



FLOM- OG VANNLINJEBEREGNINGER

Gullerud bru



RAPPORT – INFORMASJON

DOKUMENT NR.

8384-002-RAP-HYD-007-V01

RAPPORT NR. / ANTALL SIDER

30 + Vedlegg

PROSJEKTLEDER/KONTAKTPERSON KUNDE

Sigurd Fossum

OPPDRAKSLEDER – EFLA

Krzysztof Meixner

NØKKEWORD

Hydrologi, flom, vannlinje

RAPPORT STATUS

- Arbeidsversjon
- Utkast
- Endelig versjon

RAPPORT GRADERING

- Åpen
- Distribuert med kundens tillatelse
- Konfidensiell

RAPPORT TITTEL

Flom- og vannlinjeberegninger - Gullerud bru

PROSJEKT

Bruvedlikeholdstiltak 2021

KUNDE

Innlandet fylkeskommune

FORFATTER

Casper Lande

SAMMENDRAG

EFLA Rådgivende Ingeniører har i oppdrag fra Innlandet fylkeskommune blitt bedt om bistand med flomberegninger og kapasitetsvurderinger av stikkrenner som skal skiftes ut som del av dere bruvedlikeholdsprogram. Eksisterende stikkrenner skal erstattes med betongkulverter med rektangulært tverrsnitt. Denne rapporten tar for seg beregninger og vurderinger som er gjort ved Gullerud bru.



VERSJONSHISTORIKK

<u>NR.</u>	<u>FORFATTER</u>	<u>DATO</u>	<u>KONTROLLIERT</u>	<u>DATO</u>	<u>GODKJENT</u>	<u>DATO</u>
01	Casper Lande	26.10.22	Vivian Palani	26.10.22	Krzysztof Meixner	26.10.22

SAMMENDRAG

EFLA Rådgivende Ingeniører har i oppdrag fra Innlandet fylkeskommune blitt bedt om bistand med flomberegninger og kapasitetsvurderinger av stikkrenner som skal skiftes ut som del av deres bruvedlikeholdsprogram. Eksisterende stikkrenner skal erstattes med betongkulverter med rektangulært tverrsnitt. Denne rapporten tar for seg beregninger og vurderinger som er gjort ved Gullerud bru.

Gullerud bru ligger langs Røykenviklinna langs Fv. 34 i et terreng med mye skog som del av nedslagsfeltet. Under brua renner Gullerudelva som nedstrøms renner ut i Randsfjorden. Under bruene går det to eksisterende stikkrenner av korrugert stål. Stikkrennene er sirkulært utformet med diameter på 2740 mm.

Dimensjonerende flom er beregnet for et gjentaksintervall på 200 år. Det er brukt tre metoder for flomberegninger for sammenligning, nasjonalt formelverk for små nedbørsfelt (NIFS), lokal flomfrekvensanalyse ved bruk av målestasjonsdata og RFFA. Nedslagsfeltet ligger 1,1 km² utenfor gyldighetsintervallet for NIFS, men vil allikevel bli vurdert ettersom feltet så vidt er utenfor. Dimensjonerende flom er ut fra egnethet og gyldighetsintervallet mtp. størrelsen for nedslagsfeltet, samt sikkerhet, basert på skalert verdi fra målestasjon, og ligger på **38,51 m³/s**, inkludert klimafaktor og sikkerhetsfaktor.

Fra dimensjonerende flom er det utført kapasitetsberegninger for eksisterende situasjon og tilhørende dimensjon av ny kulvert. Det er brukt den hydrauliske programvaren HY-8 og GeoHECRAS for kulvertdimensjonering og vannlinjeberegninger.

Fra HY-8 simuleringene viser resultatet at eksisterende stikkrenne ikke har kapasitet til å håndtere en flom med returperiode 200 år, med 0,5 m margin for lysåpning ved innløpet. Hastigheten i utløpet vil her bli på **5,15 m/s**.

Simuleringer for en ny betongkulvert med dimensjon **3500 x 5100 mm** viser at denne har kapasitet til å håndtere dimensjonerende flom med returperiode 200 år, med 0,5 m margin for lysåpning ved innløpet. Hastigheten i utløpet vil her bli på **5,22 m/s**.

Grunnet noe høy hastighet må det vurderes behov for erosjonssikring.

Det er utarbeidet 2D flommodell i GeoHECRAS. Resulterende flomdybde er betydelig lavere i gjennomløpet enn det HY-8 viser, men viser at terrenget rundt innløpet er sårbart for oversvømmelse grunnet liten høydeforskjell. Den lave vannstanden i gjennomløpet er trolig på grunn av at vann flyter utover omkringliggende terreng, men kan også skyldes de simulerte hastighetene inn mot kulvert i GeoHECRAS-modell, der HY-8 simulerer stillestående vann inn i kulvert. HY-8 brukes som dimensjonerende kulvertstørrelse ettersom dette er den mest konservative og sikreste resultatet for størrelse på gjennomløpet.

INNHOOLD

SAMMENDRAG	5
FIGURLISTE	8
TABELLISTE	8
INNLEDNING	9
1 EKSISTERENDE TERRENG OG BRU	10
2 FELTPARAMETERE	15
3 KRAV TIL FLOMBEREGNINGER, KLIMAFAKTOR OG SIKKERHETSFAKTOR	16
4 FLOMBEREGNINGER	18
4.1 Nasjonalt formelverk for små nedbørsfelt (NIFS)	18
4.2 Lokal flomfrekvensanalyse	19
4.3 Regional flomfrekvensanalyse (RFFA-2018)	Error! Bookmark not defined.
4.4 Vurdering av flomberegninger	24
5 KAPASITET OG VANNLINJEBEREGNINGER	25
5.1 HY-8 25	
5.2 GeoHECRAS	26
5.3 Dimensjonerende kulvert	28
KONKLUSJON	29
REFERANSER	30

FIGURLISTE

Figur 1.1: Høydekart av området med eksisterende bru markert med rød sirkel (<i>Finn</i>)	10
Figur 1.2: Satellittbilde av elveløpet med bru markert med rød sirkel (<i>Google</i>)	11
Figur 1.3: Innløp på eksisterende stikkrenne	13
Figur 1.4: Utløp på eksisterende stikkrenne	13
Figur 2.1: Feltparametere for nedslagsfeltet fra NEVINA	15
Figur 4.1: Oversikt over avstand mellom Gullerud Bru og Vismunda målestasjon (Høydedata)	21
Figur 4.2: Oversikt over feltparametere hentet fra Nevina	23
Figur 5.1 Terrengmodell	27

TABELLISTE

Tabell 3.1: Klimafaktor for ulike fylker	16
Tabell 3.2: Dimensjonerende returperiode etter ÅDT/sikkerhetsklasse	17
Tabell 3.3: Sikkerhetsfaktor etter sikkerhetsklasse	17
Tabell 4.1: RFFA-2018 flomfrekvensanalyse fra NEVINA	Error! Bookmark not defined.
Tabell 5.1: Typiske verdier på Mannings tall	25
Tabell 5.2: Parametere brukt i HY-8 beregningene	26

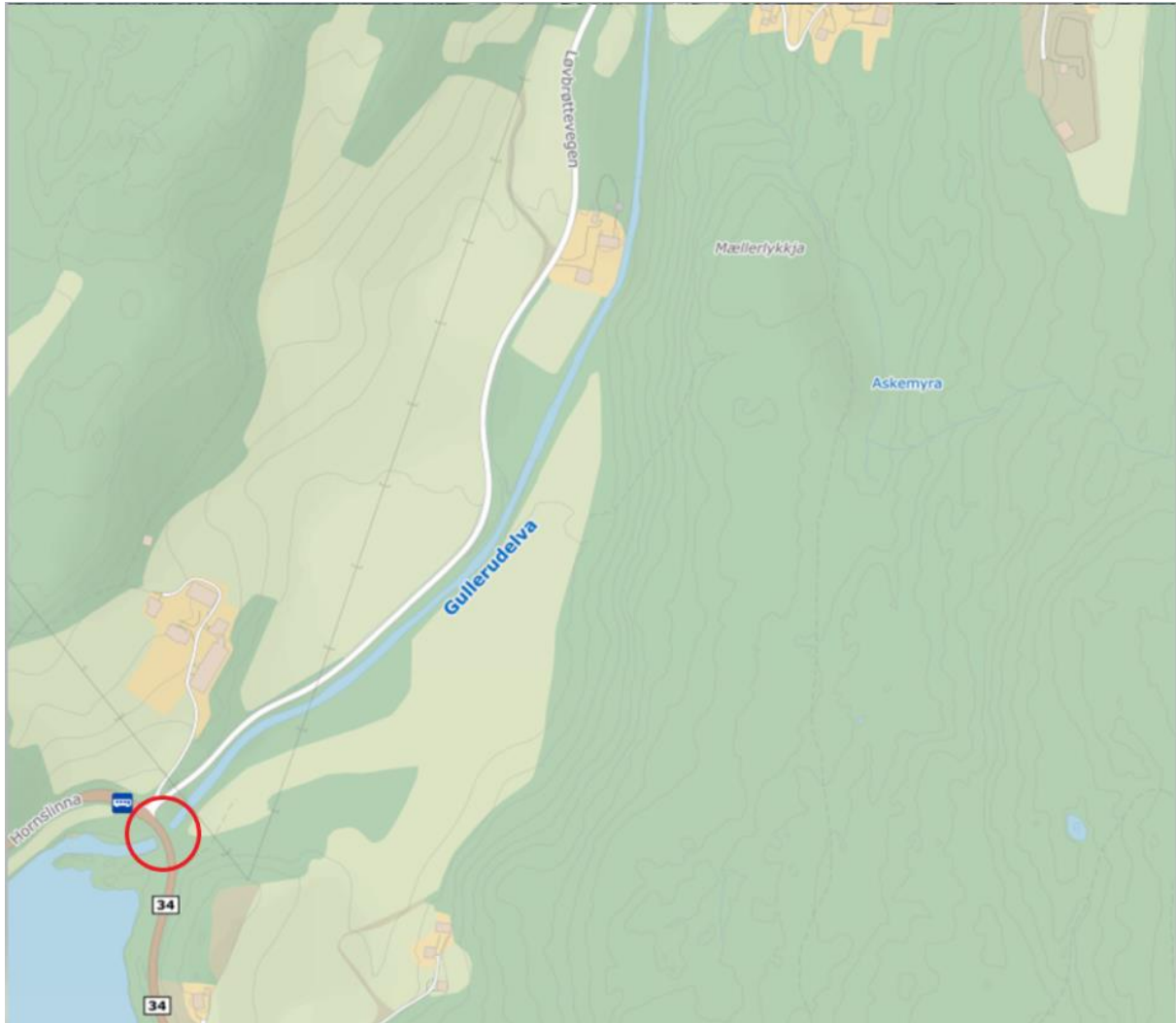
INNLEDNING

EFLA Rådgivende Ingeniører har i oppdrag fra Innlandet fylkeskommune blitt bedt om bistand med flomberegninger og kapasitetsvurderinger av stikkrenner som skal skiftes ut som del av deres bruvedlikeholdsprogram. Eksisterende stikkrenner skal erstattes med betongkulverter med rektangulært tverrsnitt. Denne rapporten tar for seg beregninger og vurderinger som er gjort ved Gullerud bru.

