

Statens vegvesen

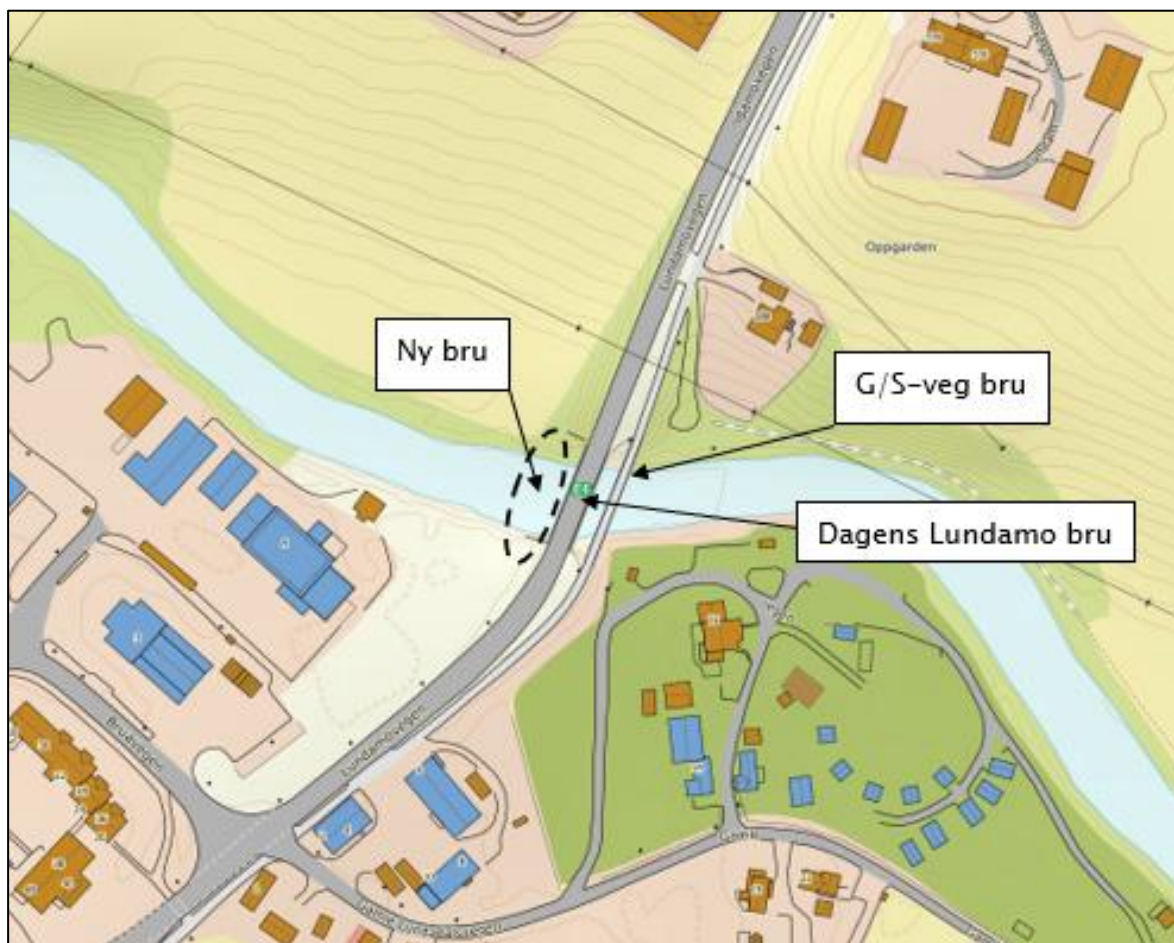
Hydraulisk beregning og erosjonssikring E6

Lundamo bru

Til: Kine Nilssen og Thorstein Kjøs Johnsen
Utført av: Nadeem Ahmad
Kollegakontroll: Gaute Brunstad Øyehaug

Bakgrunn

Den eksisterende Lundamo bru over elva Lundesokna er i dårlig forfatning og skal erstattes (Figur 1). Rambøll Norge AS var engasjert til å utarbeide forprosjektet for ny Lundamo bru, og utførte flom- og hydrauliske beregning iht. N200 (2022) (Rambøll, 2024). Klassifisering på flomberegning var klasse-2. Beregnet 200-årsflom med klimafaktor og sikkerhetsfaktor er på $306 \text{ m}^3/\text{s}$ for den nye Lundamo bru. Hydrauliske beregning (Rambøll, 2024) gir vannstand på 34,0 moh. ved eksisterende bru.



Figur 1: Planområdet med plassering av ny bru.

