

Ulvik herad

► Flomvurdering Holmen i Ulvik

Oppdragsnr.: 52209134 Dokumentnr.: HYD-01 Versjon: C01 Dato: 2024-07-05



Oppdragsgiver: Ulvik herad
Oppdragsgivers kontaktperson: Jarle Grevstad
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Vidar Østerbø
Fagansvarlig: Torbjørn Kirkhorn
Andre nøkkelpersoner: Kuganesan Sivasubramaniam

C01	2024-07-05	For gjennomgåelse/ kontroll hos oppdragsgiver	Kuganesan Sivasubramaniam	Torbjørn Kirkhorn	Vidar Østerbø
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

Norconsult Norge AS er engasjert av Ulvik herad for flomvurdering i forbindelse med detaljregulering av et område på Holmen i Ulvik. Norconsult utførte flomvurdering for Gauro i 2021 i forbindelse med utbygging av veksthus for Hjeltnes Gartneri. I denne rapporten er grunnlaget fra rapporten i 2021 lagt til grunn og supplert med nye beregninger.

Vurdering av flomstørrelse i vassdraget baserer seg på «Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt», flomfrekvensanalyse på nærliggende vannmerker og nedbør-avløpsmodell (PQRUT). 200-årsflom for Gauro er estimert til 18 m³/s, og 200-årsflom med 40% klimapåslag til 25,2 m³/s. Oppdaterte flomverdier i denne rapporten er noe høyere enn i 2021. Dette skyldes blant annet høyere årsmiddeltilslig i 1991-2020, som er brukt i denne rapporten, og ny IVF-kurve.

Flomvannstand og flomutbredelse i vassdraget er beregnet ved bruk av en todimensjonal hydraulisk modell i dataprogrammet HEC-RAS 6.3.1. Resultatene fra vannlinjeberegningen er presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten.

Utførte beregninger viser at planområdet er utsatt for flom både fra stormflo og fra flom i elva. Det ligger tre bruer på beregningsstrekningen. Bruene har ikke tilstrekkelig kapasitet til å ta unna 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag og deler av flomvannet går over veibanen og renner i terrenget utenom elveløpet. Holmen bru på Hjeltnesvegen (FV5376) ligger innenfor området for regulering; brua har heller ikke kapasitet til å ta unna 100-årsflom.

Dimensjonerende flomvannstand ved planområdet er bestemt av både 200-års stormflo og 200-års flomvannstand i elva i kombinasjon med 1-års stormflo. Forventet vannstand i Ulvikafjorden ved stormflo med gjentaksintervall på 200 år med klimapåslag (sikkerhetsklasse F2 i TEK17) er 1,99 m i høydesystem NN2000, basert på fremtidig havnivå beregnet av Statens kartverk. Vannlinjeberegninger viser at vannstanden i Gauro er 2,0 moh ved 200-årsflom med 40% klimapåslag ca. 20 m nedstrøms Holmen bru. Derfor er en 200-årsflom med 40% klimapåslag i kombinasjon med 1-års stormflo kritisk langs Gauro ovenfor dette stedet, sammenlignet med 200-års stormflo. En 200-års stormflo blir imidlertid kritisk ved Holmen langs strandsonen og elveutløpet fra dette stedet til fjorden.

NVEs veileder for sikkerhet mot flom anbefaler et prosentvis påslag på vannføringen som sikkerhetspåslag. I henhold til veilederen er flomberegningsklassen og den hydrauliske modellen vurdert til å være i hhv. klasse 3 og klasse D. Simuleringen med 40% påslag i flomvannføringen (200-årsflom inkl. klimapåslag) gir en økning i resulterende flomvannstand i Gauro i planområdet på opp mot 20 cm. Dette sikkerhetspåslaget bør ansees som et minimumspåslag. Det foreslås at det benyttes beregnede flomvannstander inkl. sikkerhetspåslag for arealplanlegging. Alt infrastruktur som kan bli skadet av flom bør sikres til minst dette nivået, eventuelt høyere i området nærmest vassdraget. Terrengendringer og øvrig infrastruktur bør utformes slik at flomvannstander i området ikke øker.

Innhold

1	Innledning og forutsetninger	5
1.1	Beskrivelse av nedbørfelt	6
2	Beregning av flomstørrelser	7
2.1	Målestasjoner og flomfrekvensanalyse	7
2.2	Vurdering av årsmiddeltilslag	8
2.3	Sesongvariasjon	9
2.4	Flomfrekvensanalyse	9
2.5	Beregning av momentanflom	10
2.6	Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt	11
2.7	Nedbør-avløpsmetoden (PQRUT)	11
2.7.1	<i>Nedbørdata</i>	11
2.7.2	<i>Flommodellen (PQRUT) og modellparametere</i>	13
2.8	Endelig valg av flomstørrelse og klimapåslag	14
2.9	Mulige konsekvenser av klimaendringer	15
2.10	Vurdering av kvalitetsklassen til flomberegningene	15
3	Hydraulisk modell	16
3.1	Beregningsmodell	16
3.2	Grensebetingelser	17
3.3	Infrastruktur i modellen	17
4	Resultater	19
4.1	Flom fra Gauro	19
4.2	Stormflo	22
5	Følsomhet og sikkerhetsmargin	23
5.1	Datagrunnlag	23
5.2	Tilstopping av bruer	23
5.3	Følsomhet til Manningstall	23
5.4	Følsomhet til estimert flomvannføring	23
5.5	Klassifisering av hydraulisk modell	24
5.5.1	<i>Prosentvist påslag på vannføringen</i>	24
5.6	Anbefalt sikkerhetsmargin	24
6	Referanser	25
7	Vedlegg	26

1 Innledning og forutsetninger

Norconsult Norge AS er engasjert av Ulvik herad for flomvurdering i forbindelse med detaljregulering av et område på Holmen i Ulvik. Vurderingene er knyttet til vassdraget Gauro som renner forbi planområdet. Det er utført beregninger for flom med gjentakintervall på 20 år og 200 år, samt 200 år i et fremtidig klima. Oversiktskart med markering av Holmen og det aktuelle planområdet er vist i Figur 1-1 og Figur 1-2.



Figur 1-1: Oversiktskart med markering av Holmen i Ulvik.



Figur 1-2: Oversiktskart med markering av det aktuelle planområdet.

1.1 Beskrivelse av nedbørfelt

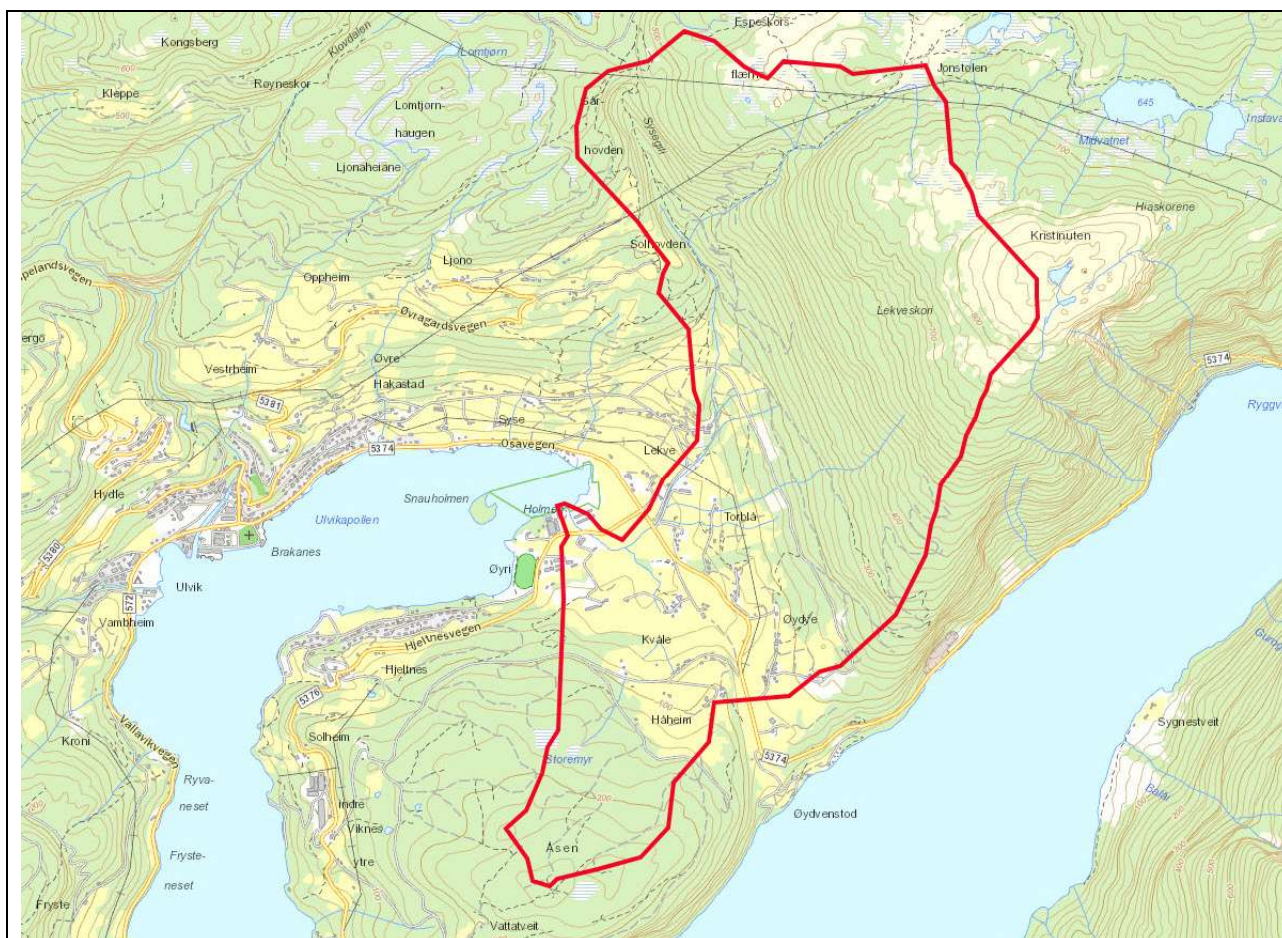
Gauro er et mindre vassdrag øst for Ulvik som renner gjennom Holmen til Ulvikafjorden. Nedbørfeltet til vassdraget er på 5,7 km² ved utløpet til fjorden. Vassdraget består hovedsakelig av skog (~70%), dyrket mark (~19%), snaufjell (~6%), noe myr (~1%) og uklassifisert areal (~4%). Elva renner ut i Ulvikpollen i Ulvikafjorden. Det er ingen innsjøer i nedbørfeltet, og effektiv sjøprosent er 0%.

Det er ingen kjente overføringer til eller fra feltet. Nøkkeldata for nedbørfeltet er presentert i Tabell 1-1, mens et oversiktskart med markering av nedbørfeltet er vist i Figur 1-3. Felldata fra NEVINA er vist i Vedlegg 1.

Tabell 1-1: Nøkkeldata for nedbørfeltet.

Nedbørfelt	Areal (km ²)	Eff. sjø %	Skog %	Dyrket mark %	Snaufjell %	Felthøyde, min-med-maks (m o.h.)	Q _N (l/(s*km ²))
Gauro	5,7	0,0	70,4	19,3	5,6	1 – 305 - 886	54,9 (26,4)*

* Avrenningskart 1991-2020, NEVINA verdi (avrenningskart 1961 -1990) i parentes.



Figur 1-3: Nedbørfelt.

2 Beregning av flomstørrelser

Som følge av at det ikke finnes målestasjoner i Gauro med historiske data for vannføring og vannstand, utføres det flomberegning for vassdraget basert på flere ulike metoder. Endelig valg av flomverdier er basert på en vurdering av fordeler og ulemper med de ulike metodene som er benyttet.

2.1 Målestasjoner og flomfrekvensanalyse

Utvalgte målestasjoner i Vestland fylke er benyttet for flomfrekvensanalysen. En oversikt over stasjonene er gitt i Tabell 2-1 og plassering er vist i Figur 2-1. Målestasjonene er valgt ut fra geografisk nærhet til Gauro og nedbørfeltens feltegenskaper.

Tabell 2-1: Målestasjoner benyttet i flomberegning.

