

Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru

Kari Svelle Reistad

8
2009

O P P D R A G S R A P P O R T A



Hydraulisk beregning av Middøla ved Middøla bru

Kari Svelle Reistad

Norges vassdrags- og energidirektorat
2009

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

Desember 2008

Innhold

Sammendrag	5
1 Beskrivelse av prosjektet.....	7
1.1 Kontakt med oppdragsgiver	7
1.2 Kort beskrivelse av oppgave og forventede resultater	7
2 Beskrivelse av området.....	8
2.1 Generell beskrivelse.....	8
2.2 Bruene.....	10
2.2.1 Miland bru.....	10
2.2.2 Middøla bru	11
3 Metode, databehov og datainnsamling.....	12
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 Brueometri Middøla bru.....	15
3.3.3 Vannføringsmåling	16
4 Hydraulisk modellering.....	17
4.1 Valg av modellverktøy	17
4.2 Grensebetingelser	17
4.3 Kalibrering/valg av friksjonstall	20
5 Resultater	21
5.1 Generelt for strekningen.....	21
5.2 Spesielt for Middøla bru	25
5.3 Spesielt for Miland bru	26
6 Begrensninger og usikkerhet	26
6.1 Begrensninger	26
6.2 Usikkerhet	26
6.3 Diskusjon og anbefalinger	27
7 Referanser.....	28
8 Vedlegg.....	28
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

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 bla 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 fakturerert 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
sekjonssjef



Kari S. 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 bruhaugen 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 floodata 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 ²	l/s km ²	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
	m ³ /s	18	24	29	34	44	49	56	65

Tverrprofiler i elvestrekningen og bruene 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 innmalte 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 strømningen over til å bli overkritisk før vannstanden stues opp foran Middøla bru. Gjennom bruhaugen er strømningen 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 farens 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 bruhaugen 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 gjennomsnittlig vannhastighet, vannstand, vannføring og bunnforhold flere steder langs elva, spesielt ved bruer. En hydraulisk modell kan gi oss denne informasjonen.

Inngangssdata i modellen er oppmalte 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 km² 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 gjentaksintervall 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, oppmalte 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 gjentaksintervaller opp til 500-års flom. Statens Vegvesen bruker vanligvis 200-års flom som grunnlag for dimensjonering men ønsker også å se på om andre gjentaksintervall 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 gjentaksintervall opp til 500 år.

Areal	Enhet	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
36,9 km ²	l/s km ²	492	639	786	934	1179	1327	1523	1769
	m ³ /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 km² (døgnmidler). Videre benyttet de en faktor på 1,3 mellom kulminasjon og døgnmiddel, med et areal på 36,9 km² fikk de da en middel og 500-års flom i Middøla på 11 og 28 m³/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 km² (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 etter at 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 m³/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.

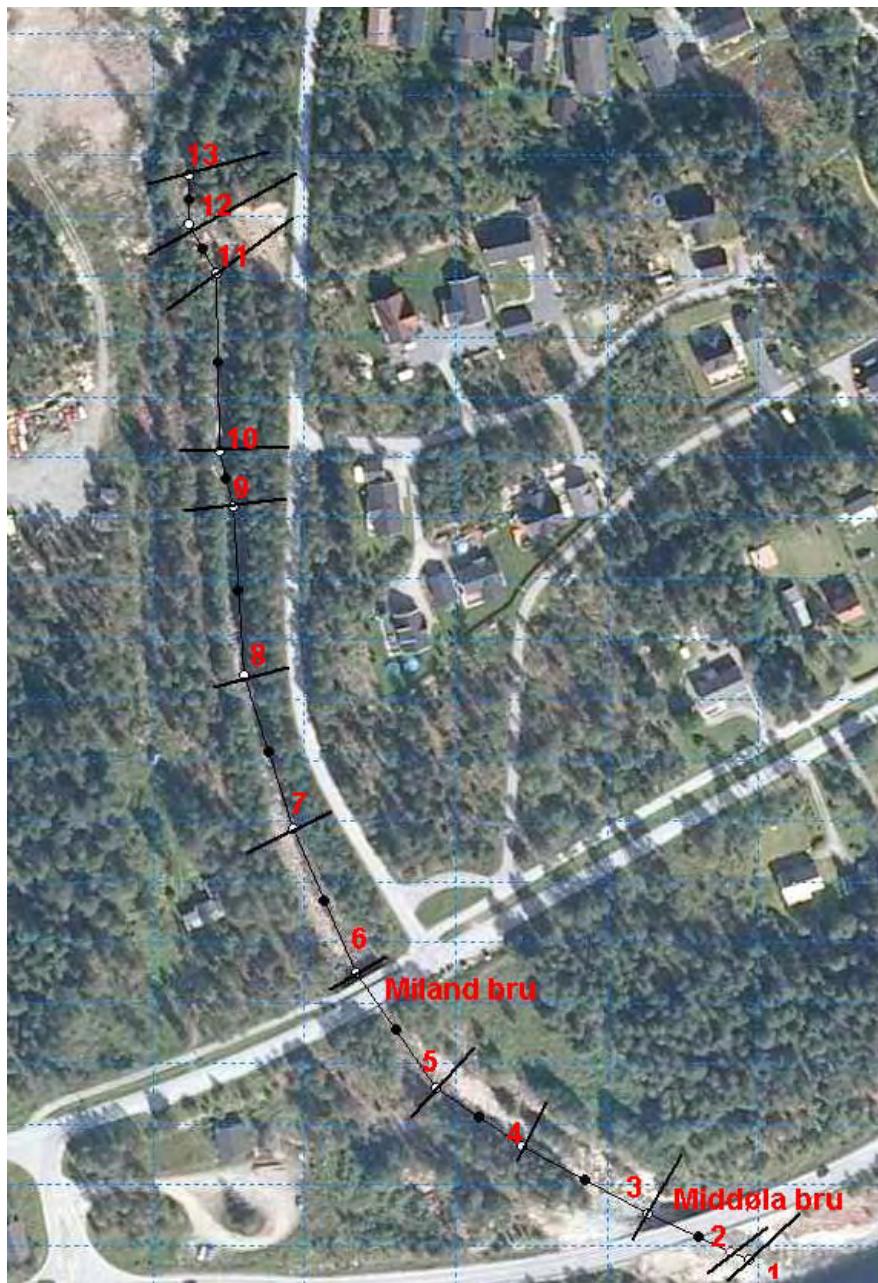


Fig 8: Bildet viser hvor tverrprofilene ble målt inn og nummereringen. Bakgrunnsbildet er kjøpt fra "Norge i Bilder".

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.

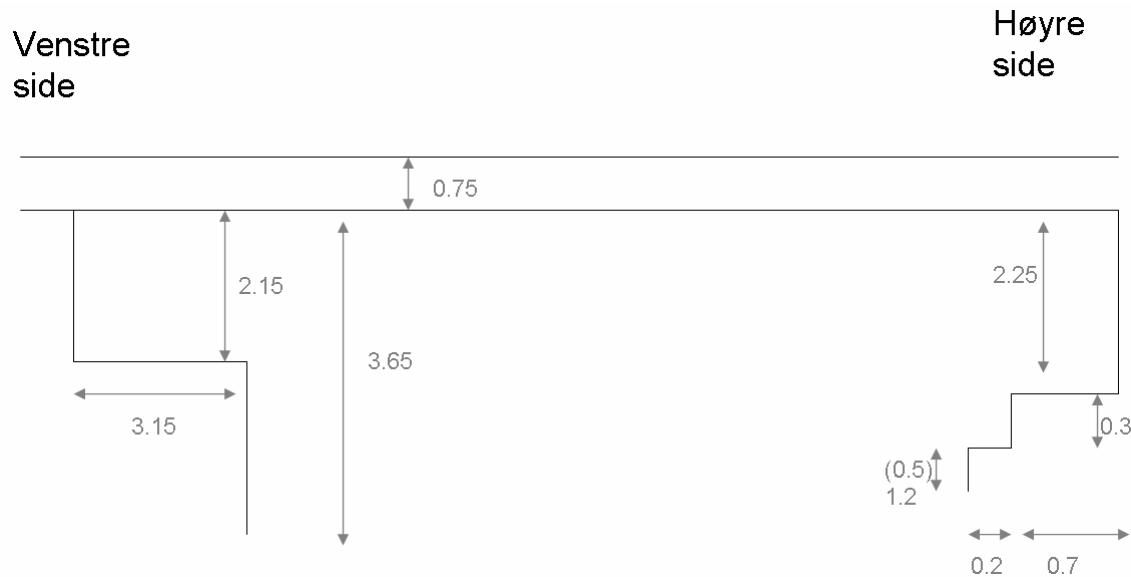


Fig 9: Brueometri for Middøla bru sett fra oppstrøms side.

