

Gluggvasselva bru

Flom- og vannlinjeberegninger, og dimensjonering
av erosjonssikring for ny bru



Statens vegvesen

Rapport

Juni 2026

Denne rapport er utarbeidet under DHIs ledelsessystem, som er sertifisert av Bureau Veritas
for overensstemmelse med ISO 9001 (kvalitetsstyring)



Godkjent av

X

Approved by

Gluggvasselva bru

Flom- og vannlinjeberegninger, og dimensjonering
av erosjonssikring for ny bru

Utarbeidet for Statens vegvesen
Representert ved Rainer Smedseng



Prosjektleder	Christina Bergem Bodvar
Kvalitetsansvarlig	Christian Almestad

Prosjektnummer	13801201-01
Godkjennelsesdato	11.06.2026
Revisjon	Final 1.0
Klassifikasjon	Åpen

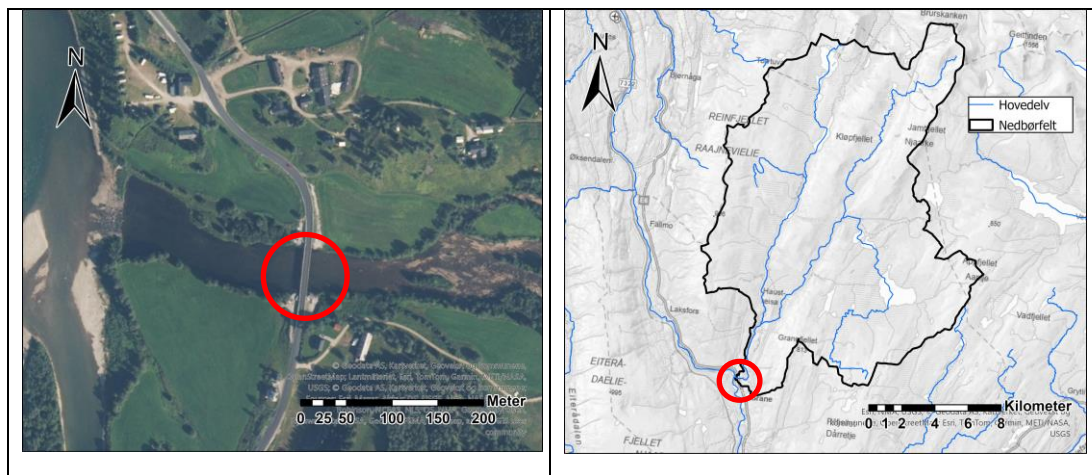
INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	1
2	Krav til beregninger	2
3	Beskrivelse av vassdraget.....	3
3.1	Nedbørfelt og reguleringer	3
3.2	Klimaendringer	4
4	Flomberegninger.....	5
4.1	Lokale flomfrekvensanalyser	5
4.1.1	Utvalg av vannmerker	5
4.1.2	Flomskapende sesong	6
4.1.3	Frekvensanalyser døgn- og timesverdier	7
4.2	Regionale flomfrekvensanalyser	8
4.3	Nedbør-avløpsmodell PQRUT	9
4.3.1	Nedbør og snøsmelting	10
4.3.2	Resultater	11
4.4	Valg av dimensjonerende flomverdier	12
4.5	Sammenlikning med tidligere beregninger og erfaringstall	13
5	Vannlinjeberegninger.....	14
5.1	Hydraulisk modell.....	14
5.1.1	Grunnlagsdata.....	14
5.1.2	Modellavgrensning og beregningsnett	14
5.1.3	Konstruksjoner og objekter i vassdraget	15
5.1.4	Hydraulisk ruhet	17
5.1.5	Initial- og grensebetingelser	18
5.1.6	Scenarier	20
5.2	Resultater	21
5.2.1	Simulering med tanke på fri høyde under brua	21
5.2.2	Simulering med tanke på erosjonssikring og islaster	21
5.2.3	Simulering med tanke på byggetida	26
5.2.4	Oppsummering resultater	30
5.2.5	Følsomhetsanalyser	31
5.3	Modellusikkerhet og sikkerhetspåslag	31
6	Dimensjonering av erosjonssikring.....	33
6.1.1	Grunnforhold	33
6.1.2	Islaster	34
6.1.3	Eksisterende sikringsanlegg	34
6.2	Beregningsgrunnlag for dimensjonering av erosjonssikring	35
6.2.1	Bunn- og sidesikring av elv og skråninger	35
6.2.2	Erosjonssikring ved landkar	36
6.2.3	Erosjonssikring rundt brupilar	36
6.2.4	Krav til filterlag	37
6.3	Dimensjonerende steinstørrelser	37
6.4	Utforming av erosjonssikring	38
6.5	Erosjonssikring av midlertidig fylling	42

7	Referanser	44
----------	-------------------------	-----------

1 Innledning

I forbindelse med omklassifisering av eksisterende E6 forbi Trofors, Grane kommune, er det beregnet liten restlevetid for Gluggvasselva bru, som er planlagt utskiftet. DHI er engasjert som underleverandør til Aas-Jakobsen for å utføre flom- og vannlinjeberegninger, dimensjonering av erosjonssikring og islastberegninger, som grunnlag for prosjektering av ny bru.



Figur 1-1: Oversiktskart bruer og nedbørfelt

2 Krav til beregninger

Ifølge Statens vegvesens håndbok N400 skal bruer ha en fri høyde over vassdrag på minst 0.5 meter over vannstand ved 200-årsflom [1]. Håndbok N200 stiller krav til at veier skal sikres mot flom, og dimensjonerende returperiode (T) bestemmes ut ifra veiens sikkerhetsklasse [2]. Sikkerhetsklasse bestemmes ut ifra årsdøgntrafikk (ÅDT) og omkjøringsmuligheter. Etter åpning av ny E6 vil denne veien fungere som omkjøringsvei ved behov, slik at eksisterende E6 omklassifiseres til fylkesvei. Den aktuelle veistrekningen hadde ÅDT lik 3000 i 2023, men det forventes at ÅDT reduseres betydelig når ny E6 åpnes. ÅDT < 500 med omkjøringsmuligheter legges derfor til grunn, og veien plasseres i sikkerhetsklasse V1 med dimensjonerende returperiode for flomhendelser på 50 år.

For hydrologiske beregninger stilles det også krav til sikkerhetsfaktor for fremtidige klimaendringer (F_K) og usikkerheter i beregningene (F_S) [2]. Dimensjonerende flom beregnes derfor ut ifra følgende ligning:

$$Q_{dim,T} = Q_T \times F_K \times F_S$$

Klimafaktoren gjelder for alle anlegg med levetid over 50 år og bestemmes ut ifra lokasjonen og størrelsen til nedbørfeltet. Det aktuelle nedbørfeltet er plassert i Nordland fylke og har et feltareal på ca. 240 km², hvilket gir en klimafaktor på 1.4 iht. tabell 2.4.1.1-1 i håndbok N200. Faktor for usikkerhet i beregninger bestemmes ut ifra veiens sikkerhetsklasse og kvaliteten på det hydrologiske datagrunnlaget. Det hydrologiske datagrunnlaget er vurdert til klasse 2, da det finnes brukbart hydrologisk datagrunnlag med observasjoner i og nært vassdraget. Siden den aktuelle veistrekningen er plassert i sikkerhetsklasse V1, er det vurdert til at en usikkerhetsfaktor lik 1.1 benyttes.

Dimensjonerende flomhendelse for den aktuelle veistrekningen er 200-årsflom inkludert klimafaktor på 1.4 og usikkerhetsfaktor lik 1.1. $Q_{dim,200} = Q_{200} \times 1.4 \times 1.1$.

Det er i henhold til Håndbok N200 krav om at minst 3 ulike beregningsmetoder benyttes ved flomberegninger [2].

3 Beskrivelse av vassdraget

3.1 Nedbørfelt og reguleringer

Ved Gluggvassselva bru har Gluggvassselva et nedbørfelt med areal på ca 240 km². Nedbørfeltet drenerer fra nord til sør, og består for det meste av snaufjell i høytliggende deler og skog med innslag av myr i nedre deler. Nedbørfeltet har lav effektiv sjøprosent. Feltkarakteristikken til nedbørfeltet til Gluggvassselva er oppsummert i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Nedbørfeltkarakteristikk Gluggvassselva ved respektive brupunkt

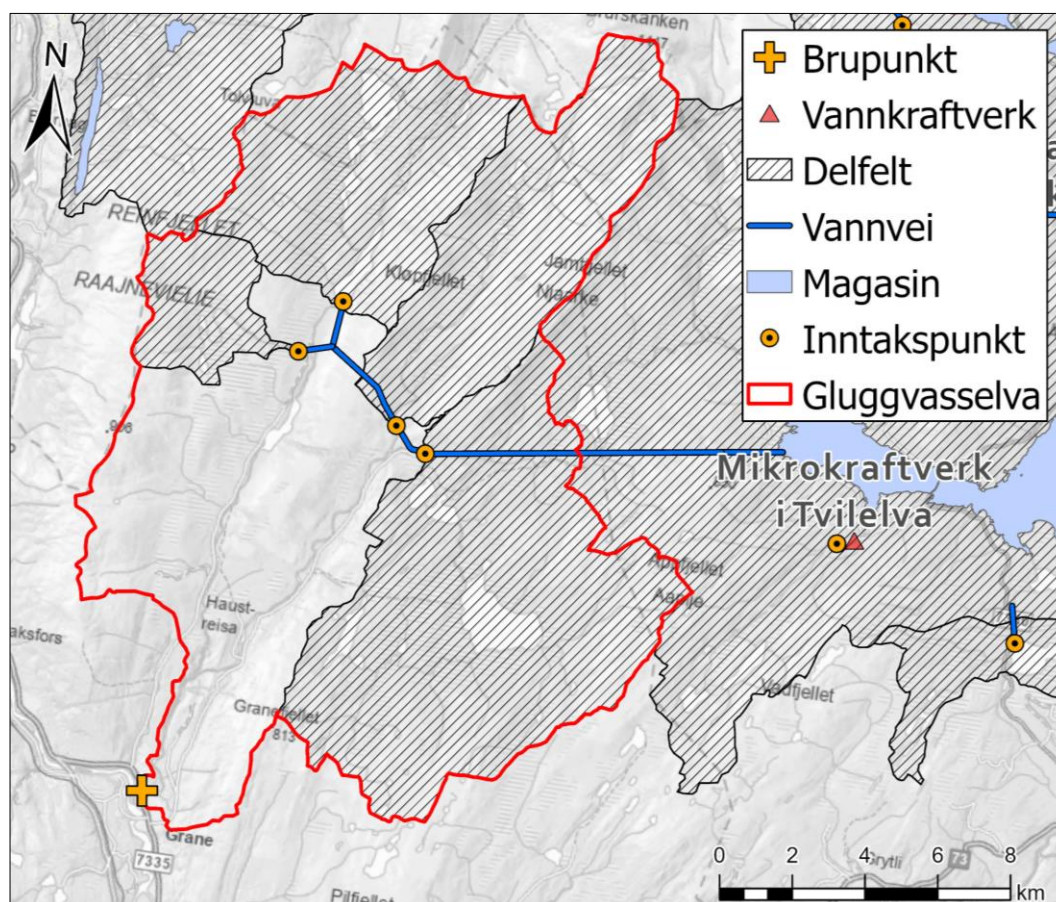
Areal (km ²)	Eff. sjø (%)	Snau- fjell (%)	Bre (%)	Årlig middel- avrenning, Q_N (l/s*km ²)	Median- høyde (moh)	Felt- lengde (km)	Konsen- trasjonstid (timer)
240	0.5	43.4	0	55.5	577	25	7

Verdiene i Tabell 3-1 er hentet fra NVEs webapplikasjon NEVINA. Konsentrasjonstiden er estimert iht. NVEs retningslinjer for flomberegninger ved å anta en vannhastighet på 1 m/s i vassdraget ved flom [3].

Deler av Gluggvassselvas nedbørfelt er regulert av Øvre Røssåga kraftverk via inntak oppstrøms Gluggvassdammen og tre ytterligere inntak; ett i Nordre Svartevatn flomdempningsmagasin, ett ved en mindre demning i Jamtfjellelva og i ett i Åsskardelva (Figur 3-1). Til sammen regulerer de omtrent 69% av arealet til Gluggvassselva.

Gluggvassdammen er delvis utført som en gravitasjonsdam i betong, og delvis som en hvelvdam [4]. Hvelvdammen har en lengde på 15 m, og hele dammen fungerer som et fast overløp i nivå med HRV på 395 moh. I tillegg finnes det en sperredam med lengde 6.4 m som også ligger i nivå med HRV. Samlet overløpslengde er 44 m. Høyde på dammen ved nedstrøms side er ca. 7 m. Damkrona har en standard overløpsprofil. Gluggvassdammen er en inntaksdam, og vannet oppstrøms dammen overføres til Røssvatn [4], langs samme tunnel som de andre inntakspunktene (Figur 3-1).

DHI har ikke lyktes finne kapasitetsberegninger for de enkelte inntakspunkt, men Statkraft informerer om at den reelle kapasiteten til overføringstunnelen til Røssvatn er i størrelsesorden 20-25 m³/s, avhengig av vannstand ved Røssvatn og luftutfordringer i systemet. Hvor mye som er mulig å overføre i en flomsituasjon er i henhold til Statkraft begrenset, slik at overføringskapasiteten kan være helt eller delvis borte i en gitt situasjon. Det er derfor besluttet at feltet ansees som uregulert i en flomsituasjon, slik at en eventuell demping grunnet reguleringen ikke medregnes beregning av dimensjonerende flom.



Figur 3-1: Oversikt reguleringer i nedbørfeltet til Gluggvasselva

3.2 Klimaendringer

Klimaservicesenterets klimaprofil for Nordland beskriver at klimaendringer vil føre til følgende hydrologiske effekter:

- Nedbøren forventes å øke og en stadig større andel vil komme som regn. I uregulerte vassdrag som i dag kan få store regnflommer, forventes det en økning i flomstørrelsen. Dersom det utføres flomberegninger og fremstilles flomsonekart, bør en regne med økning i vannføringen, avhengig av flomsesong, regulering, feltstørrelse og avstand til kysten.
- I mindre, bratte vassdrag (elver og bekker) som reagerer raskt på kraftig regn, og i tettbygde urbane strøk vil kraftigere lokal nedbør skape særlige problemer. I mindre bekker og elver må man forvente stor økning i flomvannføringene og man må være spesielt oppmerksom på at mindre elver kan finne nye flomveier

Anbefalt klimapåslag på flomvannføring er 20 % for store elver og minst 20 % for små elver og bekker. Størrelsen på klimapåslaget vil være avhengig av flomsesong, regulering, feltstørrelse og avstand til kysten.

Gluggvasselva er et middels stort nedbørfelt lokalisert innlands et stykke fra kysten. Store flommer forårsakes både av snøsmelting og nedbør. Vegnormal N200 stiller krav om klimapåslag på 40% for store nedbørfelt i Nordland. Dette ansees som konservativt, men ikke urimelig for høstflommer i Gluggvasselva. Snøsmelteflommene om sommeren forventes dog å minke betydelig grunnet mindre snø i fjellet som kan smelte [5].

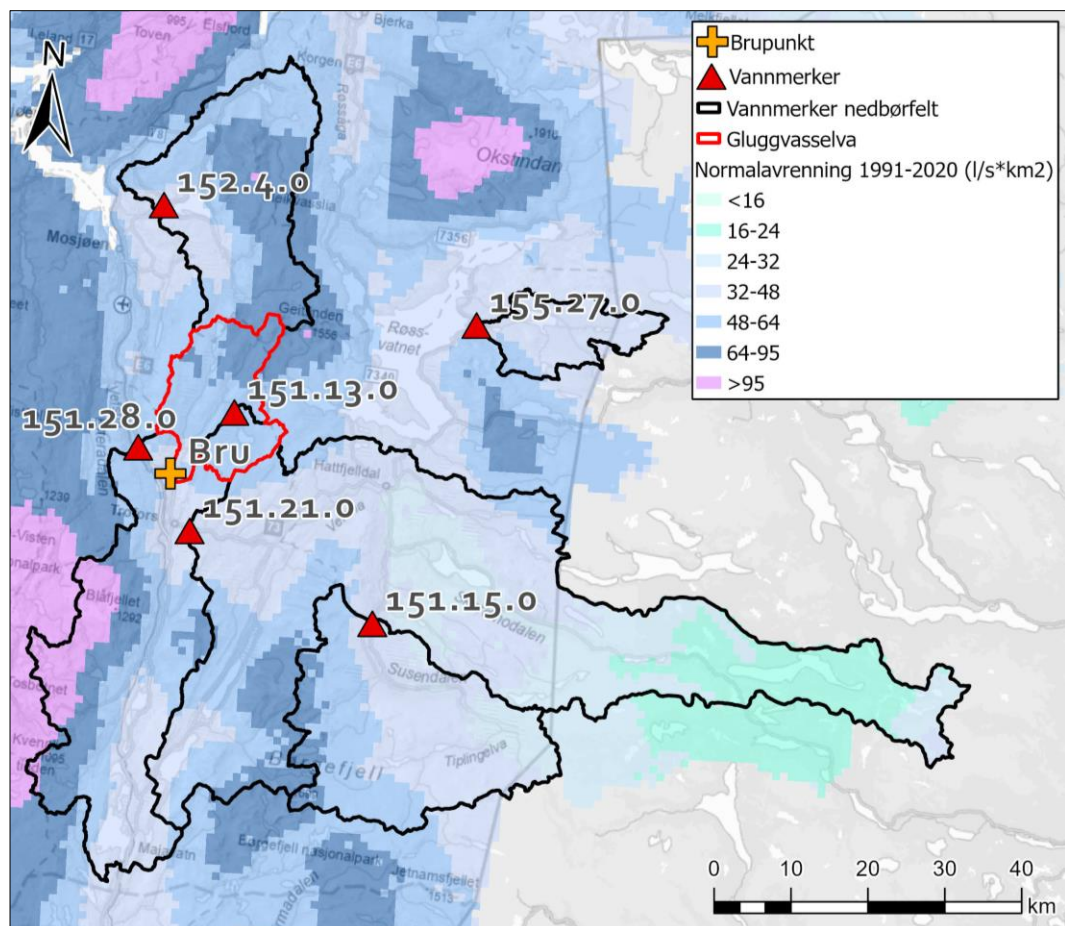
4 Flomberegninger

Flomberegninger er utført med tre metoder iht. kravene i vegnormalene. Det er gjennomført beregninger med lokale og regionale frekvensanalyser, samt nedbør-avløpsmodellen PQRUT.

4.1 Lokale flomfrekvensanalyser

4.1.1 Utvalg av vannmerker

Det finnes dataserier på observert vannføring i vassdraget fra vannmerket 151.13 Øvre Glugvatn og 151.14 Haustreis. 151.14 har kun data for tidsperioden 1974 til 1984 og er derfor for kort og gammel for videre flomfrekvensanalyser. 151.13 er fremdeles operativ og har 53 år med data, men datakvaliteten er usikker grunnet potensiell oppstuvning fra tunnelinntak nedenfor målestedet ved flom [6]. Øvre Glugvatn er uregulert og har et nedbørfelt på ca. 61 km², som utgjør omtrent 25 % av Gluggvasselvas nedbørfelt.



Figur 4-1: Plassering utvalgte vannmerker og nedbørfelt Gluggvasselfelt sammenliknet med NVEs avrenningskart 1991-2020

Siden datakvaliteten for vannmerke 151.13 er ansett som usikker, er det supplert med frekvensanalyser på aktuelle vannmerker i relativ nærhet av Gluggvasselfelt. Kart som viser plasseringen av vannmerkene er vist i Figur 4-1. Foruten om 151.13 er det kun valgt ut vannmerker som er vurdert til å ha god datakvalitet i henhold til NVE-rapport 85/2016

[6] og som har uregulerte nedbørfelt. Feltkarakteristikken til vannmerkene er oppsummert i Tabell 4-1.