Målestasjon	Feltareal (km ²)	Periode	Høyde (moh.) (min-med-maks)	Eff. Sjø (%)	Kvalitet (Stor / Normal vannføring)
51.3 Osseter	26,3	1961-1980	519-1281-1584	1,73	Bra / Bra
62.14 Slondalsvatn	41,8	1984-2023	752-1211-1602	2,78	-
71.5 Feios	74,6	1973-2006	55-931-1635	0,02	Bra / Bra
55.5 Dyrdalsvatn	3,3	1978-2022	436-581-802	3,98	Meget bra / Meget bra
55.4 Røykenes	50,1	1934-2022	53-307-960	2,24	-
61.8 Kaldåen	15,3	1988-2023	591-884-1128	0,10	Middels / Bra
63.12 Fjellanger	12,8	1995-2023	403-913-1205	0,89	-
62.10 Myrkdalsvatn	157,7	1964-2023	229-975-1431	1,14	-
48.5 Reinsnosvatn	120,3	1918-2022	595-1232-1635	3,34	Bra / Bra
50.1 Hølen	231,4	1923-2022	123-1277-1686	1,99	Meget bra / Bra



Figur 2-1: Oversiktskart med markering av utvalgte målestasjoner.

2.2 Vurdering av årsmiddeltilslig

Avrenningskartet til NVE oppgir estimert årsmiddeltilslig med referanse til perioden 1991-2020. Ifølge NVEs avrenningskart er årsmiddeltilsliget til Gauro 54,9 l/(s*km²). Som vist i Tabell 2-1 er verdien fra avrenningskartet sammenlignet med årsmiddeltilsliget som er målt ved hvert enkelt vannmerke. Det gjøres oppmerksom på at avrenningskartet gir verdier for perioden 1991 - 2020, mens de faktiske observasjonene dekker den perioden vannmerkene er i drift.

For de fleste vannmerkene i området gir avrenningskartet for 1991 – 2020 verdier i godt samsvar med observasjonene (mindre enn 3% avvik). Men for 71.5 Feios, 48.5 Reinsnosvatn og 50.1 Hølen gir avrenningskartet høyere verdier enn de observerte (8 – 12%), og størst avvik har målestasjon 51.3 Osseter (24%).

Årsnedbør er størst for områdene ytterst mot kysten, og avtar noe innover i landet (se Figur 2-2). Videre er årsmiddeltilsliget for Gauro hentet fra avrenningskartet (1991-2020) omtrent det samme som observert årsmiddeltilslig for 51.3 Osseter.

Vi velger å legge til grunn verdien fra NVEs avrenningskartet for perioden 1991-2020 (55 l/(s*km²)) som årsmiddeltilslig for Gauro i videre beregninger.

Tabell 2-2: Sammenligning av observerte middelvannføringer med verdier fra NVEs avrenningskart for vannmerker.

Målestasjon	Periode	Midlere spesifikk avrenning Q_N ($l/(s \cdot km^2)$)		
		Fra avrenningskart (1991 - 2020), QN1	Fra Vannmerke, QN	Forhold (QN / QN1)
51.3 Osseter	1961-1980	77	58	0,76
62.14 Slondalsvatn	1984-2023	82	83	1,01
71.5 Feios	1973-2006	61	56	0,92
55.5 Dyrdalsvatn	1978-2022	121	124	1,03
55.4 Røykenes	1934-2022	99	96	0,97
61.8 Kaldåen	1988-2023	96	96	1,00
63.12 Fjellanger	1995-2023	94	96	1,02
62.10 Myrkdalsvatn	1964-2023	74	76	1,03
48.5 Reinsnosvatn	1918-2022	82	73	0,88
50.1 Hølen	1923-2022	57	51	0,90

2.3 Sesongvariasjon

I flomberegninger er det vanlig å skille på ulike flomsesonger. I dette området er dette lite hensiktsmessig. De største flommene i området opptrer normalt på høsten og tidlig vinter, men siden vassdraget er lite og middelhøyden er bare 305 moh, kan flommene opptre hele året.

2.4 Flomfrekvensanalyse

Det er utført flomfrekvensanalyse på vannmerkene listet opp i Tabell 2-1, og estimert vannføringer ved middelflom og 200-årsflom er vist i Tabell 2-3. Beregningene er gjort med NVEs programvare for ekstremverdianalyse, DAGUT, ved bruk av Gumbel-fordeling (EV1) og General Extreme Value- (GEV) fordeling.

Tabell 2-3: Frekvensanalyse for årsflommer utført på utvalgte vannmerker (døgnmiddel i l/(s*km²)).

Målestasjon	Ant, år	Q _M	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₂₀₀ /Q _M	Q ₂₀₀ /Q ₂₀	Q ₂₀₀ /Q ₁₀₀	Tilpasning
51.3 Osseter	20	421	740	957	1050	2,49	1,42	1,10	Gumbel
62.14 Slondalsvatn	37	586	996	1297	1744	2,98	1,75	1,34	Gumbel
71.5 Feios	34	396	739	973	1072	2,71	1,45	1,10	Gumbel
55.5 Dyralsvatn	40	1278	1970	2444	2644	2,07	1,34	1,08	Gumbel
55.4 Røykenes	89	1026	1703	2271	2539	2,47	1,49	1,12	GEV
61.8 Kaldåen	36	973	1519	1834	1961	2,02	1,29	1,07	Gjennomsnitt
63.12 Fjellanger	29	808	1146	1375	1473	1,82	1,29	1,07	Gumbel
62.10 Myrkdalsvatn	60	508	731	861	912	1,80	1,25	1,06	GEV
48.5 Reinsnosvatn	99	461	664	771	813	1,76	1,22	1,05	Gjennomsnitt
50.1 Hølen	100	331	502	619	669	2,02	1,33	1,08	Gumbel
<i>Gjennomsnitt</i>						2,21	1,38	1,11	

2.5 Beregning av momentanflom

Flomstørrelsene beregnet for vannmerkene vist i Tabell 2-1 gjelder for gjennomsnittlig verdi over ett døgn. Maksimal flomstørrelse vil alltid være større enn døgnmiddelverdien. Siden nedbørfeltet er lite og høstflommene gjerne er de største i dette området, er kulminasjonsvannføringen i feltet beregnet ved bruk av formel for forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. Formelen (1) for forholdstallet for høstflommer er hentet fra NVEs retningslinjer for flomberegninger [2] og gjengitt under.

$$Q_{mom}/Q_{Døgn} = 2,29 - 0,29 \cdot \log(A) - 0,270 \cdot A_{SE}^{0,5} \quad (1)$$

Beregnet forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom (Q_{mom}/Q_{døgn}) for feltet til Gauro er 2,07. Denne formelen er ikke tatt med i Veileder for flomberegning [1], men gir nyttig grunnlag for sammenligning med andre metoder og tidligere utført flomberegninger i området.

200-årsflom (døgnmiddelverdi) basert på flomfrekvensanalyse direkte på vannmerker, er 669 - 2644 l/(s*km²). Dermed er kulminasjonsvannføring ved Q₂₀₀ for Gauro vist i Tabell 2-4.

Tabell 2-4: Kulminasjonsverdier for 200-årsflom basert på flomfrekvensanalyse på vannmerker.

Felt	Areal (km ²)	Kulmin. faktor	200-årsflom	
			l/(s*km ²)	m ³ /s
Gauro	5,7	2,07	1385 - 5475	7,9 – 31,2

2.6 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt

I prosjektet «Naturfare - Infrastruktur, flom og skred» (NIFS) utarbeidet NVE en ligning for beregning av flomvannføringer i små og uregulerte felt. Formelen er gyldig for felt i hele landet med feltareal mindre enn 50-60 km², men er anbefalt verifisert mot lokale målinger [1]. I formelen er flomstørrelsen i et gitt felt avhengig av feltareal, normalt årsmiddeltilsig og effektiv sjøprosent. Ved beregning av flomstørrelse i Gauro er disse verdiene hentet fra NVEs webapplikasjon NEVINA, men årsmiddeltilsiget er fra NVEs avrenningskart 1991-2020. Det henvises til NVE-rapport 7-2015 [3] for flere detaljer knyttet til beregningsmetodikk. Middelflommen utregnes som en momentanverdi og skaleres ved hjelp av en vekstkurve opp til 200-årsflom. Tabell 2-5 viser kulminasjonsverdier og døgnmiddel for middelflom, 20-årsflom og 200-årsflom beregnet med «formelverk for små nedbørfelt».

Tabell 2-5: Middelf, 20-, 100- og 200-årsflom beregnet med «formelverk for små nedbørfelt»

Felt	Areal (km ²)	Middelflom		20-årsflom		100-årsflom		200-årsflom	
		m ³ /s	l/(s*km ²)	m ³ /s	l/(s*km ²)	m ³ /s	l/(s*km ²)	m ³ /s	l/(s*km ²)
Gauro	5,7	7,0	1220	11,5	2005	15,8	2750	18,0	3145

2.7 Nedbør-avløpsmetoden (PQRUT)

Tilsigsflommen i Gauro er beregnet med nedbør-avløpsmodell ved bruk av NVEs web-applikasjon PQRUT. Beregningene baserer seg på nedbørdata, og bruker nedbørforløp til beregning av flomvannføring.

2.7.1 Nedbørdata

Data fra klimaservicesenter (<https://klimaservicesenter.no/>) viser at det foreligger IVF-kurve for målestasjonen SN52300 Modalen (15 moh., 1968 - 1987, 16 ses). Modalen ligger i et område høyere normal- årsnedbør enn feltet til Gauro (se Figur 2-2). Det er ingen bedre representative nedbørstasjoner med IVF-kurver som gir dimensjonerende døgnverdi i nærheten av feltet enn SN52300 Modalen.

Det er valgt en 24-timers nedbør med 200-års returperiode på 150 mm som angitt i Figur 15 i [1] for regionen, og verdien er justert med en faktor på 1,13 som anbefalt i [1]. Dermed blir 24-timers nedbør verdi for Gauro 170 mm.

For å beregne timesverdi er det brukt medianverdien for n-minutters nedbør i % av 24-timer nedbør for Vestlandet som angitt i Tabell 14 i [1]. Dette gir høyere 1-times nedbør (39,0 mm) sammenlignet med verdien (22 - 25 mm) i Figur 17 i veilederen [1] mens fordelingen av nedbør iht. Modalen gir 1-timesverdi (26,4 mm) godt samsvar med denne figuren.

I denne analysen har vi brukt 1-døgns nedbør med 200-års returperiode på 169,5 mm, mens fordelingen av nedbør i løpet av dagen er hentet fra Modalen. Nedbørdata med 200-års gjentakintervall er presentert i Tabell 2-6, mens Tabell 2-7 viser arealreduksjonsfaktorer for det aktuelle feltet.

Årsverdier for 200-års nedbør uten snøsmeltebidrag er brukt som input til PQRUT i denne beregningen.

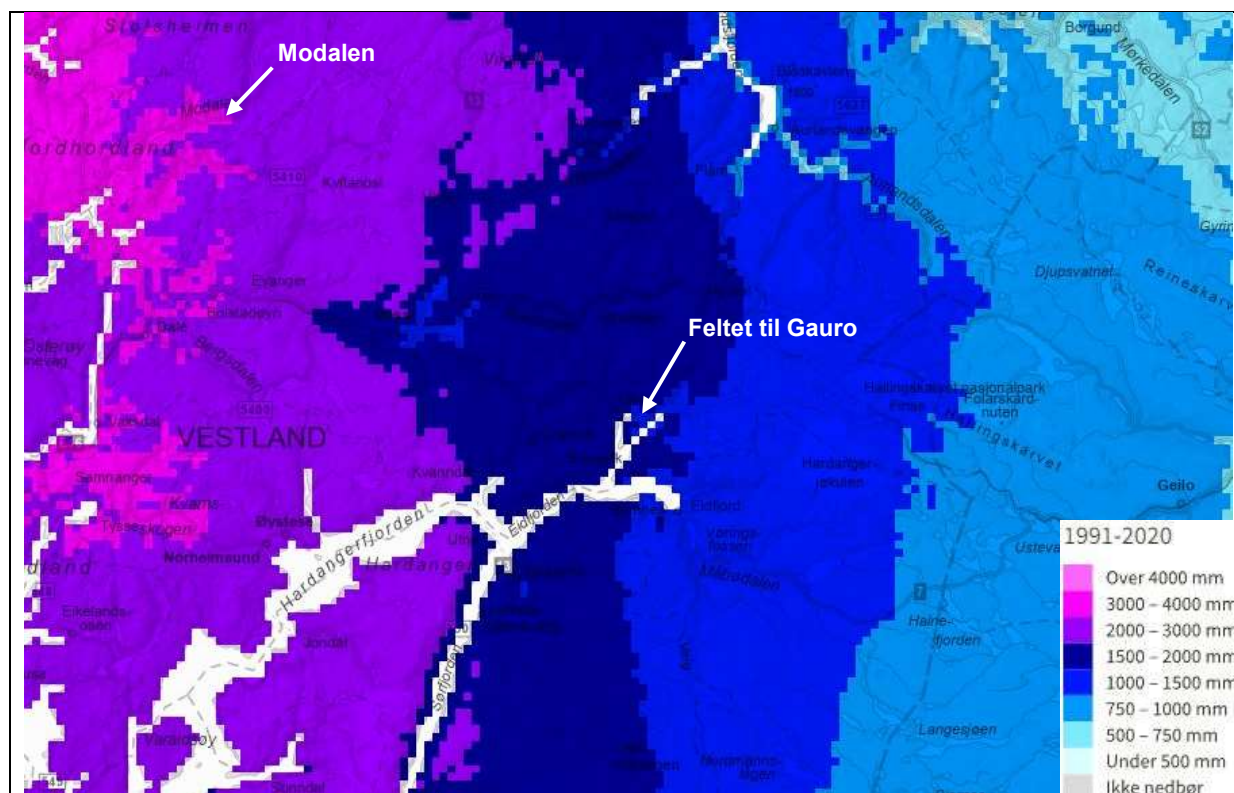
I beregningene er nedbørfordelingen antatt symmetrisk med høyeste nedbørintensitet i timer 8 av 24 (se Figur 2-3).