Mål

Rambøll (2024) har utført flomberegninger og brukte en sikkerhetsfaktor på 1,2 for sikkerhetsklasse V3 for veien iht. N200 (2022). I denne rapporten er sikkerhetsfaktoren justert iht. N200 (2024). Den nye håndboken (N200, 2024) definerer en sikkerhetsfaktor på 1,3 for kombinasjon av sikkerhetsklasse V3 for veg og flomberegning klasse-2. I tillegg er det vurdert behov for erosjonssikring for ny Lundamo bru.

Flomverdi iht. N200 (2024)

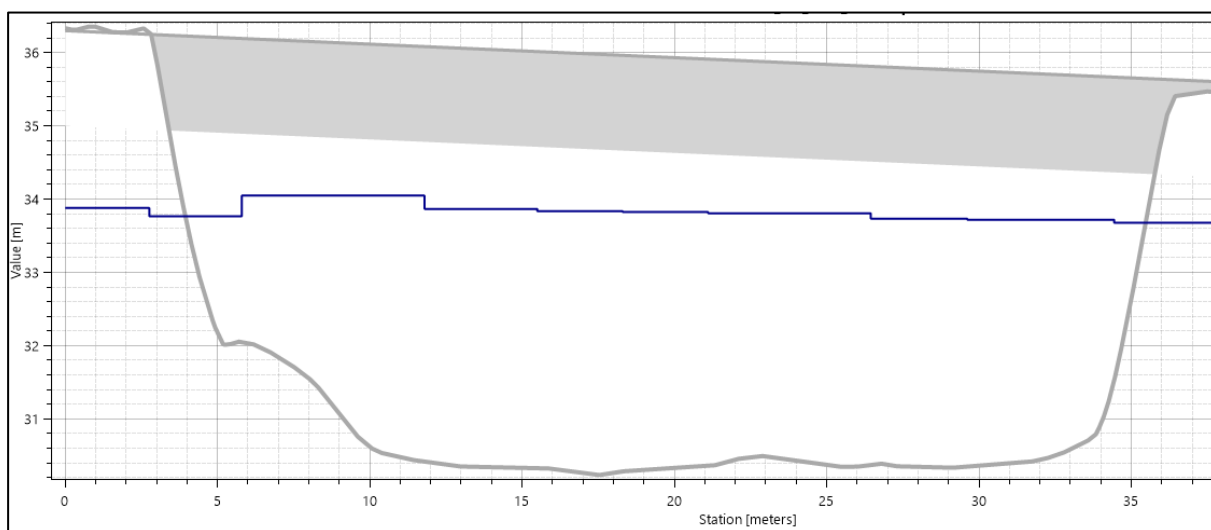
Den nye flomverdien for en 200-årsflom med klimafaktor og sikkerhetsfaktor iht. N200 (2024), er på 332 m³/s som dimensjonerende flom.

Hydrauliske resultater

Hydrauliske beregninger er utført ved bruk av modellen HECRAS-2D. Modellen var levert av (Rambøll, 2024), og nye hydrauliske beregninger er kjørt med oppdatert flomverdi på 332 m³/s som dimensjonerende flom.

Vurdering av eksisterende Lundamo bru

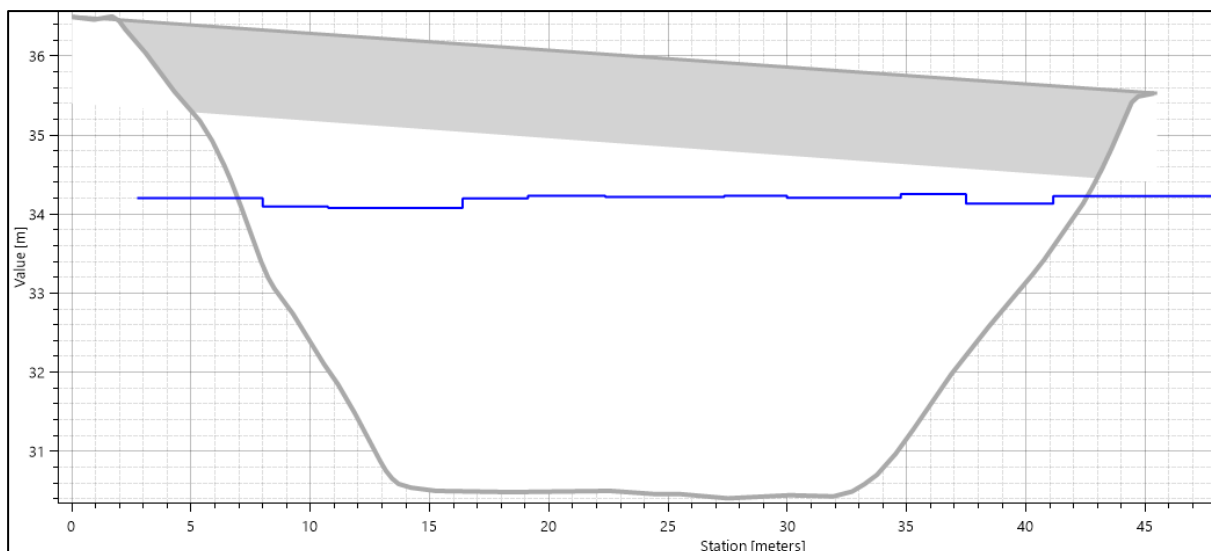
Figur 2 viser beregnet vannstand ved eksisterende bru under dimensjonerende flom. Beregnet vannstand er på ca. 34,0 moh. Eksisterende bru har laveste underkant på ca. 34,3 moh. Det betyr at eksisterende bru har kapasitet til å håndtere dimensjonerende flom. Likevel er tilstanden på brua dårlig, og skal erstattes.