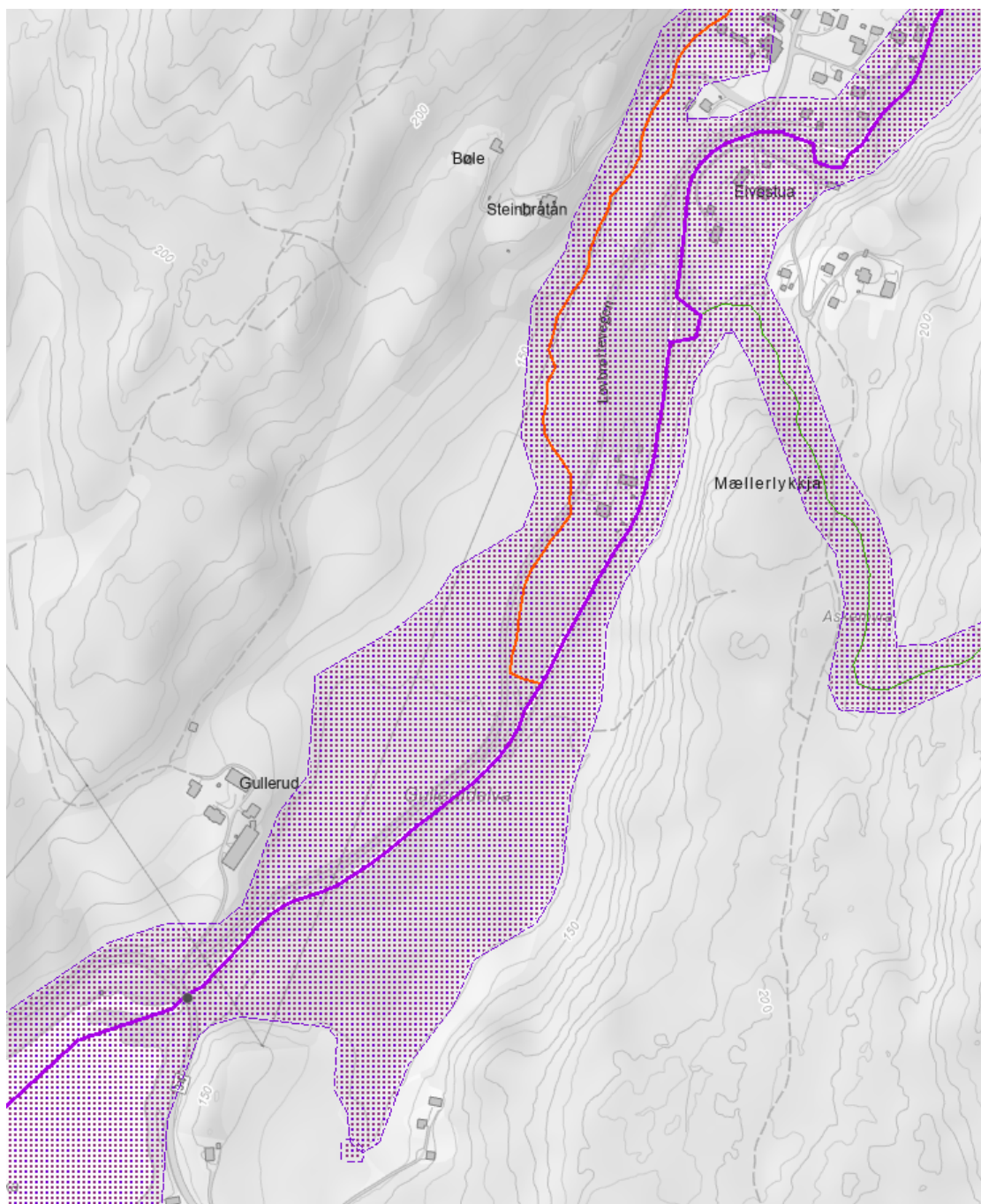
Dimensjonerende flom beregnes for et gjentaksintervall på 200 år. Fra dimensjonerende flom er det utført kapasitetsberegninger for tilhørende dimensjon av ny kulvert. Det brukes programvare HY-8 og GeoHECRAS for kulvertdimensjonering og vannlinjeberegninger.

1 EKSISTERENDE TERRENG OG BRU

Gullerud bru ligger langs Vardalsvegen ved Fv. 33 vest for i et terreng med mye skog som del av nedslagsfeltet. Under brua renner Gullerudelva som nedstrøms renner ut i Randsfjorden, se Figur 1.1 og Figur 1.2 for kart og satellittbilde.



Figur 1.1: Høydekart av området med eksisterende bru markert med rød sirkel (Finn)



Figur 1.3: NVE aktsomhetskart for flom

Eksisterende stikkrenner er av korrugert stål med fundamentert bunn av betong. Oversendt skisse av stikkrennene fra oppdragsgiver, se Vedlegg A, viser at disse er sirkulært utformet med diameter på 2,74 m. Bilder av innløp og utløp er vist i Figur 1.4 og Figur 1.5.

Av bilder tatt fra befaring kan man anta stor oppsamling av drivved ved innløp som må hensyntas ved drift, se Figur 1.6.



Figur 1.4: Innløp på eksisterende stikkrenner



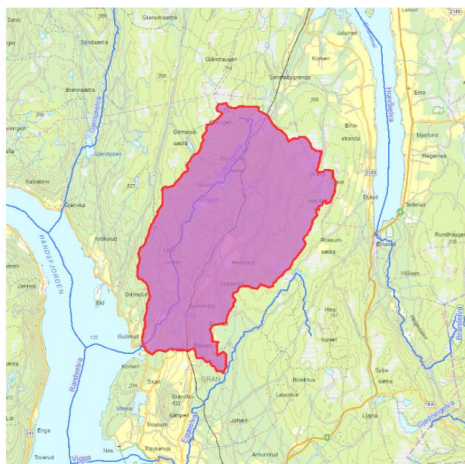
Figur 1.5: Utløp på eksisterende stikkrenner



Figur 1.6: Driftved oppsamlet foran innløp

2 FELTPARAMETERE

Aktuelt nedslagsfelt og tilhørende feltparametere er generert med NEVINA. Dette er vist i Figur 2.1. Feltet har en størrelse på 51,1 km². Høydeforskjellen i nedslagsfeltet er 136 - 721 meter. Det består for det meste av skog (91,0%) og uten noen andel av snaufjell. Effektiv sjøprosent = 0%, men 0,001% vil bli brukt videre i beregningene.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 250917 E
6712273 N

Feltparametere

Areal (A)	51.1 km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	0 %
Elvleengde uten sjø (E _{TL,NET})	66.2 km
Elvegradient (E _G)	38.2 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	29.8 m/km
Helning	7.0 °
Dreneringstetthet (D _T)	1.4 km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	11 km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0 %
Dyrket mark (A _{JORD})	3.4 %
Myr (A _{MYR})	2.8 %
Leire (A _{LEIRE})	0 %
Skog (A _{SKOG})	91.0 %
Sjø (A _{SJØ})	0.9 %
Snaufjell (A _{SF})	0 %
Urban (A _U)	0.0 %
Uklassifisert areal (A _{REST})	1.9 %

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	136 m
Høyde ₁₀	325 m
Høyde ₂₅	407 m
Høyde ₅₀	469 m
Høyde ₇₅	540 m
Høyde _{MAX}	721 m

Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	13.6 l/s*km ²
Nedbør juni	72 mm
Nedbør juli	83 mm
Regn og snøsmelting mai	229 mm
Regn og snøsmelting juni	84 mm
Regn og snøsmelting årlig 4d	86 mm
Regn og snøsmelting november	30 mm
Temperatur februar	-8.0 °C
Temperatur mars	-4.4 °C

1) Verdien er editert

Figur 2.1: Feltparametere for nedslagsfeltet fra NEVINA

3 KRAV TIL FLOMBEREGNINGER, KLIMAFAKTOR OG SIKKERHETSAKTOR

Etter krav fra Statens vegvesen (2020) må dimensjonerende flom beregnes med flere metoder for å kunne redusere usikkerheten ved beregningene. I tillegg skal dimensjonerende avrenning ved gitt gjentaksintervall (Q_T) ha et påslag som tar hensyn til fremtidige klimaendringer (F_k) og en sikkerhetsfaktor (F_u) som bestemmes utfra vegdata. Dette er gitt i SVV håndbøker N200 (2018) og V240 (2020).

$$Q_{dim,T} = Q_T * F_k * F_u \quad \text{Formel 3.1}$$

Klimafaktor for ulike fylker i Norge er gitt i Tabell 3.1. Det aktuelle nedbørsfeltet ligger i tidligere Oppland fylke og klimafaktor bør vurderes ut fra det. Fra feltparametere (ref. Figur 2.1) er nedbørsfeltet definert som et stort nedbørsfelt ($> 10 \text{ km}^2$) da det er $51,1 \text{ km}^2$. Det velges derfor å benytte en klimafaktor på 20%, $F_k = 1,2$ i beregningene.

Tabell 3.1: Klimafaktor for ulike fylker

Fylke	Små nedbørsfelt ($A_f < 10 \text{ km}^2$) F_k	Store nedbørsfelt ($A_f > 10 \text{ km}^2$) F_k
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

Vurdering for dimensjonerende returperiode og sikkerhetsfaktor fra N200/V240 er gitt i Tabell 3.2 og Tabell 3.3. Disse er avhengig av årlig døgntrafikk (ÅDT) og mulighet for omkjøring. ÅDT er utfra Vegkart (vegvesen.no) oppgitt til 1800 for denne veistrekningen. Dette er i intervallet for sikkerhetsklasse V2. Dimensjonerende returperiode vil også avhenge av ÅDT for veg, men skal være på minst 200 år for dimensjonering av bru. Med bru menes kulvert og rør med diameter større eller lik 2,5 m, ihht. N400 Bruprosjektering.

200-årsflom blir derfor uansett gjeldene, og sikkerhetsfaktor for V2 blir brukt. Utfra Tabell 3.3 gir dette en sikkerhetsfaktor på 10% og tilsvarende $F_u = 1,1$.