Tabell 2-6: M200- årsverdier (mm) for met. stasjoner

Met. stasjon /varighet (timer)	1	2	6	12	24
SN52300 Modalen	30,5	44,6	87,3	123,6	195,8
Justert for Gauro	26,4	38,6	75,6	107,0	169,5

Tabell 2-7: Arealreduksjonsfaktorer (ARF) for nedbør.

Felt / Antall timer	1	2	6	12	24
ARF (4-6 kv.km.)	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98



Figur 2-2: Årsnedbør 1991 – 2020 (<https://www.senorge.no/>).

2.7.2 Flommodellen (PQRUT) og modellparametere

Modellparameterne til NVEs flommodell PQRUT kan bestemmes ved å kalibrere mot observerte data med fin tidsoppløsning. Da slike data ikke finnes, er det tatt utgangspunkt i feltparametere for det aktuelle feltet. Parameterne som inngår i PQRUT er deretter beregnet med formelverket i NVEs veileder for flomberegninger [1]. Det er brukt ligningssett 2016.

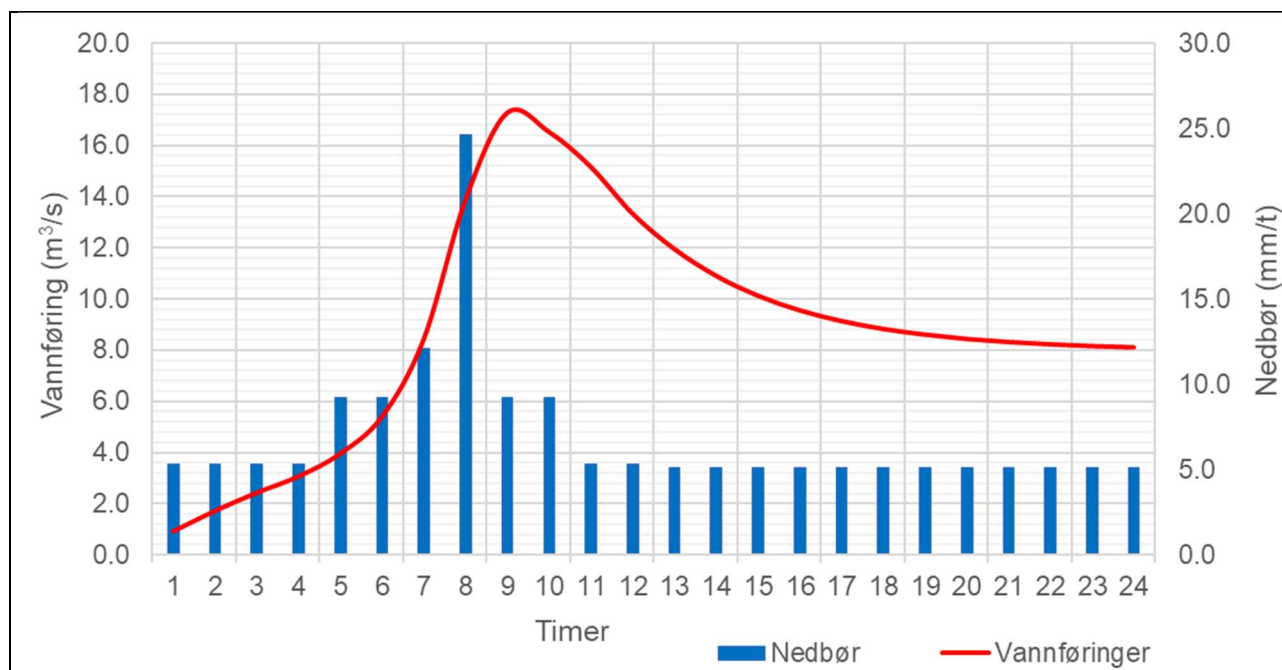
Konsentrasjonstid er beregnet ved bruk av formler gitt i [1] for naturlige felt, og er 1 time for Gauro. Initialvannføringen i modellen er satt til årsmiddelvannføringen i Gauro.

Tabell 2-8: Parameterverdier (ligningssett 2016) ved beregning av Q_{200} .

	Gauro
Øvre tømmekonstant, K1	0,3080
Nedre Tømmekonstant, K2	0,1129
Terskelverdi, T	29,9041
Feltaksens lengde, F_L (km)	2,8
H_{50} (H_{75} - H_{25}) (m)	426,0
$H_L = H_{50} / L_F$ (m/km)	152,14
Effektiv sjøprosent, ASE (%)	0,001
QN (l/s/km ²)	55
Årlig nedbør (mm/år)	1700
Skogprosent (%)	70
Nedbørareal (km ²)	5,7
Innsjø (km ²)	0,0
Modellert nedbørareal, A (km ²)	5,7
Konsentrasjonstid, T_c (timer)	1
Initialvannføring (m ³ /s)	0,5

Tabell 2-9: Q_{200} beregnet med nedbør-avløpsmodell (PQRUT).

Felt	Maks nedbør (mm)	Maks vannføring (kulminasjonsverdi)	
		m ³ /s	l/(s*km ²)
Gauro	24,6	17,3	3035



Figur 2-3: Nedbør og vannføring i Gauro ved 200-årsflom.

2.8 Endelig valg av flomstørrelse og klimapåslag

Flomstørrelse i Gauro er beregnet ved bruk av «Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt» og nedbør-avløpsmetoden. I tillegg er beregningene sammenlignet med nærliggende vannmerker i en flomfrekvensanalyse. Resultater fra beregningene og valgt flomverdi i vassdraget er sammenlignet i Tabell 2-10.

Flomfrekvensanalysen gir stort sprik i 200-års døgnmiddelverdier, fra 700 - 2700 l/(s*km²). Verdiene tyder på at døgnflommene er størst for de lavtliggende feltene nærmere kysten, og avtar noe innover i landet (se Tabell 2-3). Gauro ligger innerst i Ulvikafjorden (ca. 110 km unna kysten). Flomfrekvensanalysen på vannmerket 51.3 Osseter som ligger i nærheten av Gauro, gir 200-års døgnmiddelverdier på 1050 l/s/km². Vannmerkene som har en feltstørrelse som ligner på Gauro ligger nærmere kysten (55.5 Dyrdalsvatn, 63.12 Fjellanger og 61.8 Kaldåen), og årsmiddeltilsiget til disse vannmerkene er mye høyere enn feltet til Gauro. Dermed ventes Q₂₀₀ døgnverdi til Gauro å være lavere enn ved disse vannmerkene.

«Formelverk for små nedbørfelt», som baserer seg på regional analyse for små felt i hele landet, beregner en 200-års flomverdi for Gauro som er litt over flomverdien beregnet med bruk av nedbør-avløpsmodell (PQRUT).

Vi velger på dette grunnlaget en kulminasjonsflomverdi for Q₂₀₀ beregnet med bruk av «Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt». En kulminasjonsverdi på Q₂₀₀ på 3150 l/s/km² er derfor lagt til grunn.

Tabell 2-10: Beregnede kulminasjonsverdier for Q_{200} (m^3/s)

Felt	Frekvensanalyse		NIFS		PQRUT		Valgt verdi	
	$l/(s \cdot km^2)$	m^3/s	$l/(s \cdot km^2)$	m^3/s	$l/(s \cdot km^2)$	m^3/s	$l/(s \cdot km^2)$	m^3/s
Gauro	1385 - 5475	7,9 - 31,2	3150	18,0	3035	17,3	3150	18,0

20-, og 100-årsflom beregnes ved bruk av vekstfaktor hhv. på 1,38 (Q_{200}/Q_{20}) og 1,11 (Q_{200}/Q_{100}), som er gjennomsnittlig forholdstall for vannmerkene (se Tabell 2-3). Forholdstallene beregnet ved bruk av NIFS gir lavere 20- og 100-årsflomverdier.

Tabell 2-11: Beregnet 20-, og 100-årsflom (kulminasjonsverdi) for Gauro.

Felt	20-årsflom		100-årsflom	
	$l/(s \cdot km^2)$	m^3/s	$l/(s \cdot km^2)$	m^3/s
Gauro	2300	13,1	2850	16,2

2.9 Mulige konsekvenser av klimaendringer

Klimaframskrivninger for Norge tilsier endringer i fremtidig temperatur- og nedbørforhold. I rapporten «Klimaendring og fremtidige flommer i Norge» [4], har NVE sett på hvordan klimaendringer vil føre til endringer i flomstørrelser frem mot år 2100. Gauro ligger i Hordaland (Vestland fylke). Ifølge klimaprofil Hordaland, basert på rapport om klimapåslag for korttidsnedbør [5] anbefales det et klimapåslag på 30 - 50% i dette området for mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn. NVEs veileder for flomberegninger anbefaler et klimapåslag på 40% for alle nedbørfelt mindre enn ca. 10 km^2 [1]. Det er valgt å bruke 40% klimapåslag i denne rapporten.

Kulminasjonsvannføring inkludert klimapåslag er presentert i Tabell 2-12, som viser endelig flomverdi for Gauro. Verdiene er benyttet i videre beregninger.

Tabell 2-12: Flomverdier (kulminasjonsverdi) for Gauro (m^3/s) inkludert 40% klimapåslag.

Felt	Q_{20}	Q_{20} inkl. klimapåslag	Q_{100}	Q_{100} inkl. klimapåslag	Q_{200}	Q_{200} inkl. klimapåslag
Gauro	13,1	18,4	16,2	22,7	18,0	25,2

2.10 Vurdering av kvalitetsklassen til flomberegningene

Det hydrologiske datagrunnlaget for beregningene er vurdert til å være flomberegningsklasse 3. Det er flere vannmerker i nærheten av vassdraget, men store variasjoner i flomstørrelsene.

3 Hydraulisk modell

3.1 Beregningsmodell

Vannstandsstigning og flomutbredelse langs Gauro er beregnet ved bruk av en 2-dimensjonal hydraulisk modell i dataprogrammet HEC-RAS 6.3.1. Terrenggrunlaget for modellen er laserdata basert på skanning fra fly i området. Prosjektet «Eidfjord_Ulvik_Granvin 2014» har en nøyaktighet/tetthet på 2 pkt. per kvadratmeter [7] og oppløsningen til generert terrengmodell er 0,5 x 0,5 m. Høydene i modellen refererer til høydedatum NN2000 og koordinatsystemet i modellen er Euref-89 UTM-32N.

Laserdata gir ingen informasjon om høyder under vann i elva og fjorden. Norconsult har derfor utført innmålinger av enkelte tverrprofil langs elvestrekningen (se Vedlegg 4). Elvebunnen i terrengmodellen er oppdatert basert på interpolasjon mellom profilene. Fjordbunnen er oppdatert basert på dybdekoter fra «Norgeskart» (<https://www.norgeskart.no/>).

