

Hydrologi Søre Bjøråa bru

Hydrologiske og hydrauliske beregninger

Oppdragsnavn	Hydrologi Søre Bjøråa bru
Prosjekt nr.	1350047370
Mottaker	Statens vegvesen
Dokument type	Rapport
Versjon	01
Dato	2.6.2025
Utført av	Per Ludvig Bjerke
Kontrollert av	Lan Tuyet Phan
Godkjent av	Asgeir Skymoen

Innholdsfortegnelse

1.	Bakgrunn og oppdrag	3
2.	Områdebeskrivelse	3
2.1	Dagens bruløsning	3
2.2	Ny bru	4
2.3	Søre Bjøråa	5
3.	Forutsetninger og metode	7
3.1	Krav til frihøyde og høyde til underliggende terreng	7
3.2	Klima- og sikkerhetsfaktor	7
3.3	Flomberegninger	8
3.4	Hydrauliske beregninger	8
4.	Resultater og drøfting	9
5.	Hydrauliske simuleringer for ny bruløsning	14
6.	Dyrepassasje og bredde og høyde av ny bru	15
7.	Dimensjonering og oppbygging av erosjonssikring	17
8.	Isforhold	18
9.	Vannhåndtering og overvann	19
10.	Konklusjon	19
11.	Referenser	19
	VEDLEGG 1	21
	VEDLEGG 2	22
	VEDLEGG 3	23
	VEDLEGG 5	25
	VEDLEGG 6 Bilder fra befaring 26.6.2024	26
	VEDLEGG 7 Eksempel på fotgrøfter	29

SAMMENDRAG

Det er utført flomberegninger for 20-, 50- og 100-års flommer og er beregnet til 45 m³/s, 55 m³/s og 62 m³/s. Det er da lagt på en usikkerhetsfaktor på 1.2 på vannføringen. 200 års flom med klima er beregnet til å være 107 m³/s. Det er da lagt på en klimafaktor lik 1.4 og en usikkerhetsfaktor lik 1.2.

Simuleringen viser at man kan få vannhastigheter på 7 m/s ved brua. Hastigheten er størst midt i elva og avtar utover mot bredden.

Vannstanden ved pel 240 rett opp for bru ligger på 312.40 moh. For å ta høyde for at drivgods og is kan drive med elva ved flom anbefales det at underkant bru ikke ligger lavere enn på kote 313.40 moh.

Sikring mot erosjon av elva kan gjøres på forskjellige måter som ordnet steinlag, rausing eller plastring på ulike måter. Avhengig av type sikring og hvor i elva det skal sikres, anbefales det å benytte stein fra størrelse opp til 1 m og ned til D₅₀ = 600 mm. Det anbefales å sikre opp til kote 312 moh.

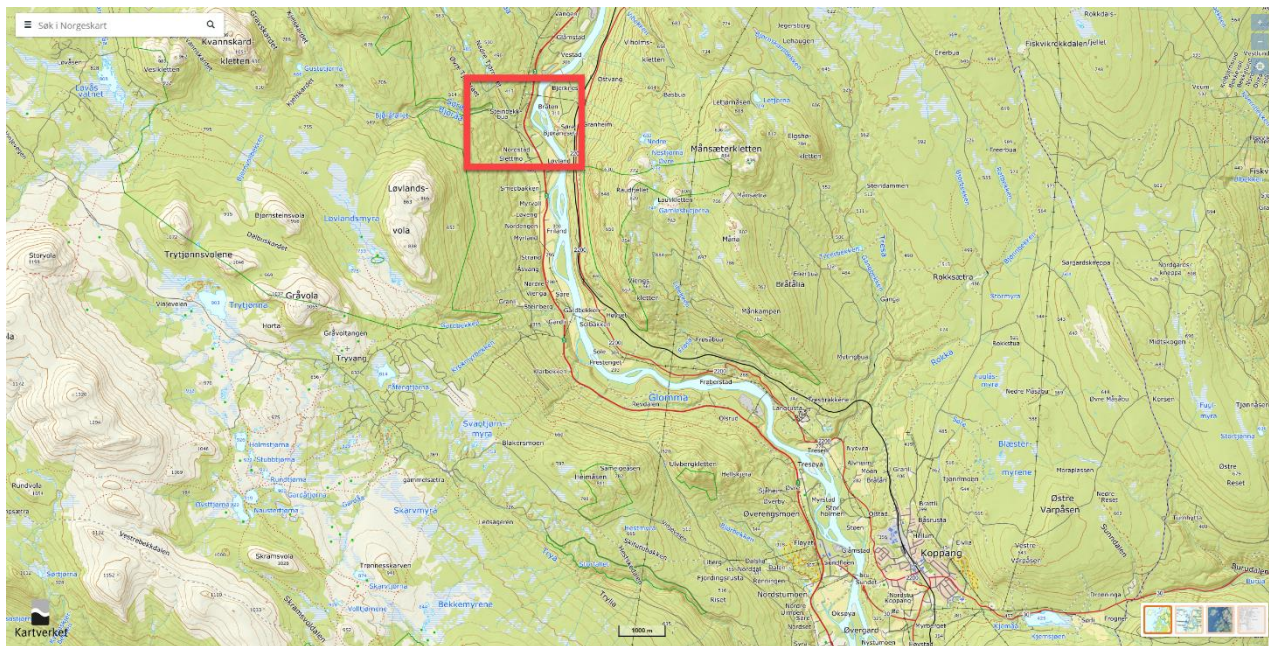
For Søre Bjørua anbefales at sikring utføres som en kombinasjon av rauset stein og samfengte masser uten filter.

Med et elvetrau som er 10 m bredt og har dybde minimum 1 m vil vatnet flomme ut av trauet kun ved større flommer.

1. Bakgrunn og oppdrag

Rambøll Norge AS har på oppdrag fra Statens vegvesen utført en hydraulisk analyse samt gitt et forslag til erosjonssikring av ny bru der Søre Bjøråa krysser Riksvei 3 i Østerdalen (Figur 1-1). Det er kjørt beregninger for ny bruløsning for 20-, 50-, 100- og 200-års flommer.

Noe av arbeidet bygger på Rambøll sin rapport fra 2023 om interimsbru i samme prosjekt.



Figur 1-1. Lokalisering av Søre Bjøråa bru på riksvei 3 nord for Koppang i Østerdalen.

Metoder, analyser og resultater er beskrevet i denne rapporten. Flomberegningen er utført i henhold til anbefalingene gitt i NVE veileder 1/2022 «*Veileder for flomberegninger*» (NVE, 2022).

2. Områdebeskrivelse

2.1 Dagens bruløsning

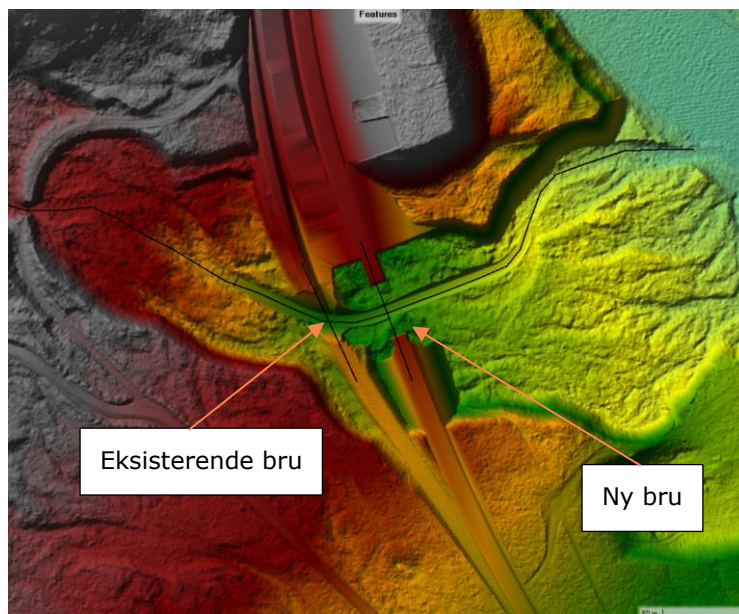
Dagens bru er en platebru i betong med lysåpning vinkelrett på elva. Ut fra brutegningene og skanning av elvebunnen har brua en anslått bredde på ca. 8 m og en høyde på ca. 4 m. Både på bruas innløp og utløp er det bygd vingemurer i betong (Figur 2-1). Vingemurene er blitt skadet av flommer i de senere årene. Sist under uværet Hans. Elvekanalen har en helning på ca. 1:5 der den passerer brua. Her får vannet stor hastighet i en flomsituasjon.



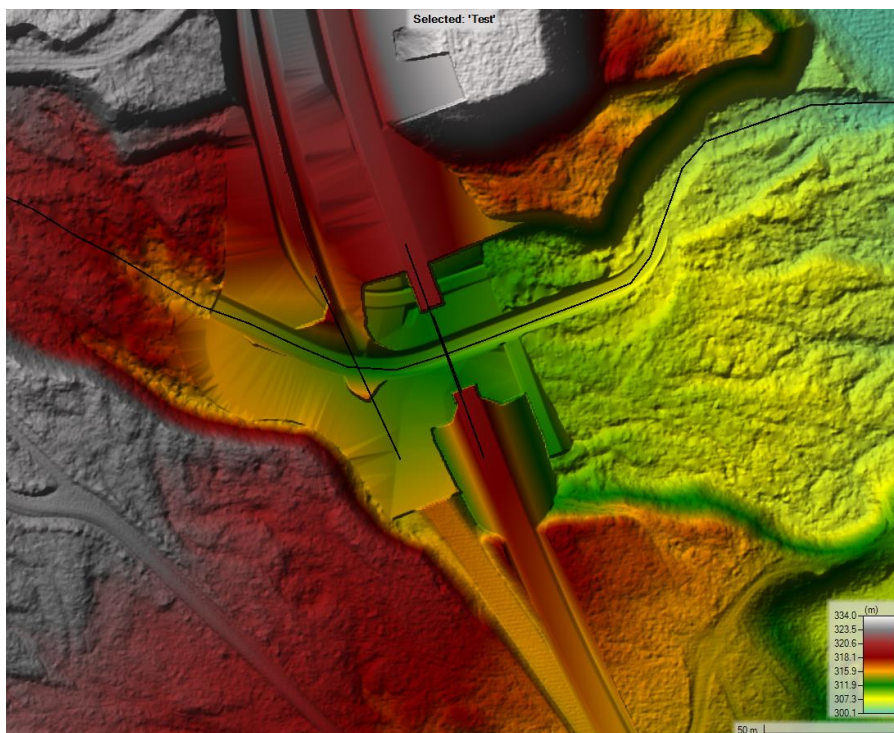
Figur 2-1. Eksisterende veibru ved flom i Søre Bjøråa (Bilde fra SVV)

2.2 Ny bru

Senterlinje for ny bru er planlagt å ligge 35 m lenger nedstrøms dagens bru. Den gamle brua skal rives, og eksisterende veifylling nord og sør for brua skal tas bort. Brua skal romme både dyrepassasje og en skogsvei som medfører et lengre spenn enn den ville trengt for ren elv. Figur 2-2 viser gammel og ny veilinje i terrenget.



