

Nr. 1/2022

Flom- og vannlinjeberegning for Fyllingsnestjørna (064.72), Alver kommune i Vestland fylke

Truls Erik Bønsnes og Thomas Værtingstad



**NVE Oppdragsrapport A nr. 1/2022
Flom- og vannlinjeberegning for Fyllingsnestjørna (064.72),
Alver kommune i Vestland fylke**

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Forfattere: Truls Erik Bønsnes og Thomas Væringstad
Forsidefotografi: Fyllingsnestjørna 11. mai, 2022. Foto: Statens vegvesen

ISBN: 978-82-410-2274-6
ISSN: 1503-0318
Saksnummer: 202206907

Sammendrag: På oppdrag fra Statens vegvesen har NVE utført flomberegning for Fyllingsnestjørna, Alver kommune i Vestland fylke. Det er beregnet tilløpsflom til Fyllingsnestjørna. Tilløpsflommene er deretter rutet gjennom vannet i en hydraulisk modell for å estimere dimensjonerende vannstand ved kulvert under E39. Det er beregnet 200-års flomvannstand ved kulverten, og alternativer hvor det er tatt hensyn til ventede klimaendringer for flommer i år 2100 og anbefalt sikkerhetspåslag. Det er også beregnet vannstander for ulike forutsetninger for kapasiteten til kulverten.

Emneord: Flomberegning, vannlinjeberegning, kulvert, Fyllingsnestjørna, E39

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

desember, 2022

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1 Innledning	6
2 Beskrivelse av nedbørfeltet.....	7
3 Flomberegning.....	9
3.1 Frekvensanalyse ved målestasjoner	9
3.2 Døgnmiddelvannføring.....	11
3.2.1 Lokal flomfrekvensanalyse	11
3.2.2 Regional flomfrekvensanalyse	12
3.3 Kulminasjonsvannføring	12
3.3.1 Forholdstall mellom døgn- og kulminasjonsverdier	13
3.4 Sammenstilling av resultater fra ulike metoder	13
4 Endelig valg av flomverdier	14
4.1 Sammenligning med erfaringstall	14
4.2 Klassifisering av datagrunnlaget	15
4.3 Klimapåslag	15
5 Vannlinjeberegning	16
5.1 Geometri.....	16
5.2 Bekkekulverter	20
5.3 Kalibrering	21
5.4 Grensebetingelser	21
5.5 Modellsimulering.....	21
6 Resultater.....	23
6.1 Eksisterende kulvert, med og uten dam	23
7 Usikkerhet	34
7.1 Følsomhetsanalyse av modellparametere i HEC-RAS	34
8 Referanser.....	36
Vedlegg 1: Tabell, resultater	37

Forord

På oppdrag for Statens vegvesen Region vest har NVE, Hydrologisk avdeling, utført flom- og vannlinjeberegning for Fyllingsnestjørna i Alver kommune i Vestland fylke. En kulvert under E39 skal forlenges ved bygging av gang- og sykkelvei, og ev. rehabiliteres.

Middelvannføring, middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100 og 200 år er beregnet. I tillegg er flomverdiene justert i forhold til ventede klimaendringer.

Thomas Væringstad har vært ansvarlig for oppdraget fra NVEs side. I tillegg har Truls Erik Bønsnes utført de hydrauliske modellberegningene og Thomas Væringstad har kvalitetskontrollert arbeidet.

Rapporten er utført på oppdragsbasis og er ikke en del av NVE sin forvaltningsmessige behandling av saken.

Oslo, desember 2022

Elise Trondsen
seksjonssjef
Seksjon for vannbalanse

Thomas Væringstad
senioringeniør
Seksjon for vannbalanse

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjent i henhold til interne rutiner.

Sammendrag

Det er utført flom- og vannlinjeberegning for E39 ved utløpet av Tjørna, Alver kommune i Vestland fylke. Det er beregnet middelflom og flommer med gjentaksintervall 5, 10, 20, 50, 100, 200 år. I tillegg er 200 års flom justert i forhold til ventede klimaendringer (+ 40%). Det hydrauliske modelleringstøyet HEC-RAS er benyttet til beregning av vannlinjene.

Det finnes ingen vannføringsstasjoner i vassdraget. Flomberegningene er derfor basert på flomfrekvensanalyser fra nærliggende sammenligningsstasjoner i regionen og regionalt formelverk.

Resultatene for tilløpsflom ble (kulminasjonsverdier):

	Q_M	Q₅	Q₁₀	Q₂₀	Q₅₀	Q₁₀₀	Q₂₀₀
Tjørna (m ³ /s)	1,24	1,6	1,8	2,0	2,4	2,6	2,8

Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) er som følger:

(+ 40 %)	Q₂₀₀
Tjørna (m ³ /s)	4,0

Med bakgrunn i det tilgjengelige datagrunnlaget for disse beregningene kan usikkerheten i resultatene klassifiseres i skala fra 1 – 5, hvor 1 tilsvarer beste klasse, vil resultatene for Tjørna få klasse 4.

Kapasiteten til eksisterende kulverter og dagens forhold i elva er sjekket opp mot beregnede flomstørrelsene av tilløpsflommene vist i tabellene over. Tilløpsflommene er deretter rutet gjennom Tjørna basert på ulike hydrauliske forutsetninger og løsninger. Dette gir estimer for størrelsen på avløpsflommer og vannstander i utløpet av Tjørna.

Eksisterende kulverter

Beregningene viser at den eksisterende kulverten vil bli dykket for vannføringer tilsvarende en beregnet 200-årsflom eller større. Utløpet vil også være dykket for de største flommene, noe som skyldes høy vannstand i elveløpet nedstrøms kulverten. LitEN kapasitet i bunnluka i dammen nedstrøm E39 påvirker vannstandene for store flommer fra utløpet av kulverten og ned til dammen.

Vannføringen i kulverten blir hhv. 0,6 og 0,8 m³/s for Q₂₀₀ og Q_{200+klima}. Tilsvarende er vannstanden beregnet til hhv. 28,0 m og 28,3 m på oppstrøms side av kulverten.

Gang- og sykkelvei

Det er kjørt et alternativ der dagens kulvert er forlenget 10 m på oppstrøms side og med dagens dimensjon (diameter: 1,0 m). Dette gir minimalt endringer i vannstanden (2 cm) oppstrøms E39 ved Q₂₀₀. Den lille endingen skyldes at det er dammen på nedsiden av E39 som styrer det meste av de hydrauliske forholdene ved utløpet av Tjørna.

Det er ikke behov for å bytte ut eksisterende kulvert basert på kapasiteten i røret. Det forutsetter i så fall at vegfyllingen er tett og tåler å bli dykket. Dette er nærmere beskrevet i N200 Vegbygging (SVV, 2022), i kapittel om hydraulisk dimensjonering.

1 Innledning

På oppdrag for SVV har NVE, Hydrologisk avdeling, utført flom- og vannlinjeberegninger for Fyllingsnestjørna, Alver kommune i Vestland fylke. Det skal bygges gang- og sykkelvei langs E39 og en kulvert skal forlenges- og ev. rehabiliteres.

Flomberegningen har til hensikt å estimere mengden vann i elva ved ulike flomhendelser. Flomberegningen krever kunnskap om hydrologiske forhold i området og analyse av tidsserier av vannføring. Regionalt formelverk for beregning av middelflom/medianflom (Stenius m.fl. 2015, Engelund m.fl. 2020) og formelverk for små vassdrag (Stenius m.fl., 2015) er også benyttet i analysen.

Vannlinjeberegninger ved forskjellige vannføringer krever kunnskap om elvas geometri, helningen, kulverter og hydrauliske ruhetsverdier. Datagrunnlaget til arbeidet er befaring og fotografier av elveløpene, oppmåling av tverrprofiler, laserdata og innmåling av kulverter, samt flomberegningen over. Basert på disse er det utviklet en forenklet representasjon av elven i form av en 1D hydraulisk modell.

Terrenget og tverrprofilgeometri i modellen er hentet fra DTM (Prosjekt: NDH Nordhordland 2018, 5 punkter/m²). Elvebunn og terrenget er representert ved tverrprofiler med hydrauliske strukturer/bekkekulverter bygget inn. Det ble utført innmålinger av et utvalg av tverrprofiler og kontrollmålinger av elvebunn og kulverter. Dette arbeidet ble utført av Statens veivesen (SVV) i mai 2022.

De hydrauliske vannlinjeberegningene er utført med modellen HEC-RAS 5.0.7 (HEC-USACE, 2016). Verktøyet er utviklet av USACE. Chow mfl. (1988) gir detaljer om slike modellsystemer.

Det er gjennomført flom- og vannlinjeberegninger for middelvannføring, middelflom, 5-, 10-, 20-, 50-, 100- og 200 års flom og 200 års flom med 40 % klimapåslag.

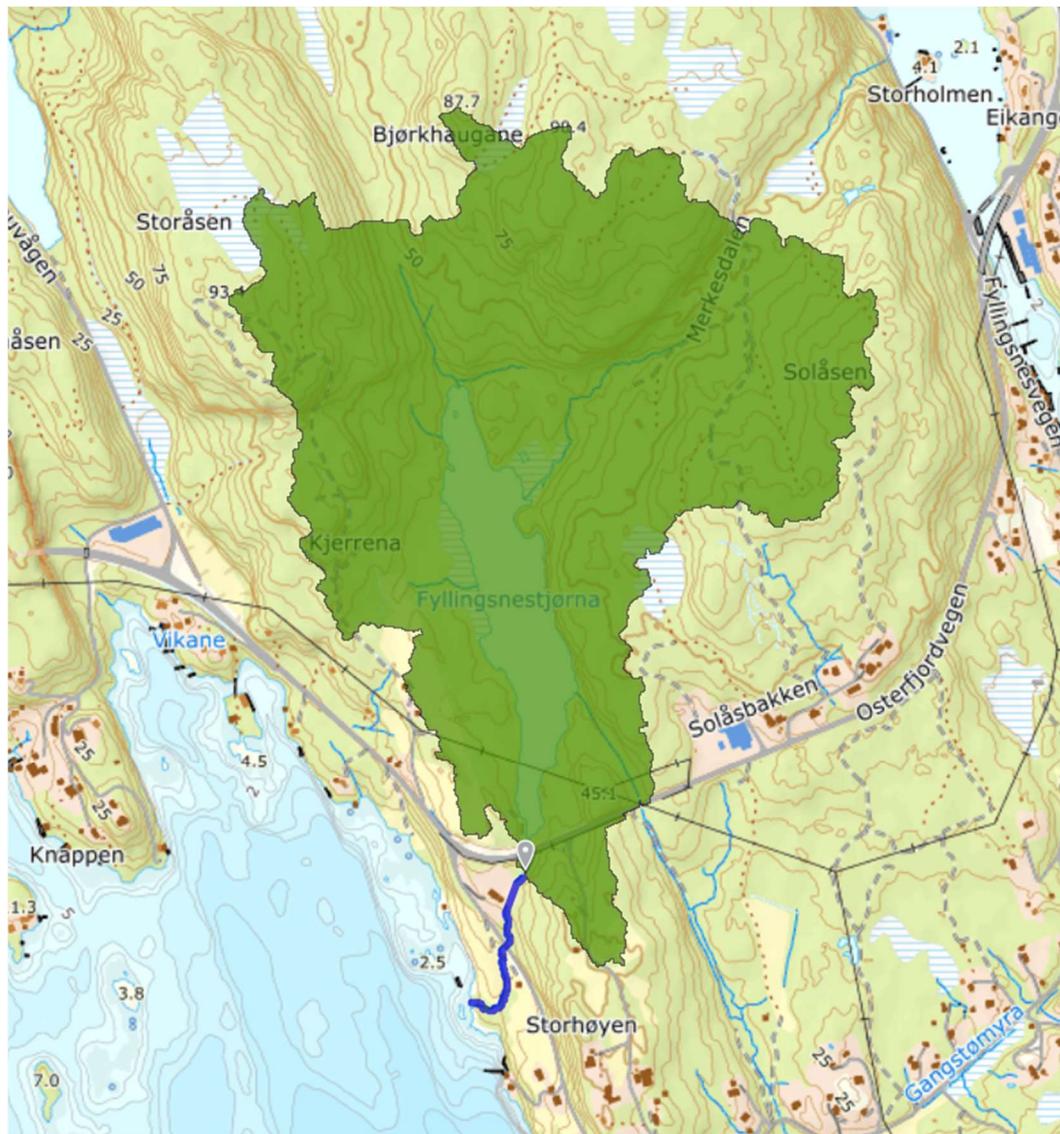
2 Beskrivelse av nedbørfeltet

Tjørna har vassdragsnummer (regine) 064.72. Feltkarakteristika for nedbørfeltet er vist i Tabell 1, og feltgrensene er vist i Figur 1.

NVEs avrenningskart gir en middelavrenning på 70 l/s/km² (1961-1990) for Tjørnas nedbørfelt. Dette tilsvarer i gjennomsnitt en avrenning på ca. 2200 mm/år. Det er en stor gradient i avrenningen fra vest til øst i området.

Vassdraget ligger nært kysten og er utsatt for nedbør som regn og flom i alle årets sesonger. Regnflommene kan være meget raske og intense, men vil dempes som følge av selvregulering i Tjørna. Kapasiteten i kulverten og den gamle dammen nedenfor utløpet av Tjørna, vil påvirke kapasiteten i utløpet og selvreguleringsevnen i vassdraget.

Nedstrøms kulverten ligger det en gammel steindam. Denne påvirker de hydrauliske forholdene i utløpet av Tjørna ved store flommer.



Figur 1. Nedbørfelt til Tjørna. Kilde: SCALGO.

Tabell 1. Feltparametere for Tjørna.

Beregningspunkter	Feltareal (km ²)	Eff. sjø (%)	Q _N * (l/s/km ²)	H ₅₀ (moh.)	Snaufj. (%)
Tjørna	0,59	8,8/0,0*	70	56	0

* Effektiv sjøprosent for tilløpsflom (beregnet uten innsjøarealet til Tjørna).

** Avrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990.

3 Flomberegning

3.1 Frekvensanalyse ved målestasjoner

En oversikt over aktuelle sammenligningsstasjoner for Tjørna er gitt i Tabell 2. Beliggenhet og feltgrenser er vist i Figur 2.

Tabell 2. Feltkarakteristika for aktuelle sammenligningsstasjoner og for et av beregningspunktene i vassdraget det skal gjøres beregninger for.

Stasjon	Måle-periode	Felt-areal (km ²)	Q _N (61-90) (l/s/km)	Eff. sjø (%)	Median-høyde moh.
Tjørna	-	0,59	70	8,8/0,0	56
42.2 Djupevad	1963-d.d.	31,0	108	0,3	547
42.16 Fjellhaugen	1992-d.d.	7,28	110	1,0	687
55.4 Røykenes	1934-d.d.	50,0	101	2,2	307
55.5 Dyrdalsvatn	1977-d.d.	3,31	146	3,9	581
56.1 Sandsli	1984-d.d.	0,080	59	0	54
56.2 Håvardstun	1984-d.d.	2,20	59	2,7	55
61.8 Kaldåen	1985-d.d.	15,3	108	0,1	884
61.13 Haukåselva	2006-d.d.	7,38	71	0,4	108
62.18 Svartavatn	1988-2018	72,4	105	0,3	754
63.12 Fjellanger	1994-d.d.	12,8	95	0,9	913

Q_Nårsmiddelavrenningen i perioden 1961-90 beregnet fra NVEs avrenningskart.

Under følger en beskrivelse av målestasjonene.

42.2 Djupevad ligger i Kvinnherad kommune og stasjonen har observasjoner siden 1963. Nedbørfeltets areal er 31,9 km² og midlere felthøyde er 526 m. Den effektive sjøprosenten er lav og selvreguleringsevnen tilfeltet er relativt liten. Vannføringskurven består av tre perioder, og kvaliteten på flom vurderes som meget god, men noe mer usikker før 1976.

42.16 Fjellhaugen ligger i Kvinnherad kommune. Stasjonen har observasjoner siden 1997. Nedbørfeltets areal er 7,2 km² og midlere felthøyde er 685 m. Den effektive sjøprosenten er nokså lav og selvreguleringsevnen tilfeltet er relativt liten. Kvaliteten på vannføringskurven ved flom vurderes som middels god på store vannføringer.



Figur 2. Nedbørfelt til sammenligningsstasjoner i området (sort). Analysefeltet er markert med rødt.

Målestasjon 55.4 Røykenes ligger i vassdraget Oselva. Stasjonen ble satt i drift i 1934 og observasjonsperioden er derfor lang. Frem til 1977 besto observasjonene av en daglig avlesning av vannstandsskalaen, fra den tid er stasjonen utstyrt med kontinuerlig registrerende instrument. Vannføringskurven på flom er antatt å være bra.

Målestasjon 55.5 Dyrdalsvatn ligger i øvre deler av Oselva og har et feltareal på 3,31 km². Stasjonen har observasjoner siden 1977, men det mangler periodevis data. Vannføringskurven på flom er antatt å være meget bra. Målestasjonen gir en indikasjon på flomforholdene i Tjørna, men har vesentlig større avrenning.

Målestasjonene 56.1 Sandsli og 56.2 Håvardstun er urbanstasjoner i Bergen kommune. Dataene er gjennomgått primærkontroll, men mangler sekundærkontroll. Det er også noe usikkerhet knyttet til feltgrenser. På grunn av usikker datakvalitet er målestasjonene tillagt liten vekt i analysene for Tjørna.

Målestasjon 61.8 Kaldåen har observasjoner siden 1985. Nedbørfeltets areal er $16,1 \text{ km}^2$ og midlere felthøyde er 885 moh. Den effektive sjøprosenten og selvreguleringsevnen tilfeltet er liten. Kvaliteten på vannføringskurven under flom vurderes som middels god.

Målestasjon 61.13 Haukåselva ligger helt nord i Bergen kommune. Stasjonen har observasjoner siden 2006. Nedbørfeltets areal er $7,4 \text{ km}^2$ og midlere felthøyde er 108 moh. Vannføringskurven er antatt middels god på flom.

Målestasjon 62.18 Svartavatn ligger i Voss kommune. Stasjonen har observasjoner siden 1987. Nedbørfeltets areal er $72,1 \text{ km}^2$ og midlere felthøyde er 753 moh. Vannføringskurven er antatt nokså god. Profilet er stabilt og har gode registreringer på flom.

Målestasjon 63.12 Fjellanger ligger i Vaksdal kommune. Stasjonen har observasjoner siden 1994. Nedbørfeltets areal er $12,8 \text{ km}^2$ og midlere felthøyde er 913 moh. Vannføringskurven er antatt noe usikker på flom.

3.2 Døgnmiddelvannføring

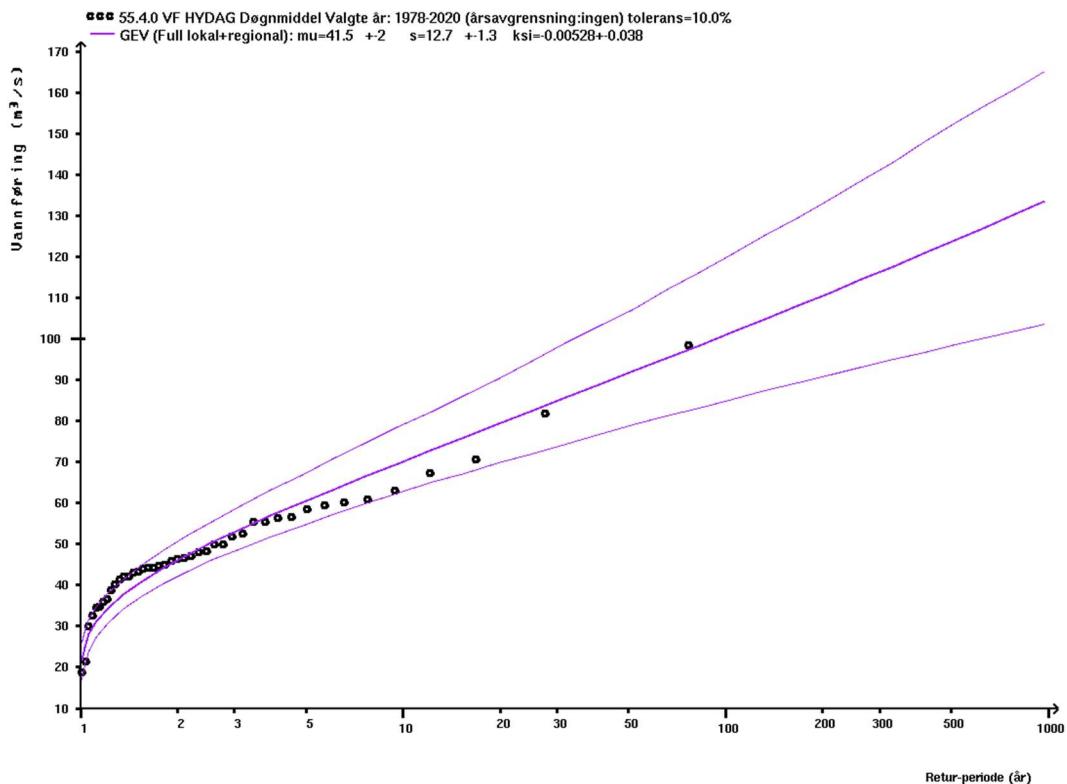
3.2.1 Lokal flomfrekvensanalyse

Resultater fra flomfrekvensanalyser fra de ulike stasjonene, døgnmiddelverdier, er presentert i Tabell 3, med midlere flom (Q_M) i absolutte og spesifikke verdier og flommer med forskjellige gjentaksintervall (Q_T) som en faktor i forhold til midlere flom (vekstkurve). Vekstkurven fra stasjonen 55.4 Røykenes er også presentert grafisk i Figur 3. Tabell 3 viser flomfrekvensanalyse for målestasjonene basert på tilpasning ved bruk av GEV (full lokal + regional).

Tabell 3. Flomfrekvensanalyser på døgnmiddelverdier (årsflommer) for aktuelle målestasjoner. Tabellen viser middelflom (Q_M) og vekstkurve (forholdstall mellom middelflom og flommer med høyere fjentaksintervall, Q_T/Q_M). Fordelingsfunksjonen er en kombinasjon av lokal og regional analyse, GEV(Full lokal+regional) (Engeland, mfl., 2020).

Stasjon	Periode	Ant. år	Q_M		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
			l/s/km ²	m ³ /s								
42.2 Djupevad	1972-2021	49	1113	34,5	1,22	1,42	1,61	1,87	2,06	2,29	2,59	2,82
42.16 Fjellhaugen	1998-2021	23	1277	9,30	1,23	1,43	1,63	-	-	-	-	-
55.4 Røykenes	1978-2020	42	968	48,4	1,26	1,46	1,65	1,90	2,10	2,30	2,57	2,79
55.5 Dyrdalsvatn	1978-2021	38	1281	4,24	1,23	1,41	1,59	1,83	2,02	2,20	2,46	2,66
56.1 Sandsli (kulm.)	1991-2021	25	800	0,064	1,23	1,41	1,59	1,83	-	-	-	-
56.2 Håvardstun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61.8 Kaldåen	1985-2021	32	987	15,1	1,24	1,43	1,62	1,88	2,07	2,28	2,56	2,79
61.13 Haukåselva	2008-2021	14	678	5,00	1,24	1,44	1,63	1,89	2,09	2,31	2,61	2,85
62.18 Svartavatn	1988-2021	33	1126	81,5	1,22	1,40	1,57	1,80	1,98	2,16	2,41	2,61
63.12 Fjellanger	1995-2021	26	789	10,1	1,20	1,35	1,49	1,69	1,85	2,00	2,23	2,41
Gjennomsnitt	-	31	1002	-	-	-	-	-	-	2,21	-	-

*Frekvensanalyse på døgnverdier i perioden med kulminasjonsdata, fordelingsfunksjon er GEV(Bayesiansk)



Figur 3. Flomfrekvensanalyse for målestasjon 55.4 Røykenes, årsflommer (døgnmiddel), med GEV (full lokal + regional).

3.2.2 Regional flomfrekvensanalyse

Det er også gjort beregninger med formelverk, RFFA-2018 og RFFA-NIFS i NEVINA (Engeland mfl., 2020). Resultatene er presentert i Tabell 4.

Tabell 4. Flomverdier estimert med formelverk, RFFA 2018 (Engeland mfl., 2020), i NEVINA. Tabellen viser medina-/middelflom (Q_M), i spesifikke og absolute verdier, og vekstkurve (forholdstall mellom indeksflom og flommer med høyere fjentaksintervall, Q_T/Q_M).

Stasjon	Areal (km^2)	Q_M		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
		$\text{l/s}/\text{km}^2$	m^3/s								
Tjørna (RFFA-2018)	0,59	644	0,4	1,34	1,58	1,79	2,11	2,34	2,58	2,89	3,13
Tjørna (RFFA-NIFS)	0,59	2034	1,2	1,22	1,42	1,63	1,94	2,22	2,53	-	-

3.3 Kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmidler. Kulminasjonsvannføringen (momentanvannføringen) kan være atskillig større enn døgnmiddelvannføringen. Dette er spesielt karakteristisk for små vassdrag med rask flomstigning og spisse flomforløp.

Kulminasjonsvannføringen kan fås direkte ved å gjøre en lokal flomfrekvensanalyse på kulminasjonsdata eller beregnes via flomfrekvensanalyse på døgndata sammen med et

forholdstall mellom kulminasjonsvannføring og døgnvannføring. Forholdstallet (c) kan beregnes ut fra regionale formler eller observert kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring for én eller flere av de største flommene ved målestasjoner i vassdraget, og/eller representative målestasjoner, avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning (timesverdier).

Siden flomforløpet rutes gjennom Tjørna og det er en relativt stor dempning, vil selve kulminasjonsverdien ikke ha altfor stor betydning. Volumet over flere timer vil ha større betydning. Det benyttes derfor kun forholdstall hentet fra formelverk.

3.3.1 Forholdstall mellom døgn- og kulminasjonsverdier

For beregning av forholdstall er det tatt utgangspunkt i eksisterende formelverk RFFA-2018 og RFFA-1997. Forholdstallet ble beregnet til 3,56 med RFFA-2018 i NEVINA og 2,35 fra RFFA-1997 (høstflommer). Vi velger å gå for et gjennomsnitt av verdiene fra de to formelverkene og benytter 3,0 videre i beregningene.

Resulterende kulminasjonsverdier (momentanverdier) blir da som presentert i Tabell 5.

Tabell 5. Resulterende kulminasjonsverdier for tilløpsflommen til Tjørna. Resultatene baserer seg på frekvensanalyser på døgnverdier og et forholdstall ($Q_{mom}/Q_{døgn}$) på 3,0.

	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{200+k} m^3/s
Tjørna	1,24	1,6	1,8	2,0	2,4	2,6	2,8	4,0

3.4 Sammenstilling av resultater fra ulike metoder

Tabell 6 viser flomverdier for kulminasjon av tilløpsflommene til Tjørna beregnet med to ulike metoder:

$FFA_{døgn} \times Q_{mom}/Q_{døgn}$: frekvensanalyse på døgnmiddelverdier fra målestasjoner (Tabell 3), og forholdstall $Q_{mom}/Q_{døgn}$ beregnet ut fra formelverk, gjennomsnittsverdi på 3,0.

RFFA: Regionalt formelverk (RFFA-NIFS og RFFA-2018, Tabell 4)

Tabell 6. Flomverdier (tilløp) til Tjørna, kulminasjonsvannføringer, i m^3/s . Forholdstallet $Q_{mom}/Q_{døgn}(C)$ er satt til 3,0 ved beregning fra frekvensanalyser på døgnverdier til kulminasjonsverdier.

