

Rv. 36 Hønså bru

Hydrologisk rapport – Vannlinjeberegning og erosjonssikring

Sweco Norge AS	Organisasjonsnr. 967032271
Prosjekt	Reguleringsplan rv. 36 Hønså bru
Prosjektnummer	10247111
Kunde	Statens vegvesen
Opprettet av	Ingvild Flørenæs
Kontrollert av	Lars Skeie
Dato	05.11.2025
Rev	02
Dokumentreferanse	10247111_Flomberegning, vannlinjeberegning og erosjonsvurdering rv.36 Hønså bru_rev02_SMK_NOSKLA_05112025

Revisjonshistorikk

Rev	Dato	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Kontrollert av
00	11.06.2025	Utarbeidelse av rapport	Ingvild Flørenæs	Lars Skeie
01	02.09.2025	Justert steinstørrelse, lagt inn vurdering av midlertidig bru og beregning av normalvannstand	Ingvild Flørenæs	Lars Skeie
02	05.11.2025	Supplerende vurdering av 50-årsflom for midlertidig bru (kap. 3.5)	Ingvild Flørenæs	Lars Skeie

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
1.1	Områdebeskrivelse	3
2	Flomberegning	4
3	Vannlinjeberegning	5
3.1	Brugeometri	5
3.2	Modelloppsett	5
3.2.1	Terreng	6
3.2.2	Beregningsgrid	6
3.2.3	Ruhet	7
3.3	Resultater vannlinjeberegning	9
3.4	Anbefalt bruløsning	11
3.5	Midlertidig bruløsning	12
3.6	Normalvannstand	12
3.7	Sensitivitetsanalyse	12
3.7.1	Ruhet	13
3.7.2	Vannføring	13
3.8	Usikkerheter terrengmodell	13
4	Erosjonssikring	14
4.1	Valg av bruløsning	14
4.2	Valg av sikringstype	14
4.3	Stabil steinstørrelse	16
4.4	Sikring av bru	16
4.4.1	Sikringens utstrekning	18
4.5	Konklusjon erosjonssikring	18
5	Referanser	19

1 Innledning

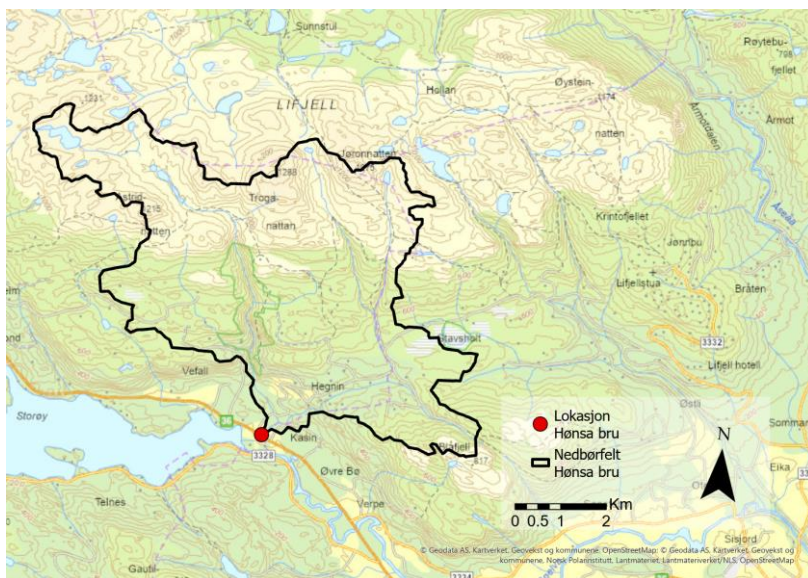
Hønså bru ligger langs Manheimstrondi i Seljord kommune, Telemark. Varig erosjon foran og under det østlige fundamentet har ført til setning i landkaret. Denne situasjonen ble forverret under en flomhendelse den 22. juli 2024. Utfordringene knyttet til bruens tilstand gjør det nødvendig å utarbeide en reguleringsplan for ny Hønså bru med tilstøtende veg. Det planlegges en ny bru og vei på samme sted som den eksisterende. Målet med denne rapporten er å beregne dimensjonerende flomvannstand og dimensjonere erosjonssikring ved ny bru.

Det er utført en hydrologisk rapport av Sweco høsten 2024 som blant annet inneholder flomberegning og vannlinjemodellering for Hønså bru. Områdebeskrivelse samt resultater fra flomberegning vil bli gjengitt i denne rapporten. Vannlinjemodellering skal utføres på nytt med terreng fra droneskanning utført etter flomhendelsen i 2024, samt innmålinger av elvebunn og sidekanter. Resultatene vil benyttes videre til beregning av erosjonssikring for ny bru. For grundigere beskrivelse av tidligere flomberegning og vannlinjemodell henvises til rapport «Hydrologisk rapport – Flomberegning, kulvertdimensjonering og vannlinjemodellering for bruer i Telemark/Agder» (Sweco Norge AS, 2024).

1.1 Områdebeskrivelse

Figur 1 viser nedbørfeltet som renner mot Hønså bru. Dette feltet strekker seg over 8,4 km og dekker et areal på 36,7 km². Jorddekket består av 53 % morenemateriale og 44 % bart fjell. Vegetasjonen inkluderer 52 % skog og 43 % snaufjell, med en effektiv sjøprosent på 0,1 %.

Den årlige middelavrenningen er estimert til 31,3 l/s/km² (normalvannføring tilsvarende 1,15 m³/s), med en nedbørsmengde på ca. 1000 mm. Nedbørsmengden er basert på 30 år med data fra målestasjonen «Lifjell», som ligger omtrent 10 kilometer fra feltet. Hønså bru er plassert på 122 moh., mens nedbørstasjon ligger på 354 moh.



Figur 1: Nedbørfeltet som drenerer mot Hønså bru. Nedbørfeltet har en feltlengde på 8,4 km og et areal på 36,7 km².