Figur 2-2. Terreng som viser de to veilinjene.



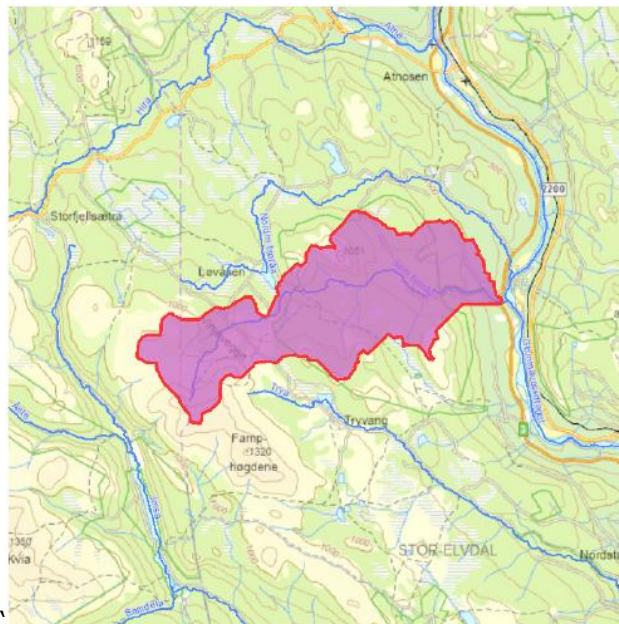
Figur 2-3 Terrengdata brukt i modellering av elvestrømming.

2.3 Søre Bjøråa

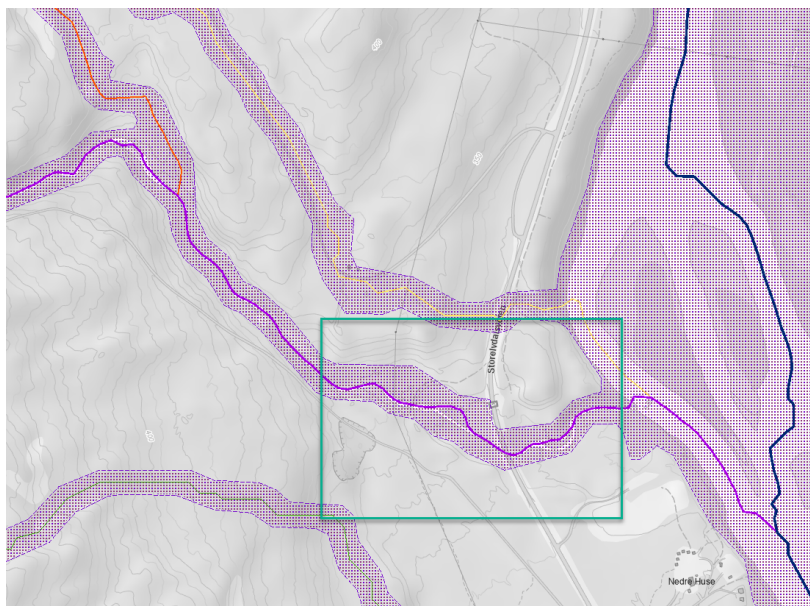
Søre Bjøråa har et nedbørfelt på 47 km² (Tabell 1). Feltet er slakt og domineres av skog (70 %) og snaufjell (14 %) og er uten innsjøer (Figur 2-4 og Vedlegg 1). Brua ligger innenfor NVE sin aktsomhetssone for flom (Figur 2-5).

Tabell 1. Feltparametere for Søre Bjøråa (Fra nevina.nve.no).

Feltparameter	Verdi	Enhet
Areal	47	km ²
Effektiv sjø	0	%
Elvelengde	52	km
Elvegradient	47,2	m/km
Dreneringstetthet	1,1	km ⁻¹
Feltlengde	13,9	km
H _{min} -H _{max}	313 – 1286	m
Spesifikk avrenning 1961-90, (Q _N)	13.8	l/s*km ²



Figur 2-4. Nedbørfeltet til Søre Bjøråa (nevina.nve.no).



Figur 2-5. Søre Bjøråa bru ligger innenfor NVE sin aktsomhetssone for flom, vist med lilla skravur (nve.atlas.no).

Området er befart av hydrolog fra Rambøll og bilder derfra er vist i vedlegg 6. Det er utført oppmålinger av tverrprofiler og egen lidar scanning av elvekanalen oppstrøms og nedstrøms brua. Disse data gir til sammen gir et godt grunnlag for de hydrauliske analysene.

3. Forutsetninger og metode

Til bruk i flomfareutredninger skal det iht. N200 (SVV, 2022) beregnes en dimensjonerende vannføring ($Q_{dim,T}$). Denne skal være basert på flere metoder og som alle er tilpasset nedbørfeltets størrelse og egenskaper. På den beregnede vannføring (Q_T) skal det legges på både en klimafaktor (F_k) og en sikkerhetsfaktor (F_u):

$$Q_{dim,T} = Q_T \times F_k \times F_u$$

Beregningene er utført med det beste tilgjengelige datagrunnlaget, og basert på dagens elvegeometri. Det er ikke tatt hensyn til effekter av massetransport, erosjon, is og tilstopping som følge av drivgods m.m. Dersom ny kunnskap viser at disse forutsetningene ikke er riktige, eller at det oppstår vesentlige endringer i elveløpet, må beregningene oppdateres.

3.1 Krav til frihøyde og høyde til underliggende terreng

Statens Vegvesen sin håndbok N400 «*Bruprosjektering*» setter krav til minimum 0,5 m frihøyde under bruer ved dimensjonerende flom. I tillegg er det krav til fri høyde målt fra terrenget, det vil si fra bunnen av elva, til underkant bru på minimum 2 meter (SVV, 2025), hvilket er oppfylt med eksisterende bruløsning.

3.2 Klima- og sikkerhetsfaktor

Tabell 2.3.1-1 i N200 (SVV, 2022) angir klimafaktor (F_k) som skal brukes for hvert fylke, verdien er avhengig størrelsen på nedbørfeltet. For tidligere Hedmark (nå Innlandet) skal F_k settes til 1,4 for små nedbørfelt og 1,2 for store nedbørfelt. Dette er anbefalt å sette grensen for små felt til mindre enn 50 km² i NVE i sin «*Veileder for flomberegning i små og uregulerte felt*» (NVE, 2022). Norsk Klimaservicesenter (<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hedmark>) anbefaler i sin klimaprofil for Hedmark at det ikke legges på klimafaktor for de større vassdragene, men anbefaler minst 20% påslag for små vassdrag.

Feltet til Søre Bjøråa er på grensen til å defineres som stort nedbørfelt. Det er snøsmelteflommer som dominerer. Det har midlertid mye høytliggende snaufjell og til flomberegningene velges det derfor å benytte en klimafaktor på 1,4 på 200-års flommen.

I SVV sitt vegkart er ÅDT oppgitt til 2813 med en andel på 32% for lange kjøretøy. Ut fra Vegnormal N200 (SVV, 2022) er brua i sikkerhetsklasse V2 da ÅDT er 500 – 4000. Siden det ikke er gode omkjøringsmuligheter skal det benyttes en sikkerhetsfaktor på 1,2 ved beregning av dimensjonerende flom.

Det anbefales også å legge på et sikkerhetspåslag for å håndtere usikkerheten i de hydrologiske og hydrauliske beregninger, se NVE (3/2022) Sikkerhet mot flom.

3.3 Flomberegninger

For å vurdere dimensjonerende flomverdi for vassdragene har det blitt benyttet metoder anbefalt i NVE-veileder 1/2022 Veileder for flomberegninger (NVE, 2022). Under er det gitt en kort forklaring av de ulike metodene benyttet. For flere detaljer henvises leseren til veilederen (NVE, 2022).

3.3.1 Flomverdier fra NEVINA

Veilederen for flomberegning (NVE, 2022) anbefaler at nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS) benyttes for nedbørfelt opp til 50 km², og RFFA_2018 for felt over dette. Begge disse verktøyene ligger inne i NVE sitt nettbaserte program NEVINA (nve.nevina.no). Det er knyttet usikkerhet ved normalavrenning og middelflommen ($l/s \cdot km^2$) beregnet i NEVINA, slik at en sammenligning mot middelflomverdier og dimensjonerende flomverdier fra nærliggende og sammenlignbare felt med målestasjoner for vannføring bør gjennomføres. Feltkarakteristikker og observasjoner av vannføring fra nærliggende vassdrag er hentet ved hjelp av NVEs seriekart (seriekart.nve.no).

3.3.2 Nedbørs – Avløpsmodell PQRUT

Nedbør-avrenningsmodellen PQRUT er en forenkling av HBV-modellen som benyttes for større vassdrag. Modellen krever feltets areal, effektiv sjøprosent, hypsografisk kurve (H25 og H75), feltlengde og spesifikk normalavrenning for å «kalibrere» modellparameterne K1, K2 og T1. I tillegg anvendes dreneringstetthet, årlig nedbør og andel skog. Et konstruert nedbørforløp basert på IVF (Intensitet, varighet, frekvens) verdier fra en representativ målestasjon for nedbør skal benyttes. Konstruksjonen av nedbørsforløpet er gjort etter anbefalingene i NVE veileder 7/2022 (NVE, 2022), hvor den mest intense nedbøren hentes fra IVF-kurven med varighet lik konsentrasjonstiden. Nedbøren ble videre fordelt symmetrisk om den intense nedbøren slik at summen gjennom døgnet tilsvarer 24-timers hendelsen i IVF-kurven. IVF kurve for Hamar er brukt i analysen.

3.3.3 Flomfrekvensanalyse

Flomfrekvensanalyser er statistiske analyser som utføres på observerte flomdata for å bestemme flomverdier for ulike gjentaksintervaller. Der det ikke foreligger lokale flomdata, må data fra representative målestasjoner benyttes. Analysene kjøres i NVE sin database HYDRA II med de mest oppdaterte dataene. Analysene utføres enten på døgnverdier eller på timesverdier (kulminasjonsverdier) for vannføring. Når beregningene utføres på døgnverdier, må forhåndstallet mellom døgn- og kulminasjonsverdi (kulminasjonsfaktor) og kulminasjonsverdi bestemmes.

3.4 Hydrauliske beregninger

Programvaren HEC-RAS 6.5 er benyttet til beregning av vannstand og vannhastighet for dimensjonerende flom. HEC-RAS er et anerkjent elvemodellprogram som beregner vannlinjer basert på en høyoppløselig

terrengmodell, og input av et flomforløp, samt innlegging av bruer for å modellere hvordan vannstrømmen passerer disse. Et detaljert høydegrunnlag er gjort tilgjengelig fra oppdragsgiver for simuleringen, sammen med innmålinger av tverrprofiler. Basert på dette er det satt opp en modell med rutenett på 1*1 m.

