



Statens vegvesen

# Erosjonsskader ved Middøla bru: årsak og tiltak

**RAPPORT**

Teknologiavdelingen

Nr. 2560



Klima  
og  
transport

Geoteknikk- og skredseksjonen  
Dato: 2009-11-20





**Statens vegvesen**

## TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2560

Tittel

### Erosjonsskader ved Middøla bru: årsak og tiltak

Vegdirektoratet  
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep  
0033 Oslo  
Telefon: (+47 915) 02030  
www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Lars Jenssen, NTNU  
Erik Holmqvist; Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)  
Kari Svelle Reistad, NVE

Dato:

2009-11-20

Saksbehandler

Bjørn Kristoffer Dolva

Prosjektnr:

601998

Kontrollert av

Frode Oset

Antall sider og vedlegg:

146

#### Sammendrag

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 - 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for prosjektering, bygging og drifting av veg som svar på endrede klimaforhold.

Gjennom samarbeidet med Jernbaneverket er banetransport også inkludert.

Rapporten tilhører aktiviteten "Erosjonssikring mot strømmende vann" i delprosjekt 3 "Flom- og erosjonssikring".

Rapporten samler 3 bidrag knyttet til pilotprosjektet Rv.37 Middøla bru, beliggende i Tinn kommune i Telemark. Brua er bygd i 1990, direktefundamentert på løsmasser og den har vært utsatt for erosjonsskader og utbedringer ved flere anledninger.

Jenssen (NTNU) tar utgangspunkt i erosjonsskadene og gir vurdering av årsak og forslag til tiltak. Holmqvist (NVE) dokumenterer flomberegning for elven Middøla. Reistad (NVE) dokumenterer hydraulisk beregning for elven ved Middøla bru.

Rapportene samlet sett gir en systematisk tilnærming knyttet til dimensjonering av erosjonssikring både i fm planlegging av nye bruer og ved utbedring av erosjonsskader. Rapportene viser også at noen forskjeller i valgte rammebetingelser for flomberegningen fører til forskjeller i nødvendig steinstørrelser for erosjonssikring.

#### Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D program "Climate and Transport", carried out by the Norwegian Public Road Administration 2007 - 2010. The main objectives of the programme are to investigate the effect of climate change on the road network and recommend remedial actions concerning planning, design, construction and maintenance.

The work presented in this report is a part of project no. 3, Flood and Erosion Prevention. The project focuses on principles for the choice of structural solutions and design and maintenance methods for drainage structures and erosion protection measures.

This report compiles three separate studies of a pilot project, Middøla Bridge, on Rv. 37 (National road 37), Tinn municipality

in Telemark County. The bridge was built in 1990, founded by spread footings on friction soil (gravel and sand) and has been subjected to erosion damage and repair on several occasions. The report by Jenssen (NTNU, the Norwegian University of Science and Technology) considers the erosion damages and provides an evaluation of possible causes and suggestions for protective measures. The report by Holmqvist (NVE, the Norwegian Directorate for Energy and water resources) presents

flood calculations for the river Middøla and the report by Reistad (NVE) presents hydraulic calculations for the river at Middøla Bridge.

#### Emneord:

Etatsprosjekt Klima og transport, Erosjonssikring, Flomberegning, hydraulisk beregning



## Forord

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 – 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold.

Klimaforskningen konkluderer med at vi etter all sannsynlighet vil få endring til et varmere klima, som antas å føre til en økning i nedbørmengde og intensitet, parallelt med økt stormfrekvens og stormstyrke. Effektiviteten og sikkerheten av vegnettet påvirkes av nedbør, vind og temperaturforholdene. Dette er elementer som har innvirkning på steinsprang, fjellskred og snøskred, overflatevann, flom og erosjon, frysing og tining samt snø og is på vegbanen.

'Klima og transport' jobber etter beskrivelser av klimaendringer og deres effekt på transportsektoren slik de er nedfelt i følgende dokumenter:

- NTP-rapport "Virkninger av klimaendringer for transportsektoren", laget av en tverretattlig gruppe i transportsektoren: Jan Otto Larsen (leder) og Pål Rosland (sekretær), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjell Arne Skoglund, Jernbaneverket, Eivind Johnsen, Kystverket og Olav Mosvold Larsen, Avinor.
- Vedleggsrapport "Regionale klimascenarier for transportsektoren i Norge - en oppdatering", av Jan Erik Haugen og Jens Debernard, Det Norske Meteorologiske institutt, februar 2007. (Rapporten er basert på scenarier fra RegClim prosjektet.)
- "Klima i Norge 2100", utarbeidet for NOU Klimatilpassing av Meteorologisk institutt, Bjerknæssenteret, Nansensenteret, Havforskningsinstitutt og NVE, juni 2009.

Vedleggsrapporten fra Meteorologisk institutt baserer seg på resultatene fra det nasjonale klimaprojektet RegClim. Fire nye regionale klimascenarier, som ble utviklet i RegClim-prosjektet, ble analysert som felles datasett.

'Klima og transport' består av følgende delprosjekter:

- Dp 1 Premisser og implementering
- Dp 2 Innsamling, lagring og bruk av data
- Dp 3 Flom- og erosjonssikring
- Dp 4 Skred
- Dp 5 Tilstandsutvikling på vegnettet
- Dp 6 Konsekvenser for vinterdrift
- Dp 7 Sårbarhet og beredskap

Prosjektleder for 'Klima og transport' er Gordana Petkovic og prosjektsekretær Reidun Svendsen. Mer informasjon om prosjektet: <http://www.vegvesen.no/klimaogtransport>

**Delprosjekt 3**, som denne rapporten hører til, omfatter utredning av behov og muligheter for tilpasning til endret klima, både gjennom dimensjonering av drenering, erosjonssikring eller vegen og ved endringer i kriterier for valg av løsninger. Delprosjektet ledes av Frode Oset, Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

For mer informasjon av delprosjekt 3, se vedlegg 1.

Rapporten tilhører aktiviteten ”Erosjonssikring mot strømmende vann”, hvis arbeidsgruppe består av:

Bjørn Kristoffer Dolva, Statens vegvesen, Region sør (leder)  
Frode Oset, Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  
Kristine Flesjø, Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  
Oddvin Ylvisaker, Statens vegvesen, Region vest  
Hans Olav Hagen, Statens vegvesen, Region sør  
Aina Katharina Anthi, Statens vegvesen, Region øst  
Magne Langeteig, Statens vegvesen, Region vest  
Arnulf Robsrud, Jernbaneverket  
Tharan Fergus, NVE  
Lars Jenssen, NTNU  
Øyvind A. Høydal, NGI  
Jannes Stolte, Bioforsk

Denne rapporten samler 3 rapporter knyttet til pilotprosjektet Rv 37 Middøla bru.

- Rapporten ”Erosjon ved Middøla bru. Vurdering av årsak og forslag til tiltak” (november 2009) er laget av Lars Jenssen, NTNU. Den gir et sammendrag av de ulike beregningene og vurderingene som er gjort i tilknytning til prosjektet, herunder historikk, flomberegninger, hydrauliske beregninger og dimensjonering av erosjonssikringen.
- Rapporten ”Flomberegning for Middøla” (januar 2009) er utarbeidet av Erik Holmquist, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Den beskriver vassdraget og de relevante hydrometriske stasjonene, dokumenterer flomanalyser/-beregninger for vassdraget Middøla, en sidegren til Måna i Skiensvassdraget, og gir et grunnlag for erosjonssikring av Middøla bru. Rapporten gir også et historisk tilbakeblikk på store historiske flommer.
- Rapporten ”Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru” (januar 2009) er laget av Kari Svelle Reistad, NVE. Den beskriver området, metodikken, databehovet og datainnsamlingen samt dokumenterer selve den hydrauliske modelleringen.

Rapportene har noe forskjellig tilnærming til flomberegningene, og de vil derfor kunne gi et noe forskjellig resultat (nødvendig steinstørrelse) knyttet til dimensjonering av erosjonssikring.

For oversikt over tidligere andre rapporter fra `Klima og transport`, se vedlegg 2

*L. Jenssen*

# Erosjon ved Middøla bru

## Vurdering av årsak og forslag til tiltak

Trondheim, 20. november 2009





Tittel: Erosjon ved Middøla bru Vurdering av årsak og forslag til tiltak	Dato: 20. november 2009
	Rapportnummer: B1-2009-1 / 45 – 1
	Prosjektnummer: 45
Utført av: <i>Lars Jenssen</i>	Prosjektleder: <i>Lars Jenssen</i>

Oppdragsgiver: Statens vegvesen	Kontakt: Bjørn Kristoffer Dolva
Oppdragsgivers adresse: Vegdirektoratet Postboks 8142 Dep 0033 Oslo	Telefon: 35581707 E-post: bjørn- kristoffer.dolva@vegvesen.no

### Sammendrag

Middøla bru (08-1489), der riksvei 37 krysser elva Middøla, i Tinn kommune, ca. 8 km øst for Rjukan, ble bygget i 1990. Fundamentene har blitt undergravd flere ganger, senest i 2008. På grunn av erosjonsproblemene blir brua brukt som case i prosjektet *Klima og transport*, delprosjekt 3.2, *Erosjonssikring mot strømmende vann*.

Denne rapporten gir et sammendrag av de ulike beregningene og vurderingene som ble gjort i tilknytning til prosjektet:

- Historikk, skader og utbedring, befaring av brua, vurdering av erosjonsproblem.
- Flomberegning; enkel og fullstendig.
- Hydraulisk beregning; håndregning og bruk av en numerisk modell.
- Beregning og utforming av erosjonssikring, vurdering av eksisterende sikring.

De viktigste konklusjonene er:

- Brua er bygget på en vifte av elveavsatt material, der man må forvente perioder med bunnsenkning og bunnheving. Dét ble det ikke tatt hensyn til da brua ble planlagt.
- Undergraving av fundamentene skyldes ikke primært lokalerosjon, men bunnsenkning over en strekning på flere hundre meter.
- Ulike flomberegninger gav svært ulikt resultat. Generelt er det viktig å være oppmerksom på at flomberegninger er usikre, og ta hensyn til dette ved dimensjoneringen.
- For Middøla bru var en enkel hydraulisk beregning (håndregning) tilstrekkelig nøyaktig, men beregning med numeriske modell gir bedre oversikt over strømningsforholdene.
- Eksisterende sikring fra 2008, unntatt nedstrøms avslutning, vurderes som tilstrekkelig. For å hindre undergraving, bør sikringen forlenges ned til Måna.
- Det er brukt sprøytebetong på eksisterende sikring. Det er ugunstig for miljøet og usikkert om sikringen blir mer stabil.

**Institutt for vann- og miljøteknikk**  
**Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi**  
**NTNU**

Postadresse:  
7491 Trondheim  
Org. nr. 974 767

Besøksadresse:  
S. P. Andersens vei 5

Telefon +47 73 59 47 51  
Telefaks +47 73 59 12 98



# Innhold

<b>1</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BESKRIVELSE AV VASSDRAGET</b> .....	<b>1</b>
2.1	HYDROLOGISKE FORHOLD .....	1
2.2	MASSETRANSPORT .....	1
2.3	ANDRE FORHOLD .....	2
<b>3</b>	<b>TEKNISKE OPPLYSNINGER OM MIDDØLA BRU</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>FLOM- OG EROSJONSPROBLEM VED MIDDØLA BRU</b> .....	<b>3</b>
4.1	SKADEHISTORIKK .....	3
4.2	BEFARING I JUNI 2009 .....	4
4.3	VURDERING AV EROSJONSPROBLEMENE .....	8
4.3.1	Generelt om erosjon .....	8
4.3.2	Erosjon ved Middøla og Miland .....	8
4.3.3	Vurdering av eksisterende sikring ved Middøla bru .....	9
<b>5</b>	<b>FLOMBEREGNING</b> .....	<b>10</b>
5.1	OPPRINNELIG FLOMBEREGNING .....	10
5.2	ENKEL FLOMBEREGNING .....	11
5.3	FULLSTENDIG FLOMBEREGNING .....	11
5.4	SAMMENLIKNING OG VURDERING .....	11
5.5	KONKLUSJON .....	12
<b>6</b>	<b>HYDRAULISK BEREKNING</b> .....	<b>13</b>
6.1	VANNLINJEBEREGNING .....	13
6.1.1	Kommentarer til NVEs vannlinjeberegning .....	14
6.2	ENKEL HYDRAULISK BEREKNING .....	14
6.3	OPPDATERT ENKEL BEREKNING .....	14
6.4	SAMMENLIKNING OG VURDERING .....	16
<b>7</b>	<b>EROSJONSSIKRING</b> .....	<b>17</b>
7.1	GENERELT OM DIMENSJONERING AV EROSJONSSIKRING .....	17
7.2	SIKRING AV GJENNOMLØPET .....	17
7.3	SIKRING RETT NEDSTRØMS BRUA .....	19
7.4	BRATT PARTI NEDSTRØMS EKSISTERENDE SIKRING .....	20
7.5	SIKRINGENS UTSTREKNING OG UTFORMING .....	20
7.6	EROSJONSSIKRING AV MILAND BRU .....	22
<b>8</b>	<b>SAMMENDRAG OG KONKLUSJON</b> .....	<b>22</b>
8.1	SAMMENDRAG .....	22
8.2	KONKLUSJON .....	23



## Figurer

Figur 1 Kart over Middøla. Bekkeinntaket i Middøltjørni er markert med et svart punkt (fra Holmqvist 2009).....	2
Figur 2 Middøla har dannet en vifte av elveavsatt masse ved utløpet av Håkådalen .....	3
Figur 3 Middøla bru etter flom i mai 2007.....	5
Figur 4 Middøla bru etter reparasjon i juli 2007 .....	5
Figur 5 Middøla bru etter skade i juli 2008.....	6
Figur 6 Middøla bru, ny sikring, juni 2009 .....	6
Figur 7 Middøla bru mot oppstrøms, sikring av gjennomløpet, juni 2009 .....	6
Figur 8 Middøla bru, nedstrøms avslutning av sikring, juni 2009 .....	7
Figur 9 Middøla, fra Middøla bru mot oppstrøms, juni 2009 .....	7
Figur 10 Miland bru, bunnsenkning i gjennomløpet, juni 2009.....	8
Figur 11 Middøla bru, lengdeprofil og vannlinje for $Q_{200}$ .....	14

## Tabeller

Tabell 1 Resultat fra forenklet flomberegning for Middøla.....	11
Tabell 2 Resultat fra fullstendig flomberegning .....	11
Tabell 3 Sammenlikning av flomstørrelser, kulminasjonsvannføring for Middøla.....	12
Tabell 4 Middøla bru, resultat for vannlinjeberegning for $Q_{200} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	14

## Vedlegg

- Vedlegg 1: *Middøla bru, erosjonssikring*, foreløpig notat, datert 19.11.2008.
- Vedlegg 2: Tegninger av Middøla bru
- Vedlegg 3: Opprinnelig flomberegning fra broen ble bygget
- Vedlegg 4: Notat fra NVE med sammenlikning av ulike flomberegninger for Middøla og Måna



# 1 Innledning

Middøla bru, der riksvei 37 krysser elva Middøla, ca. 8 km øst for Rjukan, ble bygget i 1990. Fundamentene har blitt undergravd flere ganger, senest i 2008. På grunn av erosjonsproblemene blir brua brukt som case i prosjektet *Klima og transport*, delprosjekt 3.2, *Erosjonssikring mot strømmende vann*.

Denne rapporten gir et sammendrag av de ulike beregninger og vurderinger som ble gjort i tilknytning til prosjektet:

- Historikk, skader og utbedring.
- Befaring av brua.
- Flomberegning; enkel og fullstendig.
- Hydraulisk beregning; håndregning og bruk av en numerisk modell.
- Beregning og utforming av erosjonssikring.

Ved Miland bru, en kommunal bru som ligger ca. 180 m oppstrøms Middøla bru, er det også betydelig bunnsenkning og fare for undergraving av fundamentene. Miland bru er ikke en del av prosjektet, men den omtales også i rapporten.

## 2 Beskrivelse av vassdraget

Middøla er en sideelv til Måna (Figur 1). Feltet strekker seg fra ca. 200 moh til Storenut på 1241 moh, og har et areal på 36,9 km<sup>2</sup>. Øvre del av feltet er småkupert fjellterreng. Nedre del av feltet, Håkådalen, har bratt skogsterreng med store hogstflater.

### 2.1 Hydrologiske forhold

Fra NVE-atlas på nett (atlas.nve.no) finner vi for Middøla:

Vassdragsnummer	= 016.H1Z
Årlig tilsig	= 34,33 Mm <sup>3</sup>
Midlere avrenning	= 1,1 m <sup>3</sup> /s
Midlere spesifikk avrenning	= 29,5 l/s/km <sup>2</sup>
Feltstørrelse	= 36,88 km <sup>2</sup>

Feltets middelhøyde er 985 moh, og 29 % er snaufjell og 2,5 % av feltet er sjø (Holmqvist 2009). Øvre del av Middøla blir tatt inn i et kraftverksinntak og overført til Mår kraftverk. Arealet av feltet som overføres, er 2,16 km<sup>2</sup>.

### 2.2 Massetransport

Flyfoto viser mange ravinelignende furer nedover de bratte dalsidene i Håkådalen. Det tyder på at grunnen er lett eroderbar og at Middøla kan få tilført mye løsmasse. Ved utløpet av Håkådalen i Vestfjorddalen (hoveddalen), har Middøla lagt opp en ca. 1 km bred vifte av elveavsatt masse (Figur 2). Massen har vid gradering, fra sand til blokk, og er godt avrundet. Avsetningen har presset hovedelva, Måna, over mot motsatt bredd.

Under store flommer er det sannsynlig at Middøla vil få tilført mye løsmasse fra de bratte dalsidene i Håkådalen. De grovste fraksjonene vil bli avsatt på viften etter hvert som elva flater ut. Finere fraksjoner vil bli transportert ut i Måna.

Under flommen i 2004 la Middøla opp en ør av stein og grus ut i Måna. Etter flommen ble den fjernet av Statkraft (Anders Kåsa, muntlig). Det samme skjedde ifm. flommen i 2008.

Fra storflommen i 1927 fortelles det (1995): “På Miland la sideelva Middøla opp en så stor grusmæle at elveløpet til dalens hovedelv Måna forandret retning mot jernbanelinjen. Elva steg så mye at de nederste stålbjelkene til den store jernbanebroa lå i vannskorpen. Vannmassene kuttet også over et sidespor der det sto tre vogner, og først over ett år senere kunne de hentes med kran og lastebiler. På Mæl ble hele stasjonen oversvømt, og det ble også hovedsporet flere steder.”

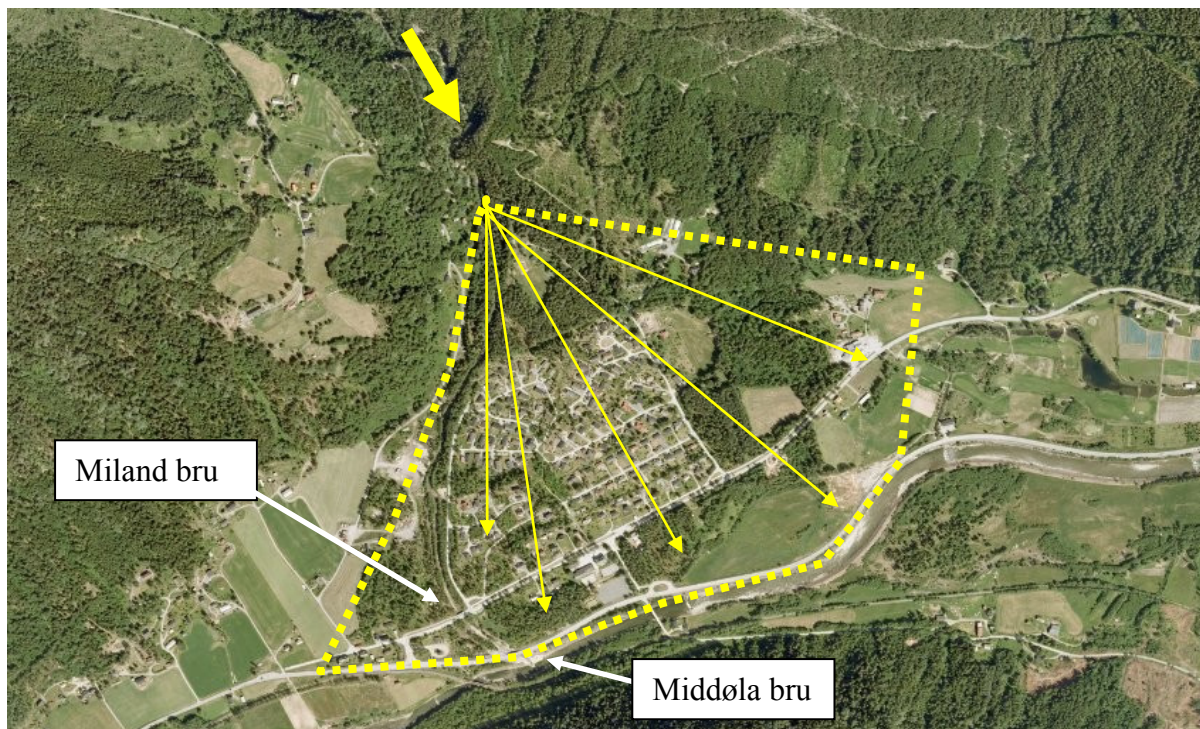
### 2.3 Andre forhold

Det er bygget voller for flomsikring langs Middøla. Vollen på høyre side av elva (sett med strømmen) begynner ved RV 37, og går minst 500 m opp langs elva. Øvre avslutning er usikker / ikke befart. Omfanget av sikring langs venstre side av elva er usikker.



Figur 1 Kart over Middøla. Bekkeinntaket i Middøltjørni er markert med et svart punkt (fra Holmqvist 2009).





Figur 2 Middøla har dannet en vifte av elveavsatt masse ved utløpet av Håkådalen

### 3 Tekniske opplysninger om Middøla bru

Middøla bru (08-1489) ligger på RV 37 i Tinn kommune i Telemark, ca. 8 km øst for Rjukan sentrum. Brua, som spenner over elven Middøla, ble bygget i 1990. Vinkelen mellom brua og elven er ca. 45°.

Brua er en fritt opplagt platebru i slakkarmert betong med spennvidde 20,3 m, fundamentert på landkar på sålefundamenter i elvekanten. Brua ble prosjektert av Statens vegvesen Telemark, og bygget av vegvesenets anleggsavdeling. Anleggsleder var Torkjell Malmanger. I vedlegg 2 er det en tegning av brua.

### 4 Flom- og erosjonsproblem ved Middøla bru

Det har vært en rekke problem med undergraving av fundamentene på Middøla bru. Dette kapitlet beskriver bruas skadehistorikk og observasjonene fra befaringen i juni 2009, og sannsynlig årsak til erosjonsproblemene.

#### 4.1 Skadehistorikk

Under gjengis bruas historikk, slik den er beskrevet av Hans Olav Hagen i notatet *Middøla bru, bru nr. 08-1489* datert 9. september 2008.

#### Fra byggeperioden (Torkjell Malmanger):

Brua ble bygget etter vårflommen i 1990, og åpnet samme sommer. Eksisterende elvebunn på stedet bestod av grove steinmasser, med rund steinform. Fundamentene for brua ble gravd ned noe i eksisterende elvebunn. Det ble avrettet med pukk før sålene ble støpt som tørrstøp. Etter at landkarene var ferdige, ble det tilbakefylt med stedlige masser til litt over sålen. Det var ikke planlagt, og ble heller ikke utført, spesielle erosjonssikringstiltak ved brua.

De nærmeste årene etter bygging ble det observert store vannhastigheter ved brua i flomperioder, og det var også tendenser til erosjon ved landkarene, men ikke så mye at det oppstod skader. Det ble etterfylt masse etter disse observasjonene.

#### **Flomskade 1, juni 2004 (Andreas Kåsa)**

Flom i juni 2004. Undergraving av vestre (høyre, sett medstrøms) sålefundament. Opptil ca. 80-90 cm undergraving i nedstrøms ende under sålen. Ble reparert ved å forskale og understøpe under fundamentet. Deretter tilbakefylt masse inn mot sålen, og reparert og tilbakefylt elveskrånninger oppstrøms brua.

#### **Flomskade 2, juli 2007 (Olav Lahus)**

Etter flommen i begynnelsen av juli 2007, var det ny undergraving av vestre fundament (høyre, sett medstrøms). Understøpen under sålen, som ble foretatt etter flommen i 2004, var undergravd i størrelsesorden 60-90 cm. Etter flomskaden ble veibanen ved brustedet innsnevret til ett felt i en periode, inntil det var foretatt utbedring. Figur 3 viser skadene etter flommen.

Utbedringen som ble foretatt de nærmeste dagene, var å fylle tilbake med sprengstein under og utenfor fundamentet og klappe til og komprimere så godt det lot seg gjøre med gravemaskinskuffa. Det ble også plastret med rimelig store stein (sprengstein) på utsiden av fundamentet samt i elveskrånninger nær brua. Figur 4 viser landkarene etter utbedring.

Det ble vurdert å gjøre en mer permanent utbedring med ny understøp som alternativ til fylling av sprengstein. Dette ble imidlertid vurdert til ikke å være praktisk gjennomførbart som følge av stor vannføring og behovet for umiddelbar utbedring for å gjenopprette normal 2-felts trafikk på brua.

Foreløpig videre strategi er å holde brua under oppsikt, spesielt i flomsituasjoner, og gjøre tiltak når det viser seg nødvendig.

#### **Flomskade 3, juli 2008 (Bjørn K. Dolva)**

Ny flomskade i slutten av juli 2008. Det lavestliggende fundamentet på Mæl-siden (venstre, sett medstrøms), som tidligere ikke har hatt skader, ble undergravd i stort omfang. Opptil 1,5 - 2,0 m inn under fundamentet ble erodert vekk i nesten hele fundamentbredden. Elvebunnen ble erodert bort til et nivå om lag 1 m under opprinnelig underkant av fundamentet. Ble utbedret med full understøp og tilbakefylling /plastring. Figur 5 viser skadene etter flommen. Figur 6 viser gjennomløpet etter sikring.

### **4.2 Befaring i juni 2009**

11. juni 2009 befarte arbeidsgruppen for delprosjekt 3.2, *Erosjonssikring mot strømmende vann*, Middøla bru.

Gjennomløpet er nå omhyggelig sikret. I bunnen er det plastret med blokker av sprengt stein. Breddene er sikret med sprengt stein og sprøytebetong. I nedre del av gjennomløpet er også bunnen sikret med sprøytebetong.

Figur 6 viser sikringen oppstrøms brua. Figur 7 viser sikring av gjennomløpet. Figur 8 viser hvordan sikringen er avsluttet nedstrøms brua.

I elveløpet mellom Middøla bru og Miland bru, var det flere tegn på erosjon og bunnsenking. Bunnmaterialet var rundet og blankskurt. Langs høyre bredd var det bratte skråninger med aktiv erosjon (Figur 9). Ved Miland bru, som ligger ca. 180 m oppstrøms, har bunnen i gjennomløpet senket seg betydelig.

Mellom Middøla bru og Måna, rett nedstrøms avslutningen av den nye sikringen, er det et bratt parti som virker ustabil (Figur 8).



Venstre landkar (sett medstrøms)



Høyre landkar

**Figur 3 Middøla bru etter flom i mai 2007**



Gjennomløpet etter reparasjon



Høyre landkar etter reparasjon

**Figur 4 Middøla bru etter reparasjon i juli 2007**



Venstre landkar



Gjennomløpet fra oppstrøms

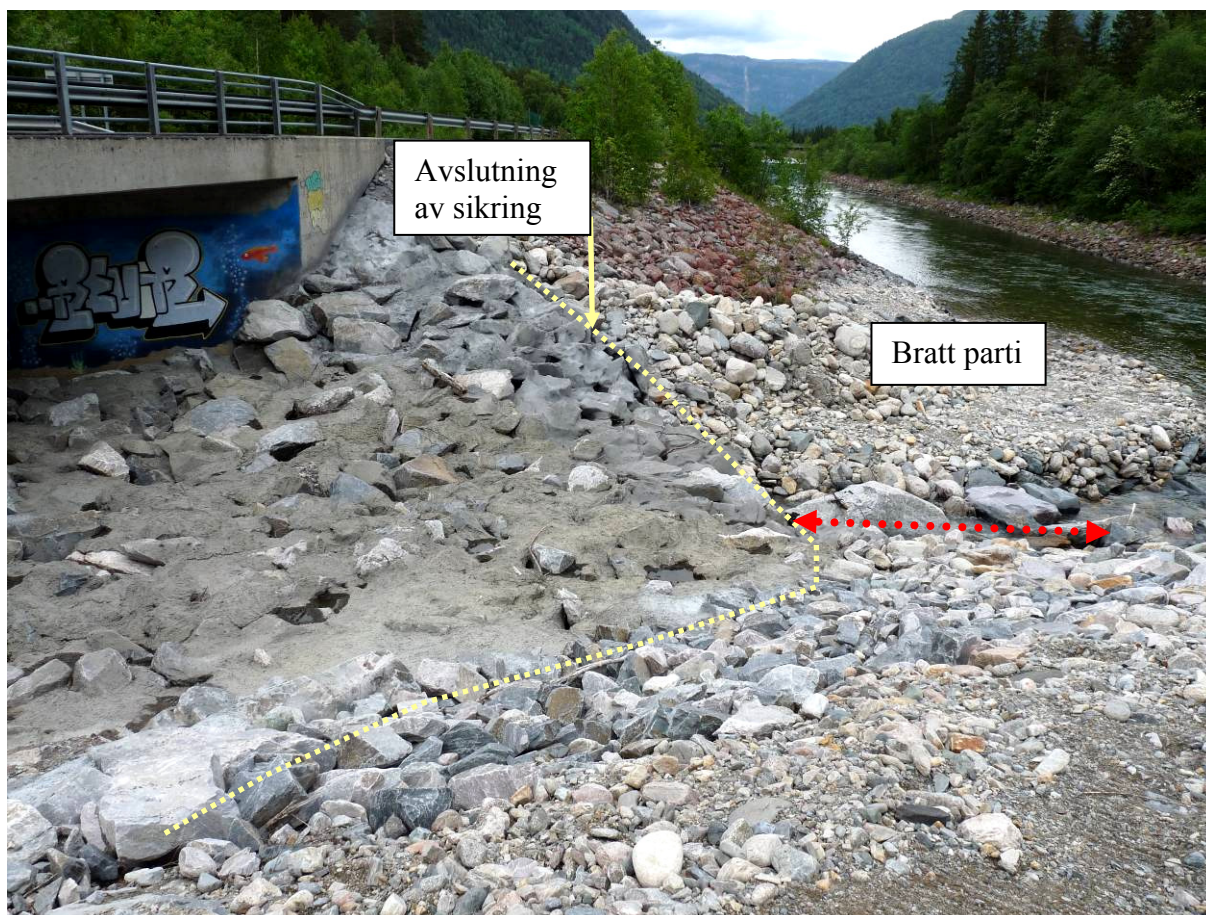
**Figur 5 Middøla bru etter skade i juli 2008**



**Figur 6 Middøla bru, ny sikring, juni 2009**



**Figur 7 Middøla bru mot oppstrøms, sikring av gjennomløpet, juni 2009**



**Figur 8 Middøla bru, nedstrøms avslutning av sikring, juni 2009**



**Figur 9 Middøla, fra Middøla bru mot oppstrøms, juni 2009**



Venstre landkar, fra oppstrøms



Høyre landkar, fra oppstrøms

Figur 10 Miland bru, bunnsenkning i gjennomløpet, juni 2009

### 4.3 Vurdering av erosjonsproblemene

#### 4.3.1 Generelt om erosjon

Erosjon og avlagring er naturlige prosesser, som foregår i alle vassdrag. Når det avlagres mindre masse enn det som transporteres vekk, oppstår erosjon. Vi skiller mellom lokal erosjon, f.eks. rundt en brupilar eller et landkar, og generell erosjon.

Ved bruer kan det oppstå ulike typer lokalerosjon:

1. Sammensnøringserosjon (kontraksjonserosjon), som skyldes at vannet presses sammen slik at vannhastigheten øker. Sammensnøringserosjon virker i hele gjennomløpet.
2. Erosjon ved landkar, som skyldes lokal hastighetsøkning og virveldannelse.
3. Erosjon ved brupilarer, som skyldes lokal hastighetsøkning og virveldannelse.
4. Erosjonsgrop nedstrøms brua, som skyldes oppstuvning og stor vannhastighet ut av gjennomløpet.

Mer informasjon om erosjon kan du f.eks. finne i NVEs *Veileder for erosjonssikring med stein*, som utgis i disse dager, og i *Vassdragshåndboka* (Sæterbø 2009).

#### 4.3.2 Erosjon ved Middøla og Miland

I dette tilfellet har bunnen senket seg 1 til 2 m ved Middøla bru, og tilsvarende ved Miland bru. I tillegg er det aktiv erosjon i elveløpet mellom bruene og et stykke oppstrøms Miland bru. Rett nedstrøms Middøla bru er det et markert fall, der bunnen er ustabil. Rett nedstrøms Miland bru er det også et markert fall i elva.

Bilder av tidligere skader, samt det vi så ved Miland bru under befaringen, viser ikke utpregede tegn til lokalerosjon ved bruene. Det ble ikke observert erosjonsgroper ved landkarene, og det ser ikke ut til at bunnen i gjennomløpene har senket seg vesentlig mer enn elvebunnen ellers.

Det bratte, ustabile, partiet nedstrøms Middøla bru, skyldes at man har fjerner den grusøren som elva legger igjen mot Måna.

Det bratte partiet nedstrøms Miland bru kan skyldes stor vannhastighet ut av gjennomløpet.

### 4.3.3 Vurdering av eksisterende sikring ved Middøla bru

Etter skadene i juli 2008 ble området ved Middøla bru sikret (Figur 6 og Figur 7). Elvebunnen er plastret med steinblokker. I nedstrøms del av gjennomløpet og ned til avslutningen av sikringen, er det i tillegg brukt sprøytebetong. Venstre bredd er sikret med en nesten vertikal mur av sprengstein påført sprøytebetong. Høyre bredd er sikret med sprengstein og sprøytebetong.

Hovedinntrykket er at dette er en solid sikring, men med følgende kommentarer:

- Dokumentasjon av utførelsen har ikke vært tilgjengelig. Utover det vi ser, vet vi ikke hvordan sikringen er bygget opp eller hvilken steinstørrelse som er brukt.
- Helleformet stein som er lagt på flatsiden, kan bli ustabil i sterk strøm. Den har tendens til å vippe opp i strømmen. Derfor anbefales det å bruke kubisk stein. Det er usikkert om steinen som er brukt i gjennomløpet, er helleformet eller kubisk (se Figur 6).
- Ved normal vannføring forsvinner vannet ned mellom plastringssteinen i elvebunnen. Det er miljømessig ugunstig, men kan være vanskelig å hindre.
- Langs venstre bredd, der sikringen nesten er vertikal, er det usikkert om det er brukt stor nok stein. For å være stabil, kreves det at stein i bratt sideskråning er vesentlig større enn på bunnen. Her virker det som steinen som sikrer sideskråningen, er mindre enn på bunnen.
- Bruk av sprøytebetong er miljømessig og visuelt ugunstig, og nytten av sprøytebetong er usikker (se under).
- Nedstrøms avslutning av sikringen virker utilstrekkelig (se under).

#### Sprøytebetong som erosjonssikring

Ved Middøla bru er steinsikringen langs sidene, og delvis i bunnen, forsterket med et lag sprøytebetong. Virkningen av sprøytebetong som erosjonssikring, er usikker. Sprøytebetong kan ha en positiv virkning ved at den binder sammen mange stein og derved hindrer plukking av enkeltstein.

Sprøytebetong kan og ha en vesentlig ulempe, den hindrer utligning av vanntrykket foran og bak sikringen. Det kan oppstå statiske trykkforskjeller fordi vann blir stengt inne bak sprøytebetongen. Overtrykk bak sikringen vil redusere stabiliteten. Det kan også oppstå dynamiske trykkforskjeller pga. bølger og trykkipulser i elva, som ikke utlignes gjennom betongen.

Sprøytebetong bør derfor ikke brukes som sikring, uten god drenering og vurdering av hvilke trykkforskjeller som kan oppstå.

Når sprøytebetong utføres som ved Middøla, blir både bunn og sider vesentlig glattere enn det som er naturlig. Vannhastigheten vil øke. Det kan derfor være nødvendig med ekstra sikring ved nedstrøms ende av områder med sprøytebetong.

Visuelt er det uheldig å bruke sprøytebetong slik det er gjort ved Middøla. Betong gir et markert brudd med synsinntrykket elva ellers gir, og fremhever inngrepet. En steinsikring dekket med stedlig løsmasse og vegetasjon, ville gitt et naturlig inntrykk.

Også miljømessig er sprøytebetong ugunstig. Betongflaten fører til stor vannhastighet og gir lite skjul, og kan hindre oppvandring av fisk. (Vandringsforholdene i Middøla er ikke vurdert spesielt.) Is og stein som elva transporterer vil bryte betongen i stykker. Bitene vil bli transportert ut i Måna, og dette er uheldig.

#### Nedstrøms avslutning av sikringen ved Middøla bru

Sikker avslutning i nedstrøms ende er avgjørende for at en sikring skal forbli stabil. Hvis ikke vil erosjonsgropen som vanligvis dannes nedstrøms, undergrave sikringen. Erosjonen vil fortsette mot oppstrøms og kan ødelegge hele sikringen.

Ved Middøla er god nedstrøms avslutning spesielt viktig:

- Glatt bunnplastring og bruk av sprøytebetong gir ekstra stor vannhastighet der sikringen avsluttes.
- Bunnen nedstrøms sikringen er svært bratt og virker ustabil. Figur 8 viser avslutning av sikringen ved Middøla bru.
- Øren, som elva danner under flom, blir fjernet (avsnitt 2.2). Masse som avlagres langs nedstrøms front av en fluvial vifte (Figur 2), vil normalt bidra til å gjøre viften større og elvebunnen slakere. Ved å fjerne avlagret masse blir elvebunnen unaturlig bratt og mindre stabil. Erosjon som starter i det bratte, utgravde partiet, kan forplante seg mot oppstrøms.

Nedstrøms avslutning av sikringen ved Middøla bru er utilstrekkelig. Under flom er det sannsynlig at det vil oppstå skade, som vil forplante seg mot brua.

Under store flommer, med mye massetransport, kan vi få motsatt virkning. Masse som avlagres mellom brua og Måna kan fylle igjen det bratte partiet og heve bunnen i gjennomløpet.

## **5 Flomberegning**

Det er utført tre flomberegninger for Middøla:

1. *Opprinnelig flomberegning* ifm. bygging av broen.
2. Vassdragslaboratoriet ved NTNU gjorde en *enkel flomberegning*, basert på en flomberegning som NVE tidligere hadde gjort for Måna.
3. NVE gjorde en *fullstendig flomberegning* for Middøla.

Dette kapitlet inneholder følgende:

- Et sammendrag av flomberegningene.
- Sammenlikning av beregningene.
- Konklusjon og valg av flomstørrelser.

### **5.1 Opprinnelig flomberegning**

I forbindelse med bygging av broen gjorde NVE i 1989 en beregning for å bestemme dimensjonerende flom. Beregningen er vist i vedlegg 3.

Til beregningen brukte NVE en *nedbør – avløpsmodell*, dvs. et regneprogram som beregner flomforløpet basert på et antatt nedbørforløp over feltet. Feltparametre som størrelse, sjøprosent og bratthet brukes til å beregne feltets respons.



*Opprinnelig flomberegning* gav følgende resultat (kulminasjonsverdier):

30-årsflom,  $Q_{30} = 51 \text{ m}^3/\text{s}$   
 50-årsflom,  $Q_{50} = 59 \text{ m}^3/\text{s}$   
 100-årsflom,  $Q_{100} = 67 \text{ m}^3/\text{s}$

## 5.2 Enkel flomberegning

Utgangspunktet for beregningene var å bruke raske og enkle metoder for flom- og hydraulisk beregning. Resultatet skulle sammenliknes med en *fullstendig flomberegning*, som NVE utførte parallelt. Den enkle beregningene er beskrevet i *Middøla bru, erosjonssikring, foreløpig notat*, datert 19.11.2008 (vedlegg 1).

Flomberegningen tok utgangspunkt i NVEs rapport *Flomberegning for Måna ved Rjukan* (Drageset 2004). Der beregnes vannføringen i Måna, som grunnlag for å lage flomsonekart mellom Møsvatn og Tinnsjøen.

Vassdragslaboratoriet brukte Dragesets resultat til å beregne flommene i Middøla. De spesifikke flomverdiene (vannføring per kvadratkilometer) fra Dragesets rapport, ble multiplisert med arealet av Middølas nedbørfelt for å gi vannføringene ved Middøla bru. Det ble ikke gjort en ny flomberegning, bare en skalering av flomstørrelse etter feltareal. Men, forholdet mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsverdi (spissverdi) ble satt noe høyere. Drageset bruker et forhold på 1,2 (dvs. spissverdien er 20 % større enn døgnmiddelverdien) mens Vassdragslaboratoriet brukte 1,3. Tabell 1 viser resultatene for *enkel flomberegning*.

	$Q_M$	$Q_{50}$	$Q_{100}$	$Q_{200}$	$Q_{500}$
Spesifikk vannføring (l/s/km <sup>2</sup> )	309	591	647	699	767
Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	11	22	24	26	28

Tabell 1 Resultat fra enkel flomberegning for Middøla

## 5.3 Fullstendig flomberegning

NVE utførte en flomberegning spesielt for Middøla (Holmqvist 2009). Holmqvist brukte om lag samme metode som Drageset, men andre målestasjoner for vannføring. Resultatene er vist i Tabell 2.

