NOTAT

Nr. 7

1998

Søren Elkjær Kristensen
Astrid Voksø
NVE

Metodebeskrivelse for flomsoneanalyse med eksempler fra Flisa og Kirkenær

HYDRA

TITTEL: Metodebeskrivelse for flomsoneanalyse med eksempler fra Flisa og Kirkenær.

FORFATTER (E): Søren Elkjær Kristensen, Astrid Voksø

ANSVARLIG INSTITUSJON: NVE

HYDRA-PROSJEKT: Skaderisikoanalyse og miljøvirkninger. Flomsoneanalyse

NOTAT NR.: 7/98 **DATO: 1. september 1998**

SAMMENDRAG:

Målet for delprosjektet er å videreutvikle metodikk for flomsoneanalyse og teste den ved å etablere flomsonekart for en del typeområder. Metoden for generering av flomsoner er utviklet i Arc/Info på basis av tidligere arbeid. En vesentlig del av metodeutviklingen dreier seg om å finne nøyaktige metoder til å generere digital terrengmodell på grunnlag av punkter eller linjer med høydeverdier og digital modell for flomflater. Rapporten beskriver de enkelte metodene og hvilke som er valgt i denne analysen. De cellene i ett grid der differansen mellom flomflate og terreng gir positiv verdi er flomutsatt. Andre del av rapporten analyserer nøyaktighet av flomutsatt areal ved bruk av ulike terrengmodeller generert fra forskjellig datagrunnlag. Spesielt er forholdet mellom 1 og 5 meters koter analysert for små og store flommer. Konklusjonene er at nøyaktigheten av resultatet varierer med størrelsen på flommene og om vannstanden er nær en 5 meters kote. For de største flommene ser 5 meters koter ut til å være tilstrekkelig.

ABSTRACT:

The aim of the project is development of a method for identifying areas prone to flooding and testing the method in a number of areas. The method is developed in Arc/Info on basis of previous work. A main issue was to find accurate techniques to generate digital flood surface based on cross sections with flood water level and digital elevation models (DEM) based on points and lines with elevation values. The report describes the different techniques and the ones used in this study. The cells in a grid where the DEM subtracted from the flood surface give positive values, are inundated areas. Digital elevation models can derive from high-accuracy elevation data (contour lines with 1-meter interval) or from lower accuracy elevation data (contour lines with 5 meters interval). The second part of the study analyses the effect the accuracy of the DEM has on the estimated areas prone to flooding. The report concludes that the accuracy with respect to area varies dependant on flood size and where the flood water level is compared to the contour lines. For the largest floods, DEM from contour lines with 5 meters interval seems to be sufficient.

ANSVARLIG UNDERSKRIFT: Astrid Voksø

INNHOLD:

1 Innledning 2
2 Utarbeidelse av flomsonekart 2
3 Datakilder for generering av terrengmodeller 3
4 Datagrunnlag for høydemodellene 4
5 Metode for generering av terrengmodeller i Arc/Info. 4
5.1 IDW 4
5.2 Kriging 5
5.3 Topogrid 5
5.4 Triangulert irregulært nettverk (TIN) 5
5.5 Pointgrid 6
5.6 Metoder brukt i denne studien 6
6 Resultat av terrengmodellering fra ulike grunnlagsdata 6
6.1 Ved bruk av detaljert høyde (nykonstruksjon) - DEM 6
6.2 Ved bruk av koter med 20 meter ekvidistanse – DEM20 7
6.3 Ved bruk av koter med 5 meters ekvidistanse – DEM5 8
7 Sammenligning av resultater fra terrengmodellering 9
8 Datakilder for vannstand 9
8.1 Vassdragsnivellement 9
8.2 Hydrauliske simuleringer på grunnlag av tverrprofiler 10
8.3 Punktmålinger i felt. 10
9 Metoder for å beregne elveprofil langs elva 11
9.1 Generering av midtlinja av elva 11
9.2 Definere midtlinja som en "rute" 12
9.3 Tilordne vannstander fra ulike kilder til midtlinja 12
10 Metoder for generering av vannflater 14
11 Flomsonekart for ulike vannflater og på ulike terrengmodeller 15
12 Resultater av flomsoneanalyse for ulike vannflater og beste terrengmodell 15
13 Sammenligning av flomsonekart utarbeidet fra ulike terrengmodeller 16
13.1 Sammenligning av flomsoneanalyse fra 5 meters koter med detaljert høyde for forskjellig vannstand i FLISA 16
13.2 Sammenligning av flomsoneanalyse fra 5 meters koter med detaljert høyde for forskjellig vannstand i KIRKENÆR. 20
13.3 Sammenligning av flomsoneanalyse fra 20 meters koter med detaljert høyde for forskjellig vannstand i FLISA 24
14 Følsomhetsanalyse for usikkerhet i vannstand 25
15 Konklusjon 26

Litteraturliste

Vedlegg 1: Høydekoter med 1 og 20 meters ekvidistanse i Flisa
Vedlegg 2: Differanse mellom DEM og DEM20
Vedlegg 3: Høydekoter med 1 og 5 meters ekvidistanse i Flisa
Vedlegg 4: Differanse mellom DEM og DEM5
Vedlegg 5: Flomsonekart Kirkenær. Vannstand som en 50 år flom med flomverk.
Vedlegg 6: Flomsonekart Flisa. Et kart for hver av 5 flomepisoder.
Vedlegg 7: Flomsonekart Kirkenær. Et kart for hver av 5 flomepisoder
Vedlegg 8: Flomsonekart fra ulike høydemodeller. Et for hver av 5 flomepisoder i Flisa.
Vedlegg 9: Flomsonekart fra ulike høydemodeller. Et for hver av 5 flomepisoder i Kirkenær
Vedlegg 10: Følsomhetsanalyse for usikker vannstand. Eksempel fra Kirkenær.

1 Innledning

Målformulering for delprosjektet R2 i HYDRA-programmet er todelt:

- Videreutvikle metodikk for flomsoneanalyse.
- Etablere flomsonekart for typeområdene.

Flomsonekart er kart som viser utbredelse i plan (areal) ved en eller flere flommer med gitt(e) gjentaksintervall.

NVE hadde en metode utviklet i Arc/Info som på grunnlag av informasjon om terrenget og vannflatene beregner oversvømt areal. Denne metoden var ikke testet med hensyn til nøyaktighet og kvalitet. I tillegg var det ikke klart hvor detaljert informasjon flomsonekart har behov for om terreng og vannstand for å oppnå tilfredsstillende kvalitet på resultatet. R2 skal i tillegg til å videreutvikle metoden for flomsonekart, også analysere konsekvensen av å forskjellige detaljering av terrenginformasjonen på flomarealet. For å kunne analysere dette skal det utarbeides flomsonekart for utvalgte områder og ulike terrengmodeller.

Denne rapporten beskriver metoden og resultatene fra det første typeområdet i en strekning langs Glomma i Åsnes og Grue kommuner. Strekningen inkluderer tettstedene Flisa og Kirkenær. Tilsvarende analyser skal gjennomføres for 8 typeområder i Glomma og Trysilelva.

2 Utarbeidelse av flomsonekart

Hensikten med flomsonekart er å identifisere de arealer som er flomutsatt og presentere resultatet på kart. De flomutsatte arealene ligger langs elva og under den høyden som den aktuelle flommen vil ha. Til analysen trenger en da kjennskap til høyden på terrenget langs elva og vannstanden i elva for den aktuelle flommen.

Terrenginformasjon finnes tradisjonelt som høydekurver med ulik ekvidistanse. Nøyaktigheten av terrenginformasjonen gjenspeiles i ekvidistansen og nøyaktigheten i plassering av høydekurvene. Ved digitale metoder kan en også beskrive terrenget ved hjelp av rutenett der hver rute inneholder informasjon om høyden på terrenget. Nøyaktigheten av terrenginformasjonene ved denne metoden avhenger av størrelsen på hver rute og hvor riktig høydeverdien i hver rute er.

Informasjon om vannstand ved ulike flommer simuleres i en hydraulisk modell der inngangsdata er vannføring ved ulike flomstørrelser. Vannstanden nedstrøms er avhengig av dybdeforholdene i elva og terrenget langs elva. Denne informasjonen legges inn i modellen i oppmålte tverrprofiler. Ett tverrprofil er ett dybdesnitt av elva på ett punkt. Elva og elvebreddens dybdeforhold må beskrives i flere tverrprofiler. Tettheten av tverrprofilene sier noe om hvor godt man har fått beskrevet elvas dybdeforhold. Simuleringene gir vannstand ved hvert tverrprofil. Den beregnede vannlinja er generert ved å interpolere lineært mellom tverrprofilene. Til bruk ved utarbeidelse av flomsonekart må man generere en vannflate på bakgrunn av vannlinja. Denne vannflaten skal dekke hele det flomutsatte område og beskrive hvor høyt vannet teoretisk vil stå under den analyserte flommen.

De flomutsatte arealer er de arealer der vannflaten er høyere enn terrenget. Analysen gjøres i rutenett slik at differansen beregnes i hver rute.

Kvaliteten på resultatet er avhengig av hvor god terrrengmodellen (beskrivelse av terrenget i en rutenettsmodell) er , hvor riktig vannstanden er beregnet for den spesifiserte flommen og hvor god selve metoden for å trekke de to høydemodellen fra hverandre er. I R2 er målsettingen å finne sammenhengen mellom kvalitet på terrengmodell og resultat av flomsoneanalysen. I vår analyse brukes ikke simulerte vannlinjer, men vannlinjer beregnet utfra innmålte vannstandspunkter langs elva under flommen i 1966 og i 1995 og for en vannlinje som ligger 1 meter over flommen i 1995. I tillegg er naturlig vannstand overført fra manuelle vassdragsnivellement til digitale vannlinjer. Disse er benyttet til å foreta en flomanalyse på en flom som er like stor langs hele elvestrekningen. Det vil si at vannlinja beregnet for naturlig vannstand er hevet 3.5 og 6 meter langs hele strekningen. For disse 5 flomsituasjoner er flomsonekart utarbeidet fra 3 terrengmodeller basert på forskjellig kartgrunnlag. Hovedvekten legges på å kunne beskrive kvalitetsforskjell på resultat ved bruk av terrengmodeller utarbeidet fra ulike grunnlag. Terrengmodellen utarbeidet fra detaljert høyde og med bruk av terrenglinjer (se kap. 5) regnes som fasit i vår analyse. Under flommen våren 1995 på Østlandet ble flommen vertikalfotografert så nær kulminasjon som mulig. Disse bildene ble bruk som underlag da Statens kartverk digitaliserte flomlinjen. Utstrekningen av flommen i 1995 er derfor kjent. En sammenligning av flomarealkartet for 1995 flommen og flomsonekartet basert på innmålte flomhøyder fra den samme flommen vil bli kommentert.

I tillegg til studier av virkninger på resultatet med bruk av ulike terrengmodeller rapporteres resultater fra en analyse av hvilke endringer i resultat en vannstandsendring på +- 20 cm og +- 50 cm har.

3 Datakilder for generering av terrengmodeller

Flere datakilder kan være utgangspunkt for å lage høydemodeller. Det mest vanlige er gjennom flybilder og fotogrammetri, men det finnes flere muligheter:

- Laserscanning fra fly
- Optiske- og radarbilder fra satellitt
- Landmåling / GPS
- Eksisterende kart

I dag blir de fleste dataene avledet fra fotogrammetri, landmåling og digitaliserte høydekurver.
Valget av datakilde og teknikk for innsamling av data ("samplings" metode) er kritisk med hensyn på kvaliteten til høydemodellen. Dataene som brukes til å lage en høydemodell bør i tillegg til høydeverdier, inneholde informasjon som beskriver formen på terrenget. Denne informasjonen kalles gjerne terrenglinjer. Terrenglinjer er linjer eller punkter i terrenget som bidrar sterkt til terrengets geometriske form. Eksempler på terrenglinjer kan være rygger, elver og andre former som bryter en ellers kontinuerlig overflate - man forventer en forandring i eksposisjon eller helning ved en terrenglinje.
Uavhengig av hvilken datainnsamlingsmetode som er brukt for å innhente dataene til høydemodellen, har man i de fleste tilfelle mer data enn nødvendig for å konstruere en god høydemodell. Mye data betyr at prosesseringstiden øker.
Når man i dag bestiller høydedata fra et kartfirma, får man gjerne produktet levert som punkter og terrenglinjer eller som høydekoter.

Dersom man skal lage høydemodell uten nykartlegging, kan man digitalisere eller scanne eksisterende papirkart med koter. Ved scanning blir kotene først behandlet som rasterdata og deretter vektorisert.
Ved bruk av høydekoter er det kotetettheten (ekvidistansen) som er avgjørende for kvaliteten til høydemodellen. Større ekvidistanse gir færre punkter og derfor en grovere høydemodell sammenliknet med et datasett med mindre ekvidistanse.

For norske forhold er det mest aktuelt å bruke høydekoter fra økonomisk kartverk (5 m ekv.) og hovedkartserien M711 (20 m ekv.). Kvaliteten på en høydemodell laget fra M711 kart tilsvarer i stor grad kvaliteten til det landsdekkende høydegridet som Statens Kartverk har laget. Dette produktet har en feil i høyde på +/- 20 m.
Tradisjonelt er det høydekoter folk tenker på når de tenker på hva som er nødvendig for å lage en høydemodell, men det kan like gjerne være punkter med kjente koordinater i planet med en høydeverdi. Fordelen med punkter er at de gjerne er jevnt fordelt over et område.

4 Datagrunnlag for høydemodellene

Som grunnlag for undersøkelsen er det brukt tre ulike høydegrunnlag:

1. Nykonstruert høydegrunnlag
2. Høydemodell generert fra 5 m koter
3. Høydemodell generert fra 20 m koter fra hovedkartserien i målestokk 1:50 000

Felles for alle høydegrunnlagene var at de i utgangspunktet er representert som punkter og/eller linjer. I analysen er alle dataene konvertert til rasterdata (grid).

Det nykonstruerte høydegrunnlaget består av punkter og terrenglinjer med høydeverdi. Punktene ligger med 5 m avstand. Punktverdiene er utelatt der det finnes terrenglinjer.
Et avledet produkt her er høydekoter med 1 m ekvidistanse .
Ved Fylkeskartkontoret i Hedmark ble det opplyst at det ikke fantes digitale høydekurver fra økonomisk kartverk(ØK) over det aktuelle området. For å få et datagrunnlag tilsvarende ØK ble det derfor plukket ut koter med 5 m ekvidistanse fra nykonstruksjonen. Dette tilsvarer høydekotene slik de ville ha vært i ØK (Vedlegg 3).
Høydekoter med ekvidistanse 20 m har vi kjøpt inn digitalt fra Statens kartverk (Vedlegg 1).

5 Metode for generering av terrengmodeller i Arc/Info.

Nedenfor følger en kort beskrivelse av ulike metoder for å lage høydemodeller. Dette er langt fra alle tilgjengelige metoder, men det er lagt vekt på metoder som er tilgjengelige i ARC/INFO.

5.1 IDW

IDW er en invers avstands vektet interpolasjonsmetode (Inverse Distance Weighted). Det betyr at metoden tar hensyn til avstanden fra punktene med kjent høydeverdi når høyden i et nytt punkt skal interpoleres.
Søkeradius, evt. antall punkter som skal brukes, styres av brukeren.

Med IDW er det også muligheter for å legge inn terrenglinjer uten høydeverdi. Med denne opsjonen vil rutinen bare tillegge punkter som ligger på samme side som prosesseringscellen vekt ved interpolasjon av høyde i det ukjente punktet.
Ulempen med å legge inn terrenglinjer er at eksekveringstiden øker, men resultatet er en bedre høydemodell.

5.2 Kriging

Å komme inn på teorien om kriging blir for omfattende, men jeg skal likevel peke på noen momenter som jeg mener er viktige.
For de som ikke er kjent med metoden henvises til Burrough (1986).
Fordelen med metoden er at man kan studere semivariogrammet for å se hvordan den matematiske modellen som er valgt for å beskrive semivariansen, passer i forhold til den beregnede semivariansen for dataene.
I likhet med IDW kan man også med kriging legge inn terrenglinjer uten høydeverdi.
Metoden er svært regnekrevende og tar lang tid.

5.3 Topogrid

Topogrid baserer seg på en interpolasjonsmetode utviklet av M.F. Hutchinson (1989).
Metoden er spesifikt laget for å få en mest mulig hydrologisk korrekt høydemodell.
En av forutsetningene for metoden er bl.a. at alle forsenkninger (sinks) i terrenget blir fjernet i den endelige høydemodellen dersom de ikke på forhånd er definert som forsenkninger av brukeren.
Det kan brukes både koter og punktdata i denne modellen. I tillegg kan brukeren spesifisere tilleggsinformasjon som f.eks. elver og forsenkninger. Den generelle ulempen ved bruk av koter til interpolering av høydemodeller, er at det mangler høydeinformasjon mellom kotene.
Fordelene ved metoden er at den gir gode muligheter for å verifisere den ferdige høydemodellen. Bl.a. kan man generere datasett som viser de forsenkningene i terrenget som ikke har blitt fjernet ved interpoleringen , samt dreneringsmønster.
Ved å sammenlikne dreneringsmønsteret med eksisterende elver og bekker, kan man få et mål på hvor god høydemodellen er, samtidig som dreneringsmønsteret forteller noe om kvaliteten på dataene som er brukt ved interpoleringen.
Svakheten ved metoden er at den gir et dårlig resultat dersom det er langt mellom kotene, dvs. i flatt terreng. I tillegg kan man noen ganger oppleve at terrenget rundt høydekotene blir forsterket.

5.4 Triangulert irregulært nettverk (TIN)

En TIN-modell er i motsetning til de andre interpolasjonsmetodene basert på vektordata. Dvs. at høydemodellen består av punkter og linjer. TIN-modellen er den eneste av metodene som kan bruke terrenglinjer med høydeverdi direkte i interpolasjonen av høydemodellen. Slik dataene leveres fra kartprodusentene, dvs. som punkter og terrenglinjer, er dette en gunstig metode å bruke til å lage høydemodeller.
I en TIN-modell er hvert punkt i inngangsdataene forbundet med sine to nærmeste naboer. Dette medfører at en TIN-modell er sammensatt av mange små trekanter (fasett mønster).

På bakgrunn av hver enkel "fasett" kan det beregnes helning, eksposisjon etc. på samme måten som i et regulært høydegrid. Det er vanlig å konvertere en TIN-modell til et regulært høydegrid. Gevinsten ved dette er bl.a. en enklere datastruktur og kortere prosesseringstid.

5.5 Pointgrid

Dette er ikke noen interpolasjonsmetode, men en konvertering av punktdata til gridpunkter. Metoden er aktuell å bruke ved konvertering av SOSI-data som er laget som gridpunkter. Dersom punktavstanden i SOSI-dataene er f.eks. fem meter, genererer man et grid med cellestørrelse 5 x 5 m og man sitter igjen med en ferdig høydemodell.
Metoden forutsetter at det ikke er "hull" i høydedataene. Er det hull i dataene må *pointgrid* kombineres eller erstattes av en annen metode.

5.6 Metoder brukt i denne studien

De nykonstruerte høydedataene ble levert som gridpunkter og terrenglinjer. Gridpunkt betyr at leverandøren av høydegrunnlaget har lagt et rutenett over terrenget og beregnet en høydeverdi i hver enkelt rute. For dataene fra Åsnes var punktavstanden 5m. Etter at høydeverdien for hver enkel rute ble beregnet, har man tatt ut terrenglinjer. I de enkeltrutene som tilsvarer en terrenglinje har man deretter fjernet høydeverdien. Det betyr at man har en kontinuerlig høydemodell når gridpunktene kombineres med terrenglinjene.
For å unngå interpolasjon av gridpunktene ble det laget en høydemodell direkte fra punktdataene med kommandoen pointgrid i ARC/INFO. Denne høydemodellen vil inneholde hull der det forekommer terrenglinjer. For å tette hullene i denne høydemodellen ble det laget en TIN-modell basert på både terrenglinjer og gridpunktene. Denne høydemodellen ble deretter konvertert til et høydegrid, og hullene i den første modellen ble "tettet" med høydeverdiene i den nye høydemodellen.
Kotene med 5m ekv. og 20m ekv. ble konvertert til en høydemodell med topogrid rutinen i ARC/INFO. Det ble eksperimentert litt med ulik parametersetting av rutinen, men ikke veldig mye. Det kunne vært brukt mer tid på å optimalisere datasettene for topogrid rutinen. Bl.a. kan man legge inn tilleggsinformasjon om terrenglinjer, elvenettverk etc.

6 Resultat av terrengmodellering fra ulike grunnlagsdata

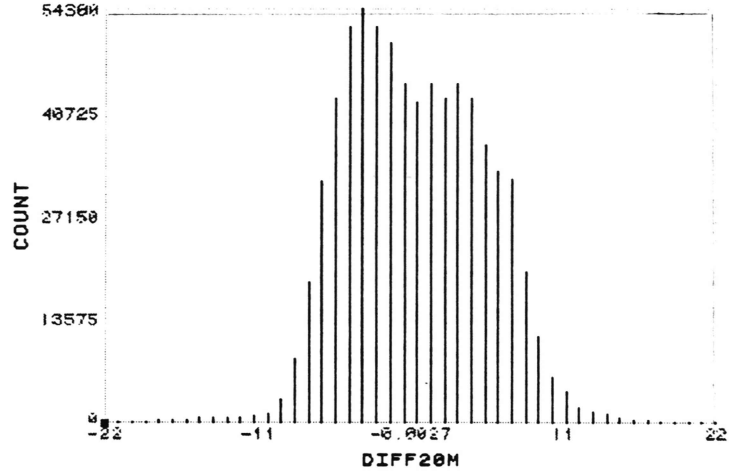
6.1 Ved bruk av detaljert høyde (nykonstruksjon) - DEM

Siden denne høydemodellen er ment å skulle være "fasit" i forhold til de to andre høydemodellene, er antagelsen at modellen gir et riktig bilde av terrenget.
Dersom man ser nærmere på høydemodellen, vil man se at også Glomma har fått tilegnet en høydeverdi. I presentasjonen av høydemodellen er denne høyden fjernet. Denne høyden er feil, og skyldes måten høydemodellen er laget på. Når man lager en høydemodell med TIN i ARC/INFO uten bruk av *breaklines,* vil resultatet bli en kontinuerlig høydemodell. *Breaklines* medfører at programmet ikke interpolerer videre når den støter på en breakline. Elvebredden er et typisk terrengelement som ofte brukes som breakline.
Innsjøene i det kartlagte området er det heller ikke tatt hensyn til. Strengt tatt bør det lages en høydemodell av vannkonturen, fra f.eks. ØK. Høydeverdiene fra denne høydemodellen settes

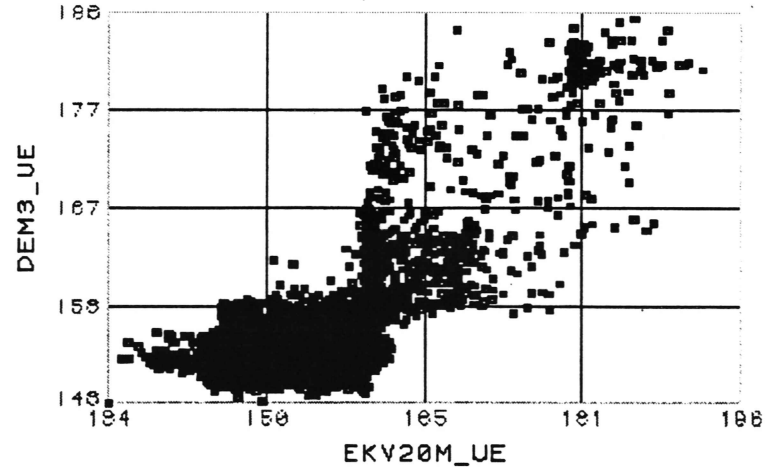
deretter inn i den eksisterende høydemodellen. Slik høydemodellen fremstår i dag, er høyden på innsjøene interpolert på bakgrunn av terrenglinjene og gridpunktene rundt innsjøen.