Den hydrauliske modellen er satt opp for Gauro slik at den dekker planområdet. Oversiktskart som viser modellert område, er vist i Figur 3-1.

Vannstand, vannføring og vannhastighet i modellen beregnes for celler i et «beregningmesh». Cellestørrelsen i modellen er satt til 2x2 meter i elven og områdene tett på. Områder med mindre krav til stor nøyaktighet har cellestørrelse på 4x4 meter. Det er benyttet såkalte «Break lines» for å forbedre representasjonen av hydraulisk viktige terrengformasjoner. Modellen er kjørt med bruk av ligningen SWE-ELM med et tidssteg på 0,2 sekunder. Disse beregningsforutsetningene gir generelt et Courant tall under 1,0.



Figur 3-1: Kartutsnitt over modellert område.

3.2 Grensebetingelser

2D-modellen er satt opp med en øvre og nedre grensebetingelse hvor oppstrøms grensebetingelse er flomvannføring inn på beregningsstrekningen. Flomvannføringen er momentanverdi for flom ilagt klimapåslag, som vist i Tabell 2-12.

Nedre grensebetingelse er satt lik forventet vannstand i sjøen ved 1-års stormflo i år 2100. Vannstanden er hentet fra Kartverkets side for havnivå (<https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva>) som angir 1-års stormflo i Ulvikafjorden til 1,02 moh. i høydesystem NN2000. Forventet havnivåstigning som følge av klimaendringer er satt lik middelverdien i klimasenario RCP8.5 til 0,37 m. Totalt gir det en forventet vannstand for 1-års stormflo i år 2100 på 1,39 moh. Verdiene er hentet fra Kartverkets tjeneste for havnivå (Vedlegg 3).

Friksjonsforholdene er vurdert ut fra kart og bilder, samt erfaringstall fra litteratur knyttet til forskjellig arealbruk og utforming av bekken. Friksjonsfaktoren for beregningsstrekningen er basert på Manningstall (n). Manningstallet i elva er satt til 0,035. For resterende områder varierer Manningstallet fra 0,02 i bebygde områder til 0,08 der det er tett skog. Områder med fulldyrket jord, overflatedyrket jord og innmarksbeite er satt til 0,045 og utløpet i sjøen til 0,03.

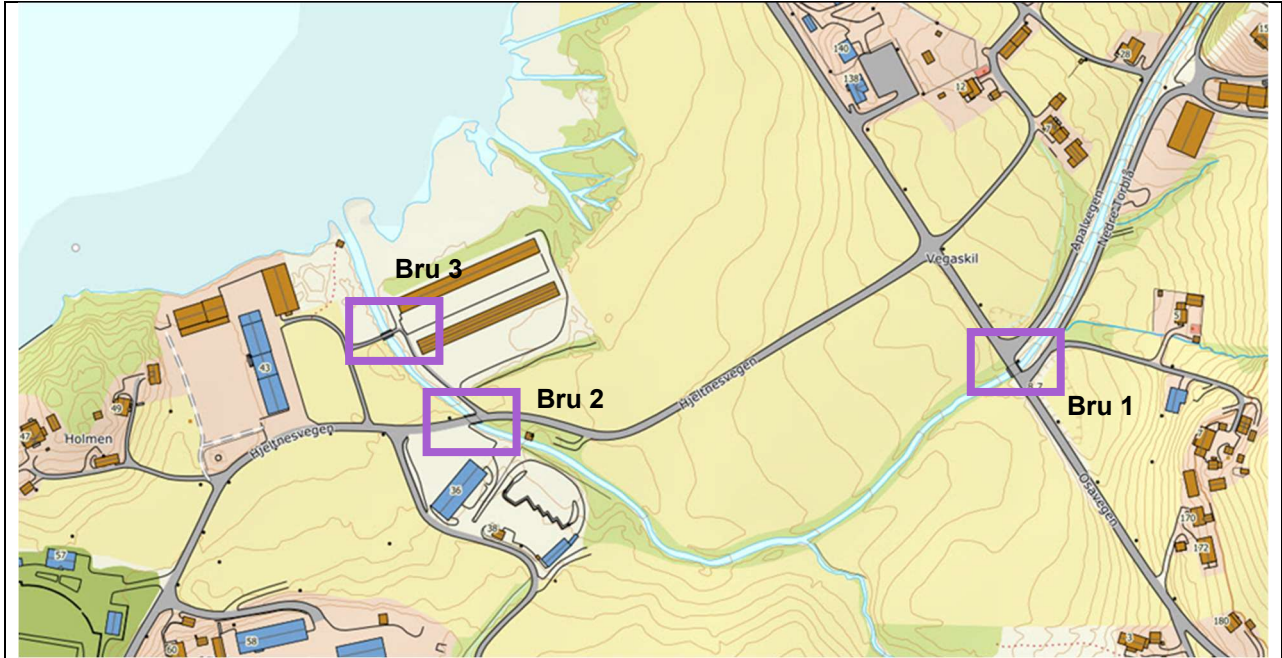
3.3 Infrastruktur i modellen

På beregningstrekningen langs Gauro er det tre bruer som krysser før utløpet i fjorden. Bru 1 på Osavegen og Bru 2 (Holmen bru) på Hjeltnesvegen er i forbindelse med fylkesveger. Bru 3 er en gangbru mellom tomtene på begge sider av Gauro; strømforsyningskablene henger under brua.

De tre bruene er målt opp av Norconsult. Innmålinger og bilder ligger vedlagt i Vedlegg 4. Bruene er markert på kart i Figur 3-2. Tabell 3-1 viser dimensjoner på bruene. Alle bruene er lagt inn i HEC-RAS modellen.

Tabell 3-1: Dimensjoner til bruene i modellen.

	Bru 1 på Osavegen, FV5374	Bru 2 (Holmen bru) på Hjeltnesvegen, FV5376	Bru 3
Bredde (m)	6,7	5,1	6,4
Overkant brudekke (m o.h.)	10,60	2,30	1,90
Underkant brudekke (m o. h.)	9,90	1,70	1,60
Elvebunn (moh.)	8,35	0,25	0,15



Figur 3-2: Oversiktskart med markering av bruer.

4 Resultater

4.1 Flom fra Gauro

Flomsonekart som viser flomutbredelse langs elva ved planområdet, ligger vedlagt (Vedlegg 5). Flomutbredelsen er vurdert for flom med gjentaksintervall på 20, 100 og 200 år samt 200 år i et fremtidig klima (200-årsflom inkludert 40 % klimapåslag).

Figur 4-1 viser oversvømt område ved 200-årsflom med 40 % klimapåslag. På enkelte delstrekninger renner elva ut av sitt naturlige løp og oversvømmer nærliggende områder. Flommen brer seg ut av elveløpet i nedre del av Gauro, og planområdet er utsatt for flom fra Gauro.



Figur 4-1: Flomutbredelse i Gauro ved planområdet for 200-årsflom med 40% klimapåslag. Planområdet er vist med rød polygon (se flomsonekart i Vedlegg 5).

Det ligger tre bruer på beregningsstrekningen. Bruene har ikke tilstrekkelig kapasitet og deler av flomvannet går over veibanen og renner i terrenget utenom elveløpet. Tabell 4-1 viser oppstrøms vannstand for 20-, 100 og 200-årsflom samt 200-årsflom med 40% klimapåslag.

Holmen bru på Hjeltnesvegen (FV5376) ligger innenfor området for regulering. Overkant brua (topp brudekke) ligger på kote 2,30 moh. (se Tabell 3-1). Flomvannstand oppnår allerede ved 20-årsflom litt over overkanten av brua (se Tabell 4-1), men veien på sidene av brua overtoppes ikke. Ved 100-årsflom og høyere

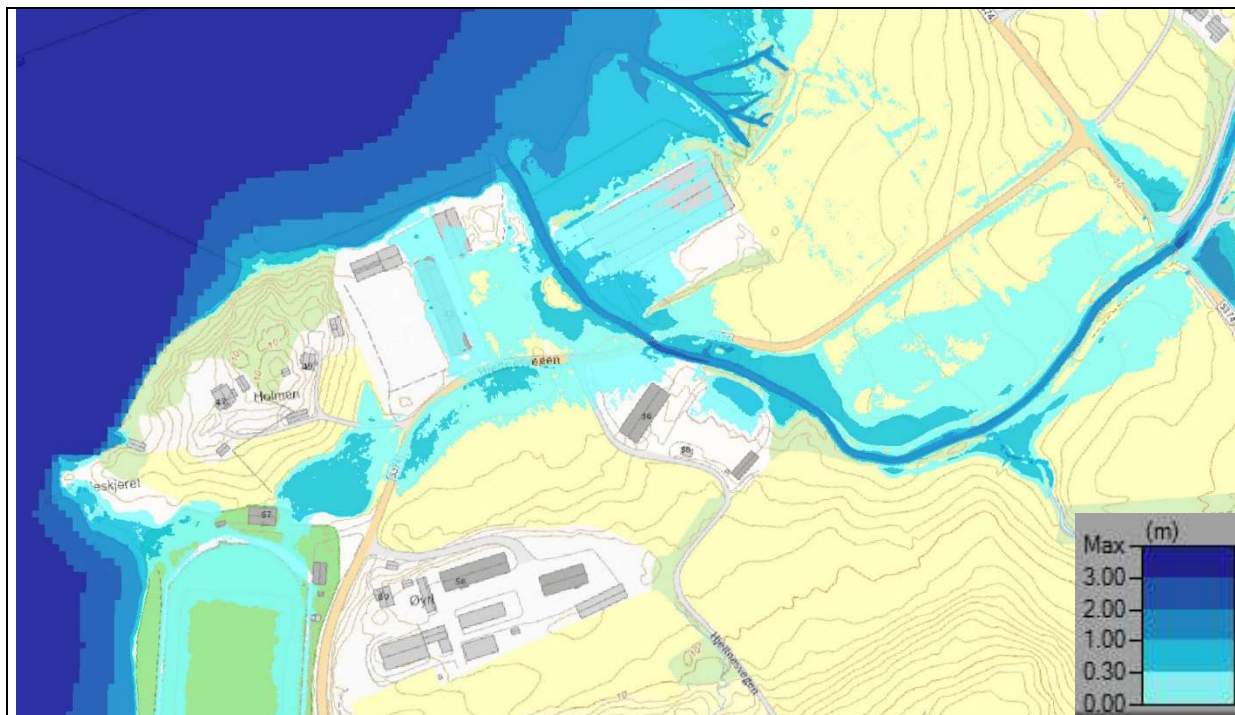
gjentaksintervall har Holmen bru ikke kapasitet til å ta unna flommen og veien vil bli oversvømt (se flomsonekart i Vedlegg 5).

Tabell 4-1: Beregnet vannstand oppstrøms bruene for ulike gjentaksintervaller.

