

skaderisiko-

analyse



Magne Wathne, Morten Skoglund og Hans Olav Eggestad

Samfunnskostnader på grunn av flom i vassdrag



HYDRA – et forskningsprogram om flom

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

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

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

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

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

HYDRA – a research programme on floods

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

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

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

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

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

HYDRA-rapport nr. R02

Samfunnsmkostnader på grunn av flom i vassdrag

av

Magne Wathne og Morten Skoglund
SINTEF

Hans Olav Eggestad
Jordforsk

Forord

Rapporten er utført under HYDRA-programmet, hovedprosjekt "Skaderisikoanalyse", delprosjekt "Etablere grunnelement for skadeestimat".

Hovedprosjektet har vært styrt av R-gruppen med følgende sammensetning:

- Nils Roar Sælthun, NIVA (leder)
- Hallvard Berg, NVE
- Morten Skoglund, SINTEF Bygg og miljøteknikk
- Astrid Voksø, NVE

Oppgaven har vært å etablere standardiserte kostnadsfunksjoner for flomskade nær vassdrag. Hovedvekten er lagt på faste objekter som blir helt eller delvis skadd eller får forringet sin bruksverdi som følge av en flom.

Typiske objekter som utsettes for flomskade er:

- Bygninger
- Landbruksarealer
- Veier og jernbane
- Flomverk, forbygninger

Skader på miljø er holdt utenfor. Dette inngår i et separat HYDRA-prosjekt.

Jordforsk har utført arbeidet som angår skader på landbruksarealer, mens SINTEF har utført arbeidet som angår skader på de andre ovenfor nevnte objekter.

Trondheim, desember 1999

Morten Skoglund
prosjektleder

Innhold

	Side
Sammendrag	4
Oversikt over flomskader i 1995	4
Generaliserte flomskadefunksjoner	4
Summary	6
Flood damages in 1995	6
Generalised flood damage functions	6
1. Skader og kostnader	8
1.1 Definisjon og avgrensning av begrepet	8
1.2 Erstatnings- og kompensasjonsordninger	9
1.2.1 Privat forsikring	9
1.2.2 Statens naturskadefond	10
1.2.3 Erstatning til kommuner	10
1.2.4 Erstatning til statlige etater	10
2. Analyse	11
2.1 Forutsetninger	11
2.2 Bygninger	11
2.2.1 Datagrunnlag	11
2.2.2 Skadefunksjon	15
2.3 Vei	15
2.3.1 Datagrunnlag	15
2.3.2 Skadefunksjon	16
2.4 Jernbane	18
2.4.1 Datagrunnlag	18
2.4.2 Skadefunksjon	19
2.5 Flom-og erosjonssikringstiltak	20
2.5.1 Datagrunnlag	20
2.5.2 Skadefunksjon	21
2.6 Jordbruksareal	21
2.6.1 Grunnlagsdata	21
2.6.2 Regresjonsanalyse	29
2.6.3 Skadefunksjoner	37
2.6.4 Kostnader	39
3. Konklusjoner	40
3.1 Sammenligning med flommen i 1995	40
3.2 Viktigste prediktor	40
3.3 Feilkilder	40
3.4 Anvendelighet i kost-nytte analyse	41
Referanser	42
Tidligere utgitt i HYDRA-serien	43

Sammendrag

Oversikt over flomskader i 1995

I 1996 ble det laget en rapport over flomskadene som skyldtes flommen på Østlandet året før (NOU 1996:16). Denne oversikten, som er gjengitt i Tabell 1, er for en stor del basert på anslag som ble innrapportert i tiden umiddelbart etter flommen.

Tallene over faktiske utbedringer og reparasjoner etter flommen er ikke på en tilsvarende måte gjort tilgjengelige. Endelige kostnader på grunn av flommen må ta hensyn til at faktiske utlegg og senvirkninger er registrert i mer enn et år etter at flommen fant sted.

Generaliserte flomskadefunksjoner

De generelle flomskadene er så langt som mulig uttrykt over samme lest. Følgende forutsetninger er gjort:

- Andelen eller antallet av objekter som utsettes for flom har en sammenheng med flommens størrelse.
- Av de objektene som utsettes for flom, vil det bare være noen som påføres flomskade og blant disse igjen vil skadeomfanget variere. Det er framskaffet midlere eller statistisk forventet flomskade pr objekt som tar hensyn til begge disse to sannsynlighetene.
- I kapitlene om landbruk er det benyttet regresjonsanalyser sammen med enhetskostnader for å estimere totale skadekostnader i forbindelse med jordtap, sedimentering, brudd i flomverk og avlingstap. Dette anses tilstrekkelig pga at datagrunnlaget er lite sammenlignet med alle de forskjellige typer jordbrukskader som kan oppstå i forbindelse med flom.

I denne rapporten er det undersøkt flomskade på fire sektorer. De konkrete kostnadstall er oppsummert nedenfor:

Bygninger

- For bolighus:
1240 kr pr cm vannstand der nivået på vannet (flomtoppen) er gitt i forhold til fundament.
- For andre jordbruksbygninger:
Gjennomsnitt på kr 50.000 pr bygning uansett den relative vannstand.

Vei

- For den strekning av riks- og fylkesvei som utsettes for flom ved at vannstanden når opp til veidekket:
360.000 kr pr km.

Jernbane

- For den banelengden der vannstanden når opp i formasjonsplanet:
30.000 kr pr km.
- For den banelengden der vannstanden når opp over formasjonsplanet og inn i overbygningen (pukklaget) hvis det ikke forventes erosjon eller tilslamming:
Minste tilleggskostnad på 45.000 kr pr km.
- For den banelengden der vannstanden når opp over formasjonsplanet og inn i overbygningen (pukklaget) hvis det er fare for erosjon eller tilslamming:
Maksimal tilleggskostnad på 250.000 kr pr km.

Anlegg for flom- og erosjonssikring

- For forbygningsanlegg
Gjennomsnittlig kostnad på 430.000 kr pr anlegg med skade.
- For flomverk
Gjennomsnittlig kostnad på 1,18 million kr pr anlegg med skade.
- For senkningsanlegg
Gjennomsnittlig kostnad på 200.000 kr pr anlegg med skade.

Landbruk

- Tap av jord (graving og vekkvasling). Gjennomsnittlig kostnad på ca 600,- kr pr daa oversvømmet jordbruksareal.
- Fjerning av sedimentert materiale. Gjennomsnittlig kostnad på ca 300,- kr pr daa oversvømmet jordbruksareal.
- Avlingsskade (avlingssvikt i flomåret og under utbedring, og redusert avlingspotensiale). Gjennomsnittlig kostnad på ca 600,- kr pr daa oversvømmet jordbruksareal.

Tabell 1. Totale skader etter flommen på Østlandet 1995.

Skadetyper	Privat sektor		Offentlig sektor		Totalt
	Forsikring	Egenandel	Bevilgning	Udekket	
Direkte	1024 ¹	100	190 ²		1314
Indirekte	35 ³		154 ⁴		189
Strakstiltak ⁵			313 ⁶		313
Totalt	1059	100	657		1816

Alle tall i tabellen er gitt i million kroner. Det samme er de avmerkete postene som er spesifisert nedenfor:

¹	Norsk naturskadepool	800
	Statens naturskadefond	204
	Annet	20
²	Riks- og fylkesvei	44
	NSB (Jernbaneverket)	50
	Bygg, museer, skole	31
	Kommunale og fylkeskomm. anlegg	65
³	Avlingsskade	
⁴	Avbruddsforsikring	100
	NSB inntektstap	54
⁵	Beredskap, opprydding, forbygging	
⁶	Forsvar, Sivilforsvar, politi, NVE	248
	Kommuner, fylkeskommuner	65

Summary

Flood damages in 1995

A report was made in 1996 showing the damages which were caused by the flood in Eastern Norway the year before. The main results as shown in the following table have been based mostly on damage estimates reported shortly after the flood incident.

The revised numbers representing the actual repairs after the flood are not available in a comparable way. The final costs should include expenses and late effects which may have been registered more than one year after the flood took place.

Generalised flood damage functions

The different types of damage have as far as possible been expressed in a consistent manner in the report. The following assumptions have been made:

- The proportion of objects exposed to flood is a function of the magnitude of the flood.
- Among those objects exposed to flood damage only a subset will sustain actual damage and the extent of the damage will vary. The average or statistically expected flood damage incorporates both of these uncertainties.
- Damages to agricultural areas are based on known unit costs of soil loss, harvest loss, sedimentation, and breaches in flood control structures. The data set is relatively limited compared to all the different types of damage which floods may cause in the agricultural sector.

Flood damages are reported for five sectors:

Buildings

- Dwellings:
Average damage of NOK 1240 pr cm exceedance of the flood water level above the lowest point of the foundation.
- Other structures:
Average damage of NOK 50,000 pr building regardless of flood level.

Roads

- Average damage to the length of main highways where the flood level reaches the road surface:
NOK 360,000 pr km

Railroads

- Average damage to the length of railroads where the flood water reaches the foundation:
NOK 30,000 pr km
- Average damage to the length where the flood level reaches above the foundation and into the top layer but without causing any erosion or sedimentation:
minimum NOK 45,000 pr km
- Average damage to the length where the flood level reaches above the foundation and into the top layer and will cause subsequent erosion or sedimentation:
maximum NOK 250,000 pr km

Structures for flood and erosion control

- Revetments:
Average cost of NOK 430,000 pr structure which has sustained damage.
- Flood control structures:
Average cost of NOK 1,180,000 pr structure which has sustained damage.
- River bed lowering:
Average cost of NOK 200,000 pr structure which has sustained damage.

Agricultural areas

- Loss of top soil:
Average cost of NOK 600 pr 1000 m² flooded area.
- Sedimentation:
Average cost of NOK 300 pr 1000 m² flooded area.
- Loss of harvest:
Average cost of NOK 600 pr 1000 m² flooded area.

Table 1. Total damage estimates due to the flood in Eastern Norway 1995.

Damage types	Private sector		Public sector		Total
	Covered by insurance	Non-insured	To be reimbursed	Non-reimbursed	
Direct costs	1024 ¹	100	190 ²		1314
Indirect costs	35 ³		154 ⁴		189
Emergency costs ⁵			313 ⁶		313
Total	1059	100	657		1816

All estimates are given in million NOK. This also applies to the specific annotations:

¹	Private insurance	800
	Government funded insurance	204
	Other reimbursements	20
²	Main highways	44
	Railroads	50
	Buildings, museums, schools	31
	Public installations	65
³	Loss of harvest	
⁴	Loss of income (railroads)	54
	Other reimbursements	100
⁵	Clean up, repairs, readiness	
⁶	Military, civil defense, police, NVE	248
	Municipalities, counties	65

1. Skader og kostnader

1.1 Definisjon og avgrensning av begrepet

Skade er i denne rapporten brukt henimot synonymt med begrepet kostnader. Det henspiller på økonomiske tap, erstatninger og omkostninger som flommen har påført samfunnet, både den private og den offentlige sektor. Hovedvekten legges på faste objekter som blir helt eller delvis skadd eller får forringet sin bruksverdi som følge av en flom. Følgende kategorier er vist i oversiktstabellen i foregående avsnitt:

- Direkte skade

Utbetaling til erstatning eller nybygging som gjør det mulig å føre skadeobjektet tilbake til en standard som tilsvarer dagens krav.

Direkte skade er den kategorien som det er spesielt fokusert på i denne rapporten.

Normalt antas det at et skaderammet objekt skal ha det samme kvalitetsnivå etter en reparasjon som det hadde før flommen inntraff. For enkelte objekter, så som bygninger, kan det inntreffe at reparasjonen medfører en verdistigning i forhold til den tidligere tilstanden, på grunn av at taksten er uavhengig av bygningens forfatning før flommen inntraff. Selv om dette strider mot den gjengse oppfatning av hva skade er, har det ikke innenfor rammene av denne rapporten vært mulig å utelukke erstatninger som øker verdien.

En detaljert analyse av kostnader etter en flom vil også vise at rapporteringen for enkelte sektorer omfatter reparasjon så vel som vedlikehold. Med reparasjon menes en utbedring av selve konstruksjonen eller området. Vedlikehold derimot omfatter tiltak for å renske opp i eller nær skadestedet. Flomverk er den eneste av kategoriene med data for både reparasjon og vedlikehold. Fra en overordnet synsvinkel i HYDRA-prosjektet er det heller ikke av vesentlig betydning å skille mellom disse to postene da begge disse typer utlegg blir belastet samfunnet i samme monn.

- Indirekte skader

Merkostnader påført eiendom eller organisasjoner utenfor selve det flomutsatte området som en ringvirkning av flommen.

Ringvirkninger er registrert av noen etater i den offentlige sektor. Dette inkluderer eksempelvis de inn teksttap som NSB kan dokumentere. Ett av problemene med indirekte kostnader er at de ikke nødvendigvis er en kostnad for samfunnet som helhet. De

kan i noen tilfeller bare være en forskyvning av inntekter fra en sektor til en annen, f.eks. fra jernbane til veitransport. Et annet problem er at tilsvarende ringvirkninger ikke er registrert, spesielt for den private sektor, og ville være svært vanskelige å anslå. I dette arbeidet er det derfor ikke forsøkt innhentet noen supplerende eller mer detaljerte data for indirekte kostnader.

- Strakstiltak

Kostnader som er påløpt i løpet av flomepisoden på grunn av de tiltak som er satt inn.

Mye av dette vil gå til økte driftsmidler og utstyr for organisasjoner som har ansvar for bergingsarbeid eller flomsikring. Det omfatter også en del umiddelbart forebyggende arbeid utover ordinære utgifter til flomsikring. Det er bare den offentlige sektor som har registrert disse kostnadene og fått dem erstattet. Tilsvarende kostnader som den private sektor måtte ha pådratt seg, ville være høyst spekulative og er ikke inkludert i dette prosjektet.

De standardiserte kostnadsfunksjonene skal representere de beløp som er nødvendige for utbedring eller gjenoppbygging av skadelidte objekter. For den private sektor er det bare inkludert tap som er dekket av en forsikrings- eller erstatningsordning. Andre tap på fast eiendom uten forsikring er ikke tatt med selv om de kan være reelle nok for den skadelidte. Bortsett fra skader på landbruket, er datamaterialet basert på registrerte utbetalinger etter flommen i 1995, stort sett fra tre kilder:

- Estimert eller etterbetalinger fra departementer til dekning av utgifter som er påført kommuner og statlige etater.
- Utbetalinger fra forsikringsselskap etter skjønn til privatpersoner og i mindre grad til kommuner.
- Utbetalinger fra Statens naturskadefond etter skjønn til privatpersoner i landbruket.

Beløpene som rapporteres, er aggregerte tall fra de respektive kilder. Enkelte tall er de overslag og skjønn som ble gjort i 1995 umiddelbart etter flommen. Noen tall har vært revidert i årene etter flommen etter som de faktiske kostnadene til reparasjon er blitt tilgjengelige. Noen av de opprinnelige anslag har måttet bli revidert i ettertid på grunn av langtidsvirkninger som ikke var forutsett.

Statens naturskadefond yter erstatning for naturskader som ikke dekkes gjennom alminnelige forsikringsordninger. For jordbrukets vedkommende, utenom utbetalinger fra Statens naturskadefond, vil skadetallene bli

aggregert opp fra en analyse av enhetsskader på skadeutsatte arealer knyttet til vannstand og vannføring i løpet av flommen.

Enkelte økonomiske konsekvenser er holdt utenfor vurderingen:

- Tap som ikke er dekket av noen forsikringsordning men som er reelle for den skadelidte.
Dette angår i første rekke skade på objekter som eierene med vilje ikke har forsikret. Slike skader er ikke registrert, og eventuelle estimat ville være beheftet med stor unøyaktighet. Denne kategorien kan anses som en ekstrem form for egenandel.
- Tap som er påført enkeltpersoner i form av forsinkelser og tapt arbeidstid.
Indirekte kostnader kan muligens anslås, men da bare for noen sektorer. Slike estimat er ikke inkludert i denne rapporten.

Arbeidet er konsentrert om såvidt mulig å etablere reelle kostnader som kan uttrykkes i kroner. Dette innebærer at skader som ikke nærmere kan kvantifiseres i pengebep, dermed ikke er tatt med. Dette gjelder følgende kategorier:

- Miljøskader.
Dette vil generelt omfatte naturvern, friluftsliv, vannkvalitet og estetiske verdier. Noe av dette vurderes i et separat HYDRA-prosjekt.
- Konsekvenser på liv, helse og personlig sikkerhet.
Dette omfatter både fysiske skader og psykiske påkjenninger, enten det gjelder de umiddelbare følger eller langtidsvirkninger.

Analysen av data om flomskade etter flommen i 1995 har vært konsentrert om representative prediktorer for skade, først og fremst vannstand eller vannføring. Målsetningen er å kunne bruke disse prediktorene til å estimere skader i en annen lokalitet og ved en annen flom enn den i 1995. Skadebildet er sammensatt, og de forskjellige aspekter er ikke like klart og entydig knyttet til disse primære prediktorene alene. En første tilnærming kan for noen av de vanlige skadetyper være tilstrekkelig ved hjelp av vannstand eller vannføring, så som bygninger. Detaljundersøkelser av konkrete skadetilfeller kan vise at andre hydrologiske og hydrauliske variable også spiller en rolle. Flommens varighet og den lokale vannhastighet er blant de som det må tas hensyn til for å forklare noen av skadene, for eksempel på veiene. Ytterligere komplisert er det for deler av infrastrukturen der noen av de registrerte skadene skjedde på grunn av flommer i sideelvene og derfor ikke helt og holdent kan relateres til forholdene i hovedvassdraget.

Flomsikring påvirker sannsynligheten for at et objekt utsettes for flomskade. Det er de lokale hydrauliske

forhold i umiddelbar nærhet av hvert enkelt skadeutsatt objekt som bestemmer skadeomfanget. Den forventede skaden på en bygning eller et areal blir redusert hvis det bygges en form for flomsikring langs vedkommende elvestrekning. Flomsikringen skal presumptivt øke gjentakintervallet (redusere sannsynligheten) for en bestemt vannstand som vil forårsake en forventet skade. Dette gjelder i hvert fall de objektene som ligger innenfor et visst område bak flomsikringen.

1.2 Erstatnings- og kompensasjonsordninger

1.2.1 Privat forsikring

Det finnes ulike ordninger som har til formål å dekke tap som er forårsaket av flomskader, Faremo (1995). Den primære er den private forsikring. Alle forsikringsavtaler som omfatter forsikring av ting mot brannskade skal også omfatte naturskade. Skader på bygninger og løsøre som er brannforsikret, dekkes derfor av forsikringsselskapene.

Visse skader er unntatt fra dekning etter naturskadeforsikringen. Det gjelder bl.a. skade på skog eller avling på rot, varer under transport, biler og småbåter. En rekke av disse skadene kan imidlertid være forsikret etter andre forsikringsordninger.