### Kulminasjonsvannføringer med gjentaksintervall opp til 500 år.

	Areal		QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
Middøla	36,9 km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
		m <sup>3</sup> /s	18	24	29	34	44	49	56	65

Tabell 2 Resultat fra fullstendig flomberegning for Middøla

## 5.4 Sammenlikning og vurdering

*Opprinnelig flomberegning* gir ca. 35 % større flom enn *fullstendig flomberegning*. De to beregningene bruker helt forskjellige metoder. I *opprinnelig beregning* brukes nedbør, f.eks. 100-årsnedbøren, for å bestemme flommen, mens *fullstendig beregning* bygger på flommer som er observert ved målestasjoner i nærheten.

*Fullstendig flomberegning* gir om lag dobbelt så store flommer som NVEs tidligere flomberegning (Drageset 2004), som ble brukt som grunnlag for *enkel flomberegning*. Det er ikke vesentlige prinsipielle forskjeller mellom beregningene. Den viktigste årsaken til de store forskjellene, er at Drageset og Holmqvist brukte data fra ulike målestasjoner.

Tabell 3 sammenstiller de viktigste resultatene.

I et eget notat (vedlegg 4) diskuterer Holmqvist forskjellen mellom de to beregningene. Han påpeker at hensikten med *fullstendig flomberegning* var å bestemme kulminasjonsverdien for flom i Middøla, mens utgangspunktet for Dragesets beregning (grunnlag for *enkel flomberegning*) var å bestemme flomvannføring i Måna.

Flommen i Måna har to hovedbidrag, flom ut av Møsvatn og flom fra restfeltet. Møsvatn er stort og vil både dempe og forsinke en flom, mens restfeltet nedstrøms, inkludert Middøla, har liten demping og vil reagere raskt når nedbøren kommer. Flomtoppen ut av Møsvatn vil komme senere enn fra restfeltet. Flomtoppen i Måna blir derfor mindre enn summen av flomtoppene fra Møsvatn og flomtoppen fra restfeltet. For å ta hensyn til dette kan man f.eks. kombiner flomtoppen fra Møsvatn med en mindre flom fra restfeltet.

NVE har gjort en kontroll / ny vurdering og kommet til at når de relativt lave flomverdiene for restfeltet (fra Dragesets beregning) blir kombinert med flommen ut av Møsvatn, gir det rimelige flomstørrelser for Måna, slik hensikten var. Se Holmqvists notat i vedlegg 4 for en utdyping av dette.

Det fremgår ikke av Dragesets (2004) rapport at det er gjort en spesiell reduksjon av flommene fra restfeltet. Flommene fremstår som kulminasjonsverdier beregnet på vanlig måte.

		<b>Middelflom</b>	<b>100-års flom</b>	<b>500-års flom</b>
<i>Opprinnelig flomberegning</i>	(l/s/km <sup>2</sup> )	-	1816	-
	(m <sup>3</sup> /s)	-	67	-
<i>Enkel flomberegning</i>	(l/s/km <sup>2</sup> )	310	647	767
	(m <sup>3</sup> /s)	11	24	28
<i>Fullstendig flomberegning</i>	(l/s/km <sup>2</sup> )	492	1327	1769
	(m <sup>3</sup> /s)	18	49	65

Tabell 3 Sammenlikning av flomstørrelser, kulminasjonsvannføring for Middøla

## 5.5 Konklusjon

Resultatene fra Holmqvists *fullstendig flomberegning* blir brukt videre. Det er fordi beregningen er ny og ble gjort spesielt for Middøla. At *Enkel flomberegning* gav små flommer, kan skyldes at flommene som var grunnlaget for beregningen, dvs. Drageset (2004), var gjort lave fordi de skulle kombineres med avløpsflommen fra Møsvatn.

For å dimensjonere konstruksjoner i vassdrag, f.eks. en bro, har vi ofte behov for å anslå dimensjonerende vannføring. Men, flomberegninger er usikre. Ofte må vi bruke korte dataserier fra målestasjoner som ligger langt unna, for å anslå størrelsen på flommer som opptrer med 100 til 200 års mellomrom.

Usikkerheten i flomberegningene blir man ikke kvitt, men man kan håndtere den gjennom ulike tilnærminger. Man bør få oversikt over hvor stor usikkerheten er og hvilke konsekvenser det får for konstruksjonen.

For Middøla bru gir resultatene av de tre flomberegningene en indikasjon på usikkerheten. I Holmqvists (2009) flomberegning er det et eget kapittel der han beskriver usikkerheten og påpeker at den er vanskelig å tallfeste. For å få en bedre oversikt over usikkerheten kan det være gunstig om flomberegningene viser hva ulike valg betyr for resultatet. Hvis to eller tre målestasjoner er aktuelle, og man velger en for flomberegningen, så vil det være nyttig å få fram konsekvensene dersom de andre stasjonene ble valgt. Kanskje bør man i større grad enn i dag få fram et utfallsrom, ikke bare en flomverdi.

I tillegg bør man vurdere konsekvensene for konstruksjonen. Hva betyr det om vi dimensjonerer for den største flommen? Kanskje er mye bestemt av veiens linjeføring og grunnforholdene, slik at kostnadene ikke påvirkes så mye? Og hva blir konsekvensene om det kommer en flom som er vesentlig større enn dimensjonerende? Betyr det at konstruksjonen bryter sammen, eller bare mindre skader som lett kan rettes opp?

Uforming av broer og andre konstruksjoner i vassdrag kan med fordel bygge på en bredere vurdering enn i dag. Konstruksjonens sikkerhet bør vurderes i forhold til usikkerhet knyttet til flom, erosjon, isgang og andre miljølaster.

## 6 Hydraulisk beregning

For dimensjonering av bruåpning eller erosjonssikring, trenger vi hydrauliske parametre som vanndybde, vannhastighet og skjærspenning. De finner vi vha. hydrauliske beregninger.

Hydrauliske beregninger kan utføres som håndregning eller med ulike beregningsprogram. For Middøla er det utført både enkle, manuelle beregninger og beregning med programmet HEC-RAS.

Dette kapitlet gir en kort beskrivelse av de ulike beregningene, og en sammenlikning av resultatene. 200-års flommen fra Holmqvists beregning brukes for å sammenlikne beregningene;  $Q_{200} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ .

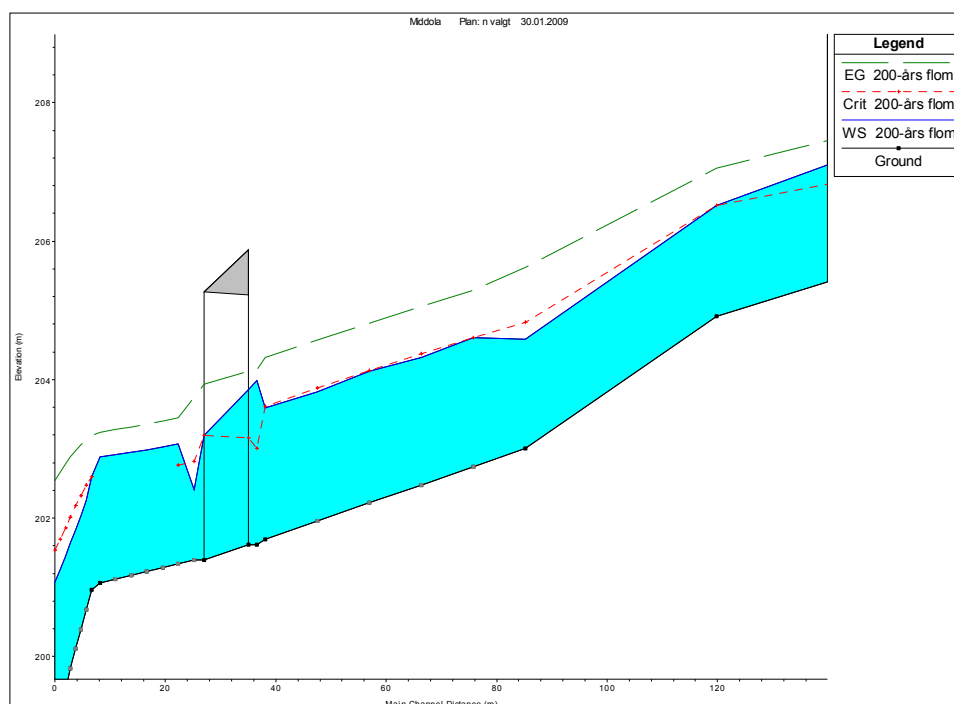
### 6.1 Vannlinjeberegning

På oppdrag fra Statens vegvesen gjorde NVE vannlinjeberegning for Middøla, fra Måna til godt oppstrøms Miland bru (Reistad 2008). Vannlinjeberegning gir vannstandene (vannlinjen) langs elva for en eller flere vannføringer. Beregningen gir også viktige hydrauliske parametre, f.eks. vannhastighet og skjærspenning. NVE brukte beregningsmodellen HEC-RAS.

NVE beregnet vannlinjen for åtte ulike flommer, fra middelflommen opp til 500-årsflommen. Figur 11 (fra Reistad 2008) viser vannlinjen for 200-årsflommen. I utgangspunktet er elven så bratt at strømmingen er kritisk eller overkritisk ( $Fr > 1$ ), men gjennomløpet er så trangt at det hever vannstanden oppstrøms brua. I det vannet passerer gjennomløpet akselererer det, slik at vannstanden synker. Tabell 4 viser utvalgte hastigheter og vanndybder fra vannlinjeberegningene.

Tverrprofil- nummer (-)	Sted	Vannhastighet $V$ (m/s)	Dybde $y$ (m)	Froudetall $Fr$ (-)
2	18 m nedstrøms brua	3,6	1,1	0,9
2.15	Rett nedstrøms brua	2,7	1,5	0,7
2.75	Rett oppstrøms brua	1,8	1,9	0,4
4	50 m oppstrøms brua	4,5	1,1	1,4

Tabell 4 Middøla bru, resultat for vannlinjeberegning for  $Q_{200} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$



Figur 11 Middøla bru, lengdeprofil og vannlinje for  $Q_{200}$

### 6.1.1 Kommentarer til NVEs vannlinjeberegning

NVE har modellert en ca. 500 m lang strekning, fra Måna til ca. 300 m oppstrøms Miland bru. For å beregne forholdene rundt Middøla bru er det tilstrekkelig å modellere en 50 til 100 m lang strekning. Dette er ikke en generell regel, men skyldes at Middøla er så bratt.

### 6.2 Enkel hydraulisk beregning

Utgangspunktet for beregningene var å bruke raske og enkle metoder for flom- og hydraulisk beregning, som skulle sammenliknes med de detaljerte beregningene som NVE utførte parallelt. Beregningene er beskrevet i *Middøla bru, erosjonssikring, foreløpig notat*, datert 19.11.2008 (vedlegg 1). I notatet brukes vannføringene fra den forenklede flomberegningen. Resultatene er derfor ikke direkte sammenliknbare med NVEs vannlinjeberegning.

### 6.3 Oppdatert enkel beregning

For å sammenlikne beregningsmetoder, ble den enkle metoden oppdatert for å passe med forutsetningene for vannlinjeberegningene (avsnitt 6.1). Det ble brukt samme flomstørrelse, og geometri som passer omtrentlig med målte tverrprofil.

### Beregning av vanndybde og hastighet oppstrøms brua

Forutsetninger:

- Vannføring,  $Q_{200} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$
- Elvas bredde,  $B = 10 \text{ m}$
- Elvas helling i strømretningen,  $S_0 = 1 : 36$ .
- Elvebreddens helling,  $1 : 1,5$
- Mannings tall (uttrykk for ruhet) =  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Vi antar normalstrømning, og finner dybde og hastighet vha. Mannings formel:

$$Q = MAR^{2/3} \sqrt{S_0}$$

Her er:

$Q$  = vannføring ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$M$  = Mannings tall ( $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ )

$A$  = strømningsstverrsnitt ( $\text{m}^2$ )

$R$  = hydraulisk radius (m)

$S_0$  = elvas helling i strømretningen (-)

Beregningen, som forutsetter at strømmingen er upåvirket av brua, gir følgende resultat:

- vanndybde,  $y = 1,17 \text{ m}$
- vannhastighet,  $V = 4,1 \text{ m/s}$
- energinivå,  $E = y + \frac{V^2}{2g} = 2,03 \text{ m}$  (Vannets energi er summen av trykk (potensiell energi) og bevegelsesenergi.)

Sammenlikner vi med vannlinjeberegningen, ser vi at det stemmer godt med det som ble beregnet 50 m oppstrøms brua (Tabell 4).

### Beregning av oppstuvning ved brua

Fordi vi vet at en bru kan virke oppstuvende, bør vi sammenlikne tilgjengelig energinivå med energien som kreves for å passere vannet gjennom bruåpningen.

Minste energinivå som er nødvendig, kalles kritisk energi og kan uttrykkes som:

$$E_c = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Her er

$y_c$  = kritisk dybde (m)

$q$  = enhetsvannføring (vannføring per bredde) ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )

$g$  = tyngdens akselerasjon ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

For å sammenlikne med NVEs vannlinjeberegning, antar vi samme effektive bruåpning, dvs. lysåpning normalt på strømretningen, med fratrekk for utstikkende brufundament, omtrentlig  $B = 11 \text{ m}$ . Det gir  $q = Q/B = 5,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . Nødvendig energinivå blir da:  $E_c = 2,1 \text{ m}$ .

Tilgjengelig energinivå på 2,03 m er ikke tilstrekkelig til å passere vannet gjennom en 11 m vid åpning. Vannstanden oppstrøms må stige så mye at vannet får nok energi til å passere, dvs. til energinivået er 2,1 m over elvebunnen. Brua vil virke oppstuvende, men det er liten forskjell mellom tilgjengelig og nødvendig energi. Dette stemmer med resultatene fra vannlinjeberegningen (Tabell 4 og Figur 11).

### Beregning av dybde og hastighet i gjennomløpet

Fordi brua virker oppstuvende, og fordi det er bratt nedstrøms brua, vet vi at det må være kritisk strømning i gjennomløpet. Vi beregner derfor kritisk dybde og hastighet for gjennomløpet:

$$\text{kritisk dybde, } y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{kritisk hastighet, } V_c = \frac{q}{y_c} = 3,6 \text{ m/s}$$

NVEs vannlinjeberegning gir ikke hastighet og dybde i selve gjennomløpet, men fra vannlinjen (Figur 11) ser vi at NVE har beregnet vanddybden ved nedstrøms ende av gjennomløpet til ca. 1,8 m. Årsaken til at det er dypere, er at NVE har antatt at gjennomløpet bare er ca. 9,5 m bred i nedstrøms ende (usikkert, målt på tegning).

### Beregning av dybde og hastighet rett nedstrøms gjennomløpet

Etter at vannet har strømmet gjennom kritisk snitt, vil det fortsette å akselerere. Vi vil gjerne beregne største hastighet, som antagelig finnes nær nedstrøms ende av gjennomløpet. Enkle beregningsmetoder er mindre egnet der vanddybde og hastighet endres rask, men en tilnærming er å sette opp energilikningen mellom innløpet og utløpet, uten å ta hensyn til friksjon. Ved innløpet har vi anslått energinivået til 2,1 m over bunnen. Fra oppstrøms til nedstrøms side av brua faller bunnen 0,22 m (fra NVEs innmåling). Vi får da følgende uttrykk:

$$E_{\text{oppstrøms}} = E_{\text{nedstrøms}} \Leftrightarrow 2,1 \text{ m} + 0,22 \text{ m} = \frac{V^2}{2g} + y_{\text{nedstrøms}} = \frac{Q^2}{2gB^2 y_{\text{nedstrøms}}^2} + y_{\text{nedstrøms}}$$

Her er:

$E$  = energinivå (m)

$V$  = vannhastighet (m/s)

$Q$  = vannføring (m<sup>3</sup>/s)

$B$  = effektiv bredde av gjennomløpet (m)

$y$  = vanddybde (m)

Hvis vi løser uttrykket over, finner vi  $y_{\text{nedstrøms}} = 1,0$  m og  $V = 5,1$  m/s. Sammenliknet med vannlinjeberegningene (Tabell 4, *rett nedstrøms brua*) gir den enkle beregningen for liten vanddybde (1,1 m istedenfor 1,5 m), og for stor vannhastighet (5,1 m/s istedenfor 2,7 m/s). Fordi vi ser bort fra friksjon, får vannet høyere hastighet.

I tillegg skyldes avviket at NVE ikke oppgir den største hastigheten i sine resultat (Reistad (2008), vedlegg 1). Fra vannlinjen i Figur 11 ser vi et område med liten dybde (ca. 1,1 m) rett nedstrøms brua, og det stemmer med den enkle beregningen.

## **6.4 Sammenlikning og vurdering**

Vannlinjeberegning gir et godt bilde av strømningsforholdene rundt brua. Når beregningsmodellen er etablert, er det enkelt å endre forutsetninger og undersøke hvordan det påvirker strømmingen. Med en beregningsmodell er det enkelt å beregne mange ulike flommer. Det gir god oversikt. For en erfaren bruker av en beregningsmodell, er det fort gjort å legge inn data og gjøre beregninger.

Enkel håndregning er også tilstrekkelig nøyaktig til å planlegge erosjonssikring av Middøla bru. Bruk av enkle beregningsmetoder forutsetter at man skjønner hvilken strømmingssituasjon som vil oppstå, og velger fremgangsmåte etter det.

Den viktigste forskjellen mellom de første, enkle, beregningene (*Middøla bru, erosjonssikring, foreløpig notat*, datert 19.11.2008, vedlegg 1) og vannlinjeberegningene, var forutsetningene. De enkle beregningene ble utført på grunnlag av kart og tegninger, mens vannlinjeberegningene bygget på innmålte tverrprofil og befaring. Her var det vesentlige forskjeller. Uansett beregningsmetode, så bør den som gjør beregningene befare objektet.

## 7 Erosjonssikring

### 7.1 Generelt om dimensjonering av erosjonssikring

Dimensjonering av erosjonssikring omfatter følgende hovedpunkt:

- Valg av dimensjonerende gjentaksintervall, f.eks. 200-års flom.
- Flomberegning, som gir vannføringen for dimensjonerende flom, f.eks.  $Q_{200} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$
- Beregning av hydrauliske parametre som vannhastighet, dybde og skjærspenning.
- Beregning av hvor stor stein som er nødvendig.
- Beregning av sikringens tykkelse og utstrekning.
- Utforming av sikringen, behov for filter.
- Vurdering av spesielle forhold, f.eks. is og bunnsenkning.

I dette tilfellet har vi allerede gjort flomberegning og hydrauliske beregninger. Vi velger  $Q_{200}$  som dimensjonerende flom.

Det finnes en rekke metoder for å beregne erosjonssikring. Vi bruker metodene som foreslås i NVEs *Veileder for erosjonssikring med stein*, som er under utgivelse.

### 7.2 Sikring av gjennomløpet

Sikring av landkar er beskrevet i avsnitt 4.11 i veilederen. For Froudetall  $Fr \leq 0,8$ , kan stabil steinstørrelse for sikring av landkar beregnes med følgende formel (Barkdoll 2007):

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(s-1)} \frac{V_{kar}^2}{gy} \quad (7.1)$$

Her er:

- $D_{50}$  = stabil steinstørrelse (m)
- $K = 0,89$  for kjegleformet landkar (-)
- $K = 1,02$  for landkar med vertikal frontvegg (-)
- $s$  = steinens relative tetthet (-)
- $g$  = tyngdens akselerasjon ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )
- $y$  = vanndybde ved foten av landkaret (m)
- $V_{kar}$  = karakteristisk hastighet (m/s)

For Froudetall  $Fr > 0,8$  anbefales følgende formel (Barkdoll 2007):

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(s-1)} \left[ \frac{V_{kar}^2}{gy} \right]^{0,14} \quad (7.2)$$

Her er:

- $D_{50}$  = stabil steinstørrelse (m)
- $K = 0,61$  for kjegleformet landkar (-)
- $K = 0,69$  for landkar med vertikal frontvegg (-)
- $s$  = steinens relative tetthet (-)
- $g$  = tyngdens akselerasjon ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$y$  = vanndybde ved foten av landkaret (m)

$V_{kar}$  = karakteristisk hastighet (m/s)

Begge formlene bygger på modellforsøk som gir for stor stein for 90 % av datagrunnlaget. Hvis steinen plasseres i skråning, må størrelsen økes.

Karakteristisk hastighet,  $V_{kar}$ , er en representativ hastighet nær foten av landkaret. Står landkaret i eller nær hovedløpet, brukes gjennomsnittshastigheten i gjennomløpet  $V_{kar} = Q/A_{gjennomløp}$ .

Først bruker vi Froudetallet til å bestemme hvilken formel vi skal bruke. Deretter beregner vi steinstørrelse ut fra vannhastighet og dybde.

Vannlinjeberegningen gir ikke dybde og hastighet i gjennomløpet. Jeg velger derfor å bruke kritisk dybde og hastighet (se over):

$$y_c = 1,4 \text{ m}$$

$$V_c = 3,6 \text{ m/s}$$

Beregningen, som er vist i tabellen under, gir  $D_{50} = 0,6$  m. Det er så stor stein at sikringen må utføres som en plastring. Tykkelsen,  $t$ , skal være den største av  $2 D_{50}$  eller  $D_{maks}$ . Med ensgradert plastring, er det  $t = 2 D_{50} = 1,2$  m som blir dimensjonerende.



### Sikring ved landkar

Parameter	Symbol	Verdi	Enhet	Kommentar
Vanndybde	$y$	1,4	m	Ved foten av landkaret.
Karakteristisk hastighet	$V_{kar}$	3,6		Hastigheten ved foten av landkaret.
Tyngdens akselerasjon	$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>	
Spesifikk tetthet	$s$	2,6	-	Vanlig å anta 2,6. Bør måles.
Froudetallet	$Fr$	1,0	-	$Fr = \frac{V_{kar}}{\sqrt{gy}}$
<b>Hvis <math>Fr &gt; 0,8</math>:</b>				
Formfaktoren	$K$	0,69	-	$K = 0,61$ for kjegleformet landkar $K = 0,69$ for landkar med vertikal frontvegg.
Beregn $D_{50}$	$D_{50}$	0,6	m	$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(s-1)} \left[ \frac{V_{kar}^2}{gy} \right]^{0,14}$
<b>For begge tilfelle:</b>				
Bestem $D_{15}$	$D_{15}$	0,5	m	Sikringen utføres som ensgradert plastring.
Bestem $D_{85}$	$D_{85}$	0,7	m	Som over.
Bestem $D_{maks}$	$D_{maks}$	1,0	m	Som over.
Bestem $t$	$t$	1,2	m	$t_{min} \geq 300 \text{ mm}$ , $t_{min} \geq D_{maks}$ og $t_{min} \geq 2D_{50}$ Pluss 50 % ved plassering under vann.
Bestem utstrekning				Se figur 90 i NVEs <i>Veileder for erosjonssikring med stein</i> .
Bestem bunnivå				Topp sikring i samme høyde som eksisterende bunn.

### 7.3 Sikring rett nedstrøms brua

Fra de hydrauliske beregningene (Tabell 4), ser vi at vi får størst hastighet rett nedstrøms brua, der gjennomløpet slutter,  $V = 5,1$  m/s. Vi bør derfor vurdere stabil steinstørrelse her også, men det er ikke selvsagt hvilken metode vi skal bruke.

Det er egentlig for bratt til å bruke Maynords metode, men i dette tilfellet er den bedre egnet enn de andre metodene NVEs *Veileder for erosjonssikring med stein* anbefaler for bratte elver. Andre metoder forutsetter normalstrømming, men i dette tilfellet har vannstrømmen betydelig ekstra hastighet ut av gjennomløpet.

Hvis vi forutsetter  $V = 5,1$  m/s og  $y = 1,0$  m, så gir figur 58 (Maynords metode) i NVEs *Veileder for erosjonssikring med stein*  $D_{30} = 0,6$  m.

## 7.4 Bratt parti nedstrøms eksisterende sikring

Mellom eksisterende sikring og Måna, er det et bratt, usikret, parti. Hvis det ikke stabiliseres, kan erosjon som begynner her, arbeide seg oppstrøms og undergrave eksisterende sikring og brufundament.

Nødvendig steinstørrelse kan bestemmes vha. Robinsons formel (Robinson, Rice et al. 1993), som er beskrevet i NVEs *Veileder for erosjonssikring med stein*:

$$D_{50} = 1,5S_0^{0,79} q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10$$

$$D_{50} = 0,5S_0^{0,31} q^{0,53} \quad \text{for } 1:10 \leq S_0 \leq 1:2,5$$

Her er:

$D_{50}$  = steinstørrelse (m)

$S_0$  = bunnhelling (-)

$q$  = enhetsvannføring ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )

Formlene gir den høyeste enhetsvannføringen bunnen tåler før brudd. Ved den vannføringen vil sikringen få en ujevn overflate og betydelig deformasjon. For dimensjonering anbefales det å øke steinstørrelsen med 20 %.

For å beregne nødvendig steinstørrelse gjør vi følgende forutsetninger:

- bunnhelling,  $S_0 = 1 : 3,3$
- bredde,  $B = 10 \text{ m}$
- enhetsvannføring,  $q = \frac{Q}{B} = 5,6 \text{ m}^3 / \text{s}$

Beregningen gir  $D_{50} = 0,86 \text{ m}$ . Bunnhelling på  $1 : 3,3$  er svært bratt. Det vil være gunstig å gjøre skråningen slakere. Hvis bunnhellingen reduseres til  $1 : 4$ , så blir  $D_{50} = 0,8 \text{ m}$

## 7.5 Sikringens utstrekning og utforming

Eksisterende sikring gir et solid inntrykk og bør beholdes som den er. Det kan være brukt for liten stein langs venstre bredd, men det kan man utbedre hvis det oppstår skader. Svakheten med eksisterende sikring er at den avsluttes mot et bratt og ustabilt parti. Det anbefales å forlenge sikringen ned mot Måna, og lage en solid avslutning nedstrøms.

Partiet nedstrøms bør gjøres så slakt som det er plass til. Hvis hellingen kan slakes ut til  $1 : 4$  eller slakere, kan sikringen bygges opp med to lag ensgradert stein med  $D = 0,8 \text{ m}$ . Steinstørrelsen kan eventuelt økes med en sikkerhetsfaktor.

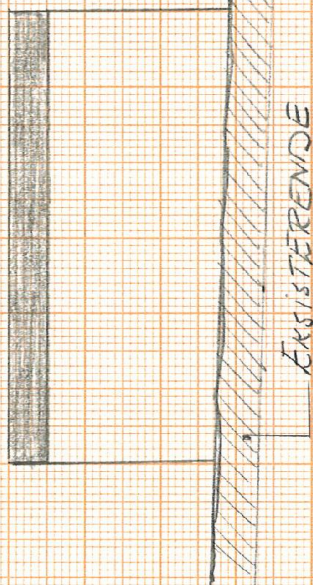
For å hindre undergraving bør sikringen føres godt ut i Måna, og utføres med en solid fotgrøft. Forslag til utførelse er vist på neste side.

Steinen legges ut fra nedstrøms mot oppstrøms, fordi det gir mer stabil sikring. Når ny stein legges ut pakkes den mot stein som allerede er lagt ut. Utlegging fra oppstrøms mot nedstrøms gir dårlig pakking og mindre stabil sikring.

Når det er lite vann i elva kan det forsvinne mellom steinene i sikringen. For å hindre tap av vann bør fugene mellom steinen mettes med velgradert grus / grovsand.

Undergrunnen ser ut til å bestå av grov grus og stein. Derfor er det ikke behov for eget filterlag, men dette må vurderes nærmere når man begynner å grave i massene.

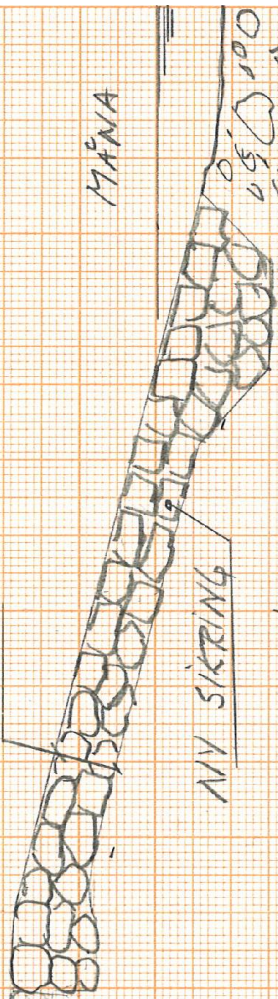
MIDDALA BRU



EXISTERENDE  
SIKRING

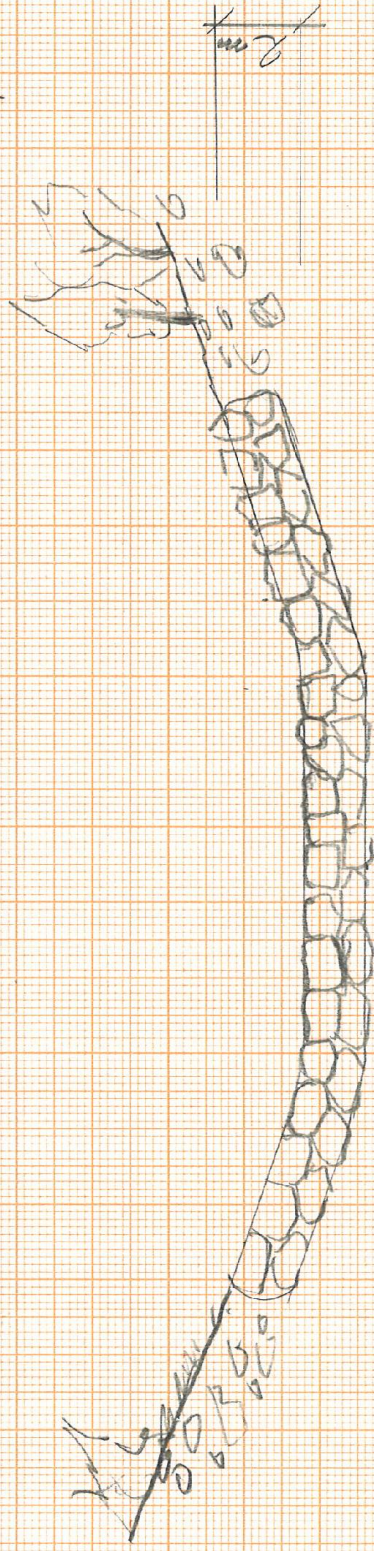
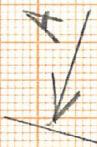
LENADESNITT  
1:200

16m



MANA

NY SIKRING



SNITT A-A

1:200

K. Jönsson  
18.9.2009

## 7.6 Erosjonssikring av Miland bru

Det ble ikke gjort egen beregning av erosjonssikring for Miland bru, men sikringen kan beregnes med samme metoder som for Middøla. Også her er det viktig å utføre nedstrøms avslutning av sikringen på en omhyggelig måte. Hvis ikke, kan den pågående bunnsenkingen undergrave sikringen.

# 8 Sammendrag og konklusjon

## 8.1 Sammendrag

Fordi landkarene på Middøla bru har blitt undergravd flere ganger, er den brukt som eksempel i delprosjekt 3 – 2, *Erosjonssikring mot strømmende vann*. I den forbindelse har det blitt gjort en rekke beregninger og vurderinger.

Det er gjort tre flomberegninger, som gav svært forskjellig resultat. Forskjellen mellom de to nyeste beregningene skyldes i hovedsak datagrunnlaget (målestasjon for vannføring) som analysene bygger på. Det er vanskelig å si at en beregningsmetode er riktig og at en annen er feil, men det rimelig å anta at beregningen som ble utført spesielt for Middøla (*fullstendig flomberegning*, Holmqvist 2009) gir det riktigste estimatet. Flomverdiene fra den beregningen ble brukt vider.

Det ble gjort to ulike hydrauliske beregninger for å bestemme vannhastighet og dybde ved Middøla bru. Enkel håndregning og vannlinjeberegning med HEC-RAS gav nesten samme resultat. I bratte elver som Middøla, er enkle beregningsmetoder ofte tilstrekkelig. Befaring og innhenting av riktig grunnlagsdata er viktigere enn beregningsmodell.

På befaringen så vi betydelig bunnsenkning langs Middøla. Middøla ligger på en stor vifte av elveavsatt masse, og er naturlig ustabil. Under store flommer tilføres Middøla mye masse fra oppstrøms, som legges igjen og hever elvebunnen på viften. Under mindre flommer tilføres lite masse fra oppstrøms. Da graver vannet slik at bunnen senkes. Tendensen til graving har blitt forsterket, fordi grusøren som Middøla legger opp der den løper sammen med Måna, har blitt fjernet.

Ved Middøla bru er elvebunnen og breddene nå sikret med stor sprengstein forsterket med sprøytebetong. Sikringen gir et solid inntrykk, men rett nedstrøms er det et bratt parti som kan bli ustabil under flom. Det bør også sikres for å hindre undergraving.

Vi har liten erfaring med erosjonssikring med sprøytebetong, men det gir et dårlig visuelt inntrykk og er ugunstig for miljøet. Trykkforholdene og behov for drenering bør også vurderes nøye ifm. sprøytebetong.

Ny erosjonssikring ble beregnet basert på metodene i NVEs *Veileder for erosjonssikring med stein*, og utforming av sikringen ble skissert. Eksisterende sikring kan ligge som i dag, men den bør forlenges forbi det bratte partiet nedstrøms.

## 8.2 Konklusjon

- Ved bygging av nye bruer, bør man alltid vurdere erosjonsfare og behovet for sikring eller dyp fundamentering.
- Ved bygging på elveavsatte vifter bør man være spesielt oppmerksom. Selv om de vanligvis vokser med tiden, er de naturlig ustabile. I det lange løp vil elvebunnen heve seg, men sideveis forflytting og perioder med bunnsenking er normalt.
- Hvis fundamentene plasseres i elvebredden, med sålen over nivået til djupålen, så er det nødvendig med erosjonssikring. Hvis fundamentene trekkes vekk fra elva, eller føres godt under elvebunnen, blir behovet for sikring mindre.
- Det er nødvendig å anslå hvor store flommer som kan komme, men flomberegninger er ofte usikre. Ved å bruke ulike beregningsmetoder og ulike forutsetninger, f.eks. ulike dataserier, vil man få et bedre inntrykk av usikkerheten enn om man bare beregner en flomstørrelse. Det vil også være nyttig å vurdere virkningen av å variere dimensjonerende flom. Kanskje gjennomløpets størrelse og kostnadene til erosjonssikring ikke varierer så mye, slik at det er naturlig å dimensjonere for en flom som er på den sikre siden.
- For å beregne vannhastighet og dybde er det tilstrekkelig med enkel håndregning. Bruk av et program for vannlinjeberegning kan gi bedre oversikt over strømningsforholdene.
- Eksisterende erosjonssikring vurderes som tilstrekkelig, selv om oppbyggingen ikke er kjent i detalj. Det kan være brukt for liten stein til sikring av venstre bredd, som er bratt.
- Det er brukt sprøytebetong i eksisterende sikring. Det er miljømessig og visuelt ugunstig. Det er usikkert om det gjør sikringen mer stabil.
- På strekninger med glatt sprøytebetong vil vannhastigheten øke i forhold til naturlig elv. Det kan derfor være nødvendig med ekstra sikring nedstrøms parti med sprøytebetong.
- For å hindre at bunnsenking fra nedstrøms undergraver sikringen, anbefales det å forlenge sikringen ned til Måna, og avslutte med en solid fot.

## Referanser

(1995). Rjukanbanen - på sporet av et industrieventyr, Maana Forlag.

Barkdoll, B. D., Ettema, Robert, Melville, Bruce W., (2007). Countermeasures to protect bridge abutments from scour. NCHRP Report 587. Washington D.C., Transportation Research Board.

Drageset, T.-A. (2004). Flomberegning for Måna ved Rjukan (016.HZ). Oslo, NVE.

Holmqvist, E. (2009). Flomberegning for Middøla, 016.H1Z. Oppdragsrapport A. Oslo, Norges vassdrags- og energidirektorat.

Reistad, K. S. (2008). Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru. Oppdragsrapport. |. Oslo, Norges vassdrags- og energidirektorat.

Robinson, K. M., C. E. Rice, et al. (1993). Stability of rock chutes. First Int. Conference on Water Resources, San Antonio, Texas, ASCE.

Sæterbø, E., Fergus, T., Hoseth, K. (2009). Vassdragshåndboka, Tapir forlag.

## Vedlegg 1

***Middøla bru, erosjonssikring***, foreløpig notat, datert  
19.11.2008.





---

## Notat – FORELØPIG -

---

Til: Statens vegvesen Vegdirektoratet, DP 3-2 Klima og transport

---

Kopi til:

---

Fra: Lars Jenssen

---

Signatur:

### Middøla bro, erosjonssikring

Middøla bro (08-1489) ble bygget i 1990. Landkarene, som er sålefundamentert i elvekanten, har blitt undergravd flere ganger. I juni 2004 ble vestre landkar undergravd, og igjen i 2007. I juli 2008 ble østre landkar undergravet. Skadene ble utbedret ved å støpe under eller ved å pakke med puk. Bunnen i gjennomløpet har senket seg ca 1 m. Vedlegg 1 viser noen bilder av broen.

Høsten 2008 ble det foretatt en mer omfattende sikring av gjennomløpet og nærmeste del av elveløpet ved bruk av stor stein og sprøytebetong.

Middøla bro brukes som case i prosjektet Klima og erosjon, og dette notatet viser et enkelt (?) eksempel på beregning av erosjonssikring. Notatet er bygget opp på følgende måte:

1. Først gjør jeg en flomberegning som er basert på NVEs beregninger ifm flomsonekartlegging for Rjukan.
2. Deretter gjør jeg en enkel hydraulisk beregning for å finne vanddybde og hastighet.
3. Til slutt beregner jeg hvor stor sikringssteinen må være og foreslår utforming av sikringen.

## 1 Flomberegning

For å beregne dimensjonerende flom for Middøla bro, har jeg gjort en forenklet flomberegning. Trinnene i beregningen er:

1. Bestem nedbørfeltets størrelse.
2. Anslå spesifikk middelflom for feltet,  $q_M$ . Middelflommen er gjennomsnittet av den største flommen hvert år, dvs. gjennomsnittet av årsflommene. *Spesifikk* flom betyr at det er flom per flateenhet, f.eks. liter per sekund per kvadratkilometer ( $l/s/km^2$ ).
3. Bestem forholdet mellom en flom med gjentaksintervall  $T$ -år og middelflommen, f.eks.  $q_{100}/q_M$ .

---

**Postadresse**  
7491 Trondheim

**Org.nr.** 974 767 880  
E-post:  
ivm-info@ivt.ntnu.no  
<http://www.ivt.ntnu.no/ivm/>

**Besøksadresse**  
S.P.Andersens veg 5  
Valgrinda

**Telefon**  
+ 47 73 59 47 51  
**Telefaks**  
+ 47 73 59 12 98

**1. amanuensis**  
Lars Jenssen  
Tlf: + 47 94827273

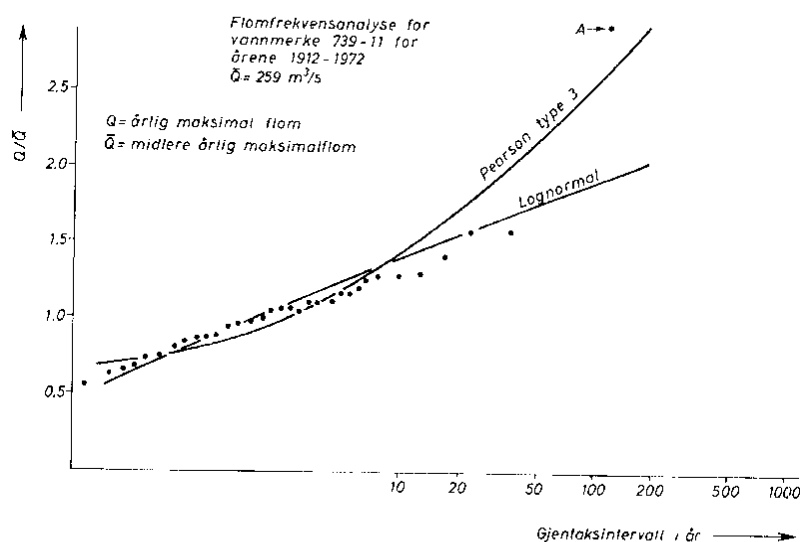
4. Anslå forholdet mellom middelflom og kulminasjonsverdi. Vanligvis er flomstørrelsen gitt som middelverdi over døgnet. For dimensjonering av en bro er det kulminasjonsverdien (spissverdien) som er viktig, så vi må anslå forholdet mellom spissverdi og døgnmiddelverdi.
5. Beregn flomstørrelsen ved å multiplisere spesifikk middelflom med feltstørrelse, med forholdet  $q_T/q_M$  og forholdet spissverdi /døgnmiddel.

Middelflommen bestemmes ved å analysere måleserier fra en eller flere nærliggende målestasjoner for vannføring. Man plukker ut den største flommen hvert år, årsflommen, og beregner middelverdien av alle årsflommene.