2 Flomberegning

Sweco har gjennomført en flomvurdering for Hønså bru (Sweco Norge AS, 2024). I samsvar med krav 2.4.1-1 i Vegnormal N200 (Statens Vegvesen, 2024) er det benyttet minst tre ulike beregningsmetoder ved flomberegningen for Hønså bru. Beregningene er utført ved hjelp av RFFA-NIFS, RFFA-2018, samt lokal frekvensanalyse med sammenligningsstasjoner, i tillegg til nedbørsmodellen PQRUT. Målestasjonen Grotåi er ansett som en veldig god sammenligningsstasjon med godt samsvar både for areal, effektiv sjøprosent og middelaavrenning. Det velges derfor å bruke frekvensanalysen for Grotåi. Flomberegningen viser at en 200-års flom med 20% klimapåslag og 30% sikkerhetspåslag, tilsvarer en vannføring på 66 m³/s.

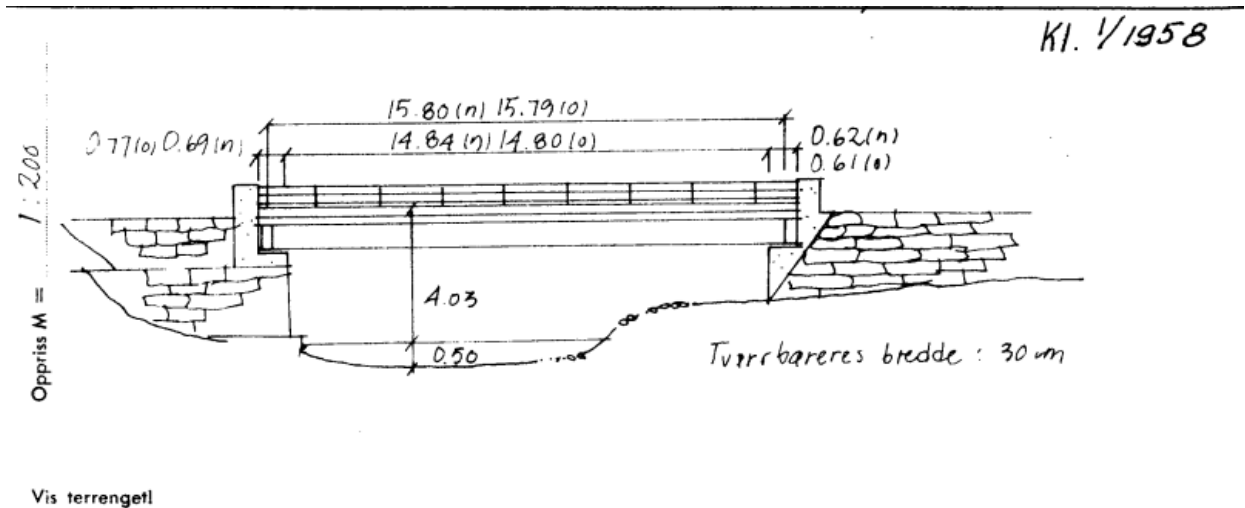
Tabell 1: Valgt flomverdi (kulminasjonsfaktor = 1,38) for hendelse med 200 års gjentakintervall inkludert klima- og sikkerhetspåslag (Sweco Norge AS, 2024).

Q ₂₀₀ uten klima- og sikkerhetspåslag		Q ₂₀₀ med klima- og sikkerhetspåslag	
(kulminasjon)		(kulminasjon)	
[l/s/km²]	[m³/s]	[l/s/km²]	[m³/s]
1156	42,4	1804	66

3 Vannlinjeberegning

3.1 Brugeometri

Hønså bru ble bygget i 1959 og består av stålbjelker med armert betongplate. Oppriss av den tidligere bruene, som ble ødelagt i under flom juli 2024, er vist i Figur 2.



Figur 2: Brutegning oppriss Hønså bru (kilde: SVV).

3.2 Modelloppsett

Prosjektelven, som Hønså bru krysser, munner ut i Seljordvatn. I forbindelse med arbeidet med Hønså bru høsten 2024 ble det undersøkt om ulike flomhendelser i Seljordvatn påvirker vannstanden under bruene. Det ble vurdert at vannstanden i Seljordvatn ikke hadde noen innvirkning. Derfor benyttes nedstrøms fall/helning som nedre grensebetingelse i modellen. Modelloppsettet er vist i Tabell 2.

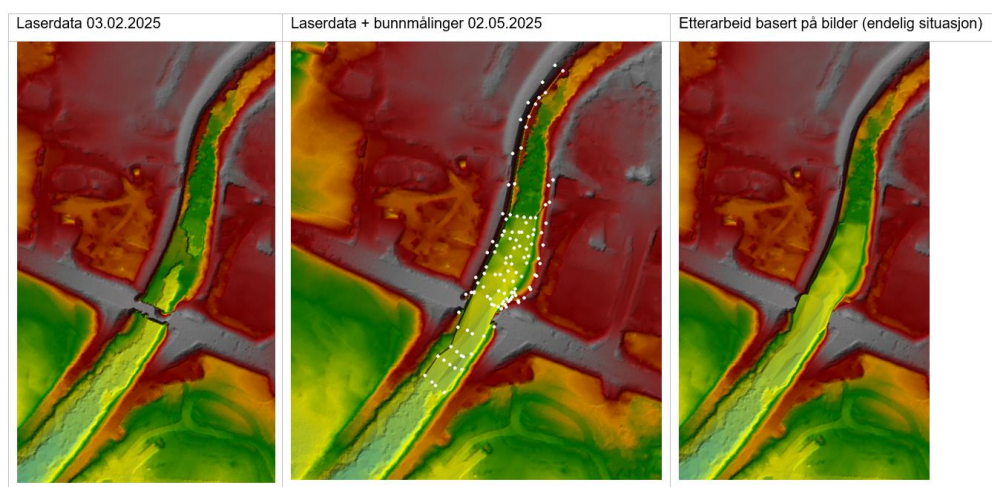
Tabell 2: Modellparametere for modellområdet benyttet i HEC-RAS modellen for Hønså bru.