Tap som følge av driftsstans dekkes ikke av naturskadeforsikringen. For å få dekket slike tap må skadelidte ha tegnet en særskilt tilleggsdekning.

Naturskadeforsikringsloven (av 1989 med endringer senest av 1994) har få regler om selve utmålingen av erstatningen. Dette må suppleres av de ordinære reglene om skadeforsikring og bestemmelser i forsikringsvilkårene. Utgangspunktet er at skadelidte har krav på å få dekket skadene fullt ut. Det økonomiske oppgjøret fra forsikrings-selskapene skal etter hensikten være tilstrekkelig til å reparere eller gjenreise de flomrammede bygninger med innhold. Erstatningen kan bli redusert dersom den skadelidte kan lastes for å ha unnslått tiltak til å forebygge eller begrense skadeomfanget. Et eksempel er et en forsikrings-taker til tross for flomvarslar har unnslått å flytte varebeholdninger og andre verdier i sikkerhet.

Arbeidet med å takser alle de skadene som flommen har påført, har vært stort og omfattende. Norsk Naturskadepool er forsikrings-selskapenes felles skadepool. Koordinering og ledelse av takseringen overlot poolen til et eget selskap, Norsk Takstallianse, som benyttet seg av kvalifiserte takstmenn.

1.2.2 Statens naturskadefond

Tap og skader som det ikke er adgang til å forsikre seg mot ved en alminnelig forsikring, kan på nærmere betingelser dekkes av Statens naturskadefond. Fondet administreres av Landbruksdepartementet. Fondet kan dekke skader på jord- og skogarealer, utmark, hager og gårdsplasser samt skade på veier og broer i privat eie. Videre kan skader på og tap av innsatsfaktorer som såkorn, settepoteter og eventuelt gjødsel dekkes av fondet.

Visse typer skader dekkes ikke etter naturskadeloven, så som skade på avling på rot. Skader som i utgangspunktet ikke dekkes, kan likevel erstattes dersom særlige forhold tilsier det og det ikke er adgang til å forsikre seg mot skadene.

Naturskadefondet dekker ikke skader på eiendom som tilhører staten, kommunene eller fylkeskommunene.

Skjønn etter flommen er utført for Statens naturskadefond av de lokale lensmenn som ledere for de respektive skjønnsnemnder. Skadelidte må selv bære en egenandel på 4.000 kroner og får i utgangspunktet bare dekket en viss prosent av sitt tap av naturskadefondet. Erstatningen beregnes etter en skala som innebærer at hver enkelt skadelidt normalt ikke kan få erstattet mer enn 405.000 kroner

1.2.3 Erstatning til kommuner

I den utstrekning kommunene har tegnet brannforsikring for eiendom og løsøre, er de dekket på samme måte som private. Skader på kommunal eiendom som ikke er dekket gjennom en alminnelig forsikring, erstattes ikke etter noen av de ordinære ordningene.

Kommunal- og arbeidsdepartementet har sørget for erstatning til de kommuner som har fått skade på kommunal eiendom det ikke er praksis å forsikre. Det gjelder først og fremst kommunal infrastruktur som veier, kraftledninger samt vann- og avløps-anlegg. Etter flommen i 1995 er oppgaver om skade gått fra de enkelte kommuner via Fylkesmennene til departementet.

En rekke flomverk og elveforbygninger er blitt skadet av flommen i 1995. Dette er anlegg som i hovedsak er bygget ut og finansiert av staten. Det ble tidlig besluttet at skadene på disse anleggene til å forebygge flom skulle utbedres så raskt som mulig.

1.2.4 Erstatning til statlige etater

Staten er selvassurandør og faller dermed utenfor forsikringsordningene. Dette gjelder ikke virksomheter som er skilt ut som egne rettssubjekter. Skader på statlig eiendom dekkes heller ikke av erstatningsordningen etter naturskadeloven.

Statlige etater som har behov for det, har fått dekket utgifter til opprydding og gjenoppbygging utover de gitte bevilgninger. Dette gjelder blant annet utgifter til utbedring av skader på veier, jernbane, flomsikringsanlegg og kulturminner samt utgifter knyttet til selve redningsinnsatsen.

2. Analyse

2.1 Forutsetninger

Ved analysen av kostnadsdata for de forskjellige sektorene har målsetningen vært å framskaffe en noenlunde ensartet type kostnadsfunksjon. Følgende forutsetninger har derfor vært gjort:

- Andelen av objekter som utsettes for flom har en sammenheng med flommens størrelse.
Jo høyere flommen er, jo større er andelen eller antallet av objekter som utsettes for flomvannet. Dette betyr at flere bygninger utsettes eventuelt at lengre strekninger av vei, jernbane eller flomsikrings tiltak utsettes. Flomstørrelsen uttrykkes ved hjelp en hydrologisk eller hydraulisk variabel, i første rekke vannføring eller vannstand.
- Av de objektene som utsettes for flom, vil det bare være noen som påføres flomskade.
Dette innebærer at enkelte objekter går skadefrie selv om de har vært i berøring med flomvannet. Denne muligheten er typisk for infrastruktur så som vei og jernbane. For bygninger derimot er det generelt antatt at vannskade vil oppstå med sikkerhet hvis huset har vært direkte utsatt for flom.
- For de objektene som faktisk påføres flomskade, vil omfanget av skaden uttrykt som en kostnad være gitt av en statistisk fordeling.
Om en bygning, veistreking, jernbanestrekning eller flomsikringsanlegg er flomskadet, vil skadeomfanget variere rundt en middelværdi. Flere forhold bidrar til at skaden ikke er ensartet, eksempelvis tilstanden til de enkelte objekter og lokale hydrauliske forhold.

Målet har vært å framskaffe kostnadsfunksjoner på en enhetlig måte ved å ivareta disse forutsetningene. De to sistnevnte momentene i listen ovenfor er begge uttrykk for en statistisk sannsynlighet. Disse to kan kombineres i en enkel statistisk fordeling som uttrykker skadekostnadene for de objektene som utsettes for flom.

Framgangsmåten som har vært fulgt i analysen, har vært å finne middelværdien av en slik kombinert fordeling. Dette er også et tilstrekkelig grunnlag for generaliserte men praktisk brukbare kostnadsfunksjoner.

2.2 Bygninger

2.2.1 Datagrunnlag

Kostnadstall er mottatt fra Norsk Takstallianse med erstatningsbeløp for bygninger i Åsnes kommune. Dataene er basert på spørreskjema som Norsk

Takstallianse har sendt ut til takstmennene som ble engasjert etter flommen på Østlandet i 1995. Det har vært benyttet omtrent 60 takstmenn. Arbeidet deres har vært konsentrert over et begrenset tidsrom. Det er grunn til å vurdere dette datagrunnlaget som pålitelig og av ensartet kvalitet.

Følgende data er innhentet fra takstmennene:

- Gårdsnummer (ikke benyttet)
- Bruksnummer (ikke benyttet)
- Bygningstype
- Byggeår
- Kjeller (ja/nei)
- Kjeller innredet (ja/nei)
- Vannstand i forhold til 1. etasje gulv (omgjort til 2,5 meter under gulvnivået)
- Skadebeløp (i 1000 kr, avrundet til nærmeste hele 25.000 kr)

Oversikten for Åsnes kommune omfatter 232 skaderapporter. Dataene er fordelt på bygningstype som vist i tabell 2.

Den viktigste analysen har vært å se på skadeomfanget i forhold til vannstand. Dessuten er kategorien boliger vurdert med hensyn på alder og kjellertilstand. Noen av bygningstypene er det svært få av i utvalget og er derfor ikke blitt nærmere analysert. Dette gjelder hovedbygninger, fritidsbygg, forsamlingshus, næringsbygg og aldershjem.

Boligene representerer den kategorien av bygninger som har størst andel av totale skadeutbetalinger og som det derfor er spesielt viktig å finne en skadefunksjon for. Den viktigste prediktoren er vannstand.

Det har vært naturlig å sammenholde skadebeløpet med den relative vannstanden i hver bolig. De tilsendte dataene har hatt gulvhøyde i første etasje som utgangsnivå. Dette er blitt justert slik at sammenligningen går ut fra et nivå som er 2,5 meter lavere enn golv første etasje og som svarer til golv i kjeller, eventuelt fundament på hus. Det viser seg at dette nivået er et godt nullpunkt for analysen, selv for boliger uten kjeller. Grunnen er at det normalt vil være en form for fundament under boligen, og at denne går et stykke ned under første etasjen noenlunde tilsvarende en kjelleretasje.

Hovedresultatet er en enkel lineær sammenheng mellom skadekostnad og vannstand. Skade på boliger viser som ventet en økende trend med økende vannstand. I figuren er det vist en linje som angir den gjennomsnitt-

lige størrelsen på skaden ved en vilkårlig vannstand. Denne linjen uttrykker at den forventede flomskaden er 1240 kr pr cm vannstand over fundamentet. Dessuten er variasjonen vist som to linjer, hver med en avstand på et standardavvik fra middelet. Spredningen rundt gjennomsnittslinjen kan skyldes flere forhold, uten at det er mulig å bringe på det rene hvor stor innflytelse hver faktor har.

Utførelsen og byggematerialene spiller en rolle. Eksempelvis, hvis det benyttes innvendig trepanel, så anses alt panelet som totalskadet og det må rives selv om vannet bare berører den nedre delen av veggen. Hvis det derimot benyttes plater i indre vegger, så er det tilstrekkelig å fjerne de nedre 60 cm over golvet.

Dataene omfatter objekter som sannsynligvis har en variasjon i fullverdien som ikke er oppgitt i dataene. Det ville være nærliggende å undersøke om flomskaden viser en sammenheng med fullverdien i henhold til den enkelte forsikringspolisen. Men dette kan ikke takst-selskapet informere om da denne informasjonen er fortrolig. Fullverdi fastsettes på grunnlag av tilstand, byggeår og grunnareal. Tilstand alene er vanskelig å kvantifisere, i henhold til Norsk Takstallianse.

Varighet på flommen kan ha spilt en rolle for skaden på noen av boligene ved at skadebeløpet øker jo lenger periode huset berøres av flomvannet. Men selv ved lengre perioder med flomvann vil ikke skadeomfanget

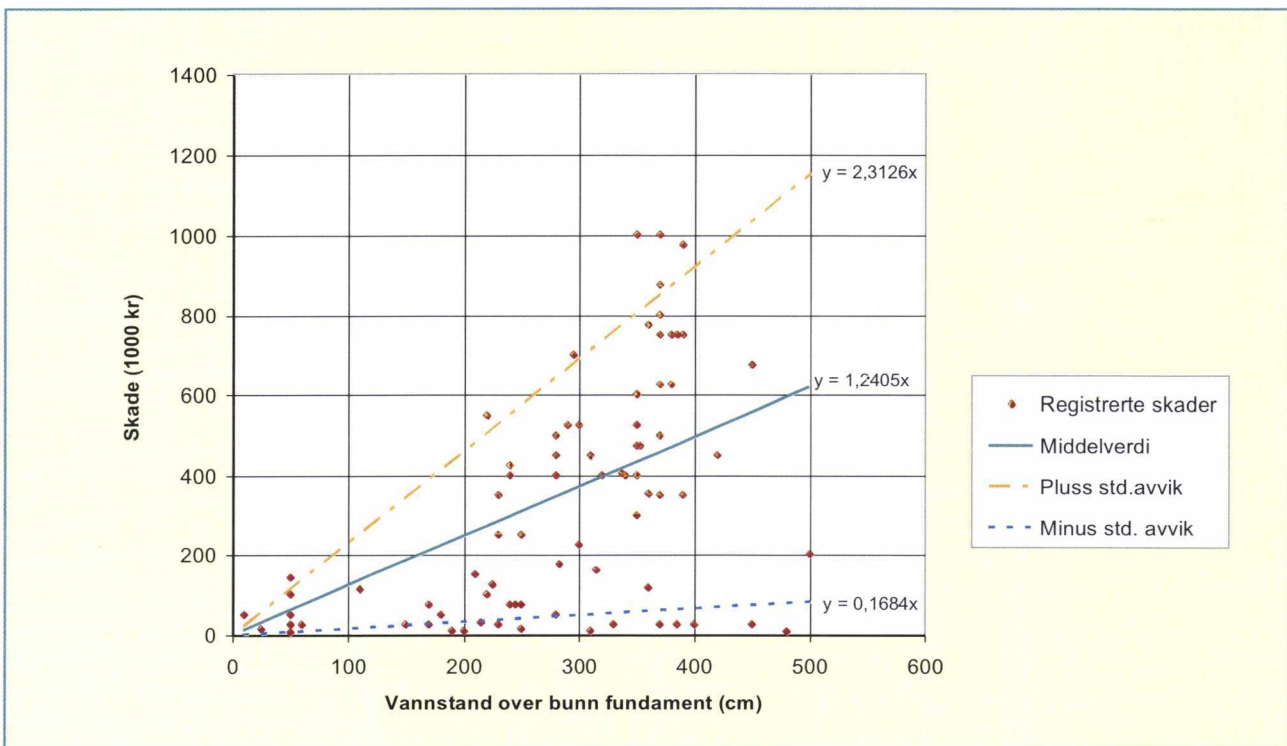
nødvendigvis være maksimalt. Skadene kan ha blitt redusert hvis mottiltak er satt inn på et tidlig nok stadium. Dette er en iakttakelse fra takstmennene uten at det er nærmere dokumentert.

Innbo og løsøre inngår i noen av skadetakstene. Dette avhenger av hver enkelt forsikringsavtale.

Dataene fra Åsnes gir anledning til en analyse med hensyn på to andre faktorer for å finne en mulig sammenheng med flommen. Dette gjelder alder (byggeår) og kjellertilstand, og resultatene er vist i de neste to tabellene og figurene.

Alder eller byggeår er ikke en tilfredsstillende variabel til å estimere skadekostnader på boliger. De fem periodene som er vist i Tabell 3 gir ingen signifikant sammenheng. Den mest markante forskjellen oppnås i stedet ved å dele dataene i to, grovt sett om boligen er satt opp før eller etter annen verdenskrig. Skadene på førkrigsboligene er henimot vilkårlige sett i forhold til vannstanden med en korrelasjonskoeffisient på 0,11. Middelverdien for skade på etterkrigs-boligene, har derimot en langt klarere sammenheng med vannstanden samtidig som den gjennomsnittlige skaden er høyere enn for de eldre boligene. Korrelasjonskoeffisienten er på 0,42.

Noen informasjon om boarealet, utformingen, tilstanden eller andre fysiske trekk ved boliger ligger som nevnt ikke inne i dataene. Nærvær av kjeller er den eneste



Figur 1. Skade på boliger.

Figure 1. Flood damage on residential buildings.

Tabell 2. Utvalget av bygninger med flomskade.

Table 2. Flood damaged buildings.

Bygningstype	Antall skader	Total skade (1000 kr)	Gjennomsnittlig skade (1000 kr)
Bolig	86	29969	348
Hovedbygning	4	1615	404
Driftsbygning	29	4192	145
Garasje	15	439	29
Andre uthus	86	4600	53
Fritidsbygg	6	1023	171
Forsamlingshus	2	575	288
Næringsbygg	2	875	438
Aldershjem	2	725	363
Totalt	232	44013	190

Tabell 3. Utvalget av boliger sortert etter byggeår.

Table 3. Age of flood damaged residential buildings.

Byggeår for boliger	Antall	Total skade (1000 kr)	Gjennomsnittlig skade (1000 kr)
Før 1900	19	4425	233
1901-42	14	3760	269
1946-60	16	8542	534
1961-80	15	3764	251
1981-94	18	7998	444
Udaterte	4	1480	370
Alle	86	29969	348

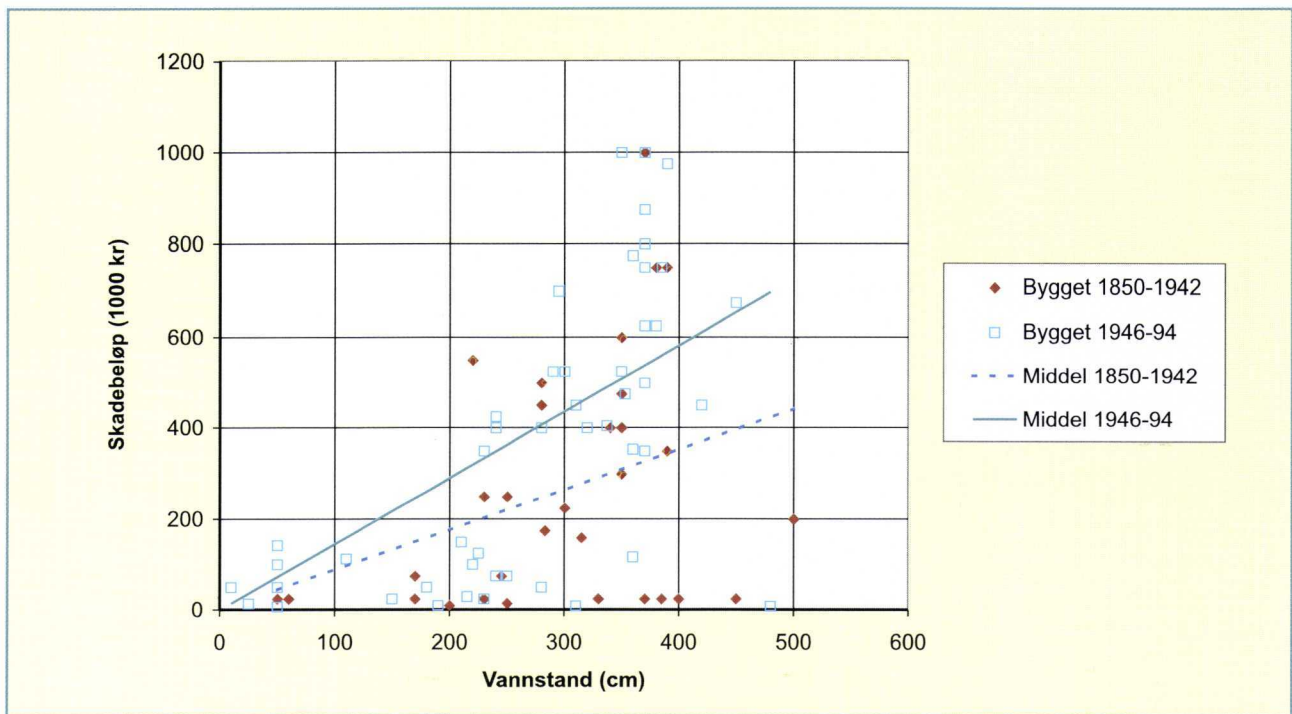
fysiske beskrivelsen av den enkelte bolig som det er mulig å analysere for. Dette er omtalt i tabell 4 og figur 3.

