

VERDAL KOMMUNE

KVERNBRUA

RAPPORT

HYDRAULISK ANALYSE

ADRESSE COWI AS
Karvesvingen 2
Postboks 6412 Etterstad
0605 Oslo

TLF +47 02694

WWW cowi.no

OPPDRAGSNR.

A246173

DOKUMENTNR.

VERSJON

1.0

UTGIVELSESDATO

09.01.2023

BESKRIVELSE

Hydralulisk analyse av bru

UTARBEIDET

Stefan Perzyna

KONTROLLERT

Erik Mølmann

INNHOOLD

1	Innledning	1
2	Krav til flomberegninger	2
3	Feltbeskrivelse	4
4	Flomberegninger	5
4.1	Metode	5
4.2	Datagrunnlag for flomberegninger og frekvensanalyse	5
4.3	Flomfrekvensanalyse	7
4.4	Regional frekvensanalyse - RFFA 2018	8
4.5	Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer	9
4.6	Dimensjonerende flom	9
5	Oppbygging av modellen i HEC-RAS	10
5.1	Nedstrøms grensebetingelse	10
5.2	Ruhet	10
5.3	Avgrensning av prosjektet	10
5.4	Dagens bru	11
5.5	Topografiske data	12
5.6	Hydrologiske data	12
6	Resultater	13
6.1	Sensitivitetsanalyse og usikkerhet ved beregninger.	13
6.2	Konklusjon	14
7	Kilder	15

1 Innledning

Fv. 72 Kvernbrua ligger vest for Sul i Verdal kommune og krysser elven Inna. COWI ble bedt om å utføre en hydraulisk analyse i elva i forbindelse med oppgradering av den eksisterende bruen.

Det er utført en flomberegning for å finne den dimensjonerende flomvannføringen. Videre ble en hydraulisk modell utarbeidet for beregning av flomvannstander og vannhastighet i brutversnittet. Beregningen baserer seg på en terrengmodell etablert ved hjelp av laserscannede data (LIDAR).

Flomberegningene ble utført ved bruk av lokal flomfrekvensanalyse på observerte flomdata (FFA) og Formelverket for Regional flomfrekvensanalyse (RFFA 2018). De hydrauliske beregningene er utført ved bruk av programvaren HEC-RAS i 1D og 2D.

Eksisterende bru vurderes til å ha tilstrekkelig kapasitet til å håndtere den dimensjonerende flommen.

- Undersiden av bruen bør ligge over kt. 238.9 m.
- Beregnet hastighet i brutversnittet ligger på ca. 4m/s. Det er ingen tegn til erosjon på eksisterende brukarer. Bruen er plassert på bart fjell og elveløpet er sprengt ut. Ved prosjektering av ny bru bør det tas hensyn til mulige konsekvenser av den høye hastigheten på vannet.

2 Krav til flomberegninger

Flomberegningen er gjennomført i samsvar med kravene gitt i retningslinjene fra håndboken N400 Bru (SV 2018) og håndbok V240 (SV 2020). Kapasitet og utforming på bruåpningen skal dimensjoneres for 200 års flom. Det tillegges en klimafaktor på (1.2) og uten sikkerhetsfaktor.

$$Q_{dim} = Q_T * F_k * F_u.$$

Q_{dim}- dimensjonerende flom

F_k- klimafaktor for store og små nedbørsfelt

F_u- sikkerhetsfaktor, bestemt etter sikkerhetsklasse

2.1.1 Dimensjonerende gjentaksintervall for flom

Etter krav i kap. 5.1 i håndbok V240 skal returperiode for flomhendelser bestemmes ut fra vegens trafikkmengde (ÅDT) og omkjøringsmuligheter (SV, 2020). Fv72 har en ÅDT på 289 (se vedlegg), og det foreligger ingen omkjøringsmuligheter. Dette gir sikkerhetsklasse V1, med en returperiode for flomhendelse på 100 år. Det er likevel valgt å dimensjonere Fv 72 Kvernbrua for en 200 års flom.

Tabell 2-1 Staten vegvesens krav til sikkerhetsklasser/gjentaksintervall for flom (Håndbok N200 Vegbygging, SVV, 2018a)

Sikkerhetsklasse	ÅDT	Returperiode for flomhendelse	
		Med omkjøringsmulighet	Uten omkjøringsmulighet
V1	0-500	50 ar	100 år
V2	500-4000	100 år	200 år
V3	>4000	200 år	200 år

2.1.2 Klimafaktor

Etter krav i kap. 404.2 i håndbok N200 skal den dimensjonerende vannføringen ta høyde både for klimaendringer og usikkerhet i beregningen. Klimafaktoren F_k ble bestemt ut fra tabell 404.1 i håndbok N200. Tabellen er basert på klimaprofilene for norske fylker, utarbeidet av Norsk Klimaservicesenter (2015 - 2017), og tilpasset kravene i håndbok N200. For Nord-Trøndelag er klimafaktoren 1.3 (30% påslag) for store og 1.3 (30% påslag) for små nedbørsfelt.

Tabell 2-2 Klimafaktor påslag for norske fylker

Fylke	Små nedbørsfelt A _r <10 km ² F _k	Store nedbørsfelt A _r >10 km ² F _k
Oslo og Akershus	1.3	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
Rogaland	1.3	1.3
Sogn og Fjordane	1.4	1.4
Sør-Trøndelag	1.2	1.2
Telemark	1.2	1.2
Troms	1.3	1.3
Vestfold	1.2	1.2

2.1.3 Usikkerhetspåslag ved hydrologiske beregninger

Statens vegvesens håndbok «N200 Vegbygging» krever at det skal benyttes en sikkerhetsfaktor for usikkerheter ved de hydrologiske beregningene, Fu. Faktoren er avhengig av veiens sikkerhetsklasse. Veiene er plassert i sikkerhetsklasse V1, noe som tilsvarer en sikkerhetsfaktor på 1.0, altså 0% påslag.

Tabell 2-3 Påslagsfaktor for usikkerheter i hydrologiske beregninger (SVV, 2018a).