Parametere	Modell Hønså bru
Ruhet (Elveleiet/Øvrig terreng)	Differensiert iht. terrenget, som angitt i Tabell 3
Oppløsning i terrenngmodellen	0,25 x 0,25 meter
Cellestørrelse i beregningsgrid	1 x 1 meter i elveleiet, 3 x 3 meter for øvrig terreng
Oppstrøms grensebetingelse	Innløpshydrogram med kulminasjonsvannføring ved gjentakintervall 200 år (66 m³/s)
Nedstrøms grensebetingelse	Nedstrøms fall/helning
Equation set	SWE - ELM

3.2.1 Terreng

Terrengmodellen er utarbeidet med horisontalreferanse Euref89 NTM8 og vertikalreferanse NN2000. Etter flommen i juli 2024 har NVE gjennomført to skanninger av området; den første ble utført 30. august 2024, og den andre 22. januar 2025. Ved den første skanningen var veien og bruene gjenopprettet etter flommen, men terrenget langs elva var fortsatt ikke ferdig ryddet. Den andre skanningen gjengir terrenget slik det er i dag, men med snø og is til stede. Droneskanningen fra NVE er tilgjengeliggjort og lastet ned fra hoydedata.no datert 03.02.2025.

En gjennomgang av terrengdataene viser at snøen langs elvekanten og isen på elven fører til betydelige usikkerheter i dataene, noe som gjør dem uegnet for vannlinjemodellering. Det har derfor blitt utført befaringspunkter i bunn av elv med RTK-GPS på stang. I etterkant har det blitt utarbeidet et grunnlag som er basert på droneoppmåling, innmålinger fra 02.05.2025 og bilder tatt på stedet.



Figur 3: Terrengdata ved Hønså bru før og etter innhenting av bunnmålinger og bilder.

Det er satt opp modeller for ulike situasjoner:

Situasjon med eksisterende bruspenn uten erosjonssikring

Terrengmodellen reflekterer dagens terrengforhold, med et bruspenn på ca. 15 meter uten erosjonssikring. Bruspennet slik det er i dag bidrar til innsnevring av elveløpet, som er negativt for flomforhold, akvatisk miljø etc.

Situasjon med eksisterende bruspenn med erosjonssikring

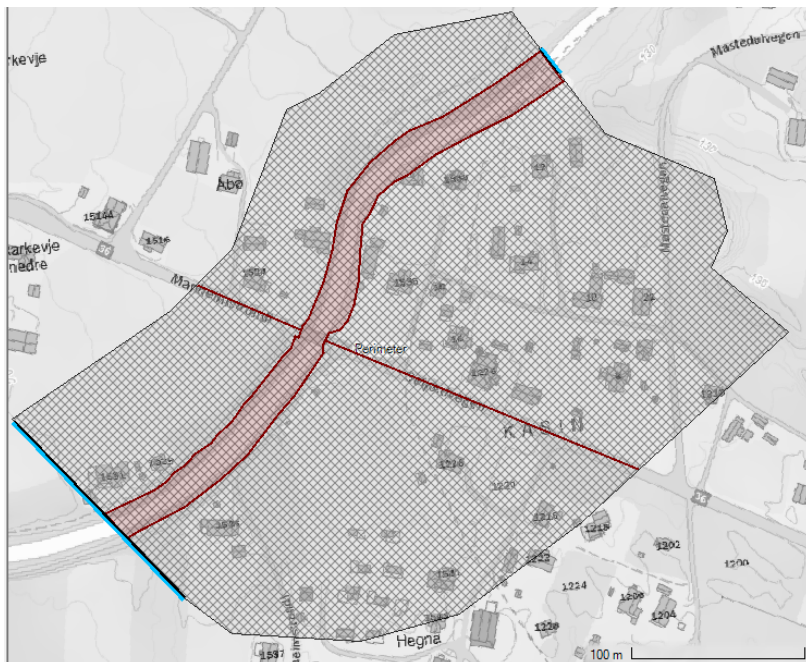
Terrengmodellen reflekterer dagens terrengforhold, men har det har blitt lagt inn nødvendig erosjonssikring rundt landkarene med helning 1:1.5. Dette vil snevre inn elveløpet ytterligere.

Situasjon med utvidet bruspenn med skråningshelning 1:2

Terrengmodellen viser en situasjon der elveløpet ikke snevres inn, noe som medfører at bruspennet økes. På denne måten unngår man innsnevring av elveløpet og faren for erosjon rundt landkar blir redusert.

3.2.2 Beregningsgrid

Beregningsgrid og plassering av grensebetingelser i modellen er vist i Figur 4. Kulminasjonsvannføring ved 200 års gjentakintervall er brukt som øvre grensebetingelse. Nedre grensebetingelse settes til nedstrøms fall/helning.



Figur 4: Beregningsgrid og grensebetingelser i modellen. Blå linjer viser grensebetingelser.

3.2.3 Ruhet

Strømningsmotstanden kan generelt deles i to hovedfaktorer: overflateruhet og lokale tap, som beskrives ved hjelp av Mannings-tall. Verdier er vurdert i henhold til tabell 4.1 i Vassdragshåndboka (Fergus, Hoseth, & Sæterbø, 2010) og Chow 's referansetabell for Mannings n-verdier (Chow, 1959) . Manningskoeffisienter benyttet i modellen er presentert i Tabell 3.

Tabell 3: Mannings ruhetstall for terrenget benyttet i HEC-RAS modell.

Beskrivelse	Mannings ruhetstall
Elveleiet med enkelte plasserte store steiner/steinblokker	0,05
Elveleiet under bru (ingen store steiner)	0,04
Flomslette: kort gress	0,03
Hus	1,0
Vei	0,0125
Øvrig terreng	0,06

Det har blitt plassert store steiner/steinblokker langs elvebunn oppstrøms og nedstrøms bruene. Det har derfor blitt benyttet et Mannings ruhetstall på 0,05 for disse strekningene. Steinene som er plassert oppstrøms bruene er vist i Figur 5. Under bruene er det ikke plassert steiner, og det er her benyttet ruhetstall på 0,04. Brujennomløpet er vist i Figur 6.



Figur 5: Steiner plassert oppstrøms bruene.