En hydraulisk modell bør kalibreres mot observasjoner av vannstand ved kjent vannføring for å finne riktig ruheverdi, da ruheten bestemmer vannhastighet og vannstand. For Søre Bjøråa eksisterer observasjoner av flomnivå ved ulike situasjoner, men vannføring og gjentakintervall for disse hendelsene er ikke kjent. Det må derfor kjøres en følsomhetsanalyse der man ser på effekten av å endre ruheverdiene og vannføringen i modellen. Modellen er kjørt med tidsskritt basert på Courant-tall på under 1 for å oppnå modellstabilitet. Ligningssettet er SWE-ELM er benyttet for å beregne lokal akselerasjon.

4. Resultater og drøfting

Nedenfor presenteres resultater og drøftinger av flomberegninger for Søre Bjøråa. For Søre Bjøråa er NEVINA-NIFS anbefalt i NVE sin veileder for flomberegning siden feltet er mindre enn 60 km² og beregner kulminasjonsverdier for flom, men siden feltstørrelsen er i øvre sjiktet for hva som defineres som lite nedbørfelt, kjøres analyse også med RFFA-2018 i NEVINA.

4.1.1 Flomverdier fra NEVINA-NIFS (nevina.nve.no)

Normal spesifikk årsavrenning er oppgitt til 13,8 l/s*km². Spesifikk middelflom er beregnet til 276 l/(sek*km²) som gir en middelflom Q_m lik 13 m³/s og en 200 års kulminasjonsflom til 38 m³/s (Vedlegg 1). Beregnede kulminasjonsflomverdier for Q_{50} uten klimapåslag og Q_{200} med klimapåslag er gitt i Tabell 2.

Tabell 2. Flomberegninger for Søre Bjøråa for Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} og Q_{200} med og uten klimafaktor beregnet med NEVINA-NIFS.

Gjentaksintervall	Q20	Q50	Q100	Q200	Q200QF
Flomverdi (m ³ /s)	23	28,4	33	38	53

4.1.2 RFFA_2018

RFFA-2018 beregner døgnmiddelflommen. Døgnmiddelflommen kan være betydelig lavere enn kulminasjonsflommen så kulminasjonsflommen må beregnes fra døgnmiddelflommen basert på en

kulminasjonsfaktor. For Søre Bjøråa er kulminasjonsfaktoren beregnet i NEVINA til 1.25. Beregnede kulminasjonsflomverdier for Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} og Q_{200QF} med klimapåslag gitt i Tabell 3.

Tabell 3. Flomberegninger for Søre Bjøråa for Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} og Q_{200QF} med klimafaktor beregnet med RFFA 2018.

Gjentaksintervall	Q20	Q50	Q100	Q200	Q200QF
Flomverdi (m ³ /s)	18.5	21,4	24.5	26.5	34,1

4.1.3 PQRUT

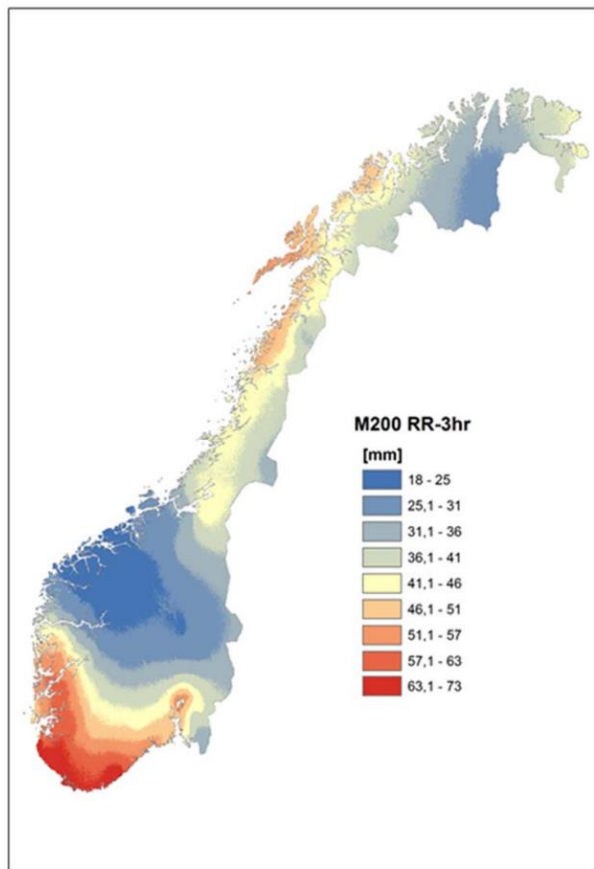
Siden feltet er relativt bratt settes vannhastighet lik 1,5 m/s. Med feltlengde på 13,9 km beregnes en konsentrasjonstid, avrundet til hele timer, til 3 timer. Stasjon Sæter i Kvikne (SN66830) er nærmeste stasjon med IVF verdier. Stasjonen har kvalitetsklasse 3 (Svært usikker), da den har en kort måleserie og ble nedlagt i 1984. Andre alternative IVF stasjoner er Lillehammer (SN12670) som har kvalitetsklasse 2 (noe usikker) og Hamar II (SN12290) som har kvalitetsklasse 1 (god) med data tilbake til 1968 og er aktiv i dag. Tabell 4 viser ulike nedbørsverdier til de tre målestasjonene.

Tabell 4. Nedbørsverdier for varighet på 180 minutter (3 timer) som tilsvarer feltets konsentrasjonstid for de tre stasjonene for 50 og 200 års gjentaksintervall.

Stasjon	50 års verdi	200 års verdi
Kvikne	31	39.8
Lillehammer	23.5	27.6
Hamar	23.5	27.6

Sammenlignet med kart for 3-timers nedbør med 200 års gjentaksintervall ser det ut som om alle målestasjonene, og Søre Bjøråa, ligger i klassen for 25-31 mm (Figur 4-1) (Førland, 2015). Selv om Kvikne ligger nærmest, og i samme høyde som Søre Bjøråa sitt nedbørfelt, vil estimering av 200 års nedbør bli svært usikker, og modellering med disse verdiene gir svært høye flomverdier. Det velges derfor å bruke verdien fra Hamar, da det er en aktiv stasjon med relativt lang måleserie.

Konstruksjonen av nedbørsforløpet er gjort etter anbefalingene i NVE veileder 7/2015 (NVE, 2022) og nedbøren ble fordelt symmetrisk om den intense nedbøren slik at summen gjennom døgnet tilsvarer 24-timers hendelsen (72 mm). Resultatet fra kjøringene for 50 og 200 år nedbør er vist i vedlegg 2 og i Tabell 5.



Figur 4-1. Geografisk fordeling av 3-timers nedbør med 200-års returperiode (Førland, 2015).

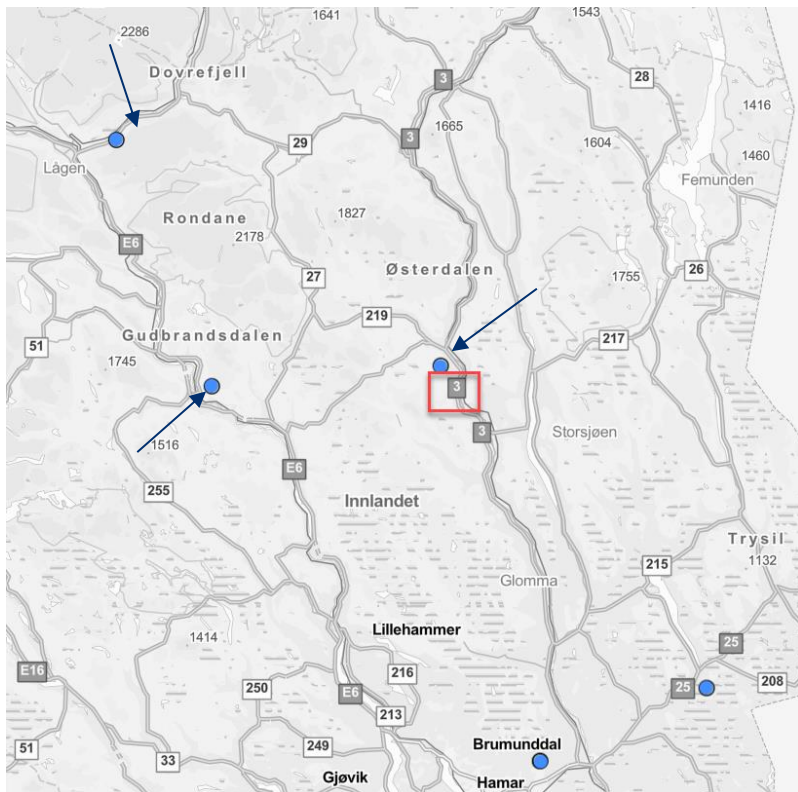
Tabell 5. Flomberegninger for Søre Bjøråa for Q_{50} og Q_{200kf} med klimafaktor =1.2 beregnet med PQRUT.

Gjentaksintervall	Q_{50}	Q_{200KF}
Flomverdi (m^3/s)	46	75

4.1.4 Sammenligning med andre stasjoner

Det foreligger ikke målinger av vannføring i Søre Bjøråa. Normalavrenningen fra NEVINA bør derfor sammenlignes med målestasjoner i nærheten. Nærliggende stasjoner for vannføring er vist i figur 4-2.

Det er 3 av de avmerkede stasjonene i Figur 4-2 som har datakvalitet og feltegenskaper som gjør t de egner seg som referansestasjoner å kjøre flomfrekvensanalyser på som kan brukes på Søre Bjøråa.



Figur 4-2. Oversikt over målestasjoner for vannføring med feltareal mellom 20 km² og 80 km² og innsjøprosent under 5.

Tabell 6 viser normal årsavrenning for aktuelle stasjoner sammen med verdien for Søre Bjøråa. Data fra Hydra 2 hos NVE.

Tabell 6. Normal årsavrenning for Søre Bjøråa og aktuelle referansestasjoner.

	Nordre Bjøråa	Sula v/Vinstra	Fokstua	Søre Bjøråa*
Normal årsavrenning	12,2	14,6	19,9	13,8

*Verdi fra NEVINA

Nordre Bjøråa og Sula ansees som mest representative for Søre Bjøråa, da disse har normal årsavrenning som er svært lik Søre Bjøråa. Basert på dette, anbefales det derfor ikke å justere på normal årsavrenning brukt i beregningene i NEVINA.

4.1.5 Sammenligning av verdier

Tabell 7 viser resultatene av beregning av flom fra NEVINA og PQRUT for 20-, 50-, 100- og 200-års gjentaksintervall med klimafaktor på 1.2 for 200 års flommen for RFFA og PQRUT og 1.4 for NIFS.

Tabell 7. Sammenstilling av beregnede kulminasjonsverdier med ulike metoder.

