økt bevissthet rundt bevaring og styrking av kantvegetasjon, og etablering av ny-, i forbindelse med flom- og erosjonssikring, er derfor viktige forbedringspunkter.

Bevaring og styrking av kantvegetasjon.
Langs vassdragene vil det vanligvis være en kantvegetasjon som er tilpasset de spesielle økologiske forholdene inntil vassdraget. Plantene som utgjør kantvegetasjonen vil variere med de klimatiske, topografiske og jordbunnmessige forholdene, og ikke minst med flomforholdene. Vassdrag med kantvegetasjon er viktige trekk i landskapsbildet, og en sammenhengende kantvegetasjon kan tjene som lebelte , trekkvei, næring og skjul for dyreliv både til lands og vanns. Kantvegetasjonen virker videre som sedimentfelle og tar opp næring som ellers vil renne ut i vassdraget og er på denne måten med på å redusere forurensningen av vassdraget.

Ved planlegging og utføring av tiltak i og langs vassdrag er det derfor viktig at en tar vare på mest mulig av den naturlig vegetasjonen langs vassdraget. Oppbygging av ny kantvegetasjon kan gjøres, men tar lang tid og gir som regel en dårligere og dyrere løsning enn å ta vare den opprinnelige vegetasjonen. Samtidig bør ikke kantvegetasjonen fjernes eller forringes senere som følge av utbygging, dyrking e.l.

Ved plassering av et flomsikringsanlegg, må det avklares hvilke arealer som primært må sikres, og hvilke som kan tåle en flom. Elvekorridoren har vært under hardt press med tanke på landbruk, industri, veger m.m. Det har vært sterke interesser for å plassere flomsikringsanleggene ut i- eller nær elva for å frigjøre areal. En grunnregel bør være at anlegget plasseres inntil det som skal sikres mot flom, og at forlandet bevares.

Ved å trekke flomverkene tilbake fra elvekanten, kan vegetasjon nær elva bli spart. Erosjonsikringen og tildekkingsmassene kan mange steder legges opp i elvemelen fra elvesiden.

På erosjonsutsatte steder kan styrking av eksisterende kantvegetasjon være en fordel. Utvidelse av vegetasjonssonen der beltene er smale, samt skjøtsel for å framelske ønskelige treslag og styrke bunndekket, kan være aktuelle metoder. Likeledes er det viktig å fjerne vegetasjon som kan skade skråninger og anlegg ved rotvelte o.l.

Fig. 3.5. **Overtopping av flomverk. God vegetasjon har hindret større skader. Glomma ved Prestøya, Elverum, Hedmark.**

Etablering av ny vegetasjon.
Erosjonssikring kan og bør kombineres med vegetasjon. Trær i god vekst er den vegetasjonsformen som gir best vern mot erosjon pga. dyptgående rotsystem som gir god stabilitet. Trær som setter rot- og stubbeskudd er fordelaktig. Salix-arter som selje, pil og vier, samt gråor og til dels rogn, er spesielt egnet til å gi en hurtig stabilisering. Gras og annen vegetasjon med liten stivhet er strømningsmessig glatt og gir liten motstand, og beskytter godt mot erosjon der vegetasjonen danner en tett matte.

Enkelte steder kan det være vanskelig å få vegetasjon til å etablere seg pga. grunnforhold, hyppige flommer o.a. På slike utsatte steder kan bruk av fiberduk, vekstmatter eller ulike typer nett være et alternativ. Fiberduk, vekstmatter, geonett etc. må anvendes sammen med vegetasjon. Noen må mettes/tildekkes med jord mens andre bare skal tilsås. De kan greit anvendes sammen med både gras- og busketableringer. Fiberduk og vekstmatter gir jevne overflater og skråninger, men skråningsvinklene kan variere noe. Denne form for eosjonssikring kan også kombineres med stein, f. eks. stein i foten og duk/matte øverst i skråningen. Fiberduk, vekstmatter, geonett, etc. kan anvendes som armering for å hindre utvasking av jord og småplanter på de mest utsatte plassene i en skråning.

Disse alternative sikringsmetodene minsker bruken av sprengstein og fremmer hurtig vegetasjonetablering i sikringssonen. De har klare økologiske fordeler og vil i mange tilfeller være å foretrekke ut fra estetiske hensyn.

Videre forskningsbehov.
Det er behov for videre forskning og utprøving av metoder for mer miljømessig flom- og erosjonssikringer. Alternativ materialbruk og metoder for bedre vegetasjonsetablering må utprøves i ulike vassdragstyper, under ulike klimaforhold, forskjellige steder rundt omkring i landet, slik at vi kan komme fram til metoder egnet for de ulike regionale forhold.

4. *DIMENSJONERING AV FLOMSIKRINGSTILTAK.*

4.1. Innledning.

Flomsikringstiltak består av elementer som har vært bygget for å tåle ulike flommer. Generelt kan en si at erosjonssikring er dimensjonert for største påkjenning. Flomverk som skal sikre viktige veger og bebyggelse er ofte dimensjonert for 100-års flom, mens flomverk/senkninger som skal beskytte landbruksarealer og mindre viktige veger etc. som regel er bygget for å tåle en 30-50-års flom.

Flomverk som skal sikre bygninger og infrastruktur, er ofte dimensjonert for den største, kjente flommen dette hundreåret (ca. 100-års flom). De er for det meste plassert ute på elvekanten. Det finnes imidlertid eksempler på at flomverk er bygget inne på høyere land, nærmere de installasjoner de skal beskytte.

4.2. Ulike dimensjoneringsnivåer.

Det kan være flere måter å definere de ulike beskyttelsesnivåene. Faktorer som vil ha innvirkning på den vurderingen er bl.a.

- Verdier av det beskyttede objektet.
  For eksempel vil beiteland ha langt lavere økonomisk verdi enn boligbebyggelse sett fra et flomsikringssynspunkt.

- Faremomentet under en flom.
  Evakuering av mennesker og verdier kan sette redningsmannskapenes liv i fare. Faren for at elva kan grave seg nytt løp, og flomvannets hastighet er aktuelle faktorer her.

- Virkningen av større flommer enn den det er dimensjonert for.
  F.eks. erosjonsskader på bakenforliggende arealer etter overtopping av flomverk.

- «Passiv beskyttelse» f.eks. restriksjoner på arealbruk bak flomsikringen.
  Skadene vil bli større ved en oversvømmelse dersom det flomsikrede areal er bebygget i ettertid.

- Virkningen av flomsikringen utenfor det flomsikrede området. F.eks. nedstrøms effekter eller oppstuving.

- Nytte-/kost-verdi for det enkelte flomsikringstiltak.

Jaeggi og Zarn ved Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology ved Swiss Federal Institute of Technology har delt dimensjoneringsnivåene for flomsikring inn i 6 trinn, avhengig av bl.a. hvor viktige - og hvilken verdi de beskyttede objektene har. En viktig faktor i deres oppstilling er forskjellen mellom moderat og ekstrem oversvømmelse. Enkelt sagt er det to parametere som er avgjørende for dette skillet, vannhastighet og vanndybde. Oversvømmelse

ved vannstand over 1,5 m, med vannhastigheter over 1,5 m/s, eller en kombinasjon av lavere vannstand og hastighet defineres som ekstrem.

Dersom sveitsisk- sammenlignes med norsk dimensjoneringspraksis, har nok vi hittil brukt færre nivåer, men prinsippene for dimensjonering er grovt sett sammenfallende.

Det kan også trekkes paralleller til klassifisering av dammer, gitt i "Forskrifter for dammer". Dammer blir bl.a. klassifisert i 3 klasser basert på bruddkonsekvenser, der strengeste klasse 1, vil bety skade på over 20 bygninger, klasse 2 skade på under 20 bygninger, og klasse 3 ingen skade på bygninger.

Det kan tenkes en tilsvarende inndeling for flomverk. En må imidlertid ha i tankene at flomverkene kun står under vanntrykk i kortere perioder.

4.3. Framtidige dimensjoneringsnivåer.

Erfaringene fra flommen 1995, spesielt problemene i bebygde områder, har ført til at de gamle dimensjoneringskriteriene bør revurderes. Flomsikringsanlegg som beskytter store verdier bør dimensjoneres for større flommer, og det er mye som taler for at anleggene bør dimensjoneres for flommer med gjentaksintervall 200 - 500 år.

Det er langt bedre og sikrere å dimensjonere flomsikringstiltakene for en 200-års flom i utgangspunktet, enn at de blir forhøyet midt under en flom av velvillige mennesker uten den nødvendige tekniske kunnskap. Slike tiltak i flomsituasjoner kan ofte påføre flomsikringstiltakene større belastninger (vanntrykk) enn det de i utgangspunktet er dimensjonert og bygget for.

Prinsipielt kan flomverk vurderes bygget i to nivåer, med et ytre verk ute ved elva for å beskytte dyrket mark, og med et høyere indre flomverk for å sikre f.eks. boligområder. Det ytre flomverket kan da dimensjoneres for f.eks. en 30 - 50-års flom, og det indre for en 200 - 500-års flom.

Disse dimensjoneringskriteriene må vurderes grundigere for å sikre forsvarlige investeringer.

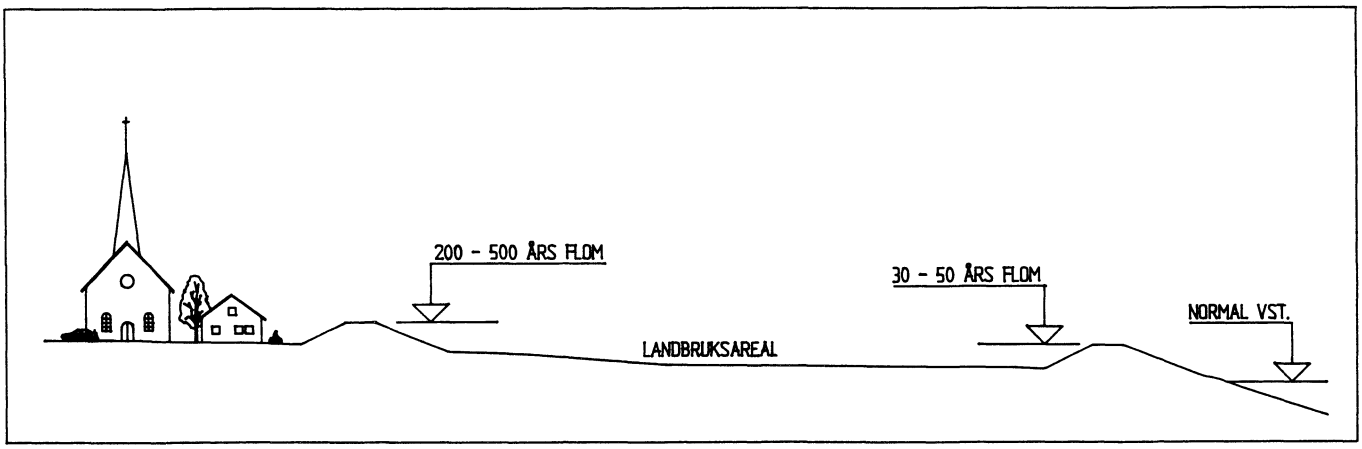


Fig. 4.1. Prinsipp for ytre- og indre flomverk.

4.4 Nytte/Kostnadsbetraktning.

En nytte-/kostnadsberegning utføres for å vurdere ulike investeringstiltak.

Generelt.

Flomdempingstiltak i form av reguleringsmagasiner vil bidra til å redusere flomvannstanden i de nedenforliggende deler av vassdraget, og dermed redusere sannsynligheten for skader. Ved aktiv bruk av reguleringsmagasiner reduseres altså hyppigheten av skadeflommene.

Et flomsikringstiltak i form av flomverk vil eliminere flomskader på områdene innenfor så lenge flomverket ikke blir ødelagt eller overtoppet. Dette vil skje når dimensjonerende flom overskrides. Flomverk gir en liten innvirkning på flomhyppigheten, **gjentaksintervallet**, men gir en direkte reduksjon av skadeomfanget, ved at flommen som vil gjøre skade bak flomverket opptrer sjeldnere.

Kostnadene ved flomsikringstiltak ligger i investering, vedlikehold og drift. Ved aktiv bruk av eksisterende kraftverksmagasiner til flomdemping, ligger kostnadene i redusert kraftproduksjon og/eller en større andel sommerkraft.

Beregningsmetodikken for nytte er altså noe forskjellig avhengig av om det er flomsikrings- eller flomdempingstiltak. En viktig parameter i kost-/nytteanalysen er imidlertid flommens **gjentaksintervall**. Enkelt sagt er nytten en kapitalisering av den årlige risikoreduksjon basert på gjentaksintervallet.

Den økonomiske gevinsten som ligger i flomsikringstiltak, er forventet reduksjon i flomskader som følge av tiltakene, risikoreduksjonen. I tillegg kommer en rekke ikke-kvantifiserbare forhold, som angst og ubehag. I praksis er det svært tidkrevende å foreta gode beregninger for dette .

Erfaringsmessig vil også arealer som ligger bak flomverk bli mer intensivt utnyttet enn før, slik at skadepotensialet dermed øker med tiden. Det samme kan påvises i områder der kraftverksreguleringer har medført signifikante reduksjoner i de årlige flommene (vårflommen).

Utviklingen som har skjedd på flomutsatte arealer krever derfor en grundig gjennomgang av nytteverdien ved å investere i flomsikringstiltak.

Kirkenær.

Flommen i 1995 medførte flomskader for ca. 20 mill. kroner hvorav skader på flomverket utgjorde ca. ¼ . Det totale skadetallet tilsvarer omtrent de investeringer som er lagt ned i flomsikringsanlegg. I tiden 1968-1974 ble det utbygget flomsikringsanlegg for ca. 21 mill. kroner (1995-kroner).

Ved å heve flomverket ved Kirkenær med 0,5 meter og derved unngå et skadeomfang tilsvarende det i 1995, vil det være behov for en investering på anslagsvis 8,5 mill. kroner (inkl. mva.). Denne investeringen kan ikke bare ses i sammenheng med skadeomfanget i 1995, men er relevant for en høyere vannstand enn 1995- flommen, noe som ville medført enda større oversvømmelse og derved større skadekostnader.

Hvis flomverket hadde brutt sammen under flommen i 1995 ville verdier i størrelsesorden 1 - 1,5 milliard kroner bli utsatt for flomskader.

Ut fra de verdier som ble beskyttet, og de som kan beskyttes, vil det være interessant å se på hvor mye det kan investeres mht. samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Dette kan klarlegges ved å gjennomføre en nytte/kostnadsberegning, men krever mere tid og ressurser enn denne utredningen gir rom for.

5. *FLAUMDEMPING.*

5.1. Innleiing.

I samband med sikring mot flaum, vil aktiv flaumdemping seie at ein aktivt gjer tiltak som reduserer toppen av flaumane. I dei aller fleste tilfelle tenkjer ein her å redusere flaumar som ein har erfaring for gjer skade. Men reduksjon av flaumtoppar kan og ha andre mål, til dømes å strekkje ei flaumvassføring over fleire dagar med omsyn på tilhøva for oppgang av fisk og utøving av fiske. Reduksjon i flaumvassføringa oppnår ein ved å magasinere vassmengda som ville utgjort ein flaum. På ein slik måte gjev ein denne vassmengda ei avrenning som strekkjer seg over lenger tid enn det avrenninga elles ville fått.

Flaumdemping som tiltak mot flaumskader.

Det kan vere mange grunnar til at det er ønskjeleg å minske flaumtoppane i eit vassdrag. Det mest vanlege er å hindre overfløyming av areal, hindre erosjon og masseføring. I mange tilfelle vil aktiv flaumdemping vere aktuelt i samband med ander flaumsikringstiltak.

I utgangspunktet vil ein reduksjon av flaumtoppane vere aktuell i dei fleste vassdrag med flaumproblem. Slike vassdrag finn ein bl.a. i landsdelar der ein kan få stor nedbør kombinert med snøsmelting og der nedbørsfeltet har stor høgdeskilnad og avrenninga har kort veg frå fjell til fjord. Ein kan og få liknande tilstandar i felt der størstedelen av feltet ligg om lag på same høgdenivå og det oppstår snøsmelting i nær heile feltet på same tid.

Aktuelle tiltak for å redusera flaumtoppen kan vera å opna flomverk, evt. å byggja eigne flaumdempingsmagasin.

5.2. Eigne flaumdempingsmagasin.

For at det skal være mogleg å få til flaumdemping, må ein del naturgjevne tilhøve liggje til rette. I det aktuelle nedbørsfeltet må det liggje vatn eller område som kan nyttast som magasin til å fange opp og halde attende flaumvatn. Korleis magasinet ligg plassert innan det aktuelle feltet kan vere svært avgjerande. Like eins må det vere mogleg å utforme utløpet frå bassenget på ein slik måte at ein oppnår naudsynt regulering av flaumvassføringa. Tilkomst til område kan vere svært avgjerande. Kostnaden må ein sjå i høve til andre alternative løysningar.

Verknader.

Ved å aktivt gjere reduksjon i storleiken på ein flaum, vil andre kostesame tiltak kunne sløyfast. Men oftast vil ein kombinasjon av ulike tiltak vere aktuell. I mange tilfeller vil det at ein hindrar ras, erosjon med påfølgjande masseføring, ha fleire gode verknader enn berre å hindre overfløyming.

Stor masseføring kan ofte vere til ulempe for fisk og fisket, fordi elvar med stor masseføring vil ha urolege og skiftande elvefar. Masseopplegg medfører ofte erosjon og dermed trong for erosjonssikring, oppreinsking og liknande tiltak.

I mange deler av landet er det sidevassdraga som er mest masseførande og skapar problem ved at dei fører masse ut i hovudvassdraga. Det kan difor vere lønsamt å gjere flaumdempande tiltak i slike vassdrag. Sjølv om masseføringa ikkje vil ta slutt om toppflaumane vert reduserte, så vil det kunne medføre ei masseføring av finare masse som lettare vert transportert ut i innsjøar eller heilt ut i sjøen.

Dei uheldige verknadene finn ein mest med omsyn på miljøet i det at ein grip inn i ein naturleg prosess. Eit flaumdempingstiltak kan og få uheldige konsekvensar i magasinet som skal fange opp flaumvatnet. Det er difor naudsynt å velje magasin der areala toler å stå under vatn ei kortare tid. Høvelege areal er område med svaberg, ur og stein.

Dome på flaumdempingstiltak.

Flaumdempingsmagasin Illstigvatn.

Fig. 5.1 Illstigvatn.

Flaumdempingstiltaket er frå Illstigvatn, og vart utført i åra 1933 - 1937, for å sikre jord og eigedomar til garden Muldal i Norddal kommune, Møre og Romsdal.

Fig. 5.2 Magasin og dam sett motstraums.

Fig. 5.3 Dammen sett medstraums.

5.3 Bruk av flomverk som aktiv flomdemping.

Spørsmålet om flomverk skal åpnes for å dempe flommen nedstrøms, er reist etter siste flom. Så langt har dette ikke vært gjennomført i Norge. En slik form for flomdempning har som formål å redusere skader nedstrøms mot at arealer bak det aktuelle flomverket blir skadelidende. Dette ville være mest aktuelt i tilfeller der overskridelse av en kritisk vannstand har store økonomiske konsekvenser. For å få størst mulig lokal senkningseffekt, måtte dempningsvolumene etableres nær de kritiske områdene. En ville ikke få samme dempingseffekt ved et tilsvarende magasin langt oppe i nedslagsfeltet.

For å vurdere effekten ved en slik eventuell manøvrering, ble det nedsatt en egen arbeidsgruppe i NVE. SINTEF ble engasjert til å utføre beregninger og NVE Hydrologisk avdeling har utført tilsvarende beregninger. Arbeidsgruppens rapport er gjengitt i vedlegg 2.

Som utgangspunkt for beregningene har en benyttet elvestrekningen mellom Skjefstadfoss og Braskereidfoss. Dette er en 20 km lang relativt oversiktlig strekning med kraftverk i begge ender. Videre ble det under flommen 1995 av andre grunner (overtopping og fare for brudd), åpnet et flomverk på denne strekningen (Heradsbygda). Det foreligger en del opplysninger om denne åpningen som er nyttig for beregningene, selv om formålet altså var et annet.

Det er i tillegg utført en analyse av hvor mye vannstanden kunne vært redusert dersom en innslipping på det samme sted, ble styrt ved luker, basert på riktig åpningstidspunkt. På strekningen mellom Heradsbygda og Braskereidfoss ville det under slike forhold bli oppnådd en senkning av flomtoppen med ca 5-10 cm ved en kortvarig spiss flomtopp. Under flommen i 1995 ble den rent faktiske senkningseffekten nedstrøms av åpningen av flomverket ved Heradsbygd beregnet til ca 5 cm.

Det er også vurdert kostnader ved bygging av luker i 3 større flomverk i Solør og skadekostnader ved oversvømmelse av de bakenforliggende landbruksarealene. Skadene ved oversvømmelse er vurdert mot kostnader ved heving av flomverket på Kirkenær med 0.5 m.

Vi vil framheve følgende:

-For å oppnå optimal dempingseffekt må en kjenne flomforløpet. Det betyr at en må ha en pålitelig flomutviklingsprognose. Med erfaring fra de to siste flommene i 1967 og 1995, ville vi hatt store problemer med å ta beslutning på rett tid for å oppnå flomdemping. I 1967 skyldes det at vi opplevde to flomtopper like etter hverandre, og i 1995 var prognosen at flommen var stigende på kulminasjonstidspunktet.

-Effekten er størst for kortvarige spisse flommer. Flomvolumet over kritisk nivå er derfor avgjørende og virkningen kan i enkelte tilfeller gå mot null.

-Økt volum bak flomverket gir økt effekt forutsatt en optimal manøvrering.

-Beregningene viser at geometri/vannføringskurve i det kritiske profilet har stor betydning for hvor mye den maksimale vannstanden kan senkes. Dette betyr at det ikke kan sies noe generelt om vannstandssenkning langs andre elvestrekninger uten at det lages en modell for disse områdene.

-Etablering av flomdempingsmagasin med kapasitet ca. 17 mill. m^3 og potensiell nedstrøms flomsenking på 25 cm i Solørområdet, vil innebære lukekostnader på ca 60 mill og gi landbruksmessige kostnader på ca 3 mill kr. Alternativt vil en heving av flomverket ved Kirkenær med 0.5 m innebære en kostnad på ca 8.5 mill kr. I tillegg til Kirkenær, kan det være aktuelt å heve også andre flomverk. Ut fra kostnadene ved etablering av flomdempingsmagasin sammenlignet med heving av flomverk, kommer heving av flomverk klart positivt ut.

-Dimensjoneringsgrunnlaget for flomverkene må revurderes utfra dagens skadepotensial. Dette krever en gjennomgang av økonomiske og tekniske forhold.

-Det kan være flomdempingseffekter ved å bruke sjøer som korresponderer med Glomma i flom, ved at flomtoppen slippes inn i sjøen og holdes tilbake ved regulerbare luker i dammer.

Ut fra beregningene og arbeidsgruppens konklusjoner, kan en slutte at tiltak for kontrollert åpning av flomverk i Norge vil ha svært usikker virkning, og innebære betydelige kostnader. Som flomdempingstiltak vil det neppe være aktuelt å satse på.

Det er ellers viktig å være klar over at selv om det kan være flomdempingseffekter ved kontrollert åpning av flomverk, betyr ikke det at en ville hatt samme effekt dersom flomverkene ikke var bygget. Det vises for øvrig til kapittel 2.3.

5.4. Bruk av flomverk i aktiv flomdemping - ansvarsforhold.

Ansvars- og eierforhold ved flomverk generelt blir drøftet i delutredning 4.3. Nedenfor tas derfor bare opp noen særskilte rettslige spørsmål som oppstår dersom man skulle bruke flomverk aktivt i flomdempingsøyemed slik beskrevet i denne delutredningen.

Når det gjelder bygging av nye flomverk, er situasjonen juridisk sett forholdsvis klar. En eventuell adgang til aktiv flomdemping vil være en del av det tiltaket som skal gjennomføres, og det kan bli tatt høyde for dette ved inngåelse av minnelige avtaler, eventuell ekspropriasjon, og konsesjonsbehandlingen, der det kan settes vilkår om manøvrering.

Mer problematisk vil ansvarsforholdene være dersom eksisterende flomverk aktivt blir brukt til flomdemping nedstrøms. Her bør man skille mellom to typer situasjoner:

1. De situasjoner hvor myndighetene ikke på forhånd har vurdert slik regulering, men der man treffer en slik beslutning under en flomsituasjon.

2. De tilfeller der myndighetene ønsker å bygge om flomverk - f.eks. ved bygging av luker - slik at det i framtidige flomsituasjoner er lettere å bruke området bak til flomregulering.

I de første tilfeller vil det være snakk om nødrett, hvis man bevisst ofrer noen interesser for andre. (Jfr. også vassdragsloven § 120 nr. 2, som imidlertid favner videre, da det etter bestemmelsen ikke kreves at noen interesser ofres for andre). I motsetning til rene redningssituasjoner, der man foretar kontrollert åpning for å begrense skadene for områdene bak, vil det i nødrettssituasjoner i utgangspunktet oppstå et erstatningsansvar for den som

gjennomfører handlingen, dvs. i dette tilfellet Staten v/NVE. Det som kompliserer den juridiske situasjonen, er at NVE i tilfelle vil ha opptrådt på vegne av en annen, mer eller mindre uidentifisert gruppe borgere, som har fått sine interesser reddet. Spørsmålet kan også oppstå om flomverket i seg selv har bidratt til å øke faren for de områdene nedstrøms som "reddes".

I de tilfeller der myndighetene bevisst skulle planlegge å bruke noen områder som flom-dempingsområder, vil grunneierne få innskrenket rådigheten sin både over flomverket, og over grunnen bak. Heving av vannstand ved neddemming blir etter gjeldende rett regnet som ekspropriasjon. Om det samme gjelder en mulig framtidig midlertidig "neddemming", er mer uklart. Det vil også være vanskelig å fastsette et erstatningsbeløp når det er usikkert om muligheten i det hele tatt vil bli brukt.

Uansett den ekspropriasjonsrettslige stillingen, kreves det hjemmel i lov for å gi et område som eies av private en bestemming som "flomdempingsområde". Vassdragsloven § 102 inneholder etter sin ordlyd muligens en slik hjemmel, men var trolig ikke tenkt brukt til slike situasjoner som det her vil være snakk om.

Konsesjonsrettslige aspekter i forhold til eksisterende flomverk tas ikke opp her.

Konklusjon:

Både for planlagt regulering gjennom nye flomverk og endringer i eksisterende flomverk kreves hjemmel i avtale eller lov. For nye flomverk gir vassdragsloven §102 en klar lovhjemmel. Om denne hjemmelen også kan brukes for å endre eksisterende flomverk , er mer usikker. Det kan imidlertid ikke utelukkes at bestemmelsen kan anvendes. Om man bruker bestemmelsen i slike tilfeller, vil det være vanskelig å fastsette et erstatningsbeløp på forhånd.

I akutte situasjoner kan nødrettsbetraktninger komme inn, og erstatningsplikten reguleres da av skadeserstatningsloven. Utgangspunktet i slike tilfeller der noen interesser ofres for andre, er at skadevolderen blir erstatningspliktig.

6. REFERANSER.

H. Berg, P. C. Bøe, H. Einevoll, 1994: Sikring mot skadeflom, Storsjøen i Odal
Publikasjon nr. 01, 1994, NVE

H. M. Kjellesvig, M. Skoglund, 1996: Nedstrøms vannstandseffekter pga åpning av flomverk. SINTEF Bygg og miljøteknikk

K. H. Mokkelbost, 1996: Brudd i flomverk langs Glomma
Felt og laboratorie rapport, 950058-1
Norges Geotekniske Institutt

M. N. R. Jaeggi, B. Zarn, 1990: A new policy in designing flood protection schemes as a consequence of the 1987 floods in the swiss alps.
International conference on river flood hydraulics 17-20 september 1990, Paper C2

D. Hagen, 1994: Etablering av vegetasjon ved øydelagde og restaurerte vassdrag - kunnskapsstatus og tilrådingar. Universitetet i Trondheim, SMU, Rapport nr. 8/94

L. H. Frivold, 1991: Trær som stabiliserende element i leirskråninger
Norges Landbrukshøgskole, Inst. for skogfag

Verlag Georg D.W.Collwey: Garten + Landschaft, nr. 6, juni -94. Wasser
Garten + Landschaft, nr. 1, jan. -96. Hochwasser

VEDLEGG 1.

EKSEMPLER PÅ ULIKE FLOMSIKRINGSTILTAK.

I dette avsnittet vil noen ulike flom- og erosjonstiltak med en del typiske eksempler fra utvalgte vassdrag belyses. Disse eksemplene vil også delvis vise de ulike regionale problemtypene og måten å flomsikre på.

1. Døme på arealbruk, flaumsikring og flaumproblema i regulert, masseførande vassdrag; Daleelva, Høyanger, Sogn og Fjordane.

1. INNLEIING.

Daleelva har ved utløp i sjøen eit naturleg nedbørsfelt på 172 km^2. Største delen av nedbørsfeltet er snaufjellområde som ligg mellom 600-1400 m over havet.
Frå fjellområdet vert elva samla i botnen av eit trangt dalføre, renn gjennom Høyanger tettstad og ut i Høyangerfjorden. Vassdraget er sterkt regulert til kraftproduksjon med overføring av vatn frå andre vassdrag. Overføringane skal ikkje ha noko å seie for avrenninga mot Daleelva i flaum. Vatnet renn i hovudsak ut i fjorden frå kraftstasjon 1, ved Høyanger tettstad. Frå kraftstasjon 2, som ligg ovanfor Dale, er det pålagt minstevassføring som skal renne ut i Daleelv med 0,9 m^3/sek. om vinteren og 5 m^3/sek. om sommaren.

2. GRUNNLAGSDATA.

2.1. Terreng og grunntilhøve.

Frå dalbotnen ned mot Høyanger tettstad, kjem det frå dalsidene ned mindre elvar, bekker og grøver. Dei fleste av desse er masseførande og fører masse ut i Daleelva. I tillegg går det snøskred som fører stein og anna masse mot dalbotnen og elva. Etter at vassdraget vart bygt ut til kraftproduksjon, blei vårflaumane og den høge vassføringa på forsommaren borte og elva sin evne til jamleg å transportere tilført masse ut i sjøen redusert.

2.2. Hydrologiske forhold.

Daleelva ligg geografisk i eit svært nedbørsrikt distrikt. Største flaumane vil til vanleg kunne kome om hausten, og dei aller største ved flaumtilhøve når kraftverket har fulle magasin med overløp. Den største flaumen i seinare tid var flaumen 2. november 1971.

3. SIKRINGSTILTAK.

3.1. Gjennomførte tiltak.

Dei fyrste sikringstiltak mot Daleelva som ein kjenner til vart planlagt i 1882. Seinare, etter kvart som Høyanger tettstad vart utbygd, vart det gjort store omleggingar og kanaliseringar av Daleelva. Sideelva Hålandselva vart og samla og kanalisert på nedre delen. Dei fyrste store tiltaka vart avslutta i 1960.

2. november 1971 var det ein uvanleg stor flaum i vassdraget. Det oppstod då store skadar i elvebreddene og forbyggingane som til då var utførte. Verst gjekk det ut over elvebreiddene i sentrum av Høyanger, der elvekanten var lagt opp med bratte murar. Det vart gjort skade på busetnad, bruer og anna.

Etter flaumen 2. november 1971, vart det gjort omfemnande tiltak for å sikre sentrumsområda og tidlegare utførte forbyggingsanlegg vart reparert, høgda, forsterka og forlenga.

I samband med vidare kraftutbygging i slutten av 70 åra og endra konsesjonsvilkår, er det i Daleelva gjeve pålegg og bygt kring 20 tersklar. Eit av terskeltiltaka er bygt som masseavlagringsbasseng. Det blei og i 80 åra reinska opp og teke ut større mengder masse i elva frå Dale og nedetter mot riksvegbrua. Massane vart brukte til oppfylling av byggjeland på Nedre Dale. På grunn av masseuttaka og terskelbyggingen har Daleelva på strekninga frå Øvre Dale til sjøen no eit elvefar med god kapasitet og bra stabilitet.

4. KOMANDE PROBLEM VED FLAUMTILHØVE.

4.1. Situasjonen i dag.

Slik situasjonen er i dag, ser tilhøva ut til å vere nokolunde trygge ved meir vanlege flaumar. Flaumfaren ser ikkje ut til å ha redusert utbygginga og utnyttinga av areala frå Øvre Dale og nedetter. Ein vil her nemne auka bustadbygging og bygginga av fabrikken Fundo med kring 300 arbeidsplassar. Dersom Daleelva skulle bryte seg gjennom forbyggingane ved Øvre Dale, er vel i realiteten alt som er bygt ut frå Øvre Dale til Hålandselva truga.

I 1983, før opprenskingsarbeida og bygging av tersklane var gjort, var det ved ein større flaum tendensar til at elva ville bryte seg gjennom forbyggingane. Dersom det i dalsidene ovanfor oppstår ras som fører større mengder masse ut i elva, kan liknande situasjonar som i 1983 oppstå. Folket som bur og har verdiar i området kjenner seg lett utrygge og truga når veret og tilhøva er slik at det er fare for større flaumar.

4.2. Tiltak frametter.

Eit notat frå 25.10.1976 syner at kommunen hadde planar om å ta i bruk areal mellom Øvre og Nedre Dale for bustadtomter. På den tida var arealene sikra med forbygging mot elva. NVE var likevel skeptiske med omsyn til tryggleiken og tilrådde ein del tiltak med omsyn til flaumfaren. I hovudsak gjekk tiltaka ut på å setje av eit areal mellom elveforbygginga og utbyggingsarealet med 30 - 50 m breidde som flaumland. Utbyggingsarealet skulle så høgast med 1 m og ytterlegare 1 m mot flaumlandet. Kanten mot flaumlandet skulle så sikrast mot erosjon i tilfelle det oppstod brot i elveforbygginga. Dåverande forbygging langs Daleelv vart på den aktuelle strekninga tilrådd heva med 1 m.

Etter det ein kan sjå i dag, så er forebygginga heva nær slik det vart tilrådd, men flaumlandet med ekstra flaumvoll ser ikkje ut til å ha blitt utført slik det vart tilrådd. Særleg synest løpet å vere for trongt der evt. flaumvatn skal renne ut att i hovudløpet.

Med dei verdiar som nå ligg i dette området, vil aktuelle tiltak vere å sjå nærare på kva som vil hende dersom det oppstår brot i elveforbygginga ved øvre Dala. Ein må då sjå på tilhøva kring den ekstra sikringa som skal vere ovanfor øvre del av busetnaden og sjå på kva som kan betrast for å få flaumløpet til å fungere dersom det oppstår kritiske situasjonar.

Ved Øvre Dale vart det ved siste terskelutbygginga bygt eit masseavlagringsbasseng. Dette fungerer bra ved mindre vassføringar og flaumar, men ved flaumar som den i 1971 er det tvilsamt om avlagringsbassenget vil ha særleg effekt. Det kan derfor bli aktuelt å sjå nærare på om avlagringsbassenget kan styrkast på ein slik måte at det vil fungere også ved store og sjeldne flaumar.

Med det fall Daleelva har og dei usikre tilhøve det er med omsyn til snøskred, jordras og masseføring, må sikringstiltak ved hjelp av forbyggingar utførast med så grov stein som mogleg. Med det utstyr som er tilgjengeleg i dag, skulle det vere mogleg å styrke eksisterande anlegg ytterlegare.

Av andre tiltak med omsyn til å betre tryggleiken, bør rutinane med tilsyn, vedlikehald og oppfølging gåast gjennom. Utbyggingsplanar, der det kan tenkjast å vere flaumfare, må i større grad leggast fram for NVE før planane er vedtekne. Røynsle frå Siplo, ei sideelv til Hålandselva, viser at nye bustader vert bygd utan at flaum og rasfare kan ha blitt vurdert.

5. Samandrag.

Flaumproblema knytte til Daleelva og utbyggingen i Høyanger tettstad, er problem som er vanlege på Vestlandet i fjordbotnar og dalfører der ein frå fjellsidene er truga av steinsprang og skred og i dalbotnen av flaum frå elvane.

Tettstadutbygginga i Høyanger har i over 100 år stadig kravd sikringstiltak mot Daleelv og Hålandselv etter kvart som utnytting og utbygging av areala har skride fram.

Vassdraget er og eit døme på dei problem som kan oppstå med omsyn til avlagring av masse i elvefar ved regulering av vassdrag.

Det bør stillast spørsmål om ikkje så store verdiar som er plassert i området, bør sikrast betre.

Rutinane med framlegging av arealplanar og høve for oppfølgjing må kome sterkare fram med omsyn til sikring av verdiar og miljø.

Jfr. også vedlagde kart og bildekopiar.

Gråura
Slettebakkane
Tungefjellet
Hålandselva
Tunga
Håland
Kringsjå
Sekkhammaren
Klauhammaren
Sæbödalen
Lekepl
Hogebakkane
Plasthall
Hjetland
Vellene
Datelva
Vetleseten
Storeseten
Simylmelia
Hogehamrene
Vetleskredfossen
Hjetlandslia
Riska
Skole
Fotballb
Tennis
Inste
Storeskora
Høyanger Kirke
B31△368
55.06
(SAUESTOLEN)

7. Daleelv. - Ustabilt og uryddig elveløp med stor masseflytting

IAS. NVE, Region Vest

DALEELVA

Parti frå "reserveløpet" forbi Øvre Dale. Flaumvollen er til høgre i bilete. Noko lenger nede smalnar flaumløpet til og er berre 4 m breidt i botnen.(Foto: MKE)

DALEELVA

Mange tidlegare flaumløp har på grunn av utbygging fått sterkt redusert kapasitet. (Foto: KME)

DALEELV

Under storflaumen i november 1971 vart det gjort stor skade i Høyanger sentrum. Det vart etter flaumen oppført solide betongmurar med stålspunting framfor som forbygging mot elva. (Foto: KME)

DALEELVA

Hålandselva ovanfor og nedanfor riksvegbrua. (Foto: KME)

2. Døme på masseførande Vestlandsvassdrag som delvis er sjølvregulerande. Arealbruk og press ved utbyggingar;
Jølstra, Førde og Jølster, Sogn og Fjordane.

