

Fornyning Massvåg bru

Rapport hydrologi

Foto: Trøndelag Fylkeskommune.



Revisjonshistorikk

Rev:	Dato:	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Kontrollert av
00	25.05.2022	Utarbeidelse av rapport	NOSKLA (hydraulikk) NONAAD (hydrologi)	NONAAD (hydraulikk) NOSKLA (hydrologi)
01	01.11.2022	Inkludere strømningsforhold ved tidevann og miljøpåvirkninger. Erosjonssikring i rør er korrigert pga. feil beregnet vannhastighet.	NOSKLA (hydraulikk) NOOYVIA (miljø)	NOSKLA
02	14.02.2023	Inkludere nytt alternativ 5 for å ivareta strømningsforhold som dagens situasjon.	NOSKLA (hydraulikk) NOOYVIA (miljø)	NOSKLA

Lars Skeie

Digitally signed by Lars

Skeie

Date: 2023.02.14

09:26:53 +01'00'

Digitally signed by

Øyvind Lorvik Arnekleiv

Øyvind Lorvik Arnekleiv

Date: 2023.02.14

09:27:44 +01'00'

Sweco Norge AS

Prosjekt:

Prosjektnummer:

Kunde:

Rev:

Dato:

Opprettet av:

Kontrollert av

Godkjent av

Dokumentreferanse

Organisasjonsnr. 967032271

Hydrologi fornying Massvåg bru

10229861

Trøndelag Fylkeskommune

02

14.02.2023

Lars Skeie, Øyvind Lorvik Arnekleiv

Nadeem Ahmad, Lars Skeie

Lars Skeie

p:\32513\10229861_hydrologi_fornyng_massvåg_bru\000\06 dokumenter\03 rapporter og notater\2023.02.14 rapport hydrologi - rev02\10229861-hyd-01_hydrologirapport massvåg bru_rev02_14_02_2023.docx

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	6
2	Myndighetskrav, regelverk og retningslinjer	8
3	Flomberegninger	9
3.1	Metode	9
3.2	Flomfrekvensanalyse	9
3.3	Vurdering av målestasjoner	10
3.4	Beregning av middelflom og kulminasjonsverdi	10
3.5	Beregning av flomverdier ved flomfrekvensanalyse og sammenligning med RFFA-NIFA.....	11
3.6	Klimapåslag og usikkerhetspåslag.....	13
3.7	Oppsummering.....	14
3.8	Klassifisering av flomberegningen	14
4	Stormflo	15
5	Bølgeberegninger	16
6	Hydrauliske beregninger	17
6.1	Hydraulisk modell.....	17
6.2	Resultater	30
7	Erosjonssikring	41
7.1	Inn- og utløp av kulvert.....	41
7.2	Erosjonssikkert bunnsstrat inne i kulvert for alternativ 4 og 5.....	43
8	Miljøpåvirkninger	44
8.1	Fiskevandring.....	44
8.2	Påvirkning for vågen og rundt kulverten	44
8.3	Påvirkning for hubro	44
9	Oppsummering	46
10	Referanser.....	50
11	Vedlegg	51

Sammendrag

Trøndelag Fylkeskommune skal skifte ut konstruksjonen til Måssvåg bru på Frøya på grunn av konstruksjonens dårlige tilstand. Det er vurdert flere alternative tverrsnitt som vil tilfredsstillende krav til håndtering av flom og stormflo med gjentaksintervall på 200 år iht. vegnormalene N200 og N400. I tillegg er det vurdert nødvendig rørtverrsnitt for å håndtere en 10-årshendelse (flom og stormflo) midlertidig under anleggsperioden.

Flomberegning for Massvåg bru er basert på flomfrekvensanalyse fra målestasjon Valen (Laksevatnet) (VM: 117.4.0) som ligger på Hitra. Det er beregnet flomverdier for middelsflom til 200-årsflom, samt med 20 % klimafaktor og 10 % usikkerhetsfaktor. Dimensjonerende 200-årsflom er beregnet til 5,9 m³/s.

Dagens bru har ikke tilstrekkelig fri høyde for å tilfredsstillende krav til fribord på 0,5 m iht. N400. Det er vurdert et rektangulært tverrsnitt som er smalere og høyere, som gir tilstrekkelige kapasitet og fribord iht. N400.

Dagens åpning er bred og det vil være mulig å redusere bredden fra et hydraulisk perspektiv slik at gjennomløpet blir definert som en kulvert og ikke bru. Det er beregnet et alternativ med en smal rektangulær kulvert og andre ved bruk av to rørkulverter, som begge tilfredsstillende krav til vegnormal N200.

For midlertidig situasjon er det beregnet behov for en rørkulvert med diameter 2,4 m for å håndtere en flom- og stormflo med 10-års gjentaksintervall.

Det vil være behov for erosjonssikring av utløpsområdet av kulverten på ca. 8 x 10 m som følge av store vannhastigheter over og nedstrøms dagens terskel ved utløpet av kulverten. Det er beregnet et behov for en steinstørrelse på minst D₅₀ lik 0,3 m. Det anbefales å sikre et område på ca. 5 x 5 m oppstrøms innløpet i tillegg.

Det er gjort en beregning av endrete strømningsforhold gjennom kulverten for dagens kulvert og for alternativ 4 og 5. Hastigheten gjennom røret vil øke som følge av redusert tverrsnitt, men hastighetene anses som akseptable for flomsituasjon da de er antatt å være i korte perioder og for normale situasjoner vil ikke økningen i vannhastighet gi en fare for erosjon. For alternativ 4 vil total vannføring og vannvolum som gå inn/ut av vågen reduseres. For et normalt døgn er det en reduksjon på ca. 20 % av vann som går inn/ut av vågen. For alternativ 5 vil det være minimale endringer i gjennomstrømning (reduksjon på 1 % inn/ut), og forholdene i Måssvågen anses i minimal grad som påvirket.

Fiskevandring gjennom kulverten anses som opprettholdt ved at dagens nivå på bunn gjennomløp beholdes. Da vil fisken kunne vandre gjennom ved middels og høy vannstand i havet, og kanskje ved lavvann hvis den kommer forbi terskelen ved utløpet.

Det forventes kun mindre endringer for marine organismer for alternativ 4 som følge av endrete strømningsforhold (økt vannhastigheter og senere inn-/utstrømning i vågen) i/rundt kulverten, men det er noe usikkerheter knyttet til dette. For alternativ 5 forventes det ingen endring fra dagens situasjon. Det anbefales å gå videre med alternativ 5 for å tilstrebe dagens situasjon i Massvågen.

Det finnes en hekkelokalitet for hubro med viss nærhet, men utenfor anbefalt hensynsavstand. Ved gjennomføring av alternativ 5 vil næringsgrunnlaget for

hubro i vågen forbli lik dagens situasjon, mens påvirkning fra alternativ 4 er mer usikkert.

Det anbefales at anleggsarbeid (hvis aktuelt innenfor hekkeperioden for hubro som er mars–august) ikke starter før det blir lyst om morgenen og avsluttes før det blir halvmørkt på kvelden.

1 Innledning

Trøndelag Fylkeskommune skal skifte ut dagens bru over Massvågen, Fv714, på Frøya som følge av dårlig tilstand. Figur 1-1 viser oversiktsbilde av tiltakets plassering. Figur 1-2 og Figur 1-3 viser dagens bru ved henholdsvis inn- og utløp.

Sweco har blitt engasjert for å gjøre en flomberegning for vassdraget, beregne nødvendig strømmingstverrsnitt for en flom eller stormflo med gjentaksintervall på 200 år og vurdere behov for erosjonssikring.



Figur 1-1. Oversiktsbilde over tiltaksområde. Rød sirkel viser plassering av Massvåg bru. Kilde: Norgeskart.



Figur 1-2. Innløp til bru, vest for veien. Bilde: Trøndelag Fylkeskommune.



Figur 1-3. Utløp til bru, øst for veien. Ytterst ligger den eldste delen i mur og lenger inn den nyere delen i betong. Bilde: Trøndelag Fylkeskommune.

2 Myndighetskrav, regelverk og retningslinjer

Under er det gitt en kort oppsummering av følge myndighetskrav, regelverk og retningslinjer som er lagt til grunn for vurderingene som er gjort.

Myndighetskrav

Tiltak i vassdrag og sjøområder kan falle inn under flere lover og forskrifter som bla. Vannressursloven og Naturmangfoldloven, og skal behandles av relevante myndigheter, som Statsforvalter, Fylkeskommune, Norges vassdrags- og energidirektorat, Miljødirektoratet, kommune.

Regelverk

Vegnormal N400 Bruprosjektering er gjeldende for bruer og kulverter med en bredde på 2,5 m eller større. Det skal være minst 0,5 m fri klaring mellom dimensjonerende flomvannstand og underkant brudekke (SVV, 2022).

Vegnormal N200 Veibygging er gjeldende for kulverter med en bredde mindre enn 2,5 m. Det er bla. krav til at kulverter skal dimensjoneres med en gjentetting på 1/3 av kulvertens høyde (SVV, 2022).

Retningslinjer

Håndbok V240 Vannhåndtering gir veiledning til flomberegninger og hydrauliske beregninger.

NVE Veileder nr. 1/2022, Veileder for flomberegninger, gir nyeste anbefalinger til hvordan flomberegninger skal gjennomføres.

3 Flomberegninger

3.1 Metode

Det er beregnet 200-årsflom i henhold til Vegnormal N200 (SVV, 2021). Metoden Flomfrekvensanalyse (FFA) ble benyttet for flomberegningen, og resultatene er sammenliknet med beregninger basert på NEVINA.

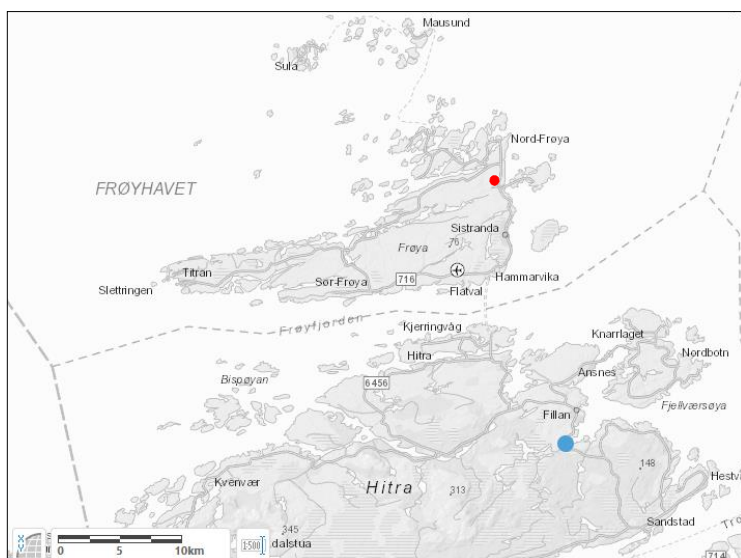
3.2 Flomfrekvensanalyse

Flomfrekvensanalyse ble utført ved bruk av NVEs ekstremverdianalyseprogram i Hydra II. GEV (General Extreme Value, L-moment)-fordeling ble benyttet ved flomfrekvensanalyse av måleserien. Det er anbefalt bruk av 3-parameterfordeling for lange tidsserier (> 50 år), og 2-parameterfordeling Gumbel for kortere tidsserier (25-50 år). Fordelingen tar utgangspunkt i vannføringsdata samlet inn gjennom hele perioden stasjonen har vært aktiv (Glad, et al., 2022).

Valen (Laksevatnet) (117.4.0) målestasjon er vurdert med hensyn til representativitet for nedbørfeltet til Massvåg (Tabell 3-1). Nedbørfeltene og feltkarakteristika til nedbørfeltene ble hentet fra NVEs Nedbørfelt-Vannføring-Indeks-Analyse (NEVINA) (www.nevina.nve.no) og fra NVE Seriekart for å velge hydrologiske tidsserier til analysebruk (www.seriekart.nve.no). Figur 3-1 viser plassering av valg målestasjon for flomfrekvensanalyse.

Tabell 3-1. Vurderte målestasjoner og dataserier for Massvåg.

Stasjonsnr	Stasjonsnavn	Obs. periode	Antall år	Regulering
117.4.0	Valen (Laksevatnet)	1934-2021	87	Uregulert



Figur 3-1. Plassering av målestasjon stasjoner valgt for FFA med bruk av Hydra II. Utklipp fra NVE atlas. Blått punkt: målestasjon 117.4 Valen og rødt punkt: Massvåg bru

3.3 Vurdering av målestasjoner

Målestasjonene ble vurdert med hensyn til representativitet gjennom å sammenligne feltegenskaper. Nedbørfelt til Massvåg er vurdert med NEVINA og Scalgo. Nevina gir nedbørfelt på 2,6 km² og SCALGO gir nedbørfelt på 2,9 km². Nedbørfeltet til Massvåg på 2,9 km² er valgt etter visuell inspeksjon av de to feltene. Effektiv sjøprosent ved Massvåg er 5,6 % og normalavrenning er 24,1 l/s*km². Se feltkarakteristikk i vedlegg 1.

Valen (Laksevatnet) (117.4.0) vannmerke er valgt som mest representativ målestasjon for Massvåg. Målestasjonen ligger omtrent 20 km sør for Massvågen på nabøya Hitra. Vannmerket Valen en lignende effektiv sjøprosent på 4,8 % og normal avrenning på 29,2 l/s*km² (vedlegg 2 og Tabell 3-2). Andre feltkarakteristika som myrprosent, andel elvegradient, innsjø, og snaufjell er også ganske like mellom Massvåg og Valen (117.4.0). I tillegg har Valen (117.4.0) vært en aktiv vannmerkestasjon i mer enn 50 års og kvaliteten på vannføringsmåling er god. Valen (117.4.0) ble derfor vurdert å være sammenlignbar for vannføring ved Massvåg.

Tabell 3-2. Feltegenskaper for vurdering av målestasjoner for Massvåg.

Stasjonsnavn	A	A _{SE}	qn	Myr	Skog	Sjø	Medianhøyde
	km ²	(%)	l/s*km ²	(%)	(%)	(%)	(m)
117.4 Valen (Laksevatnet)	39	4,8	29,2	27,7	9	10	77
Massvåg	2,9	5,6	24,1	17,9	8,2	10,9	26

3.4 Beregning av middelflom og kulminasjonsverdi

Middelflom er definert som gjennomsnittet av høyeste vannføring hvert år i en lang årrekke, og har et gjentaksintervall på 2,13 årsmaks. Døgnmiddelverdier ved de representative vannmerkene for Massvåg (117.4 Valen) er presentert i Tabell 3-3. Beregnet års-, høst- og vårfloam er sammenlignet, og den største verdien er benyttet videre. Årsfloam er den største for vurdert målestasjon. Beregnede maksimum døgnmiddelfloam for vannmerkene er gitt i Tabell 3-4.

Tabell 3-3. Beregnede døgnfloamverdier ved de representative vannmerkene for Massvåg. Verdier med uthevet skrift er benyttet videre.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	Q _M , døgnmiddelverdier (m ³ /s)		
		Årsfloam	Høstfloam	Vårfloam
117.4.0	Valen	11	7,3	6,6

Tabell 3-4. Beregnede døgnflomverdier for de representative vannmerkene og for nedbørfeltene ved Massvåg.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn/nedbørfelt	Areal	Q _M -døgnmiddelverdier	
		km ²	m ³ /s	l/s/km ²
117.4.0	Valen	39	11	282
	Massvåg	2,9	0,8	282

Tabell 3-5 viser beregning av kulminasjonsverdier for middelflommen som er utført basert på forholdstall eller kulminasjonsfaktor ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$). Det er benyttet formelverk og erfaringstall fra NVE retningslinjer for flomberegninger (Midttømme, Petterson, Nøtsund, Hisdal, & Sivertsgård, 2011) og RFFA-2018 for forholdstallene. Valg av forholdstall ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) er gitt i Tabell 3-5.