Sikkerhetsklasse	Fu
V1 eller F1*	1.0
V2 eller F2*	1.1
V3 eller F3*	1.2

2.1.4 Dimensjonering av bruåpning etter N400 Bru

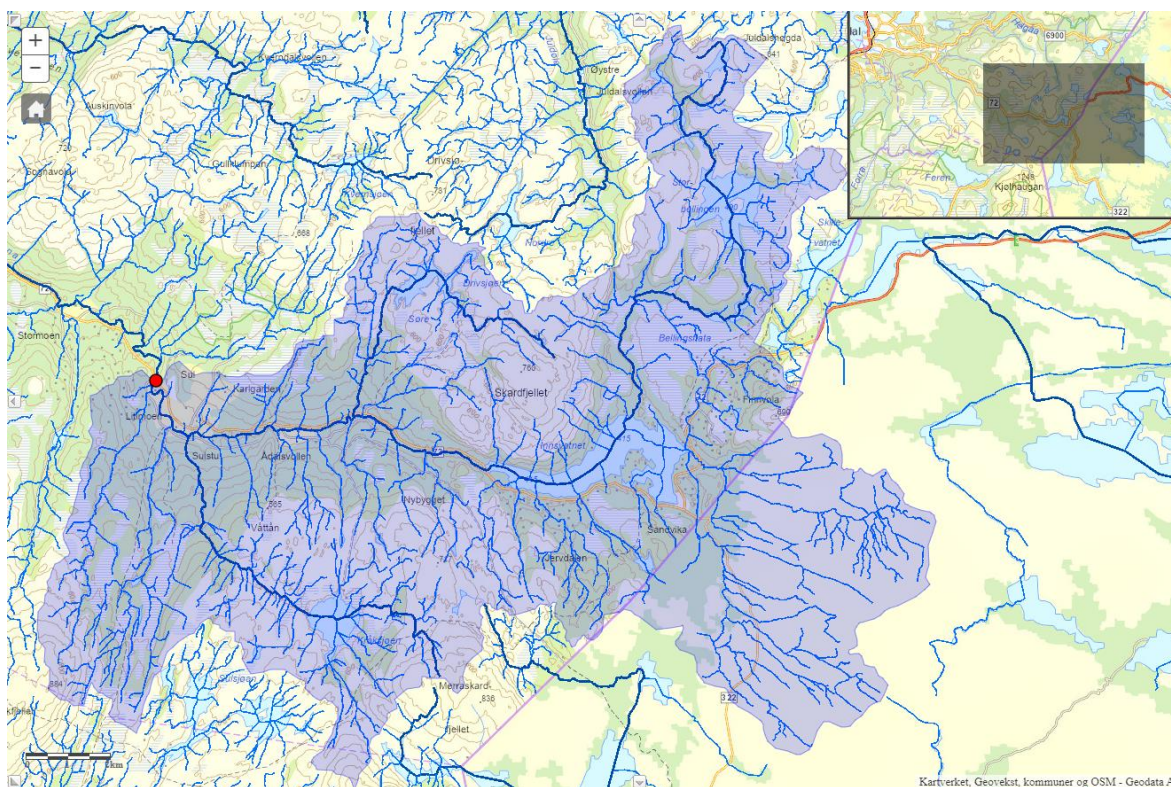
SVV håndbok N400: Bruprosjektering sier om fri høyde over vassdrag: «Fri høyde over vassdrag bestemmes slik at det er minst 0,5 m klaring mot overbygningen ved beregnet vannstand for 200-års flom» (Statens vegvesen, 2015, s. 47).

3 Feltbeskrivelse

Inna renner ut i Verdalselva ved tettstedet Vuku ca. 20 km fra Verdalsøra, og har et nedbørfelt på 481 km². Vassdraget har sitt utspring i grensetraktene mot Sverige, i hovedsak fra Innsvatn (415 moh.) og Kråksjøen (551 moh.) ved svenskegrensa. Nedbørfeltet ligger stort sett under 800 moh. Elvestrekningen nedstrøms Innsvatn har mange fossefall. Sidevassdraget Kverna på nordsiden renner ut i Inna ca. 1,5 km før Innas samløp med Verdalselva. Like før utløpet i hovedelva danner Inna en stor foss, Dillfossen.

Inna krysser FV 72 Jamtalsvegen like ved Sul. Nedbørfeltet oppstrøms Fv 72 Kvernbrua er ca. 186 km². Det er ikke foretatt feltbefaringer for å kartlegge dreneringsveiene og feltgrensene, så disse baserer seg på analyser i webtjenestene NEVINA og Scalgo, samt ulike kartstudier (Figur 3-1).

Feltet har en moderat helning. Høyden i nedbørfeltet strekker seg fra 241 til 883 moh., som gir en høydeforskjell på ca. 442 m. Feltlengde er 19,1 km, dvs. i snitt ca. 2,3% helning. Øvrige feltparametere er vist i Tabell 3-1. Feltet er i størst grad dekket av skog (34,2%) og snaufjell (22,4 %).



Figur 3-1 Nedbør/avrenningsfeltet til Inna oppstrøms Kvernbrua.

Tabell 3-1 Feltparametere

Navn	AREAL	Qn Nevina	(ASE)	(FL)	HMIN	HMAX	Skog	Snaufjell
	km ²	l/s/km ²	%	km	m	m	%	%
Fv 72 Kvernbrua	186	36.9	1.26	19.1	241	883	34.2	22.4

4 Flomberegninger

4.1 Metode

For Inna benyttes ulike metoder for estimering av flomverdier. Viktigste er lokale frekvensanalyser fra vannføringsstasjoner i vassdraget og i regionen, men også formelverk for regionale flomfrekvensanalyser (RFFA-2018).

4.1.1 Frekvensanalyse fra vannføringsstasjoner

For de lokale frekvensanalysene er det for tidsserier med mer enn 50 år med data benyttet en GEV (lokal + regional) [1]. For tidsserier med mindre enn 50 år med data er det benyttet en Gumbelfordeling (bayesiansk). Dette er i tråd med gjeldende anbefalinger (Veileder for flomberegninger, 2022).

4.1.2 Regional frekvensanalyse - formelverk

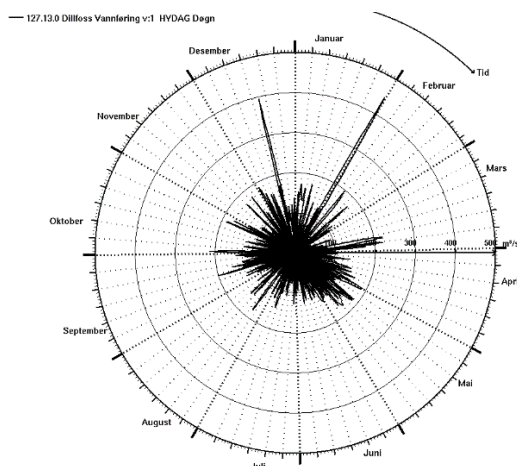
Det er utviklet et formelverk for estimering av døgnmiddelvannføring for middelflom og flommer med ulike gjentaksintervall for nedbørfelt for alle feltstørrelser, men anbefales brukt for felt > 60 km², (RFFA-2018) [1]. Formelverket er basert på ett sett med ligninger for hele Norge, se vedlegg 2. Størst usikkerhet ligger i beregningen av medianflommen, og man antar en usikkerhet på en faktor +/- 1,72. Videre er middelavrenningen den variabelen som forklarer mest av variasjonen i medianflom, så store feil i middelavrenning vil også føre til store feil i medianflom. Det er også utviklet et ligningssett for forholdet mellom momentanflom og døgnmiddelflom, som dermed også gir kulminasjonsverdier.

4.2 Datagrunnlag for flomberegninger og frekvensanalyse

Det er stor variasjon på kvaliteten på flomvannføringene ved de ulike målestasjonene som er brukt i analysen. Dataserier brukt i analysen er lange nok for å gi sikre estimat på flommer med gjentaksintervall over 50år.

4.2.1 Sesonginndeling

Store flommer kan forekomme hele året. Flommene i mai og juni er smelteflommer, ellers har man flere store regnflommer gjennom høsten og vinteren, hvor de aller største flommene gjerne er en kombinasjon av snøsmelting og regn. Største observerte flom skjedde vinteren i 2006, hvor man opplevde betydelige skader i vassdraget. Vassdraget kan i flomsammenheng anses som uregulert. Flomberegningen er basert på frekvensanalyser av observerte flommer ved målestasjoner i vassdraget og regionale flomformler. Det er beregnet kulminasjonsvannføring for ulike gjentaksintervall.



