asplan viak

Statens vegvesen

FLÅBRUA I GEIRANGER

FLOM – OG VANNLINJEBEREGNING

Dato: 08.07.2019
Versjon: 01

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver: Statens vegvesen
Tittel på rapport: 15-0127 Flåbrua - Hydrologirapport
Oppdragsnavn: H-058 Fire bruer - Geirangervegen
Oppdragsnummer: 610421-19
Utarbeidet av: Hareg Haile Chernet
Oppdragsleder: Åsta Gurandsrud Hestad
Tilgjengelighet: Åpen

Kort sammendrag

Det er utført flomberegning og vannlinjeberegning for 15-0127 Flåbrua i Stranda kommune, Møre og Romsdal, i forbindelse med ombygging/forsterkning av brua. Beregningene viser at den eksisterende brua har tilstrekkelig kapasitet til å avlede 200-årsflom med klimatillegg.

01	05.07.19	Nytt dokument	HHC	ÅGH
VERSJON	**DATO**	**BESKRIVELSE**	**UTARBEIDET AV**	**KS**

Forord

Som en del av rammeavtalen med Statens vegvesen Region midt, er det utført hydrologisk og hydraulisk vurdering av 15-0127 Flåbrua i Stranda kommune, Møre og Romsdal.

Beregninger og rapport er utarbeidet av Hareg Haile Chernet og kontrollert av Åsta Gurandsrud Hestad. Kontaktperson hos Statens vegvesen har vært Hanne Gundersen. Oppdragsleder hos Asplan Viak har vært Åsta Gurandsrud Hestad.

Trondheim, 08.07.2019

Hareg Haile Chernet
Utfører

Åsta Gurandsrud Hestad
Kvalitetssikrer

Innhold

1. INNLEDNING 4

2. FLOMBEREGNING 4

2.1. Flomskapende sesong og flomregime 4
2.2. Klimatillegg 5
2.3. Nedbørfelt 6
2.4. Referansestasjoner 6
2.5. NIFS-formelverk 8
2.6. Flomfrekvensanalyse 8
2.7. Hydrologisk flommodell – PQFLOM 10
2.7.1. Snøsmelting 10
2.7.2. Nedbørforløp 11
2.7.3. Flomberegning 11
2.8. Evaluering av flomberegninger 11

3. VANNLINJEBEREGNING 12

3.1. Geometri og elvemodell 12
3.2. Brugeometri 13
3.3. Ruhetsverdier (Mannings tall, n) 14
3.4. Grensebetingelser 14
3.5. Kalibrering 14
3.6. Resultat fra Vannlinjeberegning, eksisterende situasjon 14
3.7. Sensitivitetsanalyse og sikkerhetsmargin 15
3.8. Kapasitetsvurdering av Flåbrua - eksisterende lysåpning 16

4. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER FOR NY BRUPROFIL 18

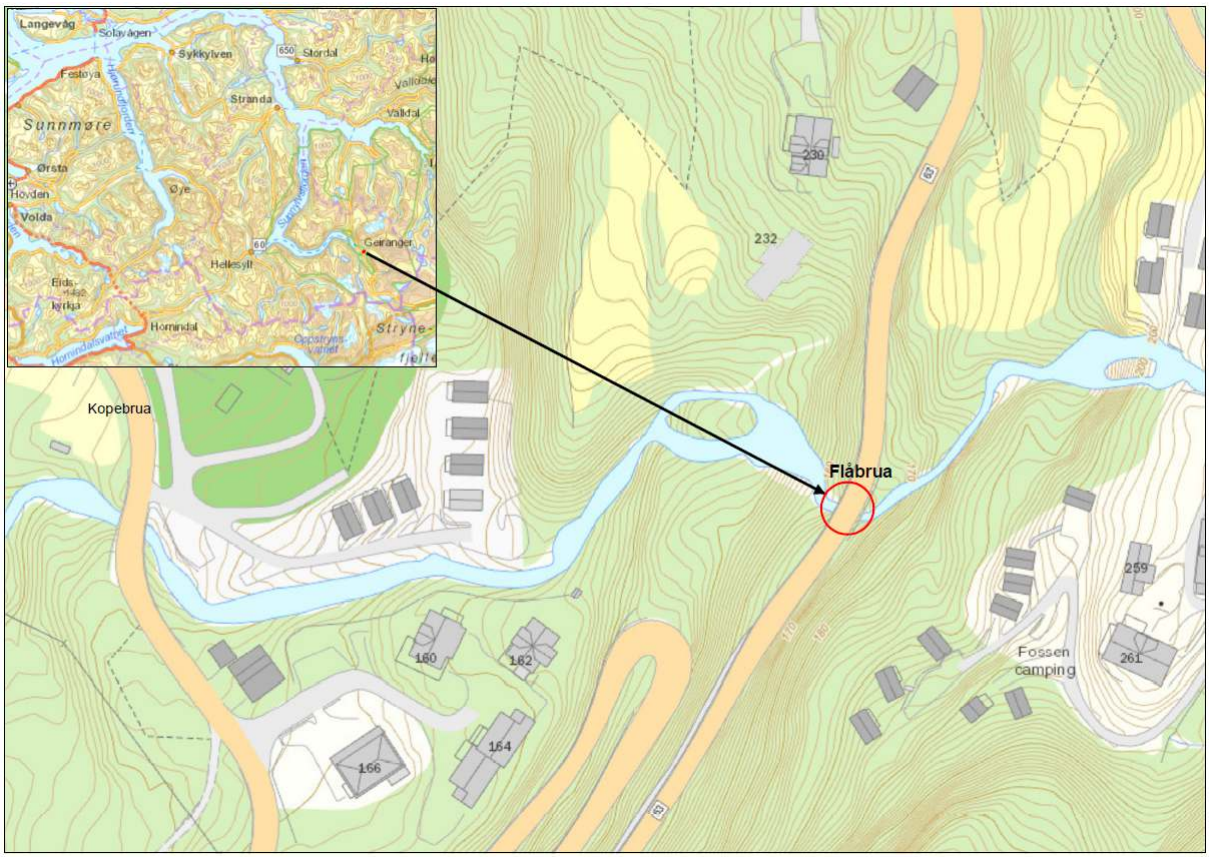
5. KILDER 19

6. VEDLEGG 20

1. INNLEDNING

Som en del av rammeavtalen med Statens vegvesen Region midt er det utført hydrologisk og hydraulisk vurdering av 15-0127 Flåbrua i Stranda kommune, Møre og Romsdal. Elva som renner ned mot FV 63 er Grinddalselva. Flåbrua er en steinhvelvbru.

Det skal vurderes nødvendig lysåpning og høyde (gjennomløpstverrsnitt) for 50-, 100-, og 200-årsflom med nødvendige klimatillegg. Oversiktskart over brustedet er vist i Figur 1-1.