Ved å gjøre en flomfrekvensanalyse finner man forholdet mellom middelflom og flom med gjentaksintervall  $T$ -år,  $q_T/q_M$ . En enkel måte å gjøre dette er å plote årsflommene på et log-normal papir som vis i Figur 1, og trekke en rett linje gjennom punktene. Kurven som viser  $q_T/q_M$  som funksjon av gjentaksintervallet  $T$ , kalles en vekstkurve.

For å finne middelflom, vekstkurve og forholdet mellom kulminasjonsverdi og døgnmiddelverdi er det ønskelig med en lang måleserie fra en nærliggende målestasjon, men vanligvis må vi nøye oss med dårligere data.

Ved å sette sammen flomdata fra mange målestasjoner i like områder, f.eks. innlandsområder med snøsmelteflommer, har NVE utviklet regionale vekstkurver. NVE har og utviklet formler for å bestemme middelflommen ut fra felldata (sjøprosent, høydeforhold etc.), og har erfaringsdata for kulminasjonsverdi i forhold til døgnmiddelverdi.



Figur 1 Flomfrekvensanalyse og vekstkurve

## 1.1 Nedbørfeltets størrelse mm.

Fra NVE-atlas på nett (atlas.nve.no) finner vi for Middøla:

Vassdragsnummer	= 016.H1Z
Årlig tilsig	= 34,33 Mm <sup>3</sup>
Midlere avrenning	= 1,1 m <sup>3</sup> /s
Midlere spesifikk avrenning	= 29,5 l/s/km <sup>2</sup>
<b>Areal</b>	<b>= 36,88 km<sup>2</sup></b>

Øvre del av Middøla blir tatt inn i et kraftverksinntak og overført til Mår kraftverk. Arealet av feltet som overføres er 2,16 km<sup>2</sup>. Jeg kjenner ikke inntakets kapasitet, og under store flommer kan inntaket gå tett, eller det kan være så stor vannføring i tunnelen at kapasiteten blir sterk redusert. Jeg har derfor antatt at det ikke blir ført vann ut av feltet, men at hele feltet drenerer til Middøla bro. Det er en konservativ antagelse.

## 1.2 Spesifikk middelflom for Middøla.

I forbindelse med at NVE utarbeidet flomsonekart for Måna ved Rjukan ble det utarbeidet en egen flomberegning (Drageset 2004).

For å finne tilsiget fra sideelvene til Måna, inkludert Middøla, bruker Drageset (2004) en flomfrekvensanalyse for vannmerke 16.66 Grosettjern, et lite felt ( $A = 6,3 \text{ km}^2$ ) som renner inn i Måna fra nord, rett nedstrøms Mjøsvassdammen, og finner (se og Tabell 1):

Spesifikk døgnmiddelflom, $q_M = 238 \text{ l/s/km}^2$
Forholdet 50-års flom / middelflom = 1,91
Forholdet 100-års flom / middelflom = 2,09
Forholdet 200-års flom / middelflom = 2,26
Forholdet 500-års flom / middelflom = 2,48

**Jeg velger å bruke verdiene over for Middøla.**

Tabell 2. Resultat av flomfrekvensanalyse for regulerte og uregulerte årsflommer ved utløpet av Møsvatn ( $Q_T/Q_M$ ).

Stasjon	Periode	Ant. år	Varighet dogn	$Q_M$		$Q_5/Q_M$	$Q_{10}/Q_M$	$Q_{20}/Q_M$	$Q_{50}/Q_M$	$Q_{100}/Q_M$	$Q_{200}/Q_M$	$Q_{500}/Q_M$	$Q_{1000}/Q_M$
				l/s·km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s								
Regulert avløp:													
16.20 Møsvatn ndf.	1909-2002	91	1	82	124	1,48	1,83	2,17	2,59	2,90	3,21	3,62	3,93
16.20 Møsvatn ndf.	1945-2002	56	1	72	108	1,43	1,81	2,18	2,68	3,06	3,45	3,99	4,42
Uregulert avløp/tilsig:													
16.19 Møsvatn Langhøl	1909-1990 <sup>1)</sup>	81	1	251	378	1,19	1,32	1,44	1,59	1,70	1,81	1,94	2,04
16.19 Møsvatn Langhøl	1909-2002 <sup>2)</sup>	93	1	230	348	1,19	1,31	1,43	1,57	1,67	1,77	1,90	2,00
16.66 Grosettjern	1949-2002	52	1	238	1,5	1,27	1,48	1,67	1,91	2,09	2,26	2,48	2,64

<sup>1)</sup> Tilsigsserie beregnet med usentrerte differanser

<sup>2)</sup> Tilsigsserie beregnet med sentrerte differanser

Tabell 1 Resultat av flomfrekvensanalyse for Måna (Drageset 2004)

### 1.3 Forholdet mellom kulminasjonsverdi og døgnmiddelflom

Flomstørrelsen i avsnittet over er middelverdien over ett dogn. For dimensjonering av broer trenger vi kulminasjonsverdien (spissverdien) som kan være en god del større, særlig i små, raske felt.

For 16.66 Grosettjern er forholdet mellom kulminasjonsverdi og døgnmiddelverdi,  $q_{max} / q_{dogn} = 1,2$  (Drageset 2004). Innsjøer har stor flomutjevneende effekt, og i feltet til Grosettjern er det mange innsjøer, mens det nesten ikke er innsjøer i feltet til Middøla. **Jeg velger derfor å bruke et høyere forholdstall, og setter skjønsmessig  $q_{max} / q_{dogn} = 1,3$ .**

### 1.4 Dimensjonerende flomverdier for Middøla ved Middøla bro.

Flomstørrelsene (kulminasjonsverdiene) ved Middøla bro beregnes nå på følgende måte:

$$Q_T = A_{felt} \frac{q_M}{1000} \cdot \frac{q_T}{q_M} \cdot \frac{q_{max}}{q_{dogn}}$$

Her er:

$Q_T$  = vannføring med gjentaksintervall  $T$ -år (m<sup>3</sup>/s)

$A_{felt}$  = arealet av nedbørfeltet (km<sup>2</sup>)

$q_M$  = spesifikk middelflom, døgnmiddel (l/s/km<sup>2</sup>)

$\frac{q_T}{q_M}$  = forholdet mellom flom med gjentaksintervall  $T$ -år og middelflommen (-)

$\frac{q_{\max}}{q_{\text{døgn}}}$  = forholdet mellom flommens kulminasjonsverdi og døgnmiddelverdien (-)

For Middøla får vi da:

$$Q_M = 11 \text{ m}^3/\text{s}, q_M = 309 \text{ l/s/km}^2$$

$$Q_{50} = 22 \text{ m}^3/\text{s}, q_{50} = 591 \text{ l/s/km}^2$$

$$Q_{100} = 24 \text{ m}^3/\text{s}, q_{100} = 647 \text{ l/s/km}^2$$

$$Q_{200} = 26 \text{ m}^3/\text{s}, q_{200} = 699 \text{ l/s/km}^2$$

$$Q_{500} = 28 \text{ m}^3/\text{s}, q_{500} = 767 \text{ l/s/km}^2$$

Velger dimensjonerende flom,  $Q_{\text{dim}} = Q_{200} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$

## 2 Hydraulisk beregning for Middøla bro

For dimensjonering av bro og plastring er det ikke nok å kjenne dimensjonerende vannføring, vi må også kjenne vanndybde og vannhastighet.

Da denne beregningen ble utført var datagrunnlaget beskjedent:

- Brotegning (plan og snitt)
- Kart i målestokk 1:5000
- Bilder og flyfoto.

Det viktigste som mangler er tverrprofil oppstrøms og nedstrøms broen, og et lengdeprofil av elva. Derfor var det nødvendig å gjøre ulike antagelser og vurdere betydningen for strømningsforholdene.

### 2.1 Elvas fall, bredde og ruhet

Avstanden mellom de to 5-meters koter nærmest broen (oppstrøms) er 130 m, som gir et fall på  $1:26 = 0,0385$ . Fra bildene virker det som Middøla blir brattere ved samløpet med Måna. Jeg velger å se på to ulike fall:  $S_0 = 1:15$  og  $S_0 = 1:30$

Lysåpningen i gjennomløpet er ca 12 m. Bredden til elva målt på kartet er ca 10 m. Kurver, erosjon og massetransport kan føre til at mye av vannføringen blir konsentrert i en del av elveløpet. Jeg velger derfor å se på to effektive bredder:  $B = 6 \text{ m}$  og  $B = 12 \text{ m}$

Elvebreddens helling har liten betydning for beregningsresultatet. **Jeg antar en helling på 1:1,5.**

Manningstallet beskriver elvas ruhet (strømningsmotstand) og er viktig for å beregne vannhastigheten, men samtidig vanskelig å anslå. Jeg velger å vurdere to manningstall, ett høyt og ett lavt:  $M = 20$  og  $M = 30$ .

## 2.2 Beregning av hastighet og dybde i elva

Hvis det ikke er oppstuvning i elva, slik at vannspeilet stiller seg parallelt med bunnen, kan vi beregne dybde og hastighet vha. mannings formel. Resultatene, for ulike forutsetninger, er vist i tabellen under:

	$S_0 = 1:15$		$S_0 = 1:30$	
	$M = 20$	$M = 30$	$M = 20$	$M = 30$
$B = 6 \text{ m}$	$y = 0,9 \text{ m/s}$ $V = 4,1 \text{ m/s}$	$y = 0,7 \text{ m/s}$ $V = 5,4 \text{ m/s}$	$y = 1,1 \text{ m/s}$ $V = 3,2 \text{ m/s}$	$y = 0,8 \text{ m/s}$ $V = 4,3 \text{ m/s}$
$B = 12 \text{ m}$	$y = 0,6 \text{ m/s}$ $V = 3,4 \text{ m/s}$	$y = 0,5 \text{ m/s}$ $V = 4,5 \text{ m/s}$	$y = 0,7 \text{ m/s}$ $V = 2,7 \text{ m/s}$	$y = 0,6 \text{ m/s}$ $V = 3,6 \text{ m/s}$

Tabell 2 Resultat av normalstrømningsberegning ( $Q = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Etter vurdering av utfallsrommet i tabellen over velger jeg å dimensjonere for følgende kombinasjon av hastighet og dybde:

$$V_{dim} = 4,5 \text{ m/s}$$

$$y_{dim} = 1,0 \text{ m}$$

## 2.3 Kontroll av kritisk strømning i gjennomløpet

I foregående avsnitt ble hastighet og dybde beregnet ut fra elvas fall, bredde og ruhet, men hvis broen innsnevrer elveløpet tilstrekkelig, slik at strømmingen i gjennomløpet blir *kritisk*, vil innsnevringen bestemme hastighet og dybde i gjennomløpet.

For kritisk strømning beregnes dybde, hastighet og energinivå som:

$$\text{Kritisk dybde } y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$\text{Kritisk hastighet, } V_c = \frac{q}{y_c}$$

$$\text{Kritisk energi, } E_c = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

(Vannets energi er summen av trykk (potensiell energi) og bevegelsesenergi:  $E = y + \frac{V^2}{2g}$ )

Hvis vi antar effektiv bredde på  $B = 6 \text{ m}$  (som er konservativt), får vi  $q = Q/B = 4,3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . Det gir:

$$y_c = 1,24 \text{ m}$$

$$V_c = 3,5 \text{ m/s}$$

$$E_c = 1,8 \text{ m}$$

Kritisk strømning vil gi lavere vannhastighet og om lag samme dybde som vi beregnet for strømning i elven. Vi fortsetter derfor å bruke dimensjonerende dybde og hastighet fra foregående avsnitt.

### 3 Beregning av steinstørrelse

Vi må beregne hvor stor sikringssteinen må være for å være stabil, og ser på to situasjoner:

1. Nødvendig steinstørrelse nær brofundamentene, som er utsatt for ekstra belastning pga. sammensnøring av strømmingen.
2. Nødvendig steinstørrelse i elveløpet oppstrøms og nedstrøms broen.

#### 3.1 Stein for sikring av brofundament

Atayees formel (i Barkdoll et al 2007) er anbefalt for å beregne erosjonssikring ved brofundament:

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(s-1)} \left[ \frac{V_{kar}^2}{gy} \right]^{0,14} \quad \text{for } Fr > 0,8$$

Her er:

$D_{50}$  = steinstørrelse (m)

$K = 0,69$  for landkar med vertikal frontvegg (-)

$s$  = steinens relative tetthet (-)

$g$  = tyngdens akselerasjon ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$y$  = vanddybde (m)

$V_{kar}$  = karakteristisk vannhastigheten (m/s)

$Fr$  = froudetallet (-)

Antar vi  $s = 2,65$  ( $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) og  $V_{kar} = V_{dim}$ , og setter inn i formelen finner vi  $D_{50} = \mathbf{0,46 \text{ m}}$ .

#### 3.2 Beregning av stein for å sikre elvebunn

Som en kontroll, og for å vurdere størrelsen på sikringsstein oppstrøms og nedstrøms broen, beregner vi størrelsen på en vanlig bunnsikring. Fordi elven er brattere enn  $1:50 = 2\%$ , bruker vi formelen til Robinson et al (1998):

$$D_{50} = 1,5 S_0^{0,79} q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10$$

Her er:

$D_{50}$  = karakteristisk steinstørrelse (m)

$S_0$  = bunnhelling (-)

$q$  = enhetsvannføring, dvs. vannføring per breddeenheter ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )

Formlene gir den høyeste enhetsvannføringen bunnen tåler uten å bli ustabil, men ved den vannføringen vil overflaten bli deformert. Formlene forutsetter at det brukes sprengt stein med  $s \sim 2,6$ .

Stein plassert i skråningen mot elva bør være større. Hvis vi antar at sideskråningen er 1:1,5, må steinstørrelsen økes med 30 % (figur 4.6 i Vassdragshandboka).

Tabell 3 viser  $D_{50}$  for ulike forutsetninger om bunnhelling og effektiv bredde. For bunnen velger jeg dimensjonerende  $D_{50} = 0,4$  m og for sideskråningen (1:1,5) velger jeg  $D_{50} = 0,5$  m

	Stabil steinstørrelse, $D_{50}$ (m)	
	$S_0 = 1:15$	$S_0 = 1:30$
$B = 6$ m	0,38 0,49*	0,22 0,29*
$B = 12$ m	0,27 0,35*	0,15 0,20*

\*For plassering på sideskråning 1:1,5

Tabell 3 Størrelse av sikringsstein for elvebunn og bredder ( $Q = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ )

### 3.3 Beregning av steinstørrelse, konklusjon

For sikring av brokaret er  $D_{50} = 0,46$  m. For elvebunnen er  $D_{50} = 0,4$  m og for sideskråningen (1:1,5) er  $D_{50} = 0,5$  m. Av praktiske hensyn bør hele sikringen utføres med samme steinstørrelse.

**Dimensjonerende steinstørrelse for hele sikringen settes derfor til  $D_{50} = 0,5$  m**

Det er ikke brukt sikkerhetsfaktor i beregningene, men de forutsetningene som beregningene bygger på er konservative.

### 3.4 Sikringens gradering og tykkelse

Jeg velger å bruke (tilnærmet) en standardgradering anbefalt i *Riprap Design Criteria, Recommended Specifications and Quality Control* (Lagasse et al 2006) som skal gi en velgradert sikring med  $D_{85}/D_{15} = 2$ , og får da:

$$300 \text{ mm} < D_{15} < 450 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} < D_{50} < 650 \text{ mm}$$

$$650 \text{ mm} < D_{85} < 800 \text{ mm}$$



$$D_{max} < 1000 \text{ mm}$$

Tykkelsen av sikringen,  $t$ , skal minst være  $1,5 D_{50}$  eller  $D_{max}$ . For et velgradert materiale blir  $D_{max}$  størst,  $t = D_{max} = 1000 \text{ mm}$ .

## 4 Utforming av sikringen

Sammenlikning av bilder og byggetegninger tyder på at det har vært en betydelig bunnsenking i hele gjennomløpet. Bildene viser og en tunge med elveavsatt stein og grus ut i Måna. Flom i Måna kan erodere de avsatte massene slik at Middølas utløp i Måna blir brattere, som igjen kan føre til en bunnsenking som forplanter seg bakover.

De mange erosjonsproblemene ved Middøla bro og faren for en generell bunnsenking tilsier at hele profilet bør sikres. Forslag til utførelse er vist på neste side.

I nedstrøms ende bør sikringen få en solid avslutning som kan motstå en bunnsenking. Utlegging skal begynne med nedstrøms grøft og fortsette motstrøms. Steinlaget pakkes og jevnes. Overflaten kan mettes med elvegrus. Sideskråningene skal være slakere enn 1:1,5. I nedstrøms grøft bør det brukes noe større stein,  $600 \text{ mm} < D_{50} < 800 \text{ mm}$

Mot landkarene plasseres steinen omhyggelig slik at det blir minst mulig rom mellom steinen og betong.

Under steinlaget bør det legges en filterduk. Kravene til duken har jeg foreløpig ikke vurdert. Fra bilder virker det som eksisterende masser i elvebunnen er en velgradert blanding av grus og stein, slik at et eget filter kan være unødvendig. Dette må vurderes nærmere før man eventuelt sløyfer filterduken.

Det skal brukes bestandig, sprengt stein med kubisk form.

## 5 Vurdering

Dette forslaget til sikring av Middøla bro er utformet som et bidrag til Klima og erosjon, og er i første omgang tenkt som et grunnlag for diskusjon og videreutvikling i gruppa.

Beregningene er gjort med enkle metoder, som et eksempel på en grov (men tilstrekkelig?) ingeniørmessig vurdering. Men, beskrivelsen av beregningsmetodene er mer omfattende enn vanlig.

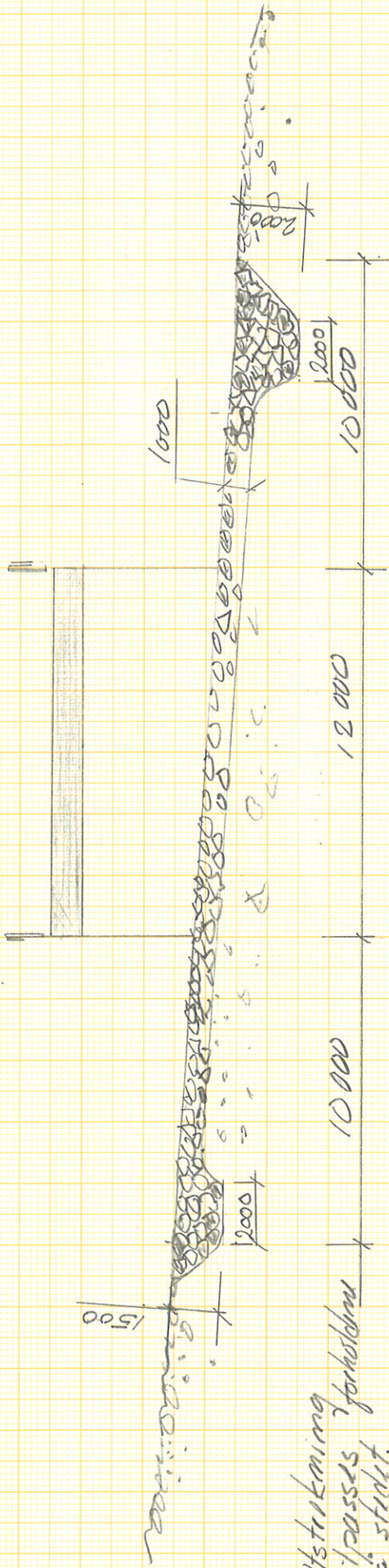
De viktigste manglene ved denne vurderingen er:

1. Jeg har ikke befart Middøla bro. Beregning av erosjon og sikring krever ofte mye skjønn, så det er viktig at den som gjør beregningene har sett forholdene på stedet.
2. Lengdeprofil og typiske tverrprofil av elva manglet. Helling og bredde er viktig for beregning av vannhastighet og steinstørrelse.
3. Flere forhold som kan være viktige er ikke vurdert, f.eks. faren for isgang i Middøla, og erosjon og bunnsenking i Måna.

I beregningene er det gjort konservative antagelser, så på tross av manglene som er påpekt, mener jeg den foreslåtte sikringen vil gi en robust løsning. En mer nøyaktig beregning vil nok vise at sikringen kan utføres av mindre stein.

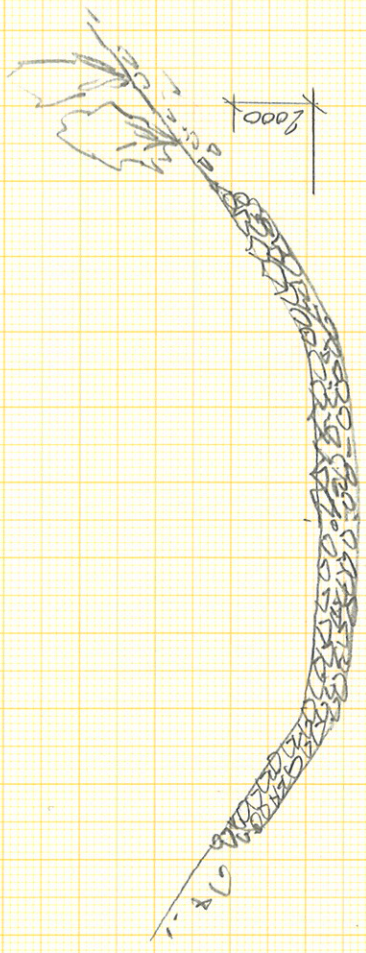
Massene i sikringen er ensgraderte ( $D_{85}/D_{15} = 2$ ). Dialog med en entreprenør om muligheten til å produsere ulike graderinger vil være nyttig før man velger endelig utforming.

MIDDØLA

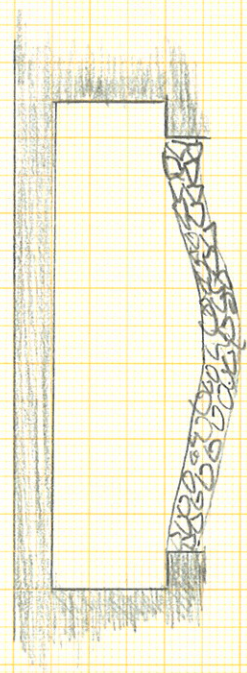


Utstrøking  
tilpasset forholdene  
på stedet.

LENGDESNIITT 1:200



SNITT



SNITT

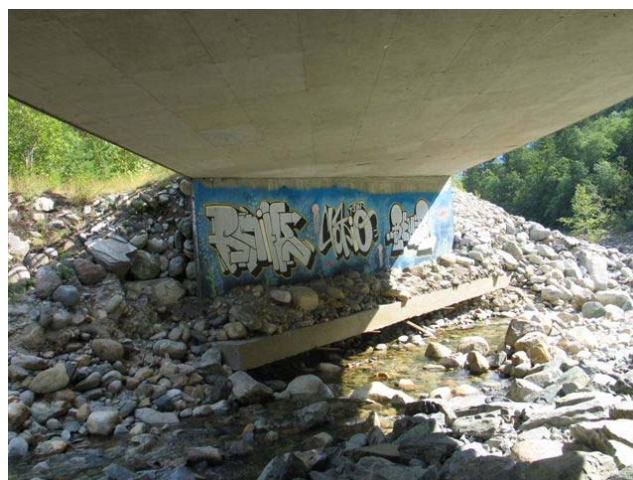
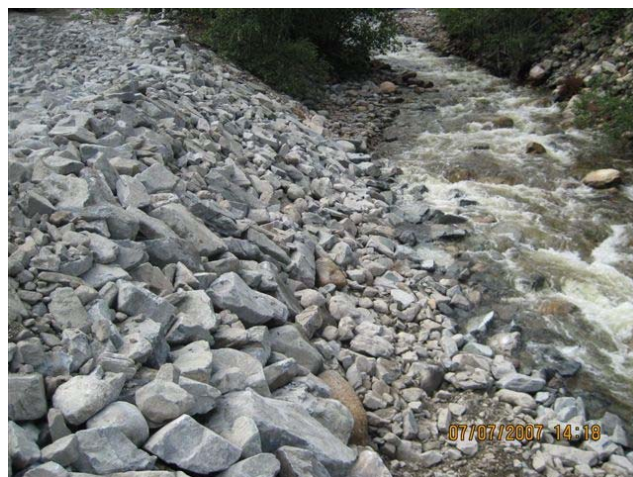
K. J. 12.11.2008



## Vedlegg 1: Bilder



30. juli 2008



## Referanser

- Barkdoll, B. D., Ettema, R., Melville, B. W. (2007), *Countermeasures to Protect Bridge Abutments from Scour*, NCHRP report 587, Transportation Research Board.
- Drageset, T.A., (2004), *Flomberegning for Måna ved Rjukan* (016.HZ) Dokument nr 5 – 2004, NVE)
- Lagasse, P.F., Clopper, P.E., Zevenbergen, L.W., Ruff, J.R., (2006), *Riprap Design Criteria, Recommended Specifications and Quality Control*, NCHRP report 587, Transportation Research Board
- Robinson, K.M. Rice, C.E., Kadavy, K.C. (1998) *Design of Rock Chutes*, Transactions of the ASAE, Vol 41(3):621-626.





## Vedlegg 2

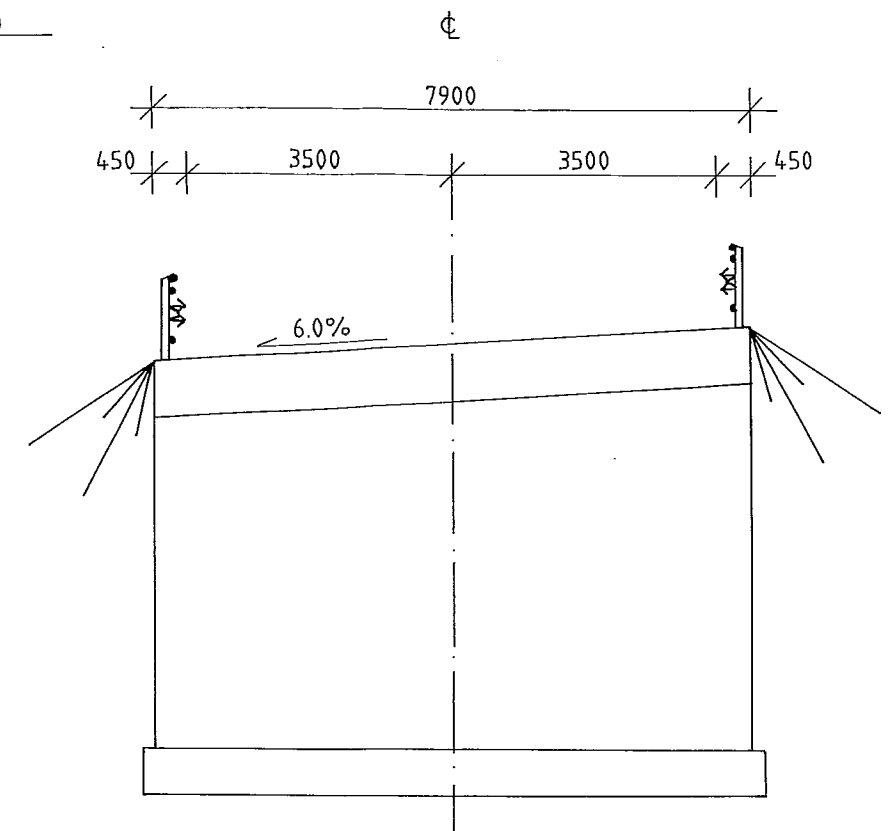
### **Tegninger av Middøla bru**



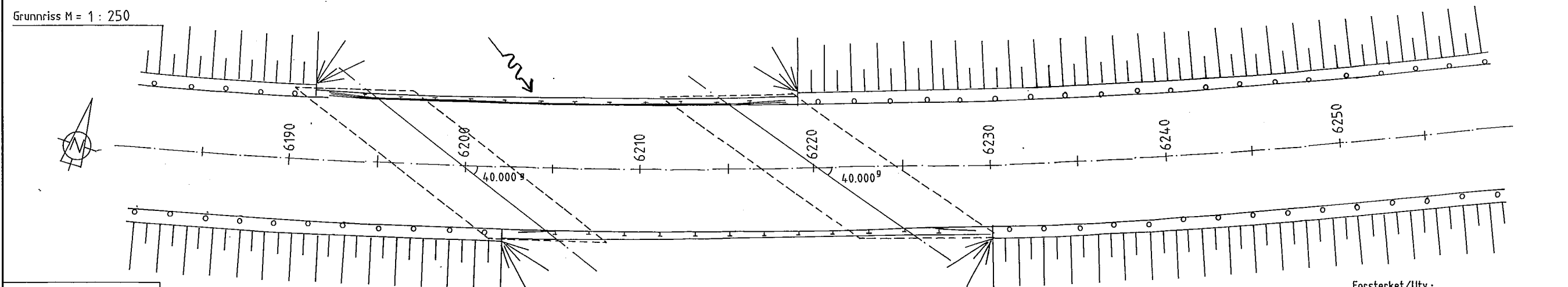
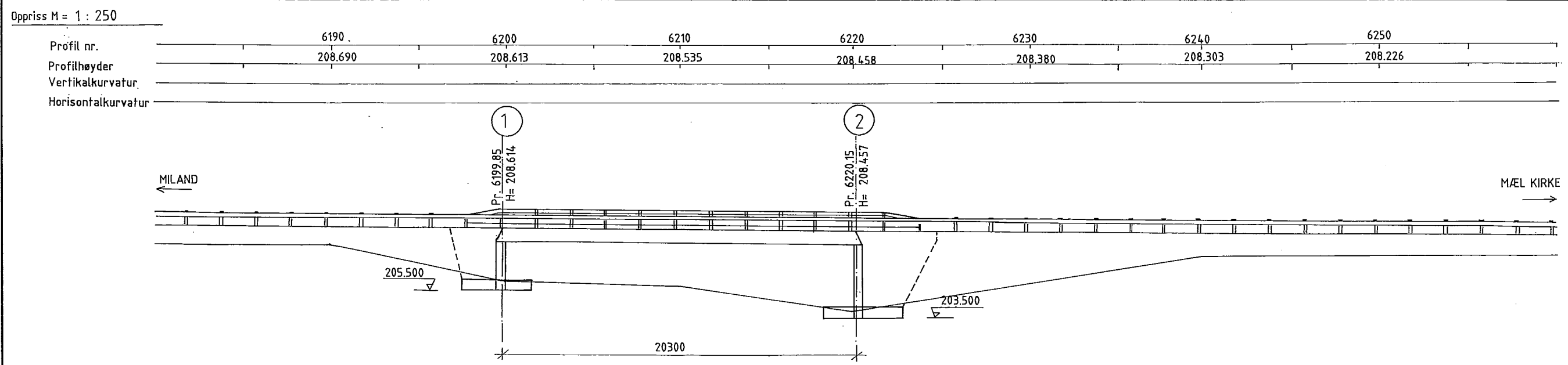
Ferdigbrutegning

MIDDØLA		bru	Riksveg	37	08-1489	1989	Arkiv nr.
Fylke		Kommune	Kilometrering (beliggende)	nr.	Byggenr.	Bygd år	
Telemark		Tinn	6.2 km N S for		1489		
Brusystem <u>Fritt opplagt plate i ett spenn</u>							
Konstruksjon (materialer) <u>Armert betong</u>							
Brudekke <u>Armert betong</u> Slitedekke <u>Betong</u>							
Underbygning (materialer) <u>Armert betong</u>							
Fundamentering <u>Direkte på løsmasser</u>							
Spennvidde/ Fri lengde <u>Lf=20.00m</u>							
Kurveutv. b =		m		Gangbaner G =		m	
				Føringsavst. F =		7.00 m	
Fri bredde over føring		Fri bredde over rekkv.		Fri høyde over pl.		Fri høyde $\phi$ bru	
m		m		m		m	
Konstruert for lastkl. <u>1986</u>				Endringer av lastkl./akseltr.			
Konstruert for akseltrykk _____ tonn							
Overbygning: <u>Statens vegvesen Telemark</u>				Underbygning:			
Konstruert av: _____				Konstruert av: <u>Statens vegvesen Telemark</u>			
Bygd av: <u>Statens vegvesen Telemark</u>				Bygd av: <u>Statens vegvesen Telemark</u>			

Tverrsnitt M = 1 : 100

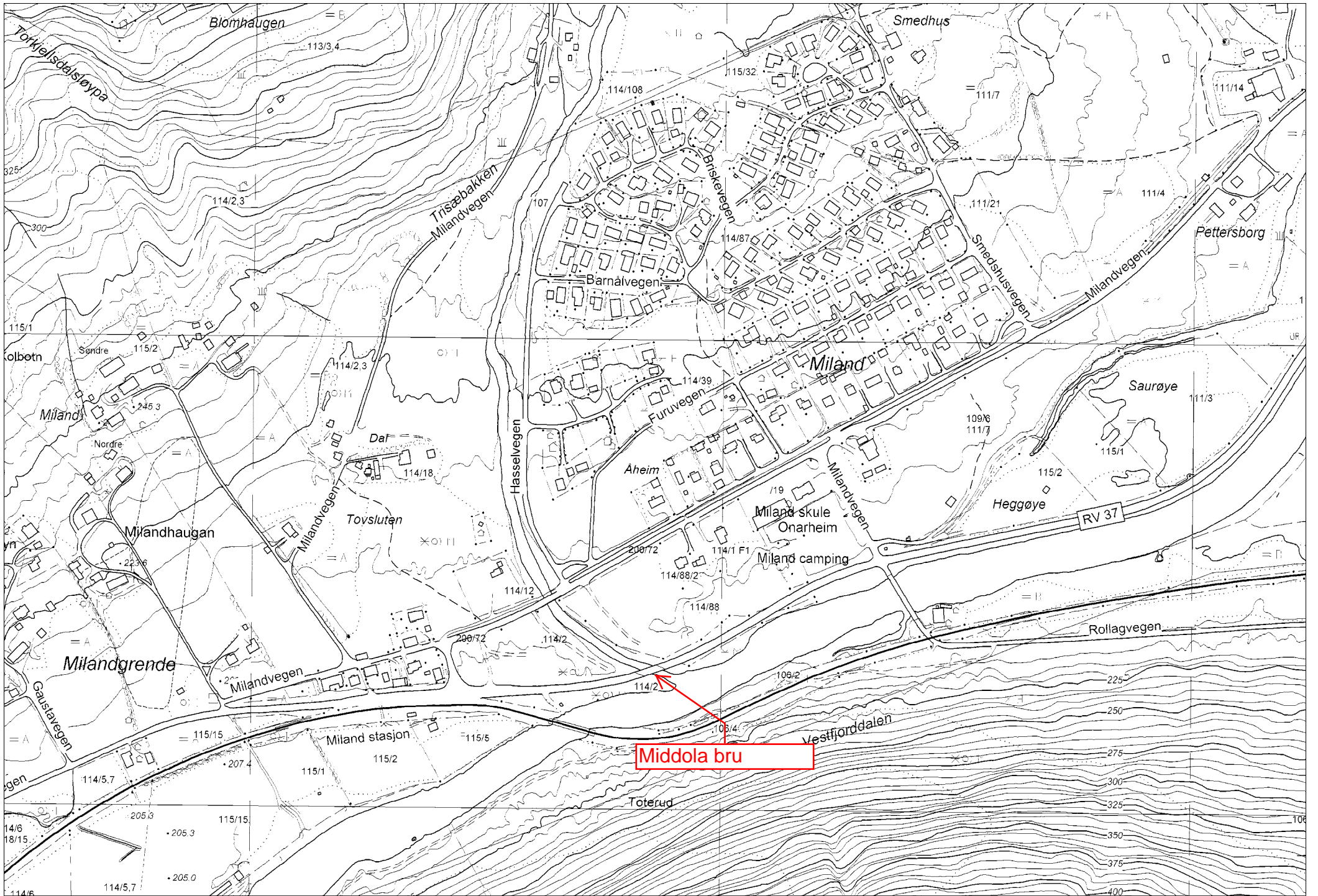


STATENS VEGVESEN



Skisse vegkurvatur:

Forsterket/Utv.: \_\_\_\_\_  
 Tegnet den 04.01.91  
 av: T.J



## Vedlegg 3

### **Opprinnelig flomberegning**



NVE-VASSDRAGSDIREKTORATET  
Region Sør  
Forbygningsavdelingen  
O. ing. Einar Beheim  
Postboks 9  
3301 HOKKSUND



03 752100

02959028

HOKKSUND, 1/3-1969  
Ring kl. 10.00 24-4-7

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

FLOMBEREGNING

FOR

RV 37/16 MIDDØLA BRU

FELTPARAMETRE

.....  
FELTAREAL I KM.....A: 39.8  
FELTLENGDE I KM.....LF: 10.7  
FELTGRADIENT I M/KM...HL: 34.4  
NORMALAVLØP I L/S/KM..QS: 20.0  
SJØPROSENT.....AS: 1.0  
EFFEKTIV SJØPROSENT..ASE: .3  
SNAUFJELLPROSENT.....ASF: 60.0

BEREGNEDE MODELLPARAMETRE  
FOR FLOMSIMULERING

.....  
ØVRE TØMMEKONSTANT...K1: .183  
NEDRE TØMMEKONSTANT...K2: .040  
TERSKELVERDI.....T: 8.8

BEREGNEDE FLOMMER  
ETTER MODELLPARAMETRE

.....  
30 ÅRSFLOM I M/S....HQ30: 51.49  
50 ÅRSFLOM " ....HQ50: 58.51  
100ÅRSFLOM " ...HQ100: 66.70

DET ER GRUNN TIL Å UNDERSTREKE AT FLOMBEREGNINGEN HAR VISSE BEGRENSNINGER  
NÅR DEN BENYTTES I FELT SOM HAR PARAMETER-VERDIER UTENFOR DET OMRÅDET  
LIKNINGENE ER UTLEDET FRA, KAN EN FÅ URIKTIGE TALL. DE PARAMETRENE DET  
GJELDER ER.....QS: 13-105 L/S/KM<sup>2</sup>

HL: 2-72 M/KM  
ASE: 0-8 %

DEN PARAMETEREN EN SKAL VÆRE SPESIELLT OPPMERKSOM PÅ ER ASE.  
DERSOM DET ER STORE SJØER I FELTET ELLER DET ER SJØER MED TRANGE UTLØPS  
FØRHOLD, ER DET MEST FORNUFTIG Å BEREGNE TILSIGTS-FLOMMEN TIL INNSJØEN V  
HJELP AV MODELLEN OG DERETTER ROUTE FLOMMEN GJENNOM SJØEN





## Vedlegg 4

**Notat fra NVE med sammenlikning av ulike  
flomberegninger for Middøla og Måna**





## Notat

Til:	Lars Jenssen, Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU,
Fra:	Erik Holmqvist
Ansvarlig:	for Sverre Husebye <i>Erik Holmqvist</i> <i>Knut Ole Arnesen</i>
Dato:	10.11.2009
Vår ref.:	NVE 2008 05380-7
Arkiv:	
Kopi:	Tharan Fergus - SVA, Kari Reistad Svelle - RØ

### Flomvannføringer i Middøla og Måna

Det foreligger to relativt ferske NVE-rapporter (NVE-dokument 5-2004 og NVE oppdragsrapport A 2-2009) med beregnede flomvannføringer for henholdsvis Måna og Middøla, som er en av flere sideelver til Måna. Rapportene omtales nedenfor som Måna-rapporten og Middøla-rapporten.

Beregningene gir tilsynelatende avvikende resultater. For eksempel er det ved 200-års flom i Middøla antatt en avrenning på ca 1100 l/s km<sup>2</sup>, mens det ved 200-års flom i Måna-rapporten er beregnet et tilsig fra lokalfeltet til Måna på ca. 500 l/s km<sup>2</sup>.

Ut fra dette er det grunn til å stille spørsmål om beregnede flomvannføringer i Middøla er urimelig høye, eller om beregnede flommer i Måna-rapporten er altfor lave. Svaret på begge spørsmål er nei! Det er tvert imot indikasjoner på at en har regnet på den sikre siden også i Måna-rapporten. Det er ved utarbeiding av dette notatet utført noen nye analyser for å underbygge vurderingene.

Konklusjonen er, benytt beregningene for Middøla når denne er i fokus. Benytt beregningene for Måna for å vurdere situasjonen i hovedvassdraget.

Notatet er kvalitetskontrollert av Lars-Evan Pettersson.

#### 200-års flom i de to rapportene

I eksemplet nedenfor er beregnede 200-års flommer benyttet, og fra Måna-rapporten er det vannføringer med driftstans i alle kraftverk som er gjengitt. Fra Måna-rapporten (tabell 7 og 9) får vi følgende:

	Areal	200-årsflom (døgn)	200-årsflom (kulm)
Måna ved utløp Tinnsjøen	1778 km <sup>2</sup>	545 m <sup>3</sup> /s	573 m <sup>3</sup> /s
Måna ved utløp Møsvatn	1509 km <sup>2</sup>	410 m <sup>3</sup> /s	410 m <sup>3</sup> /s
Bidrag fra lokalfeltet til Måna	269 km <sup>2</sup>	135 m <sup>3</sup> /s	163 m <sup>3</sup> /s

Ved 200-årsflom fra Møsvatn er det dermed regnet med et døgnstilsig på 135 m<sup>3</sup>/s fra lokalfeltet til Måna. Det tilsvarer en spesifikk avrenning på drøyt 500 l/s km<sup>2</sup>. Av totalvannføringen i Måna utgjør lokaltilsiget omkring 25 % i løpet av et døgn.