Figur 2: Vannstand ved eksisterende Lundamo bru.

Vurdering av eksisterende G/S-veg bru

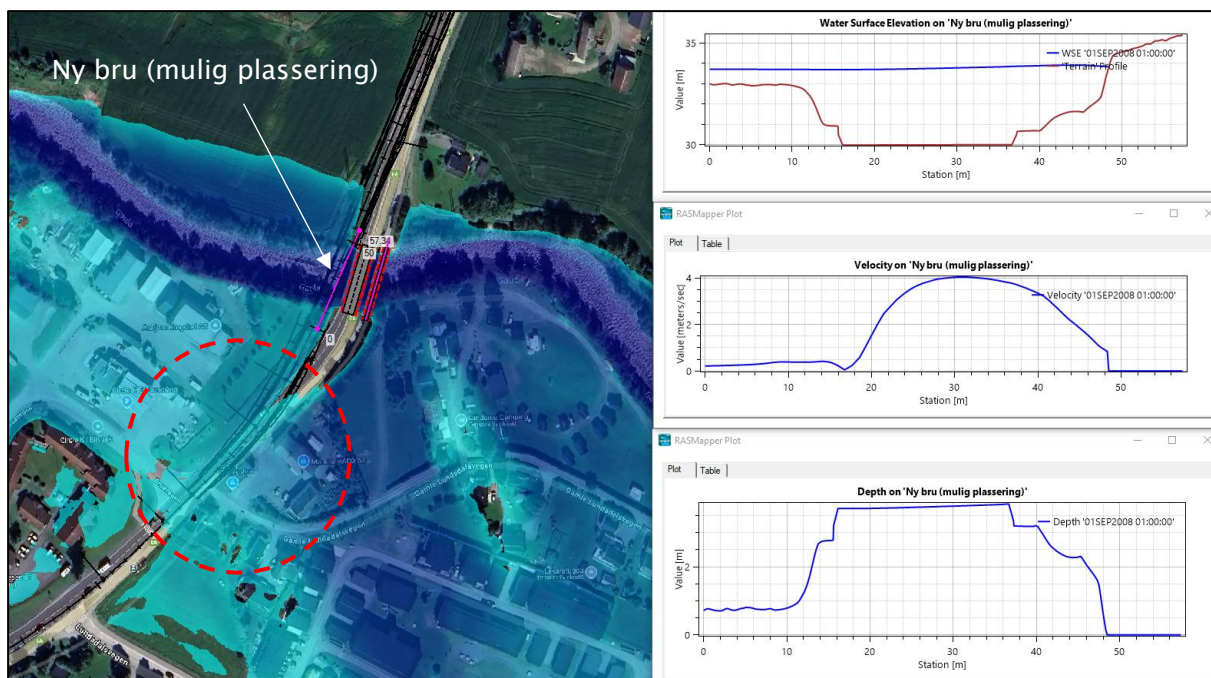
Det ligger G/S-veg bru oppstrøms eksisterende Lundamo bru. Figur 3 viser beregnet vannstand oppstrøms G/S-veg under dimensjonerende flom. Beregnet maks. vannstand er på 34,2 moh. Eksisterende bru har laveste underkant på ca. 34,4 moh. Det betyr at eksisterende G/S-veg bru har kapasitet til å håndtere dimensjonerende flom.



Figur 3: Vannstand ved eksisterende G/S-veg bru.

Vurdering av nivået til underkant bru for ny Lundamo bru (med eksisterende bru)

Figur 4 viser flomsone med vannstand for dagens situasjon (uten ny veg og uten ny bru). Beregning er utført ved dimensjonerende flom. Beregnet vannstand nedstrøms eksisterende bru, er 33,8 moh. N400 setter krav til minst 0,5 meter klaring mot overbygningen ved dimensjonerende vannstand for ny bru. Det betyr at underkanten på ny bru må ligge på minst $33,8 \text{ moh.} + 0,5 \text{ m} = 34,3 \text{ moh.}$ Flomsone i Figur 4 viser oversvømt eksisterende veg sør for dagens situasjon (rød sirkel).