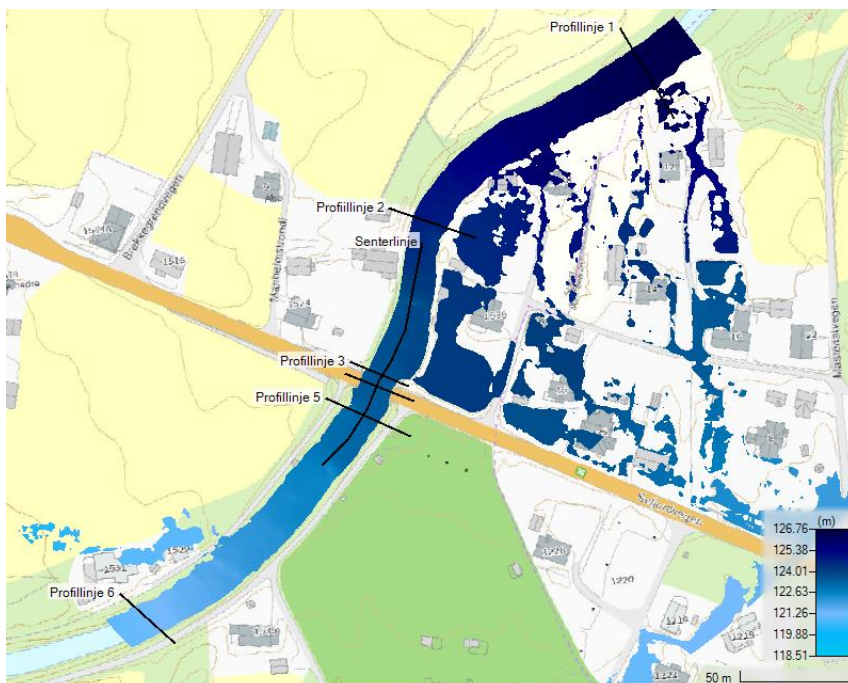
Figur 6: Brugjennomløp.

3.3 Resultater vannlinjeberegning

Resultatene viser at flomsonen utvider seg noe utover elveløpet under en dimensjonerende flomhendelse, og noe vann renner ut over breddene/flomvollene på østsiden. Selv om vannet sprer seg til områdene på østsiden av elven, strømmer tilstrekkelig vann gjennom bruåpningen for å oppnå dimensjonerende flomverdi for en 200-årsflom. Det vanndeekte arealet under dimensjonerende flom er likt for alle tre undersøkte scenarioer:

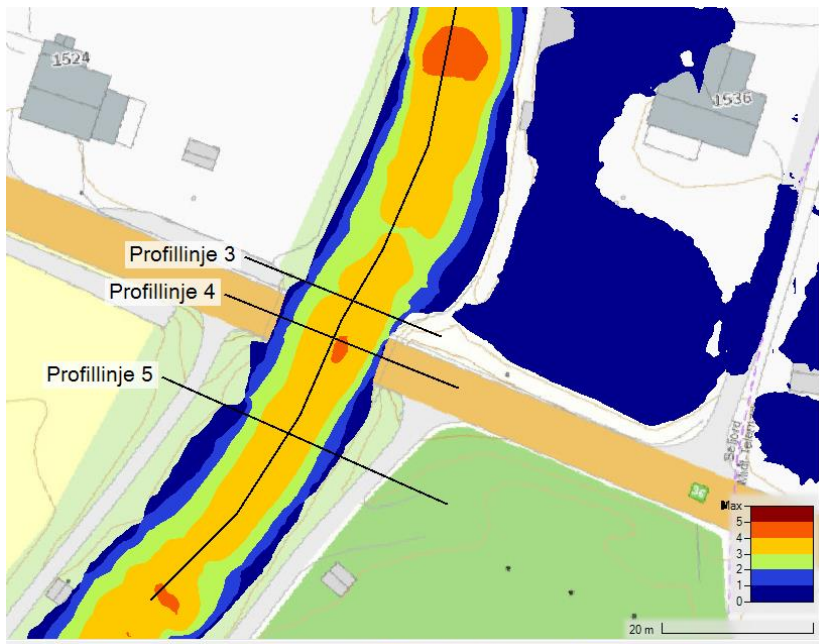
1. Eksisterende bruspenn uten erosjonssikring
2. Eksisterende bruspenn med erosjonssikring
3. Breidere bruspenn med skråningshelning 1:2 som hindrer innsnevring av elveløpet

Vanndeckt areal er illustrert i blått i Figur 7. Vannstanden ved bruene varierer noe ved de ulike scenarioene. For å presentere resultatene er det valgt ut 6 profilinjer i elveløpet (se plassering i Figur 7). Resultater fra vannlinjemodellen ved ulike scenarioer ved ulike profilinjer er presentert i Tabell 4.



Figur 7: Beregnet flomsone for Q200 med klimapåslag og sikkerhetspåslag ved Hønså bru for dagens situasjon med 15 meter bruspenn uten erosjonssikring.

Figur 8 viser vannhastighet under dimensjonerende flom. Maksimal vannhastighet i elveløpet under eksisterende bru er ca. 4 m/s for alle tre scenarioer.



Figur 8: Vannhastigheter ved Hønså bru under dimensjonerende flom uten tillagt erosjonssikring ved bru.

Tabell 4: Resultater fra vannlinjemodellen ved ulike scenarier ved ulike profilinjer.

Profilinje nummer		Situasjon	Vannstand	Minste kotehøyde for underkant bru (0,5 meter fribord)	Vannhastighet
			[moh.]	[moh.]	[m³/s]
1	Eksisterende bruspenn	1 Uten erosjonssikring	126,50		4,67
		2 Med erosjonssikring	126,50		4,67
	Nytt bruspenn	3 Bredere bruspenn	126,50		4,67
2	Eksisterende bruspenn	1 Uten erosjonssikring	124,87		3,66
		2 Med erosjonssikring	124,87		3,66
	Nytt bruspenn	3 Bredere bruspenn	124,87		3,66
3 (Brutverrsnitt)	Eksisterende bruspenn	1 Uten erosjonssikring	123,59	124,09	3,73
		2 Med erosjonssikring	123,67	124,17	3,66
	Nytt bruspenn	3 Bredere bruspenn	123,54	124,04	3,56
4	Eksisterende bruspenn	1 Uten erosjonssikring	123,52		4,02
		2 Med erosjonssikring	123,57		3,86
	Nytt bruspenn	3 Bredere bruspenn	123,47		3,83
5	Eksisterende bruspenn	1 Uten erosjonssikring	123,38		3,55
		2 Med erosjonssikring	123,37		3,71
	Nytt bruspenn	3 Bredere bruspenn	123,32		3,60
6	Eksisterende bruspenn	1 Uten erosjonssikring	121,26		3,71
		2 Med erosjonssikring	121,26		3,70
	Nytt bruspenn	3 Bredere bruspenn	121,26		3,72