Fra Middøla-rapporten har vi:

	Areal	200-årsflom (døgn)	200-årsflom (kulm)
Middøla	36,9 km <sup>2</sup>	40 m <sup>3</sup> /s	56 m <sup>3</sup> /s

som gir en spesifikk avrenning i løpet av et døgn på nesten 1100 l/s km<sup>2</sup>, eller godt og vel det dobbelte av det som er lagt til grunn for lokalfeltet ved beregningene for flomsonekartet.

I Måna-rapporten er observasjonene fra stasjonen 16.66 Grosettjern vektlagt for å beregne tilsiget fra lokalfeltet, mens i Middøla-rapporten er observasjonene fra målestasjonen 16.122 Grovåi benyttet. I tillegg er det valgt å benytte noe ulike frekvensfaktorer for vurdering av forholdstallet mellom midlere flom og flom med ulike gjentakintervall i de to rapportene.

Grosettjern ligger i lokalfeltet til Måna. Nedbørfeltet er slakt, over 20 % av feltet består av myr og en effektiv sjøprosent på drøyt 2 % er også relativt høyt. Det betyr at flomdempingen her må antas å være større enn i store deler av lokalfeltet til Måna.

Ved flomberegningene for Middøla er data fra blant annet stasjonen 16.122 Grovåi vektlagt. Denne stasjonen har feltparametere omtrent som for Middøla (lav effektiv sjøprosent, relativt bratt, høydenivå, feltareal, årsavrenning). Det er langt mindre naturlig selvregulering i Grovåi-feltet enn i feltet til Grosettjern, dette gir seg utslag i blant annet mer intense flommer i Grovåi enn fra Grosettjern.

Det er viktig å understreke at i det ene tilfelle er det Middøla med et areal på 37 km<sup>2</sup> som har vært i fokus, mens ved utarbeiding av flomsonekart var det hele nedbørfeltet som er større enn 1500 km<sup>2</sup> som ble fokusert. Resultatene fra begge rapporter virker rimelige. Dette er mer utfyllende kommentert senere i notatet.

#### **Avløp Møsvatn i kombinasjon med lokaltilsig Måna.**

Det er ikke rimelig å anta at flom av samme størrelse (gjentakintervall) faller sammen i tid for både lokalfeltet til Måna og ut av Møsvatn. Tvert imot er det rimelig å anta at flommen er på retur i lokalfeltet nedstrøms Møsvatn når avløpet fra Møsvatn kulminerer. Nedbørfeltet til Møsvatn er drøyt 1500 km<sup>2</sup> og bare magasinarealet er 79 km<sup>2</sup>. Lokalfeltet nedenfor, som er 269 km<sup>2</sup>, består av flere mindre bekker/ elver med Middøla som en av de største.

I Måna-rapporten er det antatt at avløpet fra Møsvatn kulminerer samtidig med tilsiget fra lokalfeltet til Måna. For å beregne tilsiget fra lokalfeltet er observasjonene fra Grosettjern lagt til grunn, riktignok med en liten nedjustering fordi det blant annet er antatt at snøsmeltingen er over i de nedre delene av lokalfeltet. Det betyr at det ved midlere flom er antatt et tilsig fra lokalfeltet tilsvarende 223 l/s km<sup>2</sup>, mens midlere flom ved Grosettjern er 238 l/s km<sup>2</sup>.

At det er antatt samtidighet med hensyn til kulminasjon fra lokalfeltet og avløpet fra Møsvatn må sees på som en konservativ antagelse. Dette er og kommentert i Måna-rapporten (s. 28): *"Det antas at flommen fra lokalfeltet kulminerer samtidig som i Måna. I mange tilfeller, spesielt ved små flommer, kan dette gi et noe for overestimert bilde av flomstørrelsene i Måna, siden flommer i hovedvassdraget ofte dempes og forsinkes i Møsvatnmagasinet."*

Dette betyr at en har valgt å legge seg litt på den "sikre" siden ved beregning av flomvannføringer i Måna for konstruksjon av flomsonekart.

I Måna-rapporten er observasjonene fra Groset, som nevnt over, benyttet til å beskrive tilsiget fra lokalfeltet. Det er greitt når en vurderer totalvannføringen i Måna, men dette blir ikke korrekt når en

skal vurdere flomforholdene i de ulike sideelvene til Måna. Tabell 6 i Måna-rapporten må derfor ikke benyttes som selvstendige flomberegninger for de ulike sidefeltene til Måna, men leses som hvor mye disse bidrar med ved flom i hovedvassdraget (ut av Møsvatn). Dette er ikke tydelig beskrevet i Måna-rapporten.

Det understrekes at det er problematisk å bestemme ”korrekt” gjentaksintervall i regulerte vassdrag. Det er ikke bare naturen som er med og styrer, men også manøvreringen av magasiner/ kraftverk. Dette er også kommentert i Måna-rapporten.

### Nye beregninger av totaltilsiget Måna

For å vurdere sammenhengen mellom flommer i lokalfeltet til Måna og ut av Møsvatn er det konstruert en ny serie som beskriver totalvannføringen i Måna hvor serien 16.20 Møsvatn ndf beskriver vannføringen ut av Møsvatn. Videre er det antatt at 16.66 Grosettjern representerer 30 % av lokalfeltet til Måna, mens 16.122 Grovåi representerer de resterende 70 %. Det er foretatt en ren arealskalering av disse observasjonene for å få et estimat på totaltilsiget fra Månas lokalfelt. Ut fra det tilgjengelige datamateriale er det laget en tidsserie fra 1973 – 2006. Det er ikke tatt hensyn til at avløpet fra Møsvatn kan utnyttes i kraftverkene ned mot Tinnsjøen, og dermed nødvendigvis ikke fullt ut bidrar til vannføring i Måna.

Serien er konstruert som følger:

$$16.122.0.1001.91 = 16.20.0.1001.1 + (187 \text{ km}^2 / 42,7 \text{ km}^2) * 16.122.0.1001.1 + (80 \text{ km}^2 / 6,48 \text{ km}^2) * 16.66.0.1001.1$$

eller

$$\text{Sum Måna} = \text{Møsvatn ndf.} + 4,38 * \text{Grovåi} + 12,3 * \text{Groset}$$

Analyser av denne tidsserien viser at avløpet fra Møsvatn dominerer ved de fleste flommene i Måna. Avløpet fra Møsvatn har bidratt med omkring 80 – 90 % av den totale vannføringen ved fem av de seks største flommene i Måna siden 1973 (jmf tabellen under).

Unntaket er mai 2004 hvor intens nedbør og snøsmelting skapte flom i mange mindre vassdrag. I den situasjonen var det imidlertid fortsatt lagringskapasitet i Møsvatn, slik at bidraget herifra ikke var større enn 52 m<sup>3</sup>/s, noe som er mindre enn slukeevnen (90 m<sup>3</sup>/s) i Frøystul kraftverk, som er det øverste kraftverket på strekningen fra Møsvatn til Tinnsjøen.

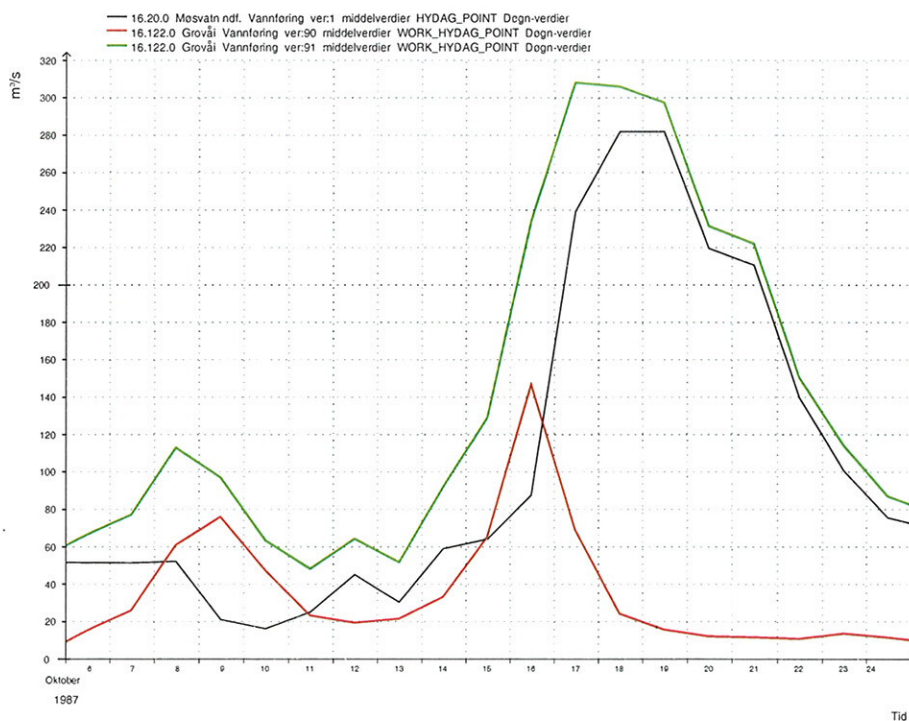
*Beregnete flomvannføringer (døgnmidler) større enn 200 m<sup>3</sup>/s i Måna ved utløp i Tinnsjøen fra 1973 til 2006. Det er ikke tatt hensyn til driftsvannføring gjennom kraftverk.*

Dato	Sum Måna	Avløp Møsvatn	Bidrag lokalfelt
17/10-1987	308 m <sup>3</sup> /s	239 m <sup>3</sup> /s (78 %)	69 m <sup>3</sup> /s (22 %)
18/10-1983	264 m <sup>3</sup> /s	213 m <sup>3</sup> /s (81 %)	51 m <sup>3</sup> /s (19 %)
4/10-1975	264 m <sup>3</sup> /s	229 m <sup>3</sup> /s (87 %)	35 m <sup>3</sup> /s (13 %)
18/8-1979	243 m <sup>3</sup> /s	223 m <sup>3</sup> /s (92 %)	20 m <sup>3</sup> /s (8 %)
9/10-1985	231 m <sup>3</sup> /s	211 m <sup>3</sup> /s (91 %)	20 m <sup>3</sup> /s (9 %)
6/5-2004	217 m <sup>3</sup> /s	52 m <sup>3</sup> /s (24 %)	165 m <sup>3</sup> /s (76 %)

Dette underbygger at ved konstruksjon av flomsonekart langs Måna er det avløpet fra Møsvatn som har størst betydning.

Sammenholder en verdiene i tabellen over med beregnede flomstørrelser i tabell 7 i Måna-rapporten, har det vært fem flommer større enn 5-års flom (230 m<sup>3</sup>/s) de siste 34 år, "normalt" burde en hatt seks til syv flommer over 5-års nivå i løpet av denne perioden. Videre får den største flommen i løpet av disse 34 årene et gjentaksintervall på mellom 10 og 20 år. Dette harmonerer godt med kommentarene i Måna-rapporten, hvor det er står at beregningene kan ha gitt "et noe for overestimert bilde av flomstørrelsene" og da "spesielt ved små flommer".

Beregningene over tilsier at flommen i oktober 1987 er den største i Måna siden 1973. Under denne flommen kulminerte vannføringen i lokalfeltet til Måna to dager tidligere enn vannføringen ut av Møsvatn. Da vannføringen i Måna nådde maksimum, var fortsatt vannføringen ut av Møsvatn økende, mens den i lokalfeltet var redusert med drøyt 50 % i forhold til maksimalverdien.



*Flommen i oktober 1987. Kurvene viser observert vannføring ut av Møsvatn (svart), beregnet avrenning fra lokalfeltet til Måna (rød) og summen av disse - totalvannføringen i Måna (grønn).*

### Flom i sideelvene

Når en skal vurdere flomforholdene i de enkelte sideelvene til Måna er situasjonen en annen. Da er det vannføringen i sideelvene som er i fokus og ikke totalvannføringen i vassdraget.

Det er likevel grunn til å stille spørsmål om flom i lokalfeltet, kan gi større totalvannføring i Måna enn det som ligger til grunn for flomsonekartene (Måna-rapporten).

Hvis en benytter serien for totaltilsigt til Måna, som angitt ovenfor, gir denne en middelflom på nesten 80 m<sup>3</sup>/s (døgnverdi). Multipliseres dette med 200-års frekvensfaktor (3,1) fra Middøla-rapporten (tabell 5), får man en 200-års flom fra lokalfeltet på nesten 250 m<sup>3</sup>/s. Beregningene fra flomsonekartet ga nederst i Måna en 200-årsflom på 545 m<sup>3</sup>/s. Det er dermed ingen grunn til å anta at lokalfeltet alene kan gi større flommer enn det som er lagt til grunn ved utarbeidelse av

flomsonekartet. Og videre om man antar at en 200-års flom forløper omtrent som 1987-flommen, vil tilsiget fra lokalfeltet reduseres fra omkring 250 til 120 m<sup>3</sup>/s innen vannføringen i Måna kulminerer.

Dette harmonerer rimelig godt med flomverdiene som ble benyttet ved flomsonekartene, hvor det ble antatt et bidrag fra lokalfeltet på 135 m<sup>3</sup>/s ved en 200-årsflom i Måna. 135 m<sup>3</sup>/s tilsvarer for øvrig omkring 1,7 x beregnet middelflom (80 m<sup>3</sup>/s) for hele lokalfeltet til Måna, eller en flom med et gjentakintervall på omkring 10 – 20 år (jmf. frekvensfaktorer fra Middølarapporten, tabell 5).

Heller ikke om en ser på kulminasjonsverdier endres bildet. Ut fra formelverk får en et forholdstall på 1,3 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring for det 267 km<sup>2</sup> store lokalfeltet til Måna. Det gir en kulminasjonsvannføring ved en 200-års flom fra lokalfeltet på 325 m<sup>3</sup>/s, mens i Måna-rapporten kulminerer 200-års flommen på drøyt 570 m<sup>3</sup>/s nederst i vassdraget.

### **Konklusjon**

Konklusjonen er altså at det er et rimelig samsvar mellom flomverdiene i de to rapportene. Ved flom i hovedvassdraget er det avløpet fra Møsvatn som gir det største bidraget. I flomberegningene for flomsonekartet (Måna-rapporten) er det benyttet tilsig fra Månas lokalfelt som er langt mindre enn hva en kan forvente som maksimale flomvannføringer fra lokalfeltet. Teksten i Måna-rapporten kan imidlertid misforstås til at det også er beregnet flomvannføringer med gitte gjentakintervall fra lokalfeltet. Dette er ikke korrekt.

Analysene i dette notatet sannsynliggjør at vannføringen fra lokalfeltet til Måna kulminerer før avløpet fra Møsvatn, og at tilsiget fra lokalfeltet er redusert til et nivå omkring det som er angitt i Måna-rapporten når vannføringen i hovedvassdraget kulminerer.







# Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru

*Kari Svelle Reistad*

8  
2009



OPPDRAGSRAPPORT A



# **Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru**

Kari Svelle Reistad

## Rapport nr 8

### Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru

**Oppdragsgiver:** Vegdirektoratet

**Forfatter:** Kari Svelle Reistad

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** 10

**Forsidefoto:** NVE

**ISSN:** 1503-0318

**Sammendrag:** Hydraulisk beregning av elvestrekning i Middøla, Tinn kommune. Beregningens formål er å finne parametre som kan brukes for beregning av erosjonssikring av Middøla bru på RV 37.

**Emneord:** HEC-RAS 4.0, profilering, 016.Z Middøla

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

Desember 2008

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Beskrivelse av prosjektet.....</b>	<b>7</b>
1.1 Kontakt med oppdragsgiver .....	7
1.2 Kort beskrivelse av oppgave og forventede resultater .....	7
<b>2 Beskrivelse av området.....</b>	<b>8</b>
2.1 Generell beskrivelse.....	8
2.2 Bruene.....	10
2.2.1 Miland bru.....	10
2.2.2 Middøla bru .....	11
<b>3 Metode, databehov og datainnsamling.....</b>	<b>12</b>
3.1 Metode .....	12
3.2 Flomberegning .....	12
3.2.1 Kommentar, NVEs flomberegning vs flomberegning gjort av NTNU (Jensen, 2008).....	13
3.3 Feltarbeid .....	14
3.3.1 Profilering .....	14
3.3.2 Brugeometri Middøla bru.....	15
3.3.3 Vannføringsmåling .....	16
<b>4 Hydraulisk modellering.....</b>	<b>17</b>
4.1 Valg av modellverktøy.....	17
4.2 Grensebetingelser.....	17
4.3 Kalibrering/valg av friksjonstall.....	20
<b>5 Resultater .....</b>	<b>21</b>
5.1 Generelt for strekningen.....	21
5.2 Spesielt for Middøla bru .....	25
5.3 Spesielt for Miland bru .....	26
<b>6 Begrensninger og usikkerhet .....</b>	<b>26</b>
6.1 Begrensninger .....	26
6.2 Usikkerhet .....	26
6.3 Diskusjon og anbefalinger .....	27
<b>7 Referanser .....</b>	<b>28</b>
<b>8 Vedlegg.....</b>	<b>28</b>
8.1 Resultat fra HEC-RAS 4.0. Tabell med alle beregnede faktorer for alle flomfrekvenser .....	28
8.2 Resultat fra HEC-RAS 4.0. Tverrprofilene med angitt beregnet vannstand for alle flomfrekvenser.....	28
8.3 Rapport fra landmåler .....	28
 Flomberegning for Middøla. Oppdragsrapp. nr 2-2009, Erik Homqvist. ...	28

# Forord

Statens Vegvesen (SVV) tok i april 2008 kontakt med NVE Hydrologisk avdeling, seksjon for vannbalanse (HV) med forespørsel om seksjonen kunne bidra i FoU-prosjektet "Klima og Transport". Det var ønskelig at NVE skulle være med på et pilotprosjekt for å utforme en veileder for erosjonssikring av bruer. I veilederen skal det bli gis prosedyrer for hvilken bakgrunnsinformasjon som trengs for å erosjonssikre bruer og hvor denne bakgrunnsinformasjonen kan hentes. NVE ble bedt om å bidra med hydrologisk og hydraulisk kompetanse, både for å utforme veilederen og for å være med i et pilotprosjekt.

Statens Vegvesen valgte ut en bru i Tinn Kommune. Bruen som ligger på Riksveg 37 går over elva Middøla, rett oppstrøms samløpet med den større elven Måna, omtrent 1 km før Måna renner ut i Tinnsjø (se Fig.1 og Fig.2). Denne bruene har helt siden den ble bygget vært utsatt for erosjon og det har tidligere blitt utført flere sikringstiltak. Den 17. juni 2008 ble det med representanter fra både Statens Vegvesen og NVE avholdt et oppstartsmøte på Gaustablikk hotell med en etterfølgende befaring av stedet.

Parallelt med dette arbeidet pågår utarbeidelse av en Håndbok for erosjonssikring med stein i vassdrag, 2008 i regi av SVV, NVE og NTNU. Beregningen av selve erosjonssikringen for Middøla bru er tenkt gjennomført som et eksempel i håndboken, og er således ikke en del av dette oppdraget.

Arbeidet er blitt utført i perioden 17.06.2008 – 01.02.2009 .

Kari Svelle Reistad har vært ansvarlig for oppdraget fra NVEs side, feltarbeidet er utført av Demissew Ejigu Kebede og Péter Borsányi. Flomberegningene er gjort av Erik Holmqvist. Flomberegningene er gjort på egentid og blir ikke fakturert dette prosjektet. Beregningene er beskrevet i en egen rapport som vedlegg til denne rapporten (NVE Oppdragsrapport A nr 2/2009). Bjarne Kjølmoen har vært ansvarlig for landmålingen. De hydrauliske beregningene er utført av Kari Svelle Reistad. Kvalitetssikring av de hydrauliske beregningene er utført av Péter Borsányi og Demissew Ejigu Kebede.

Oslo, oktober 2009

  
Sverre Husebye  
seksjonssjef

  
Kari Svelle Reistad  
prosjektleder

# Sammendrag

Formålet med oppdraget var å lage en hydraulisk modell av Middøla bru samt elvestrekningen som påvirker den. Hensikten er å hente ut data som kan brukes som grunnlag for en erosjonssikring av brua og elvestrekningen. Ønskede data er vannhastighet, vannstand og informasjon og vannstrømmen er over- eller underkritisk i de forskjellige tverrprofilene ved forskjellige flomfrekvenser.

Det har blitt gjort flomberegning for flommer med opptil 500-års gjentaksintervall i vassdraget. Flomberegningen er basert på analyse av flomdata med både døgnverdier og finere tidsskritt. Beregningene er beskrevet i en egen rapport som vedlegg til denne rapporten (NVE Oppdragsrapport A nr 2/2009).

**Tabell 1: Kulminasjonsvannføringer med gjentaksintervall opp til 500 år.**

Areal	Enhet	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
36,9 km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
	m <sup>3</sup> /s	18	24	29	34	44	49	56	65

Tverrprofiler i elvestrekningen og bruenes geometri ble innmålt på feltarbeid, brutegninger er oversendt fra Statens Vegvesen. Geometrien ble så lagt inn i HEC-RAS 4.0, en éndimensjonal hydraulisk modell. Det var ingen tilgjengelige kalibreringsdata (vannstand i innmålte tverrprofiler ved kjent vannføring). Dermed ble modellen satt opp med friksjonstall valgt ut fra inntrykk under feltarbeidet samt ut fra utvalgt litteratur. Som nedre grensebetingelse i modellen ble det valgt en lav vannstand i nederste profil. Videre ble flomberegningene lagt inn i modellen og man fikk resultater i alle tverrprofil og bruer for de forskjellige flomfrekvensene.

Beregningene viste at det var et varierende strømningsbilde langs elvestrekningen. Det er partier med både over- og underkritisk strømning og svært varierende vannhastigheter. Følgende en kort beskrivelse av forholdet rundt Middøla bru ved 200-års flom: Omtrent midtveis mellom Miland og Middøla bru går strømmingen over til å bli overkritisk før vannstanden stues opp foran Middøla bru. Gjennom brua er strømmingen kritisk før den blir overkritisk resten av strekningen til samløpet med Måna. Dette gjelder når vannstanden i Måna er lav. Ved flomvannføring i Måna vil vannstanden i Middøla påvirkes tilsvarende vannstand i Måna. Dette kan føre til erosjon i Middøla på de strekningene hvor overkritisk strømning møter flomvannstanden i Måna. En slik situasjon er i følge modellen mest aktuelt på lave flomvannføringer i Måna.

Den største faren for erosjon finner vi derfor på hele strekningen fra oppstrøms Middøla til samløpet med Måna. De største vannhastighetene finner vi nedstrøms Middøla bru før samløpet med Måna.

Beregningene i en slik bratt elv er beheftet med stor usikkerhet. For dimensjonering av erosjonssikring vil vi anbefale å vurdere å bruke høyden på energilinja i stedet for en satt sikkerhetsmargin på for eksempel 0.5 m for maksimal potensiell vannstand ved flom.





# 1 Beskrivelse av prosjektet

## 1.1 Kontakt med oppdragsgiver

- Telefonkontakt mellom Hans Olav Hagen i Statens Vegvesen, Region Sør og Sverre Husebye, seksjonssjef i Seksjon for vannbalanse, Hydrologisk avdeling, NVE.
- E-post 2. april 2008 fra Hans Olav Hagen til Sverre Husebye med informasjon og bakgrunnsmateriale om Middøla og riksvegsbru.
- Notat "Middøla bru, bru nr. 08-1489" datert 9. juni 2008.
- Notat "Erosjonssikring av bruer, Prosedyre for gjennomføring av pilotprosjekter". Foreløpig dokument datert 16. juni 2008.
- Befaring av elvestrekning sammen med representanter fra Statens Vegvesen den 17. juni 2008-06-30. Fra Statens Vegvesen møtte Hans Olav Hagen. Fra NVE møtte Sverre Husebye, Kari Svelle Reistad, Erik Holmqvist og Paul Christen Røhr.
- Møtereferat fra befaring Middøla og møte på Gaustablikk den 17. juni, endelig datert 15. september.
- E-post fra prosjektleder Gordana Petkovic i Statens Vegvesen, Vegdirektoratet til Sverre Husebye den 15. september 2008 med ønske om et budsjett for NVEs deltagelse i prosjektet

## 1.2 Kort beskrivelse av oppgave og forventede resultater

Middøla bru er valgt som studieobjekt fordi både brufundamentet og elvestrekningen i nærheten av brua er sterkt utsatt for erosjon.

Formålet med prosjektet er å modellere de hydrauliske forholdene i elva slik at vi kan få data som grunnlag for beregning av erosjonssikring av den nederste delen av Middølas elveløp og da spesielt sikring av Middøla bru. For å utføre beregninger for erosjonssikring trenger man å estimere en gjennomsnittelig vannhastighet, vannstand, vannføring og bunnforhold flere steder langs elva, spesielt ved bruer. En hydraulisk modell kan gi oss denne informasjonen.

Inngangsdata i modellen er oppmålte tverrprofiler og bruprofiler i elven. I tillegg må det gjøres en flomberegning av nedslagsfeltet som gir oss en statistisk oversikt over flomstørrelser. Tradisjonelt gjøres flomberegning på bakgrunn av døgnverdier fra nærliggende målestasjoner hvor data ligger lagret i NVEs database. I en rask elv som Middøla vil det være mer riktig å bruke timesverdier eller knekkpunktverdier. NVE har derfor som et egetfinansiert prosjekt utført flomberegning for Middøla med basis i timesverdier.

# 2 Beskrivelse av området

## 2.1 Generell beskrivelse

Middøla ligger i Tinn kommune. Nedbørsfeltet er beregnet til å være 36,9 km<sup>2</sup> og har en relativ bratt høydegradient slik at vannføringen kan øke relativt raskt. I tillegg er det problemer med erosjon og ras i elvedalen.

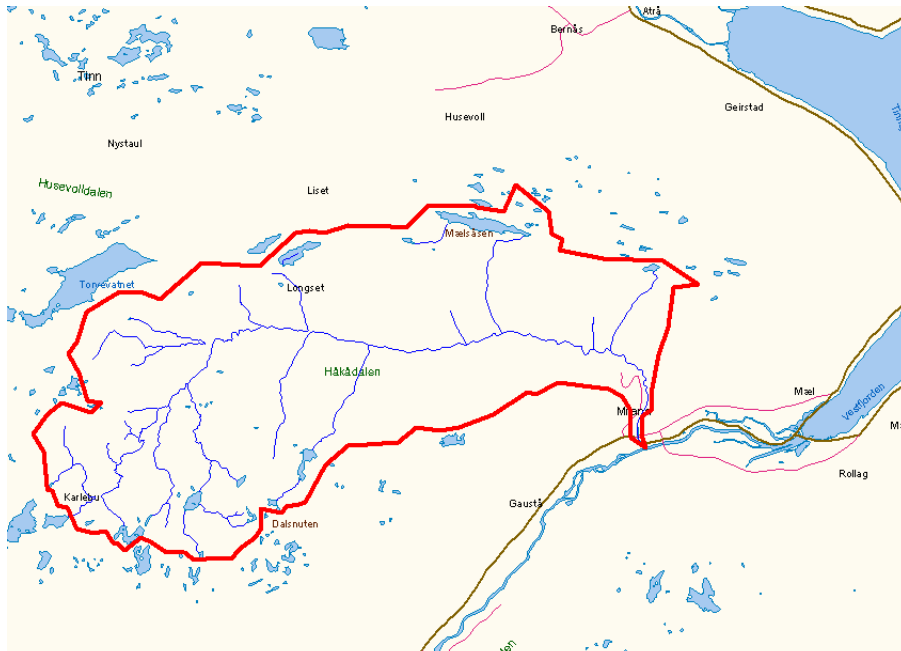


Fig. 1. Oversikt over Middølas nedbørfelt



Fig. 2: Kart over studieområdet. Middøla elv kommer nordfra og renner ut i Måna elv midt i bildet. Rød vei er RV 37. Studieobjektet Middøla bru er en del av RV 37 og går over Middøla.

Fig 2 gir en mer detaljert oversikt over studieområdet. Den røde vegen er Riksveg 37. Bruen som er valgt ut til pilotprosjektet går over Middøla. Middøla renner ut i Måna som igjen renner ut i Tinnsjø ca 1 km nedstrøms. Den gamle vegen (Milandvegen) ligger lenger opp. Der er det også en bru over Middøla. Denne bruene viser også spor etter tidligere erosjonssikring og fundamentet er litt erodert også i dag. På hele strekningen, særlig den vestre bredden er det tydelige flomvoller for å beskytte bebyggelsen. Den øverste delen av det modellerte området er preget av rundere elvestein, et ganske flatt elveløp og bratte kanter med tett vegetasjon. Kantene her er lite erodert.



**Fig. 3: Bildet er tatt fra Miland bru oppover Middøla og viser den øverste delen av det modellerte området.**

Lengre nedover i elveiet blir elveleiet og sidekantene mer preget av erosjon. Bildet er mer uryddig og elvesteinen mer kantete. Dette tyder på at hastigheten på vannet er høyere her enn lenger opp under flom.



**Fig. 4: Midtre del av den modellerte strekningen. Bildet er tatt nedstrøms Miland bru som sees øverst i bildet.**

Fig. 5 viser den nederste delen av Middøla der den går sammen med Måna. Her har det vært utført erosjonssikring senest i juli 2007. Hele den nederste delen av Middøla er preget av mye erosjon og et ustabilt elveløp. Dette tyder igjen på høye hastigheter på vannet og muligens raske vannstandsvariasjoner under flom.



Fig. 5: Den nederste delen av Middøla rett oppstrøms samløpet med Måna.

## 2.2 Bruene

### 2.2.1 Miland bru

Miland bru er den gamle riksvegbrua fra før riksvegen ble lagt om og Middøla bru ble bygget i 1990. Brua har vært utsatt for noe erosjon og det ser ut til at den har vært reparert en gang, sannsynligvis pga erosjon under fundamentene.



Fig. 6: Miland bru sett fra oppstrøms side.

### 2.2.2 Middøla bru

Middøla bru ble satt i trafikk i 1990. Den er en fritt opplagt platebru i slakkarmet betong med spennvidde på 20,3 m, fundamentert på landkar på sålefundamenter i elvekanten. Den ble prosjektert av SVV Telemark. Da bruene ble bygget ble det ikke tatt spesielle hensyn til erosjon men det har i etterkant vært gjort flere reparasjoner etter flomskader ved fundamentene. Etter at bruene ble bygget ble det i flomperioder observert store vannhastigheter ved landkarene samt noe erosjon. Frem til 2004 var det kun nødvendig med etterfylling av masser. I 2004 ble det etter flom i juni så store skader at man måtte understøpe nytt vestre fundament etter undergravninger samt reparere og tilbakefylle elveskråninger (Notat fra Hans Olav Hagen om Middøla bru, SVV, 2008).



Fig. 7: Middøla bru sett fra oppstrøms side. Fyllingene i elveskråningene er tydelige.

# 3 Metode, databehov og datainnsamling

## 3.1 Metode

Følgende oppgaver må utføres i angitt rekkefølge:

- Statistisk analyse av hvor store og hyppige flommer som kan forventes i vassdraget (flomberegning). Det beregnes vannføring for flommer med gjentakintervall hhv. Middelflom, 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år.
- Feltarbeid hvor det blir valgt ut og merket tverrprofiler i elveløpet. Det må også gjøres en avgrensning av hvor lang del av elveløpet som påvirker forholdene ved Middøla og som dermed skal være med i modellen. Tverrprofilenes geometri og vannstand blir så målt opp, dvs koordinatfestet med x,y og høyde. Samtidig er det vanligvis ønskelig å gjøre en vannføringsmåling slik at man har data for kalibrering av modellen.
- Vannføringsdata, oppmålte tverrprofiler av elveløpet og elveløpets egenskaper for øvrig benyttes i en hydraulisk modell som beregner hvor høy vannstand de ulike flommene gir langs elva (vannlinjeberegning). Her er det spesielt fokus på området rundt Middøla bru.
- Vannstands- og hastighetsdata for de utvalgte flomfrekvensene blir sammenstilt i en tabell slik at de kan brukes som grunnlag for erosjonssikring av elveløpet og fundamentene rundt Middøla bru.

## 3.2 Flomberegning

Se egen rapport, NVE Oppdragsrapport A nr 2/2009 for flomberegning. Det er utarbeidet en flomberegning av Middøla med beregninger av aktuelle flommer med gjentakintervaller opptil 500-års flom. Statens Vegvesen bruker vanligvis 200-års flom som grunnlag for dimensjonering men ønsker også å se på om andre gjentakintervall gir større vannhastighet og dermed skal være dimensjonerende. Det henvises forøvrig til NVEs Retningslinjer nr 21/2007 hvor det står beskrevet fareklasser og valg av dimensjonerende flom for flomsikringsanlegg.

Vanligvis gjennomføres flomberegninger med basis i gjennomsnittsverdier over døgnet. I nedbørfelter på størrelse med Middøla, kan det til dels være betydelig forskjell mellom døgnverdi og kulminasjonsverdi. Det er i dag økende fokus på denne problemstillingen, og det vil være av interesse for NVE å se nærmere på dette, gjerne med bakgrunn i et praktisk eksempel med bruk av kortere tidsskritt enn døgn.

Tabell 2: Kulminasjonsvannføringer med gjentakintervall opp til 500 år.

Areal	Enhet	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
36,9 km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
	m <sup>3</sup> /s	18	24	29	34	44	49	56	65

### 3.2.1 Kommentar, NVEs flomberegning vs flomberegning gjort av NTNU (Jensen, 2008)

Flomberegning NTNU for Middøla er basert på data fra stasjonen 16.66 Grosettjern. Denne stasjonen ligger nær Middøla, men har både høy effektiv sjøprosent (20 - 30 %), og det er mye myr i feltet. Flomdempningen her må derfor antas å være vesentlig større her enn i feltet til Middøla. Stasjonen er tidligere benyttet av Turid Anne Drageset (NVE-dok. 5-2004, Flombereregning i Måna ved Rjukan) for å anslå lokaltilsiget til Måna nedstrøms Møsvatn i situasjoner med flom fra Møsvatn. I de beregningene var imidlertid fokuset hovedelven Måna, og ikke flomvannføring i sideelvene.

Anvendt på Middøla, slik NTNU gjorde, ga det en middelflom og 500-års flom på henholdsvis 238 og 590 l/s km<sup>2</sup> (døgnmidler). Videre benyttet de en faktor på 1,3 mellom kulminasjon og døgnmiddel, med et areal på 36,9 km<sup>2</sup> fikk de da en middel og 500-års flom i Middøla på 11 og 28 m<sup>3</sup>/s (kulminasjon).

I våre beregninger for Middøla er data fra blant annet stasjonen 16.122 Grovåi vektlagt. Denne stasjonen har feltparametere omtrent som for Middøla (lav effektiv sjøprosent, relativt bratt, høydenivå, feltareal, årsavrenning). Ut fra dette ble midlere flom beregnet til 351 l/s km<sup>2</sup> (døgnmiddel). Data fra denne stasjonen er også vektlagt ved bestemmelse av forholdet mellom kulminasjon- og døgnmiddelvannføring, det ga 1,4. For bestemmelse av flommer med sjeldne gjentaksintervall er det valgt å benytte en serie i nærheten (16.32 Hjartsjø) som har med seg stor-flommen i 1927. Det ga et forholdstall mellom Q500 og middelflom på ca. 3,6, mens dataene fra Groset som NTNU hadde hentet fra tidligere NVE-rapportert ga et forholdstall på ca. 2,5. (Her bør nevnes at det har vært en stor flom i området også etterat NVE-dok 5-2004 ble skrevet, i mai 2004 var det den hittil største registrerte vannføringen ved Grosettjern, nye analyser av dataene fra Grosettjern som inkluderer også denne flommen gir en Q500/ QM på ca. 2,9 - jmf "Flomberegning for Middøla", tabell 5).

Resultatet er at vi har beregnet midlere og 500-års flom til henholdsvis 18 og 65 m<sup>3</sup>/s (kulminasjon).

## 3.3 Feltarbeid

### 3.3.1 Profilering

Foruten befaringen den 17. juni 2008 ble det utført feltarbeid i to omganger. I første omgang ble det befart og merket av hvor man ville ha tverrprofilene samt gjort oppmålinger av bruene. I neste omgang brukte NVEs landmåler DGPS for å måle opp koordinater på tverrprofilene.



Fig 8: Bildet viser hvor tverrprofilene ble målt inn og nummereringen. Bakgrunnsbildet er kjøpt fra "Norge i Bilder".



### 3.3.2 Brugeometri Middøla bru

Figur x-Y viser resultatet fra NVEs oppmåling av Middøla bru. Brogeometrien ble innmålt med målebånd og ikke GPS. Høyden fra elvebunn og opp til bunn dekke på 3.65 m er helt inn ved venstre brokar, høyden var derfor en del større i djupålen i elva. Høyder i riktig høydesystem ble så funnet ved å ta utgangspunkt i SVV tegning for Middøla bru med angitt høyde på topp dekke. Dette ble så sammenstilt med innmålte tverrprofiler oppstrøms og nedstrøms.

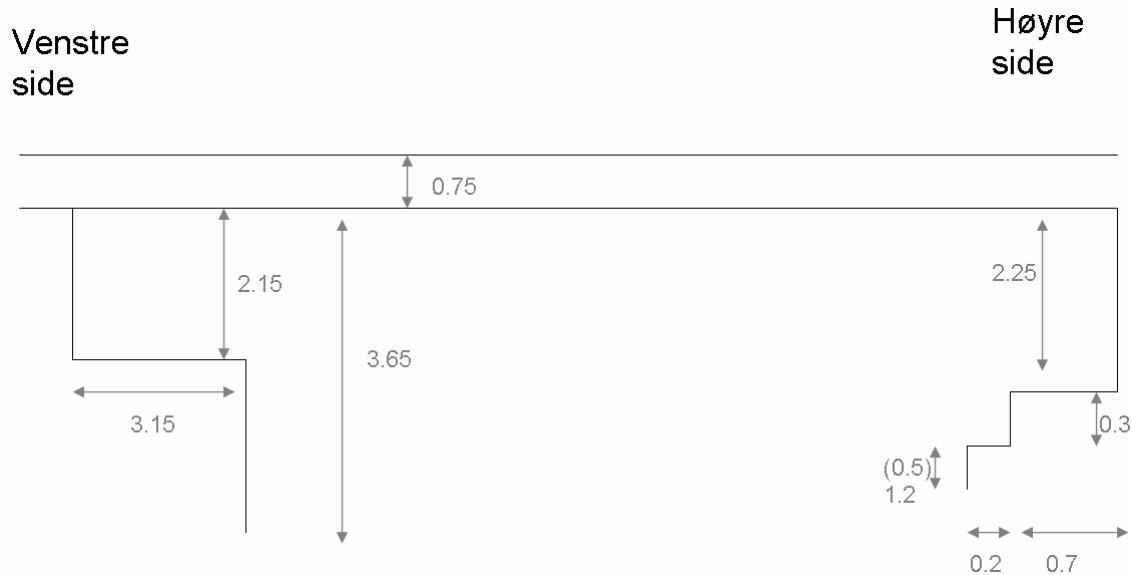


Fig 9: Brogeometri for Middøla bru sett fra oppstrøms side.

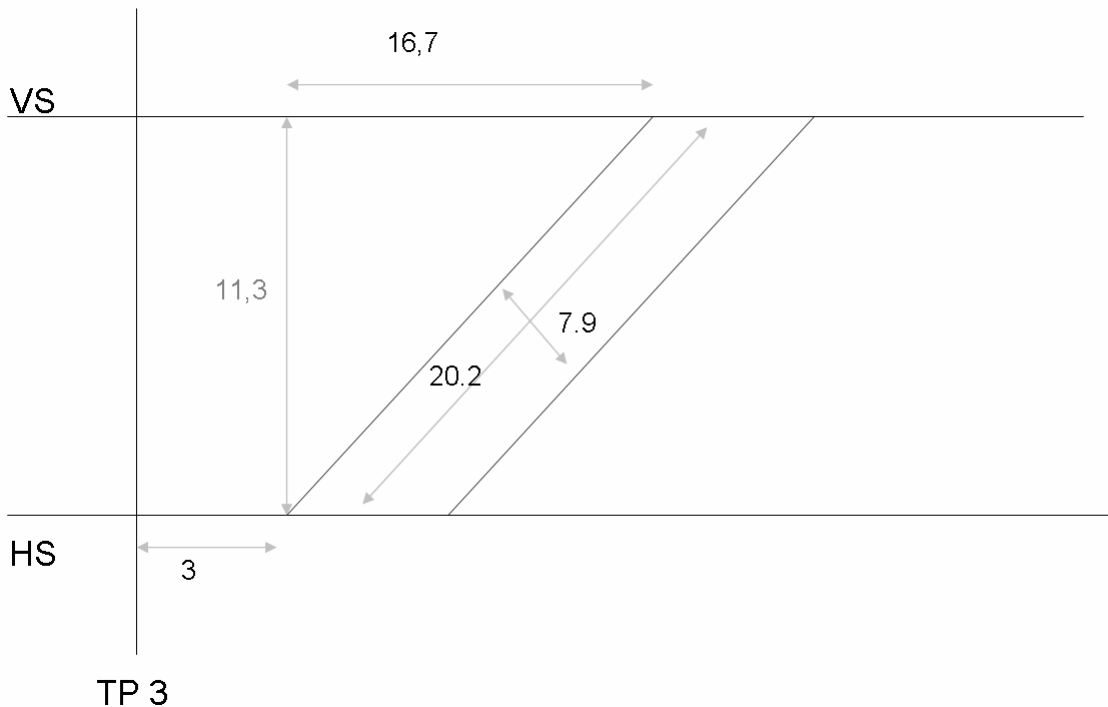


Fig 10: Middøla bru sett ovenfra. Oppstrøms side til venstre på figuren.

