NVE

Flom- og hydrauliske beregninger ved bygging av ny bru over Gaula ved Singsås

Beate Sæther

15
2006

OPPDRAGSRAPPORT A

Flom- og hydrauliske beregninger ved bygging av ny bru over Gaula ved Singsås

Norges vassdrags- og energidirektorat
2006

Oppdragsrapport nr 15 2006

”Flom- og hydrauliske beregninger ved bygging av ny bru over Gaula ved Singsås”

Oppdragsgiver: Statens vegvesen

Forfatter: Beate Sæther

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 10
Forsidefoto: (Foto: Hilmar Tollefsen. Bildet viser det aktuelle bruområdet.
ISSN: 1503-0318

Sammendrag: For å sikre brua mot erosjon, anbefales det å erosjonssikre rundt brufundamentene og på begge elvesidene.

Anleggsfasen er planlagt gjennomført i perioden september til desember. Det er valgt å legge anleggsveien og spuntkassen med en sikkerhet mot overtopping på 90 %. Dette tilsvarer en vannføring på 200 m^3/s (maksverdi) ved brua.

Anleggsveien bør gå med kortes mulig avstand fra land til pilarfyllingen for å redusere virkningene i elva. Pga av store vannhastigheter ved lave vannføringer i dette området, er det nødvendig å legge en anleggsbru over det dypeste partiet i elva (lengde ca 30 m). Dette vil redusere presset og erosjonspotensialet på det resterende løpet.

For å redusere mulige erosjonsproblemer og andre ulemper, er det viktig at byggefasen planlegges nøye i forhold til fremgangsmåte, is- og vannføringssituasjoner. Permanent sikring bør bygges så tidlig som mulig i anleggsprosessen.

Emneord: Midtbygdavassdraget, flom, flomvannstand, kulvert

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

November 2006

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Innledning **7**

1.1 Bakgrunn for rapporten 7
1.2 Beskrivelse av området 7

2 Metode og databehov **10**

2.1 Modellforutsetninger 10
2.1.1 Is 11
2.1.2 Masseavlagring 11
2.2 Tverrprofiler 11
2.3 Kalibrering av modellen 11

3 Beregningsresultater **12**

3.1 Krav til sikkerhet for konstruksjoner i vassdrag 12
3.2 Beregning av dimesjonerende vannstander for Gaula ved Singsås13
3.3 Anbefaling av minimum kotehøyde for underkant bru for nødvendig sikkerhet mot is og flom 14

4 Erosjonssikring **15**

4.1 Lokal erosjon 15
4.2 Generell erosjon 15
4.3 Anleggsfase 16
4.4 Beregning av nødvendig steinstørrelser, dekklagstykkelse og utbredelse 17
4.4.1 Nødvendig steinstørrelse 17
4.4.2 Dekklagtykkelse og utførelse 19
4.4.3 Utbredelse av sikringslag for plastring av pilar og elvesider. 20
4.4.4 Anleggsfasen 21

5 Usikkerhet **24**

6 Oppsummering og konklusjon **24**

7 Referanser **25**

8 Vedlegg **25**

Forord

I forbindelse med omlegging av RV 30 ved Forset – Fjeset, i Midtre-Gauldal kommune, er det planlagt ny bru over elva. NVE har, i oppdrag fra Statens vegvesen, beregnet flom- og flomvannstand ved brustedet for bestemte gjentaksintervall, samt vurdert nødvendig høyde på støpekasse og vei for pilar i forhold til anleggsperiode og valgt sikkerhet mot overtopping.

Nødvendig plastring av pilarer og elvesider er vurdert i forhold til beregnede midlere skjærkrefter, med et tillegg av en sikkerhetsfaktor. Det er gjort vurdering av is på bakgrunn av informasjon fra lokalkjente.

Prosjektleder og vannlinjeberegner har vært Beate Sæther. Prosjektmedarbeider og kvalitetssikrer har vært Ingebrigt Bævre.

Som grunnlag for flomberegningen er det benyttet historiske vannføringsdata fra målestasjonene 122.11 Eggafoss og 122.2 Haga bru, begge beliggende i Gaula.

Pga is i vassdraget var det ikke mulig å foreta oppmåling av elveprofiler som grunnlag for en vannlinjemodell. Vannlinjemodellen er derfor konstruert på bakgrunn av oppmålt profil ved brutraseen og profiltegninger fra Osøy bru, samt bruk av kart og tidligere oppmålte vannlinjer fra storflommen i 1940 og en "normalsituasjon" i 1935. Ved stor flom, er det området ved Osøy bru, samt innsnevring pga av et fjellutspring rett nedstrøms brua, som bestemmer vannstanden ved brua.

Oslo, juni 2006

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

I tråd med planene for prosjektering av ny RV 30 ved Forset – Fjeset, skal det bygges ny bru over Gaula ca 700 meter oppstrøms Osøy bru. Den nye brua skal bygges i tre spenn med innfestningspunkt i landkar fundamentert med spissbærende peler til fjell i akse 1 og såle på fjell i akse 4. Pilar i akse 2 blir fundamentert med spissbærende peler til fjell og pilar i akse 3 med såle på fjell.. Brua medfører ingen store innsnevringer i det effektive elvetverrsnittet, men blir liggende med en fylling på venstre elvebredd som er en del av elvas flomområde. Brua blir liggende med en vinkel på 32° i forhold til elvas strømningsretning og med en pilar i elva.

Vannføringer, sammen med profiler av elveløpet og elveløpets egenskaper for øvrig, er benyttet i en hydraulisk modell (vannlinjemodell) for å finne midlere skjækrefter, vannstander og -hastigheter i bruområdet, for permanent situasjon med bru og for anleggsfasen.

Vannlinjemodellen for området består av 8 tverrprofiler som dekker en strekning på 670 m. Profil 8 er basert på oppmålingsdata fra Vegvesenet, profil 1 er konstruert fra brutegning fra den eksisterende Osøy bru, mens de mellomliggende profilene bl.a. er basert på data fra kart i målestokk 1:1000. Den planlagte veifyllinga på sørsida av elva er også lagt inn i modellen.

Flomstørrelsene i Gaula er basert på data fra flomberegningsrapport for Gaulavassdraget (NVE dokument 15, 2000). Det er bl.a. brukt data målestasjonene 122.11 Eggafoss (1941 - dd) og 122.2 Haga bru (1908 – dd). Vannføringer er beregnet for 90% persentilen for perioden september til desember, middelflom, 100 års flom, 1000-årsflom og for storflommen 24.august 1940.

For å vurdere aktuell bruhøyde, vil det i hovedsak være en vurdering av konsekvensene ved en stenging av brua/veien. Dette må sees i forhold til de laveste høydepunktene på veien, hvis dette ikke er brua. Den planlagte veifyllinga på sørsiden av elva vil medføre en økt oppstuvingseffekt på inntil 30-40 cm under store flommer. Ingen effekt på mindre flommer. Med bakgrunn i modellens usikkerhet, anbefales kotehøyde for underkant bru å ligge på minimum kote 159 for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot oversvømmelse.

For å sikre brua mot erosjon, anbefales det å erosjonssikre rundt brufundamentene og på begge elvesidene. Rundt fundamentet for pilar i akse 2 bør det plastres minimum 10 meter nedstrøms, 7 meter oppstrøms og 7 meter på begges sider av pilaren.

For akse 3 er minimum utbredelse oppstrøms og nedstrøms av plastringslaget, det samme som for akse 2. Plastringslaget legges ned i skråningen mot bunnen og avsluttes i en fotgrøft/tå under bunnen, min. 2 meter dyp og 1 m ut i elva. Sikringslaget må også graves godt inn i terrenget mot fyllinga fra Rørosbanen. Det bør sikres opp til kote 158.

Det må også plastres på sørsiden av elva, i foten og langs siden av veifyllingen. Det plastres minimum 10 m nedstrøms det området som blir berørt av veifyllingen og avsluttes på oppstrømsside mot eksisterende erosjonssikring, godt inn i terrenget. En fornuftig utstrekning og avslutning på erosjonssikringen generelt må vurderes i forhold til det eksisterende terrenget, evt. synlig erosjon og strømningsbildet forøvrig.

Det er beregnet store hastigheter i profil 6. Dette området må sjekket nøye for å vurdere bunnstabiliteten i forhold til bakovergipende erosjon.

Erosjonssikringen bygges opp av samfengt og velgradert sprengstein i fraksjonene 0 til 1 m med $d_{50/90}$ ~ 0.5/1.0 m med en minimums tykkelse på 1 m.

Alle plastringsarbeidene fundamenteres med en solid fotgrøft/tå med dobbel dekklagstykkelse. Sikringslaget bør ikke legges slik at det snevrer inn det eksisterende strømningsarealet. Det er viktig at det ikke oppstår store hulrom i plastringslaget slik at finstoff fra grunnen kan vaskes ut. Eksisterende dekklag kan med fordel tilbakeføres over sikringslaget. En bør unngå store oppstikkende steiner, hull eller andre ujevnheter som kan bli angrepspunkt under flom og isgang.

For sideskråningene plasseres de største steinene i foten av sikringslaget med en avtagende størrelse oppover til toppen av elvemelen. Erosjonssikringen bør følge det eksisterende terrenget og bygges med en helning på 1:1.5 eller slakere og graves godt inn i terrenget på både oppstrøms og nedstrøms ende for å redusere fare for erosjon bak sikringslaget.

Dersom det er behov for et filterlag under sikringslaget anbefales det at det benyttes et naturlig filter, alternativt ved at sikringsmassene grovsorteres og at de fineste massene legges underst. Det anbefales ikke bruk av fiberduk pga av fare for gjentetting av duken.

Anleggsfasen er planlagt gjennomført i perioden september til desember. Det er valgt å legge anleggsveien og spuntkassen med en sikkerhet mot overtopping på 90 %. Dette tilsvarer en vannføring på 200 m^3/s (maksverdi) ved brua.