6.2 Ved bruk av koter med 20 meter ekvidistanse – DEM20

Som det fremgår av kotene (vedlegg 1) er det sparsomt med koter på elvesletten. Dette medfører igjen at høydemodellen blir dårlig. Resultatet (vedlegg 2) er av så dårlig kvalitet at det med en gang kan konkluderes med at dette grunnlaget ikke er egnet for bruk i flomsonekartlegging. Figuren under viser frekvensfordelingen av høydeverdier i differansegridet mellom DEM og DEM20.



En annen måte å se på forskjeller mellom DEM og DEM20, er å se på et scatterplott mellom



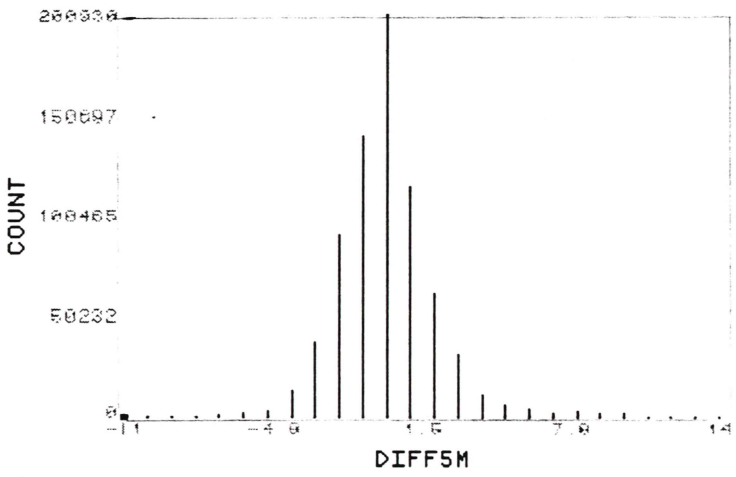
DEM og DEM20.

Figuren viser høydeverdien i de forskjellige høydemodellene plottet mot hverandre. Strengt tatt burde skaleringen på x- og y-aksen være den samme, men den blir satt automatisk i

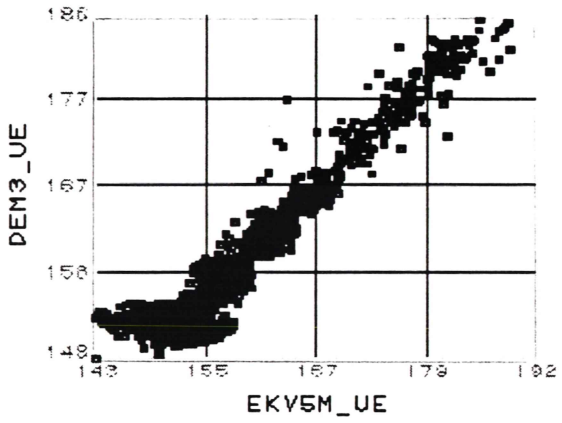
scattergram kommandoen i ARC/INFO. Figuren viser likevel at det er stor forskjell på de to datasettene.

6.3 Ved bruk av koter med 5 meters ekvidistanse – DEM5

Høydemodellen basert på 5m ekv. viser at detaljrikdommen som finnes i DEM ikke er like bra i denne modellen. Spesielt på deler av elvesletten er det liten detaljrikdom. Ved å se på kotene (vedlegg 3) er dette ikke overraskende. Som nevnt over er det kotetettheten som er avgjørende for kvaliteten til høydemodellen.
Differansen mellom DEM og DEM5 viser tydelig at differansen er størst der det er langt mellom kotene. Figuren under viser frekvensfordelingen av høydeverdier i differansegridet mellom DEM og DEM5.



Scattergrammet for DEM og DEM5 viser et bedre resultat sammenliknet med tilsvarende scatterplott for DEM og DEM20.



Vedlegg 4 viser differansen i høyde mellom DEM og DEM5. Litt overraskende ser man at flomverkene er representert i differansegridet som områder med en differanse i høyde på +/- 1m i forhold til originaldataene. Dette skyldes at flomverkene ligger høyere i terrenget enn

områdene bak. Detter medfører igjen at de kan være representert med to høydekoter i et høydegrunnlag der utgangspunktet er koter med 5m ekvidistanse. Siden flomverkene ligger som "rygger" i terrenget vil de i de fleste tilfellene ha sammenfallende høydenivå på for- og baksiden. Dersom denne høyden dividert med fem gir et heltall, vil den være representert i et høydegrunnlag med 5m ekvidistanse. Dersom det motsatte er tilfelle, vil det være en høydekote foran eller bak flomverket som vil være representert i høydegrunnlaget. Uavhengig av hvilken/hvilke koter som er representert i høydegrunnlaget vil det gå på bekostning av enten flomverket eller det flomutsatte området. I relasjon til flomsonekart er dette en uholdbar situasjon

7 Sammenligning av resultater fra terrengmodellering

Som nevnt over, var det høydekotene som ble brukt som inngangsdata for høydemodellene fra 5m ekv. og 20m ekv. Som det fremgår av vedlegg1 og vedlegg3 mangler det mye informasjon i forhold til de nykonstruerte kotene. Dette får konsekvenser når dataene i neste omgang skal brukes som inngangsdata til generering av en høydemodell.

Av vedlegg 2 og vedlegg 4 ser man at det er størst variasjon der det er stor avstand mellom kotene. Variasjonene i høydemodellene er størst mellom de nykonstruerte dataene og høydemodellen basert på koter med 20 m ekvidistanse.
Dersom terrenget gjennomgående hadde hatt en annen topografi ville dette sannsynligvis påvirket resultatet i positiv retning.
For å lage en god høydemodell over slike områder er det nødvendig med et høydegrunnlag som er bedre enn det som finnes på dagens kart i målestokk 1 : 50 000.

Vedlegg 4 viser differansen mellom høydemodellen basert på nykonstruksjon og modellen laget fra koter med 5 m ekvidistanse. Generelt er resultatet bedre her, men også her er det tydelig å se at det er tettheten til høydekotene som er bestemmende for hvor god modellen er sammenliknet med DEM. Konklusjonen for dette datasettet er den samme som for datasettet over.

Flomutsatte områder langs de store vassdragene er gjerne karakterisert ved en bred dalbunn uten store topografiske forskjeller. Et nytt høydegrunnlag er påkrevd for å få med de topografiske nyansene i disse områdene.
For å lage en best mulig høydemodell bør de nykonstruerte høydedataene kombineres med informasjon om vannkonturen fra ØK. De nye høydedataene vil som tidligere nevnt ikke inneholde noen høydeverdi på innsjøene i det kartlagte området.

8 Datakilder for vannstand

Vannstand i elva vil variere ved ulike hydrologiske forhold. I flomsoneanalyse trenger man informasjon om vannstand ved naturlig forhold, som oftest er dette ved lav vannføring og ved ulike flomsituasjoner. Informasjon om vannstand kan hentes fra ulike kilder.

8.1 Vassdragsnivellement

I en rekke elvestrekninger (539 a 25 km elv) i norske vassdrag er vannstanden målt ved lav vannføring. Denne oppmålingen har foregått fra 1921 til 1990. NVE har satt ut egne

fastmerker (bolter i fjell) som er innmålt med jevne mellomrom langs elva. I tillegg finnes det en del fastmerker utsatt av andre etater (NSB, Statens kartverk). Vannstanden er nivellert med utgangspunkt i fastmerkene som har kjent høyde. I tillegg er avstanden fra utløp til havet registrert fra tilgjengelig kartgrunnlag. Ut fra registerte vannstander og avstand er det tegnet ett lengdeprofil av elva på papir. Endring i vannstand er lineær mellom punktene. På nivellementsplansjene er også nedbørfeltet til punktene og til sideelver beregnet ved bruk av planimeter på 1:50.000 kart.

For å kunne finne naturlig vannstand (lav vannstand) langs elva til bruk i flomsoneanalysen er punktene der vannstanden er målt stedfestet med koordinater og overført til Arc/Info som punkter med vannstand som egenskap.

8.2 Hydrauliske simuleringer på grunnlag av tverrprofiler

For å få tak i informasjon om elvas volumkapasitet, benyttes opptak av tverrprofiler på kritiske steder. Tverrprofiler er måling av terreng over og under vann på tvers av elva. Målingene foretas i punkter med jevne mellomrom på tvers av strømretningen. Hvert punkt stedfestes og høyde over havet måles for terrenget over eller under vann. Stedfestingen og høydereferansen av de enkelte punktet gjøres på ulik måte. I den senere tid med bruk av GIS ser man behovet for at punktene er stedfestet med koordinater i forhold til ett spesifikt koordinatsystem (NGO eller UTM) og at høydene refereres til en vedtatt høydenormal. Tverrprofiler tatt ut tidligere kan være referert til et lokalt koordinatsystem som det er vanskelig å finne tilbake til. I tillegg kan høydene være referert til en vannstand som det også er vanskelig å finne ut av hvor er. Kvaliteten på tverrprofilene varierer derfor ikke bare med målemetode, men også med metode for stedfesting og høydereferanse.

For å finne vannstand ved ulike vannføringer i en elvestrekning benyttes hydrauliske simuleringsprogrammer. Inngangsdata i slike simuleringer er vannføring og tverrprofiler langs den elvestrekningen som skal analyseres. Utgangsdata er vannstand ved tverrprofilene.

8.3 Punktmålinger i felt.

Hydrologisk avdeling har jevnlig vannstandsmålinger på ca. 2000 steder i de norske vassdragene. På disse steder kan man ta ut vannstanden ved en spesifikk flomepisode.

I tillegg har det vært registrert vannstander på en rekke steder ved historiske flommer. En del slike målinger er lagret ved at de er registrert på det aktuelle vassdragsnivellement. Kjennskapen til disse er liten og de er bare tilgjengelig på de enkelte plansjer. Det er mye verdifull informasjon om vannstanden ved ulike flomepisoder som ligger i dette materialet som vil bli verdifullt ved utarbeidelse av flomsonekart.

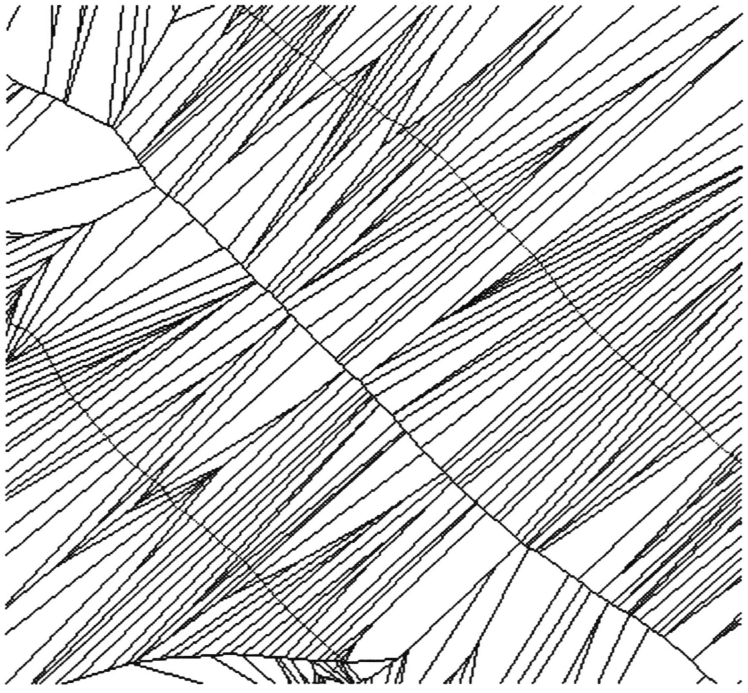
Ved kulminasjonen av flommen i Glomma våren 1995, ble det foretatt en mengde vannstandsmålinger av NVE og Statens vegvesen. Disse ble stedfestet med UTM-koordinator og vannstanden ble referert til NGO-høyder. Disse punktene er overført til Arc/Info som punkter med flomvannstanden som egenskap.

9 Metoder for å beregne elveprofil langs elva

Elveprofiler langs elva gir informasjon om vannstand ved gitte avstander fra utløpet av elva. Dette finnes på plansjer (vassdragsnivellement) og kan lages ved ulike programmer (regneark) når man kjenner vannstand og avstand på en del punkter. Vi har utarbeidet en metode i Arc/Info som tilordner avstand til ethvert punkt langs. De enkelte deler av prosessen beskrives videre i kapitlet.

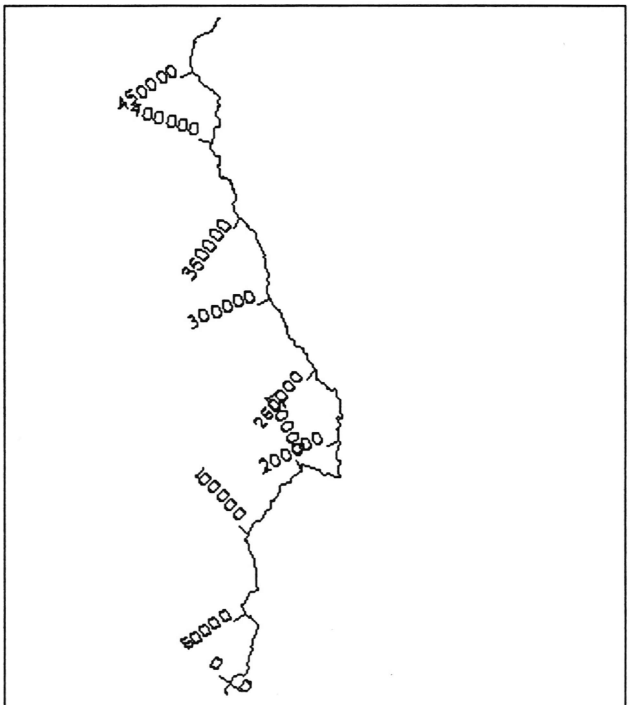
9.1 Generering av midtlinja av elva

I forbindelse med flommen i 1995, ble hele Glomma digitalisert i målestokk 1 : 5000.
Dette datasettet danner grunnlaget for beregning av midtlinjen.
Metoden som er benyttet baserer seg på at elvebredden er representert som punkter.
Elvebredden av Glomma ble derfor omgjort fra linjer til punkter. Punkttettheten ble økt slik at det fantes et punkt for hver 10. meter. Punktene ble deretter brukt som inngangsdata for en rutine i ARC/INFO som lager thiessenpolygoner. Figuren under viser elvebredden sammen med de genererte thiessenpolygonene. Rutinen thiessen vil polygonisere den opprinnelige punktmengden. Det betyr at den lager et polygon til hvert av punktene som ligger langs elvebredden. Utstrekningen av polygonet vil tilsvare halvparten av avstanden til de omkringliggende punktene. For punktene langs elvebredden betyr det at det vil fremstå en klar linje midt i elven. Ved å slette unødige linjer får man isolert midtlinjen som en egen sammenhengende linje. Denne midtlinjen benyttes i det videre arbeidet med å lage ruter langs elven for å nyttiggjøre seg av informasjonen som ligger i vassdragsnivellementene.



9.2 Definere midtlinja som en "rute"

Arc/Infos datamodell "rute" er en metode for å knytte linjer sammen og tilordne informasjon til hvilken som helst del av linjestykke eller samling av linjestykker. En "rute" er i Arc/Info en eller flerer linjestykker som henger sammen med ett startpunkt og sluttpunkt. Avstanden fra start til slutt blir beregnet langs "ruta". Flere "ruter" kan knyttes til samme linjestykke eller en "rute" kan bestå av flere linjestykker som henger sammen i knutepunkt. Egenskapene til "ruta" blir lagt i en tabell. Hver "rute" identifiseres med et navn.



Midtlinja av Glomma fra Fredrikstad tl Alvdal

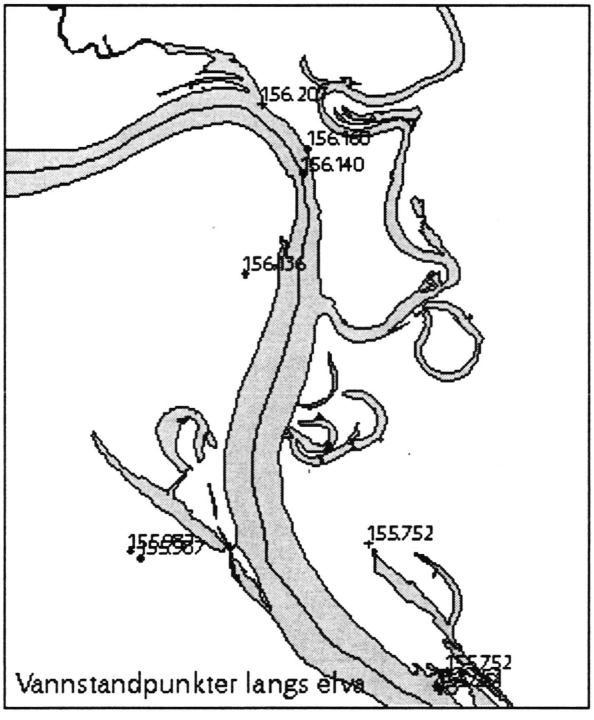
Til å beskrive elva som en linje er midtlinja benyttet.. Glomma er benyttet som test for å se om bruk av "ruter" kan hjelp oss til å finne elveprofil for ulike hydrologiske forhold. Midtlinja fra havet til Alvdal er definert som en "rute" med start ved utløp i Fredrikstad. Midtlinja er delt i linjestykker som tilsvarer hver plansje i vassdragsnivellementene. "Ruta" er kalt "glomma" og starter ved Fredrikstad og går til toppen av Glomma. På "ruta" kan avstandsmerker markeres etter brukerens spesifikasjoner.

9.3 Tilordne vannstander fra ulike kilder til midtlinja

Informasjon om vannstander er knyttet til bestemte punkter langs elva. Disse punktene knyttes til "ruta". Brukeren definerer hvor stor avstand fra "ruta" punktene skal være for at de skal inkluderes.

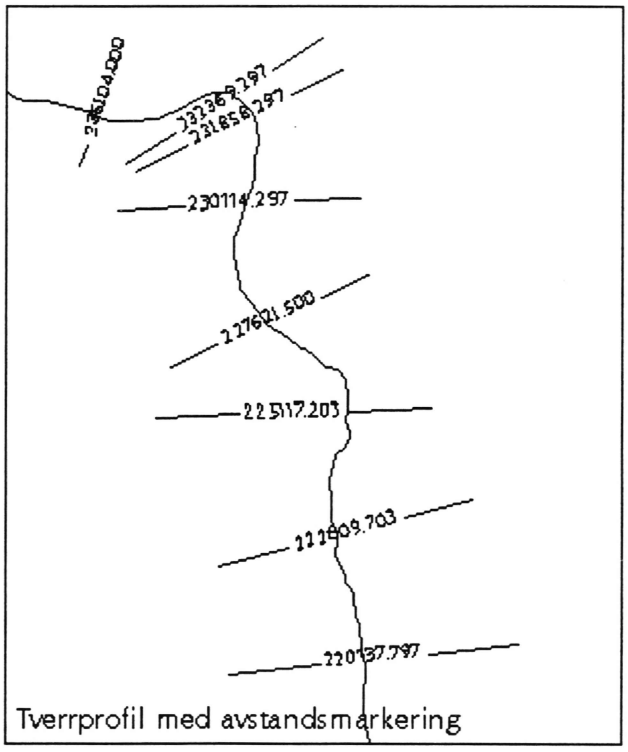
Hvert punkt blir projisert normalt på nærmeste linjestykke og avstanden i det punktet blir knyttet til punktet ("event").

Resultatet er en tabell der hvert punkt får en avstand som egenskap. Vi har laget en tabell for punkter fra vassdragsnivellement, en fra punkter med kulminasjonshøyder fra flommen i 1995 og en fra flommen i 1966. Tabellene inneholder felter for høyde og avstand.



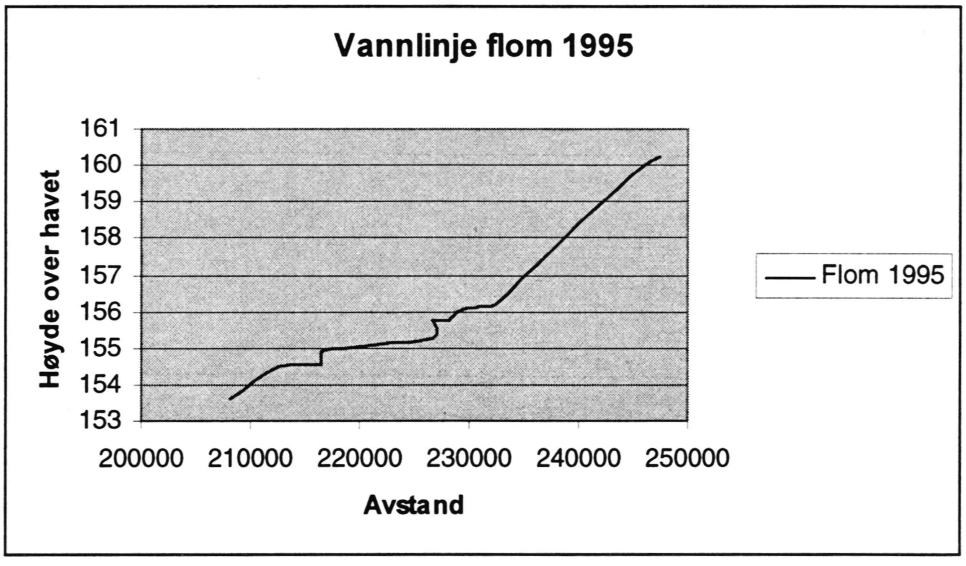
Vannstandpunkter langs elva

Avstand	Høyde
208104.094	153.601
212513.781	154.47
228060.188	155.752
228773.109	155.987
228808.453	155.987
226644.281	155.752
226647.688	155.752
232344	156.207
231842.594	156.168
231696.203	156.14
216667.656	154.92
216467.719	154.57
244649.766	159.65
247486.016	160.23
230892.391	156.136
226600.188	155.251



Tverrprofil med avstandsmarkering

Disse tabellene er grunnlag for opptegning av elveprofil (vannlinje).