Figur 4: Flomsone ved Lundamo bru for dagens situasjon. Grafene viser vannstand, vannhastigheter, og vanndybde ved dimensjonerende flom.

Tabell 1 oppsummerer beregnet vannstand ved eksisterende Lundamo bru og ny Lundamo bru for dagens situasjon.

Tabell 1: Oppsummering av beregnet vannstand og vannhastigheter for dagens situasjon.

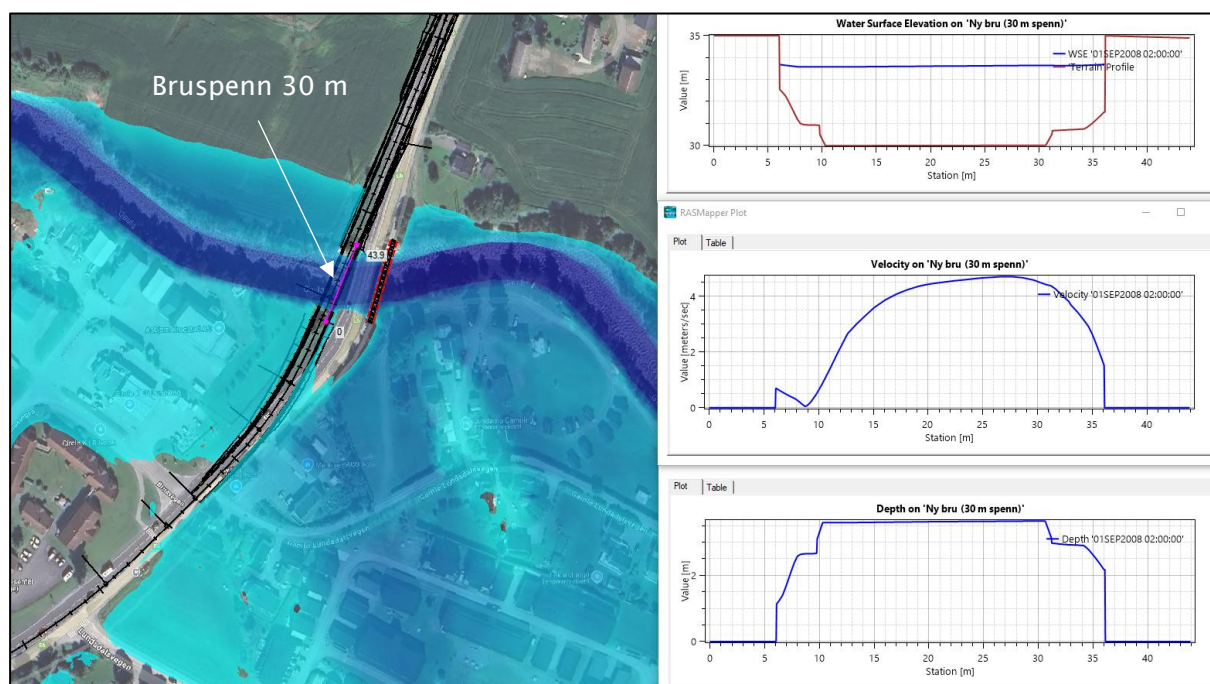
	Vannstand (moh.)	Vannhastigheter (m/s)
Eksisterende Lundamo bru	34,0	4,0
Ny Lundamo bru	33,8	4,5
Underkant nivå for ny bru (iht. N400)	34,3	

Vurdering av nivået til underkant av ny Lundamo bru (uten eksisterende bru)

Her vurderer vi ny situasjon ved Lundamo bru med bruspenn på både 30 m og 40 m. Beregning er utført uten eksisterende bru. Ny veglinje er lagt inn i den hydrauliske modellen.