Anleggsveien bør gå med kortes mulig avstand fra land til pilarfyllingen for å redusere virkningene i elva.

Pga av store vannhastigheter ved lave vannføringer i dette området, er det nødvendig å legge en anleggsbru over det dypeste partiet i elva (lengde ca 30 m). Dette vil redusere presset og erosjonspotensialet på det resterende løpet.

Det bør plastres i foten av spuntkassen og minimum 1 m ut fra anleggsfyllingen i bunnen (avrundene hjørner). Ved den valgte 90 % persentilen, bør minimumshøyde på spuntkasse og anleggsvei, ligge på kote 154.5. Veifyllingen bør ikke overtoppes pga av fare for stor erosjon nedstrøms.

Beregningene viser en midlere hastighetsøkning på over 1 m/s som følge av innsnevringen av elva under anleggsperioden som kan utgjøre en økt erosjonsrisiko.

For å redusere mulige erosjonsproblemer og andre ulemper er det derfor viktig at byggefasen planlegges nøye i forhold til fremgangsmåte, is- og vannføringssituasjoner. Permanent sikring bør bygges så tidlig som mulig i anleggsprosessen. Det er viktig å følge med på værprognoser og jevnlig kontakte NVEs flomvarslingstjeneste dersom det er meldt mye nedbør. Det er også viktig å følge med evt. endringer i strømningsretningen og områder som får store hastigheter. Oppmåling av bunnforholdene i det området som blir berørt, må foretas før anleggsoppstart. Det bør opprettes kontrollpunkt i elva som følges opp med målinger jevnlig under hele anleggsfasen. Opptredende vannstander i bruområdet må kontrolleres jevnlig og sammenstilles med registrert vannføring ved målestasjon 122.11 Eggafoss i Holtålen.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for rapporten

I forbindelse med omlegging av RV 30 ved Forset – Fjeset i Midre-Gauldal kommune, skal det bygges ny bru over Gaula, ca 700 meter oppstrøms eksisterende Osøy bru ved Singsås.

NVE har, fra Statens vegvesen, fått i oppdrag å beregne flom- og flomvannstand ved brustedet for bestemte gjentaksintervall, samt vurdere nødvendig høyde på anleggsvei og høyde på støpekasse for støping av pilar i akse 2, i forhold til anleggsperiode og valgt sikkerhet mot overtopping.

NVE skal også vurdere nødvendig plastring av pilarer og elvesider.

1.2 Beskrivelse av området

Plasseringen av brua blir ca 700 m oppstrøms eksisterende bru over Gaula, Osøybrua. Brua vil krysse elva rett nedstrøms samløpet med sideelvene Fora og Herjåa. Elva har her et gjennomsnittlig fall på ca 5.5 ‰. Ved liten vannføring vil vannstrømmen veksle mellom strykende (overkritisk) og strømmende (underkritisk) vann. Ved økende vannføringer vil de små knekkpunktene på strekningen ”drukne” og strømningen blir underkritisk. Ved underkritisk strømning vil nedstrøms oppstuving, oppdemming og innsnevringer påvirke vannstanden i bruområdet. Ved stor flom, er det området ved Osøy bru, samt innsnevring pga av et fjellutspring rett nedstrøms brua, som bestemmer vannstanden ved brua.

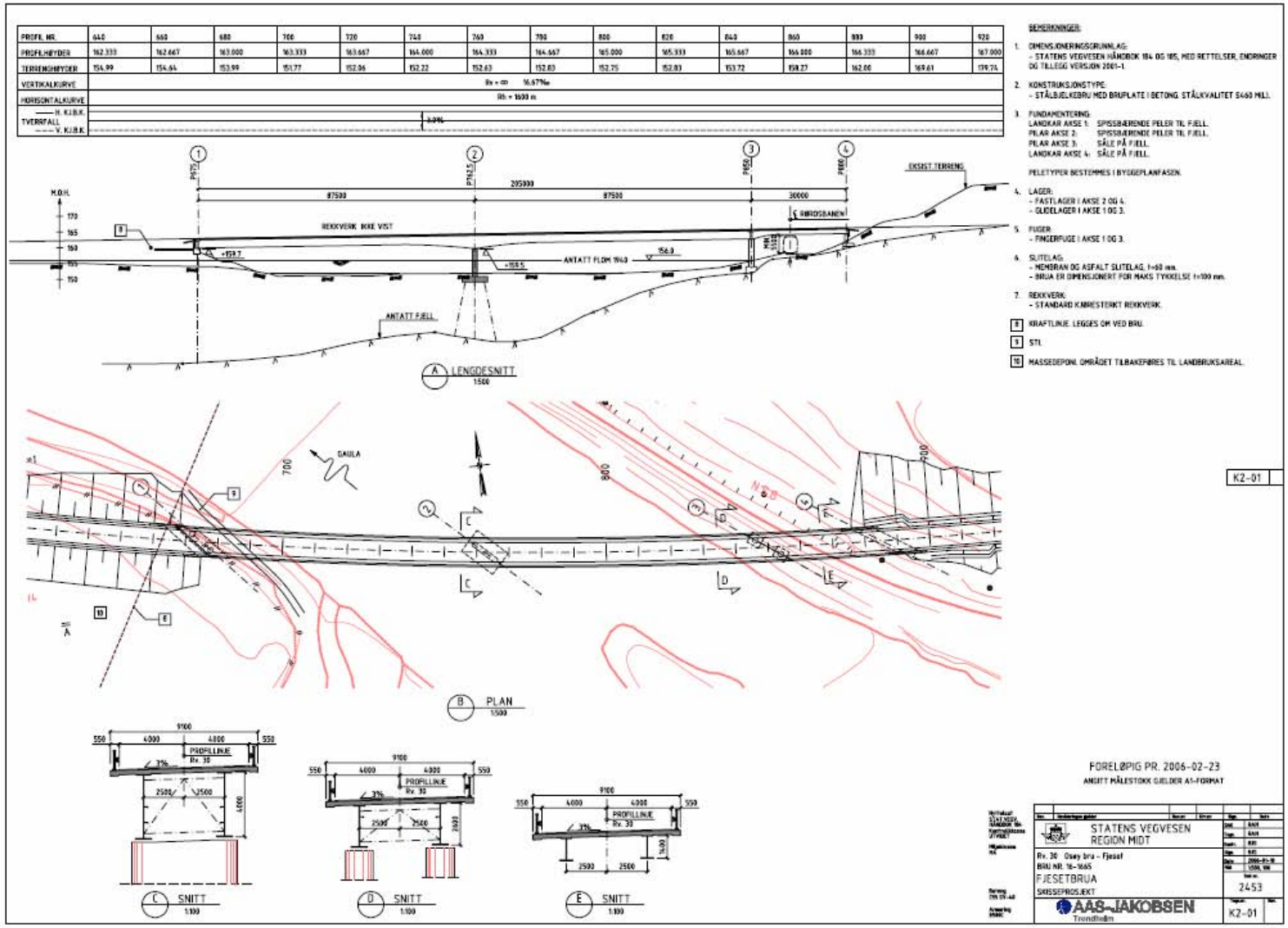
Figur 1.1 Osøybrua (foto: Beate Sæther, NVE)

Elveløpet i det aktuelle bruområdet er ca 80 m bredt, og omkranses av partier med lauvskog.

Den nye brua skal bygges i tre spenn med innfestningspunkt i landkar fundamentert med spissbærende peler til fjell i akse 1 og såle på fjell i akse 4. Pilar i akse 2 blir fundamentert med spissbærende peler til fjell og pilar i akse 3 med såle på fjell. Pilarene er plasser i strømretningen og har avrundede hjørner. Pilarene er 1.5 m bred og 10.5 m lang. Se figur 1.3.

Brua medfører ingen innsnevringer i elvetverrsnittet, men veien blir liggende med en fylling på sørsiden av elva innenfor elvas flomområde. Brua blir liggende med en vinkel på 32˚ i forhold til elvas strømningsretning og med en pilar direkte i elva. Den planlagte veifyllinga vil ikke ha nevneverdig innvirkning på is- og flomavledningen i området, da dette området pr. i dag ikke virker aktivt i strømningsbildet.

Figur 1.2 ***Bildet er sett nedstrøms mot bruområdet fra akse 3 (foto: Beate Sæther, NVE)***



Figur1.3 Brutegning utarbeidet av Aas Jakobsen

2 Metode og databehov

Vannlinjeberegninger er gjennomført for å finne vannstanden og -hastigheten i bruområdet ved ulike flomstørrelser i Gaula ved den planlagte brua. Dataprogrammet HEC-RAS er brukt til å beregne de hydrauliske forholdene i elvene. Modellen er basert på en endimensjonal, stasjonær, hydraulisk strømningsanalyse. Modellen kan bl.a. beregne underkritisk, overkritisk strømning og en kombinasjon av disse i en enkel kanal, eller i et nettverk av kanaler.

Nødvendige grunnlagsdata til modellen er bl.a. tverrprofiler, vannføring og kalibreringsdata fra sammenhørende vannføring og vannlinje/vannstand.

2.1 Modellforutsetninger

For å beregne dimensjonerende vannstand for underkant bru er en avhengig av flomvannføringer ved valgte gjentaksintervall. Beregning av statistisk gjentaksintervall for ulike flomstørrelser er forbundet med usikkerheter, og en er avhengig av historiske data fra observerte flommer i Gaula. En hundreårsflom kan inntreffe når som helst, og har 63 % sannsynlighet til å inntreffe over en tidsperiode på 100 år.

Gaula har et nedbørfelt på 1761 km^2 ved brustedet. Vannføringen i hovedelven er vanligvis liten om vinteren. Snøsmelting fører til stor avrenning i mai-juni og de fleste store flommer opptrer i disse månedene. Det er likevel også ofte at regnvær om sommeren og høsten fører til flomepisoder.

Flomstørrelsene i Gaula er basert på data fra flomberegningsrapport for Gaulavassdraget (NVE dokument 15, 2000). Det er bl.a. brukt data målestasjonene 122.11 Eggafoss (1941 - dd) og 122.2 Haga bru (1908 – dd).