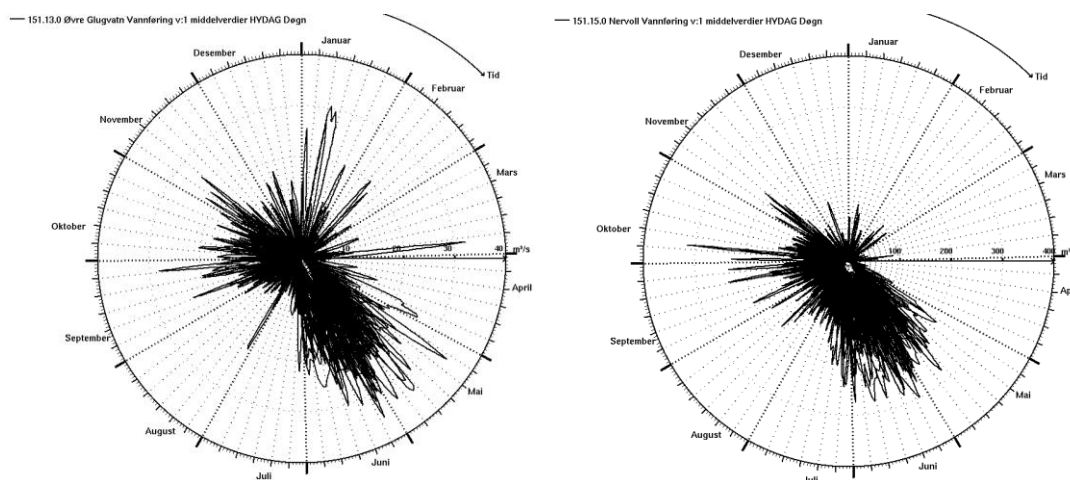
For Gluggvasselva er det ingen av vannmerkene som treffer veldig godt med hensyn til feltareal, men av de andre parameterene er det noe bedre overensstemmelse, spesielt for vannmerke 151.21 og 151.28. Dette er også vannmerkene som ligger nærmest Gluggvasselvas nedbørfelt, unntatt 151.13. Alle tre vannmerker har over 50 år med måledata.

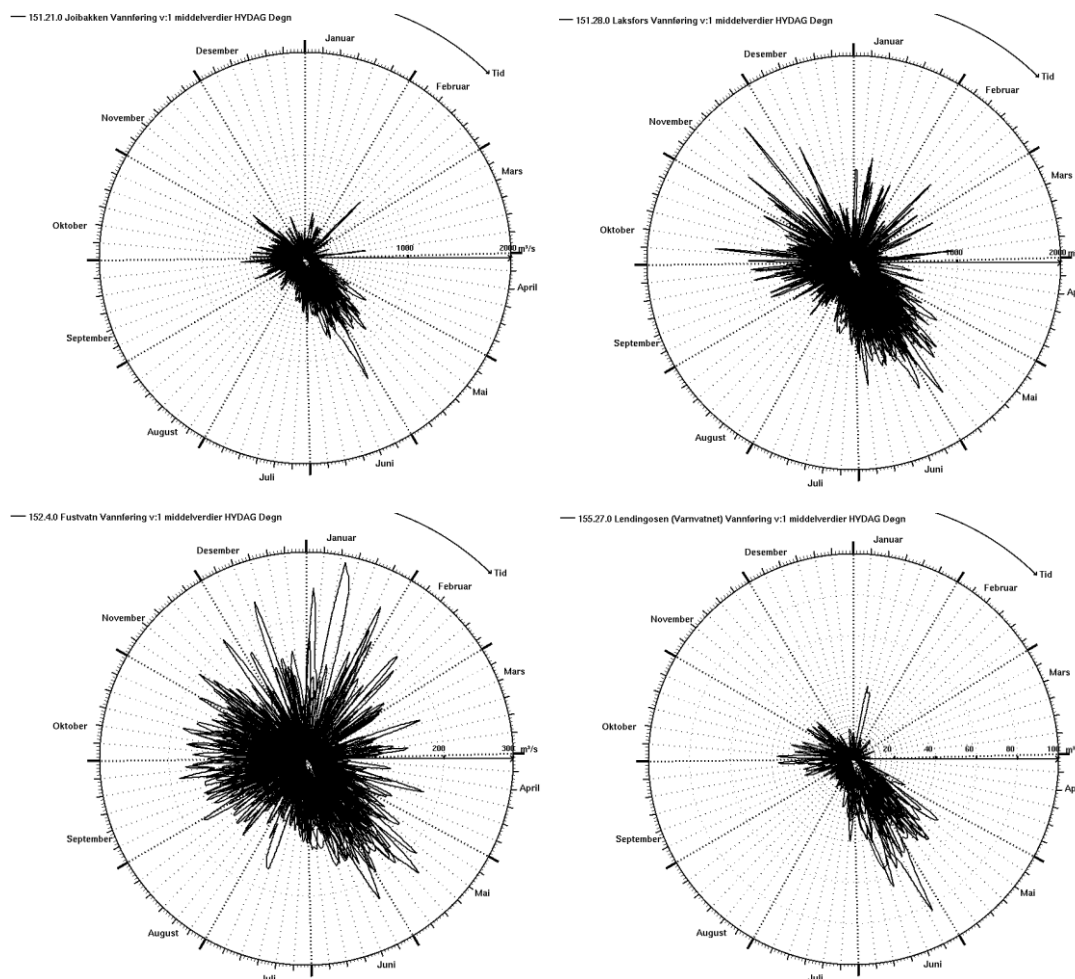
Tabell 4-1: Feltkarakteristikk for utvalgte vannmerker og Gluggvasselva bru.

ID	Areal (km ²)	Spesifikk avrenning (l/s*km ²)	Eff. sjø (%)	Snau- fjell (%)	Bre (%)	Median- høyde (moh)	Data- periode	Data- kvalitet
151.13	61	54	4.7	33	0	570	1969-2024	Usikker
151.15	653	45	0.2	56	0	827	1969-2024	God
151.21	2623	40	0.4	39	46	713	1973-2024	God
151.28	3653	46	0.2	40	0	660	1953-2024	God
152.4	526	62	2.6	36	0	465	1909-2024	God
155.27	159	40	4.3	20	0	654	1994-2024	God
Gluggvasselva	240	59	0.5	43	0	577	-	-

4.1.2 Flomskapende sesong

Flomroser for de utvalgte vannmerkene er vist Figur 4-2. Samtlige av vannmerkene viser at flommer kan opptre alle tider på året. 151.15, 151.21 og 155.27 viser en tendens til størst flommer ved vår- og sommermånedene, selv om det er enkelte store flommer på høsten og vinteren. Ved 151.13, 151.28 og 152.4 er det markant store flommer på vinteren, hvor 152.4 har de aller største flommene om vinteren.





Figur 4-2: Flomroser for 151.13 (øverst til venstre), 151.15 (øverst til høyre), 151.21 (midt til venstre), 151.28 (midt til høyre), 152.4 (nederst til venstre) og 155.27 (nederst til høyre).

4.1.3 Frekvensanalyser døgn- og timesverdier

Flomfrekvensanalysene (FFA) er utført med programmet «FLOM_ANALYSE» i NVEs database Hydra II. Frekvensanalysen er utført med døgn- og timesverdier. Det er benyttet årsverdier siden dataene fra vannmerkene viser at store flommer kan oppstå hele året. Fordeling er valgt basert på dataperiode for de spesifikke vannmerkene, samt beste tilpasning til data. Resultatene fra flomfrekvensanalyse på vannmerkene er vist i Tabell 4-2.

Tabell 4-2: Resultater lokal flomfrekvensanalyse døgnmidler og timesverdier

ID	Data-periode	Ant. år	Fordeling	P-verdi (%)	Q _{200,døgn} (l/s*km ²)	Q _{200, kulm} (l/s*km ²)	Q _{200døgn} / Q _{200kulm}
Døgnmidler							
151.13	1969-2024	56	GEV(Full lokal + regional)	73.9	798	-	-
151.15	1969-	56	GEV(Full lokal +	64.8	647	-	-

	2024		regional)				
151.21	1973-2024	52	GEV(Full lokal + regional)	76.8	486	-	-
151.28	1953-2024	72	GEV(Full lokal + regional)	77.4	470	-	-
152.4	1909-2024	116	GEV(Full lokal + regional)	66.9	597	-	-
155.27	1994-2024	31	GEV(Full lokal + regional)	61.6	635	-	-
Timesverdier							
151.13	1969-2024	56	GEV (Bayesiansk)	12.8	798	991	1.24
151.15	1969-2024	56	GEV (Bayesiansk)	20.4	647	1011	1.56
151.21	1989-2024	36	Gumbel (Bayesiansk)	68.3	486	677	1.39
151.28	1989-2024	36	Gumbel (Bayesiansk)	62.7	470	827	1.76
152.4	1994-2024	31	Gumbel (Bayesiansk)	55.8	597	736	1.23
155.27	1994-2024	31	Gumbel (Bayesiansk)	69.7	635	729	1.15

Resultatene viser en viss spredning i spesifikk avrenning for 200-årsflom, men ingen store gradienter. Døgnmidler ligger mellom 470-798 l/s*km² og timesverdier mellom 677-1011 l/s*km². Resultatene er som forventet ut ifra vannmerkenes karakteristikk. 151.28 har størst areal og lav normalavrenning, som som gir lave spesifikke flomverdier. Vannmerke 151.13 har det aller minste arealet, nest størst normalavrenning og størst helning, og gir den høyeste spesifikke flomverdien. Frekvensanalyser på døgn- og timesverdier gir kulminasjonsfaktorer mellom 1.15 og 1.76.

4.2 Regionale flomfrekvensanalyser

Til sammenligning er det utført beregninger med NVEs regionale flomformler RFFA-2018. RFFA-2018 er et formelverk verifisert for feltstørrelse på 60 km² og større. Formelverket benytter flere feltparametere enn RFFA-NIFS som er utviklet for små uregulerte nedbørfelt opptil 55 km², blant annet breprosent [6]. RFFA-2018 gir døgnmiddelflom, ikke kulminasjonsflom, men har en egen formel for forholdet mellom kulminasjonsverdi og døgnmiddel, her betegnet som «kulminasjonsfaktor» ($Q_{KULM}/Q_{DØGN}$). RFFA-2018 er beregnet i NVEs web-applikasjon NEVINA. En sammenlikning av resultatene fra lokale og regionale flomfrekvensanalyser er vist i Tabell 4-3.

Tabell 4-3: Resultater fra lokal- og regional flomfrekvensanalyse for utvalgte vannmerker og Gluggvasselve bru

ID	RFFA-2018			Lokal FFA		
	$Q_{200,døgn}$ (l/s*km ²)	$Q_{200,kulm}$ (l/s*km ²)	$Q_{kulm}/Q_{døgn}$	$Q_{200,døgn}$ (l/s*km ²)	$Q_{200,kulm}$ (l/s*km ²)	$Q_{kulm}/Q_{døgn}$
151.13	868	938	1.08	798	991	1.24
151.15	588	682	1.16	647	1011	1.56
151.21	451	487	1.08	486	677	1.39
151.28	470	512	1.09	470	827	1.76
152.4	848	908	1.07	597	736	1.23
155.27	641	680	1.06	635	729	1.15
Gluggvasselve	1050	1281	1.22	-	-	-

Generelt er det godt samsvar mellom døgnmidler beregnet med lokal og regional frekvensanalyser, men RFFA-2018 gir noe lavere kulminasjonsverdier og -faktorer. For vannmerke 151.13, som ligger innenfor Gluggvasselves nedbørfelt, er det middels god overensstemmelse mellom RFFA-2018 og lokal FFA. Det er noe avvik mellom døgnverdier og kulminasjonsverdier for lokal FFA, som kan skyldes i at beregningene er utført på ulike dataperioder. Sammenlignet med Gluggvasselve har vannmerke 151.13 betydelig høyere effektiv sjøprosent og noe lavere spesifikk avrenning. Det gir derfor mening at RFFA-2018 verdiene her skal være noe lavere enn ved brupunktet.

4.3 Nedbør-avløpsmodell PQRUT

Nedbør-avløpsmodellen PQRUT beregner flomtilløp basert på nedbørdata. PQRUT er utviklet av NVE og er en forenklet versjon av HBV-modellen. Den er hendelsesbasert modell og finnes i versjoner fra 1983 og 2016. NVE anbefaler å benytte 2016-versjonen [7]. Inngangsparametere i modellen er tømmekonstantene K_1 og K_2 , samt terskelverdien T som er beskrevet med følgende ligninger:

$$K_1 = 0.031 + 0.0343 \times \left(\frac{A_{skog}}{100}\right) - 1.35 \times 10^{-5} \times P - 0.0102 \times \ln\left(\frac{A_{se}}{100}\right) + 1.83 \times K_2, (time^{-1}) \quad (4-1)$$

$$K_2 = -0.031 + 0.000521 \times H_L - 0.004184 \times \ln\left(\frac{A_{se}}{100}\right) + 0.01026 \times D_T, (time^{-1}) \quad (4-2)$$

$$T = 7.31 + 0.0036 \times P + 1.591 \times K_2^{-0.6} - 0.5343 \times \ln\left(\frac{A_{se}}{100}\right) - 0.09283 \times L_F, (mm) \quad (4-3)$$

Der A_{skog} er skogprosent (%), P er årsnedbør (mm), A_{se} er effektiv sjøprosent (%) og H_L er helning (m/km), D_T er dreneringstetthet (km⁻¹) og L_F er feltaksens lengde (km). Når effektiv sjøprosent er lik null settes verdien til 0.001. PQRUT versjon 2016 er gyldig for nedbørfelt med parametere innenfor angitte intervaller i Tabell 4-4.

Tabell 4-4: Gyldighetsområde PQRUT versjon 2016 [7]

A (km ²)	q_n (l/s*km ²)	A_{se} (%)	A_{skog} (%)	P (mm)	H_L (m/km)	D_T (km ⁻¹)	L_F (km)
2-1092	14-112	0-10	0-94	510-4671	2.8-61.0	0.8-2.7	2.4-66

PQRUT kan kjøres direkte fra NVEs webapplikasjon NEVINA. Nedbørfeltet til Gluggvassselva er modellert som ett samlet felt i PQRUT. Inngangsverdier, tømmekonstanter og terskelverdier er for modelloppsettene er vist i Tabell 4-5.

Tabell 4-5: Inngangsverdier benyttet til å beregne tømmekonstanter og terskelverdi

A_{se} (%)	A_{skog} (%)	P (mm)	H_L (m/km)	D_T (km ⁻¹)	L_F (km)	K₁ (time ⁻¹)	K₂ (time ⁻¹)	T (mm)
0.5	34	1400	8.23	2.3	24.9	0.0894	0.0191	33.86

4.3.1 Nedbør og snøsmelting

Det finnes ingen publiserte IVF-kurver (Intensitet-Varighet-Frekvens) i nærheten av Gluggvassselva sitt nedbørfelt (www.klimaservicesenter.no). Nærmeste målestasjon for nedbør er SN77270 Fallmoen, som har en årsnedbør på 1505 mm. Påregnelig maksimal nedbør (PMP) er derfor generert av Meteorologisk institutt etter forespørsel, som punktnedbør for et fiktivt punkt i feltet. Videre er verdiene justert fra punkt til areal-verdi med en arealreduksjonsfaktor, for å få et grovestimat av arealnedbør i Gluggvassselva sitt nedbørfelt. Verdiene er oppgitt i tabell Tabell 4-6.

Tabell 4-6: IVF-verdier for Gluggvassselva for et 200-årsnedbør basert på påregnelig ekstremnedbør for feltet utarbeidet av Meteorologisk institutt.

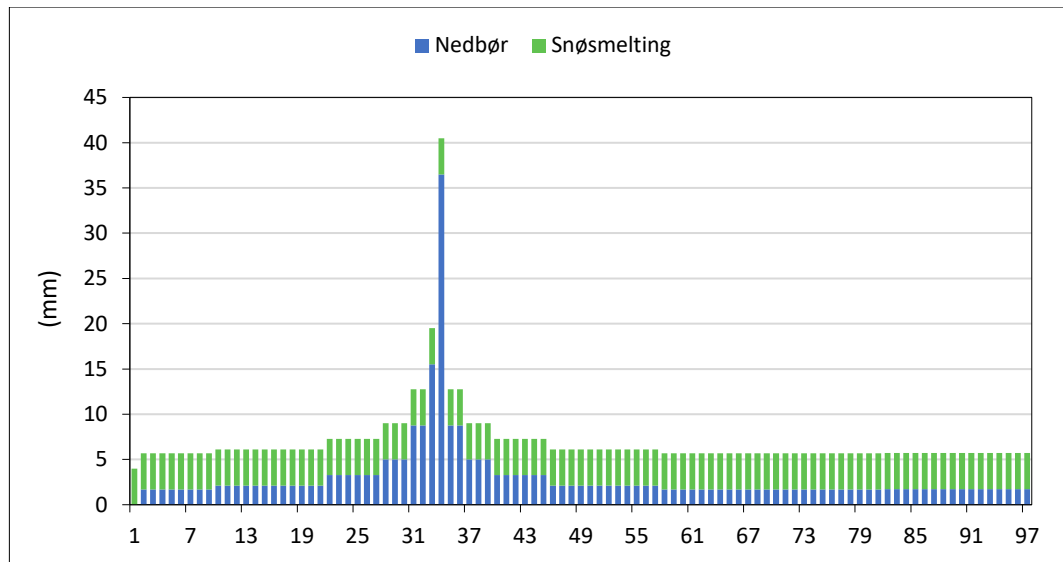
Antall timer	1	2	6	12	24	48	72	96	120
PMP punktverdi (mm)	50	65	100	130	170	220	260	300	330
ARF (250 km ²)	0.70	0.78	0.85	0.89	0.91	0.94	0.94	0.95	0.96
PMP arealjustert (mm)	37	52	87	117	156	207	247	288	317
PMP intensitet (mm/t)	36.5	26.0	14.5	9.8	6.5	4.3	3.4	3.0	2.6

Basert på verdiene i Tabell 4-6 er det generert en nedbørhendelse (hyetogram), som er benyttet for beregning av flomverdier i PQRUT. Snøsmelting er beregnet med graddagsfaktor iht. anbefalinger i NVE veileder for flomberegninger. Nedbørfeltet til Gluggvassselva består av omtrent like deler snaufjell og skog. For nedbørfelt med store andeler skog anbefales det graddagsfaktor på 3.0 mm/°C*døgn og store andeler snaufjell 5.0 mm/°C*døgn [7]. Det er benyttet graddagsfaktor på 4.0 mm/°C*døgn.

For å estimere snøsmeltingen er temperaturkart fra seNorge2018 anvendt. Viser høyeste månedlige døgnmiddeltemperaturer for Gluggvassselva basert på seNorge2018 temperaturkart fra 1957-2025 for et punkt som tilsvarer medianhøyden til nedbørfeltet. Høyeste døgnmiddeltemperaturer i perioden mai-juli er 23.8°C, hvilket gir en snøsmelting på 95 mm/døgn og 4 mm/time.

Tabell 4-7: Maksimale døgnmiddeltemperaturer (°C) per måned i Gluggvasselva basert på seNorge2018 temperaturkart 1957-2025

Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Sep	Okt	Nov	Des
4.2	4.1	3.8	8.4	17	21.7	23.8	20.2	17.6	10.7	7.6



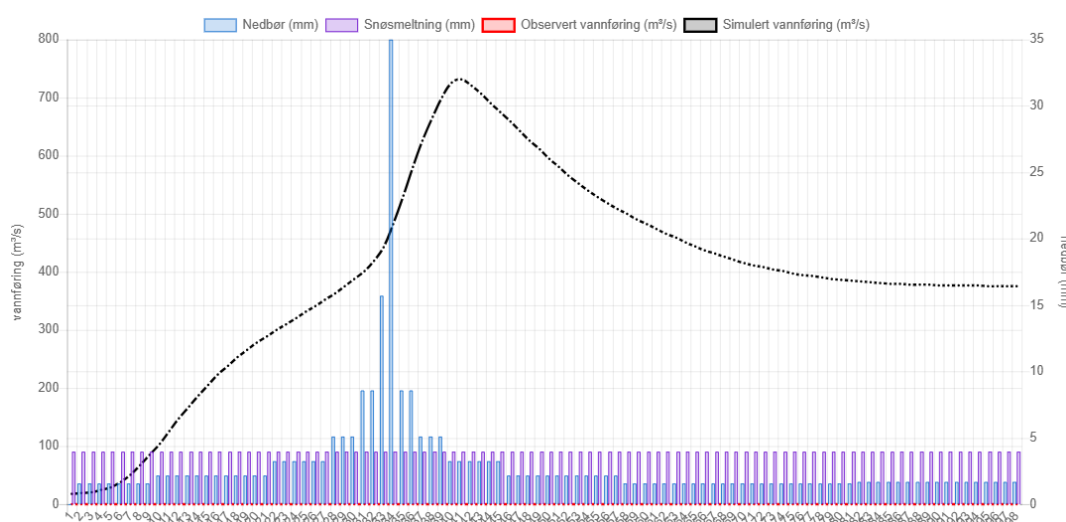
Figur 4-3: Nedbørhyetogram 200-årsnedbør inkl. snøsmelting

4.3.2 Resultater

Det er beregnet flomverdier for Gluggvasselva ved bruk PQRUT med tidsskritt på 1 time og simulering av en nedbørhendelse over 4 døgn (96 timer). Feltet er antatt mettet fra start, ellers er standard starverdier fra NEVINA benyttet. Simuleringen gir kulminasjonsvannføring for 200-årsnedbør med snøsmelting (Figur 4-4). Resultatene gir spesifikke avrenninger som er langt større enn lokale og regionale frekvensanalyser, men kulminasjonsfaktoren stemmer godt overens med RFFA-2018.