Dette viser at det har en viss betydning for skadenivået på en bolig om det finnes kjeller og om denne er utbedret. Boliger med innredet kjeller har generelt hatt større skader enn de med uinnredet kjeller, som igjen viser større skadebeløp enn de uten kjeller. Av de tre middelerverdiene som er avmerket, er det spesielt innredet kjeller der det er en rimelig korrelasjon mellom skadenivå og vannstand med en korrelasjons-koeffisient (R^2) på 0,57. For de to andre tilfellene, uinnredet eller ingen kjeller, har de viste middelerverdiene en mindre signifikant

sammenheng med korrelasjonskoeffisient på henholdsvis 0,29 og 0,11.

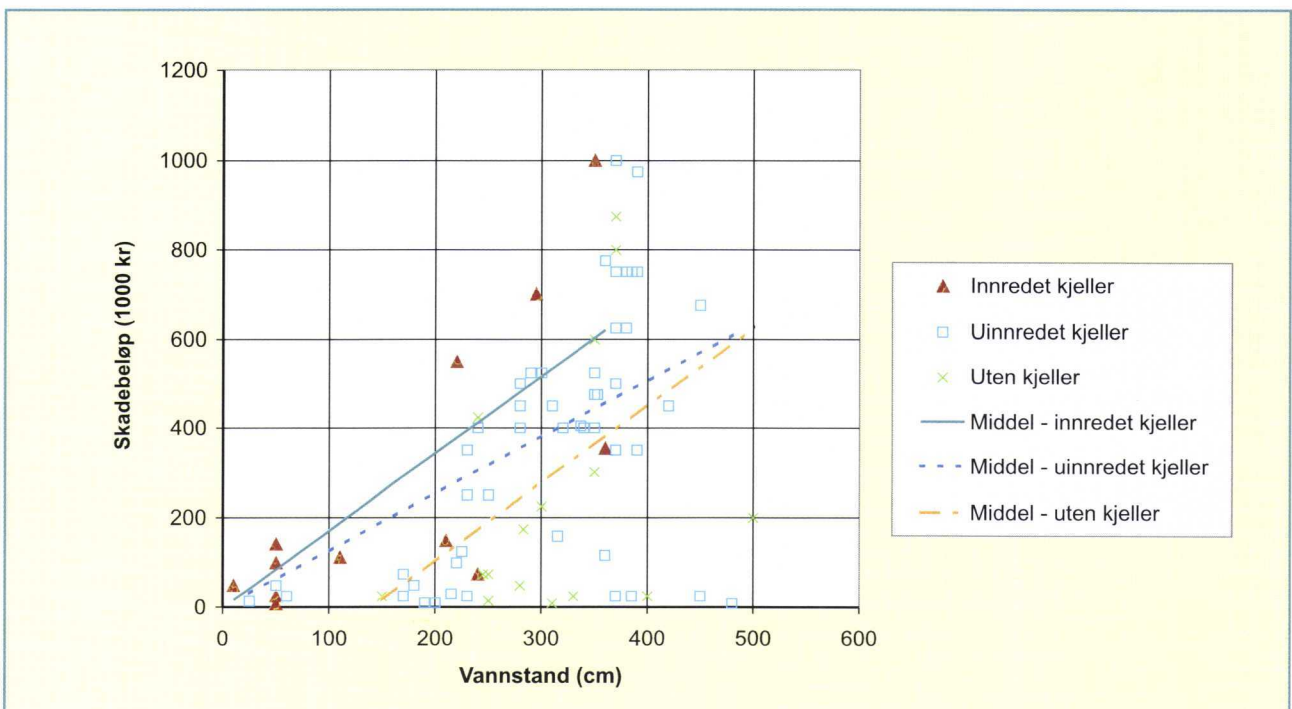
Det er verd å merke at gjennomsnittstallene for de tre tilfellene i Tabell 4 samsvarer lite med kurvene for middelerverdi i Figur 3. Innredet kjeller har det laveste gjennomsnitt pr forekomst men det høyeste middel som funksjon av vannstand.

Tre typer jordbruksbygninger er vurdert sammen. Det gjelder bygninger som i datamaterialet er benevnt som driftsbygning samt garasje og andre uthus. Det er sannsynligvis en god del overlapping mellom disse tre betegnelse. De forskjellige takstmenn har stått fritt med



Figur 2. Effekt av alder på boligskader.

Figure 2. Effect of age on flood damage.



Figur 3. Effekt av kjellertilstand på boligskader.

Figure 3. Effect of basement on flood damage.

hensyn til ordvalget og har ikke nødvendigvis vært innbyrdes konsekvente. Sistnevnte kategori er en samlebetegnelse for bygninger med ganske varierende formål og størrelse. Det er den mest tallrike blant de tre typene jordbruksbygninger i datasettet fra Åsnes og fordeler seg i alder som angitt i tabell 2.

Bildet for disse typene bygninger er mer uklart enn hva tilfellet er for boliger. Hovedobservasjonen er at skadenivået åpenbart er langt lavere enn for boliger. Det er derimot svært liten sammenheng med vannstand, og dette er vurdert til ikke å være statistisk signifikant.

2.2.2 Skadefunksjon

Generelt er det ikke mulig å få fram entydige kurver over kostnader (erstatningsbeløp på bygninger) som funksjon av vannstand. Fullverdien av hvert enkelt objekt ville være nødvendig for å vise den relative skade som er voldt av flommen.

De viktigste konklusjonene er:

1. Det vil med sikkerhet oppstå skade på enhver bygning som har vært utsatt for flom.
2. Skadeverdien på en bygning øker proporsjonalt med den maksimale vannstand som opptrer i løpet av flommen hvis denne vannstanden overstiger fundamentet.
3. Skadeomfanget er større i hus med kjeller enn uten. Skade under golvnivået i første etasje kan være knyttet til kjeller eller til grunnmur.
4. Hus bygd i forskjellige perioder har ulike skadenivå slik at det kan forventes høyere utbetaling for nyere hus enn for gamle. Dette er mest tydelig for bygninger oppført etter 1945.

Framgangsmåten som foreslås nedenfor vil gi et statistisk forventet nivå på den totale flomskaden i et distrikt ved en gitt flomstørrelse:

1. Anta et gjentakintervall for flommen og en tilhørende maksimale flomhøyde i et gitt distrikt.
2. Finn antallet bygninger som rammes av den antatte flomstørrelsen i distriktet og hvordan disse bygningene er fordelt med hensyn på relativ vannstand over fundament.
3. Finn den midlere skade som oppstår på et bolighus når nivået på vannet (flomtoppen) er gitt i forhold til fundament (1240 kr skade pr cm vannstand over fundament for boliger i henhold til Figur 1).
4. Finn forventningsverdien av flomskaden på boliger i dette arealet som produktet av antall hus ved en gitt relativ vannstand og den midlere skade ved denne vannstand. Den totale skaden for hele distriktet er summen for alle husene ved de forskjellige vannstandene.

5. Finn flomskaden på andre bygninger etter skjønn fra Figur 4 eller Tabell 5, et felles gjennomsnitt på kr 50.000 pr bygning.

I denne framgangsmåten er det underforstått at verdien og dermed den potensielle flomskaden på hus er uavhengig av lokalitet (distrikt, kommune, avstand fra elva) slik at det er samme blanding av verdifulle og mindre verdifulle hus overalt. Hvis denne antagelsen ikke holder, så må verdi eller skadeforhold justeres etter skjønn.

2.3 Vei

2.3.1 Datagrunnlag

Erstatningen fra Samferdselsdepartementet etter flommen i 1995 var på totalt 43,8 million kroner. Skadene kom i alt vesentlig i to fylker, Oppland og Hedmark. Det er innhentet skadeestimat på både riks- og fylkesveier i disse to fylkene. Anslagene ble laget i 1995 umiddelbart etter flommen og er noe høyere enn den erstatningen som ble gitt. I denne rapporten blir estimatene heller enn de faktiske erstatningene lagt til grunn for de generaliserte skadefunksjonene. Dette er mest konsistent med framstilling av skade på andre sektorer.

I tabell 6 er tallene gitt i million kroner.

Av totalbeløpet (65,1 million kroner) er det bare skadene på riksveiene (42,4 million kroner) som inngår i erstatningen fra Samferdselsdepartementet. De tilsvarende skader på fylkesveier (22,7 million kroner) blir kompensert via fylkeskommuner men er registrert av de respektive veikontor da ansvaret for vedlikehold ligger på Statens vegvesen. Skader på kommunale veier er ikke eksplisitt gitt men inngår i den videre betegnelsen "Kommunale anlegg" sammen med annen kommunal infrastruktur.

I kostnadsfunksjonen er det valgt å se på riksveier og fylkesveier under ett. Det er ikke klart at den ene typen er mer kostbar enn den andre å reparere etter en flom. På den ene siden er det naturlig å forvente at riksveiene vil være mer utsatt for flom siden de er hovedårer mellom landsdelene og gjerne er lagt til de viktige dalførene langs med de store elvene. Til sammenligning er fylkesveiene lokale forbindelser som ofte ligger lenger vekk fra elva og derfor utsettes i lavere grad for flomfare.

Et annet forhold trekker i motsatt retning. Riksveiene er riktignok i snitt mer kostbare å bygge, men de holder til gjengjeld en høyere standard slik at de er bedre egnet til å motstå erosjon og setning på grunn av flomvann. Fylkesveiene har svakere drenering og er dermed mer sårbare.

De indirekte kostnadene som er anført (10 million kroner), skyldes nødvendig utbedring på veier utenfor selve flomområdet på grunn av ekstra påkjenning mens E-6 var stengt. Trafikken gjennom Gudbrandsdalen måtte omdirigeres til alternative veier som ikke var dimensjonert for en slik belastning.

Det må tas hensyn til to størrelser ved etablering og bruk av skadefunksjoner, nemlig hvor lang strekning av veien som utsettes for skade i forbindelse med flom og hvor stor andel av denne veistrekningen der det faktisk oppstår skader. Den første vil kunne estimeres ut fra vannføringen og den tilhørende vannstand. Det kan antas at skade er mulig hvis vannstanden når opp i fyl-lingen under veidekket. Det er ikke funnet dekning i data fra 1995 til å nyansere dette ved å påvise en sammenheng med vannstand i forhold til veidekkets nivå.

Av en gitt veistrekning er det bare en del som er sårbar for flom, nemlig der hvor veien er plassert på elvebrin-ken. Selv om mange av hovedveiene går langs med elva, vil det normalt være stor variasjon i høyden over elve-leiet og den horisontale avstanden vekk fra elva. I 1995 var det flere veistrekninger et stykke fra elva som ikke ble varig skadet selv om de ble satt under vann. Disse veiene kunne gjerne være midlertidig ubrukbare når de var mettet med vann men krevde ikke noen reparasjon etter at de tørket ut igjen.

Normalt vil det være lagt plastring ut mot elva for veier som ligger lavt nok og nær nok vannstrengen. Skade som oppstår der det finnes plastring kan være et resultat

av to forhold, enten at plastringen er underdimensjonert eller at utførelsen ikke holder den rette standard overalt. Det har vist seg at ett avgrenset svakhetspunkt i beskyt-telsen kan være tilstrekkelig til å danne kimen for en større skade.

Skaden på veiene skyldes enten setninger eller utvas-king. Setninger skjer når grunnvanns-nivået kommer høyt nok i opp veikroppen så som i bærelaget 20-30 cm under dekket. Setningene vil typisk nok forverres jo lenger veien står under vann.

2.3.2 Skadefunksjon

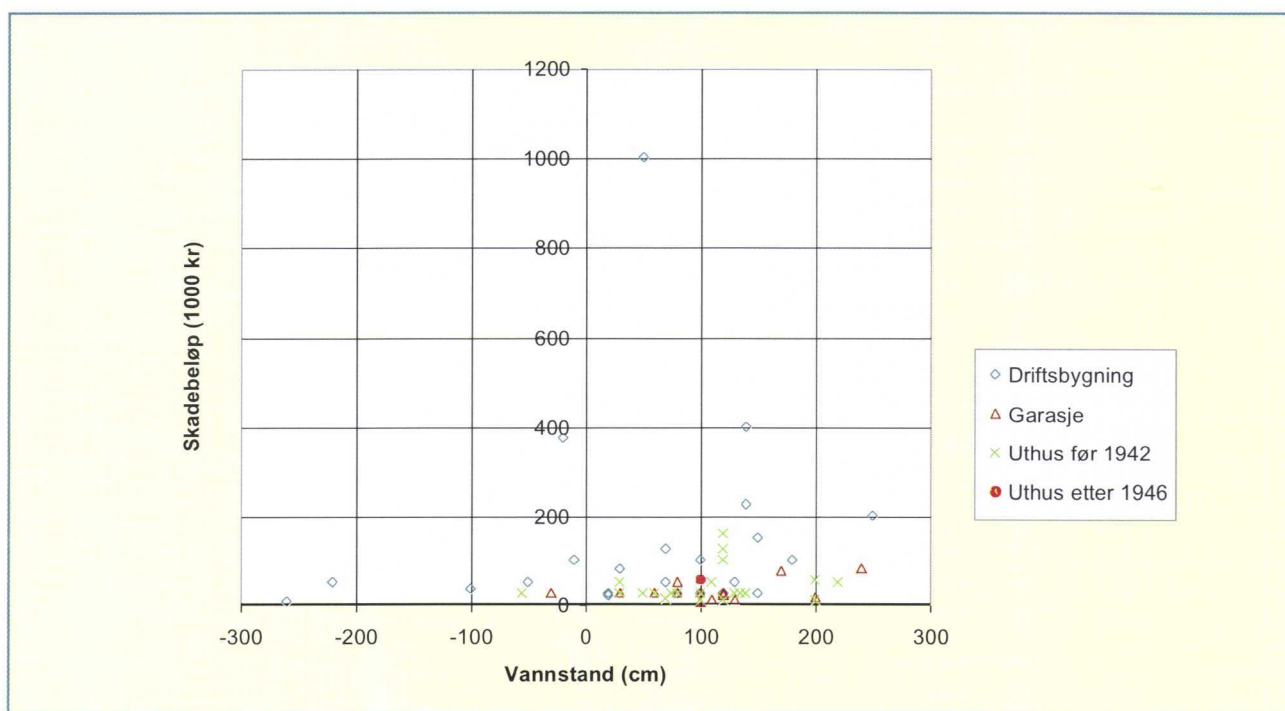
Som en forenkling blir den foreslåtte skadefunksjonen basert på følgende størrelser:

1. Skadeutsatt veistrekning.

Dette er den veilengden der den maksimale vannstand når opp til veidekket. Denne lengde øker med økende vannstand og vannføring. Den kan bestemmes fra kart eller en terrengmodell.

2. Statistisk forventet skade pr km av skadeutsatt vei.

Dette er anslått til 0,36 million kr pr km, en forvent-ningsverdi der det er inkorporert to sannsynligheter eller middelværdier. Den ene er den midlere andel av den utsatte veistrekning der det faktisk er oppstått skade som vil kreve reparasjon. Den andre er den midlere enhets-kostnaden som egentlig knytter seg til reparasjon av skadd veilengde.



Figur 4. Skade på jordbruksbygninger.

Figure 4. Flood damage on agricultural buildings.

Tabell 4. Utvalget av boliger sortert etter kjellertilstand.

Table 4. Presence of basement in flood damaged residential buildings.

Kjeller-tilstand for boliger	Antall	Total skade (1000 kr)	Gjennomsnittlig skade (1000 kr)
Med kjeller	68	24395	359
Innredet	12	3266	272
Uinnredet	56	21129	377
Uten kjeller	18	5574	310
Alle	86	29969	348

Tabell 5. Utvalget av uthus.

Table 5. Flood damages on auxilliary buildings.

Byggeår for uthus	Antall	Total skade (1000 kr)	Gjennomsnittlig skade (1000 kr)
Før 1942	31	1308	42
Etter 1946	50	3140	63
Udaterte	5	152	30
Alle	86	4600	53

Tabell 6. Skade på vei.

Table 6. Flood damages on highways.

	Oppland fylke		Hedmark fylke		Total
	Riksvei	Fylkesvei	Riksvei	Fylkesvei	
Totale skadekostnader (million kroner)	22,5	10,9	19,9	11,8	65,1
Direkte skade (million kroner)	9,72	9,62	17,2	11,1	47,6
Indirekte skade (million kroner)	10,0				10,0
Tiltak (million kroner)	2,8	1,3	2,7	0,7	7,5
Antall skader (veiparseller)	33	31	52	50	166
Flomutsatt veilengde (km)	---	---	53,0	35,9	---
Skadd veilengde (km)	10,7	4,0	---	---	---
Gjennomsnittlig kostnad pr flomutsatt vei-lengde (million kr pr km)	---	---	0,38	0,33	0,36
Gjennomsnittlig kostnad pr skadd veilengde (million kr pr km)	0,91	2,40	---	---	1,32

Betingelsen for utvasking er at veien er i nærheten av elva slik at vannmassene har anledning til å grave ved høye nok hastigheter. Utvaskingen vil også være størst der det ikke er beskyttelse i form av plastring av skråningene eller der hvor det er en svakhet i plastringen. Den kombinerte effekten av disse to skademekanismene tilsier også at det vil være vanskelig å finne en god korrelasjon mellom skadeomfanget og vannstanden.

Det er usikre tall fra Oppland og Hedmark for flommen i 1995 med hensyn på lengden av den skadde veistrekningen i forhold til den flomutsatte der vannstanden i elva nådde opp til veidekket. Hvis den flomutsatte strekning i begge fylker er noenlunde lik, så vil den skadde andelen være omtrent 16%. Det må antas at denne sannsynligheten for skade er den samme uansett lokalitet. Denne antakelsen innebærer at graden av underdimensjonering eller mangelfull utførelse er uavhengig av hvor flommen finner sted og hvilken veistrekning som er berørt.

Selve kostnaden med å reparere skaden forutsettes å være proporsjonal med den skadde veilengden. Denne enhetskostnaden er i realiteten også en variabel på grunn av noe ulikt omfang av skade langs den samme veistrekningen. Veikontorene hadde i 1995 et første estimat med en fast enhetspris. Oppgavene fra Oppland for flommen i 1995 gir en gjennomsnittskostnad for reparasjon på 2,27 million kr pr km vei for den faktiske skaden.

Den foreslåtte forventningsverdien på 360.000 kr pr flomutsatt vei følger direkte fra tallene for Hedmark fylke. Det samme tallet framkommer ved å ta 16% av 2,27 million kr pr km for Oppland fylke, som er produsert av andel skadd vei og pris pr km skadd vei.

