

13.06.2025
INNLANDET FYLKESKOMMUNE

FLOMBEREGNING 05-0930 VIGGA BRU/KULVERT

RAPPORT



COWI

13.06.2025
INNLANDET FYLKESKOMMUNE

FLOMBEREGNING VIGGA BRU/KULVERT

RAPPORT

OPPDRAGSNR.

A253527

DOKUMENTNR.

RAP-HYD_05-0930-001

VERSJON

02

UTGIVELSESDATO

13.06.2025

BESKRIVELSE

UTARBEIDET

GUBE

KONTROLLERT

VIHV

GODKJENT

STRV

INNHOOLD

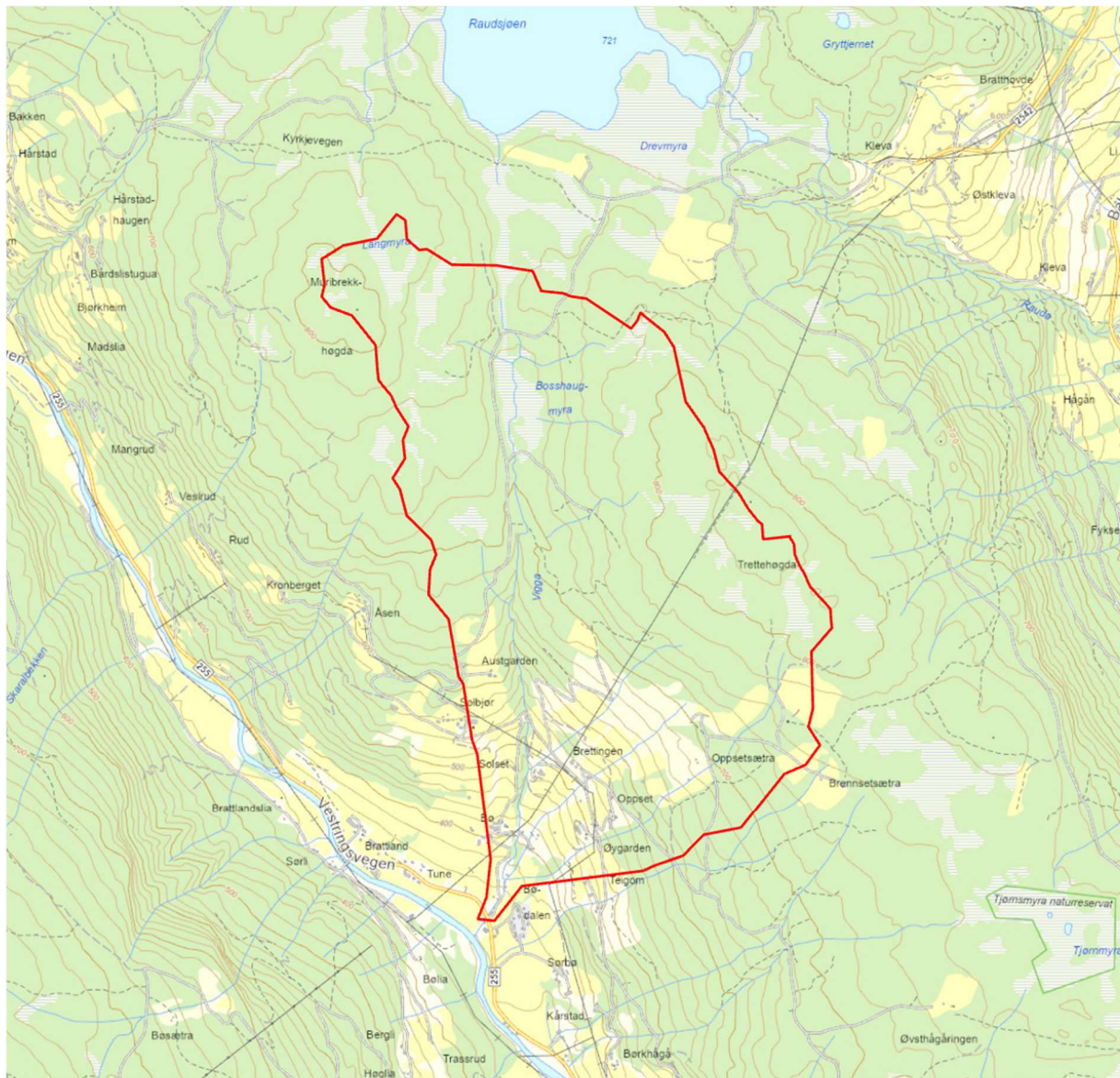
1	Innledning	7
2	Feltbeskrivelse	8
2.1	Feltparametere	9
3	Krav til flomberegninger	10
3.1	Krav til dimensjonerende flom	10
4	Flomberegning	13
4.1	Lokal flomfrekvensanalyse-FFA	13
4.2	RFFA-NIFS	15
4.3	Nedbør-avløpsmodell PQRUT	16
4.4	Valg av dimensjonerende flomstørrelse	18
5	Hydraulisk modellering	19
5.1	Minste anbefalte dimensjon 4 m (B)*2 m (h)	21
6	Konklusjon	24
7	Kilder	26

1 Innledning

Vigga bru/kulvert består av et halvrør (stål) med diameter på 2,45m. Det er utført flomberegninger og hydrauliske beregninger for vurdering av nødvendig dimensjon i forbindelse med utbedring av kulverten. Beregningene vil avdekke behov for eventuelle nye dimensjoner eller om eksisterende dimensjon er tilstrekkelig. Vigga ligger i Gausdal kommune og veien har en ÅDT i dag på 923 med omkjøringsmulighet.

