

**Dovrebanen  
(Fåberg) – Vinstra  
Ringebu, km 241  
Randklev bru**

**DIMENSJONERING AV EROSJONSSIKRING VED  
RANDKLEV BRU**

|                                                                                                                                          |                    |                                        |           |                |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|-----------|----------------|-------------------|
|                                                                                                                                          |                    |                                        |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    |                                        |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    |                                        |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    |                                        |           |                |                   |
| 00                                                                                                                                       | Førsteutkast       | 19.01.2024                             | PLUB      | GRV            | <>                |
| Rev.                                                                                                                                     | Revisjonen gjelder | Dato                                   | Utarb. av | Kontr. av      | Godkj. av         |
| <b>Dovrebanen<br/>(Fåberg – Vinstra)<br/>Ringebu, km 241<br/>Randklev bru<br/>Dimensjonering av erosjonssikring ved<br/>Randklev bru</b> |                    | Ant. sider                             | Produsent | <b>RAMBOLL</b> |                   |
|                                                                                                                                          |                    | <b>21</b>                              |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    | Produsent                              |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    | Prod. dok. nr.                         |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    | Erstatning for                         |           |                |                   |
|                                                                                                                                          |                    | Erstattet av                           |           |                |                   |
| Prosjekt: 60070710                                                                                                                       |                    | Dokument nr.:<br><b>POM-03-A-00057</b> |           |                | Rev.<br><b>00</b> |
| <b>BANE NOR</b>                                                                                                                          |                    | FDV-dokument nr.:                      |           |                | Rev.              |

|          |                                                                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INNLEDNING.....</b>                                                                                                 | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>HYDRAULISK SIMULERING.....</b>                                                                                      | <b>4</b>  |
| 2.1      | KALIBRERING/TILPASNING AV HYDRAULISK MODELL .....                                                                      | 5         |
| <b>3</b> | <b>RESULTAT AV SIMULERINGENE.....</b>                                                                                  | <b>6</b>  |
| 3.1      | SAMMENLIGNING AV VANNSTANDER FOR MIDDELFLOM OG 200 ÅRS FLOM MED OG UTEN TILTAK I ELVA 6                                |           |
| 3.2      | SAMMENLIGNING AV VANNHASTIGHET OG SKJÆRSPENNING MED OG UTEN TILTAK FOR EN MIDDELFLOM – 1300 M <sup>3</sup> /S. ....    | 7         |
| 3.3      | SAMMENLIGNING AV VANNHASTIGHET OG SKJÆRSPENNING MED OG UTEN TILTAK FOR EN 200 ÅRS FLOM - 2 700 M <sup>3</sup> /S ..... | 9         |
| 3.4      | FLOMSONER 200 ÅRS FLOM .....                                                                                           | 13        |
| <b>4</b> | <b>DIMENSJONERING AV EROSJONSSIKRING.....</b>                                                                          | <b>14</b> |
| 4.1      | SIKRING AV FYLLING RUNDT BROPILARER .....                                                                              | 14        |
| 4.2      | SIKRING AV FYLLINGSSKRÅNINGER .....                                                                                    | 15        |
| 4.3      | SIKRING AV ELVEBUNN RUNDT FYLLINGENE. ....                                                                             | 17        |
| 4.4      | UTLEGGING AV PLASTRING .....                                                                                           | 19        |
| 4.5      | SPUNT FOR STØPING RUNDT PILARER .....                                                                                  | 20        |
| <b>5</b> | <b>OPPSUMMERING OG ANBEFALING.....</b>                                                                                 | <b>22</b> |
| <b>6</b> | <b>HENVISNINGER.....</b>                                                                                               | <b>23</b> |

## 1 INNLEDNING

Dovrebanen krysser Gudbrandsdalslågen ved Ringebru. Brua over Lågen ligger ved Randklev litt sør for Ringebru og ble bygget i 1957. Rett oppstrøms for jernbanebrua ligger en veibru som var den opprinnelige jernbanebrua bygd i 1890 årene. Fundamentene til denne ble restaurert i forbindelse med bygging av ny jernbanebru.

Under uværet Hans i august 2023 kollapset det østlige av jernbanebruas brufundament, og de to østligste delene av fagverksbrua falt i elva.

Brua skal gjenoppbygges og det skal legges ut fyllinger rundt både eksisterende pilar og den nye for å sikre stabiliteten av disse. Både brupilarene og fyllingene må erosjonssikres, og det må samtidig dokumenteres hvilke konsekvenser dette tiltaket får for vannstand, vannhastighet og erosjonsfaren i elven omkring fyllingene

Dette notatet presenterer resultatene fra de hydrauliske simuleringer og kvantifiserer endringene i vannhastigheten, vannstanden og skjærspenningen for middelflommen og for dimensjonerende 200 års flom etter at fyllingene er bygd. De hydrauliske simuleringene danner grunnlag for dimensjonering av erosjonssikringene.

For bakgrunnsinformasjon om vassdraget og vassdragets hydrologi henvises til hydrologirapport Hydraulic Randklev som ble laget i først del av prosjektet. Flomvannføringer som er brukt i simuleringene er hentet fra NVE 2015 (Tabell 1).

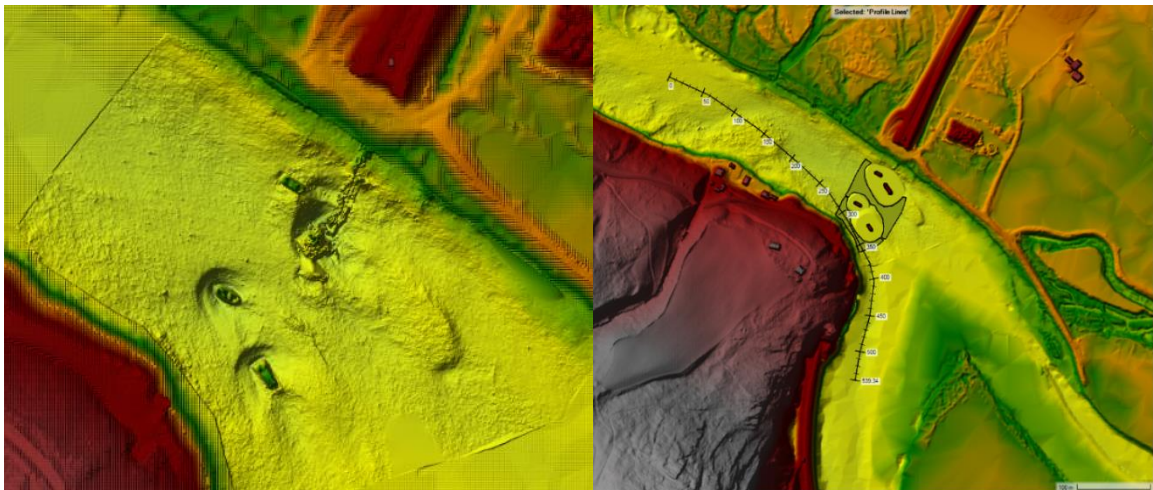
*Tabell 1. Flomvannføringer beregnet for Randklev bru (NVE, 2015).*

| Profil   |  | $Q_M$ | $Q_5$ | $Q_{10}$ | $Q_{20}$ | $Q_{50}$ | $Q_{100}$ | $Q_{200}$ | $Q_{500}$ | $Q_{1000}$ |
|----------|--|-------|-------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Ringebru |  | 1323  | 1570  | 1783     | 1992     | 2267     | 2455      | 2697      | 3024      | 3275       |

## 2 HYDRAULISK SIMULERING

Simuleringen ble utført med HEC-RAS 6.4.1. Det ble satt opp en terrengmodell basert på data nedlastet fra hoydedata.no prosjekt Innlandet 5pkt. 2021 lastet ned 29.08.2023 og fra data fra regionplan Lågen (Regionplan Lågen, 2017).

Det er i tillegg benyttet data fra bunnkartlegging utført av ScanSurvey onsdag 30.09.2023. Bunnen ble kartlagt fra 70 m oppstrøms brua til 90 m nedstrøms brua og avgrensing oppover og nedover vises tydelig i venstre bildet i Figur 1. Det ble i oktober utført en kartlegging videre oppover elva som vist i figuren til høyre. Der er også de prosjekterte sikringsfyllingene og omfanget av erosjonssikringen er lagt inn.



*Figur 1. I venstre figur vises tydelig øvre og nedre grense for området som ble bunnkartlagt 30.08.2023. Både brupilarene og tilhørende erosjonsgroper vises tydelig. De planlagte fyllingene sammen med plastringsområdet er lagt inn i figur til høyre. Linje i høyre figur viser hvor sammenligningen av vannstander i Kap. 4 er gjort.*

Data fra bunnkartleggingen er av god kvalitet, og gir et svært godt grunnlag for de hydrauliske simuleringene. Kartleggingen av bunnen viser utstrakt erosjon både rundt det kollapsede fundamentet og rundt de gjenstående fundamentene/brupilarene. Som det fremgår i Figur 1 var det ikke store avvik mellom den nye bunnskanningen og bunndata fra regionplan Lågen i overgangen mellom disse.