Stasjon	Q_M $l/s/km^2$	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{200+k} m^3/s
FFA _{døgn} × C	2100	1,24	1,6	1,8	2,0	2,4	2,6	2,8	4,0
RFFA-NIFS	2034	1,20	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	4,3
RFFA-2018	2293	1,35	1,8	2,1	2,4	2,9	3,2	3,5	4,9

4 Endelig valg av flomverdier

Middelflommens størrelse styres dels av feltets beliggenhet i forhold til hvor eksponert det er for nedbør, og dels av feltets feltegenskaper. Det er ingen målinger i vassdraget eller nærliggende målestasjoner med direkte sammenlignbare egenskaper. Det nærmeste og mest sammenlignbare feltet er 61.13 Haukåselva, selv om dette feltet er betydelig større.

Spesifikk middelflom, døgnmiddel, er beregnet til 678 l/s/km² ved 61.13 Haukåselva. Denne verdien rimer godt med hva en kan vente ut fra regionalt formelverk (RFFA-2018), som er estimert til 644 l/s/km² for Tjørna. Spesifikke middelflomverdier fra målestasjonene i vassdraget i regionen for øvrig (Tabell 3), ligger ofte litt høyere. Dette kan skyldes at høyden og middelavrenningen til feltene er noe større sammenlignet med Tjørna. Spesifikk middelflom er bl.a. avhengig av nedbørfeltets størrelse, og vil som oftest avta med økende areal. Arealforskjellen mellom målestasjonene og Tjørna er til dels stort. Hvis vi antar at Haukåsvatn underestimerer noe pga. større feltareal, velger vi å bruke en middelflom (døgn) på 700 l/s/km².

Ut fra en totalvurdering, er lengden på døgndataserien basert på perioden med reelle døgnmidler til Røykenes (42 år) vektlagt. Vekstkurven utledet fra 55.4 Røykenes er noe slakere enn for kurvene til regionalt formelverk, men dette gjelder også andre vekstkurver ved målestasjoner i regionen. Vi velger å benytte denne vekstkurven videre.

Forholdstallet ($Q_{mom}/Q_{døgn}$) er antatt å være høyt, men antas å ha mindre betydning for avløpet pga. flomdempningen i Tjørna. Det velges derfor å benytte gjennomsnittet av de to formelverkene, noe som blir tilnærmet lik 3,0.

Resulterende flomverdier, døgnmidler, for tilløpsflommene til Tjørna blir da som presentert i Tabell 7.

Tabell 7. Benyttede flomfrekvensfaktorer og resulterende døgnmiddel- og kulminasjonsflommer for tilløpet til Tjørna.

Sted	Areal (km ²)	Q _M		Q ₅ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
		l/s/km ²	m ³ /s						
Q _T /Q _M	-	-	-	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
Tjørna (døgn)	0,59	700	0,41	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
Tjørna (kulm.)	0,59	2100	1,24	1,6	1,8	2,0	2,4	2,6	2,8

4.1 Sammenligning med erfaringstall

I NVE veileder 1/2022 er erfaringstall av spesifikke 200-års kulminasjonsverdier oppgitt for ulike landsdeler i Norge. For bl.a. Vestlandet er det oppgitt at en 200-års verdi ventes å ligge et sted mellom 700-5000 l/s · km², og noen steder helt opp i over 6000 l/s · km². De største verdiene finner en i bratte felt med lav effektiv sjøprosent. Verdiene (tilløpsflom) som er funnet for Tjørna (ca. 4750 l/s · km²) ligger innenfor, men i øvre sjiktet av erfaringstallene presentert i veilederen. Det må vektlegges at nedbørfeltet til Tjørna er svært lite og med lite demping.

Sammenlignet med NIFS-formelverk er 200-års verdien omtrent den samme, mens sammenlignet mot RFFA-2018 formelverket er verdiene for Tjørna en god del mindre.

4.2 Klassifisering av datagrunnlaget

I NVE veileder 01/2022 er det anbefalt å vurdere det hydrologiske datagrunnlaget som brukes i flomberegningen ut fra en skala fra 1 til 5, der 1 er beste klasse og 5 er dårligst. Det hydrologiske datagrunnlaget vurderes her å være i klasse 4 «Begrenset hydrologisk datagrunnlag».

Dette begrunnes med at nedbørfeltet til Tjørna er svært lite, og at det ikke finnes tilsvarende små nedbørfelt med lange gode tidsserier. Det finnes allikevel flere målestasjoner i området som egner seg til bruk ved frekvensanalyser på døgnmiddelverdier.

4.3 Klimapåslag

I Lawrence (2016) er det gitt anbefalinger om klimapåslag på flommer og på klimaservicesenter.no finnes klimaprofiler. Ut fra informasjon og anbefalinger i nevnte rapport og nettsiden til Klimaservicesenteret anbefales et klimapåslag på 20 eller 40 % for flommer. I Apeltunvassdraget i Bergen kommune er det benyttet et påslag på 40.

I Håndbok N200 er det lagt til grunn at det skal benyttes 40 % klimapåslag i små elver i Vestland fylke. Vi anbefaler derfor at dette legges til grunn i beregningene for Tjørna.

Kulminasjonsvannføringer for tilløpsflommer i et endret klima (år 2100) blir dermed som i Tabell 8.

Tabell 8. Flomverdier med klimapåslag (40 prosent).

Sted	Areal km ²	Q _M		Q _{200+klima} m ³ /s
		l/s·km ²	m ³ /s	
Tjørna (+ 40 %)	0,59	2100	1,24	4,0

5 Vannlinjeberegning

Det hydrauliske modelleringsverktøyet HEC-RAS (versjon 5.07) er benyttet til beregning av vannlinjene. Verktøyet er utviklet av USACE. Datagrunnlaget til arbeidet er befaring og fotografier av elveløpene, oppmåling av tverrprofiler, laserdata og innmåling av kulverter, samt flomberegningen over. Basert på disse er det utviklet en forenklet representasjon av elven i form av en 1D hydraulisk modell. Chow mfl. (1988) gir detaljer om slike modellsystemer.

5.1 Geometri

Terrenget og tverrprofilgeometri i modellen er hentet fra DTM (Prosjekt: NDH Nordhordland 2018, 5 punkter/m²). Elvebunn og terrenget i den hydrauliske modellen er representert ved tverrprofiler med hydrauliske strukturer/ bekkekulverter bygget inn. Det ble utført innmålinger av et utvalg av tverrprofiler og kontrollmålinger av elvebunn og kulverter. Dette arbeidet ble utført av Statens vegvesen (SVV) i mai 2022.

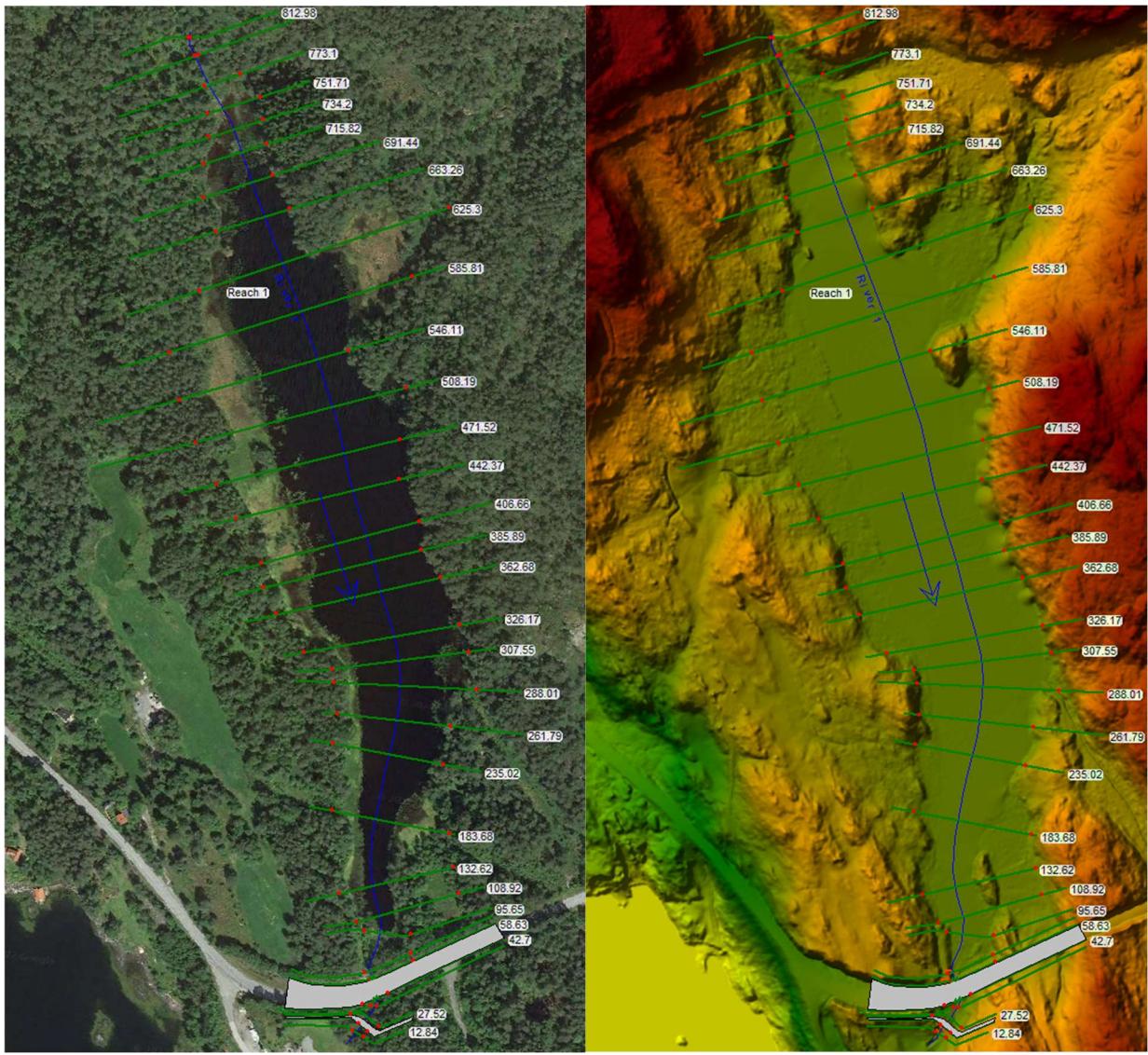
Modellen inkluderer Fyllingsnestjørna med tilløpselv, der øvre grense er lagt i bekken ca. 100 m oppstrøms Tjørna. Nedre grense i modellen er lagt rett nedstrøms gammel dam ca. 50 m nedstrøms E39. Strekningen nedstrøms Tjørna inkluderer kulvert ved E39 og gammel dam med bunnluke og overløp over damkrone.

Alle høyder er gitt i NN 2000. Geometriske mål på bekkekulvert (E39) og dam kulvert, se Figur 5 og Tabell 9. Kulvert under E39 er sirkulært betongrør. Bunnluken i dammen er modellert som rektangulær åpning i steinfyllingsdam.

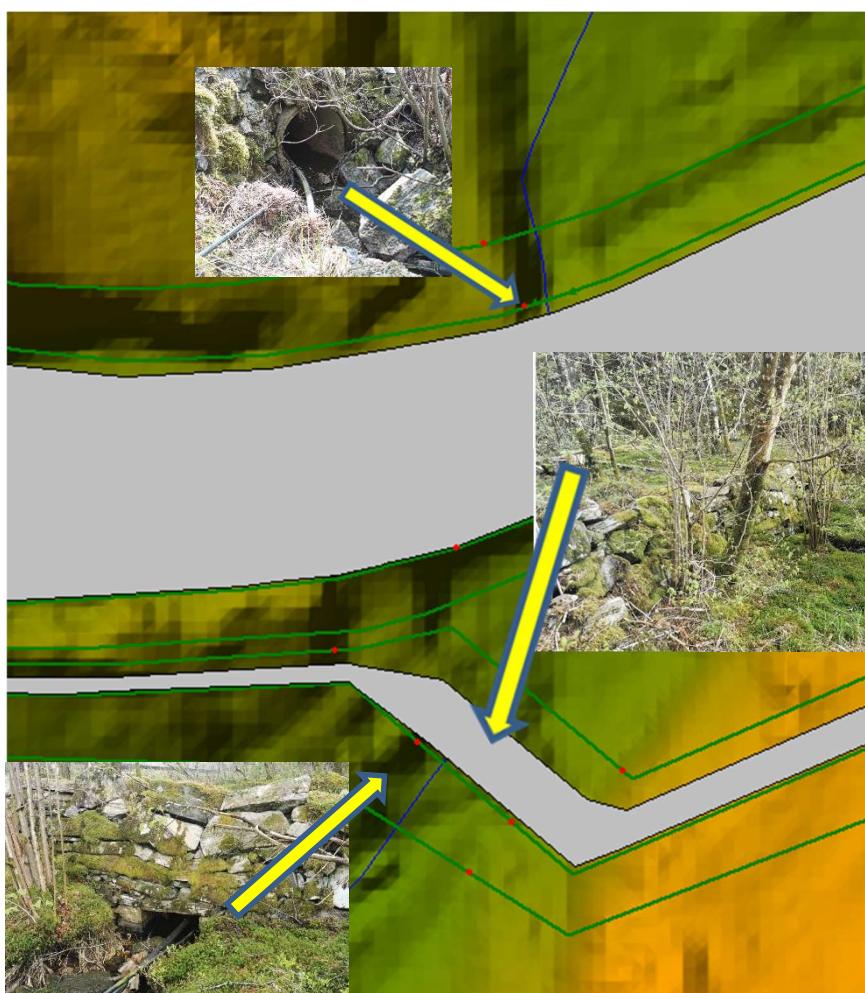
Beregningene er på henholdsvis sirkulær betongkulvert, rektangulær kulvert med rette sidekanter, utløpskontroll, se Tabell 9.

Tabell 9. Elv fra Fyllingsnestjørna - Benyttet geometri og Mannings n i beregningene ved kulvert (E39) og bunnluke i dam.