1. INNLEIING.

1.1. Generell omtale av vassdraget.

Ved utløp i sjøen har Jølstra ei nedbørsfelt på 714 km^2. Øvst i feltet ligg delar av Jostedalsbreen og Grovabreen. Det er elles store deler fjell- og dalområder innan feltet. Jølstravatnet utgjer ein stor del av nedbørsfeltet.

Kring Jølstravatnet er det mange større og mindre dalføre med elvar som renn ut i vatnet. Frå Jølstravatnet renn elva Jølstra. Ovafor tettstaden Førde renn to større elvar saman med denne elva. Det er Hulda frå Holsavassdraget som renn ut i Jølstra ved Mo, og Anga som renn saman med Jølstra ved Hafstad. Jølstra renn så vidare gjennom Førde sentrum og ut i botnen av Førdefjorden.

Dei ulike vassdrag innan hovudvassdraget skifter mykje. Elvane kring Jølstravatnet er for det meste bratte og kan ha store lokale flomvassføringar. Det store Jølstravatnet demper og regulerer vassføringa vidare i stor grad. Vassføringa frå Holsavassdraget vert også mykje regulert ved at vatnet renn gjennom dei to lågtliggjande vatna Holsavatn og Åsvatn. Elva Anga har lite sjøareal og må karakteriserast som ei flaumelv.

2. GRUNNLAGSDATA.

2.1. Terreng og grunntilhøve.

Lengst aust i Jølstravassdraget, er sideelvane prega av at dei kjem frå Jostedalsbreen, Grovabreen og snørike høge fjell. I hovudsak går dette ut på at elvane er sterkt masseførande. Lenger vest er elvane meir stabile, men ber preg at de kjem frå nedbørsrike felt, der det kan gå snø- og jordskred.

Frå Brulandsfossen, renn Jølstra dei siste 4 km med avtakande fall gjennom bygda Førde til elva renn ut i Førdefjorden. På denne strekninga kan ein sjå av landskapet at elva gjennom tidene har runne med skiftande elvefar. Elvebotnen har på denne strekninga eit tynt dekksjikt av grus og stein. Under dekksjiktet er det truleg leire og silt. På ein del av strekninga renn elva innunder bratte elveskråningar som kan være 10-20 m høge. Skråningane er truleg av materiala sand, grus, silt og leire.

Det ligg to kraftstasjonar i vassdraget. Det er kraftverket Stakaldefossen på grensa mellom Jølster og Førde kommune og kraftstasjonen i Brulandsfossen i Førde. Jølstravatnet er i vinterhalvåret regulert med ein nåledam i utlaupet av vatnet.

2.2. Hydrologiske tilhøve.

Nedbørsfeltet til Jølstra ligg i et svært nedbørsrikt område. Med nysnø i fjellet, med omslag til mildver og sterk nedbør som regn, kan ein få stor avrenning. Til dømes var nedbøren ved målestasjonen i Botnen i Angedalen i oktober i 1983, 770 mm, og det har ved denne stasjonen blitt målt døgnnedbør på 121,6 mm. Det kan såleis vere stor flaumvassføring i Anga utan at det er tilsvarande flaum i Jølstra. Men skulle det treffe seg slik til at ein får stor flaum i Anga og Jølstra på same tid, vil Jølstra få svært stor vassføring på strekninga der elva renn gjennom tettstaden Førde.

Dei største flaumane ein kjenner i seinare tid er flaumen i 1957, 1971 og 1983. Av desse var truleg flaumen i 1957 den største.

3. SIKRINGSTILTAK.

3.1. Gjennomførte tiltak.

Det har blitt utført sikringstiltak mot erosjon og flaum i dei aller fleste sidevassdrag kring Jølstravatnet. I ein del mindre bekker og grøver er det gjort sikringstiltak. I Holsavassdraget er det gjort ein del erosjonssikring og tiltak mot flaum. Elva Anga vart i 50-åra kanalisert og forbygd over lengre strekningar. I Jølstra er det utført forbyggingstiltak ved Mo.

På strekninga Brulandsfossen - sjøen, det vil si strekninga nær opp til Førde tettstad og gjennom denne, vart det tidleg på 1900-talet utført erosjonssikring langs elvebreiddene til Jølstra over lange strekningar. Etter flaumen i 1971 vert det utetter i 70-åra forbygt ytterlegare nokre strekningar som ikkje var sikra før. I tillegg har det av private blitt oppfylt og sikra industriområder som støyter til Jølstra. Nedre del av Anga vart forbygd sist på 80-talet.

4. KOMANDE PROBLEM VED FLAUMTILHØVE.

I det følgjande vil ein sjå på strekninga Brulandsfossen - Sjøen. Dette er den strekninga som støyter til tettstaden Førde og som har areal langs elva som litt etter litt vert tekne i bruk til utbyggingsføremål.

4.1. Situasjonen i dag.

Forbyggingstiltaka som vart gjort tidleg på 1900 talet, har medført at Jølstra etter den tid og fram til no, har hatt etter måten stabilt elvefar utan større endringar. Dei gamle forbyggingane har stått godt med lite vedlikehald. Det er berre etter store flaumar at det har blitt naudsynt med reparasjon på nokre få strekningar.

Men etter nokre større flaumar frå 1983 og utetter har det einskilde stader oppstått erosjon og brot i elvebredda. Mellom anna var noko av busetnaden i Førde sentrum truga etter flaumen i 1983. Ein del søknader om sikringstiltak, tyder også på at problema langs elva aukar.

Frå midten på 60-talet, har Førde tettstad vakse svært. Den raske utbygginga har medført auka press på areala langs Jølstra til utbyggingsføremål. Land der elva før stod utover i flaum er no oppfylte og brukte til utbygging. Det vert stadig lagt fram arealplanar, reguleringsplanar og vegplanar, som i større og mindre grad vil virke inn på dei elvenære areal og på lengre sikt verke inn på straumtilhøva og elvefaret. Truleg vil framhaldande utbygging medføre krav om sikringstiltak mot flaum.

4.2. Tiltak frametter.

Naudsynte tiltak frametter må bli å få handsama dei søknadene om sikringstiltak som ligg føre. Det er avgjerande at det ikkje oppstår større brot og erosjon i elvebreiddene. Får elva tak i breidda og gjev seg inn under dei høge elvebardane ved Bruland, kan det medføre ras ut i Jølstra. Det kan få følgjer nedstraums.

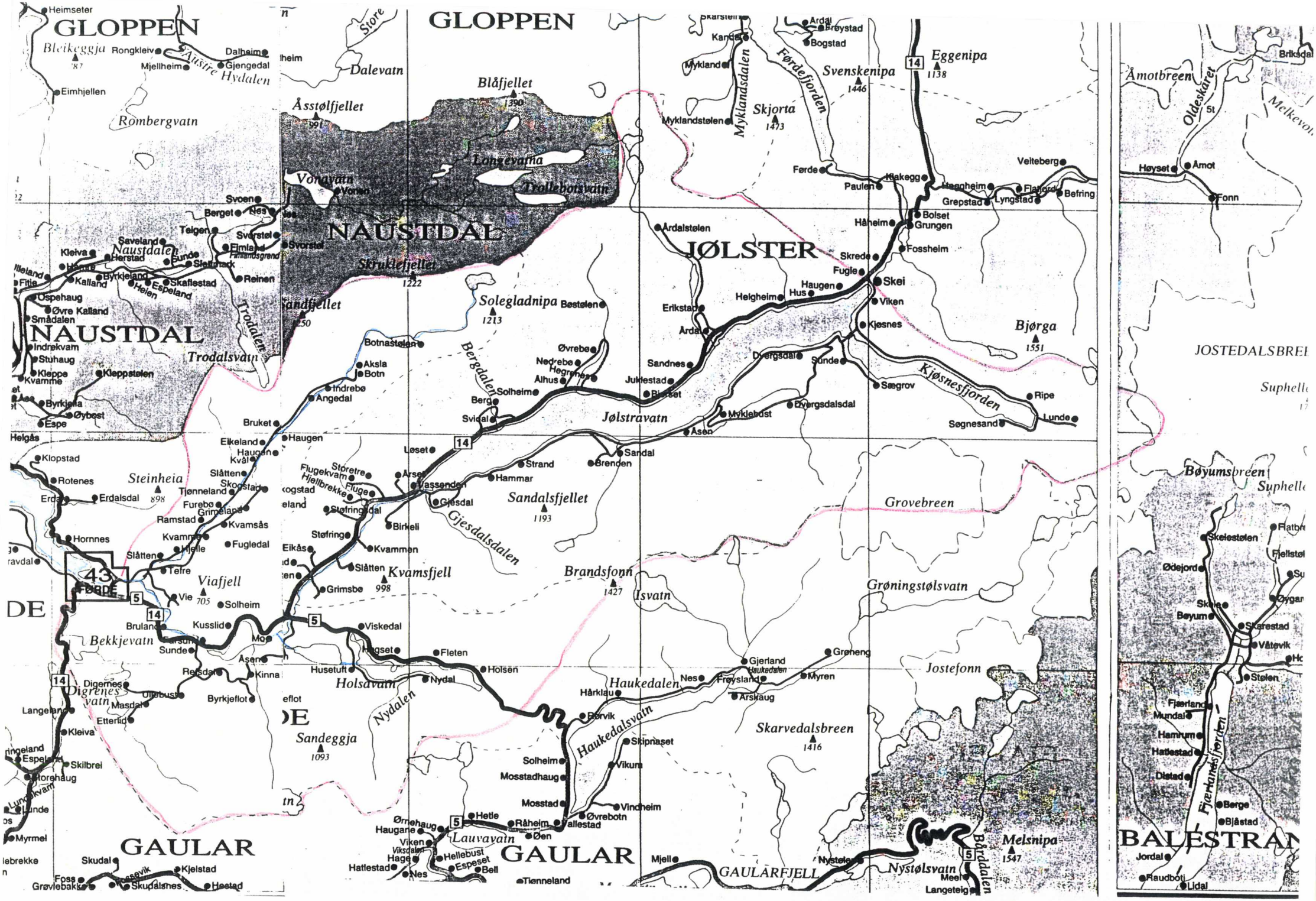
Eit anna tiltak må bli at det vert gjort mogleg for NVE å påverke arealplanar og utbyggings-planar på ein slik måte at elva også i framtida får nok plass gjennom bygda. Det har vore drøftingar mellom Førde kommune og NVE om kva som kan vere aktuell strategi i slike saker. I drøftingane har det vore framheva at tiltaka må bli utforma og gjennomført med ein høg miljøstandard. Det skal m.a. leggjast vekt på at elvekantarealet i økologisk samanheng skal utgjere ein mjuk overgang frå elva som eit sentralt naturelement til kulturlandskapet innanfor. Like eins at det vert sett av areal og gjort mogleg for tilkomst om det skulle oppstå situasjonar som krev ytterlegare sikringstiltak. Eit flaumsonekart med faregrense for ulik utbygging vil kunne vere til god hjelp. Nyleg utført bustadbygging langs elva Anga syner at det ikkje er teke nok omsyn til flaum og isgang.

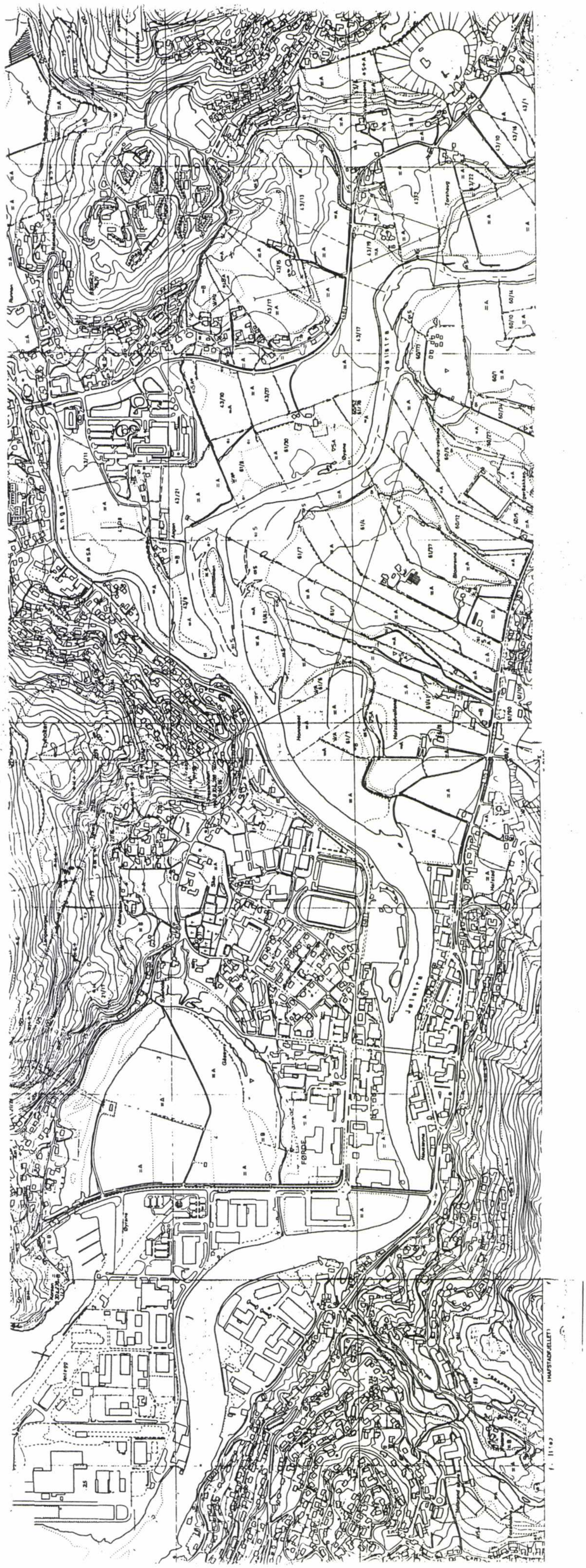
5. SAMANDRAG.

Jølstravassdraget ligg i eit nedbørsrikt distrikt. Elvane innan dei ulike delfelt representerer det meste av dei type elvar ein finn på Vestlandet. Det er masseførande elvar påverka av isbrear, bre som kalvar i vatn med påfølgjande flaum (Vidunderdalsvatn og Sægrova ved Sægrov), elvar som er sjølvregulerte på grunn av sjøareal innan feltet og elvar utan sjøareal som kan få stor flaumføring.

Elveavsnittet i nærområda til Førde tettstad og gjennom Førde sentrum, er eit døme på dei problem ein møter med omsyn på flaumkapasitet til elvefaret, disponering av dei elvenære områda, erosjon og flaumfare og planlegging av tiltak for å møte komande flaumar i eit område under sterk utbygging.

Jfr. også vedlagde kart- og biletmateriale, samt kopi av kommentar til forslag til kommuneplan for Førde 1988-99.


GLOPPEN
Blakeggja
1187
Rongkleiv
Dalheim
Gjengedal
Mjellheim
Austre Hydalen
Eimhjellen
Rombergvatn
Store
Dalevatn
GLOPPEN
Blåfjellet
1390
Åsstølfjellet
1091
Longevatna
Vonavatn
Vonheio
Trollebotsvatn
NAUSTDAL
Skrukkefjellet
1222
Svoen
Berget
Nes
Teigen
Svorstel
Svorstad
Saveland
Naustdalen
Kleiva
Herstad
Sunde
Elmland
Fallandsgrend
Stellarack
Reinen
Byrkjeland
Helen
Espeland
Skaflestad
Kalland
Fitje
Ospehaug
Øvre Kalland
Smådalen
NAUSTDAL
Indrekvam
Stuhaug
Kleppe
Kvamme
Kleppstølen
Trodalen
Trodalsvatn
Byrkjelia
Øybost
Espe
Helgås
Klopstad
Rotenes
Erdalsdal
Steinheia
898
Tjønneland
Furebø
Grimeland
Ramstad
Kvamsås
Hornnes
Kvamme
Hjelle
Fugledal
Slåtten
Tefre
Viafjell
705
Vie
Solheim
43
FØRDE
5
14
DE
Bruland
Kusslid
Bekkjevatn
Sunde
Åsen
Kinna
Digernes
Digernes vatn
Ulebust
Masdal
Byrkjeflot
Etterlid
Langeland
Kleiva
Skilbrei
Storehaug
Lundekvam
Lunde
Myrmel
Skudal
Foss
Grøvlebakken
Kjelstad
Hestad
Haugen
Kval
Elkeland
Bruket
Aksla
Botn
Indrebø
Angedal
Botnastølen
Bergdalen
Solheim
Berge
Svigal
Øvrebø
Nedrebø
Alhus
Hegrenes
Bestølen
Soleglandnipa
1213
Erikstad
Årdal
Ardalstølen
Sandnes
Juklestad
Bjørset
Jølstravatn
Åsen
Mykjebust
Dyrgsdalsdal
Dyrgsdal
Sunde
Sægrov
Kjøsnesfjorden
Ripe
Lunde
Søgnesand
Løset
Strand
Sandal
Brenden
Hammar
Sandalsfjellet
1193
Gjesdal
Gjesdalsdalen
Birkeli
Støfringsdal
Støfringen
Kvammen
Eikås
Slåtten
Kvamsfjell
998
Grimsbø
Brandsfonn
1427
Isvatn
Viskedal
Fleten
Holsen
Holsavatn
Nydal
Nydalen
Husetuft
Høgset
Sandeggja
1093
Haukedalen
Haukedalsvatn
Hårklau
Børvik
Skipnaset
Vikum
Solheim
Mosstadhaug
Mosstad
Vindheim
Øvrebotn
Hetle
Råheim
Allestad
Ørnehaug
Haugane
Viken
Viksdalen
Hage
Hellebust
Espeset
Bell
Hatlestad
Nes
Tjønneland
Lauvavatn
Øen
GAULAR
Mjell
GAULARFJELL
Nystølen
Nystølsvatn
Meel
Langeteig
Bårddalen
Melsnipa
1547
Gjerland
Hauketdalen
Frøysland
Nes
Myren
Arskaug
Grøneng
Grøningstølsvatn
Jostefonn
Skarvedalsbreen
1416
Grovebreen
Ardal
Brøystad
Bogstad
Kandal
Skarstein
Mykland
Myklandsdalen
Myklandstølen
Førdefjorden
Svenskenipa
1446
Skjorta
1473
14
Eggenipa
1138
Førde
Klakegg
Paulen
Veiteberg
Flatbrekke
Hagenheim
Grepstad
Lyngstad
Befring
Håheim
Bolset
Grungen
Fossheim
JØLSTER
Skrede
Fugle
Skei
Haugen
Helgheim
Hus
Viken
Kjøsnes
Erikstad
Bjørga
1551
Åmotbreen
Oldeskaret
St
Melkevol
Briksdal
Høyset
Åmot
Fonn
JOSTEDALSBRE
Suphelle
Bøyumsbreen
Skelestølen
Flatbr
Fjellstøl
Ødejord
Bøyum
Skåre
Skarestad
Våtevik
Stølen
Fjærland
Mundal
Hamrum
Hafstad
Distad
Berge
Bjåstad
Fjærlandsfjorden
BALESTRAN
Jordal
Raudboti
Lidal



(Kartgrunnlaget som her mangler vil komme når originalkartet fra fylkeskartkontoret foreligger.)

ØKONOMISK KARTVERK

SOGN OG FJORDANE FYLKE

Konstr. fraadt av

Etter fotogrammer av

Utgitt av FYLKESKARTKONTORET I SOGN OG FJORDANE 1986

Målestokk 1:10 000

Vertikalekvidistanse 5 m

Høydereferanse NN 1954

Koordinatsystem UTM-nettet Sonebelte 32

Grensene på kartet er ikke rettsgyldige

Førhenvisninger Rapportert

Jamfør oversiktskart for Kommuneplan for Førde

Førde

Ytre Hafstad

Slåttene

Slåttebakkene

Kai

Renseanlegg

Sunde

Drinkevass kilde

Langeland

NFK

Vedlegg

JØLSTRAVASSDRAGET

Døme på flaum- og isgangtruga areal som er teke i bruk til bustadbygging. (Frå elva Anga i Førde)

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Førde, 13.12.1989
1009/89 VRV
GBR/MHØ/553.1 1432

Førde kommune
Teknisk etat
Postboks 101

6801 FØRDE

KOMMUNEDELPLAN FØRDE SENTRUM

Vi viser til tidlegare korrespondanse i denne saka og til telefonsamtalar mellom fung. teknisk sjef Hatlebrekke og underteikna.

NVE har for ei tid tilbake gjennomført profileringsarbeid i Jølstra, på deler av den strekninga som kan bli omfatta av reguleringstiltak på Bruland. Tida har ikkje tillete oss å gå vidare med noko form for planarbeid med tanke på flaum- og erosjonstiltak. Vi har heller ikkje hatt høve til å gjere slike konkrete vurderingar i samband med den framlagde kommunedel-planen.

Uttalen vår får difor ein noko generell karakter.

For å redusere eller fjerne faren for auka flaum- og graveverksemd frå Jølstra, i samband med eventuell gjennomføring av av veg/bruprosjekt Kronborg(Bruland)- Vie og oppfylling av areal til utbyggingsområde, vil vi peike på to noko forskjellige former for tiltak.

Det eine kunne vere å foreta ei utviding og kanalisering av elva ovanom brukryssingsstaden, dvs. der elva gjer ein krapp venstresving. Arealet er markert som friområde på kommunedelplanen. Den kanaliserte strekinga måtte forbyggast.
På høgre bredd (Vie-sida) kunne det over ei viss strekning frå brua og oppover verte naudsynt å heve terrenget noko med ei flaumfylling.

Eit kanaliseringstiltak vil på mange måtar endre den naturlege karakteren av landskapsbiletet nokså sterkt. Dette vil kunne verke negativt inn i eit område der det kanskje vil verte lagt opp til turistverksemd, og elles i samband med utnytting av elvestrekninga ved sportsfiske og anna form for rekreasjon. Vi vil difor også peike på eit alternativt tiltak, der ein prøver å styre elva ved hjelp av flaumverk på begge sider, medan

NVE
Vassdragsdirektoratet
REGION VEST
Kontoradresse: Langebruvn. 2, Førde
Postadresse: Postboks 53, 6801 Førde
Telefon: (057) 21 244
Telefax: (057) 26 490
Postgiro: 5 05 33 01

ein i store trekk let terrenget utanom flaumverka ligge som i dag, eventuelt tilordnar desse noko med ei viss uttynning av skog og tilordningar av flaumløp. Her vil det kunne vere aktuelt å vurdere forskjellige utformingar, avhengig av kva utnytting ein kunne tenke seg at områda ville få.

Veldig grovt ville vi antyde at ei flaumfylling på v.bredd truleg kunne bli kring 600 m lang, og på h. bredd 250 - 300 m.

Vi ser oss dessverre i dag ikkje i stand til å komme med detaljerte vurderingar eller løysingsskisser.

Dersom ein i den vidare planhandsaminga i kommunen ønskjer bistand frå vår side med omsyn til hydrauliske og landskaps-messige vurderingar, vil vi vere opne for å ta del i drøftingar om dette. Det ville i så tilfelle vere ønkjeleg at vi fekk noko tid til å sjå nærare på dei oppmålingane vi har gjort, og eventuelt vurdere tiltak på denne elvestrekninga saman med andre avsnitt i Jølstra der det er søkt om sikringstiltak.

Med omsyn til den strekninga vi tidlegare har kommentert langs Anga (v/Sentralsjukehuset/Sjukepleiarhøgskulen), vil vi peike på at det bør vurderast avsett eit område der elva kan ha høve til å fløyme innover ved stor vassføring. Dersom ein ved utfylling heilt fram mot det vanlege elvefaret, hindrar flaumvatn i å følgje gamle flaumløp, kan det vere ein viss fare for at elva vil slå seg ned i botnen. Ved Hagen har vi konstatert at det er leire i botnen, m.a.o. kan tilhøva vere ustabile, og for sterk belastning på elvefaret kan tenkjast å føre til instabilitet for veg, og i verste fall også hus på h.bredd.

Gunnstein Brakestad
sjefingeniør

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Rkiv

Førde 7.aug. 1989
555/89 VRV
GBR/ 553.1 - 1432

Førde kommune
Teknisk etat
Postboks 101

6801 FØRDE

FORSLAG TIL KOMMUNEPLAN FOR FØRDE 1988 - 99.

Vi viser til kommunen si oversending datert 11. juli 1989, ref. MAS/tbf ark. 503.

Oversiktskartet som følgjer kommuneplanen for Førde, er ikkje så detaljert at den gir grunnlag for merknader fra vår side.

Til kommunedelplanen for Førde sentrum har vi følgjande kommentarar:

1. Framlegget til framtidig arealdisponering på Kronborg, med formål vidaregåande skule/idrettsanlegg og camping/industri/kontor, vil kreve oppfylling av areal som i dag er lågtliggande og dels vert overfløymde når det er stor flaum i Jølstra. Utan ein monaleg auke av elveløpet i det aktuelle området, vil dette tiltaket kunne auke flaumproblema på Vie-sida, der ulempene frå elva allereide er store som dei er i dag. Vi viser til vedlagd kopi av avisomtale etter flaumen i 1983. Dette var ikkje på nokon måte ein ekstremflaum. I tillegg til dei eventuelle forverringane ein kan få på Vie, må ein og rekne med at ei oppfylling som vist kan føre til flaumoppstuving i elva, noko som også kan gi ulemper på Brulandsida. Denne effekten vil ein og kunne få berre ved å køyre ut ei fylling til den påtenkte fylkesvegen Kronborg - Vie. Denne delen av planen bør vurderast nøye, før ein låser tilhøva gjennom eit bindande vedtak i kommunen.

2. Arealdisponeringa ved Sentralsjukehuset/Sjukepleiarhøgskulen finn vi også grunn til å kommentere. Med ei opp- og utfylling som vist mot Anga, vil ein hindre elva i å kunne renne inn over dette arealet. Dette fører med seg at tilhøva ved stor flaum kan verte verre på nordsida av elva, etter som alt vatnet vil bli pressa inn i elvefaret, medan det i dag kan ha høve til å renne over på sørsida. Slik tilhøva er i dag, har ein noko labile tilhøve i området ved Hagen. Til sikring av dette bustadområdet har ein utarbeidd plan til forbygging og delvis utviding av elveløpet mot sør. Denne planen er til handsaming i distriktet.

NVE
Vassdragsdirektoratet
REGION VEST
Kontoradresse: Langebruvn. 2, Førde
Postadresse: Postboks 53, 6801 Førde
Telefon: (057) 21 244
Telefax: (057) 26 490
Postgiro: 5 05 33 01

3. Det bør leggast vekt på å halde størst mogeleg strekning av elvane i sentrum tilgjengelege for ålmenta. Det vil difor vere positivt å få regulert inn friområde (evt. i kombinasjon med gangveg,der det er naturleg) langs vassdraga.

4. Jølstra er forbygd over lange strekningar i Førde sentrum. Det må ikkje gjennom reguleringar og byggjeløyve bli gitt høve til ei arealutnytting som hindrar seinare vedlikehald av desse med tungt maskinelt utstyr. (Utvidinga av posthuset kan stå som døme på ei utbygging vi meiner er uheldig i så måte). I den grad dette evt. skjer, vil vi halde oss rett til heilt å skrive fra oss ansvar for seinare naudsynte reparasjonar.

Med helsing

G. Brakestad

Gunnstein Brakestad
sjefing.

3. *Eksempel på flomforhold og bl.a. masseuttak; Gaula, Holtålen, Midtre Gauldal og Melhus, Sør-Trøndelag.*

1 BESKRIVELSE AV VASSDRAGET

1.1 Generelt

Gaula i Sør-Trøndelag er et av Midt-Norges største vassdrag. Vassdraget drenerer i øst-vest retning gjennom kommunene Holtålen og Midtre Gauldal, fra Støren drenerer Gaula nordover gjennom Melhus kommune. Deler av vassdraget ligger dessuten i Trondheim, Klæbu, Selbu og Tynset kommuner.

Gaulas nedbørfelt er 3658 km^2 og elvas lengde fra kildene i Holtålen til utløpet i Trondheimsfjorden er 150 km.

Gaula er vidt forgrenet med mange store sidevassdrag. Det eksisterer i dag fire reguleringer i vassdraget: Gaula ovenfor Ålen (Killingdal kr.v.), Holta (Raubergfoss kr.v.), Lundesokna (Sama-, Håen- og Sokna kr.v.) og Loa (Lofossen kr.v.)
Praktisk talt hele feltet er dekket av løsmasser. Marin grense ligger på 175 moh. Områdene over marin grense dekkes av morenemateriale av varierende mektighet.

1.2 Natur og miljø

Gaula er gitt varig vern mot kraftutbygging gjennom verneplan III.

Karakteristisk for området er de store løsmasseavsetningene med breelvsavsetninger og marin leire og silt. Disse avsetningene er spor etter siste istids avsmeltingsfase. Nærområdene til Gaula er nyttet meget til rekreasjon. Ved de største tettstedene er elveskogen i varierende grad benyttet som turområde. En annen viktig form for friluftsliv er sportsfiske. Ca. 5000 personer fisker etter laks og sjøørret pr. år.

Det er utført en rekke forskningsarbeider i Gaula. Det er gjort undersøkelser på fagfelt som forurensning, fisk, kantvegetasjon, grustransport og friluftsliv. Gaulosen er flittig nyttet i undervisningssammenheng pga. den særegne floraen og det rike fuglelivet. Også innen fagfeltene geologi og geografi er Gaula benyttet som undervisningsobjekt.

Årlig blir det fanget mellom 20 og 30 tonn laks og 2 tonn sjøørret i elva. Hovedårsaken til det rike fisket ligger i det store oppvokstområdet som er tilgjengelig for fisken.

Undersøkelser som er gjort av Direktoratet for Naturforvaltning viser at over halvparten av elveskogen på strekningen Gaulfossen - Hovin er fjernet i løpet av de siste 30 årene.

1.3 Flomforhold

Gaula er kjent som en typisk flomelv som har liten selvregulering i nedslagsfeltet. Elva kan flomme voldsomt opp på kort tid, samtidig som vannføringen kan bli ekstremt liten i tørkeperioder. Elva er en av de farligste flomelvene vi har her i landet og har gjennom tidene forårsaket store skader. Hovedkommunikasjonen mellom Sør og Nord-Norge, E6, Dovre- og Rørosbanen følger også Gauldalen i forholdsvis stor lengde.

Det finnes mange beretninger om oversvømmelser og elvebrudd som flommene har forårsaket langs Gaula de siste hundreårene. Ved hjelp av omfattende forbygningsarbeider som har pågått helt fra tidlig på 1800-tallet og fram til i dag, er gravingen som følge av flommene blitt vesentlig redusert.

Den største flommen så langt dette hundreåret var på 3060 m^3/s den 24.08 1940. Flommen har et beregnet gjentaksintervall på 100-400 år.

Så lenge Gaulavassdraget bare har små reguleringer, må man i tiden framover fortsatt regne med at flommene i vassdraget vil forårsake store skader. Reguleringene i Lundesokna, som er de største i vassdraget, er beregnet til å redusere vårflommene nedstrøms Lundamo med 4-5 %.

Det er foretatt omfattende studier av flomforholdene i Gaula.
Generelt kan en si at flommene er karakterisert ved rask flomstigning, kort varighet og lite volum over skadenivå (1400 m^3/s). En studie av flomhydrogrammet for august 1940 viser at tiden fra vannføringen var under skadeterskelen, til katastrofen var et faktum (2500 m^3/s) var 2 timer!! Etter ytterligere 2 timer lå praktisk talt hele dalføret i ruiner, men bare en person mistet livet.

1.4 Isforhold

Både i hovedelva og sideelvene er det vanligvis stabile isforhold i vintermånedene, et unntak er Lundesokna som går åpen nedenfor Sokna kraftverk. Det varme vintervannet fra Lundesokna påvirker også hovedelva et stykke nedover etter samløpet. Tidevannet påvirker også isforholdene i nedre del av Gaula slik at isen sprekker opp langs land.
Det er ikke uvanlig med vårisganger i Gaula, men disse har sjelden ført til skader av noen betydning eller forårsaket oversvømmelser. I hovedelva er det særlig på strekningen mellom Singsås og Støren det går isganger, av sideelvene har Sokna, Bua og Fora hyppige isganger.

2 *FLOMSKADER*

2.1 Erfaringer

- Vannføringer under 1200 - 1300 m^3/s ved Gaulfossen gir små eller ubetydelige skader.

- Ved 1400 m^3/s settes jordbruksarealer i nedre del av vassdraget under vann. Som følge av at elvebunnen har senket seg har skadene ved oversvømmelse blitt redusert, men erfaringer fra 95-flommen viser at erosjonsskadene i elveløpet har et betydelig omfang. Elvas erosjonshud på denne strekningen er svært tynn og masseomlagringer i forbindelse med flommen har blottlagt store leirområder og medført undergraving av forbygninger og erosjon i bunn og side. Veger langs vassdraget sperres midlertidig.

- Vannføringer over 1400 m^3/s gir sterk økning av skadene. Allerede ved 1800 m^3/s (1956) opptrer foruten oversvømmelse av store jordbruksarealer, erosjons- og sedimentasjonsskader i stort omfang. Veger blir oversvømt og skadet flere steder og det er fare for at jernbanen blir brutt.

- Vannføringer over 2000 m^3/s gir svært store skader og flommer med maksimalvannføringer over 2500 m^3/s vil føre til katastrofetilstander langs store deler av vassdraget (3060 m^3/s i 1940).

2.2 Tidligere flomdempningsplaner

Tidligere flomdempningsplaner er beskrevet i dr.ing. avhandlingen "*Flomdempningsmuligheter i Gaula kombinert med regulering for kraftproduksjon,* Odd Guttormsen 1984."

Etter flommene i 1934-35 utarbeidet NVE i 1937 en plan for flomdemping med i alt 14 reguleringsmagasiner i feltet.

Etter storflommen i august 1940 ble reguleringsplanene igjen aktualisert. I 1942 legger NVE fram en fullstendig plan med regulering av 12 sjøer. Videre gikk planen ut på utvidelser ved Haga bru og utvidelser av Gaulfossen for å få senket vannstandene på Støren og Hovin.

Etter en flom i 1956 kommer kommunene i Gauldalen med en felleshenvendelse til NVE der de anmoder om at arbeidet med flomdempningsplanene blir tatt opp igjen.

Studieselskapet for Norges Vannkraft har i sin plan av 1958 et eget kapittel om flomregulering. Dette bygger i store trekk på NVE`s plan av 1942, men de reguleringsmagasiner som ikke har interesse for kraftproduksjon går ut. Planen går ut på at men holder igjen et visst volum i kraftverksmagasinene utover våren og sommeren fram til 1 september.

I Studieselskapets reviderte plan av 1963 nevnes ikke regulering for flomdemping spesielt (ingen store flommer mellom 1956-1963).

Odd Guttormsen konkluderer i sin dr.ing. avhandling med at det er fullt mulig å dempe flommene i Gaula betydelig i kombinasjon med en regulering for kraftproduksjonsformål. Den billigste måten å etablere flomdempningsvolum på er å legge fyllingsrestriksjoner på de ordinære kraftverksmagasinene.

3 EKSEMPEL PÅ TILTAK I GAULA

3.1 Flomverk

Bebyggelse og fabrikklokale på Troøyen i Midtre Gauldal ble berørt under årets flom. En gammel bru snevrer inn løpet og fører til oppstuving. Bygging av flomverk og utvidelse av løpet under brua er i gang nå. Media viste stor interesse for problemstillingen under flommen.

3.2 Masseuttak

Masseuttak og konsekvenser av dette er beskrevet i NGU rapport 86.184 "Uttak av sand og grus i Gaula" av Dag Ottesen 1987 og i NHL rapport "Konsekvenser av grusuttak i Gaula" av Magne Wathne 1987. Mesteparten av stoffet i dette underkapittelet er hentet fra disse.

Grusuttak i større målestokk i Gaula startet opp i 50- årene. Fram til 1985 ble det tatt ut ca 4 mill kubikkmeter grus fra elva, derav 1,2 mill kubikkmeter (30%) etter 1980. Virksomheten startet i Gaulas utløp og forflyttet seg oppover vassdraget etter hvert som ressursen ble mer eller mindre borte i vassdragets nedre deler. Etter at 5 års grusuttaksstopp ble innført i 1988, er det ikke tatt ut vesentlige mengder fra elva.

Gaula passerer tre store breelvavsetninger mellom Støren og Gaulosen (Kvasshylla ved Støren, Nordtømme ved Hovin og Høgmelan ved Kregnes). Breelvavsetninger er generelt de viktigste sand- og grusressursene, men de tre forannevnte antas i dag ikke å være viktige kilder for materialtilførselen til Gaula. To av dem er sikret mot elveerosjon.

Sideelvene antas å tilføre vassdraget beskjedne mengder med materiale.

De viktigste sedimentkildene for Gaula er massene langs Gaulas løp. Det kan enten være massene i bunnen av elva som flyttes over kortere eller lengre strekninger, eller at elva graver i sidene og frakter med seg materiale fra elveslettene. Under flommen i 1995 flyttet elva seg over 20 m sideveis like oppstrøms Ler.