Fyllingene omkring pilarene er lagt inn i terrengmodellen i HEC-RAS som vist i Figur 1 slik de er prosjektert i geoteknisk beregningsrapport POM-03-A-00016. Pilarene er lagt inn basert på brutegninger og bunnskanningen, og ny pilar etter prosjektert løsning fra konstruksjon.

Det ble bruk 2D versjon av HEC-RAS med gridstørrelse 2,5 m. For fyllinga og området rundt ble det brukt finere grid på 1 m via "Refinement" modusen i HEC-RAS. Tidsskrittet som ble brukt var i hovedsak 5 sekunder, men 1 og 2 sekund der det oppstod ustabiliteter. I alle simuleringene er SWE-ELM løsningen av ligningene i HEC-RAS benyttet.

Vannstanden i Losnavatnet, som ligger ca. 20 km nedstrøms, påvirker vannstanden ved Randklev bru. Det betyr at høy vannstand i vatnet gir oppstuvning opp til

Randklev. Siden målet med dette prosjektet er å bestemme dimensjonerende hastigheter, vannstander og skjærspenninger for fyllinger og erosjonssikringer er det brukt normalstrømning ved Elstad som nedre grensebetingelse. Dette gjør at vannstanden ved Randklev er upåvirket av Losnavatnet og kun avhengig av vannføring i Lågen.

## 2.1 Kalibrering/Tilpasning av hydraulisk modell

Det er ikke utført vannføringsmålinger ved Randklev bru, men NVE sin målestasjon Losna ligger ca. 20 km sør for brua. Vannføringen der er i de fleste situasjoner ganske lik som ved Randklev.

Under ekstremværet «Hans», i august 2023, var vannføringen ved Losna anslått til ca. 2900 m<sup>3</sup>/s (E. Holmkvist, pers. kom.), noe som tilsvarer litt over en 200 års flom ved Randklev bru. Ringebu kommune målte da en vannstand lik 187,47 moh. på oppsiden av veien til Randklev bru.

I simuleringen er det tilpasset en ruhet lik  $n = 0,035$  som gir en vannstand lik 186,8 for en vannføring på 2700 m<sup>3</sup>/s ved Randklev. Dette viser at modellen er bra tilpasset for høye vannføringer. Det kan være et lite avvik fra denne ruheten på lavere vannføringer, men for denne analysen er dette en god tilpasning. Denne ruheten stemmer også bra med erfaringsverdier. Kvaliteten på simuleringene anses derfor som god og med lav usikkerhet.

### 3 RESULTAT AV SIMULERINGENE.

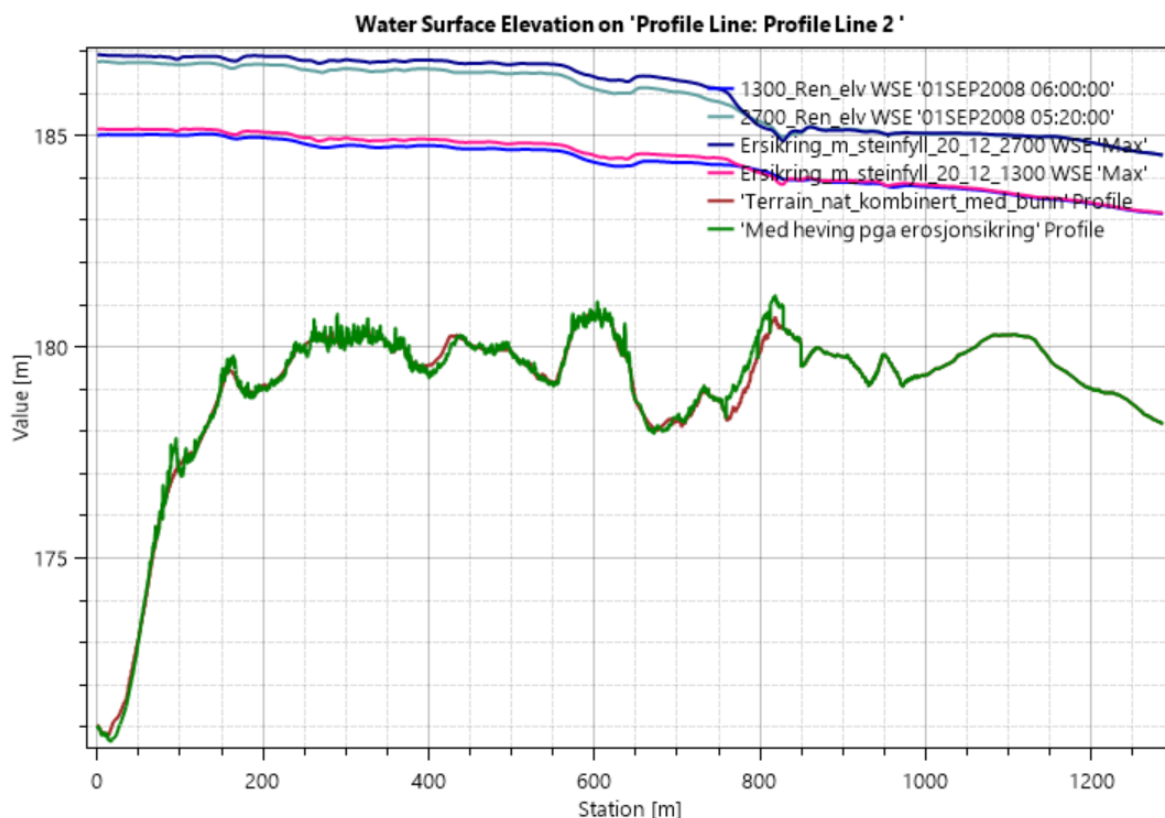
Det er kjørt simuleringer for dagens elv og for permanent situasjon etter at fyllingene og erosjonssikringene er lagt inn i terrengmodellen. Det er simulert for middelflom som referanseflom og for dimensjonerende 200 års flom. Resultatene er så sammenlignet for å dokumentere effekten som fyllingene og erosjonssikringene har på vannstand, vannhastighet og skjærspenning.

Tiltaket gir en økning i skjærspenning også rundt sikringsfyllingene. For å hindre erosjon er det anbefalt å erosjonssikre området rundt både pilarene og sikringsfyllingene. Hvordan dette kan gjøres og beregning av steinstørrelse er beskrevet i kapittel 5.

#### 3.1 Sammenligning av vannstander for middelflom og 200 års flom med og uten tiltak i elva

Figur 2 viser endring i vannstanden for en middelflom og en 200 års flom, med og uten tiltak i elva langs svart strek i Figur 1.

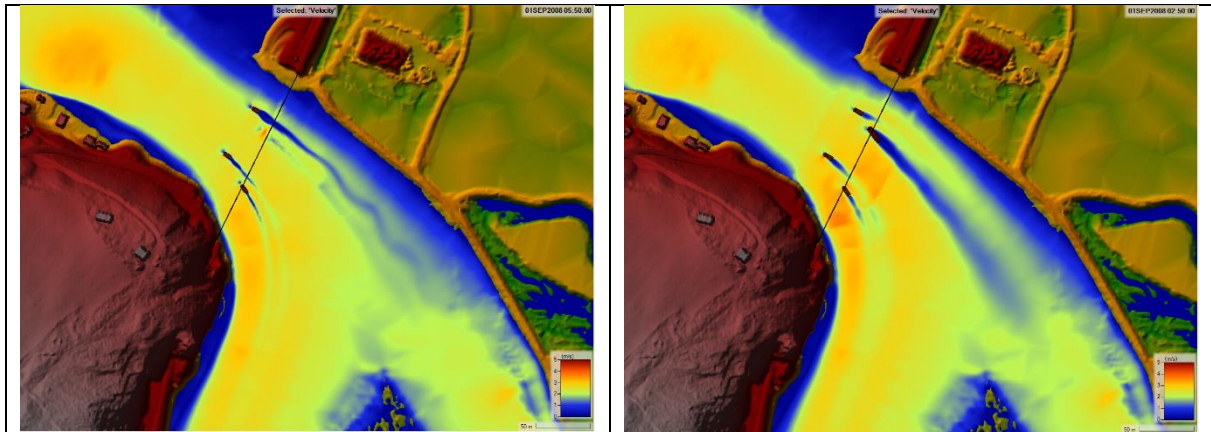
Det blir en liten vannstandsøkning ved middelflom, men opp mot 25 cm økning i vannstand rett oppstrøms brua ved dimensjonerende 200 års flom.