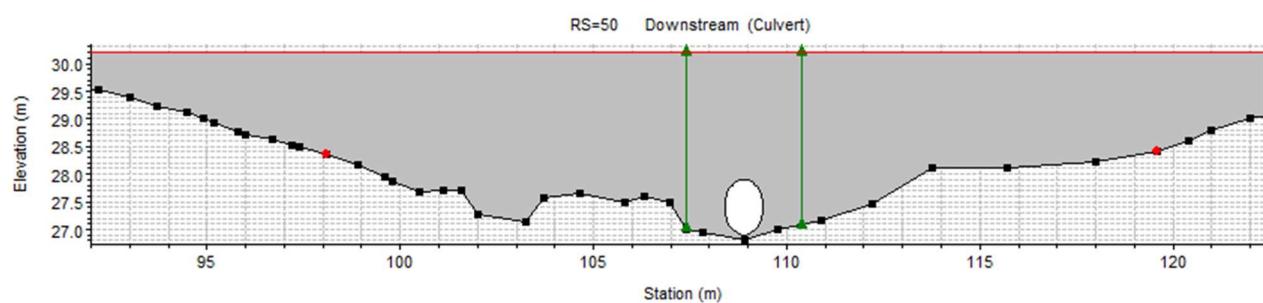
Kulvert (E39) – betong, Damkulvert (damluke) integrert i steinfyllingsdam	
Diameter (sirkulær)	1,0 m
Lengde øvre kulvert (E39)	14,3 m / 24,3 m (eksisterende/planlagt)
Høyde bunn (inn/ut)	26,93 / 26,9
Mannings n bunn	0,01
Mannings n topp	0,01
Damkulvert (damluke) integrert i steinfyllingsdam	
Diameter (rektangulær)	0,68 x 0,4 m (bxh)
Lengde nedre kulvert	2,0 m
Høyde bunn (inn/ut)	26,9 / 26,9
Mannings n bunn	0,03
Mannings n sider og topp	0,03



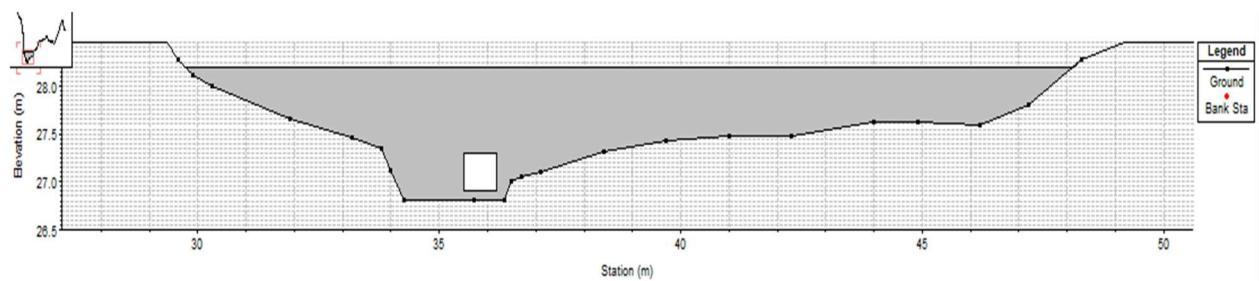
Figur 4. Undersøkelsesområdet med modelloppsett, plassering av tverrprofiler (grønne linjer) med bakgrunn flybilde og DTM, (med kulvertlengde eksisterende 14,3 m).



Figur 5. Kulverter og dam plasseringer i modellen.



Figur 6. Utløpsgeometri kulvert (E39).

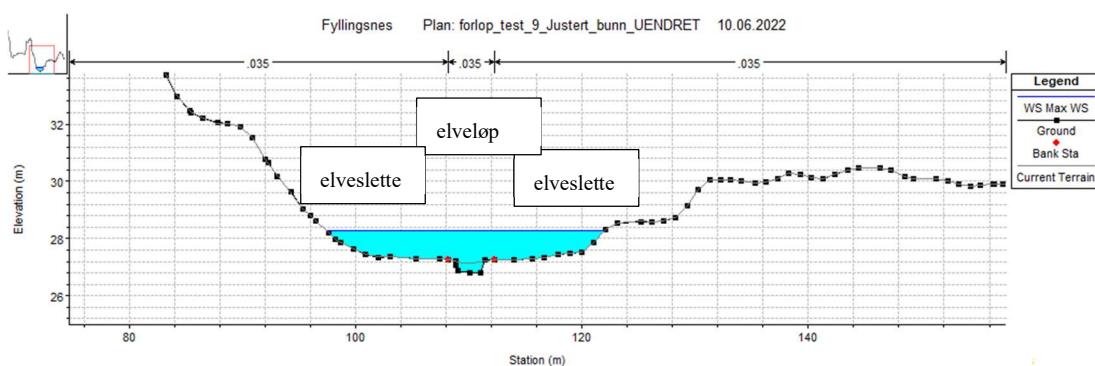


Figur 7. Damstruktur og utløpsgeometri til bunnluke dam.

Alle typer energitap som påvirker vannstanden langs elveløpene er representert ved en enkelt faktor, Mannings tallet. Verdiene er estimert basert på bilder fra bekken og vurderinger mot erfaringstall hentet fra litteraturstudier. Se igjen Chow mfl. (1988) for flere eksempler. Følgende Mannings "n" verdier er benyttet, Tabell 10 og Figur 8.

Tabell 10. Benyttede Manningstall (n) i modellen.

	Elvebredd	Hovedkanal
Tjørna	0,033-0,035	0,035



Figur 8. Tverrprofil i modellen med inndeling av elveløp og elveslette og benyttet mannings "n".



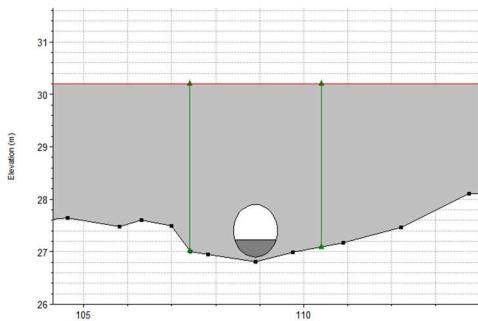
Figur 9. Innløp og utløp kulvert E39.



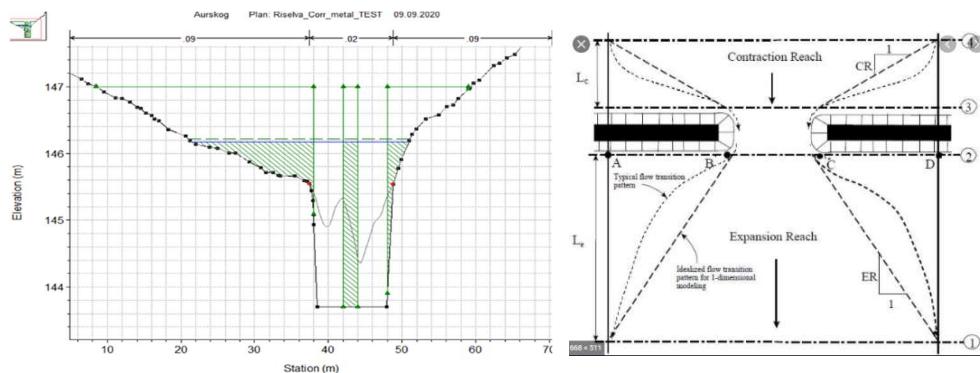
Figur 10. Damstruktur og innløp og utløp til bunnluke i dam.

5.2 Bekkekulverter

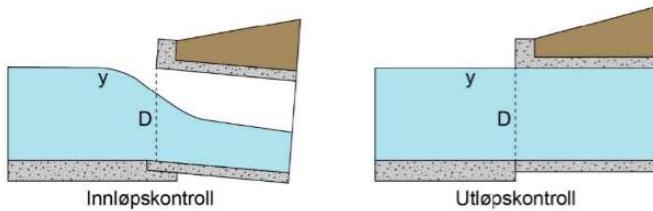
Bekkekulvertene er modellert som strukturer i elveløpet der det er lagt inn friksjonsverdier for betong (som i eksisterende kulvert). Det er også gjort en beregning med tilstopping, der det legges på 33 cm (1/3 høyde) med sand på bunnen av kulverten, se Figur 11. Kulvertene har geometriske mål som oppgitt fra oppmåling, se Tabell 9. Innløpet (kulvert E39) er modellert som tilpasset terrengskråning og med ineffektive strømningsfelt ved siden, se Figur 12Figur 12. Ineffektive strømningsfelt på hver side av og mellom kuvertåpninger.. Grunnet oppstuvning fra nedstrøms dam under flom, er kulvertene inkludert med utløpskontroll i beregningene, se Figur 13.



Figur 11. Kulvert med tilstopping 1/3 høyde.



Figur 12. Ineffektive strømningsfelt på hver side av og mellom kuvertåpninger.



Figur 13. Innløpskontroll og utløpskontroll ved kuverter (SVV: Håndbok N200).

5.3 Kalibrering

En kalibrering av modellen vil gi mindre usikkerhet i resultatene. Det finnes ikke observasjoner av sammenfallende vannstand og vannføringsdata i elva, så en kalibrering kan ikke gjøres.

5.4 Grensebetingelser

Det er beregnet vannlinjer og vannføring i kulvert ved å benytte flomforløp i modellen.

Flomforløpet (Figur 14) inkluderes som øvre grensebetingelse oppstrøms Fyllingsnestjørna som tilløpsflom til innsjøen.

Som nedre grensebetingelse (nedstrøms dam) er det benyttet «normaldyp» estimert ut fra gradient på elveløpet på strekningen. Valgte verdier er: $s=0,07$.

5.5 Modellsimulering

Det er valgt å simulere flommer som ikke-stasjonære flomforløp, se Figur 14. Flomforløpet har kulminasjons vannføring som estimert i egen flomberegning for Q200 og Q200+40% klimapåslag.

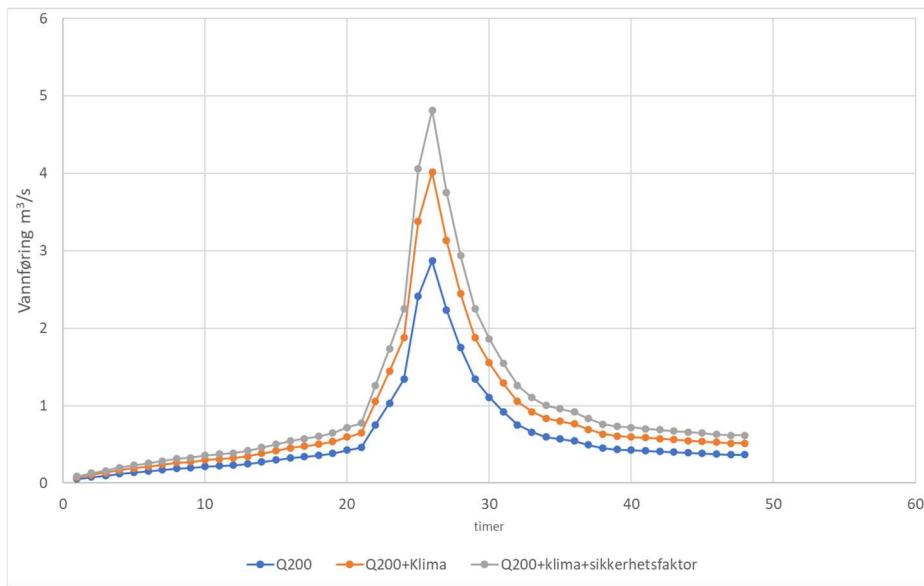
Modellen ruter tilløpsflommen gjennom innsjøen og beregner vannstandsendringer på hele strekningen gjennom flomforløpet. Beregning av vannføring i kulverten og ved dam inngår i disse beregningene. Det er utført beregninger med full åpning ,1/3 dels tilstopping med sandpålagring i bunn av kulvert og med kulvertlengde +10 m. Alle ulike beregningsbetingelser er gitt i Tabell 11.

Tabell 11. Ulike betingelser som inngår i beregningene

Betingelser som inngår i simuleringen
Q200, kulminasjon som flomforløp
Q200 + 40% klimapåslag, kulminasjon som flomforløp
E39 betong kulvert Ø 1.0 m (eksisterende)
E39 betong kulvert Ø 1.0 m, 33 cm tilstopping (sand) på bunn
Dam m/luke inkludert i modell
Uten dam m/luke (uten tilstopping E39 kulvert)
E39 betong kulvert Ø 1.0 m, inkludert 10 meter forlengelse

Tabell 12. Kulminasjonsverdier i benyttet flomforløp.

Sted	Q_{200} m ³ /s	$Q_{200+40\%}$ m ³ /s	$1,2 * Q_{200+40\%}$ m ³ /s
Vf, tillopselv (P812)	2,8	4,0	4,8



Figur 14. Flomforløp som simuleres i beregningene.

6 Resultater

6.1 Eksisterende kulvert, med og uten dam

Figur 5.1 viser vannlinjene nedstrøms Fyllingsnestjønn som maks vannstand ved 200-årsflom (Q200) og 200-årsflom med 40 % klimapåslag (Q200+40%). Laveste punkt av elvebunnen er vist med heltrukket svart linje og er interpolert fra oppmålte tverrprofiler. Tverrprofilene er plassert der punktene langs lengdeprofilet er avmerket. Blå linje og blått område viser beregnet vannlinje (verdier på venstre vertikalakse). Figur 15 og figur 17 viser vannlinjene nedstrøms Fyllingsnestjørna inkludert tilstopping og figur 19 viser vannlinjer for beregning uten damstruktur, Figur 16, figur 18 og figur 20 viser vannføring og vannstand som forløp ved kulvert (E39).

Ved Q200 og Q200 +40% inkludert tilstopping (kulminasjon av flomforløp) er kulverten full med opp mot 50 cm dykket på oppstrøms side. Ved Q200 og Q200 +40% (kulminasjon av flomforløp) uten damstruktur viser beregningene at kulverten er full med opp mot 10 cm dykket på oppstrøms side, se tabell 13. Kulvert bunn / topp høyde er gitt i tabell 9. (26,93m / 26,9m).

Tabell 13. Beregnet maks vannstand ved innløp og utløp til kulvert for ulike flomforløp og tilstopping.