Denne enkle formelen har innebygd en stor usikkerhet som skyldes at skadene på vei egentlig ikke kan estimeres ved hjelp av den ene prediktoren, vannføring eventuelt vannstand i hovedvassdraget. Flere vesentlige tilfeller

av skade oppsto i 1995 som en konsekvens av sideelver der vannføringen plutselig økte kraftig på grunn av lokalt store nedbør-mengder. Dette førte til betydelige lokale skader der en vei har krysset sideelvene, til dels i forbindelse med bruer.

Naturlig nok var ikke sammenfallet av vannføring i sideelv og i hovedvassdrag i 1995 noen tilfeldighet, men det er likevel ikke mulig å gi en entydig sammenheng mellom de hydrauliske forhold i de to elvene. Eksempelvis, når det gjelder katastrofen på grunn av den lokale flommen i Mokså, vil ikke vannføring eller vannstand i Lågen være en god prediktor. Lignende tilfeller forekom flere steder i 1995 i begge de to dalførene. Det foreslåtte skadenivået på 360.000 kr pr km er derfor basert på de totale skade-tall og inkluderer dermed skader på grunn av tilstanden i sideelver. Anvendt på en annen vannføring vil denne enkle kostnadsfunksjonen innebære at skadene som sideelvene volder antas å være proporsjonale med skadene som skyldes hovedvassdraget.

2.4 Jernbane

2.4.1 Datagrunnlag

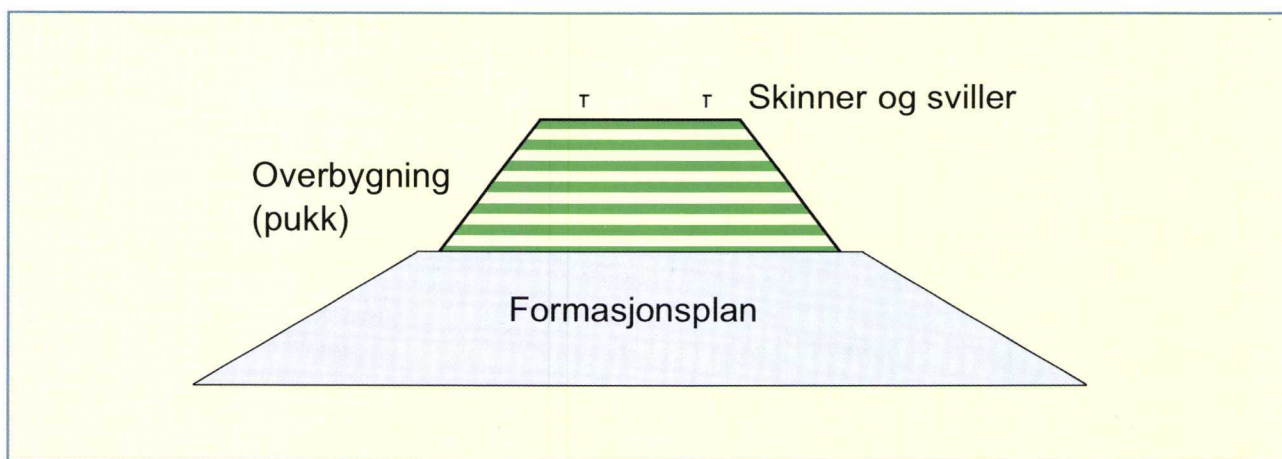
Jernbaneverkets rapporterte kostnader er forbundet med tiltak i etterkant av flommen. Erstatningen har vært for en nødvendig utbedring av banelegemet.

Overbygningen er den øverste delen av banelegemet og består av et lag med ballast, dvs puk, som vanligvis er et 0,5 meter. Skinner og sviller ligger oppe på overbygningen. Ballasten i overbygningen må være drenerende, og Jernbaneverket stiller en del krav til kornstørrelse og sammensetning. Formasjonslaget er det nest øverste laget og dermed fundament for overbygningen. Dreneringsgrøfter og stikkrenner er lagt i tilknytning til formasjonslaget.

Tabell 7. Skade på jernbane.

Table 7. Flood damages on railroad beds.

	Røros-bane Nord	Dovre-bane Nord	Andre be- rørte baner	Total
Total banelengde (km)	330	360	260	
Flomutsatt banelengde (km)	170	25		
Skadd banelengde (km)		1,45		
Skadekostnader (million kroner)	10,4	11,7		
Gjennomsnittlig kostnad pr flom-utsatt bane-lengde (million kr pr km)	0,06	0,47		



Figur 5. Skjematisk snitt gjennom jernbanetrasé.

Figure 5. Schematic cross-section of railroad bed.

I enhver flom vil vannstanden vis a vis jernbanelinjen variere, avhengig av hvor mye høyere traséen er enn elva. I 1995 har vannstanden enkelte steder nådd opp til toppen av overbygningen slik at både sviller og skinner er oversvømmet. Skadene og kostnadene de har medført har vært størst der hvor vannstanden har vært høyest og i kombinasjon med at vannet har stått høyt over en lenger periode.

Flommen i 1995 medførte på enkelte strekninger ubetydelige erosjonsskader der hvor vannstanden bare steg og sank uten at det var noen merkbare lokale vannhastigheter. Banelegemet på slike strekninger ble ikke vasket ut. Utbedringen har dermed bestått av å bruke maskiner til pakking av underlaget for skinnene. I de tilfeller der vannet har stått over skinnegangen har det også vært nødvendig å rense pukklaget for slam.

Kostnadene som skyldtes flommen på Rørosbane Nord var 4,8 million kroner i 1995 og 5,6 million kroner i 1996. I et normalår uten flom vil det utføres vedlikehold med samme utstyr og framgangsmåte som beløper seg til 1,5 million kroner. Derfor vil merkostnadene som utelukkende skyldes flommen beløpe seg til anslagsvis 3,3 million kroner og 4,1 million kroner henholdsvis for 1995 og 1996.

Skaden vil relativt sett være omtrent den samme så lenge vannstanden ikke når opp i overbygningen. Utbedringen vil nemlig være begrenset så lenge det ikke har oppstått noen utgraving (erosjon). Den vesentligste kostnaden består i at pakke-maskinen kjøres for å reparere pukklaget. Dermed er flomskaden på jernbane lite følsom for flommer som har en vannstand mellom skinner og formasjonsplan. Tilsvarende kan skadene antas å være noenlunde konstante om maksimal flomvannstand er høyere enn stikkrennene som går gjennom formasjonsplanet.

2.4.2 Skadefunksjon

For jernbane er det derfor mulig å benytte en enkel funksjon som vil gi et estimat over skadene som vil bli voldt. Det er tilstrekkelig å forholde seg til vannstanden som en trappetrinnsfunksjon.

Hvis vannstanden er lavere enn det såkalt formasjonsplanet, vil det ikke oppstå noen skade. Hvis vannstanden kommer opp i formasjonsplanet men uten å være oppe i pukklaget, da vil det måtte påregnes at den eneste utbedring som kreves er opprensning av stikkrenner. Etter flommen ble det foretatt reparasjon av omtrent 50 av de ca 1100 stikkrennene som finnes på denne strekningen. Kostnadene på reparasjon anslås til kr 60.000 pr. stikkrenne. Denne skaden oppstår hvis vannstanden kommer opp i det såkalte formasjonslaget som pukklaget hviler på. Dette blir et snitt på 14.000 kr pr. km med flomskadd jernbanetrasé.

Hvis vannstanden kommer opp i overbygningen, da vil det være nødvendig etterpå å sørge for at pukklaget er forskriftsmessig pakket. Dette gjøres med en spesiell maskin som har en gitt kostnad pr. skift og dermed pr. km av jernbanespolet. Pakkmaskinen koster kr 40.000 pr. skift. Den pakker omtrent 1500 m pr. time, dvs 12 km pr. skift. Gjennomsnittskostnaden for pakkmaskinen blir dermed kr 3.300 pr. km.

Hvis vannet blir stående over svillene, da vil også varigheten på oversvømmelsen få en betydning. Denne tilstoppingen av pukklaget kan påregnes hvis det har stått under vann i et døgn eller mer. Da vil det avleire seg finstoffer i pukklaget som vil forhindre den nødvendige dreneringen vekk fra skinner og sviller gjennom overbygningen. I så fall kreves det at pukklaget renses i tillegg til at det pakkes. Dette er også en maskinell prosess der det kan regnes med en enhetskostnad på 2000 kr pr meter.

De totale flomkostnadene som kan forventes for jernbaneløp kan dermed estimeres på følgende måte:

1. For den banelengden der vannstanden når opp i formasjonsplanet:
30.000 kr pr km.
2. For den banelengden der vannstanden når opp over formasjonsplanet og inn i overbygningen (pukklaget) hvis det ikke forventes erosjon eller tilslamming:
Minste tilleggskostnad på 45.000 kr pr km.
3. For den banelengden der vannstanden når opp over formasjonsplanet og inn i overbygningen (pukklaget) hvis det er fare for erosjon eller tilslamming:
Maksimal tilleggskostnad på 250.000 kr pr km.

Estimatet over totale skader vil dermed avhenge sterkt av en vurdering av forløpet av en eventuell flom. Denne usikkerheten er dermed basert på de fysiske forhold som eksisterer på stedet og kan ikke bestemmes rent statistisk. Skadepotensialet er større der det er sideelver som kan forårsake utvasking av brukar og banelegeme samt av tilførsel av slam. Dette forbeholdet ble også påpekt i avsnittet ovenfor om skade på vei.

2.5 Flom- og erosjonssikringstiltak

2.5.1 Datagrunnlag

Oversikten over skade på anlegg som NVE har ansvaret for, er tatt fra en NVE rapport (NVE 1996). Det er sett på tre typer av tiltak med hensyn på om de har fungert som forutsatt og om skader på tiltak har ført til skade på andre objekter. De konstruktive tiltakene er delt inn i tre typer:

- Forbygningsanlegg
Elveskråning som er erosjonssikret for å hindre utgraving av elvekanten.
Skader på forbygningsanlegg står for henimot halvparten av de totale kostnadene.
- Flomverk
Voll ved elvekanten for å beskytte et bestemt areal mot oversvømmelse.
Skader på flomverk er mer enn 50% av det registrerte totalbeløpet.
- Senkningsanlegg
Elveløp som er senket for å hindre oversvømmelse samt å bedre dreneringen, ofte bygget i forbindelse med flomverk.
Senkningsanlegg er fåtallige, og skadebeløpet er også ubetydelig sammenlignet med de to andre kategoriene.

Disse tiltakene skiller seg fra andre skadeobjekter i at de er oppført i den hensikt å verne mot vannet og selv kunne motstå en spesifikk flomvannføring.

Dimensjoneringskravene for de anleggene som ble berørt i 1995 har vært en flom med et gjentaksintervall på mellom 30 og 100 år, men det er ikke oppgitt hva som er den faktiske dimensjonerende flom for hvert enkelt anlegg. Flommen på Østlandet var flere steder høyere enn dimensjonerende flom. Dermed er det ikke mulig å generalisere skadetallene for å estimere skaden som ville ha oppstått for andre flomstørrelser.

Noen tiltak har fungert etter hensikten. De har vært utsatt for flommen uten at de har blitt skadet selv. I tillegg har disse funksjonsdyktige tiltakene også gitt det planlagte vern av de områdene og objektene som skulle beskyttes. Unntaket er flomverk som har blitt overtoppet men for øvrig er intakte.

Andre tiltak har ikke fungert som planlagt. Det har oppstått skade på selve konstruksjonen som har måttet bli reparert. Her er tiltakene sortert med hensyn på om det har vært skade på bakenforliggende områder eller om disse har vært skadefrie. I denne rapporten er skade på andre objekter inkludert i de andre kapitlene og tas ikke med i sammenheng med skade på sikringstiltak.

For denne sektoren er det dokumentert hvilke kostnader som er gått til reparasjon og hvilke som er gått til vedlikehold. Utbedring av skade på selve anlegget er definert som reparasjon, mens opprensning i elva anses som vedlikehold. Denne forskjellen er relevant for NVE i forbindelse med sitt ansvar for anleggene, men begge kostnads-typer er å regne som direkte skade i en mer overordnet sammenheng som HYDRA-prosjektet. Tallene som presenteres her vil derfor være kombinasjonen av begge typer utlegg. Lignende data er ikke tilgjengelig for de andre skade-typene som inngår i denne rapporten.

Kostnadene for sikringstiltak mot flom og erosjon kan sammenfattes som i tabell 8.

Lengdene på skadde flomverk og senkningsanlegg er tilgjengelige men er ikke tatt med i analysen, da funksjonsdyktigheten er tapt om bare en del av et slikt anlegg er skadd.

Skadeomfanget på de enkelte anlegg er trolig avhengig både av den lokale vannstand, vannføring, vannhastighet, og varighet på flommen. Dataene om kostnader gir derimot ingen mulighet for å spesifisere omfanget av skade som funksjon av disse hydrauliske variable. Tallene for gjennomsnittlige kostnader er dermed en første approksimasjon.

Tabell 8 gir et grunnlag for å estimere skader på sikringstiltak, men bare ved den faktiske flom som forekom i 1995. Skadeomfanget vil ikke være proporsjonalt med vannføring eller vannstand fordi anleggene er dimensjonert for en viss flom. Forutsetningen ved bygging av anlegg er at de holder for vannføringer som ikke over-

Tabell 8. Skade på anlegg for flom- og erosjonssikring.

Table 8. Flood damages on structures for flood and erosion control.

	Forbygnings- anlegg	Flomverk	Senknings- anlegg	Total
Totalt antall anlegg	407	59	12	478
Total lengde av anlegg (km)	333	134	37	504
Antall skadde anlegg	80	33	3	116
Lengde av skadde anlegg (km)	22			
Skadekostnader (million kr)	34	39	0,6	74
Skadeforekomst: andel av totalt antall (%)	20	56	25	24
Skadeforekomst: andel av total lengde (%)	7			
Gjennomsnittlig kostnad (million kr pr tilfelle)	0,43	1,18	0,20	0,64
Gjennomsnittlig kostnad pr skadelengde (million kr pr km)	1,55			

skriker den dimensjonerende, og at de ikke forventes å tåle større vannføringer. I realiteten er det sannsynlig at noen anlegg er sterke nok til å stå imot en vannføring som er enda høyere, mens andre muligens ikke har holdt selv ved dimensjonerende. En første tilnærming i tråd med denne forutsetningen er at anlegget holder med 100% sannsynlighet opp til dimensjonerende flom, og tilsvarende at det mister sin funksjonsdyktighet med 100% sannsynlighet når vannføringen overskrider dimensjonerende flom.

2.5.2 Skadefunksjon

I 1995 kan det antas at alle anlegg for flom- og erosjonssikring ble utsatt for en vannføring minst så stor som dimensjonerende flom, på grunn av at flommen hadde et gjentakts-interval på over 100 år.

Denne enkle begrepsmodellen er det mulig å nyansere ved nærmere granskning av data fra 1995. Et utgangspunkt for en noe bedre estimering ville først være å finne en statistisk framstilling av den reelle motstandsevnen til anleggene. Resultatet må uttrykkes som en usikkerhet eller sannsynlighet for at anlegg vil bli skadd hvis de utsettes for en bestemt vannføring.

Forventningsverdien på denne vannføringen, dvs en matematisk integrering over alle vannføringer vektet med sine respektive sannsynligheter, bør være lik dimensjonerende flom. Rådataene fra 1995 er kanskje tilstrekkelige til å bestemme en slik fordeling på grunnlag av de anlegg der dimensjonerende flom er kjent. Slike detalj-undersøkelser kan være fornuftige å foreta for å etablere en sikrere basis for planlegging av nye anlegg og reparasjon av eksisterende anlegg.

Framgangsmåten ved å estimere forventet flomskade i et vassdrag er dermed som følger:

1. Angi vannføringen som skal legges til grunn for estimatet.
2. Ved å sammenligne med den antatte vannføring finn den lengde av hver anleggs-type som utsettes for en flom minst så stor som dimensjonerende. Dette er de skadeutsatte lengdene.
3. Multipliser totallengden av skadeutsatte anlegg med sannsynlighetene for skade i % av lengde eller % av antall fra tabellen ovenfor for å bestemme hvor stort omfanget av flomskade forventes å være.
4. Multipliser det forventede skadeomfanget med gjennomsnittskostnadene fra tabellen i kroner pr tilfelle eller pr km.

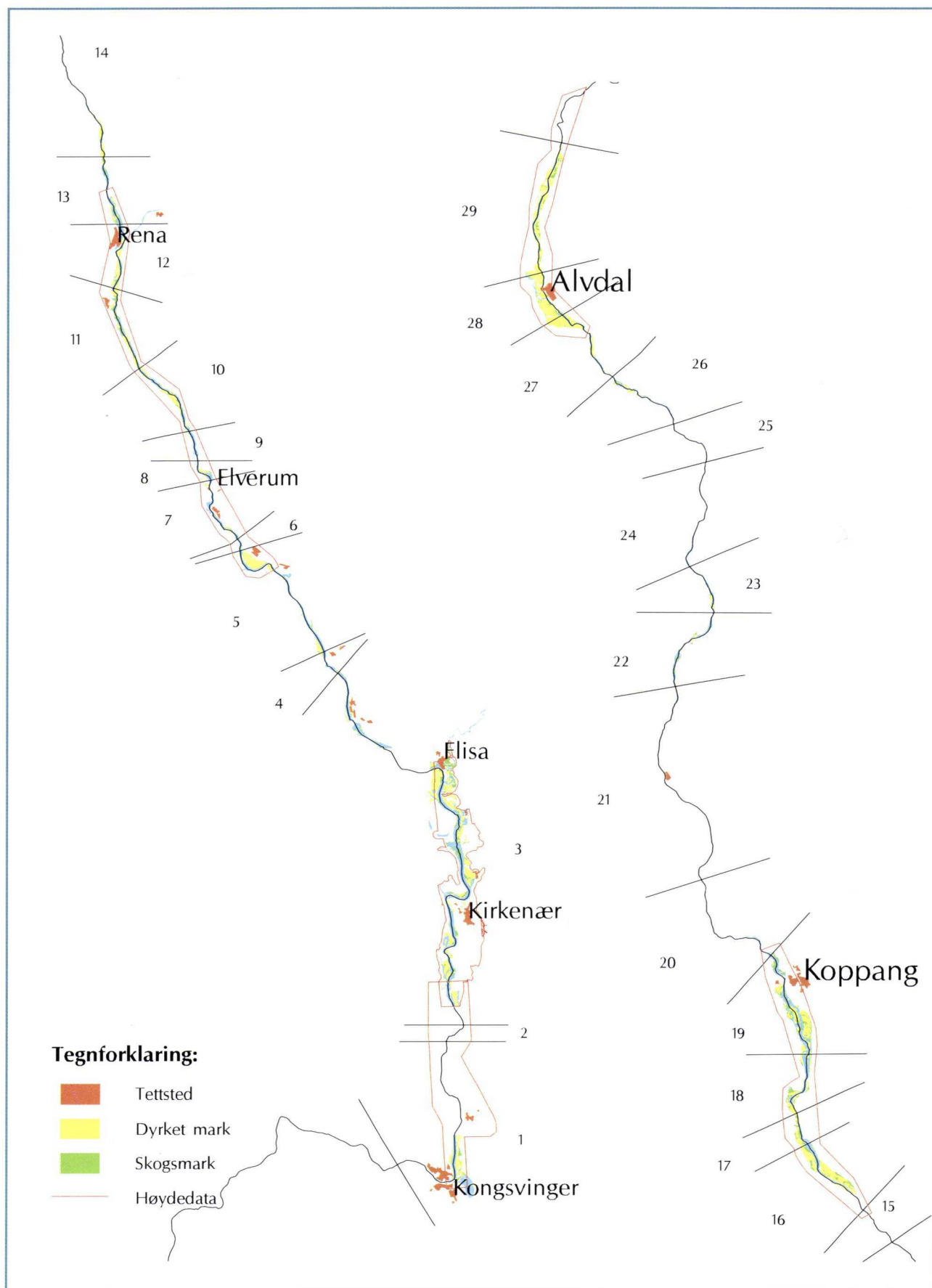
2.6 Jordbruksareal

2.6.1 Grunnlagsdata

Det foreligger ikke registreringer av skader på jordbruksareal fra tidligere flommer utover de skjønnsoppgaver som har dannet grunnlag for erstatninger.