3.4 Anbefalt bruløsning

Planlagt løsning med bru på dagens plassering, med et spenn på cirka 15 meter, vil kreve dypt fundament for å unngå undergraving. I tillegg er erosjonssikring av fundament og landkar nødvendig. Det korte bruspennet smalner elveløpet, noe som negativt påvirker flomforhold, akvatisk miljø, etc. Store byggegroper vil dekke betydelige deler av elveløpet, med dypere fundamentering og økt behov for erosjonssikring. Vannhåndtering under bygging kan bli utfordrende på grunn av byggegropene. Erosjonssikring bør utføres fra fundamentet og opp mot bunnen av elva. Sikring av elvebredden mellom landkarene kan bli nødvendig på grunn av utgraving av masser.

Et lengre bruspenn gir en bruløsning som er tilbaketrukket fra elveløpet, slik at sidekanter kan etableres og elveløpet opprettholdes i samme bredde som oppstrøms og nedstrøms bruen. Erosjonssikringstiltak vil være mindre omfattende, og det vil gi en antatt forenklet anleggsgjennomføring.

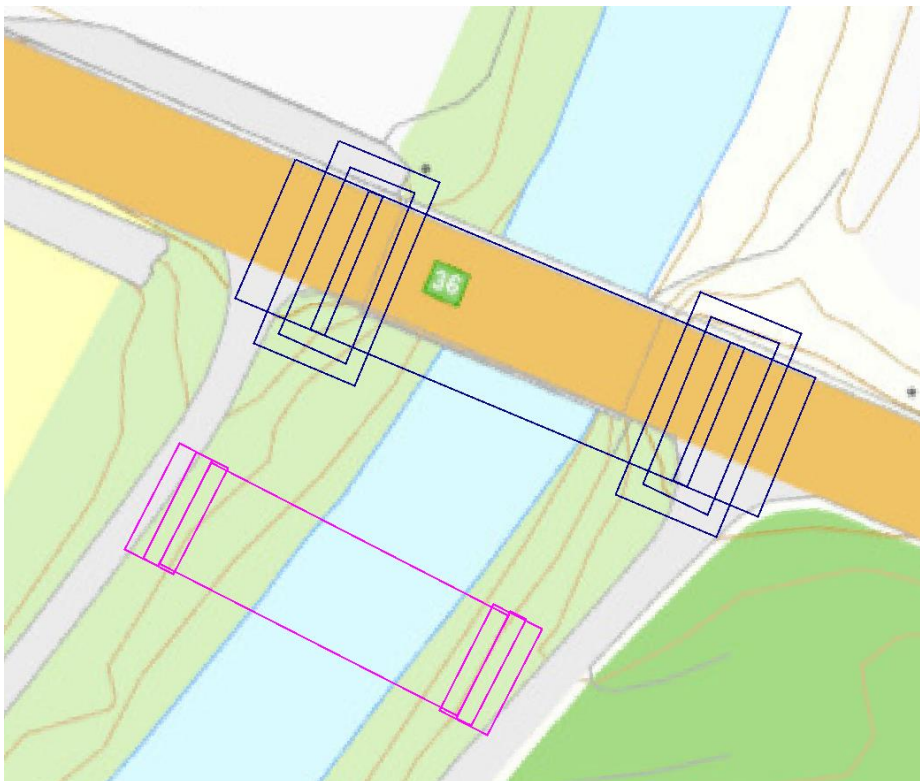
Beregninger viser at fribordkrav i henhold til N400 er tilfredsstillt for begge bruløsninger. Likevel anbefales det å gå videre med alternativet med lengre bruspenn, på grunn av innsnevringseffekten ved kortere spenn og minimere inngrep i elveleiet i anleggsgjennomføring.

3.5 Midlertidig bruløsning

I forbindelse med anleggsfasen er det planlagt å legge om veien og etablere en midlertidig bru nedstrøms Hønså bru. Den midlertidige bruene er planlagt med en underkant på 123,4 moh. Bruene er tenkt plassert uten behov for utfylling i elv for etablering av landkar, dvs. ingen påvirkning av elveløpet. Figur 9 viser plassering av midlertidig bru i forhold til Hønså bru.

Det har blitt utført en kontroll av 10-årsflom og 50-årsflom ved den planlagte, midlertidige bruene. Beregningene for disse flommene er gjennomført på tilsvarende måte som for 200-årsflommen. Flomfrekvensanalyse er gjort på døgndata fra målestasjonen Grovåi, som anses som representativ. Kulminasjonsfaktoren fra RFFA-2018 er brukt til å skalere fra døgndata til kulminasjonsdata, og dette gir kulminasjonsverdier for 10-årsflom og 50-årsflom på henholdsvis 27,1 m³/s og 36,0 m³/s.

Vannlinjemodellen viser at flomvannstanden ved den midlertidige bruene er 122,6 moh. for en 10-årsflom og 122,8 moh. for en 50-årsflom. Begge flomhendelser har dermed fri klaring opp til underkant for midlertidig bru (på henholdsvis 0,8 og 0,6 m for 10- og 50-årsflom).



Figur 9: Blå linjer markerer plasseringen av Hønså bru, mens rosa linjer viser plasseringen av den midlertidige bruene nedstrøms Hønså bru.

3.6 Normalvannstand

Det er gjort en beregning av normalvannstand under bru (for profilinje 3, se plassering i Figur 8). Anbefalt bred bruløsning er lagt til grunn for beregningene, men det antas ikke å bli en endring i normalvannstand fra dagens situasjon til ny løsning. Det ble lagt til grunn en normalvannføring lik 1,15 m³/s. Beregnet normalvannstand for Hønså bru er 121,69 moh.