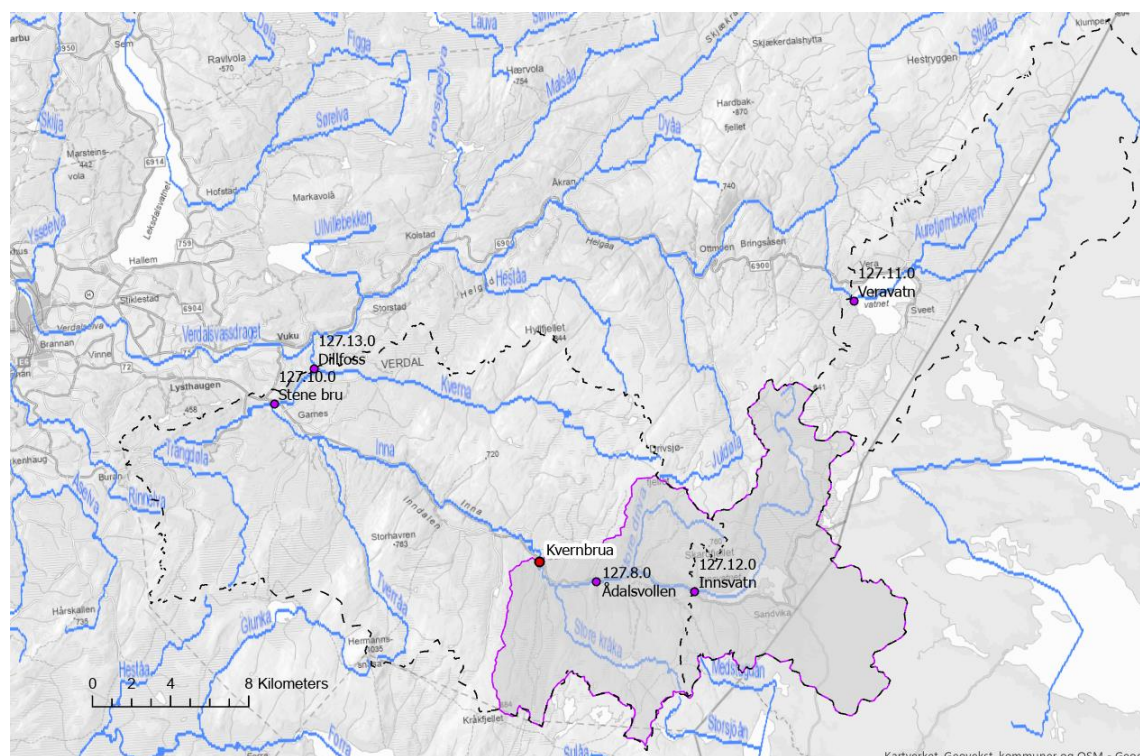
Figur 4-1- Flomfordeling gjennom året, målestasjon 127.13.0 Dillfoss

4.2.2 Utvalgte målestasjoner

En oversikt over karakteristika til nedbørfeltene til de aktuelle stasjonene i området er gitt i Tabell 4-1. Beliggenhet og feltgrenser er vist i Figur 4-2.

Tabell 4-1 Feltegenskaper for representative nedbørfelt

Nr	Navn	Start	Antall år	Areal	Qn (69-90)	Ase	Hmin	Dyrket	Myr	Skog
127.13.0	Dillfoss	1973-dd	48	479.6	34.50	0.19	39-1031	41.09	21.26	1.43
127.11.0	Veravatn	1966-dd	56	176.1	36.20	3.76	361-1224	0	20.58	33.16
127.12.0	Innsvatn	1973-1991	18	97.6	35.56	4.38	415-846	0.03	30.14	27.40
127.8.0	Ådalsvollen	1933-1940	8	133	Ikke angitt	-	-	-	-	-
127.10.0	Stene bru	1908-1931	32	397	Ikke angitt	-	-	-	-	-



Figur 4-2 Kart over aktuelle målestasjoner

Stasjonene vist i Tabell 4-1 er brukt til å sammenligne feltegenskaper som er mest representative for området. Det er lagt størst vekt på feltegenskapene som areal, effektiv sjøprosent og middelvannføring samt geografisk beliggenhet.

- 127.11 Veravatn ligger i Veravatn øverst i sidevassdraget Helgåa i de østligste delene av Verdalsvassdraget som er nabovassdraget til Inna. Ca. 40 % av Veravatn sitt nedbørfelt ligger i Sverige. En effektiv sjøprosent på 3,7 %, gir en noe mer dempet avrenning enn de andre dataseriene i vassdraget. Målestasjonen har observasjoner fra 1966, med tilgjengelige findata fra 1980. Vannføringskurven ble sist revidert 14.02.16. Datakvaliteten på flomvannføringer er vurdert som ok av felthydrolog, da det i 2006 ble gjort flere målinger på stor vannføring.
- 127.13 Dillfoss ligger i Inna ved Dillfossen, nedstrøms fra Kvernbrua, nedenfor samløpet mellom Inna og Kverna, rett oppstrøms tilløpet til Verdalselv. Ved målestasjonen er målinger foretatt siden 1973. Den gir dermed tilnærmet totalavrenning for en av de to

hovedgreinene i Verdalsvassdraget. Vannføringskurven er revidert flere ganger etter beregningene i 2002, sist gang 26.11.14. Man har brudd i registreringene ved flere av de store flommene (bla. i 2006), og findata fra stasjonen viser at vannføringer over 300 m³/s er av tvilsom kvalitet. Datakvaliteten på flomvannføringer antas derfor som usikker.

- 127.12.0 Innsvatn ligger i feltet til Inna oppstrøms fra Kvernbrua. Stasjonen har vært i drift i perioden 1973-1991.
- 127.8.0 Ådalsvollen ligger i feltet til Inna oppstrøms fra Kvernbrua. Stasjonen har vært i drift i perioden 1933-1940.
- 127.10.0 Stene bru ligger i feltet til Inna nedstrøms fra Kvernbrua. Stasjonen har vært i drift i perioden 1908-1931.

4.3 Flomfrekvensanalyse

4.3.1 Døgnverdier

Flomfrekvensanalysen er gjennomført på årsdata. Fordelingen som er brukt er GEV (full lokal + regional). Resultater fra flomfrekvensanalyse for årsflommer med varighet et døgn er vist i Tabell 4-2.

Stasjonene 127.12.0 Innsvatn, 127.8.0 Ådalsvollen, 127.10.0 Stene bru har for korte eller gamle dataserier og er kun brukt for estimering av Q mid. Middelflom er gjennomsnittet av største døgnmiddelvannføring hvert år over en referanseperiode.

Tabell 4-2-Flomfrekvensanalyse for utvalgte målestasjoner, døgnverdier.

Nr	Navn	Ant. År	Areal	Qm	Qm	Q200/ Qm	Q200	Q200	Ford.	Koment.
			km ²	m ³ /s	l/s* km ²		m ³ /s	l/s/km ²		
127.13.0	Dillfoss	48	479.6	163	340	2.25	367	765	Full lok.	
127.11.0	Veravatn	56	176.1	54	305	2.23	120	680	Full lok	
127.12.0	Innsvatn	18	97.6	25.12	257					Kort serie
127.8.0	Ådalsvollen	8	133	49	368					Kort serie
127.10.0	Stene bru	32	397	120.16	303					Gammel

Spesifikk midlere flom for de utvalgte stasjonene varierer fra 256 til 340 l/s . Det er ingen synnlig sammenheng mellom lokasjon i elva (størrelse på feltet) og verdien til Q mid.

4.3.2 Kulminasjonsverdi

Forholdet mellom $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for én eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. For Inna er forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring vurdert med bakgrunn i observerte data ved målestasjonen 127.13 Dillfoss, samt med regionale formler (Sælthun m.fl.,1997). I Sælthun m.fl.,(1997) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{mid}}$ og feltkarakteristika for vår- og høstsesong.

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{SE}^{0,5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{SE}^{0,5}$$

Her er A feltareal og A_{SE} effektiv sjøprosent.

Formlene brukes for feltet oppstrøms Kvernbrua og for hele feltet ned til VM 127.13 Dillfoss.

For data fra målestasjonen er de største flommene (døgnmiddel) sammenlignet med tilhørende kulminasjonsvannføringer.