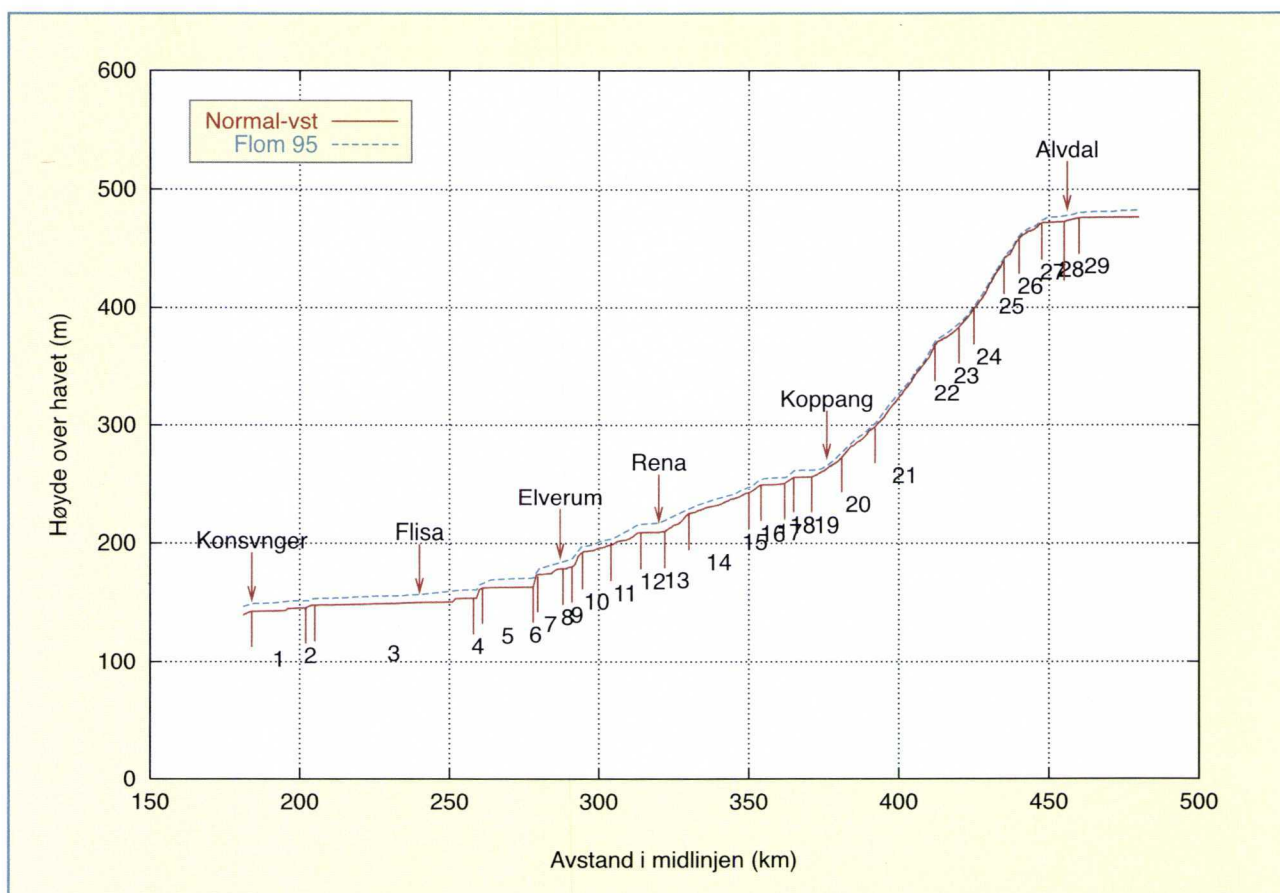
Data-analysene er derfor utelukkende basert på de registreringene av skader som JORDFORSK foretok etter flommen i 1995 (ØYGARDEN 1996).

På grunnlag av helningen i elva (d.v.s. gradienten på vannlinjen) er strekningen Kongsvinger – Alvådal delt inn i 29 strekninger. Disse er vist på kartutsnitt i figur 6 og 7. Kartutsnittet viser også utberedelsen av områdene med høydedata. Figuren 7 viser vannlinjeprofilen for normal vannstand og kulminasjonsvannstanden under flommen i 1995 (NVE). Begrepet normal vannstand er brukt om den vannstanden som ble målt under vassdragsnivellelementet.



Figur 6. Kartutsnitt med inndeling i elve-strekninger og markering av områder med høydedata.

Figure 6. Map of the river showing the availability of elevation data.



Figur 7. Inndeling i elvestrekninger.

Figure 7. River profile.

NVE har kombinert markslagskart (DMK) fra NIJOS med utbredelsen av flommen i 1995. Dette gir fordelingen av ulike arealkategorier på oversvømmet areal for hver elvestrekning. I tillegg er det laget en fordeling av åkerareal i forhold til jordbruksareal basert på skjønn. Støtsider for vannstrømmen er en av hovedfaktorene for hvor skadene oppstår, i tillegg til fordeling av vegetasjonsbelter på elvebredden. Støtsideeffekten er forsøkt karakterisert ved å måle elvestrekningene i 5 km luftlinjer og dividert dette på avstanden i midtlinjen. Denne egenskapen er kalt svingfaktor. En faktor for fordeling av vegetasjonsbelter har det ikke lyktes å finne, hovedsaklig på grunn av at flybilledekningen utenom de skadede områdene er mangelfull, men også fordi effekten av denne fordelingen er så knyttet sammen med andre faktorer at den ville bli svært komplisert å tallfeste på en objektiv og reproducerbar måte. Tabell 9 viser egenskapene til elvestrekningene.

For 4 områder (se figur 6) har NVE utarbeidet terrengmodell over flomutsatt areal (basert på flyfoto og laser-skanning). Disse områdene ligger i Solør, Elverum/Rena, Stor-Elvdal og Alvdal. NVE har videre kombinert disse

terrengmodellene med kulminasjonsvannstanden under flommen og beregnet vanndybden på oversvømmede arealer. Dette er gjort for hver arealkategori. Disse egenskapene er fremstilt i tabell 10. På grunn av få observasjoner av kulminasjonsvannstanden under flommen på noen strekninger, har den lineære interpoleringen gitt svært store vanndyp i noen områder og lav vannstand andre steder. Området like nord for Rena sentrum (strekning 13) og nedstrøms Strandfossen i Elverum (strekning 8) har fått beregnet midlere vanndyp på ca 5,5 m. I forhold til flomforløpskurvene i figur 11 og opplysninger mottatt under befaring, er dette svært lite troverdig, og vannstandene er justert ned ca 2 m. I Messeltområdet i Storelvdal (område 17) er middelvanndypet beregnet til knapt 1 m. Imidlertid ble det av grunneiere opplyst at vannet stod høyt over riksvegen under flommen, slik at dette ikke kan være riktig. Her er mideldypet for jordbruksarealet justert til 3 m.

Tabell 9. Egenskaper til elvestrekningene.

Table 9. Characteristics of the stretches of the river.

Elv-str	lengde km	helning norm-vst 10-3	helning flom-95 10-3	areal oversv. daa	areal dyrket daa	åkerandel daa/daa	sving- faktor km/km
1	18	0.19	0.16	3908	2375	1.00	0.84
2	3	0.80	0.59	0	0	1.00	0.93
3	53	0.12	0.15	21247	12523	1.00	0.90
4	3	2.89	1.77	275	163	1.00	0.94
5	17	0.04	0.17	4593	3727	1.00	0.92
6	1.5	3.61	2.79	74	10	1.00	0.88
7	8.5	0.77	0.72	888	445	1.00	0.86
8	3	0.56	0.77	647	351	1.00	0.76
9	3.5	3.68	3.33	305	207	1.00	0.98
10	9.5	0.70	0.75	2683	1793	1.00	0.92
11	10	1.13	1.34	3388	1936	1.00	0.87
12	8	0.09	0.34	2598	1683	1.00	0.93
13	8	1.00	1.00	2024	768	1.00	0.96
14	20	0.94	0.88	1123	831	1.00	0.96
15	4	1.72	1.70	0	0	1.00	0.88
16	8	0.12	0.14	4125	2897	0.40	0.98
17	3	1.77	1.92	1050	552	0.90	0.91
18	6	0.08	0.03	2186	1148	0.60	0.85
19	10	1.20	1.20	5414	2971	0.70	0.86
20	11	2.36	2.19	35	1	1.00	0.95
21	20	3.36	3.38	51	0	1.00	0.92
22	8	1.57	1.84	669	165	1.00	0.85
23	5	3.26	2.97	375	194	0.10	0.00
24	10	4.13	4.18	34	0	0.00	0.93
25	5	3.28	3.69	0	0	0.00	0.80
26	7.5	1.90	1.90	601	312	0.60	0.82
27	7.5	0.11	0.24	2608	2194	0.20	0.90
28	5	0.61	0.49	4014	3127	0.40	0.85
29	12	0.03	0.07	5235	3386	0.20	0.93
Sum	288.0			70149	43759		

Tabell 10. Egenskaper til elvestrekninger med terrengmodell (DTM).

Table 10. Characteristics of the river related to a digital terrain model.

Elv-str	areal oversv. daa	areal dyrket daa	målt dybde m	beregnet dybde m
1	3457	2178	1.66	1.81
3	19255	11464	2.83	2.56
5	3074	2799	2.76	2.78
6	57	8	2.06	2.01
7	728	404	2.34	2.39
8	643	351	3.50	3.50
9	253	170	2.34	2.15
10	2364	1504	2.73	2.82
11	3165	1764	3.68	3.48
12	2480	1646	3.46	3.43
13	1266	657	3.30	3.30
16	3155	2141	2.81	2.75
17	745	361	2.80	3.00
18	2046	1083	2.45	2.30
19	4802	2800	1.30	1.29
20	13	0	1.16	0.00
27	328	234	1.22	0.84
28	3078	2284	1.29	1.05
29	5114	3329	2.44	2.41
Sum	56024	35176		



Figur 8. Flomskade i Alvdal. Graving på innsiden av innkjørsel på jordet.

Figure 8. Erosion damage of a field at Alvdal.

Tabell 11 og 12 viser fordelingen av flomskadene på de enkelte elvestrekningene. Disse dataene er basert på en kombinasjon av åstedsbefaringer og analyser av flybilder. Skadene er beskrevet av ØYGARDEN (1996). Skadene på Øksna i Elverum er basert på beregninger vha av terrengmodell. Dataene over omfanget av vekk-

vasket matjord og sedimentasjon er betydelig mer usikker enn graveskadene. For det første var grunneierne raske til å utbedre sedimentasjons-skadene for å få etablert ny plantevekst. I tillegg hadde både flyfotografering og befaringer hovedfokus på graveskadene.

Tabell 11. Flomskader på jordbruksareal.

Table 11. Flood damages on agricultural areas.

Elve-str.	Jordtap						Sedimentasjon	
	Graving		Vekk-vasking		Sum			
	daa	m³	daa	m³	daa	m³	daa	m³
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	2730	22	4400	24	7130	6	600
3	49	170020	50	15000	99	185020	1220	253500
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	18	62360	50	5000	68	67360	690	154000
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	9	10560	0	0	9	10560	0	0
8	4	9400	90	9000	94	18400	26	5200
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	97	205700	486	74200	583	279900	267	44750
11	130	218140	559	89350	689	307490	576	79650
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	2440	65	8750	66	11190	0	0
14	47	80450	70	10000	117	90450	130	27250
15	22	29920	102	20400	124	50320	122	23100
16	5	7500	15	1500	20	9000	100	5000
17	24	39740	70	13000	94	52740	1040	101200
18	11	16500	100	8000	111	24500	145	14500
19	6	9840	35	5250	41	15090	140	19000
20	48	67600	10	2000	58	69600	14	4900
21	56	53600	90	13500	146	67100	150	10500
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1	1690	0	0	1	1690	4	1200
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	46	84260	30	4000	76	88260	53	7350
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	8	15750	86	15210	94	30960	150	35500
29	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	586	1088200	1930	298560	2515	1386760	4833	787200

Tabell 12. Fordeling av graveskader på skadetyper, m³.

Table 12. Extent of erosion damage (m³) due to different mechanisms.

Elve str.	eri	gia	be	er	bf	ue	gik	gu	gub
2	0	2730	0	0	0	0	0	0	0
3	0	5450	0	0	162410	0	2160	0	0
5	0	0	0	0	52000	0	10360	0	0
7	0	0	0	10560	0	0	0	0	0
8	0	120	0	0	0	0	9280	0	0
10	0	61600	0	59400	79200	0	1540	0	3960
11	0	67480	47100	0	37260	6720	33600	25980	0
13	0	722	0	0	0	0	1718	0	0
14	0	46900	1400	0	0	0	22910	9240	0
15	9000	7700	6150	1800	0	0	5270	0	0
16	0	0	0	0	0	0	7500	0	0
17	0	2340	29920	0	0	0	0	7480	0
18	0	9900	0	0	0	0	0	6600	0
19	0	450	0	0	0	0	9390	0	0
20	33600	0	0	34000	0	0	0	0	0
21	48000	3080	0	2100	0	0	0	420	0
23	0	0	1690	0	0	0	0	0	0
26	46550	3568	19950	0	0	0	14192	0	0
28	0	2328	0	0	0	0	13422	0	0
Sum	137150	214368	106210	107860	330870	6720	131342	49720	3960

eri: Erosjonsrenne, brudd innløp

gia: Grop inne på arealet

be: Brudd i elvekant

er: Erosjonsrenne, uten brudd i innløp og utløp

bf: Brudd i flomverk

ue: Utvidelse av elvefar

gik: Grop innenfor elvekant

gu: Graving ved utløp

gub: Graving ved utløp, gjennom elvekanten



Figur 9. Flomskade på Rustad-området i Elverum.

Figure 9. Erosion damage at Rustad.

2.6.2 Regresjonsanalyse

Regresjonsmodellene bygger på en antagelse om at det må være en sammenheng mellom skader, vannhastighet, varighet av oversvømmelse, og egenskaper ved elvestrengen og det oversvømmede arealet som enten eksponerer eller beskytter. Skadebefaringene viste at punkt-skadene oppsto i spesielle eksponeringspunkter (støtsider og åpninger i vegetasjonsbelter) og ved turbulensframkallende terrengformasjoner (trær, steiner, eiendomsdeler o.l.). Skadene fikk her i hovedsak form av langstrakte groper.

Vekkvasking av matjord må antas å ha en sterkere sammenheng med vannhastighet og tilstanden på jordoverflaten. Flommen kom på et tidspunkt da åkervekster som korn såvidt hadde spirt eller var iferd med å spire. Den jordarbeidede delen av jorda hadde da liten fasthet

og over store områder ble hele det jordarbeidede sjiktet ført bort. Arealer som kun var harvet mistet dermed mindre jord enn pløyde arealer. Der vannet klarte å slite hull på plogsålene oppstod alvorligere graveskader som erosjonsrenner (nye løp) der massene vanligvis var spylt vekk ned til gammel elvebunn av stein. Nedstrøms graveskadene ble det gjerne avsatt store sanddyner, særlig i tilknytning til turbulensframkallte skader.

Skader knyttet til brudd i flomverk artet seg forskjellig avhengig av fallet på elva i området. I Solørområdet ble skadene kraftig graving i bruddstedet og store sandavsetninger innenfor. Her stoppet skadeutviklingen i hovedsak etter at arealet var fylt opp med vann. Fra Elverum og nordover, der fallet i elva er større fortsatte imidlertid vannet å renne over arealene så lenge oversvømmelsen pågikk.



Figur 10. Flomskade på Øksna i Elverum. Brudd i flomverk med påfølgende vannstrøm over arealet under hele oversvømmelsen.

Figure 10. Damage due to breach in flood control structure at Øksna.