Dimensjonerende vannstand for bruspenn på 30 m

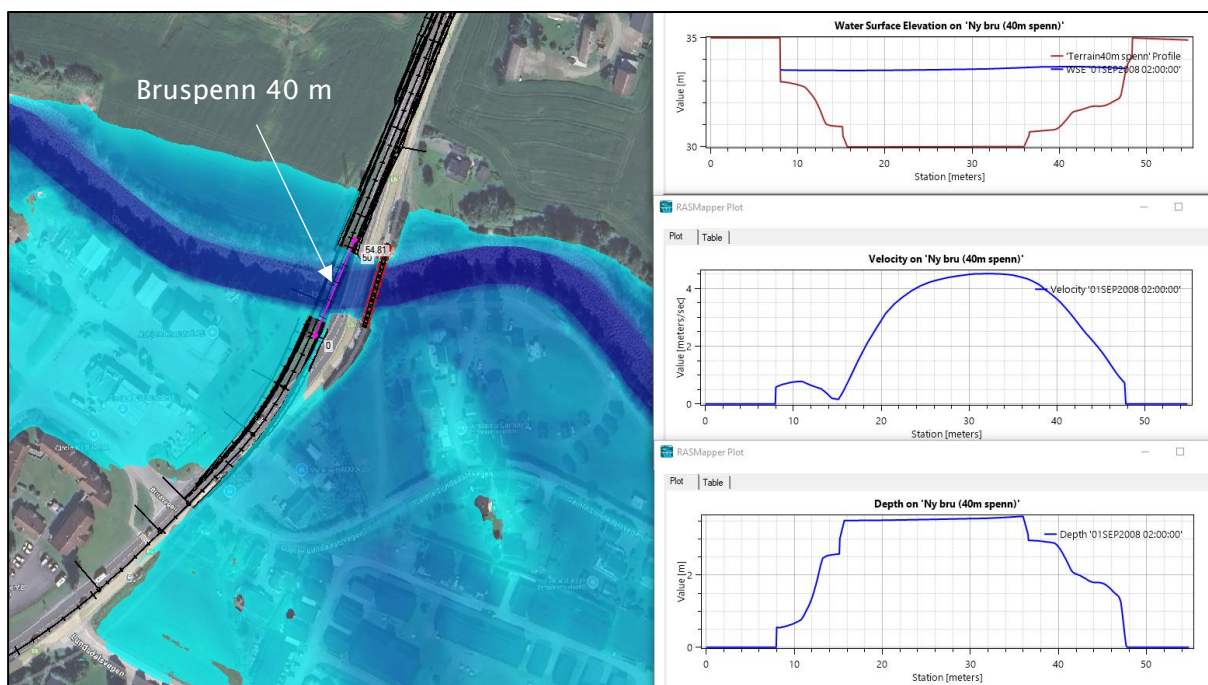
Figur 5 viser flomsone for 30 m bruspenn. Dimensjonerende vannstand for ny bru er på 33,8 moh. N400 setter krav til minst 0,5 meter klaring mot overbygningen ved dim. vannstand for ny bru. Det betyr at underkanten på ny bru må ligge på minst $33,8 \text{ moh.} + 0,5 \text{ m} = 34,3 \text{ moh.}$



Figur 5: Flomsone ved ny Lundamo bru med 30 m bruspenn.

Dimensjonerende vannstand for bruspenn på 40 m

Figur 6 viser flomsone med for 40 m bruspenn. Dimensjonerende vannstand for 40 m bruspenn er på 33,7 moh. N400 setter krav til minst 0,5 meter klaring mot overbygningen ved dim. vannstand for ny bru. Det betyr at underkanten på ny bru med 40 m spenn må ligge på minst 33,7 moh. + 0,5 m = 34,2 moh.



Figur 6: Flomsone ved ny Lundamo bru med 40 m bruspenn.

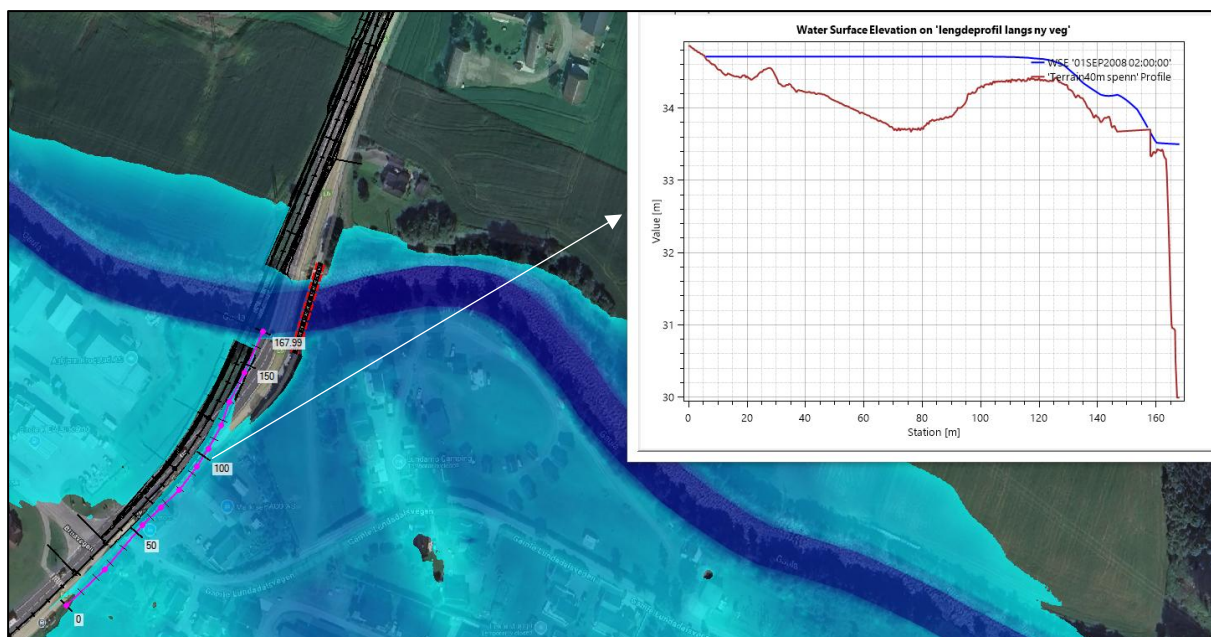
Tabell 2 oppsummerer dimensjonerende vannstand og vannhastighet for ny Lundamo bru med spenn på 30 m og 40 m.