Tabell 4-8: Resultater simulering 200-årsnedbør inkl. snøsmelting i PQRUT for Gluggvasselva

$Q_{200, \text{døgn}}$ (m ³ /s)	$Q_{200, \text{døgn}}$ (l/s*km ²)	$Q_{200, \text{kulm}}$ (m ³ /s)	$Q_{200, \text{kulm}}$ (l/s*km ²)	$Q_{\text{KULM}}/Q_{\text{DØGN}}$
616	2567	731	3046	1.19



Figur 4-4: Resultat PQRUT-simulering 200-årsnedbør med snøsmelting for Gluggvasselva

4.4 Valg av dimensjonerende flomverdier

En sammenlikning av resultatene for Gluggvasselva bru med samtlige metoder er vist i Tabell 4-9. RFFA-2018 gir en noe høyere døgn- og kulminasjonsverdier enn lokal FFA, som begrunnes i begrenset datagrunnlag for FFA på timesverdier. Samtidig ligger kulminasjonsfaktoren godt innenfor spennet fra lokal FFA. Resultatene beregnet med PQRUT er ikke overraskende da dette er en mer konservativ beregningsmetode. Her antas det at et 200-årsnedbør representerer en 200-årsflom, noe som absolutt ikke behøver være tilfelle. Nedbørverdiene er usikre og det antas også at nedbørfeltet er vannmettet ved start, som gir høye flomverdier.

Tabell 4-9: Beregnede flomstørrelser for Gluggvasselva bru ved bruk av ulike metoder.

Metode	$Q_{200,døgn}$ (l/s*km ²)	$Q_{200,kulm}$ (l/s*km ²)	$Q_{KULM}/Q_{DØGN}$
Lokale frekvensanalyser	470 - 798	677 - 1011	1.15 - 1.76
Regionale frekvensanalyser	1050	1281	1.22
PQRUT	2567	3048	1.19

For å fastsette dimensjonerende verdier for brukryssningen er det valgt å ta utgangspunkt i resultatene fra den regionale frekvensanalysen for Gluggvasselva bru. Som diskutert i avsnitt 4.2 er det relativt god overenstemmelse mellom RFFA-2018 og lokal FFA for nesten samtlige av vannmerkene, som viser at RFFA-2018 verdiene beregnet i nærhet av Gluggvasselva kan ansees som representative, sammenlignet med beregninger på måledata. På bakgrunn av dette kan det antas at RFFA-2018 verdiene også er representative for Gluggvasselva.

Tabell 4-10 viser beregnede flomverdier både med og uten sikkerhetsfaktor lik 1.1 og klimafaktor på 1.4.

Tabell 4-10: Dimensjonerende flomstørrelser ved Gluggvasselve bru, med og uten klima- og usikkerhetsfaktor

	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200
Frekvensfaktor Q_T/Q_M	1.00	1.28	1.46	1.65	1.88	2.06	2.24
Q_T , døgnmiddel (l/s*km ²)	471	600	688	771	883	967	1050
Q_T , kulminasjon (l/s*km ²)	574	732	839	940	1078	1179	1281
Q_T , døgnmiddel (m ³ /s)	113	144	165	185	212	232	252
Q_T , kulminasjon (m ³ /s)	138	176	201	226	259	283	307
Inkl. klima- og sikkerhetsfaktor							
Q_T , døgnmiddel (m ³ /s)	174	222	254	285	326	357	388
Q_T , kulminasjon (m ³ /s)	212	271	310	348	398	436	473

Kvaliteten til hydrologiske datagrunnlaget er vurdert til klasse 2 siden det finnes serier på observert vannføring i vassdraget.

4.5 Sammenlikning med tidligere beregninger og erfaringstall

Det eksisterer ikke tidligere beregninger ved Gluggvaselva bru som DHI har blitt gjort kjent med. NVEs erfaringstall for døgnmiddelverdier for 200-årsflom i Nord-Norge [7] varierer stort. I Nordland finnes eksempler på flomverdier over 1678 l/s/km² i kystnære felt på opp mot 100 km². I indre strøk av Nordland er flomverdiene under 839 l/s/km² og ned mot 587 l/s/km². Sammenlignet med dette ligger våre resultater noe høyere enn NVEs erfaringstall for indre strøk i Nordland, men godt innenfor spennet i Nordland sett samlet.

5 Vannlinjeberegninger

For å beregne dimensjonerende vannstander ved brupunkt for Gluggvasselve har vi brukt en 2D-hydraulisk modell.

Modellresultatene skal brukes til tre ting:

- Å kontrollere at ny bru oppfyller kravet til fri høyde over vassdrag.
- Bestemme vannstand for beregning av dimensjonerende islast på pilarer.
- Dimensjonere erosjonssikring av landkar, pilar og veifyllinger.

Vegnormalen N400 stiller krav til at fri høyde over vassdrag skal være minst 0.5 m over bergnet vannstand for dimensjonerende flom. Dimensjonerende islast beregnes for vannstand ved 50-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor.

5.1 Hydraulisk modell

Det er etablert en hydraulisk, 2-dimensjonal modell av Gluggvasselve i programvaren MIKE+. En 2-dimensjonal modell innebærer at modellen tar høyde for strømning i horisontalplanet, mens et gjennomsnitt tas over dybden. Dette betyr at vertikale strømningskomponenter ikke modelleres.

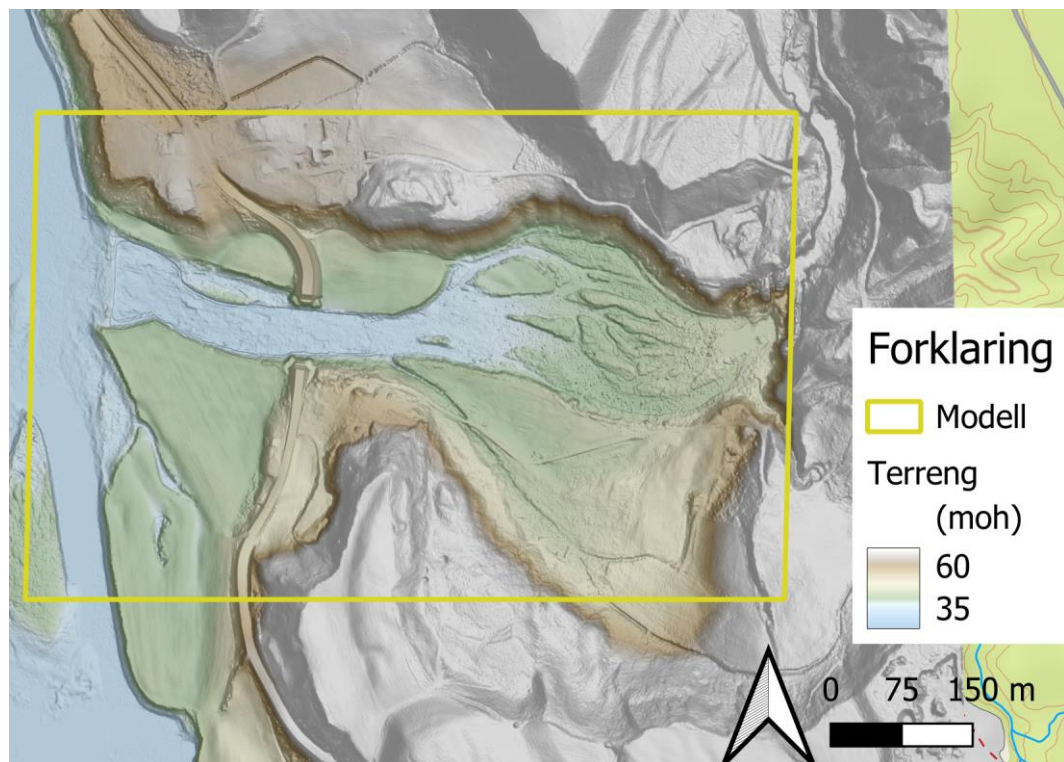
5.1.1 Grunnlagsdata

Modellen er satt opp basert på data fra Nasjonal detaljert høydemodell og innmålt batymetri terreng utført av Hydrateam i juni 2025.

Modellen er ikke kalibrert mot observerte forhold mellom vannføring og vannstand i vassdraget da slike data ikke var å oppdrive.

5.1.2 Modellavgrensning og beregningsnett

Modellen dekker Gluggvasselve fra fossen ved Elvetun og til utløpet i Vefsna. Modellavgrensningen og terreng med endelig brufundament er vist i Figur 5-1. Vefsna danner et naturlig kontrollsnitt i nedstrøms ende. Vi forutsetter konstant vannstand og null vannhastighet i Vefsna. Dette er ikke helt realistisk, men godt nok for denne modellen. Oppstrøms starter modellen ved en foss med antatt overkritisk strømning, så det vil ikke tilføre mer informasjon og nødvendig å starte lenger oppstrøms.

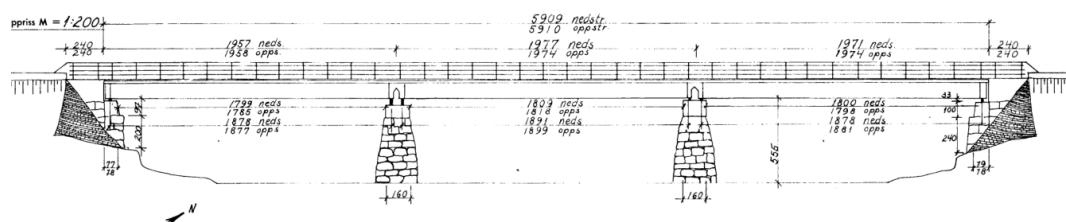


Figur 5-1: Utstrekning av modellen

Modellen blei oppretta i MIKE+ med triangulært beregningsnett. Beregningsnettet har celler med maksimal signifikant celledørrelse på 3 m². Dette er tilstrekkelig fin oppløsning på beregningsnettet for å få et detaljert bilde av de hydrauliske forholdene ved brua som har et spenn på 72 m.

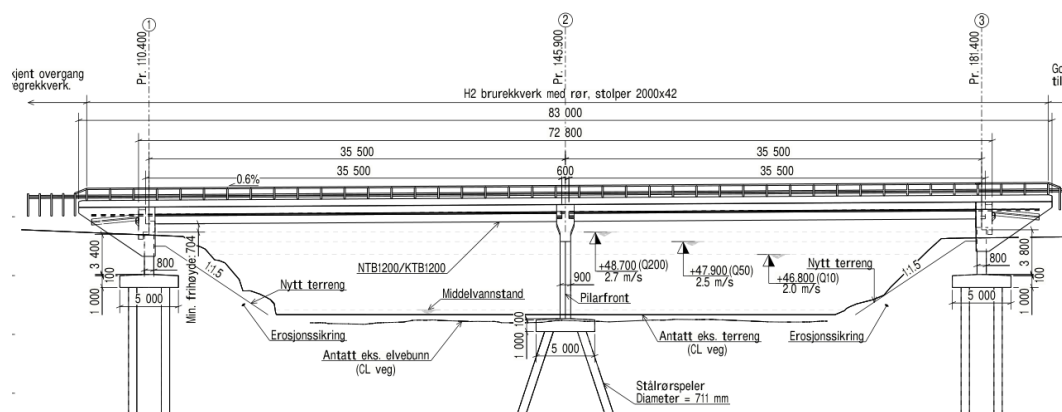
5.1.3 Konstruksjoner og objekter i vassdraget

Nåværende bru står på to pilarer som er lagt inn i modellen av eksisterende bru som er ekskluderte fra beregningsnettet. Topp veidekke på brua ligger i dag på ca. 48.5 moh. Brua er 1.3 m tjukk, så underkant brubjelke er på ca. 46.9 moh. Figur 5-2 viser tegning av den eksisterende brua.

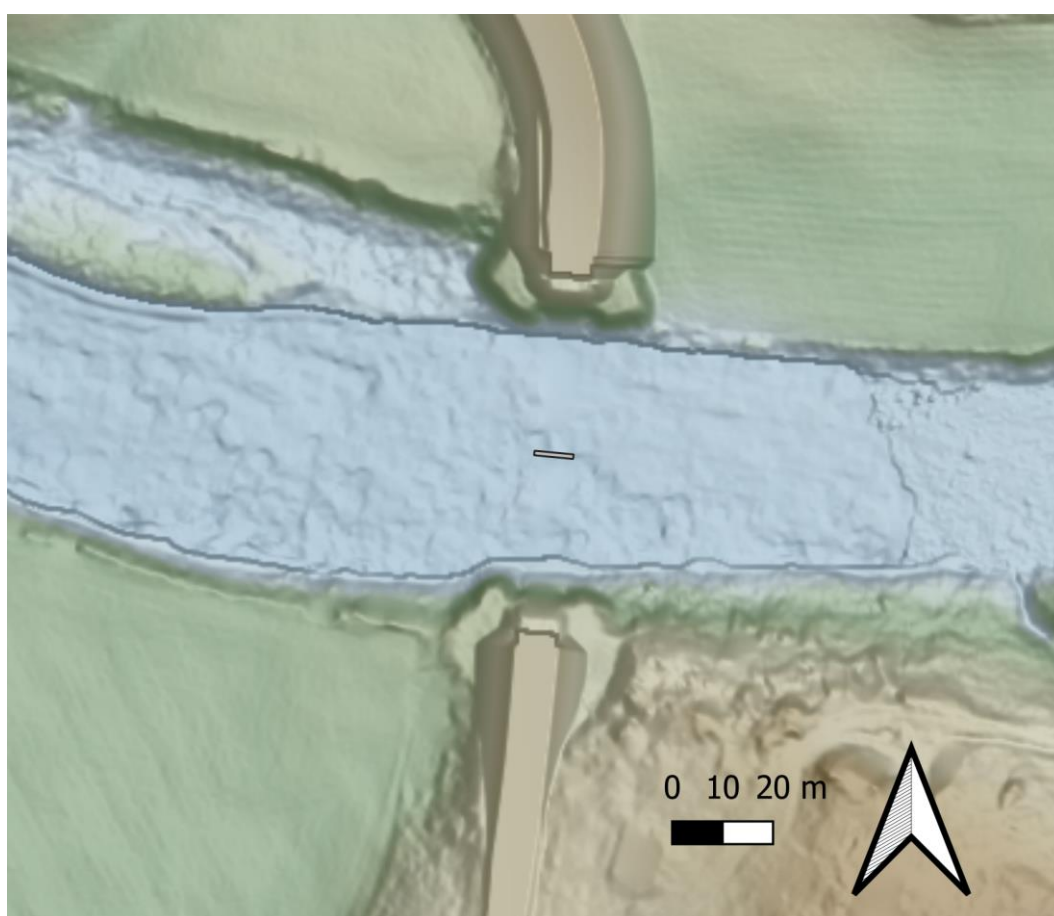


Figur 5-2: Tegning av gammel Gluggvasselv bru

Ny bru for Gluggvasselva er under prosjektering og planlagt med to brubjelker på 35.5 m og en pilar på 7.8 m × 0.9 m. Landkar trekkes opp fra elveløpet på begge sider. Dette gir en effektiv lysåpning på ca. 71 m. Figur 5-3 og Figur 5-4 viser nye landkar og pilar for brua over Gluggvasselva.



Figur 5-3: Tegning av ny Gluggvasselv bru



Figur 5-4: Landkar og pilar for ny bru

I nedstrøms ende av Gluggvasselva, ved utløpet til Vefsna, har elva en løsmasseterskel som ligger ca. på kote 41.6, vist på Figur 5-5. Denne er anlagt av NVE i 2005.



Figur 5-5: Flyfoto av nåværende Gluggvasselva bru og utløpet med løsmasseterskel (Foto: norgebilder.no)

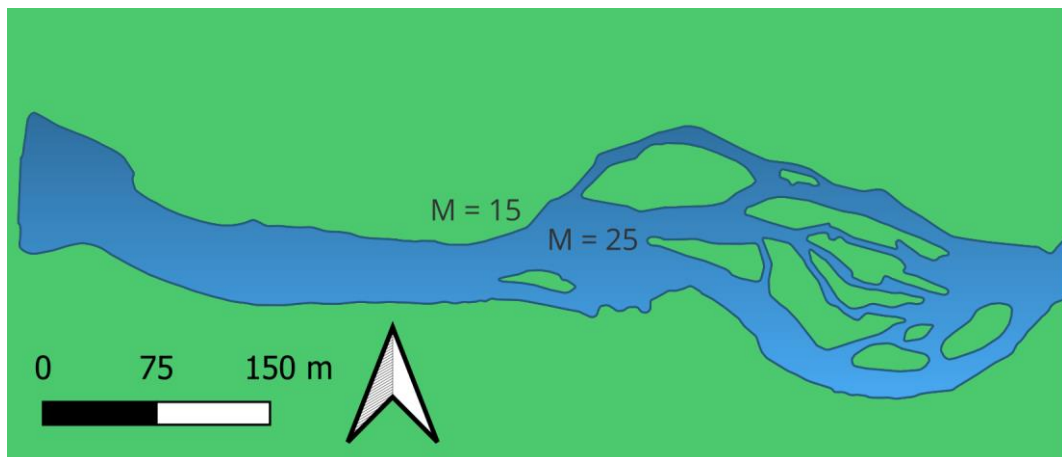
5.1.4 Hydraulisk ruhet

Hydraulisk ruhet representerer friksjonen mellom bunnen og vannet i modellen, samt mellom overflatene i kulvertene og vannet. Hydraulisk ruhet er bestemt ut ifra erfaring, bilder og flyfoto.

Modellen er delt inn i to soner som representerer skillet mellom elveløpet og områdene utenfor elva. Hovedløpet til Gluggvasselva består for det meste av grus, stein og større blokker. Områdene utenfor elve/bekkeløpet består av jorder og gressletter, noe vegetasjon, spredte busker og trær. Elveløpet er derfor gitt manningstall på $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ og resten av terrenget har fått manningstall på $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. (Figur 5-6 og Figur 5-7).



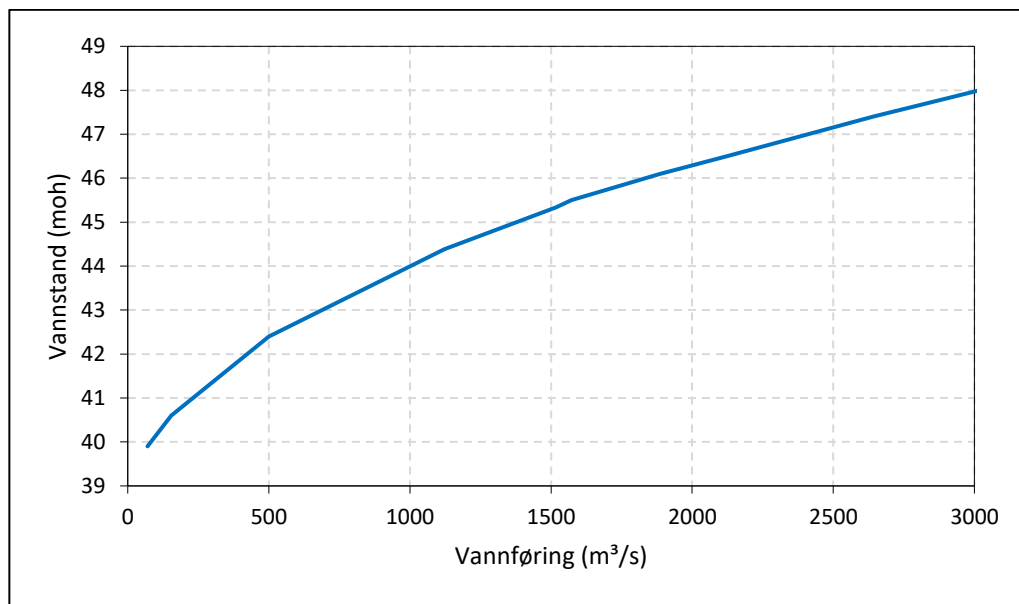
Figur 5-6: Terrenget sett motstrøms fra brua (Foto: Google streetview)



Figur 5-7: Ruhetssoner i modellen

5.1.5 Initial- og grensebetingelser

Oppstrøms grensebetingelser for modellen er satt til konstant vannføring, med de verdiene som er vist i Tabell 4-10. Vannstand i Vefsna er brukt som nedstrøms grensebetingelse. Vannstanden er funnet ved hjelp av eksisterende 1-dimensjonal hydraulisk modell av Vefsna utviklet av DHI. Modellen dekker strekningen Fellingforsen-Laksforsen og er kalibrert mot observerte vannlinjer i Vefsna. Figur 5-8 og Tabell 5-1 viser vannstanden i Vefsna ved samløpet med Gluggvasselva for ulike vannføringer i Vefsna [8].