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{SE}^{0,5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{SE}^{0,5}$$

Tabell 3-5. Valg av forholdstall ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) for de representative vannmerkene og de aktuelle nedbørfeltene.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	Areal	A _{SE}	Q _{mom} /Q _{døgn} (-)			
		(km ²)	(%)	Vår-flom	Høst-flom	Årsflom*	RFFA-2018
117.4.0	Valen	39	4,8	1,18	1,24	1,07	1,06
	Frøya	2,9	5,6	1,35	1,52		1,13

* $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ fra erfaringstall (Midttømme, Petterson, Nøtsund, Hisdal, & Sivertsgård, 2011). Det finnes ikke tall for de representative vannmerkene og de aktuelle nedbørfeltene ved Massvåg.

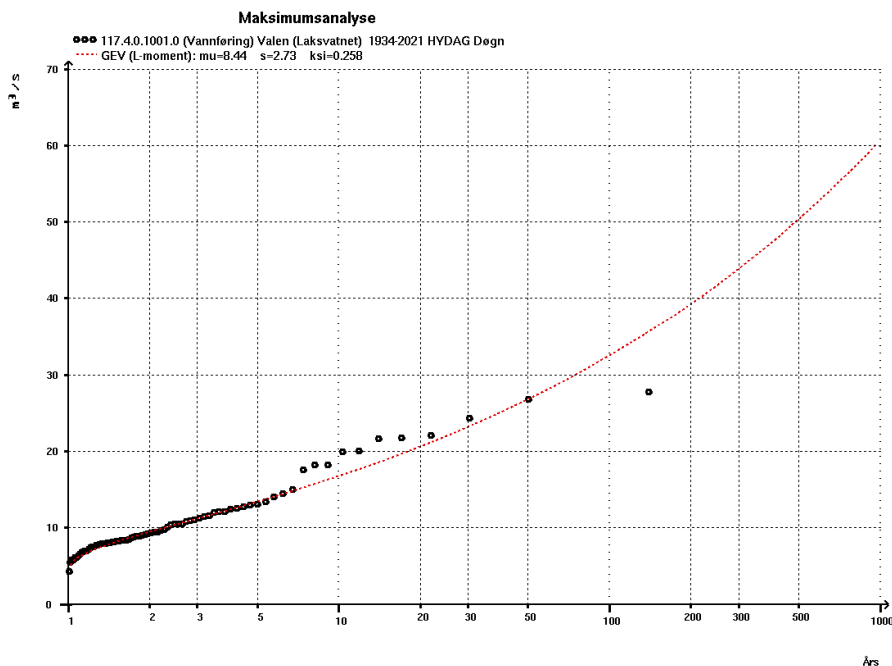
Kulminasjonsfaktor på 1,52 er benyttet som skaleringsfaktor fra døgnmiddelflom til beregnede kulminasjonsverdier for middelflom, se Tabell 3-6.

Tabell 3-6. Beregnede kulminasjonsverdier for middelflom.

Nedbørfelt	Areal	Q _M -kulminasjonsverdier	
	km ²	m ³ /s	l/s/km ²
Valen	39	17	428
Frøya	2.9	1.24	428

3.5 Beregning av flomverdier ved flomfrekvensanalyse og sammenligning med RFFA-NIFA

Årsflom ved Massvåg ble beregnet basert på skalering av middelflom kulminasjonsverdier med relativ-måle-verdier ved representativt vannmerke Valen. Figur 3-2 viser maksimum flomverdier ved vannføringsstasjon Valen (117.4.0). GEV (General Extreme Value, L-moment) fordeling ble brukt for å finne flomvannmengde.



Figur 3-2. Flomverdiene ved vannføring stasjon Valen (117.4.0) basert på Flomfrekvensanalyse (FFA) fra NVE Hydra II.

Tabell 3-7 viser vekstforhold mellom middelflom flom ved ulike gjentaksintervall for Valen (117.4.0). For Massvåg bru ble det benyttet samme spesifikke verdier (skalert basert på areal). Flomverdier basert på RFFA-NIFS for Massvåg bru er vist i Tabell 3-8. Lokal FFA basert på Valen gir flomverdier som er noe høyere enn medianverdien beregnet med NIFS, men er godt innenfor troverdighetsintervallet. Det legges vekt på lokal FFA basert på Valen i valg av dimensjonerende flomverdier.

Tabell 3-7. Beregnede kulminasjonsverdier ved Massvåg bru basert på vekstforhold ved Valen (117.4.0) (lokal FFA).

Valen (117.4.0)			Massvåg bru	
Middelflom Qm = 11 m ³ /s			Middelflom Qm = 0,8 m ³ /s	Kulminasjon Qm = 1,2 m ³ /s
Gjentaksintervall	Måleverdier	Vekstforhold Qår/QM	Årsflom	Årsflom kulminasjon
år	m ³ /s		m ³ /s	m ³ /s
Middelflom	11,0	1,00	0,8	1,2
5	13,5	1,23	1,0	1,5
10	16,8	1,53	1,2	1,9
20	20,7	1,88	1,5	2,3
50	26,8	2,45	2,0	3,0
100	32,5	2,97	2,4	3,7
200	39,3	3,59	2,9	4,5

Tabell 3-8. Beregninger av flomverdier ved RFFA-NIFS for Massvåg bru.

Gjentaksintervall	Avrenning (m ³ /s)		
år	2,50%	Median	97,50%
Middelflom	0,6	1,1	1,9
5	0,7	1,3	2,4
10	0,8	1,6	2,9
20	1,0	1,9	3,5
50	1,2	2,3	4,5
100	1,3	2,7	5,4
200	1,6	3,2	6,3

3.6 Klimapåslag og usikkerhetspåslag

Klimaendringer kan påvirke fremtidens flomverdier (NVE, 2016). Derfor anbefales klimapåslag på beregnede kulminasjonsflomverdier for å ta hensyn til forventede økninger i flomstørrelsene. I Norsk klimaservicesenters klimaprofil for Sør-Trøndelag et klimapåslag på flomverdier på 20 - 40 % (<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hordaland>).

Etter vurdering av klimafaktor for nærmeste stasjon til Massvåg bru i Frøya ble det valgt 20 % klimapåslag, noe som samsvarer med klimafaktor for Sør-Trøndelag og små nedbørfelt gitt i tabell 2-5 i vegnormal N200.

Dimensjonerende ÅDT for strekningen ble i 2021 estimert til 1500 (SVV Atlas). Dette tilsvarer vegsikkerhetsklasse V2 (SVV, 2021). Sikkerhetsfaktoren (Fu) som skal ta hensyn til usikkerhet i beregningen er derfor 1,1. Tabell 3-9 oppsummerer tillegg til beregnet flomverdi.

Tabell 3-9. Påslagsfaktorer på beregnede flomverdier.

Påslag	Verdi	Bestemmes av
Klimapåslag (Fk)	1,2	N200, Sør-Trøndelag fylke
Sikkerhetsfaktor (Fu)	1,1	N200, Vegens sikkerhetsklasse V2

3.7 Oppsummering

Dimensjonerende flomverdier for Massvåg bru baseres på lokal flomfrekvensanalyse av målestasjon 117.4 Valen (Laksevatnet), og tillegges 20 % klimapåslag og 10 % usikkerhetspåslag iht. anbefalinger i vegnormal N200. De dimensjonerende flomverdiene er vist i Tabell 3-10, hvor verdiene som er benyttet i videre vurderinger er uthevet.

Tabell 3-10. Dimensjonerende flomverdier for Massvåg bru. Uthevede verdier er benyttet i videre hydrauliske vurderinger.

Gjentaksintervall	Årsflom kulminasjon	Årsflom kulminasjon + 20 % klimafaktor + 10 % usikkerhetsfaktor
år	m ³ /s	m ³ /s
Middelflom	1,2	1,6
5	1,5	2,0
10	1,9	2,5
20	2,3	3,1
50	3,0	4,0
100	3,7	4,9
200	4,5	5,9

3.8 Klassifisering av flomberegningen

Veileder for flomberegninger (Glad, et al., 2022) anbefaler at det hydrologiske datagrunnlagets kvalitet vurderes for å si noe om usikkerhetene i flomberegningene. Datagrunnlaget i denne flomberegningen baserer seg på vurdering av vannføringsserie fra målestasjon i regionen/nærliggende felt med representative feltegenskaper med lang måleserie. Flomberegningene vurderes til å være i klasse 2, «Brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget».

4 Stormflo

Det kan finne havnivå for ulike situasjoner og gjentaksintervall for stormflo i Vedlegg 3. For havnivåstigning brukes 95-persentilen for RCP8.5 (høyt utslipp) for perioden 2081 – 2100 som klimapåslag. Klimapåslag er 61 cm for å ta hensyn til endring i sjøvannstand fram mot år 2100 (DSB, 2016).

De relevante vannstandene for beregning av tverrsnittskapasiteten for Massvåg bru er gitt i Tabell 4-1.

Tabell 4-1. Vannstander benyttet i de hydrauliske beregningene. Verdier er avrundet til et desimal. Se Vedlegg 3.

Nr.	Situasjon	Vannstand (moh.)	Vannstand med klimapåslag (moh.)	Formål
1	200-årsstormflo	+2,0	+2,6	Vurdere tverrsnitt i kombinasjon med 1-årsflom
2	10-årsstormflo	+1,8	+2,4	Vurdere dimensjon for midlertidig rørkulvert i kombinasjon med 1-årsflom
3	1-årsstormflo	+1,5	+2,2	Vurdere tverrsnitt i kombinasjon med 200-årsflom og dimensjon for midlertidig rørkulvert i kombinasjon med 10-årsflom
4	Middel lavvann	-0.8	-	Vurdere vannhastigheter for erosjonssikring av utløpet av kulvert/bru i kombinasjon med 200-årsflom

5 Bølgeberegninger

Det er gjort enkle og grove beregninger av bølgehøyder ved Massvåg bru. Beregnet bølgehøyde inkluderer ikke effekt av tsunami, bølgediffraksjon og stor vanddemping pga. båtkjøring nær planområdet.

Beregnet bølgehøyde er basert på observasjoner av middelvindens fra-retning og styrke ved Sula (SN65940) i perioden (1999–2022) som ligger ca. 19 km nordvest av Massvåg bru. Den ble ansett for å være den mest representative stasjonen for vindinformasjon for Massvåg bru. Vindrose ved Sula gir høyest vind fra nordvest. Derfor er bølgeberegninger basert på vind på 26 knop (ca. 13 m/s) over en 33-km lang strekning nordvest for en vindperiode på 1,0 time. Dette er det mest konservative anslaget for forventede høyeste bølger ved Massvåg bru.

Bølgehøyde ved Massvåg bru er sjekkes med bølgevarsel (Bølgevarsel - BarentsWatch) for dagens situasjon og med bruk av JONSWAP metode (Hasselmann, et al., 1973). Bølgevarsel viser bølge høyde på ca. 0,8 m for dagens situasjon. Beregnet bølgehøyde med bruk av JONSWAP-metode (CERC, 1984) er ca. 1,0 m.

Det anbefales derfor en sikkerhetsfaktor for bølger på 1,0 m over høyeste tidevann.

6 Hydrauliske beregninger

6.1 Hydraulisk modell

For å gjøre de hydrauliske beregningene ble HEC-RAS-2D 6.2 benyttet (U.S Army Corps of Engineers, 2022). Det ble gjort 2D-beregning i HEC-RAS som benytter «SWE-ELM», som er komplette Saint Venant-ligninger. Beregningen håndterer både over- og underkritisk strømming over tørt og vått terreng.

Inngangsdata til HEC-RAS-2D er terrengmodell, geometrien til kulverter, ruhet (Manningskoeffisient) og grensebetingelser.

6.1.1 Terrengmodell

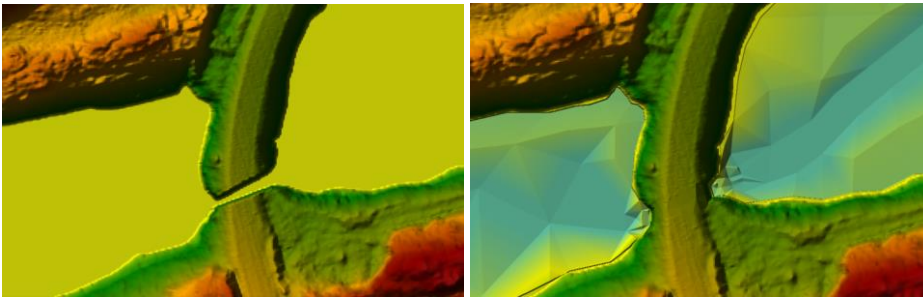
Laserdata til terrengmodellen, som brukes til den hydrauliske modeller, er hentet fra *hoydedata.no*. Det finnes flere sett med laserdata som dekker området. Den nyeste dataen ble valgt (NDH Hitra-Frøya 2pkt 2016), og benyttet i modellen. Den har en oppløsning på 0,5 meter.

Trøndelag Fylkeskommunes landmåler gjorde oppmåling av terreng ved inn- og utløp av bruene. Det var ikke mulig å gjøre innmålinger i vågen pga. stor vanddybde. Plassering av innmålingene er vist i Figur 6-1.

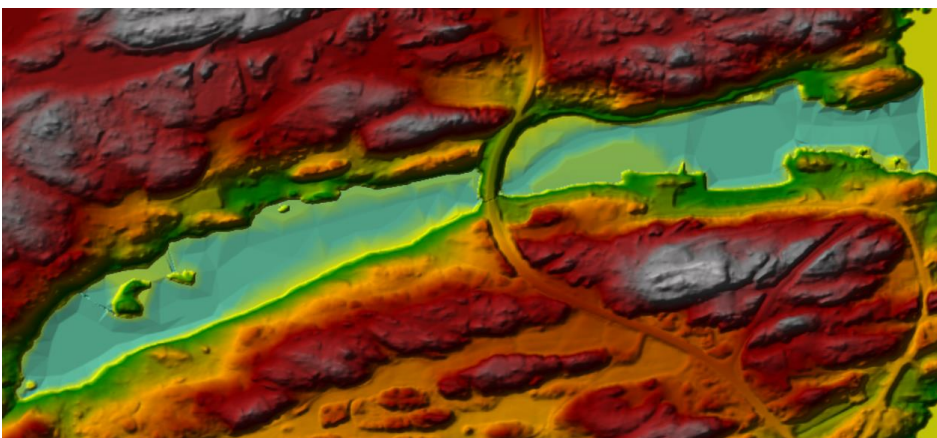
Laserdataene har terrenghøyde 0 moh. i vågen/sjøen, slik at det er gjort noen antagelser av høyder og modifisert terrenget i vågen/sjøen ved å sette høyder til en verdi mellom -0,5 og -3,0 m basert på visuell inspeksjon av ortofoto/satellittbilder.



Figur 6-1. Innmålinger gjort ved Massvåg bru.



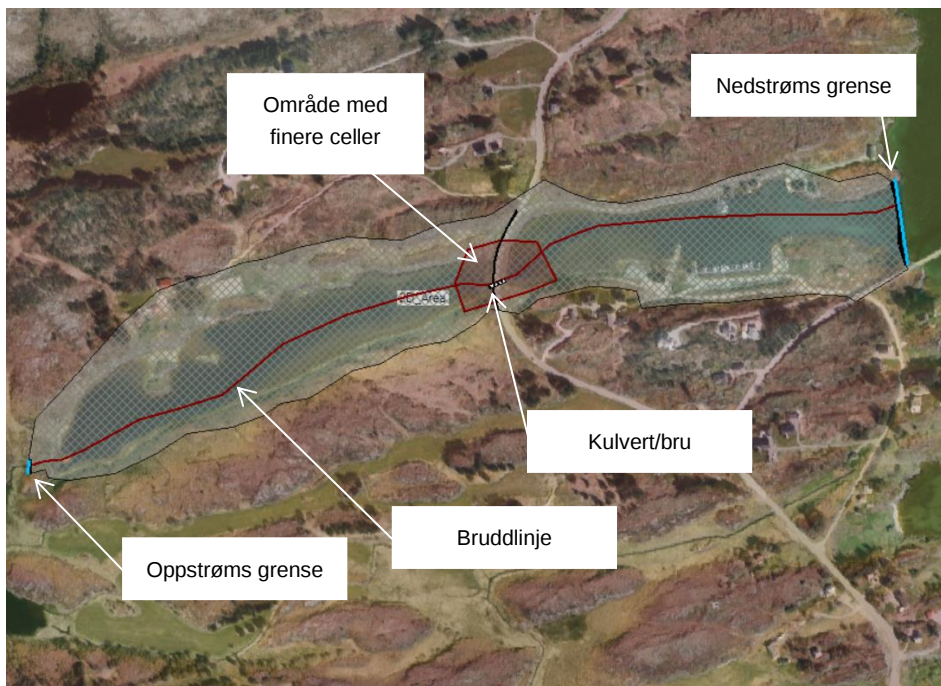
Figur 6-2. Eksempel på modifisert terrengdata. Til venstre: laserdata ubehandlet. Til høyre: modifisert terreng etter innmåling og tilpasning i vågen.