Tabell 2: Oppsummering av beregnet vannstand og vannhastigheter for ny Lundamo bru.

	Vannstand (moh.)	Vannhastigheter (m/s)
Ny Lundamo bru (Bruspenn = 30 m)	33,8	4,7
Underkant nivå for ny bru (iht. N400)	34,3	
Ny Lundamo bru (Bruspenn = 40 m)	33,7	4,5
Underkant nivå for ny bru (iht. N400)	34,2	

Tiltak for flom ved vegen

Dimensjonerende flom vil oversvømme eksisterende veg sør for brua ved dagens situasjon. Det anbefales å heve ny veg. Dimensjonerende vannstand for ny bru vil være 34,7 moh. Det anbefales toppnivå av ny veg på 35,2 moh. (34,7 moh. + 0,5 m sikkerhetsmargin ift. krav 3.2-4 i N100). Figur 7 viser flomsone med ny veg hevet til 35,2 moh.



Figur 7: Flomsone med dimensjonerende vannstand langs ny veglinje med toppnivå på 35,2 moh.

Beregning av erosjonssikring

Grunnforhold ved eksisterende bru

Bunnterrenget er relativt flatt oppstrøms og nedstrøms av eksisterende bru. Feltobservasjonene avdekket ikke vesentlig erosjon like oppstrøms og nedstrøms eksisterende bru. Den eldre erosjonssikringen et stykke oppstrøms og nedstrøms brua virker til å være tilstrekkelig intakt. Ved å beholde steinmuren ved søndre landkar på eksisterende bru vil denne fungere som erosjonssikring for ny bru og kan forlenges sørover til nytt søndre landkar.



Figur 8: Erosjonssikring nedstrøms eksisterende bru.



Figur 9: Erosjonssikring oppstrøms eksisterende bru.

Grunnforhold for ny bru

Grunnforhold ved brua består av grusig sandig materiale med fraksjoner $D_{50} = 3 \text{ mm}$, $D_{15} = 0,1 \text{ mm}$ og $D_{85} = 20 \text{ mm}$ (se vedlegg 1). Det skal brukes knust stein med fraksjoner 22–120 mm ved skråning ved landkaret. Det kan være utsatt for erosjon. Derfor må bru erosjonssikres for å unngå erosjon.

Beregning av erosjonssikring for nord og sør-landkar

Bunnhelningen langs oppstrøms og nedstrøms bru er flat (helning på mellom 0,2 – 0,4 %). Steinstørrelsen er beregnet ved bruk av Maynords formel. Maynords formel gjelder for flatt elveløp med helning opptil 2 %. Resultater kontrolleres med andre metoder iht. metoder i erosjonssikring håndboka (NVE sikringshandboka, 2024). Det benyttes vannhastighet på ca. 5 m/s og vanndybde 3,7 m for beregning av steinstørrelsen.

Plastring anbefales for elvebunn og sideskråning mot landkar. Steinstørrelse er beregnet til D_{50} , på 0,5 m og D_{maks} på 1,0 m med sideskråning 1:1,5–2 (Tabell 3). Tykkelsen på sikringslaget vil være ca. 1,0 m – 1,5 m.

Topp høyde på erosjonssikringen vil være dimensjonerende flomvannstand + 0,5 m sikkerhetsmargin, som er 34,3 moh. etter NVE sikringshandboka (NVE sikringshandboka, 2024). Topp høyde på erosjonssikringen tilsvarer høyden til underkant ny Lundamo bru.

Tabell 3: Steinstørrelse (m) for fyllmassene for praktisk bruk.

