

# Fagrapport hydrologi

April | **21**

E39 Bue – Ålgård. Detaljregulering

Oppdragsnr:	A108052 (COWI)
Oppdragsnavn:	E39 Bue – Ålgård, detaljregulering
Dokument nr.:	Fagrapport hydrologi

## Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
	09.04.2021		SNPA	ERMN/OLDA	JAON

## Forord

Denne fagrapporten er utarbeidet som en del av arbeidet med reguleringsplan for E39 Bue - Ålgård, i Bjerkreim kommune og Gjesdal kommune. Rapporten tar for seg temaet hydrologi. Tiltakshaver og ansvarlig for utredningen er Nye Veier.

Hos Nye Veier har Kjetil Medhus ledet arbeidet med reguleringsplanen.

Kristian de Lange og Jannicke Neteland Olsen har vært prosjektledere hos COWI AS. Fagansvarlig for hydrologi er Stefan Perzyna. Sidemannskontroll er utført av Erik Mølmann.

April 2021

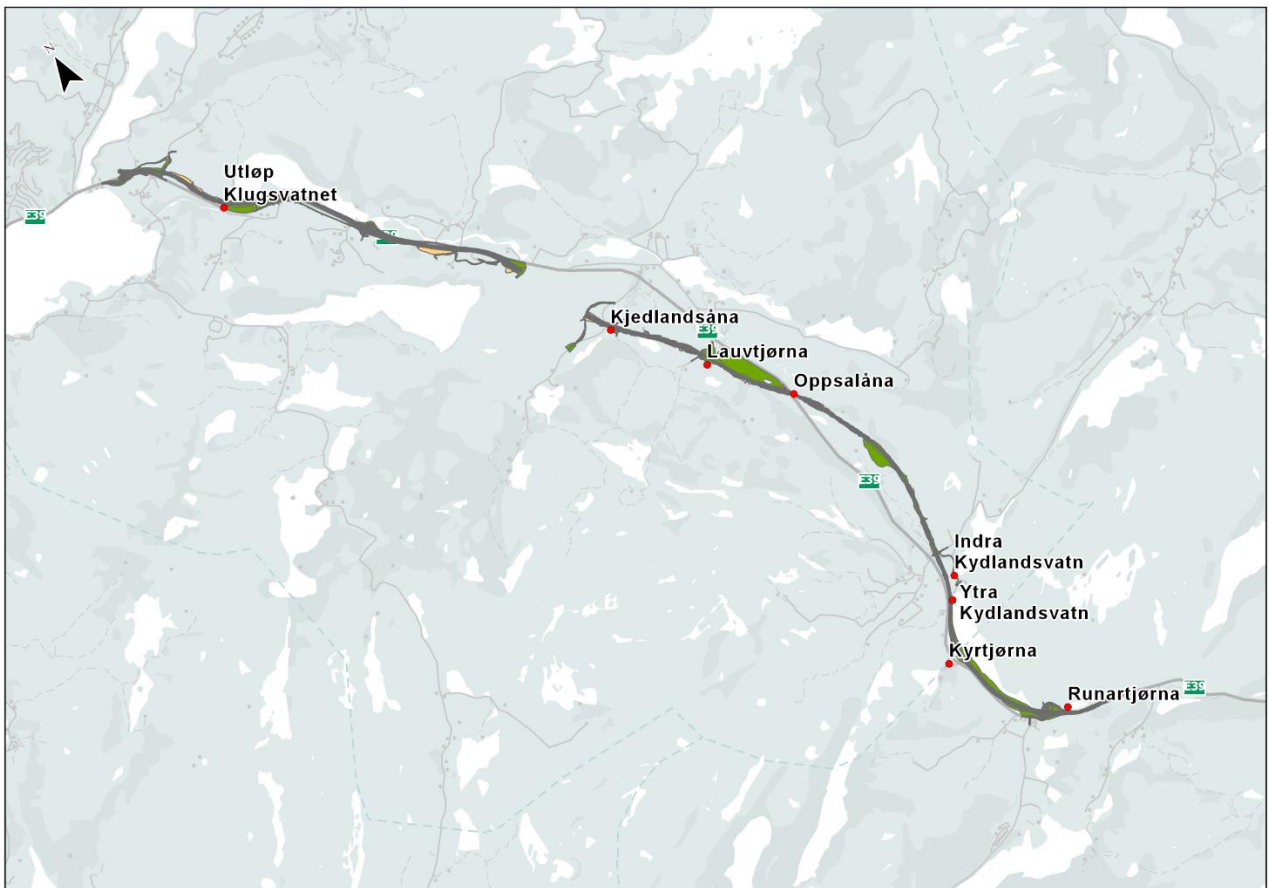
Stavanger

## Innhold

1	Sammendrag .....	5
2	Innledning.....	6
2.1	Bakgrunn.....	6
2.2	Mål for prosjektet og planarbeidet .....	6
2.3	Tiltaket.....	7
2.4	Regulerte alternativ og varslingsområde .....	7
3	Beskrivelse av nedbørfelt .....	9
3.1	Hydrometriske stasjoner i Figgjo sitt nedbørfelt.....	9
3.2	Hydrometriske stasjoner i nærliggende vassdrag .....	9
4	Flomberegning.....	11
4.1	Flomfrekvensanalyse .....	11
4.2	Kulminasjonsverdier .....	12
4.3	Beregning av endelige flomstørrelser .....	12
4.4	Justering av flomverdier i forhold til forventede klimaendringer .....	13
5	Modellering av den dimensjonerende flommen.....	14
5.1	Avgrensning av prosjektet.....	14
5.2	Topografiske data .....	14
5.3	Broer .....	14
5.4	Ruhet .....	14
5.5	Nedstrøms grensebetingelse.....	14
5.6	Tilsigspunktene i modellen.....	14
5.7	Utløp fra Klugsvatnet - 1D-beregning.....	16
5.8	2D flommodellering.....	18
5.9	Resultater .....	18
5.10	Klugsvatnet .....	19
6	Beregning av flom i utvalgte punkter .....	21
6.1	Klimafaktor .....	22
6.2	Kulvertdimensjonering .....	22
6.2.5	Oppsalåna brokryssing.....	30
7	Referanser .....	37
8	Vedlegg 1- Beskrivelse av flomberegningsmetoder .....	38
9	Vedlegg 2- Kulvertdimensjonering .....	41

## 1 Sammenheng

I forbindelse med planlegging av ny E39 mellom Bue og Ålgård er det utført en flomberegning for Figgjovassdraget og sidevassdrag. Flom med gjentakintervall 200 år med 30 prosent klimapåslag er beregnet for lokale punkter langs den planlagte E39. Resultat av den hydrauliske modelleringen viser liten endring i flomforholdene etter utbygging i forhold til dagens situasjon. De største forskjellene sees i Klugsvatnet og Ytra Kydlandsvatnet, hvor det er planlagt vei gjennom magasinet.



Figur 1-1 Plassering av de utvalgte beregningspunktene langs den planlagte veien.

## 2 Innledning

### 2.1 Bakgrunn

Nye Veier ble opprettet av Stortinget i 2016 med mål om å etablere en slank, effektiv og spesialisert byggherreorganisasjon. Nye Veier sitt oppdrag er å planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde trafikksikre hovedveier. Disse veiene reduserer reisetid, knytter sammen bo- og arbeidsmarkedsregioner, og sørger for færre drepte og hardt skadde i trafikken. Nye Veier har per i dag ansvaret for 700 kilometer hovedvei, og en investeringsramme på 150 milliarder kroner.

Nye Veier har ansvar for strekningen mellom Kristiansand og Ålgård. Dagens E39 er av variabel standard, og sikkerhet og framkommelighet er ikke tilfredsstillende. Veien er og vil være en del av TEN-T (det transeuropeiske transportnettverket), og dermed en viktig transportkorridor. Denne strekningen er delt opp i flere delstrekninger, med ulik status:

- Kristiansand vest - Mandal øst: utbygging pågår, med planlagt ferdigstilling i 2022
- Mandal øst – Mandal by: utbygging pågår, med planlagt ferdigstilling i 2022
- Mandal – Lyngdal øst: områderegulering er vedtatt. Arbeid med detaljregulering starter i 2020, og planlagt anleggsstart er årsskiftet 2021/2022 med mulig ferdigstilling 2025
- Herdal – Røyskår: detaljregulering ble sluttbehandlet i Lyngdal kommunestyre i juni 2020. Byggestart er planlagt til 2021, med mulig ferdigstilling i 2024
- Lyngdal vest – Ålgård: strekningen omfattes av statlig kommunedelplan, der regjeringen besluttet trase den 17. mars 2021. Den valgte strekningen A1-R1 vil ligge til grunn for Kommunal- og moderniseringsdepartementet sin sluttbehandling og endelige vedtak av den statlige kommunedelplanen
- Bue – Ålgård: detaljregulering pågår

### 2.2 Mål for prosjektet og planarbeidet

Ny E39 mellom Bue og Ålgård er en del av Nye Veier sitt prosjekt E39 mellom Kristiansand og Ålgård. Bygging av ny E39 skal binde regionen sammen, skape et større bo- og arbeidsmarked, gi kortere reisetid og langt bedre sikkerhet for trafikantene. Målsettingen er samtidig å redusere utslippet av klimagasser og andre miljøkonsekvenser.

#### 2.2.1 Hovedmål og delmål

Reguleringsplan for E39 Bue - Ålgård skal bidra til at de sektorpolitiske målene i Meld. St. 33 (2016-2017) Nasjonal transportplan 2018-2029 nås (Det kongelige samferdselsdepartement, 2017).

Nasjonal transportplan sine hovedmål er:

- Bedre framkommelighet for personer og gods i hele landet
- Redusere transportulykkene i tråd med nullvisjonen
- Redusere klimagassutslippene i tråd med en omstilling mot et lavutslippssamfunn og redusere andre negative miljøkonsekvenser

Videre gjelder følgende delmål:

- Samfunnsøkonomisk lønnsomt prosjekt
- Sikre økt framkommelighet og trafikantnytte
- Fornøyd lokalsamfunn, naboer og berørte grunneiere
- Minimere negative effekter for de ikke-prissatte konsekvensene

## 2.3 Tiltaket

### *Vei*

Detaljregulering med konsekvensutredning for E39 Bue - Ålgård gjelder ny firefelts motorvei fra Bue i Bjerkreim kommune til Ålgård i Gjesdal kommune. Strekningen er på ca. 15 km. Ved Bue og Ålgård kobles ny vei til dagens E39, samtidig som det tilrettelegges for kobling mot ny E39 mot sør og nord. Det planlegges for fartsgrænse på 110 km/t, med normalprofil på 23 meter.

### *Masseuttak og permanent masselagring*

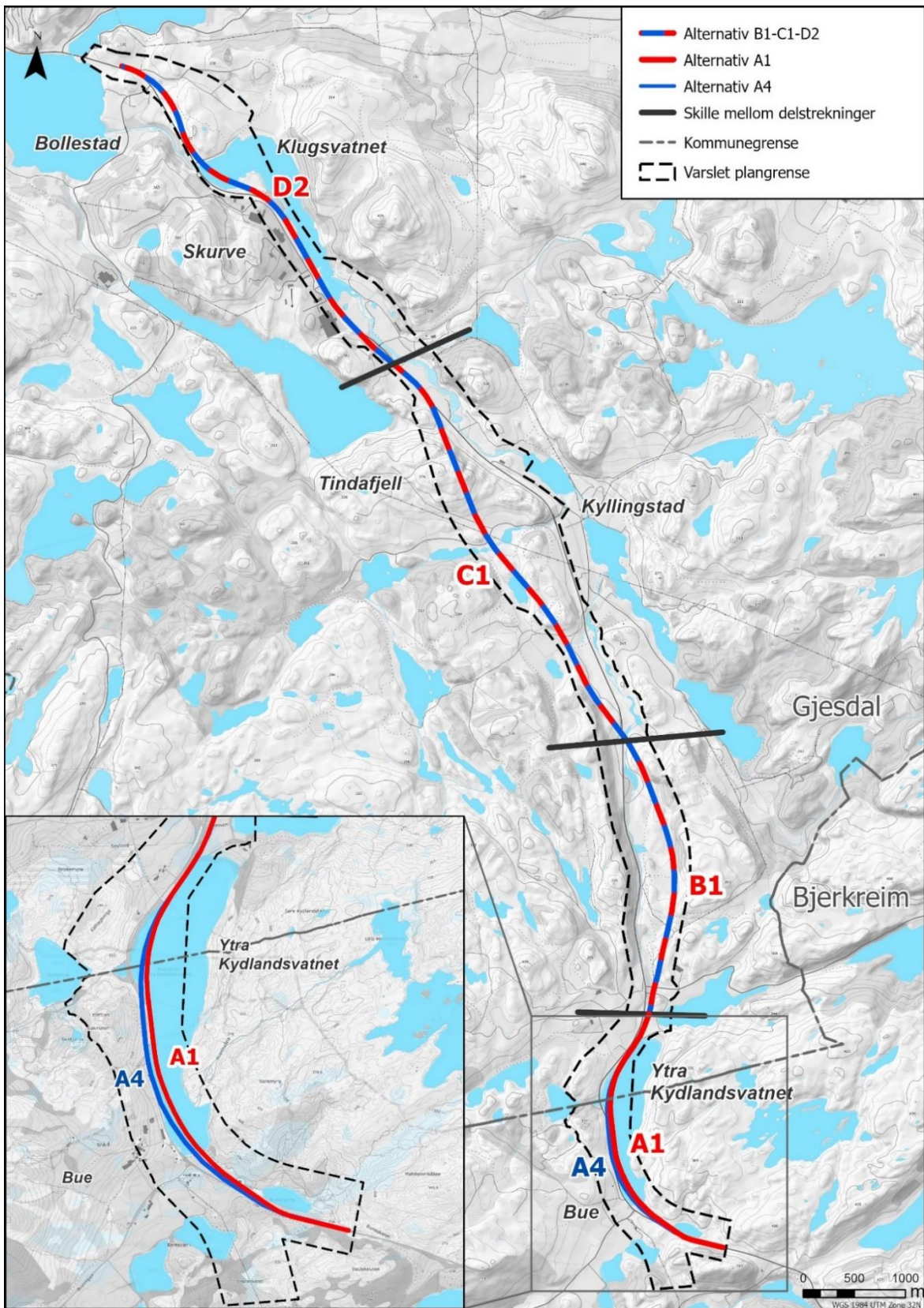
Reguleringsplanen for ny E39 legger også opp til etablering av masseuttak og permanent masselagring. Prinsipper som er lagt til grunn for valg av arealer til disse formålene er nærhet til vegtiltaket, behov for masser i veikonstruksjon, behov for lagring av løsmasser og muligheter for tilrettelegging for landbruksformål.

### *Midlertidige tiltak*

Midlertidige tiltak som planen gir rom for er anleggsområde/anleggsbelte med tilhørende anleggsveier, riggområder, knuseverk og midlertidige kryssområder ved etappevis utbygging.

## 2.4 Regulerte alternativ og varslingsområde

Figur 2-1 viser regulerte veilinjer og varslingsområde for planarbeidet. Området er delt inn i fire delstrekninger. I område A, som ligger i grensen til Bjerkreim og Gjesdal kommune, er det regulert to alternativer: Alternativ A1 og A4. I delområde B, C og D er det kun et alternativ som er regulert, henholdsvis alternativ B1, C1 og D2. Det vises til planbeskrivelse for videre omtale.



Figur 2-1 Oversikt regulerede alternativ for hver delstrekning.



### 3 Beskrivelse av nedbørfelt

Figgjo er et lavtliggende vassdrag i Rogaland med høyeste punkt i Ulvsfjellet lengst øst på omkring 600 meter over havet. I overkant av 80 prosent av vassdraget ligger under 400 meter over havet. Vassdraget har sitt utløp i Honnsvika, ca. en mil sørvest for Sandnes. Nedbørsfeltets areal ved utløpet i havet er 234 km<sup>2</sup>.