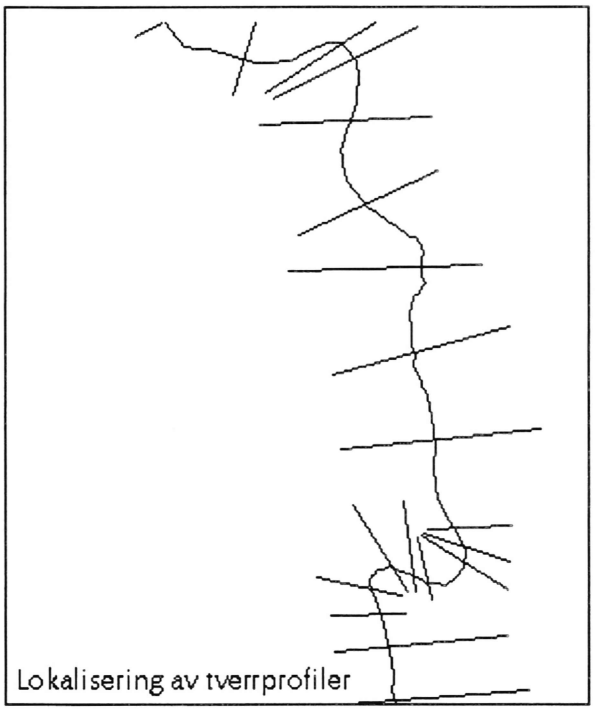


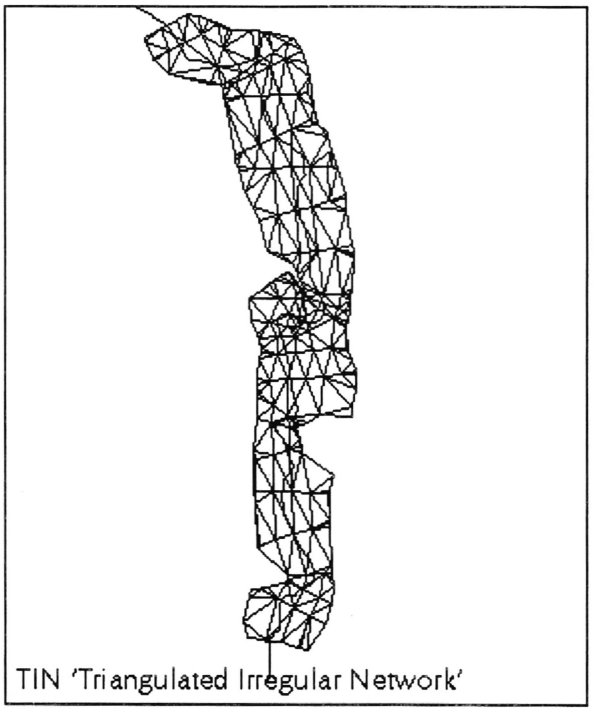
I Arc/Info kan en finne avstand og høyde i et vilkårlig punkt langs "ruta". Den interpolerte høydeverdi langs "ruta" mellom de definerte punktene ("eventene") er grunnlaget for høydebestemmelsen (vannstanden i punktet). Slik kan vi på ethvert punkt i elva finne de interpolerte høydeverdier for de ulike vannstandsforhold og avstanden fra havet i det samme punktet. Dette brukes blant annet til å knytte de observerte vannstander til tverrprofiler i elva.

10 Metoder for generering av vannflater

Elveprofilet som genereres langs midtlinja må utvides til en flate for å finne terrenget langs elva som ligger under den aktuelle vannstanden. Etter vår erfaring finnes det ingen automatisk metode for å utvide en linje til en flate der høydeverdiene fra midtlinja knyttes til punkter normalt på linja. Derfor benyttes en halvautomatisk metode.

I elvas lengdeprofil (vassdragsnivellement) finner man punkter der elvas fallforhold endrer karakter. Linjer legges på tvers av elva slik at endringen i vannstanden er lineær mellom linjene. Antall linjer utvides slik at det er tilnærmet lik avstand mellom linjene. Vannstanden knyttes til tverrlinjene. Den hentes fra de punktene der midtlinja skjærer tverrlinjene. Vannstandsverdiene er interpolerte verdier langs midtlinja mellom kjente vannstandspunkter (nivellementspunkter, observerte eller simulerte flomverdier). Linjene deles opp i linjestykker som er like lange som avstanden i luftlinje mellom tverrlinjene. På dette grunnlaget lages en TIN-modell. Siden avstanden mellom linjestykkene er like lange blir trekantene i TIN-modellen likesidet. Dette gir best resultater ved interpolasjon. Metoden er videreutviklet fra tilsvarende arbeid ved Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske institutt (SMHI) og Dansk hydraulisk institutt (DHI).

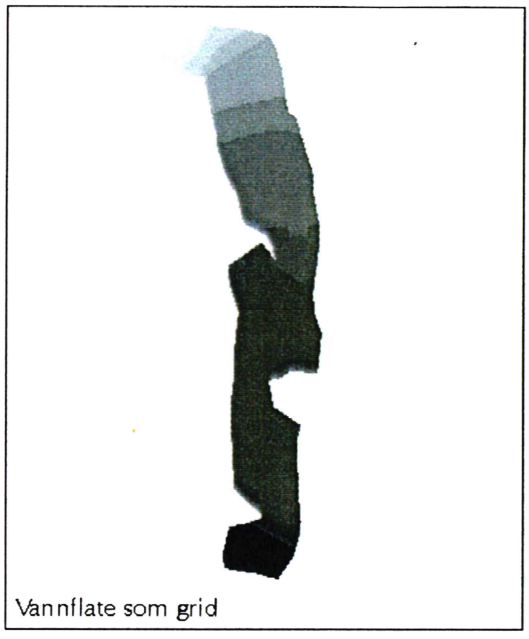

Lokalisering av tverrprofiler


TIN 'Triangulated Irregular Network'

På grunnlag av TIN-modellen lages et regulært høydegrid som beskriver vannstanden i ett belte langs elva ved en spesifisert flomsituasjon. I denne analysene benytter vi celler (ruter/pixler i en grid modell) som er 7x7 meter.

Problemene i denne del av analysen er knyttet til hvor tverrlinjene skal legges. Tverrlinjene må ikke krysse hverandre da man da vil komme i konflikt med vannstandsverdiene. I en meandrerende elv er dette vanskelig å unngå. Problemet løses ved å lage et omkransende polygon som avgrenser analyseområdet og sørger for at tverrlinjene ikke skjærer hverandre.

11 Flomsonekart for ulike vannflater og på ulike terrengmodeller


Vannflate som grid

Grunnlaget for flomsoneanalysen er en digital terrengmodell og et tilsvarende høydegrid som beskriver den aktuelle vannflaten. De flomutsatte områdene er summen av alle cellene der vannflaten er høyere enn terrenget (vannflate – terreng). De cellene som får positiv verdi er areal som er flomutsatt.

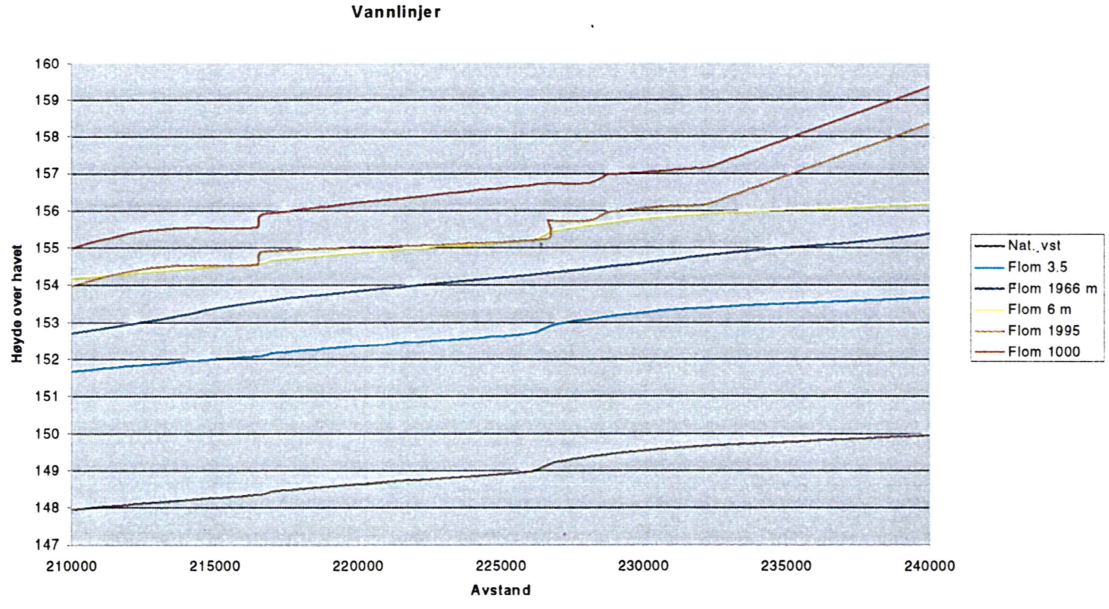
Flomutsatt = vannflate – terreng

Se flomsonekart i vedlegg 5.

Problemene i analysen knytter seg til terrenget bak en rygg (terrenglinjer) eller flomverk langs elva. Slik det blir behandlet i denne analysen blir det arealet betegnet som flomutsatt selv om terrenget ligger bak en beskyttende rygg. Dersom vi kjenner høyden på flomverk eller terrenglinjer, kan man vise terrenget bak flomverket/terrenglinjen med en egen skravur når flomverkets høyde er over aktuell vannstand. (Se vedlegg 5.)

12 Resultater av flomsoneanalyse for ulike vannflater og beste terrengmodell

Det er utarbeidet flomsonekart ved bruk av den mest nøyaktige terrengmodellen – detaljert høyde (nykonstruksjon) og med bruk av terrenglinjer. Kartene er utarbeidet for 5 ulike flomepisoder og for 2 områder i Åsnes og Grue kommene – Flisa og Kirkenær tettsted. Kartene er i vedlegg 6 og 7. Flomsonekartene er utarbeidet uten å ta hensyn til flomverk. De viser dermed hvilke områder som er flomutsatt uten flomforebyggende tiltak.



Så lenge vi ikke har en dokumentert faktisk oversvømmelse uten flomverk, kan vi ikke med sikkerhet si at resultatet er riktig. Målsettingen i dette kapitelet er å vise det beste resultat metoden gir. Flomsonekartene viser beregnet oversvømt areal, plassering av tverrprofiler og simulert eller observert vannstand ved tverrprofilene og vannlinjen i elvestekningen fra vassdragsnivellement og ved den flom kartet beskriver. Kartene i denne målestokk inneholder ikke bygninger og annen infrastruktur. Siden vi presenterer flomsonekart fra en observert flom er vannstand ved tverrprofilene den som er observert eller interpolert mellom noen observerte verdier. Når flomsonekartet viser en flom med et viss gjentaksinterval, vil vannstanden være simulert ved tverrprofilene.

Det er imidlertid utarbeidet ett flomsonekart der terrenget bak flomverkene markeres med egen skravur for å vise at arealet er beskyttet mot flomverk. Dette er en metode som kan brukes i presentasjon av flomsoneanalysene med markering av flomverk og arealene bak flomverkene. Dette kartete inneholder også bygninger og annen infrastruktur. Denne presentasjonene er bare ett forslag og vil ikke bli videreutviklet i R2.

13 Sammenligning av flomsonekart utarbeidet fra ulike terrengmodeller

Innsamling av digitale data om terreng er kostbart og kostnadene øker med krav til detaljering. I R2 er derfor oppgaven å analysere resultat av flomsoneanalyse der det benyttes ulike høydemodeller som grunnlag i beregningen.

Vannstanden er fast for hver av flommene, men flomsoneanalysen vil gi ulike resultater når den blir kjørt mot ulike høydemodeller. For å finne hvordan resultatet endrer seg ved bruk av ulike terrengmodeller er resultatene sammenlignet. Resultat fra høydemodellen beregnet fra detaljert høyde er sammenlignet med resultater fra to andre høydemodeller. Den ene høydemodellen er utarbeidet fra koter med 5 m ekvidistanse og den andre fra koter med 20 meters ekvidistanse. Dette bør gi oss et mål på hvor følsom analysen er for nøyaktigheten i høydegrunnlaget.

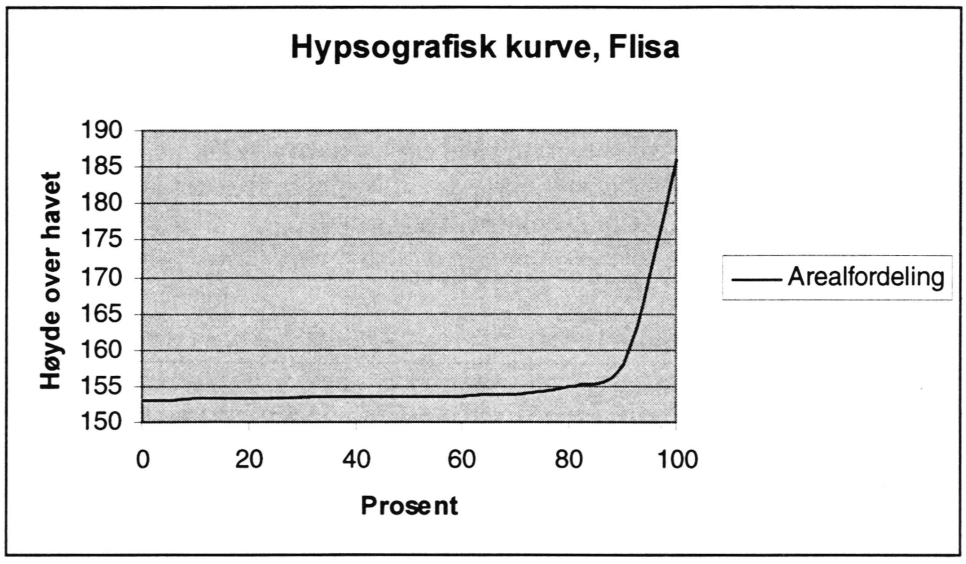
Det er utarbeidet flomsonekart for hver terrengmodell og for hver flomsituasjon. Analysene er utført for områdene rundt tettstedene Flisa og Kirkenær hver for seg. Resultat fra flomsonekart utarbeidet fra høydemodell med lav detaljering (fra 5 meters koter og fra 20 meters koter), er sammenlignet med flomsonekart utarbeidet fra mest detaljerte høydemodell (fra detaljert høyde og med bruk av høyde på terrenglinjer). Sammenfallende flomareal i de to flomsonekartene er sammenlignet for alle analyserte flomepisoder (i begge analysene). I tillegg er de arealer som blir flomutsatt i bare en av analysene beregnet (Bare i detaljert høyde og bare i høydemodell fra koter). I datagrunnlaget er også bygninger fra kart i 1:5000 fra Statens kartverk. Antall bygninger som faller innenfor de ulike arealene er også beregnet. Resultatet av disse beregningene tolkes og et forsøk på å si noe om hvilken reduksjon i nøyaktighet på resultatet man får ved å benytte høydemodeller med lav detaljering beskrives.

13.1 Sammenligning av flomsoneanalyse fra 5 meters koter med detaljert høyde for forskjellig vannstand i FLISA.

Den nest beste terrengmodell som er tilgjengelig er generert fra koter med 5 meters ekvidistanse. Disse data finnes for alle områder der man utarbeider teknisk økonomiske kart.

Det er derfor viktig å analysere om dette grunnlaget gir et flomsonekart som har en akseptabel kvalitet.

I det aktuelle området ved Flisa finnes der høydekoter for 150, 155 og 160 meter. Høyden i hver celle mellom hver kote blir beregnet ved lineær interpolasjon. Dette medfører at terrengmodellen ikke får med seg variasjonen i terrenget mellom kotene. Høydefordelingen i det aktuelle området antas derfor å spille en stor rolle for resultatet.



Hypsografisk kurver beregnet fra høydemodell fra detaljert høyde

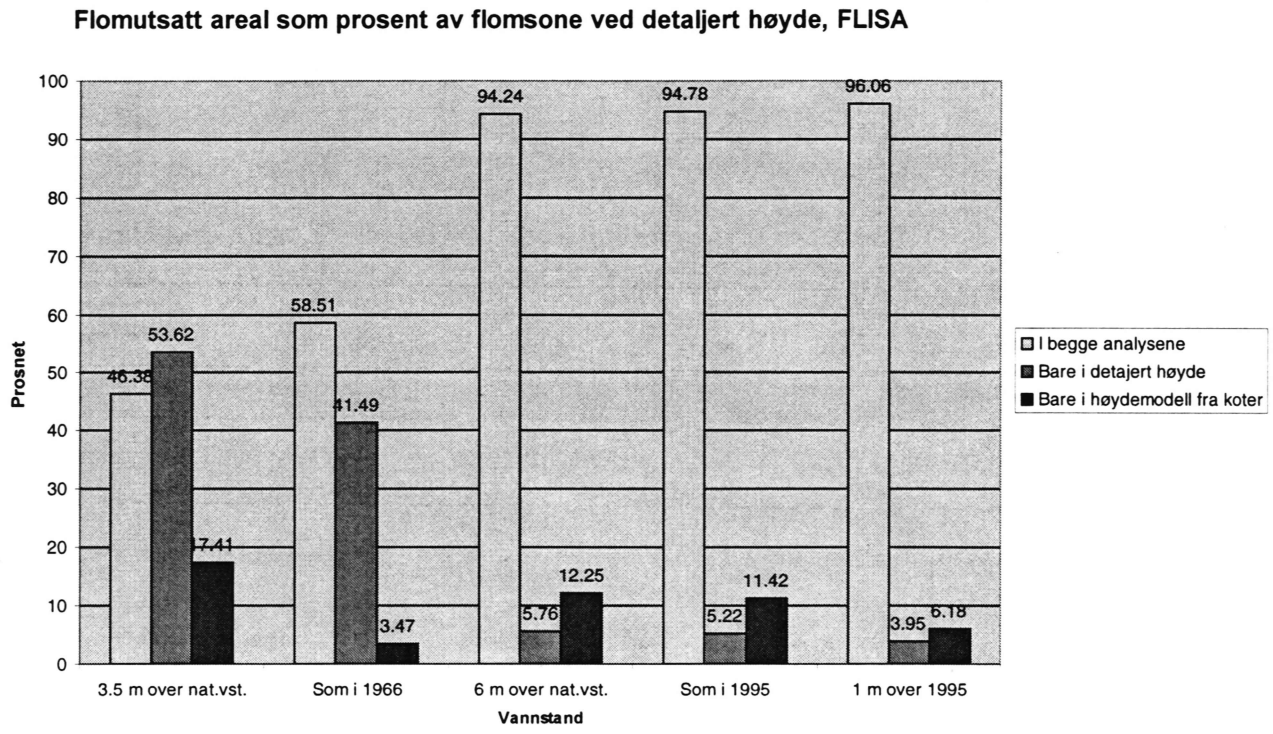
80 % av arealet i Flisa ligger mellom 150 og 155 meter, og det vil si at største delen av arealet ligger i ett området der en høydemodell beregnet fra 5 meter koter blir unøyaktig.

Flomsonekartene er presentert i vedlegg 8. Resultatene i form av flomareal i dekar og antall bygninger i de to analysene er presentert som tabell og stolpediagram i fortsettelsen. Vannstanden var ved godt under 155 meter ved de to laveste flommene og over 155 meter ved de andre flommene.

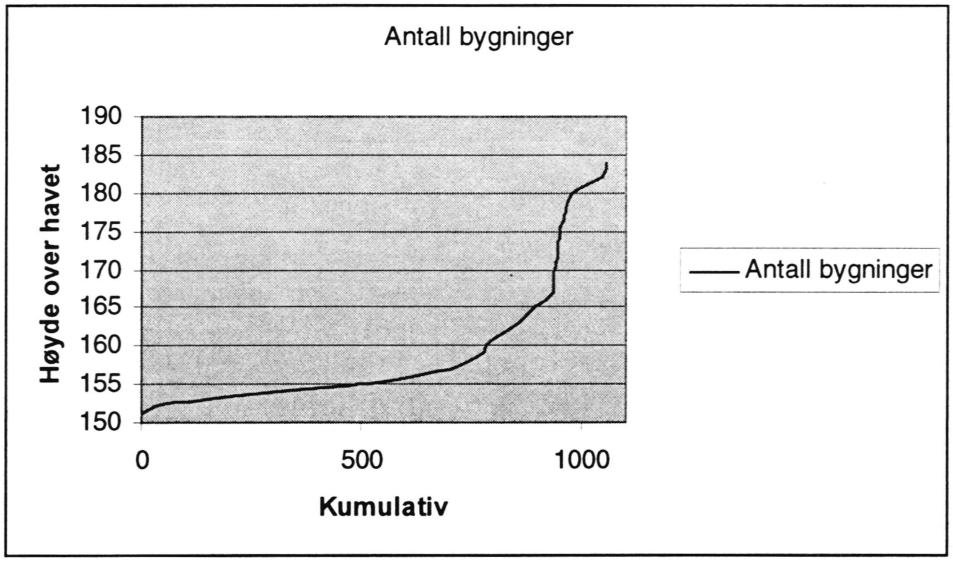
Vannstand	Detaljert høyde	Høyde-modell fra koter	I begge analysene	Bare detaljert høyde	Bare høydemodell fra koter
3.5 m over nat.vst.	6380	4070	2959	3421	1111
Som i 1966	10606	6573	6206	4400	368
6 m over nat.vst.	12937	13777	12192	745	1585
Som i 1995	13135	13950	12450	685	1500
1 m over 1995	14508	14833	13936	573	897

Tabell over flomutsatt areal i dekar fra to høydemodeller og sammenlignet, Flisa

Høydefordelingen gjenspeiles i resultatet fra Flisa. I flomsituasjonen der vannstand er 3.5 meter over naturlig vannstand og i 1966, ser en av flomsonekartet i vedlegg 5 at vannstanden i området var under 155 meter. Det gir store forskjeller mellom de to analysene. I de tre neste flomsituasjonen er vannstanden over 155 meter og da betyr det lite at terrengmodellen ikke får med variasjonen mellom kurvene. Disse flomsituasjoner gir sammenfallende flomareal i begge analyser på ca. 95 %.