Tabell 3.2: Dimensjonerende returperiode etter ÅDT/sikkerhetsklasse

Sikkerhetsklasse	ÅDT	Returperiode T	
		Med omkjøringsmulighet	Uten omkjøringsmulighet
V1	0 – 500	50 år	100 år
V2	500 – 4000	100 år	200 år
V3	> 4000	200 år	200 år

Tabell 3.3: Sikkerhetsfaktor etter sikkerhetsklasse

Sikkerhetsklasse	F_u
V1	1,0
V2	1,1
V3	1,2

4 FLOMBEREGNINGER

Beregningsmetodene som er valgt i denne rapporten for å beregne dimensjonerende flom er regional flomfrekvensanalyse (RFFA) og lokal flomfrekvensanalyse ved bruk av målestasjonsdata. Dette oppfylder også kravet fra Statens vegvesen (2020) om at dimensjonerende flom må beregnes med flere metoder for å kunne redusere usikkerheten. Nedbørsfeltet oppfylder ikke kravet for gyldighetsintervallet til den rasjonelle metode ($\leq 2 \text{ km}^2$) og den kan følgelig ikke brukes i dette tilfellet. NIFS er vurdert, men har et gyldighetsintervall $< 50 \text{ km}^2$, så feltet er så vidt for stort.

4.1 Nasjonalt formelverk for små nedbørsfelt (NIFS)

Denne flommodellen baserer seg på flomfrekvensanalyser og brukes for små ($< \text{ca. } 50 \text{ km}^2$), uregulerte felt. Formelverket er basert på et sett med ligninger for å beregne middelflom (Q_M) og vekstkurven (Q_T/Q_M), Formel 4.1 og 4.2, som gjelder for hele Norge. Denne metoden er beskrevet i NVE sin veileder (NVE 7, 2015).

$$Q_M = 18,97 Q_N^{0,864} e^{-0,251\sqrt{A_{SE}}} \quad \text{Formel 4.1}$$

Der:

Q_N = Middelvannføring (m³/s)

A_{SE} = Effektiv sjøprosent (%)

$$\frac{Q_T}{Q_M} = 1 + 0,308 q_N^{-0,137} [\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}] / k \quad \text{Formel 4.2}$$

Der:

q_N = spesifikk middelvannføring, i periode 1961-90 (l/s*km²)

Γ = gammafunksjonen

T = Gjentakintervall

Konstanten k er gitt fra formel 4.3:

$$k = -1 + 2 / [1 + e^{0,391 + \frac{1,54 A_{SE}}{100}}] \quad \text{Formel 4.3}$$

Formelsettet er gyldige for nedbørsfelt med:

- Areal: 0,2-53 km²
- Normalavrenning: 9-163 l/s km²
- Effektiv sjøprosent: 0-21 %

Den største usikkerheten ved bruk av dette formelverket kommer fra middelflomregresjon. I tillegg er det stor usikkerhet knyttet til spesifikk middelvannføring da denne har vist seg å være mer eksakt for noen områder enn andre.

Fra Q_M og Q_{200}/Q_M får vi en flom med returperiode 200 år (Q_{200}) på 40,03 m³/s. Påslag for klimafaktor og sikkerhetsfaktor gir dimensjonerende flom lik:

$$Q_{200dim} = 52,84 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Regionale flomformler

Flomfrekvensanalyse ved bruk av regionale flomformler tar utgangspunkt i en inndeling av flomregioner. Regionale flomformler er gyldige for feltstørrelser ned til 50 km², men gir best presisjon for felt over 100 km² (SVV, 2020). Spesifikk middelflom beregnes fra formel for aktuell flomregion ved bruk av feltparametre generert i Nevina. Denne brukes videre for å finne middelflommen for nedslagsfeltet til det aktuelle punktet.

$$\ln(q_M) = 1,1524 * \ln(q_N) - 0,0463 * A_{SE} + 1,57 \quad \text{Formel 4.4}$$

Der:

q_m = spesifikk middelflom, l/s km²

q_n = midlere spesifikt årsavløp, l/s km²

A_{SE} = Effektiv sjøprosent, %

Vekstfaktorer er valgt fra tabell basert på regionale flomfrekvensanalyser i NVE (2011). Tabell 4.1 viser disse vekstfaktorene. Disse brukes for å finne 200-årsflommen. Gullerud bru befinner seg i region V4 og H3.

Tabell 4.1: Vekstfaktorer fra NVE (2011)

	Q_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M	Q_{500}/Q_M	Q_{1000}/Q_M
H1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5
H2	1,3	1,6	2,0	2,4	2,7	3,0	3,6	3,9
H3	1,3	1,7	2,0	2,6	3,0	3,4	4,2	4,7
K2/ bre	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
K1	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
V1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
V2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3
V3	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5
V4	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1

For å finne forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom, $Q_{mom}/Q_{døgn}$, brukes regresjonsligninger for høstflom fra NVE (2011) vist i formel 4.5. Dette brukes til å beregne 200-års momentanflom.

$$\frac{Q_{mom}}{Q_{døgn}} = 2,29 - 0,29 * \log A - 0,27 * A_{SE}^{0,5} \quad \text{Formel 4.5}$$

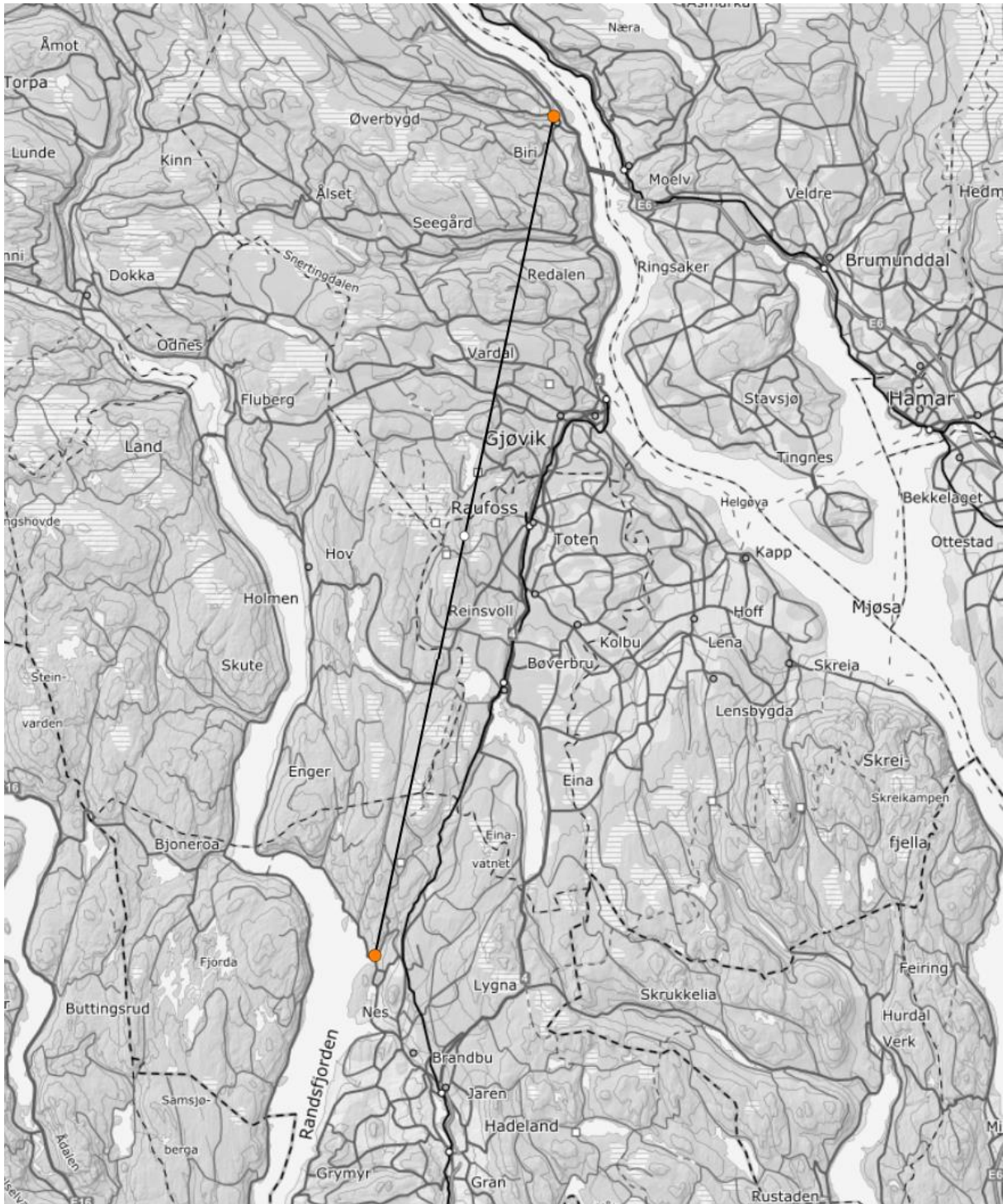
$$Q_{200dim}(høst) = 25,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200dim}(vår) = 16,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