Klugsvatnet ligger i øvre delen av Figgjovassdraget. Nedbørfeltets areal ved utløpet av Klugsvatnet er 64,5 km<sup>2</sup>. De høyereliggende delene av feltet oppstrøms Klugsvatnet består av et småkupert terreng med mange små innsjøer. Det at vassdraget renner mot Klugsvatnet gjennom flere innsjøer vil ha en dempende og forsinkende effekt på flommer. Feltekarakteristika for nedbørfeltene er vist i Tabell 3-1 og kart over nedbørfeltet er vist i Figur 3-1.

Tabell 3-1-Feltekarakteristika for Figgjo.

Punkt i vassdraget	Feltareal	Effektiv sjøprosent	Snaufjell	Qn (61-90)*	Høydeintervall	Feltlengde
	km <sup>2</sup>	%	%	l/s km <sup>2</sup>	moh	km
<b>Klugsvatnet utløp</b>	64.5	1.86	48.3	60	156-595	12.1

\* Qn: Normal avrenning basert på data fra perioden 1961-1990

Nedbørfeltet er delvis påvirket av regulering. Sidebekken Tøgjeåna, som utgjør ca. 25 prosent av det undersøkte nedbørsfeltet er noe regulert for vannforsyning fra Storavatnet. Sistnevnte har et magasin med areal på 1,8km<sup>2</sup> og volum på 20 Mm<sup>3</sup>. Reguleringene i vassdraget antas å ha liten betydning for flommene i Figgjo ved Klugsvatnet. Det er strekningen mellom Ytra Kydlandsvatnet til utløpet fra Klugsvatnet som har blitt kartlagt i dette planarbeidet.

#### 3.1 Hydrometriske stasjoner i Figgjo sitt nedbørfelt

Målestasjonen 28.5 Foss Eikjeland i Figgjo ble etablert i 1980. Stasjonen ble nedlagt i 2004. Nedbørfeltets areal ved stasjonen er ca. 157 km<sup>2</sup> og er nesten 100 km<sup>2</sup> større enn nedbørfeltet til Klugsvatnet.

#### 3.2 Hydrometriske stasjoner i nærliggende vassdrag

Datagrunnlaget i Figgjo nedbørfelt er noe for tynt og usikkert til alene å kunne danne grunnlag for flomfrekvensanalyser for Klugsvatnet. Det er derfor valgt å sammenligne det med analyser fra målestasjoner med lange observasjonsserier fra nærliggende vassdrag. Utvalgte målestasjoner brukt til analysen er:

**28.7 Haugland**- Målestasjonen ligger i Håelva, som har utløp i havet 15 km sør for Figgjo. Nedbørfeltets areal ved stasjonen er 140 km<sup>2</sup>. Feltet er uregulert og ligger tett opp mot de øvre delene av Figgjovassdraget. Målestasjonen har observasjoner siden 1918.

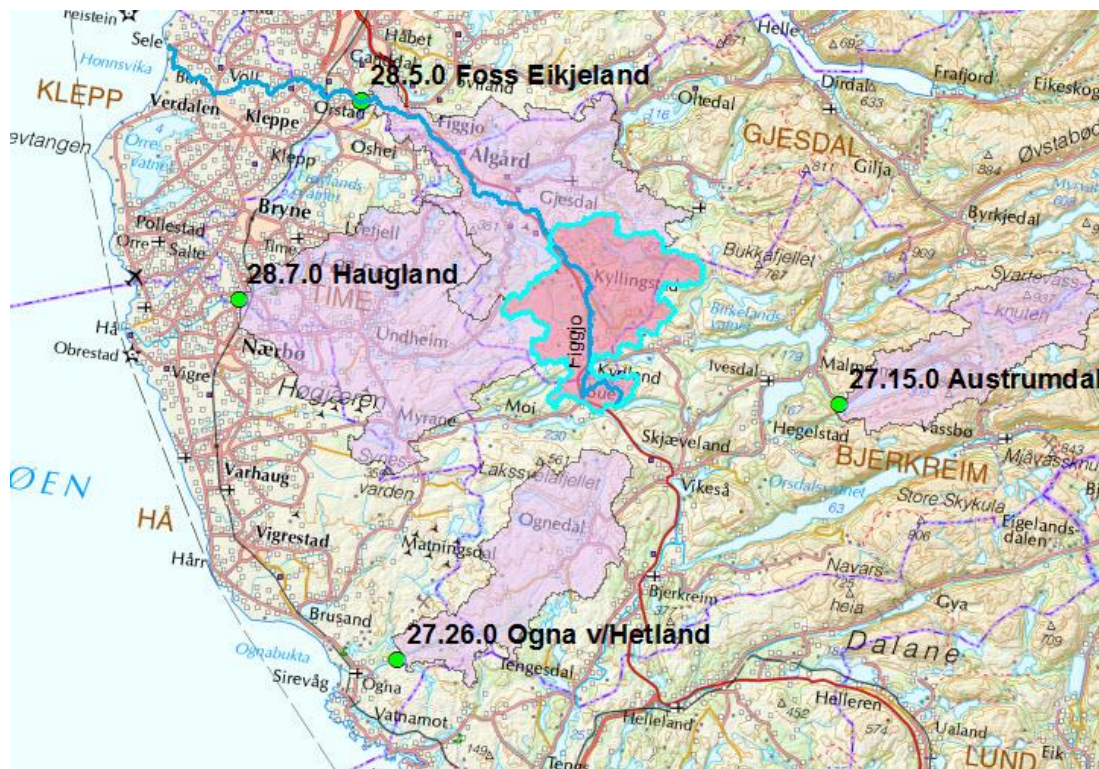
**27.26 Hetland**- Målestasjonen ligger i Oгна, som har utløp i havet drøyt 20 km sør for Håelva. Nedbørfeltets areal ved stasjonen er 69,5 km<sup>2</sup>. Feltet er uregulert, og de øvre delene av feltet ligger nært og noe sør for Håelvas og Figgjos øvre deler. Målestasjonen har observasjoner siden 1915.

**27.15 Austrumdal** - Målestasjonen ligger i øvre del av Bjerkreimselva, som har utløp i havet ved Egersund. Nedbørfeltets areal ved stasjonen er 61 km<sup>2</sup>. Feltet er uregulert. Målestasjonen har observasjoner siden 1980.

Av sammenligningsstasjonene er Haugland og Hetland de stasjonene som har feltkarakteristika som likner mest på nedbørfeltet til Klugsvatnet. Spesielt høydekurven og snaufjellandel er relativt likt. Nedbørfelt til målestasjon Austrumdal er brattere og har mye høyre spesifikk årsavregning. En oversikt over parametere til de aktuelle sammenligningsstasjoner i området er gitt i Tabell 3-2. Beliggenhet og feltgrenser er vist i Figur 3-1.

Tabell 3-2-Feltparametere for de aktuelle målestasjonene

Navn	Periode	Areal	Effektiv sjøprosent	Snaufjell	Feltlengde	Høyde	Q <sub>n</sub> (Nevina)	Q <sub>M</sub> (HYDAG)
		km <sup>2</sup>	%	%	km	moh.	l/s km <sup>2</sup>	l/s km <sup>2</sup>
<b>28.5 Foss Eikjeland</b>	1981-2000	157.0	2.04	38	22	23-595	53	49.2
<b>27.26 Hetland</b>	1915-2019	70.3	0.83	60	21	21-555	59	59
<b>27,26 Hetland</b>	1982-2019	70.3	0.83	60	21	21-555	59	63
<b>28.7 Haugland</b>	1918-2019	138.1	0.44	60	17	17-431	50	53
<b>27.15 Austrumdal</b>	1986-2019	60.8	5.48	67	16.	309-933	95	96



Figur 3-1- Nedbørfeltene til målestasjonene. Nedbørfelt til Klugsvatnet er markert i blått.

## 4 Flomberegning

### 4.1 Flomfrekvensanalyse

De fleste store flommer ved de nevnte hydrometriske stasjonene i Rogaland opptrer i perioden august - februar og er primært forårsaket av nedbør. Det er utført en flomfrekvensanalyse på årsflommer for målestasjonene i Tabell 3-2.

Hovedresultatene av analysene er sammenfattet i Tabell 4-1. Alle verdier i resultatene representerer døgnmidlene av flommene. Fordeling er valgt etter hvilken kurve som ser ut til å gi best tilpasning til data, med vekt på de store flommene. Ved tvil er den fordelingen som gir de høyeste flomverdiene valgt.

Tabell 4-1- Flomfrekvensanalyse ved utvalgte målestasjoner, døgnverdier

Stasjon	Periode	Areal	QM		Q5/ QM	Q10/ QM	Q20/ QM	Q50/ QM	Q100/ QM	Q200/ QM
			km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s						
28.5 Foss Eikjeland	1980-2001	158	35	207	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8
27.26 Hetland	1915-2019	70	35	497	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5
27.26 Hetland	1982-2019	70	29	405	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9
28.7 Haugland	1918-2019	138	50	359	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1
27.15 Austrumdal	1986-2019	61	39	642	1.2	1.4	1.7	2.3	3.0	3.8
K1/K2					1.2	1.45	1.6	1.9	2.15	2.4

Flomfrekvensanalyse gir resultater med relativt store forskjeller. Størrelsen på middelflommen (QM) varierer mellom 207 l/s/km<sup>2</sup> og 642 l/s/km<sup>2</sup>.

Analyseresultater for Austrumdal skiller seg klart ut og er ekskludert fra videre sammenligning. Nedbørfeltet til VM Austrumdal ligger lengre inn i landet, har mer nedbør og distinkt forskjellige hydrologiske forhold enn de andre feltene.

Ifølge NVE (Holmqvist 2005) har målestasjon 27.26 Hetland i perioden før flytting av VM (1982) ikke homogen data. Det er derfor valgt å utføre flomanalysene med data fra og med 1982.

Verdien for spesifikk middelflom ved Foss Eikjeland (207 l/s/km<sup>2</sup>) er betydelig lavere enn for de tre andre målestasjonene. Dette virker rimelig siden det er flere og større innsjøer i Figgjovassdraget enn i de andre nedbørfeltene, og innsjøer har en dempende og forsinkende effekt på flommer. Samtidig er datausikkerheten ved Foss Eikjeland stor i perioden 1980-1992. Flomtopper i perioden kan være underestimert. Målestasjonen ble flyttet noe i 1992. Etter dette regnes observasjonene å være av god kvalitet. Den beregnede verdien for midlere flom antas å være for lav. Ved bruk av regionale flomformler blir spesifikk middelflom beregnet til 320 l/s/km<sup>2</sup> ("Regional flomfrekvens analyse for norske vassdrag" fra 1997) og ca. 360 l/s/km<sup>2</sup> (nytt regionalt flomverk (RFFA-2018)).

Som primær frekvenskurve velges det frekvenskurven fra 28.27 Haugland som har en lang tidsserie (100 år) og stemmer relativt godt med vekstkurven for region K1/K2 (Sælthun mfl. 1997). Med tanke på at arealet av nedbørfeltet ved utløpet fra Klugsvatnet (64.5 km<sup>2</sup>) er under halvparten av nedbørfeltet til VM Haugland, er det bestemt å bruke en frekvensfaktor for Q200 flommen ved Klugsvatnet til **Q200/Qm= 2.2**, litt større enn den fra VM Haugland. Den spesifikke middelflommen settes til **350 l/s/km<sup>2</sup>**.

## 4.2 Kulminasjonsverdier

Flomfrekvensanalysen er utført på døgnmiddelverdier. Flommens kulminasjonsverdi (momentanverdi) må beregnes. Forholdstallet  $Q_{mom}/Q_{døgn}$  beskriver forholdet mellom flommens kulminasjonsverdi,  $Q_{mom}$ , og døgnmiddelverdi,  $Q_{døgn}$ . Ut fra regionalt formelverk (Sælthun m.fl., 1997) beregnes forholdstallet til 1.23 for vårflo og 1.37 for høstflo. Nytt formelverk (RFFA-2018) gir et forholdstall på 1.17.

Alternativt kan vekstfaktoren bestemmes fra observerte flommer. Tabell 4-2 viser forholdstallet mellom kulminasjon og døgnmiddelflommer for de seks største flommene registrert ved målestasjon 28.7 Haugland.

Tabell 4-2-Forholdstallet ( $Q_{mom}/Q_{døgn}$ ) mellom kulminasjons- og døgnmiddelflommer ved VM Haugland for ulike flomstørrelser.

Dato	$Q_{døgn}$	$Q_{mom}$	$Q_{mom}/Q_{døgn}$
02.10.2017	81.55	108.4	1.33
06.10.2010	58.62	84.2	1.43
04.10.2004	50.82	78.9	1.55
22.09.1991	54.4	77.9	1.43
03.12.1992	59.69	77.6	1.30
11.12.2019	53.3	75.3	1.41
<b>Snitt</b>			1.40

Pettersson (2003) studerte usikre data fra Foss Eikjeland og konkludert at det er relativt liten forskjell mellom kulminasjon og døgnmiddel ved de fleste flommer, men at det er en hel del større forskjell ved de største observerte flommene (1.15 -1.2). Ut fra dette er det konkludert med å benytte et forholdstall på  **$Q_{Mom}/Q_{Ddøgn}=1.3$** .

## 4.3 Beregning av endelige flomstørrelser

Ut fra flomfrekvensanalysen ble frekvensfaktoren ved Klugsvatnet til  $Q_{200}/Q_m = 2.2$  og den spesifikke middelflomverdien til  $350 \text{ l/s/km}^2$ . Dermed blir den estimerte døgnmiddelflommen lik  **$50 \text{ m}^3/\text{s}$** , som er ca. 20 prosent mindre enn  $Q_{200}$  beregnet ved bruk av nytt flomverk RFFA-2018.

Tabell 4-3- Flomberegning for Figgjo, døgnverdier.

Figgjo, utløp fra Klugsvatnet	Areal	QM	$Q_{200}/QM$	$Q_{200}$
	$\text{km}^2$	$\text{l/skm}^2$	-	$\text{m}^3/\text{s}$
FFA	64.5	350	2.20	50
RFFA 2018	64.5	431	2.17	60

Verdier til  $Q_{200}$  kulminasjonsflo ble estimert ut fra et forhold etablert mellom kulminasjonsvannføring (momentanvannføring) og døgnmiddelvannføring ( $Q_{mom}/Q_{døgn}$ ) på 1.3 og forholdstall gitt av RFFA-2018 (1.17).

Tabell 4-4- Flomberegning for Figgjo, døgnverdier og kulminasjonsvannføringer.

<b>Figgjo, utløp fra Klugsvatnet</b>	<b>Areal</b>	<b>QM</b>	<b>Q200/QM</b>	<b>Q200</b>	<b>Kulminasjonsfaktor</b>	<b>Q200 Kulminasjonsflom</b>
	km <sup>2</sup>	l/s/km <sup>2</sup>	-	m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s
FFA	64.5	350	2.30	50	1.3	65
RFFA 2018	64.5	431	2.17	60	1.17	70

Datagrunnlaget for flomberegning ved Klugsvatnet kan karakteriseres som noe tynt, selv om det foreligger data for en kort tidsperiode for 28.5 Foss Eikjeland. Det er stor usikkerhet knyttet til datakvaliteten fra VM Foss Eikjeland.

Det er relativt stor usikkerhet i de beregnede flomverdiene for det umålte feltet til Figgjo ved Klugsvatnet. Dette gjelder både ved bestemmelse av middelflom, flomfrekvenskurve og forholdstall mellom døgnmiddel- og kulminasjonsverdier. For å redegjøre for denne usikkerheten er det bestemt å bruke den konservative verdien fra RFFA med kulminasjonsfaktor, og justere den opp med sikkerhetsfaktor på 1.2 (20 prosent). Dermed blir endelig estimat på 200 års kulminasjonsflom:

$$Q_{200} = 70 \times 1.2 \approx 85 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.4 Justering av flomverdier i forhold til forventede klimaendringer

I henhold til NVEs rapport 81 2016 skal det legges på et klimapåslag på beregnede verdier. For Rogaland anbefales det å bruke minst 20 prosent klimapåslag. I Tabell 404.1 "Klimafaktor Fk for fylker" fra Håndbok N200 benyttes en faktor på 1.3 (30 prosent økning) for Rogaland. Kulminasjonsvannføringer for flommer i et endret klima (år 2100) blir dermed som i Tabell 4-5.