I hvilken grad bygninger er flomutsatt, vil avhenge av hvor og på hvilken høyde de er plassert. Alle bygninger innenfor analyseområdet har fått tildelt høydeverdi fra terrengmodellen fra detaljert høyde. Den kumulative fordelingen av bygningene er vist i grafen nedenfor.



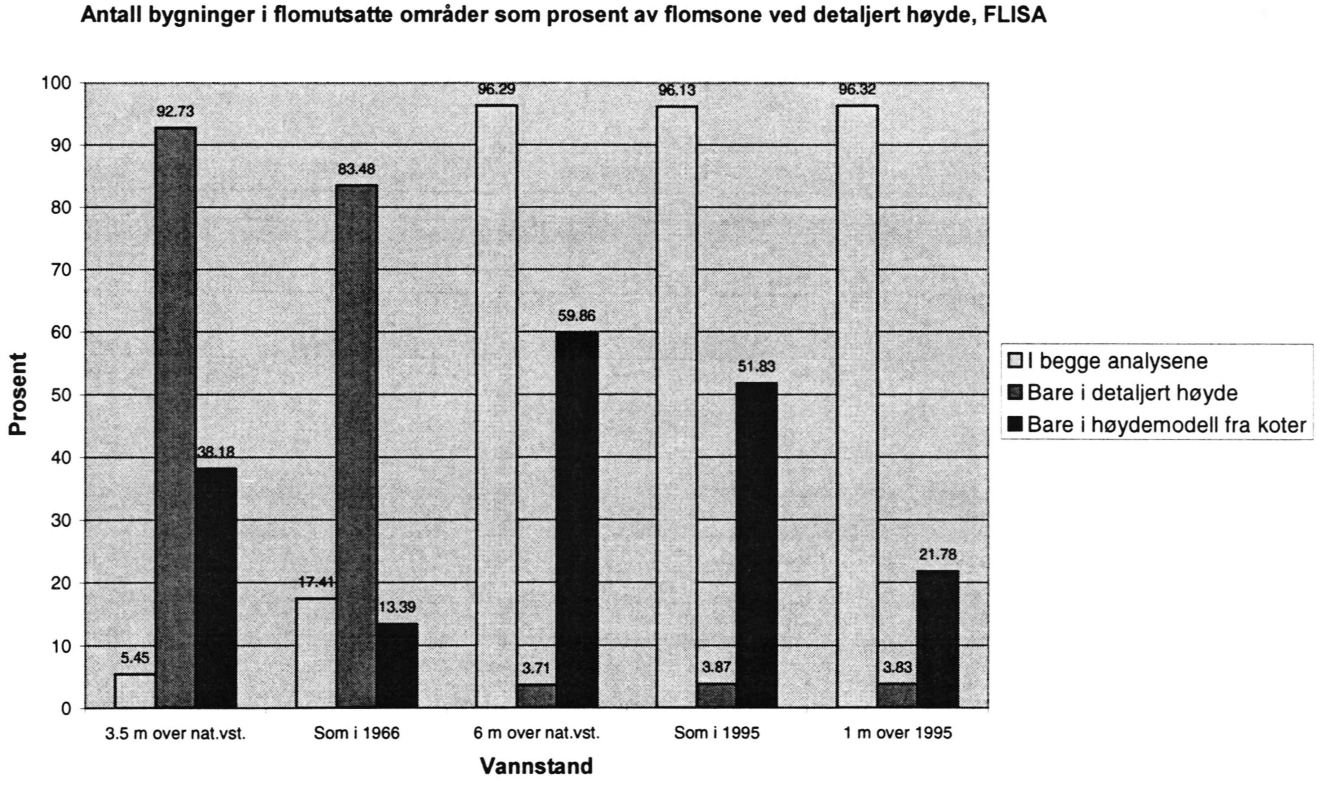
Antall bygninger etter høyde beregnet fra høydemodell fra detaljert høyde.

Av totalt 1055 bygninger innenfor analyseområdet, er 518 lokalisert mellom 150 og 155 meter over havet. Disse ligger i det området der terrengmodellen fra 5 meters koter er unøyaktig, og en vil forvente at det påvirker samsvaret i de to analysene.

Vannstand	Detaljert høyde	Høyde-modell fra koter	I begge analysene	Bare i detaljert høyde	Bare i høydemodell fra koter
3.5 m over nat.vst.	55	25	3	51	21
Som i 1966	224	70	39	187	30
6 m over nat.vst.	431	672	415	16	258
Som i 1995	465	688	447	18	241
1 m over 1995	652	769	628	25	142

Tabell over antall bygninger i det flomutsatt areal fra to høydemodeller og sammenlignet, Flisa

Ved de lave vannstander er det som forventet lite samsvar mellom antall bygninger i de forskjellige analyser. I tillegg er mange bygninger lokalisert i det området som blir flomutsatt bare i flomsoneanalysen fra koter for de høyere vannstander. Andel bygninger som er flomutsatt i begge analyser er høy, men i tillegg markeres mange bygninger som flomutsatt som utfra "fasit" ikke burde være det.



Feilen blir altså tydeligere når en analyserer flomutsatte bygninger enn flomutsatt areal. Mange bygninger er lokalisert i det usikre område mellom 150 og 155 meter over havet. Det ser også ut til at mange er lokalisert i det området som er flomutsatt bare i en av analysene. Mange bygninger blir ikke flomutsatt ved bruk av høydemodell fra koter for de lavere vannstand, mens for de høyere vannstandene blir en del bygninger regnet feil som flomutsatt.

Konklusjon.

For Flisa gir flomsonekart fra høydemodell fra 5 meters koter sammenfallende resultat med flomsonekart for høydemodell fra detaljert høyde på 95% ved vannstander over 155 meter. Men høydemodellen fra 5 meters koter definerer i tillegg ca. 10% (ca. 1500 dekar) areal som flomutsatt og dette resulterer i at ca. 50% (ca. 150 bygninger) klassifiseres som flomutsatt feil. Dette gjør at sammenfallet ikke er så bra som det virket da bare andel sammenfallende areal og bygninger ble analysert.

For lave vannstander er sammenfallet 50% og lavere og i de tilfelle kan terrengmodell generert fra 5 meters koter ikke benyttes.

Lokaliseringen av arealene og bygningene i forhold til 5 meters kotene og om vannstanden er i nærheten av en kote, har avgjørende betydning for kvalitet av resultatet.

13.2 Sammenligning av flomsoneanalyse fra 5 meters koter med detaljert høyde for forskjellig vannstand i KIRKENÆR.

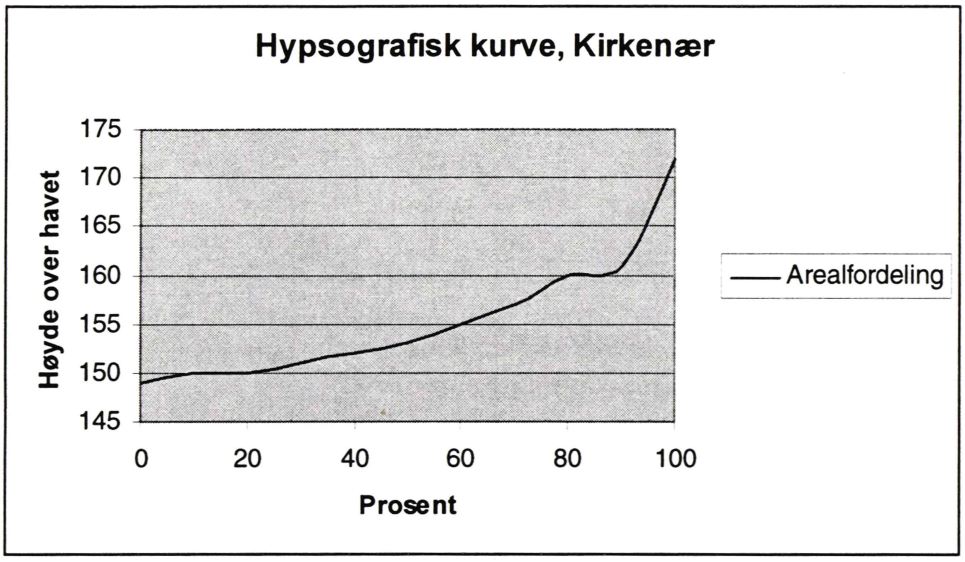
Tilsvarende som for analyseområdet Flisa, analyseres resultat av flomsoneanalyse utført på grunnlag av to forskjellige høydemodeller. Høydemodellen fra detaljert høyde er generert fra punkter med høydeverdi for hver 7. meter sammen med terrenglinjer (veier og lignende) med høydeverdier langs linjen. Høydemodellen fra 5 meters koter er generert med topogrid i Arc/Info fra koter i FKB (felles kartdatabase).

Høydefordelingen antas å spille en rolle for resultatet og hypsografisk kurve er derfor generert på grunnlag av høydemodellen fra detaljert høyde.

Det er utarbeidet flomsonekart for hver av flomepisodene på grunnlag av de to terrengmodellene. Kartene er presentert i vedlegg 9. Resultatet fra disse analysene er sammenlignet og analysert i dette kapittelet.

I Kirkenær området finnes høydekoter for 150, 155, 160 osv. meter. Høydemodell generert på dette grunnlag gir høydeverdier som er lineær interpolert mellom høydekurvene. Hypsografisk kurve er laget for å se på høydefordelingen innenfor analyseområdet.

Vannstanden i området var i følge vannlinjen godt under 155 meter i 1966, mens for de større flommene var vannstanden fra 154.5 meter og høyere.



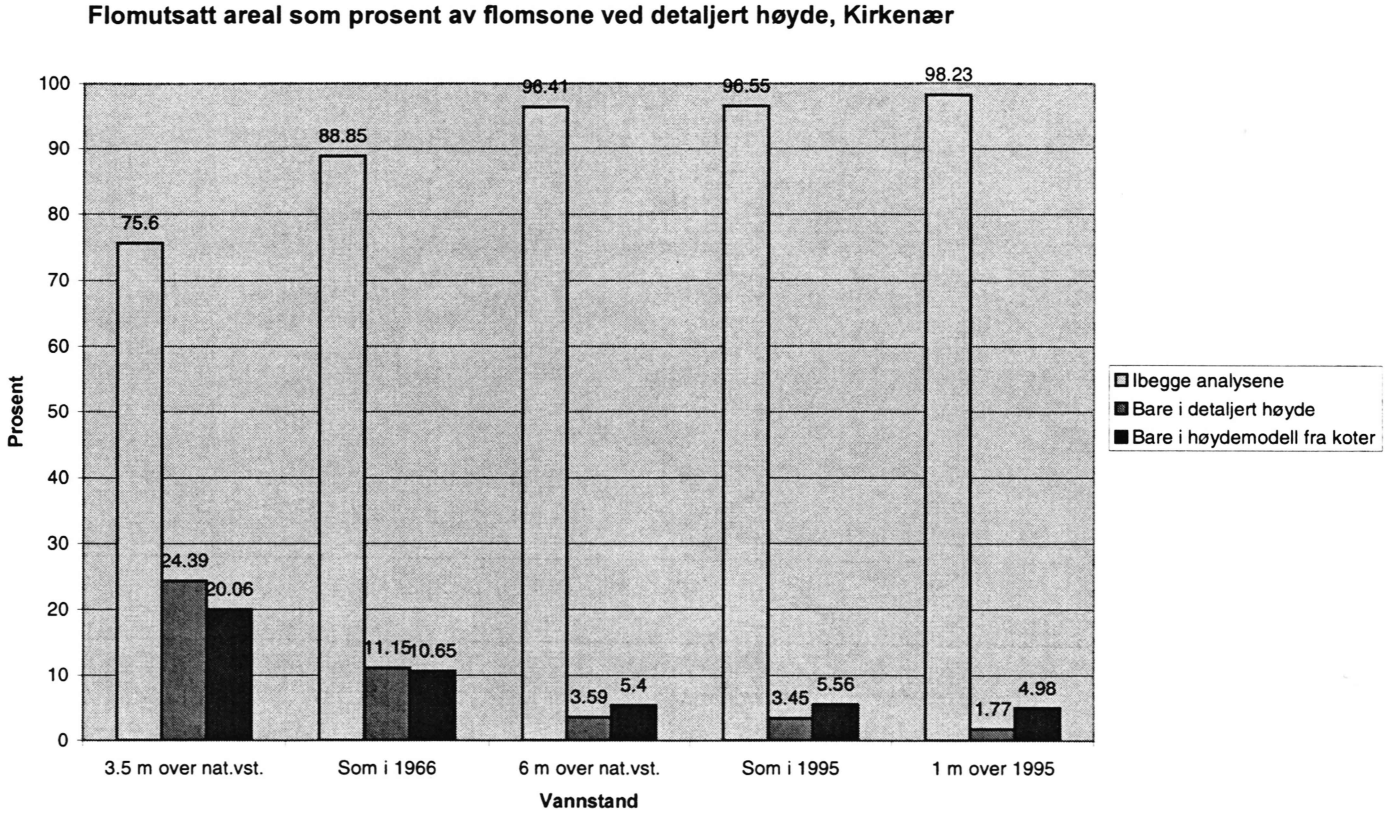
Hypsografisk kurve beregnet fra høydemodell fra detaljert høyde

For Kirkenær ligger 40% av arealet mellom 150 og 155 meter og 60% laverer enn 155 meter. Større del av arealet enn for Flisa ligger over 155 meter, og er derfor mindre flomutsatt. Men analyseområdet er større og flomutsatt areal er ca. 10.000 dekar større og ca. 1000 boliger flere for de store flommene sammenlignet med Flisa.

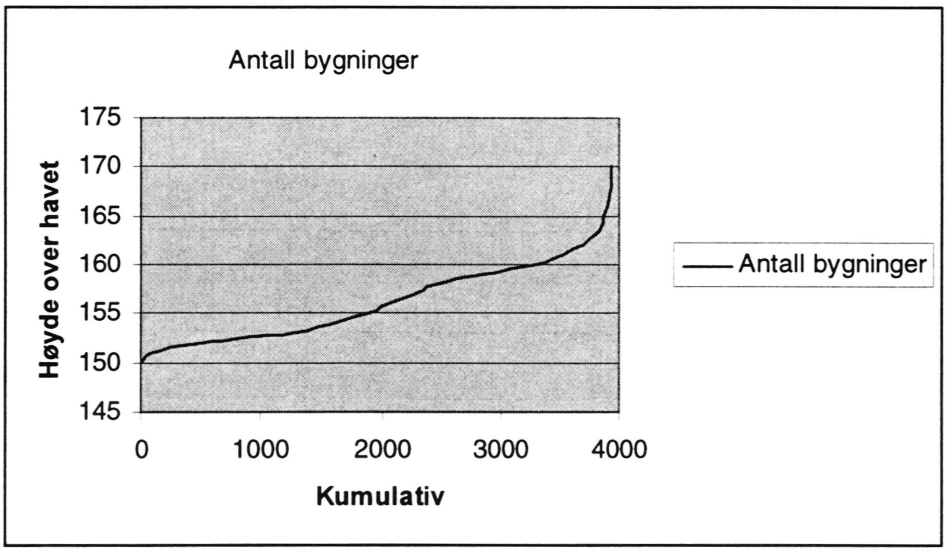
Vannstand	Detaljert høyde	Høyde-modell fra koter	I begge analysene	Bare i detaljert høyde	Bare i høydemodell fra koter
3.5 m over nat.vst.	11515	11016	8705	2809	2310
Som i 1966	20050	19951	17815	2235	2136
6 m over nat.vst.	25125	25581	24223	903	1358
Som i 1995	25387	25921	24510	877	1411
1 m over 1995	27216	28089	26735	482	1355

Tabell over flomutsatt areal i dekar fra to høydemodeller og sammenlignet, Kirkenær

I Flisa var skille ved vannstander rundt 155 meter. Dette skille kommer frem i Kirkenær også selv om vannstanden ved de tre høyeste flommene ikke kommer opp i 155 meter i langs elva i hele området er resultatet best for de flomepisoder der vannstanden kommer opp i 155 meter. I Kirkenær er det areal som klassifiseres som flomutsatt i tillegg ved høydemodellen fra koter ikke så stor i prosent, men omfatter like stort areal (ca. 1400 dekar).



I Kirkenær er det i analyseområdet ca. 4000 bygninger. De er lokalisert og tildelt høyde fra høydemodellen fra detaljert høyde.



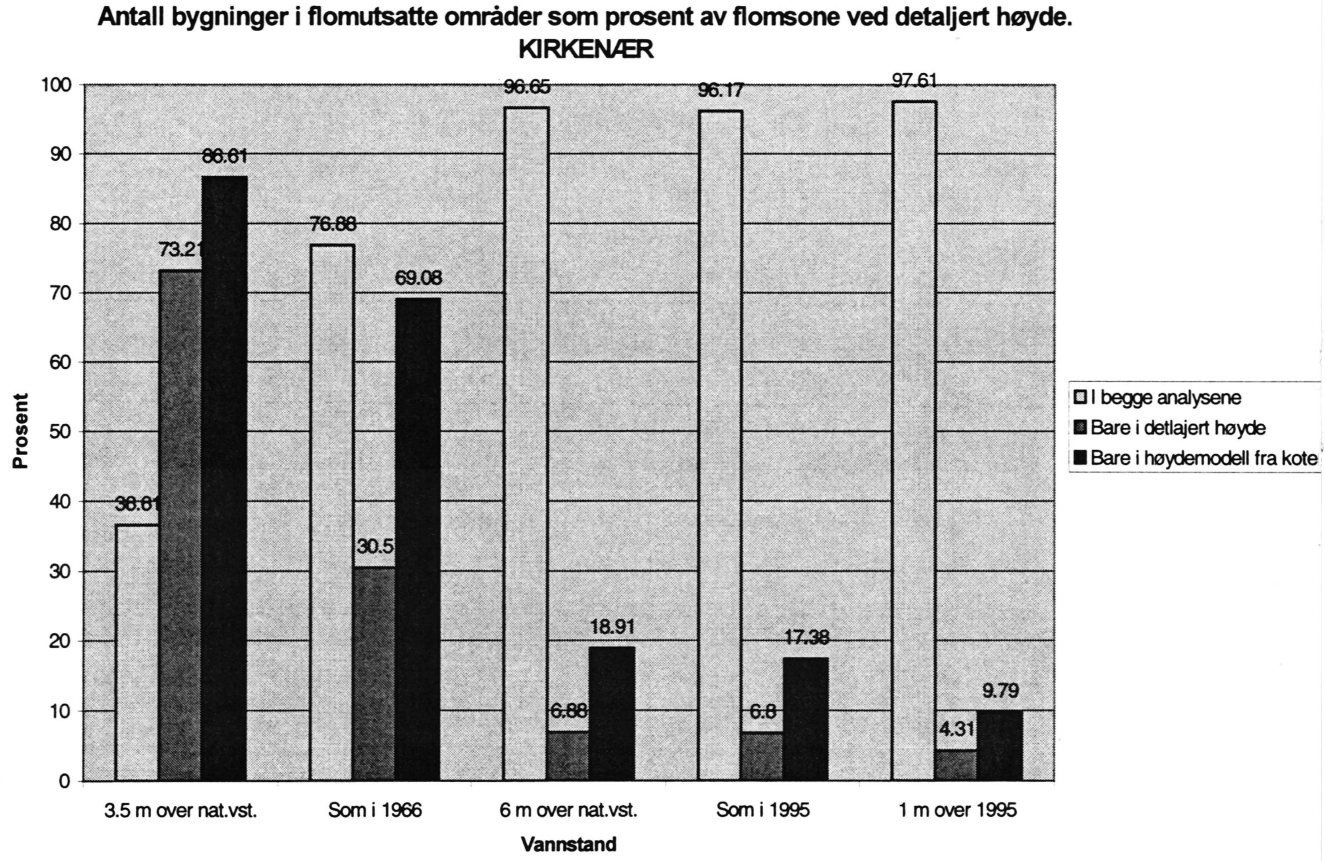
Antall bygninger etter høyde beregnet fra høydemodell fra detaljert høyde.

Grafen viser at 2000 bygninger ligger mellom 150 og 155 meter som er det området som er flomutsatt.

Vannstand	Detaljert høyde	Høyde-modell fra koter	I begge analysene	Bare i detaljert høyde	Bare i høydemodell fra koter
3.5 m over nat.vst.	49	95	22	28	73
Som i 1966	452	655	363	89	294
6 m over nat.vst.	1440	1552	1402	38	151
Som i 1995	1468	1572	1427	41	146
1 m over 1995	1733	1802	1714	19	88

Tabell over antall bygninger i de flomutsatte områder i de to analysene, Kirkenær

De laveste flommene gir også her dårligst resultat. Det er lite samsvar mellom flomutsatte bygninger i de to analysene for de laveste vannstand, men høy grad av samsvar for de høyere vannstander. Tilleggsarealet som klassifiseres som flomutsatt er omtrent som i Flisa, men det rammer vesentlig færre bygninger (ca. 100 bygninger) selv om totalt flomutsatte bygninger er større.



Konklusjon

For Kirkenær gir flomsonekartene fra høydemodell fra 5 meters koter og fra høydemodell fra detaljert høyde sammenfallende flomareal på over 95 % for både areal og tilsvarende for bygninger for ved vannstander over 154 meter over havet. I tillegg definerer høydemodellen fra koter ca. 5% (ca. 1400 dekar) areal feil som flomutsatt. Det er lite i prosent, men i absolutte størrelser er det store arealer. I motsetning til i Flisa er det lite bygninger på dette arealer, slik at både prosentvis og i absolutte verdier har dette mindre konsekvenser for antall bygninger som blir klassifisert feil enn i Flisa.

For de lavere vannstander er sammenfallet ca. 80%, men med over 2000 dekar feil klassifisert begge veier og veldig lite samsvar mht bygninger, kan man trekke den konklusjon at en slik terrengmodell ikke kan benyttes ved lave vannstander i dette området.

13.3 Sammenligning av flomsoneanalyse fra 20 meters koter med detaljert høyde for forskjellig vannstand i FLISA.

Høydekurver for hver 20 meter fra 1:50.000 kart fra 140 meter og oppover er grunnlaget for terrengmodellen. 80% av arealet ligger mellom 150 og 155 meter i følge den hypsografiske kurven og der er det lite koter i grunnlaget. Terrengmodellen gir en lineær beskrivelse av terrenget mellom kotene og blir derfor lite detaljert i en vesentlig del av analyseområdet. Hvilken betydning dette får for det flomutsatte areal og de flomutsatte bygninger er undersøkt i dette kapittelet.