Til dette prosjektet er det beregnet kulminasjonsvannføringer (maksimal døgnvannføring) for 90 % persentilen for perioden september til desember, middelflom, 100-årsflom, 500-årsflom/flom 1940 og 1000-årsflom.

Tabell 2.1 Vannføringer i Gaula ved brustedet

	Gaula ved Fjeset (m^3/s)
$Q_{90\%}$	200
Q_{middel}	640
Q_{100}	1360
$Q_{500/1940}$	1765
Q1000	1990

NB ! Flomstørrelsene representerer kulminasjonsvannføringer, ikke døgnmidler

2.1.1 Is

Is i vassdraget fører til en høyere vannstand enn tilsvarende vannstand gir når det er isfritt. Isoppstuving skyldes spesielt sarr (drivende eller oppsamlet nydannet is i form av enkeltpartikler), bunnis og bunnisdammer.

Løsner isen slik at ismassene beveger seg nedover elva (isgang), vil den kunne stoppe opp på steder der friksjonen mot omgivelsene øker, eksempelvis innsnevringer, brå svinger eller særlig grunne partier. En slik isdam vil kunne medføre økte vannstander oppstrøms dammen.

Det har, i følge lokalkjente, ikke oppstått nevneverdige problemer som følge av is i området. Dimensjonerende for vannstanden i området er derfor flom. Større eller mindre isganger kan forekomme i løpet av vinterperioden, og før vårflom. Isdammer kan også medføre høye vannstander i Gaula. Denne hendelsen vil trolig ikke inntreffe samtidig med en ekstrem flomhendelse, men vassdraget kan føre mye is. Det er derfor viktig å være spesielt oppmerksom på dette problemet under anleggsperioden.

2.1.2 Masseavlagring

Det er ikke kjent at masseavlagring eller massetransport er et problem for løpskapasiteten i denne delen av Gaula.

2.2 Tverrprofiler

Den grunnleggende vannlinjemodellen for Gaula består av 8 tverrprofiler som dekker en strekning på 670 m. Profil 8 er basert på oppmålingsdata fra Vegvesenet, profil 1 er konstruert fra brutegning fra den eksisterende Osøy bru (se vedlegg 4), mens de mellomliggende profilene bl.a. er basert på data fra kart i målestokk 1:1000. Den planlagte veifyllinga på sørsida av elva er også langt inn i modellen.

Grensebetingelsene i den hydrauliske modellen er beregnet med utgangspunkt antatt kritisk/bestemmende tverrsnitt ved Osøybrua, samt kjente helningsforhold på vannlinjen under storflommen i 1940 og en ”normalsituasjon” fra NVEs elvenivellement fra 1935. De gitte grensebetingelsen gir ingen direkte innvirkning på vannstanden i bruområdet.

2.3 Kalibrering av modellen

Den største flommen i vassdraget etter at observasjoner ble satt i gang, var 24. august 1940. Vannføringen ved Haga bru var på 2150 m^3/s som døgnmiddel, og med en beregnet kulminasjonsvannføring på 3060 m^3/s. Det var kraftig regn som forårsaket denne flommen, mer enn 70 mm over det meste av vassdraget, med mest nedbør i Trondheimsområdet. Ut fra foreliggende analyse hadde 1940-flommen et gjentaksintervall på 300-400 år, hvis man ser på døgnmidlet, men på ca. 600 år for kulminasjonsvannføringen.

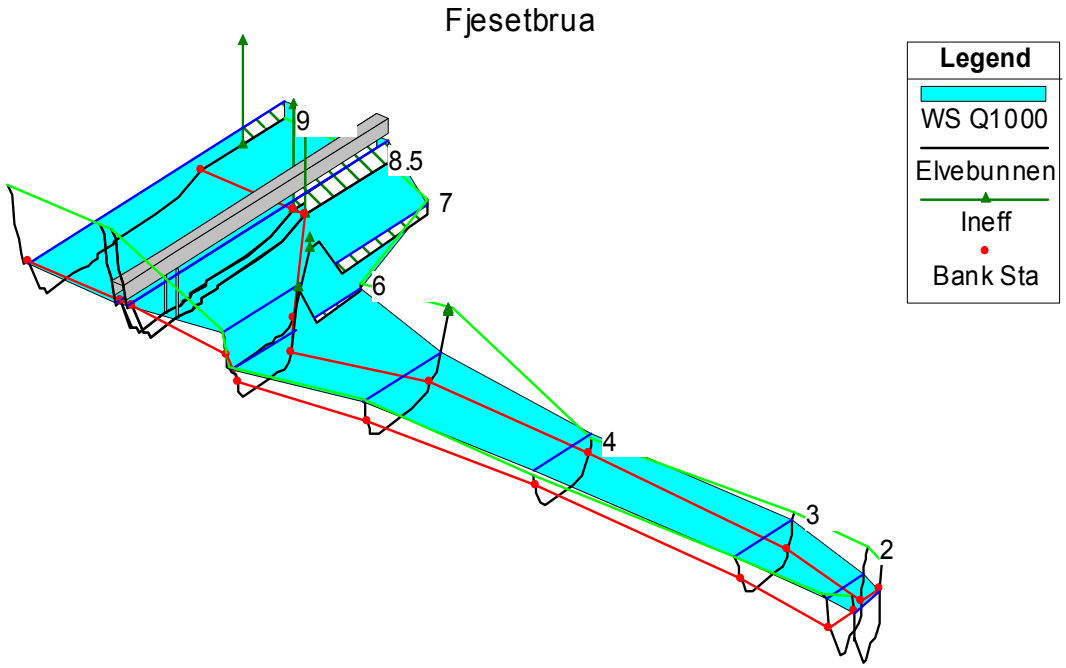
Den største flommen i senere år fant sted i månedsskiftet mai-juni 1995. Den var en ca. 20-årsflom i hovedelva, sannsynligvis relativt sett større i områdene som grenser mot Glommavassdraget og mindre i de nedre delene av Gaulavassdraget.

NVE har målt inn vannstander etter 1940-flommen på flere steder langs Gaula. Disse er benyttet til å kalibrere vannlinjemodellen.

3 Beregningsresultater

3.1 Krav til sikkerhet for konstruksjoner i vassdrag

I NVEs retningslinjer for ”arealbruk og sikring i flomutsatte områder” vil en brukonstruksjon i store vassdrag der det kan være fare for tap av menneskeliv og/eller større materielle verdier er utsatt, plasseres i konsekvensklasse S3 eller M3 som krever en sikkerhet > 1000 år.

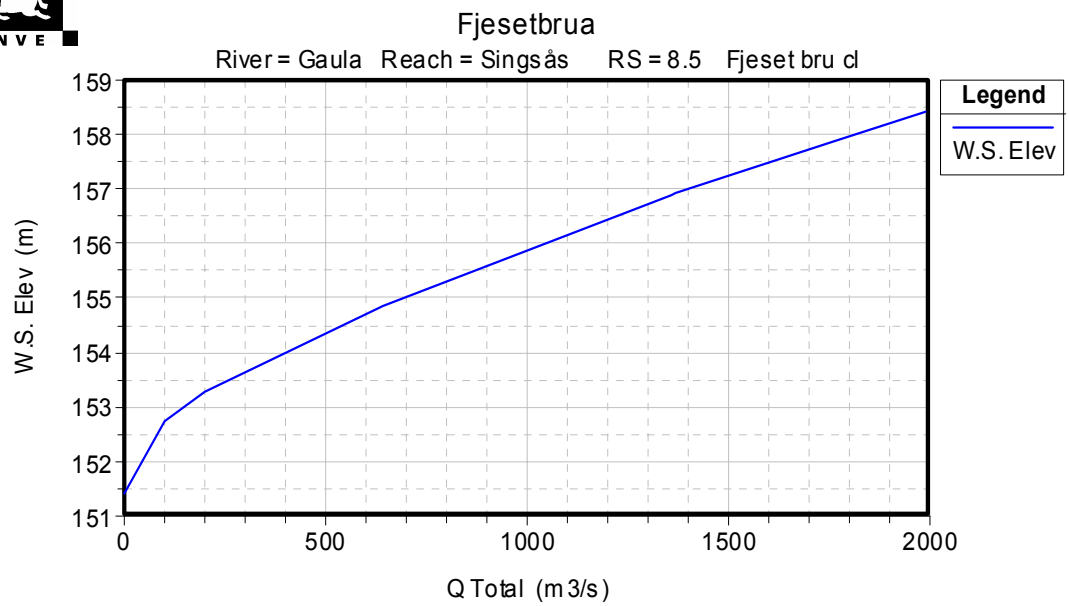


Figur 3.1. Figuren over viser et 3D plott av den modellerte elvestrekningen for Gaula. Vannføringen viser utbredelsen av 1000-årsflommen. Akse 2 blir liggende omtrent i profil 8

3.2 Beregning av dimesjonerende vannstander for Gaula ved Singsås

Strekning Gaula	Profil nr	Flomstørrelse	Vannføring m^3/s	Vannstand m	Hastighet m/s (middel)
Singsås	9	Q1000	1990	158.45	1.8
Singsås	9	Q500/1940	1765	157.93	1.8
Singsås	9	Q100	1360	156.93	1.9
Singsås	9	Qmiddel	640	154.89	2.1
Singsås	9	$Q_{90\%}$	200	153.64	2.2
Singsås	8	Q1000	1990	158.42	1.8
Singsås	8	Q500/1940	1765	157.90	1.8
Singsås	8	Q100	1360	156.91	1.8
Singsås	8	Qmiddel	640	154.83	1.9
Singsås	8	$Q_{90\%}$	200	153.16	2.3
Singsås	7	Q1000	1990	157.66	4.0
Singsås	7	Q500/1940	1765	157.18	3.8
Singsås	7	Q100	1360	156.28	3.6
Singsås	7	Qmiddel	640	154.39	2.9
Singsås	7	$Q_{90\%}$	200	152.87	2.0

Tabell 3.1 Tabellutsnitt fra vannlinjeberegningene som viser en del beregnede parametere for profil 7, 8, og 9



Figur 3.2Kurven viser sammenhengen mellom vannstand og vannføring ved akse 2 for de ulike flomstørrelsene fra Q_m til Q_{1000}

3.3 Anbefaling av minimum kotehøyde for underkant bru for nødvendig sikkerhet mot is og flom

Med bakgrunn i modellens usikkerhet, anbefales kotehøyde for underkant bru å ligge på minimum kote 159 for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot oversvømmelse.