Figur 1-1: *Oversiktskart over bruområdet.*

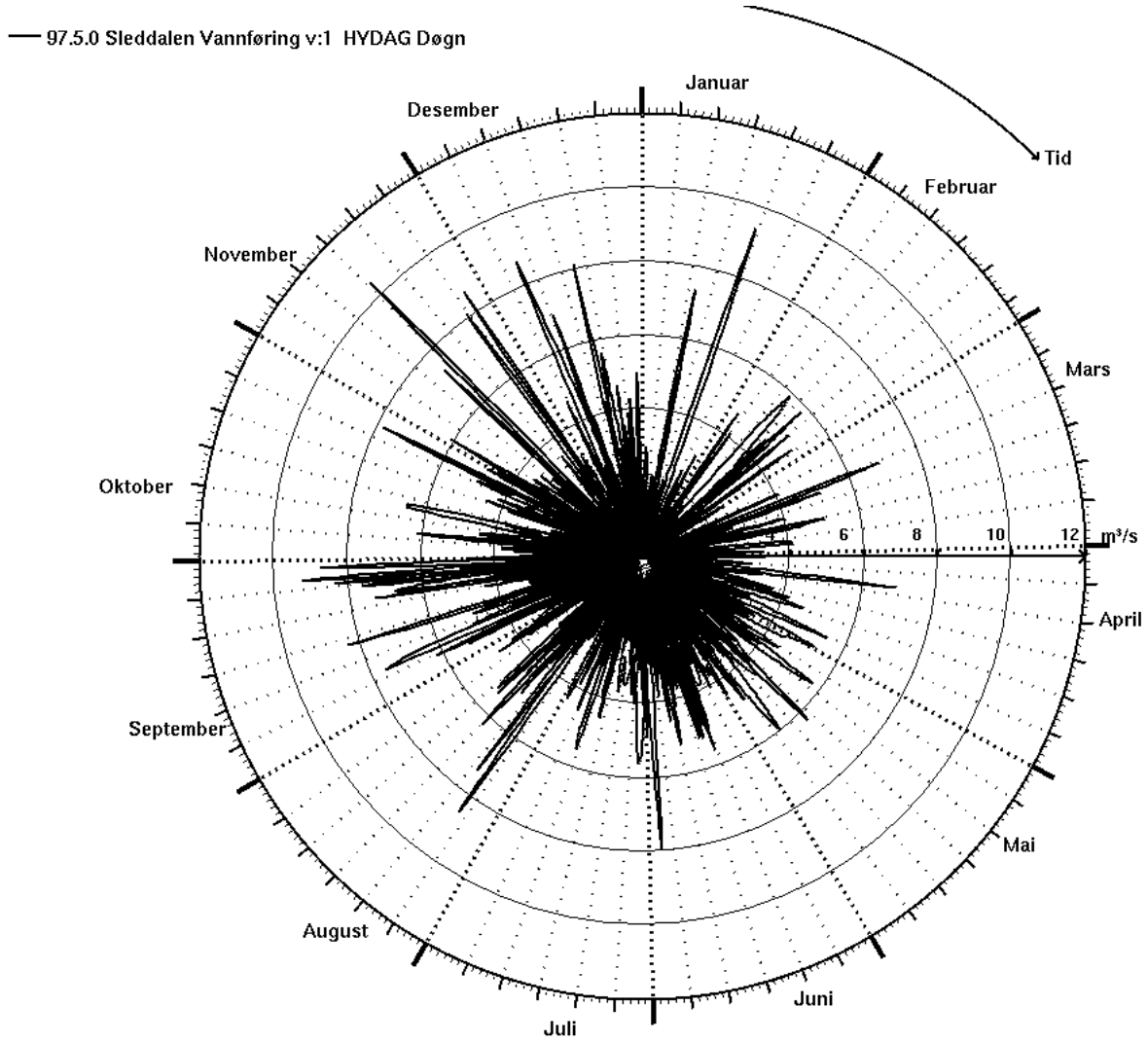
2. FLOMBEREGNING

En flomberegning bestemmer sammenhengen mellom flommens gjentaksintervall og tilhørende vannføring. Vannføringen kan deretter brukes til å bestemme vannstand og vannhastigheter gjennom en hydraulisk modell. Det er beregnet 50-, 100- og 200-årsflom i henhold til krav i NVEs retningslinjer for flomberegninger, Statens vegvesens Håndbok N200 og NVEs veileder for flomberegning i små nedbørfelt.

For å få et best mulig resultat for beregnet 50-, 100- og 200-årsflom, er flomberegningene basert på flere ulike beregningsmetoder. Disse er flomfrekvensanalyse med data fra målestasjoner i nærliggende vassdrag, flomformler for små nedbørfelt (NIFS-formelverk) og den hydrologiske flommodellen PQFLOM.

2.1. Flomskapende sesong og flomregime

Prosjektfeltene ligger i et område der høst – og vinterflommer dominerer (Pettersson, 2009). Figur 2-1 viser årspolarplott for målestasjon 97.5 Sleddalen i samme region som Flåbrua. De høyeste flomverdiene er registrert på høsten.



Figur 2-1 Årspolarplott for målestasjon 97.5 Sleddalen

2.2. Klimatillegg

I henhold til anbefaling i Håndbok N200 (SVV, 2018), er det lagt til en faktor F_k for å ta hensyn til fremtidig økning i nedbør som følge av klimaendringer, og faktor F_u for å ta hensyn til usikkerheten ved beregning av dimensjonerende avrenning $Q_{dim,T}$:

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

Der:

$Q_{dim,T}$ = Dimensjonerende avrenning for returperiode T (m^3/s)
Q_T = Beregnet avrenning for returperiode T (m^3/s)
F_k = Sikkerhetsfaktor for fremtidige klimaendringer
F_u = Sikkerhetsfaktor for usikkerhet ved beregningsmetode

For Møre og Romsdal anbefales en klimafaktor F_k 1,4 for alle nedbørfelt med areal under 10 km^2. Sikkerhetsfaktor F_u for sikkerhetsklasse F2 er 1,1. I henhold til Byggteknisk forskrift TEK17 § 7-2, er 200 - årsflom dimensjonerende vannføring for sikkerhetsklasse F2.

Det er ikke spesifisert hvilken sikkerhetsfaktor som skal brukes for 50 - og 100 - årsflom, og sikkerhetsfaktor 1,0 er brukt for 50 - og 100 - årsflommen.

2.3. Nedbørfelt

Grinddalselvas nedbørfelt til punktet rett nedstrøms Flåbrua, er 10,3 km^2 stort. Feltparametere for nedbørfeltene er vist i

Tabell 2-1. Felt og feltparametere er beregnet ved bruk av NVE programmet «NEVINA». Feltgrenser og detaljert informasjon om feltparameterne, er vist i Vedlegg 1.

Tabell 2-1: *Feltparametere for nedbørfeltet til rett nedstrøms Flåbrua (15 – 0127).*

Felt	**Feltareal** km^2	**Skog** %	**Dyrket mark** %	**Snaufjell** %	**Myr** %	**Eff. sjø** %	**q_N *** l/s/km^2	**H_{min}/H_{max}** m.o.h	**Median høyde** m.o.h
Flåbrua	10,2	7,5	0,0	88,7	2,9	0,1	62,8	144/1770	1182

**Spesifikk middelavrenning beregnet fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990.*

2.4. Referansestasjoner

Det foreligger ingen kjente vannføringsmålinger i det aktuelle nedbørfeltet. Flomberegningen er derfor basert på dataserier fra målestasjoner i nærliggende vassdrag. Figur 2-2 viser beliggenheten til målestasjonene. Karakteristiske feltdata til utvalgte referansestasjoner er vist i Tabell 2-2. Hypsografisk kurve for stasjonene er vist i Figur 2-3 sammen med hypsografisk kurve for det aktuelle feltet.