For en forklaringsvariabel basert på vannhastigheten er det tatt utgangspunkt i Mannings formel for vannhastighet i kanaler:

$$V = M \cdot J^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (\text{lign 1})$$

der

V : vannhastighet

M : Mannings tall

J : hydraulisk radius: forholdet A/P der

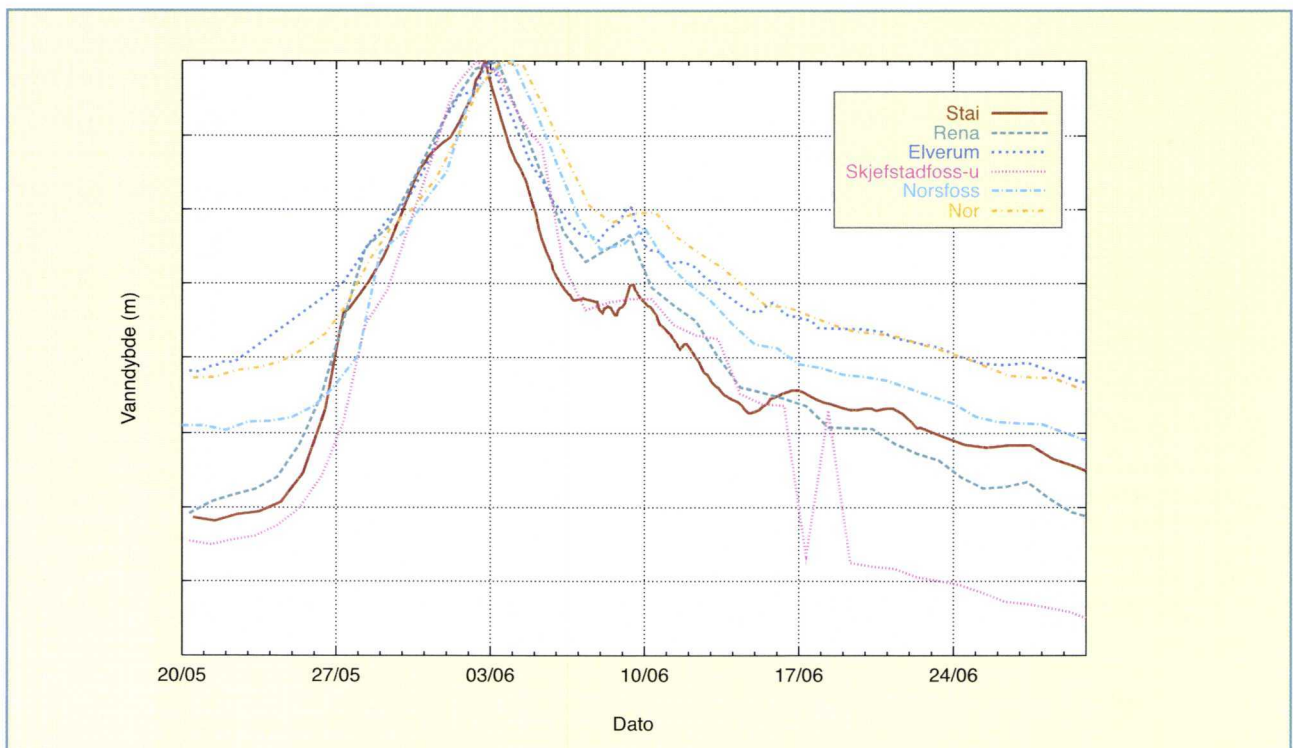
A: tverrsnittet av vannstrømmen (bh, der b=bredde og h=vandyp)

P: dividert med lengden av den våte perimeter ($\approx b + 2h$)

I : helningen på vannoverflaten

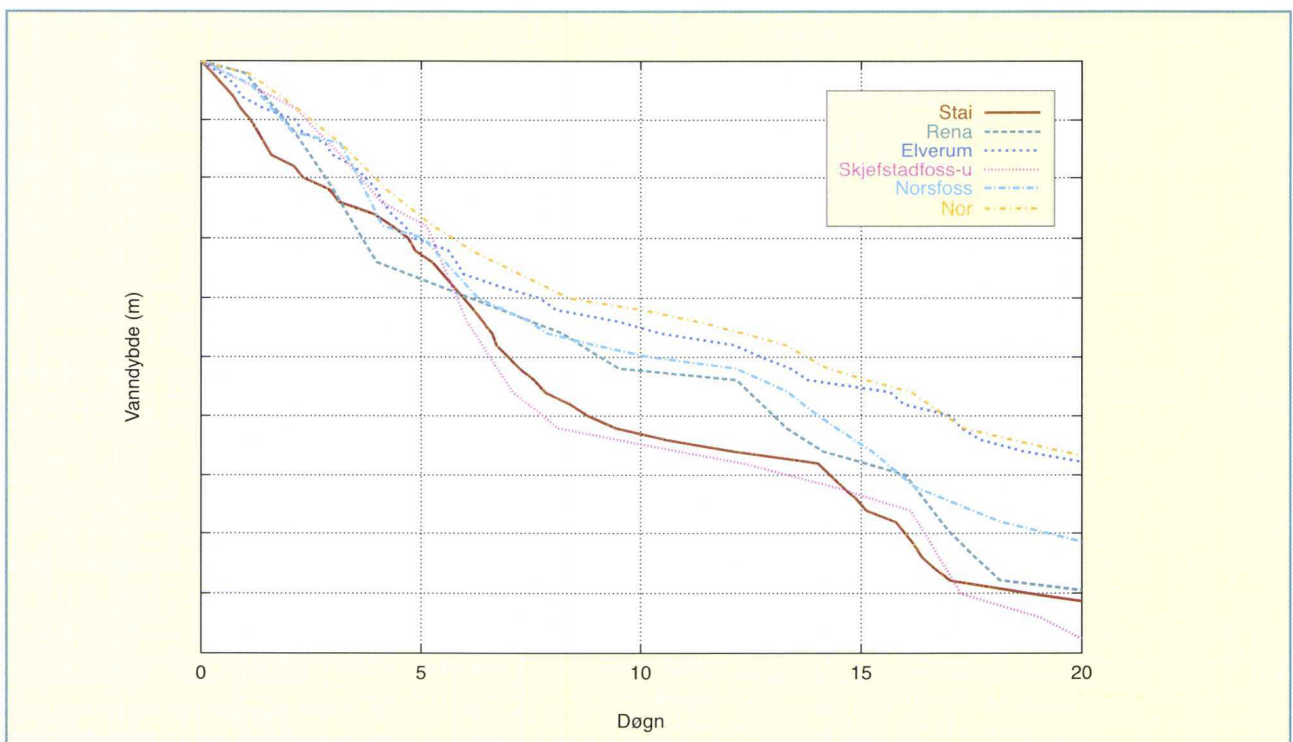
Vannhastigheten representerer en eroderende kraft som må summeres over oversvømmelsesperioden for å gi en meningsfull variabel i modellen.

Figur 11 og 12 viser flomforløpet og varighetskurver for flommen 1995 ved 6 målestasjoner. Vannstand er transformert til vanddybde, dvs vannstand i forhold til kulminasjonsvannstanden. Figur 13 viser varighetskurvene for vanddybder med kurvetilpasninger for de seks utvalgte vannmerkene. Kurvetilpasningen er utført på modellen $f(h) = ah^b + c$ der h er vandyp. Eksponenten (b) er i middel for disse kurvene tilnærmet lik 2/3.



Figur 11. Flomforløpet i 1995. Vanndybder (vannstand i forhold til kulminasjonsvannstanden).

Figure 11. Flood depths in 1995, related to peak water level.



Figur 12. Varighetskurver for flommen 1995. Vanndybder (vannstand i forhold til kulminasjonsvannstanden).

Figure 12. Duration curves of the 1995 flood. (Water depths related to peak water level.)

Variabelen basert på vannhastighet (V) er vannhastigheten (v) integrert over perioden med oversvømmelse:

$$V = \int v dt$$

Når en setter inn Mannings formel for vannhastighet får en:

$$V = \int \left\{ M \left[\frac{bh}{(b+2h)} \right]^{2/3} \sqrt{I} \right\} dt$$

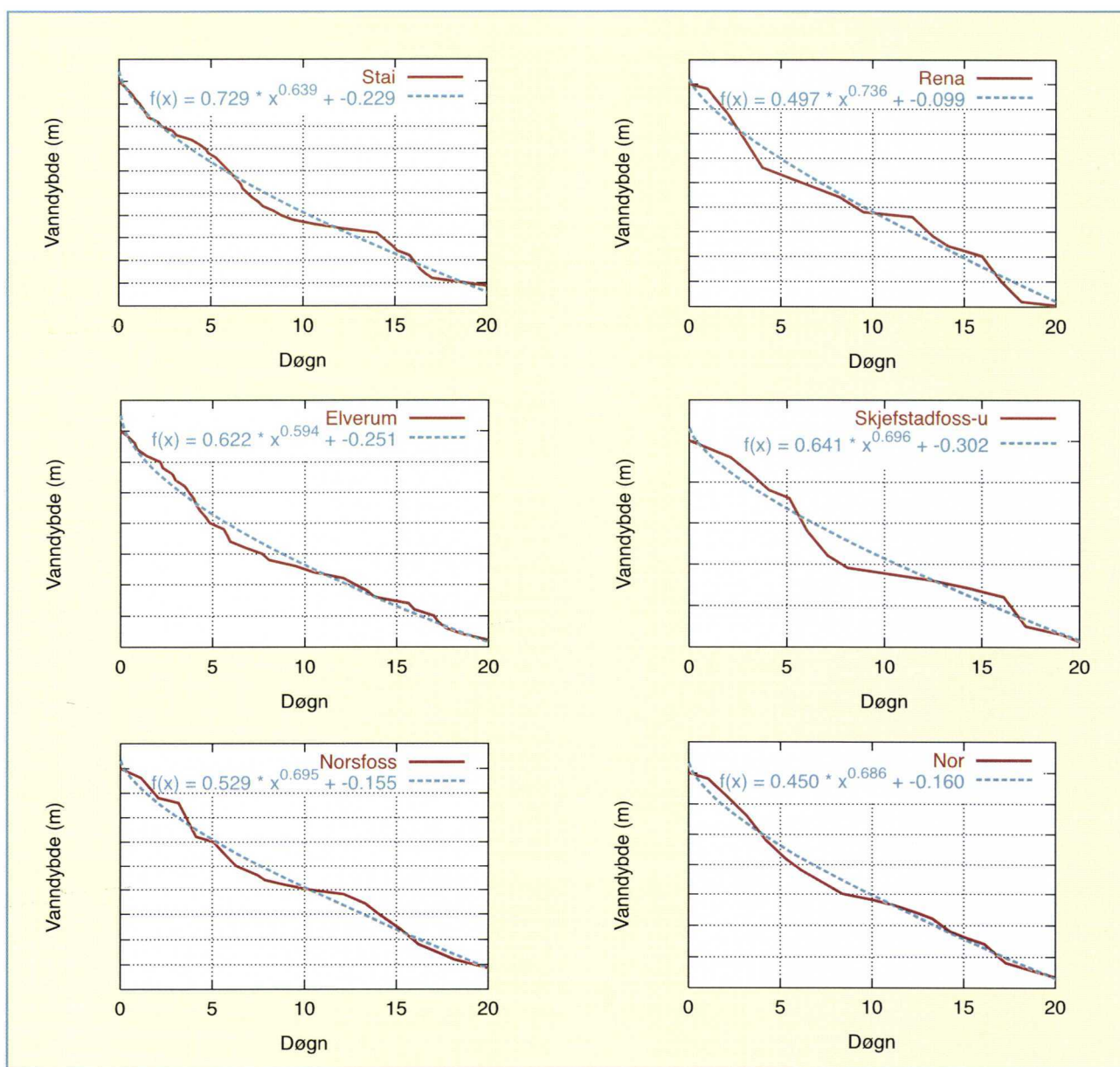
der b er bredden av oversvømmelsen og h er vanndybden gitt ved funksjonen for varighetskurven:

$$h = h_0 - at^{2/3}$$

der h_0 er vanndybden ved kulminasjonsvannstanden, t er tid og a en konstant gitt ved:

$$a = h_0/T^{2/3}$$

der T er varigheten av oversvømmelsen. Variabelen V er i regresjonsanalysen beregnet numerisk med $M = 1$. Funksjonen for varighetskurven som er brukt er spesifikk for flommen i 1995 og vil ved andre flommer kunne ha andre ligninger. Som enhet for tid (t) er døgn brukt, slik at den integrerte vannhastighetsvariabelen i regresjonsanalysen har enheten m/s × døgn (eller 86400 m).



Figur 13. Varighetskurver av vanndybder (vannstand i forhold til kulminasjonsvannstanden) ved 6 vannmerker med kurvetilpasninger.

Figure 13. Duration curves at 6 stations with fitted curves.

Nå vil den funksjonelle sammenhengen mellom vanddybde og varigheten av oversvømmelsene variere mellom nabostrekninger av elva avhengig av bl.a. bredden av elveslettene. I tillegg er det få av målestasjonene som står slik plassert at de måler reelle varighetskurver for jordbruksarealene. Det er derfor gjort den forutsetning at vassdraget har etablert en slags likevekt med sine elvesletter slik at varigheten av oversvømmelsene er noenlunde lik for nabostrekninger. Den midlere varigheten for oversvømmelsen på elveslettene er satt til 7 dager nord for Rena og 9 dager for resten. Det er satt et skille her pga utløpet av Rena-elva.

Det er utført regresjonanalyse på to sett av data:

1. DMK område: Markslagskart (DTM) kombinert med utbredelsen av oversvømmet areal under flommen 1995
2. DTM område: vanddybde data ved kombinasjon av terrengmodell (DTM) og flomlinje i tillegg til dataene i første punkt for de områdene hvor disse foreligger.

I tillegg er analysene kjørt i to omganger, en mot helningen i elva ved normal-vannstand og en mot helningen ved flomtoppen i 1995.

Markslagskartene (DMK) dekker ikke hele området slik at noen elvestrekninger måtte utelates fra analysen under punkt 1. Det er særlig Stor-Elvdal som har dårlig dekning, men også en del av Solør-området mangler kart.

Skadene målt i massevolum pr daa oversvømmet jordbruksareal er brukt som respons-variabel. Denne har da enheten mm (m^3/daa).

Skadeformen erosjonsrenner fikk i noen tilfeller et slik omfang at de nesten ble et nytt elveløp eller utvidelse av elveløpet. Dette gjelder i første rekke 4 skadetilfeller, men 3 av disse oppstod på strekninger hvor det ikke var dekning av DMK. Den gjenstående (på strekning 26) omfattet ca 35 daa i ca 2 m tykkelse. Denne er en kraftig uteligger men er ikke utelatt fra analysene. Imidlertid er elvestrekning 23 (Hanstad) utelatt på grunn av at skadeomfanget her ble betydelig redusert ved at det ble dumpet sandsekker i bruddet i elvekanten.

Det er en del problemer med dataene i området med terrengmodell (DTM-området). En god del av arealet innenfor oversvømmelsesområdet har fått beregnet negativt vanddybde. Disse er likevel tatt med i beregningen av arealfordelinger og vanddybder, siden utbredelsen av oversvømmelsene er generert fra andre kilder og ut fra den antakelse at feilene i vanddybde går like mye i begge retninger.

Regresjonsanalysene med responsvariabel massevolum av skadene dividert på oversvømmet jordbruksareal på elvestrekningene, viste seg å underestimere skadene på

strekninger med store registrerte skader. Det ble derfor utført en kurve-tilpasning av estimerte mot observerte verdier etter modellen $f(x) = ax^b + c$ der x er observert verdi. Dette ga for graveskadene b -verdi i middel 0,57 (ca 0,47 for DMK-området), for vekkvasket matjord b -verdi i middel 0,76 (ca 0,65 for DMK-området) og sedimentasjon i middel 1,07. Nå sier statistisk teori at fenomener som er resultat av et produkt av impulser er log-normal fordelt, i motsetning til normalfordelingen som er resultat av sum av impulser. Disse resultatene representerer fordelinger som ligger mellom normal og log-normal, og antyder dermed at flomskadene er et resultat av en blanding av samspill-effekter og rene sum-effekter. Eksponentene er mindre for DMK-datasettene enn for DTM som har mye større jordbruksandel, slik at dette kan være en effekt av fordelingen av jordbruksareal i forhold til utmark. Regresjonsanalyser med transformert responsvariabel økte r^2 noe (5-10 %). I de endelige analysene er derfor responsvariabelen transformert med eksponent i henhold til de ovenfornevnte resultatene: graveskader: 0,5, vekkvasket matjord: 0,75 og ingen transformering av sedimentasjonsobservasjonene.

I tabell 13 er variablene beskrevet.

Det er ikke gjort noe forsøk på å trekke inn variabler basert på jordart. Jorda består i hovedsak av flomavsetninger og variasjonen i tekstur vil med stor sannsynlighet ha mye mindre effekt på erodibiliteten enn andre forhold som arealenes dyrkingshistorie, jordarbeiding, vekstvalg og utviklingsstadiet til vekstene.

Graveskader

I analysene på DMK-området er andel oversvømmet jordbruksareal av totalt oversvømmet areal og jordbruksareal dividert på lengden av elvestrekningen i tillegg til variabelen basert på vannhastighet signifikante på 0,05 nivå der vannhastighetsvariabelen er basert på fallet ved normal-vannstand. Her ble r^2 0,72. Analysen med fallet basert på flommen 1995 har gitt betydelig dårligere r^2 (0,59). Risikoen for graveskader øker med jordbruksandelen men avtar med jordbruksareal pr km elvestrekning. Det siste kan tolkes som at risikoen for graveskader er mindre for jordbruksareal et stykke fra elva.

I analysene på DTM-området, var kun vannhastighetsvariabelen signifikant. Disse områdene har høy andel av jordbruksjord slik at variabler knyttet til arealfordelinger ikke ser til å ha påvirket skadeomfanget.

Figur 14 viser plot av estimerte verdier mot observerte for regresjonene der vannhastighetsvariabelen er basert på helningen ved normalvannstanden i elva.

Tabell 13. Beskrivelse av variablene i regresjonsligningene.

Table 13. Definition of regression variables.

M_g	Massetap ved graveskader (m^3)
M_v	Massetap ved vekkasket matjord (m^3)
M_s	Sedimentert materiale (m^3)
A_j	Oversvømmet jordbruksareal (daa)
A_{tot}	Totalt oversvømmet areal (daa)
A_{flv}	Areal beskyttet av flomvern (daa)
L	lengde av elvestrekningen (korrigert ved ufullstendig DMK) (km)
I_n	helningen i elva ved normal-vannstand (10^{-3})
I_f	helningen i elva ved flommen 1995 (10^{-3})
V_{tn}	Integrert vannhastighet over oversvømmelsestiden ved fallet ved normal-vannstand ($m/s \times d\ddot{o}gn$)
V_{tf}	Integrert vannhastighet over oversvømmelsestiden ved fallet ved flommen 1995 ($m/s \times d\ddot{o}gn$)
H_o	Midlere vanndyp på oversvømmet areal (m)

Område med DMK, helning ved normalvannstand:

$$\sqrt{M_g / A_j} = 1.026V_{tn} + 16.98A_j / A_{tot} - 0.01069A_j / L - 8.93337 \quad r^2 = 0.72 \quad (\text{lign 2})$$

Område med DMK, helning v. flommen 1995:

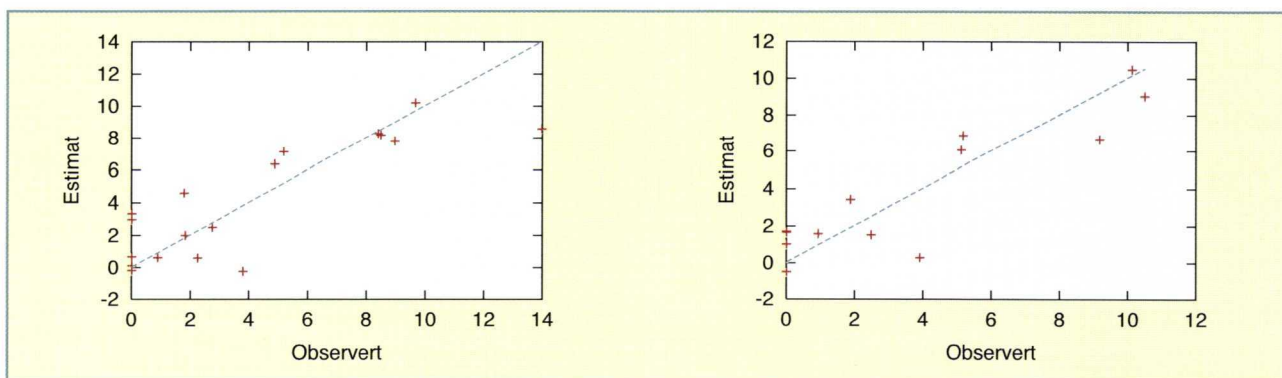
$$\sqrt{M_g / A_j} = 0.8388V_{tf} + 13.55A_j / A_{tot} - 0.01004A_j / L - 6.43275 \quad r^2 = 0.59 \quad (\text{lign 3})$$

Område med DMK, helning v. normalvannstand:

$$\sqrt{M_g / A_j} = 1.082V_{tn} - 1.63169 \quad r^2 = 0.81 \quad (\text{lign 4})$$

Område med DTM, helning v. flomen 1995:

$$\sqrt{M_g / A_j} = 1.082V_{tn} - 1.63169 \quad r^2 = 0.81 \quad (\text{lign 5})$$



Figur 14. Graveskader, estimert mot observert skade. Merket med elvestrekningsnr. Til venstre: DMK-området, til høyre: DTM-området.