De store uttakene har medført en senkning av elvebunnen på mer enn 1 m i gjennomsnitt på strekningen mellom Gaulfossen og Gaulosen. I 10 årsperioden 1977-87 var grustilførselen i gjennomsnitt mindre enn 5 % av uttaket. Grustransporten skjer i løpet av korte tidsperioder med stor vannføring som under vårflommen i 95. Flomtoppene, som opptrer i relativt kort tid, står for en vesentlig del av grustransporten

At elva har senket seg har medført at det stadig blir vanskeligere for elva å skaffe seg nytt materiale for å opprettholde massebalansen i elva. De negative følgene av bunnsenkningen er en mere finkornet elvebunn, som gir dårligere gyte- og oppvekstforhold for fisk, undergravde brukar og forbygninger og mye blottlagt leire i elvebunn og elvekant. Bunnsenkningen bidrar til å redusere flomvannstandene i nedre del av elva og dermed skadene som følge av oversvømmelse.

3.3 Erosjon og erosjonssikring

På strekningen Udduvoll bru-Støren er det utført ca 38 km erosjonssikring. Forbygningene bidrar til en betydelig reduksjon av erosjonsskadene i flomsituasjoner. Også ovenfor Støren der vannhastighetene er større enn på den nederste strekningen er det også utført omfattende forbygningsarbeider.

I forbindelse med flommen i 1995, som hadde en maksimal vannføring på ca 1470 m^3/s, var erosjonsskadene dominerende. Betydelig graving finner sted flere steder i elva. Flommen har fjernet dekksjiktet i elvebunnen og blottlagt leira på mange steder. Elva har også senket seg i flere svinger med undergravde forbygninger som resultat.

Store masseforflytninger har skjedd. Terskler er dannet, noe som har endret strømningsforholdene en rekke steder. Dessuten har hovedløp/djupål forflyttet seg sidevegs. Elvas naturlige erosjonshud er mange steder svært tynn og stedvis helt borte. Andre plasser er det dannet store grusører.

Under og etter flommen i år var det nødvendig å foreta sikringsarbeider langs flere strekninger. Etter flommen viste det seg at jernbanelinjen sank ned i bløte leirmasser ved Ler (leire) og det var nødvendig å komme raskt i gang med sikringstiltak. At elva har senket seg som følge av masseuttak har ført til undergraving av flere forbygninger og svært tynt dekksjikt i elvebunnen. Skadepotensialet som følge av erosjon nedstrøms Gaulfossen er derfor stort, men skadene som følge av oversvømmelse har blitt mindre.

Forbygningsanlegg for 4-5 mill kr er utført, eller planlagt utført i nær framtid, som følge av skader oppstått eller oppdaget i forbindelse med vårflommen.

I tillegg til disse akutte flomskadene har vårflommen i Gaula aktualisert tidligere planlagte (ikke utførte) anlegg flere steder i vassdraget. Gamle planer må revideres m.h.p. kostnader og miljøforhold. Det er også kommet inn et betydelig antall ordinære forbygningssøknader etter flommen.

Erfaringer fra 95-flommen viser at masseomlagringer i elveløpet på denne strekningen har medført et betydelig skadeomfang i form av erosjonsskader i bunn og side og blottlegging av leire som gir negative følger for fisk og fiske.

Det er allerede bygget en flatterskel i Gaula for å hindre tilbakegraving som ville gi erosjon i en høgmel bestående av silt og leire (1994). Det kan bli behov for å bygge flere slike terskler for å hindre at leirutvasking i bunn og side. Tersklene vil koste kr 200-300.000 pr stk. Utvasking av leire i elva har fått betydelig oppmerksomhet fra media og interessenter (fiske). Utvasking av silt- og leirmasser i strykparti i elva midt i fiskesesongen fører automatisk til krav om tiltak.

Også i nabovassdraget Orkla er situasjonen den samme og senkning av elveløpet har ført til undergraving av hovedvannledningen for Orkdal sentrum. Også her førte vårflommen til skader og behov for hastetiltak. Kraftverksreguleringene gir imidlertid en god dempning av vårflommene i Orkla.

3.4 Diverse problemområder

Basert på:

- Erfaringer fra vårflommen
- Uavklarte problemområder kjent fra tidligere

I Udduvoll bru Øye

- Erosjon og oversvømmelser. Hastetiltak to steder. Planer om ny Udduvoll bru.

II Melhus sentrum

- "Melhussaken". Veg på fylling og/eller langsgående bru.
- Sikkerhet mot flom på ny E6

III-V og VII-IX Hastetiltak flom 95.

- Erosjon og undergraving av forbygninger.

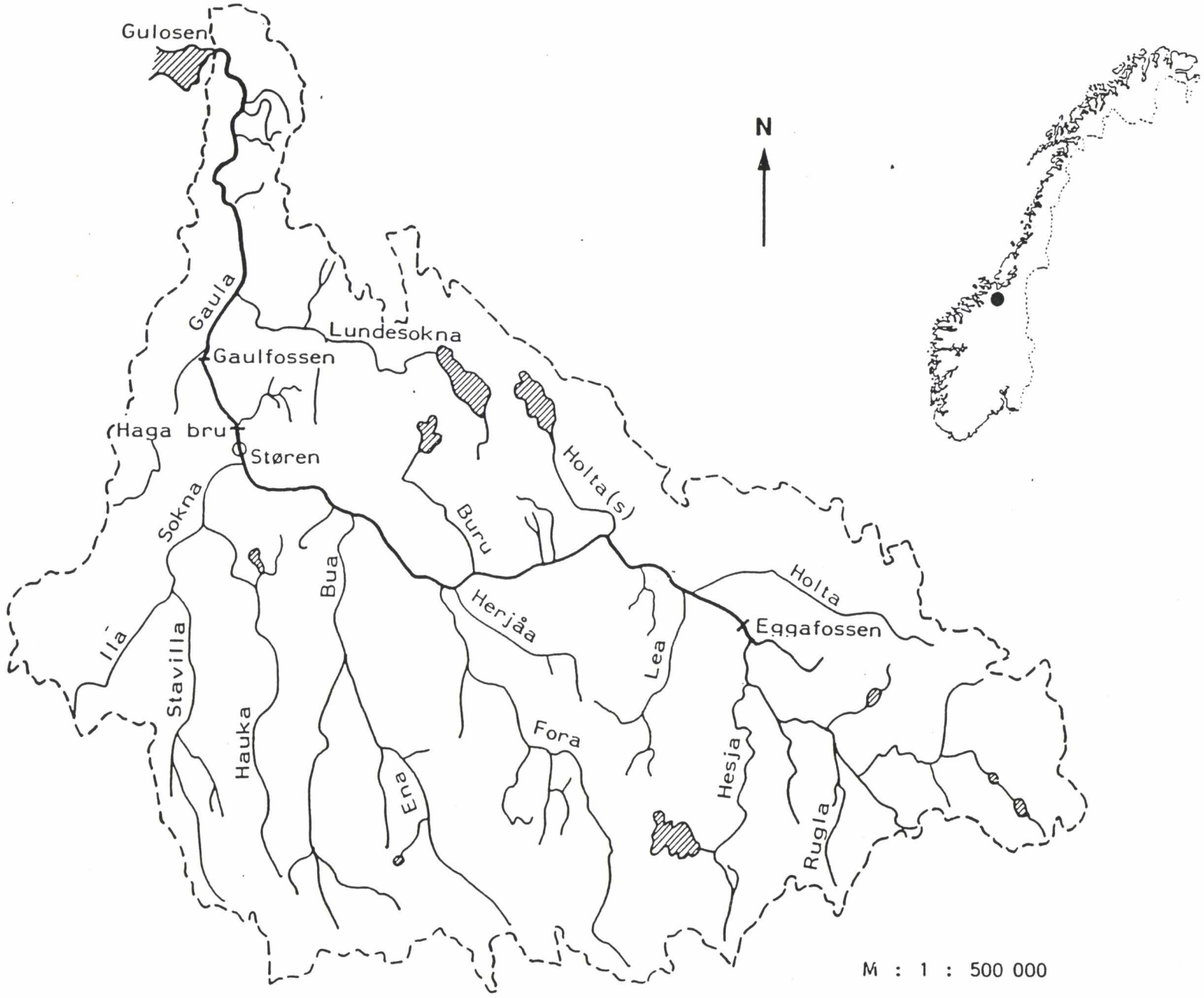
VI Oppstuving i Gaulfossen

Gaulfossen og området ved Haga bru like ovenfor gir betydelig oppstuvinger i flomsituasjoner. Store verdier i Størenområdet vil bli satt under vann allerede ved 2000 m^3/s. Rask flomstigning medfører behov for gode evakueringsplaner (Se kap 1.2).

NB! Flomlinjer og data over skadeomfang finnes på hele strekningen fra Støren og ned til utløpet (ca 40 km).

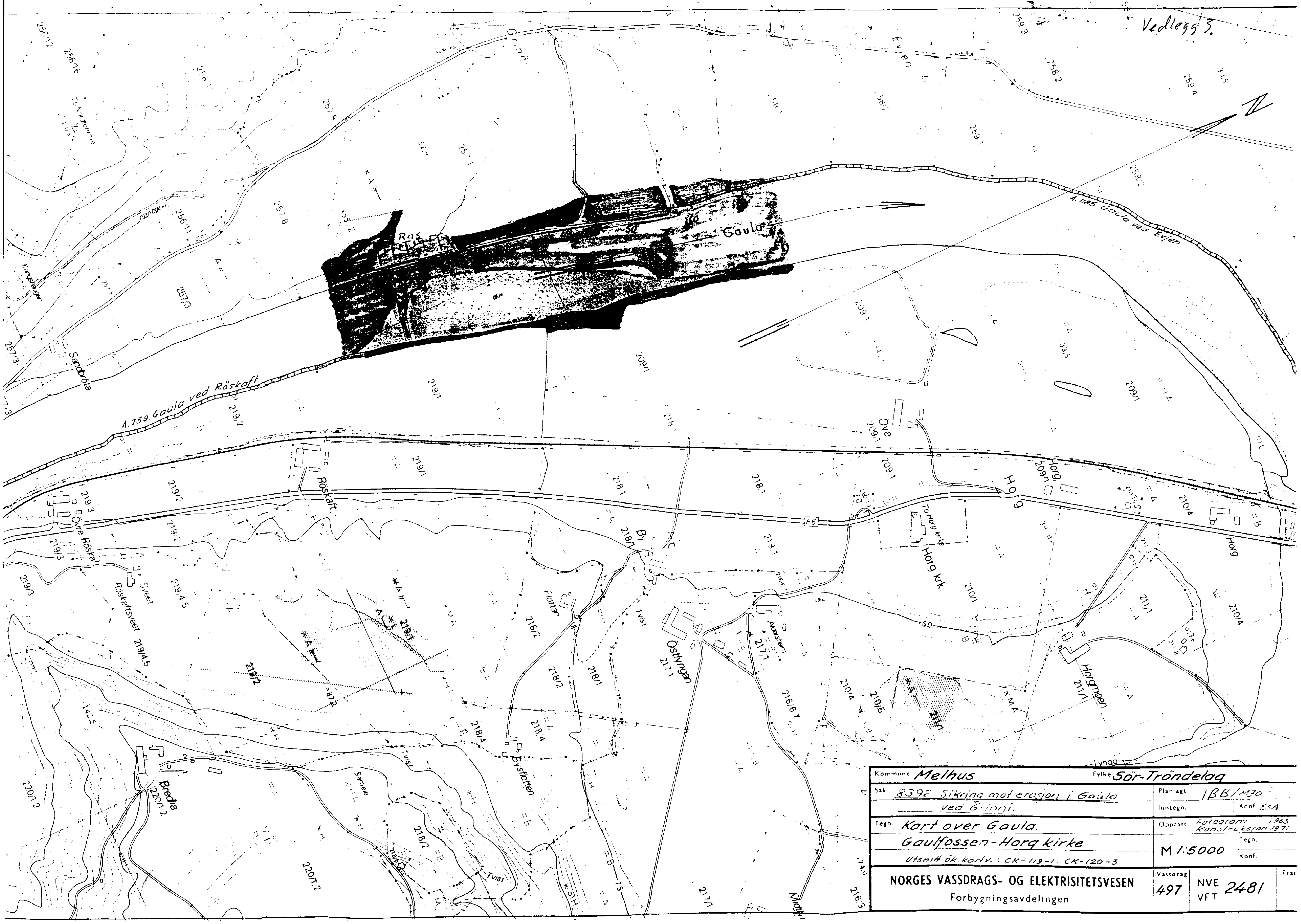
4 VEDLEGG

2 Skjematisk oversikt over vassdraget
3-5 Kart og tegninger for bunnstabilisering
6 Oversikt over grusuttak



Figur 1. Kart over Gaula-vassdraget.

Vedlegg 3.



Kommune *Melhus*	Fylke *Sör-Tröndelag*		
Sak *8392 Sikring mot erosjon i Gaula ved Grinni.*	Planlagt *IBB/MJO*	Inntegn.	Konf. *ESÆ*
Tegn. *Kart over Gaula. Gaulfossen-Horg kirke*	Opptatt *Fotogram 1963 Konstruksjon 1971*		
Utsnitt øk. kartv.: CK-119-1. CK-120-3	M 1:5000	Tegn.	Konf.
NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN Forbygningsavdelingen	Vassdrag 497	NVE VFT 2481	

Vedlegg 4.

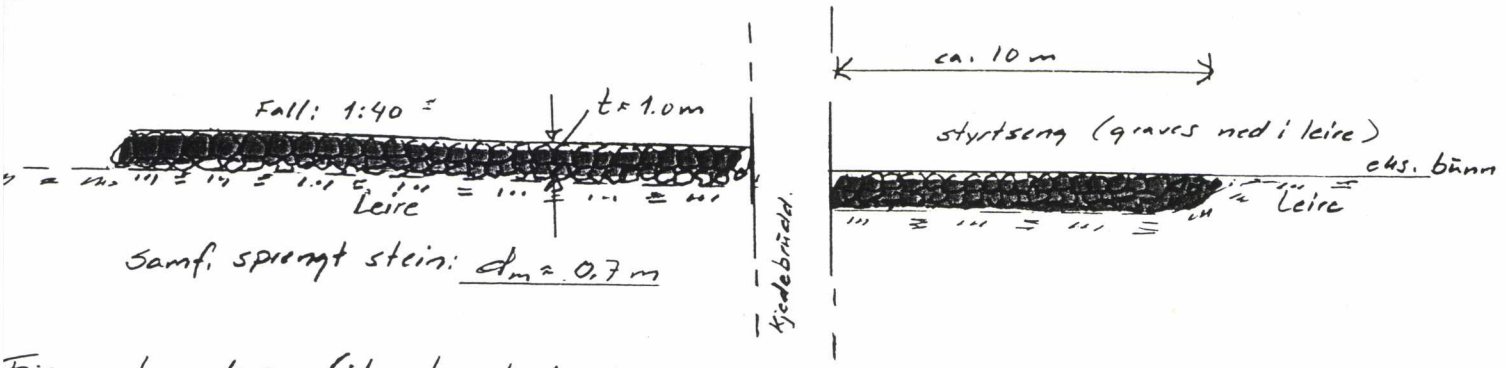


Fig. Lengdeprofil terskel i dypål. (M ≈ 1:200)

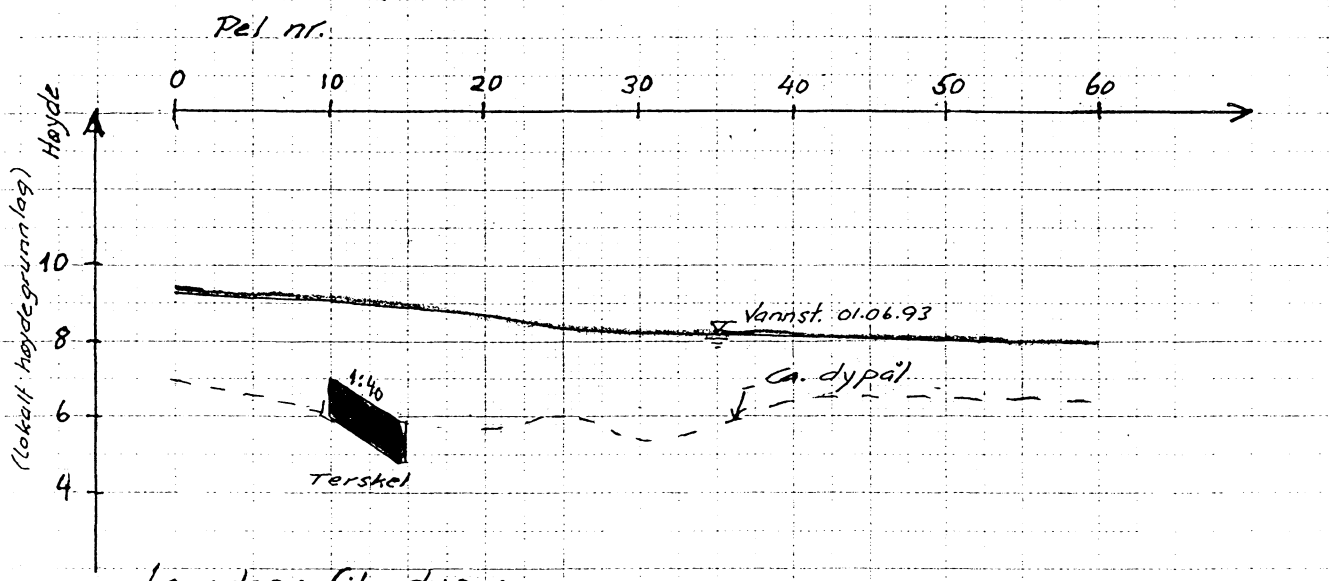
M ≈ 1:200

Fig: Lengdeprofil av steinbelte på grūsør.

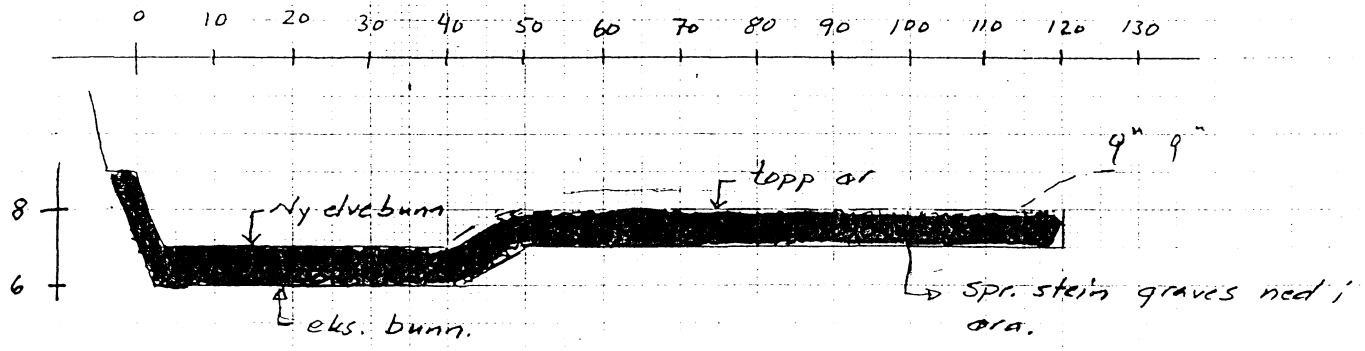
Totalt steinbehov bunnsikring: 3500 m³

Kommune: Melhus				Fylke: Sör-Tröndelag.	
Målt	Tegn.: MJo	Konf.	Dato: 18.06.93	Målestokk: ≈ 1:200	NVE VASSDRAGSDIREKTORATET AVD: VRM
Sak: 8392 Sikring mot erosjon i Gaula ved Grinni				Erstatning for:	Erstattet av:
Tegn.: Lengdeprofil terskel				Tegn. nr.: NVE/VRM: 3434	
Henvisning		Endring		Vassdr. nr.: 122.80	Format: A4

Vedlegg 5.



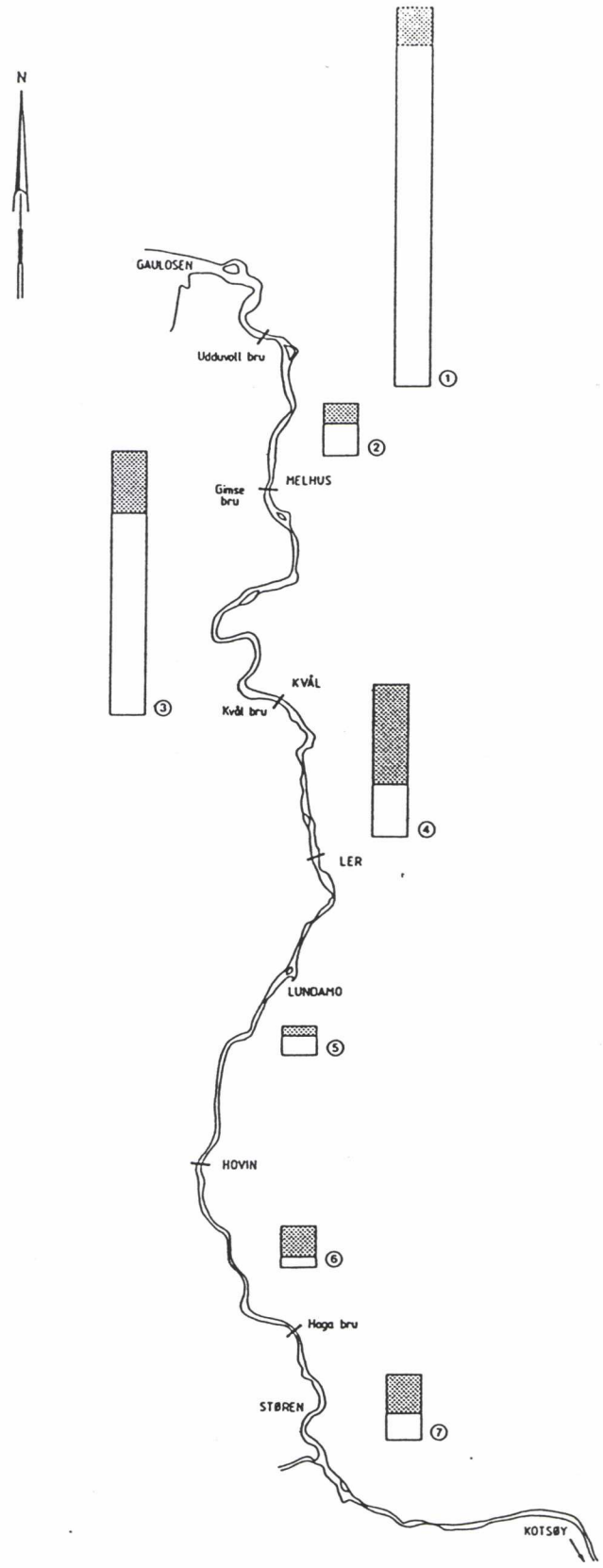
Lengdeprofil dyprenne.



Tverrprofil pel 10. Terskelprofil. $M_L = 1:1000$
$M_H = 1:200$

Kommune: Melhus				Fylke: Sör-Tröndelag	
Målt: 01.06.93 JSK	Tegn: MJO	Kont: ESA	Dato: 15.06.93	Målestokk:	NVE VASSDRAGSDIREKTORATET AVD:
Sak: 8392 Sikring mot erosjon i Gaula ved Grinni.				Erstatning for:	Erstattet av:
Tegn: Lengdeprofil + terskelprofil.				Tegn. nr: NVE/NRM: 3433	
				122.80	14

Vedlegg 6



TEGNFORKLARING

400 000 m³
200 000 m³
0

MASSER UTTATT 1980-85

MASSER UTTATT 1950-79

③ DELOMRÅDER

	Uttatt 1950-85 m³	Uttatt 1980-85 m³	%(1)	%(2)
1	1450 000	140 000	38	12
2	200 000	75 000	5	6
3	1060 000	265 000	28	22
4	585 000	380 000	15	32
5	110 000	40 000	3	3
6	155 000	130 000	4	11
7	260 000	170 000	7	14
SUM:	3820 000	1200 000	100	100

(1) PROSENT AV TOTALT UTTATTE MASSER (1950-85)
(2) PROSENT AV UTTATTE MASSER 1980-85

DELOMRÅDER

1 GAULOSEN - UDDUVOLL BRU
2 UDDUVOLL BRU - GIMSE BRU
3 GIMSE BRU - KVÅL BRU
4 KVÅL BRU - LER
5 LER - HOVIN
6 HOVIN - HAGA BRU
7 HAGA BRU - KOTSØY

FIGUR 2. Oversikt over uttatte masser i Gaula, 1950-85.

4. *Eksempel fra flomverk i Solør, problemer under flommen -95, grunnbrudd og reparasjoner;*
Flomverk mot Glomma, Flisa-Arneberg bru, Åsnes, Hedmark.

1. INNLEDNING.

Under storflommen på Østlandet i juni 1995 ble en rekke flomverk og erosjonssikringstiltak skadet. Ved reparasjoner tas det sikte på å avverge akutt fare for ny eller forverret skadeutvikling i neste og framtidige flommer.

Flomverk mot Glomma, Flisa - Arneberg bru, ligger langs venstre bredd av Glomma mellom Flisa jernbanebru og Arneberg bru ca. 6 km sør for Flisa. Under flommen 1995 brøt flomverket sammen på to steder, og satte hele området innenfor verket under vann. I tilknytning til bruddene i verket ble store mengder sand vasket inn over dyrket mark

I tillegg til bruddene i flomverket avdekket flommen i 1995 flere svake punkter langs verket. Det er også planlagt tiltak som har til hensikt å forsterke verket på spesielt utsatte punkter samt en generell utbedring av drenssystemet i bakkant av verket langs deler av traseen.

Det er ikke planlagt tiltak for å heve flomverkhøyden ut over opprinnelig høyde.

2. GRUNNLAGSDATA.

Det er gjennomført befaring av skadestedene og foretatt noen enkle målinger som grunnlag for reparasjonsarbeidene.

Det er videre foretatt prøvetakinger og grunnundersøkelser i tilknytning til bruddene i verket ved Arneberg bru og Flisa jernbanebru. Prøvene fra Flisa jernbanebru viser faktisk en horisontal permeabilitet ca. 10 ganger større enn den vertikale. Det er ikke foretatt grunnundersøkelser ut over dette langs resten av verket.

2.1. Skadebeskrivelse.

Flomverket mot Glomma brøt sammen på to steder. Bruddene skjedde uavhengig av hverandre. Det første bruddet inntraff ca. 100 m vest for Flisa jernbanebru ved utløpet fra Nesevja. Dette bruddet forårsaket oversvømmelse av områder ned til Kvesetevja like nord for Kvesetgrenda. Flomverket ved Arneberg bru brøt sammen senere. Dette bruddet forårsaket oversvømmelser inn over Kvesetenga og mot bebyggelse ved Bjerkely.

Bruddet ved Flisa jernbanebru artet seg som grunnbrudd sannsynligvis ved utvasking av masser under verket. Etter gjennombruddet flommet store vannmasser inn gjennom hullet og forårsaket erosjonsskader i verket og området innenfor. Bruddet skjedde inntil en pumpestasjon. Deler av pumpeanlegget ble ødelagt under innstrømmingen. Pumperør og lavvannsrør ble ødelagt og må legges om ved gjenoppbygging av verket.

Ved Arneberg bru er deler av flomverket bygget ved tetting av eksisterende vegfylling, og vegen krysser en bekk med avløp fra Ugerudkilen. Dette avløpet er ledet ut mot et lavvannsrør/pumpestasjon ved Arneberg bru og kulverten under vegen er stengt. Under flommen brøt vegfyllingen sammen, også her sannsynligvis pga. utvasking i grunnen under verket og grunnbrudd. Hele fyllingen over en strekning på ca. 80 m samt store sandmasser fra erosjonsgropa under verket ble ført inn over dyrket mark innenfor verket.

Oversvømmelsene som fulgte etter bruddene i flomverket skadet vesentlig dyrket mark. Noen få bolighus ble også skadet etter at vannet strømmet inn mot Bjerkely via en kanalisert bekk langs kanten av Ugerudmyra.

Før bruddene i verket skjedde var situasjonen kritisk mhp. grunnbrudd flere steder langs verket. Spesielt gjaldt dette lavpunkt ved utløpet fra Kvesetevja, ved lavpunkt ca. 200 m nord for Kvesetevja i og ved Arneberg bru.

3. *BESKRIVELSE AV PLAN FOR REPARASJON /FORSTERKNING.*

3.1. Omfang av planen.

Planen omfatter reparasjon og forsterkning av flomverket ved bruddene ved Arneberg bru og ved Flisa jernbanebru. Videre omfatter planen en generell forsterkning av flomverket ved utlegging av drens- og filtergrøft langs bakkant av fyllingen samt tiltak for å forsterke grunnen under verket i lavpunkter ved Arneberg bru og ved utløpet fra Kvesetevja.

Generelt gjelder at anlegget på reparasjonspunktene bygges opp med tilsvarende høyde og utforming som det opprinnelige anlegget. På spesielt utsatte steder eller ved tydelige svakheter i verket eller i grunnen under verket vil imidlertid erfaringer fra siste flom tillegges stor vekt ved vurdering av nødvendige utbedrings- og forsterkningstiltak.

3.2. Teknisk beskrivelse.

3.2.1. Forberedende arbeider.

Flomverket følger vegen på strekningen mellom Arneberg bru og bakken opp mot Rv3. Bruddet i vegfylling/flomverk er fylt med sandmasser fra jordene innenfor verket og med sand tatt fra Glomma nedenfor Arneberg bru.

Sandmasser til øvrige utbedringer kan i stor grad hentes fra Glomma eller fra sandtak i nærheten av verket.

Sprengstein og knuste masser for filteroverganger tas fra steinbrudd på Arneberg ca. 4 km fra anleggsstedet ved Arneberg bru. Utlegging av filtergrøft langs innersiden av flomverket vil bli samordnet med tilsvarende ved andre flomverk i området.

3.2.2. Brudd i flomverk ved Arneberg bru.

Bruddet i flomverket ved Arneberg har skjedd i gammelt elvefar/evje.
Grunnundersøkelser avslører tildels tette leirige masser med markert horisontal lagdeling.
Vegvesenets sonderinger i traseen angir meget faste masser, trolig fjell på nivå ca. 7-8 m under grunnvannstand (okt. 95).

Bruddet i flomverket artet seg som hydraulisk grunnbrudd med utvasking av masser under og bak verket. Bruddutviklingen skjedde svært raskt. Etter gjennombruddet strømmet store vannmengder inn og forårsaket betydelig erosjonsskader i og nær bruddet. Pga høyt poretrykk i grunnen under verket hadde massene liten motstand mot utvasking. Dybden av erosjonsgropa under verket ble målt til 12-13 m under topp verk.

Pga. horisonter med svært permeable masser var det ikke mulig å tømme erosjonsgropa for vann før tilbakefyllingen startet. Hullet ble fylt med ensgradert sand uten muligheter for komprimering. Fylling av erosjonsgropa og oppbygging av vegkroppen er utført av Statens vegvesen.

Flomverket repareres ved utlegging av foliebelagt fiberduk langs vannsiden og vegkroppen. Duken legges på avrettet skråning med fall 1:1,5 - 1:2 og dekkes av sandmasser og et 0,5 m tykt lag av sprengstein som erosjonssikring. Tetningsduken i verket på begge sider av bruddet ligger inne i vegfyllingen. Det er derfor ikke mulig å skjøte ny duk inn mot den gamle ved direkte omfar eller søm. Den nye duken legges utenpå vegkroppen ca- 40 - 50 m til hver side for bruddet. På denne strekningen vil det ligge to tette lag med sandmasse er mellom.

For å redusere faren for utglidninger som følge av oppbygging av trykk mellom de tette sjiktene legges en motfylling av sand langs vannsiden av verket. Motfyllingen bygges som en kjørbar veg med bredde 4-5 m og høyde 2-3 m over terrenget utenfor.

Grunnen under verket består av løst lagret sand som er tippet i vann. På begge sider av bruddet, består grunnen av lagdelte sedimentær avsatt i vann. Ved gjenoppbygging av verket må lekkasjevegen under fyllingen forlenges for å redusere poretrykksgradienten og dermed faren for nytt brudd. Lekkasjevegen forlenges mest effektivt ved å tvinge strømlinjene ned i grunnen. Dette kan utføres ved ramming av spunt eller ved injisering av massene i grunnen.

Ettersom arbeidene ved Arneberg bru bør være avsluttet før neste vårflom, dvs. arbeidene må utføres som vinterarbeid, vil ramming av stålspunt være eneste praktiske framgangsmetode for dette arbeidet. Stålspunt med tykkelse 8-10 mm og lengde 6 m rammes ned i grunnen langs oppstrøms skråningsfot. Topp spunt rammes/vibreres ned under terrengnivå. Tetningsduken i flomverket legges over toppen av spuntveggen og sikres mot lekkasje eller avriving som følge av setninger i fyllingen.

3.2.3. Brudd i flomverk ved Flisa jernbanebru.

Bruddet i flomverket ved Flisa jernbanebru skyldes sannsynligvis hydraulisk grunnbrudd. Ved innstrømning gjennom bruddet hadde grunnen innenfor verket et høyt poretrykk og dermed liten motstand mot utvasking.

Fylling og komprimering av erosjonsgropa for etablering av fundament for nytt flomverk ansees som svært vanskelig. For å kunne komprimere massene som fylles inn må erosjonsgropa tømmes for vann. Dette krever at massene et mot Glomma er tatt nok til at innstrømming via grunnen kan pumpes. Arbeidet ble gitt opp etter at prøvepumping avslørte stor permeabilitet i massene ut mot elva og dermed stor innstrømming av vann til erosjonsgropa.

Flomverket bygges opp etter prinsipp som vist på skisse i vedlegg.

Flomverket bygges av stedlige sandmasser. Sandmasser legges ut i ca. 0,5 m tykke lag og komprimeres med vibrovals samtidig som det tilføres vann i fyllingen.

I hovedmål legges nedstrøms skråning med fall 1:2,5 og oppstrøms skråning med fall 1:2. Sandfylling bygges med overhøyde 0,25 m av hensyn til setninger i grunnen og i fyllingen. Topp av flomverket bygges med bredde 4 m og forsterkes med et 0,25 m tykt lag av samfengt knust stein som vegbane.

Flomverket tettes med foliebelagt fiberduk 100-150 g/m^2 i og under fyllingen. I forkant av verket føres tetningsmembranen ned i grunnen i en 1-2 m dyp grøft. Av hensyn til montasje bør duk i størrelsesorden 300-400 g/m^2 brukes i tetningsgrøfta.

Behov for ytterligere tetning under flomverket vil bli vurdert. Aktuelle metoder for dette er ramming av spunt i korrosjonsbeskyttet stål eller plast som forlengelse av tetningsmembranen i forkant av verket. Tetningsmembranen som i første omgang legges ned i grøft foran i verket vil eventuelt bli skjøtt sammen med en framtidig spuntvegg og sikre konstruksjonen mot store lekkasjer gjennom grunnen med grunnbrudd som mulig utfall.

Vannsiden av flomverket erosjonsbeskyttes med 0,8-0,5 m tykt lag sprengstein ført opp til ca. 0,5 m under topp verk. Steinkledningen fundamenteres ca. 1 m ned i grunnen utenfor verket. Over steinkledningen legges et tynt lag av sandholdige masser som grunnlag for revegetering av skråningen. Både oppstrøms og nedstrøms skråning sås til med gras etter at anleggsarbeidene er avsluttet.

Deler av pumpestasjonen ved jernbanebrua ble skylt bort under innstrømmingen etter bruddet i verket. Likeledes ble pumperør og lavvannsrør ødelagt. Ved gjenoppbygging av pumpestasjonen legges nye pumperør med diameter 400 mm og nytt lavvannsrør med diameter 600 mm. Strømtilførsel og styringer for pumpene må erstattes. Det er foreløpig uklart om selve pumpene har fått skader under bruddet.

3.2.4. Drens- og filtergrøft.

Drensledningen i flomverket har ikke fungert tilfredsstillende under flommen. Drenasje langs luftsiden av flomverket har som formål å redusere faren for oppbygging av høyt poretrykk i bakkant av fyllingen samt å virke som filter for å unngå utvasking av kanaler i grunnen under verket. Utlegging av drens- og filtergrøft langs bakkant av flomverket vil gi økt lekkasje under verkene.

Drens- og filtergrøft legges i bakkant av verket. Behovet for filtergrøft er størst ved høye flomfyllinger: I første omgang og inntil grunnforholdene er nærmere utredet vil filtergrøft ikke bli lagt ut ved lavere flomfylling enn 3 m målt opp fra topp fylling til terreng innenfor verket.

Drens- og filtergrøft i flomverket bygges ved graving av en ca. 2 m dyp grøft langs bakkant av sandfyllingen. Grøfta kles med filterduk ca. 100 g/m^2 og fylles med knust stein i fraksjon 8-22 mm.

3.2.5. Pumpestasjon ved Arneberg bru.

Pumpestasjonen ved Arneberg bru ble satt i drift få måneder før flommen. Pumpeanlegget fikk mindre skader og er igjen satt i drift.

Pumpebassenget flyttes ca. 15 m nordover og terrenget inn mot vegen/flomverket fylles opp med drenerende masser. Kulverten fra Ugerudkilen kortes inn og føres via en kum ut i det nye bassenget. Samtidig med omleggingen monteres en enveisventil i kulverten. Dette hindrer at lekkasjevann fra flomverket dreneres bort fra verket.

Tilførselsledningen til pumpestasjonen må forlenges. For å unngå tappesvikt ved oppstarting av pumpene må også rørdimensjonen økes.

3.2.6. Forsterking av grunnen i lavpunkter.

Ved bruddene i flomverket ble svakeste punkt i verket identifisert. Etter oversvømming av områdene innenfor verket ble belastningen på verket eliminert. Ved grunnbrudd som skyldes utvasking og kanaldannelser i grunnen under verkene, vil skadene ikke repareres ved bortfall av trykkgradient i massene.

Brudd i flomverkene skjedde typisk i gamle elveleier/evjer. Disse ligger også i lavpunkter langs verkene og har størst belastning. Ut fra dette er det grunn til å frykte at flere slike punkter er kommet langt i bruddutviklingen og kan framstå som svake punkter i verket ved framtidige flommer. Langs verket mellom Flisa jernbanebru og Arneberg bru ligger minst 2-3 steder med tilsvarende topografi som ved bruddstedene. Studier av flyfoto kan muligens avsløre flere svake punkter langs traseen.