Tabell 4-3- Døgnmiddelvannføring, kulminasjonsvannføring og kulminasjonsfaktor for de ti største flommen ved 127.13 Dillfoss, kulminasjonsverdier beregnet med formelverket.

Dato*	Døgnmiddel m ³ /s	Kulminasjon m ³ /s	Q _{mom} /Q _{mid}	Kommentar
18.12.2021	393	-	-	Ikke registrert flomtopp
31.01.2006	434	-	-	Ikke registrert flomtopp
23.03.2012 00:00	221	248	1,12	
26.03.1982 19:00	221	280	1,27	
02.10.2015 04:00	214	370	1,73	
14.09.2011 15:00	200	262	1,31	
03.12.1990 01:14	163	320	1,96	
Formelverk, vår			1,19	Feltet Kvernbrua
Formelverk, høst			1,33	Feltet Kvernbrua
VALG: Q _{mom} /Q _{mid}			1,4	

Variasjonen er stor også her, fra 1,12 – 1,96 for Q_{mom}/Q_{mid} faktor. De største forholdstallene antas ikke representativ for de antatt største flommene (kombinasjonsflommer) i vassdraget. For 127.13 Dillfoss er en Q_{mom}/Q_{mid} faktor på 1,4 valgt, som også er et avrundet snitt av de største flommene, se Tabell 4-3. Denne faktoren er gjeldende for Inna rett før samløp med Verdalselva. For nedbørsfeltet oppstrøms Kvernbrua gir formelverket noe lavere tall på 1,33. Det er likevel valgt å bruke verdien 1,4.

4.4 Regional frekvensanalyse - RFFA 2018

Det er også gjort beregninger med formelverk RFFA-2018 i NEVINA for nedbørsfeltet til Kvernbrua og VM 127.13.0 Dillfoss og 127.11.0 Veravatn . Resultatene er presentert i Tabell 4-4.

Tabell 4-4- Flomverdier estimert med formelverk, RFFA-2018

Nr	Navn	Areal	Q _m	Q ₂₀₀ /Q _m	Q ₂₀₀	Kulminasjonsfaktor
		km ²	l/s*km ²	-	l/s*km ²	
127.13.0	Dillfoss	479.6	258	2.39	616.62	1.17
127.11.0	Veravatn	176.1	270	2.36	637.2	1.05
	Kvernbrua	186	294	2.42	711.48	1.12

Det er en del forskjell i resultatene mellom FFA og regionale flomfrekvensanalyser for de utvalgte stasjonene. RFFA gir lavere Q middel og høyere vekstkurve for Q₂₀₀/Q_{mid}. Som resultat gir RFFA lavere spesifikke verdier for Q₂₀₀ flom enn FFA. Kulminasjonsfaktorene beregnet med RFFA er vesentlig lavere enn de estimerte i Tabell 4-3.

4.5 Justering av flomverdier i forhold til ventede klimaendringer

I NVEs rapport 81-2016” Klimaendring og framtidige flommer i Norge” [2] er det gitt anbefalinger om hvordan man skal ta hensyn til ventet klimautvikling frem til år 2100 ved beregning av flommer med forskjellige gjentaksintervall. Avsnitt 6.3 «Trøndelag» i nevnte rapport viser at nedbørfeltene i Trøndelag varierer med hensyn til mulig effekt av klimaendring på flom i framtiden, fra en liten reduksjon for ett nedbørfelt i Sør-Trøndelag til mer enn 40 % økning for ett nedbørfelt ved grensen til Nordland. Etter krav i kap. 404.2 i håndbok N200 for Nord Trøndelag er klimafaktoren satt til 1.3 altså 30% påslag.

4.6 Dimensjonerende flom

Flomberegning med FFA og RFFA 2018 gir en del ulike flomstørrelser. Det er valgt å gå videre med verdier estimert med flomfrekvensanalyse på data fra 127.13.0 Dillfoss som er vurdert som mer konservative. Dimensjonerende flom blir dermed lik 260 m³/s.

Tabell 4-5- Dimensjonerende flom brukt i analysen

Navn	Areal	Qmid	Q200/Qmid	Qkulm/Qmom	Q200		Klimafaktor	Q dim
	km ²	l/s*km ²			l/s*km ²	m ³ /s	F _k	m ³ /s
Kvernbrua	186	340	2.25	1.4	1070	200	1.3	260

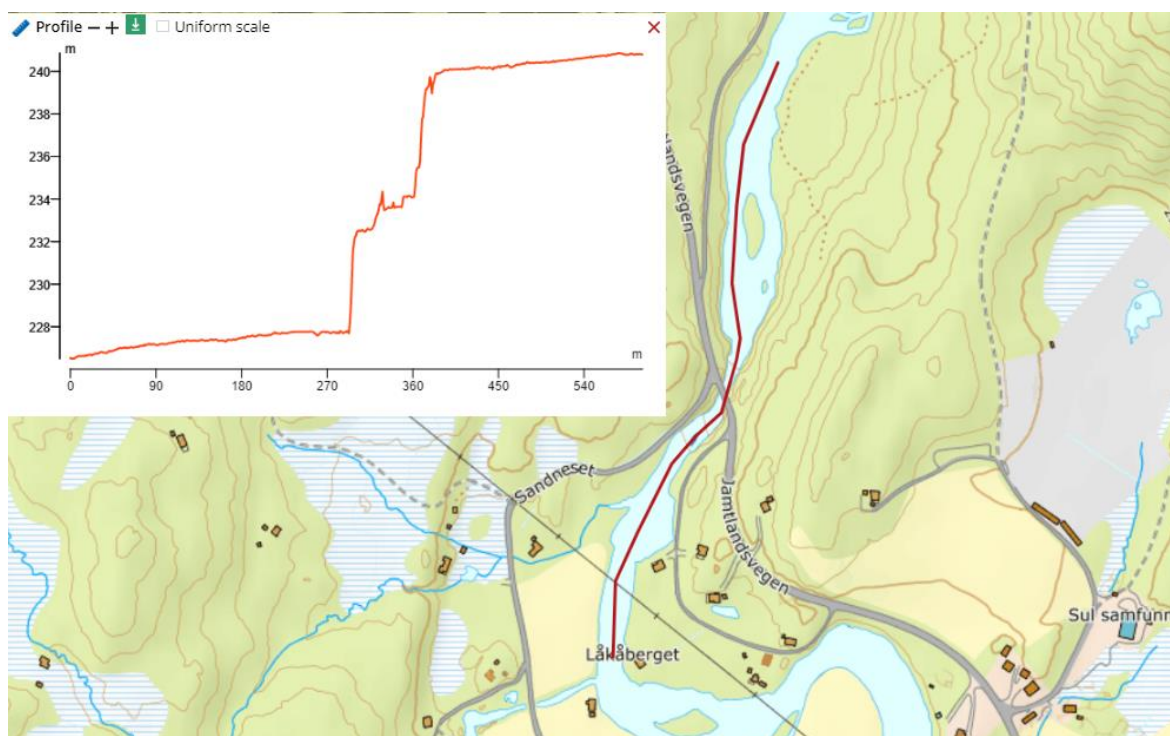
5 Oppbygging av modellen i HEC-RAS

Vannlinjeberegningene er gjennomført ved bruk av dataprogrammet Hec-Ras 6.3. Modellen er kjørt i 1D. Modellen og alle inputdata er oppgitt i høydedatamet NN2000.

Inngangsdata i modellen er terrengdata samt friksjonstall i elveløpet og på elveslettene.