Figur 6-3. Modifisert terrengmodell for hele modellområdet.

6.1.2 Modellgeometri

Det ble etablert et geometriområde som strekker seg fra utløp av bekken i Øvre Massvåg til utløpet Massvåg i sjø, se Figur 6-4. Det ble benyttet cellestørrelser på 4 x 4 m for hele modellområdet, utenom rundt bru/kulvert og langs bruddlinje hvor det ble brukt celler på 1 m. Bruddlinje ble lagt inn for å sentrere celler lang djupål, laveste del av vågen.



Figur 6-4. Modellområdet og geometri benyttet for beregningene.

6.1.3 Kulvertgeometri

Det ble gjort innmålinger ved inn- og utløp av kulvert av Trøndelag Fylkeskommunes egne landmålere. Det er noe variasjon i målingene gjort ved inn- og utløpene. Det forventes at høydene på både inn- og utløp ligger i område -0,4 til -0,6 moh. Det er lagt til grunn en innløpshøyde på -0,55 moh. og utløpshøyde på -0,60 moh. i beregningene.

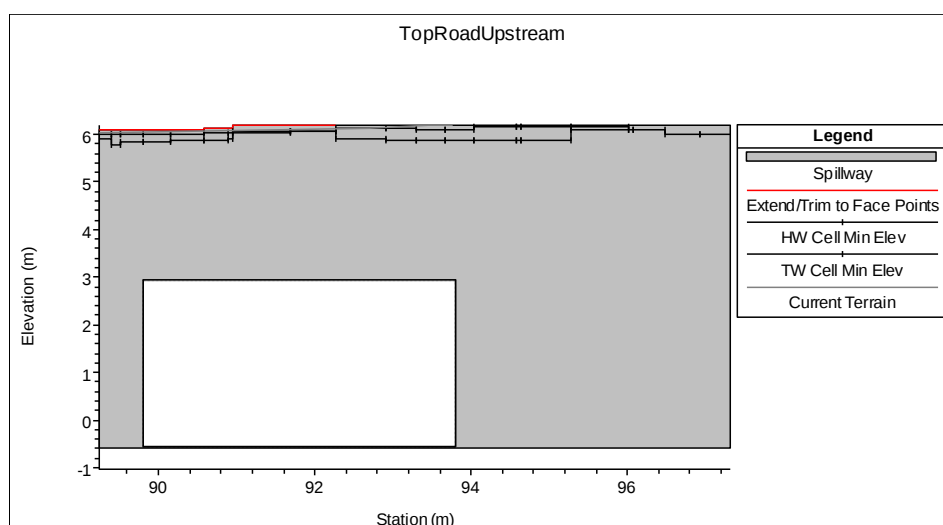
Tabell 6-1 gir en oversikt over de 5 ulike konfigurasjonene for kulvertgeometri som ble benyttet i de hydrauliske beregningene.

Tabell 6-1. Oversikt over beregnede kulvertgeometrier.

Situasjon	Kulvert/bru	Dimensjon	Kommentar	Vegnormal gjeldende
Alternativ 1	Bru	B x H = 4 m x 3,5 m	Eksisterende dimensjon	N400
Alternativ 2	Bru – litt smalere	B x H = 3,5 m x 3,7 m	Ny vegger støpes mot eksisterende konstruksjon. Ny topp/dekke.	N400
Alternativ 3	Kulvert rektangulær	B x H = 1,6 m x 3,2 m	Smaleste mulig tverrsnitt	N200
Alternativ 4	Kulverter rør – hovedrør og overløp	D1 = 2,4 m D2 = 1,4 m	For D1 er 0,8 m gjenfylt for å lage en bred bunn og 1/3 (0,53 m) er gjentettet iht. krav i N200. Totalt 1,33 m gjentetting)	N200
Alternativ 5	Kulverter rør	D1 = 2,4 m D2 = 2,0 m	For D1 er 0,8 m gjenfylt for å lage en bred bunn og 1/3 (0,53 m) er gjentettet iht. krav i N200. Totalt 1,33 m gjentetting). For D2 er 0,67 m gjenfylt for å lage en bred bunn og 1/3 (0,44 m) er gjentettet iht. krav i N200. Totalt 1,11 m gjentetting)	N200
Midlertidig	Kulvert rør – midlertidig anleggsfase	D = 2,4 m		N200

6.1.3.1 Alternativ 1 – B x H = 4 x 3,5 m

Geometrien til tverrsnittet for dagens bru B x H = 4 x 3,5 m er vist i Figur 6-5 og tilhørende parametere benyttet i beregningen er vist i Tabell 6-2.



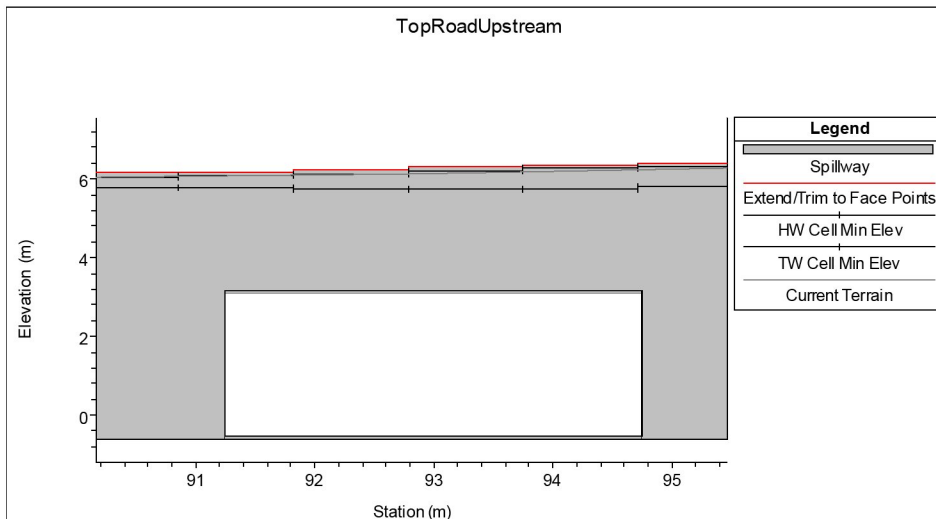
Figur 6-5. Tverrsnitt for alternativ 1 – dagens brutverrsnitt.

Tabell 6-2. Parametere for alternativ 1 – dagens brutversnitt.

Parameter	Verdi	Kommentar
Bredde (m)	4,0	Effektiv bredde
Høyde (m)	3,5	
Lengde (m)	20	
Bløkkert høyde (m)	0	
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	0	
Manning n-verdi bunn (s/m ^{1/3})	0,035	Antatt ru bunn pga. stein og vegetasjon
Manning n-verdi side og topp (s/m ^{1/3})	0,013	Betong
Innløpskoeffisient	0,4	Vingemur 30-75 med rett kant iht. Tabell H.2.2 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde (moh.)	-0,55	Antatt basert på målte verdier
Utløpshøyde (moh.)	-0,60	Antatt basert på målte verdier

6.1.3.2 Alternativ 2 – $B \times H = 3,5 \times 3,7 \text{ m}$

Dagens gjennomløp vil ikke ha tilstrekkelig fri høyde på 0,5 m iht. N400. Det er dermed vurdert et tverrsnitt hvor en støper på nye vegger inne i eksisterende kulvert og hevet toppnivået 0,2 m. Geometrien til tverrsnittet for alternativ 2 er vist i Figur 6-6 og tilhørende parametere benyttet i beregningen er vist i Tabell 6-3.



Figur 6-6. Tverrsnitt for alternativ 2.

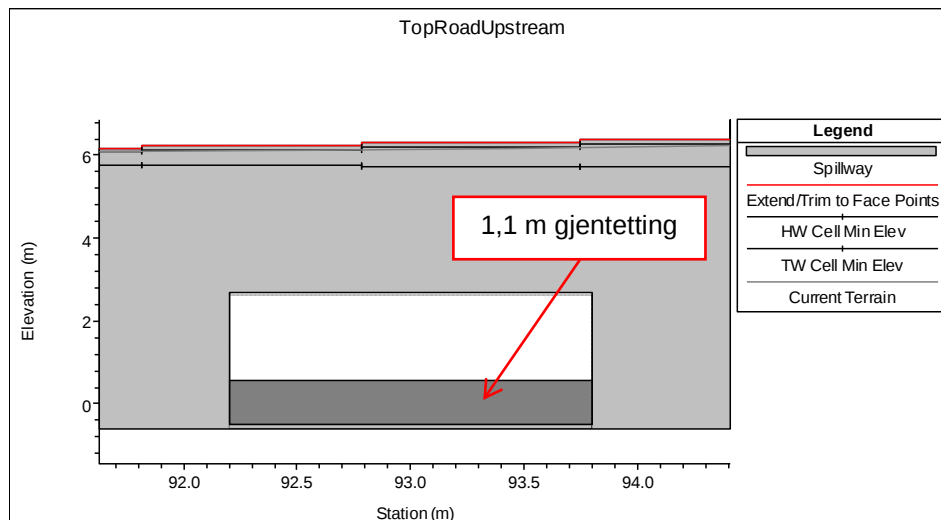
Tabell 6-3. Parametere for alternativ 2.

Parameter	Verdi	Kommentar
Bredde (m)	3,5	
Høyde (m)	3,7	Lik høyde på 200-årsstormflo i utløp + 0,5 m fribord
Lengde (m)	20	
Blokkert høyde (m)	0	
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	0	
Manning n-verdi side og topp (s/m ^{1/3})	0,013	Betong
Manning n-verdi bunn (s/m ^{1/3})	0,013	Betong
Innløpskoeffisient	0,4	Vingemur 30-75 med rett kant iht. Tabell H.2.2 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde (moh.)	-0,55	Antatt basert på målte verdier
Utløpshøyde (moh.)	-0,60	Antatt basert på målte verdier

6.1.3.3 Alternativ 3 – $B \times H = 1,6 \times 3,2 \text{ m}$

Dagens gjennomløp har god kapasitet for å avlede 200-årsflommen og det er mulig å redusere bredden og samtidig ha nok kapasitet ved flom- og stormflo. Ved å redusere bredden under 2,5 m vil gjennomløpet ikke lenger defineres som bru, men som en kulvert. Det vil være vegnormal N200 som skal legges til grunn for dimensjonering, og det må være en gjentetting på 1/3 av kulvertens

høyde. Geometrien til tverrsnittet til alternativ 3 er vist i Figur 6-7 og tilhørende parametere benyttet i beregningen er vist i Tabell 6-4.



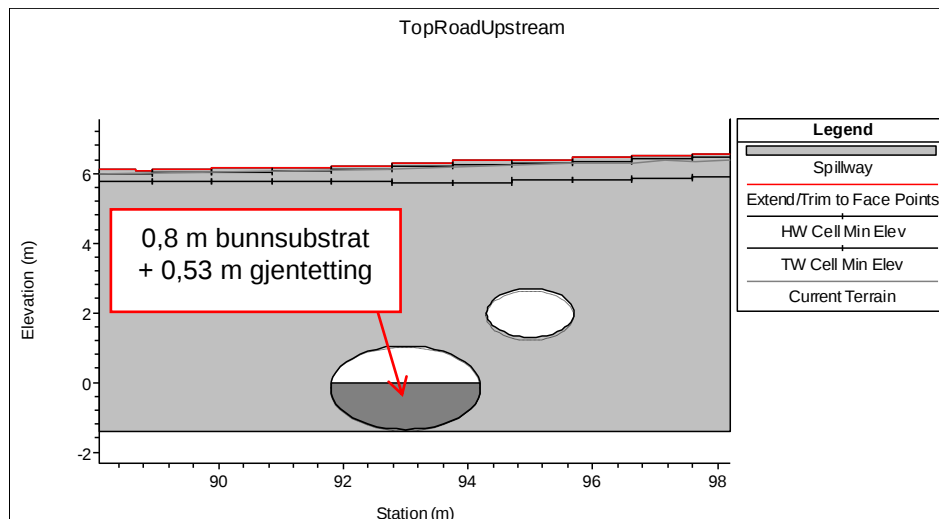
Figur 6-7. Tverrsnitt for alternativ 3.

Tabell 6-4. Parametere for alternativ 3.

Parameter	Verdi	Kommentar
Bredde (m)	1,6	Effektiv bredde
Høyde (m)	3,2	Lik høyde på 200-årsstormflo i utløp
Lengde (m)	20	
Blokkert høyde (m)	1,1	1/3 gjentetting av høyde på kulvert iht. N200
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	1,1	
Manning n-verdi side og topp ($s/m^{1/3}$)	0,013	Betong
Manning n-verdi bunn ($s/m^{1/3}$)	0,013	Betong
Innløpskoeffisient	0,4	Vingemur 30-75 med rett kant iht. Tabell H.2.2 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde (moh.)	-0,55	Antatt basert på målte verdier
Utløpshøyde (moh.)	-0,60	Antatt basert på målte verdier

6.1.3.4 Alternativ 4 – D = 2,4 m og D = 1,4 m

Geometrien til tverrsnittet for nye kulverter er vist i Figur 6-5 og tilhørende parametere benyttet i beregningen er vist i Tabell 6-5 og Tabell 6-6. Bunn av kulverten er lagt på tilsvarende høyder som dagens kulvert/bru.



Figur 6-8. 6-Tverrsnitt for alternativ 4.

Tabell 6-5. Parametere for hovedrør D = 2,4 m for alternativ 4.

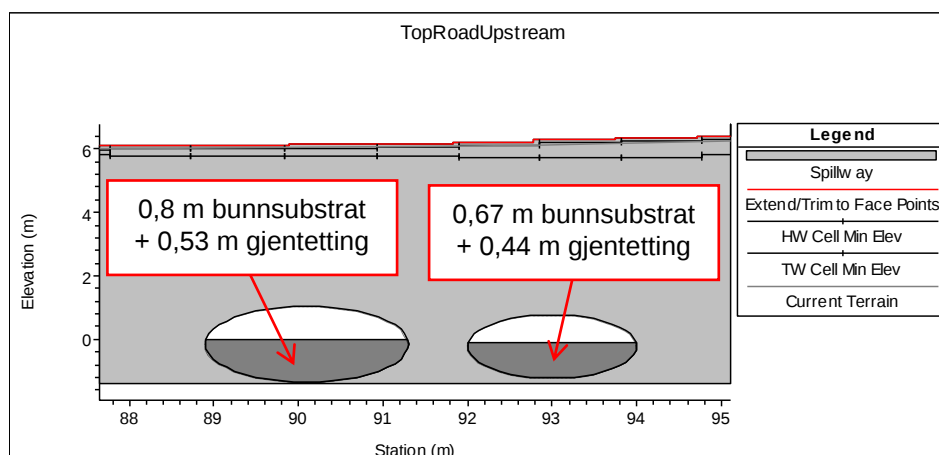
Parameter	Verdi	Kommentar
Diameter (m)	2,4	Hvorav 0,8 m skal gjentettet med stein/naturlig substrat.
Lengde (m)	20	
Blokkert høyde (m)	1,33	0,8 m permanent fylling av rør med stein/naturlig bunnssubstrat og 0,53 m pga. 1/3 gjentetting av resterende høyde iht. N200.
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	1,33	Satt tilsvarende blokkert høyde
Manning n-verdi side og topp (s/m ^{1/3})	0,013	Betong
Manning n-verdi bunn (s/m ^{1/3})	0,035	Stein og løsmasser gir økt ruhet
Innløpskoeffisient	0,5	Front/vingemur, rett kant iht. Tabell H.2.1 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde innvendig bunn rør (moh.)	-1,35	Senket 0,8 m, slik at permanent bunn ligger på -0,55 moh.
Utløpshøyde innvendig bunn rør (moh.)	-1,4	Senket 0,8 m, slik at permanent bunn ligger på -0,60 moh.