Tabell 4-5-Beregnet flom for utløpet fra Klugsvatnet, kulminasjonsvannføring, justert med 30 prosent klimapåslag

<b>Punkt i vassdraget Figgjo</b>	<b>Areal</b>	<b>Q200</b>		<b>Q200+ 30% klimapåslag</b>	
		km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
Utløpet fra Klugsvatnet	64.5	85	1318	110	1713

## 5 Modellering av den dimensjonerende flommen

Vannlinjeberegningene er gjennomført ved bruk av dataprogrammet Hec-Ras 5.0.7. Modellen er kjørt i 1D med normalstrømning for å bestemme vannstanden ved utløpet fra Klugsvatnet. Resten av vassdraget er modellert i 2D med resultatene fra 1D-beregningen som grensebetingelse. Modellen og alle inputdata er oppgitt i høydedatamet NN2000. Inngangsdata i modellen er terrengdata, konstruksjoner langs elva samt friksjonstall i elveløpet og på elveslettene.

### 5.1 Avgrensning av prosjektet

Prosjektet omhandler Figgjovassdraget på strekningen mellom Runatjørna fra oppstrøms side, til utløpet fra Klugsvatnet. Det er fokusert på plasser hvor vassdraget krysser den planlagte veien og hvor det er fare for oversvømmelse. For flomberegning er det utført analyse for alternativ A1 og A4 i Ytra Kydlandsvatnet.

### 5.2 Topografiske data

I prosjektet er det brukt vertikalt datum: NN2000, horisontalt datum: EUREF89, projeksjon: UTM32N. Tverrsnitt er tatt ut fra terrengmodell med 0.25 meter x 0.25 meter oppløsning fra 2015 (prosjektnummer: LACHRO56) lastet ned fra Høydedata [hoydedata.no]. Planlagt utarbeiding av E39 er lagt til i terrengmodellen for 0-alternativet.

### 5.3 Broer

Det er til sammen ti eksisterende broer på den modellerte strekningen av Figgjovassdraget. Geometri på alle broene har blitt målt inn med laserskanning i form av punktsky. Geometri på broene er lagt til terrengmodellen for å gjenskape de hydrauliske forholdene. HEC-RAS har en begrenset mulighet for modellering av trykkstrømning i broåpning. Ved broer hvor vannstanden stiger over høyden på undertaket på broen, er det brukt kulverter med justerte tapskoeffisienter for å gjenskape forholdene til en bro. Utvalgte broer er beskrevet mer nøyaktig i resultatene.

### 5.4 Ruhet

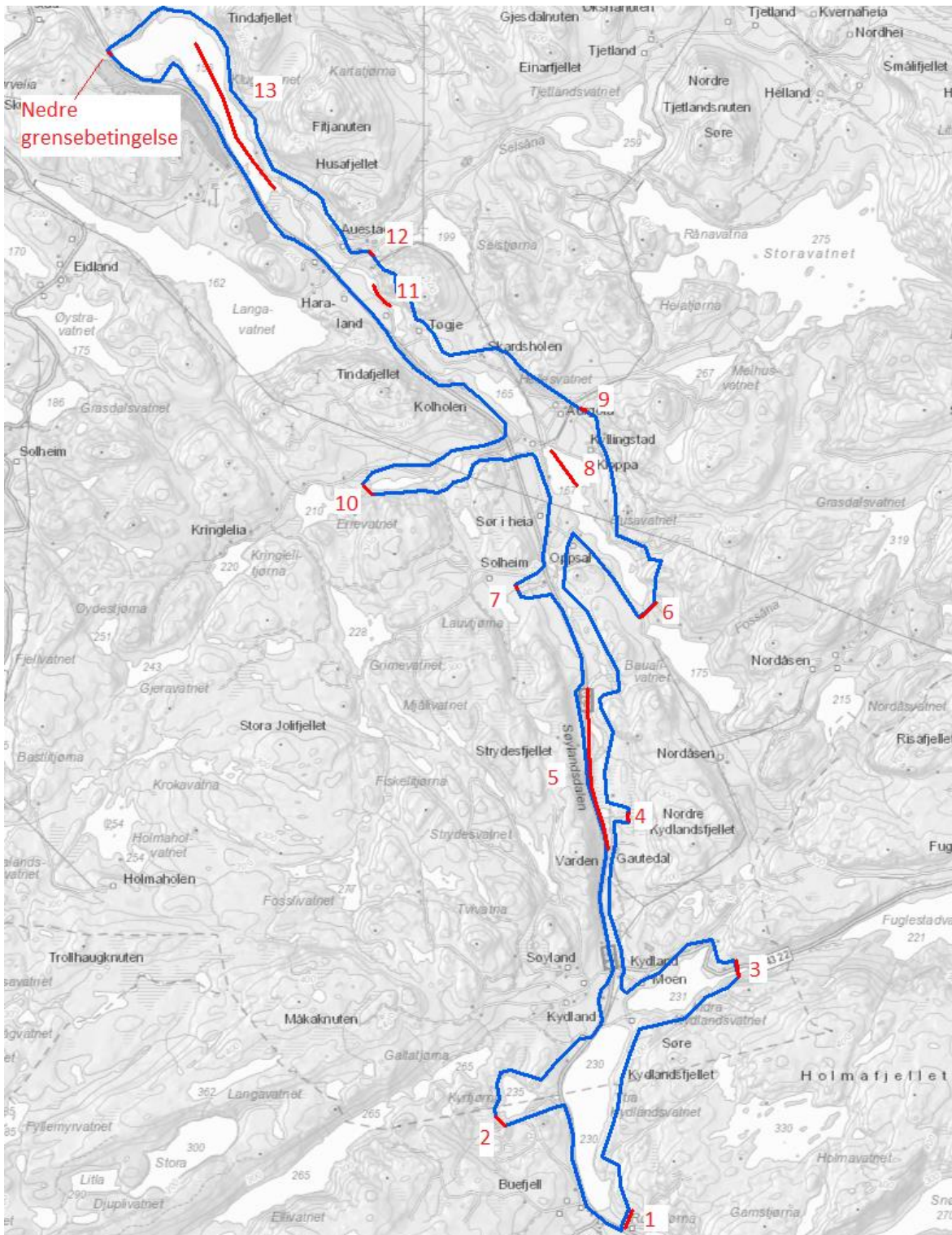
Ruheten er satt til  $n=0.035$  for elveleie og til  $n=0.05$  i resten av elvesletten. Verdiene er valgt ut fra tabell 3-1 Manning's 'n' Values i fra HEC-RAS manual [6].

### 5.5 Nedstrøms grensebetingelse

Grensebetingelsen ligger ved utløpet fra Klugsvatnet. På grunn av stort fall i terrenget nedstrøms like ved utløpet fra Klugsvatnet, var det nødvendig å modellere selve broen i 1D. Med denne metoden var det mulig å lage en kurve som viser forhold mellom vannføring og vannstand i bro tverrsnittet. Kurven er videre brukt som grensebetingelse i 2D-modellen. Plassering av nedre grensebetingelsen er vist i Figur 5-1.

### 5.6 Tilsigspunktene i modellen

Det er flere tilsigspunkter i modellen. Plassering av tilsigspunktene er vist i Figur 5-1. Som utgangspunkt brukes det dimensjonerende flom for utløpet fra Klugsvatnet  $Q_{200} + \text{klimapåslag} = 110 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vannføringen er fordelt først etter arealstørrelsen til delfeltene, deretter er det justert til å oppnå en dimensjonerende flom i punkter som er kritisk for den planlagte traseen. Størrelsen på dimensjonerende flom for de utvalgte punktene er beregnet i kapittel 6.



Figur 5-1- Plassering av tilsigpunktene i modellen.

Tabell 5-1- Tilsigpunktene i modellen

Punkt	Navn	Areal	Tilsig	Samlet vannføring i
				Figgjo etter tilsiget
		km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1	Ytra Kydlandsvatnet	5,76	14,1	
2	Kyrtjørna	1,72	5,9	20,0
3	Indra Kydlandsvatnet	1,55	1,0	21,0
4	Sidebekk 1	0,46	0,5	21,5
5	Opplandåna	4,75	5,0	26,5
6	Bualivatnet	11,12	15,1	41,6
7	Lauvtjørna	1,54	4,3	45,9
8	Hausvatnet	2,07	3,5	49,4
9	Sidebekk 2	1,43	2,4	51,9
10	Kjedlandsåna	13,39	22,8	74,7
11	Hødl	1,1	1,9	76,6
12	Togjeåna	15,6	26,6	103,2
13	Klugsvatnet utløp	4,0	6,8	110,0
	SUM	64,5	110	

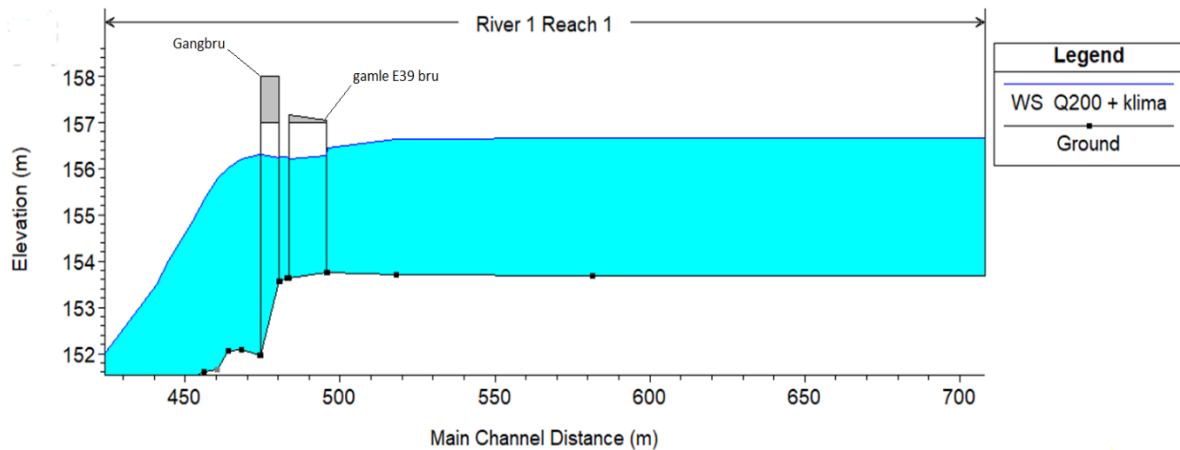
## 5.7 Utløp fra Klugsvatnet - 1D-beregning

Like nedstrøms utløpet til Klugsvatnet begynner terrenget å helle ned med en gradient på ca. ni prosent, noe som gjør det vanskelig å modellere i 2D på grunn av stabiliteten i modellen. Det er derfor valgt å modellere utløpet fra Klugsvatnet i 1D. Metoden har en fordel med å kunne modellere broer mer nøyaktig. Modellen er satt opp basert på tilgjengelig terrengmodell. Beregningen er kjørt med modulen *steady flow* for ulike vannføringer. Resultat er beregnet vasstand i brotversnittet for den dimensjonerende flommen Q200+ klimapåslag= 110 m<sup>3</sup>/s og en vannføringskurve som er videre brukt som grensebetingelse i 2D-modellen. Det er to broer som er tatt med i modellen. Gangbroen som ligger nedstrøms, har større åpning og ligger litt høyere enn den gamle E39-broen. Det er geometrien på den gamle E39-broen som blir bestemmende og derfor er det presentert resultater kun for denne. Laveste punkt av underkant bru ligger på kote 156,6 moh. Resultatet er vist i Tabell 5-2, konstruert vannføringskurve er vist i Tabell 5-3 og Figur 5-4.

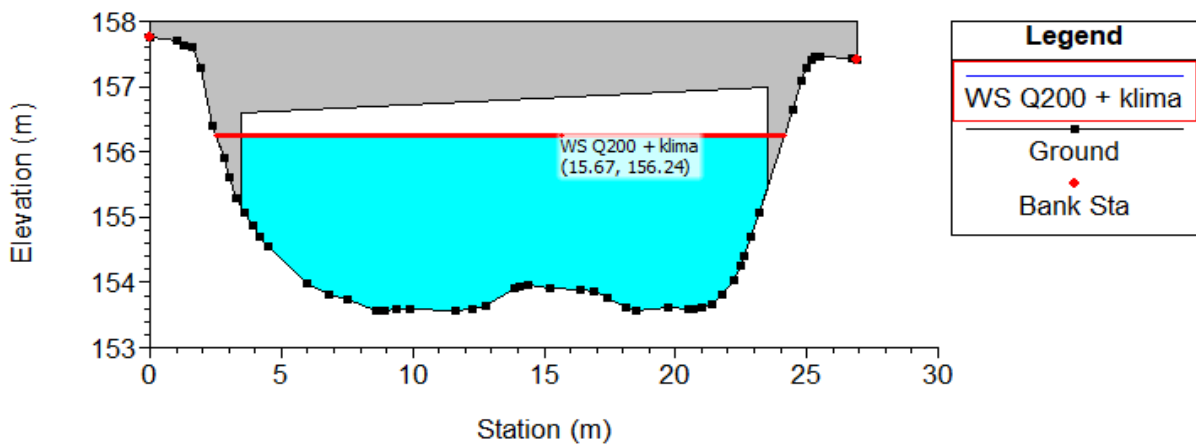
Tabell 5-2- Beregnet vannstand i brotversnittet, 1D- modell

Klugsvatnet	Profil oppstrøms			Profil nedstrøms		
	Bunn kote moh.	Vannstand moh.	Hastighet m/s	Bunn kote moh.	Vannstand moh.	Hastighet m/s
<b>Eksisterende E39 bro</b>	153,76	156,30	1,8	153,64	156,26	2,3





Figur 5-2- Vannlinjen for en flom Q200+klimpåslag.

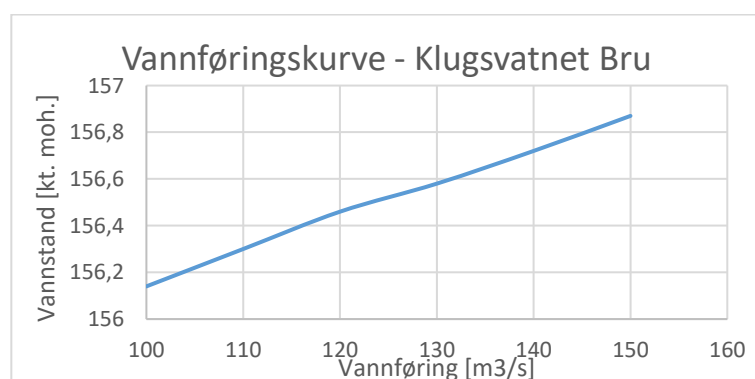


Figur 5-3- Vannivå i brotversnittet, utløp Klugsvatnet.

Beregnet vannstand for dimensjonerende flom Q200+klimpåslag ligger på kote 156,24 moh. for brotversnittet ved utløpet fra Klugsvatnet. Dette gir ca. 35 cm fribord til det laveste punktet til underkant bro, det vil si at broen har tilstrekkelig vannføringskapasitet.

Tabell 5-3- Beregnet vannstand i brotversnittet, utløpet fra Klugsvatnet

Vannføring	Vannstand
m <sup>3</sup> /s	kote moh.
100	156,09
110	156,24
120	156,42
130	156,58
140	156,72
150	156,87



Figur 5-4- Vannføringskurve, utløpet fra Klugsvatnet, brukt som grensebetingelse i 2D-modellen.