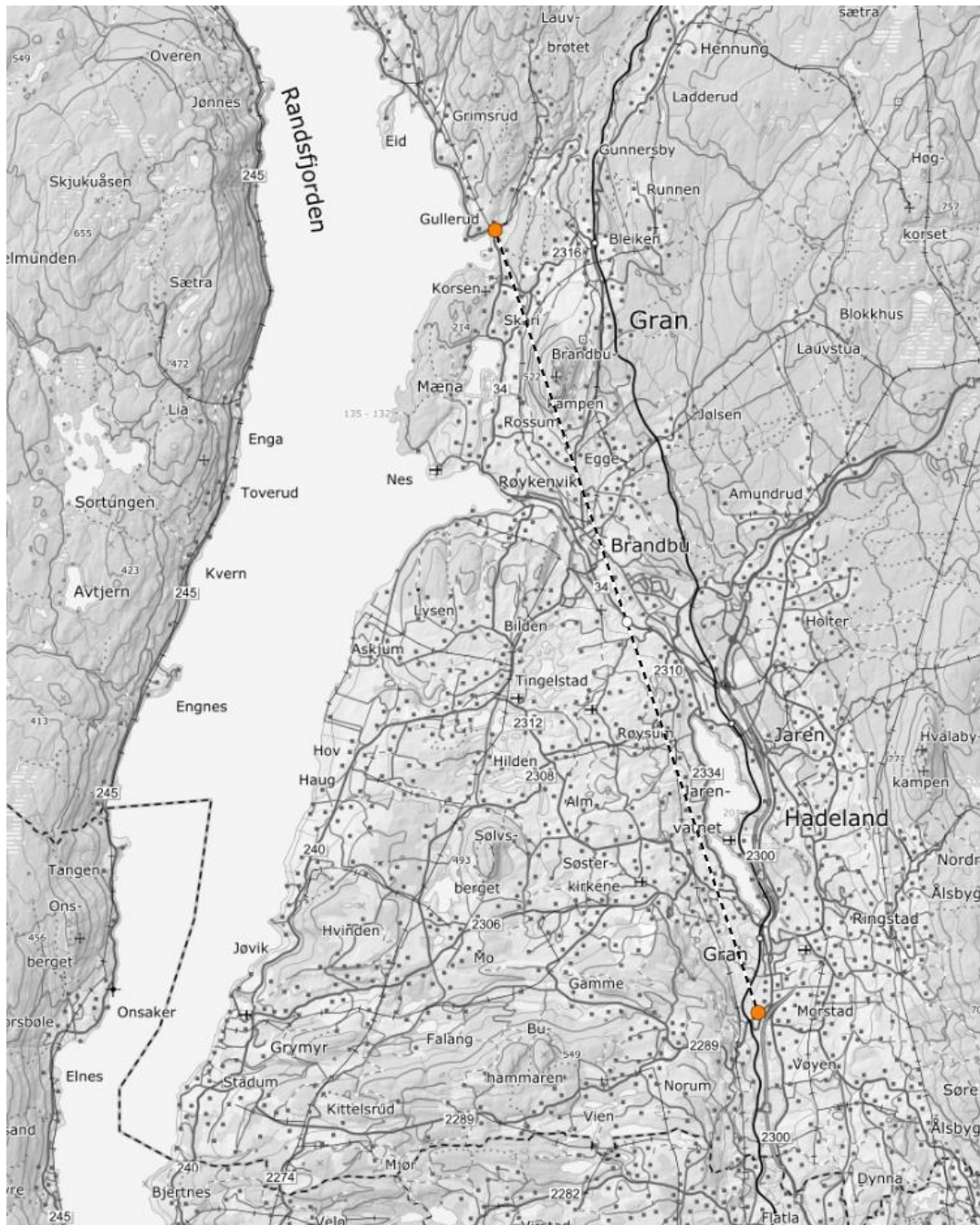
4.3 Lokal flomfrekvensanalyse

Lokal flomfrekvensanalyse baseres på målte vannføringsdata i felt fra målestasjoner lokalt i regionen som vurderes representative for nedslagsfeltet ved Gullerud bru. Disse dataene er hentet fra NVE sin database HYDRA II og flomberegninger tatt fra analyseverktøy for findata (FINUT) for Vismunda, mens data for Hvalskvern er tatt fra DAGUT. Data for målestasjoner og feltparametere hentes også fra NVE atlas (atlas.nve.no). Deretter kan dette datagrunnlaget skaleres mot det aktuelle nedslagsfeltet. For dette området er det få aktuelle målestasjoner med uregulerte felt og vannføringsdata over mange nok år i umiddelbar nærhet.

Målestasjon Vismunda og Hvalskvern vil bli vurdert. Målestasjonen Vismunda ligger 55 km fra Gullerud, mens Hvalskvern ligger 14.8 km fra Gullerud. Oversikt over avstander for aktuelle målestasjon som er brukt er vist i Figur 4.1 og Figur 4.2. Datagrunnlag fra Hydra II er gitt i 5.3 Vedlegg B og C.



Figur 4.1: Oversikt over avstand mellom Gullerud Bru og Vismunda målestasjon (Høydedata)



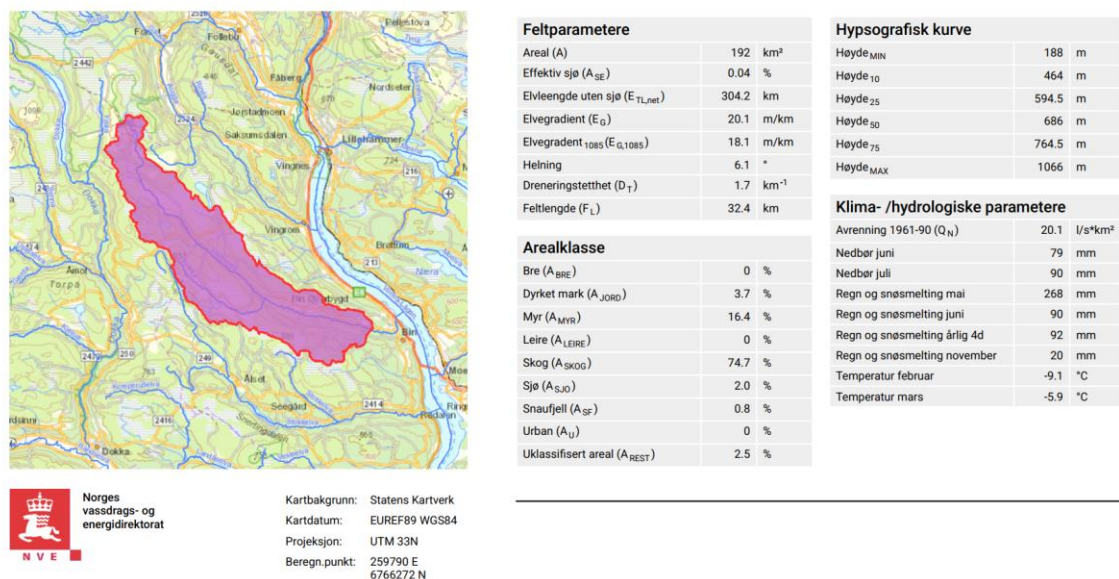
Figur 4.2 Avstand fra Gullerud til Hvalskvern (Høydedata)

Data fra målestasjonene er oppgitt i Tabell 4.2.

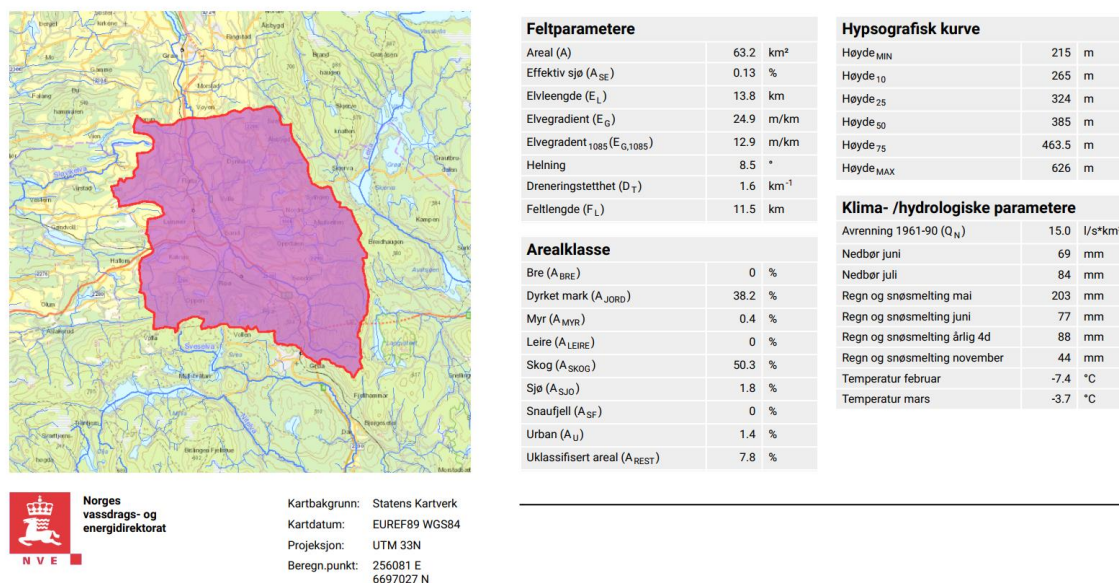
Tabell 4.2

Felt	Periode	Areal [km ²]	A_SE	A_SF	Høydediff.	Qm (m ³ /s)	Qm/Q200	Frek.ford.
2.463 Vismunda	1986-	192.0	0.04	0.8	411	51.229	4.588	GEV (L-moment)
12.297 Hvalskvern	1990-2011	63.2	0.13	0	878	7.696	3.751	GEV (L-moment)

En oversikt over feltparametere hentet fra Nevina er vist i Figur 4.3 og Figur 4.4



Figur 4.3: Oversikt over feltparametere hentet fra Nevina for Vismunda



Figur 4.4: Oversikt over feltparametere hentet fra Nevina for Hvalskvern

Feltet til Vismunda har lignende effektiv sjøprosent, men feltet har betydelig større areal enn nedslagsfeltet ved Gullerud, høyere andel snaufjell og en litt høyere spesifikk middelvanntføring. Hvalskvern har lignende sjøprosent og spesifikk middelvanntføring, og er veldig lik i areal og snaufjell. Hvalskvern ligger også nærmere Gullerud, så denne målestasjonen vil derfor være det beste alternativet. Skalert med utgangspunkt i disse målestasjonene for nedslagsfeltet ved Gullerud bru og

inkludert påslag for klimafaktor, sikkerhetsfaktor og kulminasjonsfaktor gir dette dimensjonerende flom lik:

$$Q_{200dim_Vismunda} = \mathbf{38,51\ m^3/s}$$

4.4 Vurdering av flomberegninger

Fra resultatene til de ulike metodene er det grunn til å anta at det er noe usikkerhet i flomberegningene, hvor de to gyldige metodene gir sprikende resultater. NIFS gir de høyeste flomverdiene, mens regionale flomformler gir de laveste.

Av sikkerhetsmessige grunner er det valgt å bruke den høyeste verdien av de de gyldige metodene – flomfrekvensanalyse ved hjelp av målestasjon.

$$Q_{200dim} = \mathbf{38,51\ m^3/s}$$

5 KAPASITET OG VANNLINJEBEREGNINGER

For å vurdere kapasiteten til eksisterende stikkrenne og dimensjonering av ny er det brukt hydraulisk programvare HY-8. Programmet tar hensyn til inn- og utløpskontroll. Det er i tillegg laget en 2D flommodell i GeoHECRAS.

Mannings tall, M ($1/n$), er viktig i vannlinjeberegninger og beskriver ruhet. Tabell 5.1 viser typiske verdier basert på Chow (1959) hentet fra SVV (2020). For elveløpet brukes en kombinasjon av *skogbunn* og *steinsatt (grov struktur)*.

Tabell 5.1: Typiske verdier på Mannings tall

Overflate	Typisk steinstørrelse [mm]	Manningstall M [$m^{1/3}/s$]	Kilde
Skogbunn	-	5 - 10	Chow (1959)
Tett gress	-	10 - 20	Chow (1959)
Gress	-	25 - 30	Chow (1959)
Leirig jord	0,1	30 - 50	Chow (1959)
Finsand, silt	0,1 - 1,0	40 - 50	Chow (1959)
Sand-grus	1,0 - 10,0	30 - 40	Chow (1959)
Grus, småstein	10 - 30	20 - 30	Chow (1959)
Lite utviklet erosjonshud	10 - 30	20 - 30	Chow (1959)
Steinete	> 30	10 - 20	Chow (1959)
Steinsatt, grov struktur	> 200	5 - 15	Chow (1959)
Glatt asfalt	-	60 - 80	Chow (1959)
Ru asfalt	-	50 - 60	Chow (1959)
Betong	-	80 - 100	Chow (1959)
Glatt plast	-	70 - 110	Chow (1959)
Glatt metall	-	80 - 100	Chow (1959)
Støpejern	-	70 - 100	Chow (1959)
Glatt steinoverflate	-	50 - 70	Chow (1959)

Ihht. N400 Bruprosjektering skal det dimensjoneres for 0,5 m lysåpning ved innløpet til bru. Med bru menes også kulverter og stikkrenner med diameter større eller lik 2,5 m. For mindre dimensjoner enn dette dimensjoneres det for 1/3 gjentetting i stedet ihht. N200 Vegbygging (SVV, 2018).