3.7 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalysen ser på påvirkningen av modellparametere på vannstander og vannhastigheter under dimensjonerende flom. Modellparameterne som er analysert er ruhet og vannføring. Det er vurdert at

sensitiviteten i modellparameterne har en påvirkning på vannstand som er mindre enn krav til 0,5 m fri høyde over vassdraget iht. N400. Det vurderes dermed ikke som nødvendig med ekstra sikkerhet.

3.7.1 Ruhet

Det er gjennomført en ekstra beregning for dimensjonerende flom med høy Manningsverdi for å vurdere følsomheten knyttet til ruhet. Ruhetsverdiene som brukes er vist i Tabell 5.

Tabell 5: Manningsverdier for ulike delfelt (Fergus, Hoseth, & Sæterbø, 2010).

Beskrivelse	Normal Manningsverdi	Høy Manningsverdi
Elveleiet med plasserte store steiner	0,05	0,0625
Elveleiet under bru (ingen store steiner)	0,04	0,05
Flomslette: kort gress	0,03	0,0375
Hus	1,0	1,25
Vei	0,0125	0,0156
Øvrig terreng	0,06	0,075

Resultatene fra beregningene er vist i Tabell 6. Resultatene viser at forskjellen mellom normal og høy Manningsverdi er 10 cm. Dette er innenfor usikkerheten på 0,5 meter som er kravet til fri høyde over vassdrag i N400.

Tabell 6: Maksimal vannstand under bru med forskjellige Manningsverdier.

Manningsverdi	Maksimal vannstand under bru
Normal	123,59
Høy	123,69

3.7.2 Vannføring

Det er gjennomført en vurdering der flomstørrelsen økes med 25%, og dermed gir en kulminasjonsverdi på 82,5 m³/s. Resultatene viser at vannstanden i under bruene øker med 22 cm, som også er innenfor usikkerheten på 0,5 meter som er kravet til fri høyde over vassdrag i N400.

3.8 Usikkerheter terrengmodell

Det er knyttet usikkerheter til terrengmodellen. Spesielt er det noen områder oppstrøms i elva hvor vannet i modellen renner over kanten på østsiden av elven. I virkeligheten kan det hende at terrenget eller vegetasjonen er tilstrekkelig til å holde vannet innenfor elveløpet, slik at det ikke renner ut over områdene på østsiden. Innmålinger i disse områdene kunne styrket modellen og gitt et mer nøyaktig bilde av hvor og hvor mye vann som faktisk ville renne ut. Det er imidlertid nok vann som renner ned til bruene og gjennom bruåpningen til å gi et representativt bilde av dimensjonerende vannstand for bruene.

4 Erosjonssikring

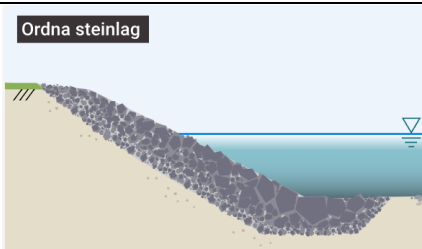
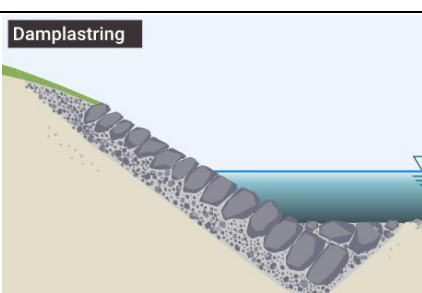
4.1 Valg av bruløsning

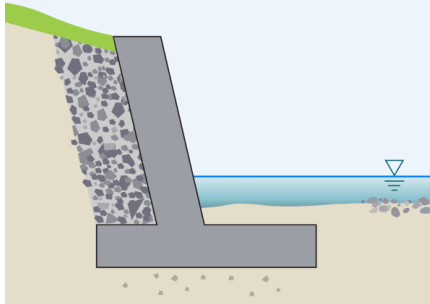
Sweco presenterte fordeler og ulemper med kort og langt bruspenn for Statens vegvesen i møte 04.06.2025. Statens vegvesen besluttet 10.06.2025 å gå for en utvidet bru som ikke snevrer inn elveløpet. Det derfor sett på denne løsningen i dimensjonering av erosjonssikring.

4.2 Valg av sikringstype

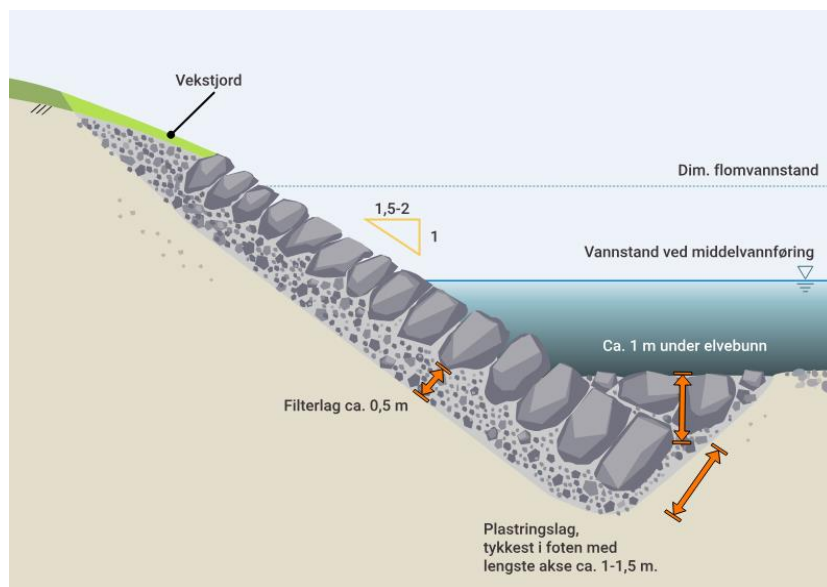
NVE gir veiledning om hvilken sikringstype som er best egnet, avhengig av forventet belastning (se Tabell 7). Ved en dimensjonerende flom forventes det maksimale vannhastigheter på ca. 4 m/s ved bruene. Basert på dette klassifiseres brulokasjonen til belastningsnivå 3 og det anbefales damplastring som sikringsmetode.