Forsterking av grunnen under slike svake punkter i flomverket er ikke gitt høyeste prioritet i arbeidene med verkene. Det arbeides i dag med utvikling/tilpassing av metoder bl.a. med bruk av plastspunt eller injiserte skjermer som både vil senke prisen og bedre holdbarheten sammenlignet med bruk av stålspunt.

3.2.7. Generell oppgradering av flomfyllingen.

Flomverket mellom Flisa og Arneberg vil i løpet av vinteren 1996 bli profilert for eventuelt å avsløre svanker eller setningsskader i konstruksjonen. Lavpunkter vil bli hevet men høyden på flomverket generelt vil ikke bli hevet.

Under flommen ble deler av flomverkene hardt belastet pga. tung trafikk. Massene var generelt bygget med bredde i toppen på 4 m. I en flomsituasjon vil det være behov for kontinuerlig ettersyn av verkene og også behov for utbedringer eller forsterkninger av verkene. Flomverket mellom Flisa jernbanebru og Arneberg bru er bygget med få adkomstramper. Dette medførte lange transportavstander for masser og ekstra belastning på verkene. Ved utbedring av verket vil det bli bygget 3-4 nye adkomstveier til verket.

3.2.8. Sekundærverk mot Ugerudkilen.

Ved flomoppfylling innenfor flomverket strømmet vann inn mot Bjerkely via en kanalisert bekk langs kanten av Ugerudmyra. Bekken renner i en markert forsenking i terrenget. Innstrømming via bekken forårsaket skader på bolig- og driftsbygg i området ved Bjerkely.

Ved bygging av et ca. 150 m langt sekundærverk vil områdene ved Bjerkely sikres mot oversvømmelse i tilfelle brudd i det ytre verket. Sekundærverket bygges i traseen for vegen i sydenden av Ugerudsmyra. Bekken legges i rør med tilbakeslagsventil under flomfyllingen.

3.2.9. Miljøtiltak.

Det skal tilstrebes å bevare gjenværende kantvegetasjon.

Ved avslutning av arbeidene dekkes steinlaget over normalvannstand med finmasser som grunnlag for etablering av ny kantvegetasjon.

4. KOSTNADER.

Følgende kostnader er inkludert:

Reparasjon av brudd ved Arneberg bru.
Reparasjon av brudd ved Flisa jernbanebru, inkl. rep. av pumpestasjon.
Drens- og filtergrøft langs luftsiden av verket. Lengde ca. 4 km.
Flytting av pumpebasseng ved Arneberg bru.
Sekundærverk i bekk i Ugerudkilen.
Generelt vedlikeholdsarbeider på flomverk.

Totale kostnader for reparasjon av flomverket på strekningen Flisa jernbanebru - Arneberg bru er kalkulert til:

kr. 6.500.000,- inkl. mva.

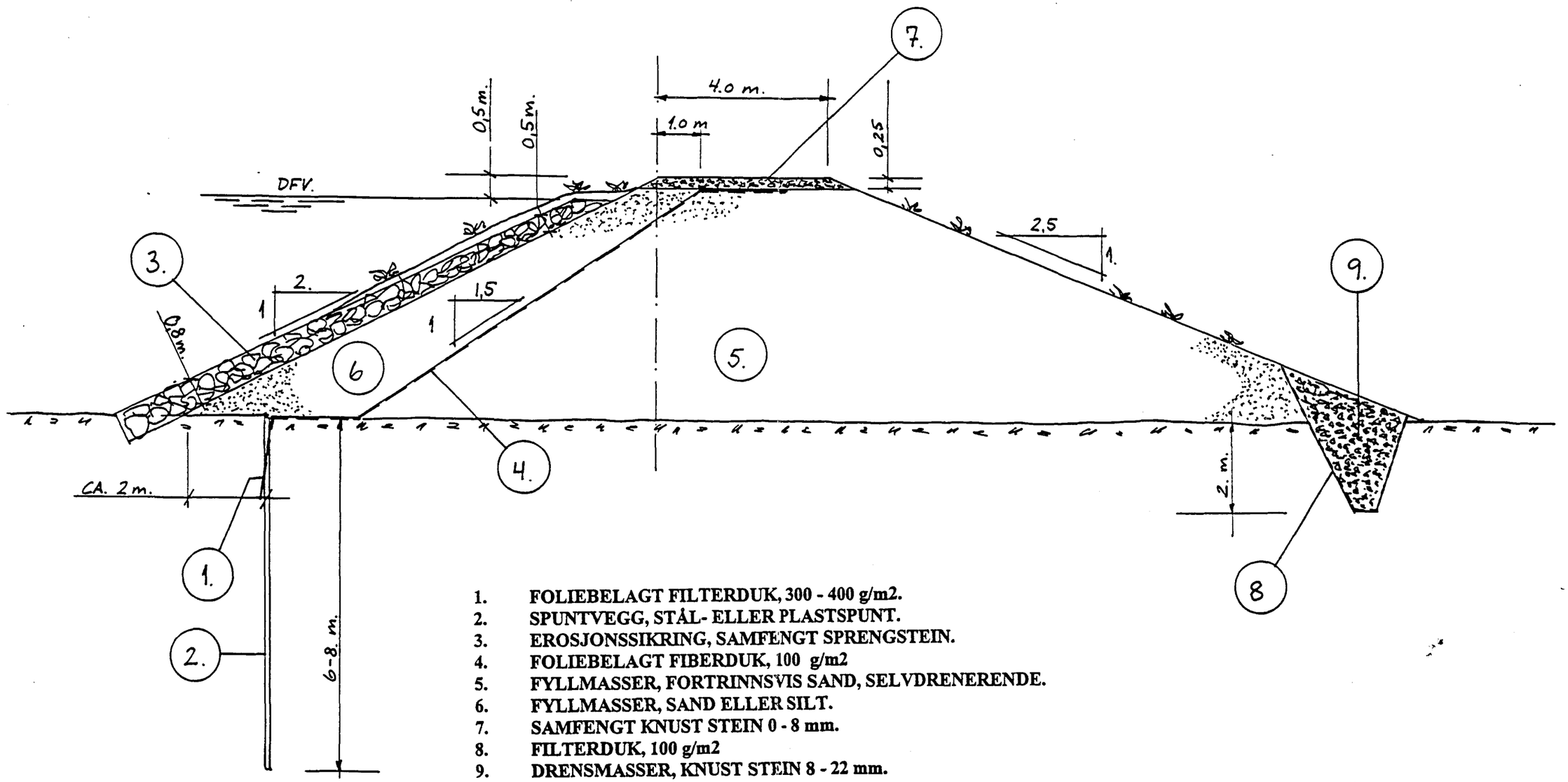
5. VIRKNINGER.

I og med at det dreier seg om reparasjon av eksisterende anlegg til tilsvarende utforming og standard som opprinnelig, er det ikke regnet med endringer i forhold til situasjonen før flommen i juni 1995.

VEDLEGG.

1 bl. oversiktskart, 1:50.000
1 bl. skisse, typisk snitt i flomverk med spunt
2 bl. fotografier.

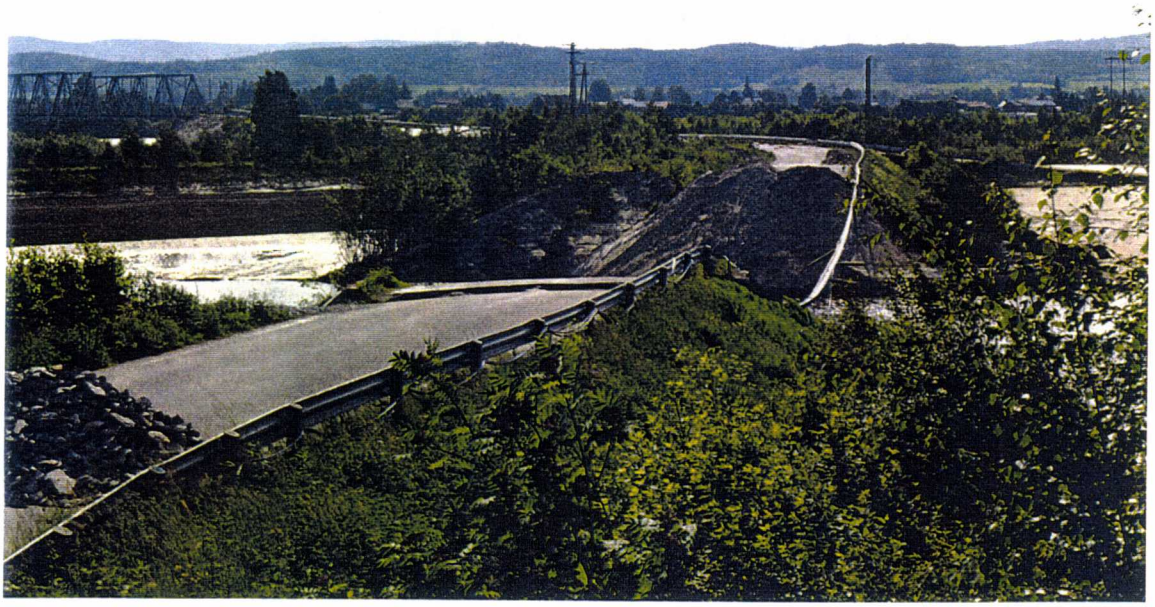
Kommune: ÅSNES				Fylke: HEDMARK	
Målt	Tegn.	Kont.	Dato	Målestokk: 1:50.000	NVE AVD: VRØ
Sak: 8968 FLOMVERK MOT GLOMMA, FLISA JERNBANEBRU - ARNEBERG BRU.				Erstatning for:	Erstattet av:
Tegn.: OVERSIKTSKART 1:50.000,				Tegn. nr.: —	
Henvisning		Endring		Vassdr. nr.	Format

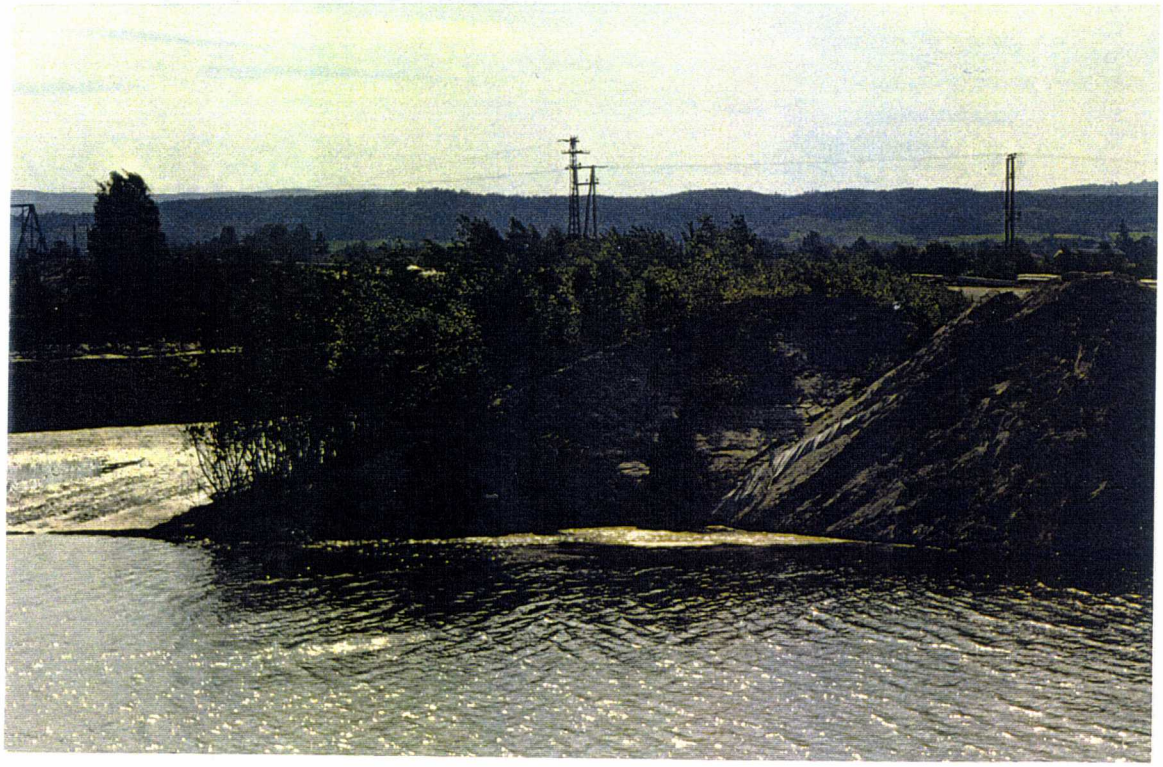


1. **FOLIEBELAGT FILTERDUK, 300 - 400 g/m2.**
2. **SPUNTVEGG, STÅL- ELLER PLASTSPUNT.**
3. **EROSJONSSIKRING, SAMFENGT SPRENGSTEIN.**
4. **FOLIEBELAGT FIBERDUK, 100 g/m2**
5. **FYLLMASSER, FORTRINNSVIS SAND, SELVDRENERENDE.**
6. **FYLLMASSER, SAND ELLER SILT.**
7. **SAMFENGT KNUST STEIN 0 - 8 mm.**
8. **FILTERDUK, 100 g/m2**
9. **DRENSMASSER, KNUST STEIN 8 - 22 mm.**

Kommune: ÅSNES				Fylke: HEDMARK	
Mål	Tegn.	Kont.	Dato	Målestokk: 1:100	NVE VASSDRAGSDIREKTORATET AVD:
Sak: 8968 FLOMVERK FLISA - ARNEBERG.				Erstatning for:	Erstattet av:
Tegn.: TYPISK SNITT I FLOMVERK				Tegn. nr.	
Henvisning		Endring		Vassdr. nr.: 002. G	Format: A3

BRUDD VED ARNEBERG
SETT MOT SYD-ØST





ARNEBERG

5. *Eksempel fra masseførende sideelv med masseavlagringsbasseng; Frya, Sør-Fron og Ringebu, Oppland.*

1. INNLEDNING.

Elva Frya har sitt utspring fra Furusjøen i sørvestre del av Rondane, og har samløp med Lågen ved Frya, på grensen mellom Sør-Fron og Ringebu. Elva faller relativt bratt ned fra fjellet, og har ved flom stor masseføring. Under flommen 1995 oppstod det erosjonsskader i sidene og bunnen av elva.

Frya er varig vernet gjennom verneplan II.
Fryas løp og vifte ved utløpet i Gudbrandsdalslågen er geomorfologisk interessant. Furusjøen, med en stor del av sitt dreneringsområde i Rondane nasjonalpark, er interessant for ferskvannsforskning. Store turist- og friluftsinteresser er knyttet til området.

2. TIDLIGERE ARBEIDER I FRYA.

Fra ca. 1920 - 1960 er det utført flere forbygnings- og opprensking-/kanaliseringssaker mellom jernbanen og utløpet.

På slutten av 1970-tallet ble det gjort en opprensking kombinert med flomfylling ca. 1 km ovenfor E6. Området ligger der Frya får slakere fall, og fungerer som et masseavlagrings-basseng.

3. TILTAK ETTER FLOMMEN 1995.

Under flommen 1995 ble masseavlagringsbassenget fylt opp med løsmasser. I tillegg oppstod det en del erosjonsskader i sidene og i bunnen av elva. Det er utarbeidet en plan for opprensking av avlagret masse, samt forbygging for å sikre eksisterende flomverk og jernbanebru.

4. MASSEAVLAGRINGSPROBLEMATIKKEN.

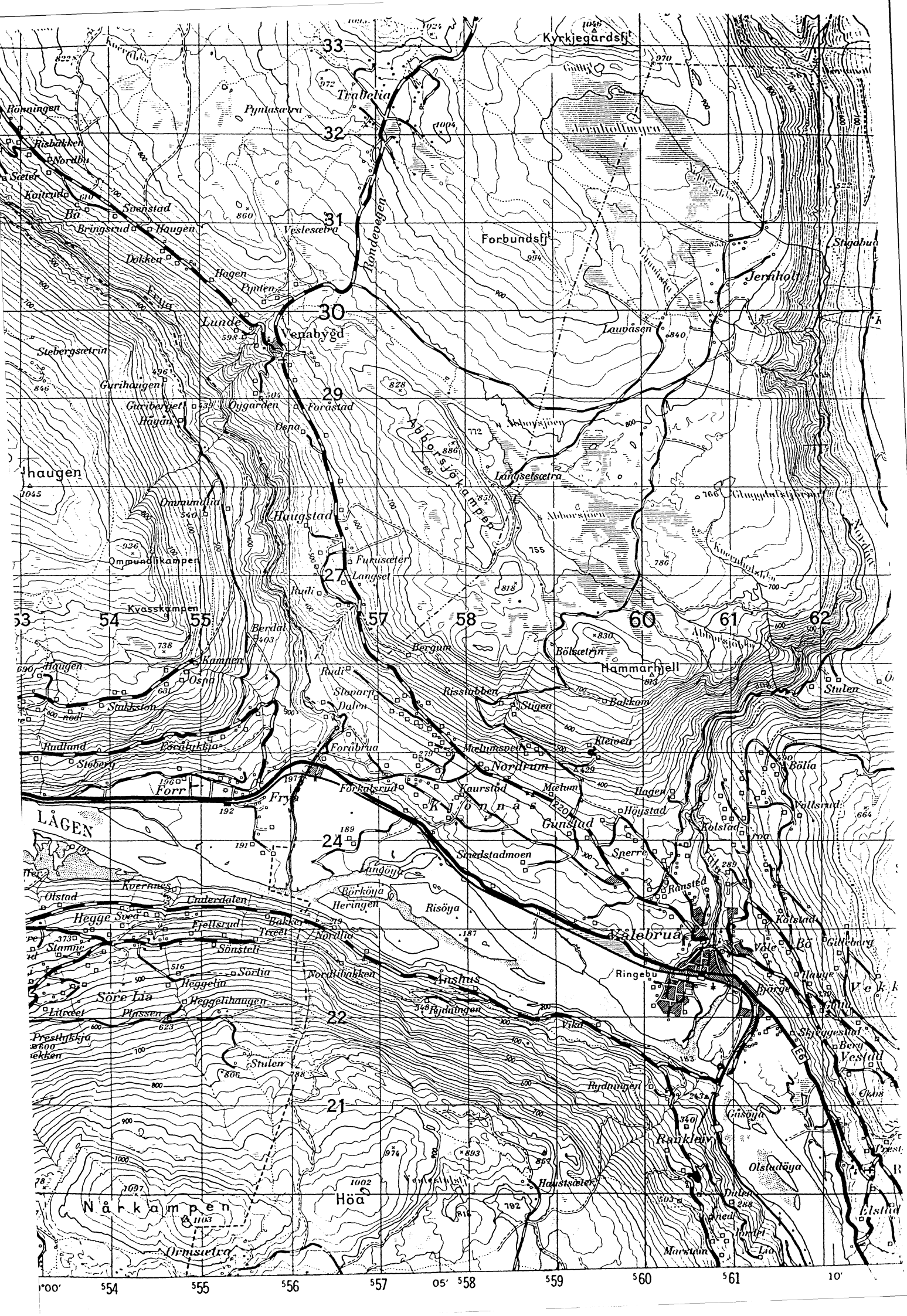
Masseavlagringsbassenget ovenfor E6 fungerte som forutsatt under flommen, og det er i ettertid tatt ut ca. 20.000 m^3 masse.

Dersom disse massene hadde blitt akkumulert i selve elveløpet nedstrøms masseavlagringsbassenget, kunne det hatt store konsekvenser. Frya's elvevifte nedenfor bassenget er opp gjennom tidene bebygd med bl.a. E6, Dovrebanen, meieri, kornsilo, avfallsforbrenningsanlegg, industri og flyplass. Et elveløp fylt med ørmasser kunne ført til oversvømmelse og store skader på disse installasjonene.

I det samme distriktet er det for øvrig mange eksempler på skader etter oppøring av sideelver uten masseavlagringsbasseng.

- Våla i Ringebu kommune truet lenge både jernbanen, skoler og idrettshall.
- Tromsa i Ringebu skadet E6 og truet bebyggelse.
- Rolla i Øyer kommune ødela E6.
- Bryhnsåa og Mosåa i Øyer tok seg nye løp, ødela fylkesveger og skadet bebyggelse.

Kfr. også vedlagte kartutsnitt over nedre del av Frya.



Kyrkjegardsfj
Trabelia
Pyntasætra
Rönningen
Risbakken
Nordbu
Sæter
Kuitrud
Bä
Svenstad
Bringsrud
Haugen
Dokken
Hagen
Pynten
Veslesætra
Rondevegen
Forbundsfj
Jernholt
Lauvåsen
Lunde
Venabygd
Stebergsætrin
Gurihaugen
Guribergett
Hagan
Oygarden
Forastad
Ospa
Abborsjökampen
Langsetsætra
Ommundlia
Haugstad
Ommundlikampen
Furusæter
Langset
Rudi
Kvasskampen
Berdal
Kampen
Ospa
Bergum
Bölsætrin
Hammarhjell
Risstubben
Stigen
Bakkom
Stulen
Stakkston
Rudland
Steberg
Forrlykkja
Forrbrua
Mælumsved
Kleiven
Nordrum
Forr
Frya
Forkalsrud
Kaurstad
Mælum
Hagen
Höystad
Gunstad
Kolstad
Bölia
Vollsrud
LÅGEN
Smedstadmoen
Sperre
Langöya
Börköya
Heringen
Risöya
Olstad
Kvernnes
Underdalen
Hegge
Svea
Fjellsrud
Bakker
Træet
Nordlia
Sönsteli
Stamne
Sörlia
Nordlibakken
Anshus
Ringebu
Vålebrua
Kolstad
Vole
Bö
Gilleberg
Hauge
Björge
Söre Lia
Heggelia
Heggelihaugen
Litræet
Plassen
Rydningen
Vika
Skjeggestad
Berg
Vestad
Prestlykkja
Stulen
Rydningen
Gåsöya
Rankleiv
Olstadöya
Haustsæter
Höa
Nårkampen
Ormsætra
Dalen
Marstein
Lia
Elstad
33
32
31
30
29
27
24
22
21
53
54
55
57
58
60
61
62
°00′
54
55
56
57
05′
58
59
60
61
10′

VEDLEGG 2.

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK
Vassdragsteknisk seksjon

INTERNT NOTAT

TIL: DATO: 14. mars 1996 Prosjektgruppe for delutredning 5
FRA: Arbeidsgruppe: Eirik Traae, Ingebrigt Bævre, Marit Eide, Bjarne Krokli og Roar Øvre
SAK: Beregning av effekt av flomverk benyttet til flomdempning.

1 INNLEDNING 4
1.1 BAKGRUNN 4
1.2 MANDAT 4

2 NEDSTRØMS VANNSTANDSENDRING VED ÅPNING AV FLOMVERK 5
2.1 GENERELT 5
2.2 DATAGRUNNLAG 5
2.3 FORUTSETNINGER FOR BEREGNINGENE 6
2.4 RESULTATER FRA SINTEFs BEREGNINGER MED DAMBREAK 6
2.5 RESULTATER FRA HYDROLOGISK AVDELINGS BEREGNINGER MED MIKE 11 9
2.6 VURDERINGER/KOMMENTARER TIL RESULTATENE 11

3 FLOMVERK BENYTTET TIL FLOMDEMPNING 13
3.1 GENERELLE TEKNISKE LØSNINGER 13
3.2 ØKONOMISKE KONSEKVENSER 14
3.2.1 Generelt 14
3.2.2 Aktuelle flomverk 14
3.2.3 Landbruksmessige konsekvenser 14
3.2.4 Kostnader ved etablering av luker 15
3.2.5 Heving av flomverket ved Kirkenær med 0.5 m 16
3.2.6 Konklusjon 16

4 VURDERING AV MODELLER/VERKTØY 16

5 ERFARINGER FRA ANDRE LAND 17
5.1 TYSKLAND 17
5.2 POLEN 17

6 AKTIV FLOMDEMPING 18
6.1 VIDERE ARBEID 18
6.2 FLOMVERKENES BETYDNING FOR FLOMTOPPEN 18
6.3 HEVING AV FLOMVERK 19

7 OPPSUMMERING 20

VEDLEGG

VEDLEGG

1 DATAGRUNNLAG 22
1.1 GENERELT 22
1.2 AREALER/VOLUMER BAK FLOMVERKENE 22
1.3 FLOMVERKET I HERADSBYGDA 23
1.3.1 Høyde på topp flomverk 23
1.3.2 Åpningstidspunkt og utvikling av bruddet 24

2 TVERRPROFILER AV ELVELØPET 24

3 HYDROLOGISKE DATA 25

4 FØLSOMHETSANALYSEN 26

5 KOSTNADSOVERSLAG 27
5.1 LUKER 27
5.2 HEVING AV FLOMVERKET I HERADSBYGDA MED 0.5 M. 29

6 UTDRAG FRA SINTEF-NLHsRAPPORT;
NEDSTRØMSVANNSTANDSEFFEKTER PGA ÅPNING AV FLOMVERK. feb 1996 30

7 OVERSIKTSKART 1:50 000 37

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Med VV-notat 01/96 ble det etablert en prosjektgruppe til å styre gjennomføringen av delutredning 5. Dette arbeidet gjennomføres på oppdrag for Flomtiltaksutvalget.

Som del av utredning 5.2 skal mulighetene for å benytte arealene bak flomverk til aktiv flomdempning vurderes. Dette har flere sider, blant annet av juridisk og økonomisk art. Grunnlaget må imidlertid være hvilken effekt innslipping av vann bak flomverk vil ha på vannstandsforholdene nedstrøms. Dersom effekten er av betydning må også de tekniske forhold vurderes nærmere. Det vil si hvordan dette kan gjøres i form av etablering av luker o.l.

I praksis er det bare på Østlandet det er bygd flomverk av en slik type og i et slikt omfang at det anses realistisk å kunne benytte eksisterende anlegg til flomdempningsformål. Konkret vil det si langs Glomma og Lågen. Forholdene i Glomma nedstrøms Elverum og særlig gjennom Solør anses interessante.

For å se på de hydrauliske forhold knyttet til flomverk benyttet til flomdempning ble det nedsatt følgende arbeidsgruppe:

Eirik Traae, VRS- leder
Ingebrigt Bævre, VRM
Marit Eide,VV
Bjarne Krokli, HV
Roar Øvre, VRØ

1.2 MANDAT

Gruppas mandat er som følger:

1) *Hvilken effekt mht. flomdempning kan påregnes nedstrøms, dersom arealet bak eksisterende flomverk benyttes som flomdempningsmagasin?*

2) *Hvilke modeller/verktøy anses best egnet til å beregne en slik effekt?*

Spørsmålene ovenfor besvares på generelt grunnlag, men med utgangspunkt i konkrete forhold her i landet. For å illustrere problemstillingen kan det imidlertid med fordel innhentes materiale fra tilsvarende problemstillinger i andre land. Det bør arbeides stegvis slik at en hele tiden vurderer videre innsats med tanke på god nøyaktighet i beregningene opp mot den effekt som kan forventes mht. flomdempning.

Gruppa velger selv hvor eksemplene skal hentes og hvilke modelverktøy som skal benyttes. Det skal vurderes en maksimal effekt basert på en optimalisering av punkt i vassdraget, tidspunkt og forløp av innslipping. Aktuelle lukearrangement bør i den sammenheng undergis en rask vurdering.

Et foreløpig svar på effekten avgis pr. 15.02.96. Det tas på basis av disse resultatene stilling til den videre framdrift og arbeidsopplegg.

Gruppa kan foreslå at deler av arbeidet settes bort til konsulenter. For øvrig trekker gruppa inn i arbeidet de personer i NVE som sitter med relevant informasjon/kompetanse.
Det er viktig at arbeidsgruppa holder løpende kontakt med prosjektgruppa for delutredning 5. Fram til fristen 15.02 rapporterer gruppa til leder av prosjektgruppe for delutredning 5. Deretter rapporterer gruppa til seksjonssjef i VV, om ikke noe anna blir bestemt. Eventuelle engasjement av konsulenter går

gjennom VV.
Arbeidet, som del av underlaget for delutredning 5.2, må gis absolutt første prioritet!

I møte 20.02.96 i prosjektgruppa for delutredning 5, ble mandtet til arbeidsgruppa utvidet. Mandatet ble utvidet til å gjelde landbruksmessige kostnader ved oversvømmelse og kostnader ved heving av flomverk.

2 NEDSTRØMS VANNSTANDSENDRING VED ÅPNING AV FLOMVERK

2.1 GENERELT

Spørsmålet om flomverk skal åpnes for å dempe flommen nedstrøms har kommet opp etter siste flom. Så langt har dette ikke vært gjennomført i Norge. En slik form for flomdempning har som formål å redusere skaden nedstrøms mot at arealer bak flomverket blir skadelidende. Dette er mest aktuelt i tilfeller der overskridelse av en kritisk vannstand har store økonomiske konsekvenser. For å få en best mulig lokal senkningseffekt, er det viktig at dempningsvolumene etableres nær den kritiske strekningen. Det beste eksemplet på dette er et flomverk med store verdier bak som må sikres. Dersom det er mulig å holde vannstanden under kritisk nivå kan dette gi en betydelig økonomisk gevinst. Strekningen mellom Elverum og Kongsvinger er den mest interessante i denne sammenhengen.

Som utgangspunkt for beregningene har vi valgt å se på strekningen mellom Skjefstadfoss og Braskereidfoss, en strekning på ca 20 km. Dette er en relativt oversiktlig strekning med kraftverk i begge ender som vi forutsatte hadde gode registreringer av flomforløpet. Dette er viktig for å kunne kalibrere den hydrauliske modellen. Videre ble det åpnet et flomverk på denne strekningen (Heradsbygda) under flommen 1995 fordi det var fare for overtopping. Det finnes en del opplysninger om denne åpningen som er nyttig for beregningene.

For å få resultater fram til første rapporteringsfrist ble SINTEF - NHL engasjert til å utføre beregningene. De utfører beregningene med beregningsprogrammet Dambreak.

NVE- Hydrologisk avdeling utfører de samme beregningene med beregningsprogrammet Mike 11.

2.2 DATAGRUNNLAG

Bak følger et vedlegg hvor datagrunnlaget er samlet.
Vi gjengir kort de viktigste dataene fra vedlegget.

På strekningen mellom Elverum og Kongsvinger er det et maksimalt volum bak flomverkene på i størrelsesorden 70-75 mill. m³. (jmfr.tab.2.3.3 i NVE publ.1,1994). For flomdempningsformål er det realistisk å regne med at en tredjedel av det totale volum kan utnyttes, forutsatt en flom på størrelse med 1995 flommen. Det er flomverk uten bebyggelse bak som kan bli berørt ved åpning.

Vi har derfor valgt å regne for følgende alternative magasinvolum :
ca 3.5 mill m³
" 7 "
" 14 "
" 21 "

Dersom vi regner med en gjennomsnittlig høyde på 2 m vil 21 mill m³ tilsvare 10 000 da.

2.3 FORUTSETNINGER FOR BEREGNINGENE

* Hydrogrammet (flomforløpet) for 1995 flommen, ved Skjefstadfoss, er lagt til grunn for beregningene. For alternativene med 3.5 og 7 mill m^3 magasinvolum er det også utført en beregning for 1967 flommen, se SINTEF rapport:
Nedstrøms vannstandseffekter pga åpning av flomverk, februar 1996.

* For 1967 flommen har vi bare hatt døgndata tilgjengelig.

* Det er modellert et flomverk som fysisk er plassert i Heradsbygda. Som nevnt tidligere er strekningen Skjefstadfoss - Braskereidfoss valgt.

* Beregningene er utført for volumer bak flomverket fra 3.5 mill m^3 til 21 mill m^3. I praksis må det brukes flere flomverk for å oppnå større volum. Feilen som blir gjort ved å ta vannet ut på et punkt i stedet for på flere punkt innenfor et begrenset område ansees for å være liten.

* Det er de relative forskjellene som er interessante og ikke de kotehøydene som er angitt på plottene. Det finnes ikke tilstrekkelig nøyaktige opplysninger til at det kan sies at de absolutte vannstandene er korrekte. Mindre endringer av vannstands nivået har liten betydning for den relative forskjellen. De relative forskjellene varierer noe avhengig av hvilket elveprofil det blir sett på.

* I beregningene er volumet av vannet bare tatt ut fra elva, dette vannet er ikke tatt inn igjen når flommen begynner å gå ned.

2.4 RESULTATER FRA SINTEFs BEREGNINGER MED DAMBREAK

Flomverket ved Heradbygd ble benyttet ved simulering av åpning av flomverk.

Det er utført en analyse av hvor mye vannstanden kunne vært redusert dersom åpningstidspunktet og vannføringen inn bak flomverket hadde blitt styrt på en **tilnærmet optimal** måte med sikte på flomdemping. På strekningen mellom Heradsbygda og Braskereidfoss kan det oppnås en senkning av maksimalvannstanden på ca 5-10 cm, sammenlignet med en situasjon hvor flomverket ikke ble åpnet.

Under flommen i 1995 ble senkningseffekten nedstrøms åpningen av flomverket ved Heradsbygd ca 4 cm i profil 13 (naturlig elveleie) og 6 cm i profil 18 (dam Braskereidfoss) som følge av åpningen. (se profil 13 og 18 på kart i vedlegg.)

Den samme analysen er utført for å se på effekten av forskjellig volum bak flomverket, under forutsetning av tilnærmet optimalt utløpshydrogram.

I tabellen nedenfor er beregningsresultatene gitt for et trangt elveløp (profil 13). Ved dam Braskereidfoss er vannstanndsreduksjonen noe større.

Tab 2.4: Beregningsresultater for profil 13 med utgangspunkt i den spisse 1995 flommen.

Volum mill m^3	Ikke styrt åpning *		Gunstig styrt åpning **	
	cm	m^3/s	cm	m^3/s
3.5	4	30	9	70
7.0	4	30	17	115
14.0			24	185
21.0			31	230

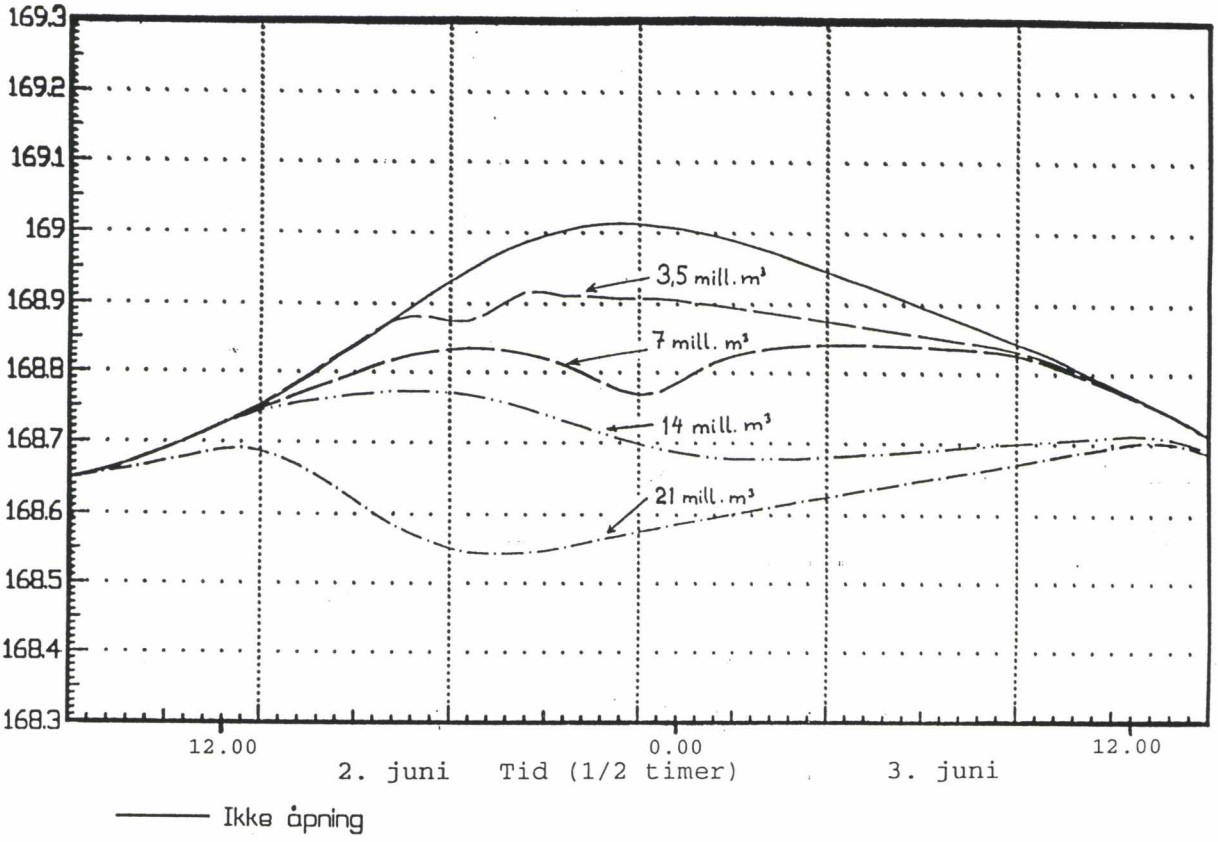
* Med ikke styrt åpning menes at det graves en åpning i et flomverk og bruddet utvikles ukontrollert. Her med eksempel fra Heradsbygda.

** Med gunstig styrt åpning menes tilnærmet optimalt uttak av vann i forhold til flomforløpet.

Hovedresultatene (fig 16 og 23) fra Sintefs rapport er vist på neste side. I vedlegg er innledning, sammendrag og konklusjon fra rapporten vedlagt.