	Beregnet vannstand innløp kulvert (m)	Beregnet vannstand utløp kulvert (m)	endret vst opp-strøms kulvert (m)	Maks Vannføring kulvert (m ³ /s)
Q200, Ø1m	28,00	27,95	0	0,62
Q200, Ø1m, +5 m lengde	28,01	27,95	+0,01	0,63
Q200, Ø1m, +10 m lengde	28,02	27,95	+0,02	0,63
Q200 +40%, Ø1m	28,32	28,22	+0,32	0,83
Q200, Ø1m, tilstopp	28,12	28,0	+0,12	0,64
Q200 +40%, Ø1m, tilstopp	28,44	28,22	+0,44	0,83
1,2*Q200 +40%, Ø1m	28,48	28,27	+0,48	1,20
1,2*Q200 +40%, Ø1m, tilstopp	28,62	28,25	+0,62	1,08
1,2*Q200 +40%, Ø1m, tilstopp + 20% tilstoppet damluke	28,64	28,27	+0,64	1,08
1,2*Q200 +40%, Ø1m, tilstopp + 100% tilstoppet damluke	29,04	28,35	+1.04	1,48
	Beregnet vannstand innløp kulvert (m)	Beregnet vannstand utløp kulvert (m)	endret vst oppstrøms kulvert (m)	Maks Vannføring kulvert (m ³ /s)
Q200, Ø1m	28,0	27,95	0	0.62
Q200, Ø1m, U/ dam	27,76	27,52	-0.24	1.16
Q200, Ø1m, 20% økt damluke	27,96	27,90	-0.04	0.70
Q200, Ø1m, 20% tilstoppet damluke	28,06	28,02	+0.06	0.53
Q200, Ø1m, 100% tilstoppet damluke	28,58	28,33	+0.58	1.30
Q200 +40%, Ø1m	28,32	28,22	0	0.80
Q200 +40%, Ø1m, U/ dam	27,99	27,63	-0.33	1.60
Q200 +40%, Ø1m, 20% økt damluke	28,28	28,18	-0.04	0.84
Q200 +40%, Ø1m, 20% tilstoppet damluke	28,35	28,24	+0.04	0.86
Q200 +40%, Ø1m, 100% tilstoppet damluke	28,77	28,35	+0.45	1.65
1,2*Q200 +40%, Ø1m, 100% tilstoppet damluke	28,90	28,37	+0.58	1.87

Tabell 14. Resultater kulvert E39, Q200, Q200 +40% og 1.2* Q200 +40%.

Plan: Q200 River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS	
Q Culv Group (m3/s)	0.62
# Barrels	1
Q Barrel (m3/s)	0.62
E.G. US. (m)	28.01
W.S. US. (m)	28.00
E.G. DS (m)	27.95
W.S. DS (m)	27.95
Delta EG (m)	0.06
Delta WS (m)	0.05
E.G. IC (m)	27.55
E.G. OC (m)	28.01
Culvert Control	Outlet
Culv WS Inlet (m)	27.92
Culv WS Outlet (m)	27.90
Culv Nml Depth (m)	
Culv Crt Depth (m)	0.45
Culv Full Len (m)	14.30
Culv Vel US (m/s)	0.79
Culv Vel DS (m/s)	0.79
Culv Inv El Up (m)	26.92
Culv Inv El Dn (m)	26.90
Culv Frctn Ls (m)	0.01
Culv Exit Loss (m)	0.03
Culv Entr Loss (m)	0.02
Q Weir (m3/s)	
Weir Sta Lft (m)	
Weir Sta Rgt (m)	
Weir Submerg	
Weir Max Depth (m)	
Weir Avg Depth (m)	
Weir Flow Area (m2)	
Min El Weir Flow (m)	30.20

Plan: Q200_40 River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS	
Q Culv Group (m3/s)	0.83
# Barrels	1
Q Barrel (m3/s)	0.83
E.G. US. (m)	28.33
W.S. US. (m)	28.32
E.G. DS (m)	28.23
W.S. DS (m)	28.22
Delta EG (m)	0.11
Delta WS (m)	0.10
E.G. IC (m)	27.66
E.G. OC (m)	28.33
Culvert Control	Outlet
Culv WS Inlet (m)	27.92
Culv WS Outlet (m)	27.90
Culv Nml Depth (m)	
Culv Crt Depth (m)	0.52
Culv Full Len (m)	14.30
Culv Vel US (m/s)	1.06
Culv Vel DS (m/s)	1.06
Culv Inv El Up (m)	26.92
Culv Inv El Dn (m)	26.90
Culv Frctn Ls (m)	0.01
Culv Exit Loss (m)	0.05
Culv Entr Loss (m)	0.04
Q Weir (m3/s)	
Weir Sta Lft (m)	
Weir Sta Rgt (m)	
Weir Submerg	
Weir Max Depth (m)	
Weir Avg Depth (m)	
Weir Flow Area (m2)	
Min El Weir Flow (m)	30.20

Plan: 1.2xQ200_40 River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS	
Q Culv Group (m3/s)	1.20
# Barrels	1
Q Barrel (m3/s)	1.20
E.G. US. (m)	28.49
W.S. US. (m)	28.48
E.G. DS (m)	28.27
W.S. DS (m)	28.27
Delta EG (m)	0.22
Delta WS (m)	0.21
E.G. IC (m)	27.85
E.G. OC (m)	28.49
Culvert Control	Outlet
Culv WS Inlet (m)	27.92
Culv WS Outlet (m)	27.90
Culv Nml Depth (m)	
Culv Crt Depth (m)	0.63
Culv Full Len (m)	14.30
Culv Vel US (m/s)	1.53
Culv Vel DS (m/s)	1.53
Culv Inv El Up (m)	26.92
Culv Inv El Dn (m)	26.90
Culv Frctn Ls (m)	0.02
Culv Exit Loss (m)	0.11
Culv Entr Loss (m)	0.08
Q Weir (m3/s)	
Weir Sta Lft (m)	
Weir Sta Rgt (m)	
Weir Submerg	
Weir Max Depth (m)	
Weir Avg Depth (m)	
Weir Flow Area (m2)	
Min El Weir Flow (m)	30.20

Tabell 15. Resultater kulvert E39, Q200 og Q200 +40% med tilstopping.

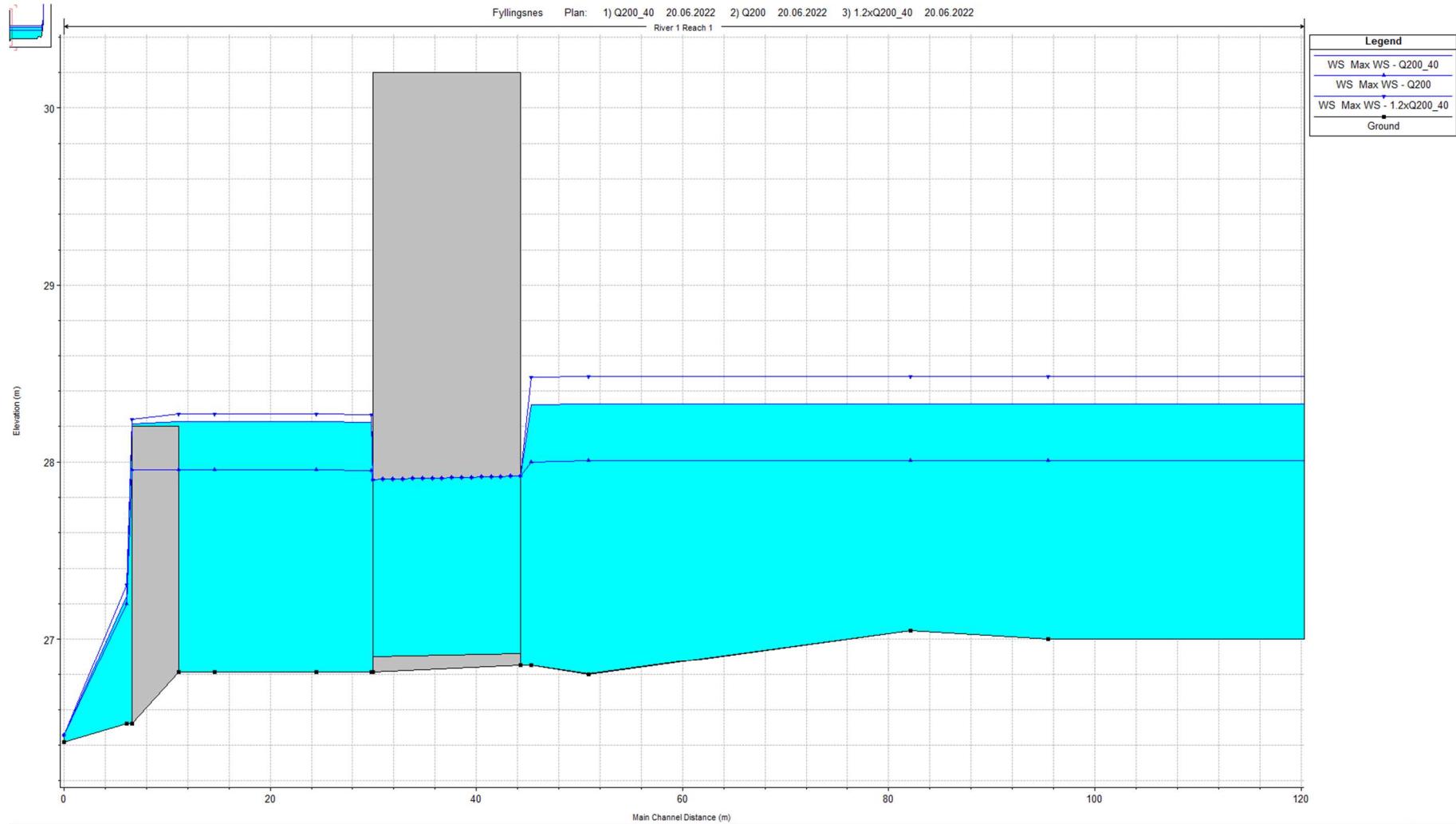
Plan: Q200 River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS			
Q Culv Group (m3/s)	0.64	Culv Full Len (m)	14.30
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	1.14
Q Barrel (m3/s)	0.64	Culv Vel DS (m/s)	1.14
E.G. US. (m)	28.13	Culv Inv El Up (m)	26.92
W.S. US. (m)	28.12	Culv Inv El Dn (m)	26.90
E.G. DS (m)	28.00	Culv Frctn Ls (m)	0.02
W.S. DS (m)	28.00	Culv Exit Loss (m)	0.06
Delta EG (m)	0.13	Culv Entr Loss (m)	0.05
Delta WS (m)	0.12	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	27.80	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	28.13	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	27.92	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	27.90	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)		Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	0.35	Min El Weir Flow (m)	30.20

Plan: Q200_40 River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS			
Q Culv Group (m3/s)	0.83	Culv Full Len (m)	14.30
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	1.49
Q Barrel (m3/s)	0.83	Culv Vel DS (m/s)	1.49
E.G. US. (m)	28.44	Culv Inv El Up (m)	26.92
W.S. US. (m)	28.44	Culv Inv El Dn (m)	26.90
E.G. DS (m)	28.23	Culv Frctn Ls (m)	0.03
W.S. DS (m)	28.22	Culv Exit Loss (m)	0.11
Delta EG (m)	0.22	Culv Entr Loss (m)	0.08
Delta WS (m)	0.22	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	27.92	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	28.44	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	27.92	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	27.90	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)		Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	0.41	Min El Weir Flow (m)	30.20

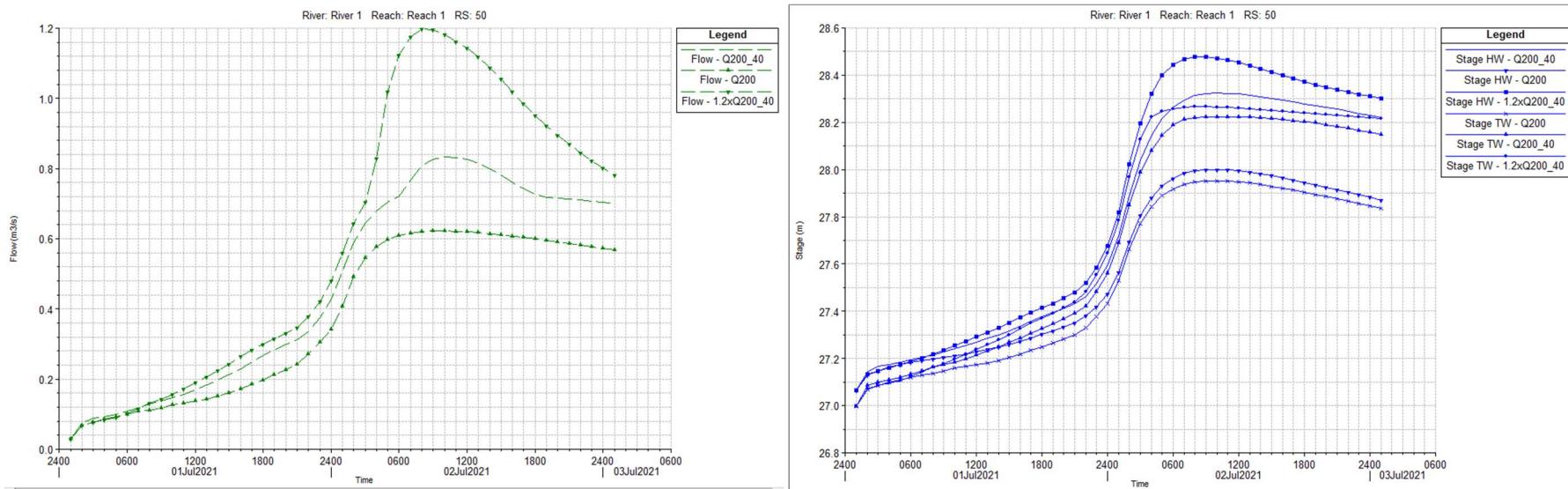
Tabell 16. Resultater kulvert E39, Q200 og Q200 +40% uten damstruktur.