Metode	Q ₂₀ m ³ /s - l/s*km ²	Q ₅₀ m ³ /s - l/s*km ²	Q ₁₀₀ m ³ /s - l/s*km ²	Q _{200Kf} m ³ /s - l/s*km ²
NIFS	23 - 490	28.5 - 604	33 - 702	53 - 1125
RFFA_2018	18.5 - 390	21.5 - 455	24 - 510	32 - 560
PQRUT	38 - 808*	46 - 978	52 - 1105*	75 - 1631

*Verdiene er beregnet fra PQRUT sin Q_{50}/Q_m lik 2.16 og der $Q_{20}/Q_m = 1.8$ og $Q_{100}/Q_m = 2.45$.

I Veileder for flomberegning (NVE 2022) er det anbefalt at de beregnede flomstørrelsene sammenlignes med andre flomberegninger og observasjoner i området, samt med erfaringstall. For kulminasjonsverdier i små felt viser erfaringstall for spesifikke flomverdier fra Østlandet verdier fra 500 l/s* km² til 1500 l/s*km², men noen flomverdier er helt opp til 2000 - 2500 l/s*km². Flomverdiene er relativt jevnt spredt geografisk. Verdiene er også sammenlignbare med beregnede verdier fra referensefeltene.

PQRUT gir spesifikke flomverdier som er i øvre sjiktet av erfaringstallene, mens verdiene for RFFA_2018 og formelverk for små nedbørfelt ligger nært midten. Det velges å bruke middelverdien fra PQRUT lik 21 m³/s for Søre Bjøråa. Verdien ligger i det øvre området i forholdet til erfaringstall av flomverdier for området.

4.1.6 Dimensjonerende vannføring

Det skal etter anbefaling i SVV N200 brukes en klimafaktor lik 1.4 for 200-årsflom, se vedlegg 5. Verdien for 200 års flom i tabell 7 er beregnet med klimafaktor 1.2 og må derfor multipliseres med 1.2. Brua er i veiklasse 3 og det skal legges på en sikkerhetsfaktor på 1.2. Dimensjonerende vannføring for 20-, 50-, 100- og 200-årsflom med usikkerhetsfaktor på 1.2 og for 200 års flom med klimafaktor 1.4 blir da:

20 års flom	= 45 m ³ /s
50 år flom	= 55 m ³ /s
100 års flom	= 62 m ³ /s
200 års flom	= 90 m ³ /s
200 års flom med klima	= 107 m ³ /s

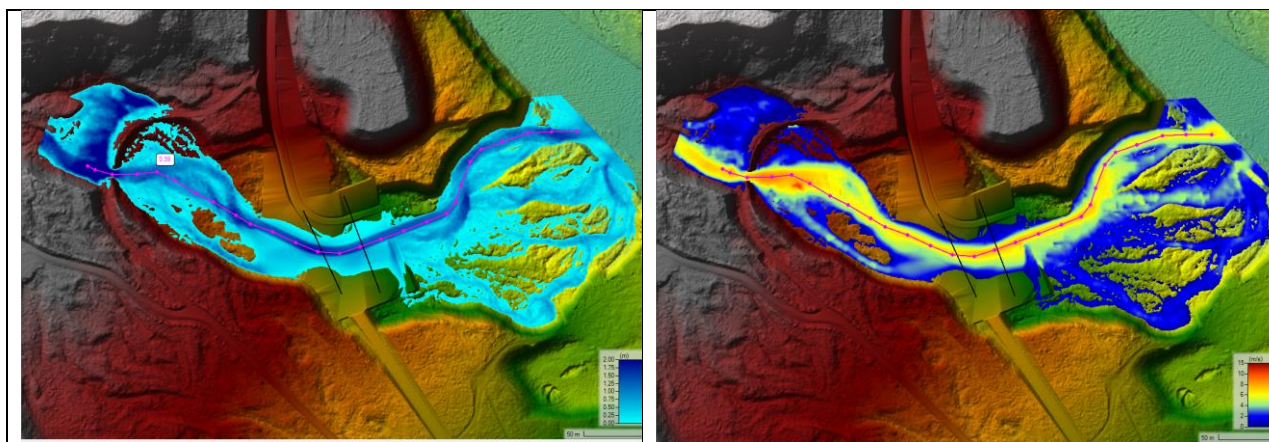
Verdien lik $107 \text{ m}^3/\text{s}$ er brukt i den hydrauliske simuleringen for å bestemme dimensjonerende vannhastigheter og vannstand for ny løsning.

5. Hydrauliske simuleringer for ny bruløsning

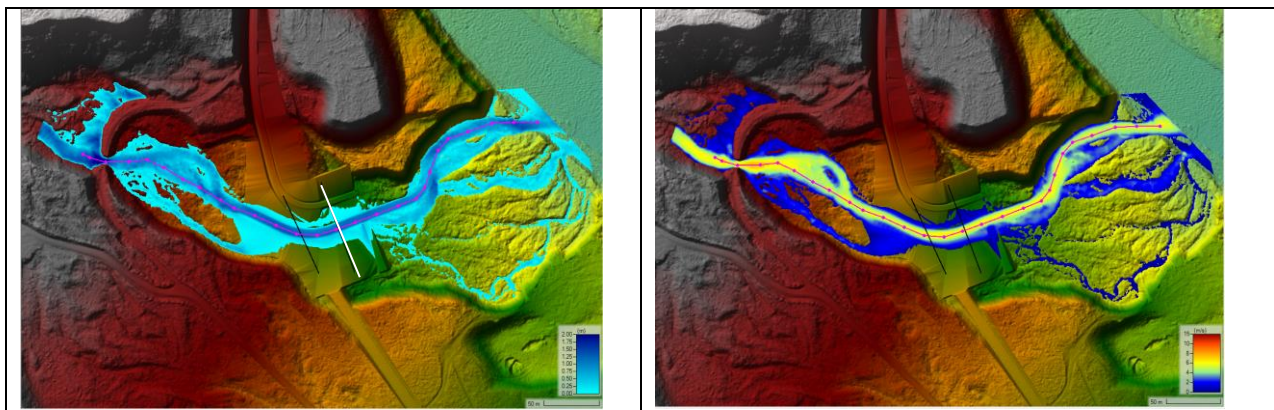
Modellen er satt fra laserdata der innmålinger har tetthet 2-5 pkt. pr m^2 . Basert på disse laserdata er det laget et grid med cellestørrelse $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Det er ikke data for å kalibrere modellen og det må brukes erfaringsverdier for å sette ruheten i modellen. Dette gjøres gjennom å velge Manning's n lik 0.035. Manning's ruhetsverdier tilsvarer verdier som er oppgitt som vanlige verdier for tilsvarende forhold i Vassdragshåndboka (NVE 2010) og Chow (1959).

Det er kjørt simuleringer for nytt veiforslag mottatt fra SVV for omlegging av bru og elv. Forslaget går ut på å lage en jevn helning av elva fra like opp for gamle brua og nedover. Det er kjørt simuleringer for dimensjonerende flommer for 20-, 50-, 100-, og 200-årsflom.

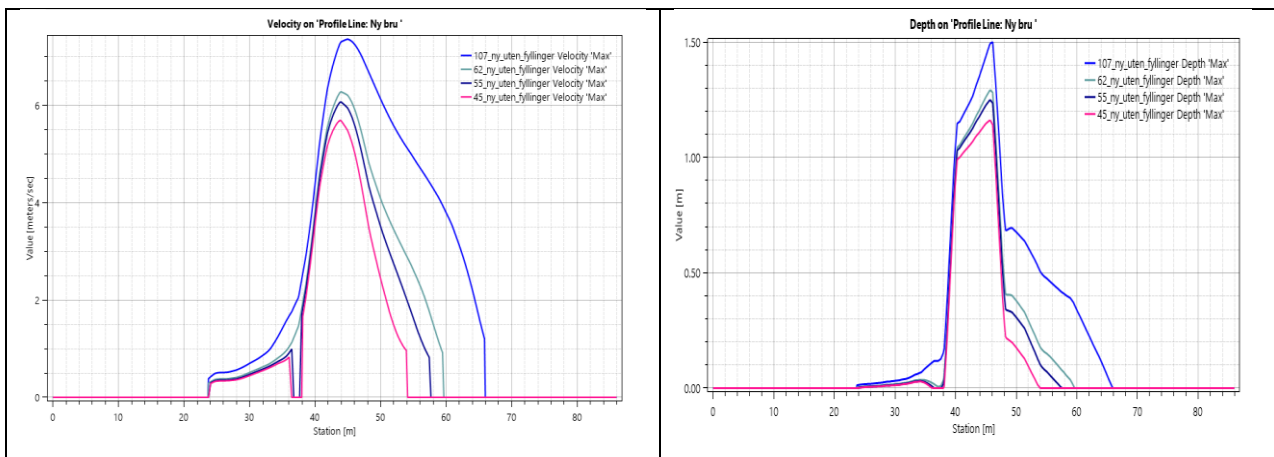
Figur 5-1 og Figur 5-2 viser vanndybde og -hastigheter for 20- og 200-års flommer. Figur 5-3 viser vannhastighet og vanndyp i et snitt tvers over elva ved ny bru. Den største vannhastigheten ligger mellom 6 m/s og 7 m/s for alle flommer. Det er vanndybden ligger mellom 1 og 1.5 m . Det er ved flom overkritisk strømming og derfor ikke store forskjeller i hastighet og dybde mellom de ulike flommene.



Figur 5-1 Vanndybde (venstre) og vannhastighet (høyre) for 200 års flom + klima og sikkerhetsfaktor på $107 \text{ m}^3/\text{s}$.