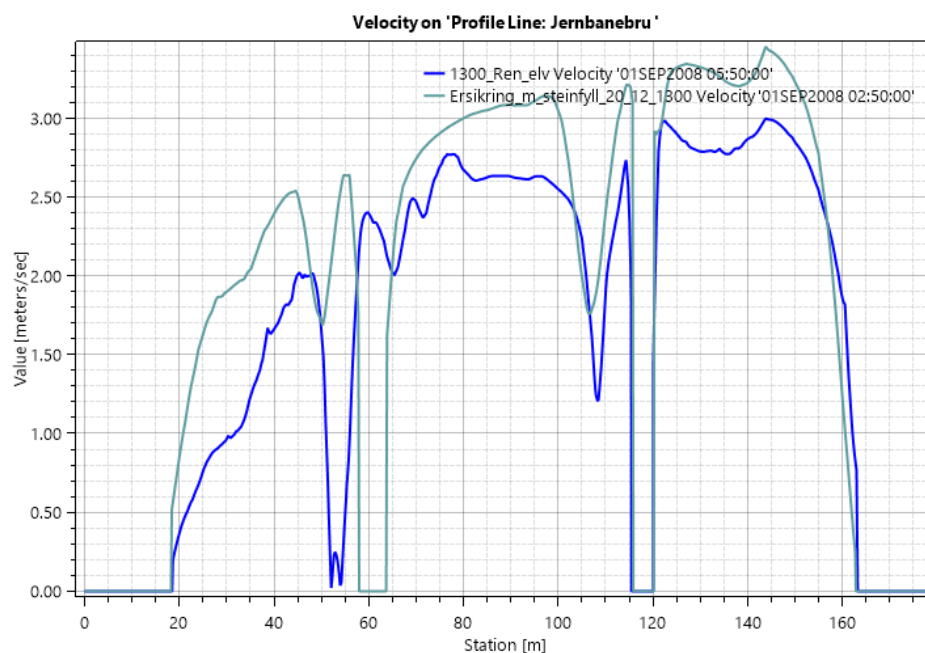
Figur 2. Vannstander ved en middelflom (1300 m³/s) og 200 års flom (2700 m³/s) med og uten fyllinger og erosjonssikringer.

### 3.2 Sammenligning av vannhastighet og skjærspenning med og uten tiltak for en middelflom – 1300 m<sup>3</sup>/s.

Figur 3 viser at det er hastigheter opp mot 3 m/s i elva uten fyllinger og opp mot 3,4 m/s med fyllinger. Hastigheten i et snitt langs jernbanebrua er vist Figur 4.

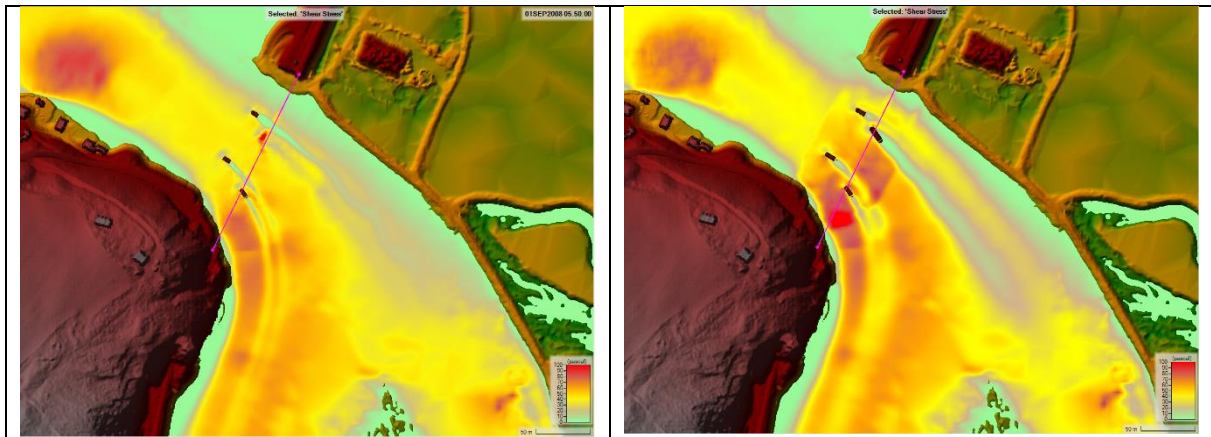


Figur 3. Hastighetsbildet før tiltak til venstre og etter til høyre



Figur 4. Vannhastighet langs svart linje fra nord til sør i figur 3.

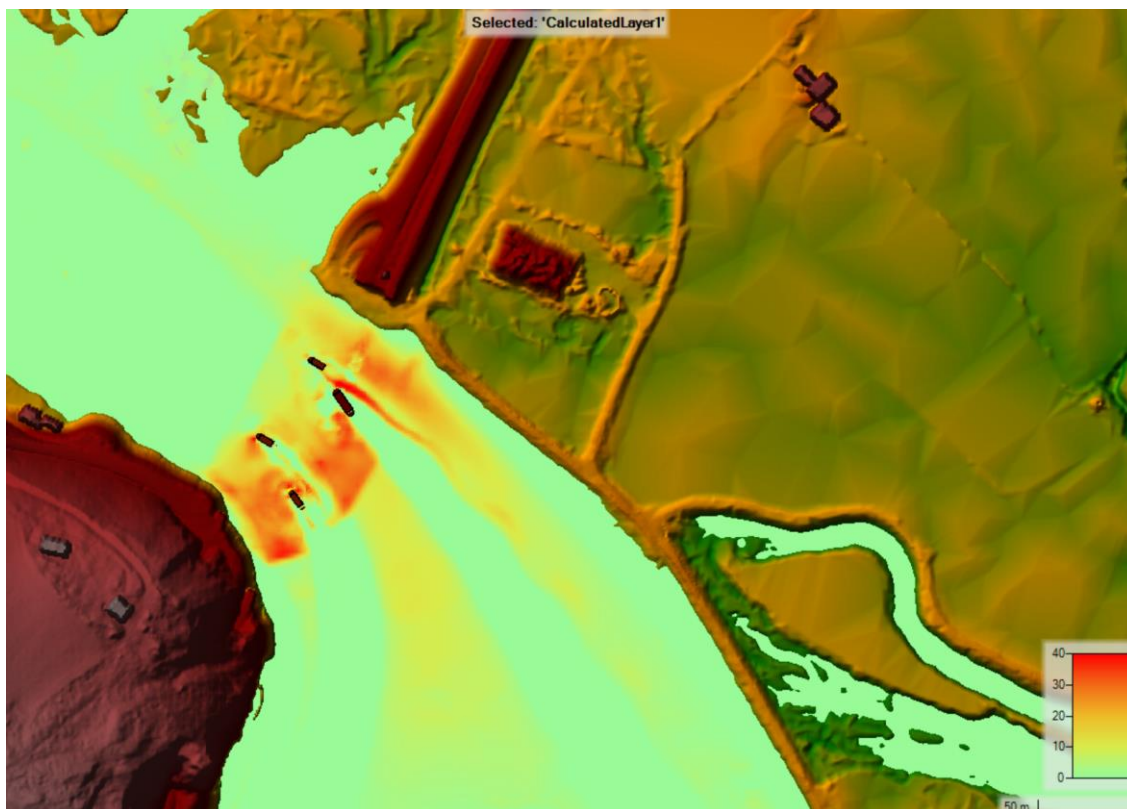
Simuleringene gir skjærspenning opp mot  $70 \text{ N/m}^2$  uten tiltak opp mot  $100 \text{ N/m}^2$  med tiltak (Figur 5). Figur 6 viser differensen i skjærspenning med og uten tiltak langs rosa linje i Figur 5. Figur 7 viser romlig variasjon i endring i skjærspenning med og uten tiltak for middelflommen. Det oppstår en økning på ca.  $30 \text{ N/m}^2$  over fyllingene.



Figur 5. Skjærspenninger uten tiltak til venstre og med tiltak til høyre.



Figur 6. Skjærspenning langs rosa linje i figur 5 fra nord til sør.