Vannivå i profil 13

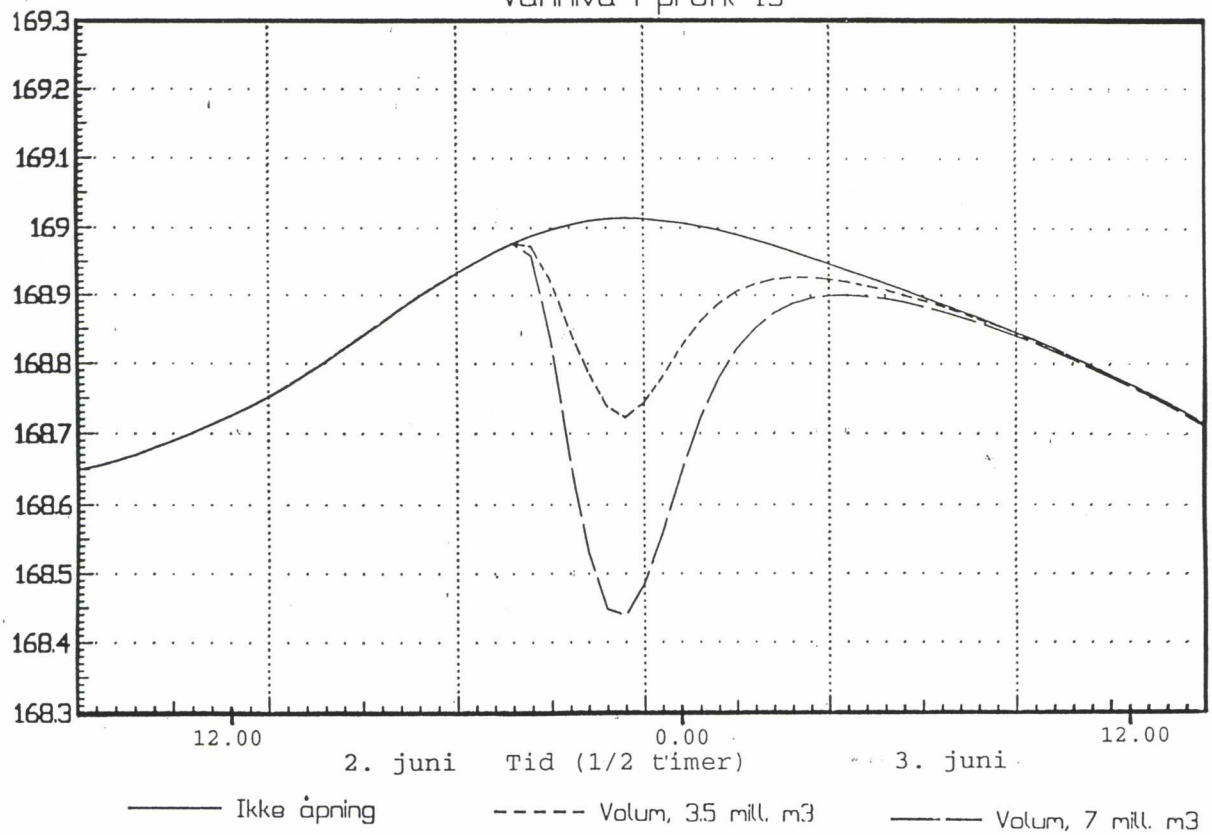
Virkning av økt volum bak flomverket



42

Virkningen av åpningen av flomverket ved Heradsbygda

Vannivå i profil 13



35

2.5 RESULTATER FRA HYDROLOGISK AVDELINGS BEREGNINGER MED MIKE 11

Beregningsresultatene ved dam Braskereidfoss er vist på figuren i tabellen under og på neste side.

Magasin volum	Ikke styrt åpning *	
3.5 mill m^3	8 cm	35 m^3/s
7.0 mill m^3	8 cm	35 m^3/s

* Med ikke styrt åpning menes at det graves en åpning i et flomverk og bruddet utvikles ukontrollert. Her med eksempel fra Heradsbygda.

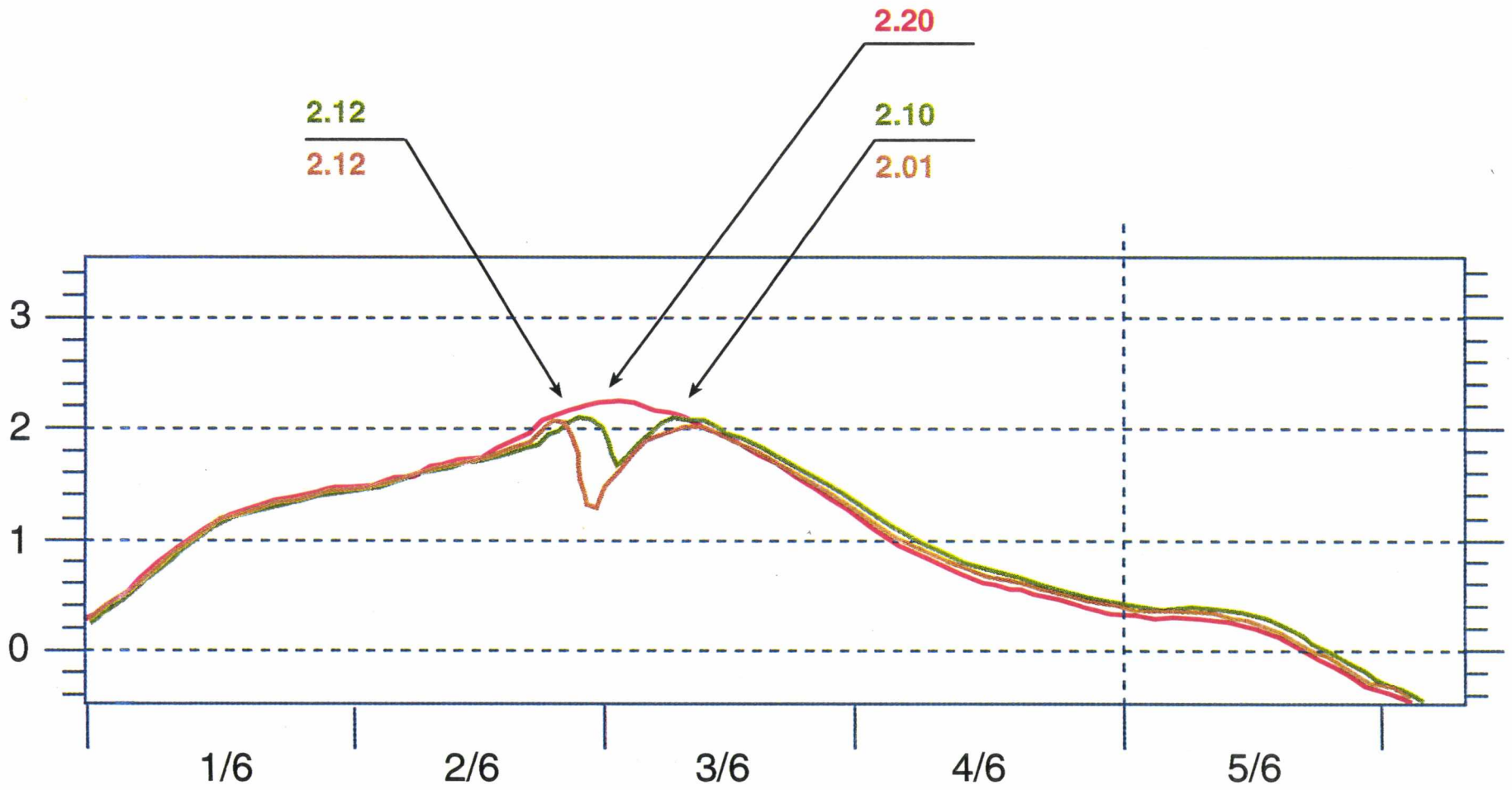
Ved dam Braskereidfoss gir beregningene fra SINTEF - NHL en netto senkningseffekt på 6-7 cm. Dvs at SINTEF-NHL og NVE Hydrologisk avdeling sine beregninger gir i praksis samme resultat.

FORKLARING TIL TABELL OG FIGUR

Alternativet med/uten åpning på figuren refererer seg til volumet 3.5 mill m^3 og dobbelt volum refererer seg til 7mill m^3. Vannstandene er gitt på dammen til Braskereidfoss kraftverk. Dette må ikke forveksles med Sintefs profil 13 som ligger mellom Braskereidfoss og Skjefstadfoss.
Høydene som er angitt er relative fordi det er de relative forskjellene som er interessante i denne sammenhengen.

Figuren viser at vannnstanden går markert ned for deretter å gå opp igjen. Netto senkningseffekt i forhold til situasjonen uten brudd er på ca 8 cm ved dam Braskereidfoss for begge volumene. Dette tilsvarer en netto vannføringsreduksjon på ca 35 m^3/s. For beregningen med 7 mill m3 er maksimal innstrømningskapasitet gjennom flomverket ca 800 m3/s.

GLOMMA under flommen 1995 Braskereidfoss kr.v.



UTEN ÅPNING

MED ÅPNING

MED DOBBELT VOLUM

2.6 VURDERINGER/KOMMENTARER TIL RESULTATENE

Som nevnt tidligere har vi bestemt oss for å forata hydrauliske beregninger på strekningen mellom Skjefstadfoss og Braskereidfoss. Vi har modellert ett flomverk hvor vi har variert innstrømningsforløpet, volum bak flomverket samt åpningtidspunkt. Virkningen av dette er avhengig av hvilket tverrsnitt det blir relatert til. Hvordan virkningen hadde vært på strekningen mellom Flisa og Norsfossen har vi ikke simulert pga at det ikke finnes tilstrekkelig datagrunnlag. Sannsynligvis vil flomtoppen være noe mer avrundet og følgelig kan effekten være noe mindre.

Av beregningsresultatene ser vi at følgende tre faktorene er avgjørende for vannstandsendringene nedstrøms :

* **For å oppnå optimal effekt må vi kjenne flomforløpet.**

  For å kunne ta ut store volum (21 mill m^3) optimalt, må beslutningen om åpning tas i god tid. Prognosene er også viktige når det gjelder å bestemme det beste utløpshydrogrammet gjennom flomverket. Med erfaring fra flommen 1967 bør lengden på prognosene være minst 5 døgn. Dette skyldes at at vi opplevde to flomtopper med 4 dagers mellomrom. Flommen 1995 var en relativ spiss flom og dersom den legges til grunn hadde det vært tilstrekkelig med en kortere prognoselengde. Uten **pålitelige** prognosemodeller vil det være urealistisk å forvente et optimalt resultat.

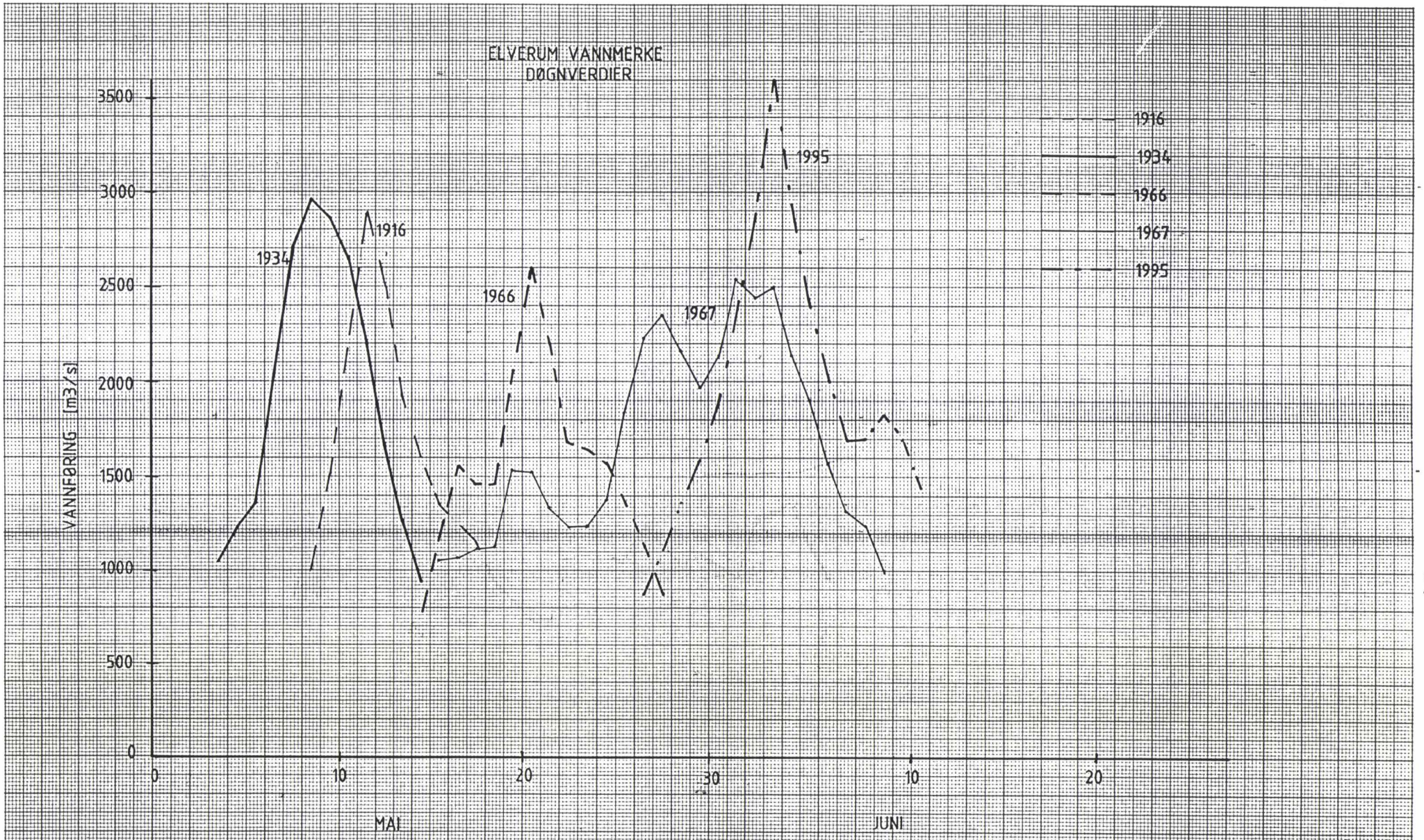
* **Effekten er følsom for flomforløpet og gir best effekt ved "spisse" flommer.**

  Hensikten med reguleringene (slippe inn vann bak flomverk) er selvsagt at vannstandene nedstrøms ikke skal overskride kritiske nivå. Flomvolumet over kritisk nivå er derfor avgjørende og virkningen kan i enkelte tilfeller gå ned mot null.
  Flommen i 1995 er karakterisert med en spiss flomtopp.

Som eksempel nevnes at 1934-flommen hadde en rund flomtopp, og at 1967-flommen hadde to topper.

* **Økt volum bak flomverket gir økt effekt forutsatt en optimal manøvrering.**

Figuren på neste side viser flomforløpet for de største flommene i dette århundret ved Elverum vannmerke.



ANM.:
VERDIENE ER TATT UT FRA NVE'S DATABASER I JAN.96. 1995-FLOMMEN ER DELVIS TATT FRA SJEFFSTADFOSS. DET VIL MULIGENS KOMME KORREKSJONER PÅ VF-KURVEN FOR ELVERUM VANNMERKE. DETTE ER DET IKKE TATT HENSYN TIL.

Kommune: ELVERUM				Fylke: HEDMARK	
Målt	Tegn.: EIT	Konf.	Dato: FEBR.96	Målestokk	NVE AVD:
Sak: BEREGNING AV EFFEKT AV FLOMVERK BENYTTET TIL FLOMDEMPING.				Erstatning for:	Erstattet av:
Tegn.				Tegn. nr.	
Henvisning		Endring			

Nr. 85.121 Sem & Stenersen Tegneteknisk A/S Oslo

HJELPEVERKTØY

Noe av det hjelpeverktøy som er nødvendig for å ha et best mulig beslutningsgrunnlag er:

*** Prognosemodeller , dvs**

-Driftssimuleringmodeller.

Det er nødvendig med best mulig kalibrert modell (f.eks. HBV) hvor det løpende holdes oversikt over tilstanden i feltet.

- Hydrauliske modeller

Det trengs også en dynamisk modell som gir sammenhengen mellom vannføring og vannstand i vassdraget. For å oppnå dette er det nødvendig å profilere aktuelle områder i vassdraget.

*** Meteorologiske data,**

med mest mulig pålitelige prognoser.
Dette er det svakeste leddet. To eksempler på dette er:

- 1995 flommen ved Elverum. Den 2 juni gikk prognosene ut på at det var forventet mer nedbør, men det kom ikke mer nedbør av betydning og flommen kulminerte.

- I 1967 kom det to flomtopper med fire dagers mellomrom og den største toppen var den siste. Hva hadde blitt gjort i en slik situasjon? Dersom flomverkene hadde blitt åpnet på den første toppen, ville en sittet med fulle flomdempningsmagasin når den virkelige toppen kom. (se fig. forrige side).

3 FLOMVERK BENYTTET TIL FLOMDEMPNING

3.1 GENERELLE TEKNISKE LØSNINGER

Innslippingskapasiteten må kunne reguleres avhengig av flomforløpet. Følgende tekniske løsninger kan være aktuelle :

1) Vanlige luker i flomverk. Aktuelle luketyper kan være
   - Gummiluker
   - Klappeluker
   - Segmentluker
   - Glideluker

Vi velger å kostnadsregne for gummiluker som anses for å være et rimelig alternativ..

2) Eroderbare felt i flomverket.
En lager felt/seksjoner som en kan grave opp ved bruk. Det må støpes eller spuntes tverrgående vegger vinkelrett på flomverket for å hindre ukontrollert erosjon. Denne løsningen er relativt billig, sammenlignet med en lukekonstruksjon, men den har en del svake sider når det gjelder manøvrering i flom. For eksempel kan nevnes svake punkt mhp. lekkasjer og at det vil være farlig å bevege seg utpå et flomverk under flom. Prosessen med å åpne flomverket kan ikke reverseres dersom prognoser endres eller det feilmanøvreres pga feilinformasjon.

Vi har ikke kostnadsregnet denne løsningen da vi utfra en helhetsvurdering mener luker er mest aktuelt å bruke i denne sammenhengen.

3) Heving av flomverk.
Et alternativ til aktiv bruk av flomverk til flomdemping er å heve de flomverkene som beskytter store verdier, eller en kombinasjon av heving av flomverk og aktiv bruk av flomdempingsmagasin.

Vi kostnadsregner for bare et av flomverkene og har valgt flomverket ved Kirkenær.

3.2 ØKONOMISKE KONSEKVENSER

3.2.1 Generelt
Solør er et område hvor det kan være aktuelt å vurdere noen av de tiltakene som er nevnt ovenfor. Her er det mange flomverk innenfor en begrenset elvestrekning, samt at noen av flomverkene beskytter tettsteder med betydelige verdier.

3.2.2 Aktuelle flomverk
Dersom areal bak flomverk skal tas i bruk til flomdempningsmagasin bør en fortrinnsvis velge flomverk som ikke beskytter bolighus, driftsbygninger, m.m. Eventuelt må det vurderes om det bør bygges sekundære flomverk rundt bolighus, driftsbygninger mm.

Følgende flomverk anses å være aktuelle å bruke som flomdempingsmagasin da det "bare" er dyrket mark og ikke bolighus, driftsbygninger e.l bak flomverkene.

Arneberg Øvre	3.4 mill. m^3	20 %
Arneberg Nedre	3.4 mill m^3	20 %
Holmen Gotland	3.3 mill m^3	20 %
Grinder	7.1 mill m^3	40 %
SUM	17.2 mill m^3	100 %

(Tallene er tatt fra NVE publikasjon 01/1994 "Sikring mot skadeflom, Storsjøen i Odal".)

3.2.3 Landbruksmessige konsekvenser
Bakgrunnsmaterialet for disse vurderingene er:

NVE publikasjon 01/1994.

I publikasjonen er tapet ved at potet- og kornavlinger settes under vann vurdert. Samlet tap ved korn er satt til 550 kr/da og samlet tap for poteter er satt til 2500 kr/da.

Navn på flomverk	korn (da)	poteter (da)	volum (mill m^3)
Grinder	0	2000	7,1
Holmen-Godtland	1400	600	3,3
Arneberg (2 pars.)	1600	600	6,8
Totalt	3000	3200	17,2

Samlet tap ved at disse arealene settes under vann blir:
3000da x 550 kr/da + 3200da x 2500 = **9.650 mill kr**

Dersom det blir aktuelt å sette jordbruksarealer under vann kan det bli aktuelt å gi føringer for arealbruken bak flomverkene slik at kostnadene begrenses ved en oversvømmelse. Dersom innslipping av vann bak flomverkene har et langt gjentaksintervall så er det mindre viktig med restriksjoner på arealbruken. Fra 1916 -1995 har vi hatt 5 store flommer. Dvs at vi har hatt store flommer i gjennomsnitt hvert 80/5 = 16 år, men statistisk sett har flommen 1995 et gjenntaksintervall i størrelsesorden 200 år.

Vi antar at bare flommer med gjentaksintervall over 50 år slippes inn bak flomverkene.

Årlig risiko blir dermed:

1/50*9.65 mill kr = ca kr 200 000,-

Kapitaliserer vi dette over 40 år med 7% realrente blir nåverdien:

kr 200 000x13.33 = **ca 2.7mill kr** (inkl mva).

For et gjentaksintervall på 25 år blir nåverdien kr 5.3 mill kr (inkl. mva).
Med et gjentaksintervall på 10 år blir nåverdien kr 12.9 mill kr (inkl. mva), i tillegg kommer eventuelle erstatninger for restriksjoner på arealbruken.

Innenfor den tidsrammen som gruppen har er det urealistisk å gå inn på en grundigere analyse.

3.2.4 Kostnader ved etablering av luker

Totalt volum som skal tas ut er 17.2 mill m³ over anslagsvis 20 timer, jmfr. 3.2.2. Dette gir en gjennomsnittlig vannføring på ca 240 m³/s, men maksimal kapasitet må være betydelig større. Innslippningskapasiteten må optimaliseres dersom det er aktuelt å gå videre med prosjektet.

Trykkhøyden som er tilgjengelig vil variere og det må tas i betraktning at vannstanden innenfor stiger relativt raskt og at den utenfor synker pga innslipping av vann på de aktuelle flomverkene. Det må etableres energidrepere i kombinasjon med erosjonssikring. En bør begynne å slippe inn noe vann tidlig for å fylle opp de nedre delene for å begrense erosjonsskadene mest mulig. Det må utarbeides detaljerte manøvreringsreglement.

Høyden på de aktuelle flomverkene varierer fra 3-6 m i den nedre enden. Vi velger å kostnadsregne for en gjennomsnittlig lukehøyde på 4 m. Utfra en helhetsvurdering velger vi en samlet lukelengde på 90m fordelt slik:

3 stk luker a 18 m lengde og en gjennomsnittlig høyde på 4 m.
1 stk luke a 36 m lengde og en høyde på 4 m.

Totale kostnander for bygging av fire luker som angitt ovenfor er anslått til :
3 x 11.5 mill kr. + 1 x 23 mill kr. = 57.5 mill kr.

Driftskostnadene med lukene er relativt små og er ikke tatt med her. Vi har regnet med en økonomisk levetid på 40 år og har ikke lagt inn kostnader for større vedlikeholdsarbeider. Merverdiavgift er inkludert i beløpet.

Avrundet gir dette en **total byggekostnad på 60 mill. kr.** (inkl mva)

Den største usikkerheten i kostnadsoverslaget ligger i valget av lukestørrelser og valg av luketype med tilhørende konstruksjoner. Dette er ting som kan føre til vesentlige avvik i kostnadsoverslaget.

For mer detaljer se vedlegg.

3.2.5 Heving av flomverket ved Kirkenær med 0.5 m

Vi har valgt å se på dette flomverket fordi det har størst skadekonsekvenser . Vi har ikke sett på kostnadene ved en eventuell heving av de andre flomverkene i området. Dette bør utredes nærmere dersom dette er en aktuell løsning.

Et grovt kostnadsoverslag viser en **kostnad på ca 8.5 mill kr. (inkl mva)** for å heve flomverket ved Kirkenær med 0.5 m. For mer detaljer se vedlegg.

3.2.6 Konklusjon

Ut fra kostnadene ved etablering av flomdempingsmagasin (60 + 2.7 mill) sammenlignet med heving av flomverk (8.5 mill) kommer heving av flomverk klart positivt ut. Disse tallene er ikke direkte sammenlignbare , men gir likevell en god pekepinn på forholdet mellom kostnadene.

Dimensjoneringsgrunnlaget for flomverkene må revurderes utfra dagens skadepotensiale.
Dette krever en gjennomgang av økonomiske og tekniske forhold.

4 VURDERING AV MODELLER/VERKTØY

For å kunne regne på denne typen problemstillinger bør det brukes modeller som regner med dynamisk strømning. Det finnes ulike modeller som kan benyttes til å regne på denne typen problemstillinger. Vi har valgt å konsentrere oss om følgende to modeller :
DAMBREAK og MIKE 11.

Se nærmere omtale av de ulike modellene i innledningen fra SINTEF-NHL sin rapport som er vedlagt i vedlegg.

Hovedkonklusjonen er at til denne typen beregninger gir modellene tilnærmet samme svar forutsatt at det blir brukt identiske inngangsdata. Forskjellene i de to modellene ligger i at det er ulike muligheter til å modellere ulike situasjoner. Mulighetene er størst i MIKE 11.

5 ERFARINGER FRA ANDRE LAND

5.1 TYSKLAND

På den rent tekniske siden er Tyskland interessant. I bakkant av de store flommene i Rhinen bygges det i dag ut dempingsareal for flomvann. Dette arbeidet gjøres for å kompensere for den reduksjon i dempingsareal som har skjedd på grunn av industrialiseringen og utbyggingen av områdene ved elvene med tilhørende flomsikring og kraftutbygging(elvekraftverk). Det foreslås at grunneierne skal få erstattet 1/3 av bruksverdien for det tap som en tidvis overfløming medfører. I Rhinen for eksempel er prognosene svært nøyaktige både med tanke på tidspunkter og på vannhøyder. Dette har sammenheng med at elva er såpass stor og lang at utviklingen av flomforløpet følges oppstrøms i god tid før flommen kommmer. Derfor vil det være lettere å styre flommen ved å slippe vann inn på dempingsarealene til rett tid.

5.2 POLEN

Polen har ca 8 000km flomverk som beskytter areal på ca 10.000 km^2. Staten eier alle elver, men forslag til ny vassdragslov tillater private eierinteresser i elvene.

FLOMBEREDSKAP
Flomberedskapen i polen er inndelt i 3 nivåer:

I. Hoved flomberedskapskomiteen
Overordnet koordinering og myndighet.

II. Fylkesflomberedskapskomiteen (FBK)/Staten/
FBK står for utarbeidelse av beredskapsplaner og har under flommen rettslig og praktisk ansvar for flomløp med minst mulig almene skader.
- styring med flomdempingsmagasiner polder
- åpning av flomverket

- FBK har tilgang på alle slags midler/resurser som finnes i fylket og de står også for flomvarslingen, evakuering o s v..

III. Kommune-flomberedskapskomiteen er underordnet fylket (FBK) og har ansvar for:
flomberedskapslager:sekker, folie, fiberdukk, båter, redningsvester, strømagregater,o.l.
Vedlikeholdsansvar av tekniske komunale anretninger
-stiller sine midler til FBK disposisjon

FLOMVERK
Eks: elva Oder oppstrøms Wroclaw 100 årsflom 2400m^3/s,
Nedbørsfeltet 24 000 km^2
Etter flommen juli 1903(1/3 av byen var under vann) ble det gjennomført omfattende flomtiltak. Det utbygde poldersystemet og overføringskanal har redusert tidligere 100-årsflom med ca 40%.

Planer om nytt flomverk i Krapkowice området:
Ca 100 km oppstrøms Wroclaw ble det vurdert bygging av flomverk. Både jordbruk og bebyggelse er flomutsatte . Bygging av dette flomverket ble utsatt/nektet/ pga økt flomrisiko blant annet for byen Wroclaw. Bygging av dette flomverket ville øke 100- årsflommen i Wroclaw fra 2400 m^3/s til 3200 m^3/s. I tillegg kommer naturvernargumenter som nå i økende grad blir hørt av forvaltningsorganene.

Eks: elva Wisla oppstrøms Warszawa
Det ble analysert flom 1934 uten flomverk og med flomverk. 1934-flommen med vassføring 5700m^3/s ville øke 22% til 6960m^3/s hvis dette flomverket bygges.

FLOMSKADER/ERSTATNINGSANSVAR
Etter lovverket er flomskader statens ansvar. Erstattes etter statens satser, som ofte er lavere enn markedsverdi. Skader på jordbruksarealer mellom flomverk og i polder-arealer er skadelidtes eget ansvar/ingen erstatting. Skader på jordbruksarealer uten flomverk dekkes av staten og evt. private forsikringer i tillegg. Mye tyder på at systemet er i en viss endring.

6 AKTIV FLOMDEMPING

6.1 VIDERE ARBEID

Nedstrøms effekter ved å slippe vann inn bak flomverk er beregnet. Dersom det skal arbeides videre med prosjektet er det en rekke ting som må utredes videre:

* Det må foretas en nærmere vurdering av de flomverkene som kan være aktuelle å bruke. Deretter må det settes opp areal og volumkurver bak de ulike verkene.

* Nivået for kritisk vannføring må kartlegges og vannvolumer over dette nivået ut fra historiske flommer må beregnes.

* Det må skaffes et godt kart-/tverrprofil grunnlag for området Braskereidfoss til Norsfossen, også virkningene lenger nedover i vassdraget bør vurderes.

* Det må utføres en optimalisering på innløpskapasiteter på flere historiske flommer for å finne omfanget/ behovet for innslippingsanordninger.

* Omfanget av sekundær flomverk bak de ordinære må vurderes for å hindre skader på store verdier som bygninger o.l.

* Er det riktig høyde på de eksisterende flomverkene? Har flomverkene den riktige sikkerheten mot ukontrollert brudd dersom det skal gjøres store investeringer for å bruke dem til flomdempning?

* Kostnadene ved og nytteverdien av slike tiltak må utredes nærmere.

6.2 FLOMVERKENES BETYDNING FOR FLOMTOPPEN

Det finnes mange meninger om hvor stor innvirkning flomverkene har på flommene i Glomma. NVE har i NVE-publ.1,1994 utført en beregning som viser : " beregnede vannføringer og vannstander ved flomkuliminasjon før og etter bygging av flomverk i Solør".
Beregningen er utført ved at strekningen Flisa - Skarnes er delt inn i tre parseller som hver betraktes som et magasin. Magasinene representerer henholdsvis strekningen Flisa - Norsfoss, Norsfoss - Kongsvinger og Kongsvinger - Skarnes. Flommene 1966, 1967 og 1982 er rutet gjennom både med og

uten flomverk. Dette er en anerkjent beregningsmetode. Vannstandsøkningen som følge av flomverkene er beregnet til mellom 1 og 10 cm litt avhengig av referansepunkt og flom. For mer detaljer vises til NVE-publ.1,1994.

Det er viktig at disse effektene ikke blandes sammen med effekten av å slippe vann inn bak flomverkene. Ved å slippe vann inn bak flomverkene tas det ut store vannmengder over kort tid nær flomtoppen. Dette vil føre til betydelig større vannstandsreduksjoner. NVE bør vurdere om vi skal utføre en tilsvarende beregning med en dynamisk beregningsmodell for 1995 flommen. Nøyaktigheten på en slik beregning er avhengig av kvaliteten/ detaljnivået på inngangsdataene.

6.3 HEVING AV FLOMVERK

Utfra kostnadene ved etablering av flomdempingsmagasin (60 + 2.7 mill) sammenlignet med heving av flomverk (8.5 mill) kommer heving av flomverke klart positivt ut. Alternativet med flomdempning påvirker også områder utenom Kirkenærområdet slik at tallene er ikke direkte sammenlignbare, men gir likevell en god pekepinn på forholdet mellom kostnadene.

Dimensjoneringsgrunnlaget for flomverkene må revurderes utfra dagens skadepotensiale.
Dette krever en gjennomgang av økonomiske og tekniske forhold.

7 OPPSUMMERING

Som utgangspunkt for beregningene har vi benyttet elvestrekningen mellom Skjefstadfoss og Braskereidfoss.

Beregningene angir hvor mye vannstanden kunne vært redusert dersom åpningstidspunktet og vannføringen inn bak flomverket hadde blitt styrt på en **tilnærmet optimal** måte. På strekningen mellom Heradsbygda og Braskereidfoss kan det oppnås en senkning av maksimalvannstanden på ca 5-10 cm, sammenlignet med en situasjon hvor flomverket ikke ble åpnet.

Tab 2.4: Beregningsresultater for profil 13 med utgangspunkt i den spisse 1995 flommen.

Volum mill m^3	Ikke styrt åpning *		Gunstig styrt åpning **	
	cm	m^3/s	cm	m^3/s
3.5	4	30	9	70
7.0	4	30	17	115
14.0			24	185
21.0			31	230

* Med ikke styrt åpning menes at det graves en åpning i et flomverk og bruddet utvikles ukontrollert. Her med eksempel fra Heradsbygda.

** Med gunstig styrt åpning menes tilnærmet optimalt uttak av vann i forhold til flomforløpet.

For å oppnå optimal effekt må vi kjenne flomforløpet. Prognosene er også viktige når det gjelder å bestemme det beste utløpshydrogrammet gjennom flomverket. Med erfaring fra flommen 1967 bør lengden på prognosene være minst 5 døgn. Dette skyldes at at vi opplevde to flomtopper med 4 dagers mellomrom. Flommen 1995 var en relativ spiss flom og dersom den legges til grunn hadde det vært tilstrekkelig med en kortere prognoselengde. Uten **pålitelige** prognosemodeller vil det være urealistisk å forvente et optimalt resultat.

Effekten, dvs vannstandsreduksjonen, er størst ved "spisse" flommer. Flomvolumet over kritisk nivå er derfor avgjørende og virkningen kan i enkelte tilfeller gå mot null.

Økt volum bak flomverket gir økt effekt forutsatt en optimal manøvrering.

Beregningene viser at geometri/vannføringskurve i det kritiske profilet har stor betydning for hvor mye den maksimale vannstanden kan senkes. Dette betyr at det ikke kan sies noe generellt om vannstandssekning langs andre elvestrekninger uten at det lages en modell for disse områdene.

Etablering av flomdempingsmagasin i Solørområdet medfører lukekostnader på ca 60 mill og gir landbruksmessige kostnader på ca 3 mill. Heving av flomverket ved Kirkenær med 0.5 m gir en kostnad på ca 8.5 mill. Alternativet med flomdempning påvirker også områder utenom Kirkenærområdet slik at tallene er ikke direkte sammenlignbare. De gir likevell en god pekepinn på forholdet mellom kostnadene. Utfra kostnadene ved etablering av flomdempingsmagasin sammenlignet med heving av flomverk kommer heving av flomverk klart positivt ut.

Et alternativ til aktiv bruk av flomverk til flomdemping er å heve de flomverkene som beskytter store

verdier, eller en kombinasjon av heving av flomverk og aktiv bruk av flomdempingsmagasin.

Dimensjoneringsgrunnlaget for flomverkene må revurderes utfra dagens skadepotensiale. Dette krever en gjennomgang av økonomiske og tekniske forhold.

VEDLEGG

1 DATAGRUNNLAG

1.1 GENERELT

Innsamling av data er utført av gruppens medlemmer hovedsakelig gjennom VRØ, VRØs arkiver og Ola J. Strømmen. De hydrologiske dataene er hentet fra Hydrologisk avdelings databaser samt fra Glommen og Lågen Brugseier Forening (GLB) og de lokale kraftverkene.

1.2 AREALER/VOLUMER BAK FLOMVERKENE

For å kunne utføre beregningene er det nødvendig med en høyde - areal kurve. For Heradsbygda har vi satt opp en slik kurve på grunnlag av blant annet et kart over ca halvparten av det oversvømte området fra 1939 med ekvidistanser på 1 m. Flomkartet som viser arealet som ble oversvømt under 1995 flommen ble også brukt i tillegg til noe oppmåling.

På grunnlag av dette ble det satt opp en terrengmodel. Arealene under hver høydemeter ble beregnet for det overfløte arealet.

Totalt volum bak flomverket opp til ca kt. 170 er ca 3.5 mill m^3. Dette virker noe lavt og kan skyldes for få høydepunkter i området. Vi har valgt å bruke dette volumet, men utfører også en følsomhetsanalyse hvor vi tar med et alternativ med et volum på ca 7 mill. m^3. Vi kommer tilbake til hva som er korrekt volum når det er målt opp flere høyder bak flomverket.

Oversvømt areal bak flomverket i Heradsbygda var ca 2200 dekar.

På strekningen mellom Elverum og Kongsvinger er det et maximalt volum bak flomverkene i størrelsesorden 70-75 mill. m^3. (jmfr.tab.2.3.3 i NVE publ.1,1994).

Vi antar at et maksimalt realistisk volum å regne med er en tredjedel av det totale volumet, forutsatt en flom på størrelse med 1995 flommen.

Vi regner for følgende alternativ :

ca 3.5 mill m^3
" 7 "
" 14 "
" 21 "

1.3 FLOMVERKET I HERADSBYGDA

1.3.1 Høyde på topp flomverk

Utfra lengdeprofil av 1976 samt reviderte plan av 1983.

o.s ende	Ved pumpest.	n.s ende
170.35 (NVE)	169.75 (NVE)	169.75 (NVE)

NGO = NVE + 0.214 m

Vi antar en overhøyde på 10-15 cm igjen etter eventuelle setninger.
I øvre del har flomverket vært brukt til trening av hester (med slodder) slik at flomverket er høvlet noe ned. Flomverket er brukt som vei og blir av og til gruset og høvlet. Under flommen ble det fylt på masser i lavbrekkene samt fra pumpestasjonen og til n.s. ende.

Vi antar følgende høyder på flomverket før og under flommen :

O.S 170.35 + 0.21 + 0.15 ++ = vi avrunder til **170.80**
N.S 169.75 + 0.21 + 0.15 ++ = vi avrunder til **170.10**

Vi antar rettlinjet interpolasjon mellom punktene o.s og n.s.