## 5.8 2D flommodellering

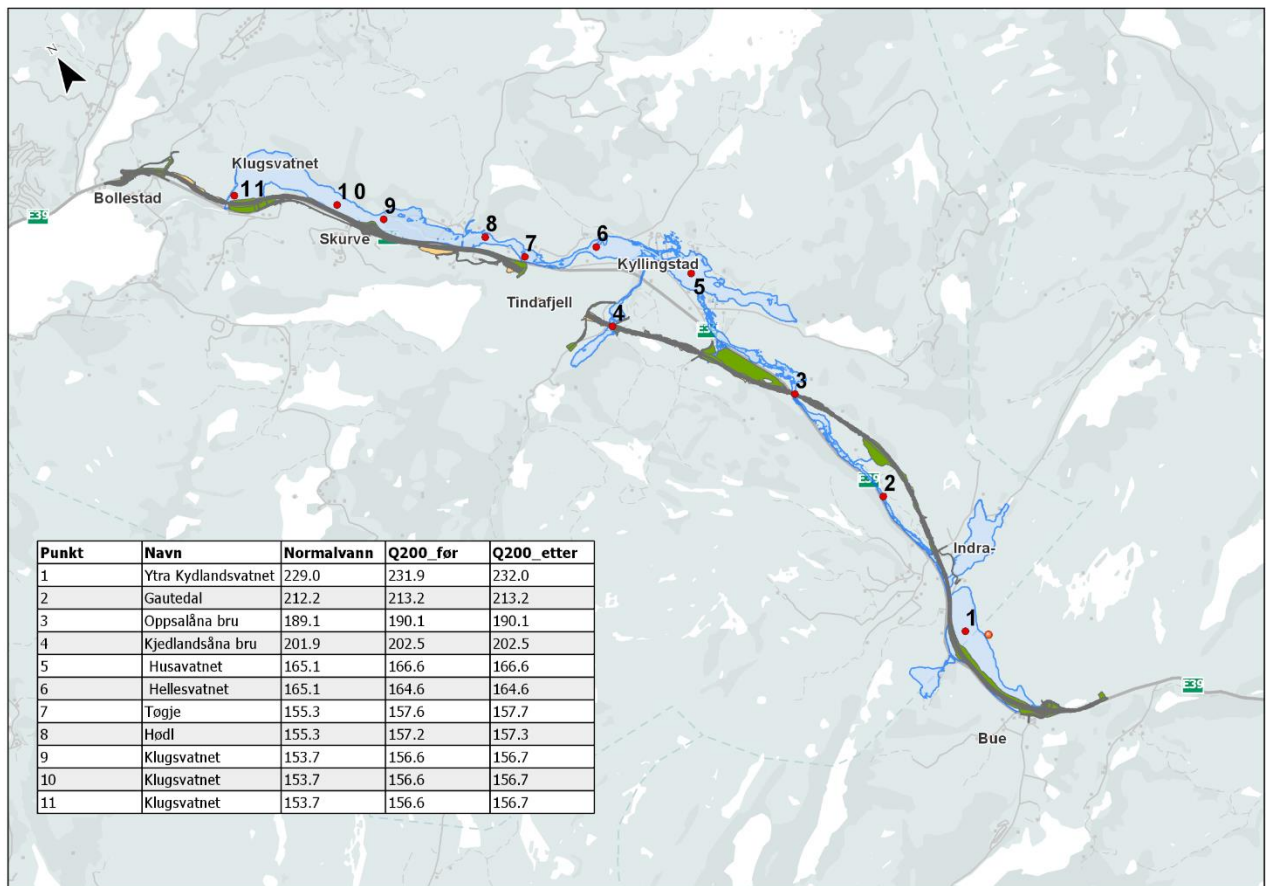
Resultatet er et flomkart som viser utstrekning av flommen. Modellen er kjørt for to tilfeller, dagens situasjon og situasjon etter utbygging av den planlagte veien. Dette er gjort med å legge geometrien på den prosjekterte veien inn i terrenngmodellen. Videre i kapittel 6 er det gjort en mer nøyaktig vurdering for plasser hvor veien krysser vassdraget og hvor det er planlagt å legge kulverter.

## 5.9 Resultater

Beregningene for den dimensjonerende flommen viser lite endringer av vannstand i vassdraget etter utbygging av den planlagte veien. Tabellen viser endringer i vannstanden i utvalgte punkter langs vassdraget.

Tabell 5-4- Endring i vannstanden for beregnet flom, før og etter utbygging

Punkt i vassdraget	Beregnet vannstand				
	“0-alternativet” Q200+ klima	Forskjell	Etter utbygging Q200 + klima	Vannstandstigning ved en flom	“0-alternativet” Normalvannstand
	moh.	[m]	moh.	[m]	moh.
<b>1</b>	231,9	0,1	232,0	3,1	229,0
<b>2</b>	213,2	0	213,2	1,0	212,2
<b>3</b>	190,1	0	190,1	1,0	189,1
<b>4</b>	202,5	0	202,5	0,6	201,9
<b>5</b>	166,6	0	166,6	1,5	165,1
<b>6</b>	164,6	0	164,6	1,2	163,4
<b>7</b>	157,6	0,1	157,7	2,2	155,3
<b>8</b>	157,2	0,1	157,3	2,0	155,3
<b>9</b>	156,6	0,1	156,7	3,0	153,7
<b>10</b>	156,6	0,1	156,7	3,0	153,7
<b>11</b>	156,6	0,1	156,7	3,0	153,7



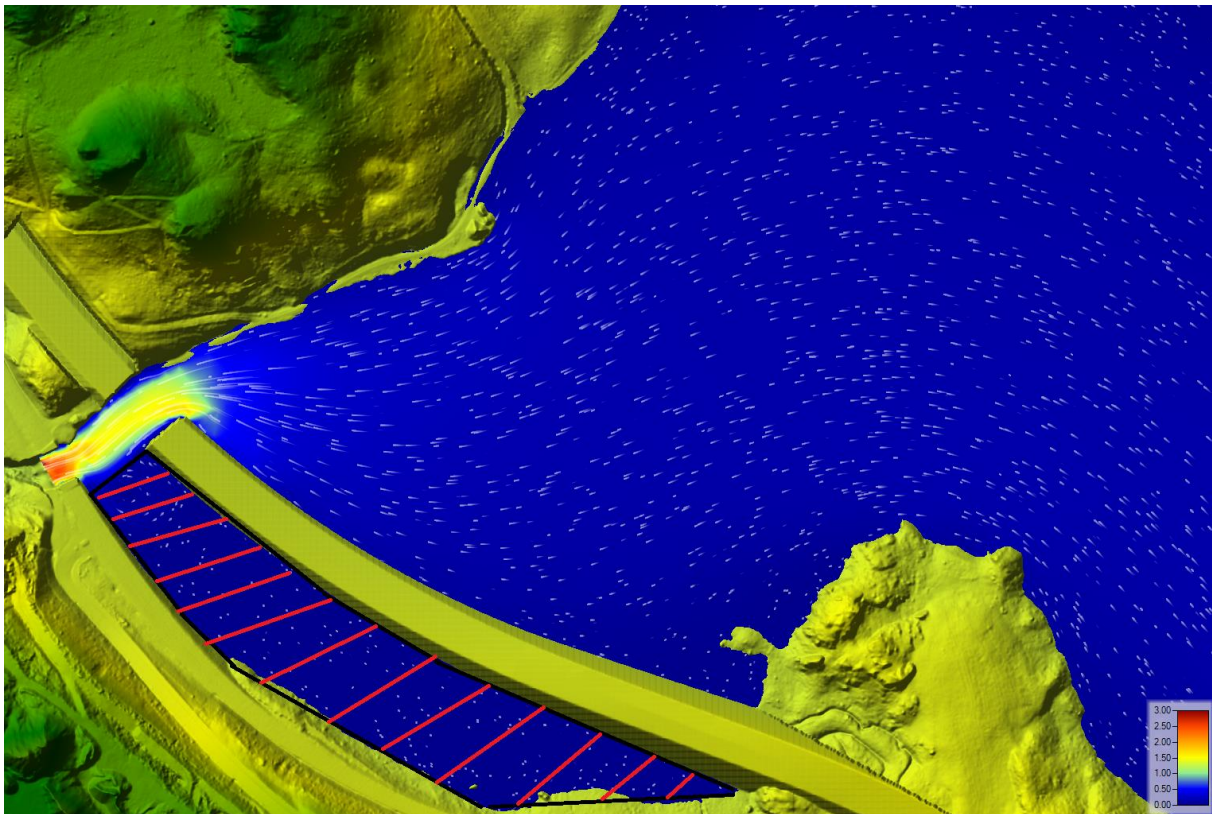
Figur 5-5- Utvalgte punkter i vassdraget med flomsone for 200-års hendelser etter utbygging.

## 5.10 Klugsvatnet

Planlagt vei krysser gjennom Klugsvatnet. Det er planlagt en bro med åpning på ca. 20 meter for å skaffe utløp fra magasinet. Arealet på siden (markert med rødt se Figur 5-6) er planlagt som bruksareal. Geometrien på broåpningen blir bestemmende for vannstanden i Klugsvatnet. Simulert flom Q200+klima for den nye veien og broåpningen viser en stigning på ca. 3 meter (kote 156,7 moh.) over normalvannstand (kote 153,7 moh.). Beregningen viser en ca. 10 cm økning på vannstanden i Klugsvatnet etter utbygging i forhold til dagens situasjon. En slik økning vurderes til å ha liten konsekvens for flomsituasjonen rundt Klugsvatnet.

Tabell 5-5- Beregnet vannstand i Klugsvatnet

Punkt i vassdraget	Beregnet vannstand moh.		
	Etter utbygging	"0-alternativet"	
	Q200+ klima	Q200 + klima	Normalvannstand
Klugsvatnet	Kote 156,7	Kote 156,6	Kote 153,7



Figur 5-6- Modellert flomsituasjon etter utbygging, nytt utløp fra Klugsvatnet med hastighetsfordeling på vannet.

## 6 Beregning av flom i utvalgte punkter

Modellen skal gjenskape en flomhendelse hvor flomstørrelsen tilsvarer den dimensjonerende Q200+klimate flommen ved utløpet fra Klugsvatnet. Dette tilsvarer ikke alltid en flom med likt gjentaksintervall i resten av feltet. For å finne ut den dimensjonerte flommen i de ulike delfeltene er det nødvendig med en separat flomberegning for hver delfelt. Det er utvalgt flere punkter hvor E39 skal krysse vassdraget og det er planlagt å legge kulverter. Utvalgte metoder for beregning av 200-årsflom for de syv punktene:

- Den rasjonale formel
- NVEs formelverk for beregning av flommer i små felt (NIFS)
- Flomfrekvensanalyse, data fra målestasjon.

Valg av metoder avhenger av nedbørsfeltenes feltparametere. For små nedbørsfelt der det ikke finnes en målestasjon i nærheten brukes den rasjonelle formelen. Utgangspunktet er at den rasjonelle formelen brukes for avrenningsfelt mindre enn 2-5 km<sup>2</sup>. Konsentrasjonstiden bestemmes ved bruk av formelen for naturlige felt. Nedbørsdata for alle beregninger i form av IVF-kurve er hentet fra stasjonene Sandnes-Rovik og Lye. Det er brukt en gjennomsnittsverdi av disse to. Den dimensjonerende flommen er beregnet etter den rasjonelle formel:

$$Q = C * i * A * K_f$$

der

C = avrenningsfaktor - oppjustert med en faktor på 1,3 for gjentaksintervall på over 100 år i henhold til N200.

i = dimensjonerende nedbørintensitet, l/(s\*ha)

A = feltareal, ha

Kf = klimafaktor

For felt større enn 1 km<sup>2</sup> brukes det NIFS eller PQRUT.

Regionalt formelverk for små nedbørsfelt (NIFS) er et formelverk for beregning av middelflom og vekstkurver for å estimere flommer med høyere returperioder. Formelverket er basert på regresjonsanalyser utført på data fra 165 målestasjoner.

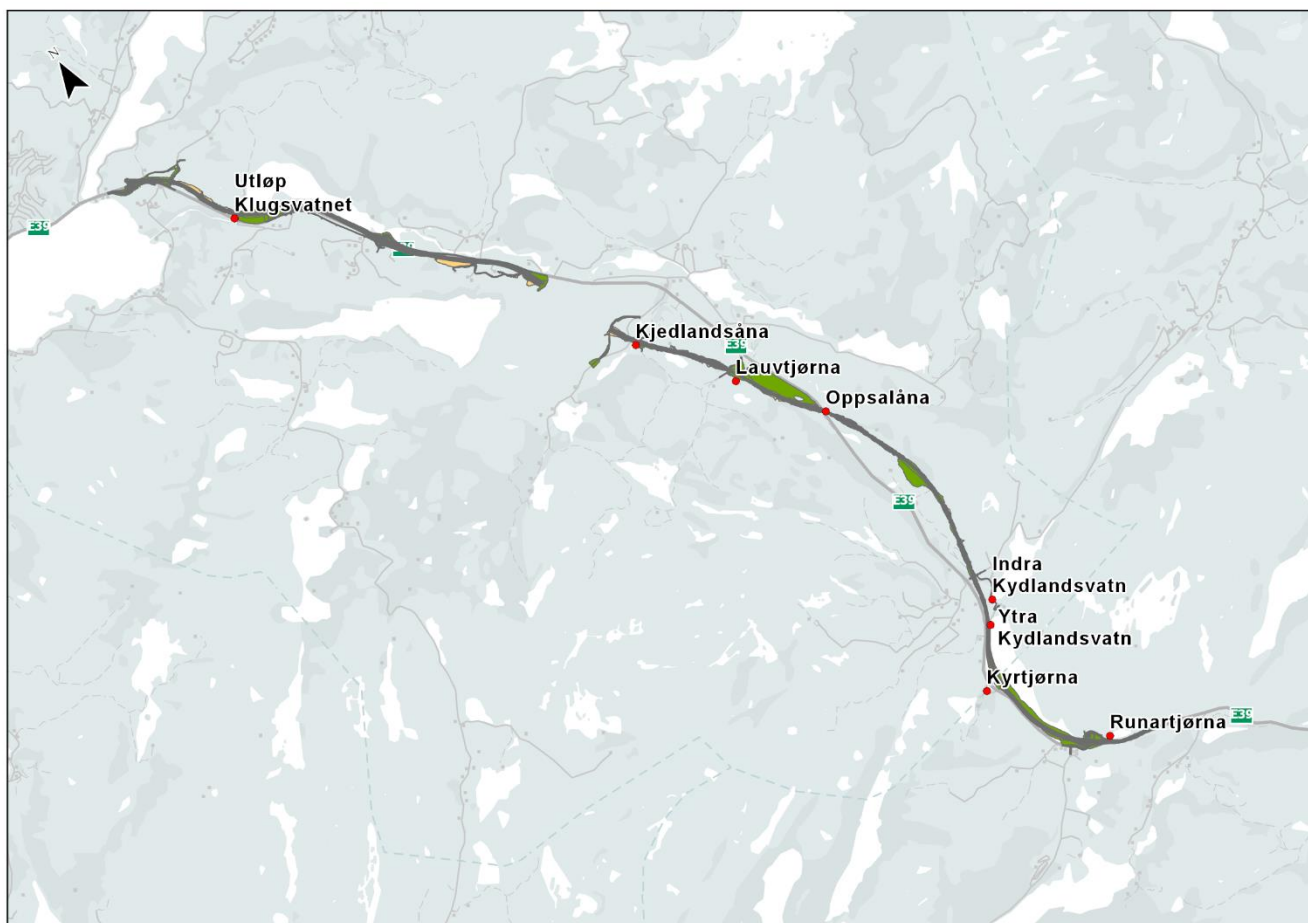
Flommodellen i PQRUT er en nedbør-avløpsmodell utviklet av Andersen mfl. (1983) til bruk i flomberegninger. Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen (Bergström, 1976) og den beregner avløp fra et fastlagt nedbørforløp. Mer nøyaktig beskrivelse av metodene finnes i vedlegg 1.

## 6.1 Klimafaktor

I henhold til NVEs rapport 81 2016 skal det brukes et klimapåslag på beregnede flomverdier. For Rogaland anbefales det å bruke minst 20 prosent klimapåslag. Basert på Tabell 404.1 "Klimafaktor Kf for fylker" fra Håndbok N200, for Rogaland, velger vi å benytte en faktor på 1.3 (30 prosent økning).