5.1 HY-8

Det er utført innmålinger for inn- og utløp på eksisterende stikkrenne som gir helning for denne. Topp vei er også innmålt. Koter fra innmålingene brukes i HY-8 simuleringene sammen med data fra opprinnelig ferdigbrutegning, se Vedlegg A.

Eksisterende stikkrenner er av korrugert stål med innløp og utløp tilpasset grøfteskråningen. Tverrsnittet er sirkulært med diameter 2 x 2,74 m.

Fall på bekk nedstrøms stikkrenne av er vurdert og basert på koter tatt fra høydedata.no supplert med innmålinger. Fra utløpet er det en relativt slakk helling videre i bekkeløpet. Parametere brukt i HY-8 er som vist i Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Parametere brukt i HY-8 beregningene

PARAMETER		
Q200dim	38,51	m ³ /s
Kote innløp	134,11	m
Kote utløp	134,93	m
Kote topp vei	138,738	m
Fall på elv utløp	0,012	m/m
Fall på kulvert	0,015	m/m
n, elv	0,033	
n, betong	0,012	

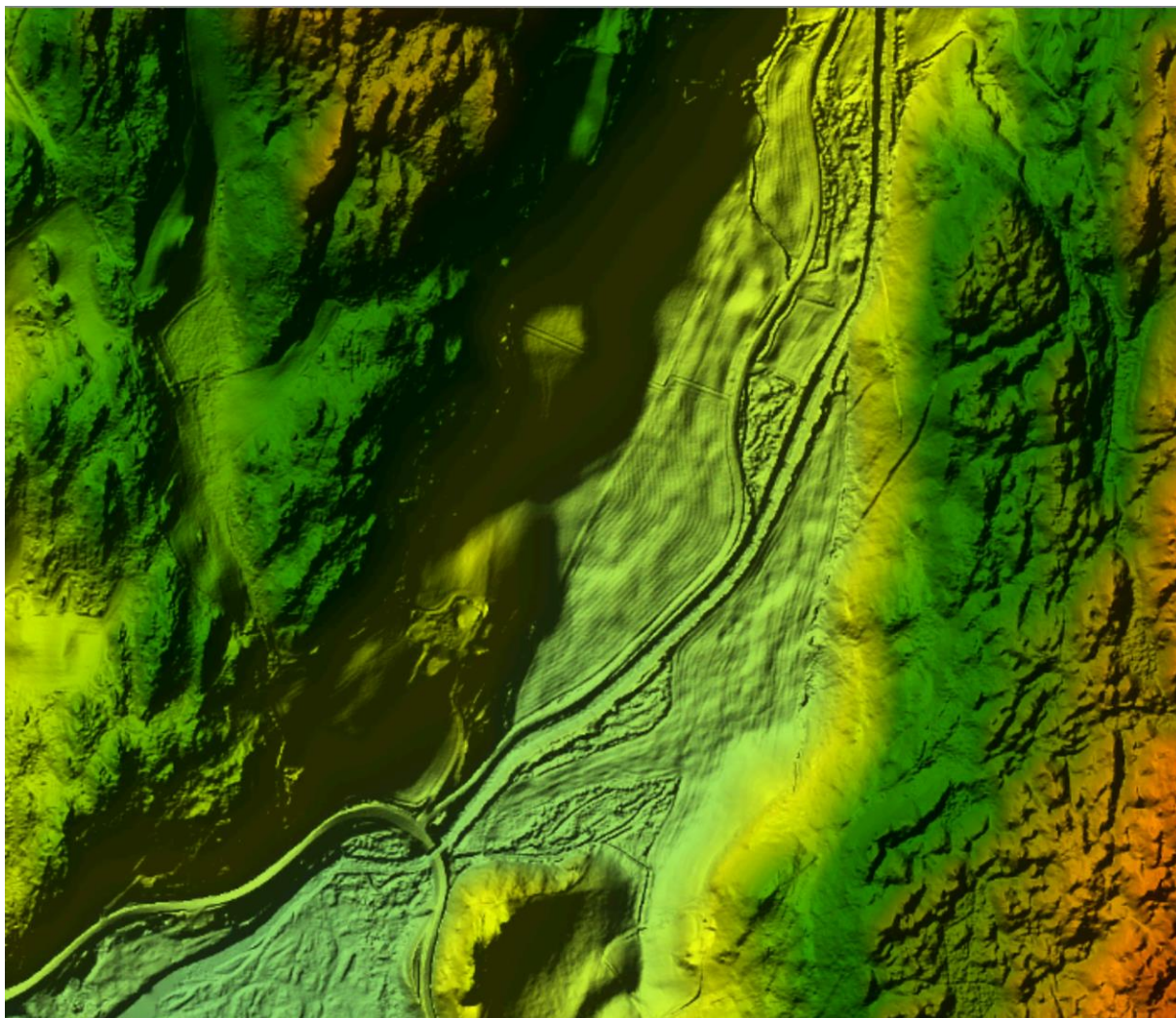
Fra HY-8 beregningene viser resultatet at eksisterende stikkrenne ikke har kapasitet til å ta en flom med returperiode 200 år, med 0,5 m margin for lysåpning ved innløpet. Profilet for gjennomløpet viser at eksisterende stikkrenne har innløpskontroll med en kapasitet på 31 m³/s. Hastigheten i utløpet vil her bli på 4,82 m/s.

Eksisterende stikkrenne vil bli erstattet av en betongkulvert med rektangulært tverrsnitt. Det er utført itererende simulering for betongkulvert hvor minst dimensjon som kan håndtere 200-årsflom er **3500 x 5100 mm**. Profilet for gjennomløpet viser at kulverten har innløpskontroll. Hastigheten i utløpet vil her bli på **5,22 m/s**. Se profil for gjennomløp i Vedlegg D.

Grunnet noe høye hastigheter må det vurderes behov for erosjonssikring.

5.2 GeoHECRAS

Det er laget en 2D modell i GeoHECRAS. Terrengmodell er hentet fra høydedata og tilpasset for å ha et gjennomløp gjennom veien, se Figur 5.1. Denne tilpasningen er ikke gjort med hensyn til innmålinger. Det er simulert med 3 til 6 meter bredde på gjennomløpet. Elveløpet er relativt bratt, og terrenget rundt elven er veldig flatt. Dette skaper problemer flere steder i elveløpet der vann ifølge simuleringer flommer over elven. Vannet trenger mest inn på jordbruk- og skogsområder, men det kan også gå utover Løvbrøttevegen vest for elveløpet, se Vedlegg E.



Figur 5.1 Terrengmodell

Parametere brukt i modellen er:

- Mannings koeffisient i elveløp: 0,033
- Mannings koeffisient i gjennomløp (kulvert): 0,011
- Oppstrøms grensebetingelse: Konstruert hydrograf
- Nedstrøms grensebetingelse: Normaldybde med helling 0.0018

Resulterende flomkart er vist i Vedlegg E Det oppstår noen høye hastigheter gjennom kulvert og der terrenget har tilnærmet vertikal helning, vist som rødt i hastighetskart Vedlegg E. Dette gjelder spesielt oppstrøms for kulverten der det enkelte steder er markante dropp i terrenget. Dette kan skyldes en grov terrengmodell fra høydedata.

Vannlinje fra GeoHECRAS-modell ligger på kote 135,7 moh, ca. 1,1 meter over bunn kulvert. Dette er betydelig lavere enn HY-8 modellen, se tverrsnitt like før innløp og tverrsnitt i gjennomløp (kulvert) i Vedlegg F Dette er trolig et resultat av de store hastighetene som oppstår i modellen.

Etter simuleringene viser programmet at bredden på kulvert har liten betydning for oversvømmelse på de flate områdene oppstrøms.

Det er utført sensitivitetsanalyse med endring i Mannings koeffisient:

- Mannings koeffisient i elveløp: 0,045
- Mannings koeffisient i kulvert: 0,02

Resultater viser 20 cm høyere vannlinje i kulvert. Tverrsnitt for vannlinje like før innløp og tverrsnitt i gjennomløp (kulvert) er vist i Vedlegg G

5.3 Dimensjonerende kulvert

Grunnet de lave vannstandene fra modell i GeoHECRAS og usikkerhet knyttet til terrengmodellen brukt er det valgt dimensjonerende kulvert fra HY-8-modell. Dimensjonerende kulvert blir dermed $H = 3500$ mm og $B = 5100$ mm.

KONKLUSJON

Flomberegninger og kapasitetsvurderinger er utført for Gullerud bru. Eksisterende stikkrenne i korrugert stål skal erstattes med betongkulverter med rektangulært tverrsnitt som del av oppdragsgiver sitt bruvedlikeholdsprogram.

Dimensjonerende flom er beregnet for et gjentakintervall på 200 år. Det er brukt to gyldige metoder for flomberegninger for sammenligning, Regional flomfrekvensanalyse og lokal flomfrekvensanalyse ved bruk av målestasjonsdata. Dimensjonerende flom er ut fra egnethet og gyldighetsintervallet mtp. størrelsen for nedslagsfeltet basert på lokal flomfrekvensanalyse med målestasjon, og ligger på **38,51 m³/s**, inkludert klimafaktor og sikkerhetsfaktor.

Fra dimensjonerende flom er det utført kapasitetsberegninger for eksisterende situasjon og tilhørende dimensjon av ny kulvert. Det er brukt den hydrauliske programvaren HY-8 og HEC-RAS for kulvertdimensjonering og vannlinjeberegninger.

Fra HY-8 simuleringene viser resultatet at eksisterende stikkrenne har kapasitet til å ta en flom med på opptil 31,0 m³/s som er mindre enn 200-årsflom. Med dimensjonerende 200-årsflom i eksisterende stikkrenne vil hastigheten i utløpet bli på 5,15 m/s.

Simuleringer i HY-8 for en ny betongkulvert med dimensjon **3500 x 5100 mm** viser at denne har kapasitet til å ta en flom med returperiode 200 år, med 0,5 m margin for lysåpning ved innløpet. Hastigheten i utløpet vil her bli på **5,22 m/s**.

Grunnet noe høy hastighet må det vurderes behov for erosjonssikring.