For å vurdere aktuell bruhøyde, vil det i hovedsak være en vurdering av konsekvensene ved en stenging av brua/veien. Dette må sees i forhold til de laveste høydepunktene på veien, hvis dette ikke er brua.

Den planlagte veifyllinga på sørsiden av elva vil medføre en økt oppstuvingseffekt på inntil 30-40 cm under store flommer. Ingen effekt på mindre flommer.

Vannstanden etter denne flommen er innmålt til kote 155.8 (NN54) ca 70 m nedstrøms utløpet av Fora og ca kote 155 oppstrøms Osøybrua. Dette tilsvarer en helning på vannspeilet på 0.8 ‰. Den oppmålte flomlinjen viser en markert knekk i området ved Osøy bru. Ved stor flom, er det området ved Osøy bru, samt fjellutspringet rett nedstrøms bruområdet, som bestemmer vannstanden ved brua. Dette stemmer også bra med observasjoner gjort under flommene i 1918 og 1940 hvor det ble påvist et markert fall i vannlinjen i området.

Den innmålte vannstanden nedstrøms utløpet til Fora, etter 1940-flommen, er derfor trolig lokalisert nedstrøms profil 6. Den modellerte vannstanden i profil 5 er på 156.1, et avvik på +30 cm i forhold til 1940-flommen. Med forbehold i alle eventuelle endringer i elva siden 1940, viser dette at resultatene fra modellen er innenfor et akseptabelt nivå.

Ruheten er satt til Mannings n = 0.033 for hovedløpet og n = 0.05 – 0.067 for elvebreddene.

Ruhetstallene representerer elvas energitap, og er i godt samsvar med verdier oppgitt i internasjonal litteratur.

Forhold som påvirker nøyaktigheten av beregningsresultatene er unøyaktige profiler, for lang avstand mellom profilene, feil i skalering av vannføringen, feil i antatt ruhet/energitap m.m. Pga av få oppmålte tverrprofiler og kalibreringsvannstander med tilhørende vannføringer, er det vanskelig å kvantifisere usikkerheten i modellen. Modellen ansees likevel for tilfredsstillende i forhold til området og de problemstillingene som er belyst, men en sikkerhetsmargin må legges til alle resultatene.

4 Erosjonssikring

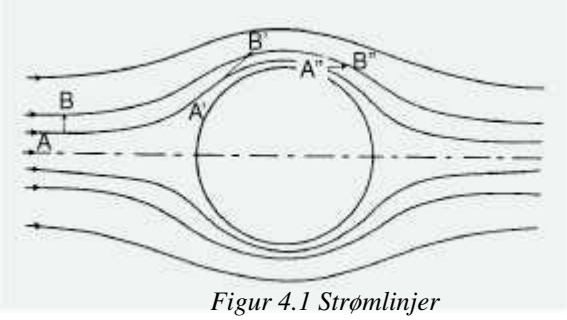
I hydraulikken omtales ofte to typer erosjon; lokalerosjon og generell erosjon.

4.1 Lokal erosjon

Muligheter for skadelig lokalerosjon vil svært ofte være tilstede i forbindelse med hydrauliske konstruksjoner. Brufundamenter, brupilarer og utløp fra kulverter er typiske eksempler, men lokalerosjon vil kunne oppstå på ethvert sted med lokale ”forstyrrelser” i strømningsbildet.

Intensitet og utstrekning av lokalerosjon er delvis bestemt av de geometriske forholdene på hvert enkelt sted, noe som gjør problemstillingen dårlig egnet for generelle betraktninger.

Generelt vil lokalerosjon være forårsaket av en lokal økning av hastigheten eller virvler som fører til ujevn fordeling av skjærspenningen, slik at den ligger dels over og dels under kritisk skjærspenning for bunnmaterialet. Virvler oppstår gjerne i forbindelse med hastighetsreduksjoner forårsaket av fysiske hindringer, hvor det er overskudd av bevegelsesenergi.



Figur 4.1 Strømlinjer rundt en sylindrisk pilar

Den vanligste måten for å beskytte mot skadelig lokalerosjon er å beskytte bunn og sider med et erosjonssikkert lag av stein. Ved sikring av brupilarer er det viktig, i tillegg til omfattende erosjonssikring, å plassere fundamentet for konstruksjonen i en slik dybde at selv ikke den antatte dypeste erosjonsgropen vil påvirke stabiliteten av konstruksjonen.

4.2 Generell erosjon

Generell erosjon er representert ved kunstige innsnevringer i et elveløp, f. eks fyllinger og landkar. Innsnevringer gir tettere strømlinjer, dvs økende hastighet og skjærspenning. Er elveløpet stabilt før innsnevringen blir gjort, vil den konsentrerte strømmen forbi innsnevringen forøke og utvide det gjenstående elvetverrsnittet til den tidligere skjærspenningstilstanden blir gjenopprettet. I praksis betyr det at det tidligere tverrsnittsarealet søkes tilnærmet gjenopprettet ved erosjon av ubeskyttede deler av bunn og elvebredder.

Generell erosjon kan også forårsakes av is. Sarransamlinger under isdekket vil innsnevre det vannførende elveleiet. Når vannhastigheten øker, kan det føre til utgravninger i elvebunnen eller elvebredden, spesielt dersom elveleiet har et øvre dekklag av grusmateriale som blir fjernet av den økte strømmen, og finere masser under. På samme måte kan bunnis og bunnisdammer føre til at strømmen blir ledet og konsentrert til bestemte deler av elveleiet og forårsaker erosjon og utgravninger der.

Et annet forholdt er når is som dannes langs elvebreddene, fryser fast til elvebredden. Foregår isdannelsen på høy vannstand, vil is som er frosset fast til det beskyttede dekklaget i elvebredden, kunne rive med seg deler av den når vannstanden synker. Ved gjentatte vannstandsvekslinger kan dekklaget gradvis rives bort over tid. I regulerte vassdrag kan en slik heving og senking komme uavhengig av klimaforhold. Det samme fenomenet vil være tilstede for områder som er påvirket av flo/fjære.

Når det først er oppstått sår i det beskyttende dekklaget, enten dekklaget er naturlig eller en kunstig forbygning, vil videre erosjon kunne foregå til alle årstider dersom såret ikke blir helet.

Skader på forbygninger påført av islaster kan reduseres der konstruksjonen har en velgradert overflate og slake sideskråninger. Dimensjonering av anlegg for å oppta ekstreme islaster vil medføre meget store kostnader. Normalt dimensjoneres anleggene for mer moderate laster, noe som medfører behov for ettersyn og vedlikehold av anleggene.

4.3 Anleggsfase

Den mest kritiske fasen for de fleste bruprosjekt er byggefasen, da en ofte må ut med store fyllinger i elveløpet. Store innsnevringer i elveløpet under byggearbeidene, vil føre til oppstuving og økt vannhastighet forbi fyllingene, og det vil kunne oppstå erosjon i elvebredder og bunn som kan forplante seg oppover i elva.

Figur 4.1 Bilde tatt fra sørsida av elva rett nedstrøms akse 2 (foto: Beate Sæther, NVE)

4.4 Beregning av nødvendig steinstørrelser, dekklagstykkelse og utbredelse

4.4.1 Nødvendig steinstørrelse

En vanlig brukt metode for beregning av nødvendig steinstørrelser er Shield's formel som bygger på forsøk med ensgraderte masser. Ved varierende kornstørrelser eller såkalt samfengt masse viser undersøkelser at d = d_{60} (dvs at 60 % av massen etter vekt er finere enn d_{60}) gir tilnærmet samsvar mellom ensgraderte og samfengte masser. Ofte benyttes d_{50} for å gi en ekstra sikkerhetsmargin. ***Se vedlegg 1.***

Dersom det ikke finnes målte verdier eller modellforsøk, anbefales det å sikre for **åtte** ganger beregnet midlere skjærspenning på urørt elvebunn for lokalerosjon rundt f.eks. pilarer /4/.

De største skjærkreftene i området ved pilaren i akse 2 inntreffer på mindre vannføringer, da fallgradienten i elva er størst. Ved økende vannføring vil det stuves opp vann pga innsnevring som følge av et fjellutspring i profil 6 nedstrøms brua. Se bilde 4.1.

Nødvendig steinstørrelse til bruk rundt pilaren i akse 2, er beregnet til d_{60} = 0.5 m. Erosjonssikringen bygges opp av samfengt og velgradert sprengstein i fraksjonene 0 til 1 m med $d_{60/90}$ ~ 0.5/1.0 m.

I området nedstrøms brua, profil 6 og 7, vil skjærkreftene pga av innsnevringen blir større. Her er skjærkreftene økende med økende vannføring. Maksimale skjærkrefter her vil likevel ikke bli like store som ved lokalerosjon. Samme steinstørrelse som for pilaren kan derfor også kunne benyttes i sikringen av elvesidene, samt brufundament i akse 3. Det er beregnet store hastigheter i profil 6. Dette området må sjekket nøye for å vurdere bunnstabiliteten i forhold til bakovergipende erosjon.