Plan: Q200_uten dam River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS			
Q Culv Group (m3/s)	1.16	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	2.02
Q Barrel (m3/s)	1.16	Culv Vel DS (m/s)	2.27
E.G. US. (m)	27.84	Culv Inv El Up (m)	26.92
W.S. US. (m)	27.77	Culv Inv El Dn (m)	26.90
E.G. DS (m)	27.38	Culv Frctn Ls (m)	0.03
W.S. DS (m)	27.33	Culv Exit Loss (m)	0.40
Delta EG (m)	0.46	Culv Entr Loss (m)	0.02
Delta WS (m)	0.44	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	27.84	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	27.96	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Inlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	27.61	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	27.52	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	0.82	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	0.62	Min El Weir Flow (m)	30.20

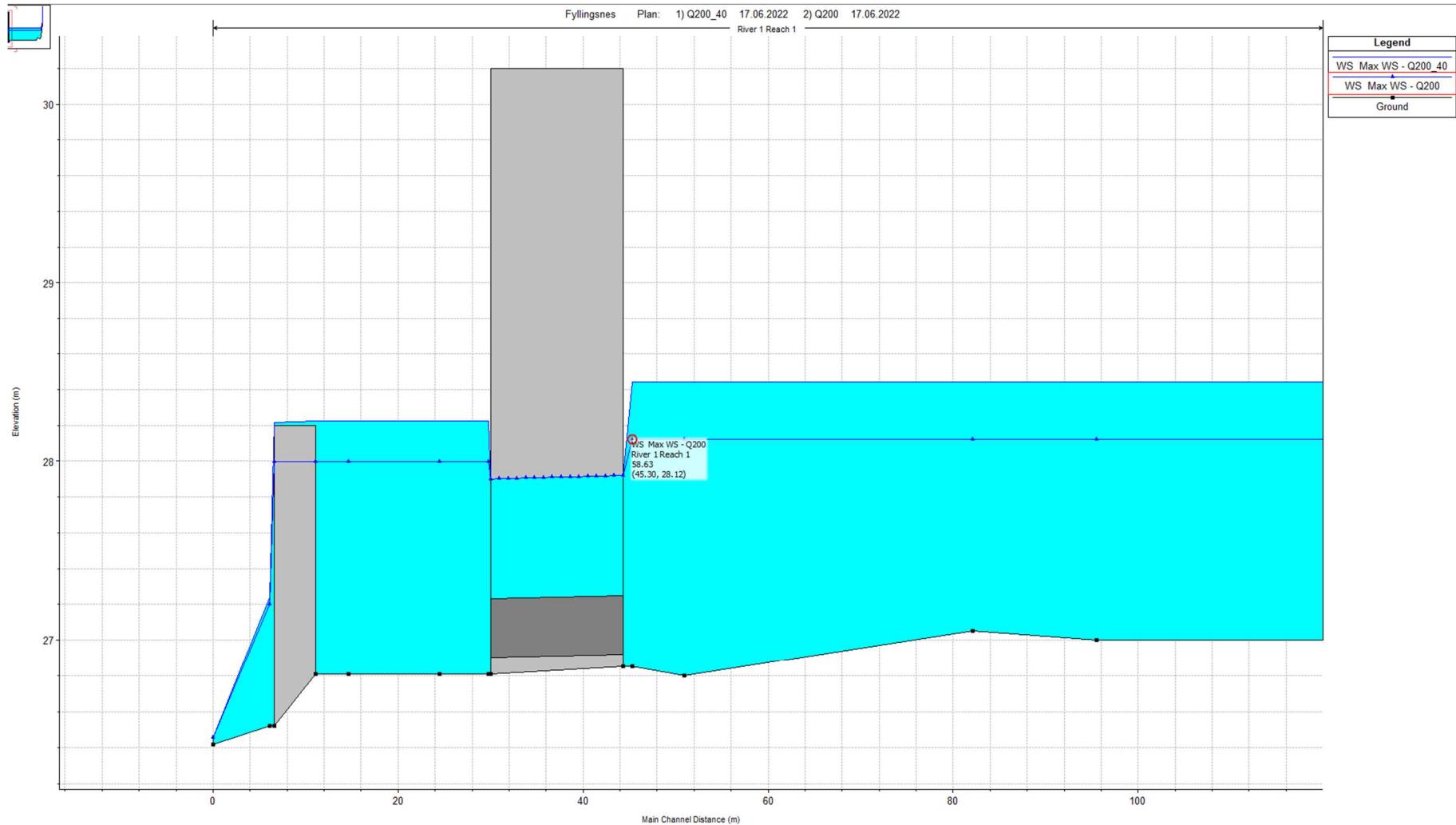
Plan: Q200_40_uten dam River 1 Reach 1 RS: 50 Culv Group: Culvert #1 Profile: Max WS			
Q Culv Group (m3/s)	1.60	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	2.31
Q Barrel (m3/s)	1.60	Culv Vel DS (m/s)	2.61
E.G. US. (m)	28.05	Culv Inv El Up (m)	26.92
W.S. US. (m)	27.99	Culv Inv El Dn (m)	26.90
E.G. DS (m)	27.46	Culv Frctn Ls (m)	0.04
W.S. DS (m)	27.39	Culv Exit Loss (m)	0.52
Delta EG (m)	0.59	Culv Entr Loss (m)	0.03
Delta WS (m)	0.60	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	28.05	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	28.21	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Inlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	27.74	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	27.63	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	1.00	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	0.73	Min El Weir Flow (m)	30.20



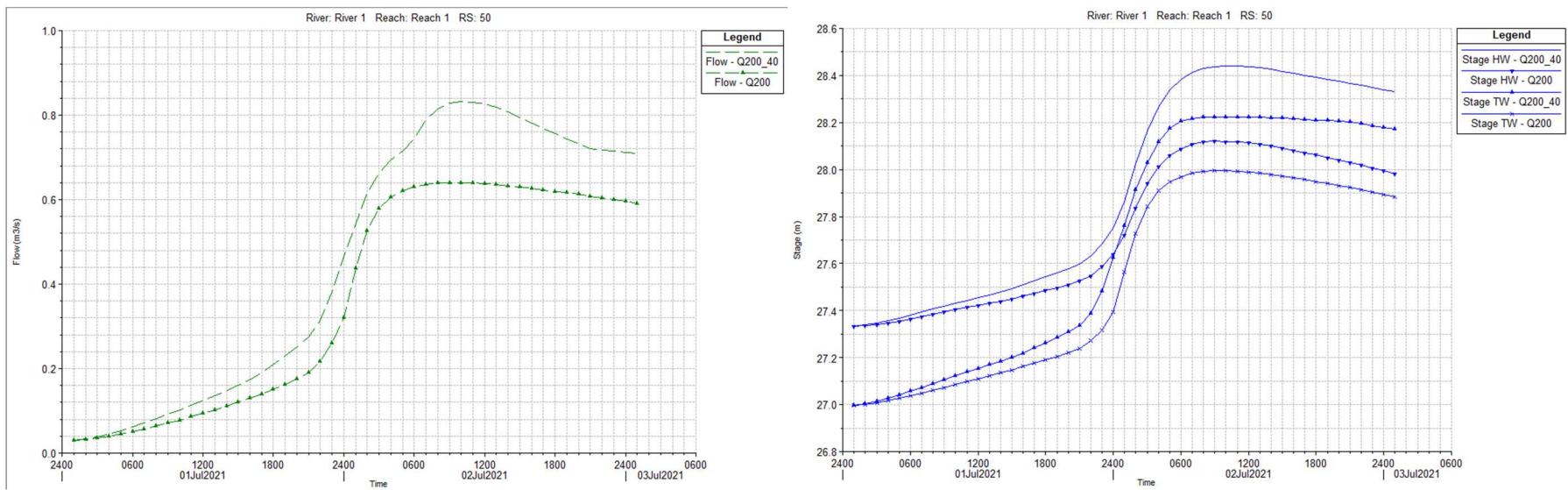
Figur 15. Lengdeprofil med vannlinje på strekning nedstrøms Fyllingsnestjørna. Maks vannstand ved flomforløp med Q200 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$), Q200+40% ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) og $1.2 \times \text{Q200+40\%}$ ($4.8 \text{ m}^3/\text{s}$) kulminasjon på tilløpsflom.



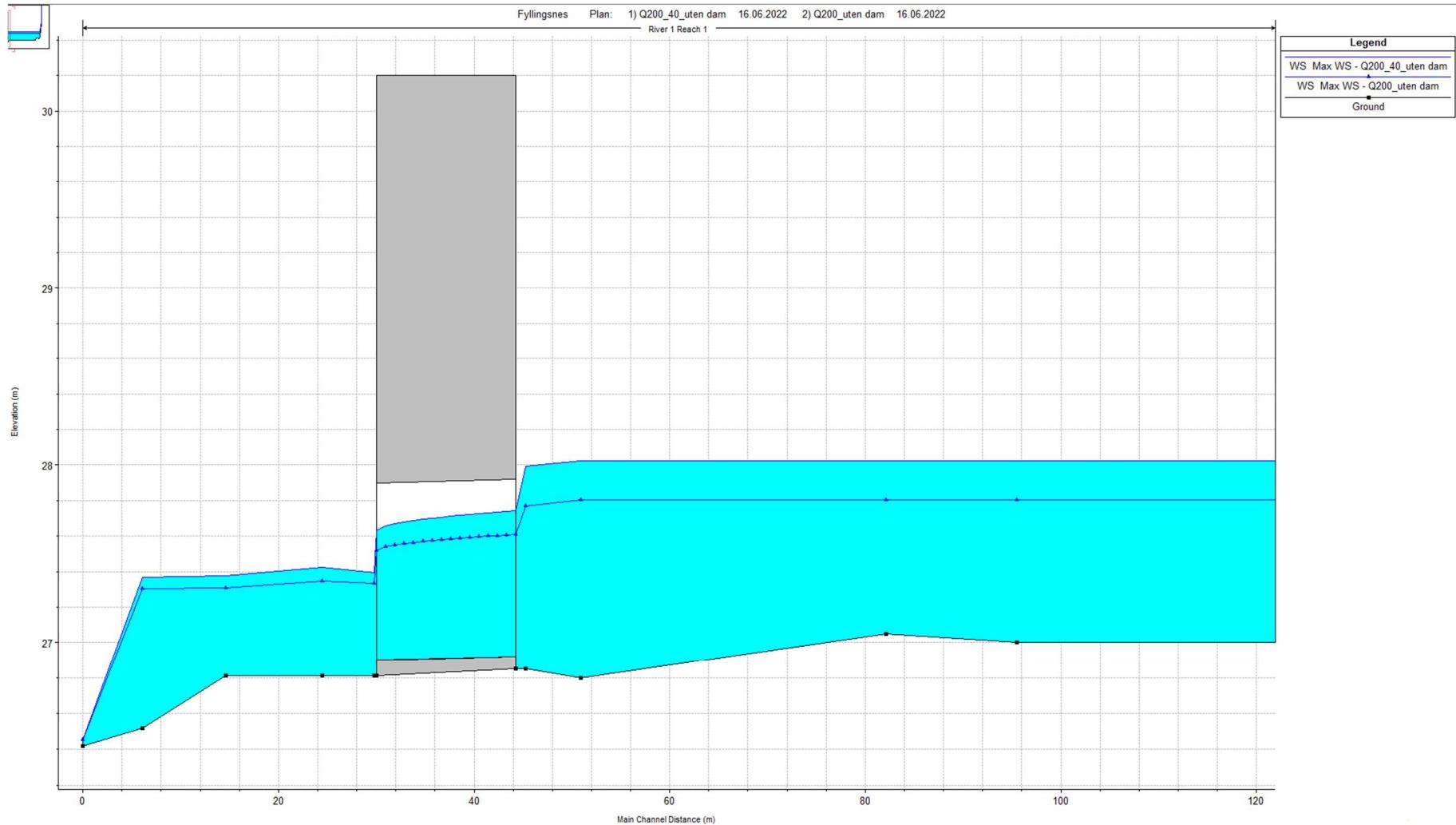
Figur 16. Vannføring og vannstandsforløp i kulvert (E39) ved flomforløp med Q200 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$) og Q200+40% ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) og $1.2 \times \text{Q200+40\%}$ ($4.8 \text{ m}^3/\text{s}$) kulminasjon på tilløpsflom. (HW: oppstrøms, TW: nedstrøms kulvert.



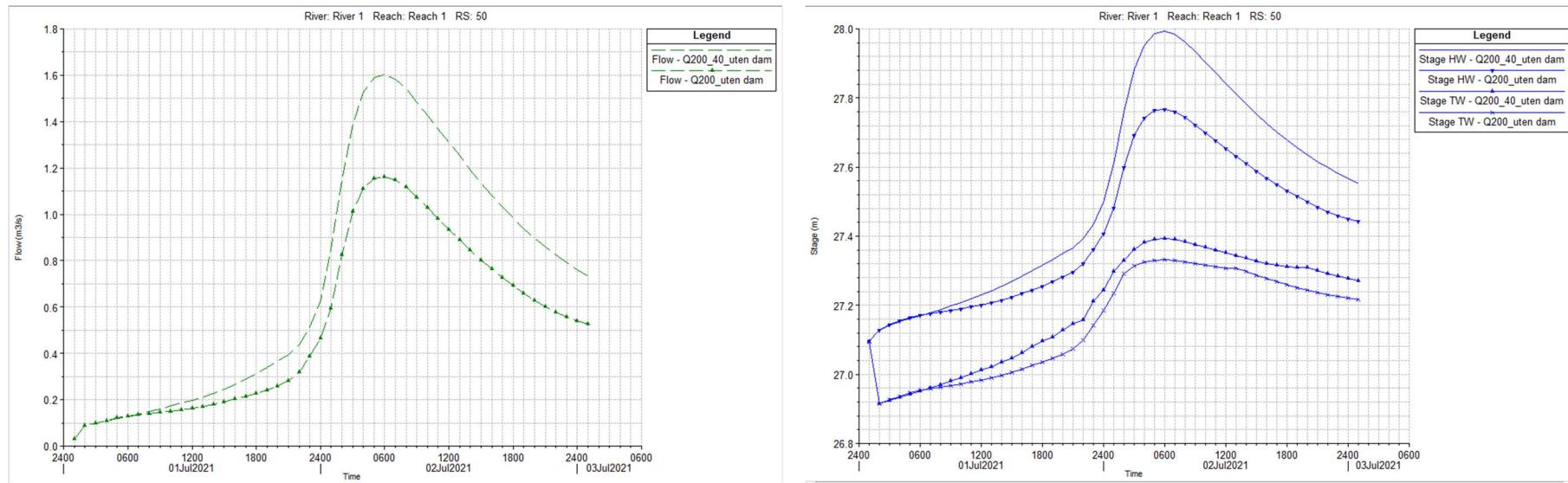
Figur 17. Lengdeprofil med vannlinje på strekning nedstrøms Fyllingsnestjørna, inkludert tilstopping av kulvert (1/3 h). Maks vannstand ved flomforløp med Q200 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$) og Q200+40% ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) kulminasjon på tilløpsflom.