Vannstand	Detaljert høyde	Høyde-modell fra koter	I begge analysene	Bare detaljert høyde	Bare høydemodell fra koter
3.5 m over nat.vst.	6380	7470	2754	3626	4716
Som i 1966	10605	8727	6023	4581	2704
6 m over nat.vst.	12939	9862	8369	4570	1493
Som i 1995	13138	10024	8627	4511	1397
1 m over 1995	14511	11288	10387	4123	901

Tabell over flomutsatt areal i dekar fra to høydemodeller og sammenlignet, Flisa

Vannstand	Detaljert høyde	Høyde-modell fra koter	I begge analysene	Bare i detaljert høyde	Bare i høydemodell fra koter
3.5 m over nat.vst.	54	374	17	357	38
Som i 1966	225	431	92	339	134
6 m over nat.vst.	430	492	246	246	184
Som i 1995	465	498	272	224	192
1 m over 1995	653	577	454	123	199

Tabell over antall bygninger i det flomutsatt arealet fra to høydemodeller og sammenlignet.

Resultatet viser lite samsvar mellom de flomutsatte arealene. 65% av arealet klassifiseres som flomutsatt i begge analysene og i tillegg blir store arealer feil klassifisert begge veier. Dette gjelder vannstander over 155 meter og resultatene er enda dårligere for de lavere vannstander. Tilsvarende bilde gir resultatet når klassifikasjon av flomutsatte bygninger analyseres. Analysen viser at det er helt tilfeldig om bygningene blir vurdert som flomutsatt eller ikke når en terrengmodell med 20 meters koter blir benyttet.

Konklusjon.

Terrengmodell fra koter med 20 meters ekvidistanse gir for dårlig resultat til at det kan brukes i flomsonekartarbeidet.

14 Følsomhetsanalyse for usikkerhet i vannstand

For å finne ut hvor stor betydning korrekt vannstand har for hvilke arealer som er flomutsatt er det utarbeidet flomsonekart der vannstander en økt eller redusert parallelt med en fast størrelse. Resultat er sammenlignet med flomsoneanalysen uten denne vannstands endringen. Alle analyser er basert på terrengmodellen fra detaljert høyde fordi en i denne analysen bare skal vurdere hvor mye eksakt vannstandsberegning har å bety for resultatet.

De undersøkte vannstander er +- 20 cm og +- 50 cm fra vannstanden ved flommen i 1966 og i 1995. Disse analysene er foretatt for hele analyseområdet som dekker både Flisa og Kirkenær. Arealet som blir flomutsatt når vannstanden er i de to intervaller er beregnet og prosent er beregnet av totalt flomutsatt areal ved de to flomepisodene. I vedlegg 10 er resultatet vist for et utsnitt av Kirkenær .

	Flomareal	+20 cm	-20 cm	+50 cm	-50 cm
Flom 1966	29374	1783	2129	4051	5752
Flom 1995	37060	864	970	1957	2636

Tabell som viser absolutt flomareal og usikkert areal i hele analyseområdet (i dekar)

	+20 cm	-20 cm	+50 cm	-50 cm
Flom 1966	6.07	7.25	13.79	19.58
Flom 1995	2.33	2.62	5.62	7.11

Tabell som viser usikkert areal i hele analyseområdet som prosent av totalt flomareal

Størrelsen på det usikkert areal som følge av usikkerhet i vannstand er korrelert med størrelsen på flommen. Ved høyde vannstander er usikkerheten ved +- 20 cm veldig liten. Den øker når vannstanden reduseres, men holder seg rundt 6 – 7 %. Denne samme prosenten får vi når vannstanden er høy og usikkerhet i vannstanden er +- 50 cm. Dette må vi regne som akseptabel variasjon og innenfor feilmargin for alle datasett i analysen.

Ved lave vannstander blir er usikkerheten rundt 14 – 20 % når usikkerheten i vannstand er +- 50 cm. Usikkerheten rammer store arealet og kan ikke aksepteres.

15 Konklusjon

Terrengmodell fra 5 meters koter gir en dårlig beskrivelse av terrenget mellom kotene. Dersom vannstanden i den aktuelle flom er nær en kote, blir det flomutsatte areal ca. 95% samsvarende med det flomutsatte areal som genereres ved å bruke beste terrengmodell. Dette er tilfelle for de store flommene i analyseområdet. Ved de mindre flommene har vannstanden i analyseområdet vært mellom to koter. Disse forholdene forsterkes når antall flomutsatte bygninger blir analysert. Samsvaret i flomutsatt areal er da vesentlig dårligere. Hvorvidt disse forholdene skyldes lave vannstander eller at vannstanden er mellom to koter må analyseres nærmere. Konklusjonene i dette området er at terrengmodell fra 5 meters koter kan benyttes i flomsoneanalyse for store flommer, men ikke for de mindre.

Terrengmodell fra koter med 20 meters ekvidistanse gir dårlig beskrivelse av terrenget mellom kotene. Dersom det aktuelle areal ligger mellom kotene, blir resultatet fra flomsoneanalysen svært usikkert og samsvarer dårlig med analysen utført med nøyaktig kartgrunnlag. Konklusjonen må bli at en terrengmodell fra dette grunnlag er uegnet til bruk i flomsoneanalyser.

En variasjon i vannstand på +-20 cm gir lite utslag i flomutsatt areal. Forskjellen er minst når det er snakk om høye vannstander. Ut fra analysen i dette området er forskjellen i resultat akseptabelt for +- 20 cm, men ikke for +- 50 cm.

Litteraturliste

Burrough, P.A. 1989. *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford

Hutchinson, M. F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*. **106**, 211 - 232

Krokli, B. og Voksø, A. Flomlinjeberegning og flomsonekart for nedre del av Leira (002.CAZ). NVE-rapport nr. 21 1994

Koter 1m og 20m



Koter, 1m ekv

Koter, 20m ekv

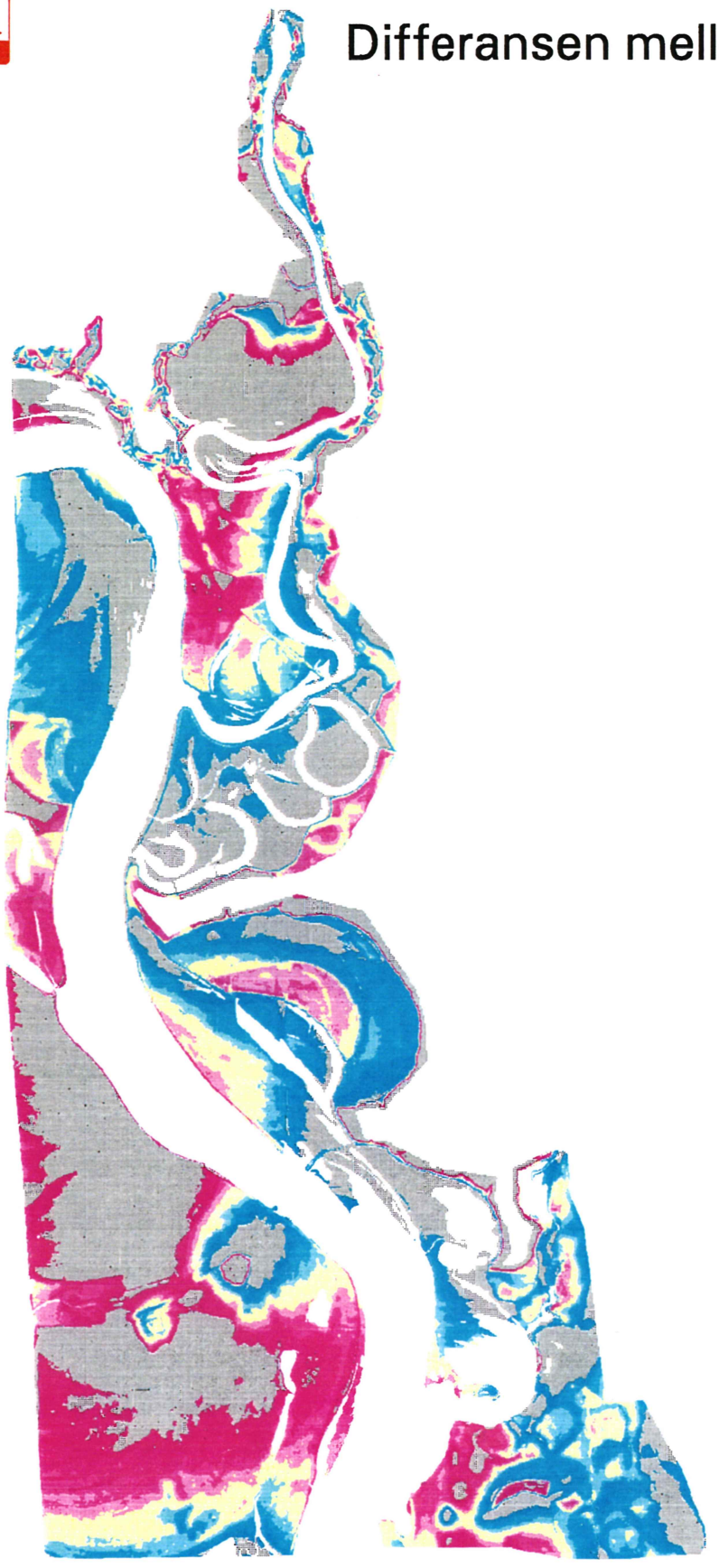
N

0 1 km

Målestokk

Grunnlag:Nytt høydegrunnlag Åsnes
Temadata og utforming:NVE-sek-Hyd.avd

Differansen mellom DEM og DEM20



> -5m
-5 - -4 m
-4 - -3 m
-3 - -2 m
-2 - -1 m
-1 - 0 m
0 - 1 m
1 - 2 m
2 - 3 m
3 - 4 m
4 - 5 m
> 5m

N

0 1 km

Målestokk

Grunnlag:Nytt høydegrunnlag Åsnes
Temadata og utforming:NVE-sek-Hyd.avd

Koter 1m og 5m



Koter, 1m ekv

Koter, 5m ekv

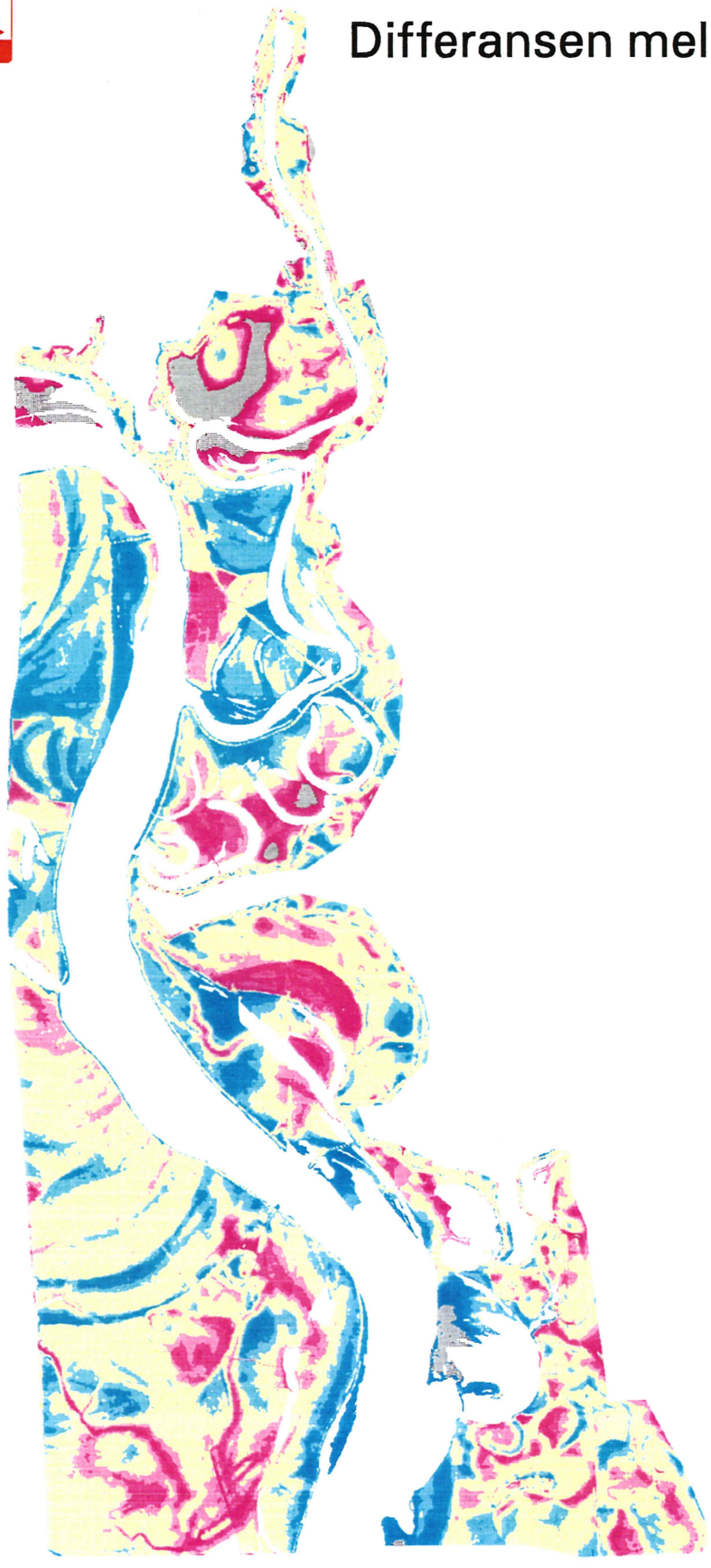
N

0 1 km

Målestokk

Grunnlag:Nytt høydegrunnlag Åsnes
Temadata og utforming:NVE-sek-Hyd.avd

Differansen mellom DEM og DEM5



> -5m
-5 - -4 m
-4 - -3 m
-3 - -2 m
-2 - -1 m
-1 - 0 m
0 - 1 m
1 - 2 m
2 - 3 m
3 - 4 m
4 - 5 m
> 5m

N

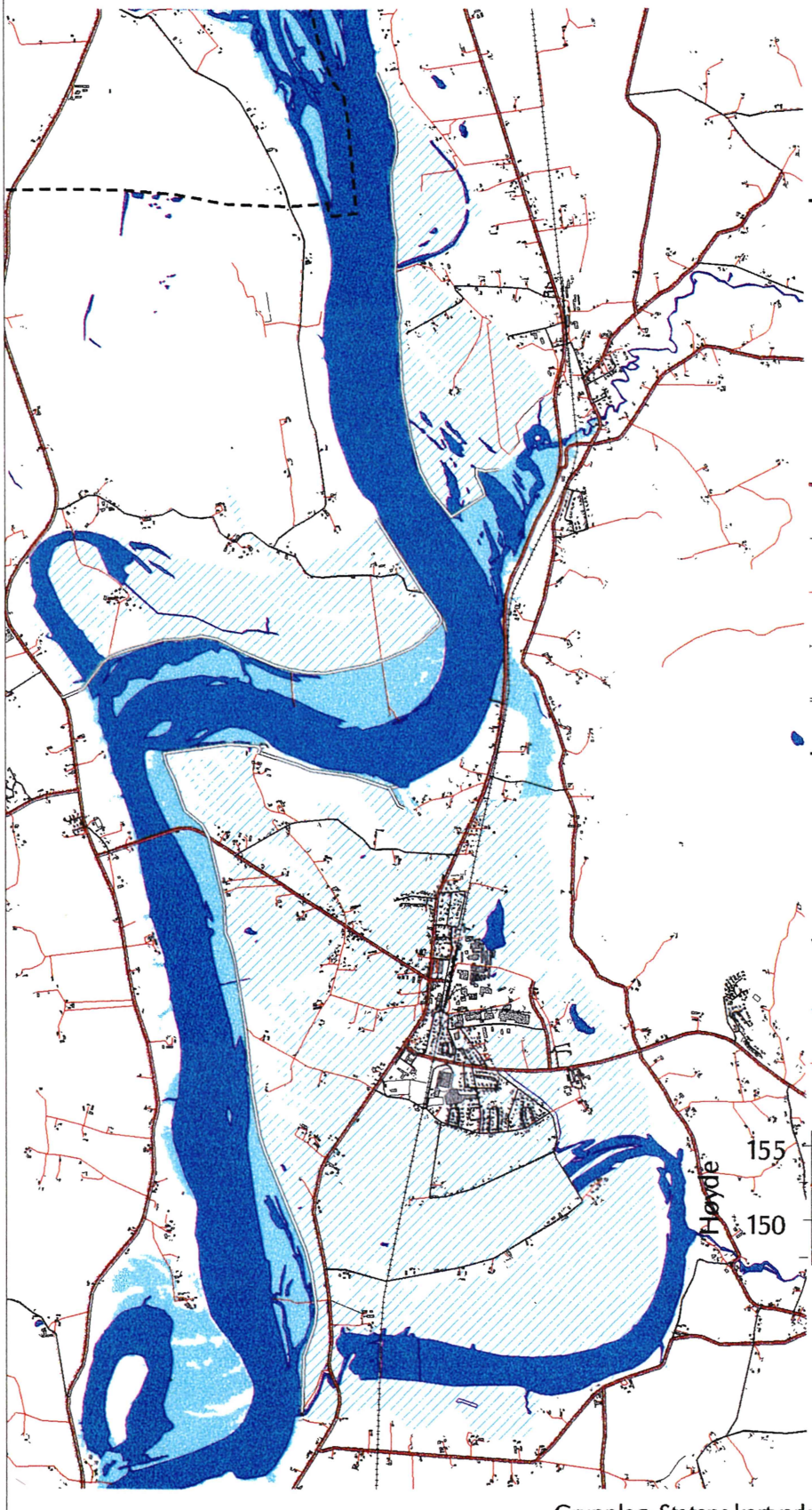
0 1 km

Målestokk

Grunnlag:Nytt høydegrunnlag Åsnes
Temadata og utforming:NVE-sek-Hyd.avd

Flomsonekart Kirkenær

Vannstand som en 50 års flom

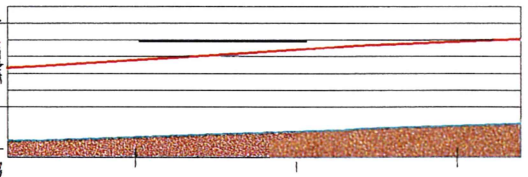


TEGNFORKLARING

- Flomutsatt areal ved flomvann
- Flomutsatt areal bak flomverk
- Elver og vatn
- Bygninger
- Riks/fylkesvei
- Kommunalvei
- Privat/skogsvei
- Jernbane
- Flomverk
- Kommunegrense

Vannlinje

- Vannstand fra vassdragsnivell
- Vannstand ved flom



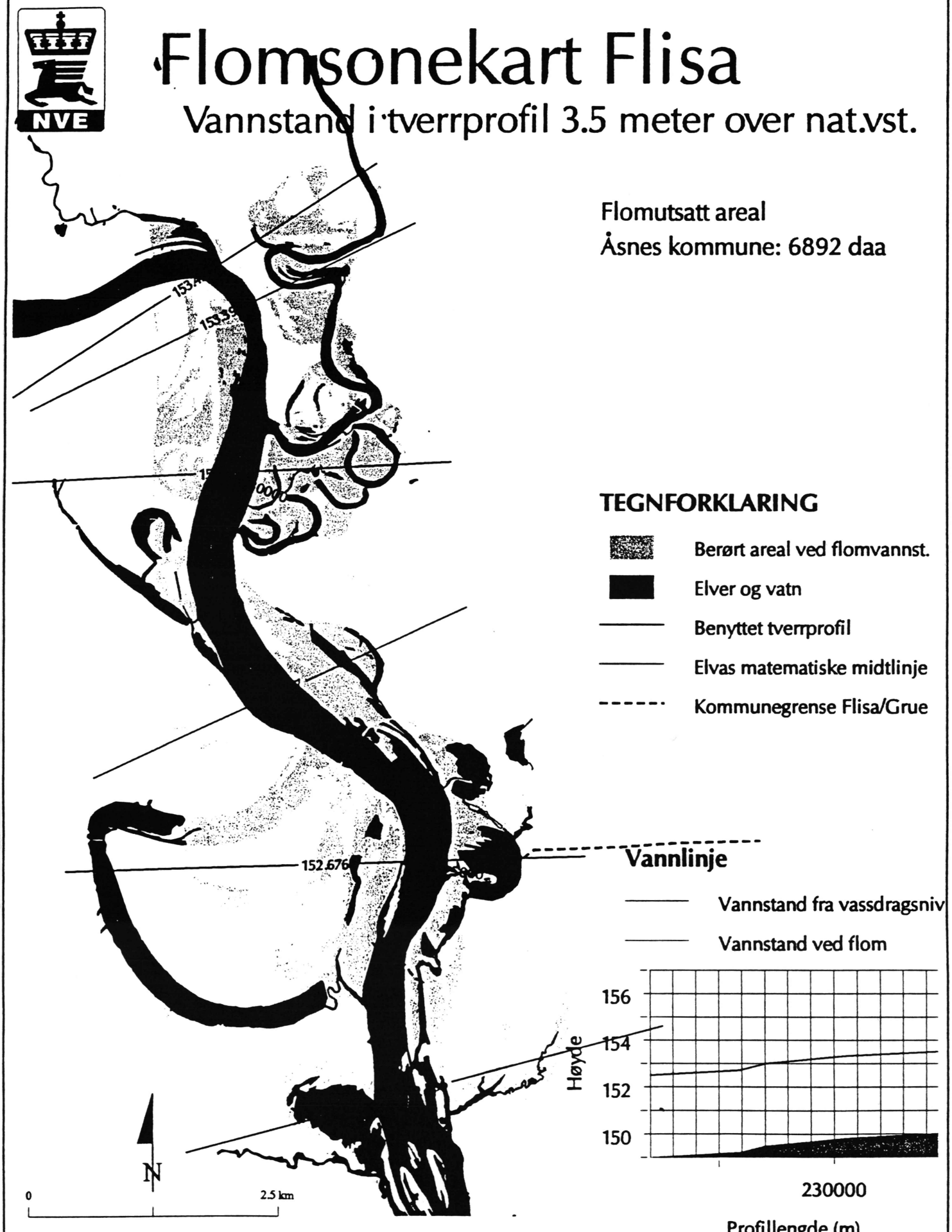
0 2.5 km

Målestokk 1:50000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 01.09.1998

Flomsonekart Flisa

Vannstand i tverrprofil 3.5 meter over nat.vst.