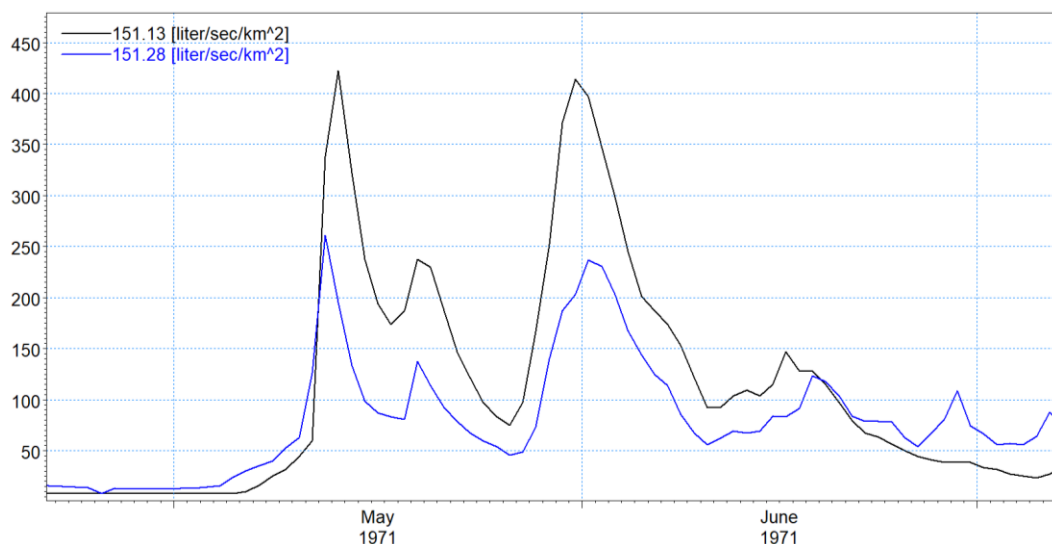


Figur 5-8: Vannstanden i Vefsna ved samløpet med Gluggvasselva for ulike vannføringer i Vefsna

Tabell 5-1: Flomsituasjoner og vannstander i Vefsna ved utløpet av Gluggvasselva

Retur-periode	Vannføring Vefsna (m³/s)	Vannstand Vefsna (moh.)	Kommentar
Q_N	154	40.7	Normalavrenning, beregna ut fra avrenning på 40 l/s*km², areal på nedbørsfelt 3360 km², uten klima eller sikkerhetspåslag
$1.1*1.4*Q_M$	1572	45.5	Middelflom, med klima- og sikkerhetsfaktor på 1.4×1.1
$1.1*1.4*Q_{10}$	2122	46.5	10-årsflom, med klima- og sikkerhetsfaktor på 1.4×1.1
$1.1*1.4*Q_{50}$	2641	47.4	50-årsflom, med klima- og sikkerhetsfaktor på 1.4×1.1
$1.1*1.4*Q_{200}$	3081	48.1	200-årsflom, med klima- og sikkerhetsfaktor på 1.4×1.1

Siden Vefsna og Gluggvasselva nedbør har svært ulik størrelse og konsentrasjonstid, er det sannsynlig at flommer kan kulminere både samtidig og ulike tidspunkt. Analyse av vannføringsdata ved vannmerkene 151.13 Gluggvasselva og 151.28 Laksforsen (Vefsna nedstrøms samløp med Gluggvasselva) for perioden 1968-2024 viser sterk korrelasjon (faktor 0.91) mellom vannføring i elvene. Flommer kulminerer ofte samtidig viser dataene at tilfeller av flommer separat i hver elv. Derfor er simuleringene med tanke på erosjonssikring gjort for flere ulike vannstander i Vefsna for hver vannføring i Gluggvasselva, men ikke høyere enn de som er vist i Tabell 5-1, og med 40.7 moh. som laveste vannstand.



Figur 5-9: Eksempel på flomhendelse i Gluggvasselva (151.13) og Vefsna (151.28) som kulminerer på ulike tidspunkt

5.1.6 Scenarier

Modellen er brukt til å simulere strømningsforholdene ved dimensjonerende flom og mindre vannføringer. I tillegg er det gjort simuleringer av utvalgte scenarier for dagens situasjon, for å finne vannstanden ved flom i byggetida, når det er lagt ut fylling og satt opp spuntvegger over henholdsvis halve og to tredjedeler av elveløpet (ut til pilaren og rundt den når den bygges). For simuleringer for byggetida er ikke klimafaktor tatt med, og Q_{50} i Vefsna har vannstand på 46.1 moh.

Tabell 5-2: Oversikt simulerte scenarier

ID	Situasjon	Vannføring Gluggvasselva (m ³ /s)	Vannstand Vefsna (moh.)
S1	Q_{200} i Gluggvasselva og Vefsna, for å finne fri høyde under bru	474	48.1
S2	Q_{50} i Gluggvasselva og Vefsna, for erosjonssikring	399	47.4
S3	Q_{50} i Gluggvasselva, Q_M i Vefsna, for erosjonssikring	399	45.5
S4	Q_{50} i Gluggvasselva, lavere vannstand i Vefsna, for erosjonssikring	399	43.0
S5	Q_{50} i Gluggvasselva, Q_N i Vefsna, for erosjonssikring	399	40.7
S6	Q_{10} i Gluggvasselva og Vefsna, for erosjonssikring	310	46.5
S7	Q_{10} i Gluggvasselva, lavere vannstand i Vefsna, for erosjonssikring	310	44
S8	Q_{10} i Gluggvasselva, Q_N i Vefsna, for erosjonssikring	310	40.7
S9	Q_M i Gluggvasselva, Q_M i Vefsna, for erosjonssikring	212	45.5
S10	Q_M i Gluggvasselva, lav vannstand i Vefsna, for erosjonssikring	212	43
S11	Q_M i Gluggvasselva, Q_N i Vefsna, for erosjonssikring	212	40.7
S12	Q_N i Gluggvasselva, Q_N i Vefsna, for erosjonssikring	14	40.7
S13	Q_M i Gluggvasselva, 42 moh i Vefsna, fylling i nordre halvdel av elveløpet og spunkasse rundt pilar, for byggetida	151	42
S14	Q_M i Gluggvasselva, 44 moh i Vefsna, fylling i nordre halvdel av elveløpet og spunkasse rundt pilar, for byggetida	151	44
S15	Som S1, men med ruhet $M = 20$	474	48.1
S16	Som S1, men med ruhet $M = 30$	474	48.1

S17	Som S4, men med ruhet M = 20	399	43.0
S18	Som S4, men med ruhet M = 30	399	43.0

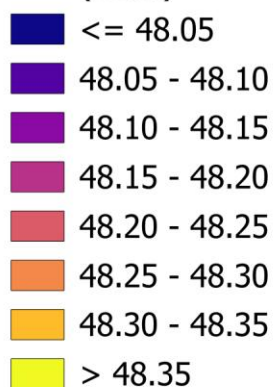
5.2 Resultater

Alle resultater står i Tabell 5-3. De dimensjonerende resultatene er diskutert i påfølgende delkapitler.

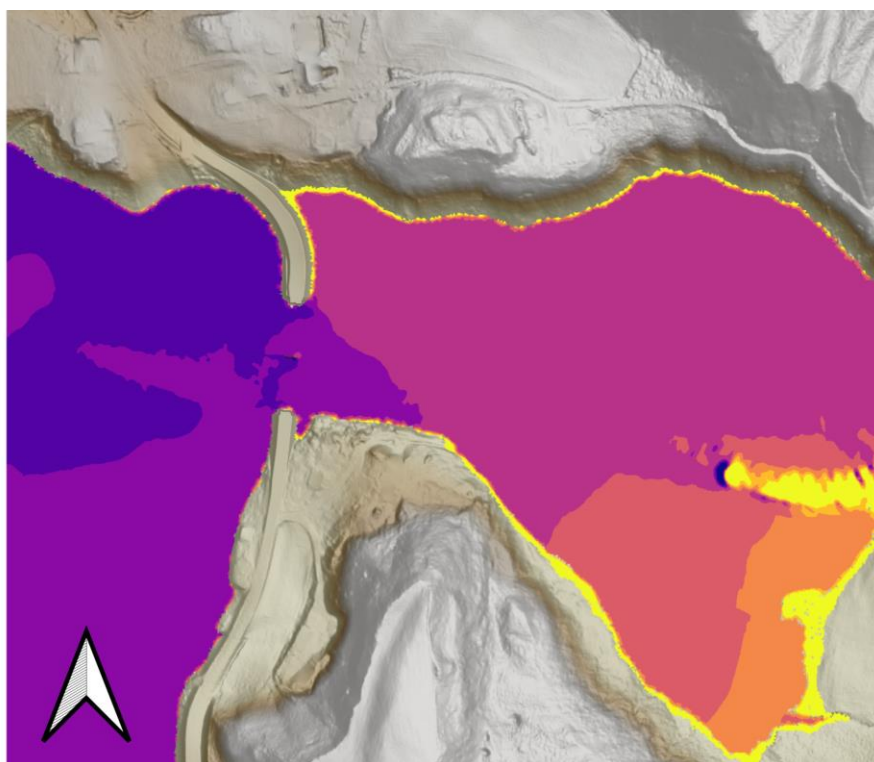
5.2.1 Simulering med tanke på fri høyde under brua

Vi har simulert 200-årsflom med klimafaktor og usikkerhetsfaktor med tanke på fri høyde under brua. Nedstrøms vannstand er satt til vannstand i Vefsna ved 200-årsflom. Resultatet er vist på Figur 5-10. Hele området rundt vegen og brua blir oversvømt, vannet vil stå på ca. 48.1 moh., altså fullstendig dominert av vannstanden i Vefsna. Den høyeste vannstanden under brua vil være på 48.3 moh. Strømningen gjennom bruløpet er underkritisk, med høyeste hastighet gjennom bruløpet på ca. 1.8 m/s. Energihøyden blir på 0.3 m, slik at energilinja kommer på 46.6 moh. i det høyeste punktet. Underkant brubjelke til ny bru har laveste punkt på 49.3 moh og brua tilfredstiller kravet til fri høyde over vassdrag med god margin.

S1 Vannstand (moh.)



0 75 150 m



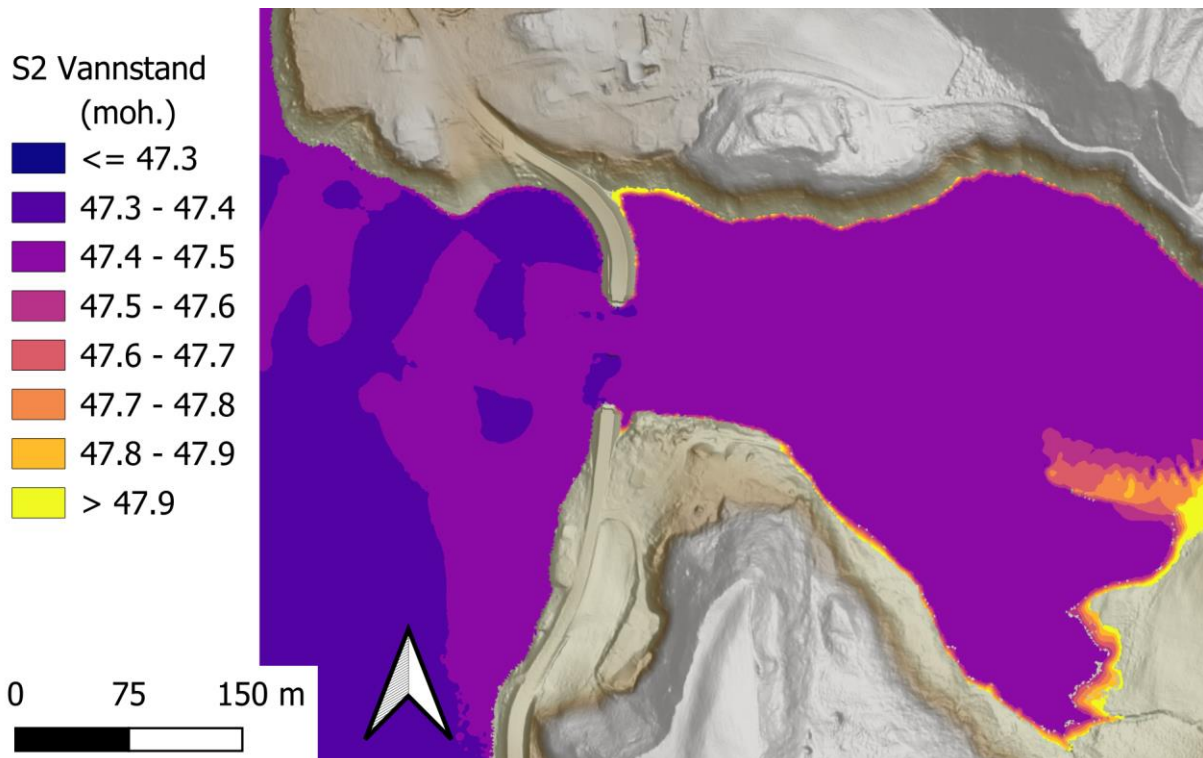
Figur 5-10: Vannstand ved S1, Q200 i både Gluggvasselva og Vefsna

5.2.2 Simulering med tanke på erosjonssikring og islaster

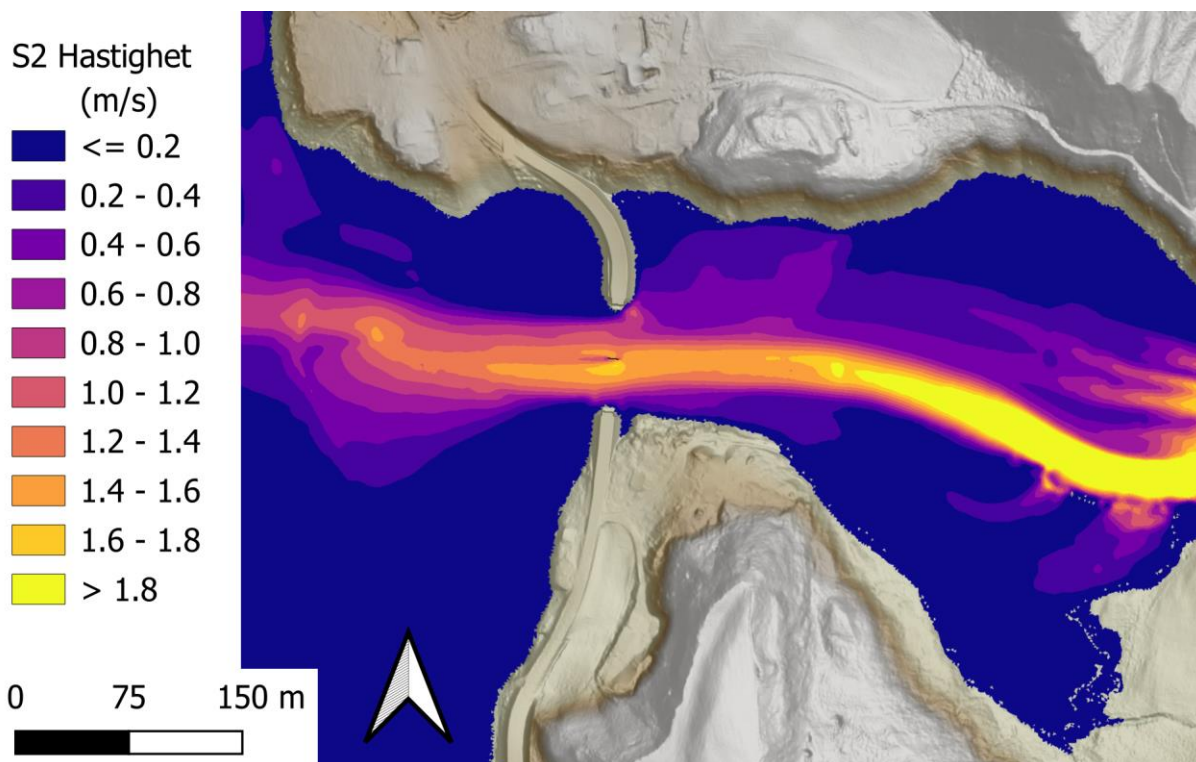
For å kunne finne den ugunstigste situasjonen for erosjonssikring, har vi simulert flere vannføringer opp til 50-årsflom inkl. klima- og sikkerhetsfaktor, og med mange ulike vannstander i Vefsna som vist i Tabell 5-3. Noen representative resultater er vist nedenfor, nemlig S2, S4, S7 og S10. Vi ser at det ikke er gitt på forhånd hvilken situasjon

som vil gi de høyeste hastighetene og vannstandene, og hvilken kombinasjon av disse som vil kreve størst dimensjoner på erosjonssikringen, bortsett fra for dimensjonering av erosjonssikring av pilar, som kun bruker hastighet som inngangsparameter. De høyeste hastighetene får vi ved S4 og S5.

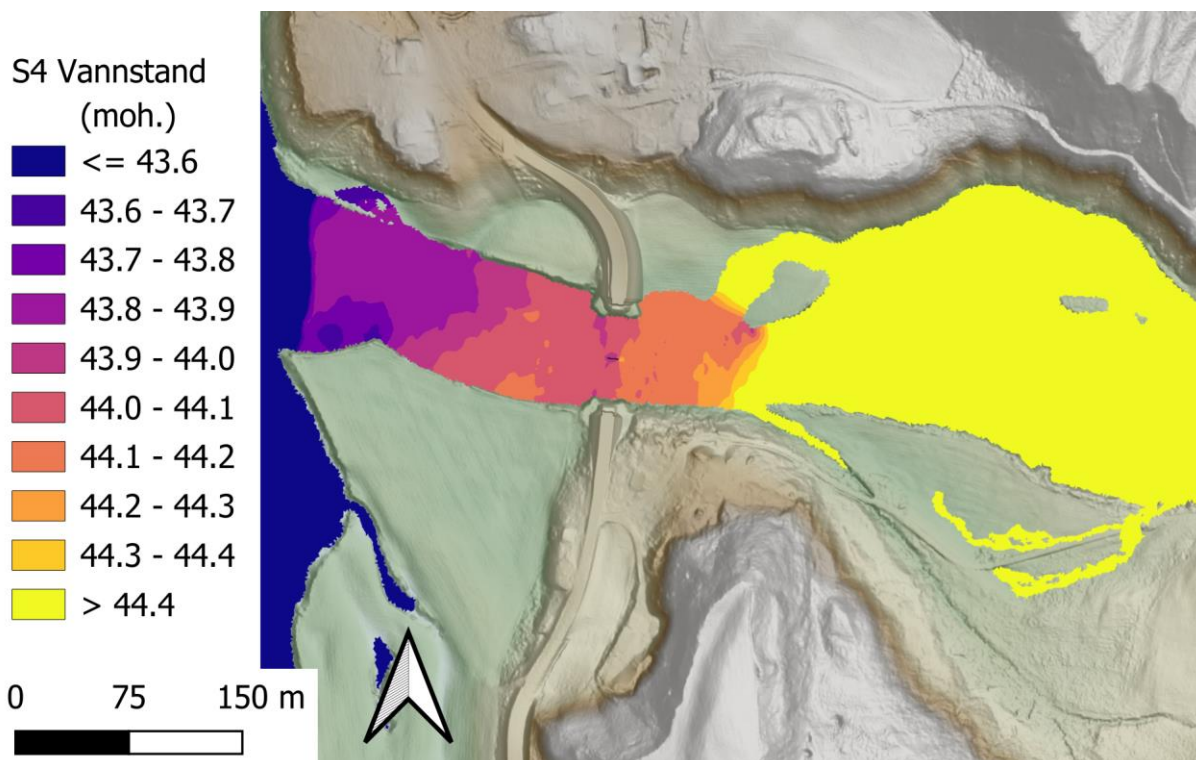
Terskelen ved utløpet av Gluggvasselva har stor innvirkning på vannstanden ved brua, så resultatene ved de laveste vannstandene i Vefsna blir nokså like.