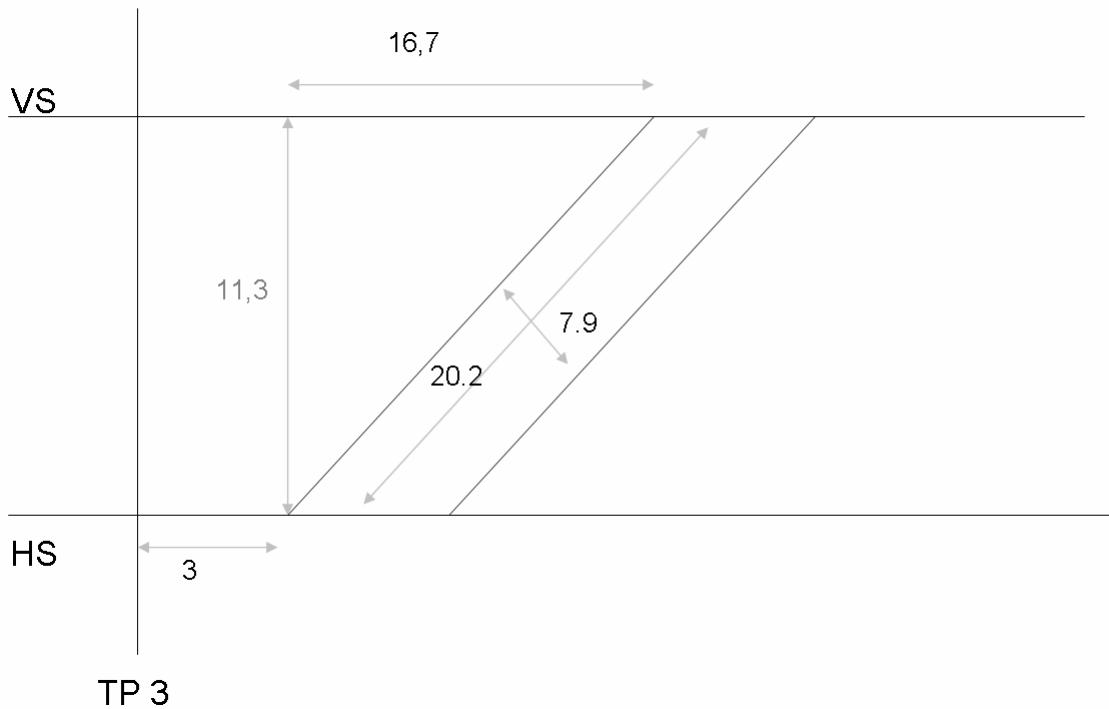


Fig 10: Middøla bru sett ovenfra. Oppstrøms side til venstre på figuren.

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).

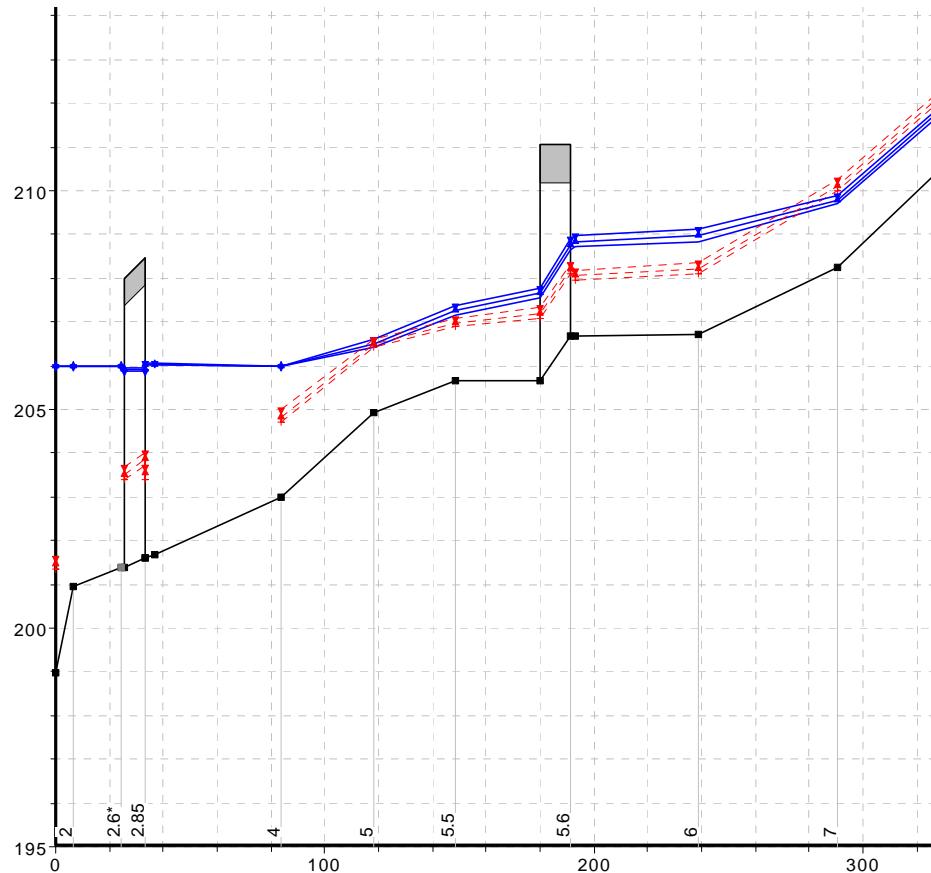
Begge modellene er basert på en éndimensjonal hydraulisk strømningsanalyse. Modellene kan beregne underkritisk, overkritisk strømning eller en kombinasjon av disse. Den hydrauliske simuleringsmodellen trenger nødvendige informasjon som bl.a. terrengdata i form av tverrprofiler, kulvert.- og bruprofiler, 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.

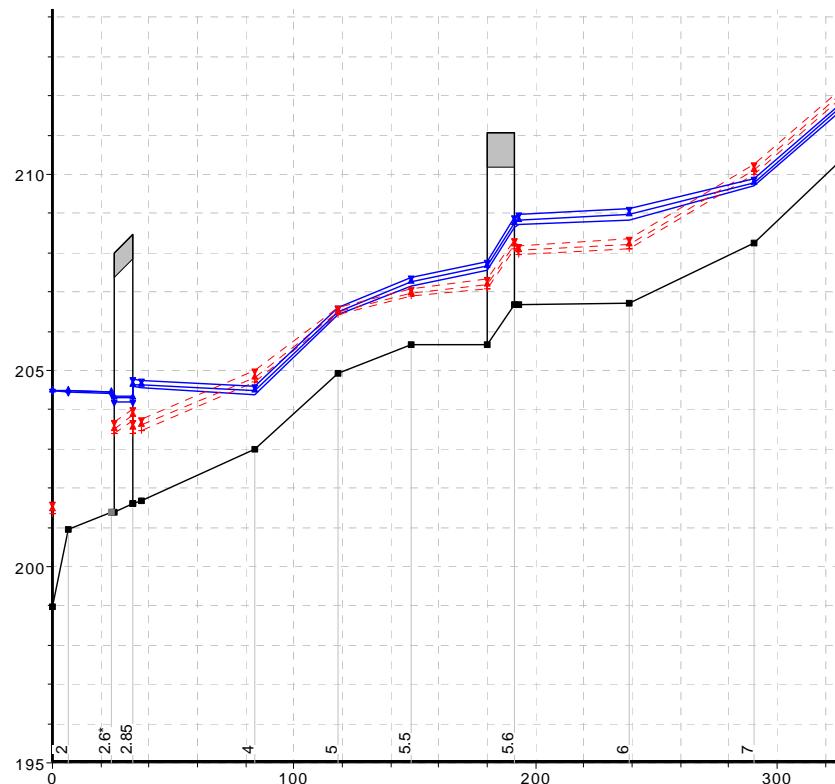
4.2 Grensebetingelser

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 bremser 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.

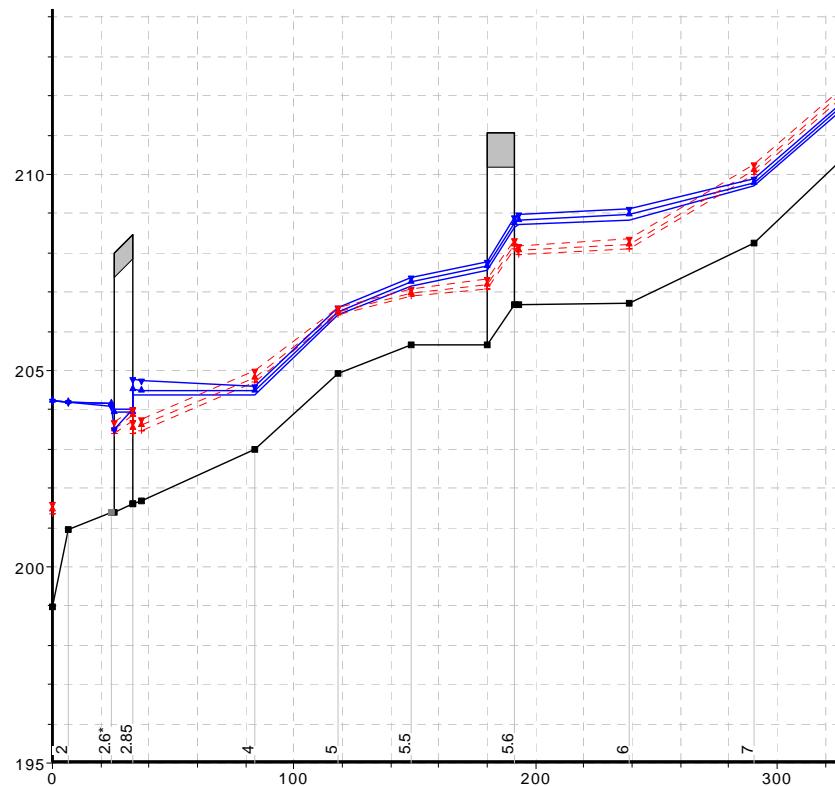
Som øverste grensebetingelse ble det brukt normalhelning mellom de øverste tverrsnittene. Dette vil si å anta at helningen på vannspeilet mellom disse i en normalstrømstuasjon er den samme som elvebunnen. Slik vil det aldri være men i en modell som vår hvor vi i øverste ende har oppmålt en lang elvestrekning 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 tilegg 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 innholder beregnende 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 tverrprofilet der hydraulisk ruhet er antatt ut fra erfaring. Vannstands- og Froude-tallsverdier antas å være mer sikre.