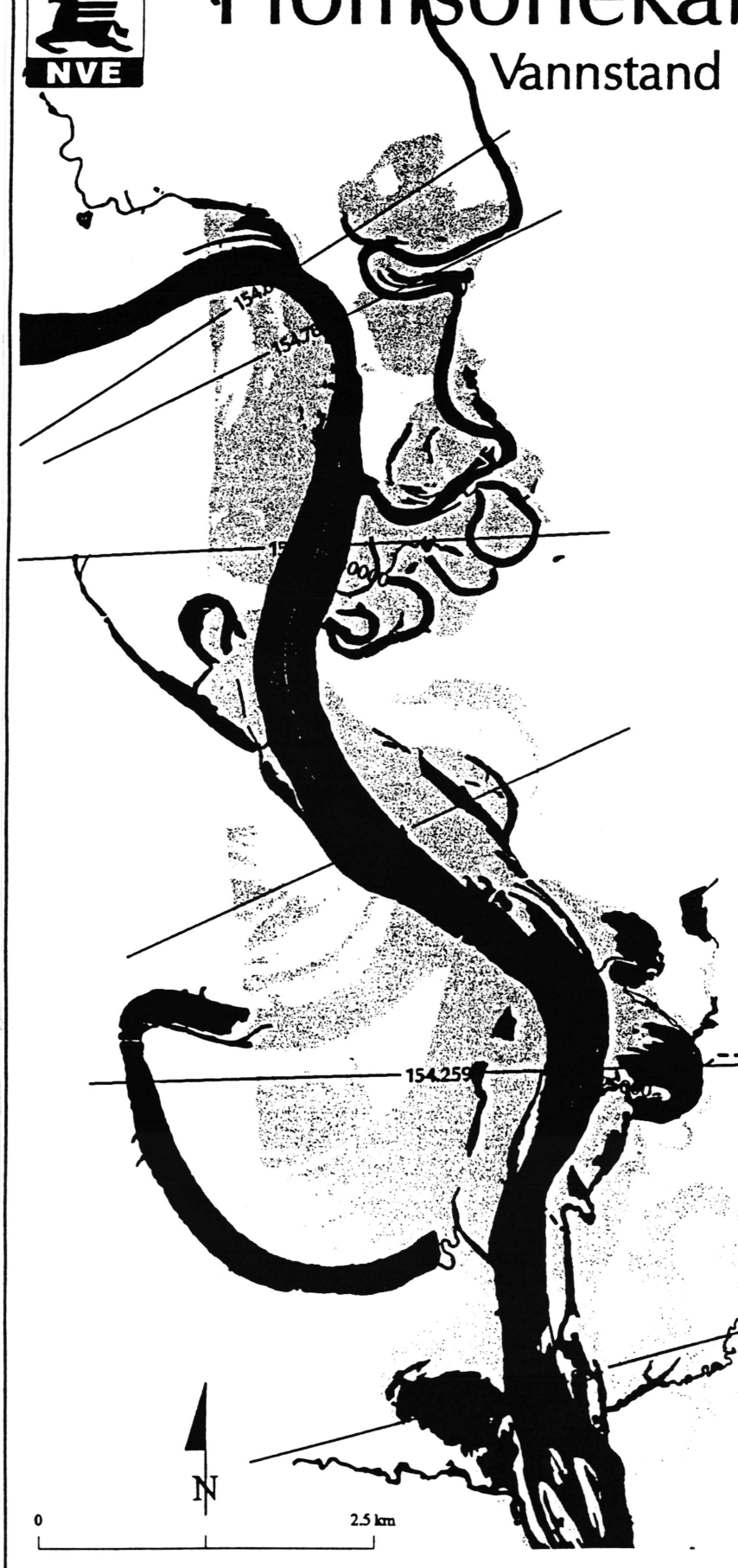


Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Flisa

Vannstand i tverrprofil som i 1966

Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 11068 daa

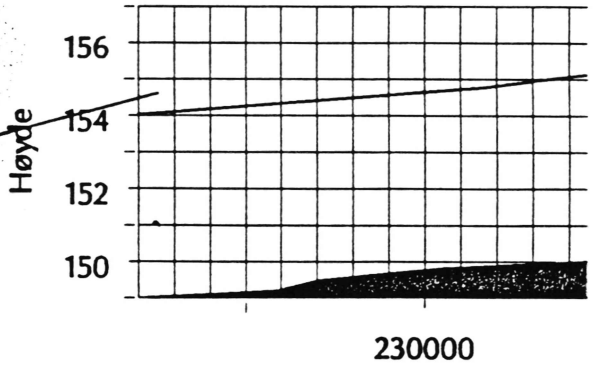


TEGNFORKLARING

- Berørt areal ved flomvannst.
- Elver og vatn
- Benyttet tverrprofil
- Elvas matematiske midtlinje
- Kommunegrense Flisa/Grue

Vannlinje

- Vannstand fra vassdragsniv
- Vannstand ved flom

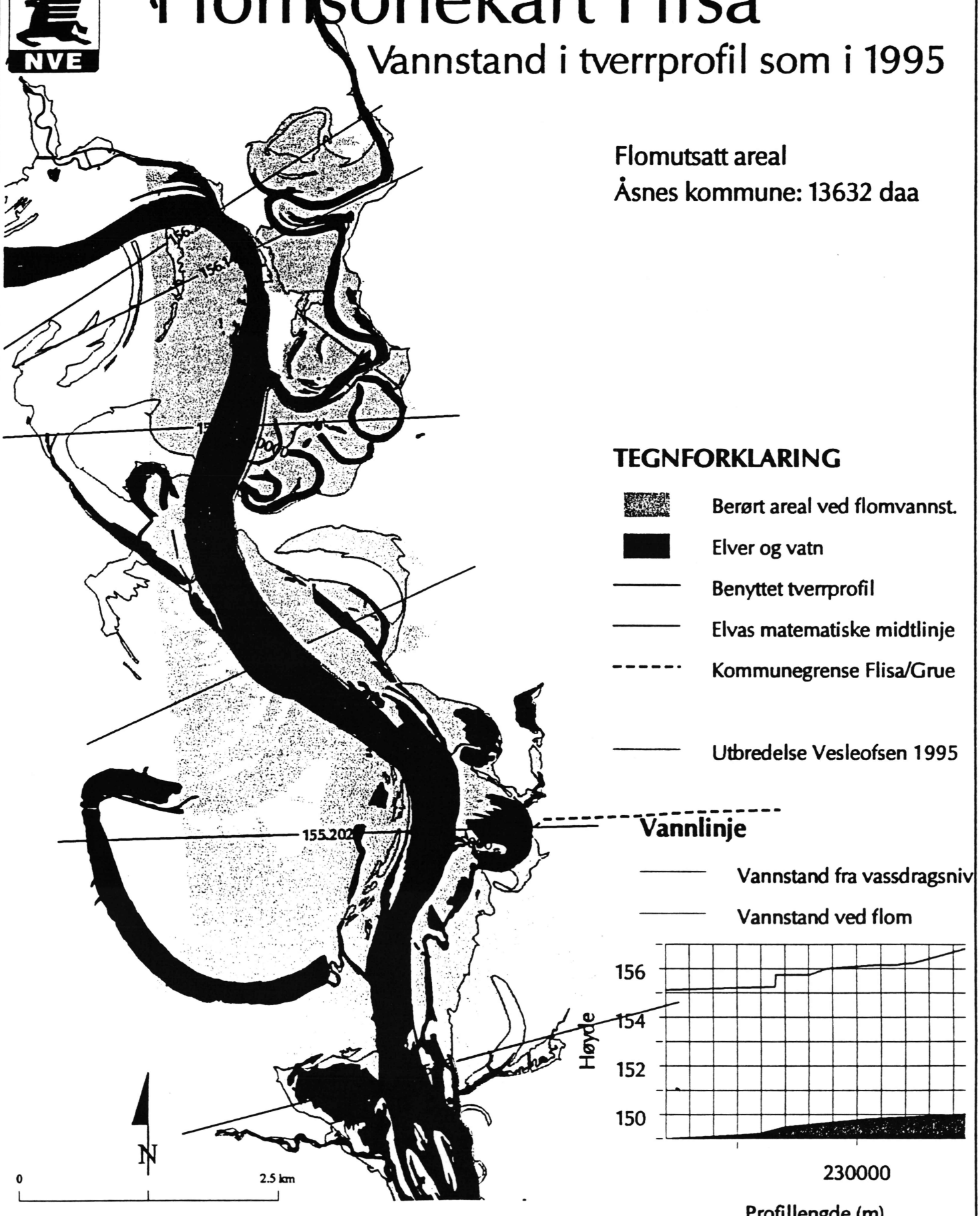


Målestokk 1:50.000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Flisa

Vannstand i tverrprofil som i 1995



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 13632 daa

TEGNFORKLARING

- Berørt areal ved flomvannst.
- Elver og vatn
- Benyttet tverrprofil
- Elvas matematiske midtlinje
- Kommunegrense Flisa/Grue
- Utbredelse Vesleofsen 1995

Vannlinje

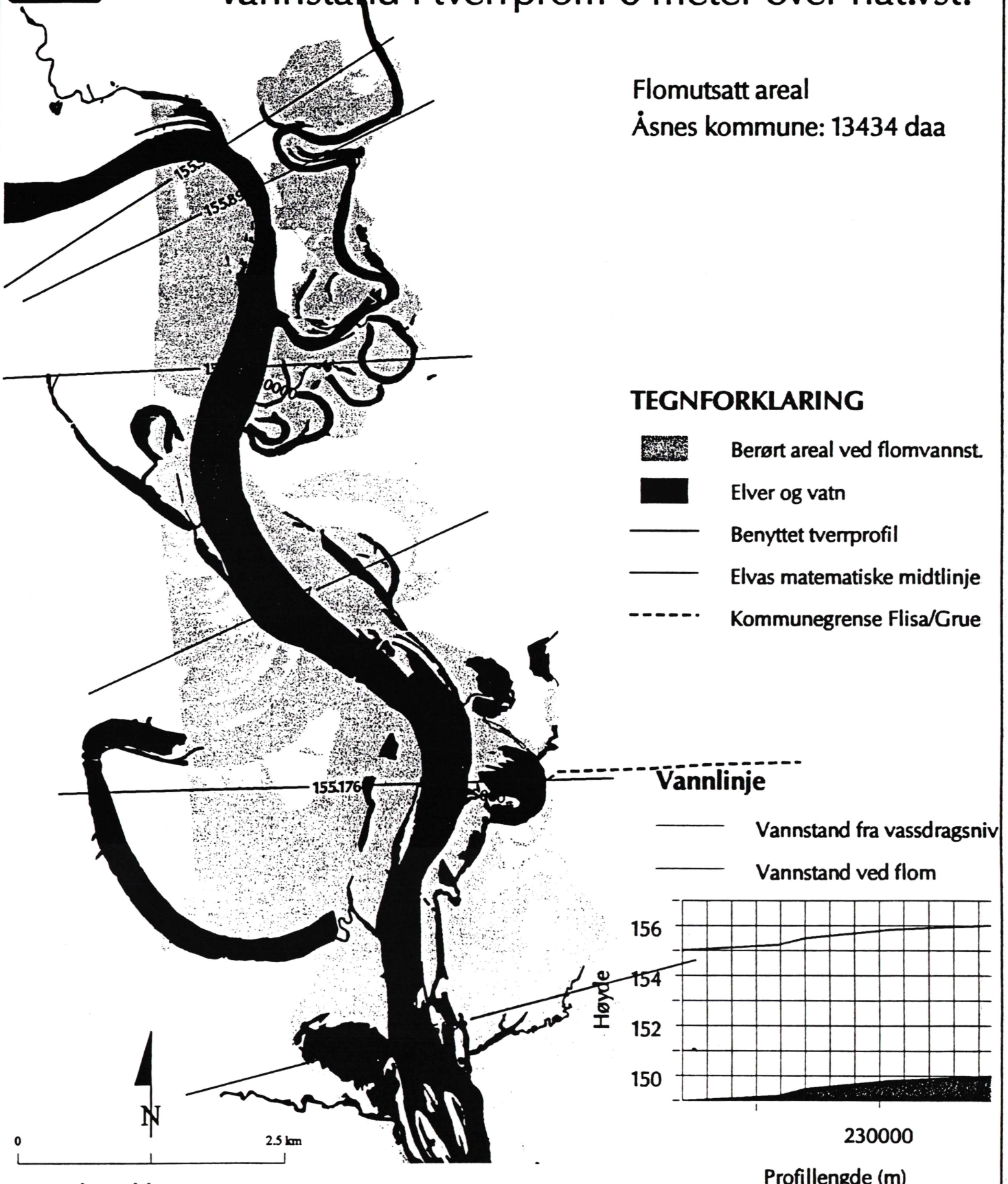
- Vannstand fra vassdragsniv
- Vannstand ved flom

Målestokk 1:50.000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Flisa

Vannstand i tverrprofil 6 meter over nat.vst.



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 13434 daa

TEGNFORKLARING

- Berørt areal ved flomvannst.
- Elver og vatn
- Benyttet tverrprofil
- Elvas matematiske midtlinje
- Kommunegrense Flisa/Grue

Vannlinje

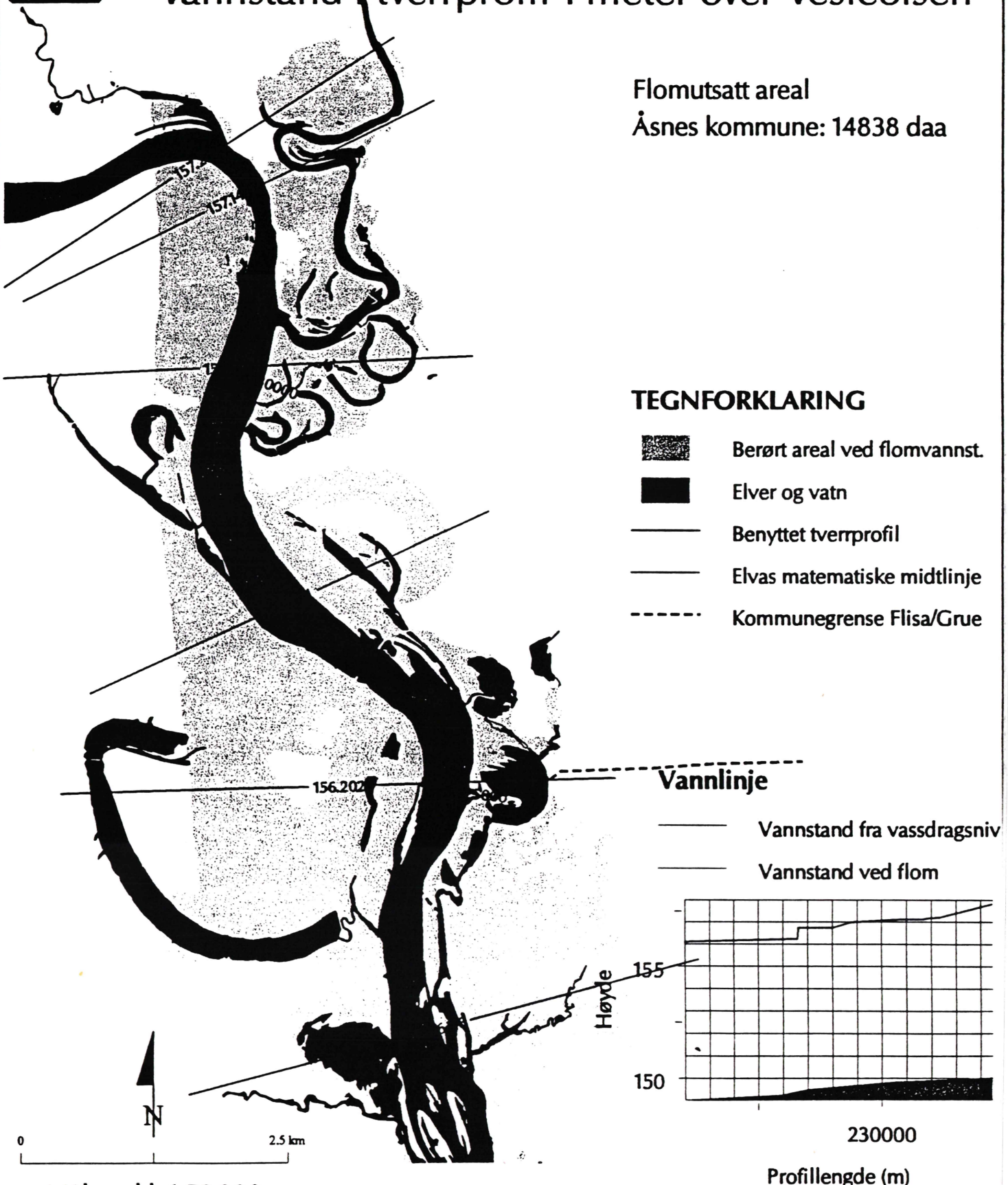
- Vannstand fra vassdragsniv
- Vannstand ved flom

Målestokk 1:50.000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Flisa

Vannstand i tverrprofil 1 meter over Vesleofsen



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 14838 daa

TEGNFORKLARING

- Berørt areal ved flomvannst.
- Elver og vatn
- Benyttet tverrprofil
- Elvas matematiske midtlinje
- Kommunegrense Flisa/Grue

Vannlinje

- Vannstand fra vassdragsniv
- Vannstand ved flom

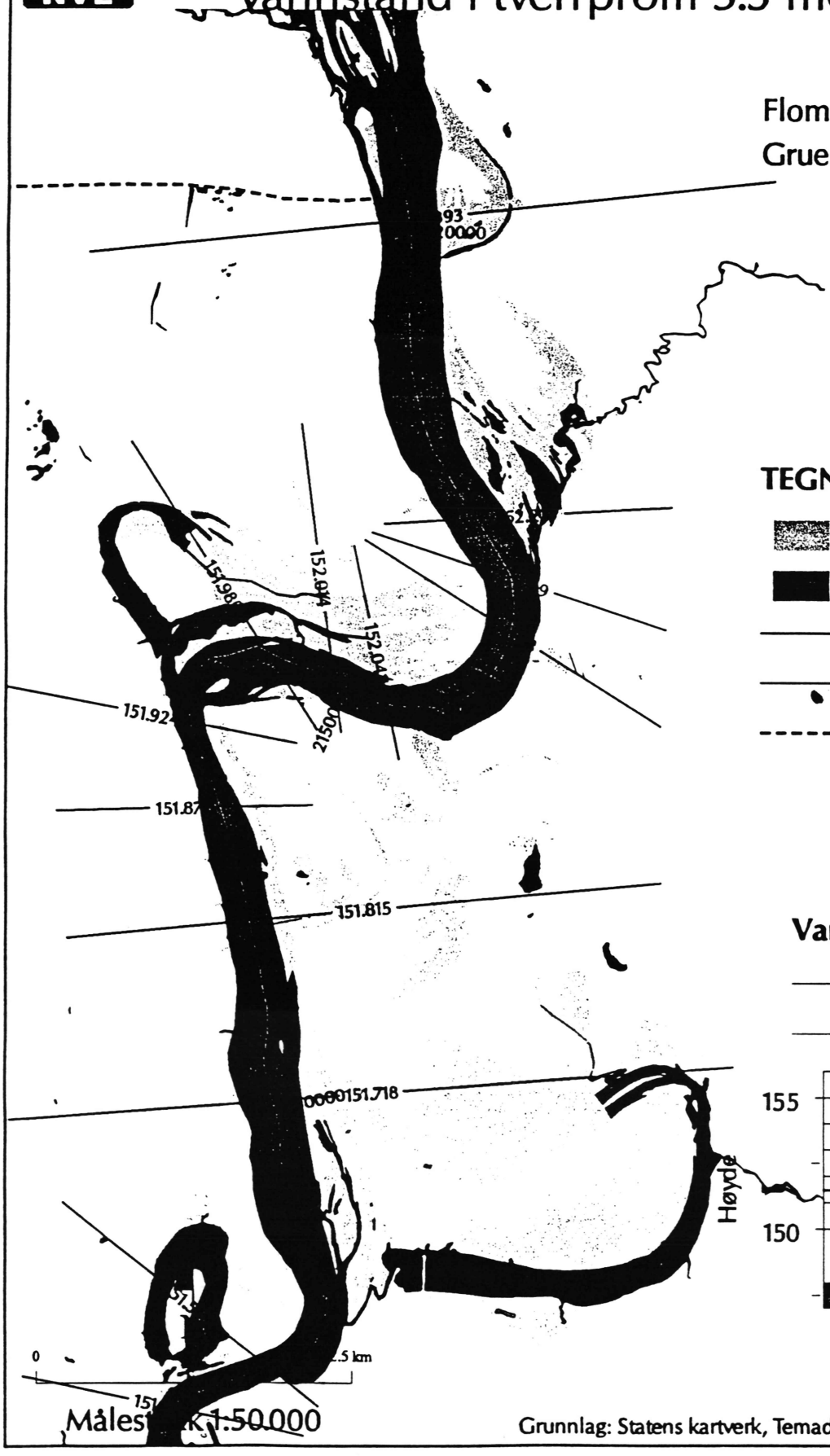
Målestokk 1:50.000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Kirkenær

Vannstand i tverrprofil 3.5 meter over nat.vst.