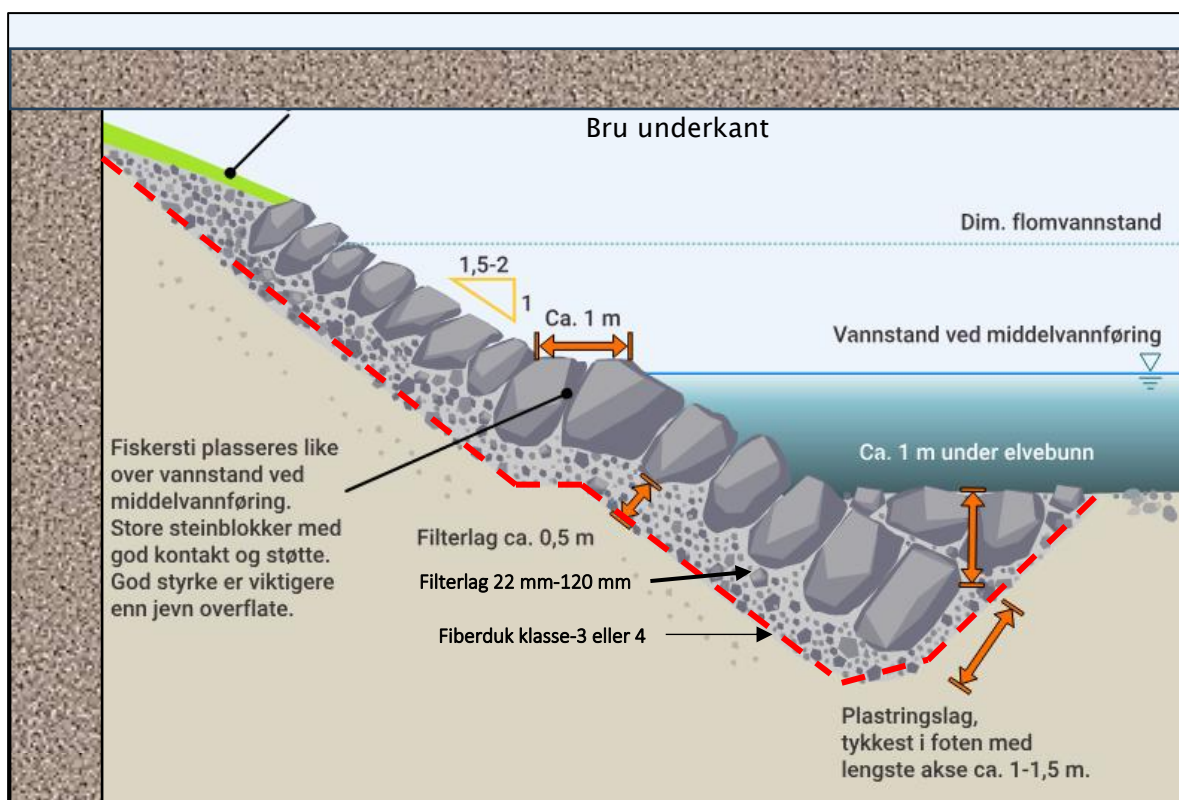
$D_{15} \text{ (m)}$	$D_{30} \text{ (m)}$	$D_{50} \text{ (m)}$	$D_{85} \text{ (m)}$	$D_{\text{maks}} \text{ (m)}$	Tykkelse (m)
0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,0 – 1,5

Steinen skal plasseres som plastring med jevn og god kontakt. Steiner skal etableres over filterlag med tykkelse på ca. 0,5 meter. Dette vil gi god stabilitet for fyllingen ved skråningen (Figur 10).