Tabell 6-6. Parametere for overløpsrør D = 1,4 m for alternativ 4.

Parameter	Verdi	Kommentar
Diameter (m)	1,4	
Lengde (m)	18	Antatt kortere lengde på veifylling for hevet rør
Blokkert høyde (m)	0	Antatt at overløpshøyde ikke er blokkert ved flom
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	0	
Manning n-verdi bunn (s/m ^{1/3})	0,013	Betong
Manning n-verdi side og topp (s/m ^{1/3})	0,013	Betong
Innløpskoeffisient	0,7	Tynnvegget, rett kant. Utstikkende innløp kanalisert iht. Tabell H.2.1 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde (moh.)	1,3	Antatt samme høyder som antatt for eksisterende bru
Utløpshøyde (moh.)	1,2	Antatt samme høyder som antatt for eksisterende bru

6.1.3.5 Alternativ 5 – D = 2,4 m og D = 2,0 m

For å vurdere en ny løsning som ha tilsvarende gjennomstrømning som dagens kulvert/bru ble det valgt å beregne hydrauliske forhold for en geometri med to rør, ett med diameter 2,4 m og ett med 2,0 m. Geometrien til tverrsnittet for nye kulverter er vist i Figur 6-9 og tilhørende parametere benyttet i beregningen er vist i Tabell 6-7 og Tabell 6-8.



Figur 6-9. Tverrsnitt for alternativ 5. D = 2,4 m og D = 2,0 m.

Tabell 6-7. Parametere for D = 2,4 m for alternativ 5.

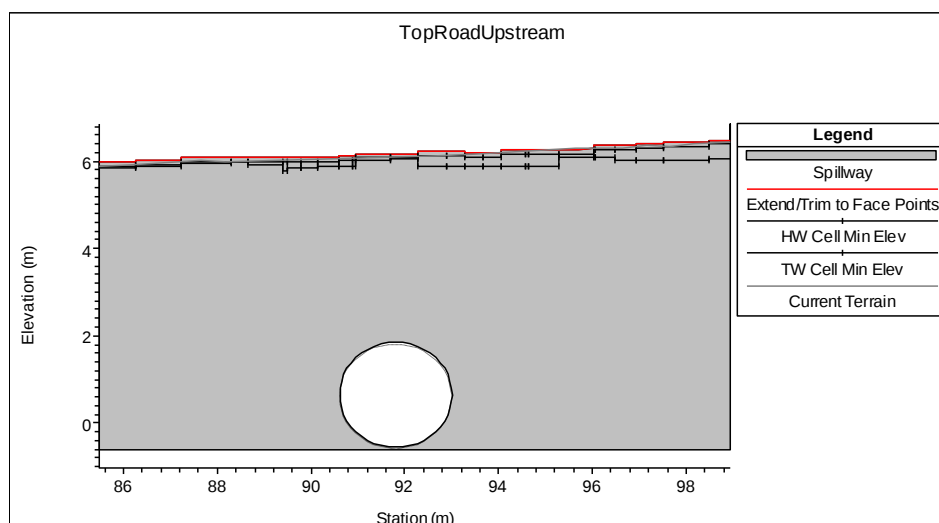
Parameter	Verdi	Kommentar
Diameter (m)	2,4	Hvorav 0,8 m skal gjentettet med stein/naturlig substrat.
Lengde (m)	30	
Blokkert høyde (m)	1,33	0,8 m permanent fylling av rør med stein/naturlig bunns substrat og 0,53 m pga. 1/3 gjentetting av resterende høyde iht. N200.
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	1,33	Satt tilsvarende blokkert høyde
Manning n-verdi side og topp ($s/m^{1/3}$)	0,013	Betong
Manning n-verdi bunn ($s/m^{1/3}$)	0,035	Stein og løsmasser gir økt ruhet
Innløpskoeffisient	0,5	Front/vingemur, rett kant iht. Tabell H.2.1 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde innvendig bunn rør (moh.)	-1,35	Senket 0,8 m, slik at permanent bunn ligger på -0,55 moh.
Utløpshøyde innvendig bunn rør (moh.)	-1,4	Senket 0,8 m, slik at permanent bunn ligger på -0,60 moh.

Tabell 6-8. Parametere for D = 2,0 m for alternativ 5.

Parameter	Verdi	Kommentar
Diameter (m)	2,0	Hvorav 0,8 m skal gjentettet med stein/naturlig substrat.
Lengde (m)	30	
Blokkert høyde (m)	1,11	0,67 m permanent fylling av rør med stein/naturlig bunns substrat og 0,44 m pga. 1/3 gjentetting av resterende høyde iht. N200.
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	1,11	Satt tilsvarende blokkert høyde
Manning n-verdi side og topp ($s/m^{1/3}$)	0,013	Betong
Manning n-verdi bunn ($s/m^{1/3}$)	0,035	Stein og løsmasser gir økt ruhet
Innløpskoeffisient	0,5	Front/vingemur, rett kant iht. Tabell H.2.1 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde innvendig bunn rør (moh.)	-1,22	Senket 0,67 m, slik at permanent bunn ligger på -0,55 moh.
Utløpshøyde innvendig bunn rør (moh.)	-1,27	Senket 0,67 m, slik at permanent bunn ligger på -0,60 moh.

6.1.3.6 Midlertidig situasjon – D = 2,4 m

For midlertidig situasjon er det lagt til grunn at vannstand skal stå ved topp rør ved 10-årsstormflo. Geometrien til tverrsnittet for midlertidig situasjon er vist i Figur 6-10 og tilhørende parametere benyttet i beregningen er vist i Tabell 6-9.



Figur 6-10. Tverrsnitt for midlertidig situasjon.

Tabell 6-9. Parametere for midlertidig situasjon.

Parameter	Verdi	Kommentar
Diameter (m)	2,4	
Lengde (m)	20	
Blokkert høyde (m)	0	
Høyde med Mannings n-verdi bunn (m)	0	
Manning n-verdi side og topp ($s/m^{1/3}$)	0,013	Betong
Manning n-verdi bunn ($s/m^{1/3}$)	0,013	Betong
Innløpskoeffisient	0,9	Tynnvegget, rett kant. Utstikkende innløp kanalisert iht. Tabell H.2.1 V240 (SVV, 2020)
Utløpskoeffisient	1,0	
Innløpshøyde (moh.)	-0,55	Antatt samme høyder som antatt for eksisterende bru
Utløpshøyde (moh.)	-0,60	Antatt samme høyder som antatt for eksisterende bru

6.1.4 Mannings ruhetskoeffisient

Det er benyttet Manningskoeffisient (n-verdi) for ruhet i modellen. Det finnes ingen innmålinger av vannføring og vannstand, og modellen er derfor ikke kalibrert. Benyttet Manningskoeffisient er basert på ortofoto og bilde av området. Det ble valgt å benytte en n-verdi på 0,035 (tilsvarende M-verdi på 28) for hele modellområdet. N-verdien ligger mellom verdier for «sand-grus» og «grus, småstein» i SVVs veileder V240, se Tabell 6-10. Det forventes en del vegetasjon som vil øke ruheten i bunnen av vågen, som ellers har mye finstoff i bunn.

Tabell 6-10. Mannings ruhetskoeffisient for ulike underlag (Statens vegvesen, 2020).

Type bunnforhold	Mannings n-verdi (M-verdi) (SVV, 2020)
Finsand, silt	0,025–0,02 (40–50)
Sand-grus	0,033–0,025 (30–40)
Grus, småstein	0,05–0,033 (20–30)

6.1.5 Grensebetingelser

Det ble benyttet normalstrømning og en konstant vannføring som oppstrøms grensebetingelse, med et fall på 0,2 (20 %). Nedstrøms grensebetingelse ble satt til et fast vannspeil i sjø. Vannføringene og vannstandene i sjø varierer for de ulike kombinasjonene av flom og stormflo som ble kjørt, se Tabell 6-11.

Scenario 6 og 7 er benyttet for eksisterende situasjon, planlagt alternativ 4 og alternativ 5. For scenarioene ble det benyttet en variabel vannstand som nedstrøms grensebetingelse. Tidevann er hentet fra Kartverkets tjeneste SeHavnivå og verdier for tidevann er vist i vedlegg 6. For tide med 1-årsstormflo ble tidevannet skalert til at høyeste tidevannsverdi samsvarer med verdi for 1-årsstormflo.

Tabell 6-11. De ulike scenarioene som ble benyttet for grensebetingelsene (vannføring og vannstand i sjø).

Scenario	Formål	Oppstrøms grensebetingelse	Vannføring (m ³ /s)	Nedstrøms grensebetingelse	Vannstand (moh.)
1	Vurdere dimensjon	200-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	5,9	1-årsstormflo med klimapåslag	+2.2
2	Vurdere dimensjon	1-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	1,6	200-årsstormflo med klimapåslag	+2.6
3	Vurdere behov for erosjonssikring	200-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	5,9	Middels lavvann	-0,8
4	Vurdere rørdiameter i anleggfase	10-årsflom	1,9	1-årsstormflo	+1.6
5	Vurdere rørdiameter i anleggfase	1-årsflom	1,2	10-årsstormflo	+1.8
6	Vurdere strømning i kulvert	200-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	5,9	Tidevann med 1-årsstormflo med klimapåslag	+2.2/ -1,4 (maks/min)
7	Vurdere strømning i kulvert	Normalavrenning (QN)	0,07	Tidevann for normale situasjoner	+1,5/-0.9

6.2 Resultater

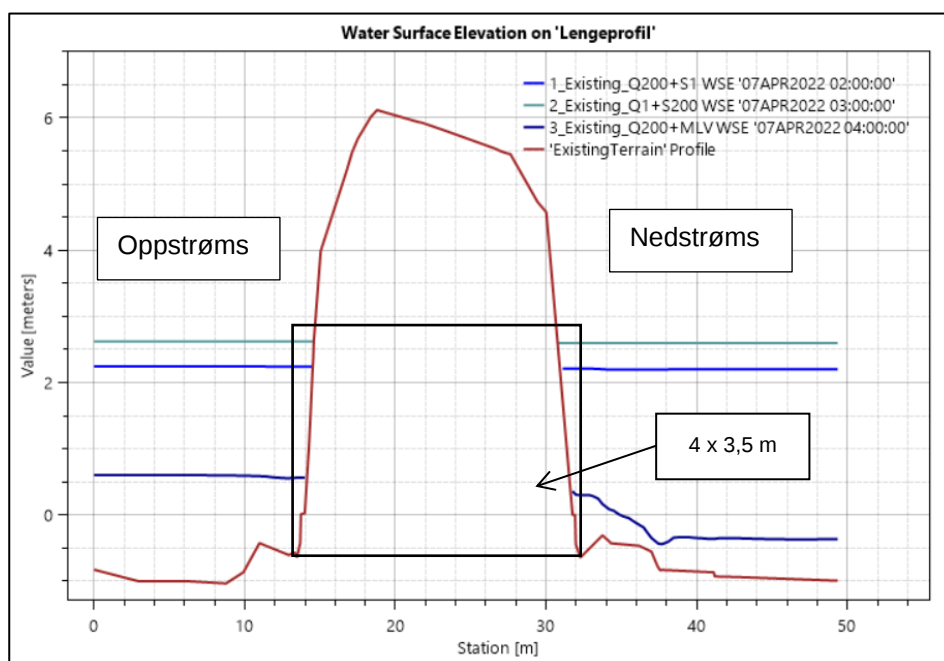
6.2.1 Alternativ 1 – Bru eksisterende tverrsnitt – B x H = 4 m x 3,5 m

Dagens gjennomløp har en bredde som er større enn 2,5 m og defineres som bru som dimensjoneres iht. N400. Det er krav til 0,5 m fribord ved beregnet flomnivå. Det er beregnet et fribord på 0,7 m ved 200-årsflom, men kun 0,3 m ved 200-årsstormflo. Topp innvendig høyde ligger på +2,95 og +2,9 i henholdsvis inn- og utløp.

Beregnete vannlinjer og vannhastigheter er vist i Tabell 6-12 og Figur 6-11. Med en beregnet vannstand på ca. 2,6 moh. vil dagens tverrsnitt ha et fribord som er 0,2 m for lavt til å tilfredsstille krav til minst 0,5 m fri høyde i N400.

Tabell 6-12. Beregnede vannstander og vannhastigheter for alternativ 1.

Scenario	Kombinasjon	Oppstrøms vannstand (moh.)	Nedstrøms vannstand (moh.)	Vannhastighet utløp (m/s)	Kommentar
1	200-årsflom og 1-årsflomflo	2,24	2,21	0,4	Ca. 0,7 m fribord.
2	1-årsflom og 200-årsflom	2,62	2,60	0,1	Ca. 0,3 m fribord.
3	200-årsflom og middel lavvann	0,56	0,30	3,1	



Figur 6-11. Beregnet vannlinje for alternativ 1. Lys blå linje er scenario 1, grønn linje scenario 2 og mørk blå linje scenario 3.

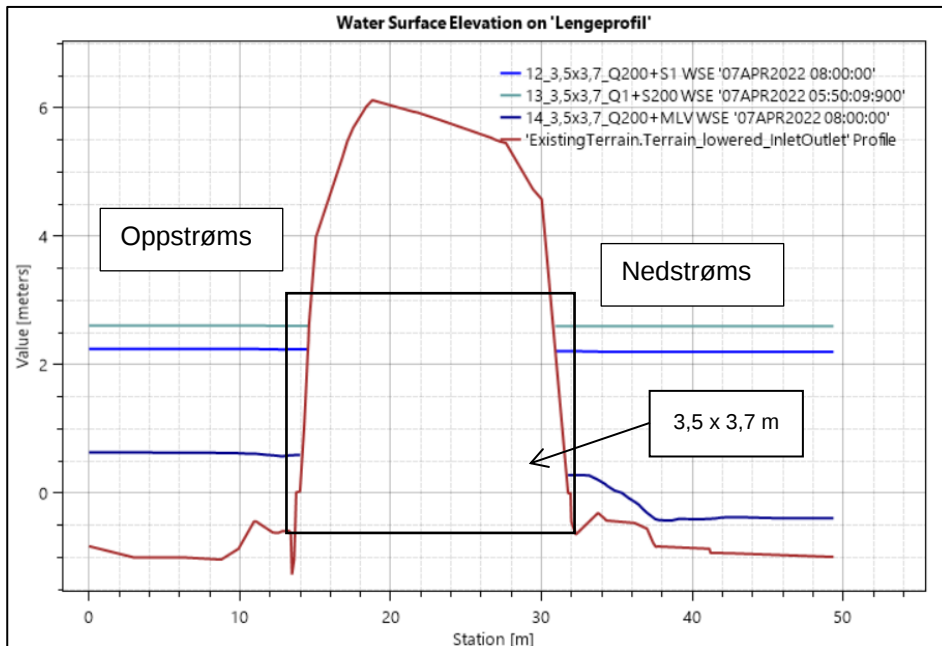
6.2.2 Alternativ 2 – Bru med redusert bredde og økt høyde – B x H = 3,5 m x 3,7 m

Benytter dagens gjennomløp ved å støpe nye vegger utenpå eksisterende og lage ny topplate. Antatt mulig å oppnå en maksimal bredde på 3,5 m inne i eksisterende gjennomløp (i samråd med Trøndelag Fylkeskommune) og heving av høyden med 0,2 m for å oppnå fribord. Defineres fortsatt som bru og dimensjoneres iht. N400, hvor det er krav om minst 0,5 m fribord ved beregnet flom- og stormflonivå. Topp innvendig høyde ligger på +3,15 og +3,1 i henholdsvis inn- og utløp.