Tabell 2-2: *Feltparametere til nedbørfelt til referansestasjoner.*

Felt	**Felt areal** km^2	**Skog** %	**Dyrket mark** %	**Snau-fjell** %	**Myr** %	**Bre** %	**Eff. sjø** %	**q_N *** l/s/km^2	**H_{min}/H_{max}** m.o.h	**Median høyde** m.o.h
91.2 Dalsbøvatn	25,7	3,7	1,3	66,5	3,0	0	4,8	64,7	47/532	252
97.5 Sleddalen	9,4	27,3	2,5	61,9	3,4	2,9	0,0	73,8	318/1380	744
103.20 Isa V/Morstøl	44,3	18,2	0,4	72,6	0,4	4,5	0,3	68,8	110/1723	912
104.22 Midtre Mardalsvatn	13,3	0,0	0,0	83,0	0,0	5,9	4,2	57,0	881/1575	1132
109.35 Håkådalselv	23,5	0,0	0,0	90,5	0,2	0,9	2,7	40,4	906/1866	1341
111.10 Nauståa	24,4	5,2	0,0	85,2	0,9	0	0,3	70,8	219/1373	943
114.1 Myra	16,6	38,6	1,8	43	13,2	0	0,0	47,1	29/891	217
Flåbrua	10,2	7,5	0,0	88,7	2,9	*0*	*0,1*	62,8	144/1770	1182

**Spesifikk middelavrenning beregnet fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990.*

Målestasjon 91.2 Dalsbøvatn ligger ca. 106 km vest for Flåbrua. Dalsbøvatn har høyere feltareal, litt høyere middelavrenning og mye større effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Datakvaliteten antas å være god.

Målestasjon 97.5 Sleddalen ligger ca. 40 km vest for Flåbrua. Sleddalen har litt mindre feltareal, høyere middelavrenning og null effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Målestasjonen har vært i kontinuerlig drift siden 1998. Datakvaliteten antas å være god.

Målestasjon 103.20 Isa V/Morstøl ligger ca. 68 km nord for Flåbrua. Isa V/Morstøl har høyere feltareal, litt høyere middelavrenning og litt høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Vannføringskurven på flom er vurdert som middels god.

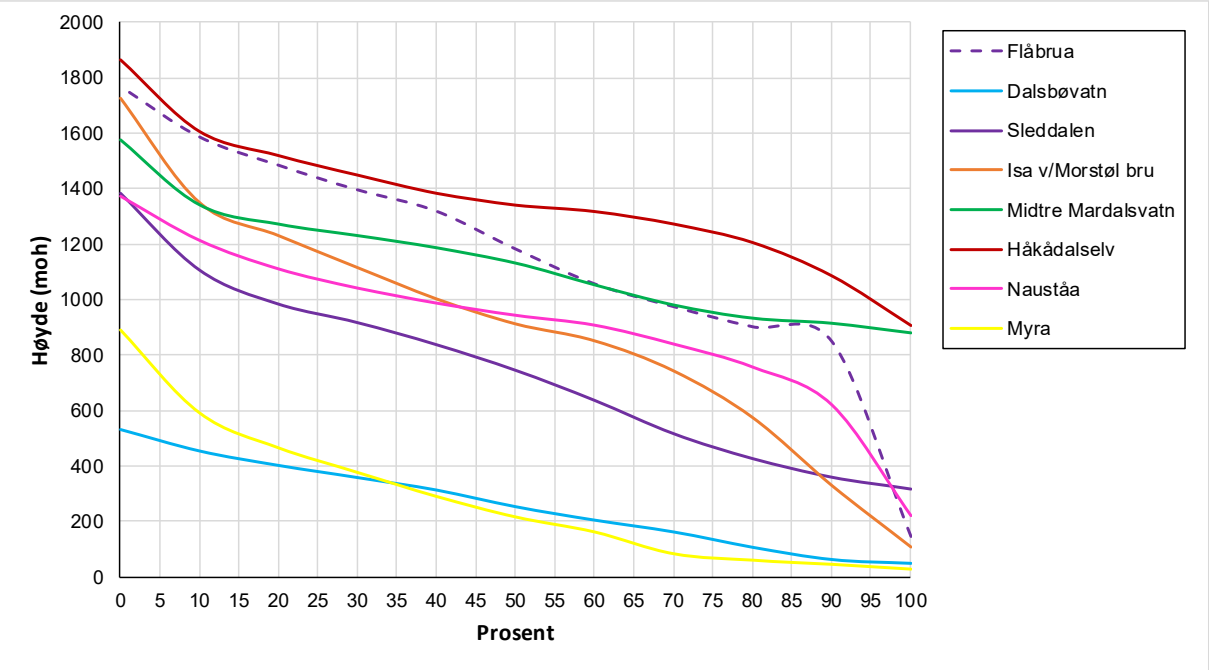
Målestasjon 104.22 Midtre Mardalsvatn ligger ca. 65 km nord for Flåbrua. Midtre Mardalsvatn har litt høyere feltareal, mindre middelavrenning og mye større effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Feltet har også en andel bre. Vannføringskurven på flom er vurdert som bra.

Målestasjon 109.35 Håkådalselv ligger ca. 81 km nord for Flåbrua. Håkådalselv har høyere feltareal, mindre middelavrenning og høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Vannføringskurven på flom er vurdert som middels god.

Målestasjon 111.10 Nauståa ligger ca. 115 km nord for Flåbrua. Nauståa har høyere feltareal, høyere middelavrenning og litt høyere effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Vannføringskurven på flom er vurdert som dårlig.

Målestasjon 114.1 Myra ligger ca. 127 km nordvest for Flåbrua. Myra har høyere feltareal, lavere middelavrenning og null effektiv sjøprosent sammenlignet med Grinddalselvas nedbørfelt ved Flåbrua. Vannføringskurven er vurdert å være dårlig på flom og lavvann.

Figur 2-2: *Oversikt over nærliggende målestasjoner.*



Figur 2-3: *Hypsografiske kurver for nedbørfeltet til Grinddalselva ved Flåbrua og utvalgte målestasjoner. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde.*

2.5. NIFS-formelverk

NVE har utviklet et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og vekstkurver for felt < 50 km^2 (NVE, 7/2015). Formelverket er basert på regresjonsanalyser, og er testet på over 4000 nedbørfelt. Inngangsparameterne til formelen er feltareal, midlere avrenning og effektiv sjøprosent. Det henvises til NVE (2015) for beskrivelse av formelverket. Formlene blir benyttet for nedbørfeltene når feltarealene er < 50 km^2.

Ved beregning av middelflom med formelverket er den spesifikke middelvannføringen (q_M), og dermed middelvannføringen i m^3/s en stor kilde til usikkerhet. Vekstkurven som fås fra formelverket vurderes som robust og lite sensitiv for lokale variasjoner. Den anbefales derfor som et generelt førstevalg (NVE, 97/2015). Resultatene gitt av flomformlene fra NVE (7/2015) er vist i Tabell 2-3. Flomverdiene (medianverdi) er gitt som kulminasjonsverdier.