Figur 4.1 Bildet er tatt fra området ved akse 3, sett oppstrøms (foto: Beate Sæther, NVE)

Strekning	Profil	Flomstørrelse	Vannføring	Skjærkrefter
Gaula	nr	gjentaksinterv.	m^3/s	N/m^2
Singsås	9	Q_{1000}	1990	2
Singsås	9	Q_{100}	1360	25
Singsås	9	$Q_{90\%}$	200	57
Singsås	8	Q_{1000}	1990	19
Singsås	8	Q_{100}	1360	19
Singsås	8	$Q_{90\%}$	200	36
Singsås	7	Q_{1000}	1990	103
Singsås	7	Q_{100}	1360	88
Singsås	7	$Q_{90\%}$	200	38
Singsås	6	Q_{1000}	1990	237
Singsås	6	Q_{100}	1360	220
Singsås	6	$Q_{90\%}$	200	60

Tabell 4.1. Viser midlere skjærkrefter for bunnen ved ulike vannføringer for profil 9 til 6

4.4.2 Dekklagtykkelse og utførelse

Steinlaget i bunn og sideskråninger bør ha en midlere tykkelse på minimum 1 m. For sideskråningene plasseres de største steinene i foten av sikringslaget med en avtagende størrelse oppover til toppen av elvemelen. Tykkelsen på dekklaget bør ikke underskride 2 ganger d_{60}.

En bør unngå store oppstikkende steiner, hull eller andre ujevnheter som kan bli angrepspunkt under flom og isgang. Sikringslaget legges ca 1 m (dobbel dekklagstykkelse) under eksisterende bunn/djupål og fundamenteres med en solid fotgrøft/tå med en utstrekning på 1-2 m.

Erosjonssikringen bør følge det eksisterende terrenget og bygges med en helning på 1:1.5 eller slakere.

Eventuelle forstyrrelser i strømningsbildet glattes ut. Sikringslaget bør ikke legges slik at det snevrer inn det eksisterende strømningsarealet, men bør byttes ut med den eksisterende massen.

Erosjonssikringen bør også graves godt inn i terrenget på både oppstrøms og nedstrøms ende for å redusere fare for erosjon bak sikringslaget.

Ved bruk av velgradert masse av samfengt sprengstein er det normalt ikke nødvendig med et eget filterlag, men siden grunnen i området hovedsakelig består av grusig sand, kan det likevel være behov for et filterlag under sikringslaget. Det anbefales at det da bygges opp et naturlig filter, alternativt med at sikringsmassene grovsorteres og at de fineste massene legges underst. Det anbefales ikke bruk av fiberduk pga av fare for gjentetting av duken.

Det er viktig at det ikke oppstår store hulrom i plastringslaget slik at finstoff fra grunnen kan vaskes ut. Eksisterende dekklag kan tilbakeføres over sikringslaget for å redusere ugunstige virkninger p.g.a. endret bunnsubstrat. Overgangen mellom ny og gammel bunn må gjøres så jevn som mulig for å unngå erosjon rundt sikringslaget.

Figur 4.2 Bilde er tatt fra området ved akse 3, sett nedstrøms (foto: Beate Sæther, NVE)

4.4.3 Utbredelse av sikringslag for plastring av pilar og elvesider

Akse 2

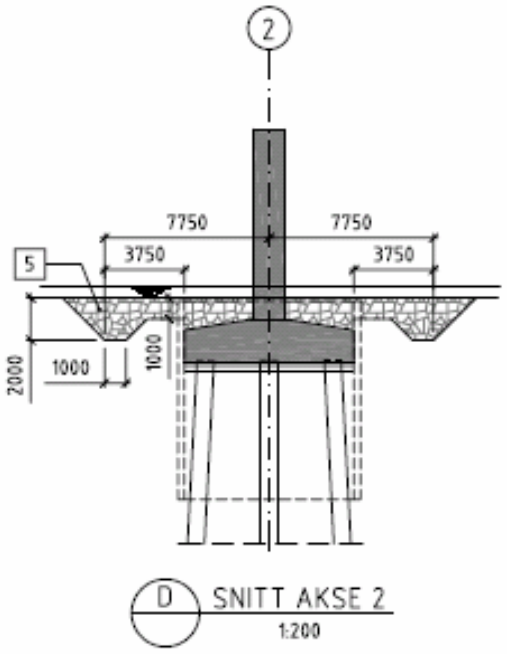
- 7 meter oppstrøms pilar
- 10 meter nedstrøms pilar
- 7 meter på hver side av pilar

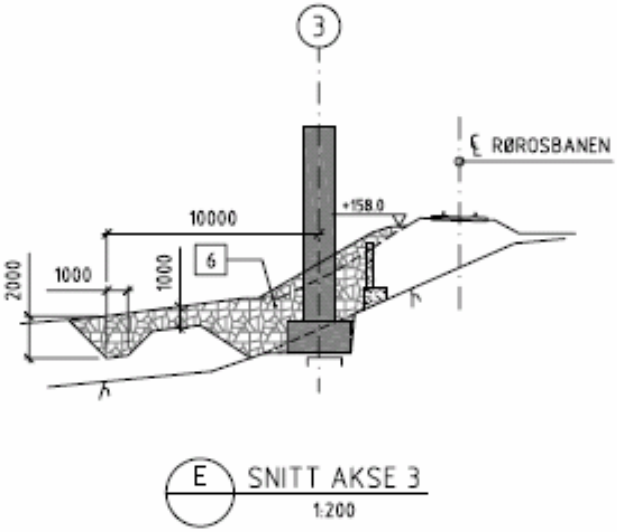
Akse 3/elvesider
Minimum utbredelse, oppstrøms og nedstrøms av plastringslaget, er den samme for akse 3 som for akse 2.

Plastringslaget legges ned i skråningen mot bunnen og avsluttes i en fotgrøft/tå under bunnen, min. 2 meter dyp og 1 m ut i elva. Sikringslaget må også graves godt inn i terrenget mot fyllinga fra Rørosbanen (samme prinsipp som for fotgrøften). Sikres opp til kote 158. For nærmere beskrivelse, se avsnitt 4.4.2.

Det må også plastres på sørsiden av elva, i foten og langs siden av veifyllingen. Det plastres minimum 10 m nedstrøms det området som blir berørt av veifyllingen og avsluttes på oppstrømsside mot eksisterende erosjonssikring, godt inn i terrenget.

En fornuftig avslutning på sikringen generelt må vurderes i forhold til det eksisterende terrenget, evt. synlig erosjon og strømningsbildet forøvrig.





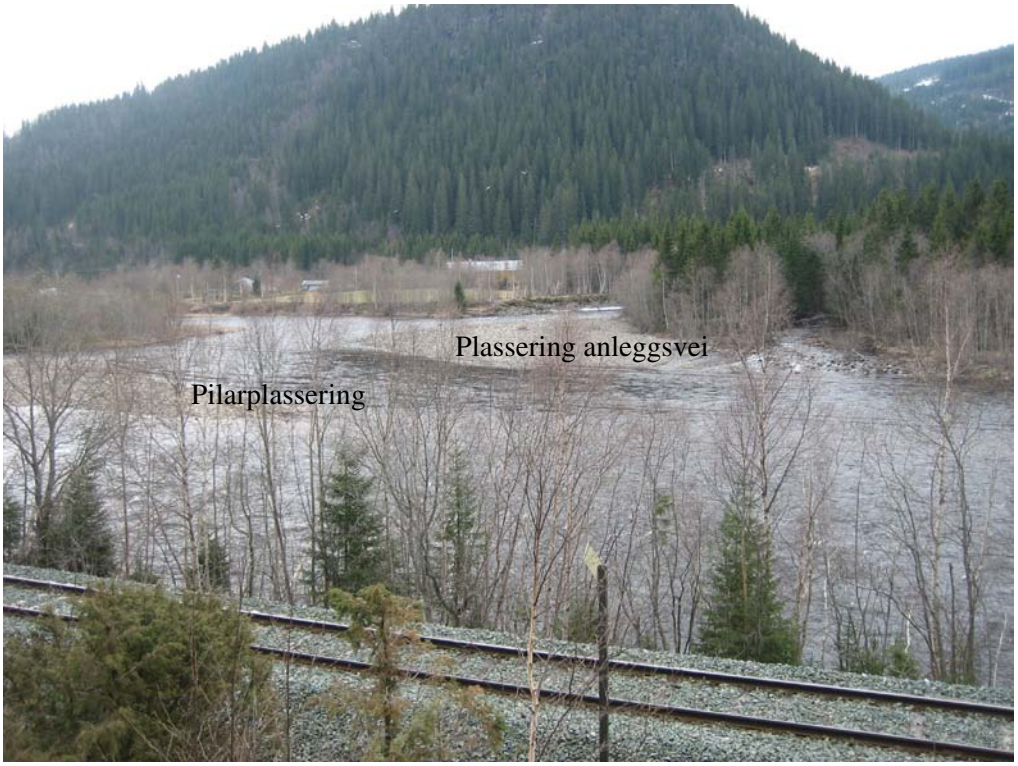
Figur 4. 3
Over: Prinsippskisse for plastring av pilar i akse 2
Under: Prinsippskisse for sideplastring av pilar i akse 3.
I pkt 6 skal det skiftes ut ekstra masse.

Tegningene er utarbeidet av Aas-Jakobsen etter anbefalinger fra NVE

4.4.4 Anleggsfasen

Anleggsfasen er planlagt gjennomført i perioden september til desember. Det er valgt å legge anleggsveien og spuntkassen med en sikkerhet mot overtopping på 90 %. Dvs. at det er kun er observert høyere vannføringer i den aktuelle perioden i 10 % av tiden i løpet av årene 1908-2005. Dette tilsvarer en vannføring på 200 m^3/s (maksverdi) ved brua.