### **3.3.3 Vannføringsmåling**

Under feltarbeidet ble det utført en vannføringsmåling slik at man sammen med oppmålte vannstander i tverrprofilene kunne få ett sett kalibreringsdata. Metoden som ble brukt for å gjøre vannføringsmåling er måling med salt. Kort beskrevet går denne metoden ut på å tilsette en kjent mengde salt i elven. Man måler så endringen i ledningsevne over tid nedstrøms tilsettingsstedet på et sted man er sikker på at saltet har løst seg homogent i vannmassene. Integralet av endring i ledningsevne over tid gir et mål for vannføringen i elven.

På det tidspunkt vi gjorde feltarbeidet i Middøla var det lavvann i elva. Målingene viste at det kun gikk ca 370 l/s. Det var ikke nok til at det kunne brukes til kalibrering.

# 4 Hydraulisk modellering

## 4.1 Valg av modellverktøy

Beregningene ble hovedsakelig gjort i HEC-RAS 4.0 (se beskrivelse nedenfor). Det ble også gjort en beregning med et annet simuleringsprogram MIKE 11 (se beskrivelse nedenfor) for å sammenligne resultatene. Beregningene i MIKE 11 ble gjort på egen tid. Grunnen til dette var at vi ville sammenligne hvordan begge modellene takler bratte elver med mye overkritisk strømning. Det har før vist seg at MIKE 11 ikke takler slike forhold like bra som HEC-RAS.

Vannlinjeberegning nr 1 er utført ved hjelp av programvaren HEC-RAS, en hydraulisk beregningsmodell utviklet av US Army Corps of Engineers (Versjon 4.0).

Vannlinjeberegning nr 2 er utført ved hjelp av programvaren MIKE 11, en hydraulisk beregningsmodell utviklet av Danske Hydrologiske Institutt (DHI).

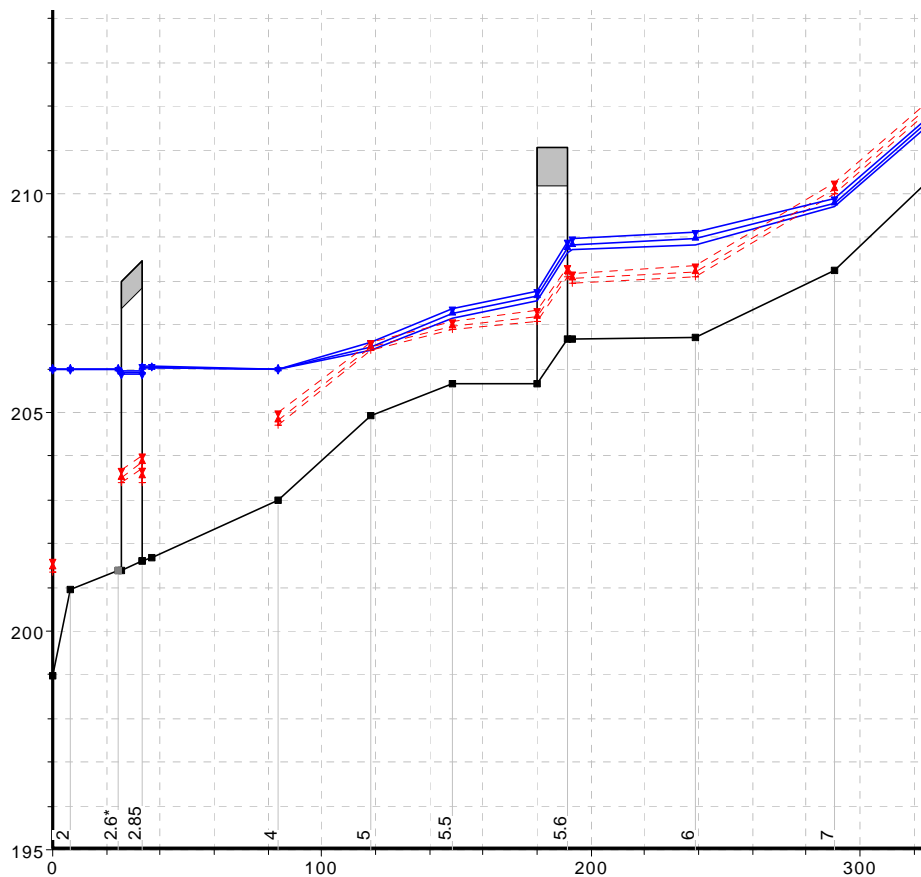
Begge modellene er basert på en éndimensjonal hydraulisk strømningsanalyse. Modellene kan beregne underkritisk, overkritisk strømning eller en kombinasjon av disse. Den hydrauliske simuleringsmodellen trenger nødvendige informasjon som bl.a. terrengdata i form av tverrprofiler, kulvert- og bruprofiler, vannføringsdata og eventuelle kalibreringsdata for å bestemme hydraulisk ruhet fra sammenhørende vannføring/vannstand hvis dette er tilgjengelig.

Det viste seg vanskelig å gjøre beregningene i MIKE 11. Vi fikk usannsynlig høye vannhastigheter, Froude-tall og også til dels varierende vannstander. Dette bekreftet det vi hadde erfart før, at MIKE 11 ikke egner seg for beregninger i mindre, bratte elver hvor strømningsbildet varierer mellom over- og underkritisk. Beregning i HEC-RAS ga mye mer realistiske resultater, vi valgte derfor å bruke den modellen. Videre beregninger i denne rapporten er derfor kun gjort i HEC-RAS 4.0.

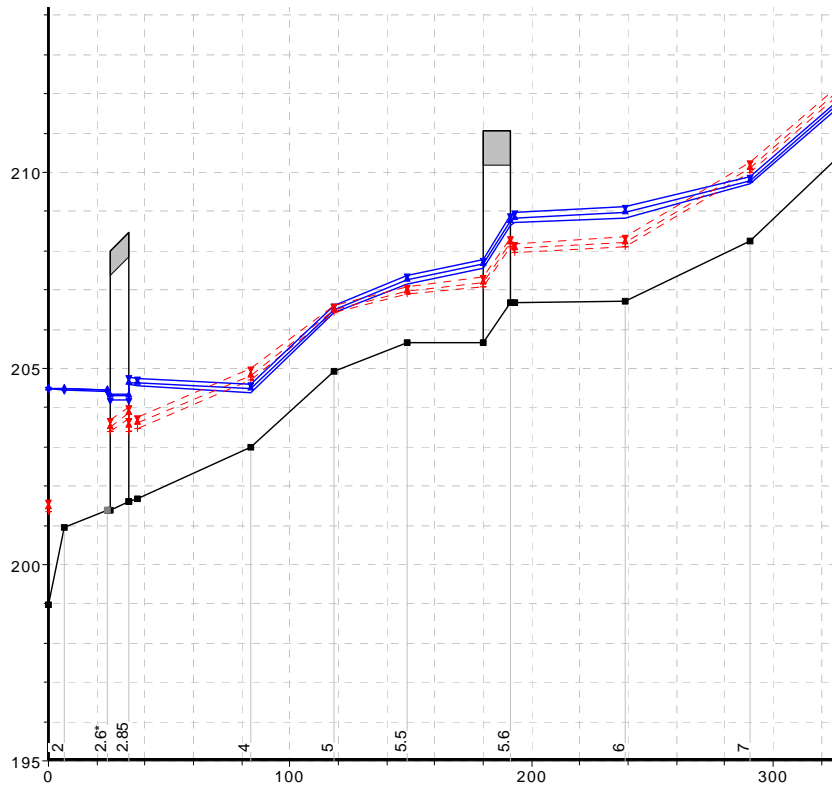
## 4.2 Grensebetingelser

Middøla munner ut i Måna. I modellen ble det valgt å sette vannstand i Måna som nederste grensebetingelse for modellen, dvs at når man kjører modellen for en valgt flomstørrelse "låses" vannstand i nederst tverrsnitt. For Måna er det tidligere laget flomsonekart. Dvs at det er gjort flomberegning samt laget en hydraulisk modell for elva. Måna er en sterkt regulert elv og har tilrenning fra store høyfjellsområder, vi kan derfor ikke bruke samme flomfrekvens for denne som for Middøla, som er uregulert og har et lavere felt, og anta at det er for eksempel 200 års flom i Måna samtidig med Middøla. Vi gjorde derfor en analyse av hva som skjedde i modellen hvis vi valgt lav, middels og høy vannstand i Måna. Det var størst hastighet på vannet i Middøla når det var lavest vannstand i Måna, dette skyldes at det ikke blir oppstuing som bremses vannet. Vi valgte derfor å gjøre analysene med en lav vannstand i Måna. Lav vannstand vil si den vannstand vi målte inn under oppmålingen, 201.5 moh.

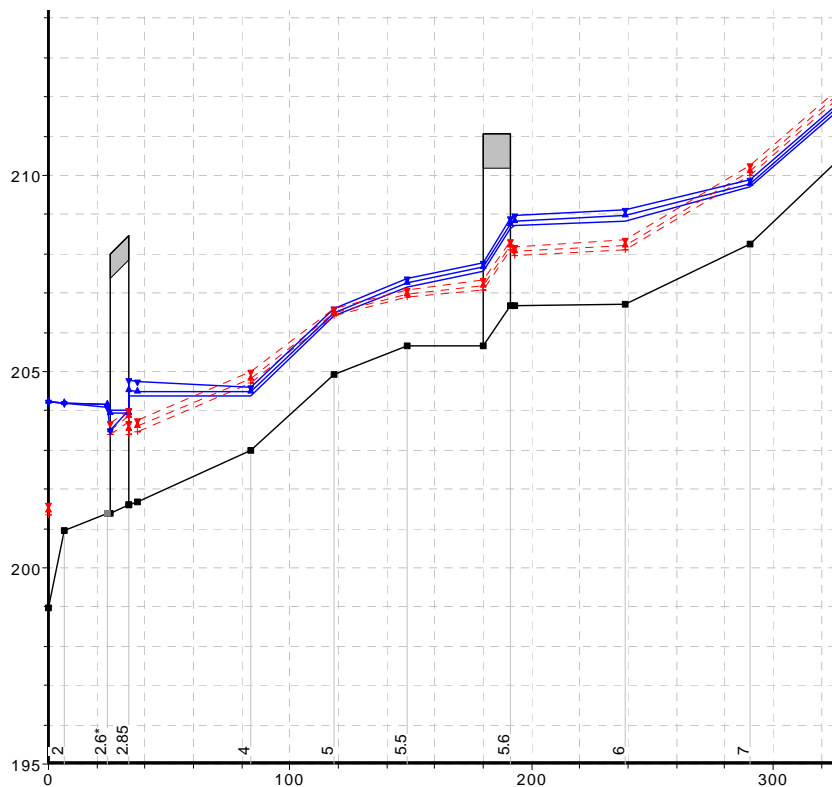
Som øverste grensebetingelse ble det brukt normalhelning mellom de øverste tverrsnittene. Dette vil si å anta at helningen på vannspeilet mellom disse i en normalstrømstusasjon er den samme som elvebunnen. Slik vil det aldri være men i en modell som vår hvor vi i øverste ende har oppmålt en lang elvestrekning med relativ liten helning, like friksjonsforhold, ingen påvirkning fra bruer eller andre konstruksjoner samt "kanallignende" form på elveløpet kan vi bruk en slik antagelse for å gi modellen en øvre grensebetingelse.



Figur 11. Beregnet vannstand for 200-års flom i Middøla, ved Middøla bru når nedre grensebetingelse for modellen tilsvarer 200-års flom i Måna, dvs 206 moh.



Figur 12. Beregnet vannstand for 200-års flom i Middøla, ved Middøla bru når nedre grensebetingelse for modellen tilsvarer 20-års flom i Måna, dvs 204,48 moh.



Figur 13. Beregnet vannstand for 200-års flom i Middøla, ved Middøla bru når nedre grensebetingelse for modellen tilsvarer 10-års flom i Måna, dvs 204,23 moh.

## 4.3 Kalibrering/valg av friksjonstall

Ved en hydraulisk modellering må man kalibrere modellen med observerte verdier for vannstand ved en tilhørende vannføring. Man kalibrerer så modellen ved å endre friksjonstallet slik at man oppnår observert vannstand og antar at det gir et riktig friksjonstall for modellen. I dette prosjektet gjorde vi kun en vannføringsmåling på lavvann, noe som viste seg å ikke være egnet seg for kalibrering. Optimale kalibreringsverdier vil være målinger på middels og høy vannstand/høy vannføring. Vi valgte derfor friksjonstall ut fra erfaring og basert på litteratur. Vi har i tillegg gjort en sensitivitetsanalyse hvor vi kjører modellen for lavere og høyere friksjonstall enn de vi har valgt ( $n \pm 25\%$ ). Resultatet fra denne analysen er diskutert under kapittel 5.2 Usikkerhet.

**Tabell 3. Viser hvilke Mannings-tall (n) som ble valgt på strekningen.**

Tverrprofil	Mannings n venstre elvebank	Mannings n i elveløpet	Mannings n høyre elvebank
13	0.1	0.05	0.1
12	0.1	0.05	0.1
11	0.1	0.05	0.1
10	0.1	0.05	0.1
9	0.1	0.05	0.1
8	0.1	0.045	0.1
7	0.1	0.045	0.1
6	0.1	0.045	0.1
5.9	0.1	0.045	0.1
5.6 Miland bru			
5.5	0.1	0.05	0.1
5	0.1	0.05	0.1
4	0.1	0.05	0.1
3	0.08	0.05	0.06
2.75	0.06	0.05	0.06
2.735 Middøla bru			
2.15	0.06	0.05	0.06
2	0.06	0.05	0.06
1	0.06	0.05	0.06

# 5 Resultater

## 5.1 Generelt for strekningen

Resultatene er presentert i figur 10 og tabell 3. Figur 10 inneholder beregnede vannstander, vannhastigheter og Froude-tall ved ulike flomstørrelse i de enkelte tverrprofiler for alle flomfrekvensene mens tabellen gir en oversikt over de samme variablene men bare for 200-års flom. De resterende resultatene er presentert i Vedlegg 1 og 2. Froude-tall som er presentert i tabellen er en indikasjon for kritisk ( $Fr=1$ ), underkritisk ( $Fr<1$ ) og overkritisk ( $Fr>1$ ) strømning. Det må presiseres at vannhastigheten i tabellen kan være mer eller mindre urealistiske. De viser en gjennomsnittsverdi for hele bredden i tverrprofilene der hydraulisk ruhet er antatt ut fra erfaring. Vannstands- og Froude-tallsverdier antas å være mer sikre.

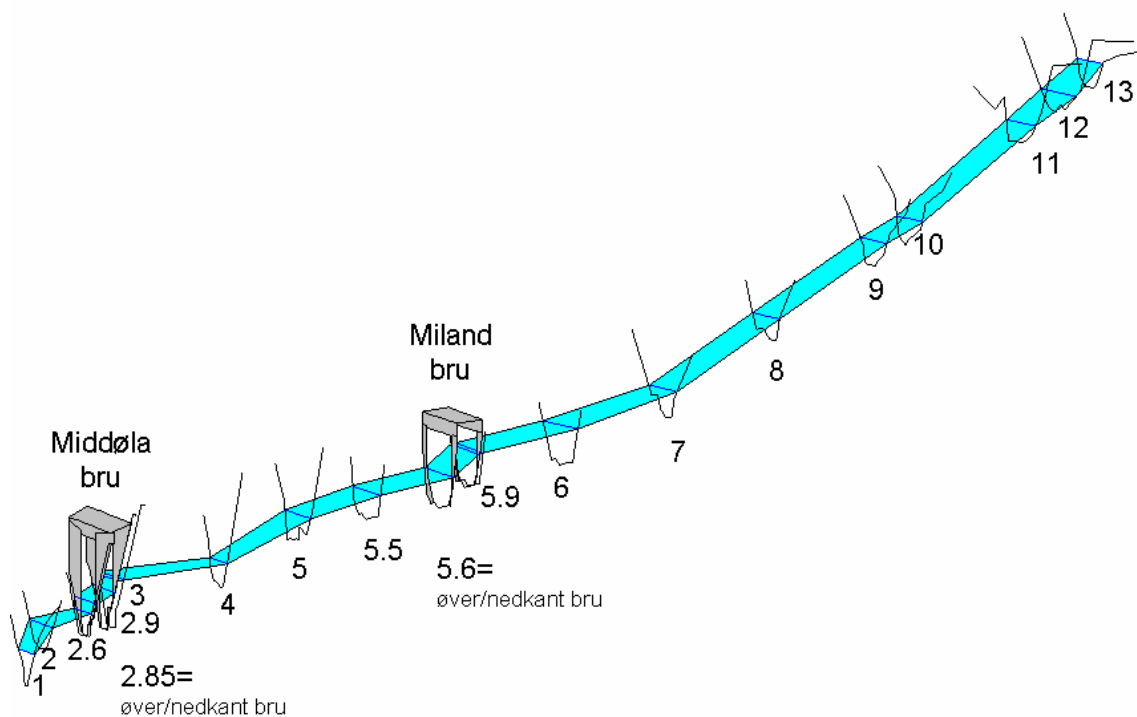
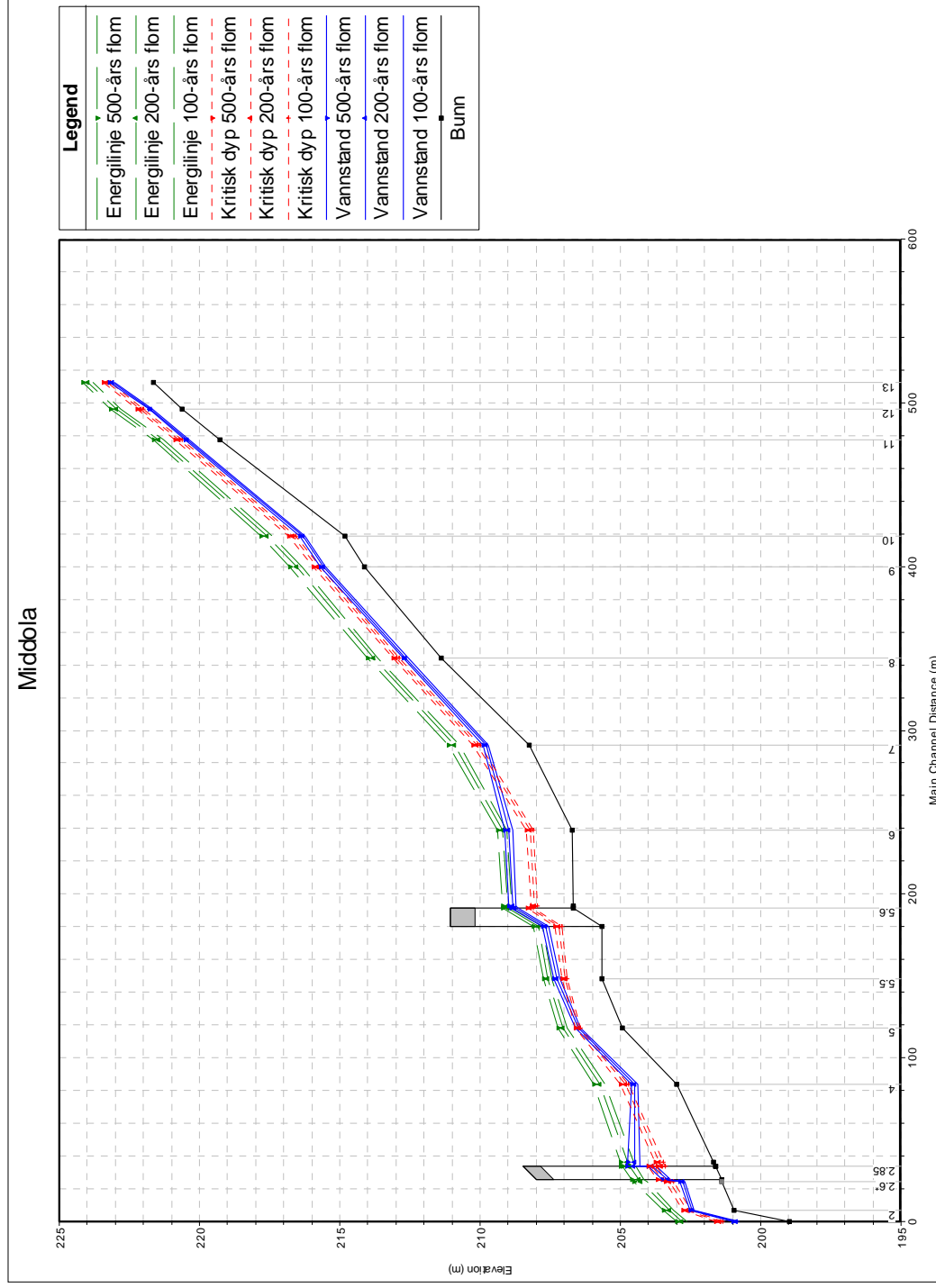


Fig. 14. Plott fra HEC-RAS 4.0 som viser beregnet vannstand for 200-års flom. Plottet viser alle profilene også i bredden. For detaljer rundt bruene, se fig 16-17.



**Fig 15. Plott fra HEC-RAS 4.0 som viser beregnede vannlinjer for 100,- 200,- og 500-års flom, kritisk dyp samt energilinja langs hele elvestrekningen.**



Tabell 4: Beregnet vannstand, kritisk dyp, vannhastighet og Froude-nr (>1 betyr overkritisk strømning) for 100-års flom. Tabellen viser også hvordan resultatene varierte med 25% større/mindre friksjons-/Manningstall (n), dette er nærmere diskutert i kapittel 5.2 Usikkerhet. 5.6/2.85 U betyr upstream 5.6/2.85, dvs overkant bro, 5.6/2.85 D, betyr downstream 5.6/2.85, dvs nedstrøms kant bru.

Tverrprofil	Vannstand [m]			Kritisk dyp			Hastighet [m/s]			Froude-nr			
	nr	n-25%	Valgte n	n + 25%	n-25%	Valgte n	n + 25%	n-25%	Valgte n	n + 25%	n-25%	Valgte n	n + 25%
100 års flom	13	222.83	223.02	223.18	223.19	223.19	223.19	4.8	3.93	3.39	1.63	1.24	1.01
100 års flom	12	221.59	221.68	221.73	222.02	222.02	222.02	5.36	4.69	4.32	2.23	1.85	1.63
100 års flom	11	220.19	220.35	220.53	220.63	220.63	220.63	5.33	4.28	3.49	2.06	1.52	1.15
100 års flom	10	216.12	216.25	216.33	216.58	216.58	216.58	5.58	4.77	4.36	2.04	1.61	1.41
100 års flom	9	215.3	215.5	215.7	215.7	215.7	215.7	5.09	4.1	3.45	1.74	1.26	0.98
100 års flom	8	212.46	212.57	212.65	212.89	212.89	212.89	5.26	4.56	4.17	1.98	1.62	1.43
100 års flom	7	209.55	209.71	209.89	210.01	210.01	210.01	5.45	4.48	3.73	2	1.49	1.14
100 års flom	6	208.67	208.85	209.03	208.12	208.12	208.12	2.18	1.96	1.78	0.54	0.46	0.4
100 års flom	5.9	208.59	208.72	208.86	207.97	207.97	207.97	1.91	1.77	1.63	0.48	0.43	0.38
100 års flom	5.6 OS	208.52	208.66	208.82	208.1	208.1	208.1	2.24	2.03	1.84	0.61	0.53	0.45
100 års flom	5.6 NS	207.41	207.55	207.71	207.09	207.09	207.09	2.42	2.19	1.96	0.68	0.59	0.5
100 års flom	5.5	206.89	207.15	207.32	206.89	206.89	206.89	3.05	2.4	2.1	1	0.7	0.57
100 års flom	5	206.41	206.41	206.41	206.41	206.41	206.41	3.16	3.14	3.14	1	0.99	0.99
100 års flom	4	204.23	204.39	204.62	204.71	204.71	204.71	5.67	4.73	3.84	2.01	1.54	1.12
100 års flom	3	204.3	204.31	204.31	203.48	203.48	203.48	2.14	2.14	2.13	0.47	0.47	0.47
100 års flom	2.9	204.31	204.31	204.31	203.4	203.4	203.4	2.01	2.01	2.01	0.43	0.43	0.43
100 års flom	2.85 OS	203.71	203.71	203.71	203.71	203.71	203.71	3.85	3.85	3.85	0.96	0.96	0.96
100 års flom	2.85 NS	203.09	203.21	203.38	203.38	203.38	203.38	4.78	4.35	3.86	1.33	1.16	0.97
100 års flom	2.6*	202.65	202.7	202.73	203.12	203.12	203.12	5.43	5.15	4.98	1.81	1.69	1.61
100 års flom	2	202.13	202.37	202.5	202.5	202.5	202.5	4.95	3.87	3.47	1.57	1.1	0.94
100 års flom	1	200.68	200.75	200.78	201.36	201.36	201.36	6.57	6.07	5.86	2.21	2.02	1.94

Tabell 5: Beregnet vannstand, kritisk dyp, vannhastighet og Froude-nr (>1 betyr overkritisk strømning) for 200-års flom. Tabellen viser også hvordan resultatene varierte med 25% større/mindre friksjons-/Manningstall (n), dette er nærmere diskutert i kapittel 5.2 Usikkerhet. 5.6/2.85 U betyr upstream 5.6/2.85, dvs overkant bro, 5.6/2.85 D, betyr downstream 5.6/2.85, dvs nedstrøms kant bru.

Frekvens	Tverrprofil nr	Vannstand [m]			Kritisk dyp			Hastighet [m/s]			Froude-nr		
		n-25%	Valgte n	n + 25%	n-25%	Valgte n	n + 25%	n-25%	Valgte n	n + 25%	n-25%	Valgte n	n + 25%
200 års flom	13	222.92	223.12	223.28	223.3	223.3	223.3	5	4.1	3.57	1.64	1.25	1.02
200 års flom	12	221.65	221.74	221.79	222.11	222.11	222.11	5.59	4.91	4.54	2.25	1.86	1.65
200 års flom	11	220.25	220.42	220.62	220.74	220.74	220.74	5.56	4.49	3.66	2.08	1.54	1.16
200 års flom	10	216.19	216.33	216.42	216.7	216.7	216.7	5.86	4.99	4.55	2.05	1.61	1.41
200 års flom	9	215.36	215.58	215.82	215.81	215.81	215.81	5.38	4.35	3.6	1.77	1.29	0.97
200 års flom	8	212.53	212.65	212.72	212.99	212.99	212.99	5.52	4.75	4.42	2.01	1.63	1.47
200 års flom	7	209.62	209.79	209.99	210.12	210.12	210.12	5.72	4.72	3.9	2.01	1.51	1.14
200 års flom	6	208.78	208.97	209.16	208.22	208.22	208.22	2.33	2.1	1.9	0.56	0.48	0.41
200 års flom	5.9	208.7	208.83	208.99	208.06	208.06	208.06	2.05	1.9	1.74	0.5	0.44	0.39
200 års flom	5.6 U	208.62	208.77	208.95	208.21	208.21	208.21	2.39	2.16	1.96	0.63	0.54	0.46
200 års flom	5.6 D	207.51	207.65	207.83	207.19	207.19	207.19	2.57	2.33	2.09	0.7	0.6	0.51
200 års flom	5.5	206.98	207.25	207.43	206.98	206.98	206.98	3.18	2.53	2.22	0.99	0.71	0.58
200 års flom	5	206.49	206.51	206.51	206.51	206.51	206.51	3.34	3.28	3.28	1.02	0.99	0.99
200 års flom	4	204.33	204.49	204.72	204.83	204.83	204.83	5.78	4.92	4.02	1.94	1.52	1.13
200 års flom	3	204.5	204.51	204.51	203.61	203.61	203.61	2.22	2.21	2.2	0.47	0.46	0.46
200 års flom	2.9	204.52	204.52	204.52	203.53	203.53	203.53	2.08	2.08	2.08	0.43	0.43	0.43
200 års flom	2.85 U	203.85	203.85	203.85	203.85	203.85	203.85	4.03	4.03	4.03	0.96	0.96	0.96
200 års flom	2.85 D	203.21	203.34	203.51	203.51	203.51	203.51	4.96	4.53	4.05	1.32	1.15	0.98
200 års flom	2.6*	202.74	202.79	202.82	203.25	203.25	203.25	5.64	5.37	5.21	1.82	1.69	1.62
200 års flom	2	202.2	202.44	202.61	202.61	202.61	202.61	5.25	4.15	3.61	1.61	1.15	0.94
200 års flom	1	200.78	200.86	200.9	201.47	201.47	201.47	6.73	6.15	5.95	2.23	2.01	1.93

## 5.2 Spesielt for Middøla bru

Se Fig 11. Elveløpet blir noe innsnevret under bruen. Her kommenteres resultatet fra bergningene for 200-års flom. Lokale inngrep i elveleiet som kraftig innsnevring eller utvidelse og redusert fall kan medføre at det kan oppstå et vannstandssprang og vi får et område med mindre vannhastigheter og roligere strøm (underkritisk strømning). Dette betyr en betydelig vannstandsøkning og at vannstanden kan gå opp mot energilinjens, som vist på Fig. 11. Høydeforskjellen mellom beregnet vannstand og energilinjens representerer hastighetsenergien i vannstrømmen.

Bruen er beregnet i to profiler, ett som er overkant bru og ett som er nedkant. Fra et stykke oppstrøms bruen og ned til nederste bruprofil blir vannet stuet opp, sansynligvis pga innsnevring under bruen. Elven kommer fra et langt parti først overkritisk, så kritisk strømning med relativt høy vannhastighet før hastigheten bremser opp i et vannstandssprang rett oppstrøms bruen. Gjennom bruen er strømmen underkritisk mens den i nederste bruprofil blir overkritisk. Siden vi bare har ett øvre og ett nedre profil her er det usikkert hvor strømmingen endres fra under-til overkritisk. I praksis betyr dette at vannstanden går ned mens vannhastigheten øker. Videre nedstrøms bruen går vannstanden så opp igjen i et parti med blandet underkritisk og kritisk strømning som viser at strømningsforholdet her er mer kritisk. Vannhastigheten er her lavere enn i det kritiske partiet litt oppstrøms. Dette kan gjøre at vannet graver seg ned i elvebunnen i partiet med lav vannstand nedstrøms bruen.

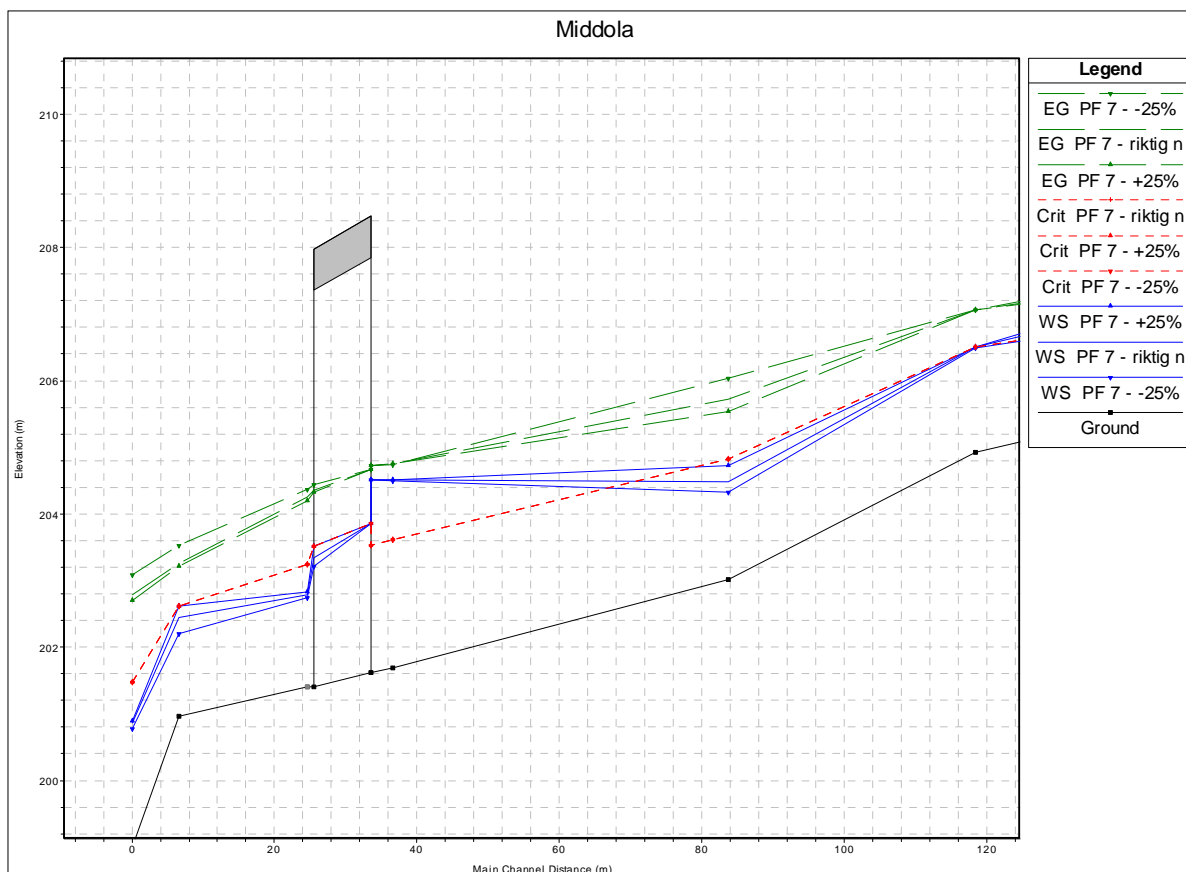


Fig. 16. Plott fra HEC-RAS 4.0 av resultat fra beregning av vannstand 200-års flom ved Middøla bru. Plottet viser også beregnet vannstand for Manningstall (friksjonstall) variert med  $\pm 25\%$ . Tabellen viser også hvordan resultatene varierte med 25% større/mindre friksjons-/Manningstall (n), dette er nærmere diskutert i kapittel 5.2 Usikkerhet.

## 5.3 Spesielt for Miland bru

Beregningene for 200-års flom viser ingen spesielt store hastigheter gjennom Miland bru. Det er også underkritisk strømming på strekningen.

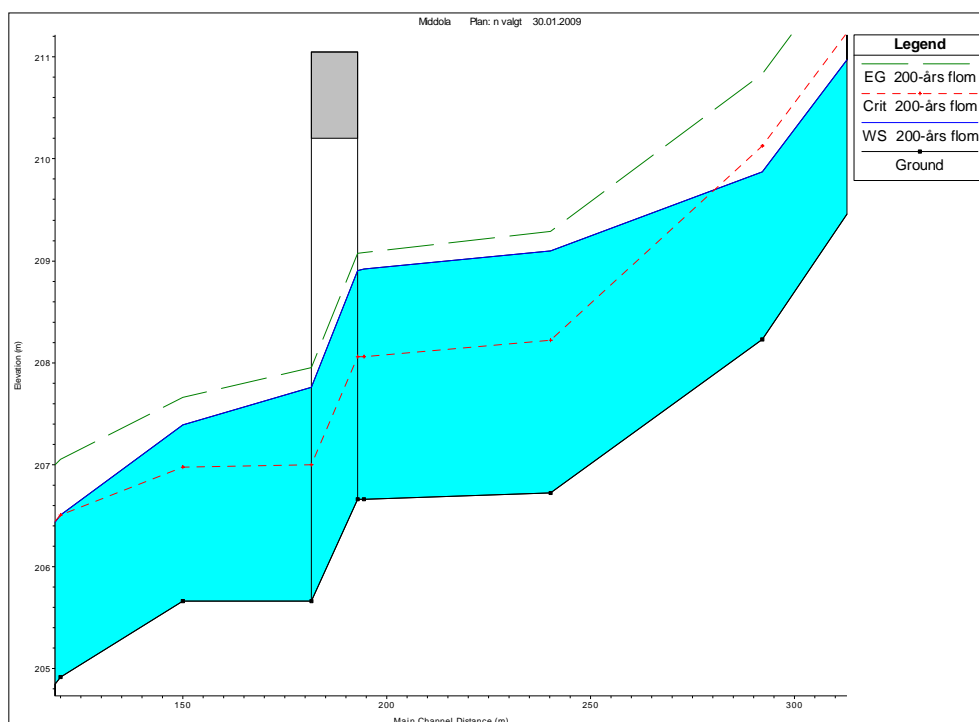


Fig. 17. Plott fra HEC-RAS 4.0 av resultat fra beregning av vannstand 200-års flom ved Miland bru.

# 6 Begrensninger og usikkerhet

## 6.1 Begrensninger

Massetransport under flomsituasjoner samt påvirkning av is er ikke tatt med i beregningene. I Middøla må man regne med at elva er masseførende på store vannføringer og at elva vil avlagre massene ved utløpet i Måna.

## 6.2 Usikkerhet

Kvaliteten på vannlinjeberegningene er avhengig av godt kalibrert vannlinjeberegningsmodell. Det vil si at det samles inn samhoørende verdier av vannføring og vannstand som modellen kan kalibreres etter. Også i denne sammenhengen er det vanskelig å samle inn data for store nok vannføringer. Data for eldre historiske flommer har en redusert verdi på grunn av endringer i elveløpet og elveslettene som for eksempel brubygging, veibygging, flomverk og lignende. I dette tilfellet er modellen ikke kalibrert ut fra observerte vannstander da det ikke er registrert vannstander i forbindelse med flomvannføringer.

Nøyaktighet i tverrprofiler, avstand mellom tverrprofiler, usikkerhet i estimat av ruhet og helning på elva (brattere elver krever kortere profilavstand) er blant de viktigste faktorene. Erosjon og masseavlagring representerer generelt et betydelig usikkerhetsmoment i beregningene. Spesielt ved store flommer kan det skje store endringer i profilene.

Det er foretatt beregninger for å se hvordan ruheten i elva og elveslettene innvirker på de beregnede vannstander. Manningstall  $n$  er variert med  $\pm 25\%$  med utgangspunkt i de valgte verdiene. Resultatet viste at det ikke var store forskjeller i vannstand men noe forskjell i vannhastighet i ett profil rett oppstrøms og ett nedstrøms Middøla bru.

For usikkerhet i flomberegningene, se eget kapittel i NVE Oppdragsrapport A nr. 2 2009.01.30

For usikkerhet i oppmålingene se eget kapittel i vedlegg 3, rapport fra landmåler.

Modellen vi har utviklet er en tilnærming til en naturlig elv, vi kan aldri garantere at en naturlig elv lar seg modellere 100% riktig.

## 6.3 Diskusjon og anbefalinger

Denne elva er svært bratt og har stor masseføring under flom. En hydraulisk modellering av en slik elv er svært usikker. Hydraulisk modellering er bedre egnet på slakere elver hvor strømningsbildet ikke er så variert. Beregningene bekreftet egentlig det vi så ved befarings, at det er mye erosjon rundt Middøla bru og stor avlagring av masse ved samløpet med Måna. Pga disse forholdene vil tverrprofilene i elva hele tiden endres og etter hvert ikke samsvare med modellen.

Vi anbefaler å bruke høyden på energilinja i stedet for beregnet vannstand som sikkerhetsmargin. Dette er maksimal mulig vannstand i følge energiberegningene. Energilinja ligger i dette tilfellet opptil 2 m over beregnet vannstand, noe som gir en høyere sikkerhetsmargin enn den anbefalte i utkastet til Erosjonssikring av bruer-Prosedyre for gjennomføring fra SVV.

## 7 Referanser

DHI, MIKE 11 User Manual, 2008

DHI, MIKE 11, 2008

Hans Olav Hagen/klima og transport dp 3, Erosjonssikring av bruer-Prosedyre for gjennomføring, versjon 13. juni 2009.

Hans Olav Hagen, notat om Middøla bru, SVV, 2008

NVEs Retningslinjer nr 21/2007 Fareklasser og valg av dimensjonerende flom for flomsikringsanlegg.