Flomutsatt areal
Grue kommune: 10599 daa

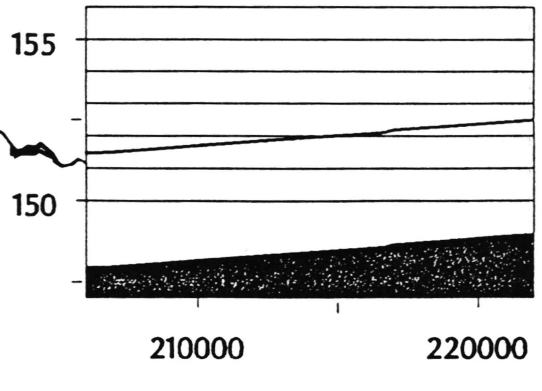


TEGNFORKLARING

- Berørt areal ved flomvannst.
- Elver og vatn
- Benyttet tverrprofil
- Elvas matematiske midtlinje
- Kommunegrense Flisa/Grue

Vannlinje

- Vannstand fra vassdragsniv
- Vannstand ved flom

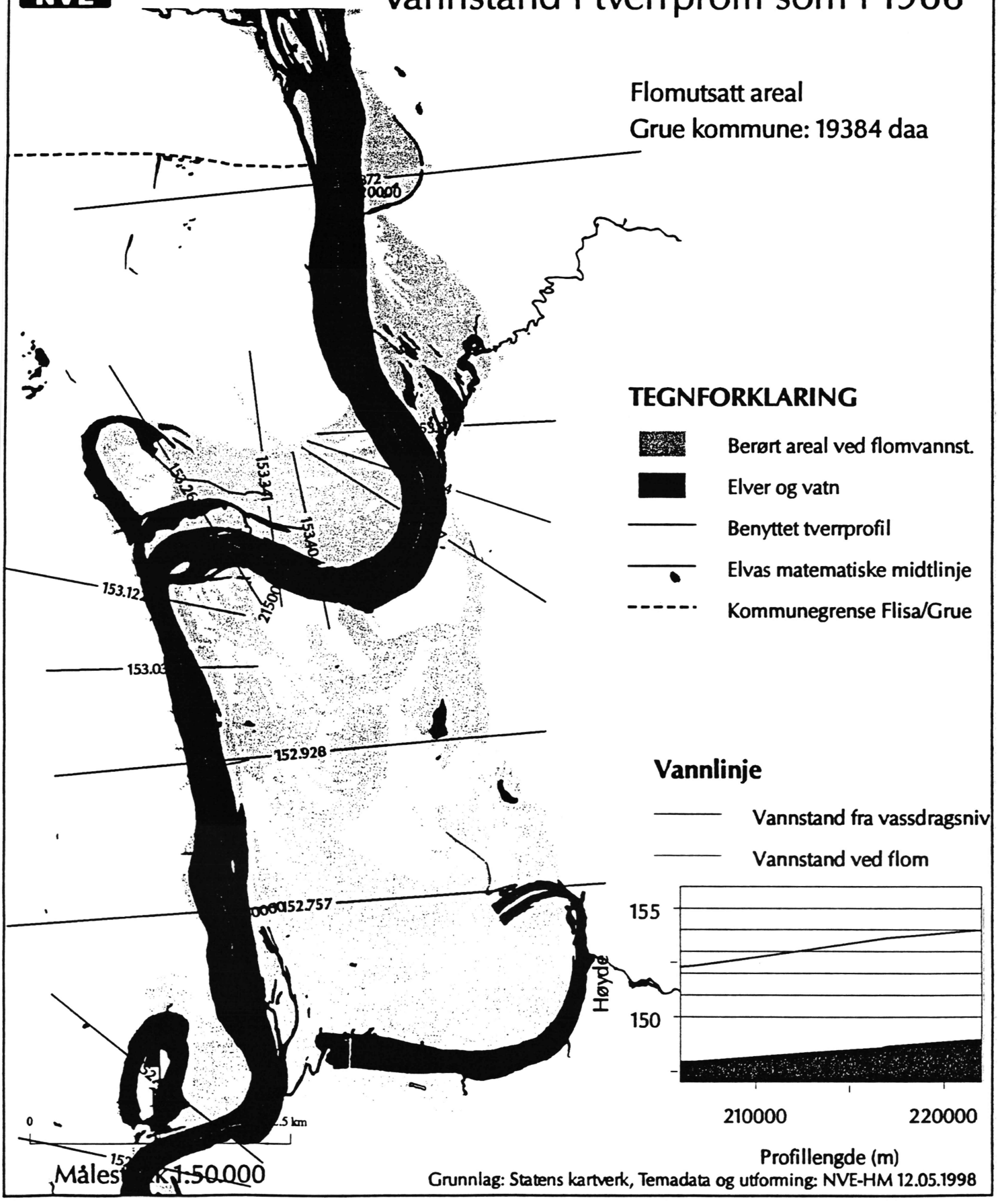


Målestokk 1:50.000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Kirkenær

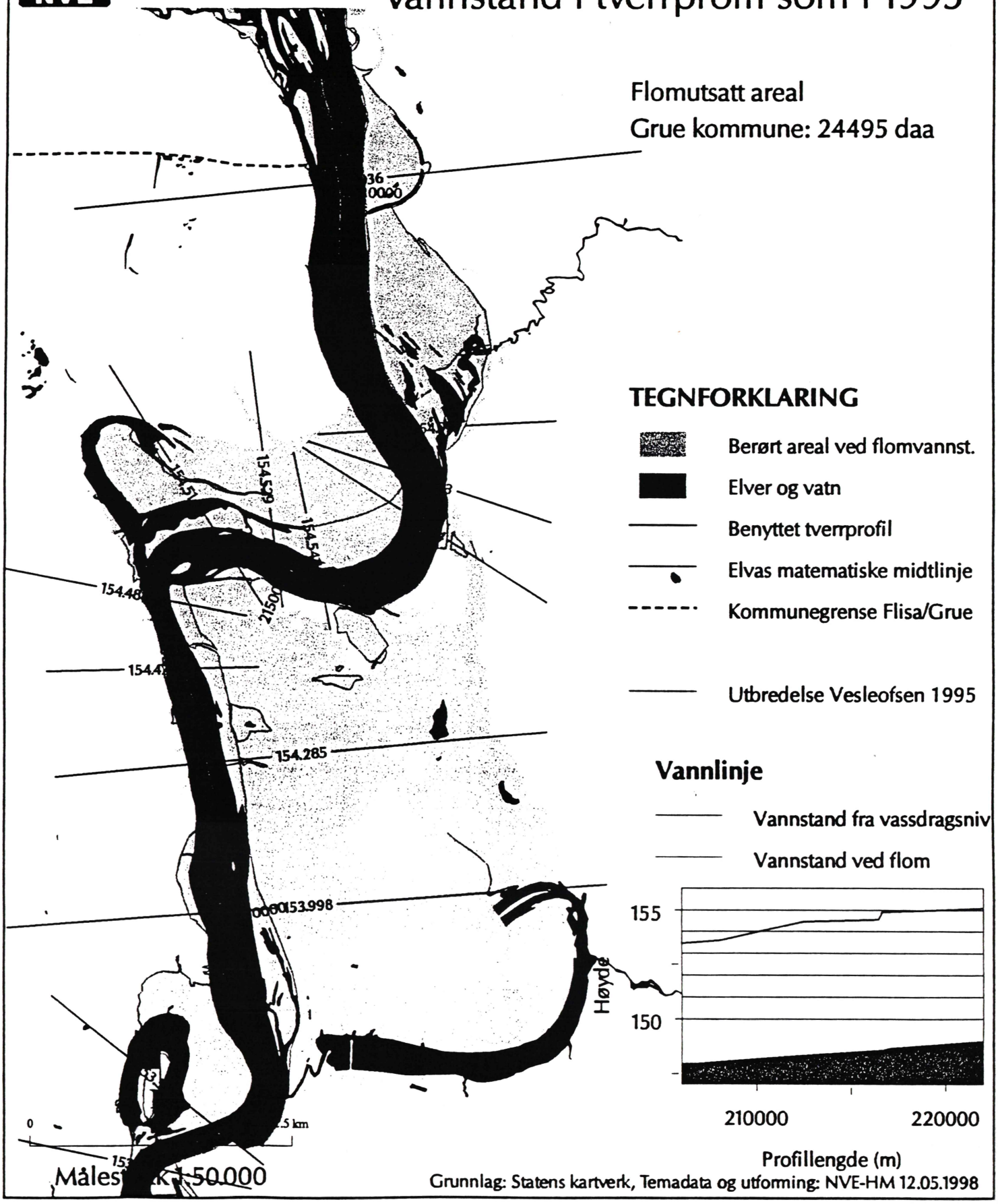
Vannstand i tverrprofil som i 1966



Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

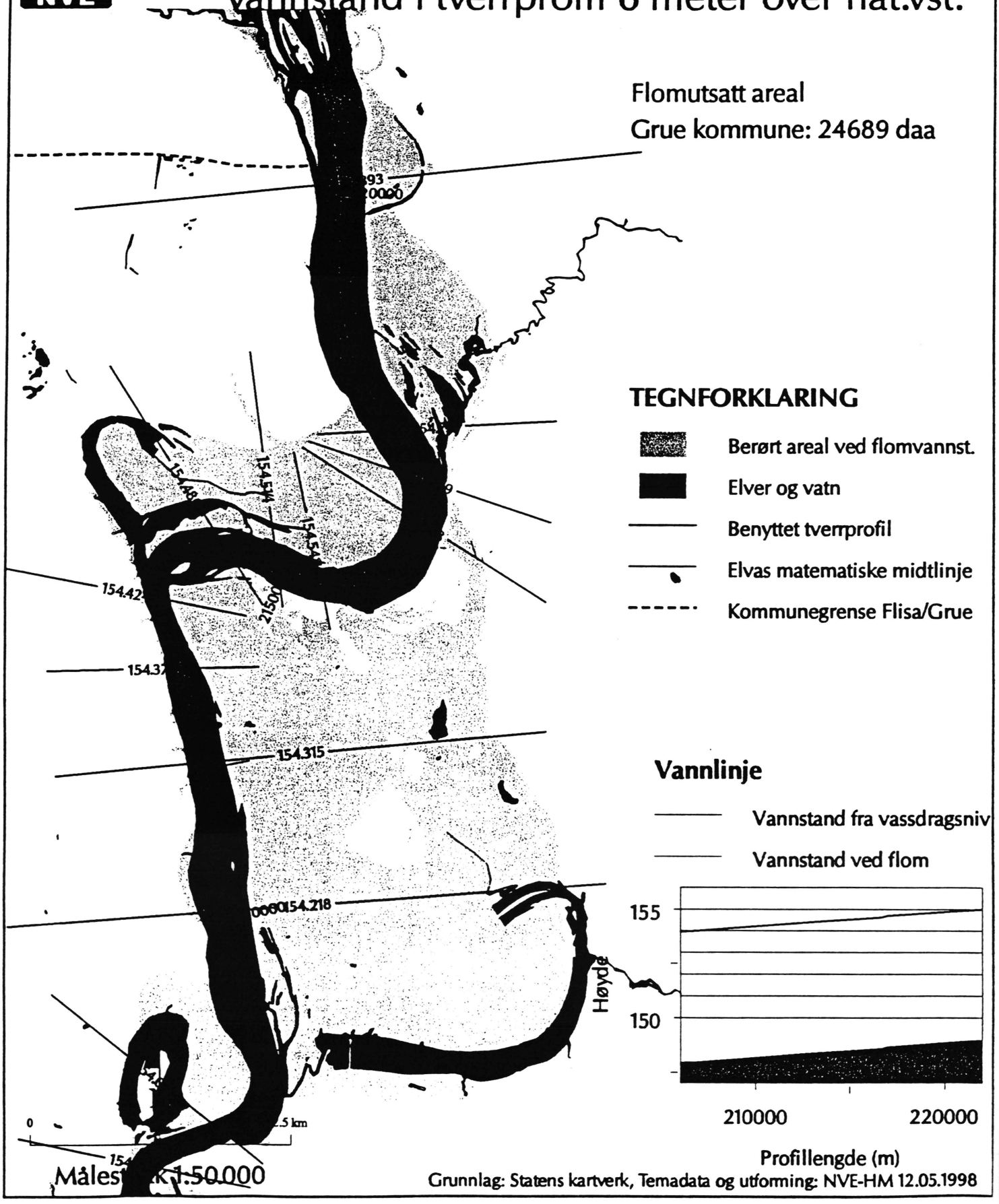
Flomsonekart Kirkenær

Vannstand i tverrprofil som i 1995



Flomsonekart Kirkenær

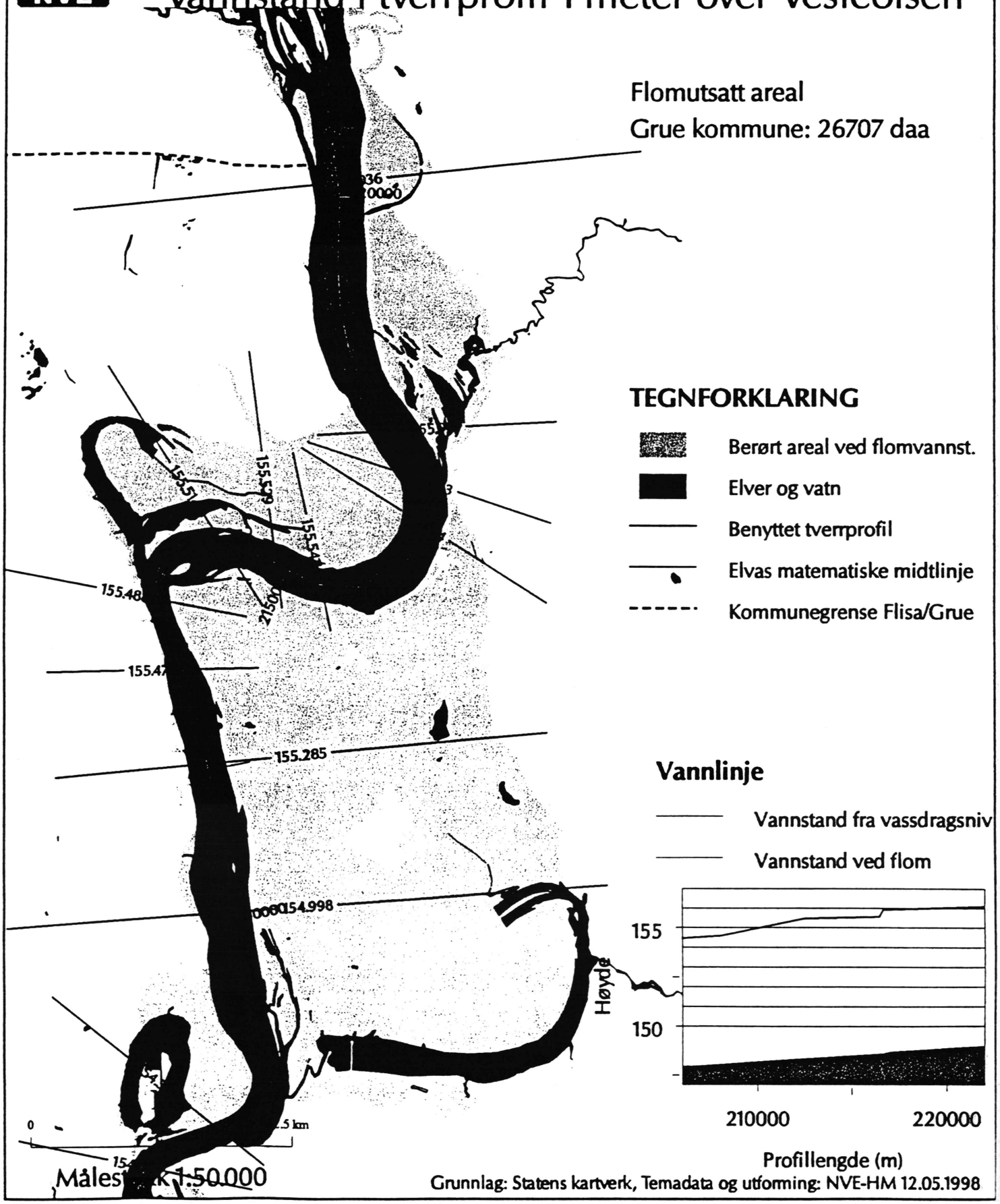
Vannstand i tverrprofil 6 meter over nat.vst.



Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart Kirkenær

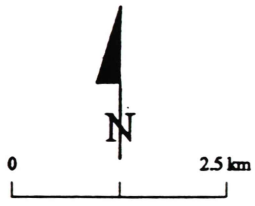
Vannstand i tverrprofil 1 meter over Vesleofsen



Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Flisa

Vannstand 3.5 meter over nat.vst.



Målestokk 1:90000



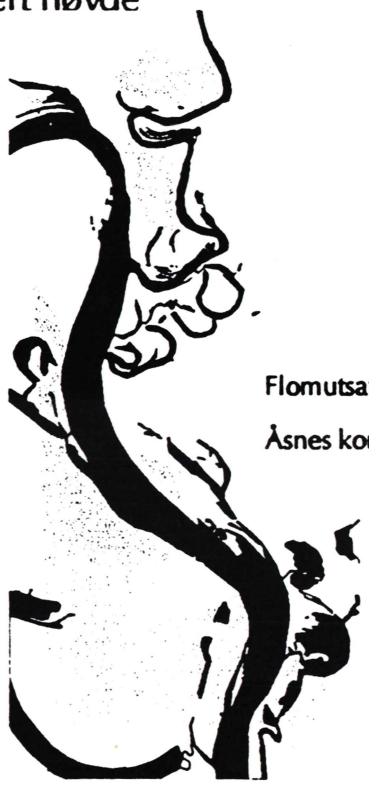
Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 6892 daa

Høvdemodell fra detaljert høvde



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 4080 daa

Høydemodell fra 5 m koter



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 7460 da

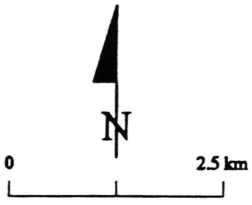
Høydemodell fra 20 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Flisa

Vannstand som i 1966



Målestokk 1:90000



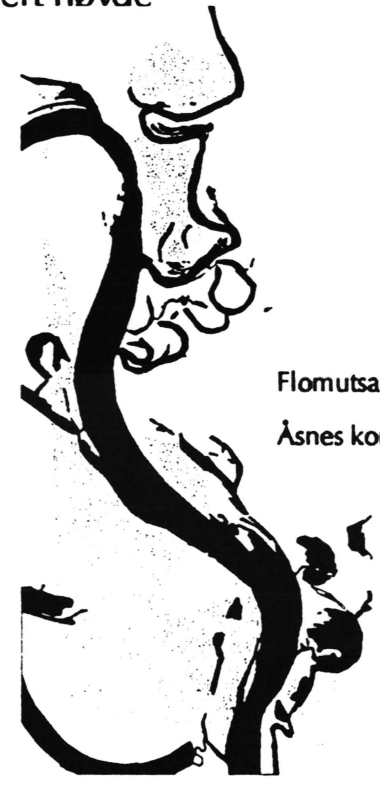
Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 11068 daa

Høydemodell fra detaljert høvde



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 6566 daa

Høydemodell fra 5 m koter



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 8670 da

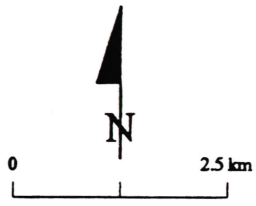
Høydemodell fra 20 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Flisa

Vannstand 6 meter over nat.vst.



Målestokk 1:90000



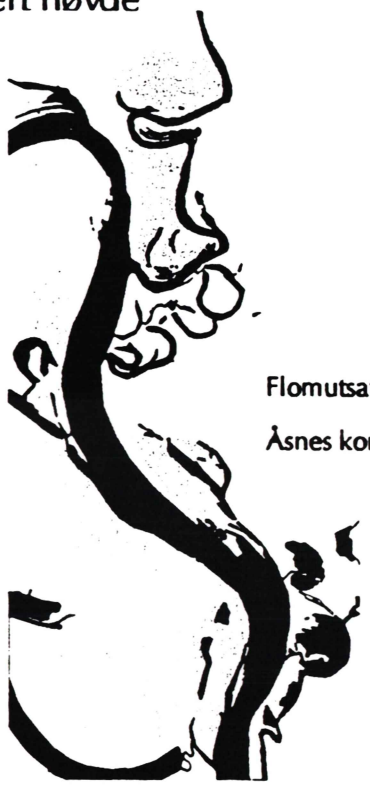
Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 13434 daa

Høydemodell fra detaljert høvde



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 13257 daa

Høydemodell fra 5 m koter



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 9765 da

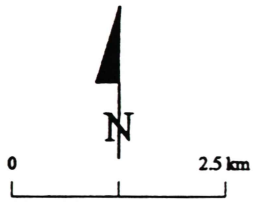
Høydemodell fra 20 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Flisa

Vannstand som i 1995

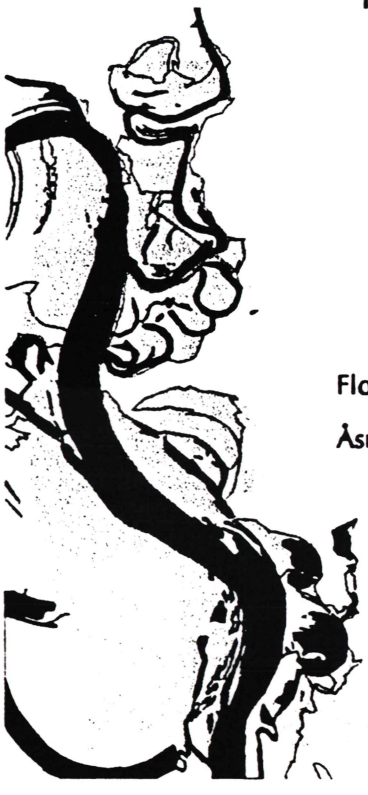


Målestokk 1:90000



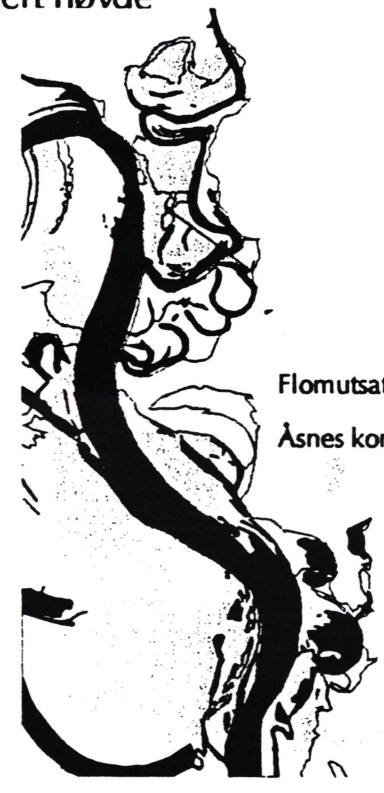
Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 13632 daa

Høvdemodell fra detaljert høvde



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 13391 daa

Høydemodell fra 5 m koter



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 9928 da

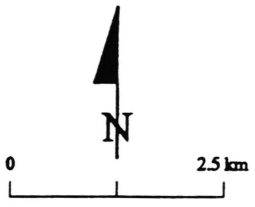
Høydemodell fra 20 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Flisa

Vannstand 1 meter over Vesleofsen

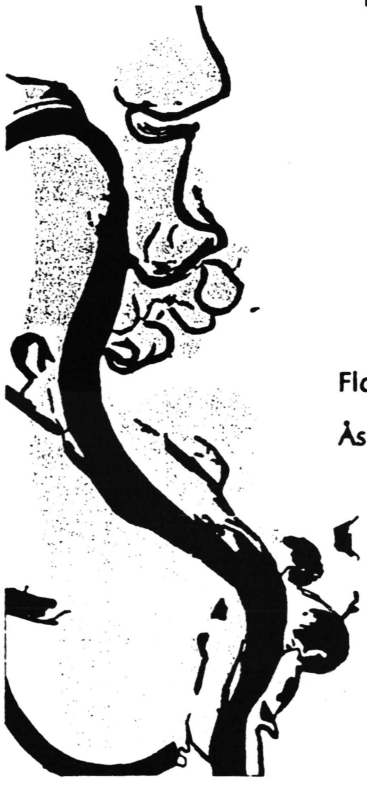


Målestokk 1:90000



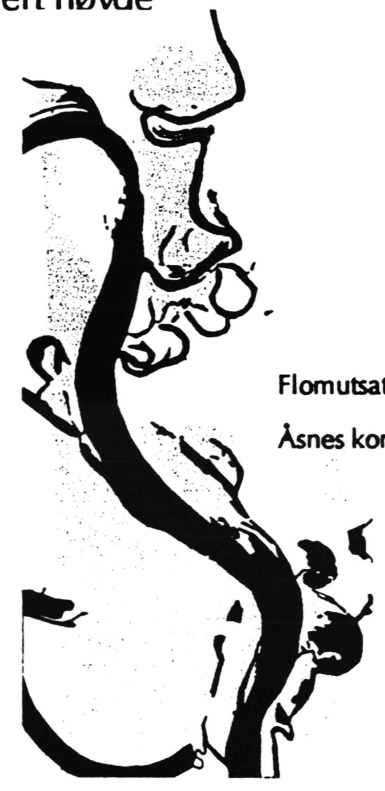
Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 14838 daa

Høvdemodell fra detaljert høvde



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 14076 daa

Høydemodell fra 5 m koter



Flomutsatt areal
Åsnes kommune: 11153 da

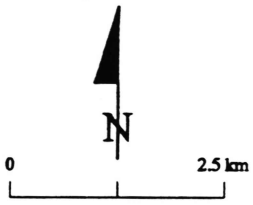
Høydemodell fra 20 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

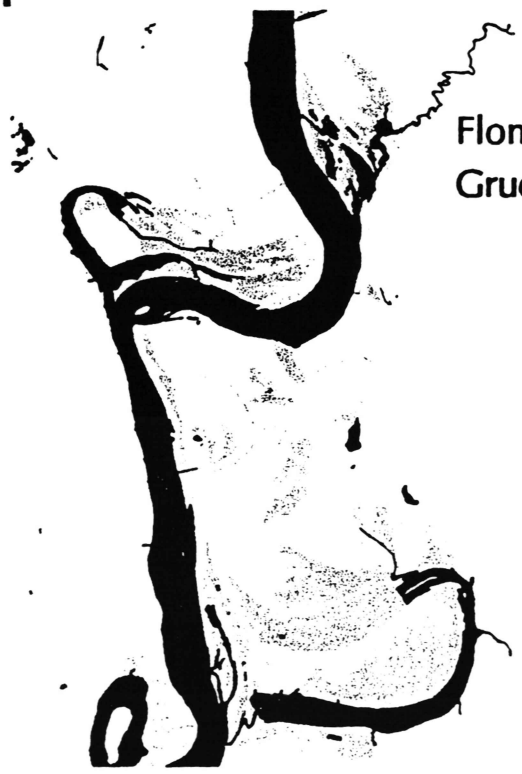
Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Kirkenær

Vannstand 3.5 meter over nat.vst.