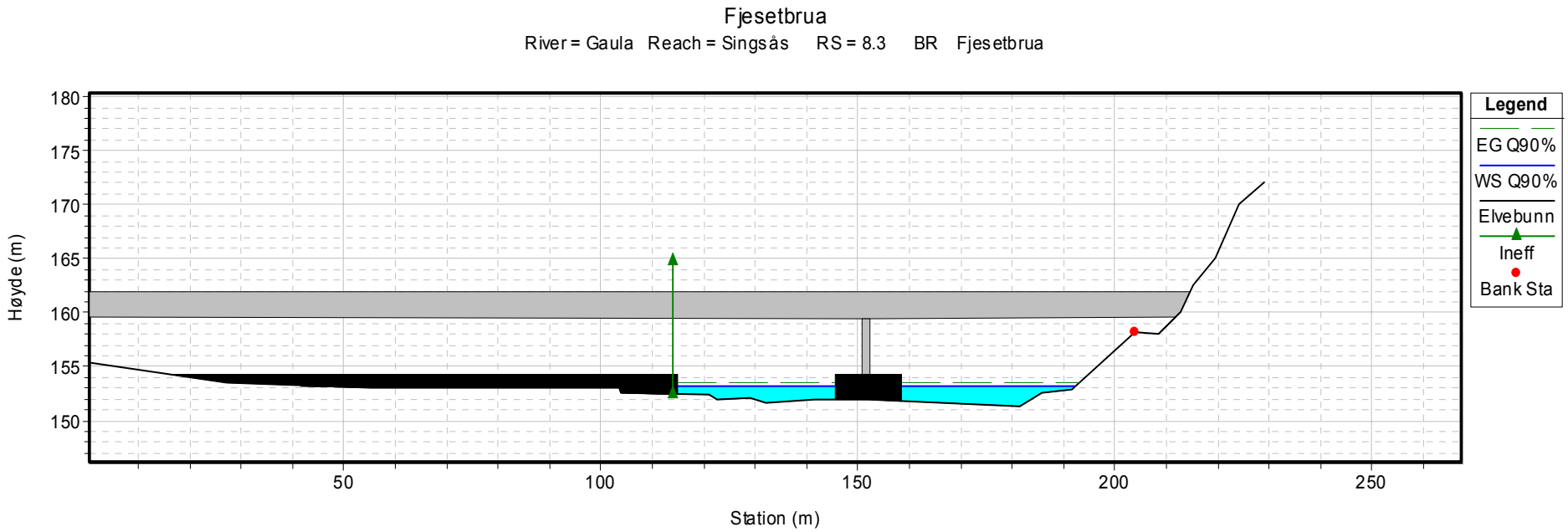
Etter felles befaring med NVE, Vegvesenet og Aas Jakobsen, ble det bestemt at anleggsveien bør gå med kortes mulig avstand fra land til pilarfyllingen for å redusere virkningene i elva. Aktuell plassering er anvist i terreng. Det er flere markerte djupåler og løp pga av samløpet med Fora og Herjåa, samt delt løp i Gaula. Dette gjør strømningsbilde komplisert, og faren for økt erosjon under anleggsperioden, er stor.



Figur 4.4 Bildet viser området ved brua i akse 2 og aktuell plassering av anleggsvei (foto: Beate Sæther, NVE)

Ca 25% av vannet i elva renner normalt i det området som blir innsnevret pga anleggsvei og spuntkasse. Pga av store vannhastigheter ved lave vannføringer i dette området, er det nødvendig å legge en anleggsbru over det dypeste partiet i elva (lengde ca 30 m). Dette vil redusere presset og erosjonspotensialet på det resterende løpet.

Det bør plastres i foten av spuntkassen og minimum 1 m ut fra anleggsfyllingen i bunnen. Ved den valgte 90 % persentilen, bør minimumshøyde på spuntkasse og anleggsvei, ligge på kote 154.5.



Figur 4.5 Figuren viser modellert innsnevrning av elveløpet som følge av anleggsvei og spuntkasse

Strekning	Profil	Flomstørrelse	Vannføring	Vannstand	Hastighet
Gaula	**nr.**	**gjentaksint.**	**(m^3/s)**	**uten/med (m)**	**(m/s)**
Singsås	9	$Q_{90\%}$	200.00	153.64/153.61	2.2/2.3
Singsås	8.6	$Q_{90\%}$	200.00	153.39	1.8
Singsås	8.5	$Q_{90\%}$	200.00	153.28/153.24	1.6/2.4
Singsås	8.3	Fjesetbrua			
Singsås	8	$Q_{90\%}$	200.00	153.19/152.94	1.8/3.1
Singsås	7.9	$Q_{90\%}$	200.00	153.10	2.3
Singsås	7	$Q_{90\%}$	200.00	152.87/152.87	2.0/2.0

Tabell 4.2 Tabellen viser vannstand og middelhastighet i de berørte profilene rundt akse 2 uten og med anleggsvei og spuntkasse

Beregningene viser en midlere hastighetsøkning på over 1 m/s som følge av innsnevringen av elva under anleggsperioden, og dette kan utgjøre en økt erosjonsrisiko. Som tabell 4.2 viser, vil vannstanden gå litt ned i det området som er påvirket av anleggsfyllingen som følge av lokale hastighetsøkninger.

For å redusere mulige erosjonsproblemer og andre ulemper er det derfor viktig at byggefasen planlegges nøye i forhold til fremgangsmåte, is- og vannføringssituasjoner. Permanent sikring bør bygges så tidlig som mulig i anleggsprosessen. Det er viktig å følge med på værprognoser og jevnlig kontakte NVEs flomvarslingstjeneste dersom det er meldt mye nedbør. Veifyllingen bør ikke overtoppes pga av fare for stor erosjon nedstrøms.

Det er også viktig å følge med evt. endringer i strømningsretningen og områder som får store hastigheter. Oppmåling av bunnforholdene i det området som blir berørt, må foretas før anleggsoppstart. Det bør opprettes kontrollpunkt i elva som følges opp med målinger jevnlig under hele anleggsfasen. Opptredende vannstander i bruområdet må kontrolleres jevnlig og sammenstilles med registrert vannføring ved målestasjon 122.11 Eggafoss i Holtålen.

5 Usikkerhet

Forhold som påvirker nøyaktigheten av beregningsresultatene er unøyaktige profiler, for lang avstand mellom profilene, feil i flomberegningen, feil i antatt ruhet/energitap m.m.

Pga is i vassdraget var det ikke mulig å foreta oppmåling av elveprofiler som grunnlag for en vannlinjemodell. Vannlinjemodellen er derfor konstruert på bakgrunn av oppmålt profil ved brutraseen og profiltegninger fra Osøy bru, samt bruk av kart og tidligere oppmålte vannlinjer fra storflommen i 1940 og en ”normalsituasjon” i 1935. Ved stor flom, er det området ved Osøy bru, samt innsnevring pga av et fjellutspring rett nedstrøms brua, som bestemmer vannstanden ved brua.

Pga av få oppmålte tverrprofiler og gamle kalibreringsvannstander fra 1940-flommen, er det vanskelig å kvantifisere usikkerheten i modellen. Modellen ansees likevel for tilfredsstillende i forhold til området og de problemstillingene som er belyst, og det er lagt inn ulike sikkerhetsmarginer i de anbefalte steinstørrelser og høyder.

6 Oppsummering og konklusjon

For å sikre brua mot erosjon, anbefales det å erosjonssikre rundt brufundamentene og på begge elvesidene.

Anleggsfasen er planlagt gjennomført i perioden september til desember. Det er valgt å legge anleggsveien og spuntkassen med en sikkerhet mot overtopping på 90 %. Dette tilsvarer en vannføring på 200 m^3/s (maksverdi) ved brua.

Anleggsveien bør gå med kortes mulig avstand fra land til pilarfyllingen for å redusere virkningene i elva. Pga av store vannhastigheter ved lave vannføringer i dette området, er det nødvendig å legge en anleggsbru over det dypeste partiet i elva (lengde ca 30 m). Dette vil redusere presset og erosjonspotensialet på det resterende løpet.

For å redusere mulige erosjonsproblemer og andre ulemper er det viktig at byggefasen planlegges nøye i forhold til fremgangsmåte, is- og vannføringssituasjoner. Permanent sikring bør bygges så tidlig som mulig i anleggsprosessen.

Det er viktig å følge med på værprognoser og jevnlig kontakte NVEs flomvarslingstjeneste dersom det er meldt mye nedbør. Det er også viktig å følge med evt. endringer i strømningsretningen og områder som får store hastigheter. Oppmåling av bunnforholdene i det området som blir berørt, må foretas før anleggsoppstart. Det bør opprettes kontrollpunkt i elva som følges opp med målinger jevnlig under hele anleggsfasen. Opptredende vannstander i bruområdet må kontrolleres jevnlig og sammenstilles med registrert vannføring ved målestasjon 122.11 Eggafoss i Holtålen.

7 Referanser

1/ Richard H. French: *Open-channel hydraulics*

2/ NVE: *Vassdragshåndboka*

3/ HEC-RAS: *manualer*

4/ EEU kurs i hydromekanikk i praksis av Dagfinn K. Lysne: *Lokalerosjon*

5/ NVE retningslinjer 1/1999: *Arealbruk og sikring i flomutsatte områder*

8 Vedlegg

Vedlegg 1: Krav til nødvendig steinstørrelse

Vedlegg 2: Definisjoner og forklaringer

Vedlegg 5: NVEs Vassdragsnivellement med vedlegg

Vedlegg 3: Tegninger av Osøybrua

Vedlegg 4: Grave- og fyllingsplan

Vedlegg 1. Krav til nødvendig steinstørrelse

Shield's tall for kritisk bunntilstand

$d_s = \tau_c / ((\rho_s - \rho_v)\, g\, C_s)$ *(ligning 1)*

$\tau_c = g\, \rho_v R\, I_e$ *(ligning 2) For lokalerosjon kan den totale skjærspenningen bli opptil 8 ganger normaltilstand.*

ved å sette ligning 2 inn i likning 1 får vi:

$d_s = 12\, R\, I_b$ *(for $C_s = 0.05$)*

$d_{side} = d_s / 0.63$ *ved sidehelning 1:1.5*

- ***ds*** partikkelstørrelse (d_{50})
- ρ_v vannets tetthet (1000 kg/m^3)
- ρ_s steinpartiklenes tetthet (vanligvis 2650 kg/m^3)
- ***Cs*** Shield's konstant finnes fra tabell**.** I praksis kan ***Cs = 0.05*** brukes for vanlige strømtilfeller i vassdrag med grus eller grovere bunn.
- ***R*** hydraulisk radius (***R = A/P***, ***A*** er tverrsnittsareal og ***P*** er våt omkrets)
- I_e er helningen på energilinjen (ved normalstrømning/underkritisk strømning kan vi sette $I_e = I_b$ som er bunnhelningen)
- τ_c kritisk skjerspenning

Vedlegg 2. Definisjoner og forklaringer

Vannføring: Vannmengde som passerer et gitt punkt i elva, uttrykt i volum pr. tidsenhet (oftest m^3/s).