5.1 Nedstrøms grensebetingelse

Grensebetingelsen nedstrøms er satt til normaldybde. Plassering av grensebetingelsen er bestemt slik at det ikke påvirker vannivået oppstrøms. Bruen er plassert mellom to fosser både oppstrøms og nedstrøms. Det er konkludert med at forholdene oppstrøms og nedstrøms disse ikke har betydning for vannlinjen i selve brutversnittet.



Figur 5-1- Høydeprofil Inna, strekning oppstrøms og nedstrøms fra Kvernbrua.

5.2 Ruhet

På hele den modellerte strekningen renner Skreia gjennom dyrket mark, det er del trær og små busker som vokser langs elvesiden. Ruheten er satt til $n=0.04$ for elveløpet og elvesidene.

5.3 Avgrensning av prosjektet

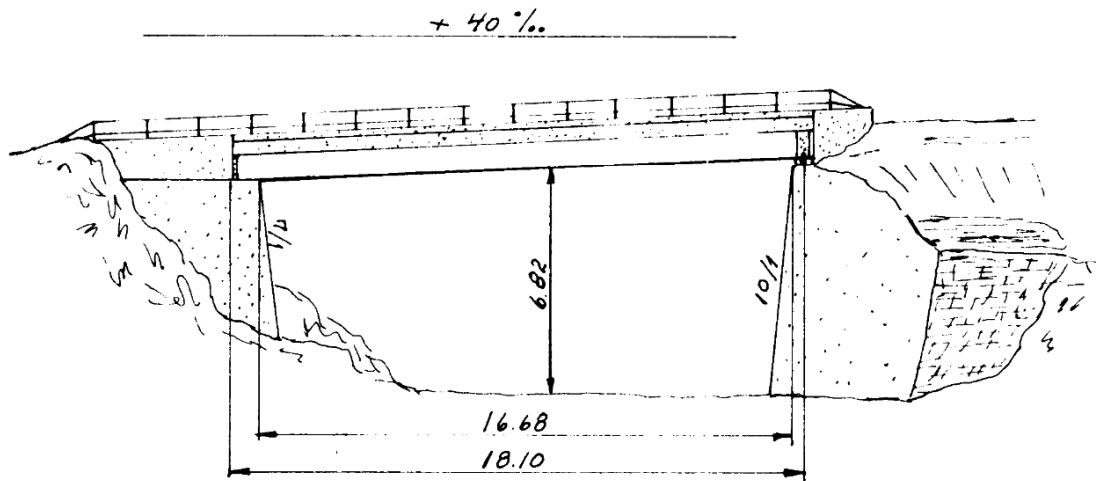
Prosjektet omhandler Kvernbrua som leder elven Inna under FV 72 Jamtalsvegen.

Geometrien på dagens bru er hentet fra SVVs database BRUTUS. Bruen er modellert ved bruk av brumodelleringsverktøy i programmet HEC-RAS.

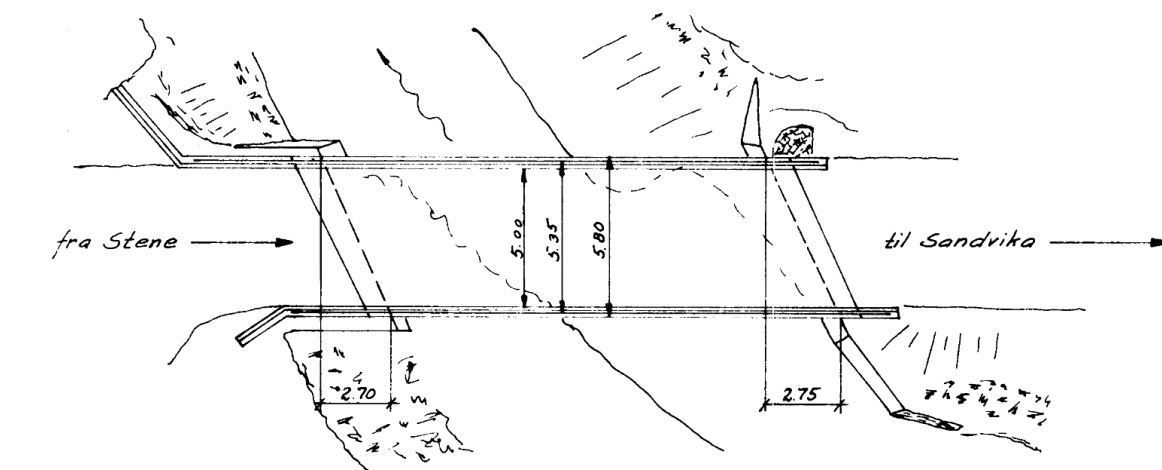
5.4 Dagens bru



Figur 5-2- Dagens Kvernbrua, sett fra nedstrøms side, hentet fra SVV Brutus.



Figur 5-3- Geometrien på dagens bru, tverrsnitt.



Figur 5-4- Geometrien på dagens bru, sett fra ovenfra.

5.5 Topografiske data

I prosjektet er det brukt vertikalt datum: NN2000, horisontalt datum: EUREF89, projeksjon: UTM32N.

Terrengmodellen er konstruert ved bruk av laserdata (terrengmodell med 0.5 m x 0.5 m oppløsning) fra NDH Meråker 2018. Disse er lastet ned fra www.hoydedata.no. Geometri på brua er lagt til den hydrauliske modellen med bruk av bruverktøy tilgjengelig i HEC-RAS. Profilene for 1D er tatt ut direkte fra terrengmodellen.

5.6 Hydrologiske data

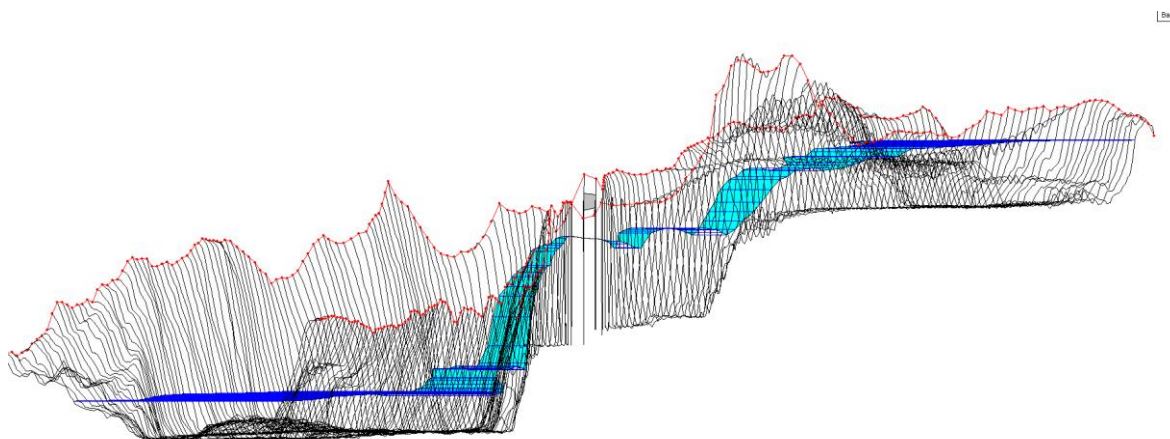
Dimensjonerende flom brukt for modelleringen er lik:

Tabell 5-1- Dimensjonerende flom.