For å forenkle beregningene antas det at det ikke gikk vann over flomverket under flommen.

1.3.2 Åpningstidspunkt og utvikling av bruddet

Utfra opplysninger som VRØ har sittet inne med eller har innhentet lokalt er det satt opp en oversikt som viser hvordan vi antar at bruddutviklingen har vært.

Under er det satt opp en oversikt over bruddutvikling og oppfylling så langt vi har klart å rekonstruere det. Vedlagt følger også en skisse som viser bruddet . VRØ har også noen videoer som viser litt av hendelsesforløpet.

1. JUNI 1995

kl 1845	Avlest vannstand pkt A	Lokalt 15 cm	NGO 170,20

2. JUNI 1995

kl 0800	Avlest vannstand pkt A	Lokalt 32 cm	NGO 170,37
kl 1700	Avlest vannstand pkt A Overtopping på flomverket minst 4 steder.	Lokalt 57 cm	NGO 170,62
	Anslått videre vannstandsstigning: 6 cm pr time, dvs at:		
kl 1915	Anslått vannstand Startet åpning av flomverket ca 15 m bredde.	Lokalt 70 cm	NGO 170,75
kl 1940	Åpning ca 15 m bred, 0,3 m dyp. Vannet begynte å strømme inn. "Kontrollert" innstrømning.		
kl ?	Åpningstverrsnittet utvidet seg betydelig, og vannstrømmen endret retning.		
kl 2030	Vannstand pkt B på grunnlag av video	(ca)	NGO 167,50
kl 2400	Magasinet oppfylt. Vannstand pkt C i flg lokal observasjon Lengden på bruddet 118 m (topp verk).		NGO 170,14

2 TVERRPROFILER AV ELVELØPET

Som nevnt ovenfor har vi valgt å utføre beregningene på strekningen fra Skjefstadfoss til Braskereidfoss. Beregningene bygger på profiler opptatt i januar 1996 av VRØ og noen profiler opptatt høsten 1995 av hydrologisk avdeling. I tillegg er det tatt ut noen profiler fra økonomisk kartverk.

3 HYDROLOGISKE DATA

Nedenfor er det en figur som viser de fem største flommene dette århundret ved Elverum vannmerke. Av figuren ser vi at 1916- , 1966- og 1995 flommen er alle relativt spisse flommer. 1934 flommen er en flom med noe større volum. 1967 flommen er karrakteristisk ved at den har to topper med 4 dagers mellomrom.

Effekten av å slippe inn vann bak flomverk for å redusere flomtoppen, er helt avhengig av formen på flomforløpet. Jo spissere flommen er jo større effekt kan oppnås ved optimal innslipping.

Vi har valgt å bruke 1995 flommen som grunnlag for beregningene. Noen alternativer er også beregnet på grunnlag av 1967 flommen.

I en slik hydraulisk beregning er det mange usikre parametre og det er "nødvendig" å ha et flomforløp å kalibrere modellen etter. Derfor prøver vi å finne en flom med best mulig opplysninger om forløpet. Utfra en helhetsvurdering har vi valgt å bruke 1995 flommen til å kalibrere modellene.

Når vi begynner å gå nærmere inn på detaljene rundt 1995 flommen for å finne det eksakte flomforløpet viser det seg at det er en del usikkerheter spesielt når det gjelder sammenhengen mellom vannstand og vannføring.

Noen korte kommentarer til observasjonene ved Braskereidfoss og Skjefstadfoss :

BRASKEREIDFOSS

Ca 0.5 -1 km oppstrøms Braskereidfoss er det et trangt parti som fører til en betydelig oppstuvning (størrelsesorden 1-2 m) ved flomstørrelser som 1995 flommen.
Dette er ikke tatt hensyn til ved utarbeidelse (modellforsøket) av VF kurven for kraftverket.
Vannføringene ved Braskereidfoss er ikke korrekte som følge av dette. Det arbeides med å korrigere kurvene for dette.

SKJEFSTADFOSS

Ved å gå i mer detalj på tilløpshydrogrammet viser det seg at det er en del sprik. GLB jobber med å finne det "korrekte", i tillegg til egne ressurser bruker de SINTEF (Solvik,Tvinnerheim) og Hegge. Ved Elverum spriker maxflommen mellom 3600 m3/s og 3100 m3/s.
Vannstandene ved Skjefstadfoss må påplusses med 0.98 m for å være i NGO (iflg. GLB).
Vi velger å ta utgangspunkt i SINTEF -NHL sitt forslag til hydrogram for 1995 flommen som bygger på dataene på Skjefstadfoss.

Det pågår arbeid for å finne ut hva som er "korrekt", men dette arbeidet er pr. i dag ikke ferdig. SINTEF-NHL har kommet med et forslag til flomforløp som vi har bestemt oss for å legge til grunn i beregningene. Dersom det viser seg at det "korrekte" avviker vesentlig fra det som er antatt nå får vi eventuelt korrigere beregningene.

4 FØLSOMHETSANALYSEN

Vi har valgt å utføre beregningene for følgende totale volum bak det simulerte flomverket :

ca 3.5 mill m3
" 7 "
" 14 "
" 21 "

I hovedsak har en utført analysen for 1995 flommen, men for noen av alternativene er det også regnet for 1967 flommen.

Åpningstidspunkt har vi valgt å dele inn i to grupper :

1) for volumene 3.5 og 7 mill m3 har vi sett på virkningen ved å åpne på tilsvarende tidspunkt og med tilsvarende bruddutvikling som i Heradsbygda.

2) for alle volumene (3.5-21) har en sett på efekten ved å slippe inn vannet på en optimal måte.

5 KOSTNADSOVERSLAG

5.1 LUKER

I tabellen nedenfor har vi satt opp et kostnadsoverslag for en gummiluke med følgende dimensjoner : hxb= 4 x 18 m.

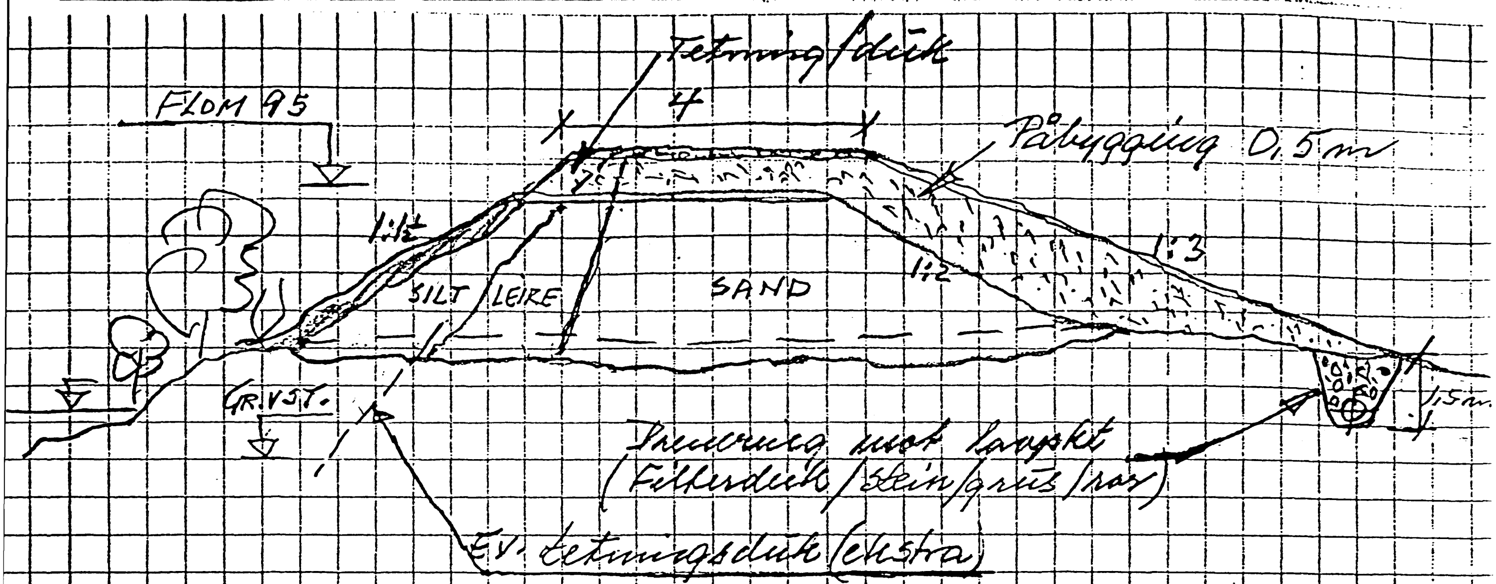
5 KOSTNADSOVERSLAG

5.1 LUKER

I tabellen nedenfor har vi satt opp et kostnadsoverslag for en gummiluke med følgende dimensjoner : hxb= 4 x 18 m.

Type arbeid	mengder	enhetspriser	sum
Graving,transport, masseutskifting	1500m3 + 500 m3	50 kr/m3	100 000 kr
Drenerende masser,masseutskift	350 m3	100 kr/m3	35 000 kr
Erosjonssikring	1 500 m3	100 kr/m3	150 000 kr
Spunt	500 m2	1 000 kr/m2	500 000 kr
Betong alt. inkl.	800 m3	2 000 kr/m3	1 600 000 kr
Gummiluke med vann. 4x18m	72 m2	30 000 kr/m2	2 200 000 kr
Lukehus Strøm Nødstrøm div.		RS	750 000 kr
Uforutsette og ikke medtatte utgifter		RS	2 000 000 kr
SUM (avrundet)			7 500 000 kr
Prosjekteringskostnader	ca 15 %		1 100 000 kr
Byggherre utgift	ca 10 %		750 000 kr
SUM (avrundet)			9 350 000 kr
MVA	23 %		2 200 000 kr
SUM (avrundet)			**11 500 000 kr**

5.2 Heving av flomverk ved Heradsbygda med 0,5 m.



Ca. Kostnader ved å bygge på 0.5 m:

Rigg/maskin/stripping m.s.	100.000
Masser, finsand/silt/sand 80.000 m³ à kr. 40 ≈	3.200.000
Tetning v. påbygging 12000 m² à 30,-	360.000
Drenering m. rør, duk, stein 6000 m à kr. 180 =	1.040.000
Tillegg, tetn. v. Noret og Grønntjern m.s.	300.000
Vegkryssinger, rørgj.føringer m.s.	300.000
Uforutsette arbeider, tilsyning m.v.	400.000
Sum	5.700.000
Ev. ekstra tetning 7000 m à [illegible]/50	1.000.000
Sum inkl. ekstra tetning	6.700.000

Påbygging 0.5 m, 1881 Glomma v. Kirkenær.

Overslagspris kostnad.

VRØ, Oslo 22.02.96

[signature]

Sammendrag

Det er utført en analyse av de vassdragstekniske virkningene av å benytte arealet "bak" et flomverk som flomdempingsmagasin. Det er i analysen tatt utgangspunkt i flommen i Glomma våren 1995. Elvestrekningen mellom Skjefstadfoss og Flisa ble benyttet i beregningene. Flomverket ved Heradsbygda ble benyttet ved simulering av åpning av flomverk. Årsaken til at dette praktiske eksemplet ble valgt var at her hadde man et sted hvor flomverket var blitt åpnet og effekter av dette var blitt registrert. Man hadde derfor gode kalibreringsdata og modellen kunne av den grunn bli mer nøyaktig enn andre eksempler.

Den hydrauliske modellen som ble benyttet, DAMBRK, ble kalibrert mot de målingene som forelå etter at åpningen av flomverket ble utført ved Heradsbygda. Deretter ble det utført en beregning med et flomverk som var intakt. Beregningene viste at vannstanden bare ville ha steget ca 4 - 7 cm over det vannstanden var på tidspunkt for åpningen på strekningen mellom Heradsbygda og Braskereidfoss. Oppstrøms åpningen, mot Skjefstadfoss, avtar denne effekten slik at maksimalvannstanden i dette området senkes med maksimum 4 cm.

Det er utført en analyse av hvor mye man kunne ha redusert vannstanden dersom åpnings-tidspunktet og vannføringen inn bak flomverket hadde blitt styrt på en tilnærmet optimal måte. Det ser da ut til at man på strekningen mellom Heradsbygda og Braskereidfoss kunne oppnådd en senkning av maksimalvannstanden på ca 10 cm sammenlignet med en situasjon hvor flomverket ikke ble åpnet. Det er rimelig å anta at også denne effekten vil avta oppover mot Skjefstadfoss.

Man må imidlertid være oppmerksom på at en slik optimalisering i operativ drift krever både en god prognose for flommen noe fremover i tid og en hydraulisk modell av vassdraget som kan hjelpe med beregningen av optimalt utløpshydrogram. Slik som det nå ble utført i dette prosjektet benyttet vi oss av data som i den virkelige situasjon var mer eller mindre ukjente.

Den samme analysen er utført for å se på effekten av forskjellig volum bak flomverket. Ved 3,5 mill. m^3 er altså maksimal vannstandsreduksjon ca 10 cm. Ved et volum på 7 mill. m^3 er tilsvarende reduksjon opp i mot 20 cm. Ved volum på 14 mill. m^3 og 21 mill. m^3 kan reduksjonen være i nærheten av hhv 30 cm og 40 cm, litt avhengig av hvilket profil som vurderes. Dette er under forutsetning av tilnærmet optimalt utløpshydrogram.

Det viser seg at varigheten på flomtoppen har stor betydning for effekten av å benytte areal bak flomverk som flomdemingstiltak. Under flommen i 1995 ville vannstanden holdt seg innenfor de øverste 10 cm i ca 12-13 timer i området ved Heradsbygda. Under flommen i 1967 var varigheten omtrent 55 timer innenfor de samme 10 cm. I den relativt kortvarige flommen i 1995 ville man hatt en vannstandsreduksjon på ca 20 cm med 7 mill. m^3 volum. Tilsvarende reduksjon for den relativt langvarige 1967-flommen ville bare ha vært 6-7 cm. Man forutsetter også her at man har et tilnærmet optimalt utløpshydrogram.

Til slutt ble effekten av økt vannføringskapasitet i kritisk snitt nedstrøms vurdert. Dette ble gjort ved å fordoble kapasiteten på avledningsorganene på Braskereidfoss kraftstasjon. Disse beregningene viste at endring av vannføringskurven har en betydelig effekt på vannstandsreduksjonen oppstrøms det kritiske snitt. Ved å øke vannføringskapasitene nedstrøms reduseres effekten av å benytte flomverk som flomdempingsmagasin. Dette kan til en viss grad sammenlignes med naturlige elvers variasjon, hvor den høye vannføringskapasiteten sammenlignes med brede elver og den lave vannføringskapasiteten sammenlignes med smalt og trangt tverrsnitt.

1 Innledning

NVE ønsker å finne effekten av å benytte areal bak flomverk til flomdempning. I første rekke er det de hydrauliske forholdene omkring dette som ønskes utredet. Som en følge av dette er SINTEF Bygg og miljøteknikk, avdeling for Hydrologi og vassdrag blitt bedt i bestilling 17 januar 1996 om å vurdere nedstrøms vannstandeffektene av åpning av flomverk.

Denne rapporten gir en generell vurdering av en slik åpning og er basert på ikke stasjonære numeriske beregninger av flombølgens vannstand og vandringstid. Åpningen av flomverkene i Heradsbygda er blitt benyttet som eksempel i beregningene. Dette er gjort ettersom man fra denne hendelsen har registreringer av viktige inngangsparametere og resultater som inngår i beregningsmodellen. På denne måten kan modellen kalibreres og gyldigheten av slike beregninger kan vurderes.

For å kunne gi et generelt svar på virkningen av flomverk som flomdempende middel er det foretatt en følsomhetsanalyse av noen av paramtrene som inngår i beregningene. Analysen av parametrene er gjennomført utfra en generell vurdering av aktuelle verdier for Glomma. Dette er gjennomført ettersom det er dette området hvor et slikt tiltak kan være mest aktuelt. Følsomhetsanalysen er gjennomført i nært samarbeid med NVE.

I slike beregninger er det nødvendig å ta i bruk ikke-stasjonære beregningsmetoder. Dette fordi det må tas hensyn til tiden. Bl a er det viktig å kjenne flombølgens forløp når man skal ta stilling til når og hvordan vannet skal føres inn bak flomverket. Videre må man også kjenne tidsforløpet for oppfylling av volumet bak flomverket for å kunne si noe om åpningens effekt på vannstanden i elva.

Ikke-stasjonære modeller sier altså noe om vannstand og vannføring på forskjellige steder i vassdraget som funksjon av tiden og det er nettopp slike spørsmål som ønskes besvart i dette prosjektet.

I denne sammenheng kan ikke-stasjonære modeller også betegnes som routing-modeller. Routingmodeller beskriver hvordan endringer i vannføringen beveger seg nedover i vassdraget. Modellene som benyttes i dette prosjektet er en-dimensjonale, noe som er tilstrekkelig i denne sammenheng.

Routingmodeller deles opp i to hovedkategorier:

-Hydrologiske modeller
-Hydrauliske modeller

Hydrologiske modeller benytter seg bare av kontinuitet sammen med et entydig forhold mellom vannstand og vannføring. Eksempler på hydrologiske routing-modeller er

magasinrouting og Muskingum. Hydrologiske modeller egner seg best i magasin hvor sjøarealet er stort og vannhastigheten er lav. For vassdrag egner hydrologisk routing seg best i bratte elver og når vannføringsendringen skjer langsomt.

Hydrauliske modeller benytter seg av de partielle St Venants differentialligninger. Denne metoden tar hensyn til de dynamiske kreftene. Ligningene har imidlertid en del forutsetninger som sjelden er helt oppfylt, men i dette prosjektet er metoden tilstrekkelig. Forutsetningene er bl a at trykket må være hydrostatisk fordelt, at det er uniform strøm og at energitapet kun kommer fra friksjonen.

St Venants ligninger er generelt ikke analytisk løsbare. Man må derfor benytte seg av numeriske løsningsmetoder som er mer eller mindre gode. Dette førte til at man tidligere kuttet ut flere ledd i ligningene slik at de kunne løses analytisk. Det er herfra man har beregningsmetodene som er kalt kinematisk, diffusiv, kvasistasjonær eller full dynamisk beregning, avhengig av hvor mange ledd som er kuttet ut. Med det dataverktøyet man i dag rår over er det ofte liten grunn til å kutte ut noen ledd. Man benytter derfor ofte full dynamisk beregningsmetode. Det blir viktigere å benytte alle ledd i St Venants ligning jo slakere elva er og jo brattere bølgefronten er. I dette prosjektet er det benyttet full dynamisk beregningsmetode.

Det finnes en rekke dataprogram som løser St Venants ligninger og dermed beregner ei flombølges forplantning nedover i et vassdrag. Vi nevner her tre modeller:

-DAMBRK, National Weather Service, USA
-MIKE11, Danish Hydraulic Institute, Danmark
-TELMAC, Electricité de France, Frankrike

To av disse har vært noe benyttet i Norge; DAMBRK og MIKE11. Den grunnleggende teorien er selvsagt den samme i begge disse programmene og det har ikke vært mulig å påvise noen entydig forskjell i beregningsnøyaktighet. TELMAC har så vidt vi kjenner til ikke vært benyttet i Norge i det hele tatt. Det bemerkes imidlertid at den har fått meget god kritikk i enkelte tester. Bruken av slike modeller har i hovedsak vært knyttet til dambruddsberegninger. De er imidlertid utviklet for bruk i all slags ikke-stasjonær strømning, og de synes meget velegnet også for bruk i flomvarsling på de steder hvor man har en lengre vannstreng.

Simuleringene i disse vurderingene er gjennomført med programmet DAMBRK. Dette er en ikke-stasjonær beregningsmodell som bygger på de en-dimensjonale St Venants ligninger for ikke-stasjonær strøm.

Følgende inngangsdata er nødvendig for simuleringer i DAMBRK:

* Geometriske data til elvestrekningen (kap 3.1)

* Innløpshydrogram til elvestrekningen (kap 3.2)
* Utløpshydrogram for åpning av flomverket (kap 3.3)
* Geometriske data og vannføringskurver for dammene (kap 3.4)
* Hydrauliske og numeriske parametre (kap 3.5)
* Nedstrøms betingelser (kap 3.6)

5 Konklusjon

Under flommen i 1995 ble vannstanden nedstrøms åpningen av flomverket ved Heradsbygd senket med ca 4 cm i profil 13 og ca 6 cm i profil 18 som en følge av åpningen.

Langs den elvestrekningen som disse simuleringene er gjennomført for kan vannstanden reduseres mellom 30 cm (profil 13) og 50 cm (profil 18) dersom tidspunkt for åpningen styres til en viss grad og magasinvolumet bak flomverket er 21 mill. m^3. I profil 13 er profilet ved Braskereidfoss bru det kritiske profilet, mens det for profil 18 er Braskereidfoss dam som er kritisk. Dette viser at geometri/vannføringskurve i det kritiske profilet har stor betydning for hvor mye den maksimale vannstanden kan senkes. Dette betyr at det ikke kan sies noe generelt om mulighet for vannstandsenkning langs andre elvestrekninger uten at det lages en modell for disse områdene.

Beregningene viser at magasinvolumet bak flomverket har forholdsvis stor betydning for hvor mye den maksimale vannstanden kan senkes. Det må her nevnes at størrelsen på magasinvolumet avhenger mye av vannstanden. En mindre flom vil gi lavere vannstand og dermed blir magasinvolumet som kan benyttes til flomdempning mindre enn når flommen er større.

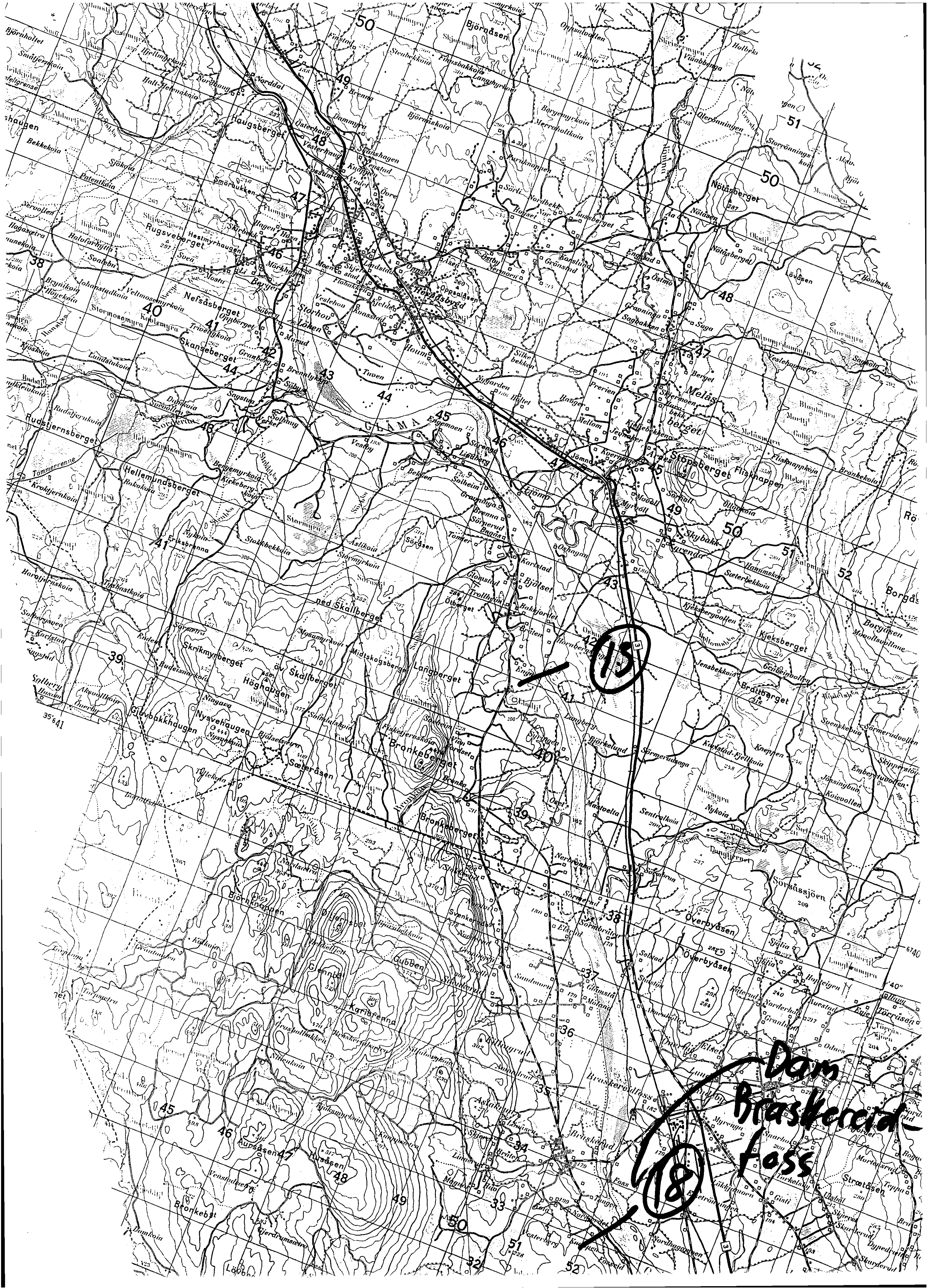
Flomforløpet er viktig for effekten av en åpning. Under en flom med en "spiss" flomtopp vil den maksimale vannstanden kunne senkes mye mer enn under et langstrakt flomforløp. Dette skyldes at vannvolumet i den langstrakte flommen er mye større i forhold til magasinvolumet som kan utnyttes.

Vurderingen av beregningene viser at styring av flomverkene er av meget stor betydning når det gjelder effekten av åpning av flomverk. Denne styringene gjelder vannføringen som taes ut av elva, men særlig tidspunktet når vannet tas ut er helt avgjørende for resultatet.

Det kanskje viktigste grunnlaget for denne typen flomreduserende virkemiddel er god flomvarsling. Uten gode prognoser kan det tenkes at flomverket åpnes på feil tidspunkt og volumet bak flomverket er oppfylt før flomtoppen nås. Åpningen av flomverket vil dermed ikke ha noen effekt. Prognosene er også viktig når det gjelder å bestemme det beste utløpshydrogrammet gjennom flomverket. Med erfaring med flommen i 1967 bør lengden på prognosen være 2 - 3 døgn. Hvis en legger flommen i 1995 til grunn hadde det vært tilstrekkelig med en prognoselengde på noe i underkant av ett døgn. I tillegg er det viktig med gode beregningsmodeller som kan benyttes sammen med flomprognosene til å gi den best mulig styringen av åpningen. Bare på denne måten kan effekten av dette virkemiddelet som flomdempende tiltak utnyttes på best mulig måte.

Det må også understrekes at en slik beregningsmodell for vassdraget er svært nyttig ved andre

viktige vurdering omkring en flomsituasjon. Som eksempel som kan nevnes er vurdering av konsekvenser ved et mulig dambrudd.


Dam Braskereid-foss
15
18
Herådsbygd
Haugsberget
Rugsveberget
Nefsåsberget
Skanseberget
Rudsbjernsberget
Hellemundsberget
GLÅMA
Storhou
Løken
Melåsberget
Stopsberget
Fliskhappen
Nøtåsberget
Kjeksberget
Bråtberget
Skrikmyrberget
Skallberget
Høghaugen
Nysvehaugen
Giuvbakkhaugen
Langberget
Bronkeberget
Sæteråsen
Sørsåssjøen
Overbyåsen
Braskereidfoss
Braskerud
Aursåsen
Strøtåsen
Bjørnåsen
Karlstad
Bjøltset

VEDLEGG 3.

FORELØPIG

Brudd i flomverk langs Glomma

Geoteknisk analyse og vurdering

950058-2 1 mars 1996

Oppdragsgiver: **NVE Region Øst**

Kontaktperson: Torstein Tjelde
Kontraktreferanse:

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder:
Odd Gregersen

Rapport utarbeidet av:
Tore Valstad og Arne Kleven

Kontrollert av:
Per Magnus Johansen

Norges Geotekniske Institutt
Sognsveien 72

Postadresse:
Postboks 3930 Ullevål Hageby
0806 Oslo

Telefon:
22 02 30 00

Telefaks:
22 23 04 48

Telex:
19787 ngi n

Sammendrag

Under flommen i Glomma i mai/juni 1995 skjedde det flere brudd i flomverkene i Åsnes og Grue kommuner. NGI har i denne rapporten foretatt en geoteknisk vurdering av de viktigste bruddene og analysert det tverrsnitt som legges til grunn for gjenoppbygging.

Bruddene demonstrerer tydelig at det er nødvendig med tetning av grunnen under flomverkene. Det er vist til flere mulig årsaker til brudd som følge av erosjon i grunnen:

- Kanaler i grunnen med stor permeabilitet i forbindelse med gamle elveleier av stein og grus.
- Setninger av flomverket der det krysser myravsetninger i gamle meanderslynger kan har forårsaket sprekker med stor permeabilitet.
- Erosjon langs rør gjennom flomverkene.
- Hydraulisk grunnbrudd.
- Drenasjen i foten på landsiden er mangelfull og har ikke fanget opp lekkasjen gjennom flomverket på en betryggende måte.

Det er også påvist svakheter ved tetningen i selve flomverkene. Den plastfolien som er benyttet i flomverk bygget etter 1975 viser svakhetstegn:

- Der folien ble eksponert på bruddstedene er det tegn på kjemisk nedbrytning og perforering.
- Det har skjedd glidning langs plastfolien på elvesiden.

I den planen som NVE legger til grunn for gjenoppbygning er det i første rekke sørget for en betryggende drenasje av flomverkskroppen og av grunnen under flomverket. Dermed kan det oppstå lekkasjer uten at dette fører til erosjonsbrudd. Strømningsanalyser viser at drenasjen fanger opp vannstrømmen under og/eller gjennom flomverket uten at det strømmer vann ut i skråningen på landsiden.

Skråningene er slaket ut slik at flomverkskroppen har en tilstrekkelig geoteknisk sikkerhet under en flomsitusjon og ved en hurtig senkning av elva.

I det fremtidige vedlikehold av flomverkene må veibanen på toppen holdes i hevd slik at det den er kjørbar og vegetasjonen på skråningene må holdes under kontroll. Et godt grasdekke er en god erosjonssikring, men trær reduserer stabiliteten og kan i verste fall ødelegge tetninger.

I et vedlegg er det satt sammen noen retningslinjer for prosjektering og bygging som danner basis for våre vurderinger og analyser.

Innhold

1 FORMÅL MED RAPPORTEN 4

2 PRINSIPPER FOR BYGGING AV FLOMVERK 4

3 UTFORMING AV FLOMVERK 5
- 3.1 Miljø 6
- 3.2 Klima- og flomforhold 6
- 3.3 Geologiske forhold 6
- 3.4 Sikkerhet mot overtopping (oversvømmelse) av et flomverk 7

4 VURDERING AV BRUDD I FLOMVERKENE - KVALITATIV GEOTEKNISK VURDERING 7
- 4.1 Brudd i flomverk uten tetning 7
- 4.2 Brudd i flomverk med tetning av plastfoliebelagt fiberduk 8
- 4.3 Erosjonskanaler i grunnen 8
- 4.4 Erosjon langs rør 9
- 4.5 Hydraulisk grunnbrudd - Sandkoking 9

5 VURDERING AV PLAN FOR UTBERDRING PÅ BRUDDSTEDENE . KVANTITATIV GEOTEKNISK VURDERING 10
- 5.1 Tverrsnitt av flomverk 10
- 5.2 Fundamentering 11
- 5.3 Geotekniske egenskaper av materialene i flomverkene 11
- 5.4 Strømningsanalyse 12
- 5.5 Stabilitetsanalyse 13
- 5.6 Skråningsbeskyttelse 14

6 BYGGEKONTROLL, INSPEKSJON OG VEDLIKEHOLD 15
- 6.1 Vedlikehold av flomverk 15
- 6.2 Vegetasjon på et flomverk? 15
- 6.3 Drenasje av flomverket 16

7 REFERANSER 16

9 figurer (figuroversikt s. 17)

Vedlegg A - Kriterier for prosjektering og bygging av flomverk

Kontroll- og referanseside

1 FORMÅL MED RAPPORTEN

Utgangspunktet for denne rapporten er de brudd som skjedde i flomverkene langs elvene Glomma og Flisa i Åsnes og Grue kommuner under flommen i mai/juni 1995. Disse flomverkene skal beskytte de lavtliggende landområdene langs elva mot oversvømmelse, men under flommen brøt elva gjennom flomverkene en rekke steder og oversvømte store landområder.

Rapporten har et to-sidig formål:

- Fastlegge tekniske prinsipper for gjenoppbygging og bygging av nye flomverk basert på erfaringer som man kan trekke av de bruddene i flomverkene.
- Dokumentere geotekniske analyser og gi en vurdering av de planer som ligger til grunn for gjenoppbygging av flomverkene. For denne vurderingen er det satt opp tekniske krav som må stilles til flomverk basert på utenlandske normer og norske forskrifter for bygging av dammer.

Flomverkene langs Glomma i kommunene Åsnes og Grue er bygget over en lang årrekke fra ca. 1934 til 1990. De eldste er bygget som nødsarbeid og etter en meget enkel oppskrift. De nyeste fra perioden 1975-85 har vesentlig høyere standard.

Under flommen i mai/juni 1995 brøt Glomma og Flisa gjennom flomverkene på en rekke steder.

NGI har inspisert 8 bruddsteder og utført grunnundersøkelser på 6 av disse, krf. NGI (1996).

2 PRINSIPPER FOR BYGGING AV FLOMVERK

Et flomverk bygges for å beskytte lavtliggende landområder langsetter en elv mot oversvømmelse i flomperioder. Flomverk bygges vanligvis som en fylling av stedlige jordmasser og med et minimum av tiltak for tetning og drenering. Et flomverk adskiller seg i funksjon fra en vanlig fyllingsdam på flere måter:

- Flomverket står tørt (dvs. uten vann på skråningen mot elvesiden, eller oppstrøms side av en dam) i lange tider mellom hver flom.
- Under en flom stiger vannstanden på elvesiden raskt, og vanntrykket står på flomverket bare i en kort periode, fra noen dager inntil noen uker.
- Konsekvensene av et brudd i et flomverk er oftest mye mindre enn for en dam.

- Plasseringen av et flomverk er mer diktert ut fra det landområdet som skal beskyttes, enn ut fra hvor det er gunstige forhold for fundamentering.
- Fyllmassene må tas fra massetak i umiddelbar nærhet av flomverket.
- Flomverket tjener ofte som vei langsetter elva og som almenn adkomst til områdene langs elvebredden.

Konsekvensene av at flomverket for det meste står tørt er at flomverket er drenert (uttørket) når flommen kommer.

- For et flomverk bygget av leirige masser kan uttørkingen gi dype sprekker. Når flomverket mettes under flommen, kan strømning langs sprekkene føre til erosjon (piping) gjennom flomverket.
- For et flomverk bygget av silt og finsand vil det om vinteren være ideelle forhold for telelinsedannelse i flomverket. Dersom flommen kommer før telen har gått og vannoverskuddet fra islinsene er drenert ut, vil massene i flomverket være bløte og ha dårlig bæreevne.

Det ideelle vil være å bygge et flomverk av en mager leirig masse (f.eks. leirig sand) som ikke krymper når den tørker opp. Flomverket vil da tåle å tørke opp uten vesentlig oppsprekning. Samtidig er det så tett at den ikke rekker å bli mettet i løpe av en typisk flomperiode, og at poretrykkene blir små selv om vannstanden er høy.

Et flomverk bygget av fritt drenerende masser som grus og stein og med en kunstig tetning vil også være en gunstig løsning. I et slikt flomverk vil det ikke dannes telelinser. Flomverket vil alltid være drenert på landsiden, og dermed blir bæreevnen stor.

Dersom økonomien hadde tillatt, kunne et flomverk i kommunene Åsnes og Grue vært bygget etter en oppskrift som er benyttet ved mange norske fyllingsdammer: Støttefylling av sprengstein eller grus og tetning av morene. Det ville imidlertid vært å sløse med knappe økonomiske resurser. Flomverk bygget av de sand- og siltmasser, som finnes langsetter Glomma, vil gi så mye mer flomverk at det må være riktig bruk av resursene. Derfor må det dominerende materiale i flomverkene være sand og grus, og andre materialer til tetning og drenering må begrenses til et minimum.

3 UTFORMING AV FLOMVERK

Hensikten med dette kapitlet er å presentere de forutsetninger og krav som stilles til et flomverk under bygging og som det blir utsatt for i bruksituasjonen. Spesielle geotekniske krav er samlet i vedlegg A til denne rapporten.

3.1 Miljø

Utforming av flomverket er gitt av linjeføring og tverrsnitt samt prosedyrer for bygging. I denne rapporten er det ikke foretatt noen vurdering av det enkelte flomverk, men sett på et typisk tverrsnitt på et sted med typiske grunnforhold.

Linjeføring og tilpasning til landskapet er derfor ikke behandlet.

3.2 Klima- og flomforhold

Solørbygdene er har et typisk norsk innlandsklima, relativt varme somre og kalde vintre. Nedbøren er ganske jevnt fordelt over året med mars som den tørreste og juli som den våteste måneden. Månedsmiddel for målestasjonenen på Flisa er gitt i tabell 1

Tabell 1 Månedsmiddel for temperatur og nedbør;
Målestasjon nr. 0604 Flisa (183 m o.h.)

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	året
Temperatur (°C)	-8,4	-7,4	-2,8	3,2	9,3	13,6	15,9	14,2	9,3	3,9	-1,2	-5,1	3,7
Nedbør (mm)	38	28	19	36	39	68	87	73	68	57	52	48	623

Temperaturen om vinteren kan lokalt nede ved elva være en del lavere enn på målestasjonen.