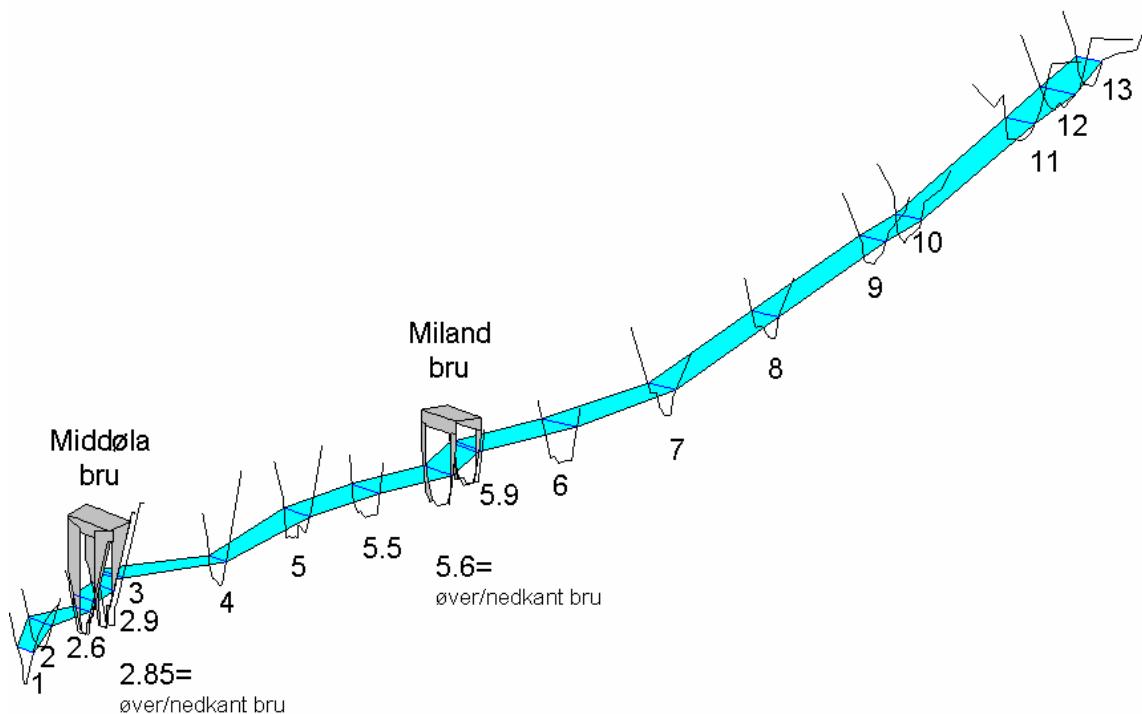


Fig. 14. Plott fra HEC-RAS 4.0 som viser beregnet vannstand for 200-års flom. Plottet viser alle profilene også i bredden. For detaljer rundt bruene, se fig 16-17.

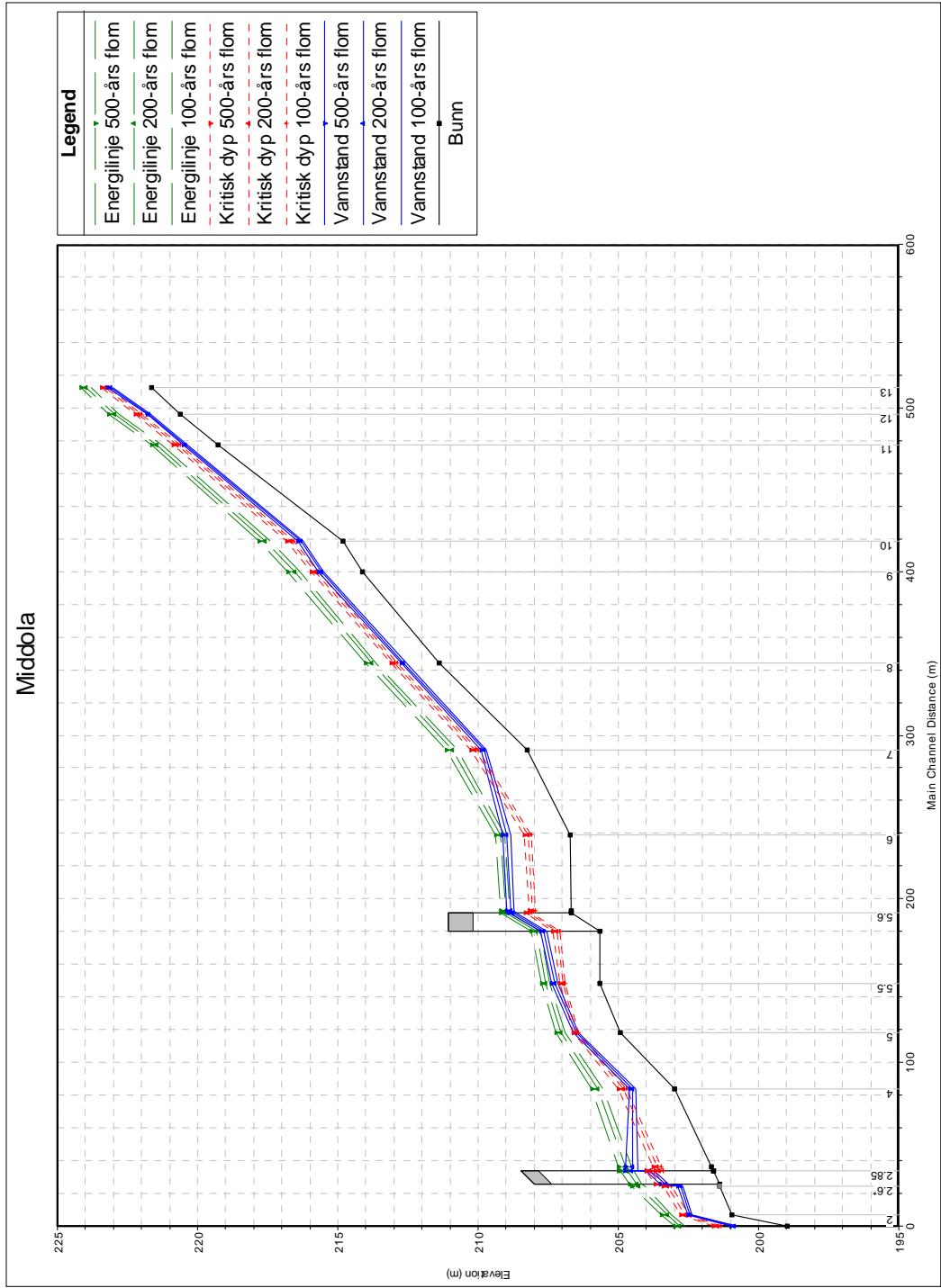


Fig 15. Plott fra HEC-RAS 4.0 som viser beregnede vannlinjer for 100-, 200-, og 500-års flom, kritisk dyp samt energilinjia langs hele elvestrekningen.

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.

Frekvens	Tverrprofil nr	Vannstand [m]			Kritisk dyp			Hastighet [m/s]			Froude-nr		
		n-25%	Valgten n	n + 25%	n-25%	Valgten n	n + 25%	n-25%	Valgten n	n + 25%	n-25%	Valgten 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	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	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	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	
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	
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	
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	

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%	Valgten n	n + 25%	n-25%	Valgten n	n + 25%	n-25%	Valgten n	n + 25%	n-25%	Valgten 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 bru'en. 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 energilinjen, som vist på Fig. 11.

Høydeforskjellen mellom beregnet vannstand og energilinjen representerer hastighetsenergien i vannstrømmen.

Bru'en er beregnet i to profiler, ett som er overkant bru og ett som er nedkant. Fra et stykke oppstrøms bru'en og ned til nederste bruprofil blir vannet stuet opp, sansynligvis pga innsnevring under bru'en. Elven kommer fra et langt parti først overkritisk, så kritisk strømning med relativt høy vannhastighet før hastigheten bremser opp i et vannstandssprang rett oppstrøms bru'en. Gjennom bru'en 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 strømningen endres fra under-til overkritisk. I praksis betyr dette at vannstanden går ned mens vannhastigheten øker. Videre nedstrøms bru'en 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 bru'en.