Beregnete vannlinjer og vannhastigheter er vist i Tabell 6-13 og Figur 6-12. Ved å heve kulverten 0,2 m og redusere bredden med 0,5 m vil kulverten ha tilstrekkelig kapasitet ved både dimensjonerende flom og stormflo iht. kravet i N200. Hastighetene ved utløpet øker marginalt med 0,2 m/s fra eksisterende bru.

Tabell 6-13. Beregnede vannstander og vannhastigheter for alternativ 2.

Scenario	Kombinasjon	Oppstrøms vannstand (moh.)	Nedstrøms vannstand (moh.)	Vannhastighet utløp (m/s)	Kommentar
1	200-årsflom og 1-årsflomflo	2,24	2,21	0,3	Ca. 0,9 m fribord
2	1-årsflom og 200-årsflom	2,61	2,60	0,1	Ca. 0,5 m fribord
3	200-årsflom og middel lavvann	0,63	0,28	3,3	Økning på ca. 0,2 m/s fra dagens situasjon



Figur 6-12. Beregnet vannlinje for alternativ 2. Lys blå linje er scenario 1, grønn linje scenario 2 og mørk blå linje scenario 3.

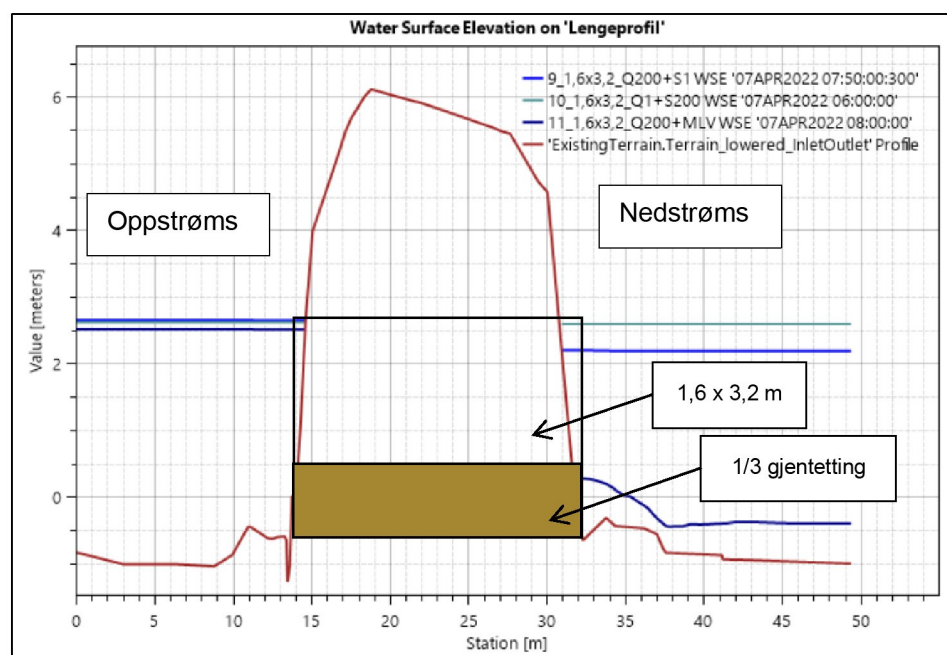
6.2.3 Alternativ 3 – Rektangulær kulvert med redusert bredde og høyde – B x H = 1,6 m x 3,2 m

Ved å redusere bredden til gjennomløpet til under 2,5 m defineres det som en kulvert og dimensjoneres iht. N200. Det er krav til gjentetting på 1/3 av høyden ved dimensjonerende flom, men ikke lenger krav til fribord. Topp innvendig høyde ligger på +2,65 og +2,6 i henholdsvis inn- og utløp.

Beregnete vannlinjer og vannhastigheter er vist i Tabell 6-14 og Figur 6-12. En smal rektangulær kulvert med bredde 1,6 m og høyde 3,2 m vil tilfredsstille kravene i N200 til håndtering av dimensjonerende flom og stormflo.

Tabell 6-14. Beregnede vannstander og vannhastigheter for alternativ 2.

Scenario	Kombinasjon	Oppstrøms vannstand (moh.)	Nedstrøms vannstand (moh.)	Vannhastighet utløp (m/s)	Kommentar
1	200-årsflom og 1-årsflomflo	2,66	2,21	0,3	Vannstand ca. 1 cm over topp innvendig kulvert ved innløp
2	1-årsflom og 200-årsflom	2,63	2,60	0,1	Vannstand ligger i toppen av kulverten
3	200-årsflom og middel lavvann	2,52	0,28	3,2	Økning på 0,1 m/s fra dagens situasjon



Figur 6-13. Beregnet vannlinje for alternativ 2. Lys blå linje er scenario 1, grønn linje scenario 2 og mørk blå linje scenario 3.

6.2.4 Alternativ 4 – Rørkulvert to stykk – D = 2,4 m og D = 1,4 m

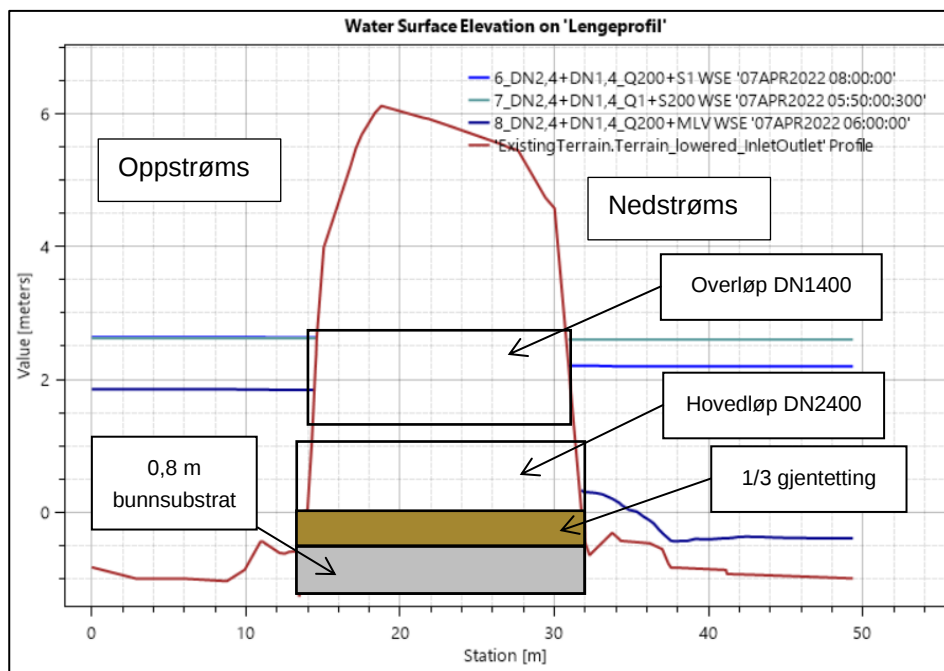
Ved å etablere to nye rørkulverter med diameter 2,4 og 1,4 m inne i den eksisterende kulverten, så vil de defineres som kulvert og skal dimensjoneres iht. N200. Det er krav til gjentetting på 1/3 av høyden ved dimensjonerende flom. Hovedløpet (D = 2,4 m) er senket 0,8 m og fylt opp med stein/naturlig substrat for å få et bredere løp på høyde med dagens gjennomløp. I tillegg er det lagt til en gjentetting på 0,53 m (1/3 av gjenværende høyde på 1,6 m).

Overløpet (D = 1,4 m) vil normalt ikke ha vannstrømning og er forventet å være uten tetting ved en flom- eller stormflohendelse.

Tabell 6-15 viser beregnede vannstander ved inn- og utløp av kulvertene, samt vannhastigheter ved utløpet. Figur 6-14 viser beregnet vannlinje. En løsning med to kulverten, hvor et rør er hovedløp og et ligger høyere som et overløp, vil tilfredsstille kravene i N200 til håndtering av dimensjonerende flom og stormflo.

Tabell 6-15. Beregnede vannstander og vannhastigheter for alternativ 4.

Scenario	Oppstrøms vannstand (moh.)	Nedstrøms vannstand (moh.)	Vannhastighet utløp (m/s)	Kommentar
200-årsflom og 1-årsflomflo	2,63	2,21	0,3	
1-årsflom og 200-årsflom	2,62	2,60	0,1	
200-årsflom og middel lavvann	1,85	0,30	3,3	



Figur 6-14. Beregnet vannlinje for alternativ 4. Lys blå linje er scenario 1, grønn linje scenario 2 og mørk blå linje scenario 3.

6.2.5 Alternativ 5 – Rørkulvert to stykk – D = 2,4 m og D = 2,0 m

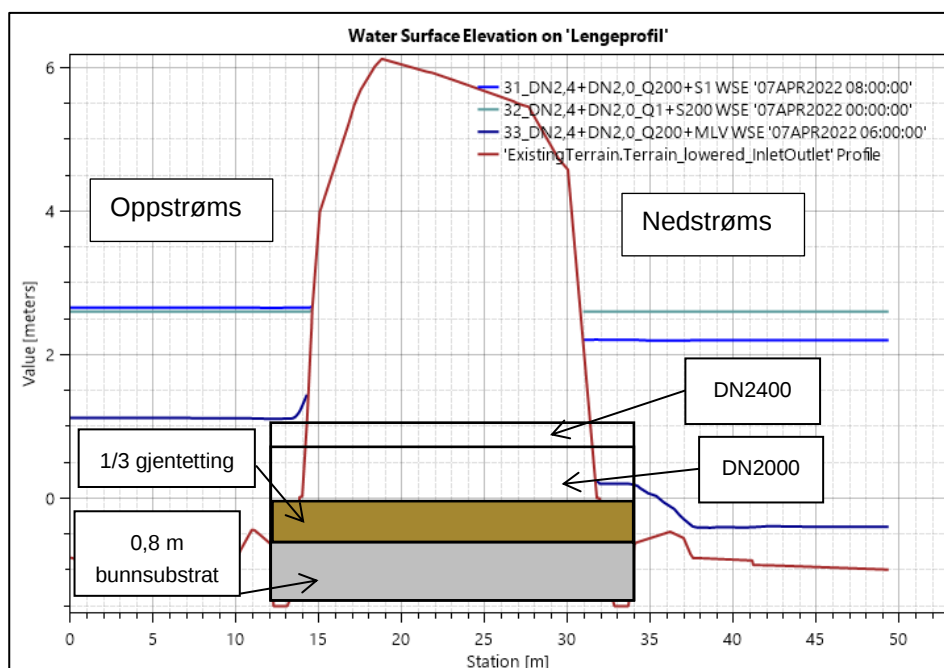
Ved å etablere to nye rørkulverter med diameter 2,4 og 2,0 m i parallell, så vil de defineres som kulvert og skal dimensjoneres iht. N200. Det er krav til gjentetting på 1/3 av høyden ved dimensjonerende flom. Rørene er senket henholdsvis 0,8 og 0,67 m og fylt opp med stein/naturlig substrat for å få et

bredere løp på samme høyde som dagens gjennomløp. I tillegg er det lagt til en gjentetting på henholdsvis 0,53 og 0,44 m (1/3 av gjenværende høyder).

Tabell 6-16 viser beregnede vannstander ved inn- og utløp av kulvertene, samt vannhastigheter ved utløpet. Figur 6-15 viser beregnet vannlinje. En løsning med to rørkulverten vil tilfredstille kravene i N200 til håndtering av dimensjonerende flom og stormflo.

Tabell 6-16. Beregnede vannstander og vannhastigheter for alternativ 5.

Scenario	Oppstrøms vannstand (moh.)	Nedstrøms vannstand (moh.)	Vannhastighet utløp (m/s)	Kommentar
200-årsflom og 1-årsflomflo	2,66	2,20	0,4	
1-årsflom og 200-årsflom	2,63	2,60	0,1	
200-årsflom og middel lavvann	1,14	-0,40	3,2	



Figur 6-15. Beregnet vannlinje for alternativ 5. Lys blå linje er scenario 1, grønn linje scenario 2 og mørk blå linje scenario 3.

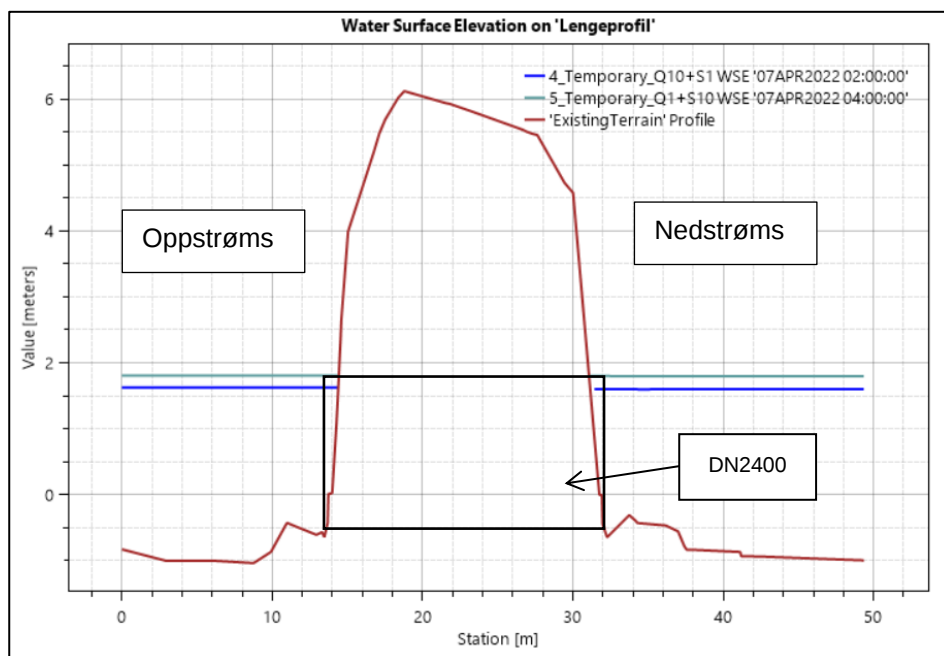
6.2.6 Midlertidig rørkulvert – D = 2,4 m

Hvis det blir behov for en midlertidig kulvert i anleggsperioden er det forutsatt at den vil ligge i så kort tid at det ikke vil være gjentetting ved dimensjonerende gjentaksintervall. Dimensjonerende gjentaksintervall for flom og stormflo er oppgitt av Trøndelag Fylkeskommune til å være 10 år.

Tabell 6-17 viser beregnede vannstander ved inn- og utløp av kulvertene, samt vannhastigheter ved utløpet. Figur 6-16 viser beregnet vannlinje. Et rør med innvendig diameter 2,4 m vil kunne håndtere både 10-årsflom og 10-årsstormflo i en anleggsperiode.

Tabell 6-17. Beregnede vannstander og vannhastigheter for midlertidig rørkulvert.

Scenario	Kombinasjon	Oppstrøms vannstand (moh.)	Nedstrøms vannstand (moh.)	Vannhastighet utløp (m/s)	Kommentar
1	200-årsflom og 1-årsflomflo	1,63	1,60	0,2	
2	1-årsflom og 200-årsflom	1,81	1,80	0,1	



Figur 6-16. Beregnet vannlinje for midlertidig rørkulvert. Blå linje er scenario 1 og grønn linje scenario 2.

6.2.7 Effekter av tidevannstrømning

6.2.7.1 Gjennomstrømning ved 200-årsflom og 1-årsstormflo

Det er ved 200-årsflom og 1-årsstormflo beregnet vannføringer og vannhastigheter gjennom kulvertene for eksisterende og planlagt situasjon (alternativ 4 og 5), se Tabell 6-18 og Figur 6-17. I tillegg er det beregnet samtidig vannstand oppstrøms kulvertene i Massvågen, Figur 6-18.