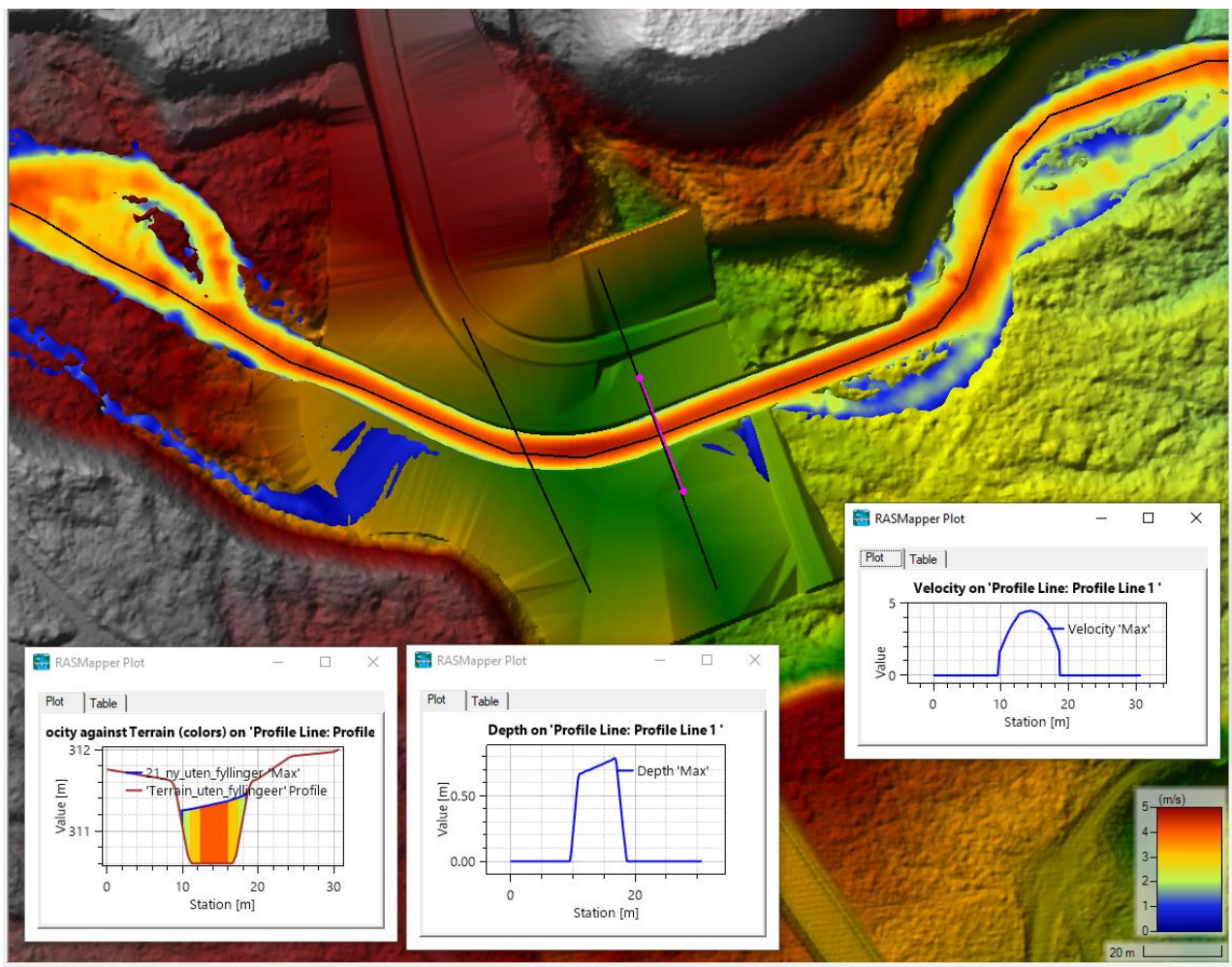
Figur 5-2 Vanndybde (venstre) og vannhastighet (høyre) for 20-årsflom på 55 m³/s.



Figur 5-3 Hastighet for 20-, 50-, 100- og 200-årsflommer i tverrsnitt ved ny bru (venstre) og vanndybder (høyre).

6. Dyrepassasje og bredde og høyde av ny bru

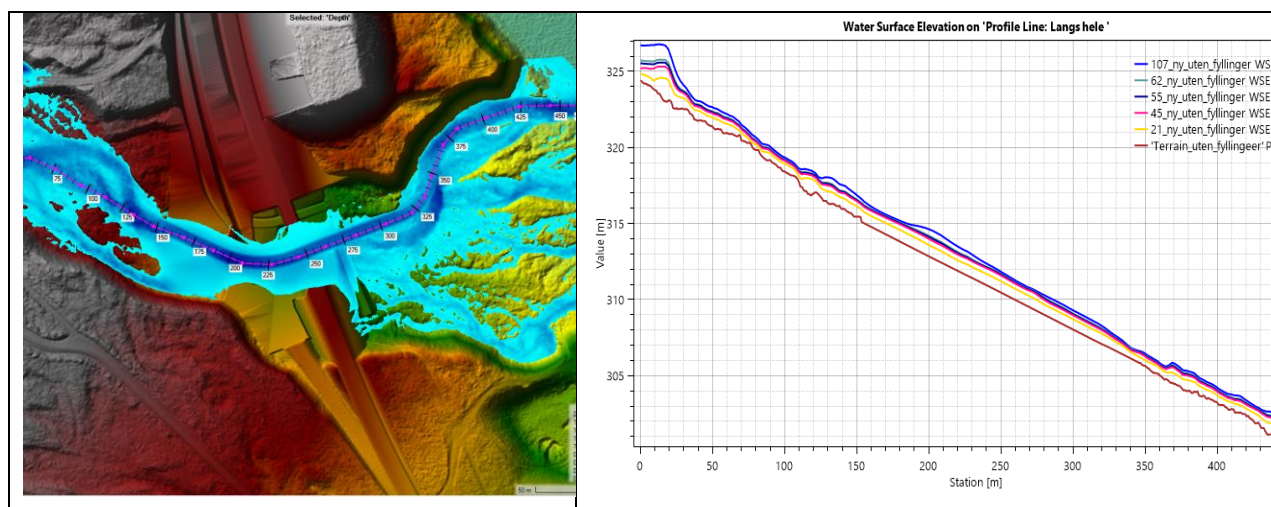
Et lang bruspenn vil gi plass for dyrepassasje og eventuelt sti/skogsvei under brua. Hvis den legges utenfor det planlagte elvetrauet vil den bli oversvømt kun ved veldig stor flom. Eksempel på hastighet, dybde og vannstand tvers over elva ved brua for en middelflom på 21 m³/s er vist i Figur 6-1.



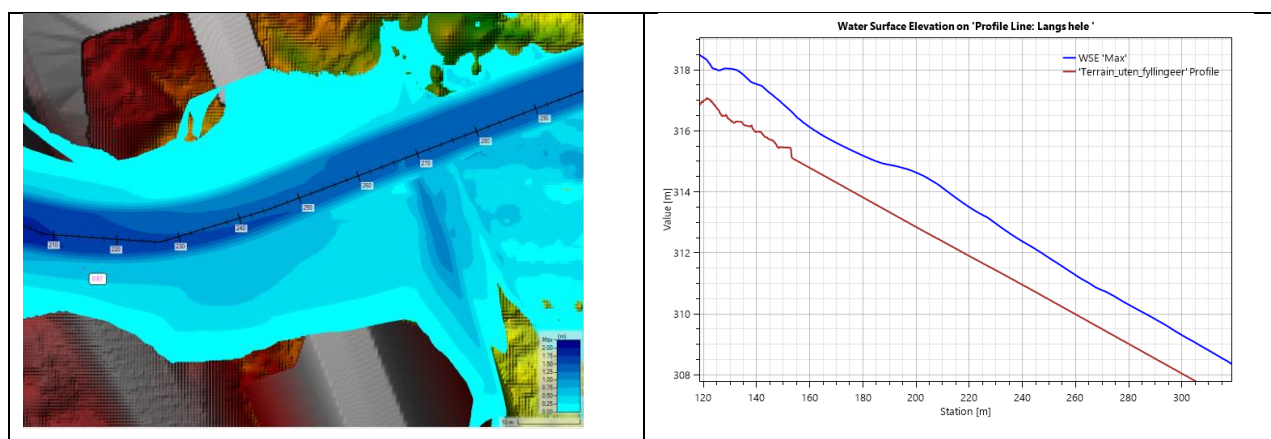
Figur 6-1 Figur som viser hastighetsbildet tvers over elva ved ny bru for middelflom på $21 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figur 6-2 viser vanndybde og utbredelse ved 200-årsflom og vannlinjen for de ulike flommene, og Figur 6-3 viser detaljbilder av vanndybde og vannstand for en 200 års flom på $107 \text{ m}^3/\text{s}$ ved brua. Vannstanden ved profil (pel) 240 rett opp for bru ligger på 312.40 moh.

For å ta høyde for at drivgods og is kan drive med elva ved flom anbefales det at underkant bru ikke ligger lavere enn på kote 313.40 moh.



Figur 6-2. Beregnet flomutbredelse og vanddybde ved 200 års flom (venstre) og vannlinje for ulike flommer ved planområdet (høyre). Ny bru ligger mellom pel 245 og pel 255.



Figur 6-3. Vanddybde (venstre) og vannstand (høyre) ved en 200-årsflom på 107 m³/s ved brua.

7. Dimensjonering og oppbygging av erosjonssikring

For beregning av nødvendig stein til bruk i side- og bunnsikring anbefales Maynords formel. Den kan dog bare brukes for elver med fall opp til 2 % og sideskråninger slakere enn 1:1,5 (NVE, 2009).

Terrengmodellen viser at fallet på strekningen forbi brua er på ca. 3 %. Dette gir store hastigheter og man er ikke lenger innenfor gyldighetsområdet for formlene som brukes til beregning av steinstørrelse. Vi legger ved en utregning med Maynords formel for en hastighet på 6 m/s i vedlegg 3.

En formel som kan brukes er Robinson. Den krever geometriske verdier og det anbefales å bruke denne etter at geometrien av elvetrauet er endelig utformet.

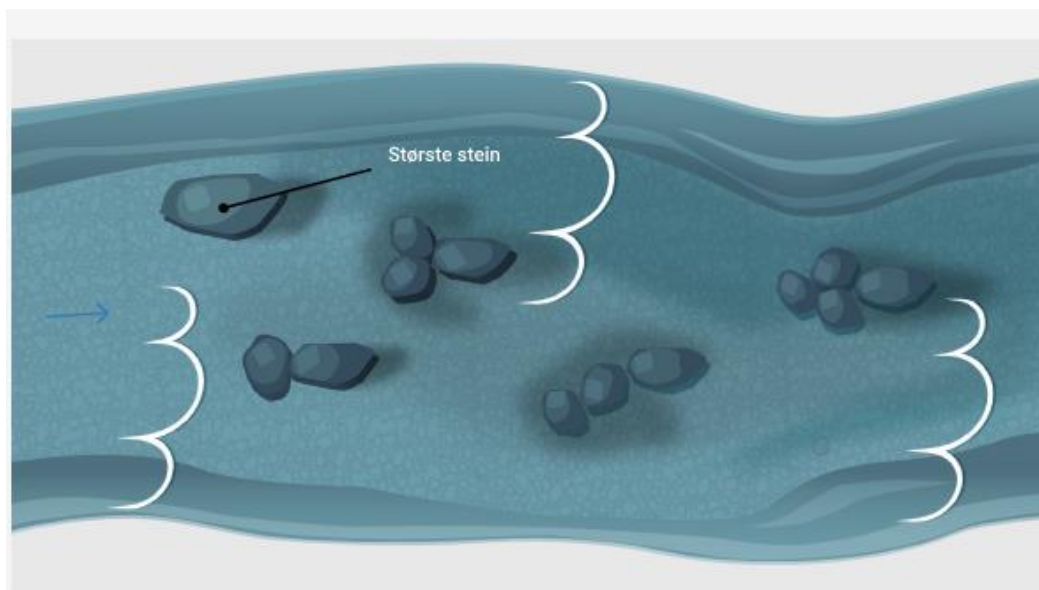
For sikring av skråningene av elva i Søre Bjøråa anbefales en erosjonssikring som en kombinasjon av rauset stein og samfengte masser uten filter.