Frostmengde er for en midlere vinter beregnet til ca. 20 000 h°C og ca. 40 000 h°C for en vinter med returperiode på 100 år. Teledypet for en vinter med returperiode på 100 år på flat, snøfri mark er beregnet til 2,5 m.

Vannføringen i Glomma er i middel over året på ca. 250 m^3/s og varierer fra en minstevannføring på ca. 45 m^3/s om vinteren til en største observerte flom på over 3000 m^3/s.

Dette betyr at flomverkene i Åsnes og Grue står på tørt land hele vinteren, vannstanden når ikke opp til foten av flomverket. Siden flomverket vil bli avkjølt fra to sider, vil teledypet her bli større enn for flat mark. Telen vil derfor trenge ned omlag 2 m i en normal vinter og kanskje 3 m i en ekstrem vinter.

3.3 Geologiske forhold

Bunnen i dalføret i kommunene Åsnes og Grue er dekket av et innlandsdelta, en mektig og utholdende sandavsetning i nivå mellom 150 og 160 m o.h. Deltaet ligger i sin helhet under den marine grense (MG), som i området ligger på 200 - 205 m o.h. Sandavsetningen er regnet for å være avsatt under en omfattende drenering med stor materialtransport langs dalføret. Det er usikkert

om avsetningen er dannet som en fluvial «estuary» eller som en propaganderende sedimentoppbygning i åpent vann. Det er også hevdet at avsetningene kan ha sammenheng med flompreget tapping fra bredemte sjøer nord i Østerdalen.

De øverste massene er avsatt i brakkvann hvor man har hatt lite saltinnhold om sommeren og høyere saltinnhold om vinteren. Det gir varvige avsetninger, sand avsettes om sommeren og silt om vinteren. Disse avsetningene har stor anisotropi i permeabiliteten, forholdet $k_{horisontal}$ / $k_{vertikal}$. er mellom 2 og 20.

Det er funnet leire bare i en av boringene, ved Arneberg bru. I elveleiet er berggrunnen bare eksponert i de to fossene Skjefstadfoss og Braskereidfoss.

3.4 Sikkerhet mot overtopping (oversvømmelse) av et flomverk

Et flomverk skal sikre et område mot oversvømmelse av en elv. Det vanlige er at en del av flomsletten langs en elv blir omringet av et flomverk slik at årvisse oversvømmelser blir hindret.

Utgangspunktet for utforming av et flomverk bør være å fastlegge en dimensjonerende vannstand og eventuelt andre laster som flomverket skal dimensjoneres for. Flomverket skal for denne dimensjonerende tilstand ha en rimelig sikkerhetsmargin. Det betyr at for vannstander lavere enn den dimensjonerende skal sannsynligheten for brudd være liten i forhold til sannsynligheten for at dimensjonerende vannstand blir overskredet.

Dette betyr at flomverket må ha et fribord slik at f.eks. bølger ikke slår over og eroderer toppen av flomverket. I de aller fleste tilfeller vil sannsynligheten for bølger på elva være betydelig større enn at en valgt dimensjonerende flomvannstand (f.eks. 100 års returperiode) blir overskredet. For et flomverk hvor strøklengden er mindre enn 500 m, vil et fribord på 0,5 m være tilstrekkelig for å hindre vindgenererte bølger å nå opp på toppen av flomverket.

4 VURDERING AV BRUDD I FLOMVERKENE - KVALITATIV GEOTEKNISK VURDERING

4.1 Brudd i flomverk uten tetning

De eldste flomverkene er bygget som en homogen jordfylling uten spesielle tetningstiltak. Eksempler på dette er bruddstedene ved Lauta og Floberghagen ved Flisa. Disse flomverkene ble overtoppet. Det er derfor ikke noen sammenheng mellom flomverkenes utforming og bruddene. Felles for disse flomverkene er imidlertid at høyden er lav, 2 - 3 m.

De store skadene på grunn og bygninger tilsier at disse flomverkene bør forhøyes. Når de forhøyes, må de utføres med tetning og drenasje slik at strømningen gjennom flomverket kontrolleres. Med større høyde vil det ellers kunne skje hydraulisk grunnbrudd.

4.2 Brudd i flomverk med tetning av plastfoliebelagt fiberduk

Flomverkene som ble bygget i perioden 1975 til 1985 ble for en stor del utført med en tetningsmembran bestående av en plastfolie lagt oppå en fiberduk. Det var imidlertid ingen tetning i grunnen under flomverkene. Flere av disse flomverkene gikk til brudd med en vannstand betydelig under toppen. Det er derfor klart at den utførte tetning med plastfolie i flomverket og ingen tetning i grunnen ikke var tilstrekkelig til å stabilisere flomverket og kontrollere strømningen gjennom og under flomverkene.

En slik plastfolie er for praktiske formål vanntett så lenge den ikke blir punktert. Bruken av denne foliebelagte fiberduken er derfor avhengig av at den kan bli bygd inn uten at den punkteres. Permeabilitetsforsøk på prøver tatt på bruddstedet Namnå viste at duken var punktert i så stor grad at permeabiliteten er sammenlignbar med mellomsand og finsand. I så fall vil duken ha minimal virkning som tetning i flomverket. Prøvene av duken har imidlertid vært utsatt for store påkjenninger under bruddene og er neppe representative for duken i de gjenstående flomverkene.

Prøvene av duken viste at plastfolien hadde tydelig tegn på aldring, dvs. en kjemisk omdanning. Overflaten,, som hadde vært glatt og seig, var blitt ru og sprø.

På en strekning av flomverket ved Namnå hadde det skjedd en glidning av massen på elvesiden langs plastfolien. Flomverket var her prosjektert med en helning på 1:1,5 (vertikalt:horisontalt), men sannsynligvis utført noe brattere, kanskje 1:1,3. Glidningen hadde maksimal forskyvning på ca. 1 m nær toppen av flomverket. I foten var det små bevegelser, nærmest bare en oppstuving av de massene som hadde glidd ned langs skråningen.

4.3 Erosjonskanaler i grunnen

Flere av bruddstedene faller sammen med steder der flomverkene krysser gamle elveleier. På elveslettene som er beskyttet av flomverkene er det mange gamle meanderslynger. Disse elveleiene representere på flere måter inhomogeniteter som har blitt kanaler for strømning under flomverkene:

- De gamle elveleiene kan ha hatt en erosjonshud av stein og grus som senere er blitt dekket med finkornige elvesedimenter. Denne erosjonshuden, f.eks. langs de tidligere elvebreddene, vil man finne igjen som lag og linser av grovt,

høykonduktivt materiale. Grunnundersøkelsene viser slike gruslag ved Stemsrud (Floksenga) og grovsandlag ved Namnå.

- I de avsnørte meanderslyngene dannes det ofte topogen myr som senere kan bli overdekket av elvesedimenter. Grunnundersøkelsene viser at det er gamle torvlag fra slike myrer på flere steder: Flisa jernbanebru, Stemsrud (Floksenga), Namnå og Gruetjern. Torv med høy omdanningrad er som regel ganske tett, men det er også funnet trerester og lite omdannet torv som danner høykonduktive kanaler.

Ettersom tetning i flomverkene bare har gått ned til naturlig terreng, kan de permeable kanalene i grunnen forårsake erosjon av åpne kanaler og plutselige vanninnbrudd.

Myrmaterialene under flomverkene kan også ha gitt lokalt store setninger og betydelig differensialsetning mot overgangen til fastere grunn. Differensialsetningene vil kunne forårsake sprekkdannelser i selve flomverket, og sprekkene danner høykonduktive kanaler. Dette er en mulig mekanisme for bruddstedene Namnå og Gruetjern.

4.4 Erosjon langs rør

På flere av bruddstedene gikk det såkalte lavbrekkrør gjennom flomverket. Dette er rør som utenom flomperiodene drenerer vann (nedbør og grunnvannstilsig) fra landsiden og ut i elva. Lavbrekkrør fantes på bruddstedene Flisa jernbanebru, Arneberg bru, Stemsrud (Floksenga), og Gruetjern. Røret er ikke direkte berørt av bruddet på alle stedene, men lekkasjekanalen kan likevel ha sammenheng med røret.

Rør gjennom dammer har forårsaket mange dambrudd (f.eks. Roppadammen). Det skyldes ofte at det er vanskelig å få komprimert massene skikkelig inntil, og især innunder et rør. Differensialsetninger på tvers av røret kan også ofte føre til sprekker og lekkasjekanaler langs røret.

Mangelfull tetning mellom rør og tetningsfolie kan heller ikke utelukkes som årsak til disse bruddene.

4.5 Hydraulisk grunnbrudd - Sandkoking

Hydraulisk grunnbrudd og sandkoking på landsiden av flomverkene har forekommet flere steder. Dette fenomenet skyldes erosjon av kanaler i grunnen som følge av en oppadrettet gradient, vanligvis større enn 0,5. Sandkoking kan stabilitere seg selv ved at det bygges opp et mottrykk i høyde med toppen av sandkjeglene, og etter som kjeglene vokser øker mottrykket. Største faren er imidlertid at det eroderes åpne kanaler i sanden bakover fra kjeglene. Får denne erosjonen gå langt nok tilbake mot elva, kan det resultere i et ukontrollert vanninnbrudd.

Sandkoking var meget omfattende langs flomverket mellom Sandstad bru og Gardbekken uten at det førte til brudd. Det kan imidlertid ha vært meget nær, især ved Østmogårdene. Det er heller ikke bekreftet at noen av bruddene skyldes hydraulisk grunnbrudd, men det er en sannsynlig mekanisme flere steder, f.eks. Arneberg bru og Gruetjern.

5 VURDERING AV PLAN FOR UTBERDRING PÅ BRUDDSTEDENE . KVANTITATIV GEOTEKNISK VURDERING

5.1 Tverrsnitt av flomverk

Tverrsnittet av flomverket, som gjengitt på fig. 1, er prosjektert av NVE. Flomverket bygges i prinsipp som en homogen fylling med maksimal bruk av stedlige masser, dvs. sand og sandig silt. Disse massene har begrenset skjærstyrke, og derfor er tverrsnittet bygd opp med relativt slake skråninger. Samtidig er massene relativt permeable, slik at det er nødvendig med en tetning av andre materialer. Karakteristiske data for tverrsnittet er gitt i tabell 2

Tabell 2 Karateristiske data for tverrsnitt av flomverk

	enhet	verdi
Høyde over naturlig terreng	m	6,0
Fribord for dimensjonerende flom	m	0,5
Dybde under terreng av drenasjegrøft	m	2,0
Dybde under terreng av tetningsmembran	m	2,0
Bredde på toppen	m	4,0
Bredde mot fundamentet	m	32,8
Skråningshelning på elvesiden		1:2,0
Skråningshelning på landsiden		1:2,5
Totalt volum per meter flomverk	m^3/m	115,0

Tetningen er prosjektert med en plastfolie pålagt en fiberduk. Tilsvarende folie er anvendt tidligere ved bygging av flomverk i perioden 1975 - 1985, kfr. avsnitt 4.2.

Der hvor flomverkene er utsatt for erosjon av stømmende vann, er det planlagt en skråningsbeskyttelse av sprengstein på elvesiden.

På landsiden skal det graves en drenasjegrøft, ca. 2,0 m dyp. Den skal kles med fiberduk og igjenfylles med knust stein. Krav til materialene i flomverket er gitt i tabell 3

Tabell 3 Krav til materialer i flomverket; kfr. fig. 1

Nr.	Sonebetegnelse	Materiale
1	Tetningsvegg	Foliebelagt fiberduk
2	Tetningsvegg	Plast eller stålspunt
3	Skråningsvern	Samfengt sprengstein
4	Tetningsmembran	Foliebelagt fiberduk,
5	Sentral fyllingskropp	Selvdrenerende sand
6	Støttefylling elveside	Sand eller silt
7	Veibane	Samfengt, knust stein, 0-8 mm
8	Drenasjefilter	Fiberduk, min. 100 g/m^2
9	Drenasjegrøft	Siktet knust stein, 8 - 22 mm
10	Fundament (antatt i analysen)	Sand og silt
11	Fundament (antatt i analysen)	Sand og silt
12	Fundament (antatt i analysen)	Naturlig grunn, sand

5.2 Fundamentering

Fundamenteringen av flomverkene består av en tetning på elvesiden og en drenasje på landsiden. Tetningen på elvesiden har til hensikt å tvinge strømningen under flomverket dypere ned i grunnen og vekk fra selve flomverket. Det gjør at en større del av flomverket forblir umettet under en flom og at stabiliteten blir bedre. Den samlede lekkasjen gjennom flomverket endres bare ubetydelig.

Tetningen på elvesiden skal som et minimum føres 2 m ned i grunnen. Dette kan gjøres ved at tetningsfolien stkkes ned i en grøft som tilbakefylles slik at folien ligger fast inntil grøften mot senter av flomverket.

Der det er nøvendig med dypere tetning må det benyttes en tetningsvegg f.eks. av stålspunt eller en plastspunt (GEOLOCK e.l.) Dypere tetning er aktuelt på bruddstedene, som er blitt reparert ved å fylle sand i vann og uten dypkomprimering.

For å fange opp lekkasjen under flomverket er det på landsiden en 2,0 m dyp drenasjegrøft. Drenasjegrøften er lagt i skråningfoten slik at den også vil fange opp lekkasjen som kommer ut nederst i selve skråningen.

5.3 Geotekniske egenskaper av materialene i flomverkene

Fyllmaterialene i flomverkene er undersøkt ved de de grunnundersøkelsene som er utført på bruddstedene, NGI (1996). Største del av fyllingskroppen er bygget

opp av sand, mellomsand og siltig sand. Disse massene er hentet i umiddelbar nærhet av flomverkene, gjerne ute i elva.

Stein til skråningsbeskyttelse og drenasjegrøft er hentet fra lokale steinbrudd og prosessert der til de spesifiserte fraksjonene.
De geotekniske egenskapene i form av karakteristiske materialparametre for materialene er sammenstilt i Tabell 3. Verdiene er bassert på de utførte laboratorieforsøk og på erfaringstall fra materialer med tilsvarende kornfordeling, etc.

Tabell 4 Karakteristiske geotekniske parametre for flomverket, fylling og fundament, sammendrag

Sone	Materialparameter					
	Romvekt		Permeabilitet		Skjærstyrke	
	Fuktig,γ kN/m³	Mettet, γ kN/m³	Horisontal, k_h m/s	Vertikal, k_v m/s	Kohesjon, c kN/m5	Friksjons-vinkel, φ°
1, 2	-	-	10^{-8}	10^{-8}	-	-
3	-	22	1	1	0	38
4	-	-	10^{-8}	10^{-8}	-	10-25
5a	16	-	10^{-4}	10^{-4}	0	32
5b	-	19	10^{-4}	10^{-4}	0	32
6	-	19	10^{-4}	10^{-4}	0	30
7	-	19	10^{-2}	10^{-2}	0	38
8	-	-	10^{-2}	10^{-2}	-	-
9	-	22	10^{-2}	10^{-2}	0	38
10	-	20	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	0	32
11	-	19	10^{-4}	10^{-4}	0	30
12	-	20	10^{-4}	10^{-4}	0	34

1) Beregnet sikkerhet mot glidning langs duken er analysert som funksjon av friksjonsvinkel jord/duk, se avsnitt x.x

5.4 Strømningsanalyse

Når elva stiger opp på flomverket vil vann strømme gjennon de porøse delene av flomverket og fundamentet. Denne strømingen er analysert for:

- Å bekrefte at lekkasjen gjennom flomverket er redusert til en mengde som kan tolereres,
- for å bestemme posisjonen av metningslinjen, dvs. til hvilket nivå fyllingskroppen er mettet av vannstrømmen, og
- for å bestemme de poretrykk og strømkrefter som virker inne i fyllingskroppen.

Strømningsanlysen er utført ved hjelp av et elementprogram SEEP/W. Programmet benytter en iterativ løsning til å bestemme beliggenheten av den frie

metninglinjen. De kriterier som er benyttet i analysen er gitt avsnitt 2 av Vedlegg A.

Simulering av gjennomstrømningen. Resultatene fra elementsimuleringen av gjennomstrømningen er vist på figurene 02 til 05.
Det er utført to strømingsanlyser:

- Stasjonær strømning for dimensjonerende flomvannstand, 0,5 m under toppen av flomverket.
- Hurtig senkning fra dimensjonerende flom.

En transient analyse av strømningen gjennom dammen for en flomstigning viste at stasjonær tilstand vil være etablert etter 1-2 døgn etter at vannstanden har nådd dimensjonerende flomvannstand.

Lekkasjemengde. Lekkasjen gjennom flomverket og fundamentet for dimensjonerende flomvannstand er beregnet til 0,19 liter sekund og meter dam, eller 20 l/s for en lengde av 100 m. Lekkasjen vil for det alt vesentligste bli fanget opp i drenasjegrøften på elvesiden.

5.5 Stabilitetsanalyse

Det er utført stabilitetsanlyser for stasjonærtilstand med dimensjonerende flomvannstand og for hurtig senkning. Resultatene er vist på figurene 06 til 09.

Stasjonærtilstand. Stabiliteten i stasjonærtilstand er analysert ved hjelp av sirkulære glideflater og Morgenstein-Price-metoden for dimensjonerende flomvannstand, 0,5 m under toppen av flomverket. Poretrykkene er tatt fra strømningsanalysen for stasjonær strømning for denne vannstanden. Minimum sikkerhetsfaktor er 1,46-1,51 for skråningen mot elva og 1,58 for skråningen mot landsiden. Variasjonen på sikkerhetsfaktoren for glidning mot elva skyldes en variasjon i antatt friksjonsvinkel i overgang mellom jord i sone 6 og fiberduk i sone 4 fra 10-25°. For laveste φ-vinkel antagelser vil glidesirkelen tangere sone 4, mens for høyere antatte frikjonsvinkler vil glidning skje i sone 6.

Hurtig senkning. Hurtig senkning er analysert ved hjelp av sirkulære glideflater og Morgenstein-Price-metoden for skråningen mot elvesiden. Poretrykkene er tatt fra strømningsanalysen når vannstanden er senket fra 0,5 m til 5,0 m under toppen av flomverket i løpet av 2 døgn. Minimum sikkerhetsfaktor er 1,30-1,35. Variasjonen på sikkerhetsfaktoren for glidning mot elva skyldes en variasjon i antatt friksjonsvinkel i overgang mellom jord i sone 6 og fiberduk i sone 4 fra 10° til 25°. For laveste φ-vinkel-antagelser vil glidesirkelen tangere tetningsmembranen (sone 4) nær toppen av flomverket, mens for høyere antatte frikjonsvinkler vil glidning skje i sone 6.

Tabell 5 Stabilitetsanalyser av flomverk

Tilstand	Skråning	Vannstand	Analysemetode	Sikkerhets-faktor	Detaljer på figur
Stasjonær-tilstand	Landside	0,5 m under topp flom-verk	Morgenstein-Price Sirkulær glideflate	1,58	06
Stasjonær-tilstand	Elveside	0,5 m under topp flom-verk	Morgenstein-Price Sirkulær glideflate	1,46-1,51 for φ-vinkel i sone 4 fra 10 til 25°	07
Hurtig senkning	Elveside	fra 0,5 m til 5,0 m under topp av flom-verk	Morgenstein-Price Sirkulær glideflate	1,30-1,35 for φ-vinkel i sone 4 fra 10 til 25°	08
Hurtig senkning	Elveside	fra 0,5 m til 5,0 m under topp av flom-verk	Morgenstein-Price Glidning langs overgang jord/fiberduk (sone 4)	0,73-1,30 for φ-vinkel i sone 4 fra 10 til 25°	09

Det er også gjort en analyse av glidning langs overgangen mellom den foliebelagte fiberduken og jorda i sone 6 (sandige/siltige fyllmasser). Resultatet av analysen er vist på fig. 09, og viser beregnet sikkerhetsfaktor som funksjon av friksjonsvinkel jord/duk. Analysen viser at friksjonsvinkelen må være minimum 25° for å oppnå en beregnet sikkerhetsfaktor på 1,30. Det kan således konkluderes at den mobiliserbare friksjonsvinkel mellom tetningsmembranen og jordmassene i sone 6 vil være den mest avgjørende parameter for stabilitet av den analyserte modell av flomverket ved en hurtig senking av vannstanden.

Flomverkene er bygget av materialer som kan bli flytende (liquefy) under et jordskjelv eller en annen kraftig rystelse. Det er ikke tatt hensyn til rystelser i denne vurderingen.

5.6 Skråningsbeskyttelse

Skråningene og kronen på flomverket må beskyttes mot bølgeslag og erosjon fra strømmen i elva og fra regn.

Skråningsbeskyttelsen på elvesiden, samfengt sprengstein, må tåle bølgeslag fra vindgenererte bølger og fra vannstrømmen i elva. Det er antatt at strøklengden på elvesiden vil være mindre enn 500 m. For en vindhastighet på 20 m/s gir det

en maksimal signifikant bølgehøyde H_s = 0,33 m. For denne bølgehøyde vil en steinmasse med medianvekt, W_{50} = 10 kg være tilstrekkelig.

Der hvor flomverket er utsatt for strømkrefter fra elva må skråningen beskyttes mot erosjon. De sandmassene som skal benyttes i flomverkskroppen, sone 5 og 6, vil bli erodert av vann med strømningshastighet over 0,1 m/s. Der hvor hastigheten er større kan erosjonsmotstanden økes med et grasdekke. Et godt vedlikeholdt grasdekke vil kunne binde sammen sanden slik at flomverket kan tåle inntil 0,5 til 1,0 m/s. Der hvor vannhastigheten er større enn 1,0 m/s må flomverket beskyttes med stein eller andre faste materialer. Dette må tilpasses de aktuelle stedene. Det samme gjelder steder hvor flomverket kan bli utsatt for skuring fra isflak.

6 BYGGEKONTROLL, INSPEKSJON OG VEDLIKEHOLD

6.1 Vedlikehold av flomverk

Bygging av flomverk vil alltid være et kompromiss mellom ideelle løsninger og økonomi. Det vil derfor alltid være en risiko for brudd under en flom.

Vanlige problemer som vedlikeholdet må ta hånd om integriteten av flomverket fra faktorer som f.eks. graving av elva på elvesiden av flomverket. Dersom skråningen på elvesiden undergraves, kan det føre til setninger som ødelegger membranen og i verste fall til utglidninger og brudd i hele flomverket.

For å underlette inspeksjon og vedlikehold bør veibanen langs toppen av flomverket vedlikeholdes slik at det er mulig å kjøre med bil og anleggsmaskiner. Noen av de eldste flomverkene hadde så tett skog og vegetasjon på toppen at den var et hinder for adkomst. med kjøretøyer.

6.2 Vegetasjon på et flomverk?

Skråningene bør få et stabilt grasdekke slik at erosjon av regnvann og smeltevann unngås. Et godt vedlikeholdt grasdekke har også en betydelig motstand mot strømmende vann.

Flere av de gamle flomverkene er overgrodd med kratt og til dels stor skog. Det er på mange måter uheldig at kratt og skog får etablere seg på flomverkene. .

Trær i den tørre sandfyllingen vil utvikle et dypt rotsystem for å trekke vann fra det normalt lave grunnspeilet. Dette gjør at grunnvannspeilet løftes, poretrykket i sandfyllingen øker og stabiliteten reduseres. Verre er det kanskje at røtter vil kunne penetrere tetningen enten denne består av en membran eller er jordkjerne. Røttene er ikke så farlige så lenge de er friske, men når trærne dør, vil røttene etterlate en kanal gjennom tetningen.

Det vil også underlette inspeksjonen av flomverket betydelig om man fra toppen kan se skråningene. Et graskledd flomverk kan lett inspiseres fra toppen. Et flomverk overgrodd av kratt og skogkledd flomverk krever en tett manngard for å kunne oppdage feil. Spesielt er det viktig at man lett kan oppdage om elva graver på elvesiden og om det er lekkasjer i skråningsfoten på landsiden. Gravende dyr representerer også en mulighet for at membranen kan bli ødelagt. F.eks. vil et revehi som penetrerer membranen bety en overhengende fare for brudd i en flomsituasjon.

6.3 Drenasje av flomverket

Stabiliteten av flomverket er helt avhengig av at drenasjen på landsiden av flomverket fungerer etter de kriteriene som er gitt i avsnitt 5.1 - 5.2. Toppen av drenasjen, som består av knust stein, må derfor holdes åpen slik at drenasjevannet uhindret slipper ut.

Det må kontrolleres at sand ikke renner ned i åpningene i steinen i drenasjegrøften. Dersom dette skulle vise seg å bli et problem, kan toppen av drenasjen slakes ut f.eks. til 1:4, eventuelt i kombinasjon med utlegging av fiberduk på toppen av drenasjen.

Vegetasjon av gras og kratt bør fjernes regelmessig fra drenasjegrøften.

7 REFERANSER

Norges Geotekniske Institutt (1996)Brudd i flomverk langs Glomma; Felt- og laboratorierapport
950058-1; 15 januar 1996

FIGUROVERSIKT:

Fig. 01 - Typisk tverrsnitt av flomverk, M 1:200

Fig. 02 - Strømningsanalyse, stasjonærtilstand
Potensiallinjer, hastighetsvektorer (20000x)

Fig. 03 - Strømningsanalyse, stasjonærtilstand
Poretrykk (kPa), hastighetsvektorer (20000x/s)

Fig. 04 - Strømningsanalyse, hurtig senkning
Metningslinjer som funksjon av senkning

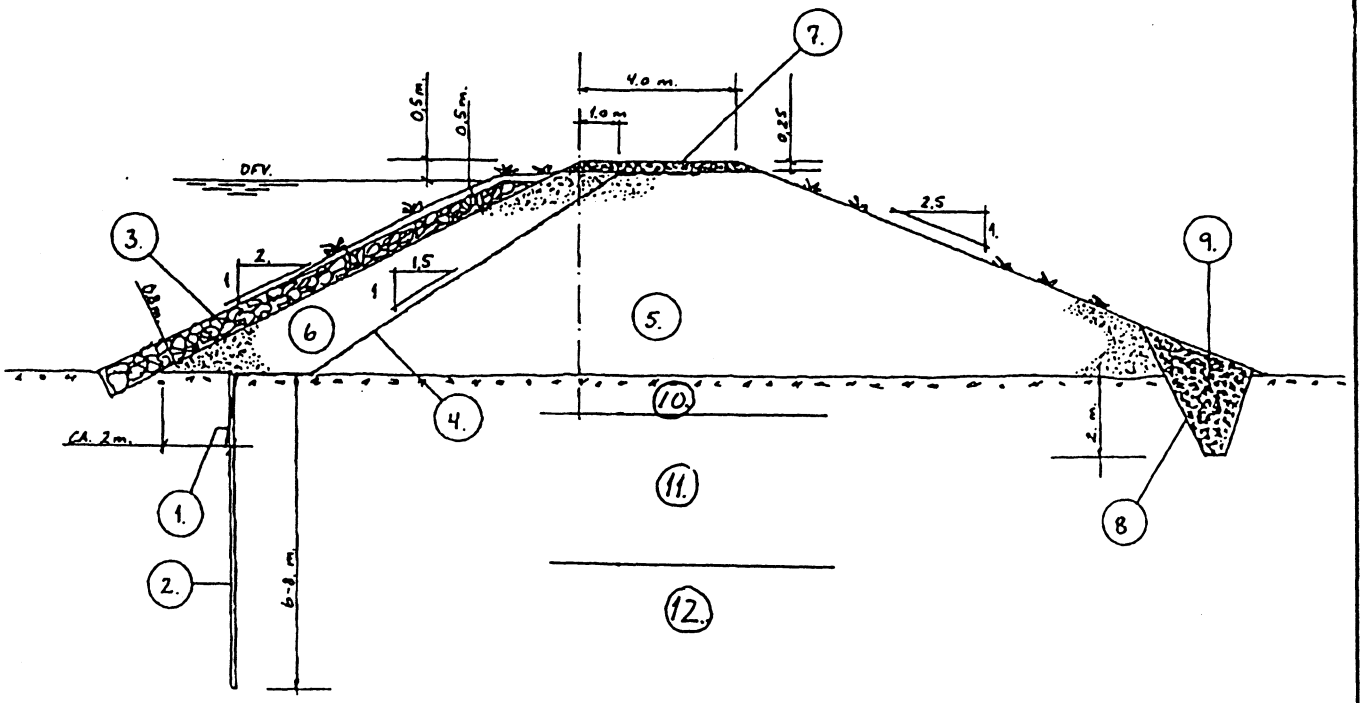
Fig. 05 - Strømningsanalyse, hurtig senkning
Poretrykk etter 2 døgn

Fig. 06 - Beregnet sikkerhet mot landside, sirkulære glideflater
Stasjonærtilstand

Fig. 07 - Beregnet sikkerhet mot elveside, sirkulære glideflater
Stasjonærtilstand

Fig. 08 - Beregnet sikkerhet mot elveside, sirkulære glideflater
Hurtig senkning

Fig. 09 - Beregnet sikkerhet mot elveside, glidning langs foliebelagt fiberduk - hurtig senkning



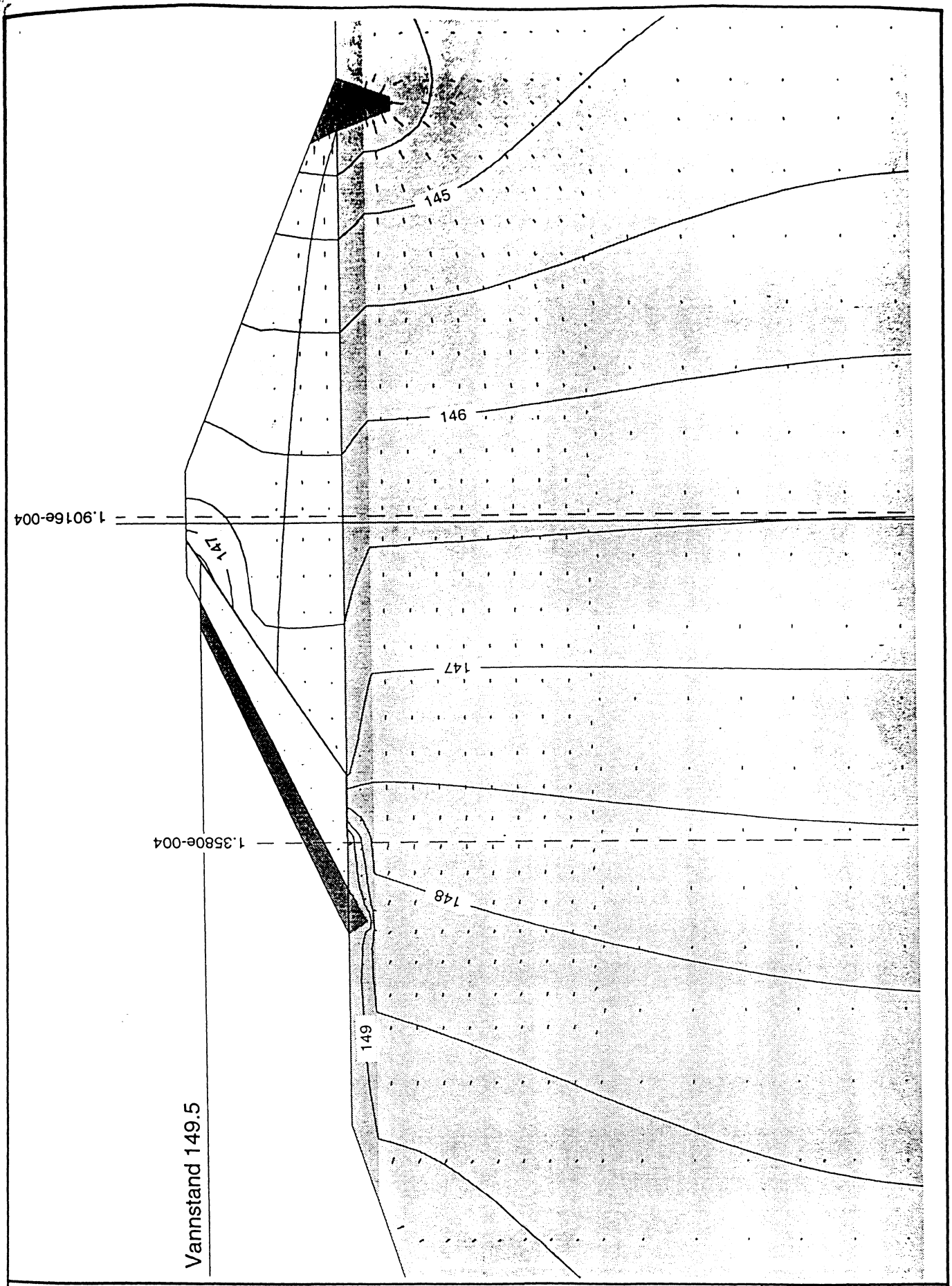
1. FOLIEBELAGT FILTERDUK, 300-400 g/m^2.
2. SPUNTVEGG, STÅL- ELLER PLASTSPUNT.
3. EROSJONSSIKRING, SAMFENGT SPRENGSTEIN.
4. FOLIEBELAGT FIBERDUK,100 g/m^2
5. FYLLMASSER, FORTRINNSVIS SAND, SELVDRENERENDE.
6. FYLLMASSER, SAND ELLER SILT.
7. SAMFENGT KNUST STEIN 0-8 mm.
8. FILTERDUK, 100 g/m^2
9. DRENSMASSER, KNUST STEIN 8-22 mm.
10. FYLLMASSER, ANTATT SAND/SILT
11. FYLLMASSER, ANTATT SAND/SILT
12. NATURLIG GRUNN, ANTATT SAND

NVE FLOMVERK

Typisk tverrsnitt av flomverk
M = 1 : 200

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	01
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

NGI

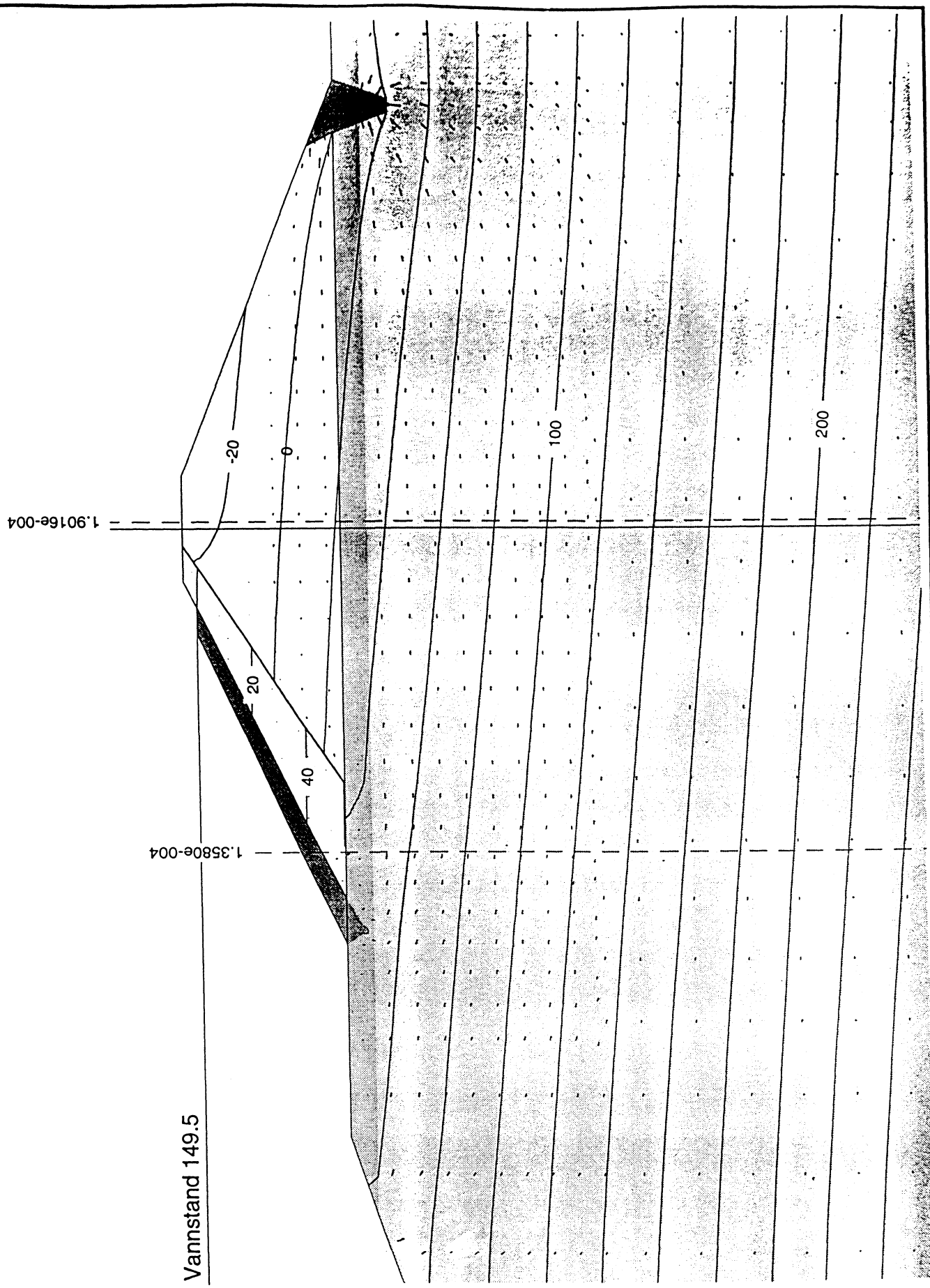


NVE FLOMVERK

Strømningsanalyse, stasjonærtilstand
Potensiallinjer, Hastighetsvektorer (20000x)

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	02
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