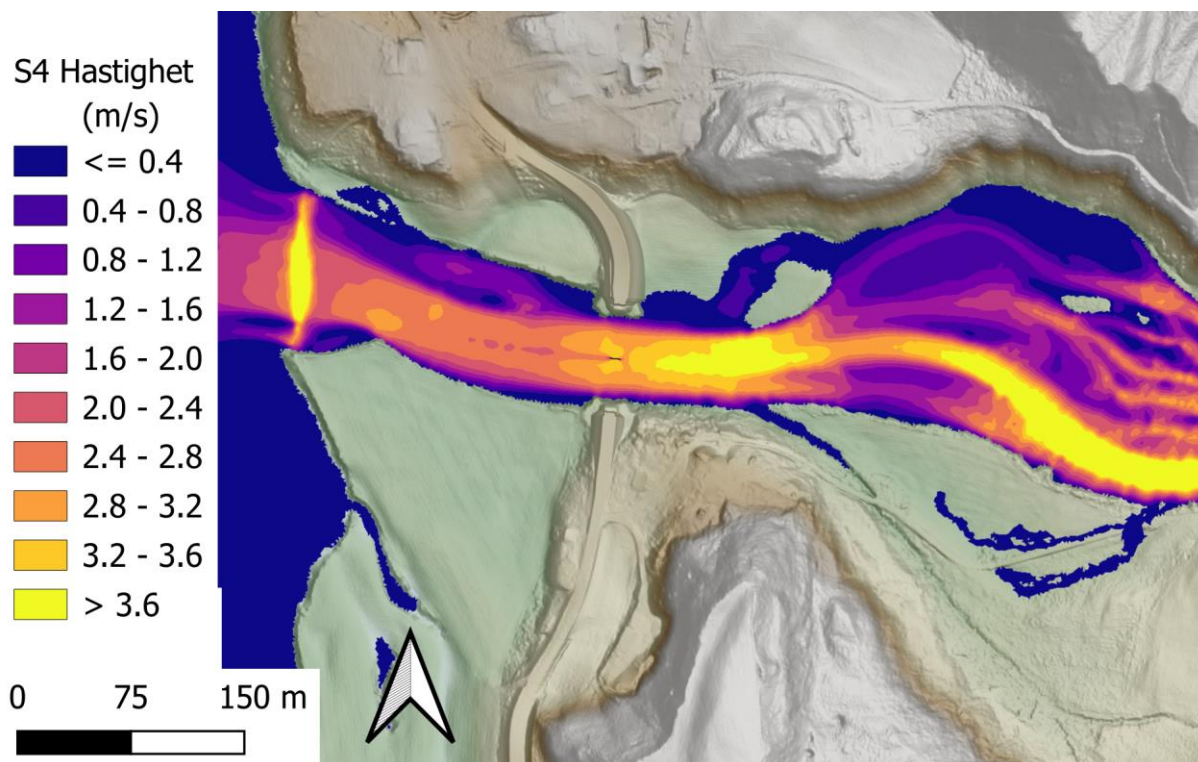
Figur 5-11: Vannstanden ved S2, Q50 i både Gluggvasselva og Vefsna



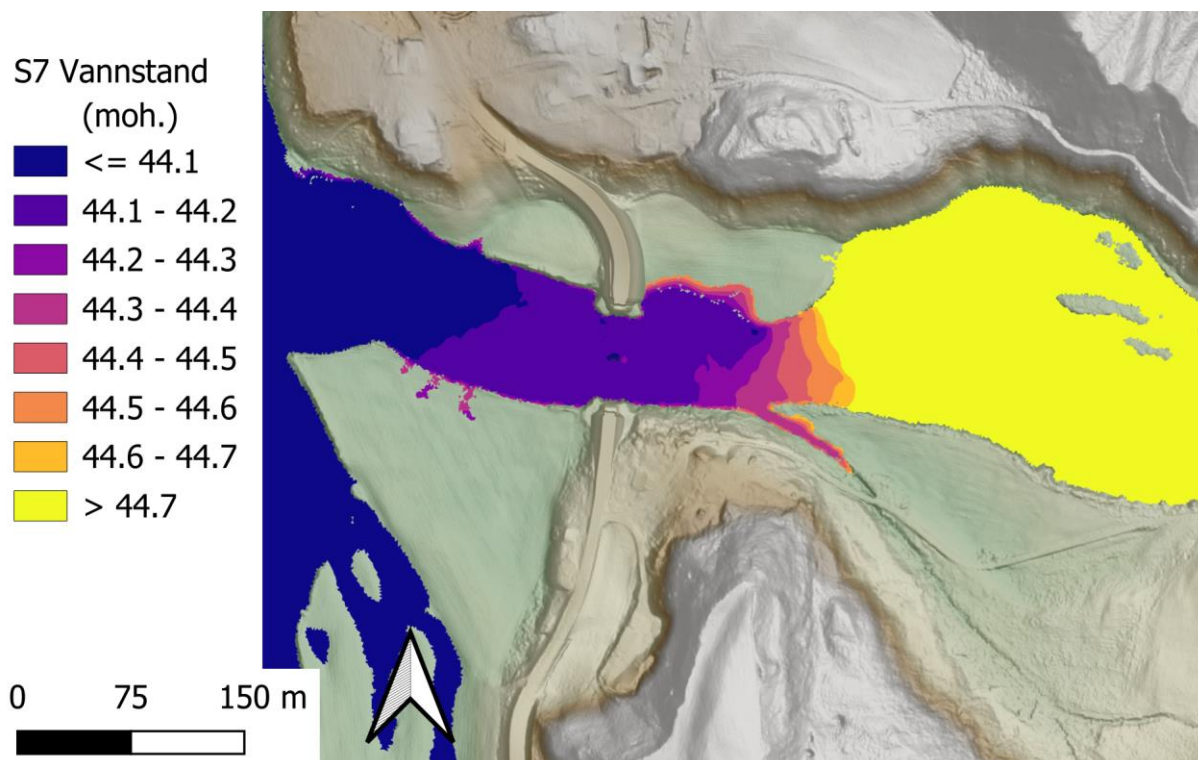
Figur 5-12: Hastigheten ved S2, Q50 i både Gluggvasselva og Vefsna



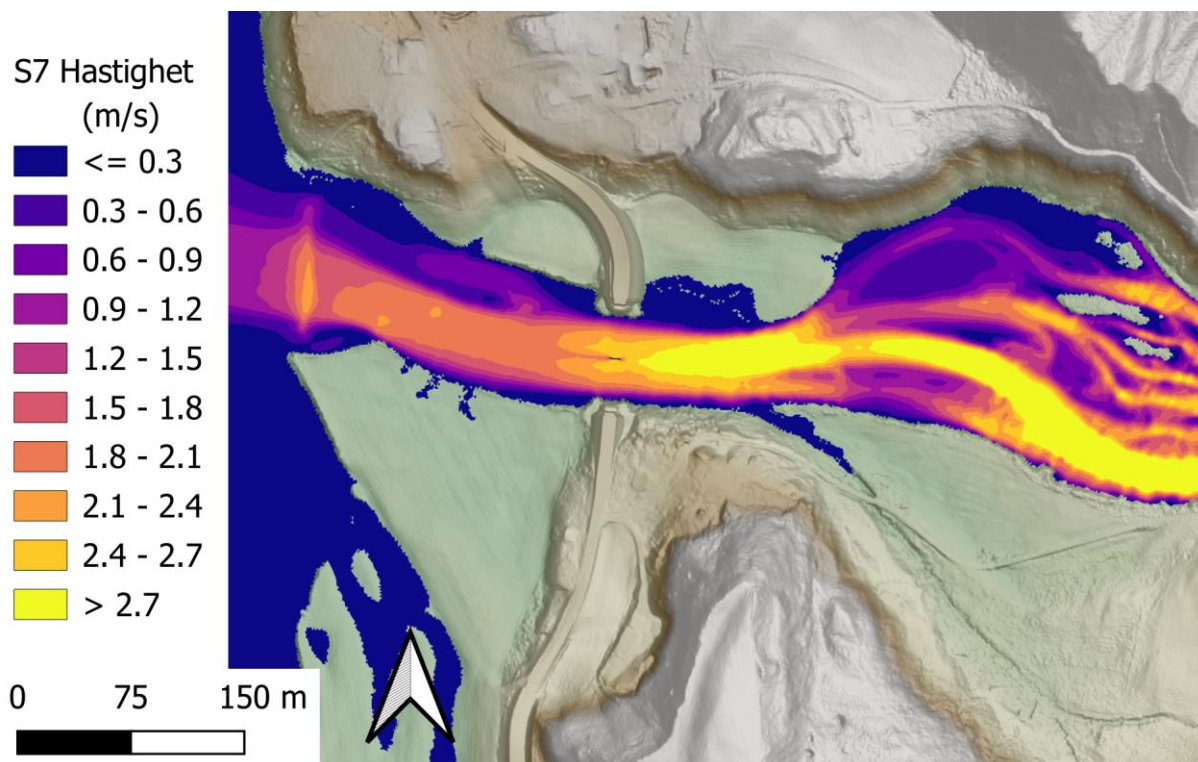
Figur 5-13: Vannstanden ved S4, Q50 i Gluggvasselva, vannstand i Vefsna på 43 moh.



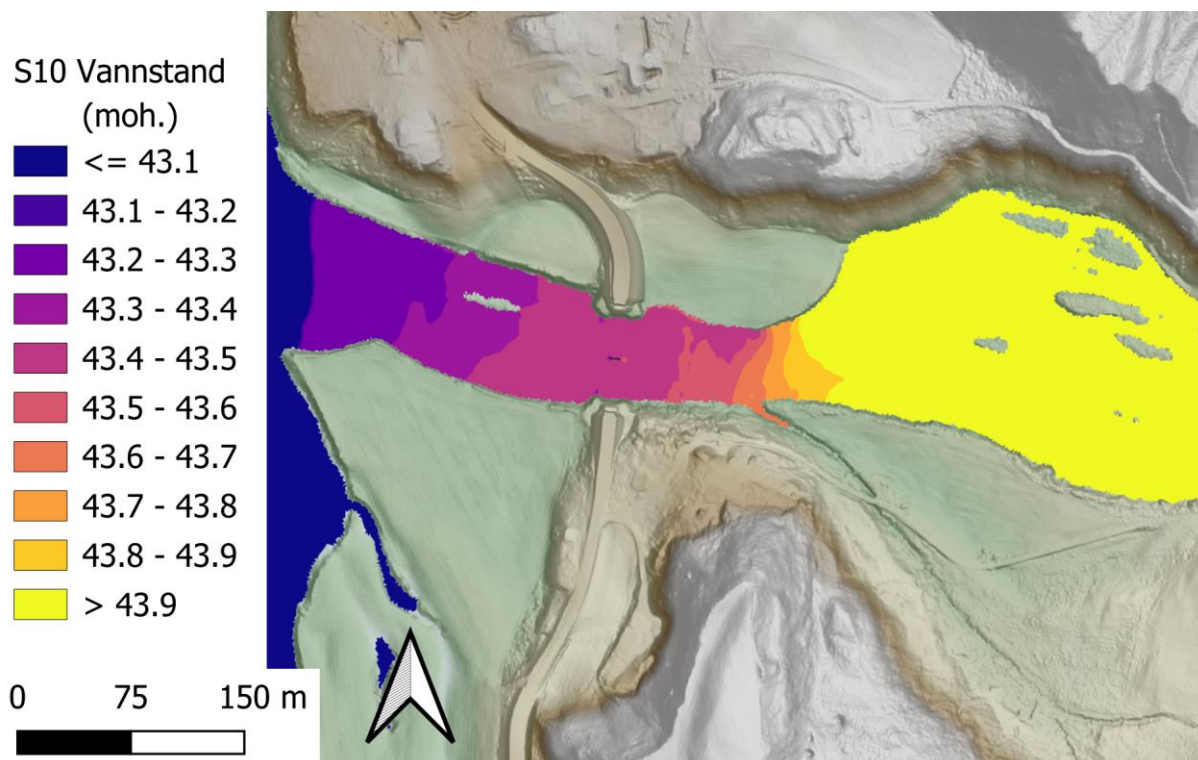
Figur 5-14: Hastigheten ved S4, Q50 i Gluggvasselva, vannstand i Vefsna på 43 moh.



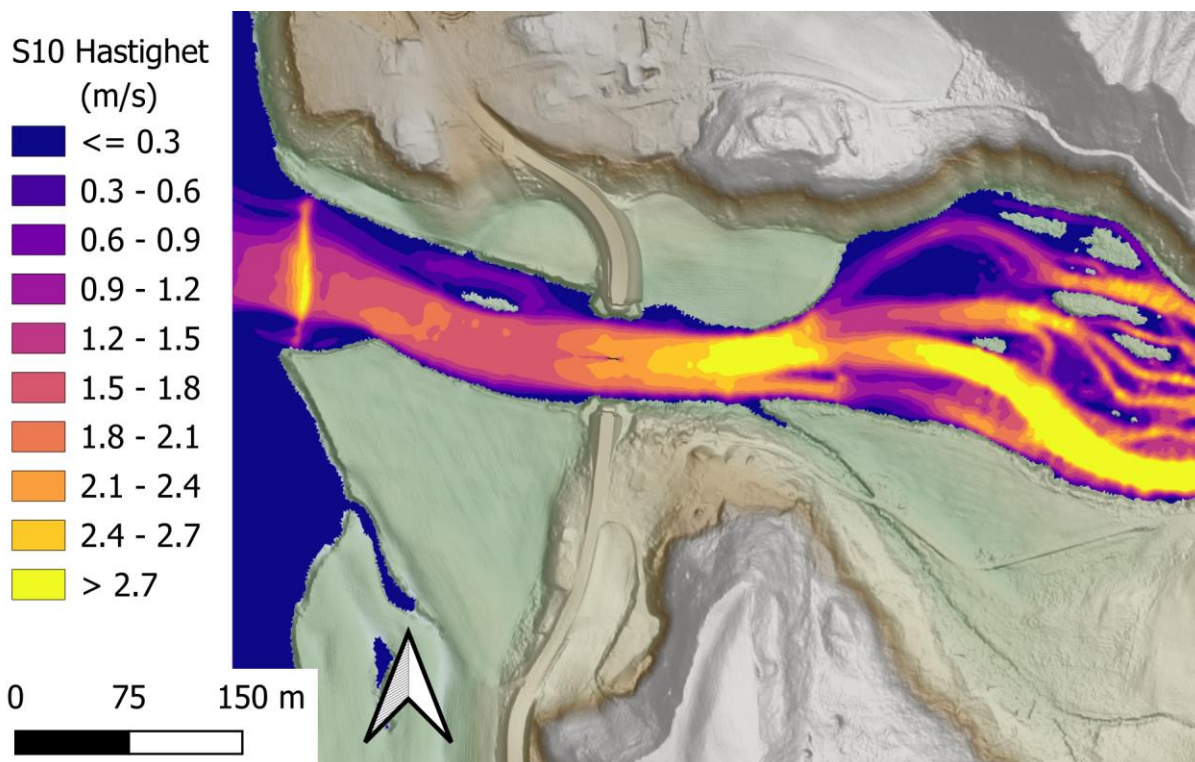
Figur 5-15: Vannstanden ved S7, Q10 i Gluggvasselva og vannstand i Vefsna på 44 moh.



Figur 5-16: Hastigheten ved S7, Q10 i Gluggvasselva og vannstand i Vefsna på 44 moh.



Figur 5-17: Vannstanden ved S10, QM i Gluggvasselva og vannstand i Vefsna på 43 moh.



Figur 5-18: Hastigheten ved S10, QM i Gluggvasselva og vannstand i Vefsna på 43 moh.

5.2.3 Simulering med tanke på byggetida

En kritisk situasjon i byggetida er når pilaren i midten av elva skal bygges. Det vil bli satt ned en spunkasse på ca. 17 m × 20 m rundt den nye pilaren, og fra nordre elvebredd blir det lagt ut en midlertidig fylling på nivå 43 moh som vist på Figur 5-19. Flomrosene på Figur 4-2 viser at en flom kan oppstå når som helst på året.

Q_M med sikkerhetsfaktor, men uten klimafaktor (siden det representerer dagens situasjon) er brukt i Gluggvasselva og vannstand på 42 og 44 moh i Vefsna. Vannstand 42 tilsvarer ca. 500 m³/s i Vefsna, noe som normalt inntreffer flere ganger i året. Vannstand 44 tilsvarer ca. middelflom i Vefsna med usikkerhetspåslag, men uten klimapåslag. Resultatet fra simuleringene er vist på Figur 5-20 og Figur 5-22.

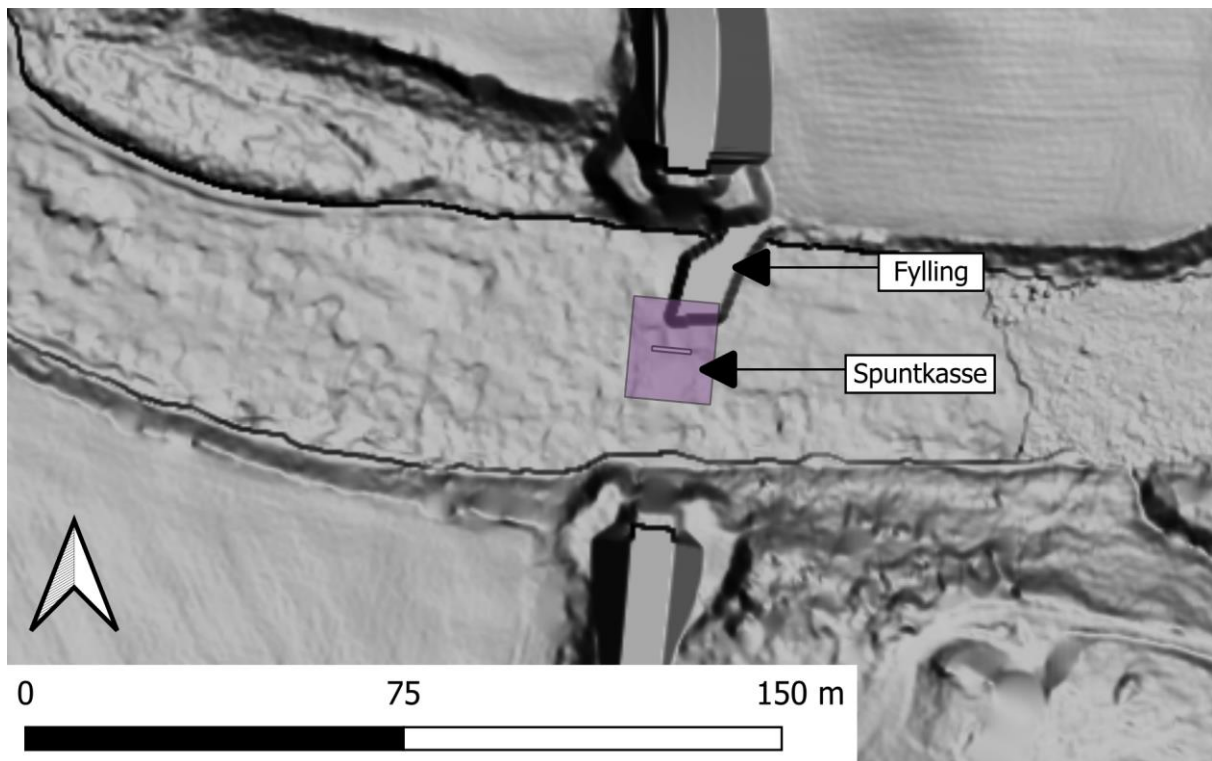
Fyllingen snevrer inn elveløpet ganske kraftig, og vannstanden oppstrøms brua blir noe høyere enn nedstrøms. For vannstand i Vefsna på 42 blir maksimal vannstand ca. 44.5 moh, rett oppstrøms for spunkassen. Vannet får stor hastighet i det åpne løpet i sør, opp til 5.5 m/s. Under brua har vannet hastighet på ca. 4 m/s og vannstand på ca. 43.5 moh, slik at energihøyden blir 44.3 moh under brua. Fyllingen blir oversvømt. Vannstanden over fyllingen blir opptil 44.3 moh og dermed 1.3 m dyp, men over mesteparten av fyllingen blir dybden under 1.0 m.

Med så stor vannhastighet i den søndre, åpne delen av løpet, oppstår det fare for erosjon i elvebunnen. Det kan føre til undergraving av søndre elveskråning.