Figur 18. Vannføring og vannstandsforløp i kulvert (E39) ved flomforløp med Q200 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$) og Q200+40% ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) kulminasjon på tilløpsflom. (HW: oppstrøms, TW: nedstrøms kulvert. Inkludert tilstopping av kulvert (1/3 h).



Figur 19. Lengdeprofil med vannlinje på strekning nedstrøms Fyllingsnestjørna. Maksimal vannstand ved flomforløp med Q200 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$) og Q200+40% ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) kulminasjon på tilløpsflom. Beregningen er utført uten damstruktur nedstrøms E39.



Figur 20. Vannføring og vannstandsforløp i kulvert (E39) ved flomforløp med Q200 ($2.9 \text{ m}^3/\text{s}$) og Q200+40% ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) kulminasjon på tilløpsflom. (HW: oppstrøms, TW: nedstrøms kulvert. Inkludert tilstopping av kulvert (1/3 h). Beregningen er utført uten damstruktur.

7 Usikkerhet

Det er en hel del usikkerhet knyttet til frekvensanalyser av flomvannføringer. De observasjoner som foreligger er av vannstander. Disse omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på observasjoner av vannstander og tilhørende målinger av vannføring i elven men direkte målingene er ofte ikke utført på store flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert forhold mellom vannstander og vannføringer, dvs. også ”observerte” flomvannføringer inneholder en stor grad av usikkerhet. Andre kilder til usikkerhet er bruk av døgnmiddelverdier og mangel på lange findatasjerier.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er meget vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn, særlig for å anslå usikkerhet i ekstreme vannføringsdata. I flomberegningen er resultatene for Tjørna plassert i klasse 4 i en skala fra 1 – 5 og der 1 er beste klasse.

7.1 Følsomhetsanalyse av modellparametere i HEC-RAS

En kalibrering av modellen vil redusere usikkerheten i vannlinjeberegningene. Dette er ikke utført her fordi det ikke finnes observasjoner av sammenfallende vannstand og vannføringsdata i elva. Samtidig er det vanlig å vurdere de hydrauliske forholdene basert på erfaring og verdier hentet fra litteraturen for slike prosjekter.

Nøyaktigheten i geometriske data (både over og under vannspeilet), helning og hydraulisk ruhet for elveløpet, kulverter og dammer er de viktigste faktorene som påvirker resultatene. Det er også fare for at is, trær og drivgods kan snevre inn eller tette igjen deler av elveløpet, noe som vil redusere avløpskapasiteten og medføre oppstiving.

For å vurdere effekten av valgte modellparametere for hydraulisk ruhet i elveløpet, ble det utført en følsomhetsanalyse av vannstanden basert på endringer av Manningstallet. Analysen er foretatt på varianten med tilleggsvannføring. Modellen er kjørt med Manningstall med $n=0,033 - 0.035$ i elveløpet og $0,035$ på elveslettene nedstrøms Tjønna og er også justert med en faktor på $+/- 0,02$ for elveslettene, $+/- 0,005$ for elveløpet og $+/- 0,005$ for kulvert (inkl. damluke). Endringene er utført for hele modellstrekningen.

Analysen viste en økning/reduksjon i vannstanden oppstrøms E39 på maksimalt $+0.9 \text{ cm} / -0.2 \text{ cm}$ hvis ruhet endres i både elv og kulvertene eller bare i elva, se Tabell 17 og 18.

Hvis ruhet bare endres i kulvertene blir det en økning/reduksjon i vannstanden oppstrøms E39 på maksimalt $+0.6 \text{ cm} / -0.4 \text{ cm}$, se Tabell 17 og 18.

Tabell 17. Følsomhetsanalyse, økning og ingen endring av manning's n på elveslette / elveløp / kulverter og vannstand / vannstandsendringer oppstrøms og nedstrøms kulvert E39.

Gjentaksintervall (år) kulminasjon	Beregnet vannstand kulvert innløp		Beregnet vannstand kulvert utløp	
Endring manning's n elveslette/elv/ kulverter	Vannstand (moh.)	Avvik (m)	Vannstand (moh.)	Avvik (m)
Q200+40	28.3235		28.2242	
+0.02 /+0.005 / +0.005	28.3278	0.004	28.2211	-0.003
Q200+40	28.3235		28.2242	
+0.02 /+0.005 / 0.00	28.3214	-0.002	28.2233	-0.001
Q200+40	28.3235		28.2242	
0.00 /0.00 / +0.005	28.3293	0.006	28.2217	-0.003

Tabell 18. Følsomhetsanalyse, reduksjon og ingen endring av manning's n på elveslette / elveløp / kulverter og vannstand / vannstandsendringer oppstrøms og nedstrøms kulvert E39.

Gjentaksintervall (år) kulminasjon	Beregnet vannstand kulvert innløp		Beregnet vannstand kulvert utløp	
Endring manning's n elveslette/elv/ kulverter	Vannstand (moh.)	Avvik (m)	Vannstand (moh.)	Avvik (m)
Q200+40	28.3235		28.2242	
-0.02 /-0.005 / -0.005	28.3278	0.004	28.2291	0.005
Q200+40	28.3235		28.2242	
-0.02 /-0.005 / 0.00	28.3327	0.009	28.2275	0.003
Q200+40	28.3235		28.2242	
0.00 /0.00 / -0.005	28.3199	-0.004	28.2257	0.002

8 Referanser

Chow, V.T., Open-Channel Hydraulics. 1959, Caldwell, New Jersey: The Blackburn Press

Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Education (ISE Editions).

Engeland, Kolbjørn; Glad, Per Alve; Hamududu, Byman Hikanyoma; Li, Hong; Reitan, Trond; Stenius, Seija Maria., 2020. Lokal og regional flomfrekvensanalyse. NVE. Oslo:NVE rapport nr. 10-2020.

HEC-USACE, 2016. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center (HEC), Davis, CA, USA.

Lawrence, D., 2016. Klimaendring og framtidige flommer i Norge, NVE Rapport nr. 81-2016.

Stenius, S., Glad, P. A., 2015. Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE veileder nr. 7-2015.

Vedlegg 1: Tabell, resultater

Tabell V1 Kulminasjon Q200 uten tilstopping kulvert E39

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	
Q200												
Reach 1	812.98	Max WS	2.87	30.01	30.83	30.85	30.98	0.010181	1.87	2.01	8.23	0.82
Reach 1	797.73	Max WS	2.87	28.82	29.07	29.33	30.65	0.394156	5.58	0.52	3.42	4.45
Reach 1	773.1	Max WS	0.63	27.47	28.01		28.01	0.000185	0.17	3.75	14.42	0.10
Reach 1	751.71	Max WS	0.62	27.24	28.00		28.00	0.000001	0.02	25.31	38.36	0.01
Reach 1	734.2	Max WS	0.62	27.24	28.00		28.00	0.000001	0.02	28.18	41.78	0.01
Reach 1	715.82	Max WS	0.62	27.29	28.00		28.00	0.000000	0.02	30.15	49.49	0.01
Reach 1	691.44	Max WS	0.62	27.26	28.00		28.00	0.000000	0.03	20.80	43.20	0.01
Reach 1	663.26	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.02	40.05	57.99	0.01
Reach 1	625.3	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	109.52	158.95	0.00
Reach 1	585.81	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.00	133.93	181.72	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	92.91	131.18	0.00
Reach 1	508.19	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	113.93	153.77	0.00
Reach 1	471.52	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	112.66	141.38	0.00
Reach 1	442.37	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	103.73	125.52	0.00
Reach 1	406.66	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	98.15	123.74	0.00
Reach 1	385.89	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	98.30	117.83	0.00
Reach 1	362.68	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	111.94	125.88	0.00
Reach 1	326.17	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	101.15	119.08	0.00
Reach 1	307.55	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	94.16	102.57	0.00
Reach 1	288.01	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	84.80	106.16	0.00
Reach 1	261.79	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	76.97	85.16	0.00
Reach 1	235.02	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	64.69	82.77	0.00
Reach 1	183.68	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.01	63.30	88.46	0.00
Reach 1	132.62	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.02	35.96	64.34	0.01
Reach 1	108.92	Max WS	0.62	27.00	28.00		28.00	0.000000	0.02	34.78	67.22	0.01
Reach 1	95.65	Max WS	0.62	27.05	28.00		28.00	0.000000	0.02	26.56	32.90	0.01
Reach 1	64.42	Max WS	0.62	26.80	28.00		28.00	0.000004	0.03	18.07	34.59	0.02
Reach 1	58.63	Max WS	0.62	26.85	28.00		28.01	0.000779	0.42	1.49	2.57	0.18
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	0.62	26.81	27.95		27.95	0.000037	0.20	3.06	13.79	0.06
Reach 1	37.41	Max WS	0.62	26.81	27.95		27.95	0.000005	0.06	13.97	22.92	0.02
Reach 1	27.52	Max WS	0.62	26.81	27.95	27.01	27.95	0.000013	0.07	9.23	17.04	0.03
Reach 1	20	Inl Struct										
Reach 1	18.98	Max WS	0.62	26.52	27.20		27.21	0.001642	0.42	1.47	6.28	0.28
Reach 1	12.84	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08

Tabell V2 Kulminasjon Q200 +40 % uten tilstopping kulvert E39

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Q200+40												
Reach 1	812.98	Max WS	4.01	30.01	30.94		31.06	0.007698	1.84	2.97	9.48	0.73
Reach 1	797.73	Max WS	-2.54	28.82	29.45		29.49	0.002426	-0.99	3.60	14.17	0.43
Reach 1	773.1	Max WS	0.83	27.47	28.33		28.33	0.000019	0.07	11.37	27.73	0.04
Reach 1	751.71	Max WS	0.83	27.24	28.33		28.33	0.000001	0.02	37.95	40.16	0.01
Reach 1	734.2	Max WS	0.83	27.24	28.33		28.33	0.000000	0.02	41.86	43.22	0.01
Reach 1	715.82	Max WS	0.83	27.29	28.33		28.33	0.000000	0.02	46.30	50.90	0.01
Reach 1	691.44	Max WS	0.83	27.26	28.33		28.33	0.000000	0.02	36.02	51.01	0.01
Reach 1	663.26	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	58.86	58.96	0.00
Reach 1	625.3	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	165.90	180.98	0.00
Reach 1	585.81	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.00	194.83	193.54	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	135.86	134.82	0.00
Reach 1	508.19	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	164.72	161.09	0.00
Reach 1	471.52	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	158.73	144.94	0.00
Reach 1	442.37	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	144.39	127.28	0.00
Reach 1	406.66	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	138.05	124.43	0.00
Reach 1	385.89	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	136.87	122.36	0.00
Reach 1	362.68	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	152.64	127.30	0.00
Reach 1	326.17	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	139.71	120.60	0.00
Reach 1	307.55	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	127.35	103.79	0.00
Reach 1	288.01	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	119.23	108.73	0.00
Reach 1	261.79	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	104.65	86.85	0.00
Reach 1	235.02	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	91.63	84.67	0.00
Reach 1	183.68	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	92.24	91.56	0.00
Reach 1	132.62	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	58.95	75.01	0.01
Reach 1	108.92	Max WS	0.83	27.00	28.33		28.33	0.000000	0.01	59.07	81.11	0.01
Reach 1	95.65	Max WS	0.83	27.05	28.33		28.33	0.000000	0.02	37.35	34.35	0.01
Reach 1	64.42	Max WS	0.83	26.80	28.33		28.33	0.000001	0.03	29.35	35.66	0.01
Reach 1	58.63	Max WS	0.83	26.85	28.32		28.33	0.000325	0.34	2.42	10.88	0.12
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	0.83	26.81	28.22		28.23	0.000030	0.21	3.87	19.41	0.06
Reach 1	37.41	Max WS	0.83	26.81	28.23		28.23	0.000003	0.05	20.39	24.32	0.01
Reach 1	27.52	Max WS	0.83	26.81	28.23	27.06	28.23	0.000006	0.06	14.08	18.51	0.02
Reach 1	20	Inl Struct										
Reach 1	18.98	Max WS	0.83	26.52	27.24		27.25	0.002005	0.47	1.77	7.54	0.31
Reach 1	12.84	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08