2 Feltbeskrivelse

Nedbørfeltet til Vigga bru/kulvert er vist i Figur 1. Nedbørfeltets avgrensning er utarbeidet ved hjelp av NVE-verktøyet NEVINA. Nedbørfeltets størrelse er ca. 5,5 km². Nedbørfeltet har en høydeforskjell på (348-836 moh) og har en stor andel skog (72,4%). Myrprosenten er lav (6,5%). I nedre del av feltet er det store arealer dyrket mark. Effektiv innsjøprosent er på 0%. Feltparametere tilsier en rask avrenning i nedbørfeltet. Normalavrenning 91-2020 er på 19,2 l/s*km².

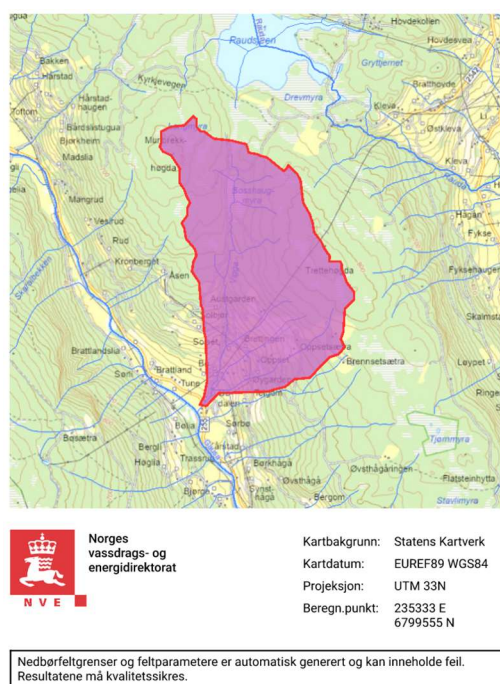


Figur 1. Nedbørfeltet til Vigga bru/kulvert.

2.1 Feltparametere

Feltparametere for nedbørfeltet er vist i Figur 2.

Feltparametere er hentet fra NEVINA.



Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 002.DDD0
Kommune.: Gausdal
Fylke.: Innlandet
Vassdrag.: Gausa

Feltparametere

Areal (A)	5.5 km ²
Effektiv sjø (A_{SE})	0 %
Elvleengde (E_L)	3.8 km
Elvegradient (E_G)	111.1 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ ($E_{G,1085}$)	116.7 m/km
Helning	9.6 °
Dreneringstetthet (D_T)	2 km ⁻¹
Feltlengde (F_L)	3.8 km

Arealklasse

Bre (A_{BRE})	0 %
Dyrket mark (A_{JORD})	12.4 %
Myr (A_{MYR})	6.5 %
Leire (A_{LEIRE})	0 %
Skog (A_{SKOG})	72.4 %
Sjø (A_{SJO})	0 %
Snaufjell (A_{SF})	0 %
Urban (A_U)	0 %
Uklassifisert areal (A_{REST})	8.6 %

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	348 m
Høyde ₁₀	556 m
Høyde ₂₀	661 m
Høyde ₃₀	698 m
Høyde ₄₀	721 m
Høyde ₅₀	747 m
Høyde ₆₀	759 m
Høyde ₇₀	778 m
Høyde ₈₀	796 m
Høyde ₉₀	807 m
Høyde _{MAX}	836 m

Klima- /hydrologiske parametere (1991-2020)

Årlig middellavrenning (Q_N)	19.2 l/s*km ²
Årlig middellavrenning	605 mm
Usikkerhet middellavrenning	18.9 %
Nedbør juni - august	311 mm
Nedbør desember - februar	212 mm
Årstemperatur	0.5 °C
Sommertemperatur	10.9 °C
Vintertemperatur	-7.0 °C

Figur 2. Feltparametere fra Nevina.

3 Krav til flomberegninger

Flomberegninger og hydrauliske beregninger er utført for å finne dimensjonerende flomvannstander samt vurdere kapasiteten til eksisterende bru/kulvert, eventuelt ny konstruksjon.

3.1 Krav til dimensjonerende flom

Valg av dimensjonerende flom, sikkerhetsfaktor og klimafaktor er gitt i vegnormal N200 [1] og vegnormal N400 [2]. Returperiode for flomhendelser for konstruksjoner med diameter over 2,5 m defineres som bru med krav om sikkerhet mot 200-års flom.

3.1.1 Sikkerhetsklasse for veg

Etter krav i vegnormal N400 [2] skal sikkerhetsklasse V3 forutsettes for bruer. Trafikkmengde (ÅDT) og omkjøringsmuligheter vil bestemme sikkerhetsklasse for veg konstruksjoner mindre enn 2,5m. Trafikkmengde (ÅDT) er oppgitt til 923 og veien er vurdert til å ha omkjøringsmulighet, noe som medfører en sikkerhetsklasse V2 som vist i Tabell 1 (for konstruksjoner < 2,5m).

Tabell 1 Sikkerhetsklasser for veg påvirket av flom (vegnormal N200).