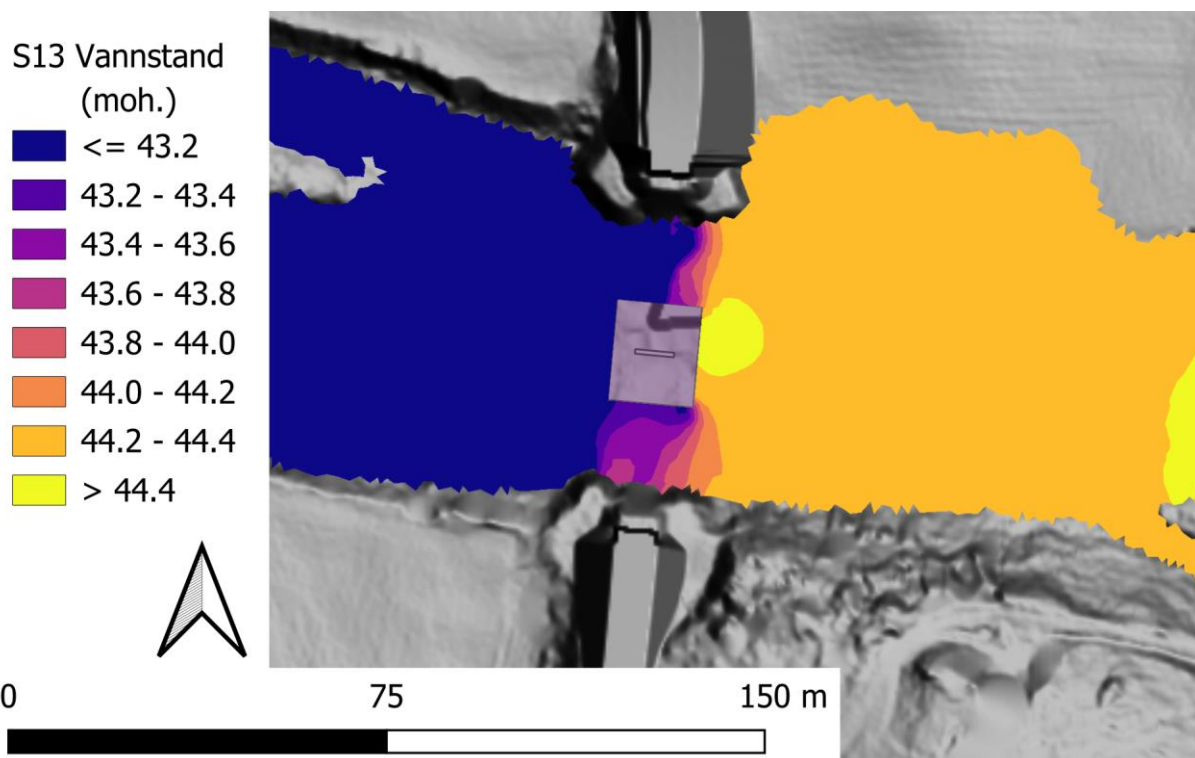
For vannstand i Vefsna på 44, altså nokså nært Q_M i Vefsna, blir maksimal vannstand rundt spunkassen på 44.6 moh. Vannet får ikke så stor hastighet i det åpne løpet siden høydeforskjellen mellom oppstrøms og nedstrøms blir mindre. Vannstanden blir litt høyere over den midlertidige veifyllinga, ca. 1.2 m.

Spunkassen og den midlertidige fyllingen blir altså oversvømt hvis det kommer en middelflom. Det er gjort beregninger for mindre vannføringer, og resultatene viser at

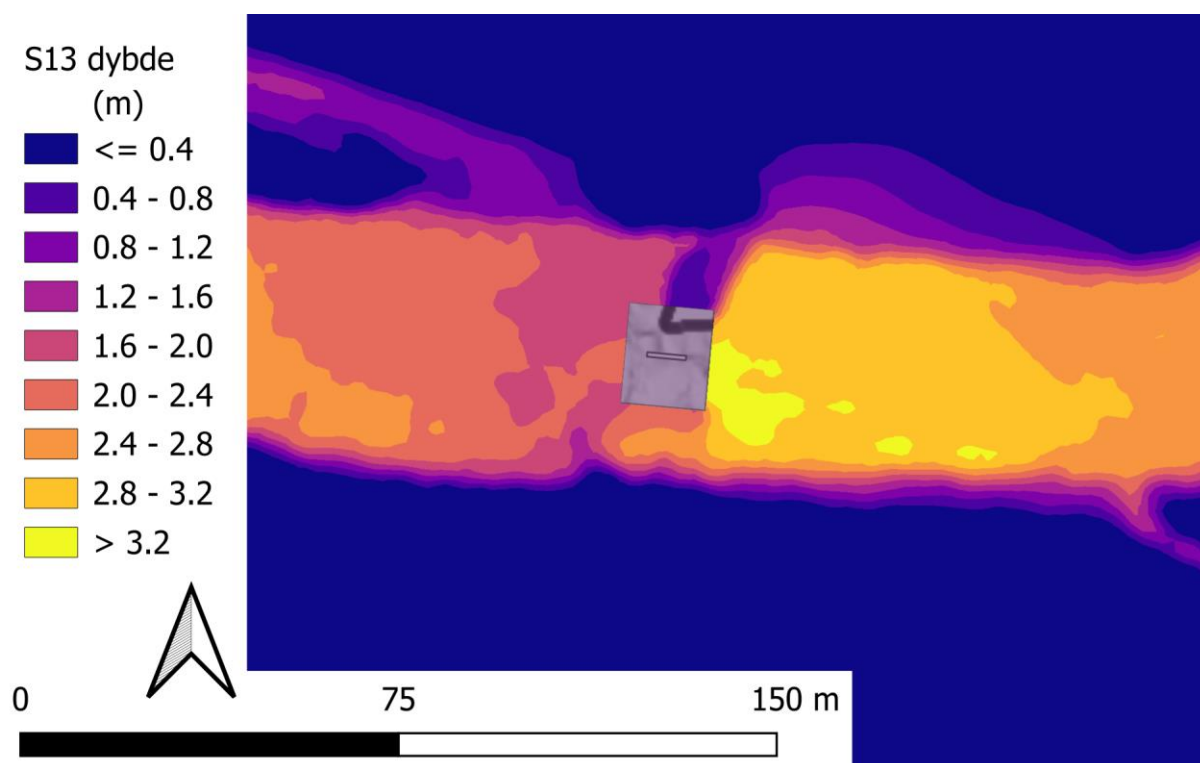
fyllingen blir oversvømt ved 50 m³/s i Gluggvasselva, ved vannstand i Vefsna på 42 moh., mens vannstanden i Gluggvasselva kommer på 43 moh. ved vannføring på 40 m³/s og vannstand i Vefsna på 42 moh.. Det er derfor svært viktig å følge med på værforhold og prognoser i denne fasen, slik at det blir tid til å evakuere området før flommen kommer. Konsentrasjonstida for nedbørfeltet er på 7 timer, det viser at nedbørfeltet responderer raskt på nedbør og snøsmelting.



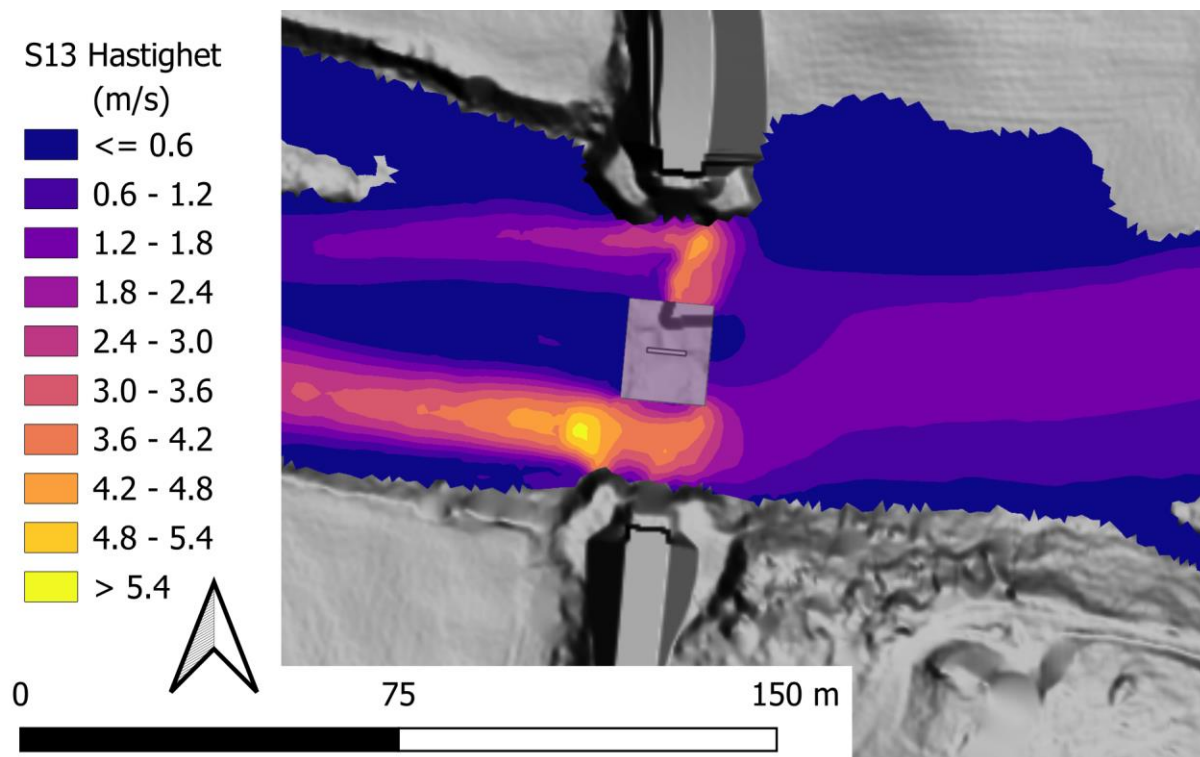
Figur 5-19: Bruområdet i byggetida, med fylling og spunkasse



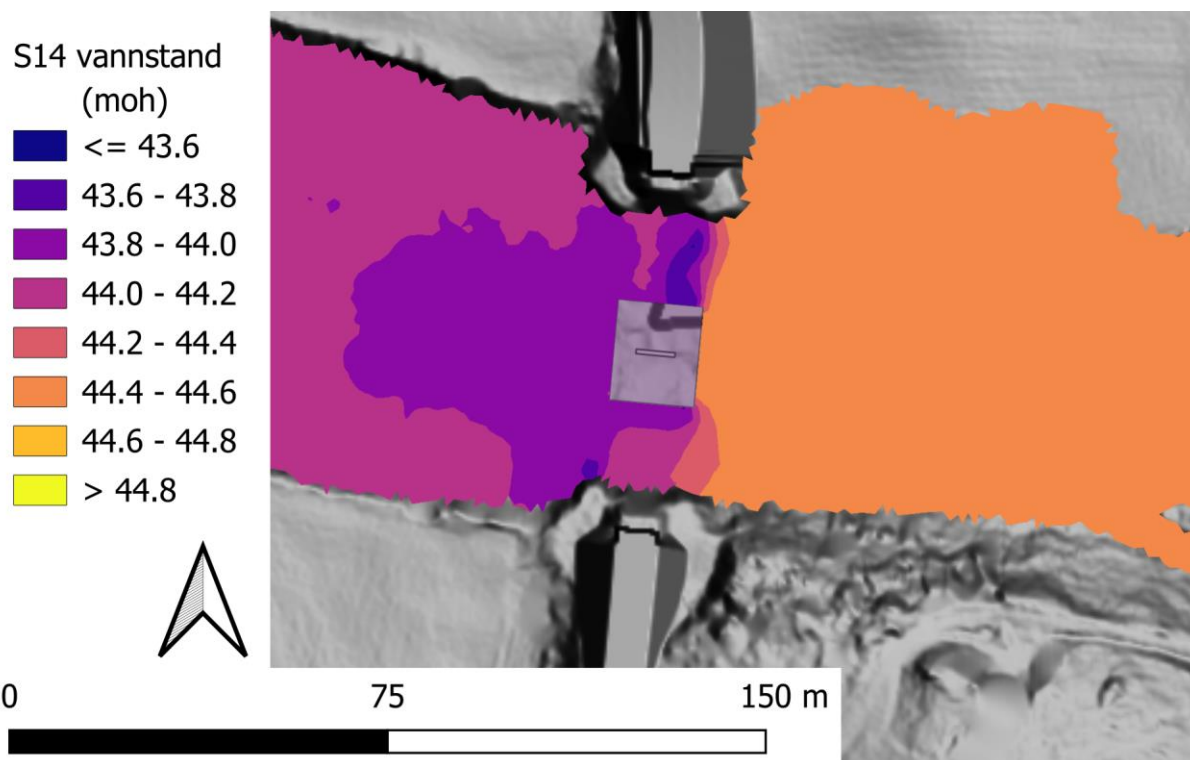
Figur 5-20: Vannstanden ved S13, med Q_m i Gluggvasselva og vannstand på 42 moh i Vefsna.



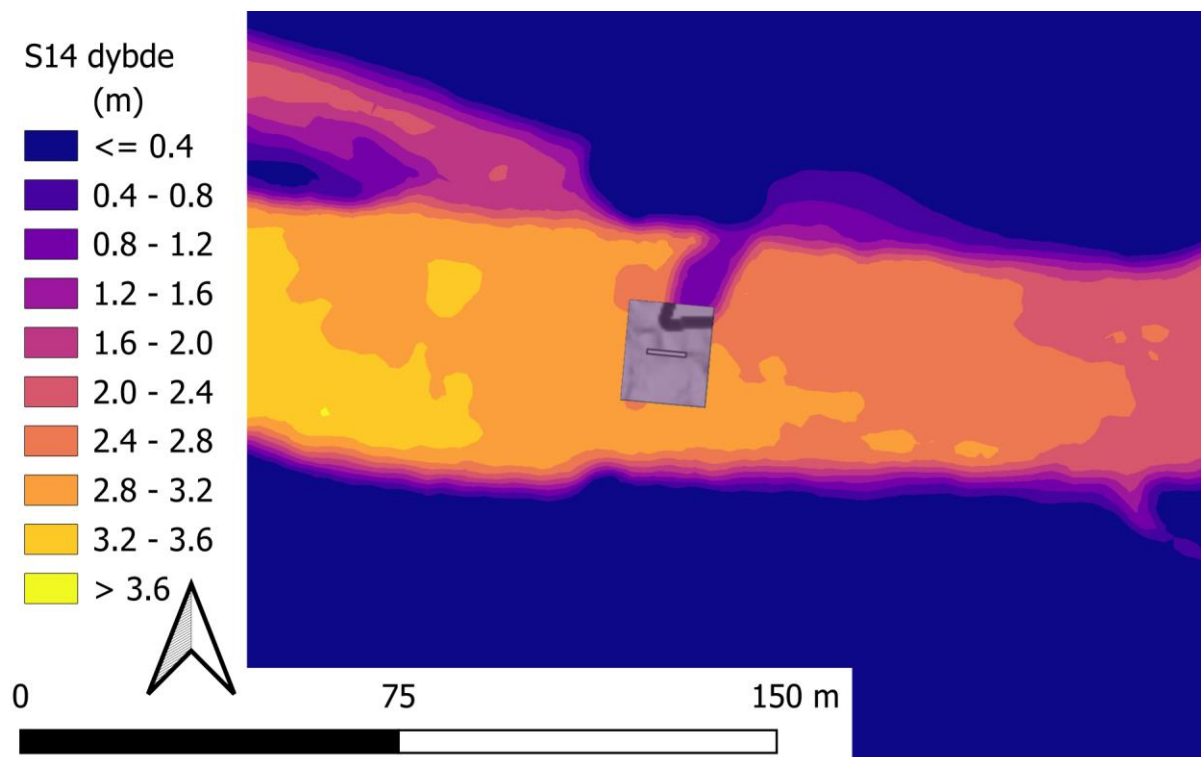
Figur 5-21 Dybden ved S13, med Q_M i Gluggvasselva og vannstand på 42 moh i Vefsna.



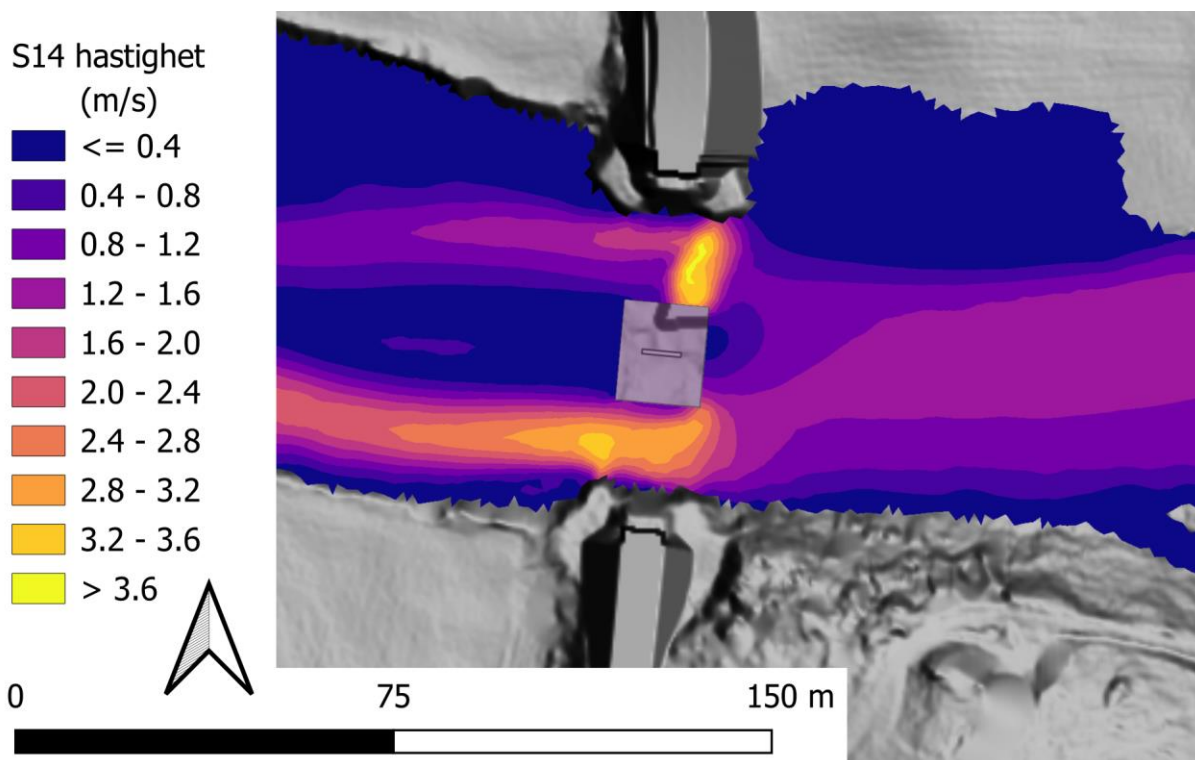
Figur 5-22: Hastigheten ved S13, med Q_M i Gluggvasselva og vannstand på 42 moh i Vefsna



Figur 5-23: Vannstanden ved S14, med Q_M i Gluggvasselva og vannstand på 44 moh i Vefsna.



Figur 5-24: Dybden ved S14, med Q_M i Gluggvasselva og vannstand på 44 moh i Vefsna.



Figur 5-25: Hastigheten ved S14, med Q_M i Gluggvasselva og vannstand på 44 moh i Vefsna.

5.2.4 Oppsummering resultater

Nøkkeltall fra resultatene fra simuleringene av hvert scenario er oppsummert i Tabell 5-3. Vannstandene og hastighetene i tabellen representerer høyeste verdi under eller rett ved brua. Laveste punkt på underkant brubjelke ligger på 49.4 moh. Bruen har 1.0 m fribord over dimensjonerende vannstand (S1) og 0.7 m over energilinjén.