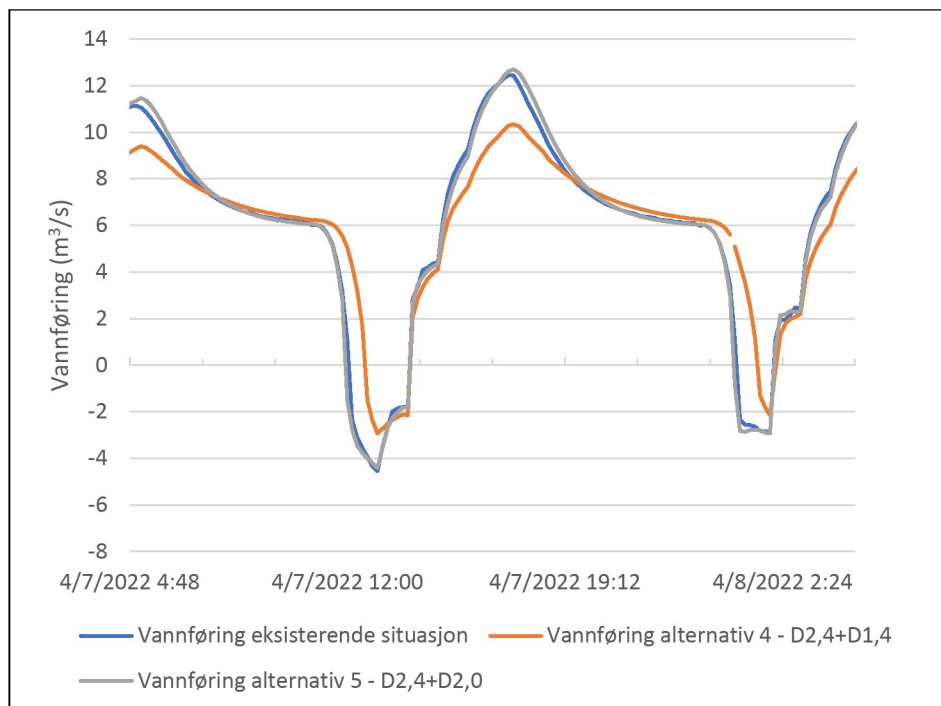
Konsekvensene av å redusere bredde på kulverten (alternativ 4) under veien er en reduksjon i vannføring som følge av at en mindre rør vil ha høyere energitap og følge begrense hvor mye som går gjennom. Samtidig så vil vannhastighetene i kulverten øke når mer vann skal gå gjennom et mindre

tverrsnitt. Vannhastigheten øker fra ca. 1,1 m/s til henholdsvis 2,8 m/s (alt. 4) og 2,3 m/s (alt. 5). Det vil være korte og sjeldne (200-års gjentakintervall) perioder med høy vannhastigheter, slik at det forventes at det vil være akseptabelt med tanke på erosjon.

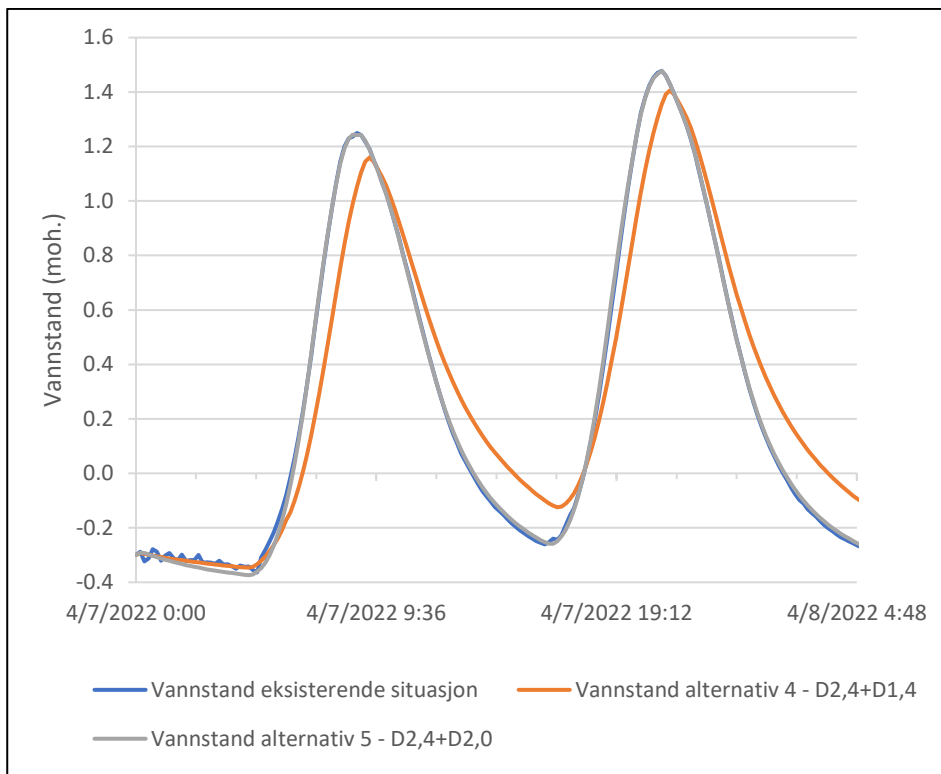
For alternativ 5 oppnås det omtrent samme strømningsmønster som for dagens kulvert, mens for alternativ 4 vil det være lavere gjennomstrømning.

Tabell 6-18: Beregnet vannføring og vannhastigheter gjennom kulverter ved 200-årsflom og 1-årsstormflo med påvirkning av tidevann.

Parameter	Eksisterende	Planlagt alternativ 4 (kun D = 2,4 m)	Planlagt alternativ 5		Enhet
			D = 2,4 m	D = 2,0 m	
Vannstand maksimal	2,27	2,30	2,29	2,29	moh.
Vanndybde	2,87	2,90	2,89	2,89	m
Vannføring	12,40	8,80	7,23	4,95	m ³ /s
Bredde	4,0	-	-	-	m
Strømningsareal	11,5	3,2	3,2	2,2	m ²
Vannhastighet	1,1	2,8	2,3	2,3	m/s



Figur 6-17: Vannføring ved 200-årsflom og 1-års stormflo gjennom kulvert for eksisterende (blå), planlagt situasjon alternativ 4 (oransje) og alternativ 5 (grå).



Figur 6-18: Vannstand ved 200-årsflom og 1-års stormflo i Øvre Massvåg/innløp av kulvert for eksisterende (blå), planlagt situasjon alternativ 4 (oransje) og alternativ 5 (grå).

6.2.7.2 Gjennomstrømning for normalsituasjoner

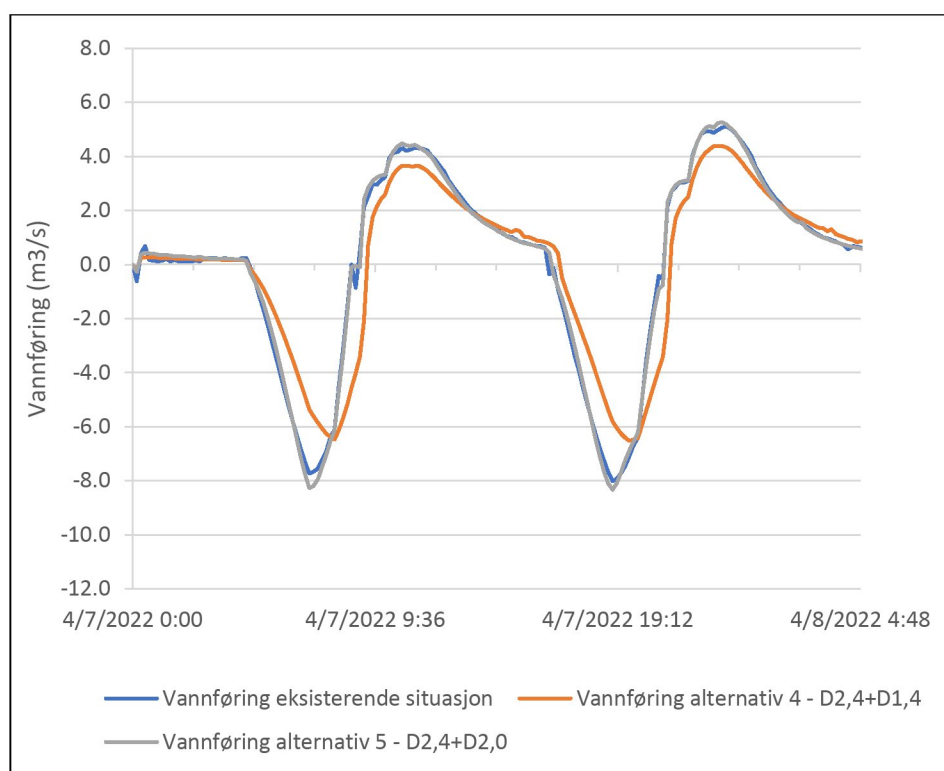
Det er for situasjon med normalavrenning og normalt tidevann beregnet vannføringer og vannhastigheter gjennom kulvertene for eksisterende og planlagt situasjon, se Tabell 6-19 og Figur 6-19. I tillegg er det beregnet samtidig vannstand oppstrøms kulvertene i Massvågen, Figur 6-20.

Konsekvensene av å redusere dimensjon på kulverten under veien er en reduksjon i vannføring som følge av at en mindre rør vil ha høyere energitap og følge begrense hvor mye som går gjennom.

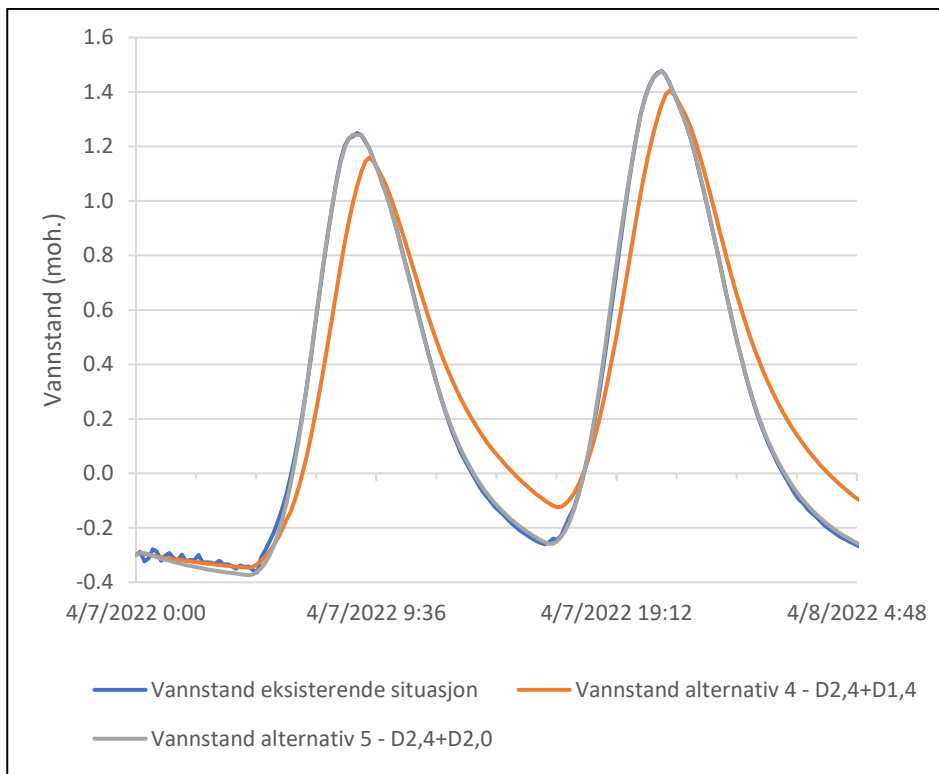
Samtidig så vil vannhastighetene i kulverten øke når mer vann skal gå gjennom et mindre tverrsnitt. Vannhastigheten øker fra ca. 1,0 m/s til henholdsvis 2,0 m/s (alt. 4) og 1,5–1,6 m/s (alt. 5). De beregnede vannhastighetene for planlagt situasjon forventes ikke å medføre et problem for erosjon i kulverten eller endring rundt inn- og utløp av kulverten.

Tabell 6-19: Beregnet vannføring og vannhastigheter gjennom kulverter ved normalvannføring og tidevann.

Parameter	Eksisterende	Planlagt alternativ 4 (kun D = 2,4 m)	Planlagt alternativ 5		Enhet
			D = 2,4 m	D = 2,0 m	
Vannstand maksimal	1,46	1,41	1,48	1,48	moh.
Vanndybde	2,06	2,01	2,08	2,08	m
Vannføring	8,02	6,53	4,77	3,55	m ³ /s
Bredde	4,0	-	-	-	m
Strømningsareal	8,2	3,2	3,2	2,2	m ²
Vannhastighet	1,0	2,0	1,5	1,6	m/s



Figur 6-19: Vannføring ved normalvannføring og tidevann gjennom kulvert for eksisterende (blå), planlagt situasjon alternativ 4 (oransje) og alternativ 5 (grå).



Figur 6-20: Vannstand ved normalvannføring og tidevann i Øvre Massvåg/innløp av kulvert for eksisterende (blå), planlagt situasjon alternativ 4 (oransje) og alternativ 5 (grå).

6.2.7.3 Gjennomstrømningsvolum inn og ut av Massvågen for normalsituasjoner

Det er gjort en beregning av hvor mye volum som går inn og ut av kulverten i løpet av et døgn for eksisterende og planlagt alternativ 4 og 5, se Tabell 6-20. Det er regnet en reduksjon i vannvolum som går inn og ut av Massvågen på henholdsvis 21 % (alt. 4) og 1 % (alt. 5) for normalsituasjoner.

For alternativ 5 med rørkulvert $D = 2,4$ m og $D = 2,0$ m vil det oppnås en bredde og strømningsareal i kulvertene som tilsvarer dagens situasjon i stor grad.

Tabell 6-20: Beregnet vannvolum inn og ut av Massvågen for eksisterende og planlagte situasjoner.

Situasjon	Volum inn (m ³)	Volum ut (m ³)	Endring (%)
Eksisterende	15380	16066	-
Planlagt alternativ 4	12030	12751	-21
Planlagt alternativ 5	15176	15879	-1

7 Erosjonssikring

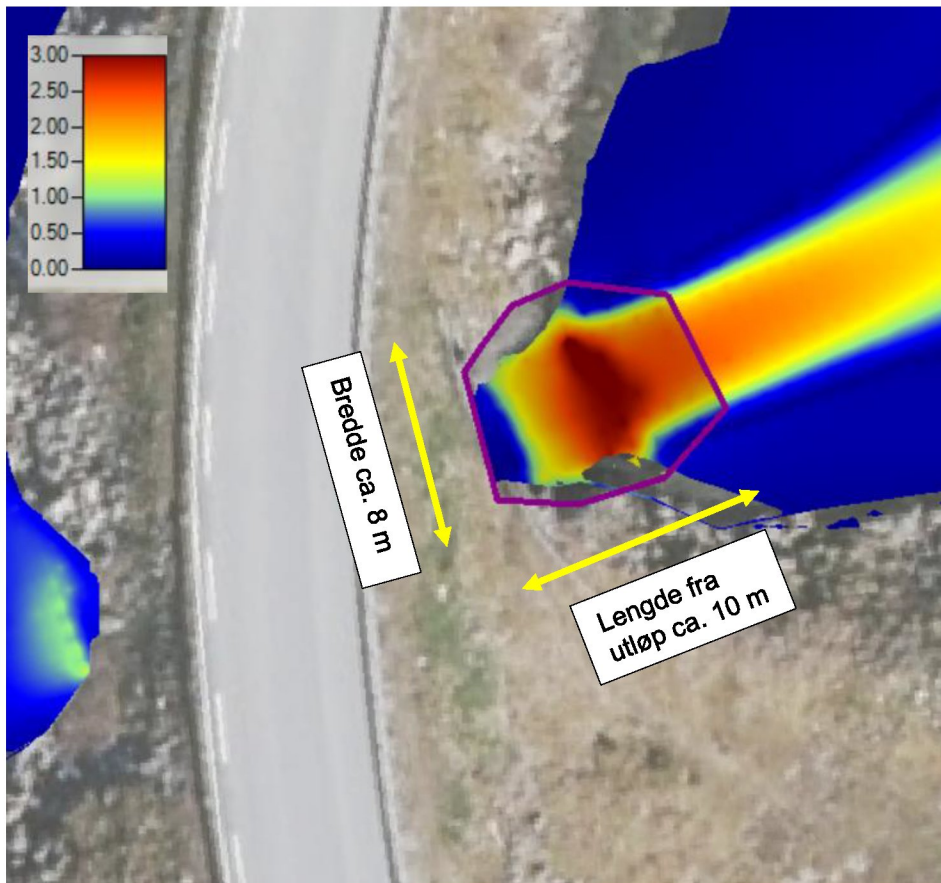
7.1 Inn- og utløp av kulvert

Det er for både alternativ 4 og 5 beregnet vannhastigheter ved utløp av kulverten/bruen på ca. 3,3 m/s for en situasjon med kombinasjon 200-årsflom og middels lavvann på -0,8 moh. De store vannhastighetene forekommer over terskelen som er i utløpet av kulverten. For å unngå utgraving/-vasking ved utløpet og potensiell undergraving av kulverten anbefales det å etablere en erosjonssikring/plastring ved utlegging av større stein.