Tabell 2-3: *Beregnet 50- 100- og 200- årsflom basert på formelverk for små nedbørfelt, kulminasjonsverdier.*

Felt	**Areal**	**q_N**	**Q_M**		**Q_{50}/Q_M**	**Q_{100}/Q_M**	**Q_{200}/Q_M**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	km^2	l/s*km^2	l/s*km^2	m^3/s				m^3/s	m^3/s	m^3/s
Flåbrua	10,2	62,8	1169	11,93	1,96	2,24	2,55	23,33	26,67	30,46

2.6. Flomfrekvensanalyse

Det er utført flomfrekvensanalyse på nærliggende målestasjoner for å bestemme middelflom, Q_M, og vekstfaktorene Q_T/Q_M for nedbørfeltet til Grinddalselva ved Flåbrua. Tabell 2-4 gir beregnede spesifikke døgnmiddelverdier og vekstfaktorer beregnet fra data fra de aktuelle målestasjonene. Flomfrekvensanalysen er utført med beregningsprogram i NVEs database Hydra II.

Tabell 2-4: *Flomfrekvensanalyse for aktuelle målestasjoner, døgnmiddelverdi.*

Stasjon	**Ant.** år	**Areal** km²	$q_{M,\ døgn}$ l/s/km²	$Q_{M,\ døgn}$ m³/s	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	**Fordeling**
91.2 Dalsbøvatn	84	25,8	418,6	10,80	1,98	2,23	2,50	Log-GEV (max)
97.5 Sleddalen	50	9,4	508,5	4,78	2,46	2,84	3,25	GEV (L-mom)
103.20 Isa V/Morstøl	42	44,3	492,6	21,82	2,33	2,81	3,40	GEN-log (L-mom)
104.22 Midtre Mardalsvatn	40	13,3	550,4	7,38	1,73	1,95	2,20	GEV (L-mom)
109.35 Håkådalselv	29	23,5	385,1	9,05	1,70	1,82	1,95	Log (L-mom)
111.10 Nauståa	30	24,4	586,9	14,32	2,41	2,85	3,35	Log-GEV (L-mom)
114.1 Myra	30	16,6	638,6	10,60	1,61	1,72	1,82	Log-GEV (max)

Feltparameterne som effektiv sjøprosent, feltareal og middelvannføring har stor betydning ved valg av representative nedbørfelt for estimering av middelflom (NVE, 97/2015). Spesifikk middelflom varierer for stasjonene i området (Tabell 2-4) i størrelsesorden fra 385 l/s/km² til 638 l/s/km².

Nedbørfeltene som drenerer til målestasjonene Dalsbøvatn, Midtre Mardalsvatn og Håkådalselv har stor effektiv sjøprosent noe som generelt medfører flomdempning.

Nedbørfeltet til Sleddalen har null effektiv sjøprosent og høyere middelavrenning, nedbørfeltet til Isa V/Morstøl har litt høyere effektiv sjøprosent og litt høyere middelvannføring, nedbørfeltet til Myra har null effektiv sjøprosent og mindre middelvannføring, men disse stasjoner bør samlet sett være representative for dette feltet. Det er derfor brukt dataserier fra Sleddalen og Isa v/Morstøl. Middelflom q_M for nedbørfeltet til Grinddalselva ved Flåbrua settes derfor til 501 l/s/km².

Flomforholdene i et nedbørfelt påvirkes både av klimatiske og fysiografiske forhold. Ved valg av representativ frekvensfordeling for umålte felt, er det antatt at klimatiske forhold har størst betydning. Som representativ frekvensfordeling for Flåbrua nedbørfelt er det valgt å bruke gjennomsnitt av flomfrekvensfaktorene fra målestasjonene Sleddalen, Isa v Morstøl bru, Midtre Mardalsvatn og Håkådalselv. Ser en på de fire stasjonene, er middelverdi for vektskurven (Q_{50}/Q_M) lik 2,06; (Q_{100}/Q_M) lik 2,36 og (Q_{200}/Q_M) lik 2,7.

Tabell 2-5: *Beregnet 50- 100- og 200-årsflom (døgnmiddel) basert på flomfrekvensanalyse.*

Felt	**Areal**	q_N	**Eff. sjø**	Q_M		Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
	km²	l/s*km²	%	l/s*km²	m³/s				m³/s	m³/s	m³/s
Flåbrua	10,2	62,8	0,1	501	5,11	2,06	2,36	2,7	10,53	12,06	13,80

Flomfrekvensanalysen er utført på døgnmiddelverdier. Flommens kulminasjonsverdi kan estimeres fra forholdet mellom flommens kulminasjonsverdi (momentanverdi), Q_{mom} og døgnmiddel, $Q_{døgn}$.

I NVE (4/2011) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{mom}/Q_{døgn}$ og feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent) for vår- og høstsesong. Formlene er:

Vårflom: $Q_{mom}/Q_{døgn} = 1.72 - 0.17 \cdot \log A - 0.125 \cdot A_{SE}^{0.5}$

Høstflom: $Q_{mom}/Q_{døgn} = 2.29 - 0.29 \cdot \log A - 0.270 \cdot A_{SE}^{0.5}$

Der A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent. Resultatene presenteres i Tabell 2-6.

Tabell 2-6: *Forholdstallet mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsflom for Nedbørfeltet til Grinddalselva ved Flåbrua.*

			$Q_{mom}/Q_{døgn}$	
Felt	**Areal** km^2	**Eff.Sjø, A_{SE}** %	**Vår**	**Høst**
Flåbrua	10,2	0,1	1,51	1,91

Høstflommer gir den høyeste verdien, og er dermed benyttet videre. De beregnede kulminasjonsvannføringene er vist i Tabell 2-7.

Tabell 2-7: *Beregnet 200-årsflom basert på flomfrekvensanalyse.*

Felt	**Q_M**		**Q_{mom} / Q_M**	**$Q_{50, døgn}$**	**$Q_{50, mom}$**	**$Q_{100, døgn}$**	**$Q_{100, mom}$**	**$Q_{200, døgn}$**	**$Q_{200, mom}$**
	l/s*km^2	m^3/s		m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	
Flåbrua	501	5,11	1,91	10,53	20,11	12,06	23,03	13,80	26,35

2.7. Hydrologisk flommodell – PQFLOM

Modellen PQFLOM er en regnearkversjon av modellen PQRUT som beskrives i «Retningslinjer for flomberegninger» (NVE, 4/2011). Dette er en nedbør/avløpsmodell som beregner avrenning på grunnlag av nedbørdata og ved hjelp av feltparametere for det aktuelle feltet.

Parameterne til den hydrologiske flommodellen skal helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer (NVE, 4/2011). Siden det ikke finnes observerte vannføringer fra nedbørfeltet, er modellparameterne teoretisk bestemt ut fra feltparametere for nedbørfeltet. Beregnede modellparameterne er vist i Tabell 2-8. De tre modellparameterne bestemmes ut fra følgende ligninger (NVE, 4/2011):

Øvre tømmekonstant $K_1 = 0{,}0135 + 0{,}00268\ H_L - 0{,}01665\ \ln(A_{SE})$
Nedre tømmekonstant $K_2 = 0{,}009 + 0{,}21\ K_1 - 0{,}00021\ H_L$
Terskelverdi $T = -9{,}0 + 4{,}4\ K_1^{-0{,}6} + 0{,}28\ Q_N$

Modelligningene inneholder kun to feltparametere:

- Helningsparameteren H_L (m/km)
- Effektiv sjøprosent A_{SE} (%)

Tabell 2-8: *Modellparametere i flommodellen.*

Felt	**K_1 (time^{-1})**	**K_2 (time^{-1})**	**T (mm)**
Flåbrua	0,295	0,052	17,73

2.7.1. Snøsmelting

For flommer om høsten skal en vurdere snøforholdene spesielt for å avgjøre om snøsmelting skal legges til ekstremnedbøren eller ikke (NVE 4/2011). Fra senorge.no finner en at det ikke er sannsynlig at det ligger snø i nedbørfeltet til Grinddalselva i oktober (mindre enn 4 av 10 år). Basert på denne vurderingen, benyttes årsverdier for ekstremnedbør uten tillegg for snøsmelting.