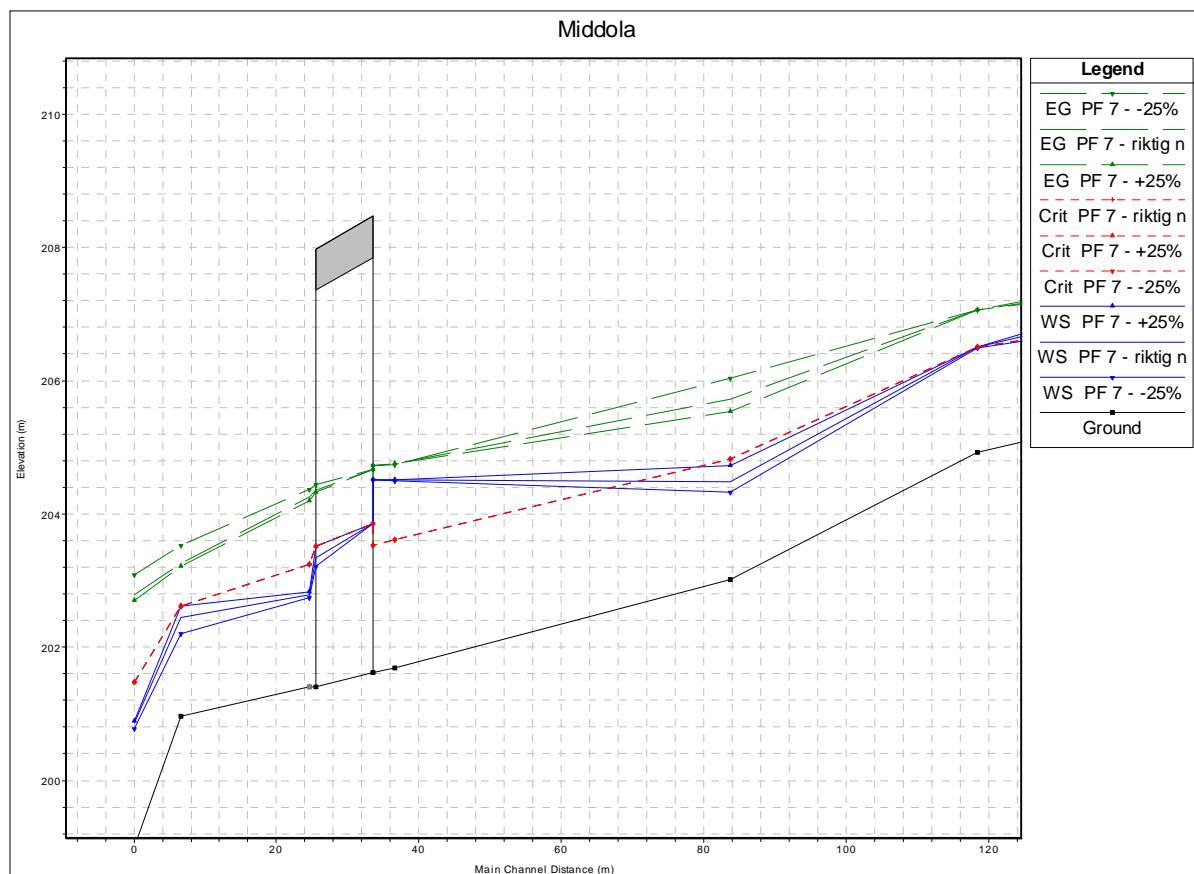


Fig. 16. Plott fra HEC-RAS 4.0 av resultat fra beregning av vannstand 200-års flom ved Middøla bru'. Plottet viser også beregnet vannstand for Manningstall (friksjonstall) variert med $\pm 25\%$. Tabellen viser også hvordan resultatene varierte med 25% større/mindre friksjons-/Manningstall (n), dette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

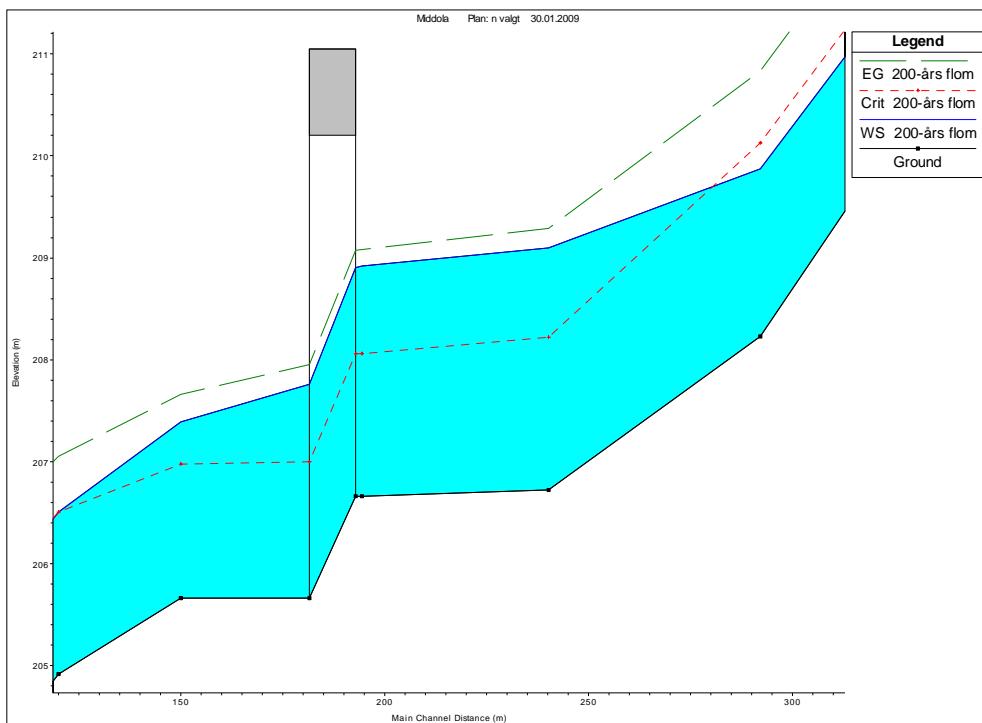


Fig. 17. Plott fra HEC-RAS 4.0 av resultat fra beregning av vannstand 200-års flom ved Miland bru.

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 vannlinjeberegningmodell. Det vil si at det samles inn samhørende 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 innvirket på de beregnede vannstandler. 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 befaring, 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	Q (m ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energielinjens helling (m/m)	Vann- hastighet (m/s)	Strømnings- areal (m ²)	Vannflaten- brekke (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 ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens høyde (m/m)	Vann-hastighet (m/s)	Strømnings-areal (m ²)	Vannflatenes breddde (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 ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens høyde (m/m)	Vann-hastighet (m/s)	Strømnings-areal (m ²)	Vannflatenes breddde (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 ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens høyde (m/m)	Vann- hastighet (m/s)	Strømnings- areal (m ²)	Vannflaten- bredder (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 ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens høyde (m/m)	Vann- hastighet (m/s)	Strømnings- areal (m ²)	Vannflatenes 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	0.003552	2.15	33.81	17.62	0.42
2.85	BR U	Middelflom	18	202.77	202.77	0.036855	3.12	5.77	5.8	1
2.85	BR U	5-års flom	24	203.11	203.11	0.032134	3.03	7.95	7.88	0.95
2.85	BR U	10-års flom	29	203.22	203.22	0.034417	3.32	8.79	8.14	0.99