NGI

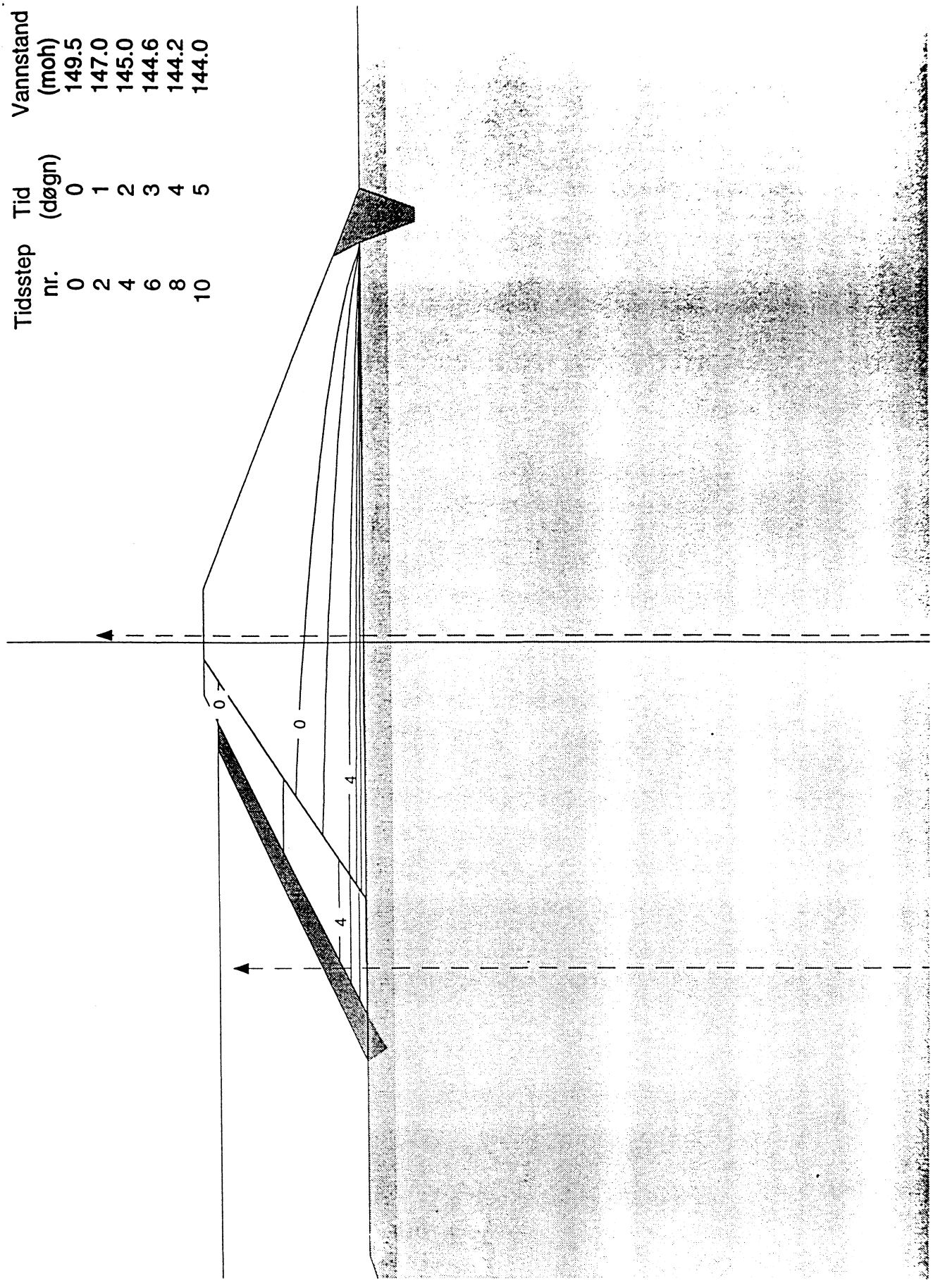


NVE FLOMVERK

Strømningsanalyse, stasjonærtilstand
Poretrykk (kPa), Hastighetsvektorer (20000x/s)

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	03
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

NGI

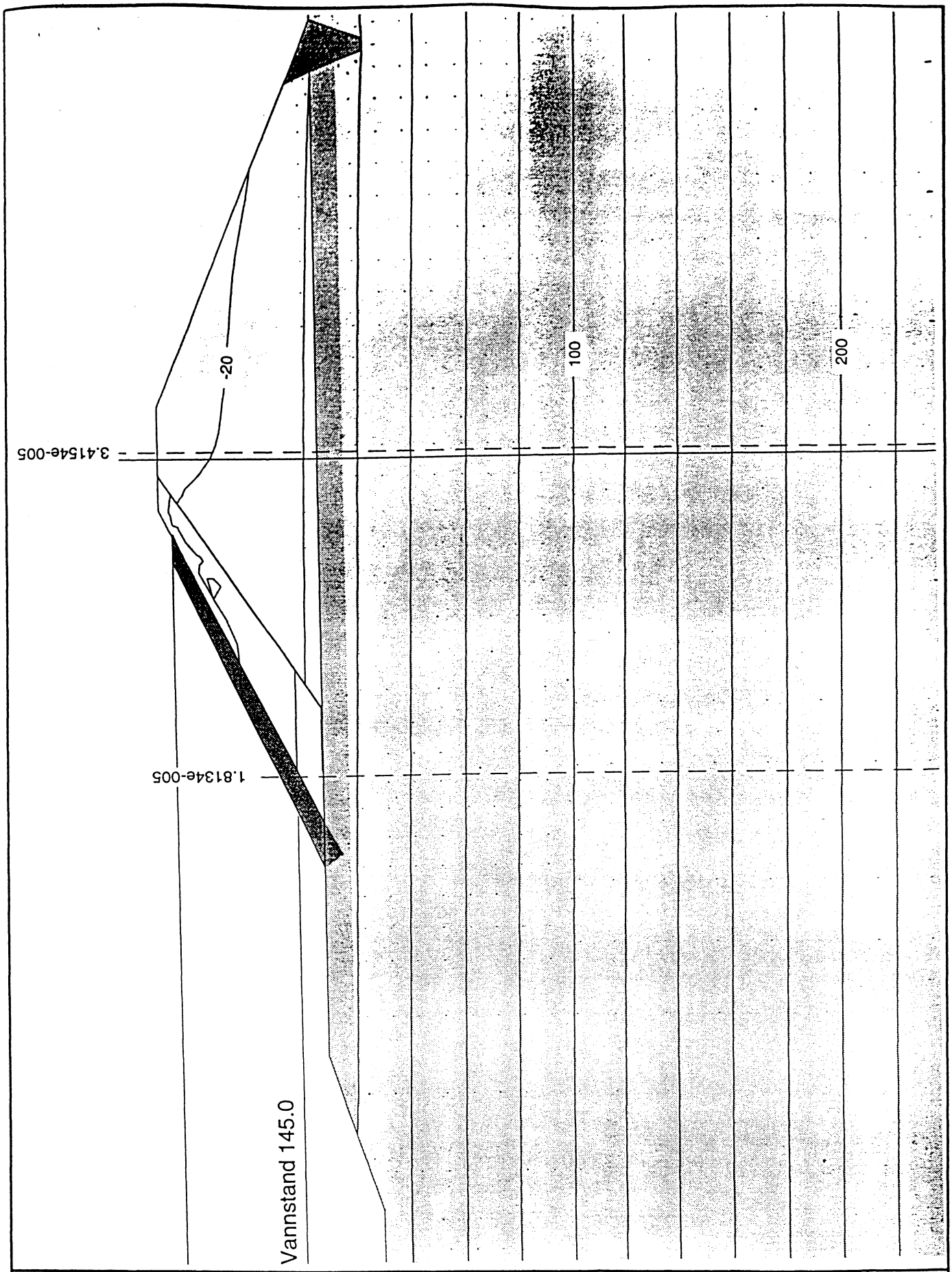


NVE FLOMVERK

Strømningsanalyse, hurtig senkning
Metningslinje som funksjon av senkning

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	04
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

NGI

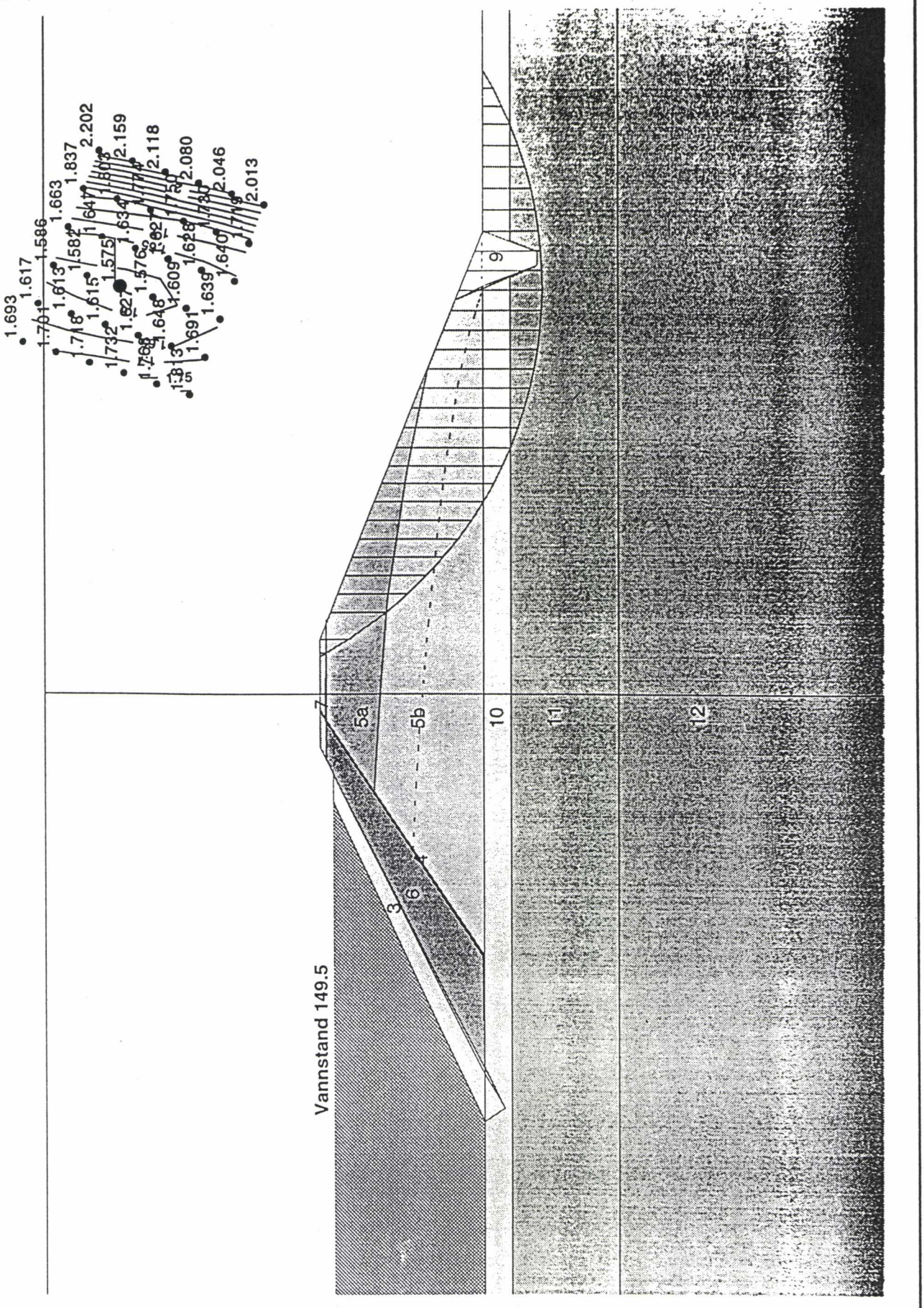


NVE FLOMVERK

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	05
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

Strømningsanalyse, hurtig senkning
Poretrykk etter 2 døgn

NGI



NVE FLOMVERK

Beregnet sikkerhet mot landside, sirkulære glideflater
Stasjonærtilstand

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	06
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

NGI

NVE FLOMVERK

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	07
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

Beregnet sikkerhet mot elveside, sirkulære glideflater
Stasjonærtilstand

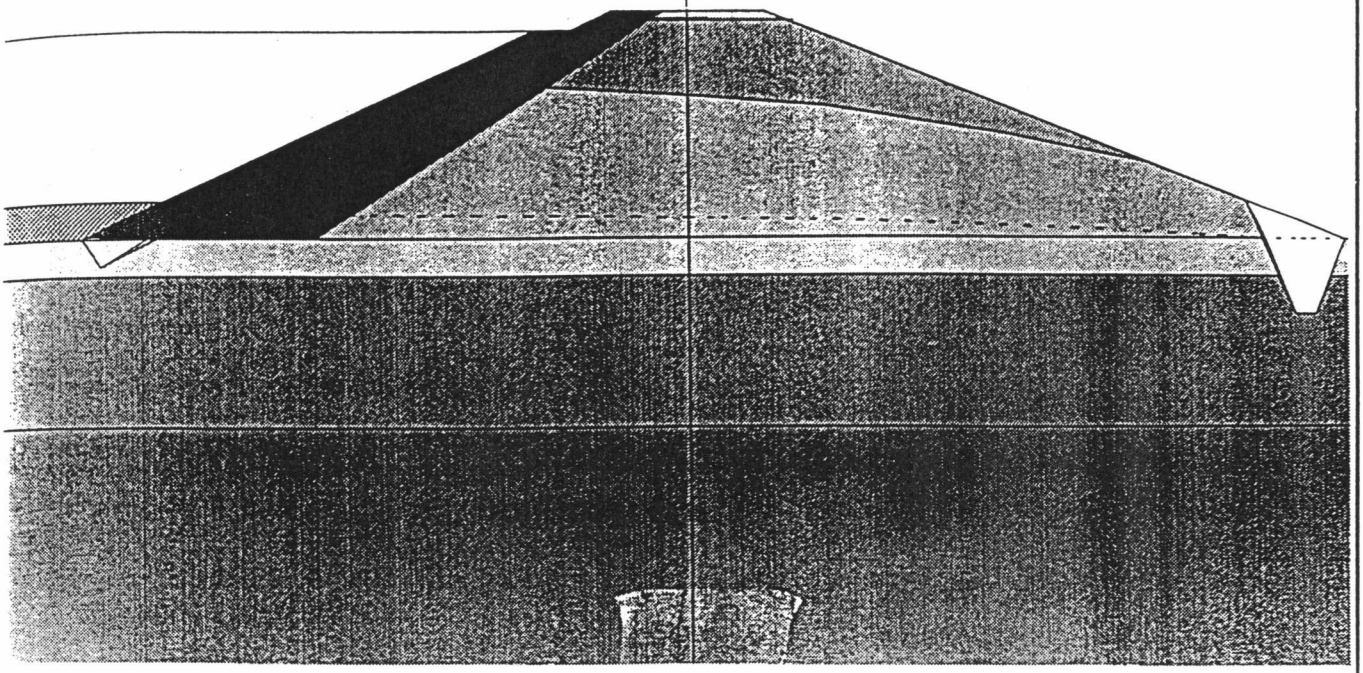
NGI

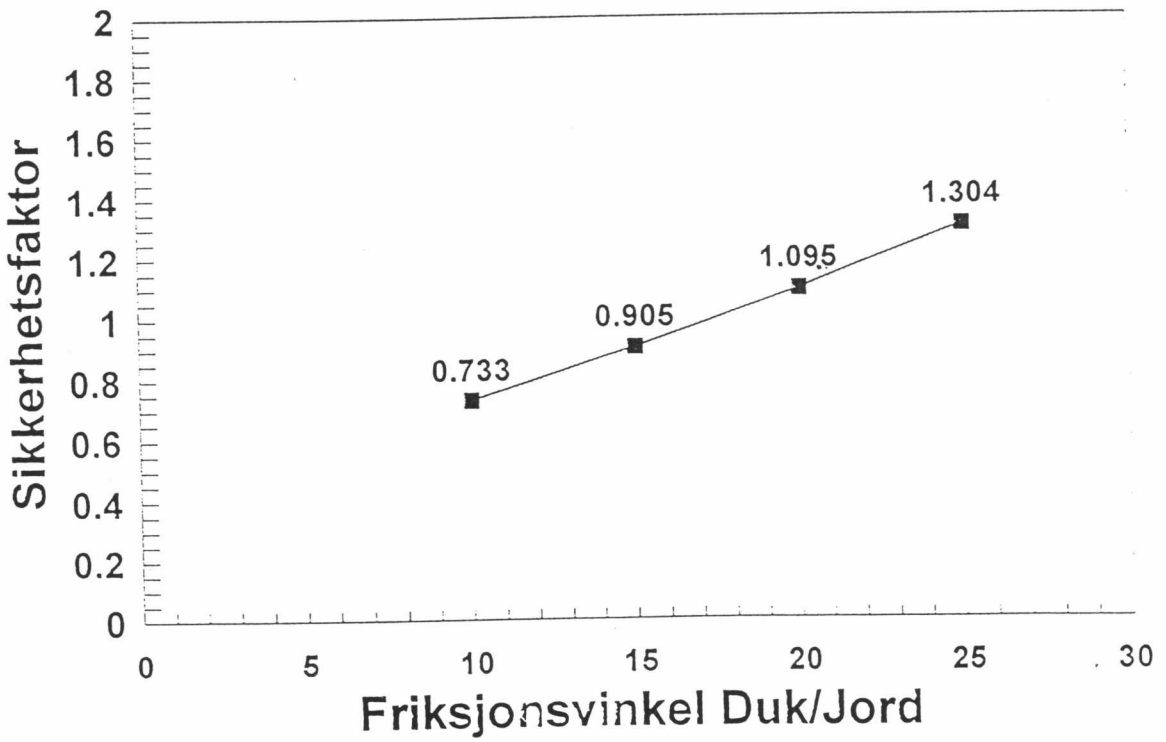
NVE FLOMVERK

Rapport nr.	Figur nr.
950058-2	08
Tegner	Dato 96-02-27
Kontrollert	
Godkjent	

Beregnet sikkerhet mot elveside, sirkulære glideflater
Hurtig senkning

Friksjonsvinkel DUK/JORD	Sikkerhetsfaktor
10	0.73
15	0.91
20	1.10
25	1.30





NVE FLOMVERK

Rapport nr. 950058-2

Figur nr. 09

Beregnet sikkerhet mot elveside, glidning langs foliebelagt fiberduk
Hurtig senkning

Tegner

Dato 96-02-27

Kontrollert

Godkjent

NGI

Vedlegg A - Kriterier for prosjektering og bygging av flomverk

1 GENERELLE REGLER

1.1 Utenlandske regler

Vi har funnet 2 eksempler på regler for flomverk (1) og (2).

Veiledningen (1) «Guide for the design of river dikes» er fra Nederland og kunne for stor del legges til grunn for dimensjonering av flomverk i Norge. I de 12 kapitlene er det redegjort for de fleste hensyn som må tas ved utformning av et flomverk. Det spesielle ved den nederlandske veiledningen er at den legger til grunn en flomsituasjon i Rhinen og Maas med et gjentaksintervall på 1250 år. Dessuten er den farget av de lokale grunnforhold og tilgang på byggematerialer. Som vedlegg har (1) analytiske løsninger for typiske beregninger som må gjøres ved dimensjonering av et flomverk.

Manualen (2) «Design and Construction of Levees» av «Corps of Engineers» er for tiden under revisjon. Vårt bibliotek har ikke vært i stand til å skaffe den gamle.

I denne rapporten har vi benyttet følgende kriterier:

1.2 Definisjoner

Flomverk	En forhøyning av elvebreddene for å hindre at landområder langs en elv settes under vann under en flom.
Dike (dyke)	An artificial embankment constructed to prevent marine flooding of coastal lowlands, e.g. in the Netherlands.
Levee	An elevated bank flanking the channel of a river and standing above the flood plain. It is formed naturally by the river in times of flood when the overbank flow causes decrease in stream velocity after it has left the confining channel walls. Once this ability to transport load has decreased much of the material is deposited, especially the coarser fraction, along the edges of the channel. The formation of levees tends to raise the level of the river channel above the flood plain, leading to widespread flooding once the levees are overtopped or breached. Consequently a great deal of artificial heightening and levee building has taken place on rivers such as the Hwang-Ho and the Mississippi in order to ameliorate the flood danger.

1.3 Stabilitet av et flomverk

Et flomverk med fundament og fyllingskropp skal være stabilt for alle normal tilstander ved bygging og for en definert størrelse på flommen i vassdraget. Kriterier for stabilitetsanalyse er gitt i avsnitt 3.
Strømning av vann gjennom et flomverk med fundament og fylling skal kontrolleres slik at den ikke påfører flomverket større strømkrefter enn det tåler og slik at erosjon av strømkanaler eller hydraulisk grunnbrudd (koking) finner sted. Kriterier for strømningsanalyse er gitt i avsnitt 2.

Videre skal forskjellige materialer i fyllingskroppen tilfredstille kriterier for filterovergang.

1.4 Fribord

Et flomverk må ha et fribord over dimensjonerende vannstand som er stort nok til at bølger ikke skyller over toppen. I tillegg til fribordet skal et flomverk ha en overhøyde for å kompensere for fremtidige setninger i fundamentet og fyllingen.

Toppen av et flomverk skal ha tilstrekkelig bredde og bæreevne slik at den kan trafikkeres av kjøretøyer tillatt på offentlige veier.

1.5 Skråningsbeskyttelse

Skråningene på et flomverk skal beskyttes mot erosjon fra bølger, regn og vind. Det kan også være aktuelt å beskytte skråningene mot skader fra isflak og flytende drivgods. Skråningsbeskyttelsen på elvesiden vil i det vesentlige avhenge av forholdene i elva, strømningshastighet og bølgehøyde.

Skråninger med normal helning (1:2,0 eller slakere) vil tåle en vannhastighet på 0,2 m/s (målt på 1 m dybde) uten spesielle tiltak. Kravet til skråningsbeskyttelsen vil være størst der hvor elva normalt står opp på flomverket. Der hvor flomverket normalt står tørt og bare har vann på skråningen i flomsituasjoner, kan det tollereres mindre skader på skråningsbeskyttelsen.

Skråningen på landsiden skal beskyttes mot erosjon av regn og vind.

1.6 Overløp

Flomverk bygges til å tåle en definert flom gjennom vassdraget. Dersom denne flommen overskrides, vil flomverket bli overtoppet. I stedet for at flomverket overtoppes ukontrollert, bør det ha et overløp slik at innstrømmingen kan skje gjennom et definert løp og uten at selve flomverket brytes ned.

1.7 Temporær påbygning

Et flomverk bør være dimensjonert for en temporær påbygning, f.eks. med sandsekker, når en flom truer med å overstige dimensjonerende vannstand.

Dette krever at det er plass på toppen av flomverket til en påbygning, samtidig som det er plass til transport av materialer til påbygningen langsetter flomverket. Dette krever en bredde på minst 4,0 m. En bankett på 1,0 m langs elvesiden avsettes til påbygningen, og de resterende 3,0 m brukes til kjørebane. Under banketten for den temporære påbygningen bør flomverket være rimelig tett. Den skal derfor bygges opp av relativt tett jord eller ved at tetningsmembranen føres opp til toppen av flomverket på elvesiden.

2 STRØMNINGSANALYSE OG STRØMNINGSKONTROLL

2.1 Strømninganalyse

Et flomverk bygget av jordmasser og på et fundament av jordmasser vil være permeabelt for vann. I en flomsituasjon vil vann strømme gjennom de permeable porene i fundamentet og i fyllingen. Hensikten med å analysere denne strømningen er for å bestemme mengden av vann som passerer gjennom flomverket, og at denne ikke er større enn det som kan tolereres. Videre skal analysen bestemme poretrykkene i flomverket og verifisere at denne strømningen ikke fører til uønskete strømningskrefter inne i flomverkskroppen.

Beliggenheten av metningslinjen i fyllingkroppen av et flomverk kan ikke bestemmes direkte. Den kan bestemmes ved en tilnærming til en lukket løsning eller en iterativ løsning. I denne rapporten er det benyttet et elementprogram med en iterativ løsning.

Fluxen (lekkasjen) i en enhetsbredde av flomverket bestemmes ved en integrasjon av hastighetsfeltet over valgte tverrsnittslinjer. Den totale fluxen bestemmes ved en integrasjon over hele lengden av flomverket.

2.2 Filterkriterier

Hensikten med filterkriteriene er å unngå erosjon av kanaler gjennom flomverket. Finstoff kan, når vann strømmer fra et finkornig til et grovkornig materiale, vaskes ut av det finornige selv om det grovkornige materialet er i stand til å holde tilbake de groveste partiklene i det finkornige materialet. Derfor må materialer, som grenser opp til hverandre i fyllingkroppen, tilfredsstille kriterier for hva som er akseptable kornfordelinger av nabomaterialer. Utgangspunktet for disse kriteriene er kornfordelingen av det materialet som skal beskyttes, basismaterialet. Kriteriene for kornfordelingen av filtermaterialet er gitt i Tabell A1

Tabell A1 Kriterier for kornfordeling av filtermateriale

Filtermateriale	Basismateriale	
	Enskornig $\frac{d_{60}}{d_{10}} < 1.5$	Velgradert $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 4$
Enskornig filter $\frac{D_{60}}{D_{10}} < 1.5$	$5 < \frac{D_{50}}{d_{50}} < 10$	$5 < \frac{D_{50}}{d_{50}} < 15$ $\frac{D_{15}}{d_{15}} < 5$
Velgradert filter: $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$	$4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} < 6$ $\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$ $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$	$4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} < 40$ $\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$ $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$

Merk: Bokstavene, D og d, representerer kornstørrelse (diameter) av henholdsvis filter- og basismateriale. Indekstallene angir prosent-enheter (vektprosent) av materialet som er mindre enn den angitte diameter.

For velgraderte materialer skal bare fraksjonen mellom 0 og 60 mm av basismaterialet benyttes for å bestemme grensene for kornfordelingen av filteraterialet. Filtermaterialet skal kontrolles mot kriteriet ved kornfordeling av hele materialet.

Et materiale som skal brukes til filter må bedømmes på grunnlag av kornfordelingen av basismaterialet. Filtermaterialet må spesifiseres i forhold til de forventete variasjonene i basismaterialet slik at filtermaterialet dekker over disse variasjonene. Akseptable grenser, fin og grov, for kornfordelingen av filtermaterialet vil avhenge av variasjonen av baismaterialet. Dersom basismaterialet varierer mye, vil det snevre grenser for filtermaterialet. Dersom basismaterialet varierer lite, vil det gi videre grenser for filtermaterialets kornfordeling.

De grunnleggende kriterier for naturlige filtermaterialer er også anvendelige for fiberduk brukt som filter, «filterduk». Imidlertid må korndiameteren til et naturlig filter erstattes med en «ekvivalent åpningsstørrelse», EOS og «prosent åpent areal» av filterduken. Størrelsen EOS er definert som størrelsen på nærmeste sikteåpning som tilsvarer filterduken. Prosent åpent areal er definert

som summen av åpent areal dividert på det totale arealet i filterduken. Kriterier som er anvendbare for filterduk er gitt i tabell A2.

Tabell A2 Kriterier for fiberduk anvendt som filter (filterduk) med hensyn på å holde tilbake finstoff i basismaterialet og å forhindre gjentetting (clogging).

Basismateriale	Filterduk	
	Ekvivalent åpningsstørrelse EOS	Åpent areal
Granulære materialer som inneholder 50 vektsprosent eller mindre av finstoff < 0.075 mm	$\frac{O_{85}}{d_{85}} \leq 1$	< 36 *prosent*
Andre materialer	$O_{85} \leq 0.2$ *mm*	< 10 *prosent*

Merk: Bokstavene, *O* og *d*, representerer henholdsvis åpningsstørrelsen i filterduk og kornstørrelse (diameter) av basismaterialet. Indeks-tallene angir prosentenheter av materialet som er mindre enn den angitte åpning eller diameter.

3. STABILITETSANALYSE

3.1 Prinsipp

Stabiliteten skal analyseres for å evaluere risikoen for et skjærbrudd gjennom et flomverk hvor en del av fyllingskroppen og, om mulig, en del av fundamentet glir langs en definert flate relativt til resten av flomverket. En slik skjærflateanalyse gir mulighet til å vurdere sikkerhetsmarginen under varierende ytre belastninger og strømning gjennom flomverket. Resultatet av analysen uttrykkes i en sikkerhetsfaktor eller en materialfaktor lik forholdet mellom den totale skjærstyrke som kan mobiliseres og den skjærspenning som virker langs flaten for å opprettholde likevekt.

3.2 Lasttilstander

Stabilitetsanalysen skal utføres for kritiske tilfeller hvor flomverket utsettes for skjærspenninger i tillegg til de som skyldes vekten av fyllingen. Disse tilleggs-spenningene skyldes fluktasjoner av vannstanden i elva og strømning gjennom porene i fyllingen. De kritiske lasttilstandene benevnes «byggetilstand», «stasjonærtilstand» og hurtig senkning».

Byggetilstanden er den tilstand som følger umiddelbart etter at fyllingene er ført opp til sitt endelige profil, høyde og bredde. I denne tilstand vil fyllingen og fundamentet forsatt konsolidere under egen vekt, og eventuelle tilleggsporetrykk generert i byggetiden vil ha den ugunstigste effekt på stabiliteten. Byggetilstanden er en transient tilstand siden disse poretrykkene vil avta med tiden og stabiliteten forbedres.

Stabliteten skal i byggetilstand analyseres for både landsiden og elvesiden.

Flomtilstanden er den tilstand som intreffer når vannstanden i elva står opp til høyeste dimensjonerende flom og strømningen gjennom porene i fyllingen har innstilt seg i en stasjonær tilstand for denne vannstanden. Poretrykkene er bestemt ved en strømningsanalyse for denne tilstanden.

Stabiliteten skal i flomtilstanden analyseres for både landsiden og elvesiden.

Hurtig senkning er den tilstanden som følger umiddelbart etter en hurtig senkning av vannstanden i elva. Poretrykkene umiddelbart før senkningen er bestemt ved en stasjonær strømning ved høyeste flomvannstand. I de delene av flomverket som består av «tette» materialer er senkning antatt å skje udrenert. I de av flomverket som består av «semi-permeable materialer» bestemmes poretrykkene ved en transient strømningsanalyse fra høyeste flomvannstand. I de delene av flomverket som består av «fritt drenerende materialer» antas poretrykkene å være i balanse med vannstanden i elva.

Stabiliteten skal ved hurtig senkning analyseres for bare elvesiden.

3.3 Krav til sikkerhetsfaktor

Minstekrav til sikkerhetsfaktor (materialfaktor) for lasttilstandene er gitt i tabell A3

Tabell A3 Lasttilstander og krav til sikkerhetsfaktor

	Skråning	Vannstand	Minimum sikkerhetsfaktor
Byggetilstand	Elvesiden	Ingen	1,3
	Landsiden	Ingen	1,3
Flomtilstand	Elvesiden	Høyeste flomtilstand	1,5
	Landsiden	Høyeste flomtilstand	1,5
Hurtig senkning	Elvesiden	Kritisk vannstand (min. sikkerhetsfaktor)	1,3

3.4 Analysemetoder

For analyse av flomverk er det aktuelt å benytte følgende tre metoder: plan skjærflate, sirkulær skjærflate og sammensatt skjærflate:

Plan skjærflate analyserer motstanden mot glidning langs en skjærflate som avgrenser en tynn skive parallell med en skråning. Lengden på skiven er så stor at endeeffektene kan neglisjeres. Metoden anvendes til å analysere den lokale stabiliteten av skråningsflaten på en fylling av friksjonsmasser.

Sirkulær skjærflate analyserer motstanden mot glidning langs en skjærflate som avgrenser et sylindrisk segment i skråningen. Den sirkelen som gir lavest sikkerhetsfaktor lokaliseres ved å prøve seg frem. Metoden anvendes til å analysere stabiliteten av homogene fyllinger inkludert fundamentet når beliggenheten av den kritiske skjærflaten er bestemt av et samspill mellom skjærspenninger, poretrykk og skjærstyrke.

Sammensatt skjærflate analyserer motstanden mot glidning langs en skjærflate som avgrenser et segment i skråningen med fritt valgt form. Den flaten som gir lavest sikkerhetsfaktor bestemmes ved å prøve seg frem. Metoden anvendes til å analysere stabiliteten av fyllinger inkludert fundamentet når den kritiske skjærflaten vil kontrolleres av soner med høye poretrykk eller lav skjærstyrke.

4. REFERANSER

(1) Guide for the design of river dikes; Volume 1 - upper river area. (1991) Tecnical advisory committee on water defernces; Centre for civil engineering research and codes; Report 142, 208 p.

(2) US Army , Office, Chief of Engineers. (1995) Design and Construction of Levees; Engineering and Design. Engineering manual EM 1110-2-1913.

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

NGI

Oppdragsgiver/*Client*	Dokument nr/*Document No.*
NVE Region Øst	950058-2
Kontraktsreferanse/ *Contract reference*	Dato/*Date* 27 februar 1996
Dokumenttittel/*Document title* Brudd i flomverk langs Glomma Geoteknisk analyse og vurdering Prosjektleder/*Project Manager* Odd Gregersen Utarbeidet av/*Prepared by* Tore Valstad og Arne Kleven	Distribusjon/*Distribution* ☐ Fri/*Unlimited* ☒ Begrenset/*Limited* ☐ Ingen/*None*
Emneord/*Keywords*	
Land, fylke/*Country, County* Hedmark Kommune/*Municipality* Grue, Åsnes Sted/*Location* Kartblad/*Map* 2016 II, 2015 I UTM-koordinater/*UTM-coordinates*	Havområde/*Offshore area* Feltnavn/*Field name* Sted/*Location* Felt, blokknr./*Field, Block No.*

Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to* NS-EN ISO9001

Kontrollert av/ *Reviewed by*	Kontrolltype/ *Type of review*	Dokument/*Document* Kontrollert/*Reviewed* Dato/*Date*	Sign.	Revisjon 1/*Revision 1* Kontrollert/*Reviewed* Dato/*Date*	Sign.	Revisjon 2/*Revision 2* Kontrollert/*Reviewed* Dato/*Date*	Sign.
PMJ	Helhetsvurdering/ *General Evaluation* *	1/3-96	PMJ				
PMJ	Språk/*Style*	"	PMJ				
PMJ	Teknisk/Technical - Skjønn/*Intelligence*	"	PMJ				
PMJ	- Total/*Extensive* - Tverrfaglig/ *Interdisciplinary*	"	PMJ				
PMJ		"	PMJ				
WUT	Utforming/*Layout*						
TVa	Slutt/*Final*	96-03-01	T Valstad				
JGS	Kopiering/*Copy quality*						

* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/ *On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation*

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	Dato/*Date*	Sign.

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
er en privat stiftelse etablert i 1953. NGI er et nasjonalt og internasjonalt senter for forskning og rådgivning innen geofagene. NGI har følgende kompetanseområder:

- Fundamenter og undergrunnsanlegg
- Marine konstruksjoner
- Bergrom og tunneler
- Dammer
- Sikring mot skred
- Miljøvern og miljøgeoteknologi
- Petroleumsreservoarmekanikk og borhullsteknologi
- Grunnundersøkelser og laboratorieundersøkelser
- Modell- og feltforsøk
- Måleteknisk instrumentering og tilstandskontroll

NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE
is an independent foundation established in 1953. NGI is a national and international center for research and consulting in the geosciences. NGI has the following areas of expertise:

- *Foundations and underground structures*
- *Offshore and nearshore structures*
- *Rock engineering and tunnelling*
- *Dam engineering*
- *Avalanches, landslides and safety measures*
- *Environmental geotechnical engineering*
- *Petroleum reservoir mechanics and borehole technology*
- *Site investigations and laboratory testing*
- *Model and field testing*
- *Field instrumentation and performance evaluation*

Denne serie utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 OSLO

I 1996 ER FØLGENDE RAPPORTER UTGITT:

Nr 1 Ole Einar Tveito og Hege Hisdal: Forbedring av ekstrapolasjonsrutinen i KOFOT. (31 s)

Nr 2 Sylvia Smith-Meyer og Truls Erik Bønsnes: Erosjonsutsatte områder langs Sogna, Gardermoen. Fotoregistrering 20.-22.nov. 1995. (89 s.)

Nr 3 Leif J. Bogetveit: Flomvannstander Sarpsfossen-Rakkestadelva juni-95, (002.A0). (10 s.)

Nr 4 Heidrun Kårstein: Sluttrapport for grunnvannsundersøkelser i Jostedalen. (24 s.)

Nr 5 Bjarne Kjøllmoen: Massebalansemålinger. Storsteinsfjellbreen (173.AB6Z) 1991-95. Sluttrapport. (23 s.)

Nr 6 Ingjerd Haddeland: Beregning av flomvannstand ved Åmot bru. (9 s.)

Nr 7 Roger Sværd: Longyearbyen - Elvesletta. Preliminær flomberegning. (26 s.)

Nr 8 Knut Aune Hoseth (red.) og Tuva Cathrine Daae: Longyearbyen - Elvesletta. Vassdragstekniske vurderinger (34 s.)

Nr 9 Arve M. Tvede: Overføring av Erdalselvi (073.27) til Aurland. Konsekvenser for is- og vanntemperaturforhold. (20 s.)

Nr 10 Jim Bogen og Truls Erik Bønsnes: Flomtunnel Øyeren - Oslofjorden. En vurdering av konsekvensene for erosjon i deltaet i nordre Øyeren. (15 s.)

Nr 11 Bredo Erichsen og Erik Holmquist: Flommen i Vik i Sogn, uke 43. (42 s.)

Nr 12 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning Hellelandsvassdraget (027.3Z). (26 s.)

Nr 13 Bredo Erichsen og Bjarne Krokli: Tilløpsflom til Øyeren i juni 1995. (8 s.)

Nr 14 Mike Kennett, Tron Laumann og Hallgeir Elvehøy: Snow-Pro - et barometer-basert utstyr for profilmåling av snødyp. (16 s.)

Nr 15 Grzegorz Perzyna: Flomberegning for Tafjordvassdraget (099.Z). (23 s.)

Nr 16 Magnus Landstad: Terskel ved Skjøllendhølen i Driva. Vassdrag nr. 109.Z, Sunndal, Møre og Romsdal (7 s.)

Nr 17 FORELØPIG.