2.7.2. Nedbørforløp

IVF-kurvene Ålesund-Spjelkavik (60940) er lagt til grunn for konstruksjon av nedbørforløp. Nedbørforløpet konstrueres i henhold til anbefalingen gitt i (NVE, 4/2011), dvs. nedbøren fordeles symmetrisk omkring høyeste intensitet (for varighet mindre enn 48 timer) slik at akkumulert nedbørsmengde i hvert tidskritt svarer til aktuelt gjentaksintervall. Verdier av ekstremnedbør med returperiode 50-100- og 200 år er vist i Tabell 2-9.

Tabell 2-9: *Ekstremnedbørsnittverdier med 200 år returperiode, og tilsvarende verdier brukt for dimensjonerende nedbørforløp.*

Varighet (t)	**1**	**2**	**3**	**6**	**12**	**24**
P_{50} (mm)	13,25	18,72	23,33	39,10	64,37	84,67
+ 40% klimatillegg	18,55	26,21	32,66	54,73	90,12	118,54
Intensitet 50 år (mm/t)	18,55	13,10	10,89	9,12	7,51	4,94
P_{100} (mm)	14,15	19,73	24,62	41,90	69,55	92,45
+ 40% klimatillegg	19,81	27,62	34,47	58,67	97,37	129,43
Intensitet 100 år (mm/t)	19,81	13,81	11,49	9,78	8,11	5,39
P_{200} (mm)	14,98	20,74	25,81	44,71	74,74	99,36
+ 50% klimatillegg	22,46	31,10	38,72	67,07	112,10	149,04
Intensitet 200 år (mm/t)	22,46	15,55	12,91	11,18	9,34	6,21

2.7.3. Flomberegning

Beregninger av 50-100- og 200-årsflom ved bruk av PQFLOM er vist i Tabell 2-10.

Tabell 2-10*: Beregnet 50- 100- og 200-årsflom basert på PQFLOM inkludert klimatillegg.*

	Q_{50} (m^3/s)	**Q_{100} (m^3/s)**	**Q_{200} (m^3/s)**
Flåbrua	26,80	28,76	32,96

2.8. Evaluering av flomberegninger

Tabell 2-11 viser en sammenstilling av beregnede flomverdier med de ulike metodene, og hvilken flomverdi som er benyttet videre ved beregning av vannlinje. For feltet til Flåbrua er det valgt å bruke høyeste verdier (konservativt).

Tabell 2-11*: Sammenstilling av beregnede verdier for 50- og 100- 200-årsflom i m^3/s (Momentanverdi med klimatillegg).*

Flåbrua	**Q_{50} (m^3/s)**	**Q_{100} (m^3/s)**	**Q_{200} (m^3/s)**
Flomfrekvensanalyse	28,15	32,24	39,53
NIFS-formelverk	32,66	37,34	45,70
PQFLOM	26,80	28,76	32,96
Verdi for videre bruk	**32,66**	**37,34**	**45,70**

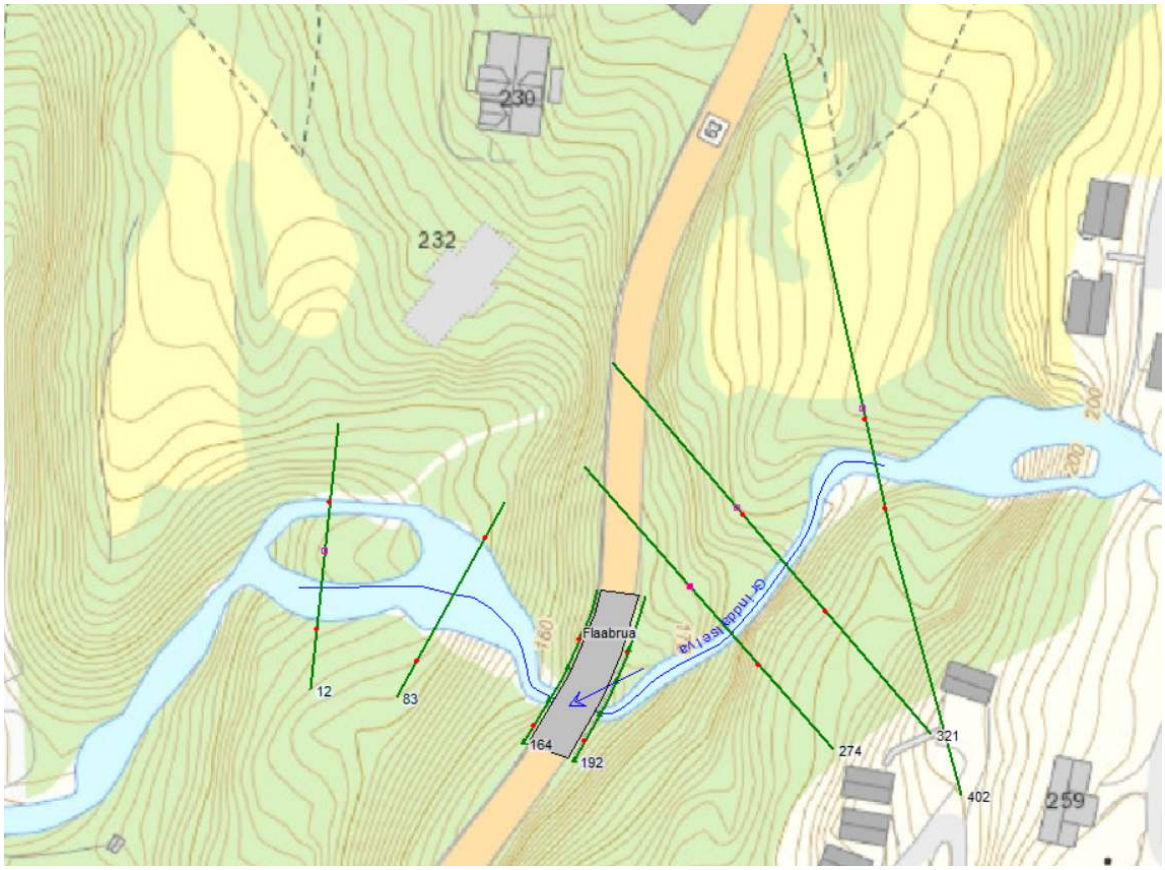
3. VANNLINJEBEREGNING

3.1. Geometri og elvemodell

Det er satt opp en 1D hydraulisk modell for elvestrekningen. Modelleringsprogrammet HEC-RAS v5.0.7 er benyttet. Terrenget ved brustedet er bratt, og det er vanskelige innmålingsforhold. Derfor er elvebunn og terrenget i den hydrauliske modellen representert i form av tverrprofiler som er tatt ut fra terrengmodellen generert med laserdata (0,5 m oppløsning) fra Kartverkets laserinnsyn-tjeneste. Figur 3-3 viser plassering av tverrprofilene benyttet i modellen. Høyder er gitt i NN2000.