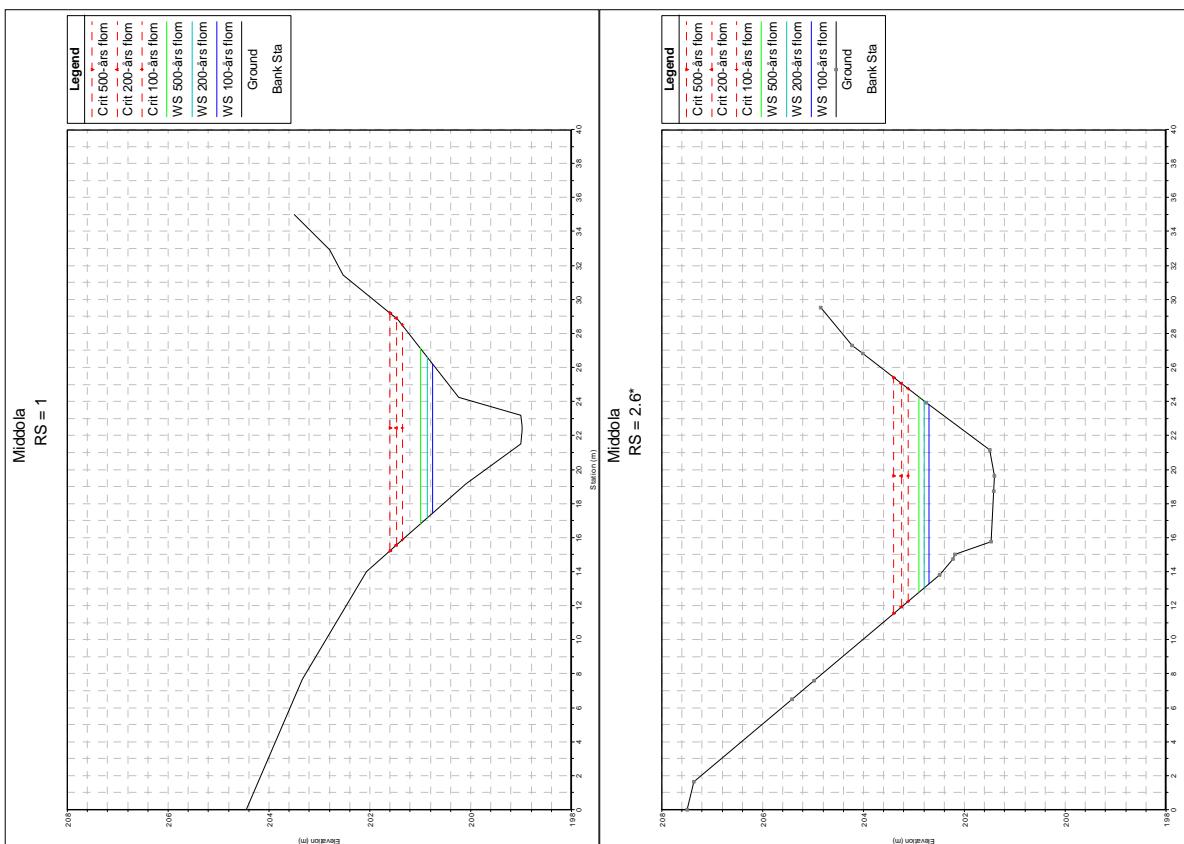
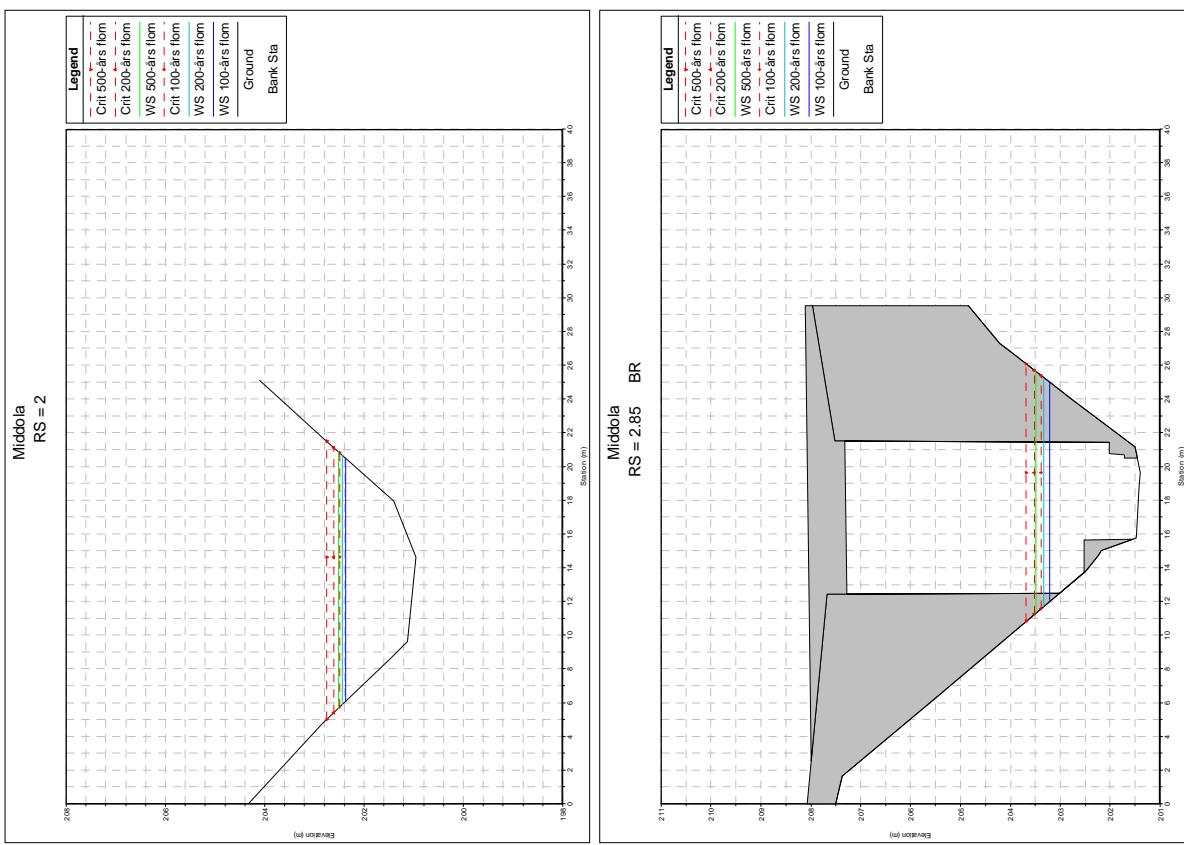
Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens høyde (m/m)	Vann-hastighet (m/s)	Strømnings-areal (m ²)	Vannflatenes bredde (m)	Froude-nr
2.85	BR U	20-års flom	34	203.35	203.35	203.96	0.033127	3.47	9.91	8.46
2.85	BR U	50-års flom	44	203.6	203.6	204.3	0.031012	3.72	12.1	8.97
2.85	BR U	100-års flom	49	203.71	203.71	204.46	0.030641	3.85	13.09	8.97
2.85	BR U	200-års flom	56	203.85	203.85	204.66	0.030674	4.03	14.34	8.97
2.85	BR U	500-års flom	65	204.02	204.02	204.92	0.030651	4.24	15.88	8.97
2.85	BR D	Middelflom	18	202.59	202.59	203	0.03562	2.84	6.34	7.9
2.85	BR D	5-års flom	24	202.69	202.78	203.27	0.044031	3.38	7.13	8.15
2.85	BR D	10-års flom	29	202.82	202.92	203.47	0.042207	3.58	8.2	8.47
2.85	BR D	20-års flom	34	202.92	203.05	203.66	0.042589	3.81	9.1	8.73
2.85	BR D	50-års flom	44	203.12	203.27	204	0.043237	4.19	10.8	8.97
2.85	BR D	100-års flom	49	203.21	203.38	204.15	0.043248	4.35	11.62	8.97
2.85	BR D	200-års flom	56	203.34	203.51	204.36	0.042521	4.53	12.79	8.97
2.85	BR D	500-års flom	65	203.5	203.68	204.62	0.041974	4.75	14.21	8.97
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	202.18	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