Tabell 7: Sikringstiltak som funksjon av belastning. Tabellen er hentet fra Sikringshåndboka (NVE, 2023).

Veiledende belastning	Anbefalt sikringsmetode	Valg av steinstørrelse
Belastningsnivå 1: $v < 1$ m/s. Liten belastning fra is, drivgods og massetransport.		Teoretisk beregning – Maynords formel anbefales
Belastningsnivå 2: $v = 1 - 3$ m/s. Liten til moderat belastning fra is/drivgods. $v = 1 - 2$ m/s. Stor belastning fra is/drivgods.		Teoretisk beregning av stabil steinstørrelse – Maynords formel anbefales.
Belastningsnivå 3: $v = 4 - 6$ m/s. Liten til moderat belastning fra is/drivgods. $v = 3 - 5$ m/s. Stor belastning fra is/drivgods.		Det finnes ikke gode metoder for å beregne påkjenning og steinstørrelse for konstruksjonen – konstruksjonens stabilitet avhenger i stor grad av at steinblokkene legges med god nok innbyrdes kontakt. Erfaring er oftest nødvendig.

Veiledende belastning	Anbefalt sikringsmetode	Valg av steinstørrelse
<u>Belastningsnivå 4:</u> $v > 6$ m/s. $v > 5$ m/s. Stor belastning fra is/drivgods.	Betongkonstruksjon 	Det finnes ikke gode metoder for å beregne påkjenning og steinstørrelse for konstruksjonen. Erfaring er nødvendig, både når det gjelder prosjektering og utførelse.

Figur 10, hentet fra Sikringshåndboka (NVE, 2023), viser en prinsippskisse for sikring av elvesider med damplastring. Steinblokkene som sorteres ut må ha moderat flisighet, det vil si at forholdet mellom lengste og korteste akse skal være 2–3. Ved damplastring blir lengste steinakse lagt inn og ned i terrenget. Plastringen må legges nedenfra og oppover. Det er nødvendig med god kontaktflate mellom steinblokkene, og hver stein bør hvile mot to nærliggende steiner i plastringen, som i et «mosaikk-mønster». For å hindre masser i grunnen fra å bli vasket ut gjennom plastringen, må det legges et filterlag under laget av plastringsstein. Hulrom mellom enkeltstein må minimeres, og må være så små at stein fra filtermassen ikke skal bli vasket ut gjennom plastringen. Anbefalt helning på plastringsflaten er mellom 1:1,5 og 1:2, avhengig av tilgjengelig plass. For Hønså bru vil det være aktuelt med skråning 1:2 for å minimere utvidelse av bruspennet, samt at helningen på flomvoller/sidekanter opp- og nedstrøms bruene ser ut til å ha samme helning. Foten av sikringen legges ved elvebunnen, ca. 2 meter under. Sikringen vil strekke over den dimensjonerende flomvannstand.



Figur 10: Prinsippskisse av damplastring som sikringstiltak (NVE, 2023).

4.3 Stabil steinstørrelse

Det finnes ikke gode metoder for å beregne påkjenning og steinstørrelse for damplastring – konstruksjonens stabilitet avhenger i stor grad av at steinblokkene legges med god nok innbyrdes kontakt (NVE, 2023). Erfaring er oftest nødvendig. For å få en indikasjon på passende steinstørrelser, er det utført beregninger ved hjelp av Lysne formel. Beregningene en indikasjon på steinstørrelsene som kan brukes i damplastringen.

Stabil steinstørrelse er siktediameter som karakteriserer stein som forblir stabil og vil ikke blir tatt med strømmen ved dimensjonerende vannhastighet. D_{50} for plastring innenfor brutverrsnittet beregnet med Lysne formel (Jensen & Tesaker, 2009). Der det benyttes stein til erosjonssikring og beregningsmetoden gir kritisk steinstørrelse, skal den kritiske steinstørrelsen multipliseres med en sikkerhetsfaktor på minimum $SF_D = 1,2$ for beregning av stabil steinstørrelse. (krav 2.5.1-3) (Statens Vegvesen, 2024). Det er lagt til grunn en sidehelning på 1:2, som videre gir en korreksjonsfaktor på 1,2 for beregning av stabil stein for sideskråning.

Tabell 8. Resulterende verdier for stabil steinstørrelse i brutverrsnitt inkludert sikkerhetspåslag.

Parameter	Symbol	Enhet	Verdi
Stabil steinstørrelse (Lysne formel)	D_{50}	[m]	0,6
Sikringsfaktor	K	[-]	1,2
Dimensjonerende stabil steinstørrelse	D	[m]	0,72
Sikringstykkelse	t_{min}	[m]	0,72

4.4 Sikring av bru

Det anbefales å sikre brutverrsnittet med plastring. Foten av sikringen legges ved elvebunnen. Sikringen vil strekke over den dimensjonerende flomvannstand og avsluttes ved kanten av brufundamentet av hensyn til stabiliteten. De største og lengste steinblokkene skal legges nederst i elva, hvor belastningene er høyere enn opp i skråningen. Sikringen er tegnet med bratthet 1:2.

For å etablere sikringen som damplastring må vi ha kontroll på alle aksene på steinen. Diameteren er beregnet til 0,72 m. En stein med alle aksene målt til 0,72 m gir vekt for plastringssteinen:

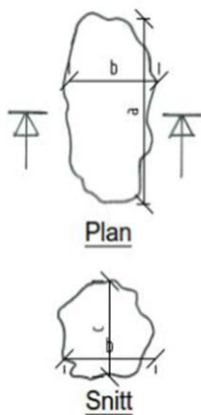
$$W = K_p D^3 = 0,58 \text{ tonn}$$

For å oppfylle krav i Figur 11 og oppnå den beregnede vekten, må plastringssteinens akser være som vist i Tabell 9.

Tabell 9. Krav til plastringssteinens akser. Testes etter anvisning i Figur 11.