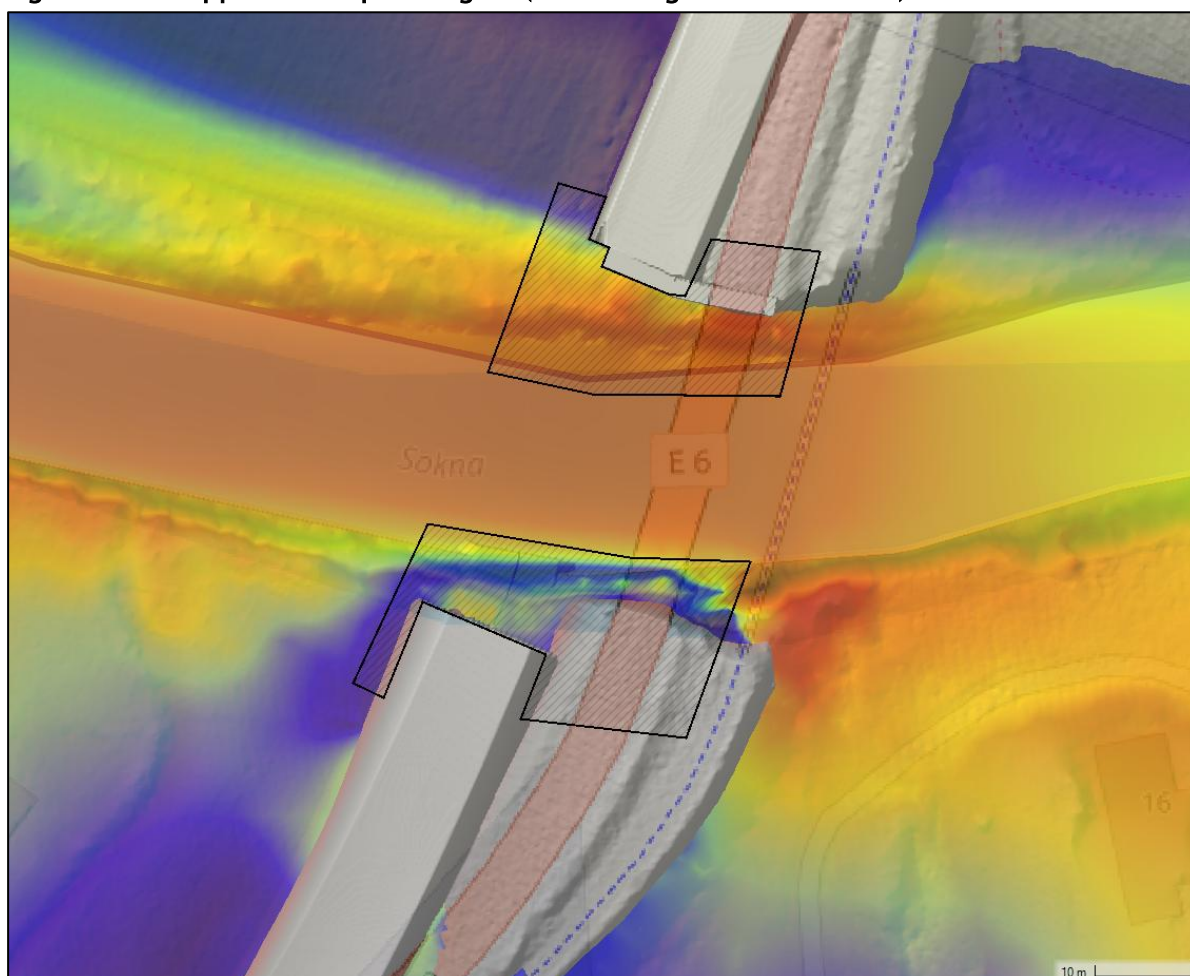
Vurdering av steinstørrelse for filterlag er basert på grunnforhold oppstrøms og nedstrøms bru (se vedlegg 1). Beregnet D_{50} for filterlaget er 75 mm ($D_{50} \leq 25 \times D_{50, \text{ undergrunn}}$), og D_{15} skal være mellom 0,5–30 mm ($5 \times D_{85, \text{ undergrunn}} \geq D_{15} \geq 5 \times D_{15, \text{ undergrunn}}$, $0,6 \times D_{50, \text{ filterlag}}$), iht. krav 4.3–2 i N200.

Steiner for filter laget er lik som masser brukes for fyllingen ved skråningen. Derfor anbefales å bruk av fyllmasser (22–120 mm, $D_{50} = \text{ca. } 60 \text{ mm}$) som filterlag for hele erosjonssikringen. Det ligger sandig og siltmasser under fyllmassene som kan være utsatt for utvasking. Det anbefales derfor bruk av fiberduk (klasse 3 eller klasse 4) bak fyllmassene. Se Figur 10.

Figur 11 viser omfanget av erosjonssikringen. Omfanget er tegnet mtp. på at steinmuren/landkaret fra den gamle broen skal fjernes, og at det tomme området mellom den nye broen og gang- og sykkelveien skal sikres mot erosjon.



Figur 10: Prinsippskisse av plastringen. (NVE sikringshandboka 2024).



Figur 11: Omfang på erosjonssikring.

Fiskevandring

Den nye brua vil ikke påvirke elva og fiskevandringen blir følgende ikke påvirket av ny bru. Påvirkning fra andre tiltak, for eksempel erosjonssikringslag, må diskuteres med miljøfag.

Isgang

Det vil være stor åpning under brua, og isgang vil ikke påvirke brua. Likevel vil det være viktig å sjekke historiske data og erfaring.

Havnivåstigning

Det er ikke behov for vurdering av havnivåstigning for ny bru.

Om tiltaket er bærekraftig

Miljøkonsekvenser er vurdert mtp. hydrauliske endringer pga. ny bru. Ny bru og erosjonssikring vil ikke påvirke hydraulikken i elva.

Videre arbeid

Hydraulisk- og erosjonsberegning er utført for ny bru. Det forventes at steinmur oppstrøms eksisterende bru skal beholdes. Dersom steinmuren fjernes, skal erosjonssikring vurderes der steinmuren står. Siden steinmuren er gammel, kan vedlikeholdsbehov ved foten oppstå.

Referanser

NVE sikringshandboka. (2024). *Plastring – Utførelse*. Hentet fra NVE Sikringshandboka:

<https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/flom-og-erosjon/planlegging/>

Rambøll. (2024). *Flomvurdering Lundesokna i Lundamo*. Trondheim.

Vedlegg 1 – Grunnforhold. Kornkurve E6 Lundamo bru