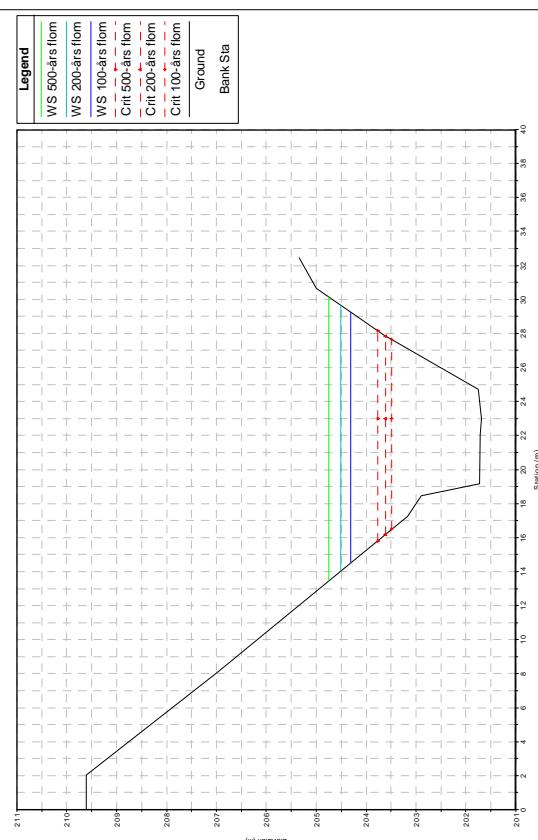
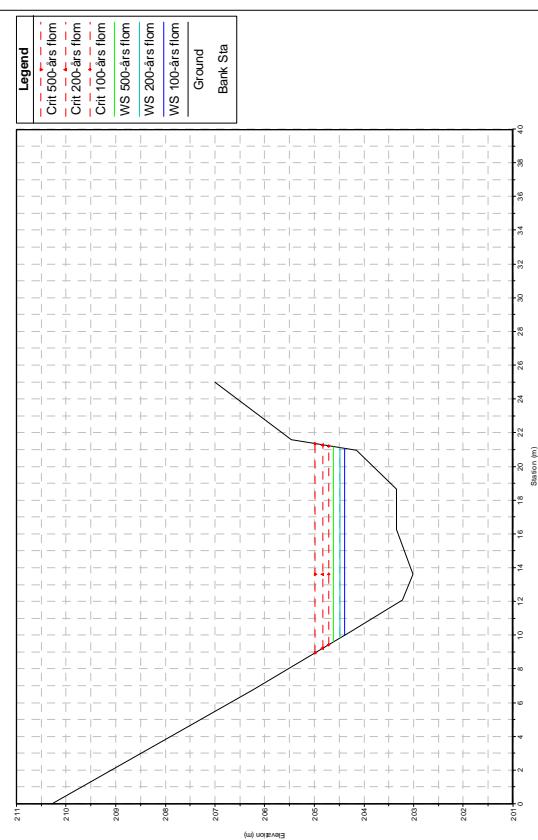
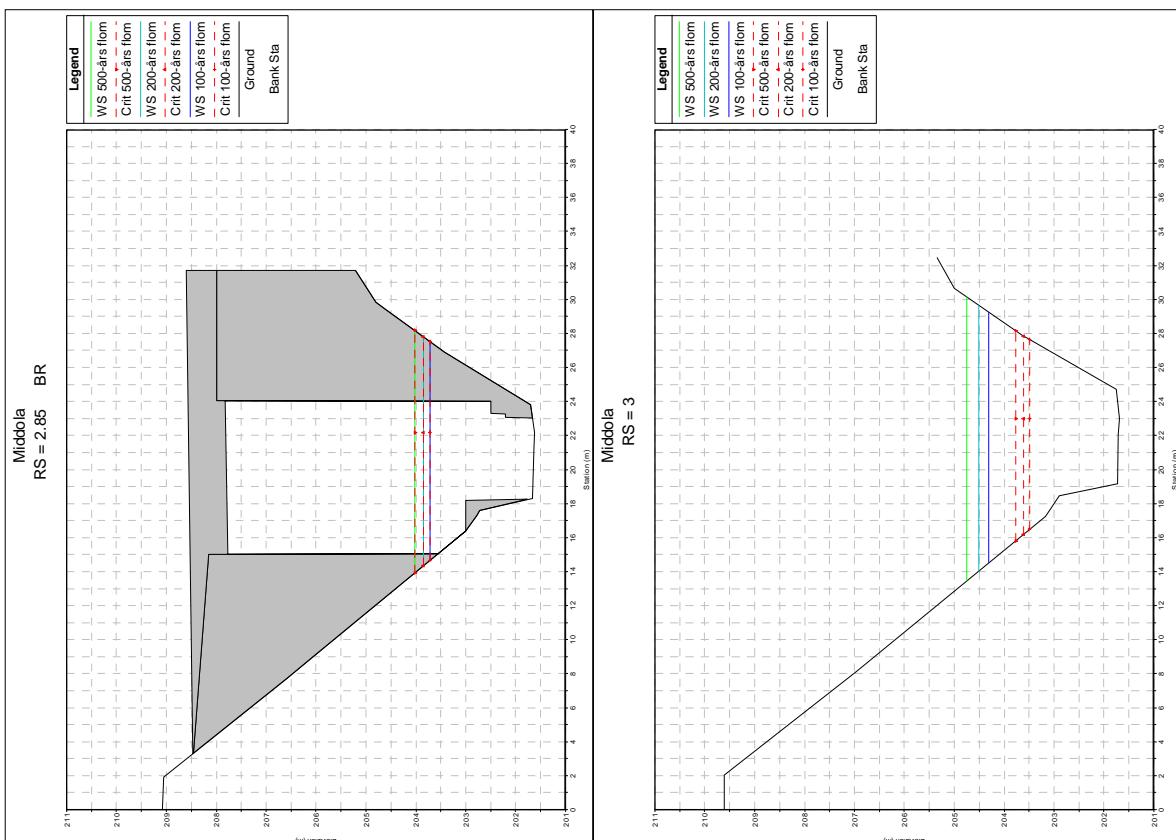
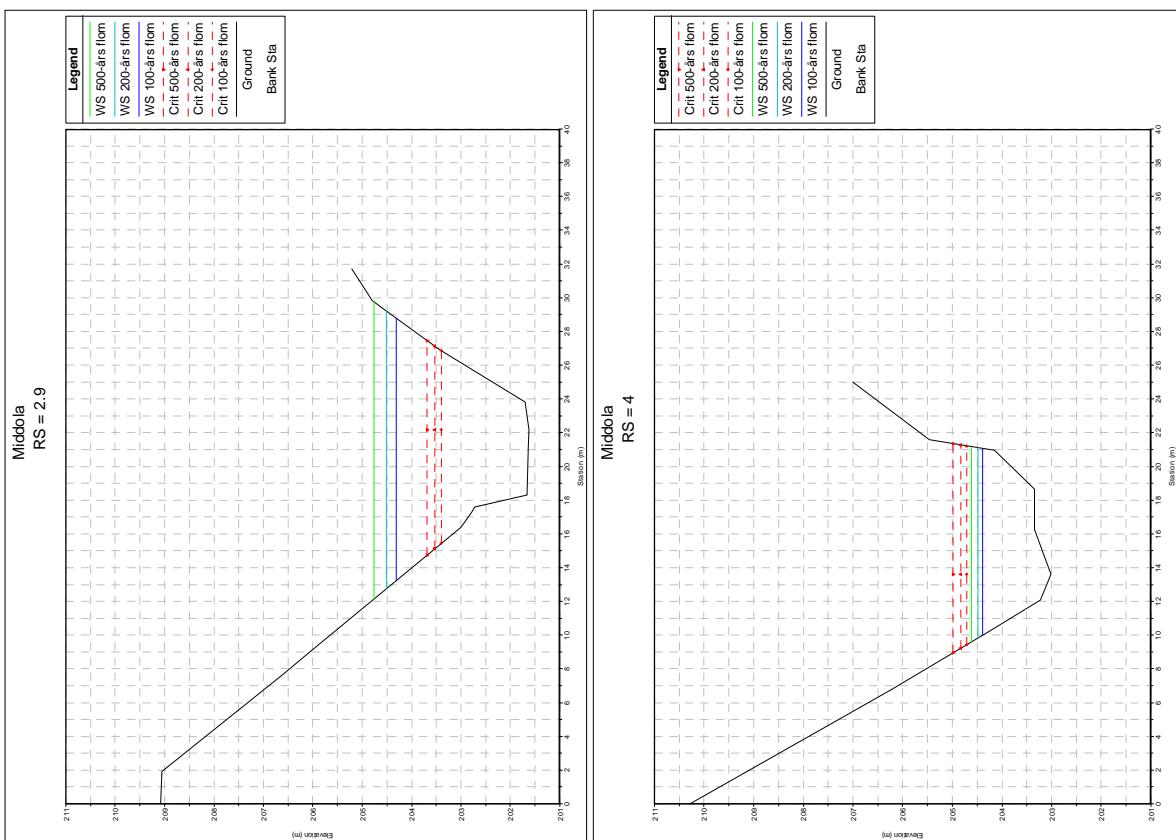
Tverrprofil nr	Flomstørrelse	Q (m ³ /s)	Vannstand (m)	Kritisk dyp (m)	Energilinjen (m)	Energilinjens høyning (m/m)	Vann- hastighet (m/s)	Strømnings- areal (m ²)	Vannflaten- bredder (m)	Froude-nr
2	200-års flom	56	202.44	202.61	203.26	0.02994	4.15	15.09	14.78	1.15
2	500-års flom	65	202.52	202.76	203.48	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	0.132224	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

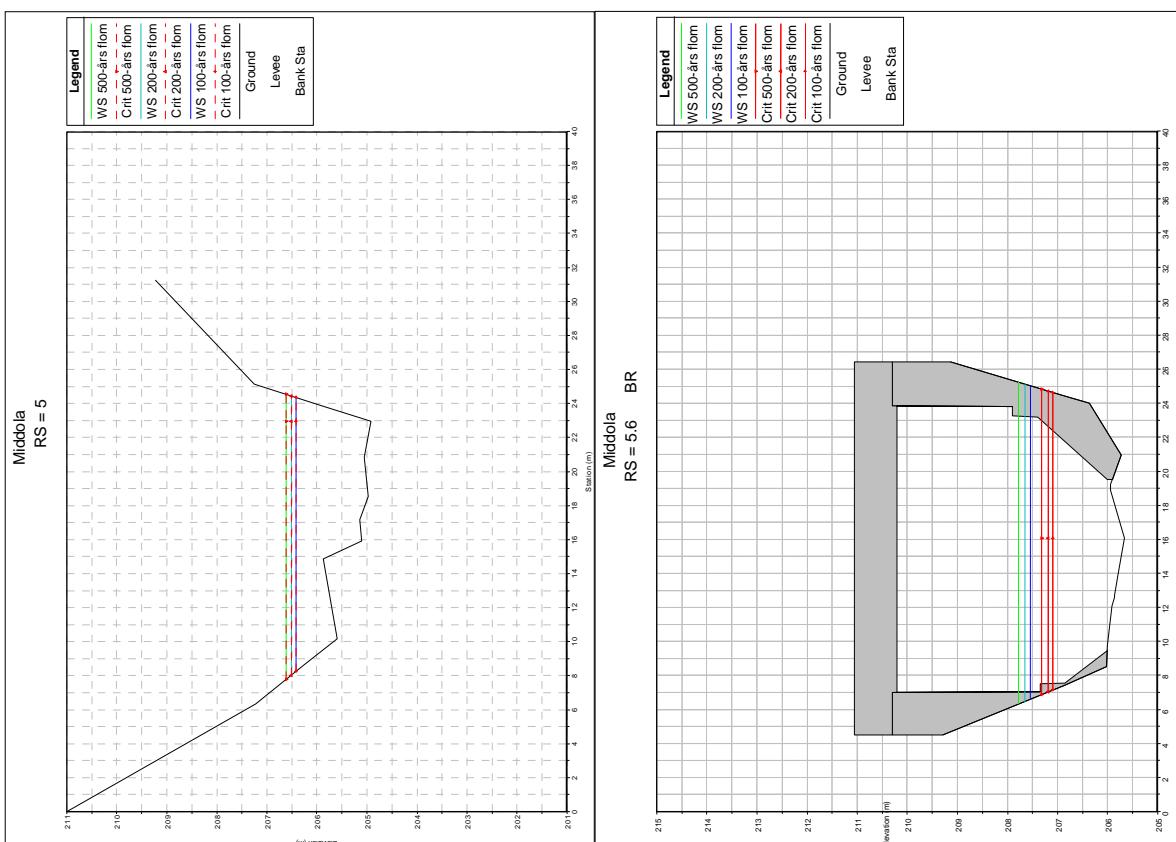
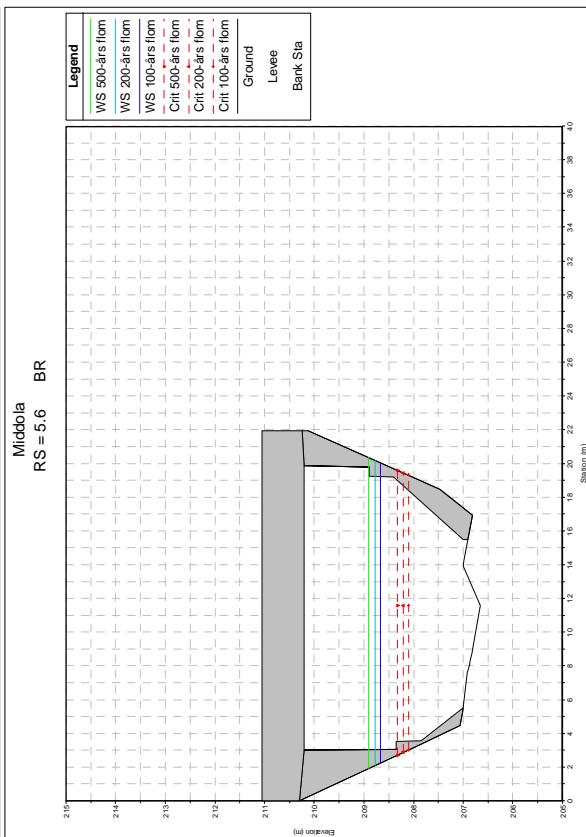
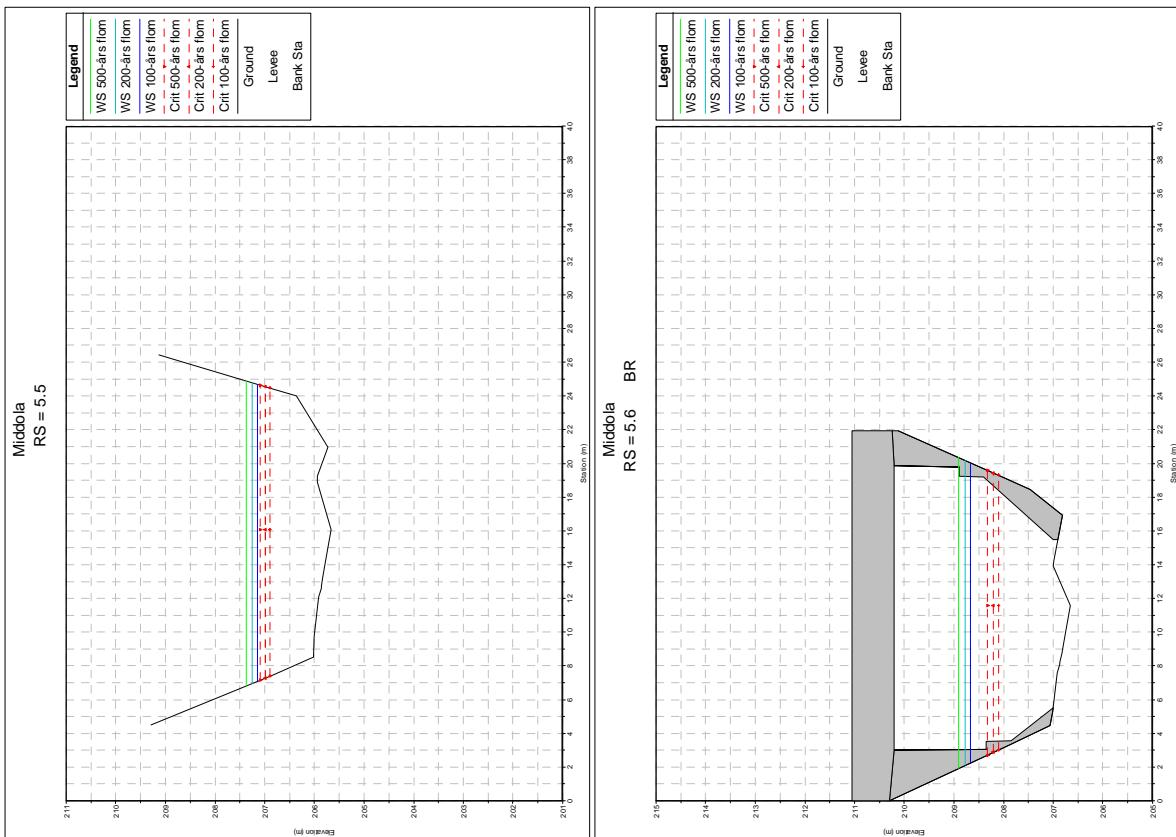
Vedlegg 2. Tverrprofiler med beregnet vannstand for 100-, 200- og 500 års flom