Gjentaksintervall: Gjennomsnittlig antall år mellom hver gang en hendelse (flom) vil inntreffe.

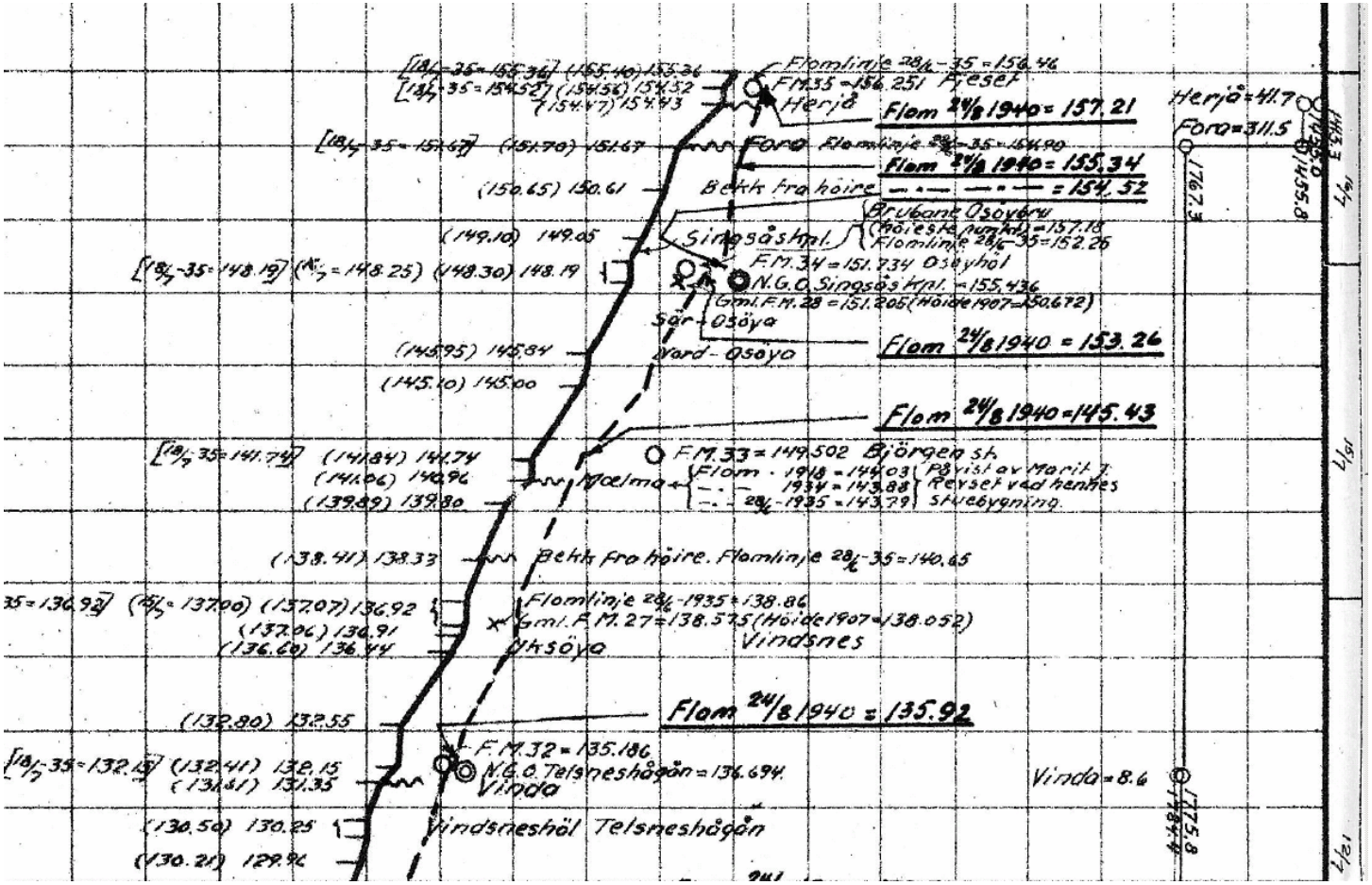
Middelflom: Gjennomsnittet av den største vannføringen hvert år.

10-årsflom: Flom med gjentaksintervall 10 år. Det er 10% sannsynlighet, hvert år, for at en flom av denne størrelse vil overskrides.

100-årsflom: Flom med gjentaksintervall 100 år. Det er 1% sannsynlighet, hvert år, for at en flom av denne størrelse vil overskrides.

Hydrologi: Vitenskapen som behandler vannets kretsløp.

Vedlegg 3. Utsnitt fra NVEs vassdragsnivellement fra 1935 med påtegnet flomhøyder fra 1940-flommen



Vedlegg 3 forts.

VASSDRAGSNIVELLEMENT CAULA, SØR-TRØNDELAG – L.NR. 408

Korreksjoner for omregning av höydene på nivellementsplansjen til NGO's generalplan av 1954.

Km på plansjen	Fastmerke	Plansje-höyden	Korr. (mm)	Höyden i NGO's g.pl. av 1954
50,0			+ 506	
52,3	FM 23	78,229	+ 503	78,732
54,0	FM 24	87,926	+ 501	88,427
55,3	FM 25	90,308	+ 500	90,808
55,7	NGO-Rognes st. av 1930	97,147	+ 499	97,646
56,5	FM 26	96,394	+ 498	96,892
58,5	FM 27	101,791	+ 496	102,287
60,9	FM 28	117,480	+ 494	117,974
63,8	FM 29	121,401	+ 491	121,892
64,9	FM 30	125,196	+ 490	125,686
66,2	FM 31	129,418	+ 489	129,907
68,3	FM 32	135,186	+ 487	135,673
70,4	FM 33	149,502	+ 485	149,987
71,6	NGO-Singsås kirke av 1930	155,436	+ 484	155,920
71,7	FM 34	151,734	+ 484	152,218
72,9	FM 35	156,251	+ 438	156,734

Nye opplysninger om fastmerker.

FM 22 og 28 er borte (1978).

FM 23, 24, 30 og 32 er funnet (1978).

FM 25, 26, 31, 33 og 35 er ikke funnet (1978).

FM 27, 29 og 34 er funnet. Malt. (1978).

47. Ved F.M. 31 - Tilsnesbekk - vistes meget tydelig avfallsrand ved fastmerket og 2 m. fra yttre jernbaneskinne.
Flomhöyden = 128.90 m.o.h.

48. Ved F.M. 32 - Vindas utlöp i Gaula - vistes tydelig avfallsrand rett inn for fastmerket.
Flomhöyden = 125.92 m.o.h.

49. Ved gården Öyan påvistes flomhöyden av Knut Öyan i forhold til flommen i 1918 som er nivellert inn i 1935. Flomhöyden 1940 = 130.74 m.o.h. eller 0.47 m. höyere enn i 1918 (etter nevnte påvisning)

50. I våningshuset hos Marit Revset, Björgen stasjon, gikk vatnet på det höyeste til underkanten av vinduene i første etasje. Den 24/6 1918 gikk det i höyde med gulvet eller 65 cm. lavere enn den 24/8 1940. Höyden for flomvannstanden i år = 144.68 m.o.h.

51. Ved F.M. 33 - Björgen st. - var der i gjerdestolpe ved villa Frigård - rett ned for stasjonen - skåret et merke : 1940 for höyeste flomvannstand. Ved sammenligning med tydelig avfallsrand på nedsiden av jernbanens gjerde fant en at merket var rett sett. Flomhöyden er her = 145.23 m.o.h. Eieren av Frigård mente at flommen kulminerte akkurat kl.12.

52. Ved F.M. 34 - Osöybru - vistes meget tydelig avfallsrand rett inn for fastmerket og höyden på flommen er 153.26 m.o.h.