Tabell 5-3: Resultater simuleringer ulike scenarier ved brupunkt Gluggvasselva

ID	Vannføring Gluggvass- elva (m ³ /s)	Vannstand Vefsna (moh.)	Vannstand bru (moh.)	Hastighet bru (m/s)	Energihøyde (moh.)
S1	474	48.1	48.3	1.8	48.6
S2	399	47.4	47.8	1.8	48.0
S3	399	45.5	45.8	2.6	46.1
S4	399	43.0	44.4	3.7	45.1
S5	399	40.7	44.4	3.7	45.1
S6	310	46.5	46.8	1.6	46.9
S7	310	44.0	44.5	2.9	44.9
S8	310	40.7	44.0	3.2	44.5
S9	212	45.5	45.6	1.4	45.7

S10	212	43.0	43.6	2.4	43.9
S11	212	40.7	43.6	2.4	43.9
S12	14	40.7	42	0.4	42.0
S13	151	42	44.5	5.5	
S14	151	44	44.6		
S15	474	48.1	48.3	1.6	48.4
S16	474	48.1	48.3	2.0	48.5
S17	399	43.0	44.4	3.7	45.1
S18	399	43.0	44.4	4.4	45.4

De tre viktigste simuleringene er S1, S2 og S4. For å finne fri høyde under brua er simulering S1 brukt. For dimensjonering av erosjonssikring av landkar, som beregnet i kapittel 6.3, er resultatet fra S2 brukt. For dimensjonering av erosjonssikring av pilar, som beregnet i kapittel 6.3, er resultatet fra S4 brukt.

5.2.5 Følsomhetsanalyser

For å vurdere usikkerheten av den hydrauliske modellen, har vi gjort følsomhetsanalyse med hensyn til ruheten på elvebunnen. I tillegg til simulering med $M = 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ er det gjort simulering med $M = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ og $M = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Endringene i ruhet fører til mindre enn 10 cm i vannstanden ved både Q_{200} og høy vannstand i Vefsna (S15 og S16), og ved Q_{50} og lav vannstand i Vefsna, (S17 og S18) som vist i Tabell 5-3. Endringen i ruhet har størst påvirkning på hastighetene.

5.3 Modellusikkerhet og sikkerhetspåslag

Kvaliteten til flom- og vannlinjeberegningene avhenger av flere faktorer, og det er flere kilder som introduserer usikkerhet i resultatene. For disse beregningene er følgende mest relevant:

- Usikkerhet i flomberegninger
- Valg av ruhet
- Kalibrering av den hydrauliske modellen

Flomberegningene er utført med flere metoder og det er valgt å legge vekt på frekvensanalyser på vannmerker ved bestemmelse av dimensjonerende flomstørrelser. Det er alltid usikkerhet knyttet til om utvalgte vannmerker representerer faktiske forhold for nedbørfeltet man utfører beregningene for. De utvalgte vannmerkene ligger i kort avstand (noen er fra nabovassdrag), har liknende karakteristikk som Gluggvasselve og har lange dataserier med god datakvalitet. Kvaliteten til hydrologiske datagrunnlaget er vurdert til klasse 2.

Den hydrauliske modellen er etablert ut ifra en detaljert oppmåling av elvebunn i kombinasjon med bildematching/lidar. Utenfor elva er det brukt Nasjonal detaljert høydemodell. Kvaliteten til høydegrunnlaget er vurdert som bra.

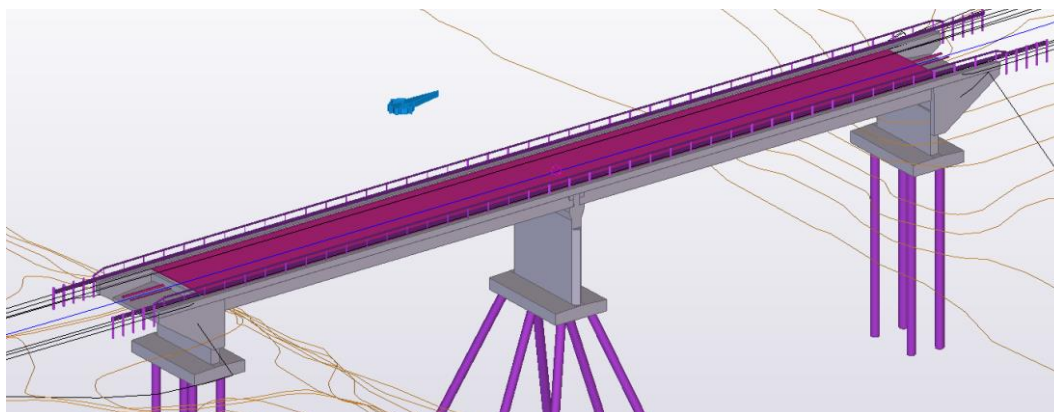
For å redusere usikkerheten i vannlinjeberegninger anbefales det å kalibrere hydrauliske modeller mot observerte forhold mellom vannføring og vannstander i flere tverrprofiler i elva. Kalibreringen utføres ofte ved å justere ruheten (Manningstallet), samt koeffisienter for energitap ved konstruksjoner o.l. i modellen til det er akseptabel overensstemmelse mellom observerte og simulerte vannstander innenfor modellområdet. Kalibrering er ikke utført siden det ikke har vært egnede data å oppdrive. Derimot er det gjort en følsomhetsanalyse på ruheten. Analysen viser at ruheten har svært liten innvirkning på vannstandene ved brua, noe som skaper trygghet rundt resultatene.

NVEs veileder 3/2022 «Sikkerhet mot flom» gir anbefalinger for sikkerhetspåslag på vannføringen basert på kvaliteten på den hydrauliske modellen og de hydrologiske beregningene. Flomberegningene er av klasse 2. Når det gjelder den hydrauliske modellen viser følsomhetsanalysen at endringer i vannstand er lavere enn 30 cm. Vi velger derfor å plassere modellen i klasse D, noe som ifølge tabell 10-2 i veilederen [9] vil kreve et sikkerhetspåslag på 20 %.

Siden det allerede er benyttet en sikkerhetsfaktor på vannføringen på 1.1, er det funnet rimelig å ikke benytte et ytterligere sikkerhetspåslag på beregnede vannstander siden endring av ruheten fører til vannstandsendringer under 10 cm.

6 Dimensjonering av erosjonssikring

Fyllinger må sikres mot erosjon fra både flom i Gluggvasselva og islaster fra isgang. Fundamentet til brupilaren må erosjonssikres for å unngå undergraving. Ny bru er prosjektert med brupilaren på en bunnplate av betong på stålpeiler som føres ned til berg. Pilarens har spiss nese på oppstrøms side, lengde 8.23 m og bredde 0.9 m. Bunnplaten har en tykkelse på 1.1 m og lengde og bredde på henholdsvis 9.0 m og 5.0 m.

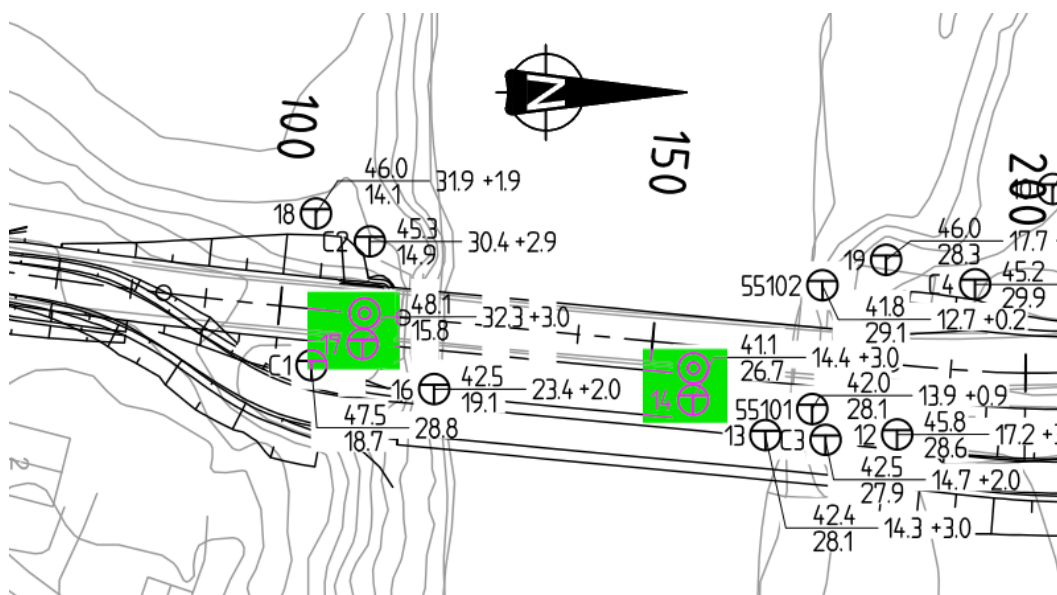


Figur 6-1: 3D-modell av ny Gluggvasselva bru

For dimensjonering av erosjonssikring er et stort spenn av vannføringer vurdering for å identifisere kombinasjonene som fører til de mest ugunstige forholdene for erosjon. Vannstander og hastigheter er henta fra den hydrauliske modellen som er nærmere beskrevet i kapittel 0. Erosjonssikringen er dimensjonert i henhold til krav og anbefalinger i vegnormalene, håndbok V221, NVEs digitale sikringshåndbok og NVEs veileder 4/09.

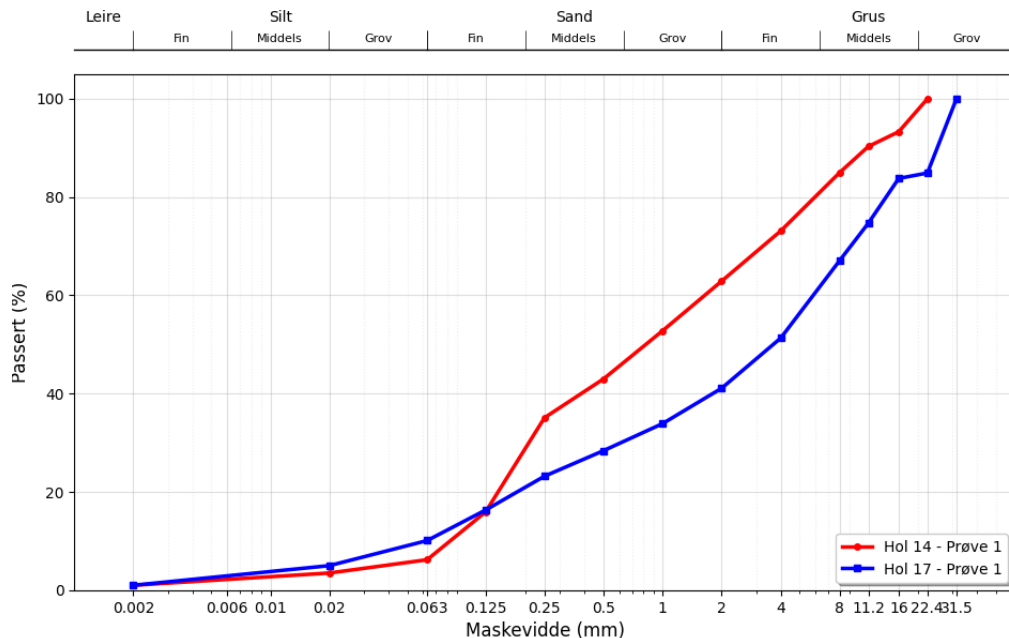
6.1.1 Grunnforhold

Statens Vegvesen har gjort grunnundersøkelser ved og under brua. Det ble gjort prøveserier to steder, nemlig på land rett ved søndre landkar og midt i elva, rett nord for den nye pilaren, vist som sted 14 og 17 på Figur 6-2.



Figur 6-2: Tegning som viser hvor det er gjort grunnundersøkelser ved brua

Resultatene fra prøvene er vist på Figur 6-3. Hull 14 har sandig grusig materiale og hull 17 har grusig sandig materiale.



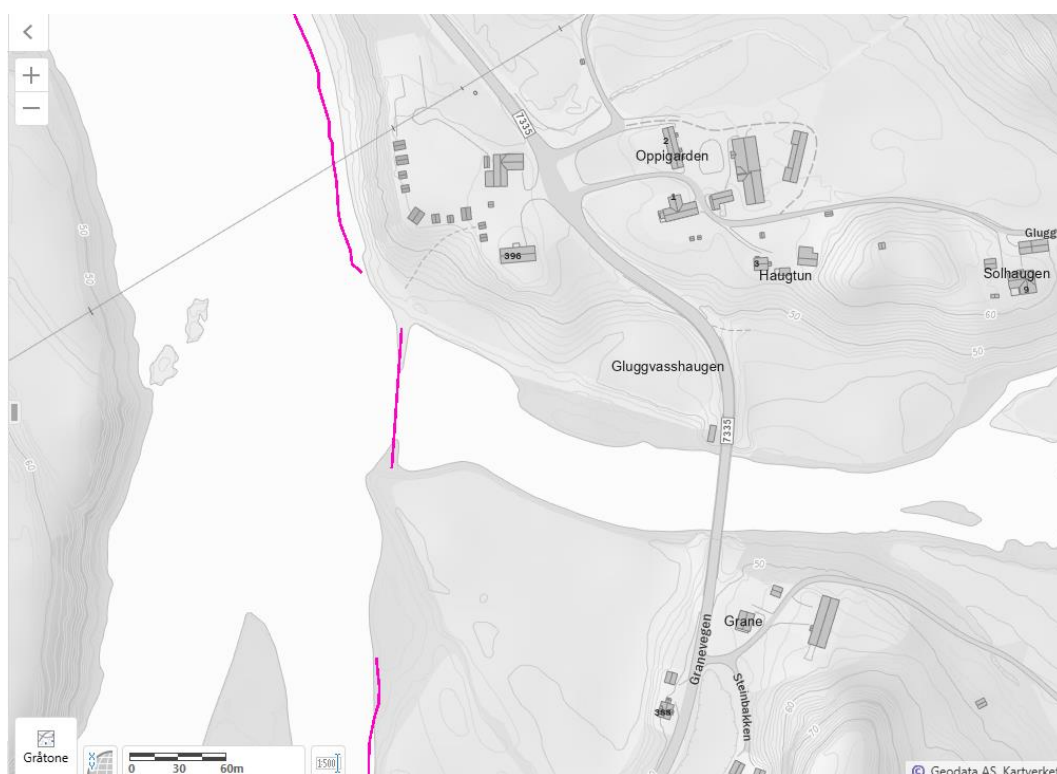
Figur 6-3: Kornfordeling, lag 1-2 for hol 14 og 17

6.1.2 Islaster

Det går is i både Vefsna og Gluggvasselve, vi legger på en faktor på 1.5 for å ta høyde for skuring av erosjonssikringa.

6.1.3 Eksisterende sikringsanlegg

Terskelen ved utløpet av Gluggvasselve fikk, sammen med noen hundre meter på østbredden av Vefsna, erosjonssikring i mai 2005, som vist på Figur 6-4. Terskelen som helhet var etablert tidligere enn dette.



Figur 6-4: Kart som viser hvor det tidligere er sikra langs Vefsna.

6.2 Beregningsgrunnlag for dimensjonering av erosjonssikring

Innholdet i dette delkapitlet er henta fra [10] og NVEs digitale sikringshåndbok.

6.2.1 Bunn- og sidesikring av elv og skråninger

Sikring av utsatte fyllingsskråninger og elveskråninger, samt elvebunn bør gjøres med et dekklag av sprengt stein, det kalles også skråningsvern. Dimensjonerende steinstørrelse for skråningsvern er gitt ved Maynords formel:

$$D_{30} = S_f C_s C_v C_t \gamma_0 \left[\left(\frac{1}{s-1} \right)^{0.5} \frac{V}{\sqrt{K_1 g \gamma_0}} \right]^{2.5} \quad (5-1)$$

Her er D_{30} stabil steinstørrelse, S_f er sikkerhetsfaktor (satt til 1.2), C_s er stabilitetskoeffisient (satt til 0.3), C_v er koeffisient for vertikal hastighetsfordeling, C_t er koeffisient for sikringstykkelse (satt til 1), V er lokal hastighet, γ_0 er vanndybde samme sted som V , s er steinens spesifikke tetthet, K_1 er koeffisient for skråningshelling og g er gravitasjonsakselerasjonen. D_{50} beregnes som $1.2 \cdot D_{30}$.

Tykkelsen til sikringen (t) skal være den største av 300 mm, $1.5 \cdot D_{50}$ eller D_{maks} . D_{50} angir midlere diameter på steinene. Graderingskravet for ensgraderte masser settes til $1.5 < \frac{D_{85}}{D_{15}} < 5$.

Maynords formel er gyldig for elver med helning opptil 2 % og sideskråninger med helning slakere enn 1:1.5.

6.2.2 Erosjonssikring ved landkar

For sikring rundt landkar, kan Barkdolls formel brukes:

$$D_{50} = \frac{K}{(s-1)} \frac{U^2}{g} \text{ for } F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} \leq 0.8 \quad (5-2)$$

$$D_{50} = \frac{K \cdot y}{(s-1)} \left(\frac{U^2}{gy} \right)^{0.14} \text{ for } F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} > 0.8 \quad (5-3)$$

Her er D_{50} stabil steinstørrelse, U er lokal hastighet, y er vanddybde samme sted som U , s er steinens spesifikke tetthet og g er gravitasjonsakselerasjonen. K er en faktor for formen på landkaret. For likning 5-2 er $K = 0.89$ for kjegleformet landkar og $K = 1.02$ for landkar med vertikal frontvegg, og for likning 5-3 er $K = 0.61$ for kjegleformet landkar og $K = 0.69$ for landkar med vertikal frontvegg. Landkarene på Gluggvasselve bru blir kjegleformede.

6.2.3 Erosjonssikring rundt brupilar

Nødvendig steinstørrelse for sikring av brupilar beregnes med Lagasses formel:

$$D_{50} = K_f \cdot \frac{0.692 \cdot V_{\text{lokal}}^2}{2 \cdot g \cdot (s-1)} \quad (5-4)$$

der D_{50} er midlere steinstørrelse (m), K_f er formfaktor for brupilaren, s er steinens spesifikke tetthet, g er gravitasjonsakselerasjonen (m/s^2), y er lokal vanddybde samme sted som U (m), V_{lokal} er lokal vannhastighet rett oppstrøms brupilaren (m/s). Formfaktoren er 2.3 for pilar med rund eller spiss nese og 2.9 for butt nese [10].

Sikringen må ha en tykkelse på minimum $3 \cdot D_{50}$ og største stein på $2 \cdot D_{50}$. Legges sikringen under vann anbefales det at tykkelsen økes med 50 %.

Erosjonen rundt en pilar skjer i en avstand mindre enn én pilardiameter, og når pilaren har ei bunnplate rundt seg, vil erosjonspotensialet være sterkt begrenset. Likevel anbefales det å sikre området rundt bunnplata for å hindre at det skjer erosjon i overgangen mellom bunnplata og elvebunnen. Kreftene vil være mye mindre her, og man kan bruke Maynords eller Shields formel for å finne nødvendig steinstørrelse. Shields formel:

$$D_c = \frac{\tau_{cr}}{g \rho_v (s-1) \theta_{cr}} \quad (5-5)$$

Der D_c er kritisk steinstørrelse (m), τ_{cr} er kritisk skjærspenning og θ_{cr} er det kritiske shields-tallet. For en uforstyrret kanalstrømning settes det kritiske Shields-tallet ofte til 0.056, men det aktuelle tilfellet er ikke fullstendig uforstyrret, da det vil oppstå en forsterkning av strømminga fra pilaren og direkte på bunnskjærspenningene på grunn av endringene i ruhet mellom elvebunn, erosjonssikring og bunnplate i betong.

For å ta hensyn til denne økte strømningsintensiteten må det kritiske Shields-tallet reduseres. Reduksjonen avhenger av den faktiske utformingen av pilaren og bunnplata, men dersom bunnplata dekker hele fotavtrykket til hesteskohvirvelen på oppstrøms- og tverrsiden av pilaren, kan det kritiske Shields-tallet settes til 0.028. Dette tilsvarer ei

forsterkning på 2 (forutsatt et kritisk uforstyrret Shields-tall på 0.056) for bunnskjærspenninga, eller rundt 1.4 for strømningshastigheten.

Erosjonsbeskyttelsen av bunnplata bør ha både tykkelse og utbredning på $2D_c$.

For ei vanlig elv med normalstrømning er kritisk skjærspenning:

$$\tau_{cr} = \rho_v g y S \quad (5-5)$$

Der S er hellinga på energilinja, som sammenfaller med bunnhellinga ved normalstrømning.

6.2.4 Krav til filterlag

Hvis det er stor forskjell på kornstørrelsen i erosjonssikringen og underliggende løsmasser, er et filterlag nødvendig for å forhindre utvasking av underliggende masser. Filterlaget må utformes slik at det er mer permeabelt enn underliggende masser. Det må også ha indre stabilitet. Filterkriteriene må oppfylles i både grenseflaten underlag-filter og i grenseflaten filter-erosjonssikring.