A (mm)	B (mm)	C (mm)
1050-1250	650-800	450-600

Plastringsstein vurderes etter dens tre akser, a, b og c:



Stein som benyttes i kone- og skråningsvern skal fortrinnsvis tilfredsstille følgende kriterium til form:

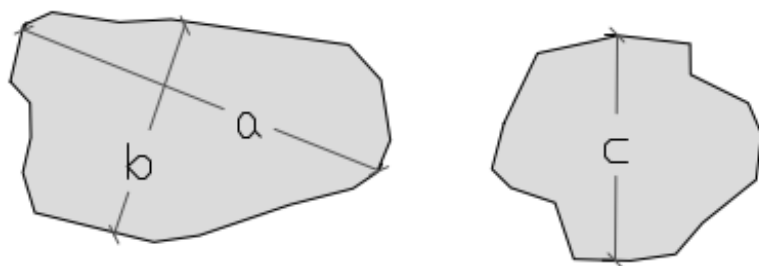
- noe avlange: $1/3 < b/a < 2/3$
 - ikke flate ("heller"): $c/b > 2/3$
 - ikke for lange/stenglige i forhold til tykkelse: $a/c < 3$
- I praksis betyr dette at blokkene bør være litt avlange.

I tillegg skal plastringsstein være:

- av god kvalitet uten markerte sprekkesett
- motstandsdyktig mot forvitring

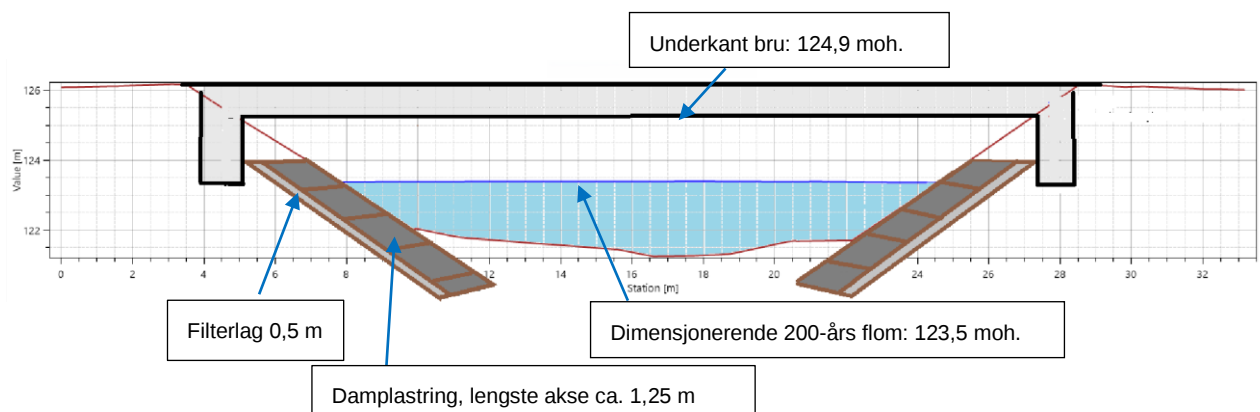
Plastringsstein som benyttes i topp, horisontal del av damkrona kan være mer avlange og litt større enn blokkene som benyttes i skråningene.

Figur 11. Typisk sikringsstein.



Figur 12. Detalj av typisk plastringsstein. Plastringsstein settes med a-akse inn i forankringslaget.

Det anbefales filterlag av knuste masser med gradering på omtrent 50-300 mm, i lagtykkelse 50 cm i henhold til anbefaler i Sikringshåndboka modul F3.203 (NVE, 2023). Dette er for å hindre masse i grunnen fra å bli vasket ut gjennom plastringen. Det bør etterstrebes en jevn fordeling av kornstørrelser i massen. Filterlaget må også legges ut under vann. Ekstra tykkelse kan være nødvendig hvis det blir krevende med vannhåndtering og filtermassene ikke vil ligge stabilt. Basert på befaring utført av geotekniker ble det vurdert til at øvre lag av elva består av grove masser, grus og sand. Det er derfor ikke behov for geosyntet som membran eller fiberduk.



Figur 13: Prinsipp for erosjonssikring av planlagt Hønså bru.

4.4.1 Sikringens utstrekning

Sikringen bør føres godt forbi det erosjonsutsatte området og avsluttes der belastningen er liten. Sikringen kan med fordel avsluttes mot ikke-eroderbare områder. På oppstrøms side vil det være nødvendig å lage en overgang fra plastringen til tørrmuren som står på vestsiden av elven. For resterende sider anbefales det en utstrekning av sikringen på minst 5 meter fra landkar på sidene. I elva skal damplastringen ligge ca. 2 meter under den eksisterende elvebunnen (fundament til sikringen). Overkant av damplastringen må ligge over fundament for landkarene, toppnivå må avklares med konstruksjon.

4.5 Konklusjon erosjonssikring

Tabell 10 viser nøkkelinformasjonen til sikringen. Sikringen skal utføres i henhold til Sikringshåndboka (NVE, 2023).

Tabell 10: Nøkkelinformasjon om sikringen.

Type sikring	Steinstørrelse damplastring	Underkant sikringen	Overkant sikringen	Utsrekning sikringen	Filterlag og justeringslag
Damplastring (lengste akse innover)	Lengste akse omtrent 1250 mm, midlere akse 800 mm og minste akse 600 mm.	Minst 2 m under eksisterende elvebunn	Koordineres med konstruksjon	Minst 5 meter fra landkar på sidene.	Minst et 0,5 m lag av knuste steinmasser av pukk og kult med sortering d 50 – 300 mm.

5 Referanser

- Chow. (1959). Manning's n for Channels. Hentet fra https://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm
- Fergus, T., Hoseth, K., & Sæterbø, E. (2010). Vassdragshåndboka. Tapir Akademisk Forlag.
- Jensen, L., & Tesaker, E. (2009). *Veileder nr 4. Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2023). Sikringshåndboka. Hentet fra <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/>
- Statens Vegvesen. (2024). *N200 Vegbygging*. Hentet fra <https://store.vegnorm.vegvesen.no/n200>
- Statens Vegvesen. (2024). *N400 Bruprosjektering*. Hentet fra <https://store.vegnorm.vegvesen.no/n400>
- Sweco Norge AS. (2024). *Hydrologisk rapport – Flomberegning, kulvertdimensjonering og vannlinjemodellering for bruer i Telemark/Agder*.