Figure 14. Erosion damage, estimated and observed. To the left: the DMK-area, to the right: the DTM-area.

Vekkvasket matjord

Regresjonsanalysen av vekkvasket matjord ga kun vannhastighetsvariablen som signifikant. r^2 er større for DTM-området enn DMK-området. Også for vekkvasket matjord er vannhastighetsvariablen basert på helningen ved normal-vannstand bedre enn ved flommen 1995.

Område med DMK, helning v. normalvannstand:

$$(M_v / A_j)^{3/4} = 1.514V_{tn} - 2.20501 \quad r^2 = 0.73 \quad (\text{lign 6})$$

Område med DMK, helning v. flommen 1995:

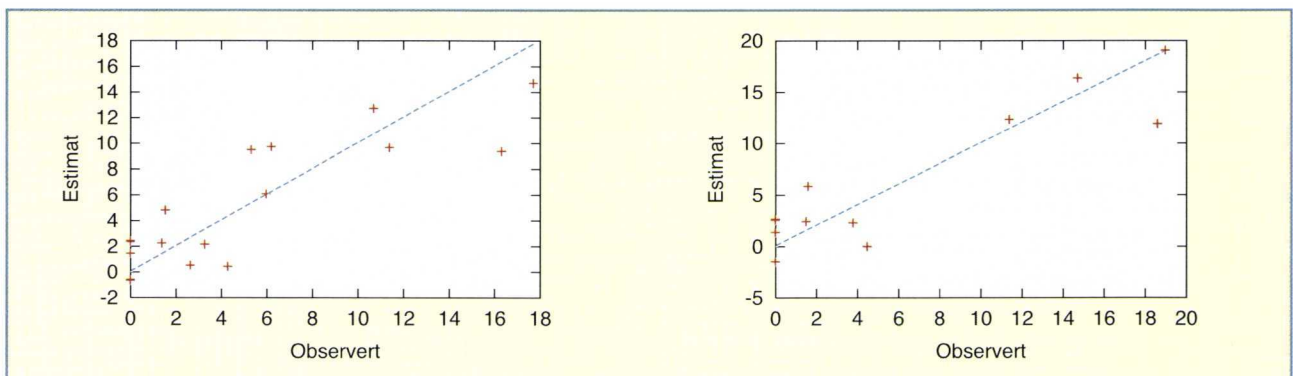
$$(M_v / A_j)^{3/4} = 1.414V_{tf} - 2.40753 \quad r^2 = 0.69 \quad (\text{lign 7})$$

Område med DTM, helning v. normalvannstand:

$$(M_v / A_j)^{3/4} = 2.024V_{tn} - 3.53959 \quad r^2 = 0.83 \quad (\text{lign 8})$$

Område med DTM, helning ved flommen i 1995:

$$(M_v / A_j)^{3/4} = 1.723V_{tf} - 2.95067 \quad r^2 = 0.72 \quad (\text{lign 9})$$



Figur 15. Vekkvasket matjord, estimert mot observert skade. Merket med elvestrekningssnr.
Til venstre: DMK-området, til høyre: DTM-området.

Figure 15. Eroded topsoil, estimated and observed. To the left: the DMK-area, to the right: the DTM-area.

Sedimentasjon

Elvestrekning 17 er holdt utenfor analysen pga at det her er registrert svært store avsetninger, mye mer enn volumet som er registrert gravd ut. Dette kan være en feilregistrering, eller det kan være en effakt av lmsa som munner ut like ovenfor. Forhold ved sidevassdrag er ikke inkludert i analysene.

For sedimenterte masser er det bare omfanget av graveskadene som er signifikant. Analysen på DTM-området ga mye større r^2 enn analysen på DMK-området, noe som kan bero på at registreringene av sandavsetningene i DTM-området nok er noe bedre enn på deler av det øvrige området. I DTM-området tilsvarer sandavsetningene ca 1/3 av graveskadene i volum. Avsetningene er nok noe større i skogspartier enn på åpne jorbruksarealer.

Område med DMK:

$$M_s / A_j = 0.1091 M_g / A_j + 5.8731 \quad r^2 = 0.32 \quad (\text{lign 10})$$

Område med DMK:

$$M_s / A_j = 0.2807 M_g / A_j + 2.90655 \quad r^2 = 0.77 \quad (\text{lign 11})$$

Brudd i flomverk

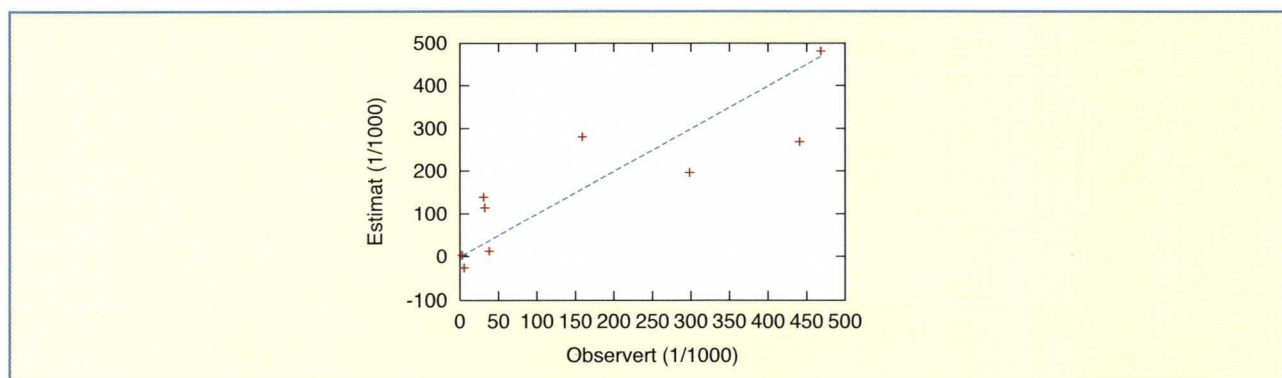
For graveskader som oppstod ved brudd i flomverk er det bare funnet en signifikant variabel: volumet av bassenget som ble fylt opp.

$$M_g = 3.328 \cdot 10^5 (A_{flv} H_o)^{0.16} - 884421 \quad r^2 = 0.74 \quad (\text{lign 12})$$

Avlingsskader

Avlingsskader kan deles i to grupper:

- Avlingsskader i skadeåret og manglende avling inntil arealet er utbedret
- Avlingsreduksjoner i kommende år som følge av redusert jordkvalitet



Figur 16. Skader ved brudd i flomverk, estimert skade mot observert i ligning 12.

Figure 16. Flood damage at breaches in levees, estimated and observed.

Avlingsskader i skadeåret knytter seg i hovedsak til drukning av planteveksten og på engarealer også forringelse av førkvaliteten. Ifølge avlingsregistreringer på oversvømmede arealer etter flommen i 1995 (STABBE-TORP 1995), varierte skadene mye, men det var ikke noe entydig mønster mellom antall dager oversvømmelse og avlingsreduksjon. Hvor langt veksten var kommet i utviklingen og om det var strømmende eller stillestående vann så ut til å være av betydning. Men det er stor forskjell mellom vekstene, korn hadde på noen arealer klart seg relativt bra med en oversvømmelse på opptil 8-9 dager, mens potet tåler langt mindre (stor utgang etter 1-2 dager oversvømmelse. Eng vokste som normalt igjen etter oversvømmelsene, og andre slått ble relativt

bra. Tilleggs gjødsling med nitrogen ga i de fleste tilfeller tydelig positiv effekt på avlingene.

Avlingsregistreringer utført av JORDFORSK (Haraldsen pers. medd.) viste store avlingsreduksjoner på hvetearealer i Solør, ca 40 % ved 4-5 dager oversvømmelse, og ca 35 % ved 1-2 dager oversvømmelse.

Arealene med vekkasket matjord må få gjenoppbygget innholdet av organisk materiale før de er tilbake på opprinnelig avlingsnivå. Jordprøver tatt i Øksna-området antyder et organisk innhold på rundt halvparten av innholdet i uskadet jord. Det tar imidlertid lang tid å bygge opp igjen moldinnholdet dersom det ikke dyrkes en

flerårig vekst en periode. Selv da kan det ta 10–20 år og kanskje ennå lenger tid før moldinnholdet er tilbake på nivået før flommen. En grunneier i Storelvdal som fikk store sandavsetninger i en tidligere flom, hevder at det var synlige forskjeller på veksten iallfall i 20 år etterpå, og det var på eng med stor dosering av husdyrgjødsel. Nå er nok situasjonen på arealer med vekkvaske matjord betydelig bedre enn på slike sandavsetninger.

De langsiktige skadene på arealer med graveskader avhenger i stor grad av utbedringsmåten. Dersom ifylte masser har tilsvarende kvalitet som massene som forsvant blir avlingseffektene her noenlunde tilsvarende som arealer med vekkvaske matjord. Imidlertid ble de fleste graveskadene ifyllt med tilgjengelige sedimentasjonsmasser som flommen etterlot. Disse massene er i stor grad utvasket for finstoff. I tillegg måtte disse massene i de fleste tilfeller suppleres med masser fra utmark. For sentrale deler av Østerdalen bestod disse massene for det meste av glacielluviale avsetninger med lite finstoff. I Nordøsterdal derimot lyktes det for mange å få tak i bresjøavsetninger av bra kvalitet, men transporten ble for noen relativt lang. Utbedringsmassene vil

ha stor betydning for plantenes vannhusholdning (lagringsevne og kapillærtransport) og muligheter for å komme seg opp igjen på avlingsnivået før flommen. Det er også av stor betydning særlig for de første årene, hva som gjøres av eventuell jordforbedring i topplaget (innblanding av mold, torv, kloakkslam, grønngjødsling o.l.)

Noen grunneiere som har fått et par år med dyrking på slike utbedrede arealer antyder at avlingene i 1997, som var et relativt tørt år, lå på ca 50–60 % av det de ville kunne forvente uten skader, og at avlingene i 1998 med svært god nedbørfordeling kanskje lå ca 10–20 % under.

Skadede arealer vil være uegnet for potetdyrking noen år.

Estimering av skadeomfang etter flom på plantevekst forutsetter funksjoner for hvor store arealer som fikk de ulike skadene. Ligningene nedenfor viser resultatene av tilsvarende regresjonsanalyse som for tap av jord, med areal som responsvariabel:

Graveskadet areal A_{gs} , DMK-område:

$$\sqrt{A_{gs} / A_j} = 0.02454V_{tn} + 0.3892A_j / A_{tot} - 0.0002534A_j / L - 0.203403 \quad r^2=0.72 \quad (\text{linje 13})$$

Areal med vekkvaske matjord A_{vs} , DTM-område:

$$(A_{vs} / A_j)^{3/4} = 0.04507V_{tn} - 0.0672747 \quad r^2=0.75 \quad (\text{linje 14})$$

Areal med sedimentasjon A_{ss} , DTM-område:

$$A_{ss} / A_j = 3.946A_{gs} / A_j + 0.0323263 \quad r^2=0.68 \quad (\text{linje 15})$$

2.6.3 Skadefunksjoner

Jordtap

Basert på regresjonsanalysene er det satt opp 3 skadefunksjoner for risikoen for massetap, en for et turbulens-framkalt massetap (graveskader), en for vekkvaske av matjord og en for graveskader ved brudd i flomverk.

Viktige momenter for risikoen for graveskader og vekkvaske av matjord, har det ikke vært mulig å trekke inn i analysene av skadeomfanget etter flommen i 1995. Dette gjelder i første rekke vekstvalg og arealtilstand. Selv i områder med mye engdyrking, har omfanget av åkervekster i de mest utsatte områdene langs elva vært stort. Bl.a. tilgang på vatningsvann, maskintekniske og agronomiske hensyn tilsier at grunneierne dyrker åker-

vekster nær elva eller på elveslettene generellt. I områder hvor eng dominerer i et belte langs elva bør risikoen for graveskader på eng og åker beregnes hver for seg. Basert på faktorer i den universelle jordtapsligningen (WISCHMEIER 1978) kan en sannsynlig korreksjonsfaktor for engarealet være ca 5 %.

Ved beregning av risikoen for vekkvaske av matjord bør iallefall arealet splittes i eng og åker, selv om regresjonsanalysene ikke ga signifikans for en slik variabel. Basert på WISCHMEIER (1978) kan en slik korreksjonsfaktor for eng settes til ca 3 %. Det samme gjelder dersom en betydelig andel av åkerarealet ikke blir pløyd. Ved kun harving kan korreksjonsfaktoren settes til 50 % (ca halvt pløydyp), men for direktesåing er det noe mer usikkert. Fremdeles ifølge WISCHMEIER (1978) kan 20 % være en sannsynlig korreksjonsfaktor.

Risiko for graveskader på en elvestrekning basert på regresjon 3.2 (se også tabell 13 for beskrivelse av variablene):

$$S_{mg} = f_v [1.026 F(v,t) + 16.98 A_j/A_{tot} - 0.01069 A_j/L - 8.93337]^2 \quad (\text{lign 16})$$

Der $S_{mg} = M_g/A_j$ (m^3/daa), f_v er en faktor for vekstvalg og $F(v,t)$ er integralet av vannhastigheten i oversvømmelsestiden:

$$F(v,t) = \int \left[\left(bh/(b+2h) \right)^{2/3} \sqrt{I_n} \right] dt \quad (\text{lign 17})$$

Risiko for vekkvasjing av matjord på en elvestrekning basert på regresjon (3.8):

$$S_{mv} = f_{vj} [2.024 F(v,t) - 3.53959]^{4/3} \quad (\text{lign 18})$$

der $S_{mv} = M_v/A_j$ (m^3/daa) og f_{vj} en faktor for arealtilstanden (vekststadium, jordarbeiding). Regresjonen for DTM-området er valgt hovedsaklig på grunn av at registreringene i deler av DMK-området er noe mer mangelfulle.

Sedimentasjon

Risiko for sedimentasjon på en elvestrekning basert på regresjon 3.11:

$$S_{ms} = 0.2807 S_{mg} + 2.90655 \quad (\text{lign 19})$$

der $S_{ms} = M_s/A_j$ (m^3/daa)

Brudd i flomverk

Risiko for graving ved brudd i flomverk basert på regresjon 3.12:

$$S_{fv} = 3.328 \cdot 10^5 (A_{fv} H_o)^{0.16} - 884421 \quad (\text{lign 20})$$

der $S_{fv} = M_g$ (m^3). Dette er en funksjon pr område som er beskyttet av flomverk, og gjelder for gravingen som skjer idet bruddet oppstår og arealet fylles opp uten at vannstrømmen renner over arealet under resten av oversvømmelsesperioden. I slike tilfeller må det beregnes en tilleggsrisiko basert på funksjonene 16 og 18. I områder hvor vannet ikke strømmer over arealet vil sedimentasjonsskadene i volum tilsvare graveskaden.

Avlingstap

Effektene av flomskader på avlinger er en svært komplisert materie å forholde seg til. Det finnes et utall av kombinasjoner av utbedringsmåter, og mulige jordforbedringstiltak og vekstvalg/dyrkingsteknikk for å gjøre det beste ut av situasjonen. Men det foreligger lite av forsøk og registreringer av slike ulikekombinasjoner som baserer seg på en tilsvarende situasjon. Estimering av skadefunksjoner for jordbruksproduksjonen blir i beste fall et grovt og svært forenklet skjønn.

Det er vurdert som litt for spekulativt å gjøre noe forsøk på å sette opp noen skadefunksjoner på foreliggende kunnskaper. Men det kan gjøres noen grove overslag over avlingskadene for å gi indikasjon på dimensjonen av denne delen av skadebildet.

På engarealer synes det som om skadene består i vekststans i oversvømmelsestiden pluss forringelse av fôr-kvalitet. For korn er det noe mer komplisert, noen sådde i på nytt, korn eller annen vekst, mens andre fikk små til

store avlingsreduksjoner. På potetarealer måtte det for det meste settes på nytt eller isåes med en annen vekst.

Når det gjelder de langsiktige effektene, antas avlingsnivået på arealene med vekkvasjet matjord å være 80 % av normalen i de første årene og at arealene er tilbake på opprinnelig nivå i løpet av 20 år. På arealer med graveskader forutsettes det at de anvendte utbedringsmetodene i middel betyr ca 40 % avlingsreduksjon de første årene og at avlingene er oppe på et nivå tilsvarende 85 % av sitt førflomnivå i løpet av 30 år. (I tillegg har det på flere av de større skadene gått et par-tre år før arealene var istandsatt.) Det er ikke utenkelig at dette er i overkant optimistisk når sandavsetningene brukes som fyllmassene i gropene, supplert med glaci-fluviale avsetninger på arealer som opprinnelig bestod av sandig silt eller siltig finsand. Noen steder er det imidlertid foretatt massebytte med tilgrensende areal slik at det er lagt på et ca 0,5 m sjikt på toppen. I slike tilfeller burde det være mulig å komme opp i 90-95 % av opprinnelig avlingsnivå.

Ligningene for risikoen for skadet areal av de ulike skadetyperne er basert på 13, 14 og 15:

Areal med graveskader $S_{ag} = A_{gs}/A_j$, DMK-område:

$$S_{ag} = f_v \left[0.02454F(v,t) + 0.3892A_j / A_{tot} - 0.0002534A_j / L - 0.202945 \right]^2 \quad (\text{lign 21})$$

Areal med vekkasket matjord: $S_{av} = A_{vs}/A_j$, DTM-område:

$$S_{av} = f_{vj} \left[0.04507F(v,t) - 0.0672747 \right]^{4/3} \quad (\text{lign 22})$$

Areal med sedimentasjon: $S_{as} = A_{gs}/A_j$, DTM-område:

$$S'_{as} = 3.946A_{gs} / A_j + 0.0323263 \quad (\text{lign 23})$$

der faktorene f_v og f_{vj} er de samme som i ligning 16 og 18.