US Army Corps of Engineers , HEC-RAS 4.0 Hydraulic Reference Manual, 2008

US Army Corps of Engineers , HEC-RAS 4.0 User's Manual, 2008

Ven Te Chow, Open Channel Hydraulics, 1959

## 8 Vedlegg

**8.1 Resultat fra HEC-RAS 4.0. Tabell med alle beregnede faktorer for alle flomfrekvenser**

**8.2 Resultat fra HEC-RAS 4.0. Tverrprofilene med angitt beregnet vannstand for alle flomfrekvenser**

**8.3 Rapport fra landmåler**

**Flomberegning for Middøla. Oppdragsrapport nr 2-2009 av Erik Homqvist.**

Vedlegg nr 1. Resultat fra HEC-RAS 4.0. Tabell med alle beregnede faktorer for alle flomfrekvenser

Tverrprofil nr	Flomstørrelse (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjens (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vannhastighet (m/s)	Strømningsareal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
13	Middelflom	18	222.47	222.53	222.89	0.040038	2.87	6.28	10.07	1.16
13	5-års flom	24	222.6	222.69	223.1	0.040052	3.15	7.63	10.58	1.18
13	10-års flom	29	222.7	222.8	223.26	0.040057	3.34	8.68	10.97	1.2
13	20-års flom	34	222.78	222.91	223.41	0.040063	3.51	9.68	11.33	1.21
13	50-års flom	44	222.95	223.1	223.68	0.040005	3.8	11.58	11.97	1.23
13	100-års flom	49	223.02	223.19	223.81	0.040026	3.93	12.48	12.27	1.24
13	200-års flom	56	223.12	223.3	223.97	0.040017	4.1	13.66	12.64	1.25
13	500-års flom	65	223.22	223.43	224.18	0.040015	4.33	15.04	13.07	1.27
12	Middelflom	18	221.33	221.51	221.9	0.094726	3.36	5.36	13.13	1.68
12	5-års flom	24	221.41	221.63	222.11	0.096285	3.7	6.49	13.91	1.73
12	10-års flom	29	221.48	221.72	222.27	0.097349	3.94	7.36	14.48	1.76
12	20-års flom	34	221.53	221.8	222.41	0.098251	4.15	8.2	15	1.79
12	50-års flom	44	221.63	221.95	222.67	0.099641	4.51	9.76	15.94	1.84
12	100-års flom	49	221.68	222.02	222.8	0.098544	4.69	10.46	16.35	1.85
12	200-års flom	56	221.74	222.11	222.96	0.096629	4.91	11.44	16.89	1.86
12	500-års flom	65	221.81	222.23	223.17	0.094704	5.18	12.66	17.55	1.87
11	Middelflom	18	219.93	220.06	220.41	0.066807	3.07	5.86	12.45	1.43
11	5-års flom	24	220.03	220.2	220.61	0.066059	3.39	7.08	12.84	1.46
11	10-års flom	29	220.1	220.29	220.77	0.065373	3.61	8.04	13.14	1.47
11	20-års flom	34	220.17	220.38	220.91	0.064748	3.8	8.96	13.42	1.48
11	50-års flom	44	220.3	220.55	221.16	0.06356	4.12	10.69	13.94	1.5
11	100-års flom	49	220.35	220.63	221.28	0.064016	4.28	11.46	14.16	1.52
11	200-års flom	56	220.42	220.74	221.45	0.064916	4.49	12.47	14.45	1.54
11	500-års flom	65	220.51	220.86	221.65	0.065969	4.74	13.72	14.79	1.57

Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vannhastighet (m/s)	Strømningsareal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
10	Middelflom	18	215.81	215.99	216.39	0.069098	3.39	5.37	10.46	1.49
10	5-års flom	24	215.93	216.11	216.61	0.069453	3.67	6.64	11.54	1.53
10	10-års flom	29	216	216.22	216.78	0.069475	3.91	7.53	11.95	1.55
10	20-års flom	34	216.07	216.32	216.94	0.069116	4.16	8.32	12.1	1.57
10	50-års flom	44	216.19	216.5	217.26	0.068206	4.59	9.81	12.37	1.61
10	100-års flom	49	216.25	216.58	217.4	0.066994	4.77	10.56	12.5	1.61
10	200-års flom	56	216.33	216.7	217.59	0.065239	4.99	11.58	12.68	1.61
10	500-års flom	65	216.43	216.84	217.82	0.063255	5.24	12.87	12.9	1.61
9	Middelflom	18	215	215.05	215.4	0.038618	2.8	6.44	10.32	1.13
9	5-års flom	24	215.13	215.2	215.61	0.03835	3.07	7.81	10.75	1.15
9	10-års flom	29	215.22	215.31	215.77	0.038121	3.27	8.86	11.07	1.16
9	20-års flom	34	215.3	215.41	215.93	0.03863	3.5	9.74	11.46	1.19
9	50-års flom	44	215.44	215.61	216.22	0.039682	3.91	11.38	12.25	1.23
9	100-års flom	49	215.5	215.7	216.36	0.040368	4.1	12.15	12.6	1.26
9	200-års flom	56	215.58	215.81	216.54	0.041299	4.35	13.19	13.07	1.29
9	500-års flom	65	215.68	215.97	216.77	0.042383	4.65	14.48	13.62	1.32
8	Middelflom	18	212.16	212.31	212.7	0.061826	3.25	5.53	11.87	1.52
8	5-års flom	24	212.25	212.45	212.92	0.061963	3.61	6.65	12.19	1.56
8	10-års flom	29	212.32	212.55	213.08	0.062073	3.86	7.51	12.43	1.59
8	20-års flom	34	212.39	212.64	213.23	0.061303	4.07	8.36	12.66	1.6
8	50-års flom	44	212.51	212.82	213.51	0.060019	4.41	9.97	13.09	1.61
8	100-års flom	49	212.57	212.89	213.63	0.059415	4.56	10.74	13.29	1.62
8	200-års flom	56	212.65	212.99	213.8	0.05876	4.75	11.78	13.56	1.63
8	500-års flom	65	212.74	213.12	214.01	0.058228	4.98	13.05	13.88	1.64
7	Middelflom	18	209.13	209.3	209.78	0.048196	3.57	5.04	7.56	1.4
7	5-års flom	24	209.28	209.54	210.04	0.046767	3.87	6.21	8.01	1.4
7	10-års flom	29	209.39	209.65	210.23	0.045922	4.07	7.12	8.35	1.41



Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjens Energiinjien (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vannhastighet (m/s)	Strømningsareal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
7	20-års flom	34	209.54	209.74	210.29	0.048621	3.85	8.83	12.25	1.43
7	50-års flom	44	209.66	209.93	210.59	0.049128	4.29	10.36	12.99	1.47
7	100-års flom	49	209.71	210.01	210.73	0.04925	4.48	11.1	13.33	1.49
7	200-års flom	56	209.79	210.12	210.92	0.049317	4.72	12.12	13.79	1.51
7	500-års flom	65	209.88	210.26	211.15	0.049171	5	13.42	14.35	1.53
6	Middelflom	18	208.13	207.55	208.2	0.002528	1.19	15.38	14.71	0.36
6	5-års flom	24	208.3	207.68	208.4	0.002781	1.37	17.99	15.29	0.38
6	10-års flom	29	208.43	207.78	208.55	0.002953	1.51	20	15.72	0.4
6	20-års flom	34	208.55	207.87	208.68	0.003116	1.63	21.85	16.11	0.42
6	50-års flom	44	208.76	208.04	208.93	0.003422	1.86	25.23	16.8	0.45
6	100-års flom	49	208.85	208.12	209.04	0.003565	1.96	26.79	17.11	0.46
6	200-års flom	56	208.97	208.22	209.19	0.003742	2.1	28.91	17.52	0.48
6	500-års flom	65	209.12	208.35	209.37	0.003945	2.26	31.5	18	0.49
5.9	Middelflom	18	208.03	207.45	208.09	0.002326	1.08	16.65	16.08	0.34
5.9	5-års flom	24	208.19	207.57	208.27	0.002535	1.25	19.36	16.53	0.36
5.9	10-års flom	29	208.32	207.66	208.41	0.002672	1.36	21.44	16.86	0.38
5.9	20-års flom	34	208.43	207.74	208.54	0.002808	1.48	23.35	17.16	0.39
5.9	50-års flom	44	208.63	207.9	208.77	0.003073	1.68	26.77	17.69	0.42
5.9	100-års flom	49	208.72	207.97	208.88	0.003198	1.77	28.35	17.93	0.43
5.9	200-års flom	56	208.83	208.06	209.02	0.003352	1.9	30.47	18.24	0.44
5.9	500-års flom	65	208.97	208.17	209.19	0.003524	2.04	33.08	18.62	0.46
5.6	BR U Middelflom	18	208	207.53	208.09	0.003861	1.3	13.88	14.61	0.42
5.6	BR U 5-års flom	24	208.16	207.67	208.27	0.004272	1.48	16.25	15.05	0.45
5.6	BR U 10-års flom	29	208.28	207.76	208.41	0.004546	1.6	18.08	15.38	0.47
5.6	BR U 20-års flom	34	208.39	207.86	208.54	0.004827	1.72	19.77	16.12	0.49
5.6	BR U 50-års flom	44	208.58	208.02	208.77	0.005051	1.93	22.84	16.17	0.51
5.6	BR U 100-års flom	49	208.66	208.1	208.87	0.005179	2.03	24.2	16.18	0.53

Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjens Energiinjien (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vannhastighet (m/s)	Strømningsareal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
5.6	BR U 200-års flom	56	208.77	208.21	209.01	0.005339	2.16	26.02	16.2	0.54
5.6	BR U 500-års flom	65	208.91	208.33	209.18	0.005529	2.32	28.2	16.77	0.56
5.6	BR D Middelflom	18	206.92	206.52	207.02	0.005975	1.4	12.86	14.39	0.47
5.6	BR D 5-års flom	24	207.07	206.65	207.2	0.006601	1.59	15.06	14.8	0.5
5.6	BR D 10-års flom	29	207.18	206.76	207.34	0.007013	1.73	16.75	15.11	0.53
5.6	BR D 20-års flom	34	207.29	206.85	207.46	0.007423	1.86	18.29	15.39	0.54
5.6	BR D 50-års flom	44	207.47	207.02	207.69	0.008046	2.08	21.15	16.16	0.58
5.6	BR D 100-års flom	49	207.55	207.09	207.79	0.008263	2.19	22.45	16.17	0.59
5.6	BR D 200-års flom	56	207.65	207.19	207.93	0.008547	2.33	24.16	16.18	0.6
5.6	BR D 500-års flom	65	207.78	207.32	208.1	0.008889	2.49	26.23	16.2	0.62
5.5	Middelflom	18	206.59	206.41	206.72	0.011795	1.64	10.99	16.41	0.64
5.5	5-års flom	24	206.72	206.52	206.89	0.011798	1.82	13.19	16.7	0.65
5.5	10-års flom	29	206.82	206.6	207.01	0.011896	1.95	14.84	16.92	0.67
5.5	20-års flom	34	206.91	206.68	207.13	0.011746	2.07	16.42	17.12	0.67
5.5	50-års flom	44	207.07	206.83	207.34	0.011803	2.3	19.18	17.45	0.69
5.5	100-års flom	49	207.15	206.89	207.44	0.011764	2.4	20.52	17.61	0.7
5.5	200-års flom	56	207.25	206.98	207.57	0.01171	2.53	22.32	17.83	0.71
5.5	500-års flom	65	207.38	207.09	207.74	0.011549	2.67	24.61	18.09	0.71
5	Middelflom	18	205.9	205.9	206.17	0.03192	2.3	7.83	14.4	1
5	5-års flom	24	206.01	206.01	206.34	0.030275	2.52	9.54	14.79	1
5	10-års flom	29	206.11	206.11	206.47	0.028935	2.66	10.91	15.09	0.99
5	20-års flom	34	206.18	206.18	206.59	0.0286	2.81	12.12	15.35	1
5	50-års flom	44	206.34	206.34	206.81	0.026525	3.03	14.59	15.87	0.99
5	100-års flom	49	206.41	206.41	206.92	0.025836	3.14	15.73	16.11	0.99
5	200-års flom	56	206.51	206.51	207.06	0.024967	3.28	17.29	16.42	0.99
5	500-års flom	65	206.62	206.62	207.23	0.02436	3.45	19.15	16.79	0.99

Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjens Energiinjien (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vann-hastighet (m/s)	Strømnings-areal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
4	Middelflom	18	203.88	204.06	204.52	0.073597	3.56	5.06	9.23	1.53
4	5-års flom	24	204	204.22	204.75	0.071283	3.86	6.23	9.8	1.54
4	10-års flom	29	204.09	204.33	204.93	0.070194	4.07	7.13	10.22	1.55
4	20-års flom	34	204.18	204.43	205.08	0.067274	4.22	8.05	10.56	1.54
4	50-års flom	44	204.32	204.63	205.39	0.064094	4.58	9.62	10.89	1.54
4	100-års flom	49	204.39	204.71	205.53	0.061868	4.73	10.38	11.05	1.54
4	200-års flom	56	204.49	204.83	205.72	0.05899	4.92	11.45	11.26	1.52
4	500-års flom	65	204.61	204.99	205.94	0.054897	5.11	12.86	11.54	1.5
3	Middelflom	18	203.19	202.68	203.33	0.007277	1.68	10.71	9.92	0.52
3	5-års flom	24	203.48	202.86	203.63	0.006209	1.76	13.72	11.09	0.49
3	10-års flom	29	203.67	203.02	203.84	0.00593	1.85	15.91	11.88	0.49
3	20-års flom	34	203.84	203.16	204.03	0.005562	1.93	18.06	12.65	0.48
3	50-års flom	44	204.16	203.38	204.37	0.00507	2.07	22.29	14.06	0.47
3	100-års flom	49	204.31	203.48	204.53	0.004881	2.14	24.41	14.71	0.47
3	200-års flom	56	204.51	203.61	204.75	0.004623	2.21	27.44	15.6	0.46
3	500-års flom	65	204.75	203.77	205.01	0.004316	2.29	31.45	16.7	0.46
2.9	Middelflom	18	203.18	202.61	203.31	0.005725	1.56	11.59	10.53	0.46
2.9	5-års flom	24	203.47	202.81	203.61	0.004958	1.64	14.82	11.77	0.45
2.9	10-års flom	29	203.67	202.96	203.82	0.00464	1.73	17.17	12.64	0.44
2.9	20-års flom	34	203.84	203.08	204.01	0.004414	1.81	19.48	13.44	0.44
2.9	50-års flom	44	204.16	203.3	204.35	0.004086	1.95	24.02	14.89	0.43
2.9	100-års flom	49	204.31	203.4	204.51	0.003951	2.01	26.29	15.57	0.43
2.9	200-års flom	56	204.52	203.53	204.73	0.003758	2.08	29.53	16.48	0.43
2.9	500-års flom	65	204.77	203.69	204.99	0.00352	2.15	33.81	17.62	0.42
2.85	BR U Middelflom	18	202.77	202.77	203.27	0.036855	3.12	5.77	5.8	1
2.85	BR U 5-års flom	24	203.11	203.11	203.58	0.032134	3.03	7.95	7.88	0.95
2.85	BR U 10-års flom	29	203.22	203.22	203.78	0.034417	3.32	8.79	8.14	0.99

Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjens Energiinjien (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vannhastighet (m/s)	Strømningsareal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
2.85	BR U 20-års flom	34	203.35	203.35	203.96	0.033127	3.47	9.91	8.46	0.98
2.85	BR U 50-års flom	44	203.6	203.6	204.3	0.031012	3.72	12.1	8.97	0.96
2.85	BR U 100-års flom	49	203.71	203.71	204.46	0.030641	3.85	13.09	8.97	0.96
2.85	BR U 200-års flom	56	203.85	203.85	204.66	0.030674	4.03	14.34	8.97	0.96
2.85	BR U 500-års flom	65	204.02	204.02	204.92	0.030651	4.24	15.88	8.97	0.97
2.85	BR D Middelflom	18	202.59	202.59	203	0.03562	2.84	6.34	7.9	1
2.85	BR D 5-års flom	24	202.69	202.78	203.27	0.044031	3.38	7.13	8.15	1.12
2.85	BR D 10-års flom	29	202.82	202.92	203.47	0.042207	3.58	8.2	8.47	1.11
2.85	BR D 20-års flom	34	202.92	203.05	203.66	0.042589	3.81	9.1	8.73	1.13
2.85	BR D 50-års flom	44	203.12	203.27	204	0.043237	4.19	10.8	8.97	1.15
2.85	BR D 100-års flom	49	203.21	203.38	204.15	0.043248	4.35	11.62	8.97	1.16
2.85	BR D 200-års flom	56	203.34	203.51	204.36	0.042521	4.53	12.79	8.97	1.15
2.85	BR D 500-års flom	65	203.5	203.68	204.62	0.041974	4.75	14.21	8.97	1.15
2.6*	Middelflom	18	202.17	202.41	202.92	0.074851	3.83	4.7	7.6	1.55
2.6*	5-års flom	24	202.31	202.58	203.19	0.077243	4.15	5.78	8.48	1.6
2.6*	10-års flom	29	202.4	202.7	203.38	0.077954	4.37	6.63	9.04	1.63
2.6*	20-års flom	34	202.49	202.81	203.56	0.079517	4.6	7.4	9.52	1.66
2.6*	50-års flom	44	202.63	203.03	203.9	0.077471	4.98	8.85	10.22	1.68
2.6*	100-års flom	49	202.7	203.12	204.05	0.076779	5.15	9.55	10.53	1.69
2.6*	200-års flom	56	202.79	203.25	204.26	0.075155	5.37	10.51	10.96	1.69
2.6*	500-års flom	65	202.9	203.41	204.51	0.072906	5.65	11.69	11.46	1.69
2	Middelflom	18	201.85	201.85	202.18	0.025993	2.6	7.24	11.53	0.97
2	5-års flom	24	202	202	202.39	0.024023	2.83	9.03	12.35	0.96
2	10-års flom	29	202.09	202.11	202.55	0.024137	3.04	10.26	12.88	0.98
2	20-års flom	34	202.2	202.22	202.69	0.023133	3.18	11.63	13.45	0.98
2	50-års flom	44	202.32	202.41	202.96	0.026547	3.66	13.28	14.1	1.07
2	100-års flom	49	202.37	202.5	203.09	0.027941	3.87	14.07	14.4	1.1

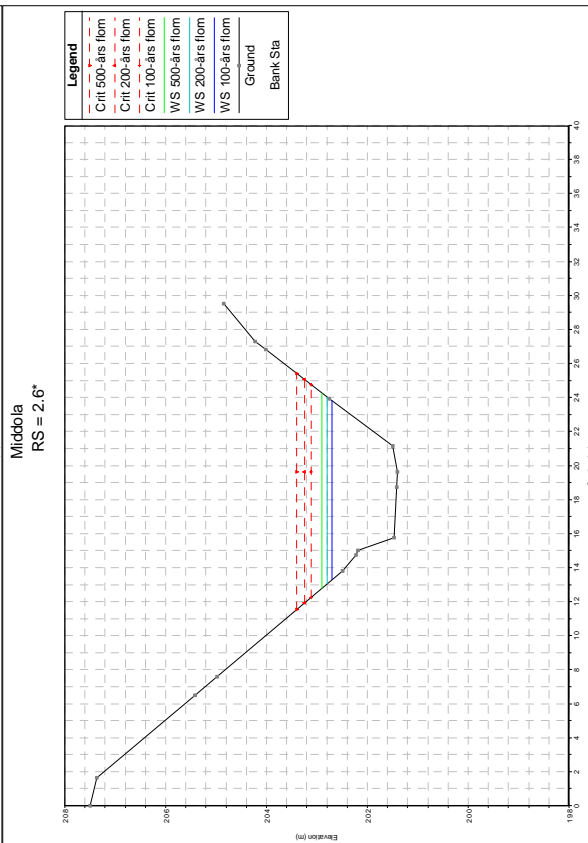
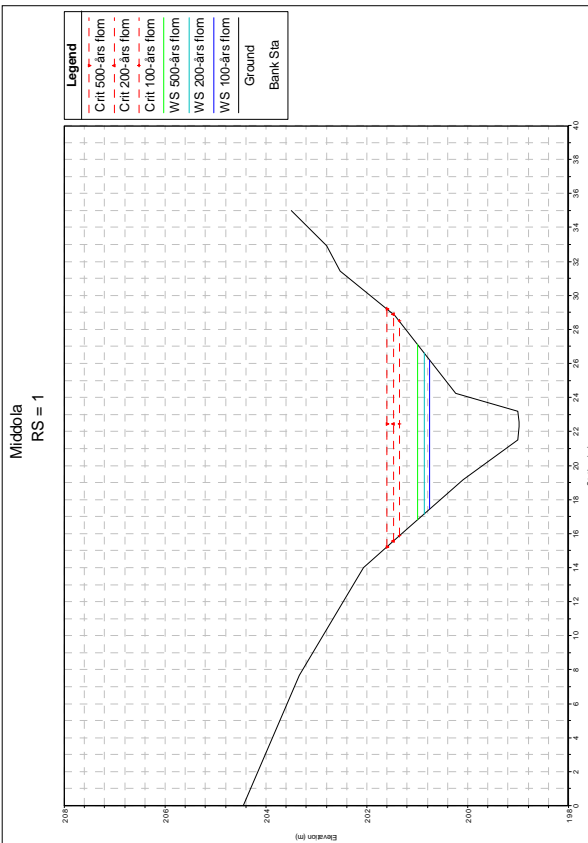
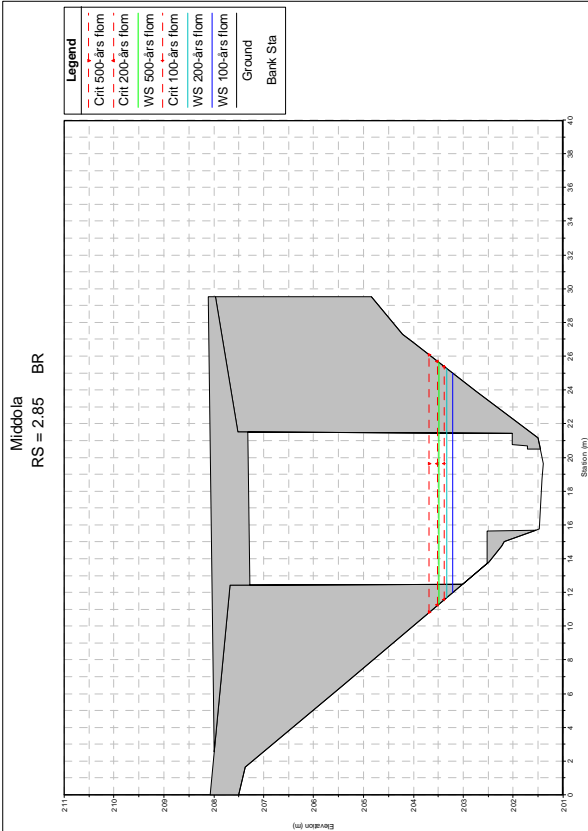
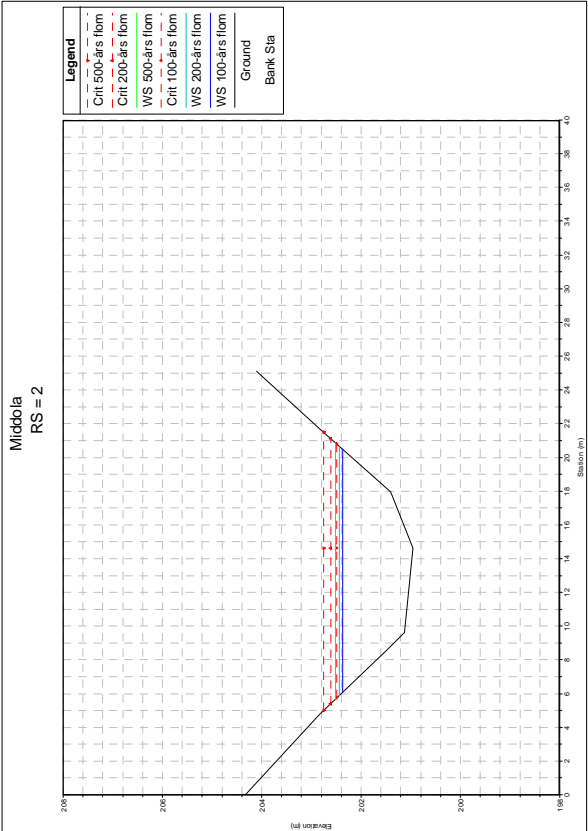
Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjens Energiinjien (m)	Energilinjens helning (m/m)	Vannhastighet (m/s)	Strømningsareal (m <sup>2</sup> )	Vannflatens bredde (m)	Froude-nr
2	200-års flom	56	202.44	202.61	203.26	0.02994	4.15	15.09	14.78	1.15
2	500-års flom	65	202.52	202.76	203.48	0.032666	4.5	16.27	15.21	1.21
1	Middelflom	18	201.5	200.52	201.56	0.002471	1.1	16.42	13.48	0.31
1	5-års flom	24	201.5	200.74	201.61	0.004393	1.47	16.42	13.48	0.41
1	10-års flom	29	200.33	200.89	202.09	0.135967	5.89	4.92	6.03	2.08
1	20-års flom	34	200.45	201.03	202.25	0.13224	5.95	5.72	6.82	2.07
1	50-års flom	44	200.66	201.26	202.51	0.122323	6.02	7.31	8.19	2.03
1	100-års flom	49	200.75	201.36	202.63	0.118742	6.07	8.07	8.76	2.02
1	200-års flom	56	200.86	201.47	202.79	0.114963	6.15	9.1	9.49	2.01
1	500-års flom	65	200.99	201.61	203	0.111664	6.27	10.36	10.3	2



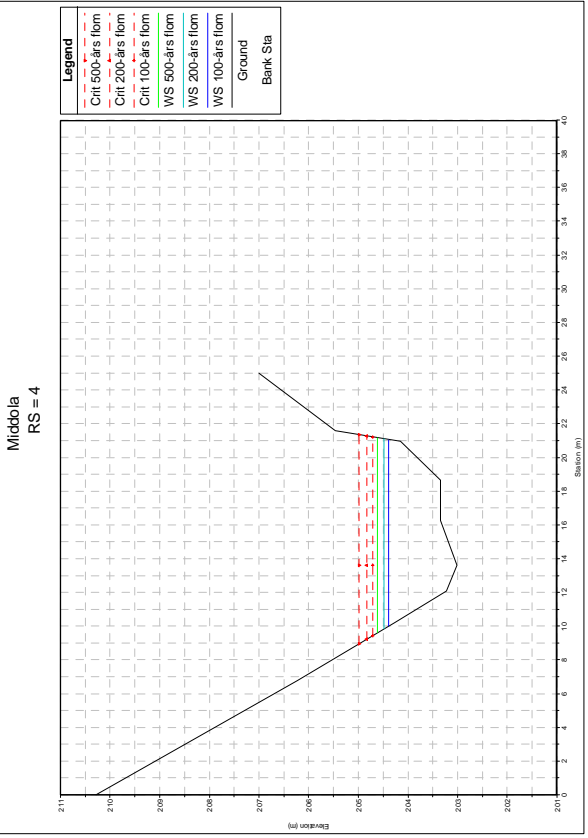
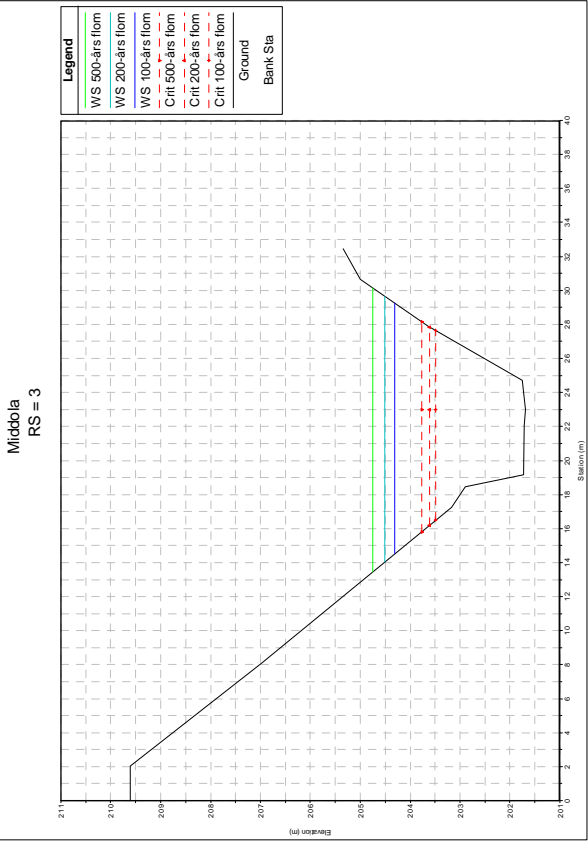
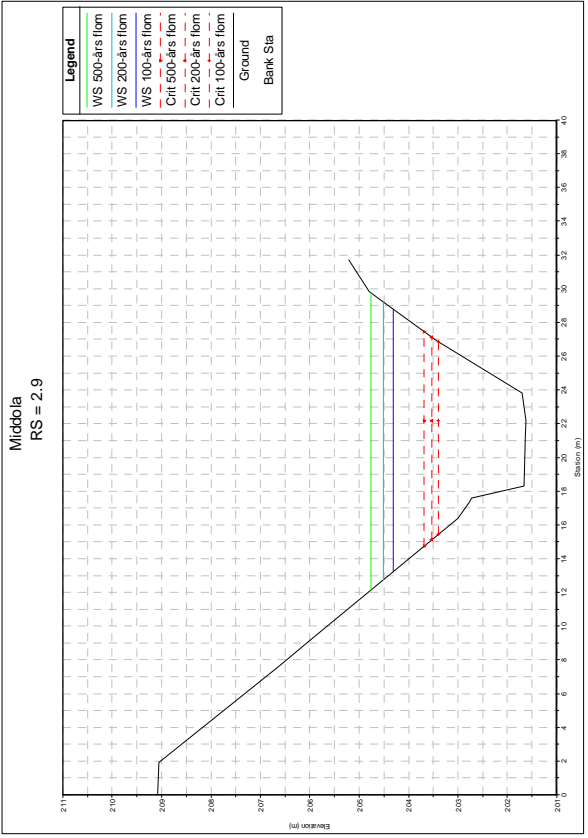
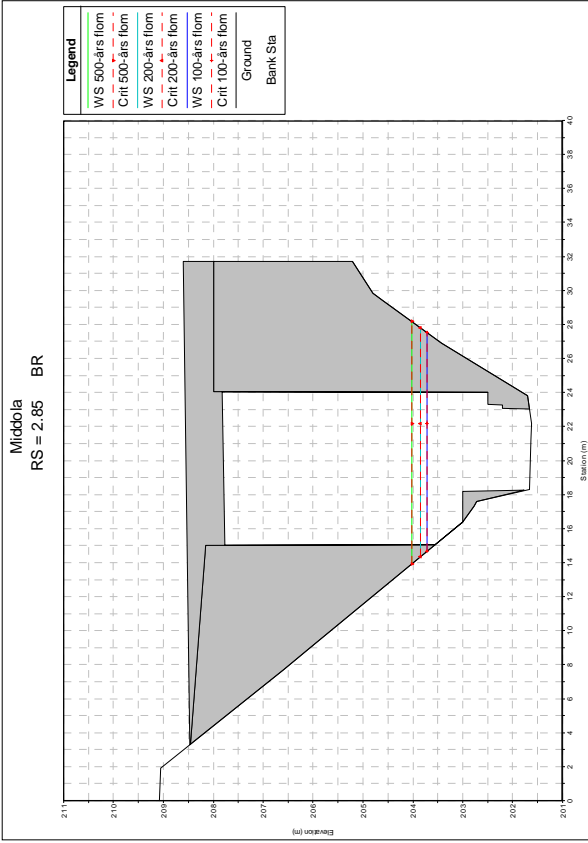
## **Vedlegg 2. Tverrprofiler med beregnet vannstand for 100-, 200- og 500 års flom**

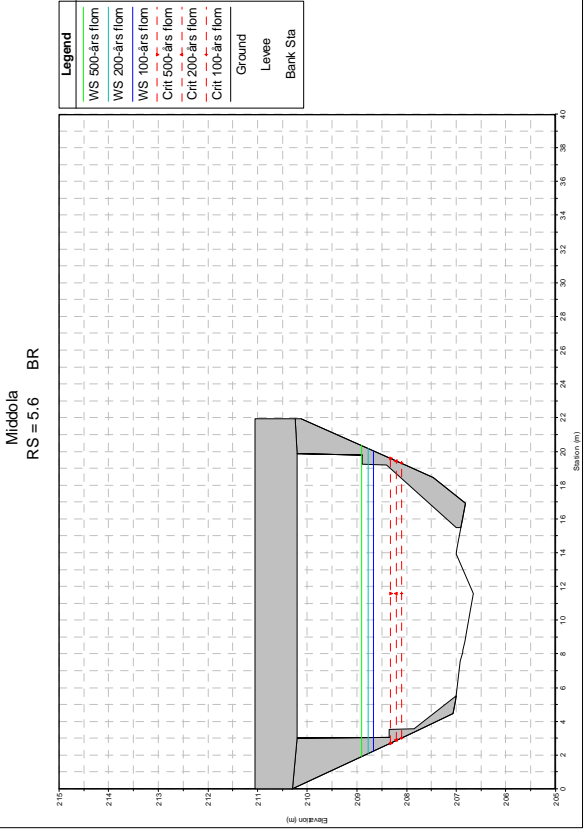
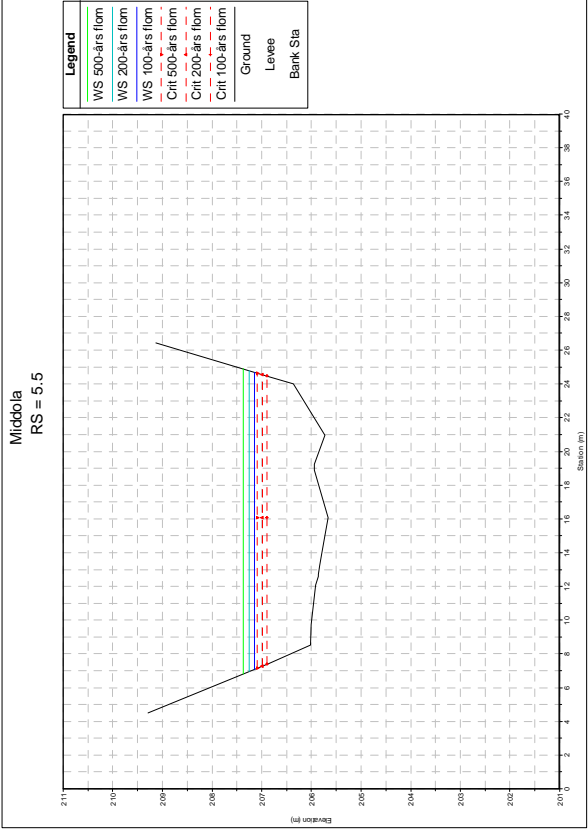
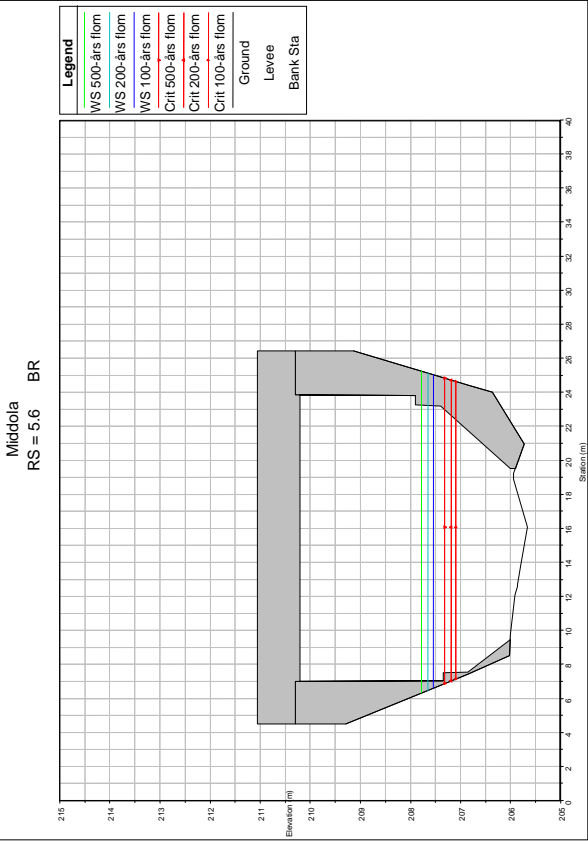
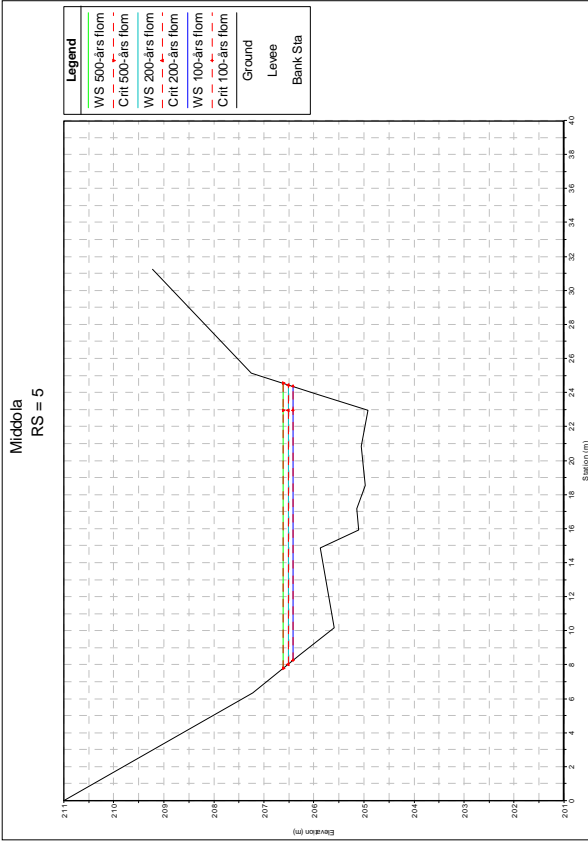
Figurene starter med nederste profil. De angir vannstand (WS: Water surface) for 100,- 200- og 500-års flom samt beregnet kritisk dyp (Crit). I tverrprofiler hvor beregnet vannstand er lavere enn kritisk viser det at modellen har beregnet kritisk strømming gjennom tverrprofilen. Svart linje viser innmålt bakkenivå i profilene (Ground: elvebunn/bakke)

- **Se figur 8 og 14 i hoveddokument for plassering av profilene på kartet og i terrenget i modellen**
- **Se vedlegg 3 for rapport fra oppmåling**