I elvebunnen bør det brukes stein av størrelse minst 1 m stein som graves halvt ned i bunnen. Steinene plasseres i grupper på 3 og 4 som spres utover og med noen meter imellom som vits i Figur 7-1. Mellom de store steinene og i sideskråningene legges samfengt mindre stein. Denne legges med tykkelse minst $2 \times D_{50}$, der $D_{50} = 30$ cm.

Det viktigste ved erosjonssikring er hvordan den legges ut og at sikringslaget understøttes. For et sikringsslag kan dette gjøres ved at det lages fotgrøft i elvebunnen iht. Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein (NVE, 2009). Dette gjelder spesielt i nedre avslutning av erosjonssikret området. Se vedlegg 6 for eksempel på ulike forgrøfter.

En viktig del av oppbyggingen av en erosjons sikring er legge et filterlag under sikringslaget. Dette skal hindre at det vaskes ut masser fra underliggende lag. I Søre Bjørua er det grus og stein i elvebunnen og som ivaretar filterfunksjon på naturlig vist. Det er derfor ikke nødvendig med filterlag i elva.

Ytterligere og mer detaljert beskrivelse med tegninger av utbredelse, tykkelse og steinstørrelse vil bli beskrevet i detaljeringsfasen.



Figur 7-1 Eksempel på utlegging av steingrupper

8. Isforhold

Elva er bratt og storsteinet oppover fra brua. Det er i vinterstid liten vannføring i elva slik at potensialet for å danne store isflak er svært lite. Det vil dannes is rundt steiner og lang elvebredden vinterstid. Denne isen vil løsne ved mildvær og/eller ved vannstandsøkning på grunn av økt tilsig ovenfra. Isen vil svært sannsynlig komme nedover i mindre biter og ikke ha særlig potensiale for skade.

9. Vannhåndtering og overvann

Overvann og bortledning skal etter regelverket i N200 og NVE veiledere 4/2022 tas hånd om. Det er ikke behov for å utrede overvann her da det er flom i elva som utredes.

10. Konklusjon

Det er utført flomberegninger for 20-, 50- og 100-års flommer og er beregnet til 45 m³/s, 55 m³/s og 62 m³/s. Det er da lagt på en usikkerhetsfaktor på 1.2 på vannføringen. 200 års flom med klima er beregnet til å være 107 m³/s. Det er da lagt på en klimafaktor lik 1.4 og en usikkerhetsfaktor lik 1.2.

Simuleringen viser at man kan få vannhastigheter på 7 m/s ved brua. Hastigheten er størst midt i elva og avtar utover mot bredden.

Vannstanden ved pel 240 rett opp for bru ligger på 312.40 moh. For å ta høyde for at drivgods og is kan drive med elva ved flom anbefales det at underkant bru ikke ligger lavere enn på kote 313.40 moh.

Sikring mot erosjon av elva kan gjøres på forskjellige måter som ordnet steinlag, rausing eller plastring på ulike måter. Avhengig av type sikring og hvor i elva det skal sikres, anbefales det å benytte stein fra størrelse opp til 1 m og ned til D₅₀ = 600 mm. Det anbefales å sikre opp til kote 312 moh.

For Søre Bjørua anbefales at sikring utføres som en kombinasjon av rauset stein og samfengte masser uten filter.

Med et elvetrau som er 10 m bredt og har dybde minimum 1 m vil vatnet flomme ut av trauet kun ved større flommer.

11. Referenser

Chow, 1959. Open Channel Hydraulics.

NVE, 2009. Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/veileder/2009/veileder2009_04.pdf

NVE, 2015. *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt (7/2015)*. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf

NVE, 2019. Vassdragshåndboka. Hentet fra <https://sikringshandboka.nve.no/vassdragshandboka/?ref=mainmenu>

NVE, 2022. *Veileder for flomberegninger (1/2022)*. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_01.pdf

NVE, 2022. Sikkerhet mot flom (3/2022) https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_03.pdf
[NVE Veileder 3/2022: Sikkerhet mot flom. Utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak](https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_03.pdf)

SVV, 2022. Vegnormal N200 Vegbygging (2022). (Endringslogg fra 2024). Hentet fra https://store.vegnorm.vegvesen.no/n200_2022

SVV, 2022. V240 Vannhåndtering. Hentet fra
<https://store.vegnorm.vegvesen.no/v240-22>

SVV, 2025. N400 Bruprosjektering. Hentet fra
<https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n400/>

NIFS/NVE (134/2015): Førland et.al. Dimensjonerende korttidsnedbør

VEDLEGG 1

Feltegenskaper og flomverdier for Søre Bjøråa beregnet ved NEVINA

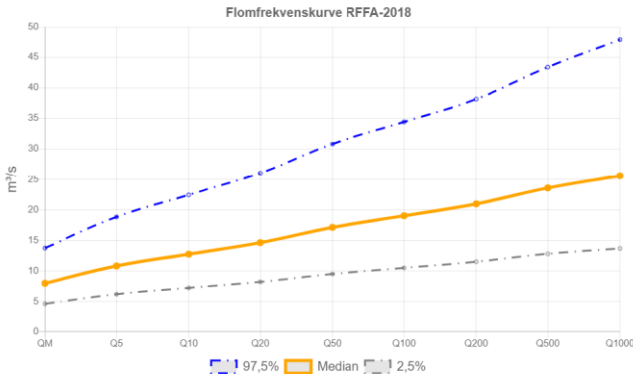
Regional flomberegning

Vassdragsnr.: 002.L4Z
Kommune.: Stor-Elvdal
Fylke.: Innlandet
Vassdrag.: Søre Bjøråa
Nedbørfeltareal: 47.0 km²

Flomestimer er beregnet basert på «Regional flomfrekvensanalyse (RFFA-2018)». Om nedbørfeltet er mindre enn 60 km², er det alternativt beregnet kulminasjonsflommer basert på NIFS-formelverk (2015).

Anbefalinger om klimapåslag er gitt i NVE rapport nr. 81-2016 og klimaprofiler for fylker (se www.klimaservice.no).

Hvordan bruke resultatene fra rapporten, se her.

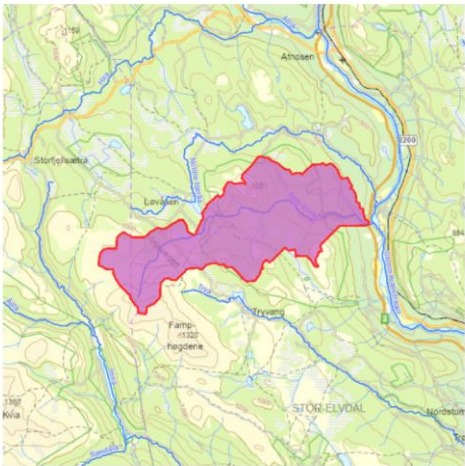


RFFA-2018		
Tidsoppløsning	Døgn	-
Indeksflom (QM): Medianflom	170	l/s*km ²
Klimapåslag	20	%
Kulminasjonsfaktor	1.25	-
NIFS-2015		
Tidsoppløsning	Kulminasjon	-
Indeksflom (QM): Middelflom	277	l/s*km ²
Klimapåslag	40	%
Annet		
Tilførsel	Nei	-

RFFA-2018 (døgnmiddel)	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q ₂₀₀ -klima
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.35	1.60	1.83	2.14	2.38	2.62	2.95	3.20	-
Flomverdier, m ³ /s	8.0	10.8	12.8	14.6	17.1	19.0	21.0	23.6	25.6	25.2
Flom usikkerhet (97.5%), m ³ /s	13.7	18.8	22.4	26.0	30.8	34.4	38.1	43.4	47.9	-
Flom usikkerhet (2.5%), m ³ /s	4.6	6.2	7.2	8.2	9.5	10.5	11.5	12.8	13.7	-
NIFS (kulminasjon)										
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.27	1.52	1.78	2.18	2.52	2.91	3.51	4.04	-
Flomverdier, m ³ /s	13.0	16.6	19.8	23.2	28.4	32.9	38.0	45.8	52.7	53.1
Flom usikkerhet (97.5%), m ³ /s	23.1	30.0	36.6	43.9	55.3	65.7	75.9	91.6	105	-
Flom usikkerhet (2.5%), m ³ /s	7.4	9.2	10.7	12.3	14.6	16.4	19.0	22.9	26.3	-

Flomverdier er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres. Verdiene kan ikke benyttes direkte, men må sammenlignes med andre metoder, sammenligningsstasjoner og/eller egne data.

Rapportdato: 11/3/2023 © nevina.nve.no



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 281678 E
6842253 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Feltparametere	
Areal (A)	47.0 km ²
Effektiv sjø (A _{BE})	0 %
Elveengde uten sjø (E _{TLnet})	52.0 km
Elvegradient (E _G)	47.2 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	34.1 m/km
Helning	7.7 °
Dreneringstetthet (D _T)	1.1 km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	13.9 km