Vegkategori	Sikkerhetsklasse for veg	
	Med omkjøringsmulighet	Uten omkjøringsmulighet
ÅDT: 0-500	V1	V2
ÅDT: 501-4000	V2	V3
ÅDT: >4000	V3	V3
Atkomstveger til kritisk infrastruktur i sikkerhetsklasse F3 i TEK 17 (uavhengig av ÅDT)	V3	V3
Gang-/sykkelveger a	Settes til samme klasse som for veg i samme trasé	Settes til samme klasse som for veg i samme trasé

3.1.2 Valg av dimensjonerende flom

Dimensjonerende flomstørrelse for konstruksjoner under 2,5 m for veg med sikkerhetsklasse V2 er 100-års flom fra Tabell 2. 200-års flom og sikkerhetsklasse V3 er dimensjonerende ved spennvidde over 2,5 m, noe som er tilfelle for den nye konstruksjonen.

Tabell 2 Sikkerhetsklasser for veg og valg av dimensjonerende flomstørrelse (vegnormal N200).

Sikkerhetsklasse	Konsekvens	Dimensjonerende returperiode for flom (år)
V1	Liten	50
V2	Middels	100
V3	Stor	200

3.1.3 Klimafaktor

Etter krav i vegnormal N200 [1] skal den dimensjonerende vannføringen ta høyde både for klimaendringer og usikkerhet i beregningen. Klimafaktoren F_k ble bestemt ut fra Tabell 3. Tabellen er basert på klimaprofilene for norske fylker, utarbeidet av Norsk Klimaservicesenter, (2015 - 2017), og tilpasset kravene i vegnormal N200 [1]. For felter mindre enn 10 km² skal det benyttes en klimafaktor på 1,4.

Tabell 3 Klimafaktor F_k (vegnormal N200).

Tabell 2.4.1.1—1 angir F_k som skal benyttes i hvert fylke for små (mellom 10 og 60 km²) og store (større enn 60 km²) nedbørsfelt. For små nedbørsfelt mindre enn 10 km², skal det benyttes $F_k = 1,4$ uavhengig av fylke og feltegenskaper.

Tabell 2.4.1.1—1 — Klimafaktor for flomvannføring, F_k , for fylker

Fylke	F_k	
	Små nedbørsfelt	Store nedbørsfelt
Oslo og Akershus	1.3	1.3
Buskerud	1.4	1.3
Vest-Agder	1.3	1.2
Aust-Agder	1.3	1.2
Finnmark	1.3	1.2
Hordaland	1.4	1.4
Møre og Romsdal	1.4	1.4
Nord-Trøndelag	1.3	1.3
Nordland	1.4	1.4
Oppland	1.2	1.2
Hedmark	1.4	1.2
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
Østfold	1.4	1.2
Vestfold	1.2	1.2

3.1.4 Sikkerhetsfaktor

I vegnormal N200 [1] kreves en sikkerhetsfaktor (F_s) for usikkerheter ved de hydrologiske beregningene som vist i Tabell 4. Sikkerhetsfaktoren avhenger av sikkerhetsklasse på vegen og kvaliteten på det hydrologiske grunnlaget. Flomberegningen er vurdert til å være i klasse 3. Benyttet sikkerhetsfaktor blir dermed på 1,3 (klasse 3 og V3).

Tabell 4 Sikkerhetsfaktor for håndtering av usikkerhet ved hydrologiske beregninger (vegnormal N200).

Sikkerhetsklasse av veg påvirket av flom	Kvalitet på det hydrologiske datagrunnlaget		
	Klasse 1	Klasse 2 eller 3	Klasse 4 eller 5
V1	1,0	1,1	1,2
V2	1,1	1,2	1,3
V3	1,2	1,3	1,4

Tabell 5 Klasse og klassifiseringskriterier for hydrologisk grunnlag (vegnormal N200).

Klasse	Klassifiseringskriterier
1	Godt hydrologiske datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget
2	Brukbart hydrologiske datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget
3	Brukbart hydrologisk datagrunnlag, men store gradienter i spesifikke flomstørrelser
4	Begrenset hydrologisk datagrunnlag
5	Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i områder

Flomberegningen er gjennomført i samsvar med kravene gitt i retningslinjene fra vegnormal N200 [1] og håndbok V240 [4]. Det tillegges en klimafaktor på 1,4 og en sikkerhetsfaktor på 1,3.

$$Q_{dim} = Q_T * F_k * F_s$$

Q_{dim} - dimensjonerende flom

F_k - klimafaktor for store og små nedbørsfelt

F_s - sikkerhetsfaktor, bestemt etter sikkerhetsklasse og hydrologisk grunnlag

4 Flomberegning

Det eksisterer ingen målinger av vannføring i vassdraget. Det er vurdert ulike metoder for flomberegningen. De benyttede metodene består av lokal flomfrekvensanalyse (FFA), PQRUT og RFFA-NIFS.

4.1 Lokal flomfrekvensanalyse-FFA

Flomfrekvensanalyse er basert på analyser av vannføringsmålinger i felt som vurderes som representative for vassdraget. Det er få aktuelle stasjoner i området. Stasjoner som det er utført analyser på er vist i Figur 3. Resultater fra analysen er vist i Tabell 6.

Det er forsøkt å finne stasjoner som er mest mulig representative m.h.t til areal, effektiv sjøprosent, normalavrenning og beliggenhet. Av feltparameterene til de fire stasjonene samsvarer stasjon 2.323 best med Vigga. Høydefordeling, effektiv sjøprosent og feltstørrelse samsvarer rimelig godt med stasjon 2.323 Fura. Vigga har imidlertid et betydelig mindre nedbørfelt samt større andel dyrket mark. Flomstørrelser i Vigga kan derfor forventes å være høyere enn for stasjon 2.323 Fura. Det er likevel stor variasjon i de beregnede flomstørrelser og usikkerheten vurderes til å være høy. Estimerte flomverdier for stasjon 2.323 Fura er betydelig høyere enn de andre stasjonene.