Det er utarbeidet 2D flommodell i GeoHECRAS. Resulterende flomdybde er betydelig lavere enn det HY-8 viser. Dette er trolig på grunn av de høye hastighetene som oppstår på grunn av bratte partier i elveløpet fra terrengmodell, samt at vann beveger seg ut i omkringliggende terreng i stedet for å hope seg opp ved innløp kulvert. Av sikkerhetsmessige grunner og usikkerhet knyttet til terrengmodell i GeoHECRAS er det valgt å bruke HY-8 på grunn av større dimensjon ved simulering med denne programvaren.

REFERANSER

Midttømme et al. (04/2011) *Retningslinjer for flomberegninger*, NVE

Glad et al. (7/2015) *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*, NVE

Statens vegvesen (2020) *Vannhåndtering-Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering*, Håndbok V240

Statens vegvesen (2015) *Bruprosjektering-Prosjektering av bruer, ferjekaier og andre bærende konstruksjoner*, Håndbok N400

Statens vegvesen (2018) *Vegbygging*, Håndbok N200

NVE Nevina <https://nevina.nve.no/>

Finn kartjeneste <https://kart.finn.no/>

Google maps <https://www.google.no/maps/>

Vegkart (vegvesen.no) <https://vegkart.atlas.vegvesen.no/>

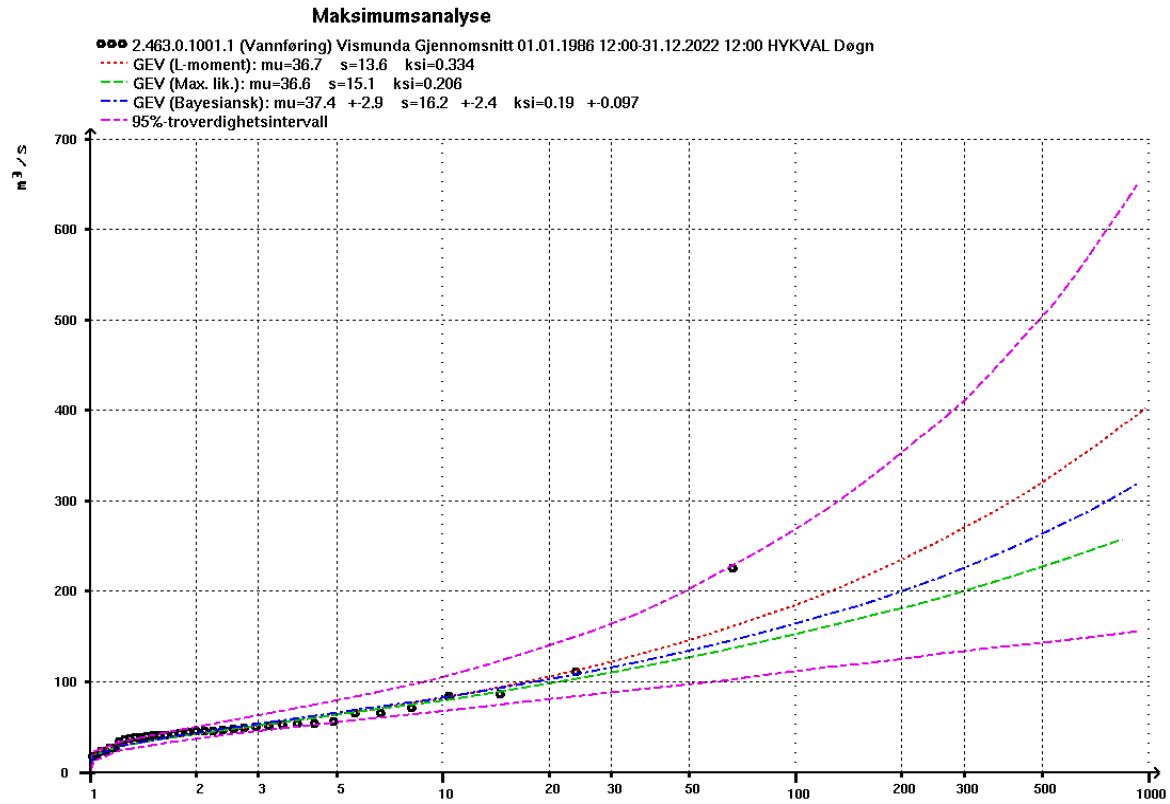
VEDLEGG A

Oversendt skisse av eksisterende kulvert, ferdigbrutegning fra BRUTUS

Ferdigbrutegning	Gullerud bru R. A. 3. veg 34		1966		Arkiv nr. Tverrsnitt M = 1:250	
	Buskerud gr - Brandbu - Bjørge		Byggeskilt 68-E		Tegn. No. 70/13	
	Fylke	Herred	Kilometering (delgjennde)		1967	
	Oppland	Gran	HP 02 - 7.805			
	Brusystem 2 stk Armo korrugerte ståltrøer Ø 2,74 m					
	Konstruksjon (materialer)					
	Brudekke Slitodekke Grus					
	Underbygning (materialer)					
	Fundamentering På grusseog					
	Spennvidde/trykvidde L _f = 2,74 + 2,74 m					
Kurvevt. b = m		Gangbaner G = m		Føringstvt. F = 2,00 m		
Fri bredde over føring	Fri bredde over rekkv.	Fri høyde over pl.	Fri høyde ø bru	Fritt søllep		
m	m	m	m	m		
Konstruert for lastkl. 15 tonn			Endringer av lastkl./akseltr. 1973 - B4 10, 18, K10			
Overbygning:			Underbygning:			
Konstruert av: Oppland Vegvesen			Konstruert av:			
Bygd av: Oppland Vegvesen			Bygd av: Oppland Vegvesen			
Oppriss M = 1:250						
Skisse vegkurvatur:						
Forsterket/Utv.: _____ Tegnet den 9/11 1967 av: <i>Knut Løkken</i>						

VEDLEGG B

Data fra HYDRA II FINUT (fordelingsgrafer og kvantiler) – 2.462.0 Vismunda



2.463.0.1001.1 (Vannføring) Vismunda Gjennomsnitt 01.01.1986 12:00-31.12.2022 12:00 HYKVAL Døgn

Gjennomsnittlig maksimalverdi (middelFlon): 51,229

GEV (L-moment): $f(x)=1/s \cdot (1.0+(k_{SI}(x-\mu)/s)^{-1/(k_{SI}-1)} \exp(-(1.0+(k_{SI}(x-\mu)/s)^{-1/(k_{SI}-1)}))$ $\mu=36.7$ $s=13.6$ $k_{SI}=0.334$

Maksimumskvantiler:

Gjentakelsesintervall (år)	Måleverdier	Relative måleverdier
2	42,05	0,821
5	53,26	1,235
10	62,44	1,609
20	106,34	2,068
50	146,08	2,891
100	185,50	3,621
200	225,06	4,388
500	300,81	5,862
1000	405,48	7,915

GEV (Max. lik.): $f(x)=1/s \cdot (1.0+(k_{SI}(x-\mu)/s)^{-1/(k_{SI}-1)} \exp(-(1.0+(k_{SI}(x-\mu)/s)^{-1/(k_{SI}-1)}))$ $\mu=36,6$ $s=15,1$ $k_{SI}=0,206$

Maksimumskvantiler:

Gjentakelsesintervall (år)	Måleverdier	Relative måleverdier
2	42,37	0,827
5	53,16	1,235
10	79,86	1,599
20	98,50	1,925
50	127,13	2,482
100	152,50	2,977
200	181,69	3,547
500	227,20	4,435
1000	267,80	5,227

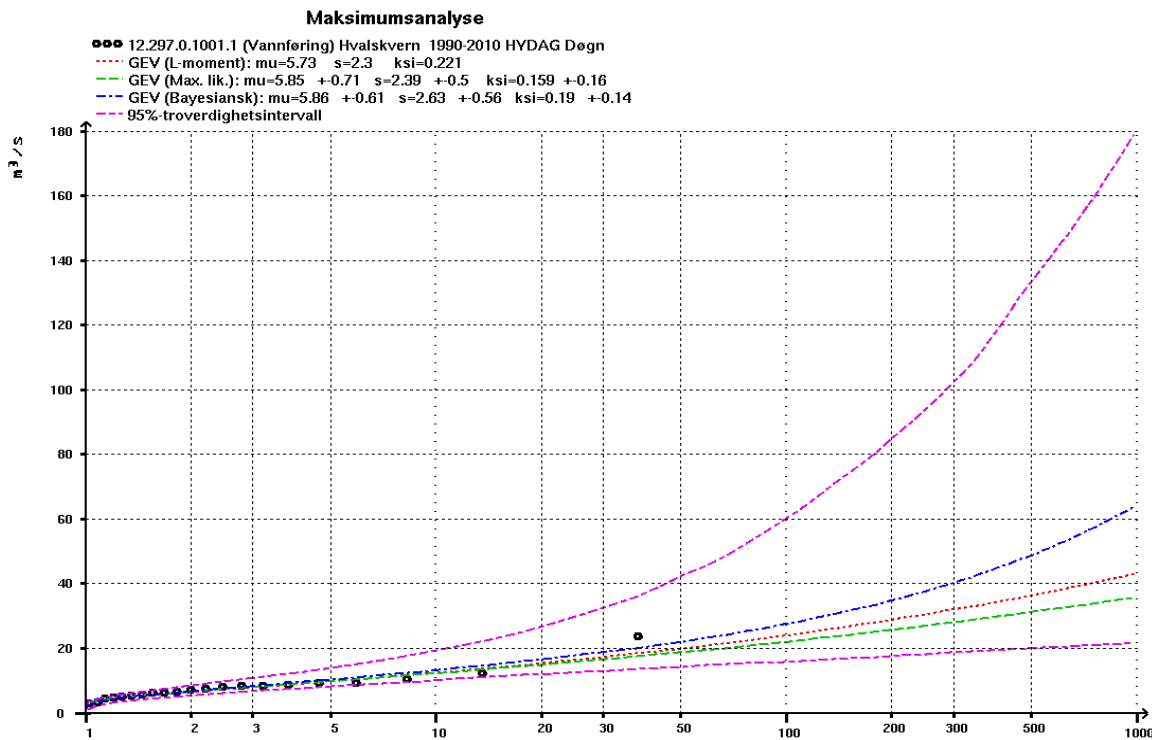
GEV (Bayesiansk): $f(x)=1/s \cdot (1.0+(k_{SI}(x-\mu)/s)^{-1/(k_{SI}-1)} \exp(-(1.0+(k_{SI}(x-\mu)/s)^{-1/(k_{SI}-1)}))$ $\mu=37,3$ $+2,9$ $s=16,3$ $+2,2$ $k_{SI}=0,194$ $+0,097$

Maksimumskvantiler:

Gjentakelsesintervall (år)	Måleverdier	Relative måleverdier	Bøye estimat	Nedre estimat
2	43,80	0,895	37,36	50,03
5	66,23	1,295	55,32	78,64
10	83,86	1,637	63,15	103,83
20	103,69	2,024	83,05	137,37
50	136,35	2,642	99,92	197,30
100	164,83	3,217	115,05	262,81
200	201,63	3,936	126,22	350,45
500	284,58	5,173	144,32	496,37
1000	339,62	6,415	156,62	659,22