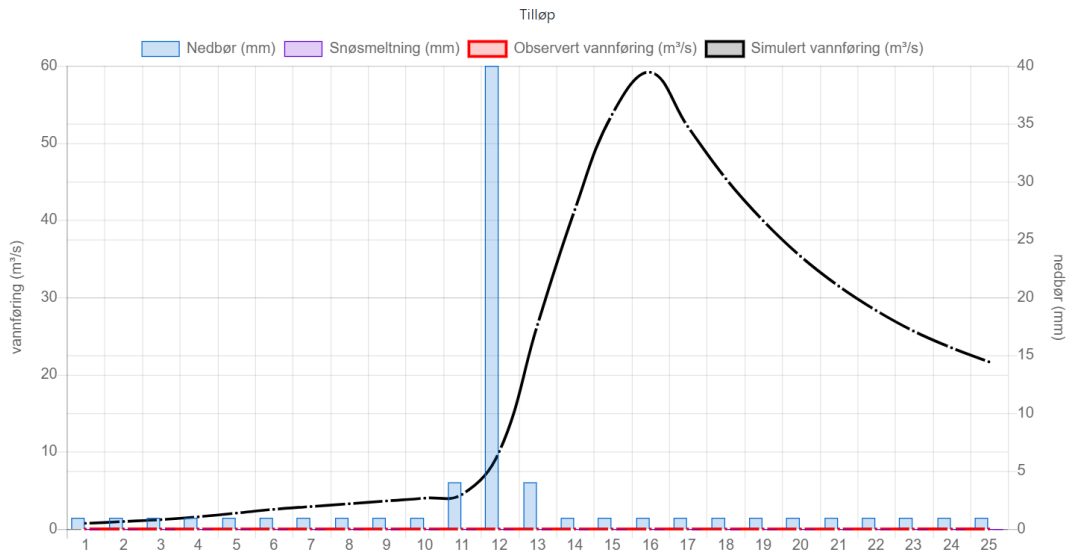
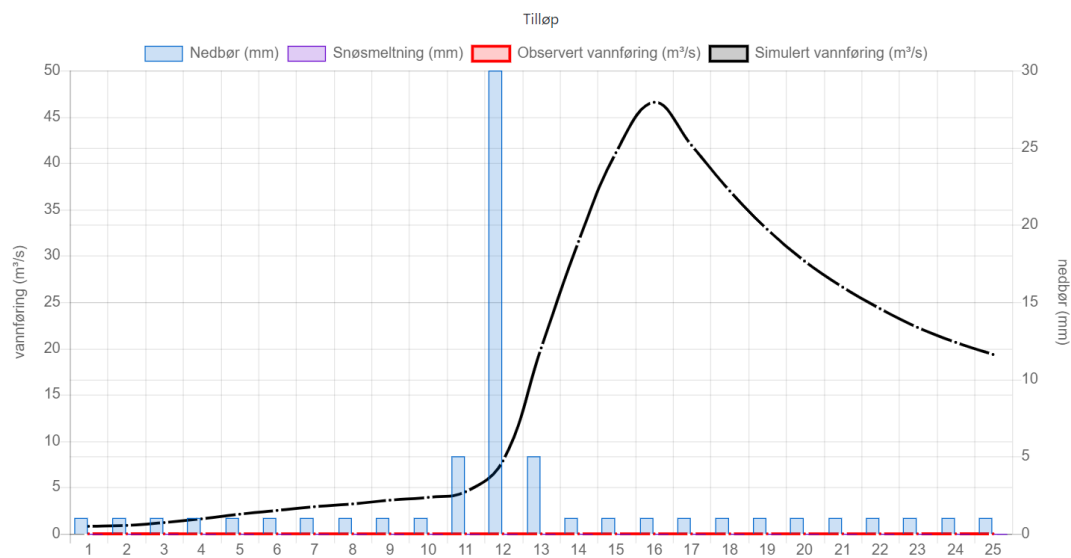
Arealklasse	
Bre (A _{BRE})	0 %
Dyrket mark (A _{JORD})	0 %
Myr (A _{MYR})	4.3 %
Leire (A _{LEIRE})	0 %
Skog (A _{SKOG})	69.6 %
Sjø (A _{SJØ})	0.3 %
Snau fjell (A _{SF})	14.2 %
Urban (A _U)	0 %
Uklassifisert areal (A _{REST})	11.7 %

Hypsografisk kurve	
Høyde _{MIN}	313 m
Høyde ₁₀	563 m
Høyde ₂₅	700 m
Høyde ₅₀	806 m
Høyde ₇₅	942.5 m
Høyde _{MAX}	1286 m

Klima- /hydrologiske parametere	
Avrenning 1961-90 (Q _M)	13.8 l/s*km ²
Nedbør juni	69 mm
Nedbør juli	82 mm
Regn og snøsmelting mai	207 mm
Regn og snøsmelting juni	81 mm
Regn og snøsmelting årlig 4d	78 mm
Regn og snøsmelting november	10 mm
Temperatur februar	-10.7 °C
Temperatur mars	-7.5 °C

VEDLEGG 2

Beregnete flomverdier med bruk av PQRUT for Q50 (øverst) og Q200 (nederst)



VEDLEGG 3

Beregning av steinstørrelse med Maynords formel

Erosjonssikring. Bunn og sidesikring. Maynords formel

Dato:	05.05.2025	Prosjektnr:	13500
Utført av:	PLUB	Prosjektnavn:	Søre Bjøråa
Kontrollert av:	LPT		
Godkjent av:	PLUB	Revisjon:	

Metodikk: NVE (2009/4) Veileder for dimensjonering av erosjonssikring. Maynords formel

Grunnlagsdata				Kommentar
Vanndybde	Y_0	4	m	Ved foten av sikring
Middel hastighet	V	5,00	m/s	Middelhastighet 3 m/s.
Forhold mellom dybdehastighet og gjennomsnitt hastighet	U/V	1,2		Konservativt, svak bue men kompenserer for usikkerhet i bunnforhold
Tetthet av stein	ρ	2600	kg/m ³	
Sikkerhetsfaktor	S_f	1,1	-	1.0 for rett strekning. Opp mot 1,2 i svinger eller utstikkende voll. Her slak sving.
Stabilitetskoeffisient	C_s	0,3	-	
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C_V	1,00	-	
Koeffisient for plastringstykkelse	C_t	1	-	
Side helning (1 : x)	x	2		Brattere del av sikring
Forhold mellom D_{30}/D_{50}	D_{30}/D_{50}	1,2		Normalt 1.5, velger 2.0 pga samfengte masser
Forhold mellom D_{max}/D_{50}	c	2		
Forhold for tykkelse	k	2		
Beregninger				Kommentar
Dybdemiddelhastighet	U	6,0	m/s	
Breddens helling ift. horisontal	θ	26,6	°	
Spesifikk tetthet	s	2,6	-	
Koeffisient for skråningshelling	K_1	0,88		
Stabil steinstørrelse, 30%	D_{30}	777	mm	= $c * D_{50}$
Stabil steinstørrelse, 50%	D_{50}	933	mm	
Stabil steinstørrelse, D_{maks}	D_{maks}	1865	mm	
Tykkelse av erosjonssikringslag	t	1865	mm	= MAX($k * d_{50}$; D_{max} ; 300)

Avrundede verdier	Mellom pilarer-Landkar
800	
950	
1950	
1900	

VEDLEGG 4 Krav fra SVV om ivaretagelse av følgende regelverk

- N200 kap. 2 Vannhåndtering
- N400 pkt. 4.2.4 Fri høyde over vassdrag
- N400 pkt. 14.2.7 Vannføringsberegninger
- NVEs veileder 1/2022 Veileder for flomberegninger
- NVEs veileder 4/22 Rettleiar for handtering av overvatn i arealplanar
- NVEs veileder 2/2011 Flaum og skredfare i arealplanar
- NVEs faktaark 7/2018 Hvordan ta hensyn til klimaendringer i arealplanlegging

Erosjonssikring av brufundamenter

- N400 pkt. 11.1.3 Erosjon og erosjonssikring

VEDLEGG 5

Om referanse til klimapåslag. Håndbok N200 krever eksplisitt bruk av $F_k = 1,4$ i Hedmark for små nedbørsfelt.

2.3.1 Påslag for avrenningsberegninger

Det brukes en klimafaktor F_k for å ta hensyn til fremtidige klimaendringer, og faktor F_u for å ta hensyn til usikkerheten ved beregning av dimensjonerende avrenning $Q_{dim,T}$ i formel (2.3.1—1):

$$Q_{dim,T} = Q_T \times F_k \times F_u \quad (2.3.1—1)$$

Side 103

VEGNORMAL N200

N200 VEGBYGGING

$Q_{dim,T}$	Dimensjonerende avrenning for returperiode T (m³/s)
Q_T	Beregnet avrenning for returperiode T (m³/s)
F_k	Sikkerhetsfaktor for fremtidige klimaendringer
F_u	Sikkerhetsfaktor for usikkerhet ved beregningsmetode

Påslagene gjelder for alle avrenningsberegninger unntatt middelregnetoden, og benyttes for permanente anlegg. For midlertidige anlegg, se beskrivelse av klimafaktor og faktor for usikkerhet av hydrologiske beregninger.

Krav 2.3.1—1 **SKAL**

Gjeldende fra 01.11.2022

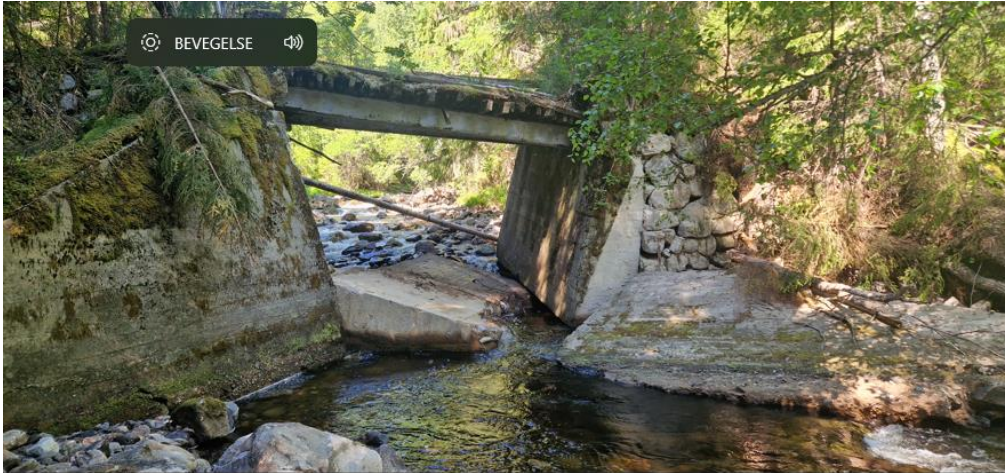
[Tabell 2.3.1—1](#) angir F_k som skal brukes for hvert fylke, for små og store nedbørfelt.

Tabell 2.3.1—1 — Klimafaktor F_k for fylker

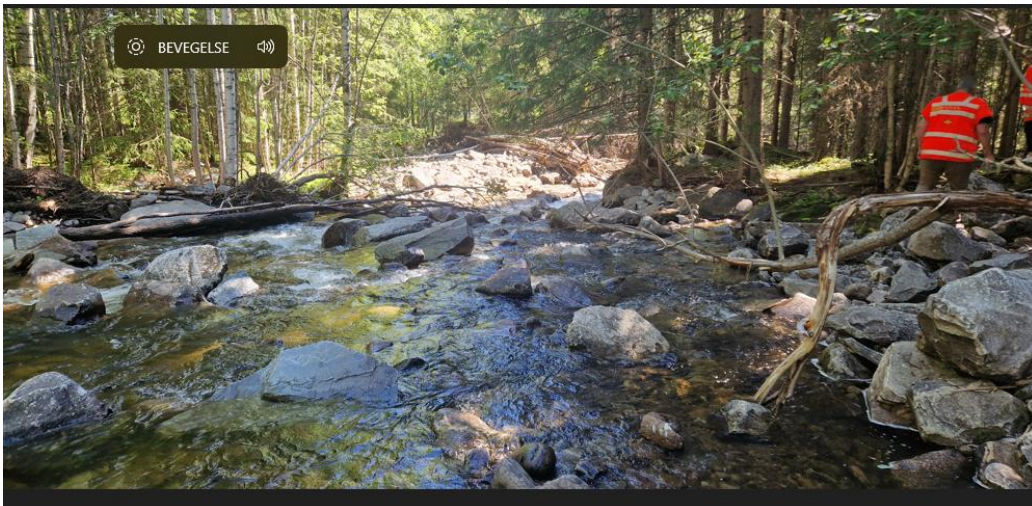
Fylke	F_k	
	Små nedbørfelt	Store nedbørfelt
Oslo og Akershus	1,3	1,3
Buskerud	1,4	1,3
Vest-Agder	1,3	1,2
Aust-Agder	1,3	1,2
Finnmark	1,3	1,2
Hordaland	1,4	1,4
Møre og Romsdal	1,4	1,4
Nord-Trøndelag	1,3	1,3
Nordland	1,4	1,4
Oppland	1,2	1,2
Hedmark	1,4	1,2