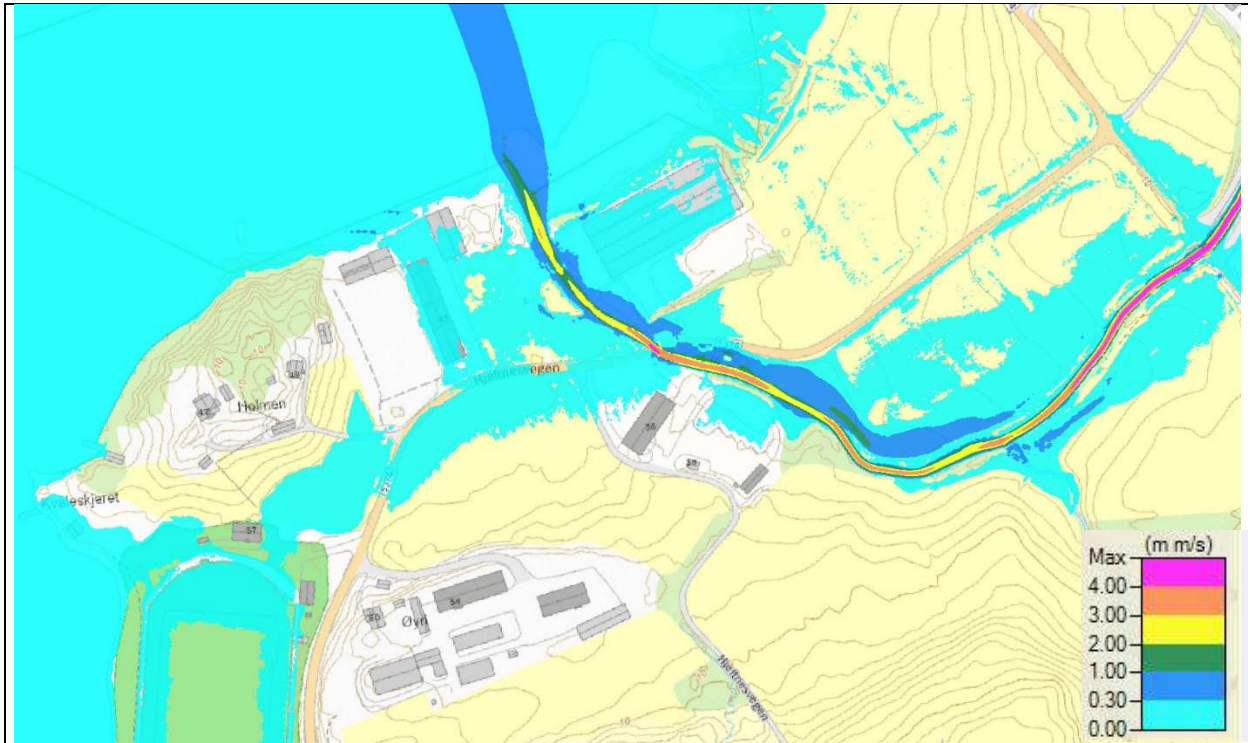
Gjentaksinterval	Vannstand oppstrøms bruene (m o.h.)		
	Bru 1	Bru 2 (Holmen bru)	Bru 3
Q ₂₀ (13,1 m ³ /s)	10,18	2,35	1,61
Q ₁₀₀ (16,2 m ³ /s)	10,44	2,51	1,73
Q ₂₀₀ (18,0 m ³ /s)	10,61	2,58	1,75
Q ₂₀₀ + 40% (25,2 m ³ /s)	10,89	2,68	1,85

Figur 4-2 viser beregnede vanndybder i Gauro ved planområdet, mens Figur 4-3 viser «dybde*hastighet» for 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag. Som vist i Figur 4-3 er dybde*hastighet for flommen stort sett relativt lav (mindre enn 0,3) for flomutbredelse i planområdet bortsett fra selve elveløpet til Gauro. I områder der «dybde*hastighet» og vanndybder er lave (< 0,3) er det liten fare for liv og helse, men det kan likevel oppstå materielle skader ved flom med mindre avbøtende tiltak er iverksatt.

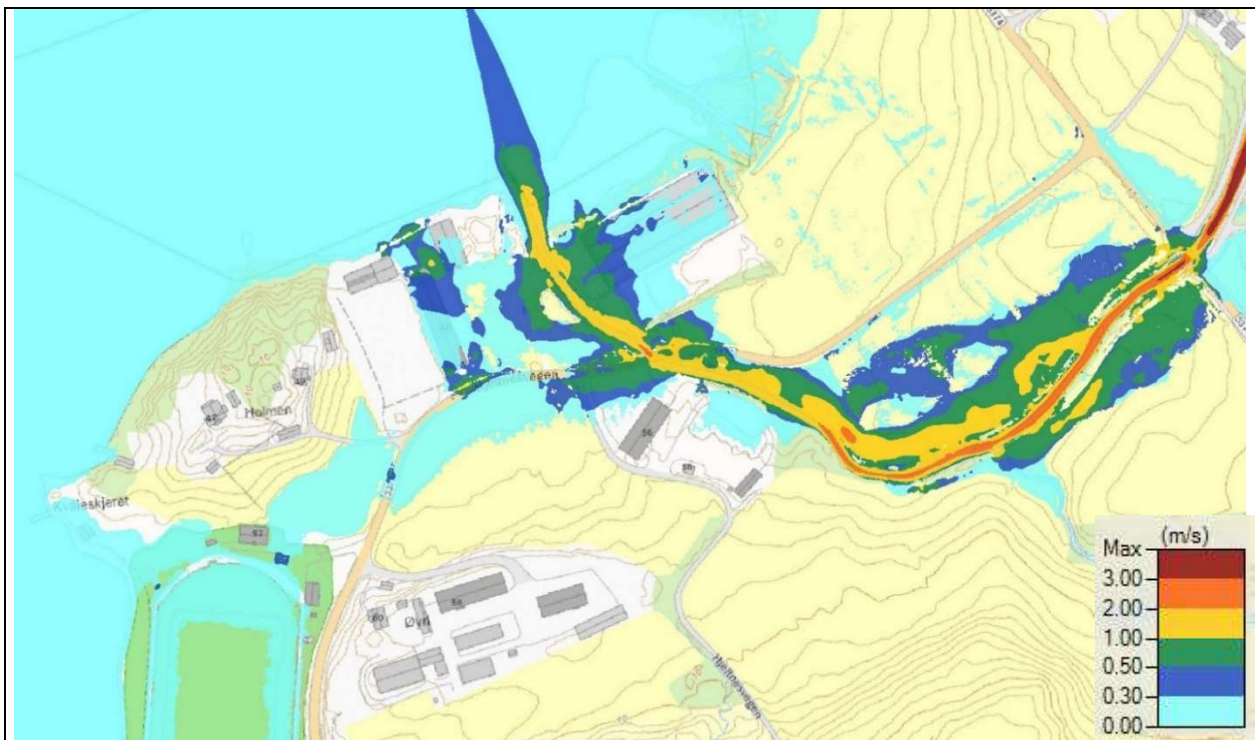
Figur 4-4 viser vannhastigheter for flomutbredelse i planområdet ved 200-årsflom med 40 % klimapåslag. Vannhastigheter varierer typisk mellom 1 og 3 m/s langs Gauro.



Figur 4-2: Vanndybde [m] i Gauro i planområdet, 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag.



Figur 4-3: Dybde*Hastighet [m*m/s] i Gaura i planområdet, 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag.



Figur 4-4: Vannhastighet [m/s] i Gaura i planområdet, 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag.

4.2 Stormflo

Figur 4-5 viser oversvømte områder ved stormflo med gjentaksintervall på 200 år med klimapåslag (sikkerhetsklasse F2 i TEK17). Som vist i figuren er planområdet utsatt for flom fra stormflo.

Dimensjonerende flomvannstand ved planområdet er bestemt av både 200-års stormflo og 200-års flomvannstand i elva i kombinasjon med 1-års stormflo. Forventet vannstand i Ulvikafjorden ved stormflo med gjentaksintervall på 200 år med klimapåslag (sikkerhetsklasse F2 i TEK17) er 1,99 m i høydesystem NN2000, basert på kartverket, <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva> (se Vedlegg 3).

Som vist i Figur 4-1 er vannstanden i Gauro ved 200-årsflom med 40% klimapåslag på 2,0 moh. ved ca. 20 m nedstrøms Holmen bru. Derfor er en 200-årsflom med 40% klimapåslag i kombinasjon med 1-års stormflo kritisk langs Gauro ovenfor dette stedet, sammenlignet med 200-års stormflo. En 200-års stormflo blir imidlertid kritisk ved Holmen langs strandsonen/sjøkanten og elveutløpet fra dette stedet til fjorden.



Figur 4-5: Kart som viser utbredelse av 200-års stormflo + klimapåslag. Hentet fra kartverkets verktøy «Se Havnivå», <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva>.

5 Følsomhet og sikkerhetsmargin

Vurdering av usikkerheter i beregninger, følsomhetsanalyse og beregning av sikkerhetspåslag som legges på flomvannstander utføres i henhold til NVEs veileder for sikkerhet mot flom [6].

5.1 Datagrunnlag

Terrengmodellen som vannlinjemodellen er basert på er laget med punktoppmåling fra 2014 registrert fra fly, supplert med Norconsults egne innmålinger fra felt. Punktoppmåling fra fly har i utgangspunktet høy nøyaktighet, men nøyaktigheten reduseres i områder med skog og der vannbyggen er stor.

Erosjon kan føre til eventuelle påfølgende løpsendringer og/eller endringer i kapasiteten til elveløpet. I denne beregningen er erosjon/sedimentering i elveløpet etter skanningstidspunktet tatt høyde for ved at det er benyttet innmålte tverrprofiler fra september 2021 til å endre terrengmodellen i elveløpet. Med mindre det er utført store endringer i terrenget siden 2014, kan terrenggrunnlaget ansees å være godt. Mer detaljert terrenggrunnlag vil kunne øke nøyaktigheten i beregningene, men eksisterende detaljeringsgrad vurderes som tilstrekkelig og det er ikke forventet at et annet grunnlag vil ha stor innvirkning på flomutbredelsen i utbyggingsområdet.

5.2 Tilstopping av bruer

I beregningene er det forutsatt at bruene er åpne (ikke tilstoppet). Eventuell tilstopping av bruene vil føre til høyere vannstand og større flomutbredelse sammenlignet med det flomsonekartet viser.

5.3 Følsomhet til Manningstall

Det er sjekket sensitivitet i den hydrauliske modellen for $\pm 0,01$ i Mannings n . Dette gir en endring i resulterende flomvannstander i Gauro ved planområdet på om lag ± 7 cm. Ut fra dette kan sensitiviteten til valg av Manningstall ventes å være liten.

5.4 Følsomhet til estimert flomvannføring

Det vil alltid være usikkerheter knyttet til beregninger av flom og flomvannstand. Flomberegningen som er utført for Gauro, er gjort med ulike beregningsmetodikker og beregnede vannføringer er deretter sammenlignet. Resultatet fra beregningene viser relativt stor forskjell i forventet vannføring, og ved valg av flomstørrelse er en konservativ tilnærming valgt.

HEC-RAS modellen er kjørt på kulminasjonsvannføring, det vil si ved en konstant vannføring i elva over flere timer. Dette kan gi et noe konservativt estimat av flomvannstanden ved planområdet. En simulering basert på et flomhydrogram kan eventuelt gi en lavere vannstand ved planområdet.

Det er kjørt simulering med 20% økning i flomvannføringen (dvs. 1,2 x 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag). Dette gir en endring i resulterende flomvannstand i Gauro ved planområdet på opp mot 10 cm.

5.5 Klassifisering av hydraulisk modell

Den hydrauliske modellen, brukt for beregningene, er vurdert til å være klasse D [6]. Det foreligger ikke kalibreringsdata for modellen og vannstander er derfor simulert basert på estimerte Manningstall. Følsomhetsanalysen viser at endringer i vannstanden er mindre enn 30 cm, men det vil alltid være noe usikkerhet i beregnet flomvannstander og oversvømt område forbundet med dette.

5.5.1 Prosentvist påslag på vannføringen

NVEs veileder for sikkerhet mot flom anbefaler et prosentvis påslag på vannføringen for å beregne et sikkerhetspåslag [6]. Flomberegningen og den hydrauliske modellen er vurdert til å være i hhv. klasse 3 og klasse D. Det er derfor kjørt en simulering med 40% økning i flomvannføringen (dvs. 1,4 x 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag). Dette gir en endring i resulterende flomvannstand i Gauro ved planområdet på opp mot 20 cm.

5.6 Anbefalt sikkerhetsmargin

Sikkerhetspåslag som omtalt i kapittel 5.5.1 bør ansees som et minimumspåslag. Alt infrastruktur som kan bli skadet av flom bør sikres til minst dette nivået [6]. Det foreslås at det benyttes beregnede flomvannstander inkl. sikkerhetspåslag for arealplanlegging. Bygninger/infrastruktur bør ligge minst på dette nivået (flomvannstander inkl. sikkerhetspåslag), eventuelt høyere i området nærmest vassdraget. Terrengendringer og øvrig infrastruktur bør utformes slik at flomvannstander i området ikke øker.