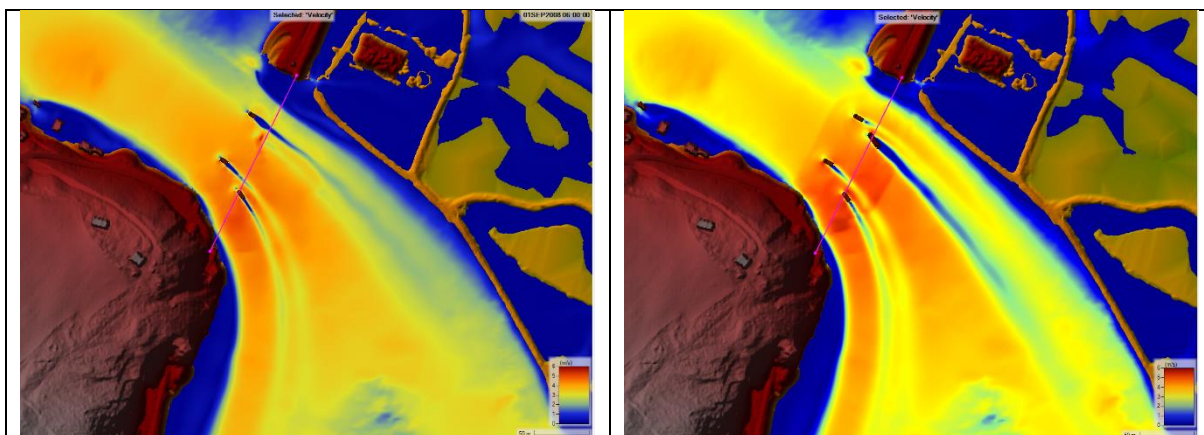
Figur 7. Økning i skjærspenning som følge av fyllinger og erosjonssikringer for en middelflom ( $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### 3.3 Sammenligning av vannhastighet og skjærspenning med og uten tiltak for en 200 års flom - $2\,700 \text{ m}^3/\text{s}$

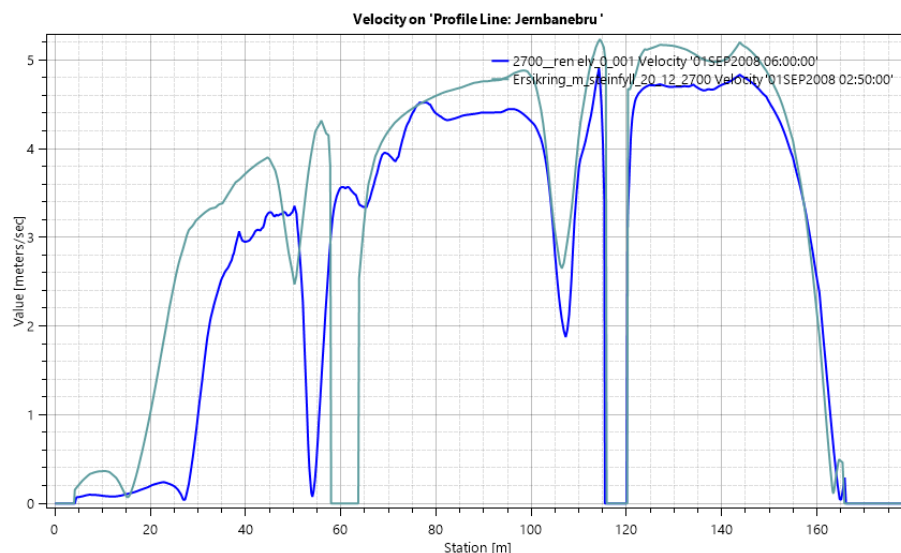
Resultatene for en 200 års flom er vist i figur 8 til figur 13. Det oppstår høye hastigheter over fyllingene og et stykke nedstrøms disse som et resultat av at elvas tverrsnitt blir innsnevret av fyllingene. De høyeste hastighetene oppstår i innersvingen mot den vestlige bredden, sør for de sydligste brupilarene. Der oppstår det også relativt høye skjærspenninger (Figur 10).

På elvas vestside har elvebunnen sitt laveste punkt rett oppstrøms veibrua (ca. 178,4 moh.) og stiger med nesten to meter til 180,6 moh. like nedstrøms jernbanebrua. Det samme mønsteret ser man på elvebunnen mellom fyllingene der bunnen stiger fra 178,1 moh. oppstrøms veibrua til 180,5 moh. ca. 60 m nedstrøms jernbanebrua.

Denne oppgrunningen er årsaken til de høye skjærspenningene man ser i området nedstrøms bruene. Områdene nedstrøms bruene vil trolig få en justering av elvebunnen i de kommende flommene for å tilpasse seg de nye forholdene.

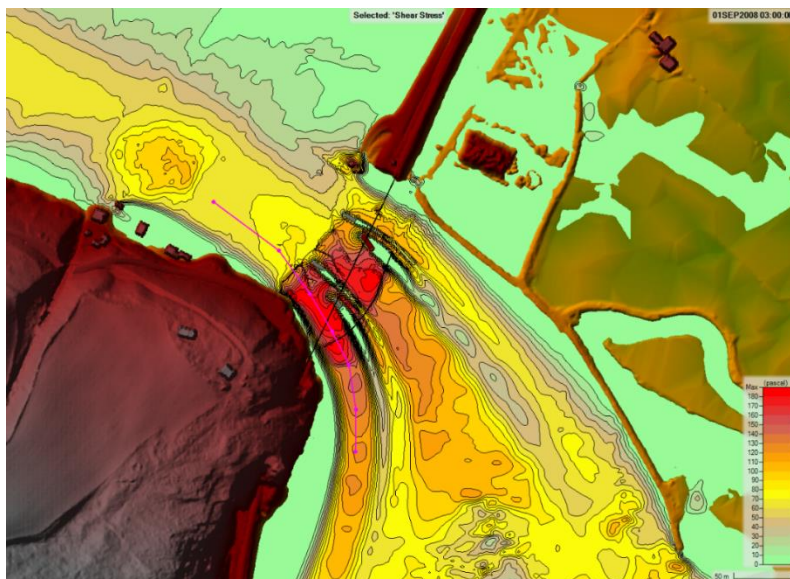


Figur 8. Hastighetsbilde før tiltak til venstre og etter tiltak til høyre.

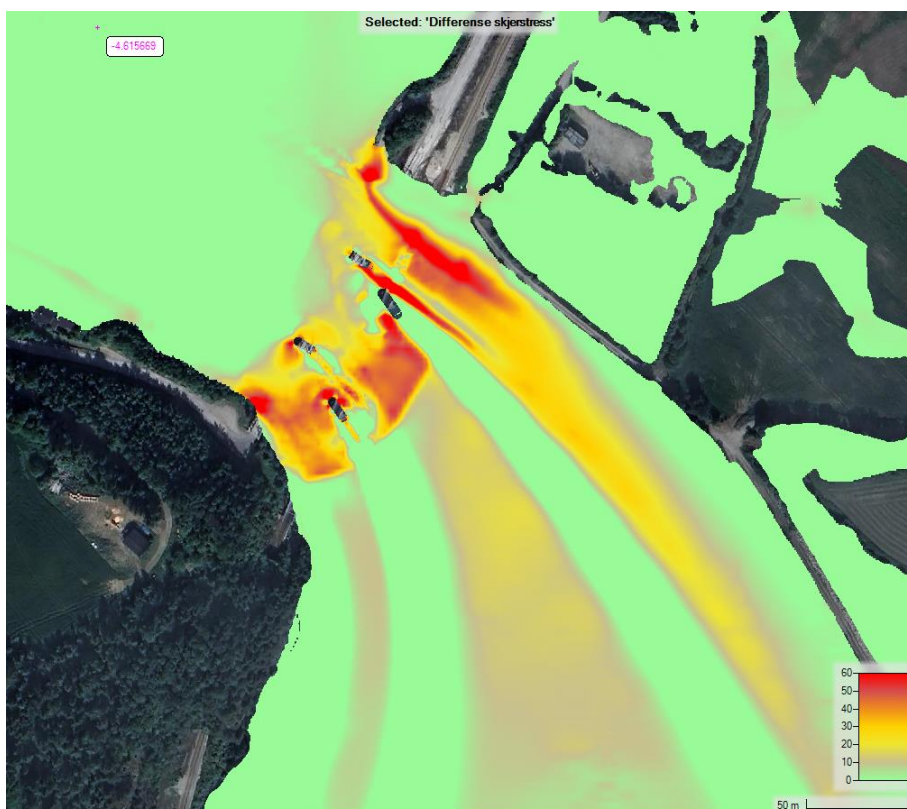


Figur 9. Vannhastigheter før og etter tiltak langs rosa linje i figur 8.