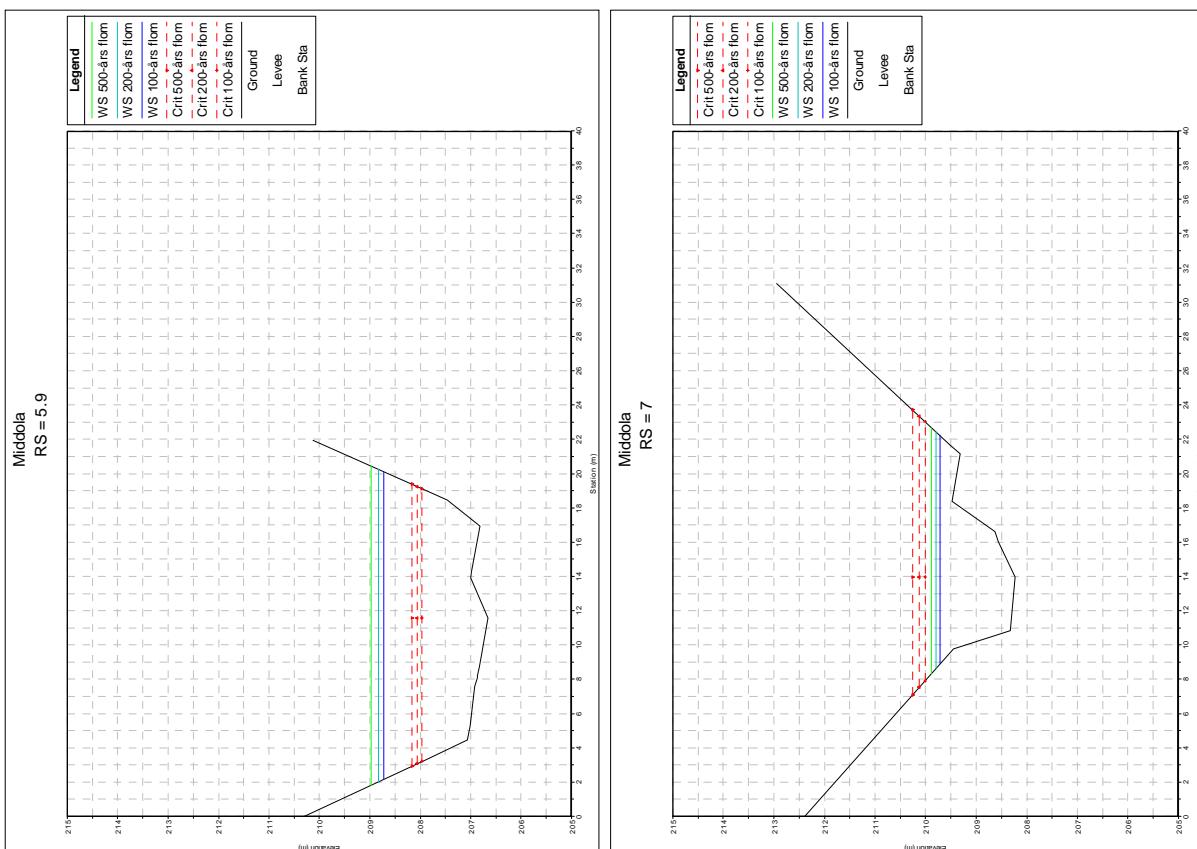
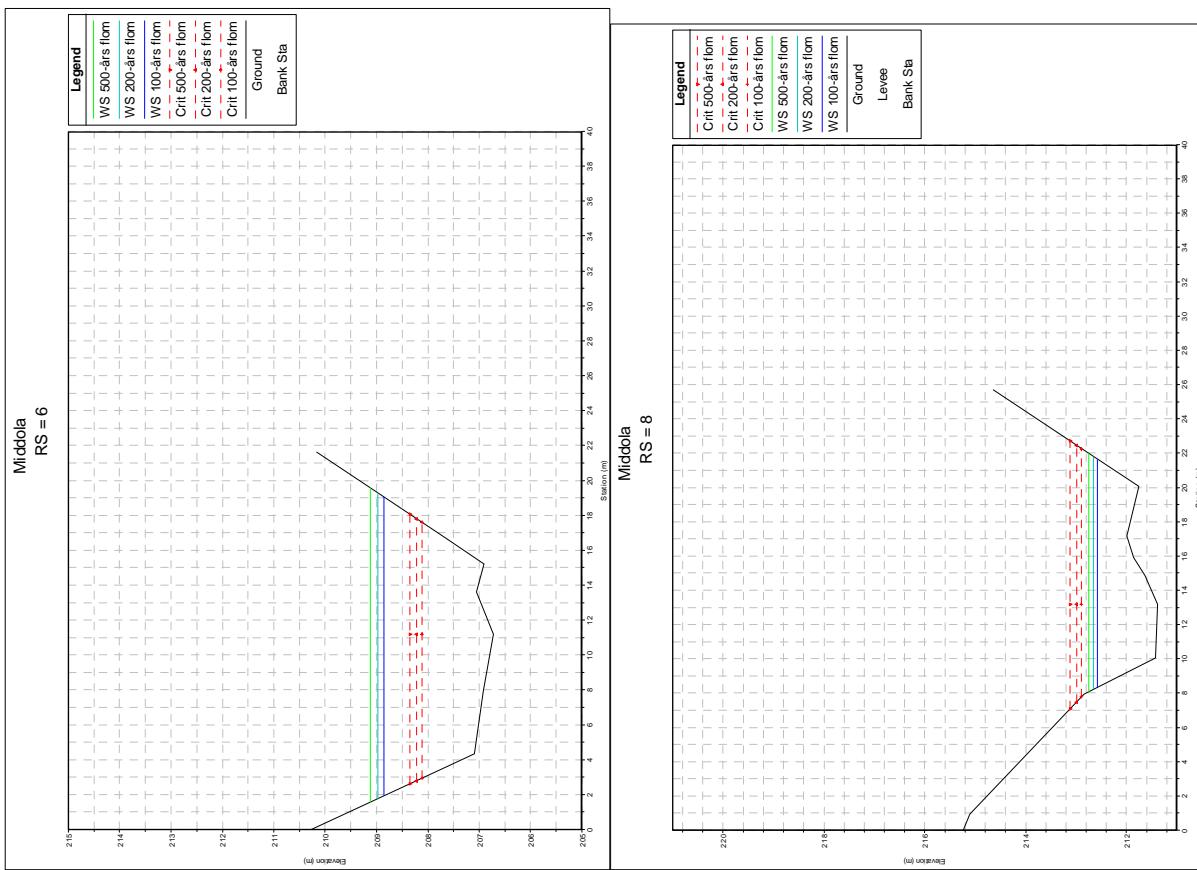
Figurene starter med nederste profil. De angir vannstand (WS: Water surface) for 100-, 200- og 500-års flom samt beregnet kritisk dyp (Crit). I tverrprofiler hvor beregnet vannstand er lavere enn kritisk viser det at modellen har beregnet kritisk strømning gjennom tverrprofilen. Svart linje viser innmålt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