## 6.2 Kulvertdimensjonering

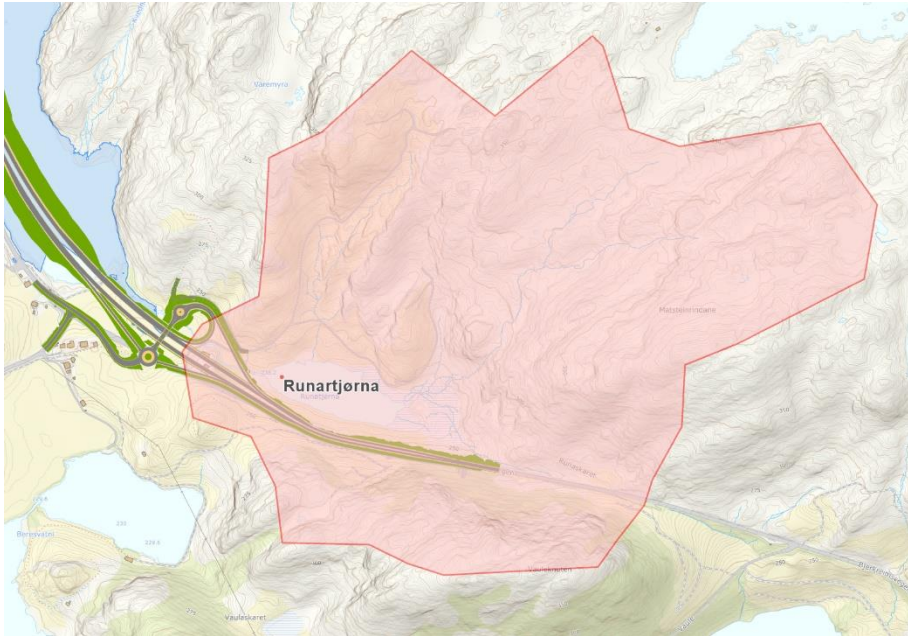
Kulvertdimensjonering er gjort i henhold til anbefalingene i rapport om «overvannshåndtering og drenering for vei og jernbane» fra naturfareprosjektet (Norem mfl., 2016). Som beregningsmetode er det benyttet dimensjonsløse kapasitetsdiagrammer. En viktig forutsetning for diagrammene og gyldigheten til beregningene (og derav for de nødvendige dimensjonene på kulvertene) er at kulvertene utformes for å ha innløpskontroll. Den optimale størrelsen tilsvarer den minste størrelsen som er nødvendig til å oppnå en innløpskontrollert strømning. Foreslått størrelser er diameter på en sirkulær kulvert. Diagrammer brukt for dimensjonering er vist i Vedlegg 2.



Figur 6-1- Plassering av de utvalgte punktene langs den planlagte veien.

### 6.2.1 Runartjørna

Eksisterende utløp fra Runartjørna til Ytra Kydlandsvatnet blir stengt av den nye veien. Det er planlagt å senke vannstanden i Runartjørna og føre vannet til Ytra Kydlandsvatnet med et stikkør. Størrelsen på røret blir dimensjonert etter den dimensjonerende flommen Q200+klimapåslag.



Figur 6-2- Undersøkt nedbørsfelt, Runartjørna.

Tabell 6-1 Feltkarakteristika, nedbørsfelt Runartjørna.

Navn	Runartjørna
Areal (ha)	86
Effektiv. Sjø %	2,13
Snaufjell %	94,8
Normalavrenning Qn (l/s/km <sup>2</sup> )	63,7
Høydeforskjell (m)	240-349
Feltlengde (km)	1,08
Hovedarealtype (AR5)	Åpen fastmark

Tabell 6-2- Verdier brukt i beregningen, Runartjørna.

Brukt for beregning	
Avrenningskoeffisient C	0,85
Konsentrasjonstid, tc (min)	60min
Nedbørintensitet, i(l/s/ha)	93,2
Klimafaktor, Kf (%)	1,3

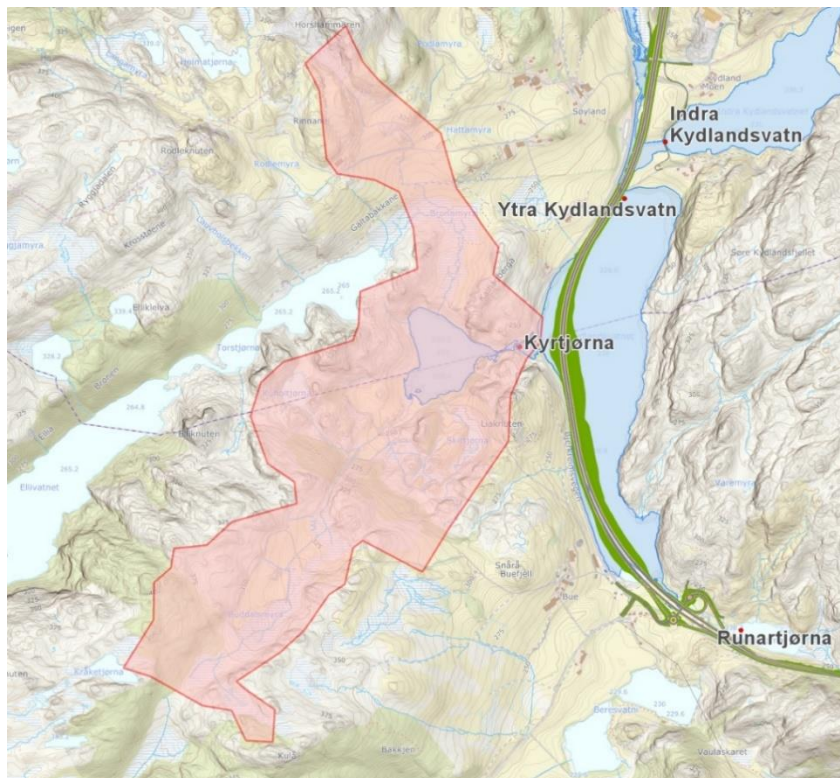
200-årsflom med klimapåslag beregnes med rasjonell metode for verdier fra Tabell 6-2.

$$Q_{200dim} = 8,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Optimal kulvertstørrelse: D=1,9 meter

Veldig høy andel snaufjell (94,8 prosent) tilsier en høy avrenningskoeffisient. Denne får også et påslag for høye gjentakintervaller. I dette tilfellet lander man på en avrenningsfaktor  $C=0.8$ . Små og bratte felt er ofte karakterisert av en rask avrenningskarakteristikk med markante flomtopper. I dette tilfellet er det beregnet en konsentrasjonstid på 60 minutter, men i virkeligheten kan denne verdien bli lavere. Til slutt blir verdien for 200-årsflom uten klimapåslag rundt  $6500 \text{ l/s/km}^2$ . Så høye verdier er ikke uvanlige i mikrofelt. NVEs Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt 2015-7, viser til andre felt hvor den observerte avrenningen er tilsvarende denne.

### 6.2.2 Kyrjtjørna



Figur 6-3- Undersøkt nedbørsfelt, Kyrjtjørna

Kyrjtjørna er en liten innsjø som samler vannet som videre renner inn i Ytra Kydlandsvatnet. Det er planlagt å legge bekken herfra i et rør under nye E39.

Tabell 6-3- Feltkarakteristika, nedbørsfelt Kyrjtjørna

Navn	Kyrjtjørna
Areal (ha)	169
Effektiv. Sjø%	8,3
Snau fjell %	64,6
Normalavrenning $Q_n$ ( $\text{l/s/km}^2$ )	65,3
Høydeforskjell (m)	230-410
Feltlengde (km)	2,07
Hovedarealtype (AR5)	Dyrket jord/åpen fastmark



Tabell 6-4- Verdier brukt i beregning, Kyrjtjørna

Brukt for beregning	
Avrenningskoeffisient C	0,65
Konsentrasjonstid, $t_c$ (min)	180min
Nedbørintensitet, $i$ (l/s/ha)	39,6
Klimafaktor, $K_f$ (%)	1,3

Beregnet vannføring:

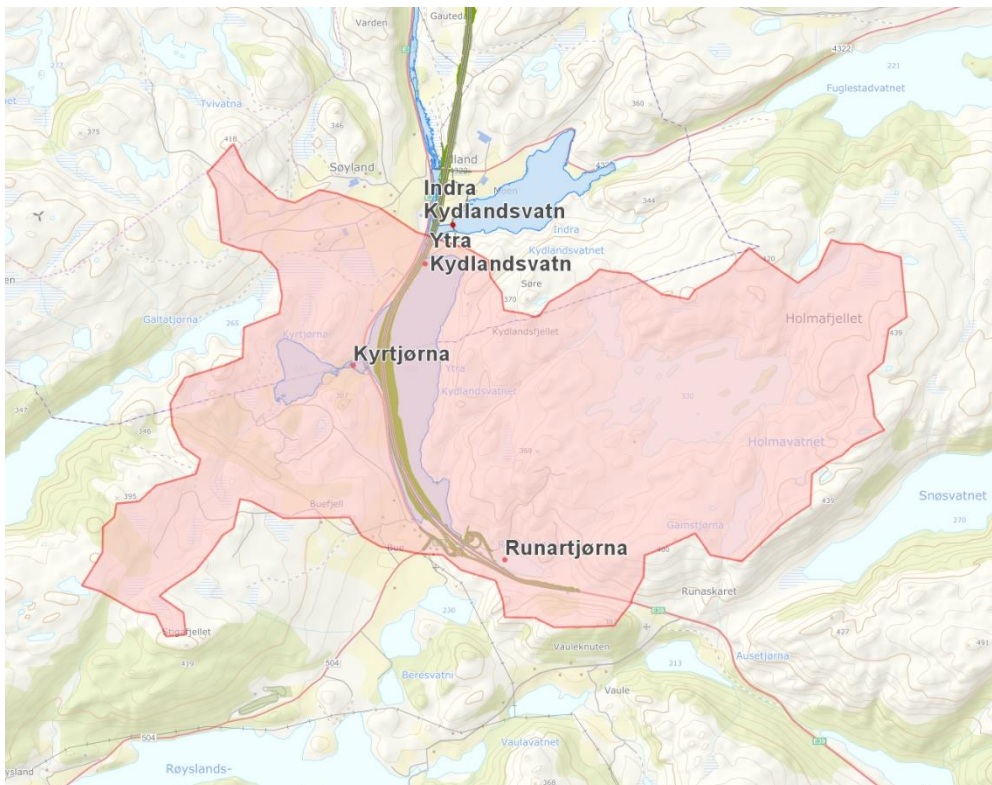
- Resultat fra NIFS:  $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Resultat fra Rasjonell metode:  $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ - Velges som dimensjonerende

Q200dim =  $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Optimal kulverstørrelse:  $D=1,6$  meter

### 6.2.3 Utløpet fra Ytra Kydlandsvatnet

Den planlagte veien går rett over det eksisterende utløpet fra Ytra Kydlandsvatnet. Det er planlagt å rive den eksisterende slusen og dammen ved utløpet fra Ytra Kydlandsvatnet og bygge nytt utløp. Geometrien på utløpet blir bestemt etter den dimensjonerende flommen Q200+ klimapåslag.



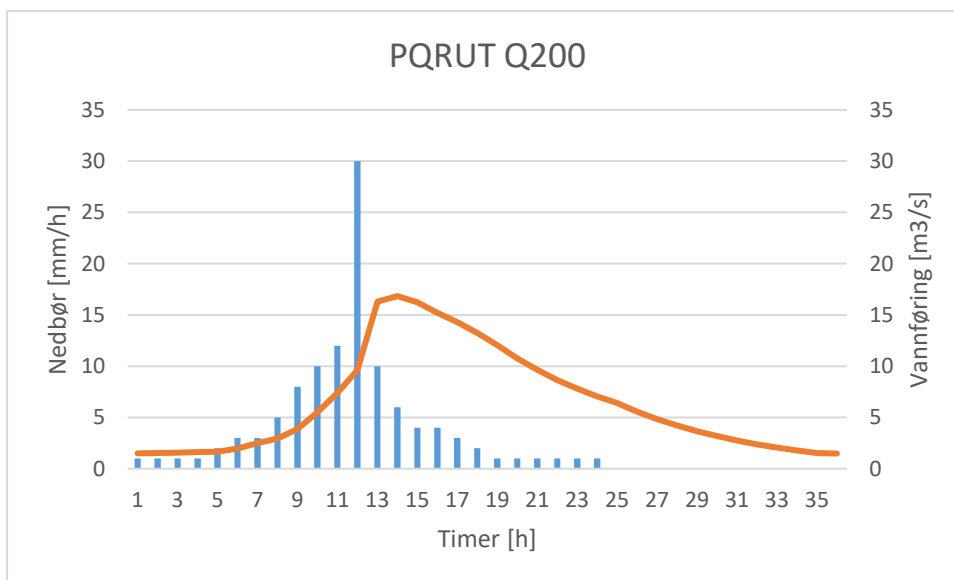
Figur 6-4- Undersøkt nedbørsfelt, Ytra Kydlandsvatnet.

Tabell 6-5- Feltearakteristika, nedbørsfelt

Navn	Utløpet fra Ytra Kydlandsvatnet
Areal (km <sup>2</sup> )	7,42
Effektiv. Sjø %	8,8
Snaufjell %	71,3
Normalavrenning Qn (l/s/km <sup>2</sup> )	64,8
Høydeforskjell (m)	230-436
Feltlengde (km)	2,9

Tabell 6-6- Verdier brukt i beregningen

Brukt for beregning	
Klimafaktor, Kf (%)	1,3



Figur 6-5: PQRUT for Q200 nedbør, uten klimapåslag.

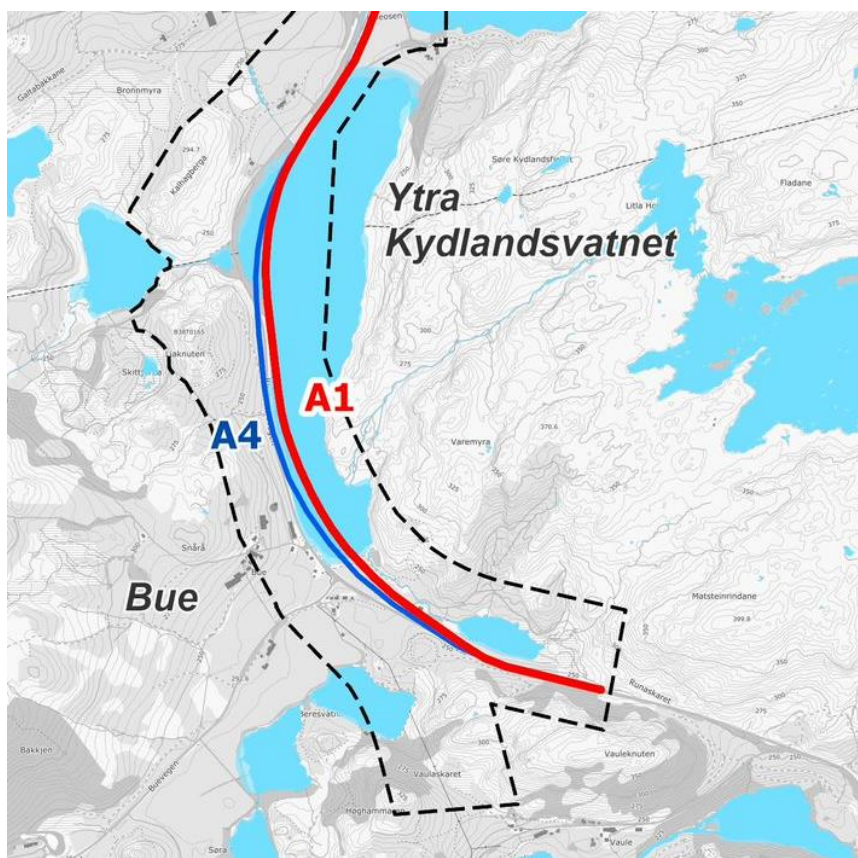
Beregnet vannføring:

- NIFS: 17,9 m<sup>3</sup>/s
- PQRUT: 21,8 m<sup>3</sup>/s- korreksjon pga. høy andel snaufjell, kan overestimere

Verdiene fra NIFS og PQRUT stemmer bra med hverandre. Bruker en gjennomsnittsverdi fra NIFS og PQRUT:

**Q200dim = 20 m<sup>3</sup>/s**

Det er valgt to alternativer for traseen langs vatnet. Disse er vist i figuren 6-6 og markert som alternativ A1 og alternativ A4.