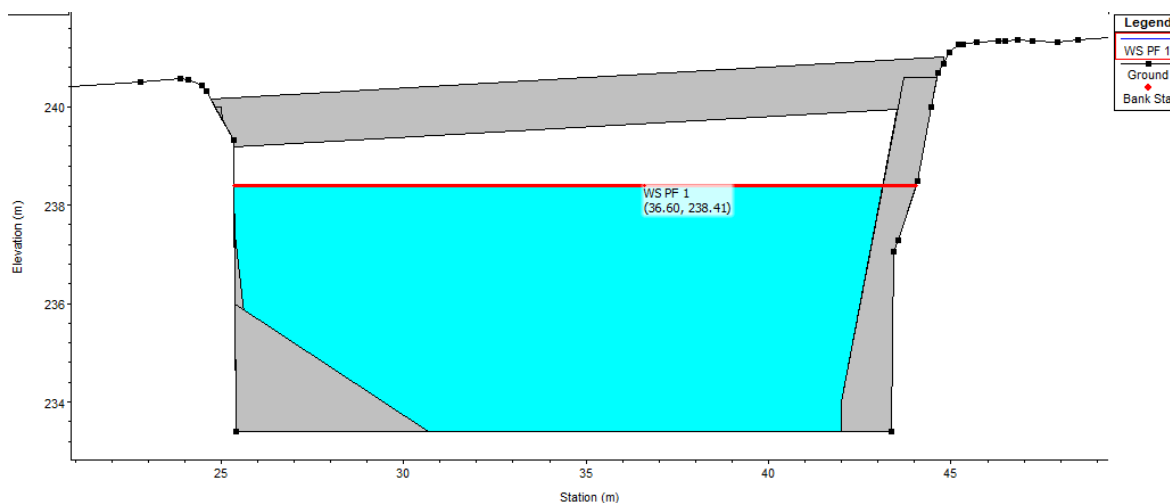
Stasjon	Areal	Q _{dim}	
	km ²	m ³ /s	l/s* km ²
Fv 72 Kvernbrua	186	260	1390

6 Resultater

Resultatene fra beregningene viser at eksisterende Fv72 Kvernbrua har tilstrekkelig kapasitet til å håndtere den dimensjonerende flommen $Q_{dim}=260 \text{ m}^3/\text{s}$. Dybden i brutversnittet er beregnet til 5 m. Fribord til bruundertakk er $>0.5 \text{ m}$, kravet stilt i N400 er dermed tilfredsstillt.



Figur 6-1- Resultater for beregnet Q_{dim} .

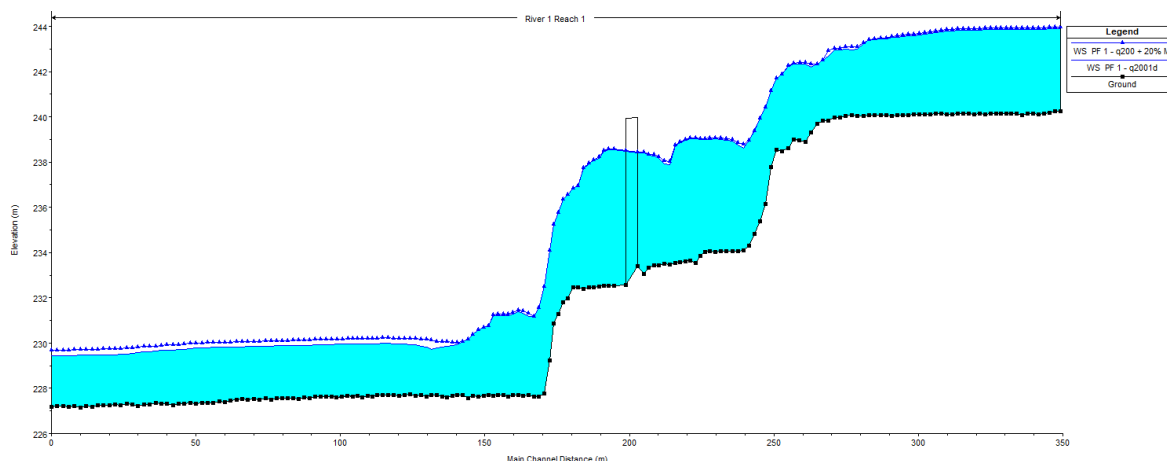


Brutaket på den ny prosjekterte bruene bør ligge min. på kt. 238.9 m.

Beregnet hastighet i brutversnittet er ca. 4m/s. Det er ingen tegn til erosjon på eksisterende brukar. Bruen er plassert på bart fjell og elveløpet er sprengt ut.

6.1 Sensitivitetsanalyse og usikkerhet ved beregninger.

Sensitivitetsanalyse er utført. Modellen viser seg å være lite sensitiv for endring av Mannngstallet, vannstandforskjellene ved bru er små. Modellen er ikke sensitiv ved endring av grensebetingelser.



Figur 6-2- Ending i flomlinjen, Manning's + 20 %

Usikkerheten i resultatene er knyttet til følgende parametere:

1. Terrengmodell. Høydedata hentet fra laserskanningen hvor vannoverflate betraktet som fast terreng, hensynet til vanddybde i elven er ikke tatt. Dette kan gi høyere vannstandverdier. Laserskanning gir også feil i elveprofil for nåværende brutverrsnitt, som ligger rett ovenfor beregnet tverrsnitt. Dette påvirker resultatet til hydrauliske beregninger.
2. Flomberegninger. Beregnet 200-års flom er en usikker størrelse.
3. Begrensninger/usikkerhet til beregningsmetoden i HEC-RAS.

6.2 Konklusjon

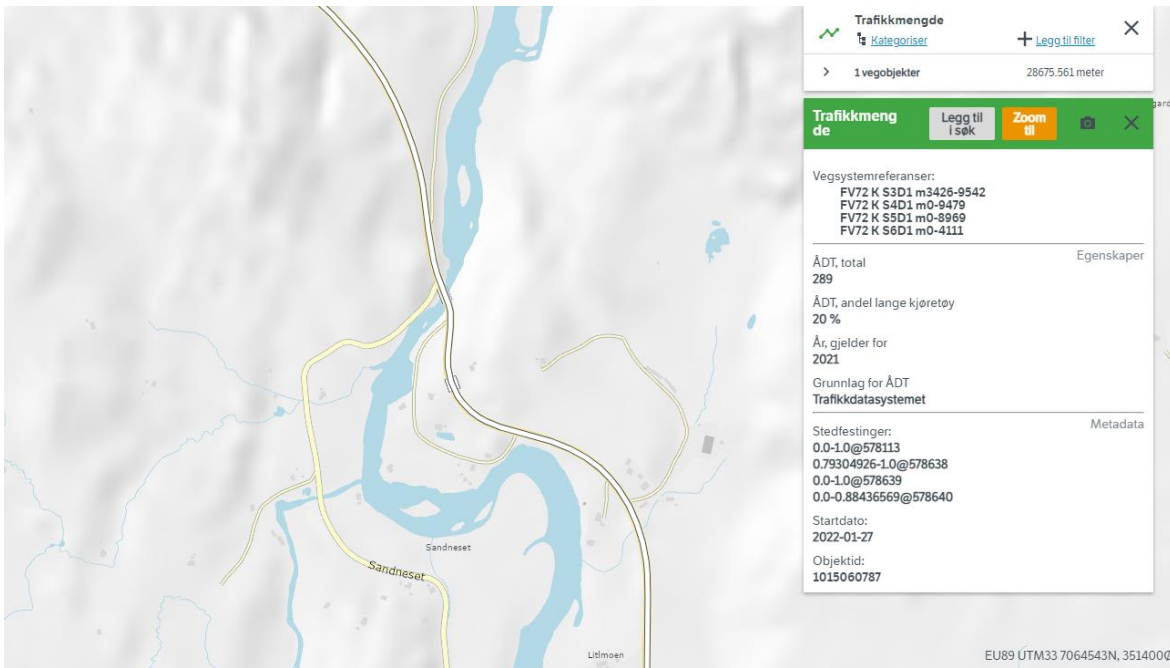
Ekstisterende bru vurderes til å ha tilstrekkelig kapasitet til å håndtere den dimensjonerende flommen.