Flomfrekvensanalysen er utført på momentanverdier og med Gumbel-fordeling.



Figur 3. Lokalteter for benyttede vannføringsstasjoner.

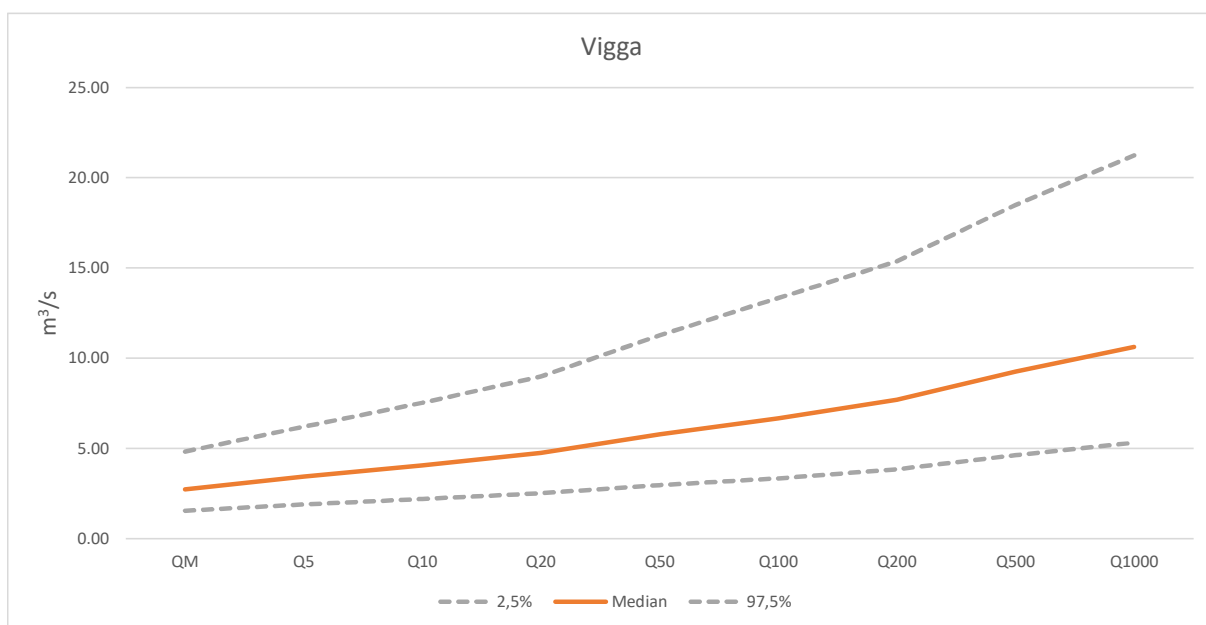
Tabell 6. Flomfrekvensanalyser, kulminasjonsverdier.

Kulminasjon						
Stasjon	Eff.sjøpro sent %	Areal km ²	qn 1991- 2020 (l/s*km ²)	Spesifikk avrenning Qm l/s*km ²	Spesifikk avrenning Q100 l/s*km ²	Spesifikk avrenning Q200 l/s*km ²
2.36 Øvre Heimdalsvatn	3.1	24.9	26.1	334	962	1077
12.13 Rysna	0.9	50.3	33.7	472	1058	1162
73.27 Sula	3.8	30.3	35.2	428	911	1000
2.323 Fura	0.06	36	21	596	1445	1646