Figur 3-1: *Eksisterende bru sett fra oppstrøms side - Flåbrua. (Foto: SVV)*

Figur 3-2: *Eksisterende bru sett fra nedstrøms side - Flåbrua. (Foto: SVV)*



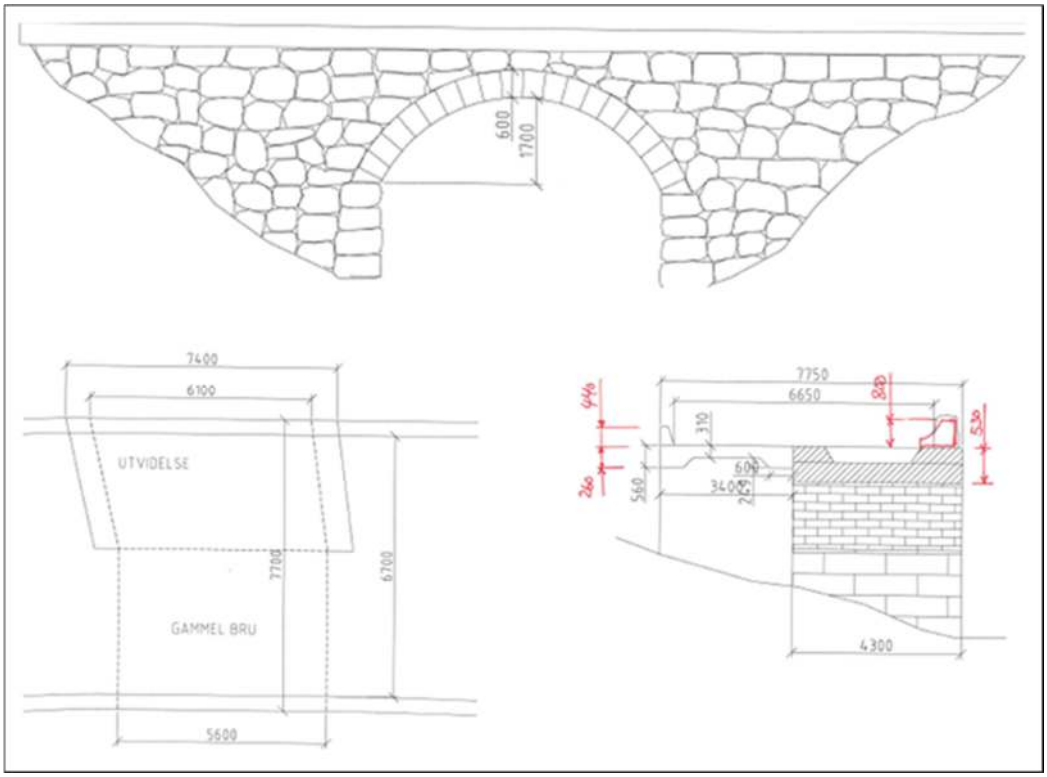
Figur 3-3: *Tverrsnittprofiler for elva benyttet i 1D-modell, Flåbrua.*

3.2. Brugeometri

Data for Flåbrua er vist i Tabell 3-1. Data er hentet fra ferdigbrutegning fra Statens vegvesen.

Tabell 3-1: *Data for Flåbrua, eksisterende utforming.*

	Flåbrua (15-0127)
Vegbredde (m)	6,70
Lysåpning bredde (m) – oppstrøms	6,10
Lysåpning bredde (m) – nedstrøms	5,60
Høyde, underkant oppstrøms (m)	3,40
Høyde, underkant nedstrøms (m)	3,90



Figur 3-4: *Skisse av Flåbrua.*

3.3. Ruhetsverdier (Mannings tall, n)

Alle typer energitap som påvirker vannstanden langs elveløpene, er representert ved en enkelt faktor, Mannings tall, n, (hydraulisk ruhet). Den hydrauliske ruheten i elva er bestemt på grunnlag av standardverdier fra Vassdragshåndboka (Fergus m.fl. ,2010). Elvebunnen består hovedsakelig av store steiner og blokker, og breddene er i hovedsak litt tett skog. Basert på dette er friksjonsfaktoren (Mannings n) satt til 0,07 i hovedelva og 0,12 for sideareal.

3.4. Grensebetingelser

Vannføringen fra flomberegning er brukt som inngangsdata i den hydrauliske modellen (stasjonær strømning). Oppstrøms grensebetingelse er satt til beregnet vannføring i hovedelva, og nedstrøms grensebetingelse er satt til normalstrømning.

3.5. Kalibrering

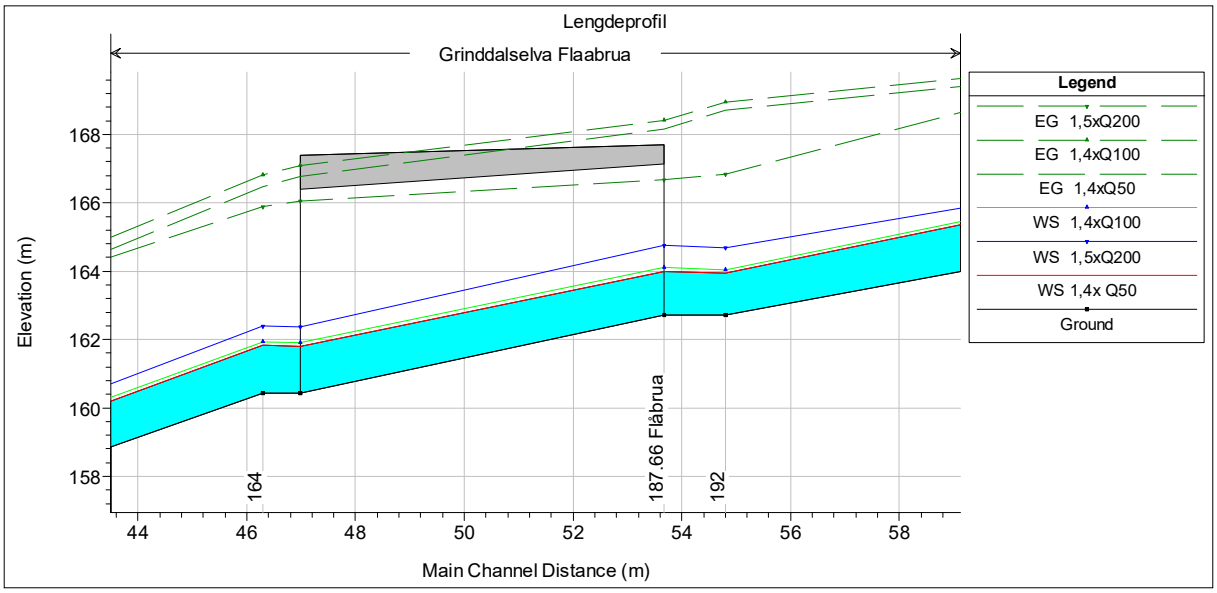
Det foreligger ikke kalibreringsdata, det vil si samtidig innmåling av vannføring og vannstand, for elvestrekningen. Det er derfor ikke mulig å kalibrere modellen mot observerte data. For å få et inntrykk av hva en endring i ruhet og vannføring betyr for resultatet, er det gjort en følsomhetsanalyse i avsnitt 3.7.