6 Referanser

- [1] NVE (2022). Veileder for flomberegninger. NVE-rapport 1-2022.
- [2] NVE (2011). Retningslinjer for flomberegninger. NVE-rapport 4-2011.
- [3] NVE (2015). Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE-rapport 7-2015
- [4] NVE (2016). Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE-rapport 81-2016.
- [5] Klimaservicesenter (2022). Klimaprofil Hordaland
<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hordaland>
- [6] NVE (2022). Sikkerhet mot flom. Utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak.
https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_03.pdf
- [7] <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>

7 Vedlegg

- Vedlegg 1: Nedbørfeltparametere, hentet fra NEVINA
- Vedlegg 2: Flomfrekvenskurver
- Vedlegg 3: Forventet havnivå ved Ulvikafjorden fra Kartverket
- Vedlegg 4: Innmålinger i vassdraget
- Vedlegg 5: Flomsonekart

Vedlegg 1: Nedbørfeltparametere, hentet fra NEVINA

Nedbørfeltparametere

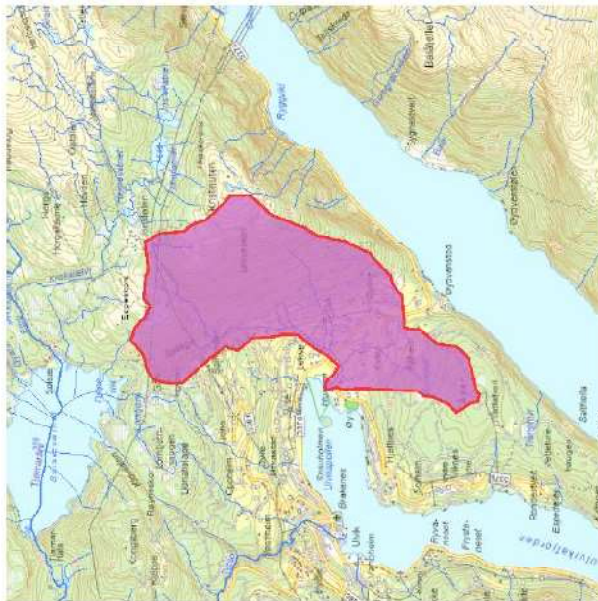
Vassdragsnr.: 051.31
 Kommune.: Ulvik
 Fylke.: Vestland
 Vassdrag.: KYSTFELT

Feltparametere	
Areal (A)	5,7 km ²
Effektivt sjø (A _{SE})	0 %
Elveleingde (E _L)	41 km
Elvegradient (E _G)	186,4 m/km
Elvegradient ₁₀₀₀ (E _{G,1000})	200,6 m/km
Helning	19,7 ‰
Dreneringstetthet (D ₋)	1,6 km ⁻¹
Feltleingde (F _L)	28 km

Arealklasse	
Rra (A _{RRT})	0 %
Dyrket: mark (A _{JGRD})	19,3 %
Myr (A _{MYP})	1,2 %
Leire (A _{LIRE})	1,1 %
Skog (A _{SKOG})	70,4 %
Sjø (A _{SJO})	0 %
Straufjell (A _{ST})	5,6 %
Urban (A _U)	0 %
Uklassifisert areal (A _{REST})	3,5 %

Hypsografisk kurve	
Høyde _{MIN}	1 m
Høyde ₁₀	53 m
Høyde ₂₀	105 m
Høyde ₃₀	163 m
Høyde ₄₀	232 m
Høyde ₅₀	305 m
Høyde ₆₀	408 m
Høyde ₇₀	513 m
Høyde ₈₀	607 m
Høyde ₉₀	722 m
Høyde _{MAX}	886 m

Klima- /hydrologiske parametere	
Avrenning 1961-90 (Q ₁)	26,4 l/s*km ²
Sommerneibør	470 mm
Vinterneibør	930 mm
Årsleirtemperatur	3,9 °C
Sommertemperatur	9,7 °C
Vintertemperatur	-0,3 °C

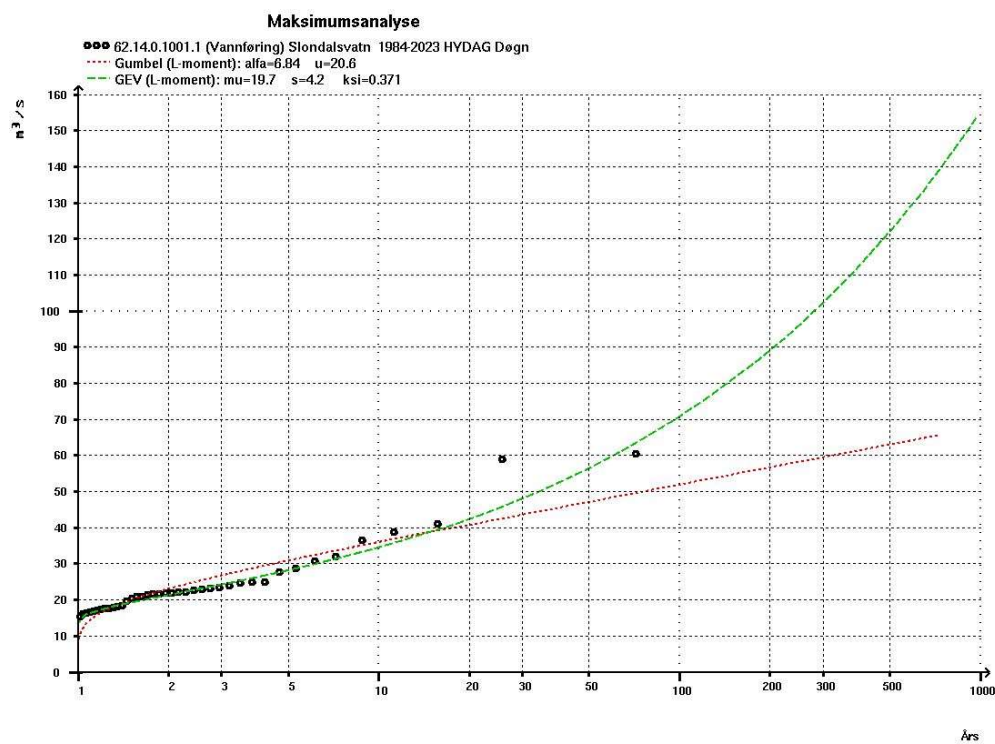
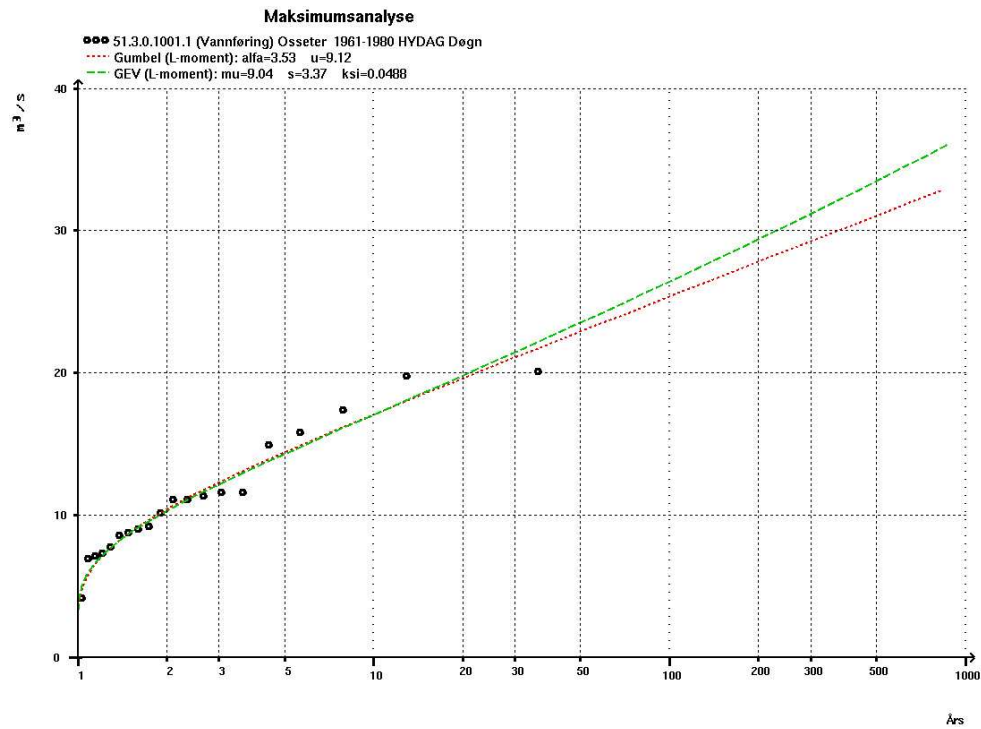


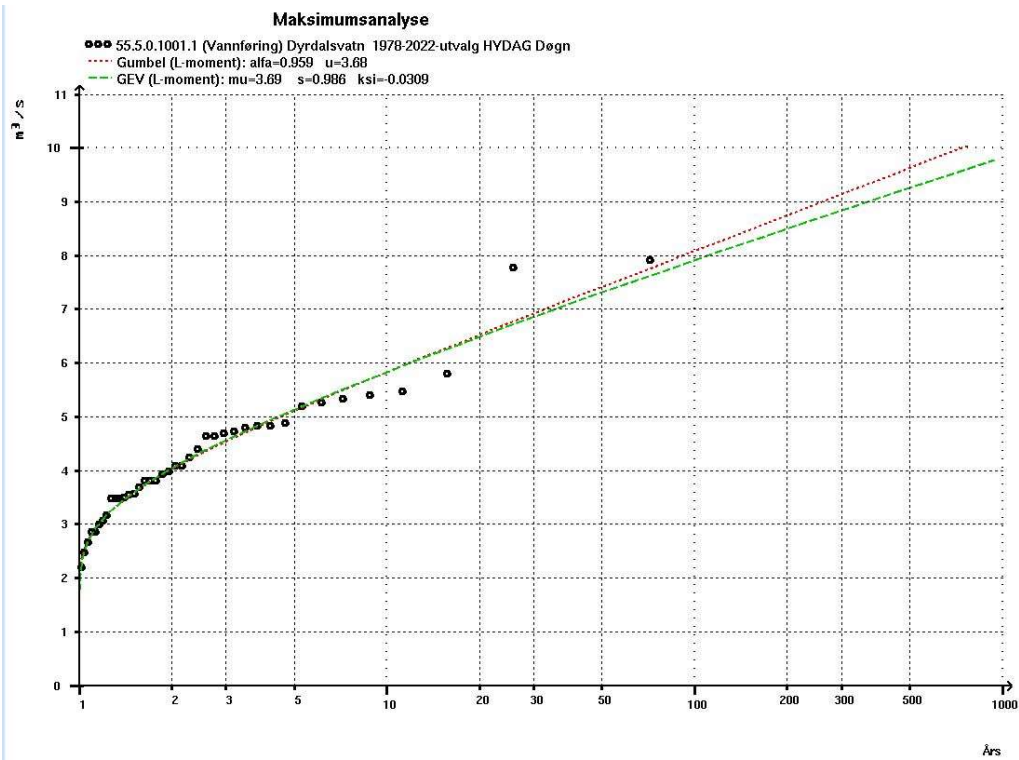
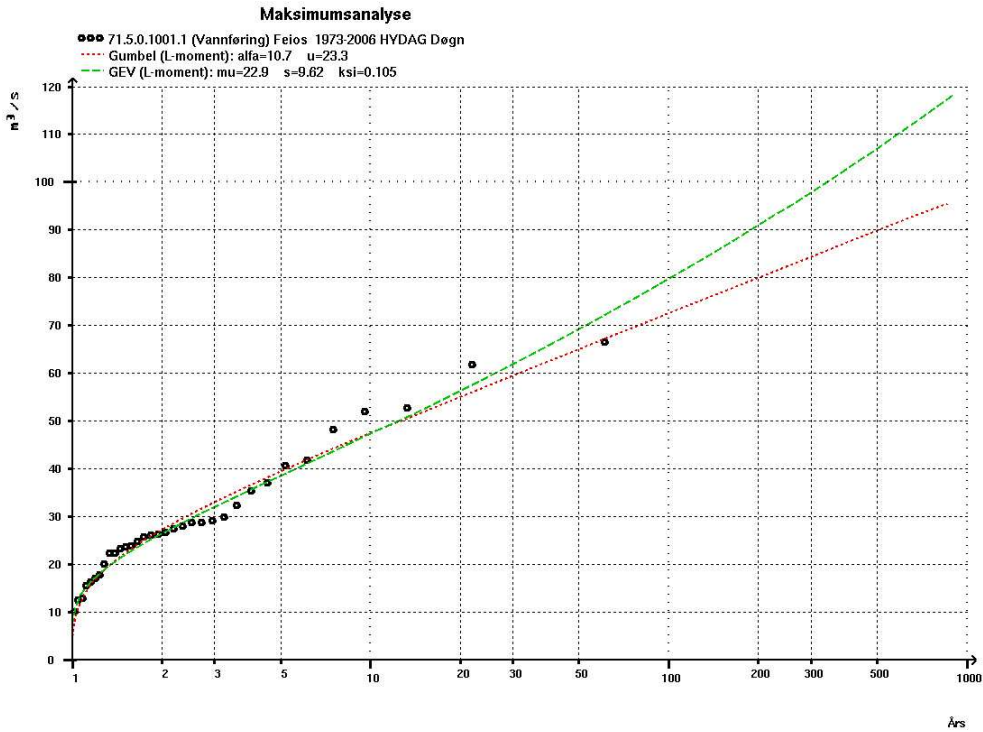
Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N
 Beregn.punkt: 59270E 6741951
 N