2.6.4 Kostnader

Svært forenklet og skjønsmessig kan det settes opp følgende ligninger for kostnader for de enkelte skadetyperne for flommen i 1995. Masseprisene er basert på noen grunneieres kostnader ved utbedringer. Disse er entrepenør-priser for vinterarbeid.

Noen arealer ble klassifisert som totalskadet ved skjønn og taksten beregnet på grunnlag av bruksverdien av arealene. Det viser seg imidlertid at grunneierne også utbedrer slike skader dersom de arronderingsmessig ligger godt til. Alle skadene som dette arbeidet bygger på er reparert. Kostnadsberegningene her er derfor basert på utbedring av alle skadene.

For sedimentasjons-masser forutsettes det at ca 20 % har blitt avsatt i en slik avstand at de kan brukes til å fylle i graveskadene. Resten må leses opp og kjøres vekk. Sedimentasjonsmasser fylles i graveskadene, $k_s \approx 10$ - kr/m³:
 $K_s = 0.2 M_s k_s$

Sedimentasjonsmasser transporteres vekk, $k_t \approx 20$, - kr/m³.
 $K_{ts} = 0.8 M_s k_t$

Graveskadene suppleres med tilkjørte masser, $k_g \approx 25$, - kr/m³
 $K_g = (M_g - 0.2 M_s) k_g$

Tilkjøring av jordforbedring, 5 cm (50 m³/daa), $k_f \approx 50$, - kr/m³
 $K_f = 50 A_{gs} k_f$

Avlingssvikt på oversvømmet areal (inklusive arealer med vekkasket matjord) er kun basert på korn. Det er noe bedre pris pr førenhet på eng, men samtidig er avlingsreduksjonen mindre. Det forutsettes her kornpris $p_k \approx 1,60$ kr/kg, forventet avling $y_k \approx 500$ kg/daa og midlere avlingssvikt $y_0 \approx 50$ %:
 $K_{y0} = (A_j - A_{gs}) y_k y_0 p_k$

Avlingssvikt på areal med vekkasket matjord, år 1-20:

$$K_{yv} = A_{vs} y_k p_k (20 \cdot 0,2/2)$$

Avlingssvikt på areal med graveskader (2 år uten avlinger, kapitalisering med 5 % rentefot, avlingspotensial 85 % av opprinnelig avlingsnivå oppnås etter 30 år):

$$K_{yg} = A_{gs} y_k p_k [2 + 30 \cdot (0,4 + 0,15)/2 + 0,15/0,05]$$

Ved multiplikasjon av ligningene ovenfor mot hele området fåes:

K_s	1.574.400,-	kr
K_{ts}	12.595.200,-	kr
K_g	23.269.000,-	kr
K_f	1.465.000,-	kr
K_{y0}	17.269.200,-	kr
K_{yv}	3.088.000,-	kr
K_{yg}	6.211.600,-	kr
Sum	65.472.400,-	kr

Dette gir en liten indikasjon på kostnadene, men det må presiseres at arealgrunnlaget for området (DMK) er mangelfullt og at det er skader som ikke registrert. Kostnader knyttet til punktskader som veger, gjerder, rydding av rask, o.l. er ikke behandlet i dette arbeidet i det hele tatt.

3. Konklusjoner

3.1 Sammenligning med flommen i 1995

Ved en sammenligning med Tabell 1 er det følgende poster (i million kroner) som ikke omfattes av kostnadsfunksjonene i denne rapporten, når det tas hensyn til skader på jordbruk:

Bygg, museer, skole	31
Kommunale og fylkeskommunale anlegg	65
Avbruddsforsikring	100
NSB innteksttap	54
Strakstiltak: Beredskap, opprydding, forbygging	313
Egenandel privat sektor	100

Til sammen blir dette 663 million kroner. Med andre ord vil 37% av det totale estimatet på 1816 million kroner falle utenom kostnadsfunksjonene.

3.2 Viktigste prediktor

Den viktigste fysiske prediktor er vannstanden. Hvis det antas at flommen skjer ved en langsam og gradvis øking av vannføringen, så betyr det at flomtoppen kan betraktes som en stasjonær tilstand langs hele vassdraget. Dette ville tilsvare at det er et entydig forhold mellom gjentaksinterval og vannstand. Egentlig er det den relative vannstand som er vesentlig, dvs vannstanden i forhold til de objektene som kan utsettes for skade. For bygningers vedkommende er dette påvist nokså nyansert, takket være de detaljerte inngangsdata..

Erosjon og utgraving er en følge av vannhastigheten. Denne er i første rekke en funksjon av vannføringen, slik at en større vannføring vil gi en større midlere hastighet i elva. Det er likevel de lokale hastighetene som forårsaker graving. Disse kan ikke predikteres av flomstørrelsen alene.

Varighet på oversvømmelsen er derimot uavhengig av vannstand. Vanlig oppfatning tilsier at varigheten vil ha en innflytelse på skadeomfanget. Det er likevel kommet indikasjoner på at denne sammenhengen ikke er så klar, blant annet med hensyn på skade på boliger og jernbane.

Klima og værforhold kan ha en betydning spesielt for skade på jordbruk. To viktige variable er årstid og temperatur. Hvis en ser bort fra at en flom under vinterforhold er mindre sannsynlig, kan et slikt sammentreff føre til et noe annet skadebilde enn slik at som tilfellet var i juni 1995, for eksempel for veietaten. For øvrig vil sesongbetonte variable så som klima og vær bare ha mindre betydning for de skadetyperne som denne rapporten omfatter.

3.3 Feilkilder

Det er en rekke feilkilder som kan ha bidratt til unøyaktighet i kostnadsfunksjonene:

- Størrelse og homogenitet på statistisk utvalg
Dataene for bygninger gir en større sikkerhet for numerisk analyse i og med at utvalget er så stort. Bare i Åsnes kommune var det 86 boliger. Selve bygningene, skade-forholdene og utbedring av skadene er trolig mer standardiserte enn tilsvarende er for offentlige anlegg. I tillegg er utvalget av offentlige anlegg også tallmessig mindre.
- Usikkerhet i estimering av kostnader
En del av datagrunnlaget er fra de opprinnelige estimatene som ble laget av offentlige etater umiddelbart etter flommen i 1995 for å melde inn ressursbehov til Regjeringen. Disse estimatene har den fordel at de er detaljerte med hensyn på de fysiske skadene som det er sikret en god oversikt over. De tilhørende estimatene av kostnadene derimot er basert på erfaringsgrunnlag og den usikkerhet dette innebærer.
- Inkonsekvens med hensyn på definisjon av skader
I denne rapporten er det lagt vekt på direkte skader i tråd med forutsetningene som er nevnt i avsnitt 2.1. Enkelte av de etater og organisasjoner som er blitt skadelidende på grunn av flommen, ser også på indirekte kostnader som like reelle utgifter i sine regnskap etter flommen. Det har ikke vært mulig å utelukke at noen av de kostnadsdata fra den offentlige sektor som er benyttet også inkluderer indirekte kostnader. For den private sektor ligger det ingen mulighet til å få erstattet indirekte tap, så det finnes heller ingen data om det.
- Forenkling av årsaksforhold
Skader på infrastruktur særlig i Gudbrandsdalen viste at strømningsforholdene i Lågen alene ikke er tilstrekkelig som prediktor av flomskade. Vesentlige skader oppsto på grunn av sideelver som forårsaket store utvaskinger ved kryssing av vei og jernbane. Disse tallene ligger inne i datagrunnlaget slik at kostnadsfunksjonene vil overestimere flomskaden i forhold til vannføring eller vannstand i selve hovedelva.
- Senvirkninger av skader
Enkelte skader på konstruksjoner viser seg ikke før en tid etter flomepisoden. Dette gjelder eksempelvis setninger i fundamenter. Slike senvirkninger har som regel ikke vært inkludert i de opprinnelige estimatene og er kanskje til og med ikke tatt med i de endelige kostnadsoversikter som etatene har over flomskadene.

- Usikkerhet i registrering av vannstand

Den relative vannstanden har vært svært nøye angitt for hver bygning som har hatt flomskade. Dermed er sammenhengen mellom skadekostnad og den hydrologiske prediktor etablert langt sikrere enn for de andre sektorene. Det mangler en tilsvarende nøyaktig registrering av vannstanden i forhold til hvert enkelt av de offentlige anlegg som inngår i datagrunnlaget. Dette kan måles inn i ettertid, men en slik oppgave har ligget utenfor rammene av dette prosjektet.

Konsekvensene av flommen i 1995 representerer hele datagrunnlaget for HYDRA-prosjektet generelt og dermed også for generaliserte kostnadsfunksjoner. Det er ikke gjort noen vurdering av hvor representative disse dataene er for andre regioner og andre vassdrag.

3.4 Anvendelighet i kost-nytte analyse

En av hensiktene med kostnadsfunksjonene er at de skal anvendes i en kost-nytte analyse for planlegging av effektiv flomsikring. En slik anvendelse vil være spesielt nyttig for etater med ansvar for flomsikring, så som NVE. Kost-nytte analyse er en metode som er framkommet for å kunne planlegge bruken av begrensede offentlige midler. En grunnleggende antagelse er at kostnadene til å forebygge og utbedre flomskader må bæres av samfunnet som helhet.

Det er mulig å skissere tre forskjellige problemstillinger der kost-nytte analyse kan være nyttig i forbindelse med flommer og flomsikring. Resultatene fra dette delprosjektet kan anvendes i noe forskjellig grad i de tre situasjonene:

- Prioritering blant tekniske løsninger for ett bestemt prosjekt, f.eks. omfang og utforming av et foreslått flomverk

Resultatene som presenteres i denne rapporten vil være for grove og usikre til å kunne benyttes i en slik sammenheng. Ved utforming og dimensjonering av et konkret flomverk i et vassdrag vil det være nødvendig å innhente overslag som er mer nyanserte og som nøyaktig beskriver de aktuelle kostnader som gjelder i den spesifikke situasjonen.

- Prioritering blant adskilte prosjekter innen ett ansvarsområde, f.eks. tiltak i forskjellige vassdrag innen et regionskontor av NVE

På dette nivået vil kostnadsfunksjonene være av hjelp til en første grovsortering blant konkurrerende prosjekter.

- Prioritering av flomsikring som et av flere mulige økonomiske virkemidler for et større geografisk område, f.eks. slik som undersøkelsen av verdien av flomsikring i en del kommuner på Vestlandet (Sand 1986)

På et slikt overordnet nivå vil resultatene som i alt vesentlig er generert ut fra flommen i 1995, komme mest til sin rett.

Det er viktig å påpeke at kostnadsfunksjonene slik som foreslått i denne rapporten, representerer forventingsverdier som egentlig er summen av individuelle skader multiplisert med de tilhørende sannsynligheter. Statistiske fordelinger av skadekonsekvenser er underforstått men ikke eksplisitt benyttet. Skadefunksjonene kommer mer til sin rett jo større utvalget av potensielle skadeobjekter i statistisk forstand er.

Referanser

1. Tiltak mot flom. NORGES OFFENTLIGE UTREDNINGER. NOU 1996: 16.
Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 13. juli 1995.
Avgitt til Nærings- og energidepartementet 13. august 1996.
<http://odin.dep.no/html/nofovalt/offpub/nou/1996-16/index.htm>
2. Lov om vassdrag og grunnvann. NORGES OFFENTLIGE UTREDNINGER. NOU 1994: 12.
<http://odin.dep.no/html/nofovalt/offpub/nou/1994-12/index.htm>
Kap. 22: Flom og erosjon.
<http://odin.dep.no/html/nofovalt/offpub/nou/1994-12/kap22.htm>
3. Flommen på Østlandet. (Gjenoppbyggingen - finansiering og andre tiltak). Redegjørelse av Justisminister Grete Faremo. Stortinget, 14. juni 1995.
<http://odin.dep.no/html/nofovalt/depter/jd/taler/950614.html>
4. Flomskader på Østlandet. St prp nr 2 (1995-96). Finans- og tolldepartementet. 29 september 1995.
5. Rapport om skadefloppen 1995. Statens vegvesen, Hedmark.
6. Rapport om skadefloppen i juni 1995. Statens vegvesen, Oppland.
7. Magne Wathne, Odd Guttormsen. Nyttieverdi av tiltak mot flom og erosjon i vassdrag. Rapport nr. STF60 F88160. SINTEF NHL. 1988.
8. Knut Sand: "Samfunnsøkonomiske konsekvenser av flomsikrings-virksomheten". Rapport STF60 A86067. SINTEF NHL. 1986
9. Flommen på Østlandet i 1995. Konsekvenser for landbruket. Kontaktutvalget for faglig oppfølging i landbruket etter flommen på Østlandet i 1995.
10. Bedre rustet til neste flom. Pressemelding, Landbruksdepartementet, 26.8.96.
<http://odin.dep.no/html/nofovalt/pr-meld/ld/96/k3/960826.html>
11. Erstatning for flomskadede jordbruksareal og avlingstap. Pressemelding, Landbruksdepartementet, 5.8.96
<http://odin.dep.no/html/nofovalt/pr-meld/ld/96/k3/960805.html>
12. NVEs flom- og erosjonssikringstiltak i Lågen-, Glomma- og Trysilvassdragene. Funksjon og virkning under flommen 1995. Delutredning 5.1 for flomtiltaksutvalget. NVE Rapport Nr 07 1996.
13. Øygarden, L., H.O. Eggestad, W.J.F. Standring, G. Goffeng, and N. Vagstad, 1996: Flommen 1995. Skader på jordbruksarealene langs Glomma og Gudbrandsdalslågen.
Technical Report Rapport nr 29/96, JORDFØRSK. ISBN 82-7467-185-6.
14. Stabbetorp, H og K. Hiitola, 1995: Undersøkelser og forsøk i forbindelse med flommen 1995.
Technical report, PLANTEFØRSK Apelsvoll forsknings-senter.W
15. Wischmeier, W.H. og D.D. Smith, 1978: Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning.
Technical Report Agriculture Handbook No. 537, U.S. Department of Agriculture.

Tidligere utgitt i HYDRA-serien

Flomdemping, flomvern og flomhandtering (F)

- F01 Analyse av lange flomserier.
Lars Andreas Roald, NVE.
- F02 Estimating the mean areal snow water equivalent from satellite images and snow pillows.
Thomas Skaugen, NVE.
- F03 Modellstudie av reguleringens flomdempende effekt i Gudbrandsdalslågen.
Magne Wathne og Knut Alfredsen, SINTEF.
- F04 Effekt av vassdragsreguleringer i Glomma og Lågen på stor flom.
Jens Kristian Tingvold, Glommens og Laagens Brukseierforening (GLB).

Miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak (Mi)

- Mi01 Miljøkonsekvenser av flom – flom og vannkvalitet.
Bjørn Faafeng, Espen Lydersen, Gøsta Kjellberg, Vilhelm Bjerknes, NIVA.
- Mi02 Virkning av flom på vannlevende organismer.
Åge Brabrand, John E. Brittain, Ketil Sand, Per Aass, UiO
Gunnar Halvorsen, Kjetil Hindar, Arne Jensen, Bjørn Ove Johnsen, NINA
Jo Vegar Arnekleiv, Dag Dolmen, NTNU
Bjørn Rørslett, NIVA
Jan Henning L'Abée-Lund, NVE.
- Mi03 Miljøeffekter av flomforebyggende tiltak – en litteraturstudie.
Torbjørn Østdahl, Trond Taugbøl og Børre Dervo, Østlandsforskning.
- Mi04 Miljøtilpasninger ved eksisterende og nye flomsikringstiltak – en litteraturstudie.
Torbjørn Østdahl og Trond Taugbøl, Østlandsforskning.

Naturgrunnlag og arealbruk (N)

- N01 Naturlige magasineringsområder.
Bjørn Follestad, Norges geologiske undersøkelse
Noralf Rye, Geologisk institutt, UiB.
- N02 Naturgrunnlag og arealbruk i Glommas nedbørfelt.
Arne Grønlund, Jordforsk.

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

- N04 LANDPINE – en hydrologisk modell for simulering av arealbruksendringers innvirkning på avrenningsforhold.
Trond Rinde, SINTEF – Bygg og miljøteknikk

Tettsteder (T)

- T01 Betydningen av lokal-/total overvannsdisponering (LOD/TOD) på flommer.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS.
- T03 Lokal og total overvannsdisponering (LOD/TOD) – Beskrivelser av anlegg, erfaringer mm.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS.
- T04 Skadereduserende kommunaltekniske tiltak med tanke på flom.
Svein Endresen, Siv.ing. Svein Endresen AS og Oddvar Lindholm, NLH.

Kontaktpersoner

formann i styringsgruppen:	Ola Skauge Tlf. 73 58 05 00 E-post: ola.skauge@dirnat.no
programleder:	Arnor Njøs Jordforsk Tlf. 64 94 81 70 (Jordforsk) Tlf. 22 95 90 98 (NVE) E-post: arnor.njos@jordforsk.nlh.no E-post: xam@nve.no.
naturgrunnlag og arealbruk:	Arne Grønlund Jordforsk Tlf. 64 94 81 09 E-post: arne.gronlund@jordforsk.nlh.no Noralf Rye Universitetet i Bergen Tlf. 55 58 34 98 E-post: noralf.rye@geol.uib.no
tettsteder:	Oddvar Lindholm Norges Landbrukskøghskole Tlf. 64 94 87 08 E-post: oddvar.lindholm@itf.nlh.no
flomdemping, flomvern og flomhandtering:	Dan Lundquist Glommens og Laagens Brukseierforening Tlf. 22 54 96 00 E-post: post@glb.no E-post: danlund@sn.no
skaderisikoanalyse:	Nils Roar Sæltun Norsk institutt for vannforskning Tlf. 22 18 51 21 E-post: nils.saelthun@niva.no
miljøvirkninger av flom og flomforebyggende tiltak:	Olianne Eikenæs Norges vassdrags- og energidirektorat Tlf. 22 95 92 24 E-post: oli@nve.no
databaser og GIS:	Lars Andreas Roald Norges vassdrags- og energidirektorat Tlf. 22 95 92 40 E-post: lars.roald@nve.no
modellarbeid:	Ånund Killingtveit Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet Tlf. 73 59 47 47 E-post: aanund.killingtveit@bygg.ntnu.no
programadministrasjon:	Olianne Eikenæs Norges vassdrags- og energidirektorat Tlf. 22 95 92 24 E-post: oli@nve.no Hjemmeside: http://www.nve.no Per Einar Faugli Norges vassdrags- og energidirektorat Tlf. 22 95 90 85 E-post: pef@nve.no



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

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