- Brutaket på den ny prosjekterte bruen bør ligge min. på kt. 238.9 m.
- Beregnet hastighet i brutversnittet er ca. 4m/s. Det er ingen tegn til erosjon på eksisterende brukar. Bruen er plassert på bart fjell og eleløpet er sprengt ut. Ved prosjektering av ny bru, bør det legges merke til mulige konsekvenser av den høye hastigheten på vannet.

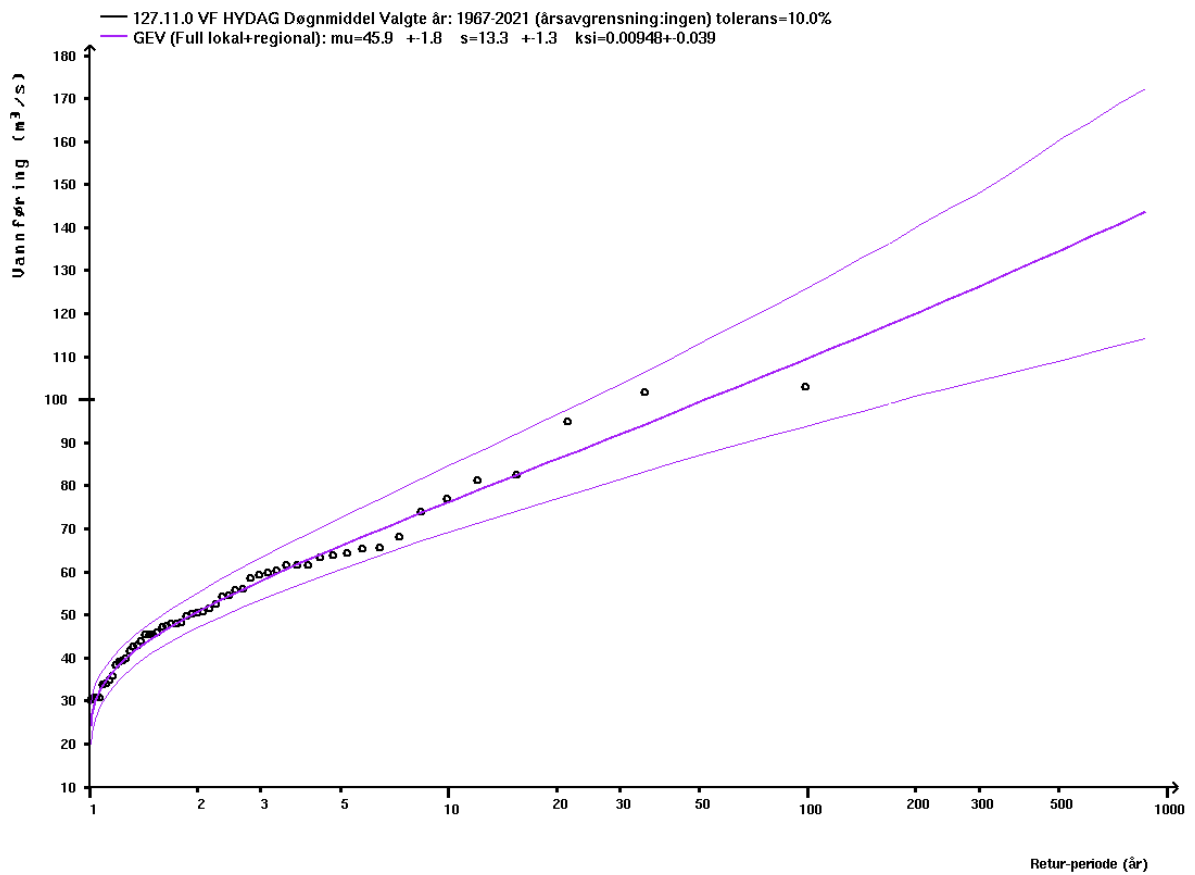
7 Kilder

- [1] NVE Retningslinjer 01-2022: Veileder for flomberegninger
- [2] Lawrence, Deborah 2016. Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVErapport 81 2016.
- [3] HEC-USACE, 2016: HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, US, Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center (HEC), Davis, CA, USA.
- [4] Statens vegvesen: Bruprosjektering. Håndbok N400. Vegdirektoratet, Oslo 2015
- [5] Statens vegvesen: Vegbygging. Håndbok N200. Vegdirektoratet, Oslo 2018
- [6] Statens vegvesen: Vannhåndtering. Håndbok V240. Vegdirektoratet, Oslo 2020
- [7] NVE. (2009). Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein.
- [8] NVE (2017) Flomberegning for Verdalselv (127.Z)

Vedlegg



127.13 Dillfoss i Inna



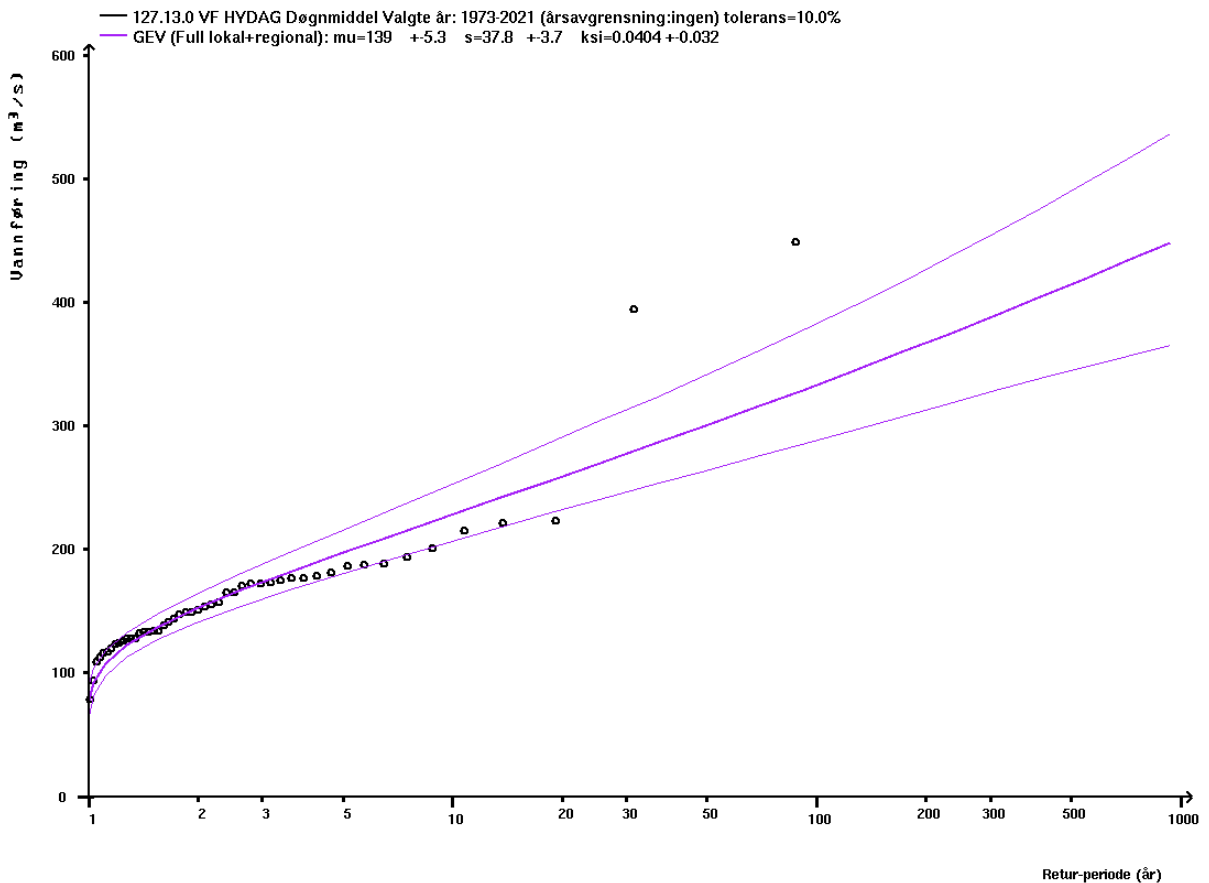
127.11.0 VF HYDAG Døgnmiddel Valgte år: 1967-2021 (årsavgrensning:ingen) tolerans=10,0%