3.6. Resultat fra Vannlinjeberegning, eksisterende situasjon

Modellen er kjørt med beregnet 50-, 100 - og 200 - årsflom inkludert klimapåslag. Resultatene for vannlinjeberegningene er vist i Tabell 3-2. Lengdeprofil er vist i Figur 3-5. Tverrprofil av eksisterende bru med beregnet vannlinje er vist i Figur 3-6.

Tabell 3-2: *Beregnede vannstander og vannhastigheter ved tverrprofilene. Høydereferanse NN2000.*

Tverrprofil	50-årsflom inkludert klimatillegg		100-årsflom inkludert klimatillegg		200-årsflom inkludert klimatillegg	
	Vannlinje [moh]	Vannhastighet [m/s]	Vannlinje [moh]	Vannhastighet [m/s]	Vannlinje [moh]	Vannhastighet [m/s]
402	182,97	5,32	183,06	5,57	183,20	5,95
321	179,01	3,34	179,13	3,45	179,34	3,63
274	172,11	3,49	172,24	3,61	171,37	10,83
192	163,94	9,67	164,04	9,81	164,69	6,5
Bru						
164	161,83	9,54	161,94	9,77	162,4	8,27
83	147,45	7,42	147,49	7,88	147,46	10,21
12	144,63	1,71	144,63	1,95	144,63	2,41



Figur 3-5: *Lengdeprofil av elva med beregnet vannlinje (WS) for 1,4xQ_{50},1,4xQ_{100} og 1,5xQ_{200}, Flåbrua.*

3.7. Sensitivitetsanalyse og sikkerhetsmargin

For å vurdere usikkerheten til modellen og resultatene, er det gjort en sensitivitetsanalyse der ruheten til modellen er økt med 25 %. Resultater er vist i Tabell 3-3. Analysen viste at en 25 % økning av ruhet i elveløpet og flomslettene, ga en økning i vannlinje på opptil 29 cm ved 200-årsflom. Basert på følsomhetsanalysen, anbefales det å benytte en sikkerhetsmargin på minimum 0,50 m over beregnet vannlinje.

Tabell 3-3: *Beregnet vannstand for Q_{200} med 25% økning i Mannings tall (n).*

Tverrprofil	**Vannstand [moh]**		**Differanse [m]**
	n	**n+25%**	
402	183,20	183,35	0,15
321	179,34	179,34	0
274	171,37	171,42	0,05
192	164,69	164,91	0,22
Bru			
164	162,4	162,49	0,09
83	147,46	147,56	0,1
12	144,63	144,63	0

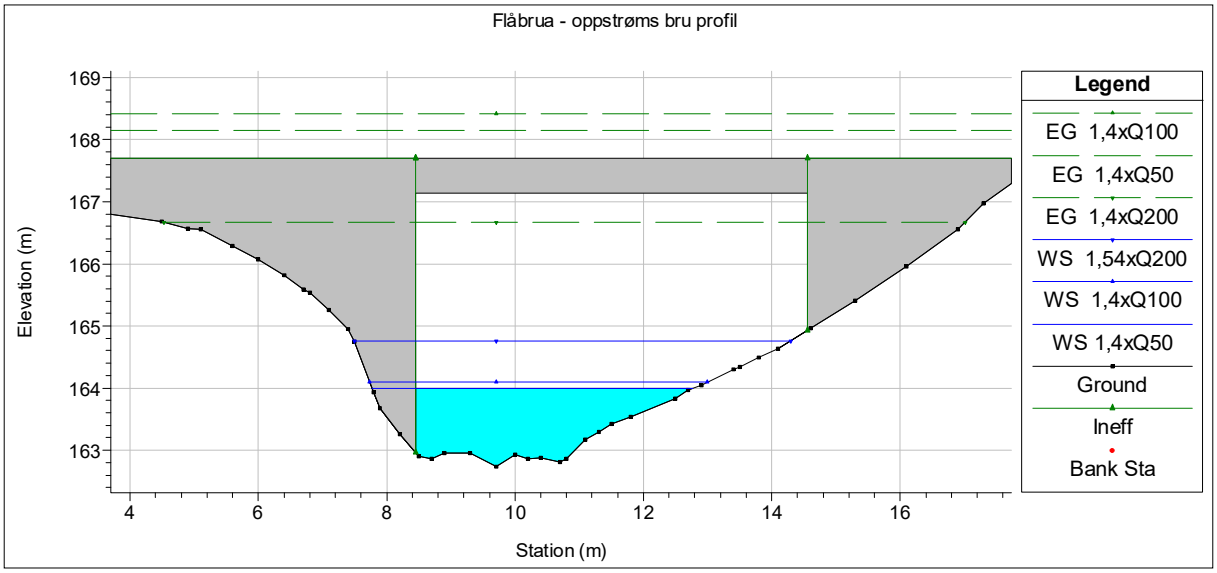
3.8. Kapasitetsvurdering av Flåbrua - eksisterende lysåpning

Beregnet minimum høyde for underkant bru er vist i Tabell 3-4. Av tabellen ser man at utformingen til eksisterende bru tilfredsstiller en beregnet 50 -, 100 - og 200 - årsflom inkludert klimatillegg, samt en sikkerhetsmargin på 0,5 meter.

Tabell 3-4: *Beregnet minimum høyde for underkant av bru for 50 -, 100 - og 200 - årsflom inkludert klimatillegg. Minimum høyde for underkant brukonstruksjon er inkludert 0,5 m sikkerhetsmargin.*

	Q_{50}	**Q_{100}**	**Q_{200}**
Maksimal Vannstand [moh]	164,0	164,10	164,76
Maksimal Vannstand + 0,5 [moh]	164,5	164,60	165,26
Eksisterende høyde for underkant brukonstruksjon [moh]	167,14	167,14	167,14
Beregnet minimum høyde for underkant brukonstruksjon [moh]	164,5	164,60	165,26
Kapasitet	Tilstrekkelig	Tilstrekkelig	Tilstrekkelig

**Alle høyder er i forhold til elvebunn.*



Figur 3-6: *Tverrprofil av eksisterende bru med beregnet vannlinje på oppstrøms side for 1,4xQ_{50} , 1,4xQ_{100} og 1,5xQ_{200}, Flåbrua.*

4. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER FOR NY BRUPROFIL

Det ble beregnet nødvendig brutverrsnitt for 50 – 100 - og 200 -årsflom inkludert klimatillegg for eksisterende konstruksjon. Anbefalt minimum dimensjon for den nye brua er vist i Tabell 4-1.