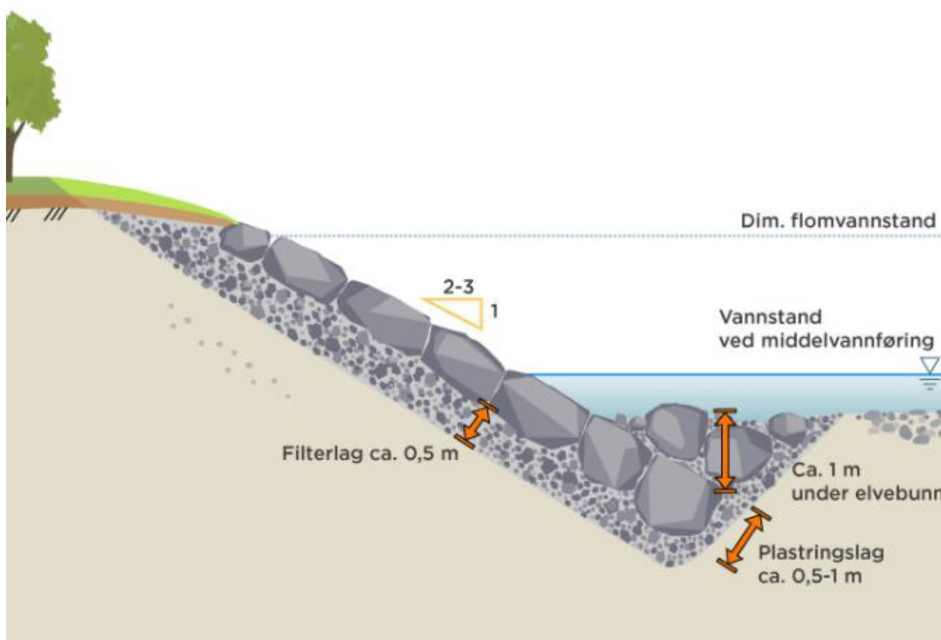
Det er beregnet erosjonssikring ved bruk av ett lag steinblokker og ved bruk raset stein, metodene er beskrevet i Veileder for beregning av erosjonssikring med stein (Jensen & Tesaker, 2009). Ved bruk av steinblokker er det regnet behov for stein med minste bredde og lengde på 0,25 m. Ved bruk av raset stein er det beregnet behov for minste steinstørrelse D_{50} lik 0,35 m ved bruk av Robinson formel. Se vedlegg 5 for beregninger.

Utløpet har tydelig terskel-preg, og formel for ett lag steinblokk legges til grunn. Det anbefales at steinstørrelse D_{50} som legges økes til 0,3 m pga. usikkerheter. Et område på ca. $L \times B = 10 \times 8$ m bør sikres fra utløpet av kulverten, se skisse i Figur 7-1. For innløpet anbefales det at et område på ca. 5×5 m sikres med samme type stein/løsning for erosjonssikring. Grunnforholdene er ikke kjent, men hvis det er bart fjell vil det ikke være behov for erosjonssikring.

Det anbefales at gjennomføring av sikringen gjøres i tråd med anbefalinger i Sikringshåndboka til NVE (<https://sikringshandboka.nve.no/>). Det er vist et eksempel på plastring med steinblokker (flatplastring) i Figur 7-2. Det er viktig med et filterlag av grus/pukk da det forventes finere masser i bunn. Utførelse av erosjonssikringen bør vurderes i samråd med miljørådgiver for at forholdene for fiske og vannmiljø blir ivaretatt.



Figur 7-1. Område som bør erosjonssikres i utløpet av kulverten hvor vannhastighetene er store.



Figur 7-2. Eksempel på plastring med ett lag stein hentet fra NVEs Sikringshåndboka. Her vist for sideskråning, men prinsippet kan benyttes for elvebunn også (NVE, 2022).

7.2 Erosjonssikkert bunnsubstrat inne i kulvert for alternativ 4 og 5

Ved å etablere rørkulverter som er senket og fylt med stein/naturlig bunnsubstrat vil det ved flom bli store vannhastigheter gjennom rørkulvertene. Største vannføring og følgende vannhastigheter er beregnet for en 200-årsflom med samtidig 1-årsstormflo med variabelt tidevann (scenario 6, Tabell 6-11).

Rørene er dykket og det vil være en vannhastigheter på henholdsvis ca. 2,8 m/s (alt. 4) og 2,3 m/s (alt. 5). Ved disse vannhastigheter vil det være sannsynlighet for utspyling av massene i kulverten. For å hindre av bunnsubstratet forsvinner kan det etableres sammen med større stein som skal virke som erosjonssikring.

Det er komplisert å gjøre en god beregning av nødvendig steinstørrelse inne i kulverten, men ved å anvende formel for plastring med steinblokker (Jensen & Tesaker, 2009) er det estimert behov for steinblokker med lengde og bredde. Se beregninger av steinstørrelser i Tabell 7-1 og komplette beregninger i vedlegg 5.

Tabell 7-1. Beregning av nødvendig steinstørrelser for erosjonssikring inne i rørkulverter for alternativ 4 og 5.

Alternativ/rør	Vannføring (m ³ /s)	Vannhastighet (m/s)	Nødvendige (beregnete) steinstørrelser for erosjonssikring av substrat i kulverter D ₅₀ (mm)
Alternativ 4 – D = 2,4 m	8.9	2.8	400
Alternativ 5 - D = 2,4 m	7.2	2.3	350
Alternativ 5 - D = 2,0 m	5.0	2.3	300

Det er viktig å bemerke at steinstørrelsene er et grove estimat og det bør gjennomføres tilsyn etter større flomhendelser for å vurdere tilstand. Et tiltak som kan hjelpe med å holde steinen på plass kan være å støpe inn f.eks. betongterskler i rørvæggen.

Utførelse av erosjonssikringen bør vurderes i samråd med miljørådgiver for at forholdene for fiske og vannmiljø blir ivaretatt.

8 Miljøpåvirkninger

8.1 Fiskevandring

Massvåg bru ligger i sjø eller en våg som er påvirket av flo- og fjære som går inn og ut hver dag. Øvre Massvåg er forventet å ha noe brakkvann i området hvor bekk fra Vågavatnet renner ut. Bruen kan bli en terskel ved lavt tidevann, men det forventes at fisk vil kunne vandre gjennom store deler av døgnet. Vannstanden- og vannstrømningen vil i store deler av året være styrt av havnivå, og kun i korte perioder med stor flom være påvirket av vannføring i vassdraget.

I Lakseregisteret er det registrert at Massvågvasdraget har en lakseførende strekning som strekker seg fra Vågavatnet og ca. 900 m oppstrøms mot Mørkdalsvatnet. (Miljødirektoratet, 2022).

Det forventes at funksjonen til fiskevandring opprettholdes ved at ny bru/kulvert etableres på samme nivå som dagens gjennomløp.

8.2 Påvirkning for vågen og rundt kulverten

For alternativ 4 vil ny løsning medfører en noe senere oppfylling og nedtapping av vågen ved flo og fjære, da ny kulvertløsning er mindre i størrelse enn dagens situasjon. Dette medfører noe lavere vanngjennomstrømning gjennom vågen. Endringen er såpass liten at det trolig ikke vil medføre økt sedimentering, eller store endringer i artssammensetning og forekomst av marine organismer, men dette er usikkert. Vannhastigheten i kulverten vil bli høyere, men rundt inn- og utløp vil være omtrent de samme. Som et resultat av senere oppfylling, blir høyeste vannstand ved full flo noe lavere enn ved dagens situasjon (ca. 7 cm lavere). Ved fjære sjø vil vannstanden være omtrent 14 cm høyere enn ved dagens situasjon. Tiltaket medfører derfor et noe mindre blottlagt fjæreareal ved fjære sjø. Det vil være en endring i artsmangfoldet i de områdene som vil stå under vann ved fjære sjø, sammenlignet med dagens situasjon. Det er noe usikkert i hvor stor grad marine organismer i vågen blir negativt påvirket av alternativ 4.

For alternativ 5 vil vannhastigheten i kulvertene bli noe høyere enn dagens situasjon, men vannhastighetene ved inn- og utløp bli omtrent de samme. Siden gjennomstrømningen blir omtrent som dagens situasjon blir det liten endring i vannstand i vågen ved flo og fjære sjø. For alternativ 5 er det beregnet samme nivå for flo og 1 cm lavere vannstand ved fjære sjø enn for dagens situasjon i vågen. Marine organismer blir ikke påvirket av tiltaket.

Se tabell 6-19 og figur 6-20 for hydrologiske endringer.

Det anbefales å gå videre med alternativ 5 for å tilstrebe dagens situasjon.

8.3 Påvirkning for hubro

Det er registrert en hekkelokalitet for hubro (EN – sterkt truet) med viss nærhet til tiltaksområdet. Lokaliteten er utenfor anbefalt hensynsavstand oppgitt i notat «Anbefalte hensynssoner for sårbare arter av fugl» (Mork, 2018). Vågen og Dyrviksvaet er svært viktige næringsområder for hubro som i stor grad furasjerer på vanntilknyttet fugl i området. Graden av negativ påvirkning på marine organismer (som videre vil påvirke vanntilknyttet fugl som er

næringsgrunnlaget for hubro) er noe usikkert ved gjennomføring av alternativ 4. For alternativ 5 vil vannførings- og vannstandsregimet forbli likt som dagens situasjon, og vil derfor ikke medføre noe endringer i artssammensetning og forekomst av marine organismer. Alternativ 5 vil dermed ikke medføre negative konsekvenser for hubro, og anbefales gjennomført.

Da Vågen og Dyrviksvaet er viktige næringsområder for hubro, bør det anlegges mindre begrensninger i anleggsarbeidene. Hubro furasjerer i stor grad om natten og i skumringen på kvelden og i grålysningen om morgenen. Anleggsarbeid bør derfor ikke starte opp før det blir lyst om morgenen, og bør avsluttes før det blir halvmørkt på kveldstid. Dette er spesielt viktig i hekkeperioden mars – august.

9 Oppsummering

Flom og stormflo

Det er beregnet flomverdier ved Massvåg bru for å benytte nasjonalt formelverk for små felt (NIFS/NEVINA) og flomfrekvensanalyse ved å sammenligne med målestasjon Valen (Laksevatnet) som ligger på Hitra. Det er benyttet 20 % klimafaktor og 10 % usikkerhetsfaktor som følge av tiltakets lokasjon og veiens trafikkmengde iht. N200.

Verdier for vannstand i sjø er hentet fra Kartverkets nettside Se havnivå. Det er valgt å benytte klimapåslag på verdiene for ny permanent bru/kulvert, men ikke for midlertidig tiltak. I tabellen under det vist en oppsummert av de ulike flom- og stormflokombinasjonene som er benyttet sammen og beregnede verdier.

Scenario	Formål	Oppstrøms grensebetingelse	Vannføring (m ³ /s)	Nedstrøms grensebetingelse	Vannstand (moh.)
1	Vurdere dimensjon	200-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	5,9	1-årsstormflo med klimapåslag	+2.2
2	Vurdere dimensjon	1-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	1,6	200-årsstormflo med klimapåslag	+2.6
3	Vurdere behov for erosjonssikring	200-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	5,9	Middels lavvann	-0,8
4	Vurdere rørdiameter i anleggsfase	10-årsflom	1,9	1-årsstormflo	+1.6
5	Vurdere rørdiameter i anleggsfase	1-årsflom	1,2	10-årsstormflo	+1.8
6	Vurdere strømning i kulvert	200-årsflom med klima- og sikkerhetsfaktor	5,9	Tidevann med 1-årsstormflo med klimapåslag	+2.2/ -1,4 (maks/min)
7	Vurdere strømning i kulvert	Normalavrenning (QN)	0,07	Tidevann for normale situasjoner	+1,5/-0.9

Beregning av hydraulisk tverrsnitt

Det er ikke gjort beregninger av middelvannstand for de ulike løsningene siden det er forventet at vannstanden i bru/kulvert vil være styrt av havnivå, eventuelt terskelen i utløpet. Normalvannføring (gjennomsnittlig vannføring over året) er regnet til ca. 60 l/s fra avrenningskartet til NVE, noe som betyr at tilsiget fra bekken til Øvre Massvåg vil i normale situasjoner ikke påvirke vannstanden i noe betydelig grad. Middelvannstanden for Massvåg bru er derfor satt med bakgrunn i middelvann fra vedlegg 4, tilsvarende en høyde på -0,08 moh.

Det er sett på 5 alternative løsninger for å vurdere nødvendig hydraulisk tverrsnitt gjennom veifyllingen, hvorav et av de er dagens dimensjon. I tillegg et alternativt for midlertidig situasjon i anleggsfasen. Se kort forklaring av de ulike alternativene i tabellen under.

Alternativ	Kulvert/bru	Dimensjon (innvendige mål)	Kommentar	Vegnormal gjeldende
1	Bru	B x H = 4 m x 3,5 m	Eksisterende dimensjon	N400
2	Bru – litt smalere	B x H = 3,5 m x 3,7 m	Ny vegger støpes mot eksisterende konstruksjon. Ny topp/dekke.	N400
3	Kulvert rektangulær	B x H = 1,6 m x 3,2 m	Smaleste mulig tverrsnitt	N200
4	Kulverter rør – hovedrør og overløp	D1 = 2,4 m D2 = 1,4 m	For D1 er rør senket 0,8 m og gjenfylt tilsvarende høyde for å lage en bred bunn og 1/3 av resterende høyde (0,53 m) er gjentettet iht. krav i N200. Totalt 1,33 m gjentetting.	N200
5	Kulverter rør	D1 = 2,4 m D2 = 2,0 m	For D1 er 0,8 m gjenfylt for å lage en bred bunn og 1/3 (0,53 m) er gjentettet iht. krav i N200. Totalt 1,33 m gjentetting). For D2 er 0,67 m gjenfylt for å lage en bred bunn og 1/3 (0,44 m) er gjentettet iht. krav i N200. Totalt 1,11 m gjentetting)	N200
Midlertidig	Kulvert rør – midlertidig anleggsfase	D = 2,4 m		N200

Av de ulike alternativene som er vurdert er det kun dagens bru som ikke tilfredsstillt kravene gitt i gjeldende vegnormal. Oppstrøms vannstand ved 200-årsflom eller -stormflo vil i liten grad endre seg ved bruk av andre tverrsnitt.