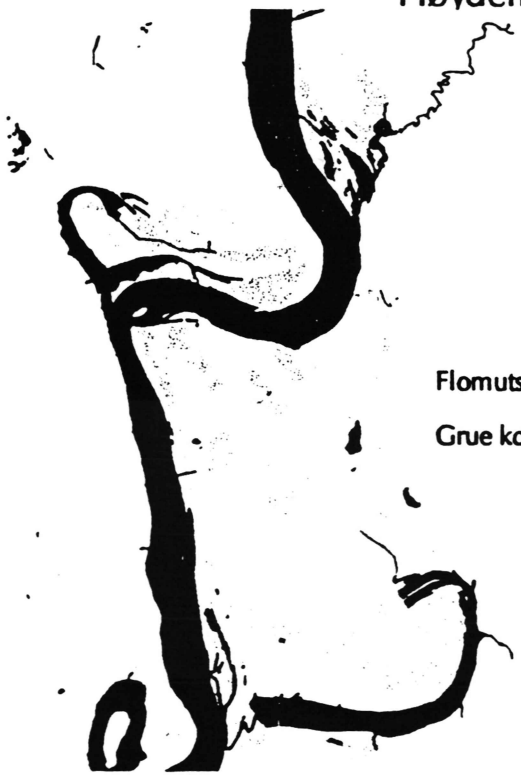


Målestokk 1:90000



Flomutsatt areal
Grue kommune: 10599 daa

Høydemodell fra detaljert høyde



Flomutsatt areal
Grue kommune: 10346 daa

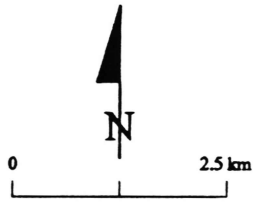
Høydemodell fra 5 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

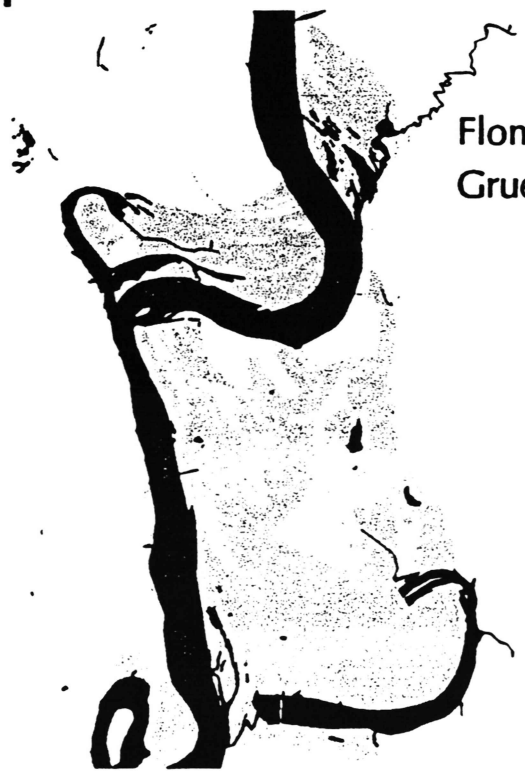
Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Kirkenær

Vannstand som i 1966

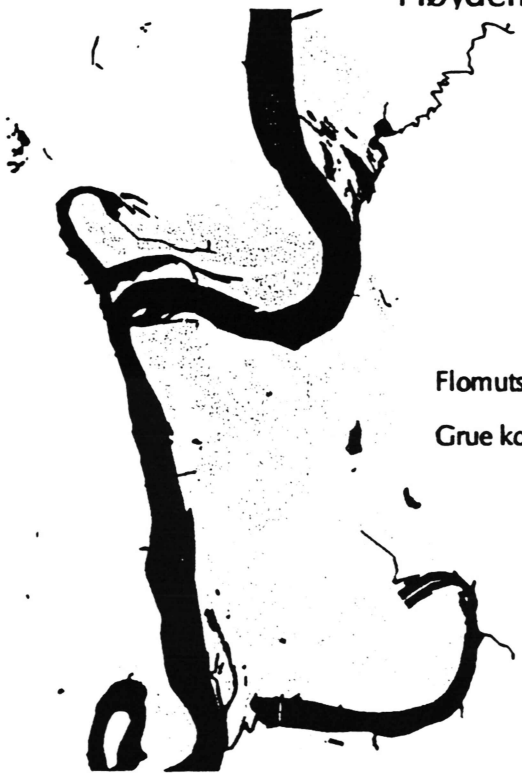


Målestokk 1:90000



Flomutsatt areal
Grue kommune: 19384 daa

Høydemodell fra detaljert høyde



Flomutsatt areal

Grue kommune: 18902 daa

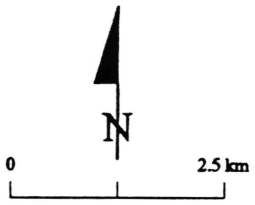
Høydemodell fra 5 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

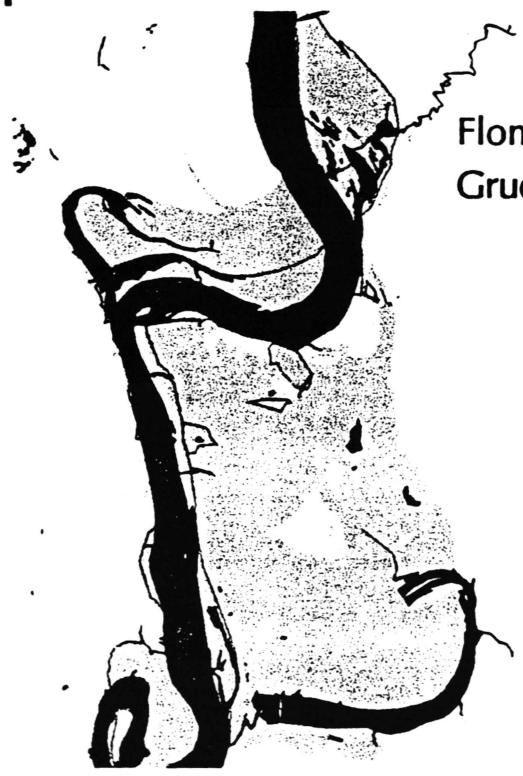
Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Kirkenær

Vannstand som i 1995

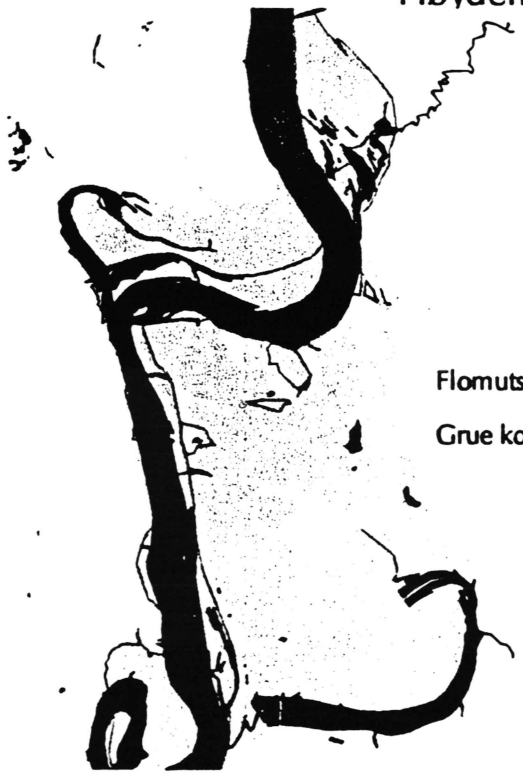


Målestokk 1:90000



Flomutsatt areal
Grue kommune: 24495 daa

Høydemodell fra detaljert høyde



Flomutsatt areal

Grue kommune: 24218 daa

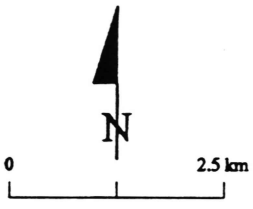
Høydemodell fra 5 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

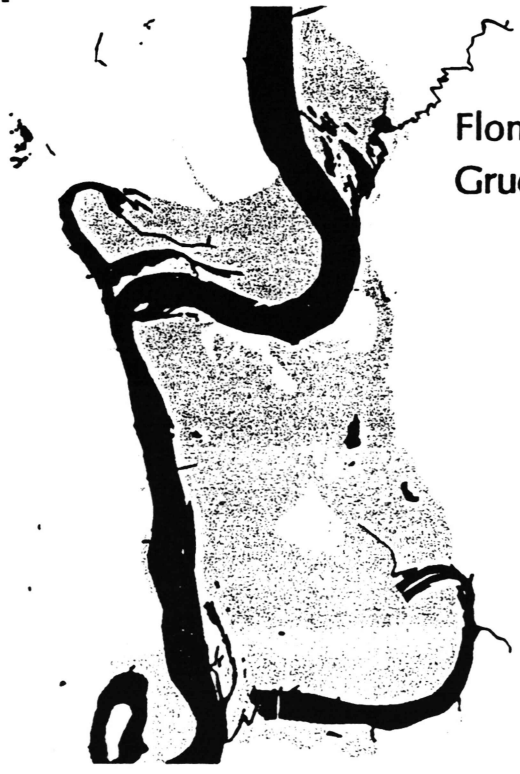
Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Kirkenær

Vannstand 6 meter over nat.vst.

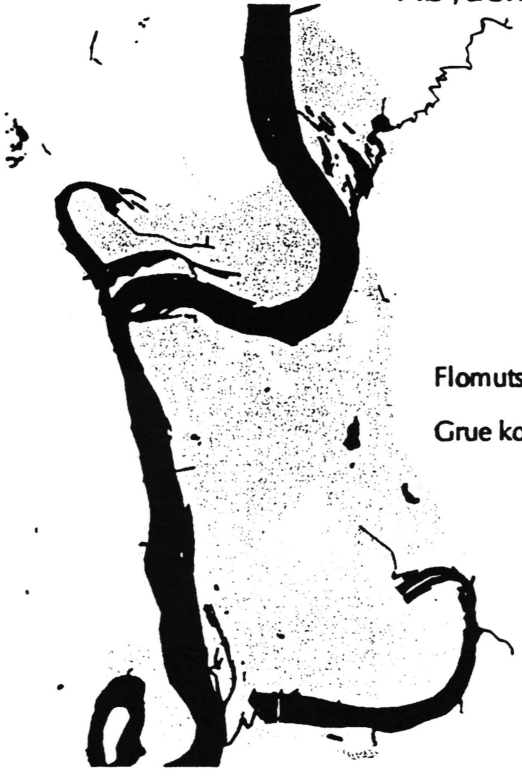


Målestokk 1:90000



Flomutsatt areal
Grue kommune: 24689 daa

Høydemodell fra detaljert høyde



Flomutsatt areal
Grue kommune: 24544 daa

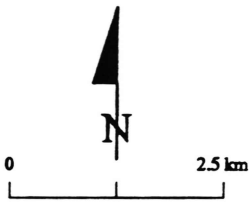
Høydemodell fra 5 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

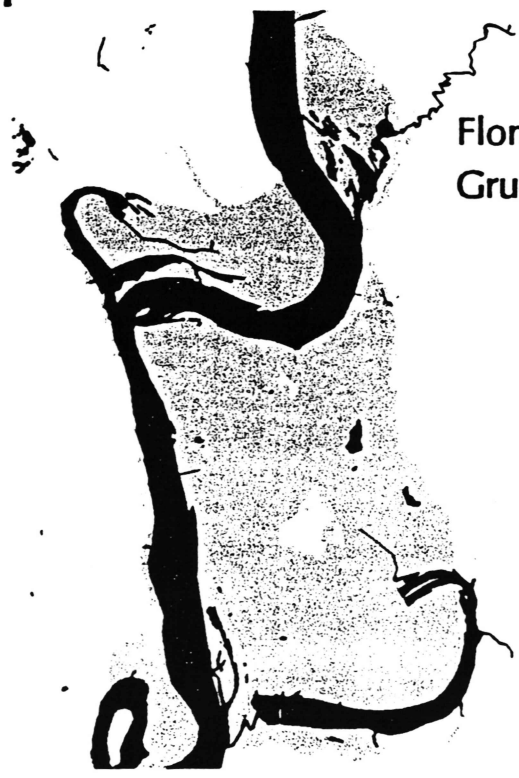
Flomsonekart fra ulike høydemodeller

Kirkenær

Vannstand 1 meter over Vesleofsen

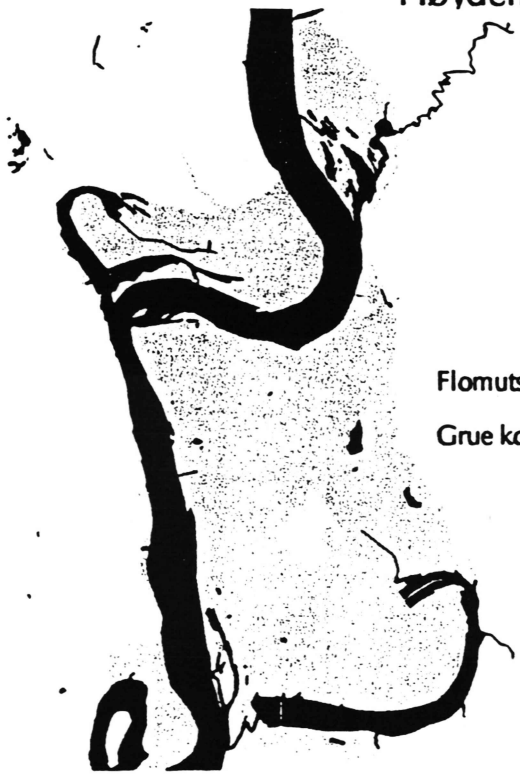


Målestokk 1:90000



Flomutsatt areal
Grue kommune: 26707 daa

Høydemodell fra detaljert høyde



Flomutsatt areal
Grue kommune: 26287 daa

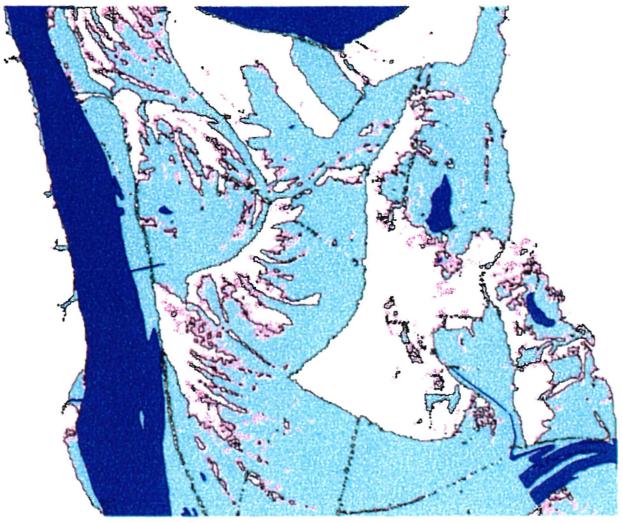
Høydemodell fra 5 m koter

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 12.05.1998

Følsomhetsanalyse for usikker vannstand

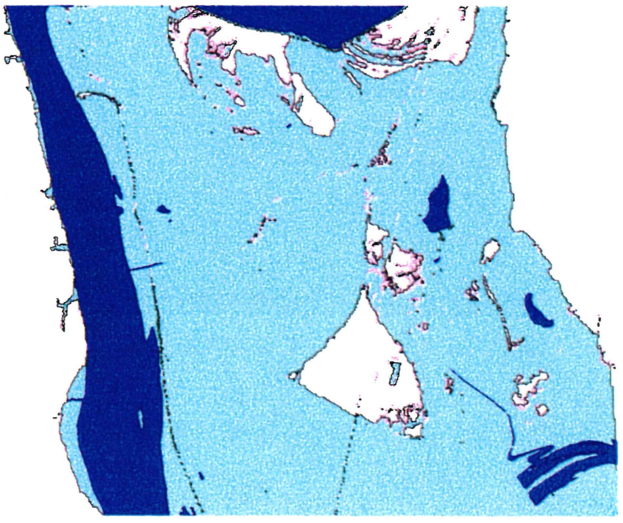
Eksempel fra Kirkenær

Vannstand som i 1966

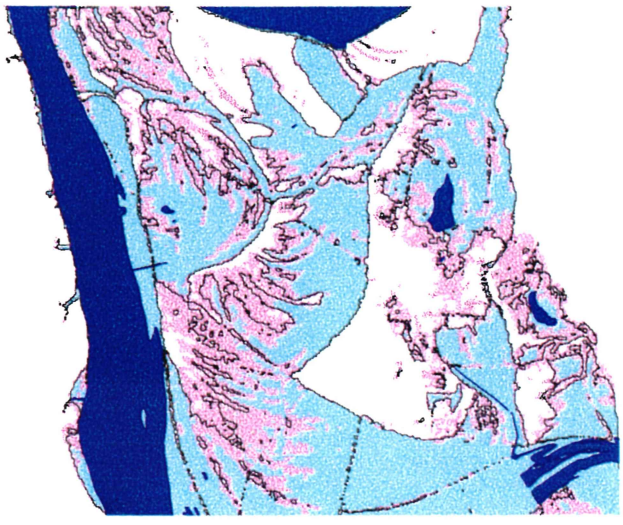


Usikkerhet vannstand +- 20 cm
usikkert flomareal + 6.07 %, - 7.25 %

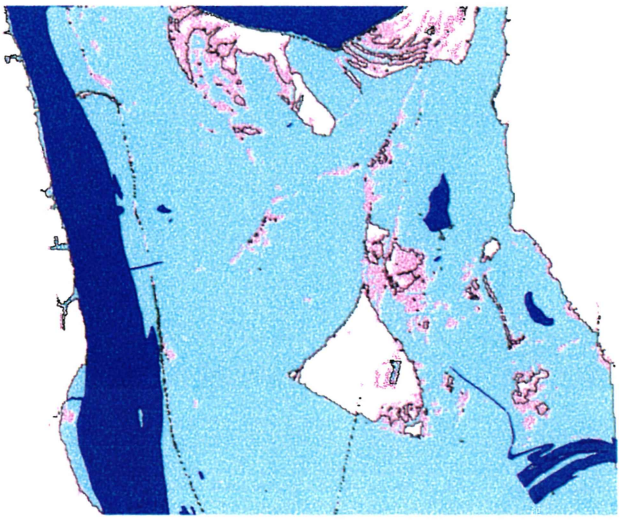
Vannstand som i 1995



Usikkerhet vannstand +- 20 cm
usikkert flomareal + 2.33 %, - 2.62 %



Usikkerhet vannstand +- 50 cm
usikkert flomareal + 13.79 %, - 19.58 %



Usikkerhet vannstand +- 50 cm
usikkert flomareal + 5.28 %, - 7.11 %

Sikkert flomareal

Usikkert flomareal

Elvas naturlige løp

0 2.5 km

Målestokk 1:50000

Grunnlag: Statens kartverk, Temadata og utforming: NVE-HM 01.09.1998

UTGITTE NOTAT I HYDRA-SERIEN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kontaktpersoner

formann i styringsgruppen: Fylkesmann Erling Norvik
Tlf. 69 24 70 00
E-post: erling.norvik@fm-os.sri.telemax.no

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

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

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

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

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

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

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

databaser og GIS: Lars Andreas Roald
Norges vassdrags- og energiverk
Tlf. 22 95 92 40
E-post: lars.roald@nve.no

modellarbeid: Ånund Killingtveit
Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet
Tlf. 73 59 47 47
E-post: aanund.killingtveit@bygg.ntnu.no

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

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