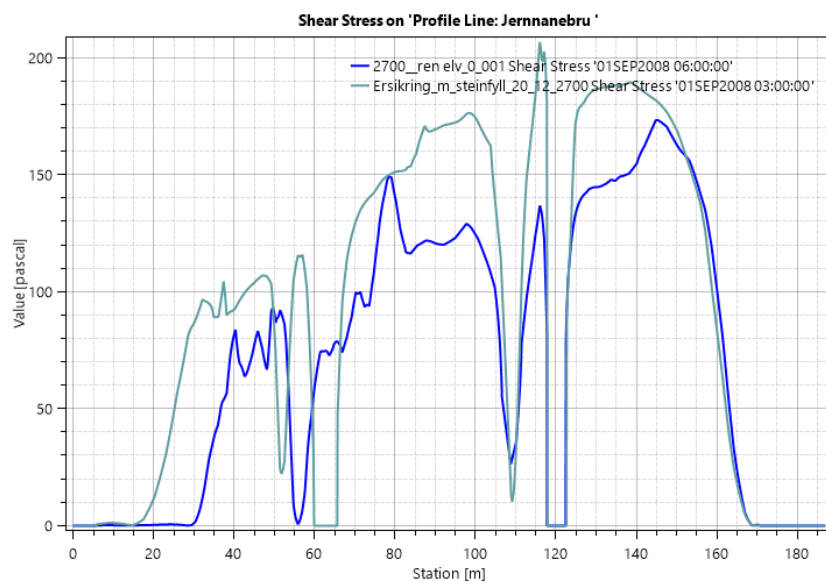
Det oppstår og økte hastigheter (Figur 9) skjærspenninger (Figur 10- 12) på østsiden av elva. De økte skjærspenningene oppstår som følge av fyllingene rundt den østlige pilaren i et område hvor det er erosjonssikret, og utgjør derfor liten fare.



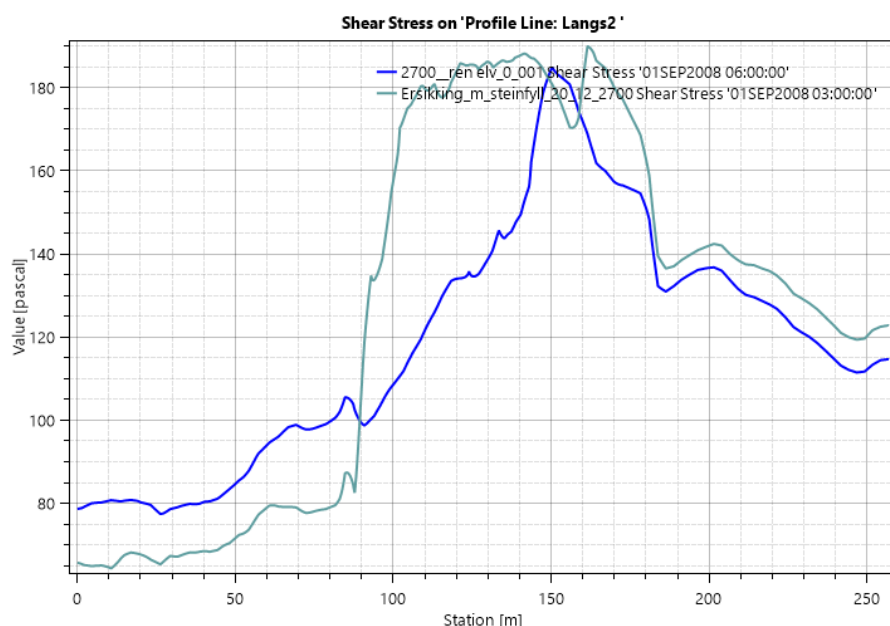
Figur 10. Skjærspenningen i elva etter at fyllinger og erosjonssikringer er lagt inn i modellen.



Figur 11. Endringer i skjærspenninger før og etter at fyllinger og erosjonssikring er lagt inn for 200 års flom. Det er en økning på opp mot 50 N/m<sup>2</sup> med fyllinger i elva.



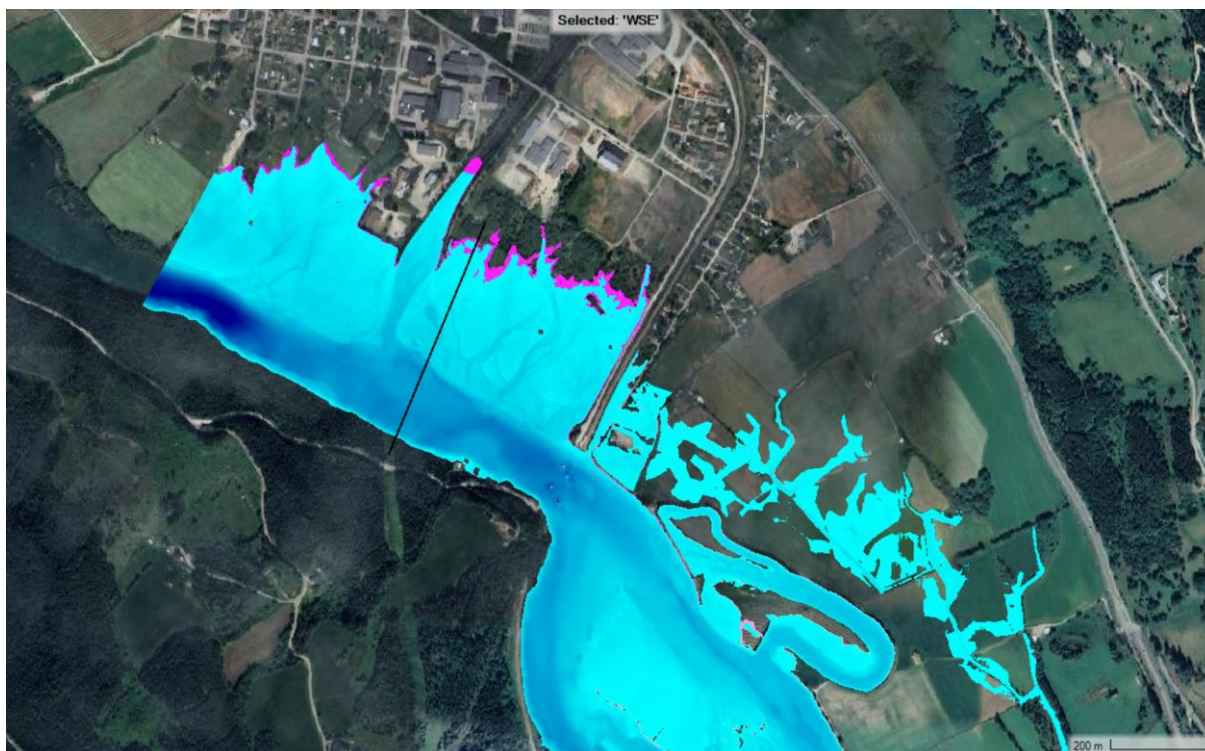
Figur 12. Sammenligning av skjærspenningen langs svart tverrprofil i figur 10 fra nord mot sør for 200 års flom.



Figur 13. Sammenligning av skjærspenninger langs lengdeprofilet vist i linjen i figur 1 plottet fra nord til sør. Med fylling blir skjærspenningen over fyllingen lik som over den naturlige forhøyningen nedenfor brua uten fylling.

### 3.4 Flomsoner 200 års flom

Det er simulert en økning i vannstand på ca. 25 cm rett opp for brua. Økningen avtar oppover elva. Denne økningen medfører en økt flomutbredelse som følge av tiltaket vist med rosa farge i Figur 14.



Figur 14. Utbredelsen av 200 års flom med og uten tiltak i elva. Rosa viser den ekstra utbredelsen på grunn av fyllingene rundt brua.

## 4 DIMENSJONERING AV EROSJONSSIKRING

Den planlagte erosjonssikringen vil ikke være tilgjengelig for reparasjon og vedlikehold etter bygging. Det er derfor valgt å foreta en konservativ dimensjonering, og anbefalt å bruke plastring i stedet for rauset steinlag. Dette er vurdert som god nytte/kost, og gir en høyere sikkerhetsmargin mot skader på tiltaket. Bruk av større stein i plastringen vil også gjøre utleggingen raskere og redusere byggetiden.

I bratte elver med høye hastigheter er det vanlig å sikre bunn og sider ved å plastre med ett lag stor stein. Selv om Lågen ved Randklev er slak, vil dette være en egnet, men også konservativ framgangsmåte her. Plastring motstår høyere vannhastigheter enn ordna steinlag så lenge steinene er store og tilpasses/låses til hverandre slik at «fugene» mellom steinene blir små. Dette gir samtidig en innspenningseffekt som det ikke er tatt hensyn til i formelverkene (sikringshåndboka.nve.no). Forutsatt riktig utførelse ligger steiner i slike konstruksjoner mer stabilt enn den beregnede stabiliteten for enkeltsteiner tilsier. Plastring gir også lavere forbruk av stein enn rausing, og ansees som en effektiv og god metode for sikring av store arealer av elvebunn.

Erosjonssikringen legges enten direkte på eksisterende elvebunn der man til en stor grad kjenner steinstørrelsen, eller på en fylling med stein av kjent størrelse (kult 20-120). Disse kjente underliggende masser er så grove at de fungerer som et filterlag og medfører liten risiko for erosjon og utvasking.