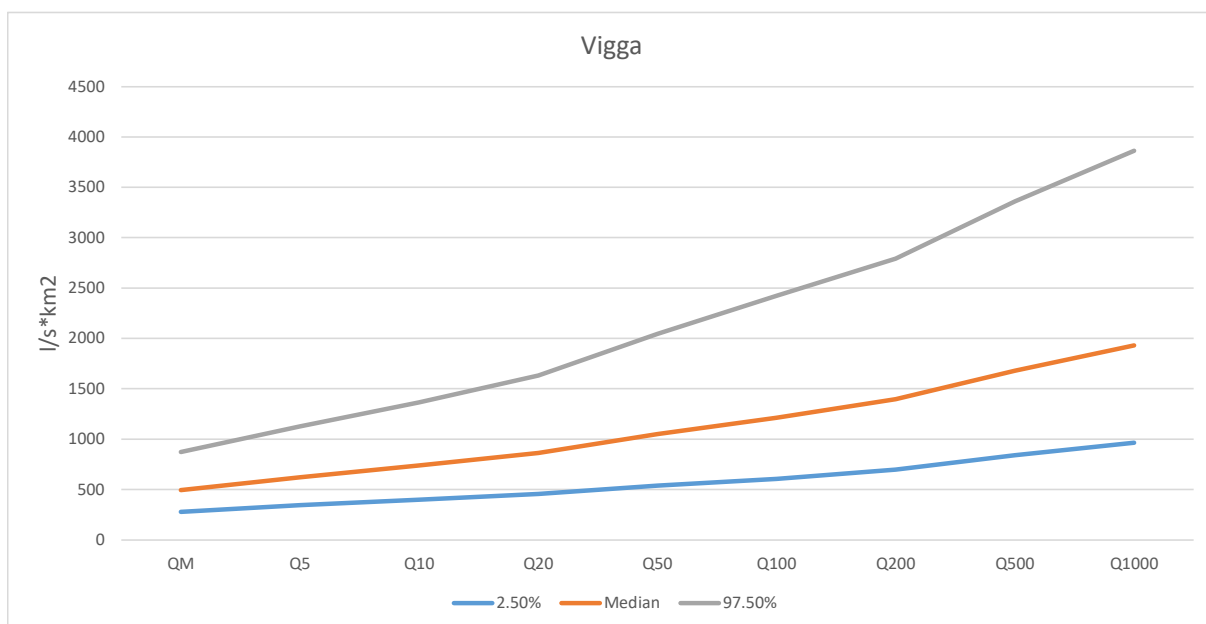
4.2 RFFA-NIFS

Ved å benytte en metode som baserer seg på RFFA-NIFS med normalavrenning, sjøprosent og feltstørrelse som inngangsparametere, gir dette et resultat som vist under i Figur 4, Figur 5 og Tabell 7. Formelverket har et gyldighetsintervall for nedbørfelter med størrelse 0,2-53 km². Metoden egner seg derfor for Vigga.

Metoden viser et stort spenn i verdier for de ulike intervallene. Beregnet 200-års flom varierer mellom 698-2793 l/s*km² med median estimat på 7.68 m³/s (1397 l/s*km²). Median estimat for middelflom er på 2.72 m³/s (494 l/s*km²). Metoden er ytterligere beskrevet i NIFS-rapport [3].



Figur 4. Resultater fra RFFA-NIFS (m³/s).



Figur 5. Resultater fra RFFA-NIFS (l/s*km²).

Tabell 7. Resultater RFFA-NIFS (l/s*km²).

Spesifikk avrenning (l/s*km ²)			
	2.50%	Median	97.50%
QM	279	494	875
Q5	344	622	1126
Q10	399	739	1367
Q20	457	864	1632
Q50	539	1050	2048
Q100	606	1212	2425
Q200	698	1397	2793
Q500	840	1681	3361
Q1000	966	1931	3862

4.3 Nedbør-avløpsmodell PQRUT

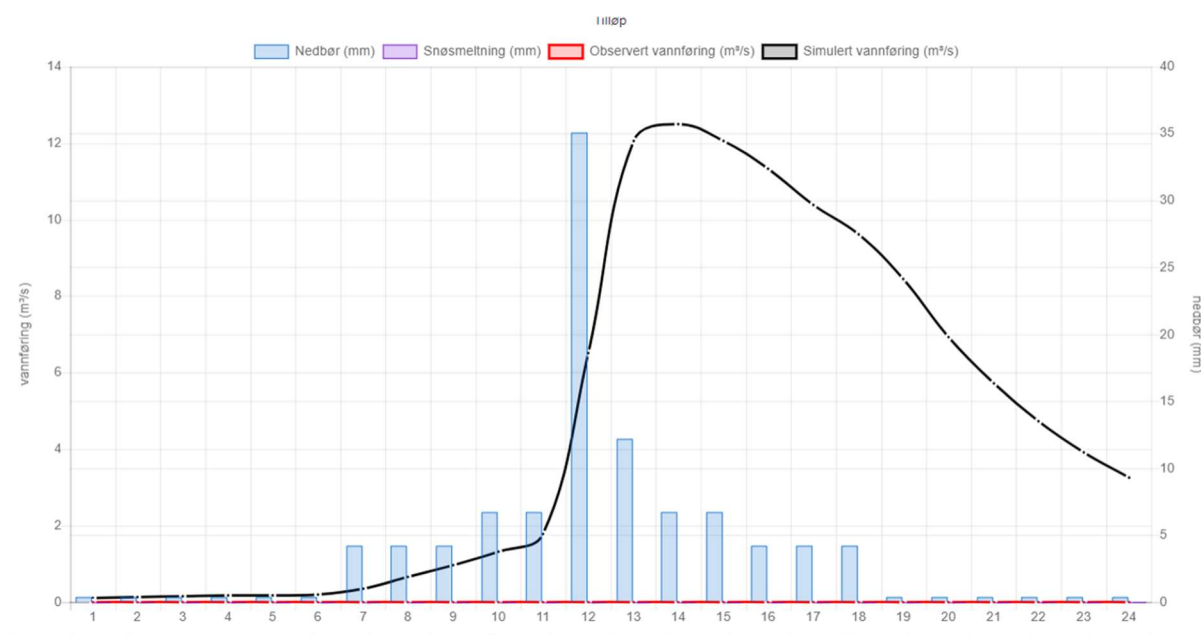
Nedbør-avløpsmodellen regner nedbørdata om til avløp vha. feltparametere for det aktuelle feltet. Det er benyttet NVE's webløsning av modellen.

Benyttet nedbørforløp er basert på frekvensanalyse fra stasjon 12680 Lillehammer-Sætherengen.

Parameterne til modellen er teoretisk bestemt basert på feltparametere fra NEVINA siden det ikke finnes data for kalibrering av modellen. Benyttede modellparametere er vist i Figur 6 og det er benyttet parametere basert på formelverk fra 2016. Resultat av beregningen er vist i Figur 7. Beregningen ga en kulminerende flom på 12,5 m³/s (2272 l/s*km²).