Tabell V3 Kulminasjon 1.2*Q200 +40 % uten tilstopping kulvert E39

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Q200+40												
Reach 1	812.98	Max WS	4.41	30.01	30.98		31.10	0.006675	1.78	3.38	10.75	0.69
Reach 1	797.73	Max WS	4.82	28.82	29.15	29.43	30.88	0.250873	5.91	0.87	4.67	3.81
Reach 1	773.1	Max WS	1.20	27.47	28.48		28.48	0.000014	0.08	15.80	28.72	0.03
Reach 1	751.71	Max WS	1.20	27.24	28.48		28.48	0.000001	0.03	44.31	40.96	0.01
Reach 1	734.2	Max WS	1.20	27.24	28.48		28.48	0.000001	0.02	48.67	43.75	0.01
Reach 1	715.82	Max WS	1.20	27.29	28.48		28.48	0.000000	0.02	54.32	51.50	0.01
Reach 1	691.44	Max WS	1.20	27.26	28.48		28.48	0.000000	0.03	44.29	54.48	0.01
Reach 1	663.26	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.02	68.13	59.46	0.01
Reach 1	625.3	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	194.53	184.66	0.00
Reach 1	585.81	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	225.39	196.77	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	157.65	142.60	0.00
Reach 1	508.19	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	190.54	169.17	0.00
Reach 1	471.52	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	181.55	146.39	0.00
Reach 1	442.37	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	164.39	128.05	0.00
Reach 1	406.66	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	157.57	124.73	0.00
Reach 1	385.89	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	156.38	125.89	0.00
Reach 1	362.68	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	172.64	127.92	0.00
Reach 1	326.17	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	158.66	121.28	0.00
Reach 1	307.55	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	143.66	104.36	0.00
Reach 1	288.01	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	136.35	109.86	0.00
Reach 1	261.79	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	118.31	87.52	0.00
Reach 1	235.02	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	104.97	85.70	0.00
Reach 1	183.68	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.01	106.81	94.31	0.00
Reach 1	132.62	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.02	70.78	75.97	0.01
Reach 1	108.92	Max WS	1.20	27.00	28.48		28.48	0.000000	0.02	71.94	83.13	0.01
Reach 1	95.65	Max WS	1.20	27.05	28.48		28.48	0.000000	0.03	42.81	35.62	0.01
Reach 1	64.42	Max WS	1.20	26.80	28.48		28.48	0.000002	0.03	34.99	36.33	0.01
Reach 1	58.63	Max WS	1.20	26.85	28.48		28.49	0.000374	0.41	2.89	25.17	0.13
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	1.20	26.81	28.27		28.27	0.000056	0.30	4.00	19.92	0.08
Reach 1	37.41	Max WS	1.20	26.81	28.27		28.27	0.000005	0.07	21.45	24.54	0.02
Reach 1	27.52	Max WS	1.20	26.81	28.27	27.13	28.27	0.000011	0.08	14.89	18.69	0.03
Reach 1	20	Inl Struct										
Reach 1	18.98	Max WS	1.20	26.52	27.31		27.32	0.002069	0.52	2.30	8.67	0.32
Reach 1	12.84	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08

Tabell V4 Kulminasjon Q200 med tilstopping kulvert E39

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
Q200			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
Reach 1	812.98	Max WS	2.87	30.01	30.80	30.85	30.99	0.013421	2.07	1.78	7.80	0.93
Reach 1	797.73	Max WS	2.87	28.82	29.07	29.33	30.60	0.374632	5.49	0.53	3.45	4.34
Reach 1	773.1	Max WS	0.64	27.47	28.12		28.12	0.000082	0.11	5.94	23.94	0.07
Reach 1	751.71	Max WS	0.64	27.24	28.12		28.12	0.000001	0.02	29.89	39.13	0.01
Reach 1	734.2	Max WS	0.64	27.24	28.12		28.12	0.000001	0.02	33.15	42.35	0.01
Reach 1	715.82	Max WS	0.64	27.29	28.12		28.12	0.000000	0.02	36.04	50.07	0.01
Reach 1	691.44	Max WS	0.64	27.26	28.12		28.12	0.000000	0.02	26.11	46.50	0.01
Reach 1	663.26	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	46.93	58.36	0.00
Reach 1	625.3	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.00	129.64	175.01	0.00
Reach 1	585.81	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.00	155.85	188.40	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	108.61	133.42	0.00
Reach 1	508.19	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.00	132.37	157.99	0.00
Reach 1	471.52	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.00	129.47	142.80	0.00
Reach 1	442.37	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	118.62	126.26	0.00
Reach 1	406.66	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	112.80	123.99	0.00
Reach 1	385.89	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	112.33	119.34	0.00
Reach 1	362.68	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	126.85	126.41	0.00
Reach 1	326.17	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	115.28	119.78	0.00
Reach 1	307.55	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	106.33	103.06	0.00
Reach 1	288.01	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	97.39	106.79	0.00
Reach 1	261.79	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	87.08	85.87	0.00
Reach 1	235.02	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	74.53	83.54	0.00
Reach 1	183.68	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	73.82	89.51	0.00
Reach 1	132.62	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	43.93	72.29	0.01
Reach 1	108.92	Max WS	0.64	27.00	28.12		28.12	0.000000	0.01	43.13	74.00	0.01
Reach 1	95.65	Max WS	0.64	27.05	28.12		28.12	0.000000	0.02	30.48	33.34	0.01
Reach 1	64.42	Max WS	0.64	26.80	28.12		28.12	0.000002	0.03	22.18	34.92	0.01
Reach 1	58.63	Max WS	0.64	26.85	28.12		28.13	0.000473	0.35	1.82	3.08	0.14
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	0.64	26.81	28.00		28.00	0.000034	0.20	3.19	14.02	0.06
Reach 1	37.41	Max WS	0.64	26.81	28.00		28.00	0.000004	0.05	14.96	23.16	0.02
Reach 1	27.52	Max WS	0.64	26.81	28.00	27.02	28.00	0.000011	0.06	9.98	17.34	0.03
Reach 1	20	Inl Struct										
Reach 1	18.98	Max WS	0.64	26.52	27.20		27.21	0.001686	0.43	1.49	6.40	0.28
Reach 1	12.84	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08

Tabell V5 Kulminasjon Q200 +40 % med tilstopping kulvert E39

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Q200+40												
Reach 1	812.98	Max WS	3.58	30.01	30.87	30.89	31.04	0.011109	2.05	2.34	8.83	0.87
Reach 1	797.73	Max WS	4.01	28.82	29.12	29.41	30.72	0.269336	5.64	0.74	4.25	3.87
Reach 1	773.1	Max WS	0.72	27.47	28.37		28.37	0.000011	0.06	12.55	28.03	0.03
Reach 1	751.71	Max WS	0.72	27.24	28.37		28.37	0.000000	0.02	39.65	40.38	0.01
Reach 1	734.2	Max WS	0.72	27.24	28.37		28.37	0.000000	0.02	43.68	43.36	0.01
Reach 1	715.82	Max WS	0.72	27.29	28.37		28.37	0.000000	0.01	48.45	51.05	0.00
Reach 1	691.44	Max WS	0.72	27.26	28.37		28.37	0.000000	0.02	38.19	51.94	0.01
Reach 1	663.26	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	61.34	59.09	0.00
Reach 1	625.3	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	173.53	181.83	0.00
Reach 1	585.81	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	203.04	194.07	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	141.57	137.45	0.00
Reach 1	508.19	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	171.53	162.63	0.00
Reach 1	471.52	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	164.83	145.32	0.00
Reach 1	442.37	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	149.75	127.49	0.00
Reach 1	406.66	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	143.28	124.52	0.00
Reach 1	385.89	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	142.03	123.19	0.00
Reach 1	362.68	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	158.00	127.49	0.00
Reach 1	326.17	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.00	144.79	120.82	0.00
Reach 1	307.55	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	131.72	103.95	0.00
Reach 1	288.01	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	123.81	109.03	0.00
Reach 1	261.79	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	108.30	87.03	0.00
Reach 1	235.02	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	95.19	84.94	0.00
Reach 1	183.68	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	96.10	92.16	0.00
Reach 1	132.62	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	62.11	75.29	0.00
Reach 1	108.92	Max WS	0.72	27.00	28.37		28.37	0.000000	0.01	62.49	81.75	0.00
Reach 1	95.65	Max WS	0.72	27.05	28.37		28.37	0.000000	0.02	38.80	34.57	0.01
Reach 1	64.42	Max WS	0.72	26.80	28.37		28.37	0.000001	0.02	30.85	35.84	0.01
Reach 1	58.63	Max WS	0.72	26.85	28.37		28.37	0.000204	0.28	2.55	15.87	0.10
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	0.72	26.81	28.20		28.20	0.000024	0.19	3.80	19.02	0.05
Reach 1	37.41	Max WS	0.72	26.81	28.20		28.20	0.000002	0.04	19.84	24.21	0.01
Reach 1	27.52	Max WS	0.72	26.81	28.20	27.03	28.20	0.000005	0.05	13.66	18.41	0.02
Reach 1	20	Inl Struct										
Reach 1	18.98	Max WS	0.72	26.52	27.22		27.23	0.001841	0.45	1.61	6.90	0.30
Reach 1	12.84	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08

Tabell V6 Kulminasjon Q200 uten dam

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Q200												
Reach 1	812.98	Max WS	2.87	30.01	30.82	30.85	30.98	0.010596	1.90	1.97	8.17	0.83
Reach 1	797.73	Max WS	2.87	28.82	29.07	29.33	30.64	0.391800	5.57	0.52	3.43	4.44
Reach 1	773.1	Max WS	1.41	27.47	27.82		27.85	0.004201	0.74	1.90	8.11	0.49
Reach 1	751.71	Max WS	1.17	27.24	27.81		27.81	0.000012	0.07	17.83	36.80	0.03
Reach 1	734.2	Max WS	1.17	27.24	27.81		27.81	0.000010	0.06	19.96	40.78	0.03
Reach 1	715.82	Max WS	1.17	27.29	27.81		27.81	0.000001	0.06	20.41	48.35	0.03
Reach 1	691.44	Max WS	1.17	27.26	27.81		27.81	0.000003	0.09	12.84	36.38	0.05
Reach 1	663.26	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.04	28.58	57.27	0.02
Reach 1	625.3	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.01	79.67	145.80	0.01
Reach 1	585.81	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.01	100.14	162.38	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	67.60	122.62	0.01
Reach 1	508.19	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.01	84.73	139.72	0.01
Reach 1	471.52	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.01	84.81	138.35	0.01
Reach 1	442.37	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.01	78.88	124.01	0.01
Reach 1	406.66	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	73.57	123.17	0.01
Reach 1	385.89	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	75.13	114.94	0.01
Reach 1	362.68	Max WS	1.17	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.01	86.98	124.87	0.01
Reach 1	326.17	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	77.64	116.89	0.01
Reach 1	307.55	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	73.84	101.62	0.01
Reach 1	288.01	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	63.79	104.88	0.01
Reach 1	261.79	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	60.16	83.68	0.01
Reach 1	235.02	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.02	48.36	81.12	0.01
Reach 1	183.68	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.03	45.88	86.52	0.01
Reach 1	132.62	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.05	24.99	46.57	0.02
Reach 1	108.92	Max WS	1.16	27.00	27.81		27.81	0.000000	0.05	24.41	42.11	0.02
Reach 1	95.65	Max WS	1.16	27.05	27.81		27.81	0.000001	0.06	20.09	32.05	0.02
Reach 1	64.42	Max WS	1.16	26.80	27.80		27.80	0.000062	0.10	11.20	33.77	0.06
Reach 1	58.63	Max WS	1.16	26.85	27.77		27.84	0.006268	1.16	1.00	1.54	0.46
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	1.16	26.81	27.33		27.38	0.002977	0.97	1.19	5.99	0.49
Reach 1	37.41	Max WS	1.16	26.81	27.35		27.37	0.003597	0.77	1.81	12.87	0.43
Reach 1	27.52	Max WS	1.16	26.81	27.31		27.34	0.003752	0.79	1.47	4.49	0.44
Reach 1	18.98	Max WS	1.16	26.52	27.30		27.32	0.002086	0.52	2.25	8.63	0.32
Reach 1	12.83	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08

Tabell V7 Kulminasjon Q200 +40 % uten dam

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Q200+40												
Reach 1	812.98	Max WS	4.01	30.01	30.96		31.07	0.006454	1.72	3.18	9.94	0.68
Reach 1	797.73	Max WS	4.01	28.82	29.11	29.40	30.95	0.338171	6.06	0.68	4.05	4.28
Reach 1	773.1	Max WS	1.63	27.47	28.03		28.04	0.001050	0.40	4.07	15.52	0.25
Reach 1	751.71	Max WS	1.61	27.24	28.02		28.02	0.000007	0.06	26.03	38.50	0.02
Reach 1	734.2	Max WS	1.61	27.24	28.02		28.02	0.000006	0.06	28.97	41.87	0.02
Reach 1	715.82	Max WS	1.61	27.29	28.02		28.02	0.000001	0.05	31.08	49.60	0.02
Reach 1	691.44	Max WS	1.61	27.26	28.02		28.02	0.000001	0.07	21.61	43.74	0.03
Reach 1	663.26	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.04	41.15	58.06	0.01
Reach 1	625.3	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.01	112.57	163.63	0.01
Reach 1	585.81	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.01	137.38	182.85	0.00
Reach 1	546.11	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	95.40	131.83	0.01
Reach 1	508.19	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.01	116.85	154.43	0.01
Reach 1	471.52	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.01	115.34	141.64	0.00
Reach 1	442.37	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	106.10	125.64	0.01
Reach 1	406.66	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	100.49	123.78	0.01
Reach 1	385.89	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	100.53	118.07	0.01
Reach 1	362.68	Max WS	1.61	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.01	114.32	125.97	0.00
Reach 1	326.17	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	103.40	119.20	0.01
Reach 1	307.55	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	96.10	102.66	0.01
Reach 1	288.01	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	86.81	106.26	0.01
Reach 1	261.79	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	78.58	85.27	0.01
Reach 1	235.02	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	66.26	82.90	0.01
Reach 1	183.68	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.02	64.97	88.62	0.01
Reach 1	132.62	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.04	37.19	65.05	0.02
Reach 1	108.92	Max WS	1.60	27.00	28.02		28.02	0.000000	0.04	36.06	68.66	0.02
Reach 1	95.65	Max WS	1.60	27.05	28.02		28.02	0.000000	0.06	27.17	32.98	0.02
Reach 1	64.42	Max WS	1.60	26.80	28.02		28.02	0.000022	0.09	18.70	34.64	0.04
Reach 1	58.63	Max WS	1.60	26.85	27.99		28.05	0.005348	1.09	1.47	2.54	0.46
Reach 1	50	Culvert										
Reach 1	42.7	Max WS	1.60	26.81	27.39		27.46	0.003526	1.16	1.38	6.43	0.55
Reach 1	37.41	Max WS	1.60	26.81	27.42		27.44	0.002254	0.71	3.02	16.51	0.35
Reach 1	27.52	Max WS	1.60	26.81	27.38		27.42	0.004635	0.89	1.80	5.46	0.49
Reach 1	18.98	Max WS	1.60	26.52	27.37		27.39	0.001905	0.56	2.86	9.49	0.32
Reach 1	12.84	Max WS	0.03	26.42	26.46	26.46	26.48	0.043661	0.62	0.05	1.44	1.08



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95