### 4.1 Sikring av fylling rundt bro Pilarer

Rundt bro Pilarer øker hastigheten og vann presses ned mot bunnen, og uten sikring vil det kunne dannes en erosjonsgrop rundt pilarene. For dimensjonering av steinstørrelse for å sikre mot erosjon rundt bro Pilarer anbefales ligningen fra Lagasse 2007 (NVE, 2009). I veilederen er det ikke spesifisert om dette gjelder stein som rauses eller plastres, men fra figur 83 i veilederen, gjengitt i Figur 15 og beskrivelse ser det ut som det er for rausing. Lagasse's formel er gitt som:

$$D_{50} = K_f \frac{0,692V_{\text{lokal}}^2}{2g(s-1)}$$

Her er:

$D_{50}$  = stabil steinstørrelse (m)

$K_f$  = formfaktor

$s$  = steinens spesifikke tetthet (-)

$g$  = tyngdens akselerasjon (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$V_{\text{lokal}}$  = hastigheten rett oppstrøms bro Pilaren (m/s)

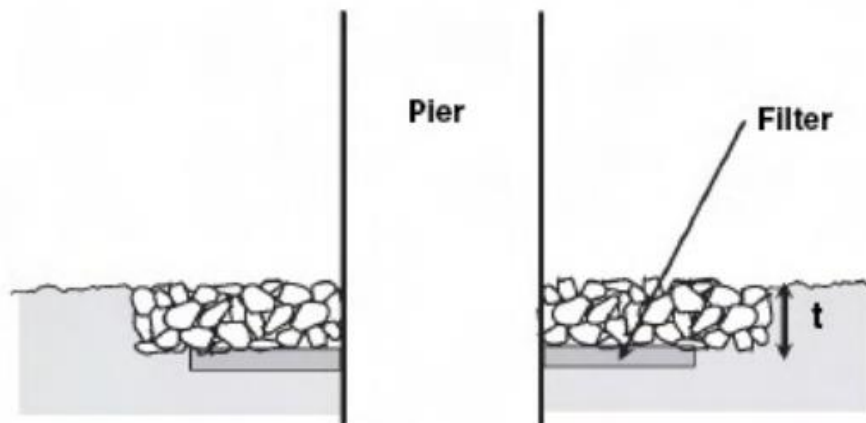
Veilederen anbefaler at sikringen legges i en utstrekning fra pilaren lik 2 ganger bredden. Hvis bro Pilaren er vridd i forhold til strømretningen, så må et større område

beskyttes. Bredden av pilaren settes da lik projisert bredde normalt på strømretningen (NVE, 2009).

Den hydrauliske simuleringen gir hastigheter oppstrøms bropilarene opp mot 4,8 m/s ved dimensjonerende 200 års flom. Med formfaktor for spiss/rund nese på pilarene på 2,3 beregnes stabil steinstørrelse  $D_{50}$  med Lagasse's formel til 1,3 m. Lagasse's metode angir bare  $D_{50}$  og ikke gradering av massene som legges ut. Stein over 1 m i diameter er det lite hensiktsmessig å raise, og det anbefales heller at det flatplastres rundt pilaren. Prosjektering og utførelse av flatplastring er beskrevet i Sikringshåndboka, Modul F2.203. (sikringshandboka.nve.no).

Den nye pilaren i akse 3 er 5 m bred. Den står på et betongfundament som stikker ut 2,5 m ut på begge sider av pilaren. På dette fundamentet og videre til 10 meter ut fra pilaren anbefales det å plastre med ett lag med 1 m tykk stein (minste akse).

Selv om pilaren har en vinkel i forhold til strømretningen, anses dette for trygt siden plastring er betydelig mer motstandsdyktig mot høye vannhastigheter enn ordna steinlag. Utenfor dette sikres fyllingene som angitt i kapittel 4.2 nedenfor.



Figur 15. Sikring rundt bropilar (NVE 2009)

For pilar i akse 2 som er 4 meter bred plastres det på samme måte som for pilaren i akse 3 ut til 8 meter rundt pilaren med stein med minimum 1 meters tykkelse. Utenfor dette sikres fyllingene som angitt i kapittel 4.2 nedenfor.

## 4.2 Sikring av fyllingsskråninger

En fylling som legges ut i elva og stikker opp fra elvebunnen, er utsatt for sterke strømkrefter og økt erosjonsfare. Fyllingsskråningene i utkanten av erosjonssikringene rundt pilarene må også sikres mot erosjon. Selve fyllingene vil bli bygd opp med stein i fraksjon 22-122 mm som angitt i POM-03-A-00049.

For erosjonssikring av bunn er det anbefalt å bruke Maynords ligning (NVE, 2009):

$$D_{30} = S_f C_s C_v C_t y_0 \left[ \left( \frac{1}{s-1} \right)^{0,5} \frac{U}{\sqrt{K_1 g y_0}} \right]^{2,5}$$

Her er:

$D_{30}$  = stabil steinstørrelse (m)

$S_f$  = sikkerhetsfaktor (-)

$C_s$  = stabilitetskoeffisient (-)

$C_v$  = koeffisient for vertikal hastighetsfordeling (-)

$C_t$  = koeffisient for sikringstykkelse (-)

$y_0$  = vanndybde samme sted som  $U$  (m)

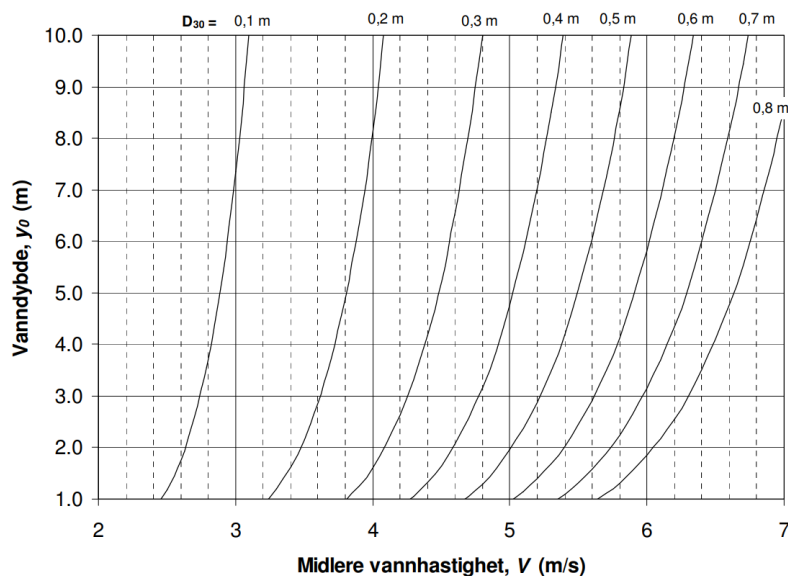
$s$  = steinens spesifikke tetthet (-)

$U$  = lokal hastighet midlet over dybden (m/s)

$K_1$  = koeffisient for skråningshelling (-)

$g$  = tyngdens akselerasjon (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Veileder for erosjonssikring med stein (NVE, 2009) har en grafisk løsning for beregning av  $D_{30}$  (Figur 16). Metoden gjelder for rette strekninger med sideskråning slakere enn 1:4 og forutsetter at sikringen består av sprengt stein med tetthet 2600 kg/m<sup>3</sup>, at elvas fall er mindre enn 2 %, og at sikkerhetsfaktoren er minimum 1,1. Alle disse forutsetningene gjelder for erosjonssikringen ved Randklev bru.



Figur 16.  $D_{30}$  som funksjon av hastighet og dybde (NVE, 2009).