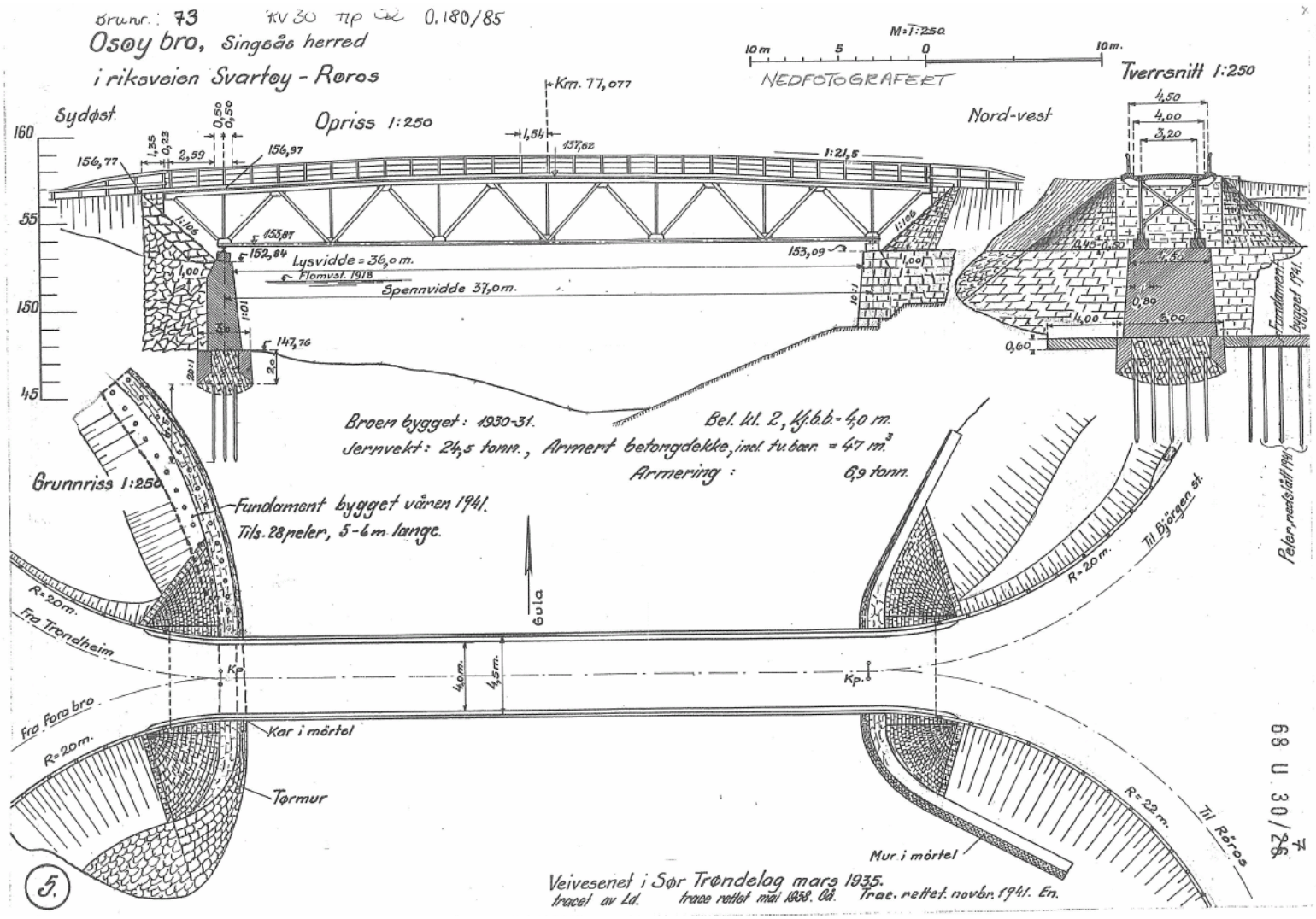
53. Like på översiden av Osöybru har flommen vært en god del höyere enn ved F.M. 34 da bru har stuet atskillig. På grunn av bölgeslag lot det sig ikke her gjöre å fastslå höyeste vannstand nöyaktig. En har derfor skjönnsmessig mält flomhöyden til 154.52 m.o.h.

54. Ved Foros, 70 nedenfor Foras utlöp i Gaula ble flomvannstanden påvist av Foros's eier rett ned for våningshuset. Höyden = 155.34 m.o.h. Etter samme påvisning ble flomhöyden i 1918 like ved Foras utlöp bestemt til 155.24 m.o.h. Men fra dette pkt. til den påviste flomhöyde 1940 er der endel fall.

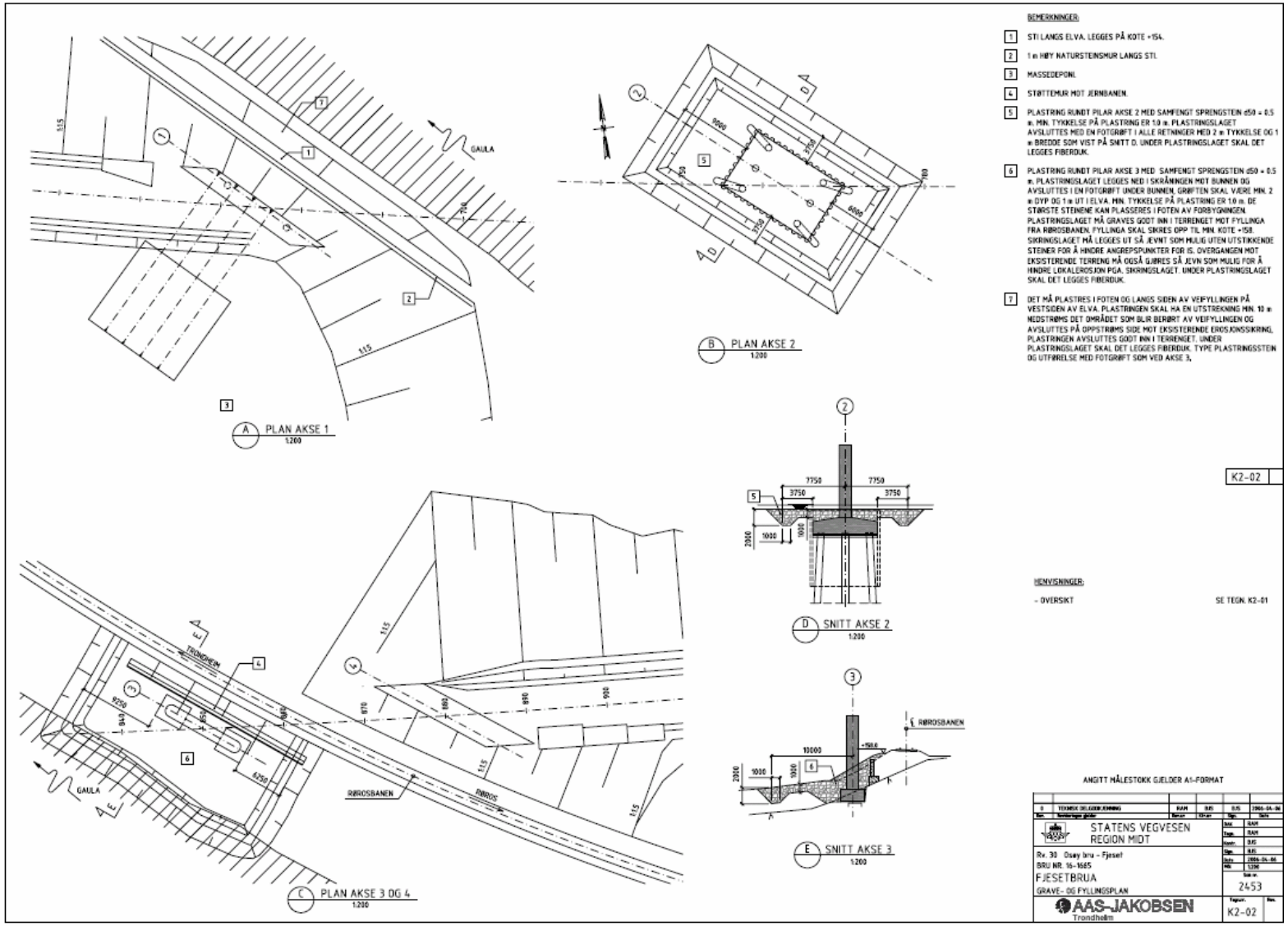
55. Ved F.M. 35 - Herjå - vistes tydelig avfallsrand rett opp for fastmerket.
Flomhöyden = 157.21 m.o.h.

Observer!
Höyden over havet for de nedenfor nevnte flomvannstander refererer seg dels til de gamle fastmerker i nivellementet av 1907 og dels til N.G.O's (d.v.s. Vassdragsvesenets) generalplan. Generalplanet for nivellementet av 1907 ligger gjennomgående 0.54 m. höyere enn Vassdragsvesenets nåværende generalplan, og höyden for de nedenfor inntatte flompunkter vil derfor bli oppgitt etter begge generalplaner.

Vedlegg 4. Tegning av Osøybrua (kilde: vegvesenet)



Vedlegg 5. Grave- og fyllingsplan (utarbeidet av Aas-Jakobsen etter anbefalinger fra NVE)



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

Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2006

Nr. 1 Lars A. Roald, Stein Beldring, Torill Engen Skaugen, Eirik J. Førland and Rasmus Benestad: Climate change impacts on streamflow in Norway (74 s.)

Nr. 2 Nils-Henrik Mørch von der Fehr: Produksjonstilpasningen i kraftmarkedet (s.)

Nr. 3 Lars-Evan Pettersson: Flommen i Arnevikselva vinteren 2006 (10 s.)

Nr. 4 Hans Christian Olsen: Bondhusvatn. Sedimenttilførsel før og etter reguleringen (31 s.)

Nr. 5 Thomas Væringstad: Flomberegning for Emhjellevatnet etter reguleringen (30 s.)

Nr. 6 Randi Pytte Asvall: Altautbyggingen. Vanntemperatur- og isforhold ved bruk av øvre inntak om vinteren (2005 - 06) (30 s.)

Nr. 7 Pål Meland, Terje Stamer Wahl, Asle Tjeldflåt: Forbrukerfleksibilitet i det norske kraftmarkedet (48 s.)

Nr. 8 Beate Sæther: Flomfrekvensanalyse for 137.7 Z Lauvsneselva (23 s.)

Nr. 9 Gaute Lappegard, Stein Beldring and Lars A. Roald (NVE), Torill Engen-Skaugen and Eirik J. Førland (met.no) Projection of future streamflow in glaciated and non-glaciated catchments in Norway (64 s.)

Nr. 10 Støy i små vannkraftverk (45 s.)

Nr. 11 Hervé Colleuille: Filefjell - Kyrkjestølane (073.Z) Grunnvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2005-06

Nr. 12 Hervé Colleuille: Groset forsøksfelt (016.H5) Grunnvanns- og markvannsundersøkelser Tilstandsoversikt 2005-06

Nr. 13 Beate Sæther: Flom- og hydrauliske beregninger ved flytting av deler av elveløpet i Midtbygdavassdraget (36 s.)

Nr. 14 Beate Sæther: Hydrologiske analyser for ulike vannuttak og reguleringer i 178.43Z Blokkelva (30 s.)

Nr. 15 Beate Sæther: Flom- og hydrauliske beregninger ved bygging av ny bru over Gaula ved Singsås (25 s.)