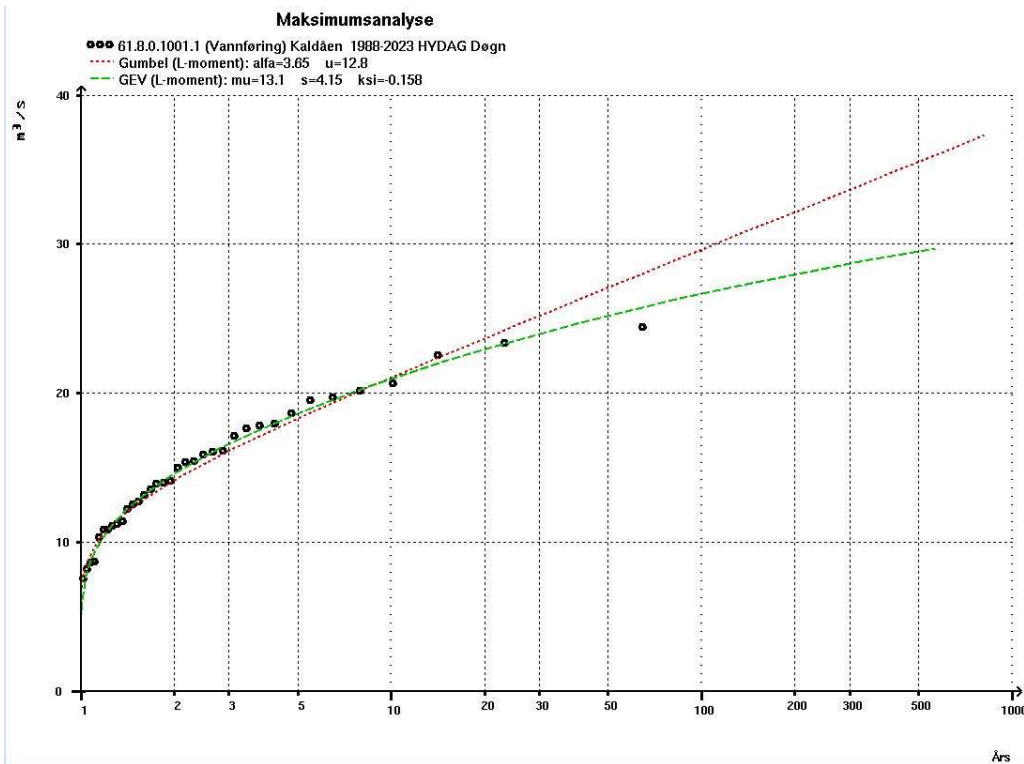
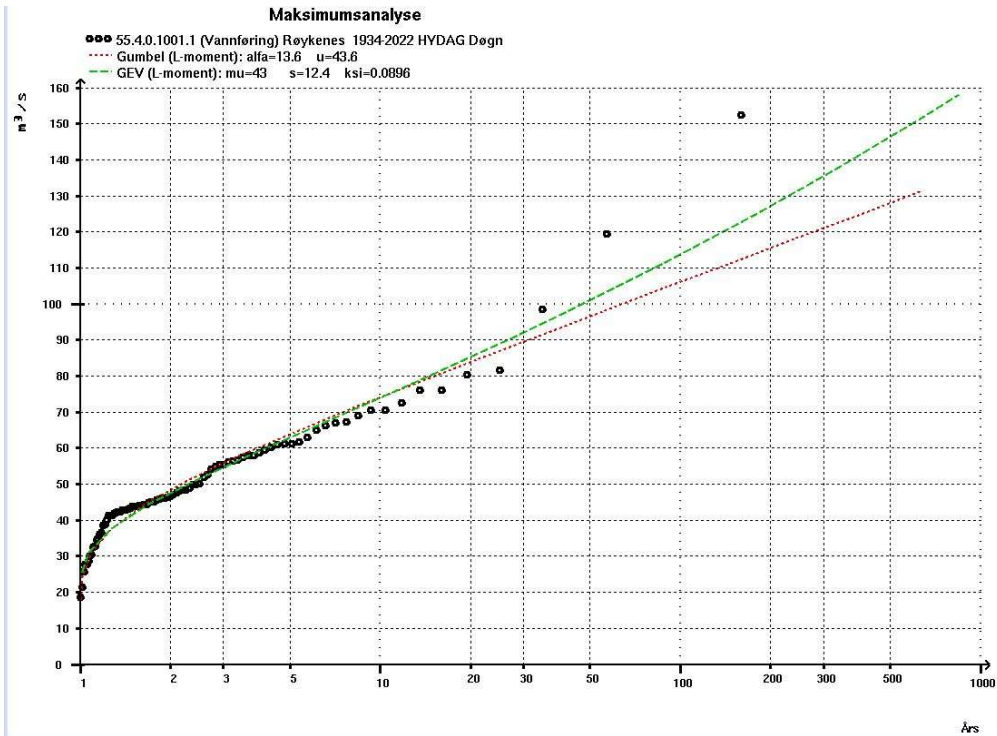


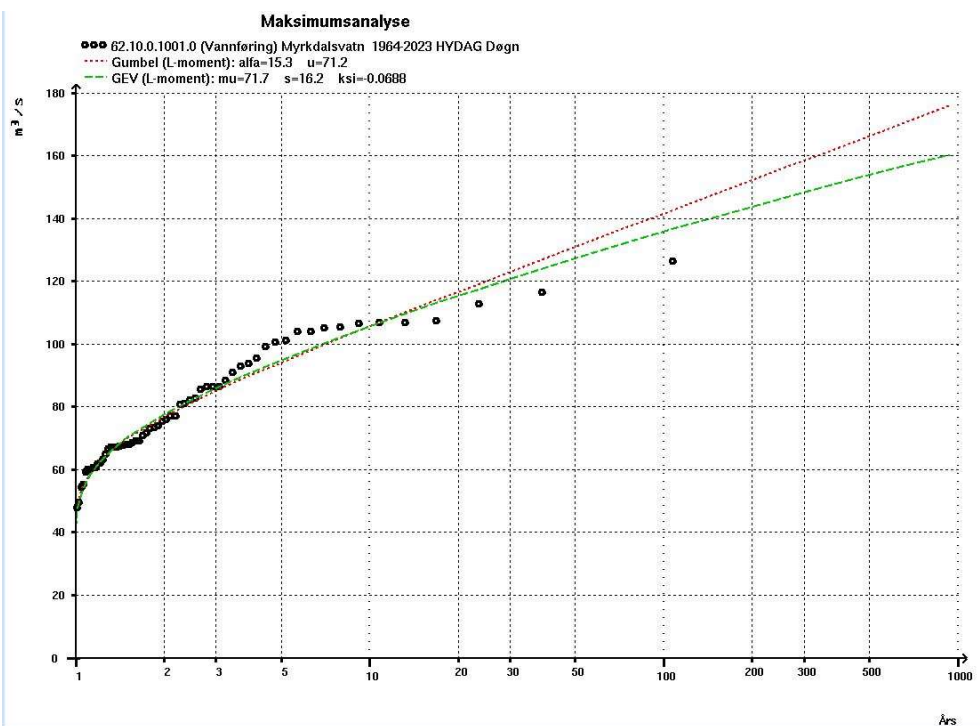
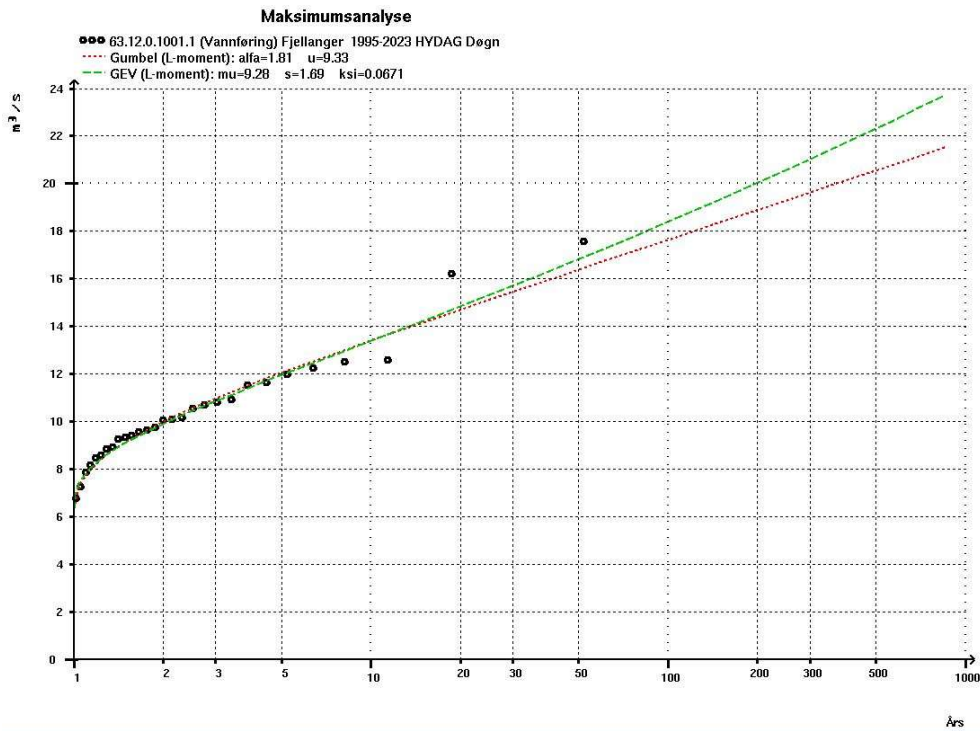
Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