Feltparametre					
Areal (km ²)	A	Effektiv sjøprosent (%)	A _{SE}		
5.50		0.001			
Hypsografisk kurve (m)	H ₇₅	Hypsografisk kurve (m)	H ₂₅	Høydeforskjell	
787		679.5		H ₇₅ - H ₂₅ = 107.50 m	
Middelavrenning (l/s/km ²)	Q _N	Feltaksens lengde (km)	F _L	Relief forhold	
14		3.80		H ₅₀ / L _F = 28.29 m/km	
Dreneringstetthet (km ⁻¹)	D _T	Årlig nedbør (mm/år)	P	Skogprosent (%)	A _{SKOG}
2.00		763		72	
Beregne modellparametre					
Øvre tømmekonstant (1/time)	K1	Nedre tømmekonstant (1/time)	K2	Terskelverdi (mm)	T
0.2043		0.046		6.3292	1983
0.2094		0.0524		27.2923	2016
Tilleggsparametre ↓					
Starttilstand og konsentrasjonstid					
Markfuktighet (%)	S _m	Q _{start} (m ³ /s)		Konsentrasjonstid	T _c
100		0.09		1	

Figur 6. Modellparametre PQRUT.



Figur 7. Resultater PQRUT Q200.

4.4 Valg av dimensjonerende flomstørrelse

Det er valgt å benytte et gjennomsnitt av beregnede flomverdier fra RFFA NIFS og PQRUT. Dette gir et resultat for Q200 på $10,09 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2273 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$). Flomfrekvensanalysen på stasjon 2.323 Fura gir en Q200 verdi på $1646 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Resultatene samsvarer relativt godt med frekvensanalysen for stasjon 2.323 Fura da det kan forventes høyere flomverdier for Vigga.

Dimensjonerende flom (Q200) for Vigga blir dermed på; **$10,09 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,4 \text{ (klimafaktor)} \cdot 1,3 \text{ (sikkerhetsfaktor)}$ som blir $18,36 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3339 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$). Det benyttes $18 \text{ m}^3/\text{s}$ i videre beregninger.**

5 Hydraulisk modellering

Det er benyttet det hydrauliske dataprogrammet Hecras 6.6 for beregning av vannstander, vannhastigheter og nødvendig dimensjon på brua. Det er benyttet en 1-dimensjonal-metodikk for beregningen.

Terrengmodellen er etablert ved bruk av laserdata (LIDAR) samt opmåling av elvebunnen oppstrøms og nedstrøms brua. Terrengmodellens oppløsning er på 0,25 m*0,25 m med høydereferanse NN2000. Benyttet ruhet i modellen (Manning's n) er på 0,04.

Nedstrøms grensebetingelse er satt så langt nedstrøms at den ikke har betydning for beregningen. Eksisterende kulvert er vist i Figur 8. Det kan forventes en betydelig massetransport i bekken som følge av høye vannhastigheter og det er fare for noe gjentetting i kulverten som vist i Figur 9.

Det er ikke opplyst om at det har vært problemer med bruas kapasitet.

Kulvertens dimensjon er oppgitt med en diameter på 2,45m (halvrør).

Benyttede høyder for bunn på ny bru er ved innløpet er på kote 347.35. Bunn av kulvert ved utløpet er satt til kote 346.94.



Figur 8. Eksisterende innløp.

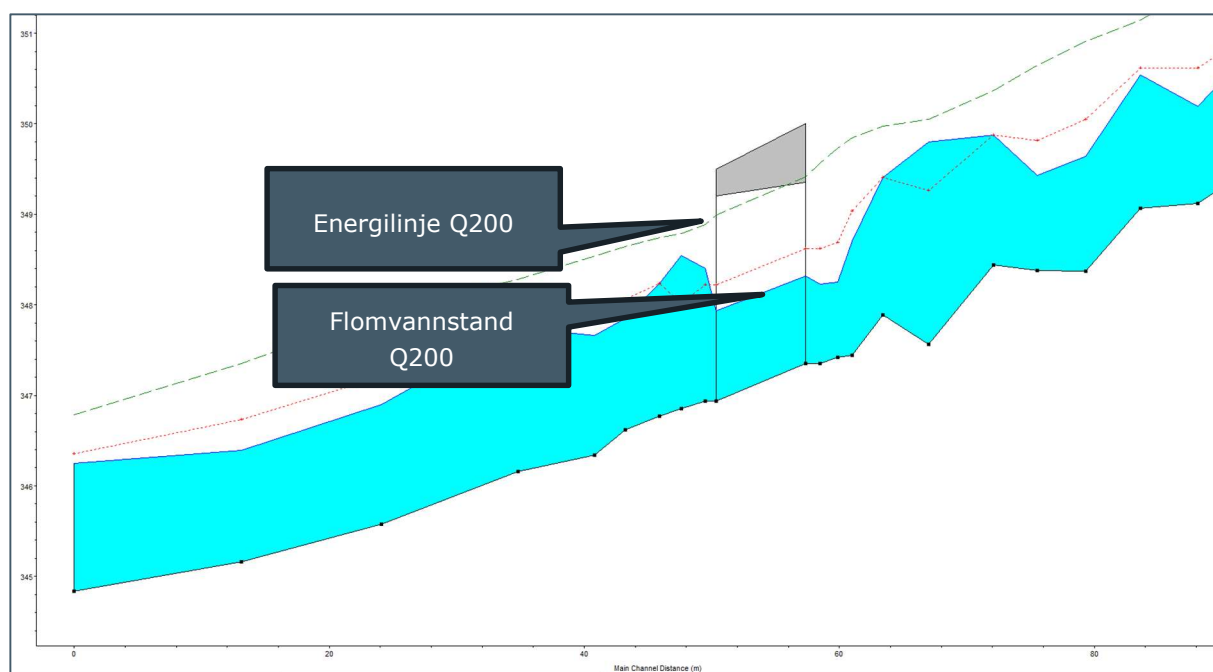


Figur 9. Gjentetting i dagens kulvert.