Gjennomsnittelig maksimalverdi (middelflow) : 53,6832
Median maksimalverdi (indeksflow for døgndata) : 50,2636

GEV (Full lokal+regional): $f(x)=1/s (1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi-1} \exp(-(1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi})$ $\mu=46$ $+1.9$ $s=13.3$ $+1.3$ $ksi=0.00733+0.038$
Maksimums-kvantiler:

Gjentaks- intervall (år)	Måle- verdier	Relative måle- verdier	Øvre estimat	Nedre estimat
2	50,80	0,946	46,83	55,07
5	66,09	1,231	59,91	72,60
10	76,28	1,421	68,76	84,84
20	86,25	1,607	76,78	96,89
50	99,35	1,851	87,09	113,35
100	109,41	2,038	94,19	126,37
200	119,72	2,230	101,10	139,91
500	133,90	2,494	109,84	159,33
1000	145,14	2,704	116,08	175,51

Relativ måle verdi = flowverdi / middelflow.
Nedre/øvre estimat angir grensene for å posteriori 95% troverdighetsintervall
Usikkerheten i parameterestimater er her angitt med '+/-' standardavvik (stdev). Under normal-fordelings-
antagelser for å posteriori-fordelingen til hver parameter, betyr det at et 95% troverdighetsintervall kan lages med
estimat \pm 1,96*stdev som grenser.



127.13,0 VF HYDAG Døgnmiddel Valgte år: 1973-2021 (årsavgrensning:ingen) tolerans=10,0%

Gjennomsnittelig maksimalverdi (middelflow) : 162,991
Median maksimalverdi (indeksflow for døgndata) : 149,824

GEV (Full lokal+regional): $f(x)=1/s (1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi-1} \exp(-(1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi})$ $\mu=138$ $+5,6$ $s=37,7$ $+4,2$ $ksi=0,0394$ $+0,033$
Maksimums-kvantiler:

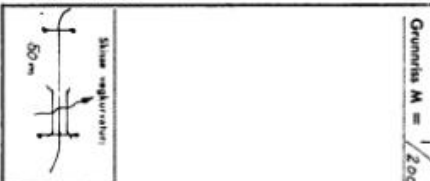
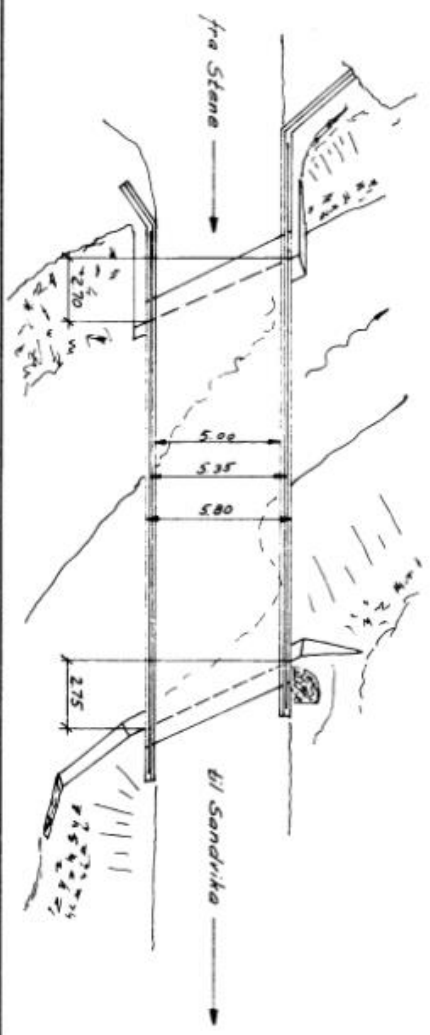
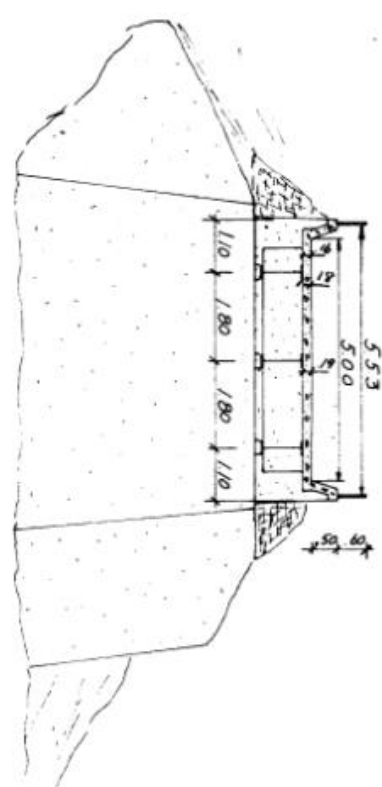
Gjentaks- intervall (år)	Måle- verdier	Relative måle- verdier	Øvre estimat	Nedre estimat
2	152,22	0,934	140,47	165,45
5	196,82	1,208	178,41	216,58
10	227,90	1,398	204,17	252,27
20	258,74	1,587	227,95	290,83
50	299,89	1,840	259,36	340,95
100	332,74	2,041	283,01	380,94
200	366,79	2,250	306,92	423,44
500	413,85	2,539	338,39	485,45
1000	451,51	2,770	361,10	538,03

Relativ måleverdi = flowverdi / middelflow.
Nedre/øvre estimat angir grensene for å posteriori 95% troverdighetsintervall
Usikkerheten i parameterestimater er her angitt med '+/-' standardavvik (stdev). Under normal-fordelings-
antagelser for å posteriori-fordelingen til hver parameter, betyr det at et 95% troverdighetsintervall kan lages med
estimat \pm 1.96*stdev som grenser.



Ferdigbrutegning

Kjernebra Vendalsbra - Høglan	bru	Riks veg	72	1938	68 V	22/12	Terrnht M = 1/100
Nora-Trøndelag	Verdal	03-7952/74	03-7952/74	1/80 m	1/80 m	1/80 m	1/80 m
Bruystem	Fritt opplagte bjelker i ett spenn						
Konstruksjon (materialer)	Stålbjelker, Dip 85, med betongdekke, t _m = 19 cm						
Brudette	Arm betong	Slindekke	Intet				
Underbygning (materialer)	Landkar, av betong						
Fundamentering	På fyll						
Spannde/lyvde	18.10	L ₂ = 18.70 m					
Kurvehv. b =	m	Gangbær G =	m	Feringstvt. f =	5.00 m		
Fri bredde over fering	5.53	Fri bredde over rektv.	0.00	Fri høyde over pl.	0.00	Fri høyde @ bru	0.00
Konstruert for lastkl.	2/1930						
Konstruert for akselhv.	6 tonn						
Overbygning:	Konstruert av: Underbygning: Blygd av:						
Opppris M = 1/200	Endringer BKT 1976 - 1978 - BKT 1981/10						



Forfatter/Utv. *Nes*
 Tegnet den *13/2-62*
 av *Ole E. Rønning*

STATENS VEGVESEN

S. A. 14000 12-60