VEDLEGG 6 Bilder fra befaring 26.6.2024

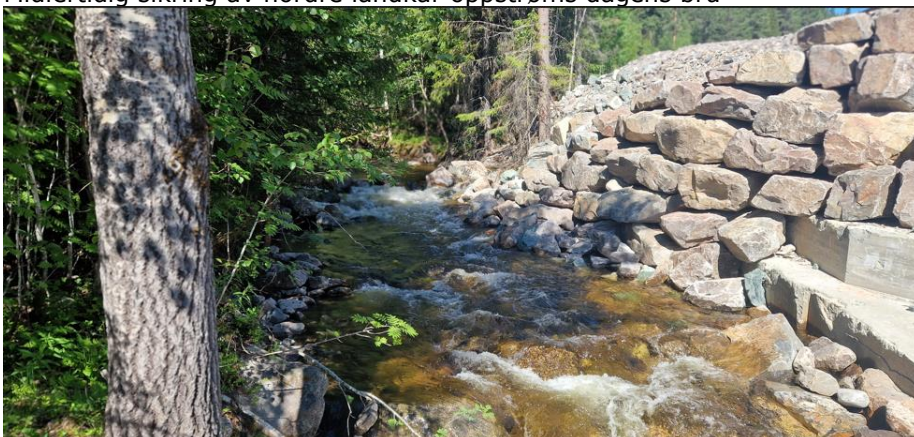
Gammel bru



Elva etter flommen Hans



Midlertidig sikring av nordre landkar oppstrøms dagens bru



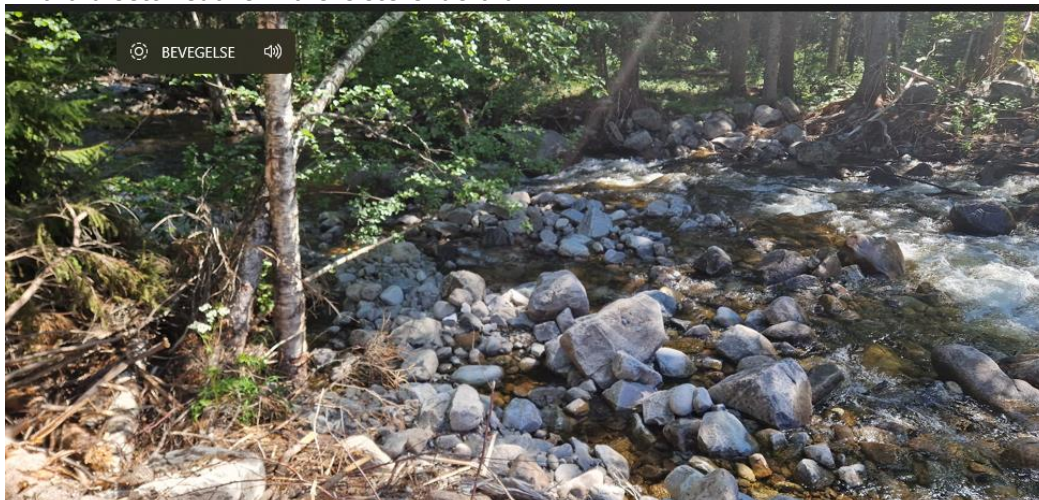
Dagens bru sett fra nedstrøms bru og oppover



Sikring av søndre landkar nedstrøms



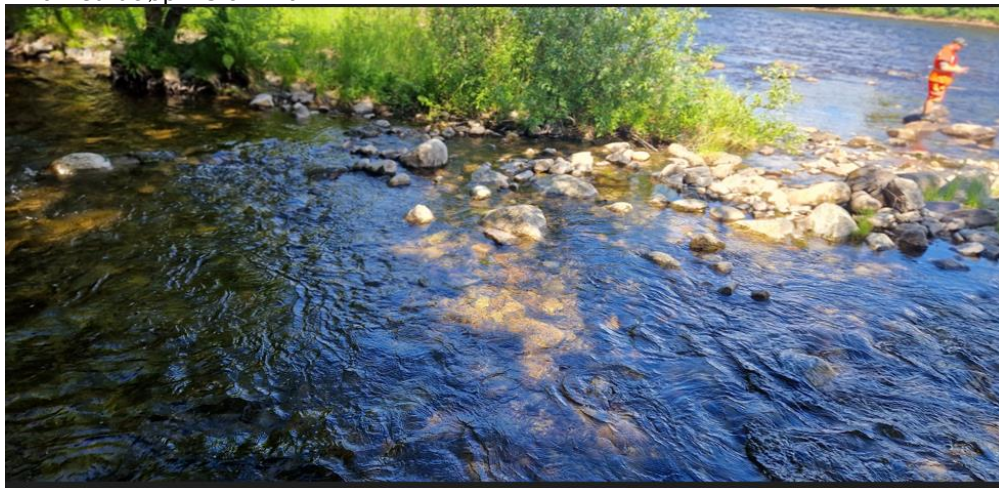
Elva bru sett nedover fra eksisterende bru



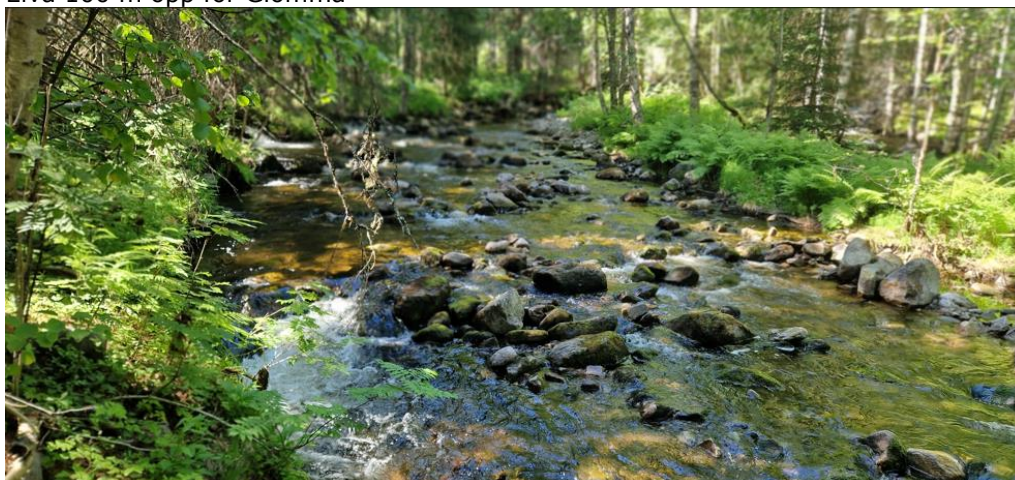
Elva 200 m ned for bru



Elva ved utløp i Glomma



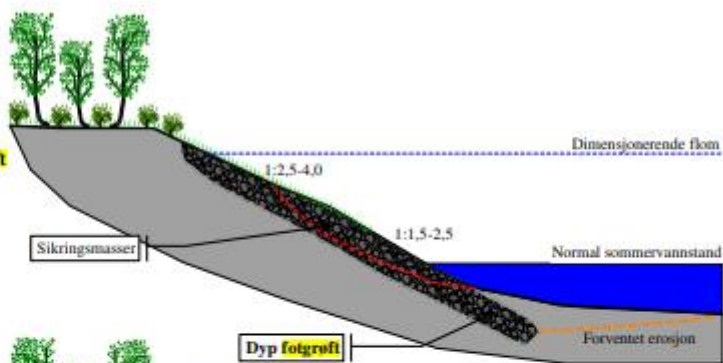
Elva 100 m opp for Glomma



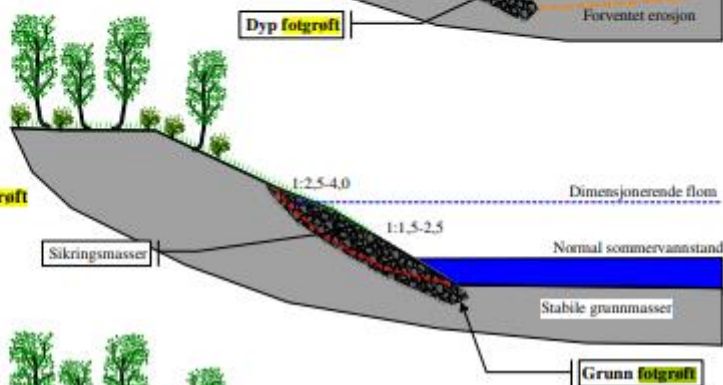
VEDLEGG 7 Eksempel på fotgrøfter



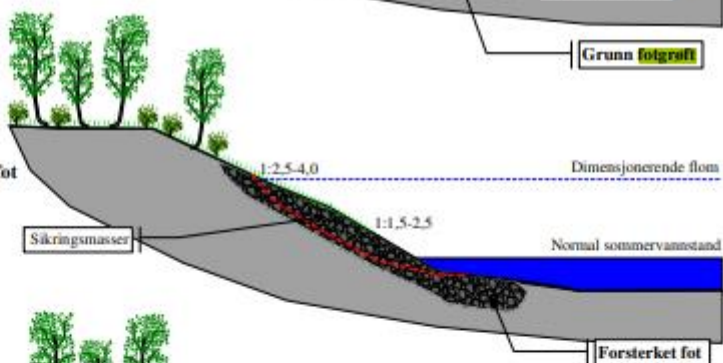
Figur A: Dyp fotgrøft



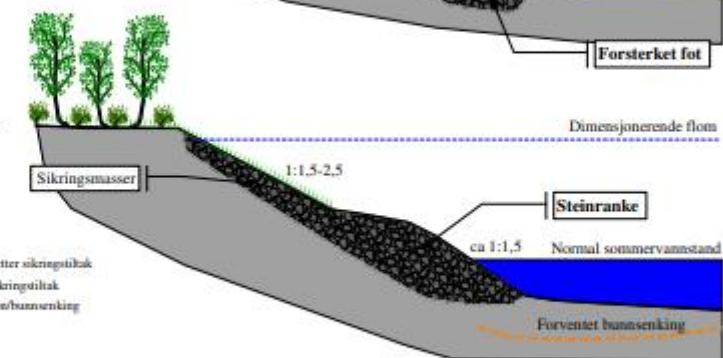
Figur B: Grunn fotgrøft



Figur C: Forsterket fot



Figur D: Steinranke



TEGNFORKLARING

- Nytt elveprofil etter sikrings tiltak
- - - Elveprofil før sikrings tiltak
- - - Forventet erosjon/bunnsenkning
- Sikringsmasser
- Grunnmasser

Figur 63 Sikring av foten