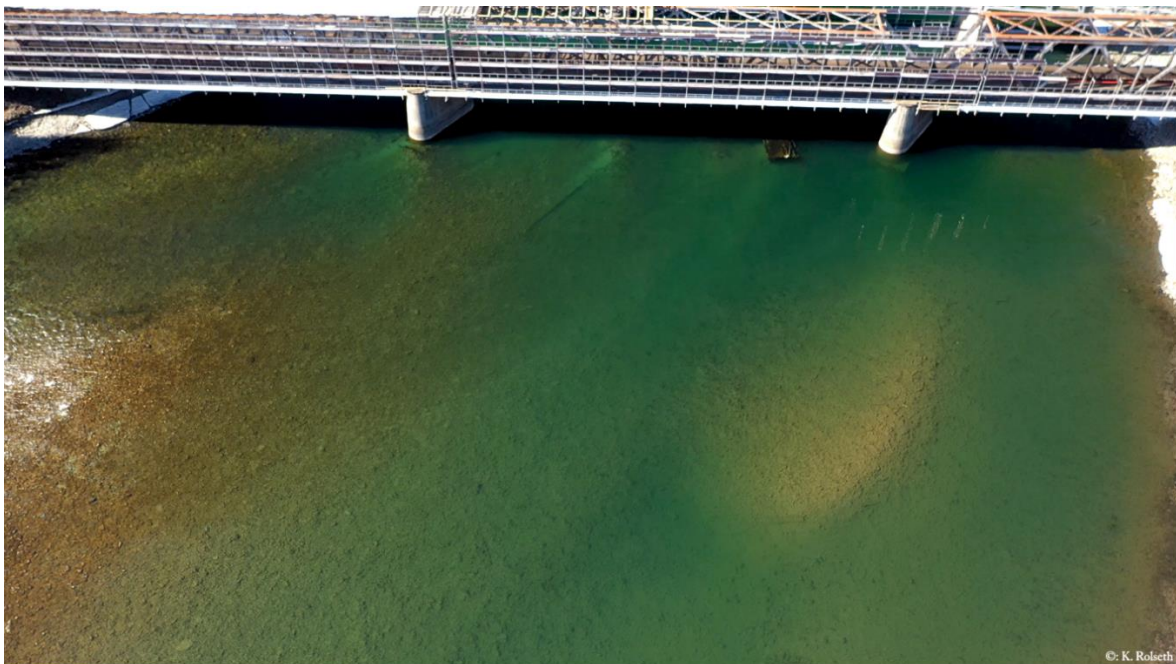
Med middelhastighet på 5 m/s og dybde over fyllingene på 5,5 m beregnes  $D_{30}$  til 0,4 m. Siden det skal plastres med stor stein er det ikke hensiktsmessig å angi  $D_{30}$ . Vi anbefaler i stedet at vi øker sikkerhetsfaktoren og som minimum brukes stein med minste akse på 0,6 m. Dette vil gi ekstra sikkerhet og sikre rask anleggs-gjennomføring.

Der det er stor høydeforskjell mot omliggende elvebunn må erosjonssikringen også dekke fyllingens sider. Det er ingen steder der denne høydeforskjellen er mer enn 1 meter. Sikting av fyllingssidene løses med å stable to høyder med stein langs disse sidene.

### 4.3 Sikring av elvebunn rundt fyllingene.

Fyllingene rundt pilarene må sikres mot undergraving slik at de ikke destabiliseres. Hvor utsatt den omliggende elvebunnen er for erosjon avhenger av flere faktorer. De viktigste er skjærspenning samt steinstørrelse og kornfordelingen av elvebunnen.

Det er lite informasjon om størrelsen av steinen som ligger på elvebunnen ved Randklev, men det må antas de er tilpasset de mange store flommene de har blitt utsatt for. Et dronebilde fra 2020 tatt av fotograf K. Rolseth gir et visst inntrykk av bunnforholdene på dette tidspunktet (Figur 17). Her ser det ut til at elvebunnen består av elvegrus med steiner opptil noen desimeter i diameter. Dykkere fra Sjøentreprenrøren, som har inspisert elvebunnen rundt pilar i akse 2, beskrev steinstørrelsen til å være fra appelsin til basketball størrelse. Prøvegraving ved pilar 3 viste og at bunnen er dominert av steiner med noen desimeter i diameter (Figur 18).

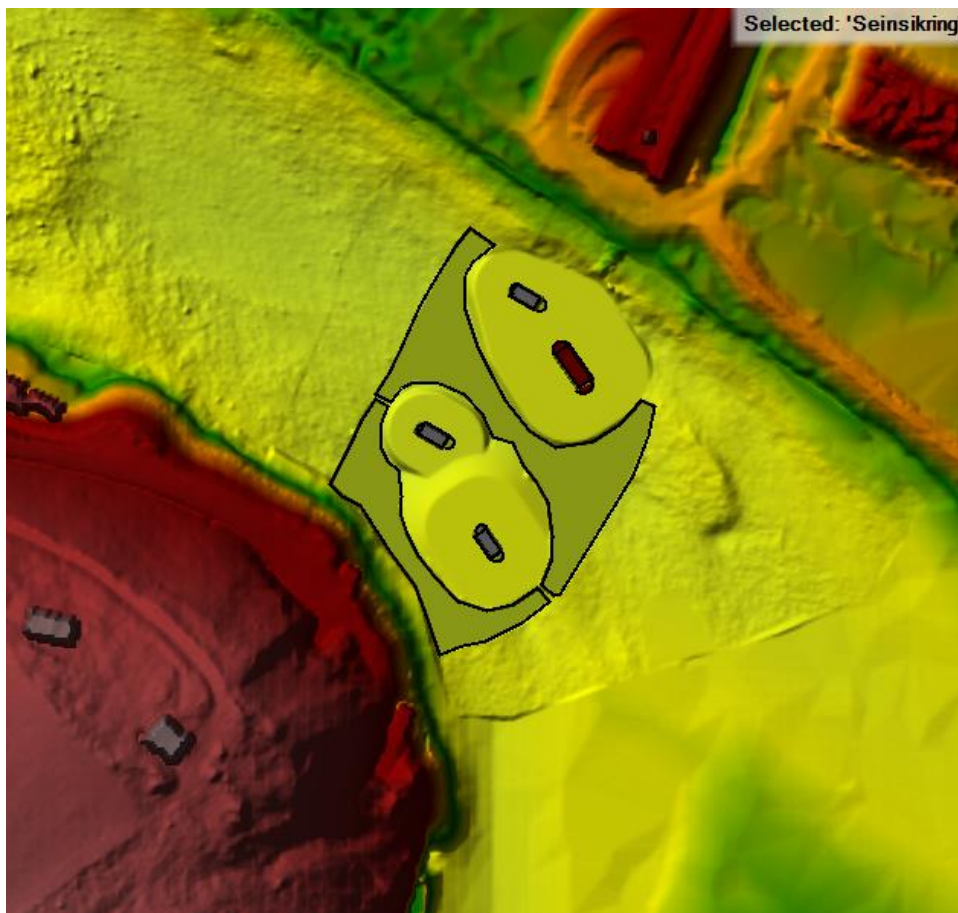


Figur 17. Dronebilde tatt nedstrøms jernbanebrua i 2020 (Foto. K. Rolseth).



*Figur 18. Størrelse av materiale på elvebunnen ved pilar 3 (POM-03-A-00039)*

Simulerte økninger i skjærspenninger og hastigheter i områdene rundt fyllingene framgår i Figur 10 til Figur 13. Det vurderes at disse steinstørrelsene ikke vil være stabile ved en dimensjonerende flom og det er fare for at fyllingene derfor kan bli undergravd. Det anbefales derfor at de mest utsatte område som angitt i Figur 19 erosjonssikres med samme steinstørrelse og samme metode som beskrevet i kapittel 4.2



Figur 19. De planlagte fyllingene med områder mellom fyllingene som skal erosjonssikres.

#### 4.4 Utlegging av plastring

Massene i den eksisterende elvebunnen består i hovedsak av stein med diameter > 10 cm og faren for utvasking under plastringen er svært liten. Det er derfor ikke behov for et filterlag.

Steinblokker i plastringen må legges enkeltvis med god kontaktflate mellom steinblokkene og i forband for å sikre at steinene lager et mosaikkmønster. Et godt forband gir økt tetthet i sikringstiltaket da hver enkelt stein får flere kontaktpunkt og steinene "låses" i hverandre. Siden simuleringene viser at det kan oppstå høye hastigheter, må hulrom mellom enkeltstein minimeres for å forebygge utvasking av stein fra elvebunn under plastringen.

Flatplastring kan medføre lav lokal ruhet og høye vannhastigheter som kan gi økt erosjon nedstrøms. Ruheten bør derfor økes ved å legge stein med ulik tykkelse-/størrelse ved siden av hverandre, slik at overflaten blir variert i overflatehøyde og struktur. Dette ivaretar også forholdet til fisk og dyreliv på en bedre måte. Dersom det brukes stein med en tydelig lengste akse bør denne legges mest mulig parallelt med strømningsretningen.

En erosjonssikring er utsatt i oppstrøms og nedstrøms ende. For å unngå graving i elvebunnen, anbefales ikke fotgrøft ved start og slutt, men heller at man legger av ekstra store steiner som plasseres i de ytterste radene.