Figur 6-6: Veitforming langs Ytra Kydlandsvatnet, alternativ A1 og A4

Utløpet fra Ytra Kydlandsvatnet er ca. 1 meter i bredden og kontrollert med en sluse. Slik det er i dag, har bunnluken en høyde på 1.4m. Toppen på dammen ligger ca. på kt 231. I tillegg er det flatt videre nedover elva. Utløpet fra magasinet er bestemmende for vannstandsstigningen i magasinet. Beregningen er kjørt stasjonært det vil si at den ikke tar med dempnings effekten av magasinet. Resultatet er en teoretisk maksimal høyde som for gitt vannføring. Derfor vil resultatet bli likt for begge alternativene på utforming av veien langs vatnet. Beregningene viser at for dagens utforming vil Q200+KF gi en stigning på 2,8 meter (kote 231,8 moh.) i forhold til normalvannstand (kote 229 moh.). Den nye veien og utfylling av sidearealet for bruksareal vil krympe magasinet. Beregningene viser at ved en flom lik Q dim, vil vannstanden i magasinet stige med ca. 2,9 meter (kote 231,9 moh.), det vil si 0,1 meter mer enn i dag. Den nye veien vil ikke endre flomforholdene i magasinet vesentlig. En ny utforming av utløpet fra magasinet kan gi en mindre vannstandstigning i magasinet ved en flom. Normalvannstand i magasinet bør være kontrollert med en sluse som det er i dag. Utforming av det nye utløpet krever en mer detaljert vurdering enn den som gjøres her.



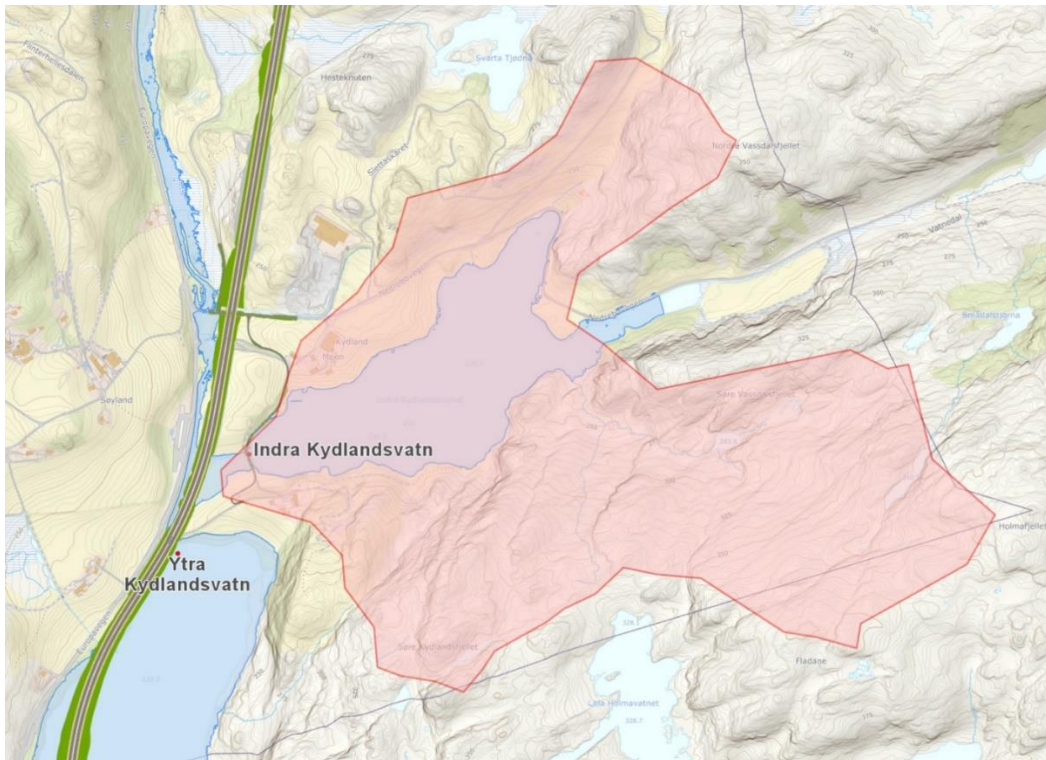
Figur 6-7: Reguleringsdam Ytra Kydlandsvatnet (1934). Foto: Joakim M.J. Wik/NVE

#### 6.2.4 Indra Kydlandsvatnet

Indra Kydlandsvatnet er en innsjø ved siden av nedbørsfeltet til Figgjovassdraget, som normalt ikke fører vann til Figgjø. Det er lagt en kulvert med en ukjent størrelse som forbinder de to vassdragene. Denne begrenser vannstandsstigningen i Indra Kydlandsvatnet ved store vannføringer. Et gammelt bilde (Figur 6-8) viser opprinnelig kanal, før kulverten ble lagt. Det er ikke behov for at kulverten tar imot hele vannføringen, da det er god plass for vannet til å renne ut til sidene og dette vurderes til å ha liten konsekvens for den planlagte veien.



Figur 6-8: Flybilde fra 1973 som viser den gamle kanaler som binder Indra Kydlandsvatnet med Figgjovassdraget.



Figur 6-9: Undersøkt nedbørsfelt, Indra Kydlandsvatnet.

Tabell 6-7- Feltekarakteristika, nedbørsfelt Indra Kydlandsvatnet

Navn	Indra Kydlandsvatnet
Areal (ha)	136
Effektiv. Sjø %	17,74
Snaufjell %	66,2
Normalavrenning Qn (l/s/km <sup>2</sup> )	62,5
Høydeforskjell (m)	120-268
Feltlengde (km)	1,2
Hovedarealtype (AR5)	Dyrket jord

Tabell 6-8- Verdier brukt i beregning, Indra Kydlandsvatnet.

Brukt for beregning	
Avrenningskoeffisient C	0,52
Konsentrasjonstid, tc (min)	360 min
Nedbørintensitet, i(l/s/ha)	27,7
Klimafaktor, Kf (%)	1,3

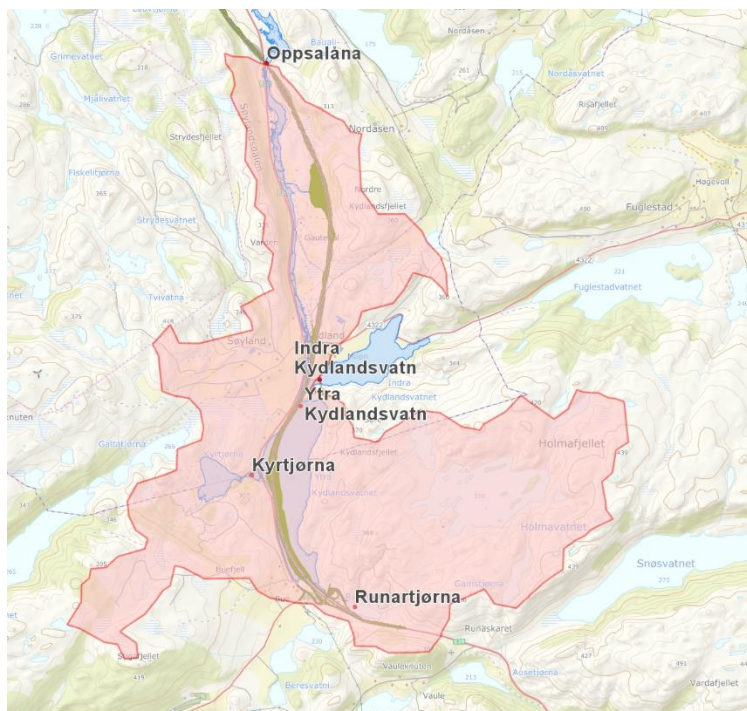
200-årsflom med klimapåslag beregnes for verdier fra Tabell 6-8.

Resultat fra Rasjonell metode: 2,5 m<sup>3</sup>/s.

Q200dim = 2,5 m<sup>3</sup>/s

Optimal kulverstørrelse: D=1,3 meter.

## 6.2.5 Oppsalåna brokryssing



Figur 6-10- Undersøkt nedbørsfelt, Oppsalåna bro.

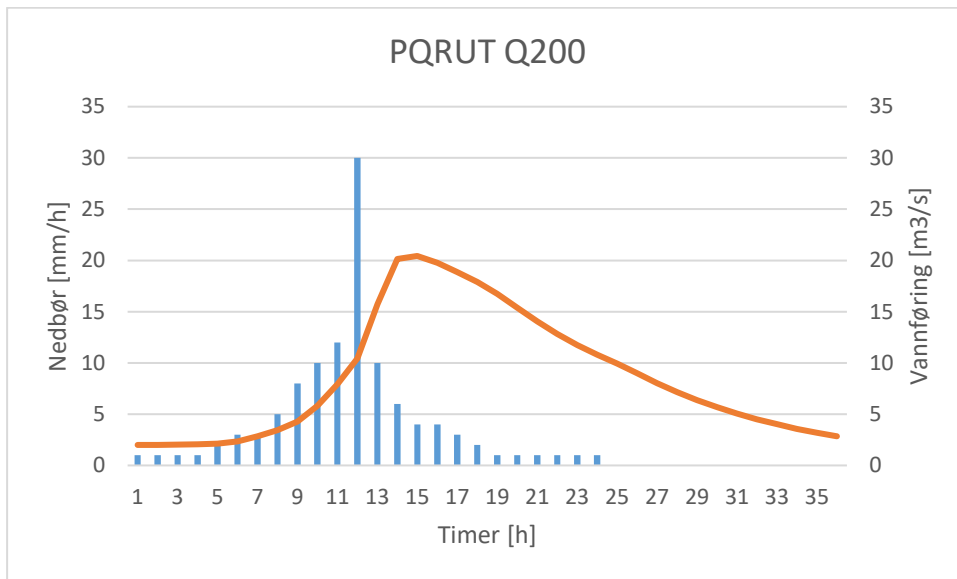
Her krysser nye E39 Figgjovassdraget. Det planlegges for bro over vassdraget.

Tabell 6-9- Feltekarakteristika, nedbørsfelt, Oppsalåna bro.

<b>Areal (km<sup>2</sup>)</b>	<b>10,3</b>
<b>Effektiv. Sjø %</b>	5,1
<b>Snaujell %</b>	62,8
<b>Normalavrenning Qn (l/s/km<sup>2</sup>)</b>	62,6
<b>Høydeforskjell (m)</b>	194-436
<b>Feltlengde (km)</b>	5,3

Tabell 6-10- Verdier brukt i beregningen, Oppsalåna bro.

<b>Brukt for beregning</b>	
<b>Klimafaktor, Kf (%)</b>	1,3



Figur 6-11-PQRUT for Q200 nedbør, uten klimapåslag, Oppsalåna bro.

Beregnet vannføring:

Resultat fra FFA (Nedskalert i forhold til areal og normalavrenning) - 20 m<sup>3</sup>/s

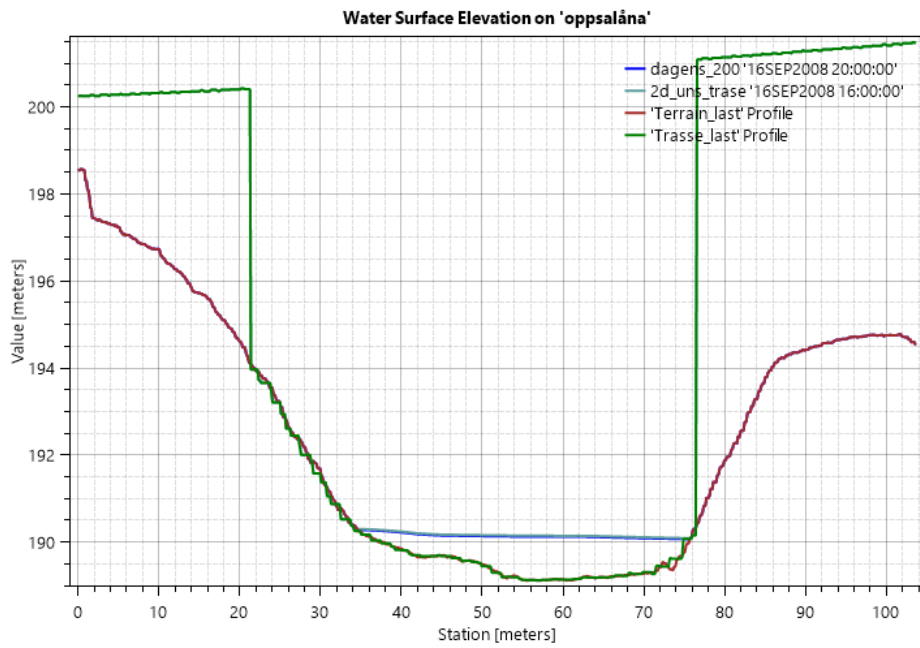
Resultat fra NIFS: 26.3 m<sup>3</sup>/s - Velges som dimensjonerende

PQRUT-26.8 m<sup>3</sup>/s - korreksjon pga. høy andel snaufjell, kan overestimere.

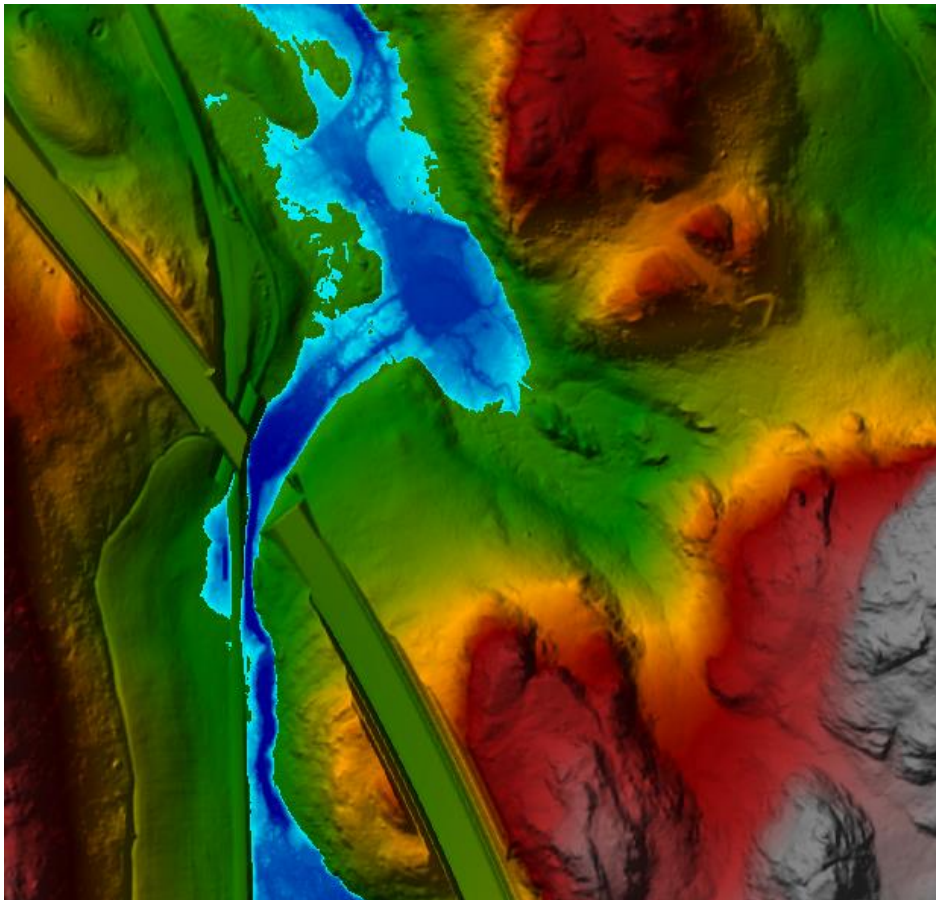
Verdiene fra NIFS og PQRUT stemmer bra med hverandre. Bruker en gjennomsnittsverdi fra NIFS og PQRUT:

**Q200dim = 26.5 m<sup>3</sup>/s**

Ved en flom lik Q dim forventes det en stigning i vannstanden på ca. 1 m (kt.190.15 moh.) fra normalvannstand. Planlagt bro som skal krysse vassdraget vil ikke påvirke flomforholdene i vassdraget.