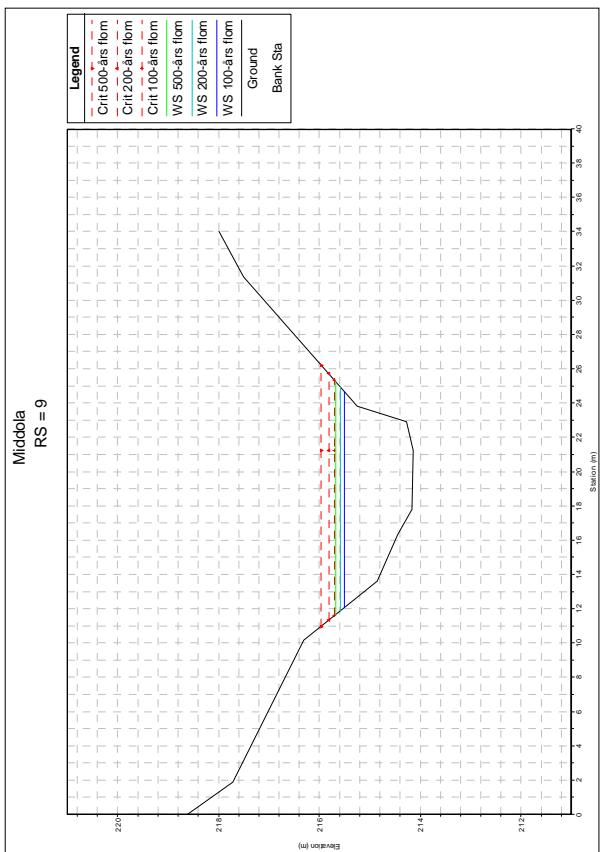
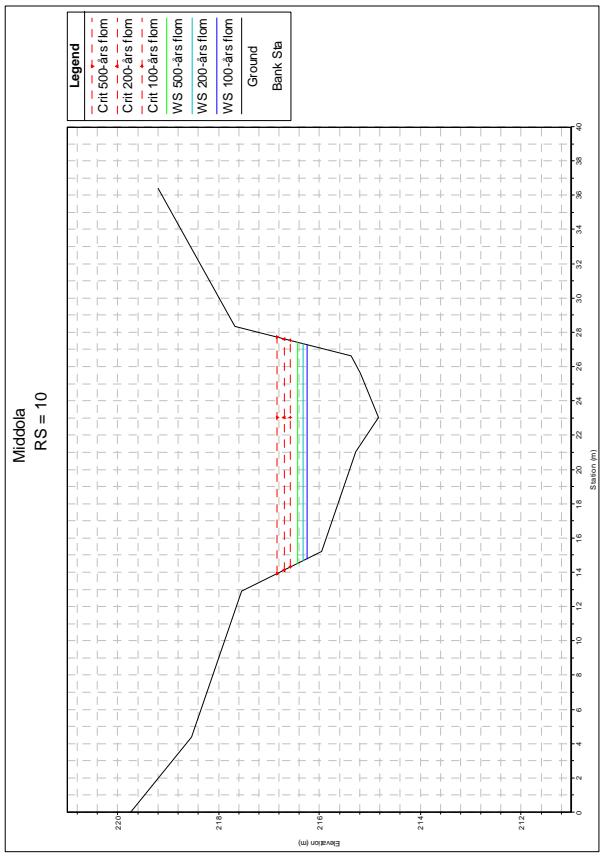
- Se figur 8 og 14 i hoveddokument for plassering av profilene på kartet og i terrenget i modellen
- Se vedlegg 3 for rapport fra oppmåling



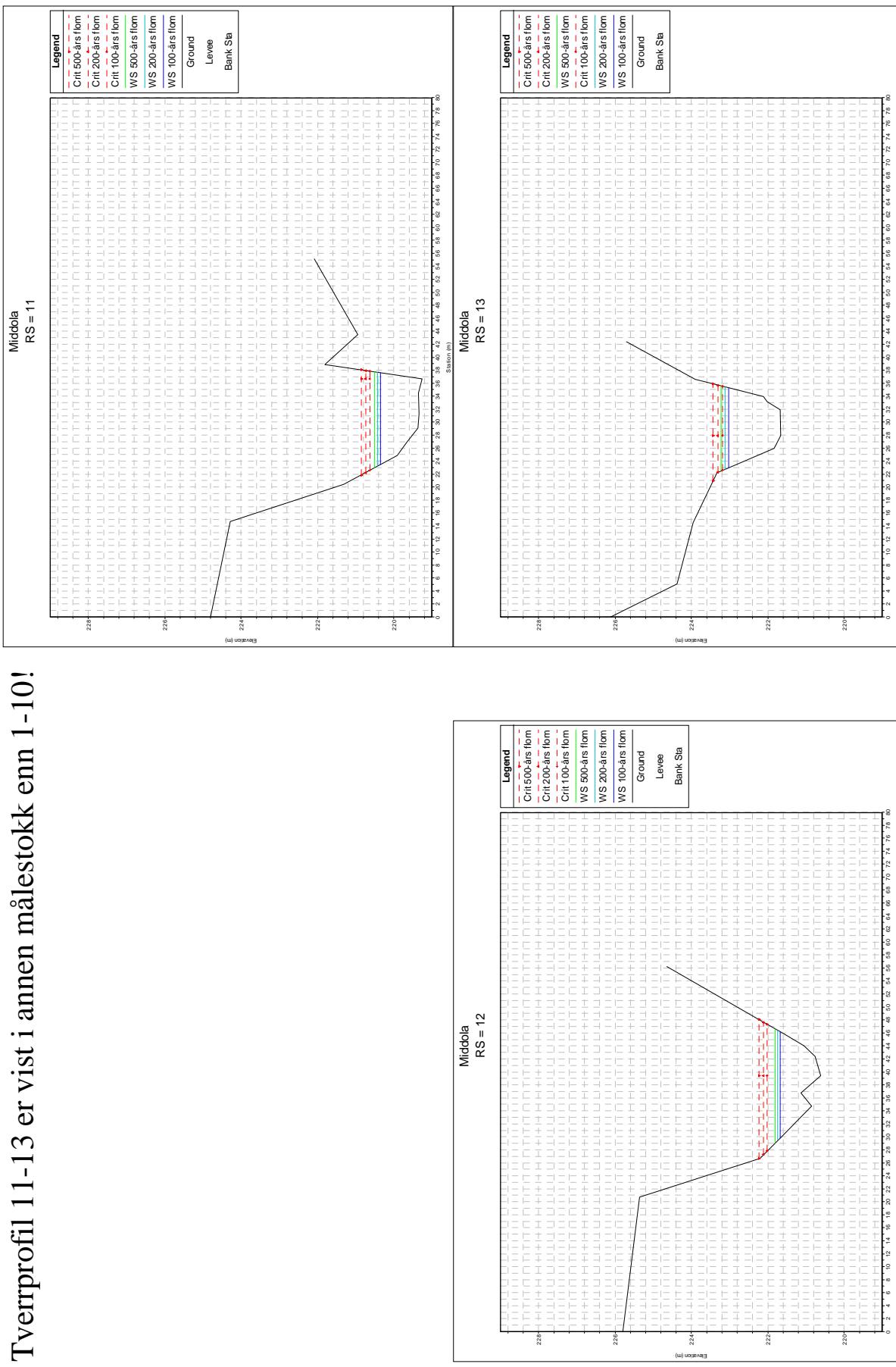








Tverrprofil 11-13 er vist i annen målestokk enn 1-10!



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

Rapport fra oppmåling av tverrprofiler ved Busnesgren og Miland

1	Generelt.....	2
1.1	Oppdragsgiver.....	2
1.2	Oppdragets nummer og navn	2
1.3	Lagring av observasjoner og koordinater.....	2
1.4	Rapport.....	2
2	Målearbeider	2
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	Høydereféranser	3
2.6	Målemetoder	3
3	Beregninger	3
3.1	Horisontalt og vertikalt datum.....	3
3.2	Beregningsutstyr.....	3
3.3	Beregningsmetode	4
3.4	Kommentarer til resultatet.....	4
	Koordinater	5
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 bearbeide 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 Kjøllmoen 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 Høyderefereanse

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.	Punktttype	N-koord.	Ø-koord.	Høyde _{ortho}
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 (kumlokk)	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.)