Krav til permeabilitet mot underliggende masser er gitt ved:

$$\frac{D_{15,f}}{D_{15,b}} > 1.5 \quad (5-6)$$

Krav til grenseflatestabilitet er gitt ved:

$$\frac{D_{15,f}}{D_{85,b}} < 5 \quad (5-7)$$

Krav til indre stabilitet i grusfilteret er gitt ved:

$$\frac{D_{60,f}}{D_{10,f}} < 10 \quad (5-8)$$

Her er $D_{15,f}$: 15 %-fraksjonen til filteret, $D_{15,b}$: 15 %-fraksjonen til underlaget, $D_{85,b}$: 85 %-fraksjonen til underlaget, $D_{10,f}$: 10 %-fraksjonen til filteret, $D_{60,f}$: 60 %-fraksjonen til filteret.

Filteret må ha en minimumstykkelse på $4D_{50,f}$ og ikke mindre enn 150 mm. Dersom det er vanskelig å dimensjonere filter på grunn av stor gradient mellom erosjonssikring og underlag, eller for å spare plass, kan filter av geotekstil vurderes.

6.3 Dimensjonerende steinstørrelser

Dimensjonerende steinstørrelser er beregnet langsmed landkarene og pilarene. Vi har brukt dybder og hastigheter for alle punkter rundt brua og beregnet steinstørrelser basert på dybder og hastigheter for resultater fra simuleringer av scenariene S2 til S12. Scenariene er beskrevet i kapittel 5.2, men hastighetene i Tabell 5-3 er maksimumsverdier, mens vi bruker lokale maksverdier for hastigheter og korresponderende dybder ved pilar og landkar for å beregne steinstørrelser.

Parameterverdier benyttet til beregning steinstørrelser for bunn- og sidesikringer med Maynords formel er oppsummert i Tabell 6-1. Det er tatt utgangspunkt i en

skråningshelning på 1:1.5, hvilket er den maksimale anbefalte helningen på erosjonssikring med ordnet steinlag. For beregninger med Barkdoll er det benyttet samme verdier som for Maynard og koeffisient for landkar med kjegleformet frontvegg. Resultatene av beregningene er oppsummert i Tabell 6-2. Det dimensjonerende tilfellet for Maynard og Barkdoll er S2, og for Lagasse for pilarer er det S4.

Tabell 6-1: Parameterverdier brukt for beregning av steinstørrelser med Maynords formel

Parameter	S_f	s	C_{st}	C_V	C_T	K_1
Kommentar	Minimum	Vanlig verdi	Kantet stein	Rett elv	Ett sikringslag	Antar 1:1.5
Verdi	1.2	2.6	0.3	1.0	1.0	0.7

Tabell 6-2: Oppsummering dimensjonerende steinstørrelser beregnet for alle tverrprofiler med Maynard og Barkdolls formler

	Dybder (m)	Hastighet (m/s)	Froude- tall	Maynard D_{50} (mm)	Barkdoll D_{50} (mm)	Lagasse D_{50} (mm)	Shields D_{cr} (mm)
Landkar	1.7	1.1	0.3	25	75		
Pilar	2.8	3.7	0.7	396		875	438

Det er tydelig forskjell på hastigheten ved landkaret og ved pilaren. For det første er skråninga ved landkaret bare oversvømt ved de høyeste vannstandene i Vefsna, og den nedstrøms høye vannstanden demper hastigheten i elva kraftig (strømningstverrsnittet går opp). For det andre er hastigheten mye høyere midt i elva enn ved bredden, slik at pilaren er utsatt for de høyeste hastighetene, uansett flomtilfelle. Dette fører også til at det trengs mye større stein som erosjonssikring midt i elva enn inne ved landkaret.

Lagasses formel for erosjonssikring ved pilaren er beregnet ut fra turbulensen og den påfølgende sterkere erosjonen som skjer rett rundt en pilar, mens Maynords og Shields formel tar utgangspunkt i stabil steinstørrelse på elvebunnen, uten forstyrrelser fra pilaren. Nå er hastigheten ved pilaren beregnet med et 2d-nett som tar hensyn til pilaren, og pilaren er prosjektert med en bunnplate som strekker seg 2.5 m til hver side fra senter pilar. Det trengs ingen erosjonssikring på bunnplata, men overgangen fra plata til elvebunnen bør sikres. Derfor er det vurdert som forsvarlig å bruke resultatene fra Shields og Maynard og sette D_{50} lik 400 mm på elvebunnen.

6.4 Utforming av erosjonssikring

Anbefalte steinstørrelser for erosjonssikringen av landkar og pilarer er vist i Tabell 6-3. På grunn av faren for isgang i Gluggvasselva, er dimensjonerende steinstørrelse for sikring av landkarene multiplisert med en sikkerhetsfaktor på 1.5. Dersom sikringen skal legges ut under vann, må tykkelsen økes med 50 %.

Grunnundersøkelser ved søndre landkar og på elvebunnen ved ny pilar viser at underlaget består av grusig sandig materiale. [11] Dette er ganske grovt materiale, så vi

vurderer at det ikke er behov for filterlag mellom erosjonssikring og underlag ved landkaret. Det blir både god permeabilitet, god grenseflatestabilitet og underlaget er velgradert, med $C_u = 19.8$. Ved pilaren foreslår vi filter som vist i Tabell 6-3.

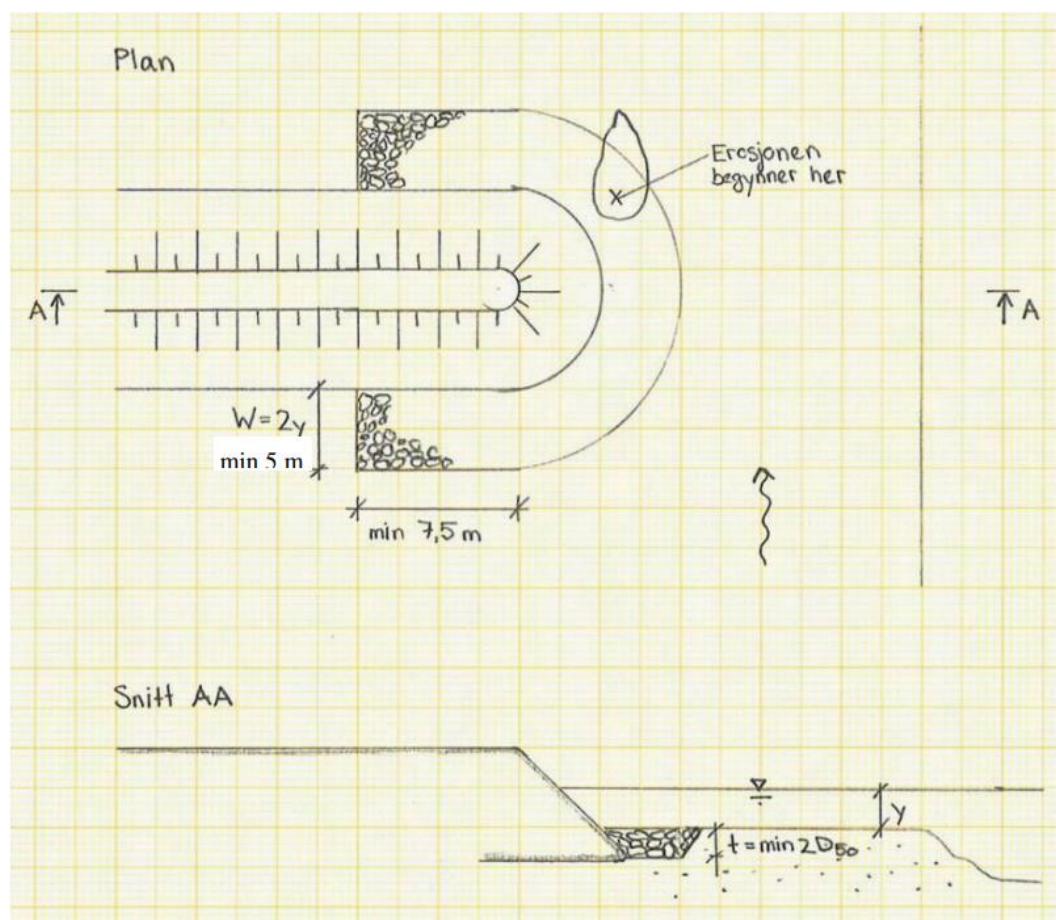
Sikringen av landkarene kan utføres som ordna steinlag av velgraderte samfengte sprengmasser som f.eks. 0/400 mm. Sikringen av randen langs bunnplaten til pilaren kan utføres som ordnet steinlag med filterlag mellom sikringen og underlaget.

Tabell 6-3: Anbefalt utforming erosjonssikring

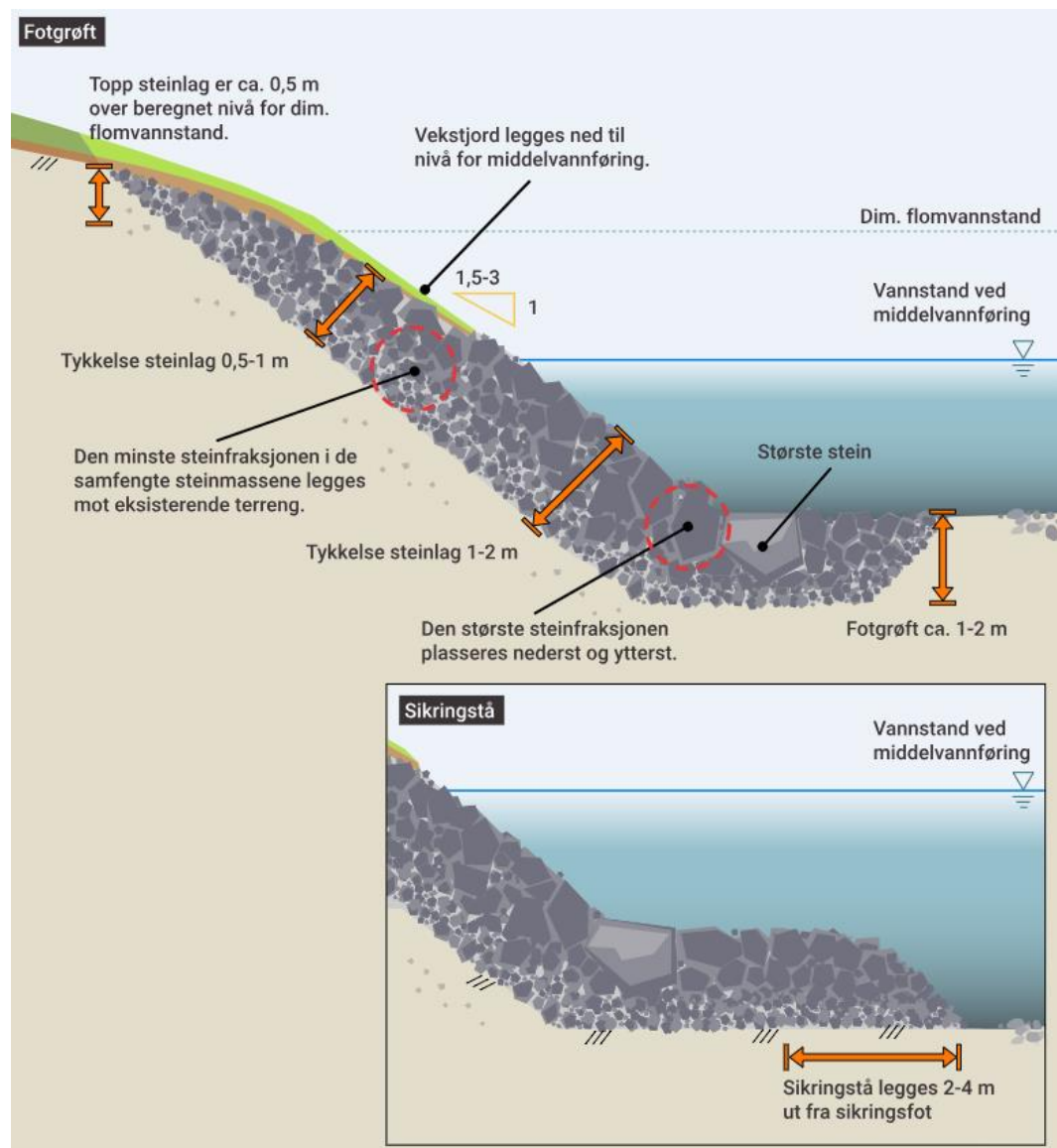
Lag	D ₁₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₅ (mm)	D _{maks} (mm)	Tykkelse, t (mm)
Sikring ved landkar	70	115	170	270	450
Sikring ved pilar	240	400	600	950	1200
Filterlag ved pilar	20	50	120		400

Følgende anbefales for utformingen av erosjonssikringen av landkar:

- Sikringen ved landkaret og veifyllinger må trekkes opp til en høyde på minimum lik dimensjonerende vannstand (48.3 moh.). Det anbefales imidlertid at sikrings føres opp til energinivået som ligger på 48.6 moh.
- Sikringen av landkaret legges med en utstrekning iht. Figur 6-5. Maksimal dybde inne ved landkaret er under 2.5 m slik at utstrekningen, B, blir 5 m. Sikringen tilpasses eksisterende steinmur.
- Det må etableres fotgrøft med dybde på 1 m i bunn av sikringen. Alternativ kan sikringstå vurderes for deler som legges under vann og tilkomst er vanskelig. Prinsippskisse vist i Figur 6-6.
- De største steinstørrelsene legges i bunn og størrelsene kan avtrappes med høyden siden strømningskreftene er størst ved sikringsfoten.



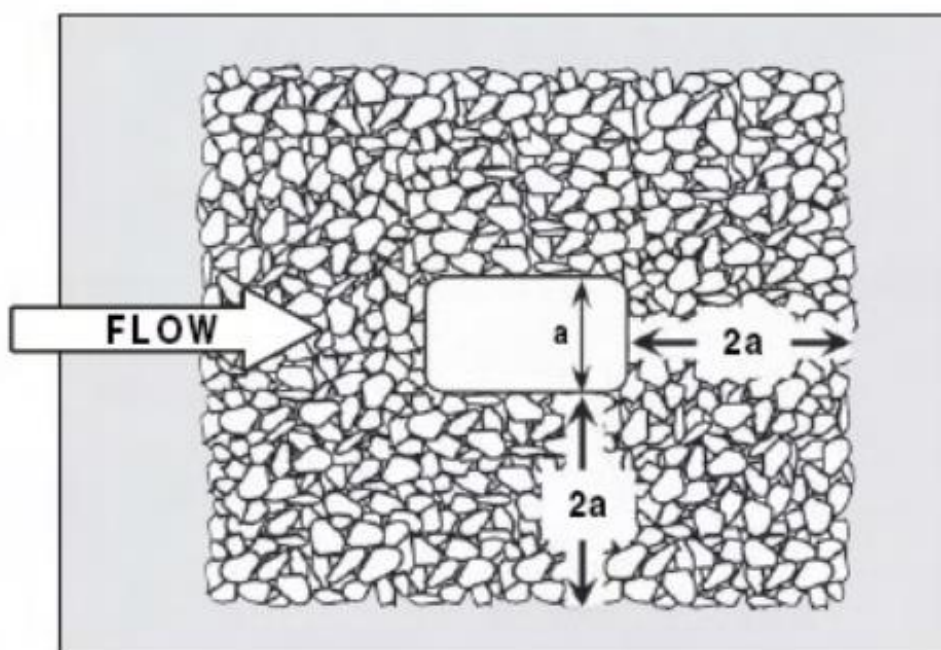
Figur 6-5: Prinsippskisse utstrekning av erosjonssikring ved landkar [10]



Figur 6-6: Prinsippskisse for erosjonssikring av ordna steinlag med fotgrøft og sikringstå [12]

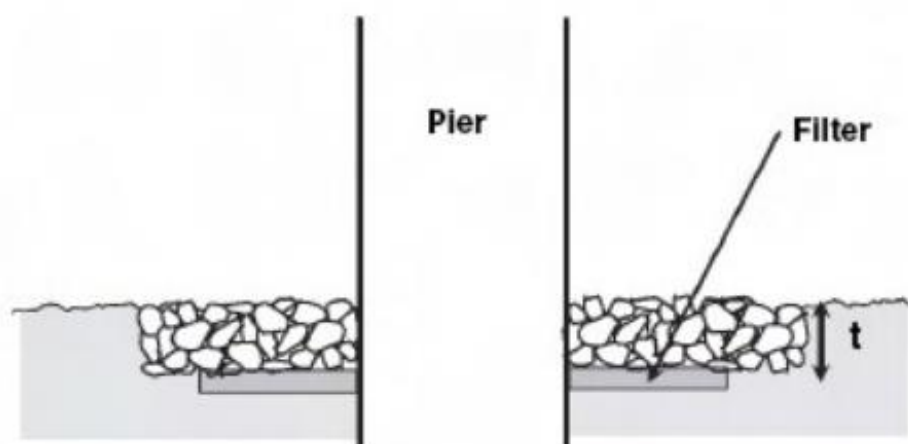
Følgende anbefales for utformingen av sikringen rundt brupilaren:

- Sikringen plasseres i en grop i elvebunnen og topp sikring plasseres i nivå med eksisterende elvebunn.
- Sikringen må dekke et område som er minst 2 ganger brupilarens bredde i alle retninger langs med kanten av bunnplaten, og minst 2 m til hver side, som vist på Figur 6-7.
- Sikringen kan utføres som ordnet steinlag av velgraderte masser.
- Det må være filterlag mellom sikringen og underlaget.
- Det er ikke nødvendig med sikring over bunnplaten, men det kan vurderes å plassere stein på toppen av støpen av estetiske årsaker.



Pier width = "a" (normal to flow)

Riprap placement = 2 (a) from pier (all around)



Figur 6-7: Prinsipp for sikring rundt bropilar [10]

6.5 Erosjonssikring av midlertidig fylling

Hastigheten over den midlertidige veifyllinga ut til spunkassen i byggetida blir opptil 5.2 m/s ved vannstand i Vefsna på 42 moh, og dybden blir ca. 0.5 m. Med helling på 1:1.5, gir Maynords formel teoretiske dimensjoner for skråningsvern som vist i Tabell 6-4.

Tabell 6-4 Skråningsvern for midlertidig fylling

Lag	D ₁₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₅ (mm)	D _{maks} (mm)	Tykkelse, t (mm)
Sikring ved midlertidig fylling	960	1600	2400	3800	3800

Det blir ganske store størrelser, og man må vurdere hvor stabil man ønsker at fyllinga skal være. Det kan være fornuftig å velge mindre steinstørrelser ut fra erfaring og skjønn. De mest utsatte områdene i fyllinga er langs det innsnevrede elveløpet og særlig over nedstrøms kant av kjørebane, se Figur 5-22 og Figur 5-25. I praksis vil man gjerne bruke samfengt sprengstein i fyllinga, og prøve å sortere ut de største steinene til skråningsvern, for eksempel med diameter på 0.5-1 m.

7 Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Håndbok N400 Bruprosjektering,» 2025.
- [2] Statens vegvesen, «Håndbok N200 Vegbygging,» 2024.
- [3] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Veileder for flomberegninger,» 2022.
- [4] Multiconsult, «Dambruddsbølgeberegningsrapport Gluggvassdammen,» 2016.
- [5] Klimaservicesenteret, «Klimaprofil Nordland,» 2025. [Internett]. Available: <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/nordland#hydrologi>.
- [6] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Rapport 85/2016. Utvalg og kvalitetssikring av flomdata for flomfrekvensanalyser,» 2016.
- [7] Norges vassdrags- og energidirektorat, «1/2025 Veileder for flomberegninger,» 2025.
- [8] DHI, «E6 Helgeland Svenningelva-Lien - Flom- og vannlinjeberegninger Valryggen bru,» 2022.
- [9] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Rapport 3/2022 Sikkerhet mot flom,» NVE, Oslo, 2022.
- [10] L. Jenssen og E. Tesaker, «Veileder 4/09 Dimensjonering av erosjonssikringer av stein,» NVE, Oslo, 2009.
- [11] Statens vegvesen, «Geoteknikk - Gluggvasselv bru - Datarapport,» 2025.
- [12] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Sikringshåndboka,» [Internett]. Available: <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/>.
- [13] Sweco, «Flomberegninger for dam Herand,» 2012.
- [14] Statkraft Energi AS, «Flomberegninger for Kvanngrovatn, Juklavatn og Svartadalsvatn,» 2011.
- [15] K. Engeland, P. Glad, B. H. Hamududu, H. Li, T. Re, «Lokal og regional flomfrekvensanalyse,» NVE Rapport 10/2020, 2020.
- [16] P. A. Glad, T. Reitan og S. Stenius, «Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt,» NVE rapport 13-2015, 2015.
- [17] Multiconsult, «Flomberegning, Dam Røssvatn,» 2012.