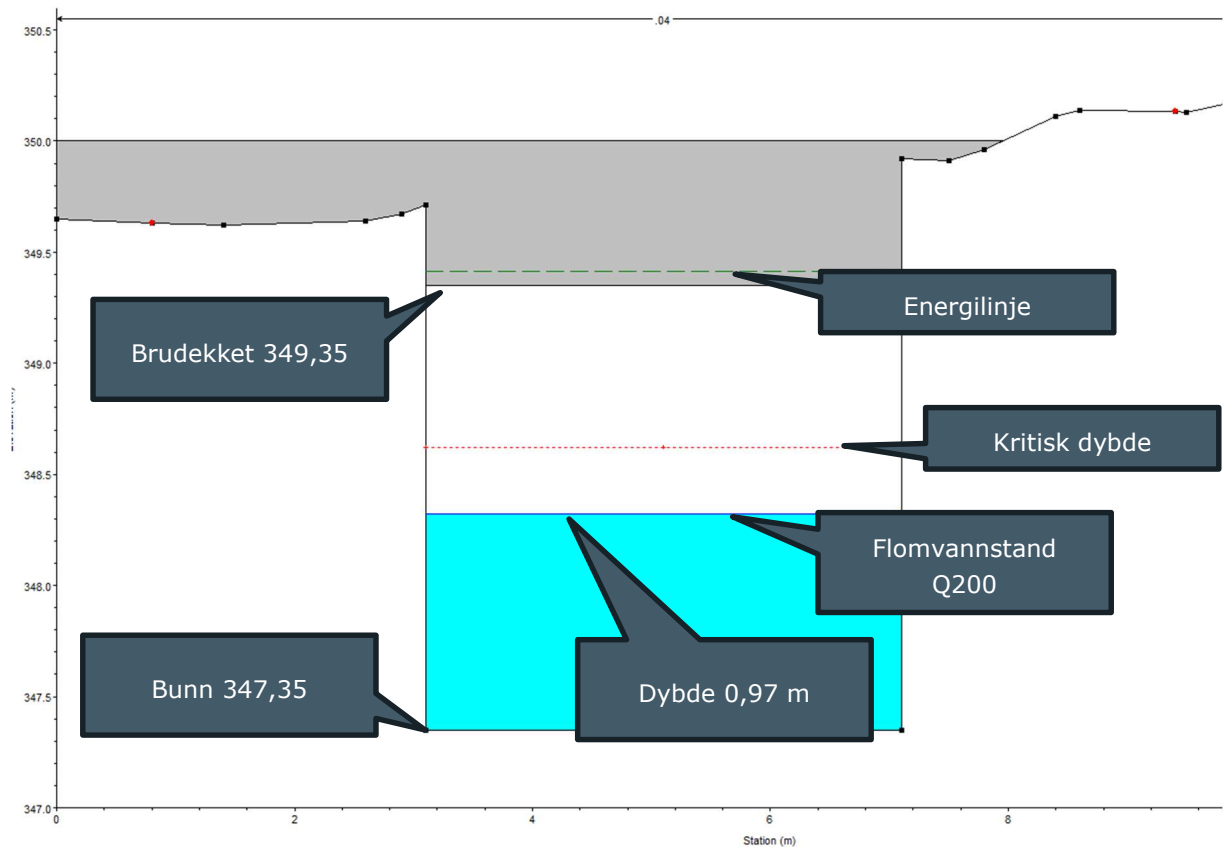
5.1 Minste anbefalte dimensjon 4 m (B) * 2 m (h)

Eksisterende dimensjon på dagens kulvert er underdimensjonert og det vil være nødvendig med dimensjoner over 2,5 m, noe som medfører en brukonstruksjon med dimensjonerende flomstørrelse Q200. Beregningene har en usikkerhet pga. høye vannhastigheter ved innløpet. Dette medfører at energilinja ligger høyt over vannflaten. Energilinja representerer den totale energien i vannet og gir en teoretisk maks vannstand ved for eksempel en tilstopping oppstrøms. Beregnet vannstand ved innløpet anbefales benyttet som grunnlag for dimensjonering.

Resultater fra Hecras med brubredde på 4m og høyde 2 m er vist i Figur 10. Beregningene viser noe vannstandsprang oppstrøms og nedstrøms brua. Beregnet vannstand ved innløpet er på 348,32m noe som gir 1,03 m fri høyde under brua. Energilinja går 6 cm over brudekket ved innløpet, noe som betyr at vannstanden potensielt kan nå denne høyden ved for eksempel oppstuvning og turbulens. For å ta hensyn til usikkerheter rundt vannstandsprang og turbulens ved innløpet vurderes det derfor til at en bru med dimensjon 4 m bredde og 2 m høyde er minste dimensjon for ny bru. Dimensjonen ivaretar krav om 0,5 m fri høyde. Krav om frihøyde på 0,5m gjelder i forhold til flomvannstand og ikke energilinja.



Figur 10. Kapasitet for Vigga med 4m*2m bru og dimensjonerende flom Q200+40%+30%.



Figur 11. Kapasitet for Vigga med 4m*2m bru og dimensjonerende flom Q200+40%+30%.