VEDLEGG C

Data fra HYDRA II FINUT (fordelingsgrafer og kvantiler) – 12.297 Hvalskvern



12.297.0.1001.1 (Vannføring) Hvalskvern 1990-2010 HYDAG Døgn

Gjennomsnittelig maksimalverdi (middelflow): 7,696

GEV (L-moment): $f(x)=1/s (1.0+(ksi(x-\mu)/s)^{-1/ksi-1} \exp(-(1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi}))$ $\mu=5.73$ $s=2.3$ $ksi=0.221$
 Maksimums-kvantiler:

Gjentaksintervall (år)	Måleverdier	Relative måleverdier
2	6.61	0.859
5	9.83	1.277
10	12.44	1.617
20	15.39	2.000
50	19.98	2.596
100	24.09	3.130
200	28.86	3.751
500	36.40	4.729
1000	43.19	5.612

GEV (Max. lik.): $f(x)=1/s (1.0+(ksi(x-\mu)/s)^{-1/ksi-1} \exp(-(1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi}))$ $\mu=5.85$ $+0.71$ $s=2.39$ $+0.5$ $ksi=0.159$ $+0.16$
 Maksimums-kvantiler:

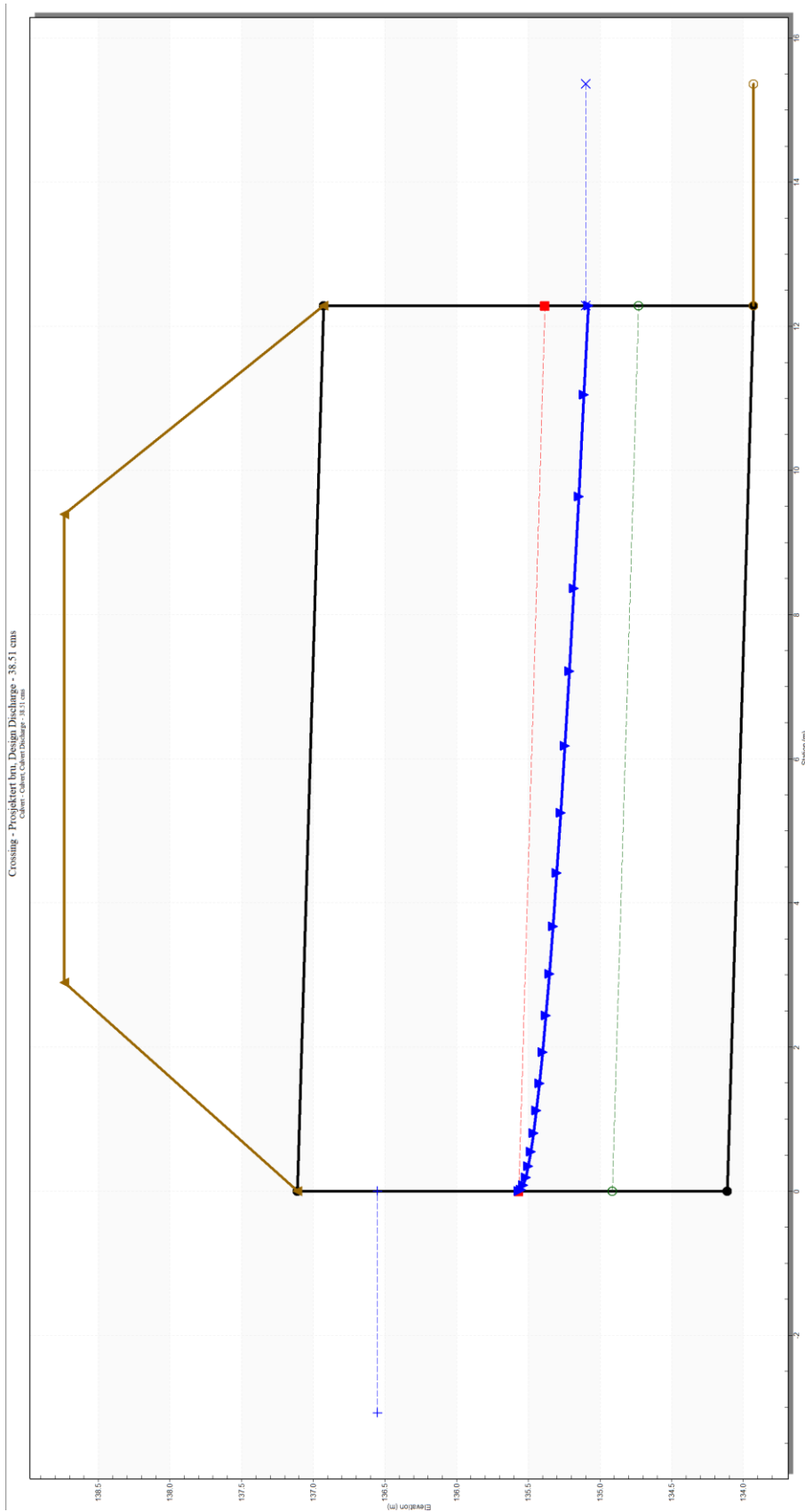
Gjentaksintervall (år)	Måleverdier	Relative måleverdier
2	6.75	0.878
5	9.91	1.287
10	12.35	1.602
20	14.94	1.941
50	18.80	2.443
100	22.09	2.870
200	25.75	3.346
500	31.25	4.061
1000	35.98	4.675

GEV (Bayesiansk): $f(x)=1/s (1.0+(ksi(x-\mu)/s)^{-1/ksi-1} \exp(-(1.0+(ksi(x-\mu)/s))^{-1/ksi}))$ $\mu=5.86$ $+0.62$ $s=2.63$ $+0.54$ $ksi=0.183$ $+0.14$
 Maksimums-kvantiler:

Gjentaksintervall (år)	Måleverdier	Relative øvre estimat	Nedre estimat
2	6.82	0.886	5.60 8.38
5	10.41	1.352	8.33 13.63
10	13.26	1.724	10.03 18.67
20	16.52	2.147	11.76 26.13
50	21.88	2.843	14.07 40.52
100	27.21	3.536	15.79 55.56
200	34.30	4.456	17.48 77.85
500	47.76	6.205	19.63 120.29
1000	62.63	8.146	21.19 168.43