Tabell 4-1: *Forslag til minimum høyde for underkanten av brua for 50 -, 100 - og 200 - årsflom inkludert klimatillegg. Den anbefalte høyden for underkant brukonstruksjon er inkludert 0,5 m sikkerhetsmargin.*

Flåbrua (15-0127)	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
Elvebunn (oppstrøms bru profil) [moh]	162,92	162,92	162,92
Maksimal Vannstand [moh]	164,0	164,10	164,76
Maksimal Vannstand + 0,5 [moh]	164,5	164,60	165,26
Anbefalt minimum høyde for underkant brukonstruksjon [moh]	164,5	164,60	165,26
Anbefalt minimum lysåpning (oppstrøms bru profil) [m^2]	10,3	11,0	15,8

**Alle høyder er i forhold til elvebunn.*

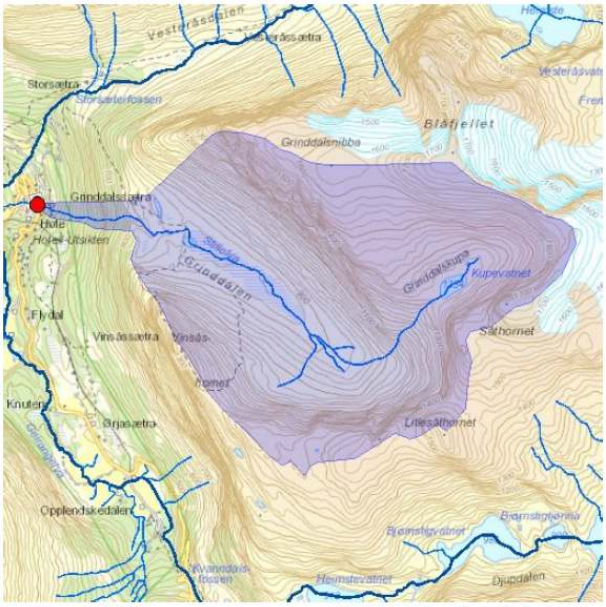
5. KILDER

- **Fergus, T., Hoseth K.A., Sæterbø, E., 2010**: Vassdragshåndboka, Håndbok i forbygningsteknikk og vassdragsmiljø, Tapir, Trondheim.
- **Lars-Evan Pettersson, 2009**: Flomforhold i Sør- og Midt-Norge. Rapport nr. 3/2009. Norges vassdrags – og energidirektorat.
- **NVE, 4/2011**: Retningslinjer for flomberegninger til § 5-7 i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg. Retningslinje 4/2011. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- **NVE, 13/2015**: Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt. Rapport nr. 13/2015. Norges vassdrags – og energidirektorat.
- **NVE, 97/2015**: Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte felt. Rapport nr. 97/2015. Norges vassdrags – og energidirektorat.
- **SVV, 2018**: Håndbok N200 Vegbygging. Statens vegvesen.

Databaser og kartverktøy: www.nve.no: databasen Hydra II, NVE Atlas, NEVINA

6. VEDLEGG

Vedlegg 1: NEVINA-rapport for nedbørfelt



Lavvannskart

Vassdragsnr.:	098.7B
Kommune:	Stranda
Fylke:	Møre og Romsdal
Vassdrag:	Geirangelva

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	64,8 l/(s*km²)
Alminnelig lavvannføring	2,7 l/(s*km²)
5-persentil (hele året)	2,4 l/(s*km²)
5-persentil (1/5-30/9)	23,6 l/(s*km²)
5-persentil (1/10-30/4)	2,1 l/(s*km²)
Base flow	33,0 l/(s*km²)
BFI	0,5

Klima		
Klimaregion		Vest
Årsnedbør	1416	mm
Sommernedbør	462	mm
Vinternedbør	953	mm
Årstemperatur	0,2	°C
Sommertemperatur	3,2	°C
Vintertemperatur	-1,9	°C
Temperatur Juli	4,6	°C
Temperatur August	5,8	°C

Feltparametere	
Areal (A)	9,6 km²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,2 %
Elvelengde (E_L)	5,6 km
Elvegradient (E_G)	195,5 m/km
Elvegradient$_{1085}$ (G_{1085})	173,6 m/km
Feltlengde(F_L)	5,3 km
H_{min}	226 moh.
H_{10}	877 moh.
H_{20}	933 moh.
H_{30}	1007 moh.
H_{40}	1096 moh.
H_{50}	1224 moh.
H_{60}	1338 moh.
H_{70}	1414 moh.
H_{80}	1497 moh.
H_{90}	1593 moh.
H_{max}	1770 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	0,0 %
Myr	3,0 %
Sjø	0,6 %
Skog	2,0 %
Snaufjell	94,4 %
Urban	0,0 %

1) Verdien er editert

Norges vassdrags- og energidirektorat

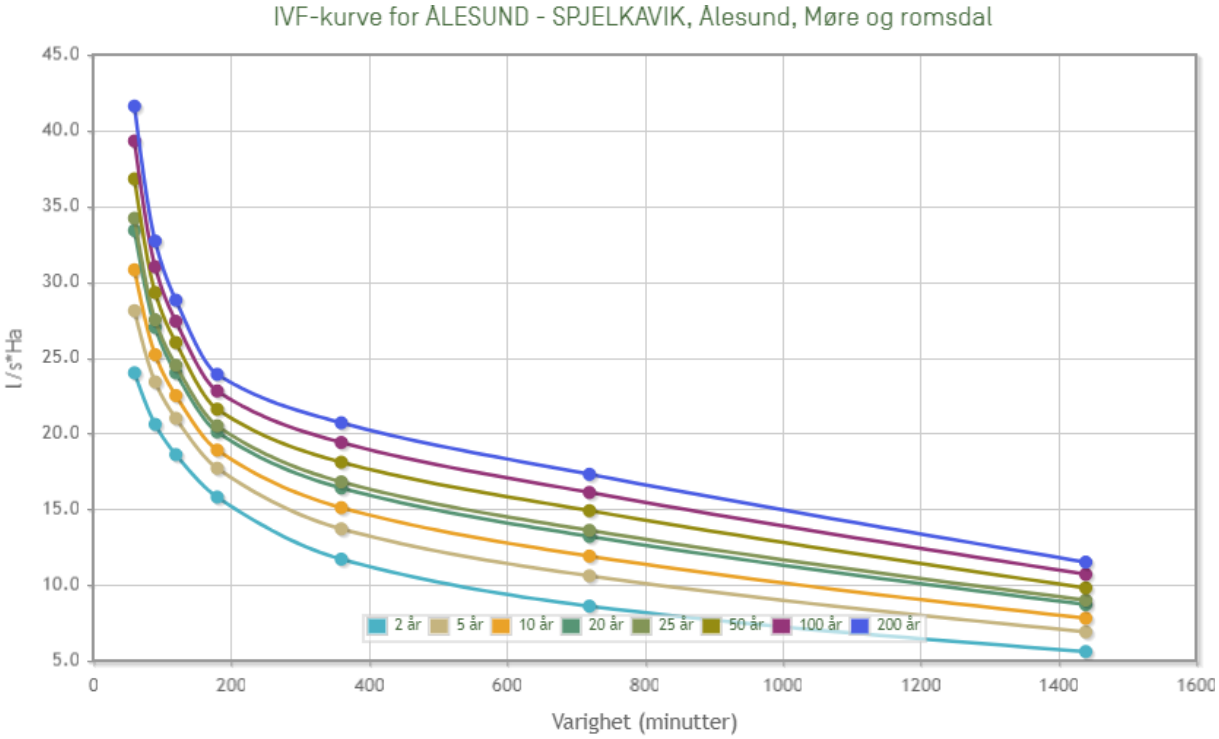
Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

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

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Vedlegg 2: IVF-Kurver