6 Konklusjon

Flomberegning i umålte felt har generelt en stor usikkerhet og spesielt ved høye gjentaksintervall. Det eksisterer ingen målinger i vassdraget og det er få sammenlignbare stasjoner i området. Flomberegning med den valgte metoden PQRUT og RFFA-NIFS viser sammenfallende verdier med verdiene fra flomfrekvensanalysen.

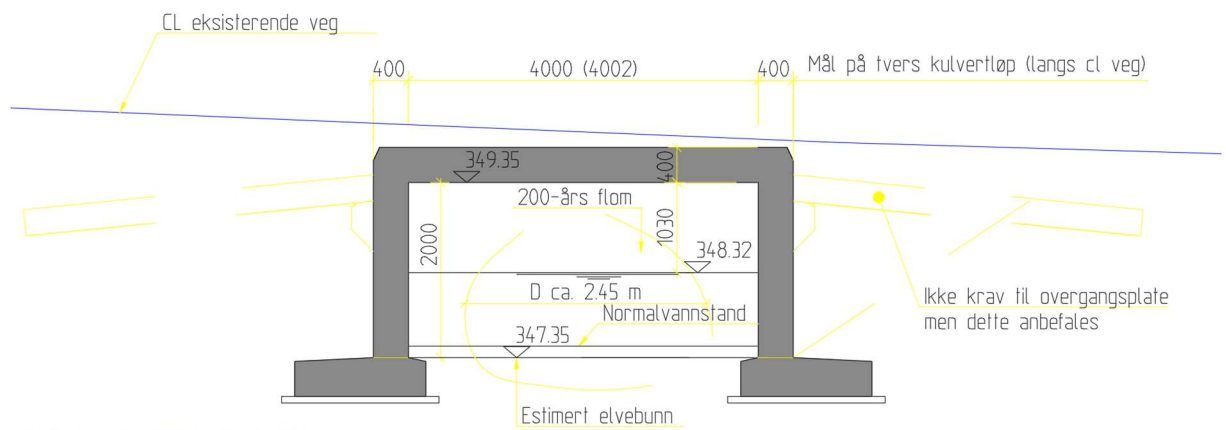
Dimensjonerende flom er vurdert til å være $Q_{200} + 1,4$ klimafaktor $+ 1,3$ sikkerhetsfaktor ($18 \text{ m}^3/\text{s}$).

Hydrauliske beregninger for eksisterende dimensjon viser at kapasiteten ikke er tilstrekkelig og vann vil renne over veien. Det er sett på ulike løsninger for å ivareta en kapasitet for den dimensjonerende flommen. Minste anbefalte dimensjon for ny bru har dimensjon på 4 m bredde og 2 m høyde (Vist på Figur 12 under). Dette gir en frihøyde på 1,03 m og ivaretar derfor kravet om 0,5 m frihøyde. Beregnet vannstand ved innløpet er imidlertid noe usikkert på grunn av de høye vannhastighetene som kan medføre kraftig turbulens og vannstandsprang. Foreslåtte brudimensjon er derfor å anse som minste akseptable dimensjon. Energilinja på anbefalt dimensjon går like over underkant av brudekket. Dimensjonen $4\text{m} \times 2\text{m}$ vurderes til å være akseptabel da frihøyden er betydelig høyere enn minstekravet på 0,5m.

Risiko for erosjon er vurdert til å være høy både ved innløp og utløp basert på vannhastigheter. Behov for ny erosjonssikring ved utløpet avhenger av eksisterende masser og om det er erosjonsskader der i dag. En befaring eller en god billedokumentasjon over området er nødvendig for å kunne vurdere dette ytterligere.

Under er det vist et forslag til utforming av nytt kulverttverrsnitt. Det er tatt utgangspunkt i 4m lysåpning og en innvendig høyde på 2 m. aksenes skjevhet er svært liten, ca 2° . Kulverten er utformet som en tradisjonell rammekulvert med nedgravde fundamenter. Kulverten utføres med påhengte vinger og med lengdefall tilsvarende elvebunn. Uten bevegelige deler er konstruksjonstypen gjenstand for minimalt med vedlikehold. Belegning legges rett på kulverttak, denne vil variere noe i tykkelsen pga. veiens pga. kulvertens lengdefall og veiens stigning over kulverten. Det er i ett forprosjekt naturlig at man ser på om taket på kulverten ikke bør følge veien, for å redusere asfalttykkelse, men det må ses i sammenheng med lengdefallet på kulverten også.

Størrelse på fundamenter og nøyaktige dimensjoner vil avhenge av bl.a. grunnforhold på stedet. Ettersom konstruksjonen er $< 3 \text{ m}$ nedgravd er det i følge N400 Krav 3.8.3-1 ikke krav om overgangsplate, men dette anbefales med hensyn på setningssprang inn mot konstruksjonen.



TYPISK SNITT I CL VEG

1 : 50 (eksisterende konstruksjon er stiple inn)

Figur 12 Tverrsnitt ny konstruksjon.

7 Kilder

- [1] Statens Vegvesen – Vegnormal N200 Vegbygging (Digitale vegnormaler). Vegdirektoratet 2024.
- [2] Statens Vegvesen – Håndbok N400, Bruprosjektering, (Digitale vegnormaler). Vegdirektoratet 2024.
- [3] NVE, Jernbaneverket, Statens vegvesen–Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt, NIFS rapport 13,2015.
- [4] Håndbok N-V240 Vannhåndtering. (Digitale vegnormaler). Vegdirektoratet 2023.