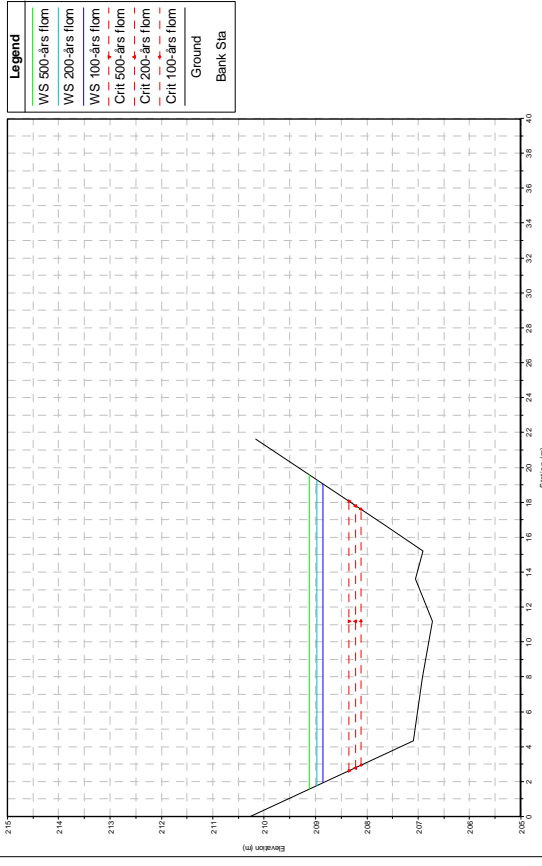




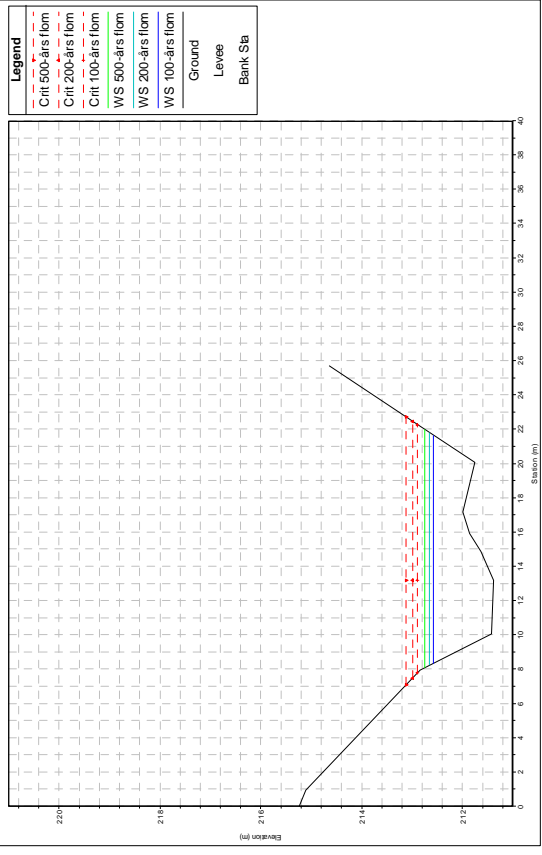




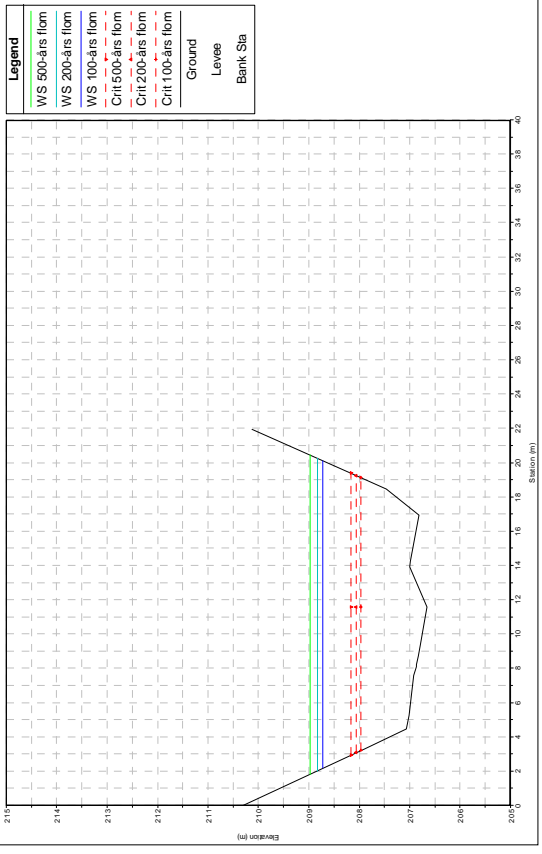
Middola  
RS = 6



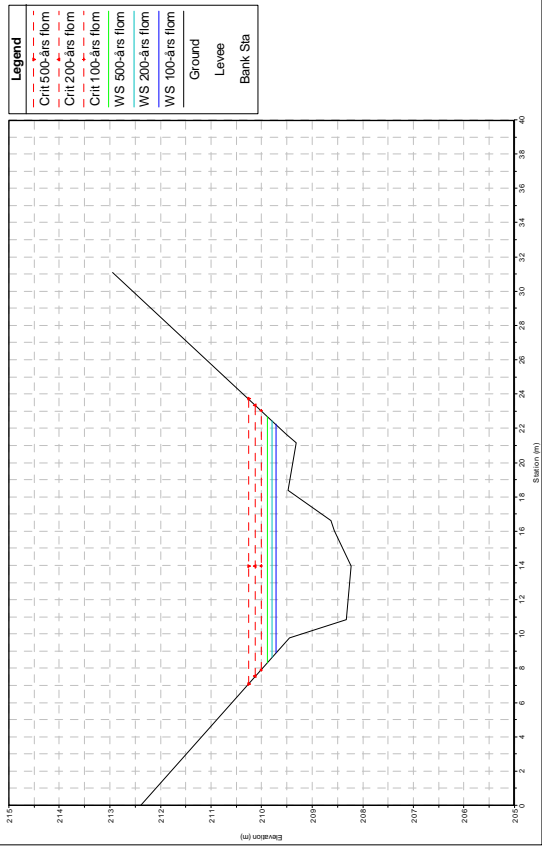
Middola  
RS = 8

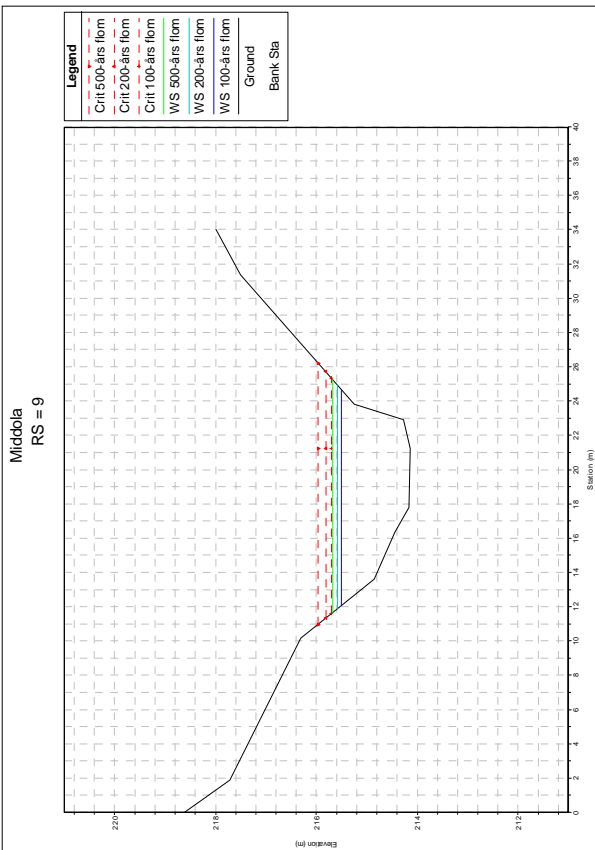
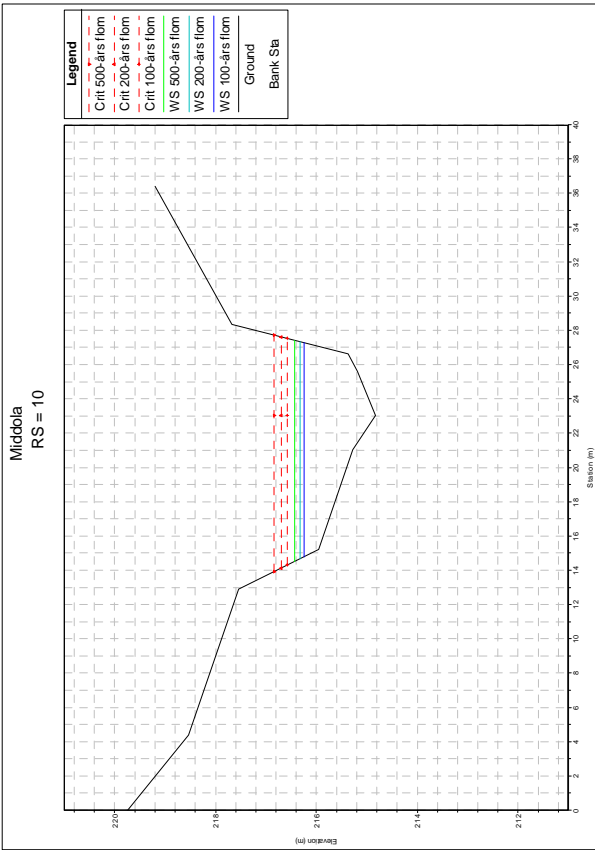


Middola  
RS = 5.9

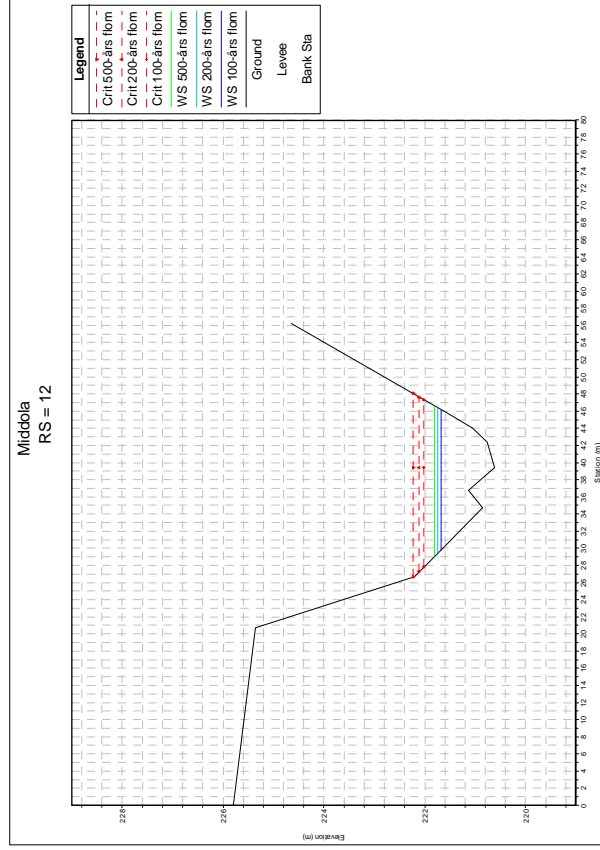
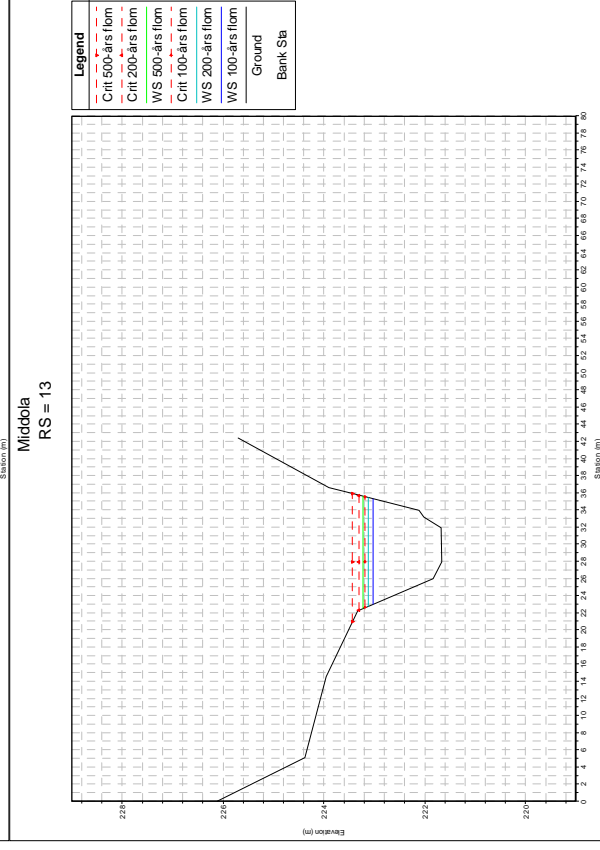
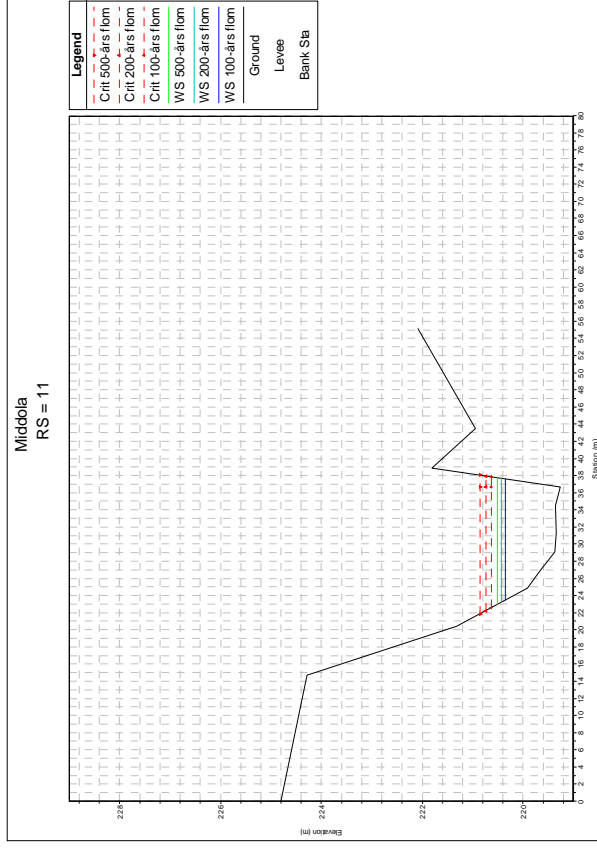


Middola  
RS = 7





# Tverrprofil 11-13 er vist i annen målestokk enn 1-10!





Vedlegg nr 3. Rapport fra oppmåling av tverrprofiler ved Busnesgrend og  
Miland





# Rapport fra oppmåling av tverrprofiler ved Busnesgrend og Miland

<b>1</b>	<b>Generelt .....</b>	<b>2</b>
1.1	Oppdragsgiver .....	2
1.2	Oppdragets nummer og navn .....	2
1.3	Lagring av observasjoner og koordinater.....	2
1.4	Rapport.....	2
<b>2</b>	<b>Målearbeider .....</b>	<b>2</b>
2.1	Deltakelse og tidsrom for målearbeidet .....	2
2.2	Måleutstyr .....	2
2.3	Horisontalt og vertikalt grunnlag.....	2
2.4	Merking av punkter.....	3
2.5	Høydereferanse .....	3
2.6	Målemetoder .....	3
<b>3</b>	<b>Beregninger .....</b>	<b>3</b>
3.1	Horisontalt og vertikalt datum.....	3
3.2	Beregningsutstyr.....	3
3.3	Beregningsmetode .....	4
3.4	Kommentarer til resultatet.....	4
	<b>Koordinater .....</b>	<b>5</b>
3.5	Fastmerker .....	5
3.6	Profilpunkt .....	5

# 1 Generelt

HB er engasjert av HV til å foreta oppmåling av tverrprofiler som inngår i to små vassdrag mellom Notodden og Rjukan. Denne rapporten omhandler arbeidene som er utført ved Miland og Busnesgrend.

## 1.1 Oppdragsgiver

Oppdraget gjøres for Statens Vegvesen. For HV er Kari Reistad prosjektleder.

## 1.2 Oppdragets nummer og navn

NVEs oppgavenummer: 20627 (Miland) og 20626 (Busnesgrend).

## 1.3 Lagring av observasjoner og koordinater

Alle innsamlede og bearbejdede data i dette prosjektet er lagret på lesbare datafiler på HB.

## 1.4 Rapport

Denne rapporten er oversendt Kari Reistad og Demissew Kebede Ejigu, HV.

# 2 Målearbeider

## 2.1 Deltakelse og tidsrom for målearbeidet

Følgende deltakere utførte feltarbeidet:

Bjarne Kjølmoen og Demissew Kebede Ejigu.

Målearbeidet ble utført 21. og 22. oktober 2008.

## 2.2 Måleutstyr

Posisjonsbestemmelse (X, Y og H) av profilpunkt og hjelpepunkt er utført med enten Topcon RTK-utstyr, eller totalstasjon.

## 2.3 Horisontalt og vertikalt grunnlag

*Grunnriss:*

Statens Kartverks (SK) fastmerker:

E35 T0137 Bergshaug (Miland) og E35 T0304 Busnes (Busnesgrend).

*Høyde:*

Samme punkt som for grunnriss.

## 2.4 Merking av punkter

Ingen tverrprofilpunkt ble merket.

Hjelpepunkt må regnes som midlertidige og kan ikke forventes å kunne gjenfinnes.

## 2.5 Høydereferanse

Høydene refererer til overflate terreng og til vannstand. Alle vannstander er merket i datafilene.

## 2.6 Målemetoder

### *Hjelpepunkt*

Det ble nødvendig å etablere flere hjelpepunkt under oppmålingen ved i Busnesgrend. Hjelpepunktene ble brukt som stasjons- og referansepunkt under innmålingen med totalstasjon. Hjelpepunktene ble innmålt med GNSS RTK.

### *Tverrprofiler*

Tverrprofilene ble oppmålt enten med RTK, eller med totalstasjon (GDM). Ved bruk av RTK ble det satt opp basestasjon enten i Statens Kartverks grunnlagspunkt, eller i ett av hjelpepunktene. Ved bruk av totalstasjon ble det målt mot prisme på teleskopstang.

### *Vannstander*

Innmåling av vannstander ble gjort for de fleste tverrprofilene.

# 3 Beregninger

## 3.1 Horisontalt og vertikalt datum

Horisontal datum: Utgangspunktet er UTM Sone 32, EUREF 89.

Vertikalt datum: Ortometriske høyder i NN1954.

## 3.2 Beregningsutstyr

### *RTK-data*

PSION målebok med Geodos landmålingsprogram.

### *Totalstasjons-data og transformasjoner*

V/G-Land versjon 11.37 og V/G-Trans versjon 2.3.

### 3.3 Beregningsmetode

#### *Tverrprofilpunkt og hjelpepunkt*

Koordinatene til profilpunktene og hjelpepunktene målt med RTK er ferdig beregnet i måleboka. Høydene er i ettertid transformert fra ellipsoidiske til ortometriske med V/G-Trans. Profilpunktene målt med GDM er beregnet med V/G-Land.

### 3.4 Kommentarer til resultatet

Oppmålingen i Miland ble utelukkende gjort med Topcon RTK. Det ble etablert ett hjelpepunkt ved Miland bru som ble brukt som Basepunkt under RTM-målingene. Hjelpepunktet ble målt inn fra Landsnettpunktet E35 T0137. Oppmålingen gikk greit med noe lang observasjonstid på enkelte punkt øverst i vassdraget.

Oppmålingen i Busnesgrend var mer krevende. De nederste 8-10 profilene gikk greit med bruk av RTK. Videre oppover måtte det delvis brukes totalstasjon da RTK-utstyret ikke ga tilfredsstillende resultater (FIX-løsning). Det ble derfor etablert totalt åtte hjelpepunkt som ble brukt enten som stasjons- eller orienteringspunkt for GDM. Hjelpepunktene ble innmålt etter hvert som det var behov for dem slik at de "henger" på hverandre, de er altså ikke nødvendigvis innmålt fra samme punkt.

Det er knyttet noe usikkerhet rundt alle profilpunkt (profil 17, 19, 20, 21 og 22) som er målt med GDM med stasjon i hjelpepunkt HP15. Hjelpepunktet ble innmålt med RTK med Antennehøyde (AH) lik 0. Dette indikerer at høyden refererer seg til GDMs siktelinje. Det kan også være en forglemmelse at AH er satt til 0 og ikke til 2,03 m. Instrumenthøyden (IH) som er lagt inn under GDM-målingene etterpå er imidlertid 1,745 m. Dette tyder på at høyden målt med RTK er tenkt skal refereres til bakkenivå. Under beregningene er det antatt at AH skulle ha vært 2,03 med høydereferanse til bakkenivå og med IH=1,745 under GDM-målingene etterpå. Dette kan, om ønskelig kontrolleres med ekstra feltarbeid.

# Koordinater

## 3.5 Fastmerker

Punkt nr.	Punkttype	N-koord.	Ø-koord.	Høyde <sub>orto</sub>
E35 T0304 Busnes	Landsnett	6 630 246.40	499 709.13	209.44
E35 T0137 Busnes	Landsnett	6 643 702.33	485 563.17	379.65
HP 1 (kumlukk)	Hjelpepunkt	6 630 500.13	499 510.84	219.54
HP2	Hjelpepunkt	6 630 519.03	499 490.11	221.68
HP15	Hjelpepunkt	6 630 655.89	499 405.29	*235.95
HP3 (vegstikke)	Hjelpepunkt	6 630 755.55	499 365.53	
HP4 (vegkryss)	Hjelpepunkt	6 630 810.00	499 347.10	245.06
HP5	Hjelpepunkt	6 630 722.35	499 381.42	236.96
HP6	Hjelpepunkt	6 630 747.04	499 373.76	238.37
HP7	Hjelpepunkt	6 630 793.70	499 333.69	242.50

\*med AH=0, dvs. at høyden er identisk med høyden til GDMs siktelinje. Legger man inn AH=2.03 m blir høyden på bakkenivå 233.92 moh.

## 3.6 Profilpunkt

Profilpunkt i vedlagt Excelformat.



Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

## **Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2009**

- Nr. 1 Kristin Skei (red.): Nidelva og Gaula. Tilstandskartlegging av elvebredden innen Trondheim kommune (301 s.)
- Nr. 2 Erik Holmqvist: Flomberegning for Middøla, 016.H1Z (29 s.)
- Nr. 3 Erik Holmqvist: Flomberegning for Busneselva, 016.G2 (18 s.)
- Nr. 4 Kari Svelle Reistad og Demissew Kebede Ejibu: Hydraulisk beregning av Busneselva fra RV 37 til Tinnsjø (42 s.)
- Nr. 5 Kjetil Melvold: Kvennfossen kraftverk. Virkninger på isforhold
- Nr. 6 Per Ludvig Bjerke: Hydrologisk undersøkelse i forbindelse med bygging av ny gang- og sykkelbru over Fjelna ved Vinjeøra (14 s.)
- Nr. 7 Jim Bogen, Truls Erik Bønsnes, Margrethe Elster, Hans Christian Olsen: Faktorer som har betydning for sandflukt i Vestre Vågåvatn (38 s.)
- Nr. 8 Kari Svelle Reistad: Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru (36 s.)





# Flomberegning for Middøla



## **Oppdragsrapport nr. 2-2009**

### **Flomberegning for Middøla, 016.H1Z**

Oppdragsgiver: Statens Vegvesen

Forfatter: Erik Holmqvist

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 10

Forsidefoto: Middøla bru 17. juni 2008.

ISSN: 1503-0318

Sammendrag: Det er utført flomberegninger for Middøla, en sideelv til Måna som grunnlag for vurdering av erosjonssikring av Middøla bru.

Emneord: Flomberegning, flomvannføring, Middøla, Måna, Skiensvassdraget

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

Januar 2009

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Beskrivelse av oppgaven</b>	<b>6</b>
<b>2. Beskrivelse av vassdraget</b>	<b>6</b>
<b>3. Hydrometriske stasjoner</b>	<b>9</b>
<b>4. Flomanalyser</b>	<b>12</b>
4.1 Midlere flom (døgn).....	12
4.2 5- 500 års flom (døgn) .....	13
4.3 Kulminasjonsverdier, middel til 500-års flom .....	15
4.4 Observerte flommer .....	17
4.5 Vannføring i Middøla ved skader i 2004, 2007 og 2008 .....	19
<b>5. Usikkerhet</b>	<b>22</b>
<b>Referanser</b>	<b>23</b>
<b>Utdrag av beskrivelsen ”Storflommen i Tinn 1927”.</b>	<b>24</b>

# Forord

Statens Vegvesen (SVV) tok i april 2008 kontakt med NVE Hydrologisk avdeling, seksjon for vannbalanse (HV) med forespørsel om seksjonen kunne bidra i FoU-prosjektet "Klima og Transport". Det var ønskelig at NVE skulle bidra med både hydrologisk og hydraulisk kompetanse til et pilotprosjekt, inkludert kommentarer til en veileder for erosjonssikring av bruer.

Statens Vegvesen valgte ut en bro på Riksveg 37 i Tinn Kommune til pilotprosjektet. Broen går over elva Middøla, rett oppstrøms samløpet med den større elven Måna, omtrent 1 km før Måna renner ut i Tinnsjø.

Denne rapporten gir resultatene av flomberegningene som er utført i forbindelse med pilotprosjektet. Rapporten er utarbeidet av Erik Holmqvist og kvalitetskontrollert av Lars-Evan Pettersson.

Oslo, januar 2008

Morten Johnsrud  
avdelingsdirektør

Sverre Husebye  
seksjonssjef

# Sammendrag

Flomberegninger er utført for Middøla, en sidegren til Måna i Skiensvassdraget, som grunnlag for erosjonssikring av Middøla bru. Midlere flom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnet.

De største flommene i Middøla forekommer vanligvis i perioden mai til oktober, ofte som følge av en kombinasjon av regn og snøsmelting. Utover sommeren og tidlig på høsten er det imidlertid regnflommer som dominerer.

Den største kjente flommen i Middøla er fra slutten av juni i 1927. Da var det et voldsomt regnvær i Rjukanområdet. Det er sannsynlig at det lå noe snø igjen også i nedbørfeltet til Middøla seint i juni dette året.

Fra de senere årene er det flommen i mai 2004 som er den største. Den var også forårsaket av en kombinasjon av regn og snøsmelting. Ut fra observasjoner i nabovassdrag, er det antatt at denne flommen hadde et gjentaksintervall på mellom 10 og 20 år i Middøla. Slike beregninger er imidlertid beheftet med betydelig usikkerhet, spesielt i felt uten direkte målinger.

For Middøla er det under flom beregnet et forholdstall på 1,4 mellom kulminasjonsvannføring og største døgnmiddelvannføring. Dette forholdstallet er basert på både analyse av flomdata med fin tidsoppløsning og bruk av empiriske formler.

**Tabell 1.**  
**Kulminasjonsvannføringer med gjentaksintervall opp til 500 år.**

	Areal		QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
Middøla	36,9 km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
		m <sup>3</sup> /s	18	24	29	34	44	49	56	65

I en klassifisering av flomberegningene fra 1 til 3, hvor klasse 1 betyr at man har et godt datagrunnlag, klasse 2 et brukbart datagrunnlag og klasse 3 et mangelfullt datagrunnlag, vil disse beregningene gis klasse 2 – et brukbart datagrunnlag.

## 1. Beskrivelse av oppgaven

Flomberegninger er utført for Middøla, en sidegren til Måna i Skiensvassdraget, som grunnlag for erosjonssikring av Middøla bru. Midlere flom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnet.

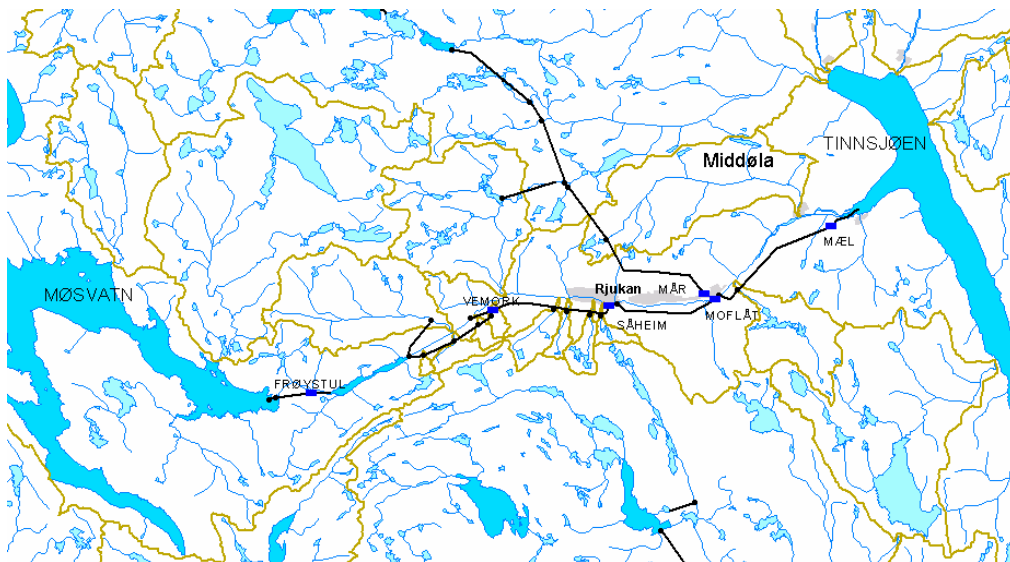
## 2. Beskrivelse av vassdraget

Middøla er en liten sidegren til Måna og har et nedbørfeltet på 36,9 km<sup>2</sup>. Feltet strekker seg fra drøyt 200 moh. til Storenut på 1241 moh. De øvre delene av feltet er dominert av et småkupert snaufjellsterreng, mens selve dalføret kan beskrives som et bratt skogsterreng. Det ble ved befaring observert hogst/ skogbilveier i denne delen av feltet, og her var det også til dels svært aktiv erosjon.

Nedbørfeltet til Måna er 1777 km<sup>2</sup>. Det omfatter foruten Middøla, flere andre sidebekker i Vestfjorddalen og nedbørfeltet til Møsvatn. Måna er en av fire større tilløpselver til Tinnsjøen. Det ligger en rekke kraftverk langs Måna i Vestfjorddalen fra Møsvatn til Tinnsjøen.

Midlere årsavrenning i Middøla er i henhold til avrenningskart for Norge (1961-90) 1,1 m<sup>3</sup>/s eller 30 l/s km<sup>2</sup>. For Måna, inklusive det vann som går gjennom kraftverkene, er tilsvarende verdier 58 m<sup>3</sup>/s og 33 l/s km<sup>2</sup>.

Det er noen mindre vann i nedbørfeltet til Middøla. Men disse ligger langt opp i feltet og har liten flomdempende effekt. Som kartet i figur 1 viser er det et inntak i Middøla på tilløpstunnelen til Mår kraftverk. Det er 2,16 km<sup>2</sup> av Middølas felt med et midlere tilsig på 36 l/s km<sup>2</sup> eller snaut 80 l/s. Ved flom antas at alt vann går i overløp ved inntaket, slik at vannføringen i Middøla blir som den ville vært uten inngrep.



**Figur 1.**  
Oversiktskart over Middøla. Kraftverkene i området er markert med blå firkanter, overføringer med svarte streker og magasiner med en dyp blå farge.

**Tabell 2**  
**Feltparametere for Middøla.**

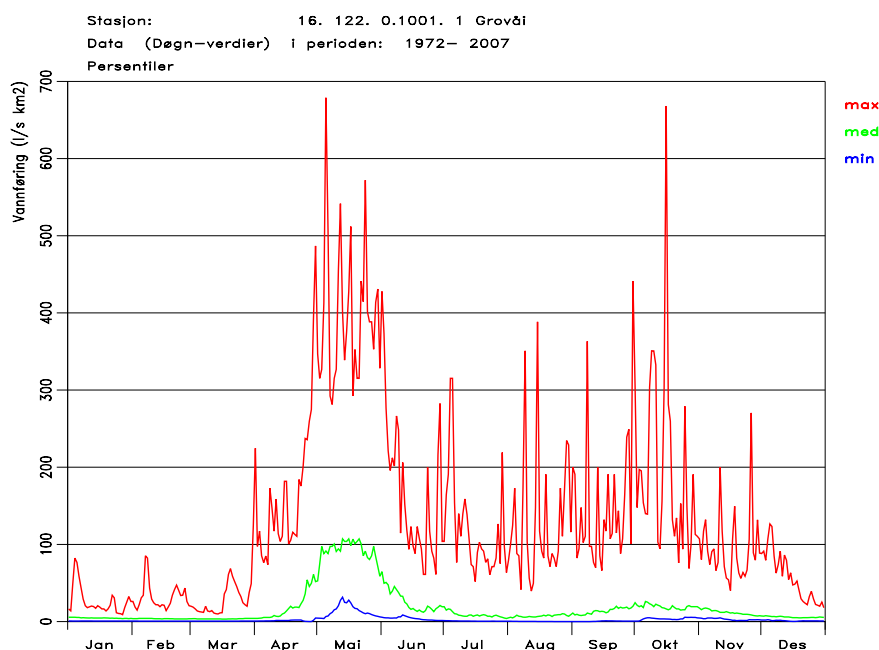
Areal	36,9 km <sup>2</sup>
Høyeste punkt	1241 moh.
Laveste punkt	213 moh.
Midlere høyde	985 moh.
Snaufjellprosent ( $A_{SF}$ )	29 %
Sjøprosent ( $A_S$ )	2,5%
Effektiv sjøprosent ( $A_{SE}$ )	< 0,01 %
Feltaksens lengde ( $L_F$ )	11 km
Relieff-forholdet ( $H50/L_F$ )	17 m/ km
Hovedelvas gradient ( $S_T$ )	138 m/ km
Normalavrenning	30 l/s km <sup>2</sup>
Midlere vannføring	1,1 m <sup>3</sup> /s



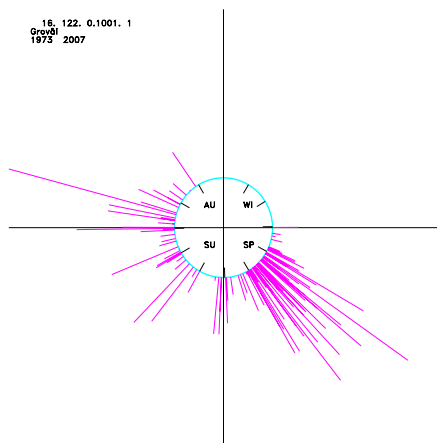
**Figur 2.**  
**Kart over Middøla. Bekkeinntaket i Middøltjørni er markert med et svart punkt.**

Nedbørfeltet til målestasjonen 16.122 Grovåi har omtrent samme karakteristika (høydefordeling, sjøprosent, bratthet) som nedbørfeltet til Middøla, og denne målestasjonen antas derfor å gi et representativt bilde av vannføringsforholdene i Middøla. Grovåi ligger i øvre del av Bøelva. Figur 3 viser karakteristiske vannføringsverdier gjennom året i l/s km<sup>2</sup> for denne stasjonen.

Flomforholdene er illustrert i figur 3 og 4. Flommer forekommer både vår, sommer og høst. Både på våren og seint på høsten vil de største flommene som regel være forårsaket av en kombinasjon av regn og snøsmelting.



**Figur 3.**  
**Vannføring i l/s km<sup>2</sup> ved målestasjonen 16.122 Grovåi. Det er minimum, median og maksimum for årene 1972-2007 som er vist.**

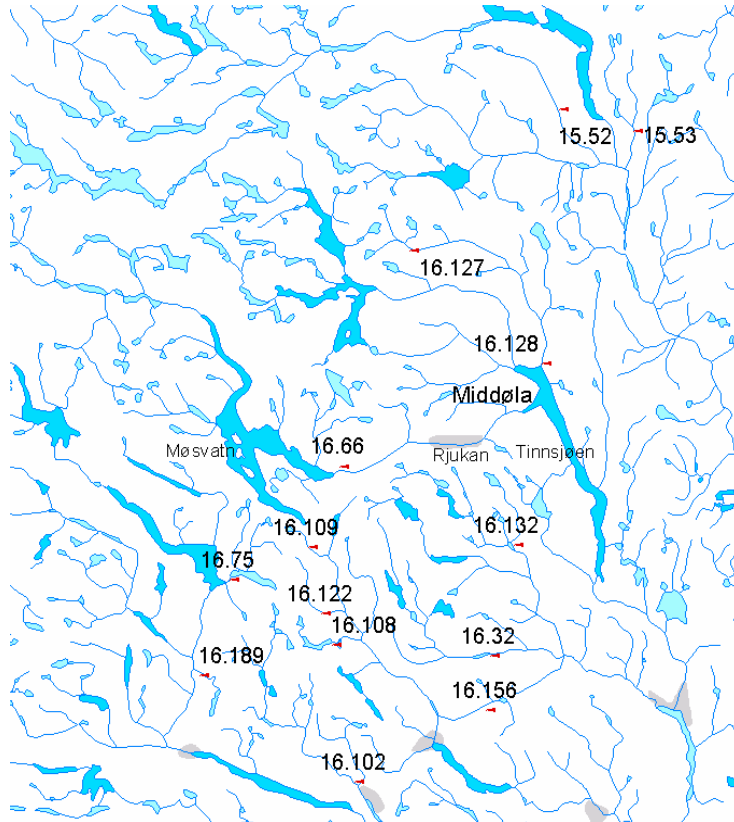


**Figur 4.**  
**Fordelingen av flommer gjennom året ved målestasjonen 16.122 Grovåi. Sirkelen representerer året med januar rett opp.**



### 3. Hydrometriske stasjoner

I kartet nedenfor (figur 5) er beliggenheten til avløpsstasjoner i ”nærheten” av Middøla vist. Stasjonene som er avmerket har alle nedbørfelt som har en medianhøyde på 700 moh. eller høyere. Noen sentrale feltparametere for stasjonene er gitt i tabell 3.



**Figur 5.**  
Målestasjoner for vannføring i områdene omkring Middøla

**Tabell 3.**

**Feltparametere for undersøkte stasjoner med medianhøyde over 700 moh. Normalavløp er i henhold til avrenningskart for Norge 1961-90.**

**For Grovåi er middelvannføring for observasjonsperioden gitt i parentes.**

Stasjon	Periode	Areal (km <sup>2</sup> )	Normalavløp (l/s km <sup>2</sup> )	Midlere høyde (moh.)	Effektiv sjøprosent (%)
15.52 Smådøla	1966-81	98,4	16	1020	0,16
15.53 Borgåi	1966-07	94,0	17	1010	0,29
16.32 Hjartsjø	1919-58	215	27	830	1,2
16.66 Grosettjern	1949-dd	6,48	29	1000	3,1
16.75 Tannsvatn	1955-dd	117	23	890	Ca. 5
16.102 Nørstrud bru	1962-71	258	16	740	0,6
16.108 Gjevarvatn	1965-83	33,3	17	820	5,5
16.109 Veisvikvatn	1965-83	15,1	11	1000	5,4
16.122 Grovåi	1973-dd	42,7	19 (26)	910	0,2
16.127 Viertjern	1977-dd	49,0	29	1260	1,5
16.128 Austbygdåi	1976-dd	344	26	1150	0,12
16.132 Gjuvå	1981-dd	33,1	38	1080	1,9
16.156 Grunnåi	1987-92	54,1	28	1130	0,7
16.189 Bjørntjønn	1991-dd	34,7	23	730	1,46

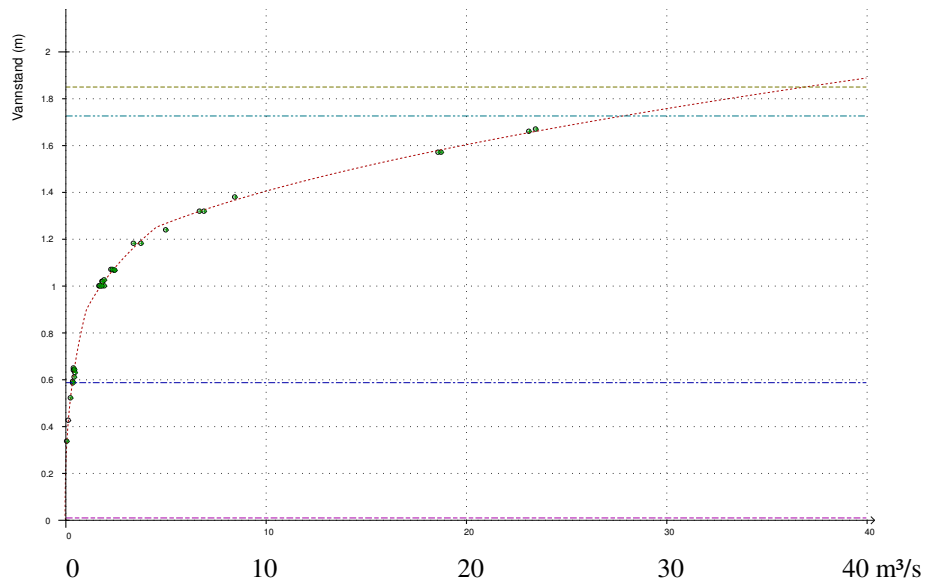
Ut fra en sammenligning av beliggenhet og feltparametere er det stasjonen 16.122 Grovåi, som ligger i øvre del av Bøelva, som har et nedbørfelt som minner mest om det en finner i Middøla. Dette feltet er relativt lite, har en lav effektiv sjøprosent og en medianhøyde omtrent som for Middøla. NVEs avrenningskart gir for Grovåi et normalavløp for perioden 1961-90 på 19 l/s km<sup>2</sup>. Midlere årsavløp basert på observasjonene ved Grovåi fra 1973 – 2007 er imidlertid 26 l/s km<sup>2</sup>. Det antas derfor at avrenningskartet gir for lave verdier i Grovåis felt, slik at også årsavrenningen er av samme størrelsesorden for Grovåi og Middøla. Videre er relieff-forholdet for Middøla 17 m/ km, mens det for Grovåi er 16 m/ km. Det betyr at feltene også er tilnærmet like bratte.

I Grovåi er det foretatt samhoørende målinger av vannstand og vannføring for å bestemme av vannføringskurve for vannføringer opp mot 5-års flom (kulminasjonsverdi). Flomvannføringer er dermed godt bestemt ved denne stasjonen. Vannføringskurven er vist i figur 6.

Også vannføringen ved målestasjonen Hjartsjø, som ligger i Heddøla, antas å ha relativt like karakteristika som Middøla i den uregulerte perioden ved denne stasjonen. Nedbørfeltet til Hjartsjø er imidlertid vesentlig større enn for Middøla, og effektiv sjøprosent er også noe høyere. Dette har betydning for flomdempingen i vassdraget. Observasjonene ved Hjartsjø startet i 1919, men er påvirket av vannkraftutbygging fra 1959.

Målestasjonen som ligger nærmest Middøla, Grosettjern, har et svært lite nedbørfelt. Dette feltet har relativt høy effektiv sjøprosent og 20 – 30 % av nedbørfeltet er myr. Det antas derfor at flomdempingen her er vesentlig større enn i feltet til Middøla.

For å ha et best mulig vurderingsgrunnlag for fastsettelse av flomverdier er det og gjennomført flomanalyser for de øvrige målestasjonene i tabell 3.



**Figur 6.**

**Vannføringskurve for målestasjonen 16.122 Grovåi, vannstand i m er gitt på y-aksen og på x-aksen vannføring i m³/s. De grønne punktene angir vannføringsmålingene som ligger til grunn for kurven.**

## 4. Flomanalyser

### 4.1 Midlere flom (døgn)

For nabostasjonene varierer midlere flom stort sett fra omkring 200 til 350 l/s km<sup>2</sup> (tabell 4). Størst middelflom er beregnet for Grunnåi med ca. 480 l/s km<sup>2</sup>. Denne serien er imidlertid kun 6 år lang, og den inneholder blant annet en stor høstflom i 1987. Beregnet middelflom for denne stasjonen anses derfor ikke representativ.

Ut fra en sammenligning av feltparametere er det stasjonen Grovåi som har de mest sammenfallende nedbørfeltkarakteristika med Middøla. Feltene Smådøla og Borgåi, som ligger i Numedalsvassdraget, har og svært lav effektiv sjøprosent og har en medianhøyde omtrent som for Middøla, men disse ligger i et område med generelt mindre nedbør. For Grovåi er midlere spesifikk flom 351 l/s km<sup>2</sup>. For Grovåi er årene 1976 og 1996 utelatt i flomanalysene, da flomvannføringene disse årene er ekstra usikre på grunn av observasjonsbrudd, det vil si at det er manuelt kompletterte verdier i flomperiodene.

Midlere flom for Middøla er også beregnet ved bruk av regionale flomformler (Sælthun 1997). Formlene gir omkring 450 – 500 l/s km<sup>2</sup> for vårflokker og 190 – 310 l/s km<sup>2</sup> for høstflokker. Slike formler bør imidlertid benyttes med forsiktighet for felt mindre enn 100 km<sup>2</sup>.

Ut fra en samlet vurdering antas samme midlere spesifikk flom for Middøla som for Grovåi, det vil si 351 l/s km<sup>2</sup>. Det gir en midlere flom på ca. 13 m<sup>3</sup>/s. Dette er et døgnmiddel.