Figur 6-12- Beregnet vannstand, dagens situasjon i brotversnittet

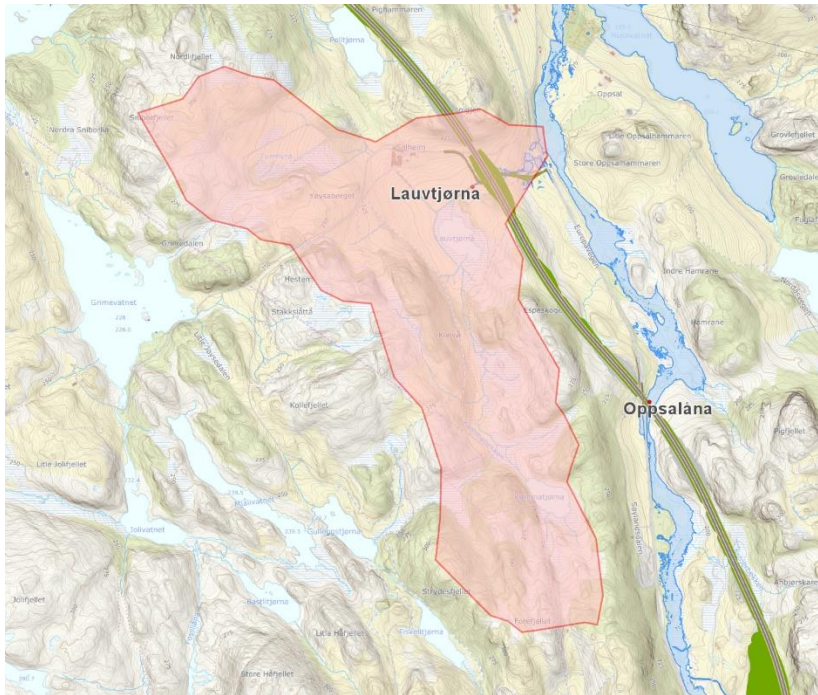


Figur 6-13- Modellert flom Q dim ved den planlagte brokryssingen Oppsalåna.



### 6.2.6 Lauvtjørna

Lauvtjørna er et lite magasin som samler vannet fra nedbørsfeltet, som videre renner ned til Figgjovassdraget. Den planlagte E39 veien krysser vassdraget og det er planlagt å legge bekken i en kulvert. Størrelsen på kulverten bli dimensjonert etter den dimensjonerende flommen Q200+klimapåslag.



Figur 6-14- Undersøkt nedbørsfelt, Lauvtjørna

Tabell 6-11- Feltkarakteristika, nedbørsfelt Lauvtjørna

Navn	Lauvtjørna
Areal (ha)	155
Effektiv sjø %	6,6
Snaufjell %	49,5
Normalavrenning $Q_n$ (l/s/km <sup>2</sup> )	55,1
Høydeforskjell (m)	181-322
Feltlengde (km)	1,9
Hoved arealtype (AR5)	Dyrket jord

Tabell 6-12- Verdier brukt i beregning, Lauvtjørna

Brukt for beregning	
Avrenningskoeffisient C	0,52
Konsentrasjonstid, $t_c$ (min)	180min
Nedbørintensitet, $i$ (l/s/ha)	39.6
Klimafaktor, $K_f$ (%)	1,3

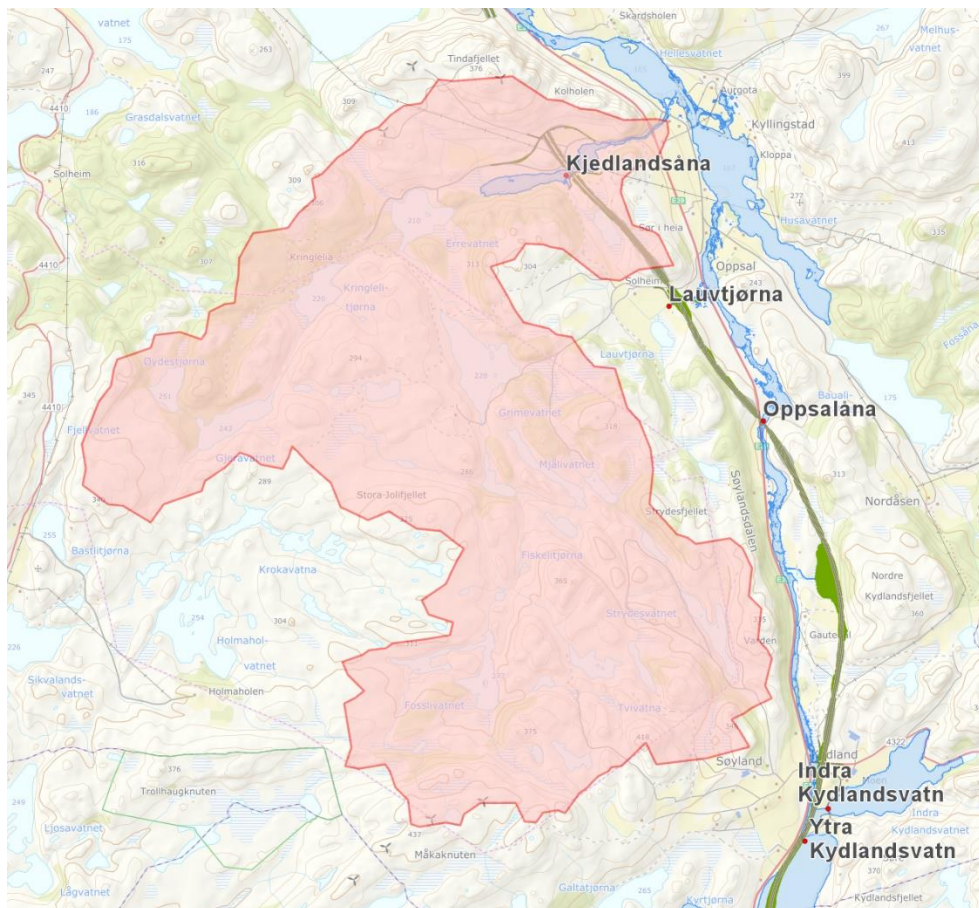
Beregnet vannføring:

- Resultat fra NIFS:  $4,3\text{ m}^3/\text{s}$  - Velges som dimensjonerende
- Resultat fra Rasjonell metode:  $4,1\text{ m}^3/\text{s}$

**Q200dim =  $4.3\text{ m}^3/\text{s}$**

**Optimal kulvertstørrelse: D=1.5 meter**

## 6.2.7 Kjedlandsåna brokryssing



Figur 6-15- Undersøkt nedbørsfelt, Kjedlandsåna

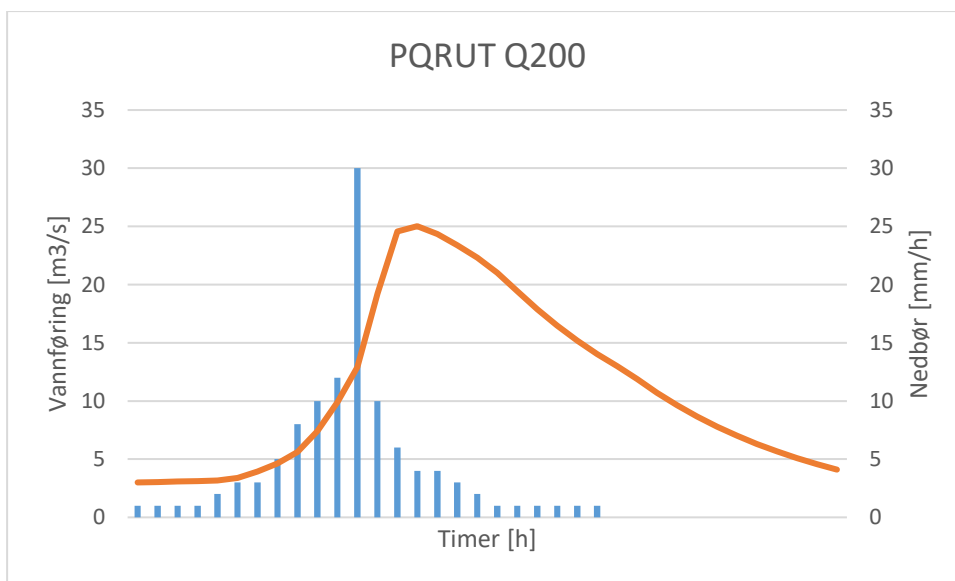
Kjedlandsåna er en sidebekk som renner inn i Figgjovassdraget. Planlagt vei krysser vassdraget og det er planlagt å bygge en bro over.

Tabell 6-13- Feltekarakteristika, nedbørsfelt, Kjedlandsåna

<b>Areal (km<sup>2</sup>)</b>	13,2
<b>Effektiv sjø %</b>	2,37
<b>Snaufjell %</b>	66,6
<b>Normalavrenning Qn (l/s/km<sup>2</sup>)</b>	59,2
<b>Høydeforskjell (m)</b>	173-432
<b>Feltlengde (km)</b>	5,3

Tabell 6-14- Verdier brukt i beregningen, Kjedlandsåna.

<b>Brukt for beregning</b>	
<b>Klimafaktor, Kf (%)</b>	1,3



Figur 6-16- PQRUT for Q200 nedbør, uten klimapåslag, Kjedlandsåna.

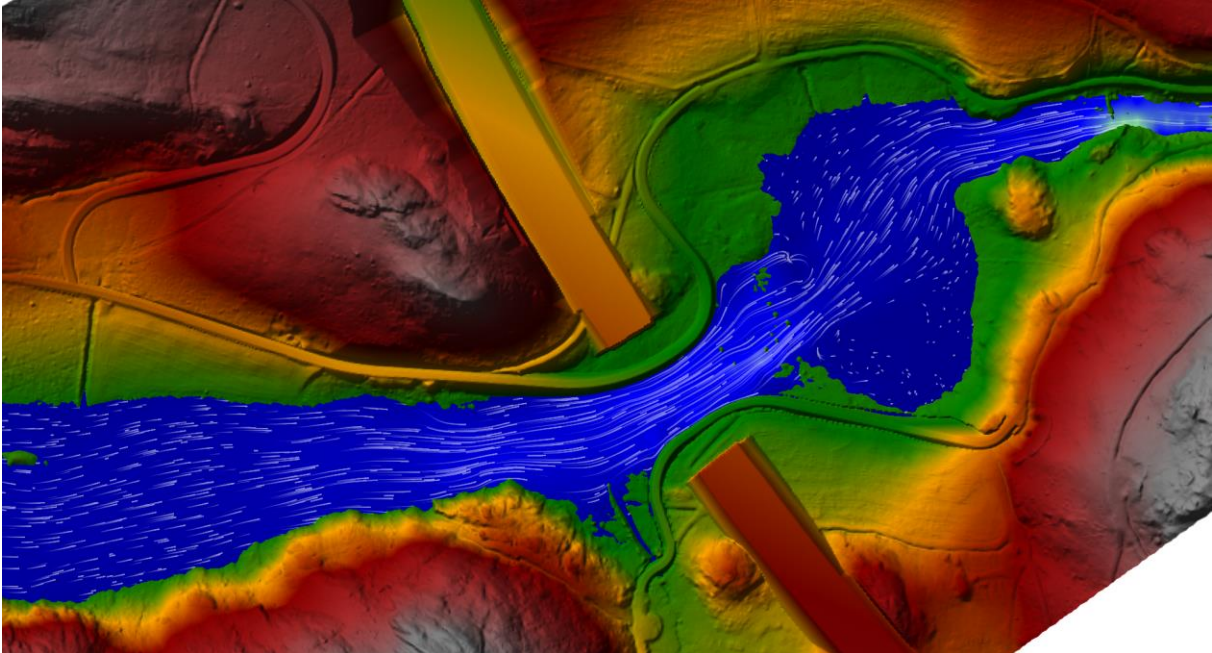
Beregnet vannføring:

- Resultat fra FFA (Nedskalert i forhold til areal og normalavrenning) - 24 m<sup>3</sup>/s
- Resultat fra NIFS - 36 m<sup>3</sup>/s
- PQRUT- 32,5 m<sup>3</sup>/s- korreksjon pga. høy andel snaufjell

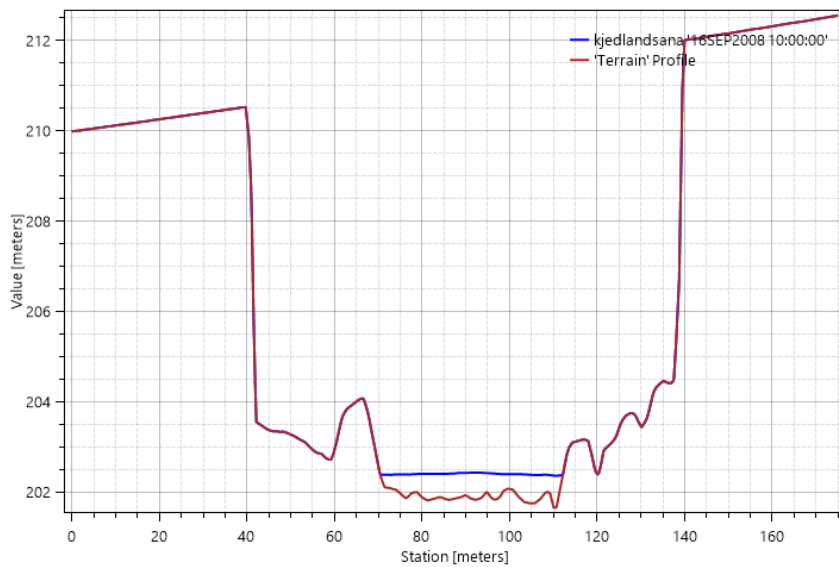
Verdiene fra NIFS og PQRUT stemmer bra med hverandre. Brukes en gjennomsnittsverdi fra NIFS og PQRUT:

Q200dim = 34,3 m<sup>3</sup>/s

Ved en flom lik Q dim forventes det en stigning i vannstanden på ca. 0,6 meter (kote 202,5 moh.) i forhold til normalvannstand (kote 201,9 moh.). Planlagt bro som skal krysse vassdraget vil ikke påvirke flomforholdene i vassdraget. Det er også planlagt ny vei langs vassdraget. Analysen viser at den ikke ligger flomutsatt.



Figur 6-17- Modellert flom Q dim ved den planlagte brokryssingen over Kjedlandsåna.



Figur 6-18- Vannstand ved Q dim, tverrsnitt planlagt bro.