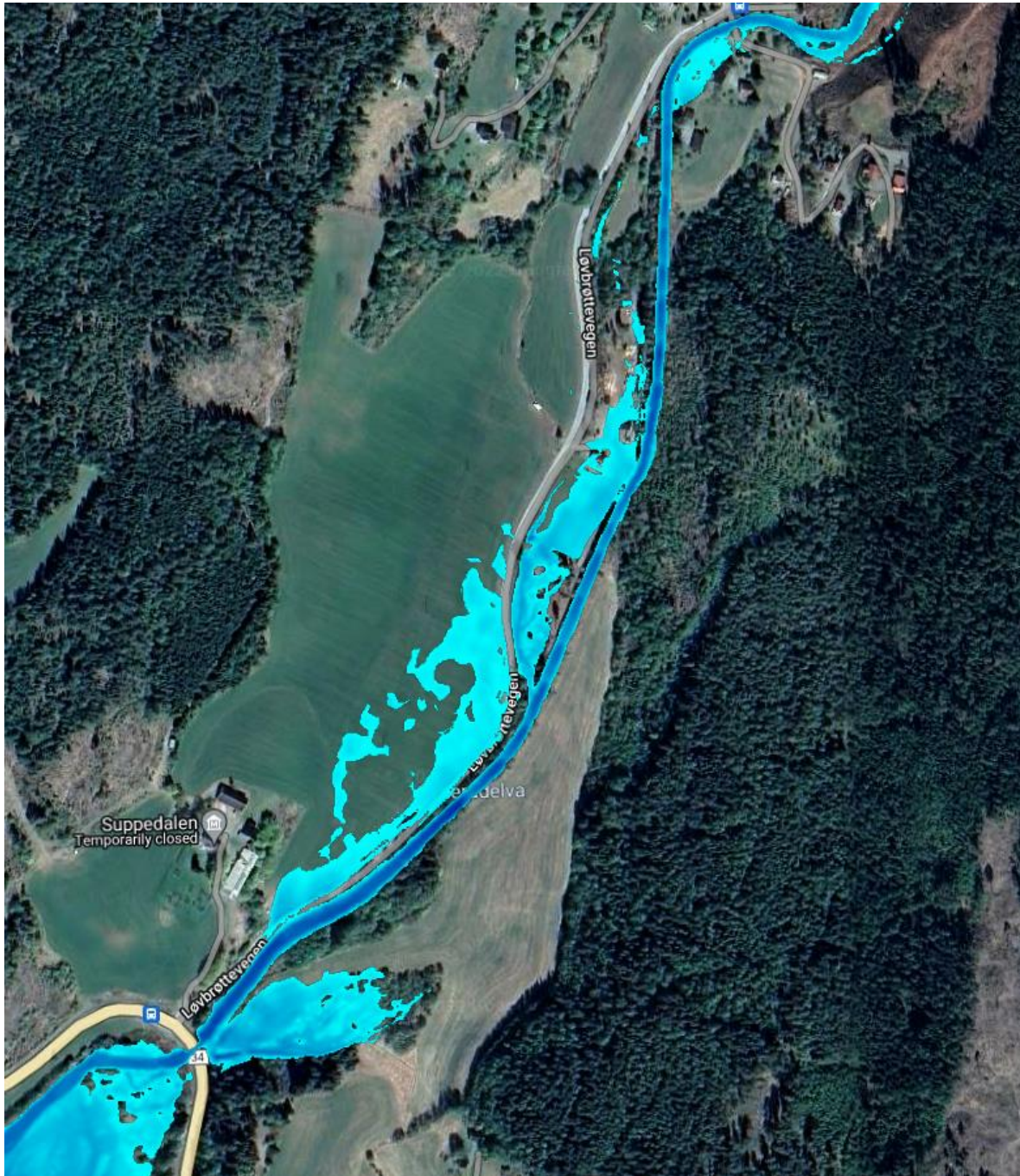
VEDLEGG D

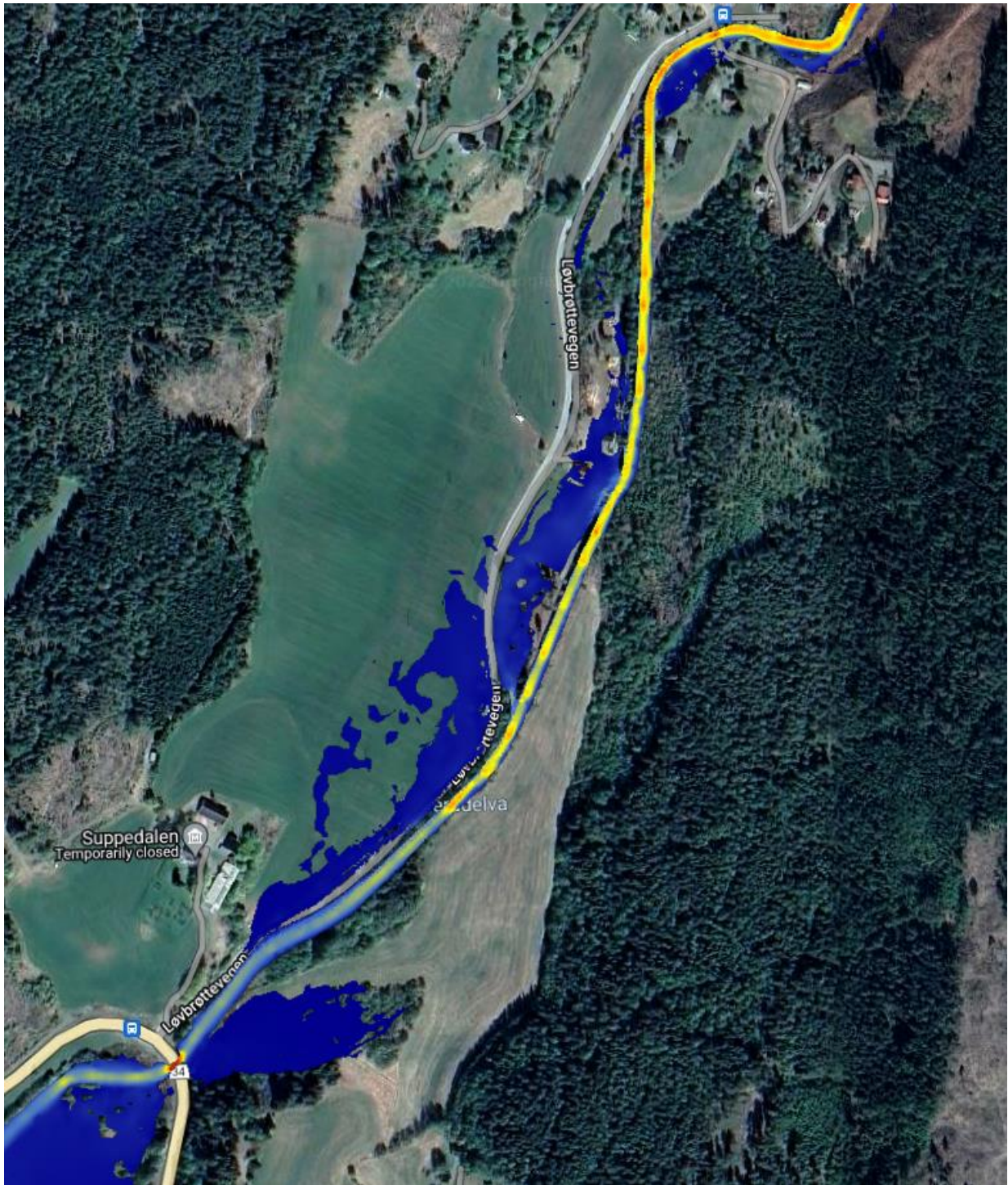
3000 x 3500 mm betongkulvert



VEDLEGG E

Flomkart fra GeoHECRAS

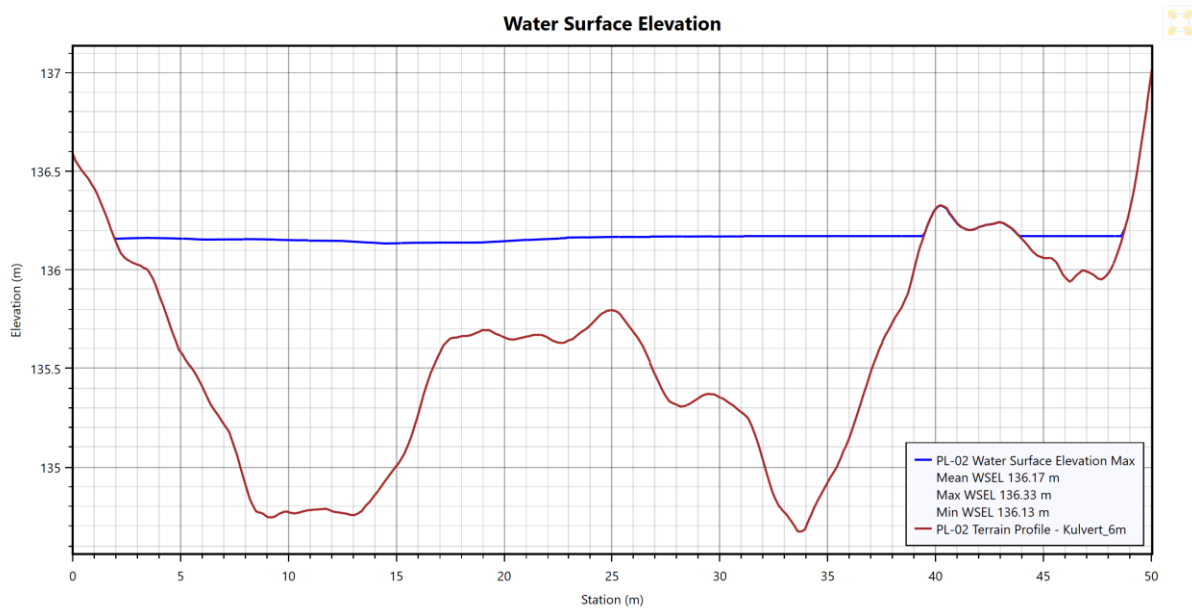




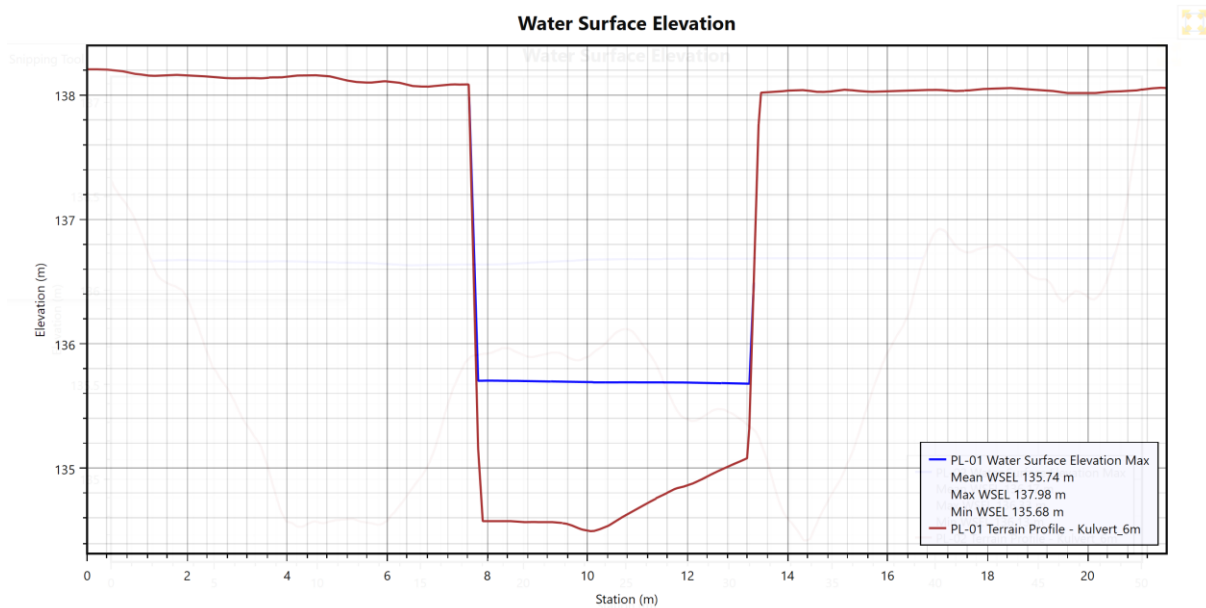
	Velocity	Color
1	8	Dark Red
2	6	Orange
3	4	Yellow
4	2	Light Blue
5	0	Dark Blue

VEDLEGG F

Tverrsnitt av vannstand rett før innløp

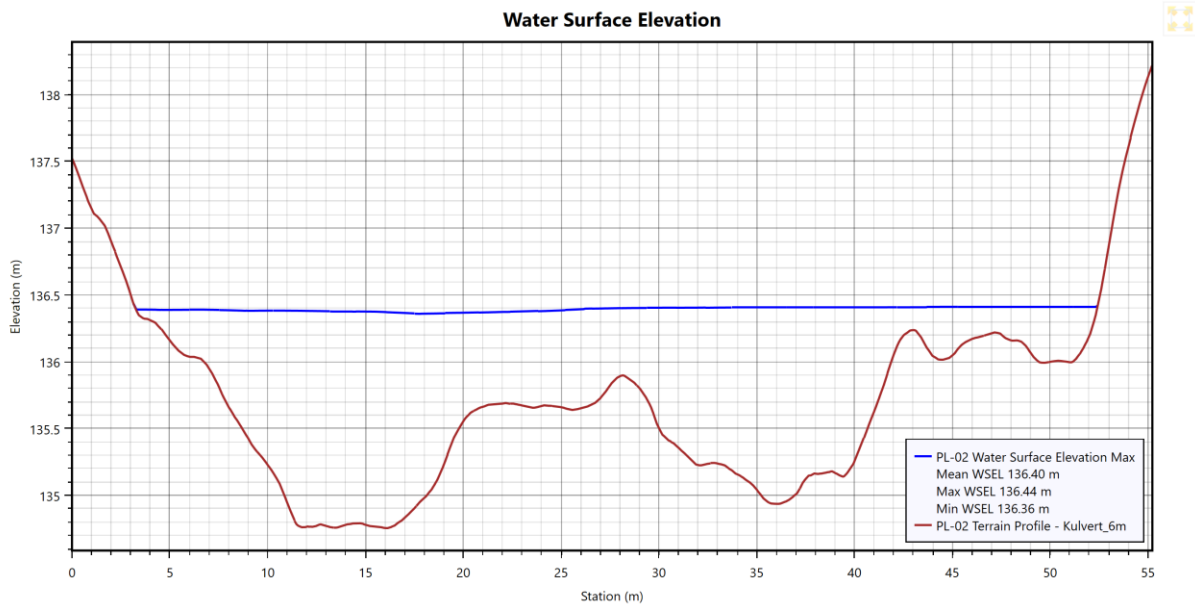


Tverrsnitt av vannstand i gjennomløp



VEDLEGG G

Tverrsnitt av vannstand rett før innløp (Sensitivitet)



Tverrsnitt av vannstand i gjennomløp (Sensitivitet)