**Tabell 4.**

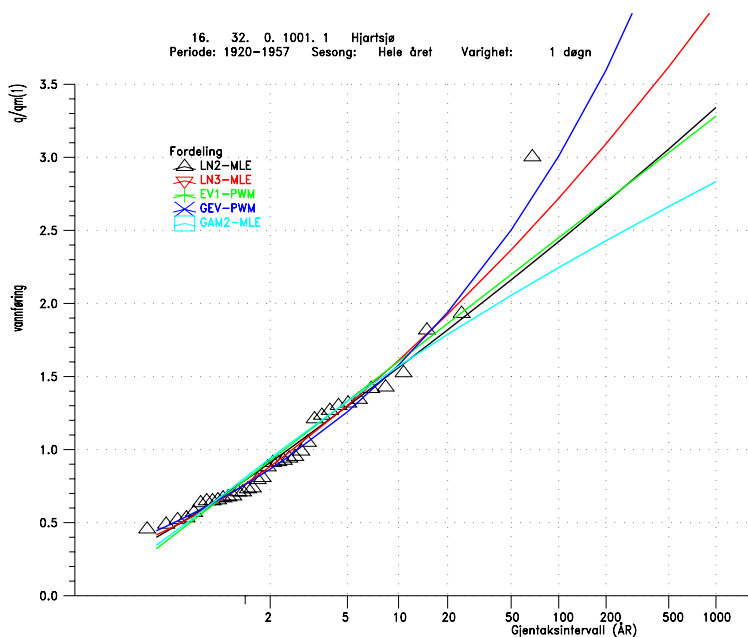
**Midlere flom, det er døgnmidler av årsflokker som er analysert.**

Stasjon	Periode	Antall år	Areal (km <sup>2</sup> )	Midlere flom (m <sup>3</sup> /s)	Midlere flom (l/s·km <sup>2</sup> )
15.52 Smådøla	1966-81	16	98,4	20,3	206
15.53 Borgåi	1966-07	42	94,0	19,7	210
16.32 Hjartsjø	1919-58	40	215	60	277
16.66 Grosettjern	1950-07	58	6,48	1,52	235
16.75 Tannsvatn	1956-07	52	117	24	209
16.102 Nørstrud bru	1963-70	8	258	86	333
16.108 Gjevarvatn	1965-83	19	33,3	8,1	242
16.109 Veisvikvatn	1965-83	19	15,1	3,5	232
16.122 Grovåi	1973-07	33	42,7	15	351
16.127 Viertjern	1977-07	22	49,0	13	258
16.128 Austbygdåi	1976-07	27	344	77	224
16.132 Gjuvå	1981-07	23	33,1	8,3	251
16.156 Grunnåi	1987-92	6	54,1	26	481
16.189 Bjørntjønn	1991-dd	15	34,7	8,2	236

## 4.2 5- 500 års flom (døgn)

For bestemmelse av flommer med gjentakintervall opp til 500 år er det utført frekvensanalyse av de lengste observasjonsseriene gitt i tabell 4. I tillegg er regionale flomfrekvenskurver benyttet. Resultatene er også vurdert i forhold til tidligere flomanalyser for andre vassdrag i nærheten.

I figur 7 er resultatene fra analysen av den 38 år lange serien fra Hjartstjø presentert. Det er den røde kurven (Ln3) som i tabell 5 er valgt ut som den mest representative for Hjartstjø. Ut fra dette hadde flommen i 1927 et gjentakintervall på mellom 100 og 200 år. Om dette er riktig er det kun mange nye år med data som kan vise oss. Går det for eksempel 200 år til uten at vi får en like stor flom, ville det sannsynligvis vært riktigere å legge den grønne kurven til grunn. Mens en ny storflom innen få år vil medføre at det er den blå kurven eller en som er enda brattere som er ”mest korrekt”.



**Figur 7.**  
**Flomfrekvensanalyse for serien 16.32 Hjartstjø for årene 1920 – 1957.**

**Tabell 5.****Flomfrekvensfaktorer, det er største døgnmiddelvanntføring hvert år som er analysert.**

	Periode	Ant. år	Q5/QM	Q10/QM	Q20/QM	Q50/QM	Q100/QM	Q200/QM	Q500/QM	Fordelingsfunksjon
15.53 Borgåi	1966-07	42	1,29	1,46	1,61	1,78	1,88	1,98	2,09	GEV
16.32 Hjartsjø	1920-57	38	1,30	1,61	1,93	2,37	2,72	3,09	3,62	Ln3
16.66 Grosettjern	1950-07	58	1,26	1,49	1,72	2,03	2,28	2,54	2,89	GEV
16.75 Tannsvatn	1956-07	52	1,25	1,40	1,53	1,69	1,80	1,90	2,03	Ln3
16.122 Grovåi	1973-07	33	1,27	1,49	1,70	1,97	2,17	2,37	2,64	GUM
Vårflom 2 (1997)			1,24	1,41	1,57	1,77	1,88	2,01	2,19	
Vårflom 3 (1997)			1,28	1,47	1,64	1,85	2,00	2,16	2,36	
Høstflom3 (1997)			1,33	1,73	2,04	2,57	3,05	3,45	4,20	
<b>Valgt for Middøla</b>			<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,7</b>	<b>3,1</b>	<b>3,6</b>	

Det er en stor variasjon i de analyserte frekvensfaktorene (tabell 5). Forholdstallet mellom 500-års flom og middelflom varierer for eksempel fra 2,0 til 3,6. Det er serien fra Hjartsjø som gir de høyeste forholdstallene, dette skyldes blant annet at observasjonene her inneholder den store flommen i 1927.

Analyse av andre serier, som også inneholder 1927-flommen, gir tilsvarende høye forholdstall. For eksempel gir analyse av en 36 år lang serie for Omnesfoss et forholdstall på 3,8 (Pettersson 2006), mens en 58 år med beregnet tilløp til Seljordsvatn (Holmqvist 2007) gir et forholdstall på 3,4.

For Middøla velges faktorene for Hjartsjø avrundet til nærmeste tiendedel (tabell 5). De regionale kurvene for vår- og høstflommer gir jevnt over lavere/ høyere forholdstall enn de som er funnet ved analyse av årsflommer i området. Det virker rimelig.

De resulterende flomverdiene (døgnmidler) er gitt i tabell 6.

**Tabell 6.****Beregnete flomvanntføringer for Middøla (døgnmidler).**

	Areal		QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
Middøla	36,9 km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>	351	456	562	667	842	948	1088	1264
		m <sup>3</sup> /s	13	17	21	25	31	35	40	47

### 4.3 Kulminasjonsverdier, middel til 500-års flom

De verdier som er beregnet tidligere er døgnmidler. Kulminasjonsvannføringene kan være vesentlig høyere. Middøla er et relativt lite og bratt felt. For å vurdere forholdstallet mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring er empiriske ligninger basert på feltparametere benyttet, og det er gjennomført flomanalyser på data med fin tidsoppløsning.

Følgende formler er gitt (Sælthun 1997):

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{døgn}} = 1.72 - 0.17 \log A - 0.125 A_{\text{SE}}^{0.5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{døgn}} = 2.29 - 0.29 \log A - 0.270 A_{\text{SE}}^{0.5}$$

hvor A er feltareal og  $A_{\text{SE}}$  er effektiv sjøprosent. For Middøla, som har et nedbørfelt på 36,9 km<sup>2</sup> og en effektiv sjøprosent som er mindre enn 0,01, gir formlene et forholdstall på 1,45 for vårflommer og 1,83 for høstflommer.

Det er også gjennomført frekvensanalyser direkte på kulminasjonsvannføringer for enkelte av stasjonene i nærheten. Dette er et mer tidkrevende arbeid enn tradisjonelle frekvensanalyser på døgndata. Årsaken er at data med fin tidsoppløsning ikke har vært gjenstand for den samme kvalitetskontroll som døgndata. For eksempel er ikke perioder med observasjonsbrudd komplettert, og i perioder av året kan isoppstuing forårsake høy vannstand uten at det er flom. For mange stasjoner er også perioden med registrende instrumenter begrenset, slik at periodelengden som kan analyseres er kort. Her er det foretatt en analyse av findata fra stasjonene Grosettjern, Grovåi og Gjuvå for bestemmelse av forholdstallet mellom kulminasjon- og døgnmiddel for flommer fra middel til 20 års gjentaksintervall. Resultatene er gitt i tabell 7.

**Tabell 7.**  
**Forholdstall mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring for flommer fra middel til 20 års gjentaksintervall.**

	Periode	Ant. år	Midlere flom kulminasjon l/s km <sup>2</sup>	$Q_{M_{\text{mom}}}/Q_{M_{\text{døgn}}}$	$Q_{5_{\text{mom}}}/Q_{5_{\text{døgn}}}$	$Q_{10_{\text{mom}}}/Q_{10_{\text{døgn}}}$	$Q_{20_{\text{mom}}}/Q_{20_{\text{døgn}}}$
16.66 Grosettjern	1953-07	41	255	1,12	1,13	1,13	1,13
16.122 Grovåi	1973-07	33	492	1,40	1,37	1,41	1,40
16.132 Gjuvå	1987-00	14	344	1,39	1,41	1,43	1,43

En ser at resultatene for Grovåi og Gjuvå stemmer godt overens med beregningene for en vårflomsituasjon i Middøla basert på feltparametere. Videre ser en at forholdstallene som ventet er noe lavere for Grosettjern. For alle stasjonene er disse forholdstallene nokså stabile uavhengig av gjentaksintervallet som betraktes.

For enkelthendelser kan forholdstallet variere mye mer, som for eksempel augustflommen i 1979 hvor forholdet mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring i Grovåi er i overkant av 2,1 (tabell 9).

Det antas at et forholdstall på 1,4 er representativt for Middøla. Resulterende kulminasjonsvannføringer er gitt i tabell 8.

**Tabell 8.**  
**Beregnete flomvannføringer for Middøla, kulminasjonsverdier.**

	Areal		QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
Middøla	36,9 km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
		m <sup>3</sup> /s	18	24	29	34	44	49	56	65

En 500-års flom med et døgnmiddel 1200 l/s km<sup>2</sup> og en kulminasjonsverdi på drøyt 1700 l/s km<sup>2</sup> tilsvarer en avrenning på 107 mm i løpet av ett døgn og en maksimal intensitet på 6 mm på en time.



#### 4.4 Observerte flommer

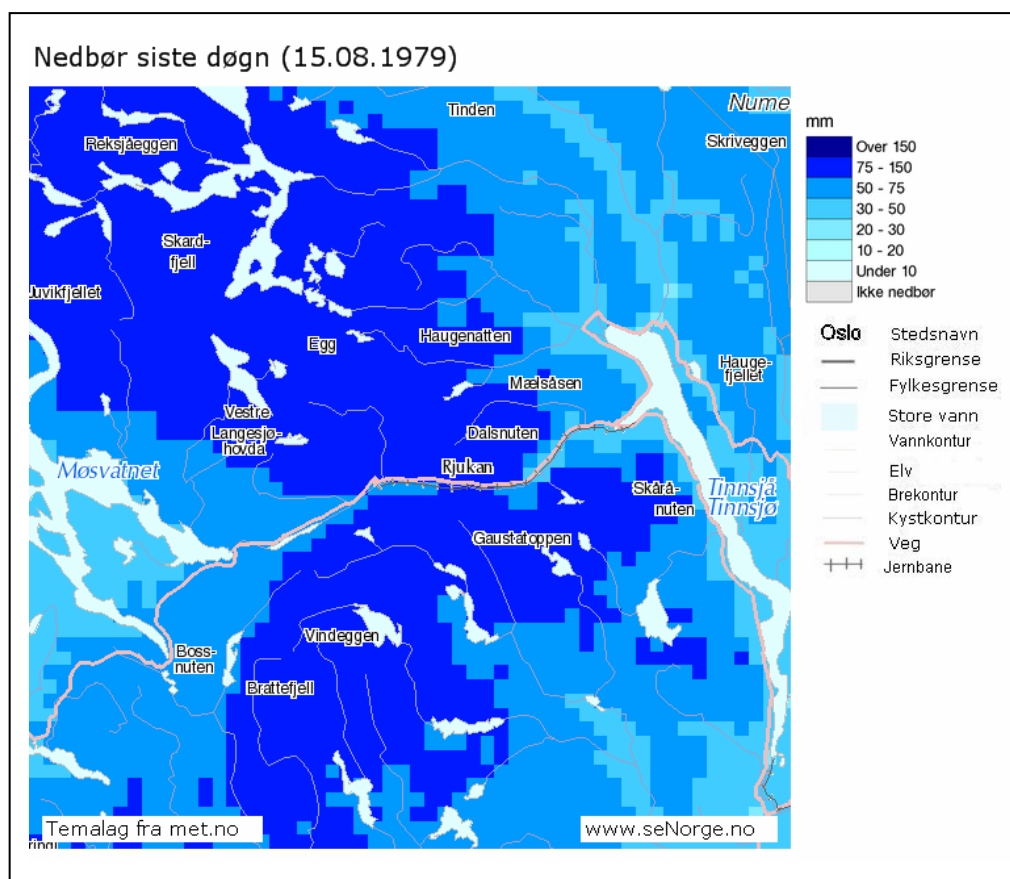
Den største flommen som er registrert i området var i slutten av juni 1927. Flommen var forårsaket av mye regn over flere dager, snøen lå også langt utover i juni den våren (Einung, 1943). Om det fortsatt var snø av betydning i Middølas nedbørfelt i slutten av måneden er usikkert, men bakken var nok gjennombløt. Om morgenen 29. juni 1927 ble det registrert 135 mm nedbør på Rjukan. Det gikk utallige ras i området under dette uværet, bare i Håkadalen hvor Middøla renner skal det ha gått omkring 20 ras. På Rjukan omkom også flere mennesker som følge av ras. Fra en beskrivelse av denne storflommen i Tinn av (Einung, 1943) heter det blant annet: *”Måna stod sume stader 1,5 meter over vegen og flymde over øyar, vollar og åkrar og la att etter seg gyrme og sand i stor mengd. Tveråine har fare stygt åt, men verst av alle var Middøla. Og det måtte ein også vente, for ho har frå gamalt ord for å vera den mest ustyrlege tverrå i heile Tinn. No er det om lag 70 år sidan ho var so ofseleg som no, og berre dei eldste kjem det i hug.”* Et lenger utdrag fra beskrivelsen av denne flomhendelsen er vedlagt bak i rapporten.

Også ved mange av de øvrige store flommene i området har regn spilt en vesentlig rolle. Ved målestasjonen Grovåi, som antas å være den som er mest representativ for Middøla, er største registrerte flom 15. august 1979. Dette var en ren regnflom. Under denne augustflommen var det store lokale variasjoner. For eksempel var maksimal avrenning i Grovåi over 850 l/s km<sup>2</sup>, mens det fra flere stasjoner i nærheten var en avrenning på omkring 200 l/s km<sup>2</sup>. Ut fra kartet i figur 8 er det sannsynlig at det var mye nedbør også i områdene omkring Middøla denne dagen, men om flommen var like intens her som i Grovåi er usikkert. Tilsvarende kan det være andre lokale regnflommer i Middøla som ikke har vært like intense i Grovåi. Flomdynamikken i disse to feltene antas imidlertid å være nokså lik. I tabell 9 er data for de fem største flommene i Grovåi fra 1973 til 2007 listet opp. Flommen i mai 2004 er av samme størrelsesorden som høstflommen i 1987, men er noe mindre enn sommerflommen i 1979.

Fra flommen i 1927 har vi ikke vannføringsdata fra Grovåi. Men i Heddalsvassdraget ved målestasjonene 16.32 Hjartsjø og 16.10 Omnesfoss ble det registrert en vannføring pr arealenhet på omkring 860 og 980 l/s km<sup>2</sup>. De nordlige delene av feltet til Omnesfoss grenser til Rjukanområdet/ Vestfjorddalen. Både nedbørfeltet til Hjartsjø og Omnesfoss, som er henholdsvis 215 og 806 km<sup>2</sup>, er vesentlig større enn feltet til Middøla og de har også flere innsjøer i nedbørfeltet. Det er derfor rimelig å anta at avrenningen i løpet av et døgn i Middøla har vært større enn 1000 l/s km<sup>2</sup> under 1927-flommen. Kulminasjonsvannføringen har sannsynligvis vært enda større, men hvor mye større har vi ikke grunnlag for å anslå.

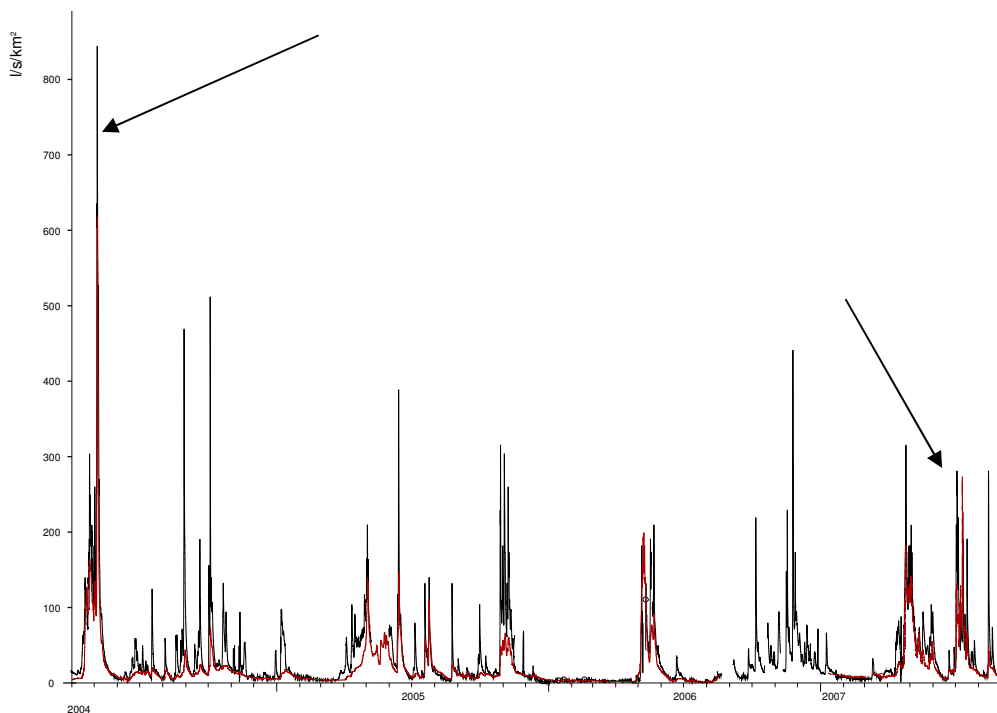
**Tabell 9.****De fem største flommene ved målestasjonen 16.122 Grovåi fra 1973-2007.**

Dato	Kulminasjon m <sup>3</sup> /s	Kulminasjon l/s km <sup>2</sup>	Døgnmiddel m <sup>3</sup> /s	Døgnmiddel l/s km <sup>2</sup>	Forholdstall kulm./døgn
15. aug. 1979	37	864	16	372	2,3
16. okt. 1987	35	820	27	642	1,3
6. mai 2004	35	810	28	651	1,2
24. mai 1978	33	773	23	549	1,4
30. sep. 1982	31	726	18	424	1,7

**Figur 8.****Nedbør i mm 15. august 1979 i områdene omkring Middøla. Kilde seNorge.no, datagrunnlag met.no og NVE.**

#### 4.5 Vannføring i Middøla ved skader i 2004, 2007 og 2008

Det er rapportert om skader på brufundamentene til Middøla bru i mai (juni) 2004, juli 2007 og igjen i juli 2008. Figur 9 nedenfor viser vannføringen i l/s km<sup>2</sup> for målestasjonene 16.66 Grosettjern og 16.122 Grovåi.



**Figur 9.**

Vannføringen i l/s km<sup>2</sup> ved målestasjonene 16.122 Grovåi (svart) og 16.66 Grosettjern (rød) fra 1. april 2004 til 30. august 2007. Det er data med fin tidsopløsning (timesverdier) som er vist. Skadetidspunkter angitt av Statens Vegvesen ved Middøla bru i 2004 og 2007 er angitt med pilene.

#### 2004

I begynnelsen av mai 2004 var det en relativt stor flom i området. I juni var det imidlertid ingen flomvannføringer på målestasjonene i nærheten av Middøla. Det antas derfor at flomskaden våren 2004 skjedde i mai.

Maksimal spesifikk vannføring i Grovåi og Grosettjern var 6. mai 2004 henholdsvis 810 og 620 l/s km<sup>2</sup> (figur 9). I Austbygdåi førte flommen til at elveløpet ble endret. Ved målestasjonen Viertjern, som ligger i øvre del av Austbygdåi, var det kraftig isoppstuing, slik at vannføringsdata herifra ikke er egnet for analyse.

I Grovåi tilsvarer dette en flom med 10 – 20 års gjentaksintervall, mens flommen i Grosettjern har et beregnet gjentaksintervall på over 100 år. En så

sjelden flom i Grosettjern virker ikke rimelig, det er for eksempel grunn til å tro at 1927-flommen var vesentlig større enn 2004-flommen. Hvis is har vært et problem i Grosettjern, slik det var i Viertjern, kan dette ha ført til økt vannstand/ for høy beregnet vannføring. For eksempel vil en oppstuing på 15 cm føre til at vannføringen ut av Grosettjern blir redusert med omkring 40 prosent.

Flommen var forårsaket av kraftig nedbør, høy temperatur og dermed også stor snøsmelting. På Rjukan ble det målt 60 mm nedbør i løpet av ett døgn, og temperaturen i 1000 meters høyde var 7- 8 °C.

I henhold til nedbørdata i seNorge, var det mer nedbør 6. mai 2004 i områdene omkring Middøla enn i nedbørfeltet til Grovåi. Temperaturforholdene var imidlertid nokså like, slik at snøsmelteintensiteten også var nokså lik i de to vassdragene.

Ut fra dette antas en maksimal spesifikk vannføring i Middøla under denne flommen på 800 - 1000 l/s km<sup>2</sup>. Det gir en kulminasjonsvannføring nederst i Middøla på omkring 30 - 36 m<sup>3</sup>/s. Dette tilsvarer flom med 10 – 20 års gjentaksintervall. Dette virker rimelig sett i forhold til observasjonene ved målestasjonene i nærheten.

Beregning av vannføring for slike enkelthendelser er beheftet med stor usikkerhet. For eksempel ville en skalering av dataene fra Grosettjern med forholdet mellom midlere spesifikk momentanflom for henholdsvis Middøla og Grosettjern gi en spesifikk vannføring i Middøla på nesten 1200 l/s km<sup>2</sup>, eller 43 m<sup>3</sup>/s.

## **2007**

I begynnelsen av juli 2007 var det ny undergraving av brufundamentet ved Middøla bru. Som figur 9 viser, var det i juli 2007 den største vannføringen ut av Grosettjern siden mai 2004, mens vannføringen i Grovåi flere ganger i løpet av denne perioden hadde vært høyere enn i juli 2007.

4. juli 2007 var det en maksimal avrenning ved målestasjonen Grovåi på 270 l/s km<sup>2</sup>. Det var imidlertid høyere avrenning ved flere andre målestasjoner i nærheten, som Gjuvå, Viertjern og Austbygdåi med 360 – 390 l/s km<sup>2</sup>. For Grosettjern kom maksimal avrenning etter flere dager med nedbør og kulminerte her med 275 l/s km<sup>2</sup> den 12. juli.

Det er ikke urimelig at det under en slik sommerflom er relativt store lokale forskjeller avhengig av hvor det falt mest nedbør. Under denne flommen var det snøfritt både i Middølas felt og i nedbørfeltene til de aktuelle sammenligningsstasjonene. Ut fra at naturlig flomdempning i Middølas felt antas å være mindre enn for de nærmeste sammenligningsstasjonene (Austbygdåi, Viertjern, Gjuvå og Grosettjern), anslås

kulminasjonsvannføringen i Middøla 4. juli 2007 å være omkring 400 – 500 l/s km<sup>2</sup>. Det tilsvarer en vannføring på 15 - 18 m<sup>3</sup>/s eller omkring middelflom.

## **2008**

I juli 2008 er det rapportert om ny utgraving. Data fra sist sommer viser at maksimal vannføring i Grovåi og Gjuvå i juli var omkring 230 – 240 l/s km<sup>2</sup> og fra Grosettjern ca. 180 l/s km<sup>2</sup>. For Austbydgeåi er det observasjonsbrudd i juli, og fra Viertjern er det foreløpig ikke tilgjengelige data lenger enn til juni 2008.

Ut fra dette anslås avrenningen i Middøla også å ha vært omkring 240 l/s km<sup>2</sup>, som tilsvarer en vannføring på ca. 9 m<sup>3</sup>/s. Dette er godt under middelflom.

## 5. Usikkerhet

Det er ingen direkte observasjoner av vannstand/ vannføring i Middøla, men det er flere observasjonsserier i nabovassdrag som antas å være representative. Særlig er det lagt vekt på observasjonene fra stasjonen 16.122 Grovåi i øvre del av Seljord-/Bøvassdraget.

Usikkerheten i de beregnede flomverdiene skyldes også flere andre forhold. For det første er det usikkerhet knyttet til ”observert vannføring”. Vannstander observeres, deretter omregnes disse ut fra en vannføringskurve til vannføring. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstand og fysiske målinger av vannføring ute i elven. De største flomvannføringene er beregnet ut fra et ekstrapolert samband mellom vannstander og vannføringer. For Grovåi er det imidlertid utført vannføringsmålinger for vannføringer på ca. 24 m<sup>3</sup>/s. Det er opp mot en 5 år flom (kulminasjonsverdi) som må sies å være svært bra.

Hydrologisk avdelings database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er derfor alle flomvannføringer noe underestimert, fordi største 24-timersmiddel alltid vil være mer eller mindre større enn største kalenderdøgnmiddel.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at de eldste dataene i databasen er basert på en daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesningene betraktes å representere et døgnmiddel, men kan avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmidlet. Dette gjelder for eksempel registreringene fra målestasjonen 16.32 Hjartsjø i perioden 1920-57.

Ved omregning fra døgnmidler til kulminasjonsvannføringer er det også usikkerhet. For Middøla er omregningen basert både på empiriske formler og analyse av data med fin tidsoppløsning ved nabostasjoner.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn. Hvis disse flomberegningene skal klassifiseres i en skala fra 1 til 3, hvor 1 tilsvarer beste klasse, vil disse gis klasse 2.

## **Referanser**

Einung, H.H. 1943. Storflommen i Tinn 27. og 28. juni 1927. Rjukan 1943 – Tinn kommunes forlag.

Holmqvist, Erik 2007: Flomberegning for Bygdaråi ved Seljord. Flomsonekartprosjektet. Dokument 2-2007, NVE.

NVE, 2002: Avrenningskart for Norge 1961-1990.

Pettersson, Lars-Evan 2006: Flomberegning for Sauland. Flomsonekartprosjektet. Dokument 14-2006, NVE.

Sælthun, N.R. 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport 14-97, NVE.

# Utdrag av beskrivelsen "Storflommen i Tinn 1927".

Utgitt av H.H. Einung på Tinn kommunes forlag i Rjukan i 1943.

## Storflommen i Tinn 1927

OTO

Den naturkatastrofe som inntraff natten mellom den 28. og 29. juni 1927, da heim blei ødelagt og menneskeliv gikk tapt, da sorg og savn gjestet så mange heim i Tinn og mange blei så å si økonomisk ruinert, hører til de hendelser som fester seg i minnet og inntar en bred plass i tidenes tradisjoner.

Når naturkreftene viser seg i all sin velde som i disse timer, da åssidene syntes å være i rørsle, da det ramlet rundt omkring med stein, jord og vann, da folk flyktet bort overlattende sine heim i skjebnens hånd, var det ikke rart om en kone på Rjukan i alvor og redsel ropte over seg: «Dette må være dommedag».

Det kom ikke helt uventet. Slik som værforholdene hadde holdt seg med kulde og nedbør det siste halvår, måtte det få utløsning når varmen kom, men ingen hadde drømt om at omslaget skulde komme så brått og i slike dimensjoner og etterlate så triste følger.

Hele halvåret forut hadde som sagt vært et nedbørens halvår. Den meteorologiske måling på Rjukan viser således at i januar var det 102 mm. nedbør, februar 26, mars 99, april 33, mai 65 og juni 249. Det var således umåtelige snømasser i fjellene rundt omkring. Det holdt seg ennvidere usedvanlig kaldt. 17. mai for eks. var som en vinterdag med snødrev og kulde.

I de 9 forutgående år er det foretatt nøyaktige temperaturmålinger som viser en gjennomsnittstemperatur for mai på 8,8 gr. C. Nå var gjennomsnittet for samme måned 5,64 gr. C. For juni i samme tidsrom finner vi en gjennomsnitt på 13,7, nå var den 10,6.

Som følge av den sterke nedbør og strenge kulde lå snøen tykk helt framover i juni, ikke bare i høgfjellet, men helt ned-



over åssiden. De siste dagene av juni økte nedbøren usedvanlig. Den 25. juni var nedbøren 11 mm., den 26. 13 mm., den 27. 39,5, den 28. 62, den 29. 80 mm. Samme dag, den 28., regnet det 19,2 mm. fra kl. 8 morgen til kl. 14 ettermiddag, og i de følgende 5 timer 40 mm. og til kl. 8 neste morgen 74 mm., tilsammen 135 mm. på ett døgn.

I disse morgentimer nådde uværet sitt høydepunkt. Kl. 6.30 inntrådte en solformørkelse som ikke minst økte uhyggefølelsen. Et dystert mørke med tunge blåsvarte skyer kom veltende inn fra sydvest, og regnet formelig høljet ned. Det slo plutselig over til mildvær med varme vindgust fra fjellet og snøen gikk i løpet av noen få timer over til flytende vannmasser. Det blei en flom som en vel neppe tidligere har vært vitne til selv her i Tinn hvor en er vant med overdrevne værforhold.

De historiske meldinger om tidligere flomskader er sparsomme — iallfall gir de ikke uttrykk for omfanget i sin helhet. Det er heller ikke her oppgaven å komme nærmere inn på dette, det får bli bygdehistorien som her er rette forum.

Vi legger ellers merke til at disse naturkatastrofer synes å ramme distriktsvis. Rollaggrenda er kjent som et meget farlig sted for jordskred, og det var også her det ramlet verst i ulykkesåret 1858. Nå denne gang hendte ikke noe usedvanlig her, men derimot i Dal sogn og Husevoldalen og omkring elvene i Atrå og Middøla i Mæl. Vi får ta en rundtur i bygda og på Rjukan og se på enkelthetene av det som hendte natten mellom den 28. og 29 juni 1927.

*Mæl sogn* er også gjennom tidene blitt rammet av mange og alvorlige naturkatastrofer. Overalt og særlig på Rollagsiden er det dype dalsenkninger — dekker — i åssidene og ved munningen av disse ligger som regel en stor jord- og steinhaug og vitner om at her har engang et veldig skred ramlet nedover. Aller tydeligst viser dette seg på søndre og nordre Rollag på Risjordet, Klonteig, Hagen og Einung. Spredte opplysninger gjennom gamle dokumenter stadfester dette. Det samme er tilfellet på Miland, men her heter det *elvebrudd*, og vi kan forstå at det er Middøla som gjennom tidene har vært den farlige nabo. Det er vel neppe tvil om at hele Grønnskeimogen fra Miland og til gården Mogen gjennom årtusener er opplagt av Middølelva. Det fortelles at den engang i tiden gikk ut ved Landerud forbi Smedshus og til Mogen. Fra Pettersborg og til det det nåværende elveleie er det overalt dype drag etter der elva en gang har gått. Den høye borg ved Landerud syner tydelig at her har den en gang i tiden tatt et kjempetak og skåret seg ned noe i likhet med hva vi nå har sett på flere steder i Tinn.

Nå denne gang slapp merkelig nok Rollaggrenda lett ifra flommen. Den viltre Mjonå brøt riktignok ut av leiet og fosset vilt utover helt bort mot uthusene på søndre Einung. Den grov opp landevegen et langt stykke og etterlot seg hauger med stein og sand utover jordene, men noe egentlig katastrofalt utrettet den ikke. Derimot var Middøla mere grusom mot sine naboer denne gang. Denne elv har omtrent samme nedslagsdistrikt som Bernåselva og er omtrent av samme størrelse. Fra noen småvann fosser den nedover den trange, skogkledde Håkadalen. Den har i lengere tid vært nokså føyelig og i god tro har skogen slått

sine dype røtter helt ned mot elveleiet. Men utover dagen den 28. juni bar den til å innta faretruende dimensjoner og om kvelden ramlet det løs flere jordskred. Ved Gunbjørgset under nordre Miland gikk det to skred like ned i elva, og ved Håkaset under nordre Berge gikk et skred helt ned. Helt oppe fra åskanten gikk et skred som stanset på Håkaset u. Blomhaugen. Ellers gikk det etter øyenvitners utsagn ca. 20 mindre ras som førte skog, jord og stein ned i det trange elveløp. Dette fikk samme virkning som det vi har hørt fra Husevolldalen og Nysetdalen.

Det var et fryktelig syn forteller folk som så det. Det var en øredøvende larm og skogen brakk i stumper som fyrstikker. Elva syntes å komme støtvis og den nye brua ved Håkaset ble feiet bort. Det trange djuv nedover Håkadalen holdt dog elva i tømme helt ned til gården Flaten. Her fikk den fritt løp og forårsaket en ødeleggelse som vil merkes i lange tider framover både for det offentlige og for grunneierne. En innsender i «Rjukan Dagblad» for 9. juli gir følgende skildring:

«Storflaumen hev gjort stor skade nedover Vestfjorddalen. Måna stod sume stader 1,5 meter over vegen og fløynde over øyar, vollar og åkrar og la att etter seg gyrme og sand i stor mengd. Tverråine har fare stygt åt, men verst av alle var Middøla. Og det måtte ein ogso vente, for ho har frå gamalt ord for å vera den mest ustyrlege tverrå i heile Tinn. No er det omlag 70 år sidan ho var so ofseleg som no, og berre dei eldste kjem det ihug. Det ser ut som ho i det minste ein gong i kvart hundradår må ha seg ei slik villmannsrid da ho kan brjote ned og rive sund og øydeleggja alt ho kan få tak i. No var alle vilkår tilstades. Stridt regn og mykje brånande snø i fjellet. Elvi kom ikkje stilt og fredeleg, men med bulder og brak og ein larm som alle vonde makter var lause. Ho førde med seg ei mengd med skog, jord og stein frå Håkadalen og alt skulde gjenom det tronge djuvet ved Bergshaugen. Her lagar det seg svære dammar og når so dei vart sprengde kom åi ned på Milandflaten med ei vannmasse so stor at ein kunde tru det var sjøve Glåma.

Komen ned på Milandsflaten tok ho til å herja villt. Ho grov heilt ut småbruket Kanton so det er ikkje att hustuffer eingong, og nedover heile vegen har ho grave ut skog og jord på bae sidur

so ålega er minst dobbelt so breid som fyrr. Den nye vegbrui greidde seg, men transportbrui til søppelplassen strauk med. Elles braut elvi mange nye laup, soleis eit i kvar ende av vegbrui likso breide som det gamle. Eit laup gjekk tvert gjennom den vesle Miland-byen og beint på stasjonen. Eit anna tok vestover mot eigedomen Elvestad og eit gjekk ned ved Miland skule. Veggen vart øydelagd eit par kilometer og veggen til Bergshaugen er heilt øydelagd, so det vil nok gå lang tid fyrr han blir brukande. Vatnet har gjort stor skade på alle gardar og småbruk på Milandflaten. Det ser fælt ut der no, serleg ved Miland stasjon. Sume stader er all jord vaska burt, andre stader ligg det upp til metertjukke gruslag. Fleire hus stend skakke og skjeive.

Verst gjekk det vel ut over *Hølje Kanton*, for han har mist både hus og grunn. Eigedomen åt *Nils Miland* har au fenge ein hard støyt. Han har mist jordi si. Anten er ho bortvaska eller so er ho nedlest med grus. Ei lukka var det at alle folki og alle husdyri vart berga. Men det var nok i siste liten med mange. Det var 10—12 huslydar som måtte røme til tryggare bustader.»

Det småbruket som er omtalt og som *Hølje Kanton* eide, lå omtrent 300 meter nedenfor gården Flaten. Her stod også de gamle Blomhaug-kvernhusene. Alt er nå feid bort. Da elva brøt ut under Blomhaukbakkene kom den ikke langsomt økende, men i en eneste brusende foss mot Milandgårdene, førende med seg alt som lå i dens veg. Skogen syntes å falle overende for trykket. Hele området som før var delvis oppdyrket, delvis havn med stor frodig løvskog blei forvandlet til en eneste steinhaul. Miland-sagen blei skubbet avsted ca. 20 meter. Hos *Kristen* og *Olav Miland* tok elva et kraftig tak inn i den dyrkede mark langs veggen nedover. Som et eksempel på vannføringen her kan nevnes at helt nede ved Elvestad lå et stort avbarket mastetre midt i veggen. Det gamle elveleie i Middøla blei fylt med stein, så det på mange steder lå høyere enn omgivelsene. Uhyre steinmasser blei drevet helt ned i Måneelva og denne som her går nokså stille, maktet ikke å holde det unna, men blei tvunget mot sydsiden, så det en tid så meget truende ut for jernbanelinjen. At elveleiet blei så innsnevret var formodentlig grunnen til at vannet stod så høyt oppover mot Miland- og Bjørtuftsgårdene. Det fortonet seg her som en stor innsjø, hvor skogen og en og

annen gjerdestolpe minnet om fastlandet. Ved Bjørtuft stod vannet  $1\frac{1}{2}$  meter over vegen.

Det var en stor lykke denne gang at Møsdammen holdt igjen. Den 28. juni var vannstanden i Møsvann 7.10, maksimum er 14,50. Det blei altså 7,4 meter å løpe på. Måneelva nådde derfor ikke den høyde den ellers vilde fått, hvis den hadde hatt fritt løp. Eldre folk husker at den flere ganger har vært større. I 1879 — fortelles det — kunde de således binde prammene i stueveggen på nordre Rollag. Ingen av bruene strøk med denne gang unntagen en mindre bru ved Grønnskei. Likevel anrettet elva stor skade nedover øyene idet den førte med seg sand og skog fra skredene i Dal sogn. Et avholdt skjønn har anslått den samlede skade for ca. 40 grunneiere til 25 000 kroner.

Natten mellom 28. og 29. juni steg Tinnsjø opptil 10 cm. i timen og nådde en høyde på 1,19 meter over regulert høyde. Mellom Fagerstrand og Mæl stasjon var fjorden så stappende full av skog at det var meget vanskelig å ro over. Det så ut som en eneste flytende kvistehaug.

I en årsoversikt skriver herredsagronom *Roalkvam* om skadevirkningene i Tinnbygdene:

«Storflaumen øydelagde mykje og gjorde det strevsamt for mange. Mangt eit engstykke vart nedlagdt og påfyllt med rek og slam så det var mest uråd å slå. Mange stader det aldri hadde vore vassjuk jord fyrr pressa vatnet seg fram i nye årer so det vart lite eller ikkje avling. Mange vegar og bruer vart ufarbare so folk og fe måtte gå lange umvegar for å koma fram. Hestane måtte bera varor på ryggen der dei i mange år hev vore dregne på hjulreidskap. På stutt tid gjorde flaumen endringar med mangt og mykje i bygd.»





## Vedlegg 1

### Delprosjekt 3 Sikring mot flom og erosjon

Delprosjektet omfatter utredning av behov og muligheter for tilpasning til endret klima, både gjennom dimensjonering av drenering, erosjonssikring eller vegen og ved endringer i kriterier for valg av løsninger. Målet er å formulere forslag til endringer i retningslinjer for prosjektering, tilstandsvurdering og vedlikehold. Et titalls pilotprosjekter brukes til utprøving og demonstrasjon.

#### Delprosjektet er organisert i følgende aktiviteter:

- 3-1 Drenering
- 3-2 Erosjonssikring mot strømmende vann
- 3-3 Sikring mot bølgeerosjon
- 3-4 Miljøeffekt av endret klima
- 3-5 Overvann: fordrøyning, drenering og vanngjennomløp (2010)

#### **Drenering** ser på følgende tema:

- metoder og datagrunnlag for beregning av nødvendig dreneringskapasitet,
- for nye veger: bedre verktøy for prosjektering og valg av drensløsninger for vegkroppen og omgivelsene
- for drift/vedlikehold og eventuell oppgradering av eksisterende veger: tilstandsvurdering, tilstandsdata til bruk i kontrakter

**Erosjonssikring mot strømmende vann** ser på utfordringer knyttet til prosjektering og sikring av brufundamenter samt beskyttelse av vegens omgivelser og sikring av vegskråninger.

**Sikring mot bølgeerosjon** ser på utfordringer knyttet til veger, ferjekaier, tilløpsfyllinger for bruer og deres sikring mot bølgeerosjon og overskylling

**Miljøeffekt av endret klima** har som mål å utvikle et bedre og klimatilpasset grunnlag for valg og prosjektering av renseløsninger for avrenningsvann fra veg.

**Overvann: fordrøyning, drenering og vanngjennomløp** er en koordinerende aktivitet i 2010 som har som mål å utvikle grunnlag for en håndbok med vannhåndtering som tema.







## Vedlegg 2

### Prosjektrapporter fra 'Klima og transport'

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lurfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk
2520	Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2542	Status og problemstillinger for grusvegnettet ved endret klima	Per Otto Aursand og Joralf Aurstad, Statens vegvesen og Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS
2566	Pilotprosjekt på stikkrenner E136 Dombås - Ålesund	Kristine Flesjø, Hilde Hestangen, Statens vegvesen og Than Ngan Nguyen, NTNU student
2573	Rensing av overvann fra vei i fremtidens klima, 2071 - 2100	Svein Ole Åstebøl, COWI AS, Thorkild, Hvitved-Jacobsen og Jes Vollertsen, HV-Consult ApS
2582	Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller	Priska Heller og Lars Jenssen Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU
2586	Utvikling og uttesting av skredrisikomodel for vegnettet i Norge	Heidi Bjordal og Martin Weme Nilsen, Statens vegvesen





**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Postboks 8142 Dep  
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN 1504-5005