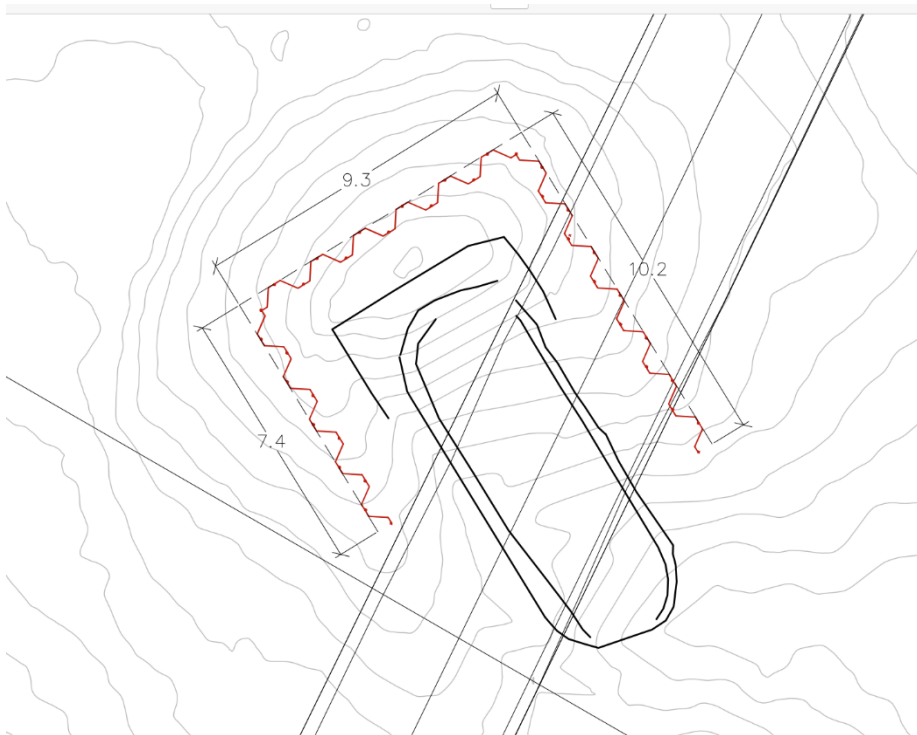
#### 4.5 Spunt for støping rundt pilarer

Det er planlagt å bruke spunt for å støpe fundament rundt akse 2. Dette er planlagt ved bruk av en 3 siders kasse, se Figur 20. Den har side med lengde 9,3 m mot strømretningen og er 7,4 m lang på vestsiden og 10,2 m på østsiden. Spunkassen skal nå opp over vannivå.

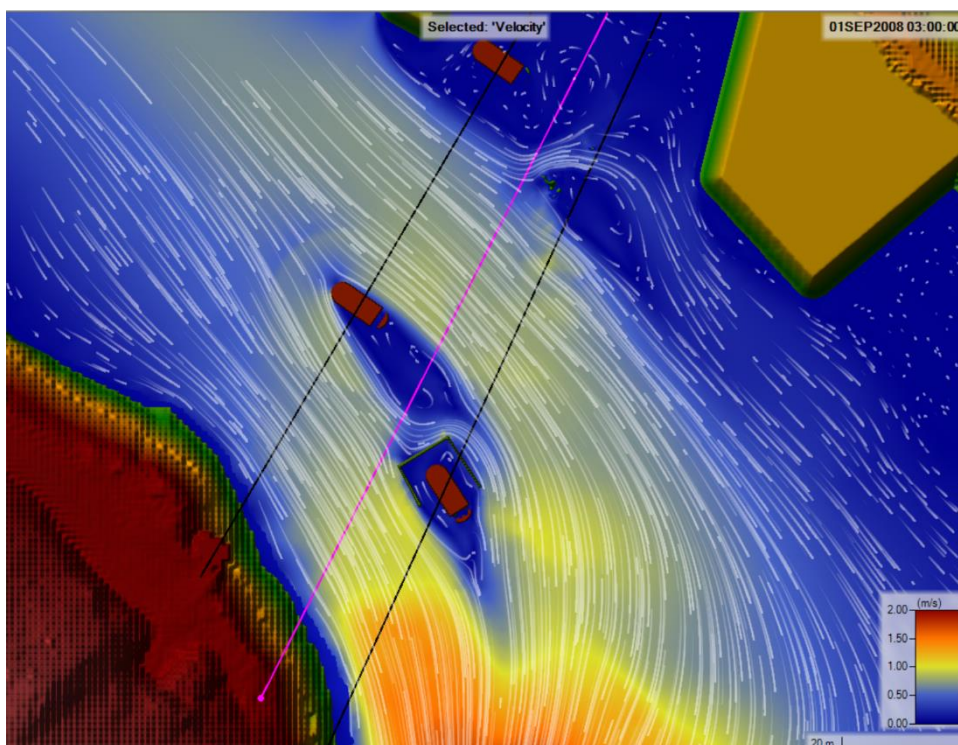
Det er kjørt simulering for å se hvilke effekter en slik spunkasse har på hastigheten, skjærspenningen og vannstanden i elva.

Simuleringer er kjørt med typiskintervannføring lik  $133 \text{ m}^3/\text{s}$  og resultatet viser at spunkassen ikke har noen effekt på vannstand, hastighet og skjærspenning som får noen konsekvenser (Figur 21 og Figur 22).

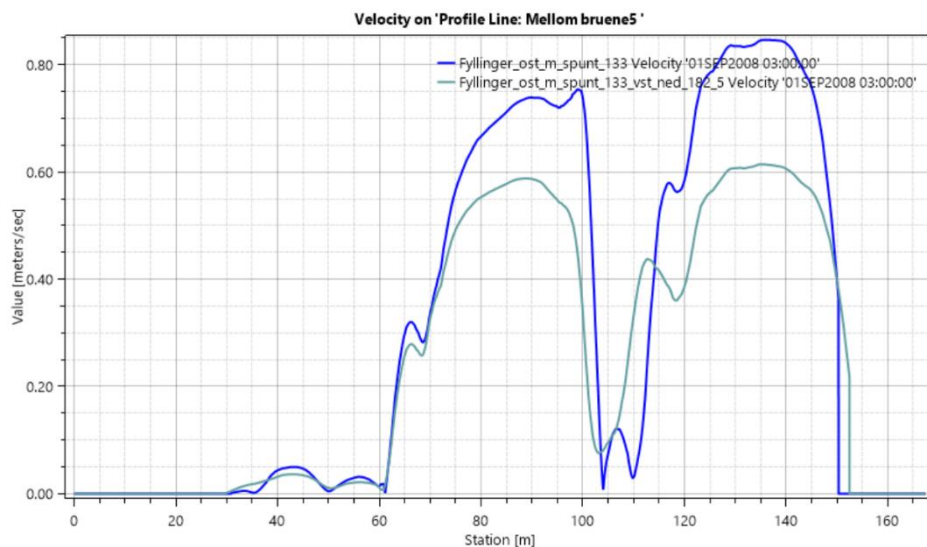
Vannet strømmer med en hastighet på ca.  $0,8 \text{ m/s}$  inn mot spunkassen som tvinger strømmen til sidene. Dette gir en hastighetsskygge inne i kassen der hastigheten er nær null.



Figur 20. Utforming av spunkasse for understøping av pilar i akse 2.



Figur 21. Strømningsmønster og hastigheter rundt den prosjekterte spunkassen ved en vannføring på 133 m<sup>3</sup>/s.



Figur 22. Økning i skjærspenning i et tverrprofil langs jernbanebrua som et resultat av utplassering av spunkassen.

## 5 OPPSUMMERING OG ANBEFALING

Det er utført en hydraulisk analyse for Lågen ved Randklev bru for dimensjonering av erosjonssikring rundt brupilarer, fyllinger i elva samt sikring av områder rundt fyllingene. Simuleringene viser at tiltaket gir økte hastigheter og skjærspenninger,

Resultatet viser at det blir økt skjærspenning som følge av økt hastighet og heving av terrenget over og på kantene av fyllinga, på elvebunnen mellom de to fyllingene, i elveløpet mot den vestlige elvebredden, samt et stykke nedstrøms fyllingene.

Skjærspenningene blir størst i det sørlige elveløpet hvor det i snitt blir opp mot 180 N/m<sup>2</sup> ved en 200 års flom. Dette er en økning på ca. 50 N/m<sup>2</sup> sammenlignet med situasjonen før tiltakene. For en middelflom øker skjærspenningen opp til 40 N/m<sup>2</sup>.

Endringen i vannstanden oppstrøms brua blir liten for mindre flommer, men opp til 25 cm rett oppstrøms brua for en 200 års flom.

Det anbefales at det rundt pilarene plastres med stein med 1000 mm diameter i et område 2 ganger pilarenes bredde. Utenfor dette området anbefales det at det plastres med stein der minste akse er minimum 600 mm. Dette vil sikre pilarene og gi stabil elvebunn oppstrøms og nedstrøms pilarene, samtidig som det hindrer undergraving av pilarene.

## 6 HENVISNINGER

NVE Rapport nr. 15 (2015). Flomberegning for Gudbrandsdalslågen.

Regionplan Lågen (2017). Hydrauliske beregninger i Gudbrandsdalslågen. Dr. Blasy og Dr. Øverland.<sup>7</sup>

NVE (2009). Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein.

Parker, G., Toro-Escobar, C.M. (2002). Equal mobility of gravel in streams: The remains of the day. Water Resources Research.