## 7 Referanser

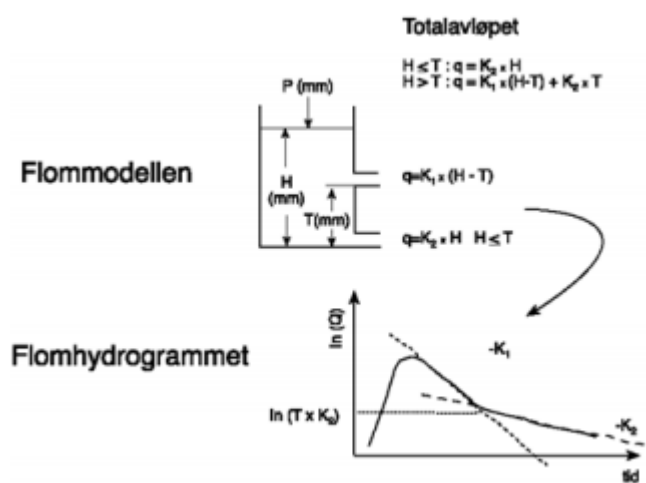
- [1] Stenius, S., Glad, P.A., Wang, T.K. og Væringstad, T. (2015): Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE Veileder 7-2015.
- [2] Klimaprofil Rogaland "Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning" (2017) Norsk klimaservisesenter
- [3] Glad, P.A., Reitan, T. og Stenius, S. (2015): Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små nedbørfelt. NIFS rapport 13-2015
- [4] NVE Retningslinjer 04-2011: Retningslinjer for flomberegninger til §i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg.
- [5] Lawrence, Deborah 2016. Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVErapport 81 2016.
- [6] HEC-USACE, 2016: HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, U.S, Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center (HEC), Davis, CA, USA.
- [7] Statens vegvesen: Vegbygging. Håndbok N200. Vegdirektoratet, Oslo 2018

## 8 Vedlegg 1- Beskrivelse av flomberegningemetoder

### Nedbørsavrennings modell PQRUT

Flommodellen i PQRUT er en nedbør-avløpsmodell utviklet av Andersen m.fl. (1983) [2] til bruk i flomberegninger. Flommodulen i PQRUT er en lineær karmodell, der avløpet antas å være proporsjonalt med innholdet. I nedbørfrie perioder er avløpet eksponentielt avtagende. Avløpet beregnes ved å lede nedbøren gjennom karet som er modellert med to utløp (Figur 8-1). Anbefalt intervall mht. areal for bruk av metoden er 1 - 200 km<sup>2</sup>, så det aktuelle feltet ligger godt innenfor nedre grense. Modellen har følgende tre parametere:

- K1: tømmekonstant for øvre nivå [tid-l]
- K2: tømmekonstant for nedre nivå [tid-l]
- T: skille mellom øvre og nedre nivå [mm]



Figur 8-1- Metodikken bakom PQRUT

For at modellen skal gi best mulig resultat bør parameterne helst kalibreres mot observerte flommer, noe som nesten aldri er mulig, som i tilfellet her for Figgjo. Derfor er det utviklet ligninger som beskriver parameterne med hjelp av feltparametere:

$$K1 = 0,0135 + 0,00268 \cdot HL - 0,01665 \cdot \ln ASE$$

$$K2 = 0,009 + 0,21 \cdot K1 - 0,00021 \cdot H$$

$$L T = -9,0 + 4,4 \cdot K1 - 0,6 + 0,28 \cdot qN$$

hvor

HL: relieff forhold (H50/LF), [m/km]

H50: høydeforskjell i meter mellom 25 og 75% passasjen på feltets hypsografiske kurve

LF: feltaksens lengde

ASE: effektiv innsjøprosent, [%]

qN: midlere spesifikt årsavløp 1961-1990, [l/s·km<sup>2</sup>]

Hvis andelen myr og/eller bart fjell er høy anbefaler Andersen m. f. (1983) at verdien på K1 justeres opp på følgende måte:

Myr/bart fjell er 20 – 40 % økes K1 med 0,04 – 0,05.

Myr/bart fjell er større enn 40 % økes K1 med 0,08 – 0,1.

NVE har nylig lagt ut en web versjon: <http://pqrout.nve.no/#/>

Rasjonell metode

Den rasjonelle formelen baserer seg på målt nedbør og avrenningen (Q) og er gitt ved Formel:

$$Q = C * i * A * K_f$$

Der

C = avrenningsfaktor

i = dimensjonerende nedbørintensitet, l/(s\*ha)

A = feltareal, ha

Kf = klimafaktor

Avrenningsfaktoren (C) bestemmes ut fra overflatetype i nedbørsfeltet og sannsynlig arealbruk i framtiden skal tas hensyn til. Hvis feltet er sammensatt av ulike overflatetyper må en midlere avrenningsfaktor beregnes for hele feltet. En midlere avrenningsfaktor beregnes etter formel:

$$C = (C_1 * A_1 + \dots + C_n * A_n) / A$$

Videre, for nedbør med returperiode lengre en 10 år, må avrenningsfaktoren økes etter retningslinjer gitt i Håndbok N200 Vegbygging. For 200-årsflom skal tillegg på 30% legges på avrenningsfaktoren. For å finne den dimensjonerende nedbørintensiteten (i) må feltets konsentrasjonstid først beregnes. Håndbok N200 Vegbygging angir konsentrasjonstiden (tc) for naturlige felt med formel:

$$t_c = 0,6 * L * H^{-0,5} + 3000 * A_{se}$$

Der

L = lengde av feltet, m

H = høydeforskjellen innen feltet, m

As = andel innsjø innen feltet, forholdstall

Konsentrasjonstiden brukes sammen med en IVF-kurve for området og returperioden for å finne nedbørintensiteten (i). IVF-kurven hentes for nærmeste målestasjon med god data grunnlag.

### Nasjonalt formelverk for flomberegning – NIFS formelverk

I forbindelse med NIFS-prosjektet (Etatsprogrammet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred, 2012-2015) har et nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt blitt etablert. Formelverket beregner middelflom og vannføringer med høyere returperioder, direkte på kulminasjonsverdier, for små (< ca. 50 km<sup>2</sup>) uregulerte nedbørfelt i Norge (Glad m. fl., 2015).

Formelverket er basert på ett sett med ligninger for hele Norge. En ligning for estimering av middelflommen,  $Q_M$ , og en ligning for å beskrive vekstkurven,  $Q_T/Q_M$ , (forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentaksintervall  $T$ ). Flere statistiske fordelinger ble undersøkt for å bestemme hvilken som best beskrev vekstkurvene, og det var den generaliserte logistiske fordelingen som utpekte seg som mest passende (Glad m. fl., 2015). Det resulterende ligningssettet er gitt ved formel 5 og 6.

For middelflommen ( $Q_M$ ) viser regresjonsanalysen følgende sammenheng:

$$Q_M = 18.97Q_N^{0.864}e^{-0.251\sqrt{A_{SE}}} \quad (5)$$

hvor  $Q_N$  er nedbørfeltets middelvannføring (m<sup>3</sup>/s) i perioden 1961-90 hentet fra avrenningskartet,  $A_{SE}$  er den effektive sjøprosenten (%) og  $e$  er grunntallet  $e \approx 2,718$ . I formelverket ser en at et høyere middeltilsig gir økt middelflom og at økt effektiv sjøprosent demper flommen og følgelig gir en lavere flomverdi.

For vekstkurven ble resultatet:

$$\frac{Q_T}{Q_M} = 1 + 0.308 \cdot q_N^{-0.137} [\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}] / k \quad (6)$$

hvor  $q_N$  er middelvannføring (l/s·km<sup>2</sup>) i perioden 1961-90 hentet fra avrenningskartet,  $\Gamma$  er gammafunksjonen,  $T$  er gjentaksintervall og konstanten  $k$  gis av:

$$k = -1 + 2/[1 + e^{0.391+1.54 \cdot A_{SE}/100}] \quad (7)$$

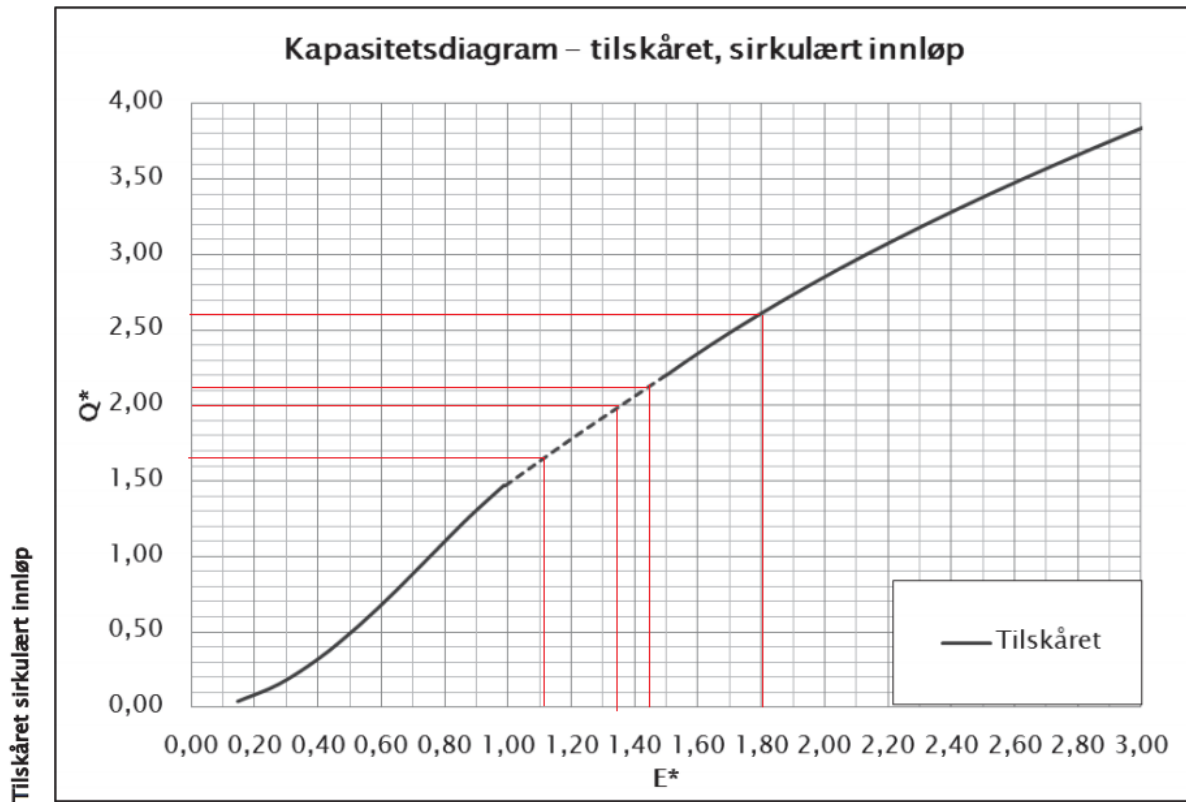
Ligningen (6) viser at økt normalavrenning gir slakere kurve og økt effektiv sjøprosent gir brattere kurve. Generelt gir formelverket at den relative dempningseffekten som følge av effektiv sjøprosent blir mindre (brattere vekstkurve) for de virkelig høye gjentaksintervallene (eksempelvis 200-årsflommen), men dette vil også være avhengig av andre forhold som for eksempel utformingen av utløpet.

#### 5.2.1 Usikkerhet ved bruk av formelverket

En av fordelene med denne metoden er at usikkerheten i større grad lar seg kvantifisere enn ved de andre metodene, men det er ingen grunn til å tro at den reelle usikkerheten ved denne metoden er større enn ved de øvrige metodene presentert i kapittel 5.

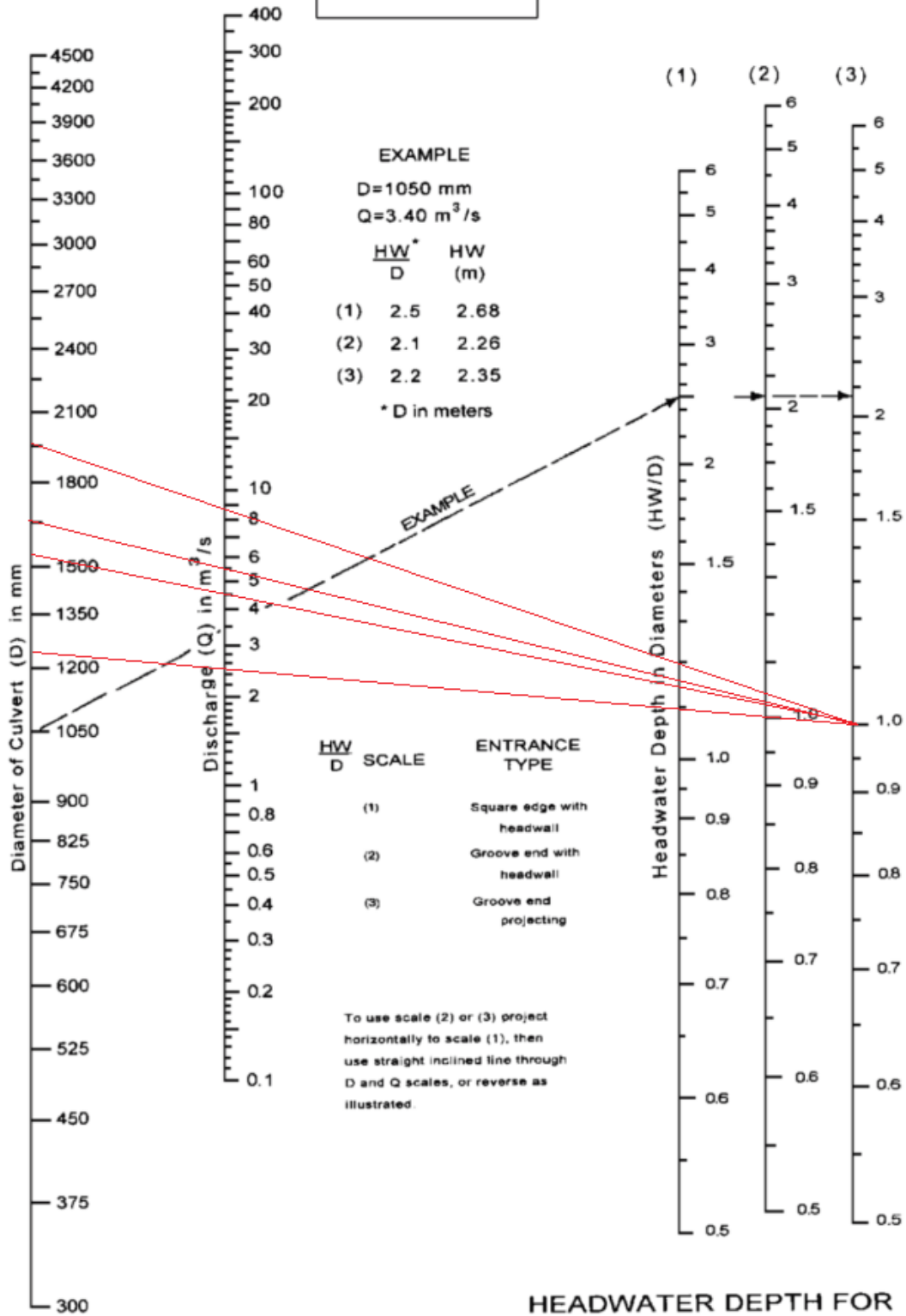


## 9 Vedlegg 2- Kulvertdimensjonering



$Q^* = Q/A \cdot D^{0.5}$									
Q	Q*	Q	Q*	Q	Q*	Q	Q*	D	
		m³/s		m³/s		m³/s		m	
4.3	9.56916	5.6	12.46216	8.8	19.5834	2.5	5.563465	0.8	
	7.128408		9.283508		14.58837		4.144423	0.9	
	5.477707		7.133758		11.21019		3.184713	1	
	4.316354		5.621299		8.833469		2.509508	1.1	
	3.472527		4.522361		7.106568		2.018911	1.2	
	2.842761		3.702201		5.817744		1.652768	1.3	
	2.361994		3.076085		4.833847		1.373252	1.4	
	1.987791		2.588751		4.068037		1.155692	1.5	
	1.691605		2.20302		3.461888		0.983491	1.6	
	1.453706		1.893198		2.975026		0.845178	1.7	
	1.260136		1.641108		2.578884		0.732637	1.8	
	1.100816		1.433621		2.252833		0.640009	1.9	
	0.968331		1.261082		1.981701		0.562983	2	
	0.857138		1.116272		1.754142		0.498336	2.1	
	0.763031		0.993715		1.561552		0.443623	2.2	
	0.682778		0.889199		1.397312		0.396964	2.3	

**CHART 1A**



**HEADWATER DEPTH FOR CONCRETE PIPE CULVERTS WITH INLET CONTROL**

Adapted from Bureau of Public Roads Jan. 1953