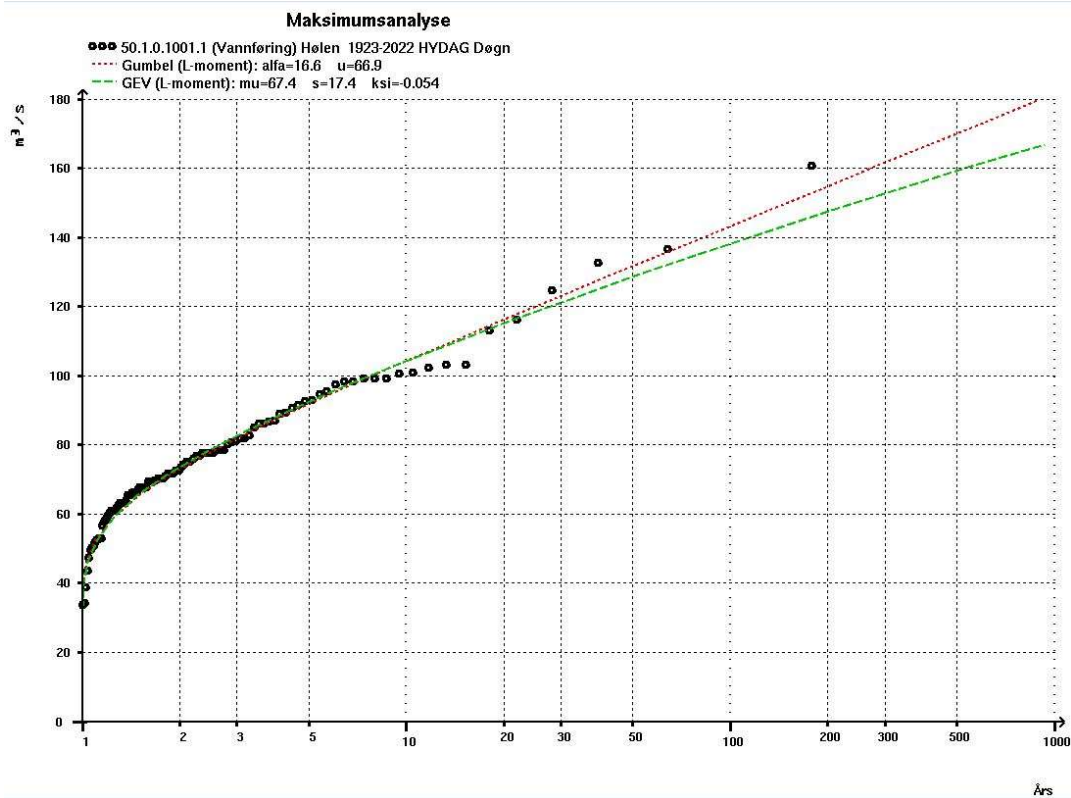
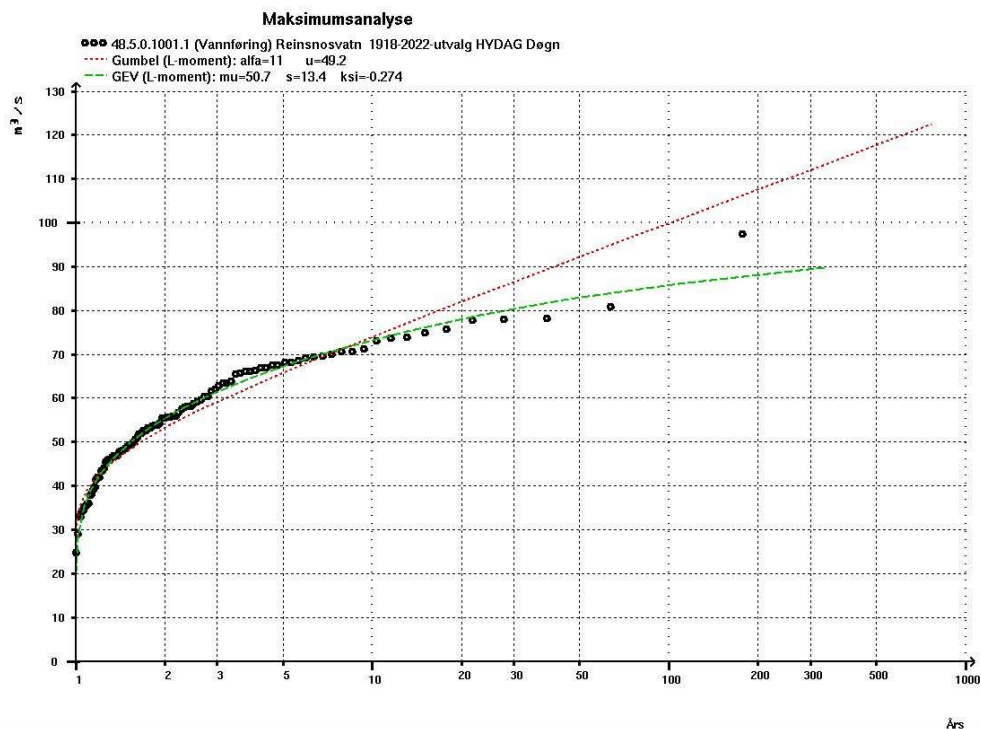
Vedlegg 2: Flomfrekvenskurver



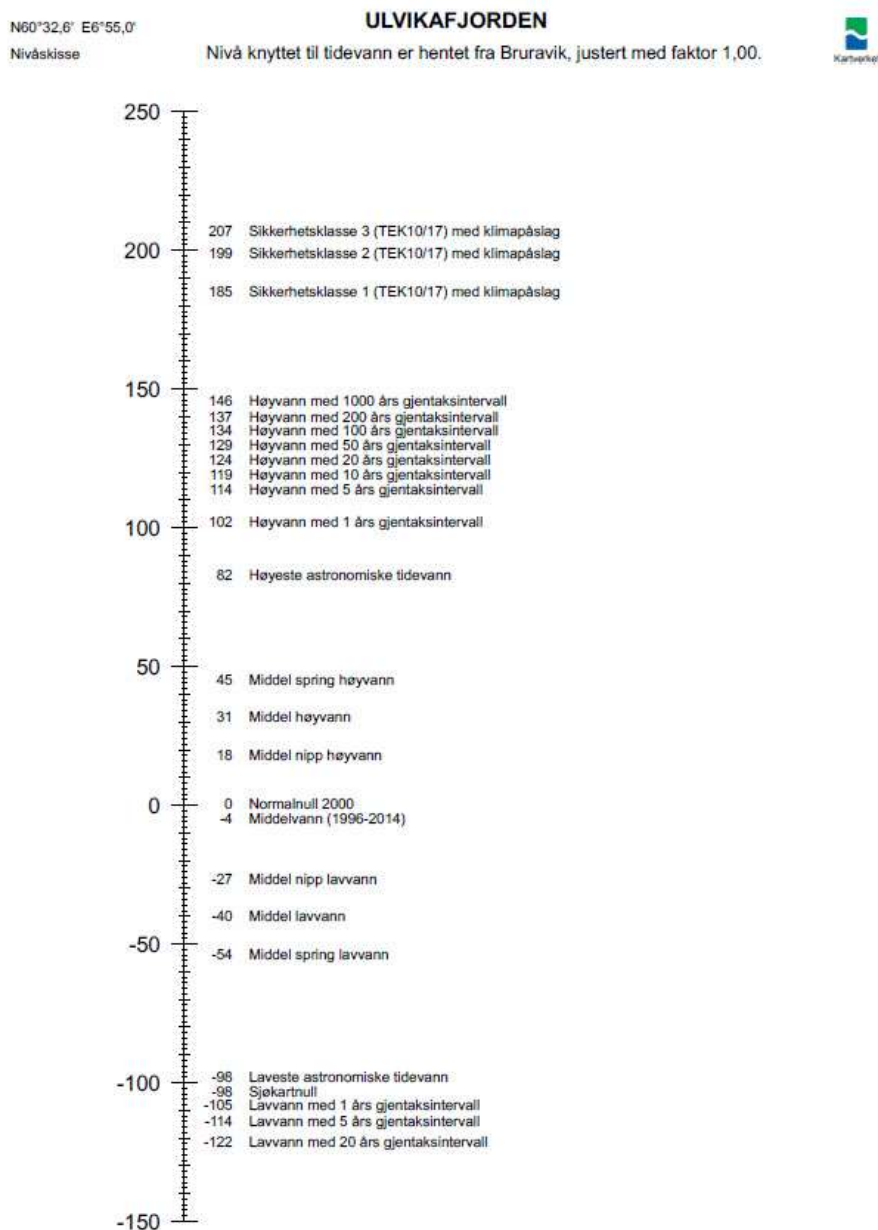









Vedlegg 3: Forventet havnivå ved Ulvikafjorden fra Kartverket



Heyder er i cm over Normalnull 2000 som er nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000. Datagrunnlag sist endret: 17. august 2021. Lastet ned: 29. februar 2024.


Kartverket

Framskrivinger for framtidig havnivå

29. februar 2024

Tall som presenteres her er basert på rapporten «Sea Level Change for Norway - Past and Present Observations and Projections to 2100», bestilt av Miljødirektoratet. Rapporten inneholder de offisielle tallene.

Hvordan havnivåendringen blir, avhenger av hvor stort utslipp av klimagasser vi kommer til å ha fremover. Ulike utslippsscenarioer for klimagasser er beskrevet i den femte hovedrapporten til FNs klimapanel (IPCC), og tre av disse er vurdert her.

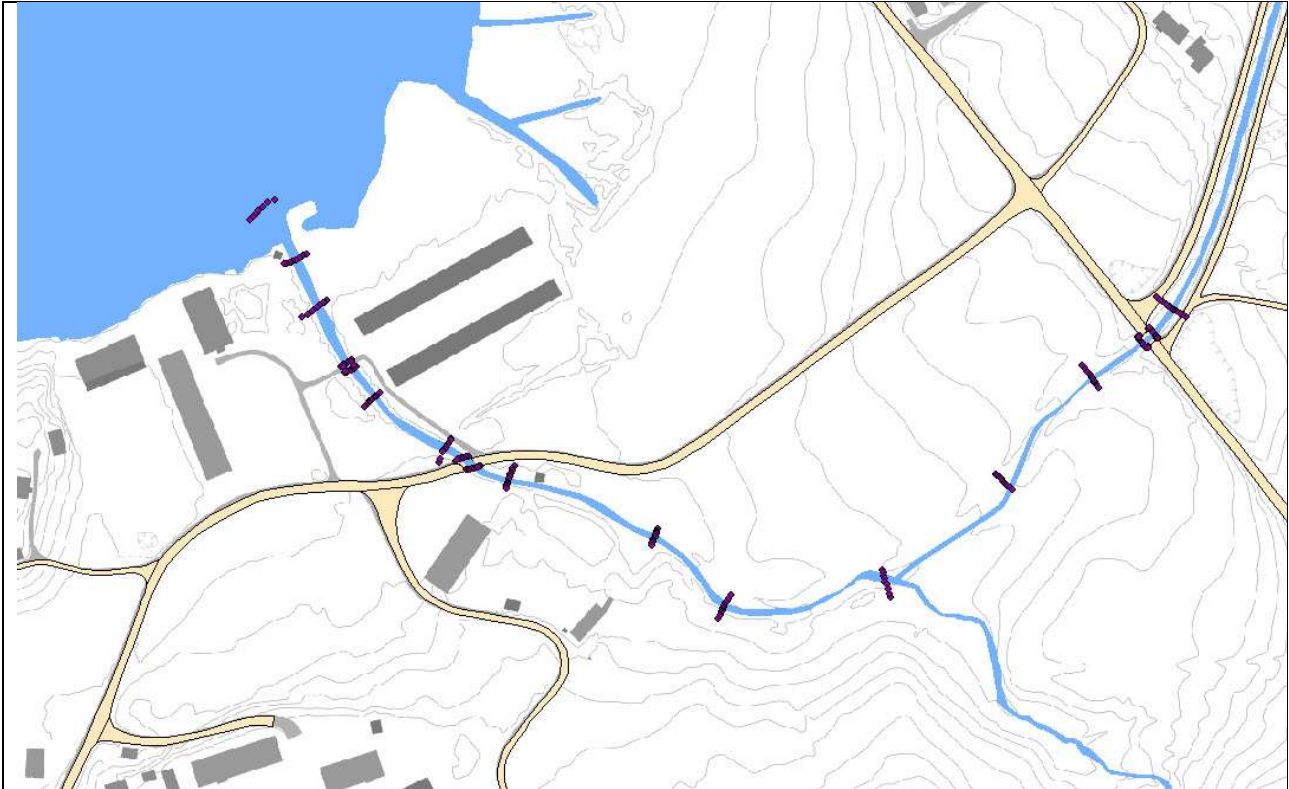
- RCP2.6 innebærer drastiske utslippskutt allerede fra 2020
- RCP4.5 innebærer små endringer av utslipp fram til 2050 og deretter utslippskutt
- RCP8.5 innebærer at utslippene av klimagasser fortsetter å øke i dagens tempo.

Tallene gjelder for Ulvik herad. Utgangspunktet for modellene er Ulvik.

	2041-2060	2081-2100	2100
Lavt utslipp (RCP2.6)	10 cm (-2 – 22 cm)	12 cm (-7 – 31 cm)	12 cm (-9 – 33 cm)
Redusert utslipp (RCP4.5)	10 cm (-1 – 21 cm)	20 cm (-1 – 41 cm)	22 cm (-1 – 44 cm)
Høyt utslipp (RCP8.5)	14 cm (1 – 27 cm)	37 cm (12 – 61 cm)	41 cm (13 – 69 cm)

Tabellen presenterer framskrivinger for framtidig havnivå for årene fram til 2100 sammenlignet med perioden 1996-2005. Tabellen viser framskrivingenes middelverdier samt nedre og øvre grense for det sannsynlige intervallet for havnivåendringene.

Vedlegg 4: Innmålinger i vassdraget



Figur V-1: Oversikt innmålinger.

Bilder

Bru-1 Oppstrøms



Bru-1 Nedstrøms



Bru-2 Oppstrøms



Bru-2 Nedstrøms



Bru-3 Oppstrøms



Bru-3 Nedstrøms



Utløp til Ulvikafjorden



Vedlegg 5: Flomsonekart

1. Flomsonekart 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag
2. Flomsonekart 200-årsflom uten klimapåslag
3. Flomsonekart 100-årsflom uten klimapåslag
4. Flomsonekart 20-årsflom uten klimapåslag