Alternativ	Maksimal vannstand ved 200-årsflom/-stormflo (moh.)	Topp innvendig høyde (moh.)	Fri høyde (m)	Kommentar
1	2,62	2,95	0,3	Tilfredsstillt ikke krav til fri høyde iht. N200
2	2,61	2,65	0,5	
3	2,66	2,65	Ikke relevant	
4	2,63	2,7*	Ikke relevant	*Gjelder for overløpsrør DN1400
5	2,66	1,00	Ikke relevant	
Midlertidig	1,81	1,85	Ikke relevant	

Fra et hydraulisk perspektiv vil det være mulig å etablere både en smal, rektangulær konstruksjon eller en kombinasjon av flere rør for å avlede

flomvannet i Massvåg. Det betyr at bredde er mindre enn 2,5 m og er definert som kulvert som er omfattet av krav i vegnormal N200. Andre forhold som ikke er vurdert i rapporten kan medføre behov for å beholde gjennomløpet som en brukonstruksjon.

For alternativ 4 og 5 er det forutsatt at rørene på 2,4 m (alt. 4 og 5) og 2,0 m senkes henholdsvis 0,8 m og 0,67 m, og fylles opp igjen med erosjonssikker stein og naturlig bunns substrat. Det gir en bunnbredde på henholdsvis ca. 2,3 m (D = 2,4 m) og 1,9 m (D = 2,0 m). Grunnforholdene er ikke kjent under veifyllingen, og det er mulig at det er berg under dagens gjennomløp som gjør det vanskelig å senke rørkulvertene til beregnet nivå. Hvis rørene ikke kan senkes like mye vil det bety litt smalere bunnbredde og mindre masser inne i røret. Den hydrauliske kapasiteten vil derimot øke noe hvis rørene heves.

For midlertidig situasjon vil et rør med diameter 2,4 m kunne håndtere både 10-årsflom og -stormflo. Det er forutsatt at det ligger på samme nivå som dagens gjennomløp.

Gjennomstrømming i rør ved flom- og normalsituasjoner

Det er gjort en beregning av endrete strømningsforhold gjennom kulverten for dagens kulvert og for alternativ 4 og 5. Hastighetene gjennom kulvertene vil øke som følge av redusert tverrsnitt, men hastighetene anses som akseptable for flomsituasjon da de er antatt å være i korte perioder og for normale situasjoner vil ikke økningen i vannhastighet gi en fare for erosjon.

For alternativ 4 vil total vannføring og vannvolum som går inn/ut av vågen reduseres, mens for alternativ 5 er det vurdert at strømningsforholdene blir omtrent som dagens kulvert-/bruløsning. For et normalt døgn er det en reduksjon på henholdsvis ca. 21 % (alt. 4) og 1 % (alt. 5) av vann som går inn/ut av vågen.

Sikkerhet mot bølger

Det forventes bølger med høyde ca. 1,0 m kan nå veifyllingen i Massvåg. Ved utskiftning av bru/kulvert anbefales det at veifylling sikres opp til et nivå på 200-årsstormflo + bølgehøyde for å beskytte veiskråningen mot erosjon. Det tilsvarer et nivå på 2,6 moh. + 1,0 m = 3,6 moh.

Erosjonssikring

Det vil være behov for erosjonssikring i utløpet av ny bru/kulvert, hvor det over terskelen er beregnet vannhastigheter på ca. 3,3 m/s. Ved bruk av ett lag steinblokker som plastres bør steinene ha minste lengde og bredde på 0,25 m. Hvis det velges å benytte rauset stein, bør steinstørrelsen økes, hvor D_{50} er beregnet til 0,35 m. Et område på ca. 8 x 10 m bør sikres nedstrøms utløpet til kulverten.

Fiskevandring

Dagens og nytt gjennomløp forventes å ha gode forhold for fiskevandring så lenge dagens bunnivå opprettholdes. Fisk vil kunne vandre gjennom løpet ved middel til høy vannstand i sjøen, og vil i kortere perioder med lavvann muligens få problemer med å vandre opp terskelen i utløpet hvor strømmen kan være for stri.

Det anbefales at bunn i gjennomløpet etableres med naturlig substrat uavhengig av løsning.

Påvirkning for vågen og forhold rundt kulvert

Det er lagt til grunn alternativ 5 som anbefalt løsning. Det forventes kun mindre endringer for marine organismer som følge av endrede strømningsforhold (økt vannhastigheter og senere inn-/utstrømming i vågen) i rundt kulverten. Hydrologiske beregninger viser en reduksjon i vanngjennomstrømning på 1 % (alt. 5), og det vil være minimale endringer i vannstand i vågen ved flo og fjære. Tiltaket anses heller ikke å endre graden av sedimentasjon i vågen. Endringer for marine organismer anses å være såpass liten at dette ikke vil påvirke næringsgrunnlaget for gress- og dykkender som videre er viktige næringskilder for hubro i området.

Påvirkning på hubro

Det er registrert en hekkelokalitet for hubro (EN – sterkt truet) med viss nærhet til tiltaksområdet. Lokaliteten er utenfor anbefalt hensynsavstand oppgitt i notat «Anbefalte hensynssoner for sårbare arter av fugl» (Mork, 2018). Vågen og Dyrviksvaet er svært viktige næringsområder for hubro som i stor grad furasjerer på vanntilknyttet fugl i området. Næringsgrunnlaget for hubro i vågen forventes ikke å endre seg.

Da Vågen og Dyrviksvaet er viktige næringsområder for hubro, bør det anlegges mindre begrensninger i anleggsperioden i hekkeperioden (mars – august). Hubro furasjerer i stor grad om natten og i skumringen på kvelden og i grålysningen om morgenen. Anleggsarbeid bør derfor ikke starte opp før etter det blir lyst om morgenen, og bør avsluttes før det blir halvmørkt på kveldstid. Dette er spesielt viktig i hekkeperioden mars – august.

10 Referanser

- CERC. (1984). *Shore protection manual (Vol. 1)*. Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.
- DSB. (2016). *Havnivåstigning og stormflo - samfunnssikkerhet i kommunal planlegging*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- Glad, P. A., Stenius, S., Leine, A.-L. Ø., Væringstad, T., Holmqvist, E., Dahl, M.-P. J., & Trondsen, E. (2022). *Veileder nr. 1/2022. Veileder for flomberegninger*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Hasselmann, K., Barnett, T., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D., Enke, K., . . . Walden, H. (1973). *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg: Deutsches Hydrographisches Institut.
- Jensen, L., & Tesaker, E. (2009). *Veileder nr 4. Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Midttømme, G. H., Petterson, L. E., Nøtsund, Ø., Hisdal, H., & Sivertsgård, R. (2011). *Retningslinjer nr. 4/2011. Retningslinjer for flomberegninger*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Miljødirektoratet. (2022). *Lakseregisteret*. Hentet fra Madsvågvasdraget: <https://lakseregisteret.fylkesmannen.no/visElv.aspx?vassdrag=Madv%C3%A5gvasdraget&id=118.11Z>
- Mork, K. (2018). *Anbefalte hensynssoner for sårbare arter av fugl. 10202416-RIM-RAP-0001*. Multiconsult AS.
- NVE. (2022). *Modul F3.203: Plastring, sidesikring – Utførelse*. Hentet fra Sikringshåndboka: <https://www.nve.no/moduler/modul-f3-203-plastring-sidesikring-utforelse/>
- Statens vegvesen. (2020). *Håndbok V240 - Vannhåndtering*.
- SVV. (2020). *Håndbok V240 Vannhåndtering*. Statens vegvesen.
- SVV. (2022). *Vegnormal N200 Vegbygging*. Statens vegvesen.
- SVV. (2022). *Vegnormal N400 Bruprosjektering*. Statens vegvesen.

11 Vedlegg

Vedlegg 1: NEVINA-rapport Massvåg

Regional flomberegning

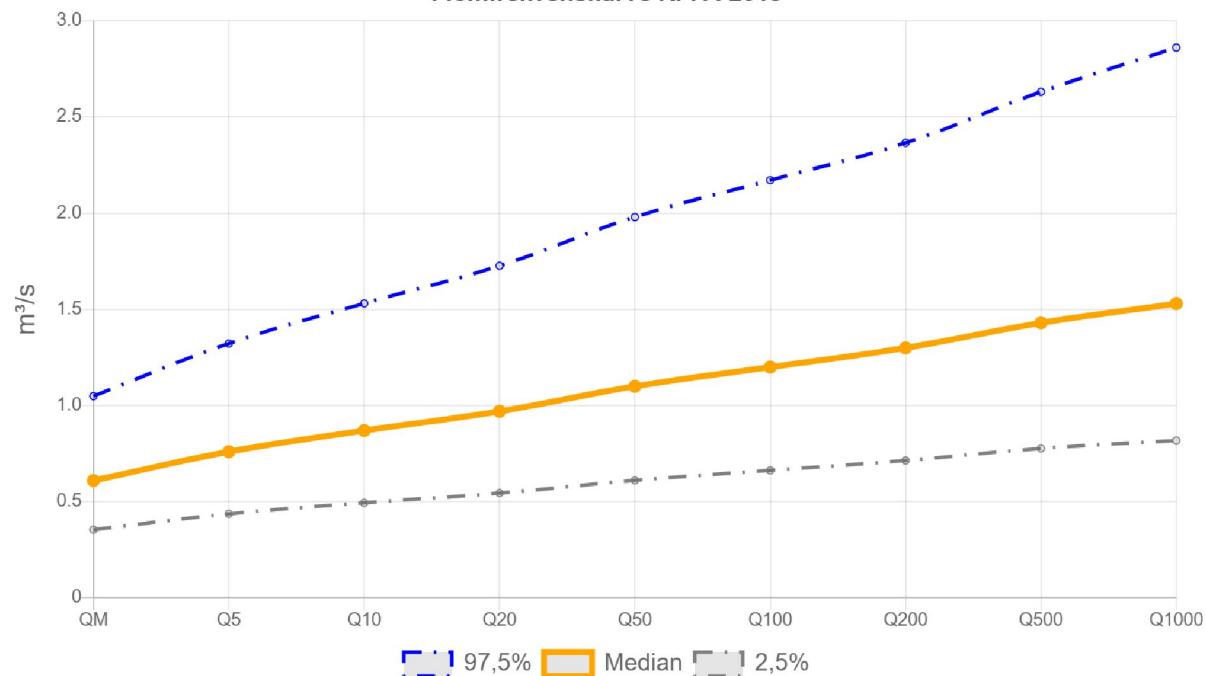
Vassdragsnr.: 118.11Z
 Kommune.: Frøya
 Fylke.: Trøndelag
 Vassdrag.: Madsvågelva
 Nedbørfeltareal: 2.63 km²

Flomestimer er beregnet basert på «Regional flomfrekvensanalyse (RFFA-2018)». Om nedbørfeltet er mindre enn 60 km², er det alternativt beregnet kulminasjonsflommer basert på NIFS-formelverk (2015).

Anbefalinger om klimapåslag er gitt i NVE rapport nr. 81-2016 og klimaprofiler for fylker (se www.klimaservicesenter.no).

Hvordan bruke resultatene fra rapporten, se her.

Flomfrekvenskurve RFFA-2018



RFFA-2018

Tidsoppløsning	Døgn	-
Indeksflom (QM): Medianflom	232	l/s*km ²
Klimapåslag	20	%
Kulminasjonsfaktor	1.13	-

NIFS-2015

Tidsoppløsning	Kulminasjon	-
Indeksflom (QM): Middelflom	376	l/s*km ²
Klimapåslag	40	%

Annet

Tilløpsflom	Nei	-
-------------	-----	---

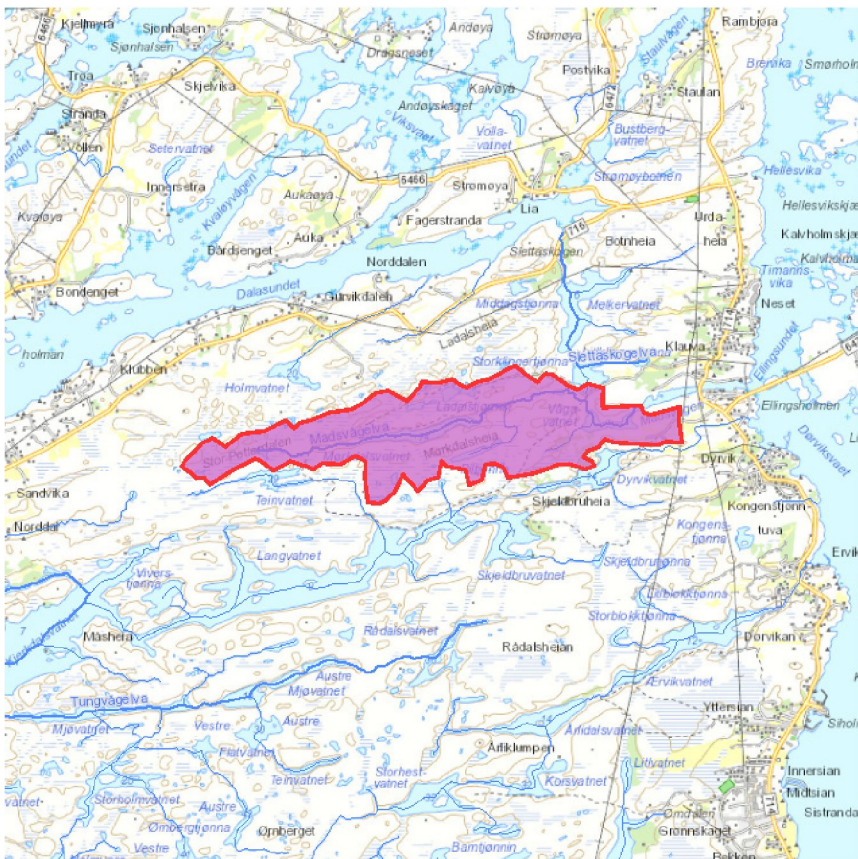
RFFA-2018 (døgnmiddel)

	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q _{200-klima}
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.25	1.43	1.59	1.80	1.97	2.13	2.34	2.51	-
Flomverdier, m ³ /s	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s	1.0	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	-
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	-

NIFS (kulminasjon)

	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q _{200-klima}
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.24	1.48	1.76	2.17	2.55	2.98	3.67	4.30	-
Flomverdier, m ³ /s	1.0	1.2	1.5	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	4.1
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s	1.8	2.2	2.7	3.3	4.2	5.0	5.9	7.3	8.5	-
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	-

Flomverdier er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres. Verdiene kan ikke benyttes direkte, men må sammenlignes med andre metoder, sammenligningsstasjoner og/eller egne data.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Bereg.punkt: 194482 E
7085193 N

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

Feltparametere

Areal (A)	2.63	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	5.26	%
Elvleengde uten sjø (E _{TL,net})	2.9	km
Elvegradient (E _G)	8.2	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	5.0	m/km
Helning	5	°
Dreneringstetthet (D _T)	2.2	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	4.2	km

Feltparametere Tilløp

Effektiv sjø – Tilløp (A _{AE-T})	3.5	%
Feltlengde – Tilløp (F _{F-T})	3.74	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	1.8	%
Myr (A _{MYR})	17.9	%
Leire (A _{LEIRE})	0	%
Skog (A _{SKOG})	1.9	%
Sjø (A _{SJO})	8.9	%
Snaufjell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	0	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	69.7	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	1	m
Høyde ₁₀	13	m
Høyde ₂₅	18.5	m
Høyde ₅₀	26	m
Høyde ₇₅	33	m
Høyde _{MAX}	49	m

Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	24.2	l/s*km ²
Nedbør juni	54	mm
Nedbør juli	74	mm
Regn og snøsmelting mai	58	mm
Regn og snøsmelting juni	71	mm
Regn og snøsmelting årlig 4d	89	mm
Regn og snøsmelting november	138	mm
Temperatur februar	0.4	°C
Temperatur mars	1.4	°C

Vedlegg 2: NEVINA-rapport Valen

Regional flomberegning

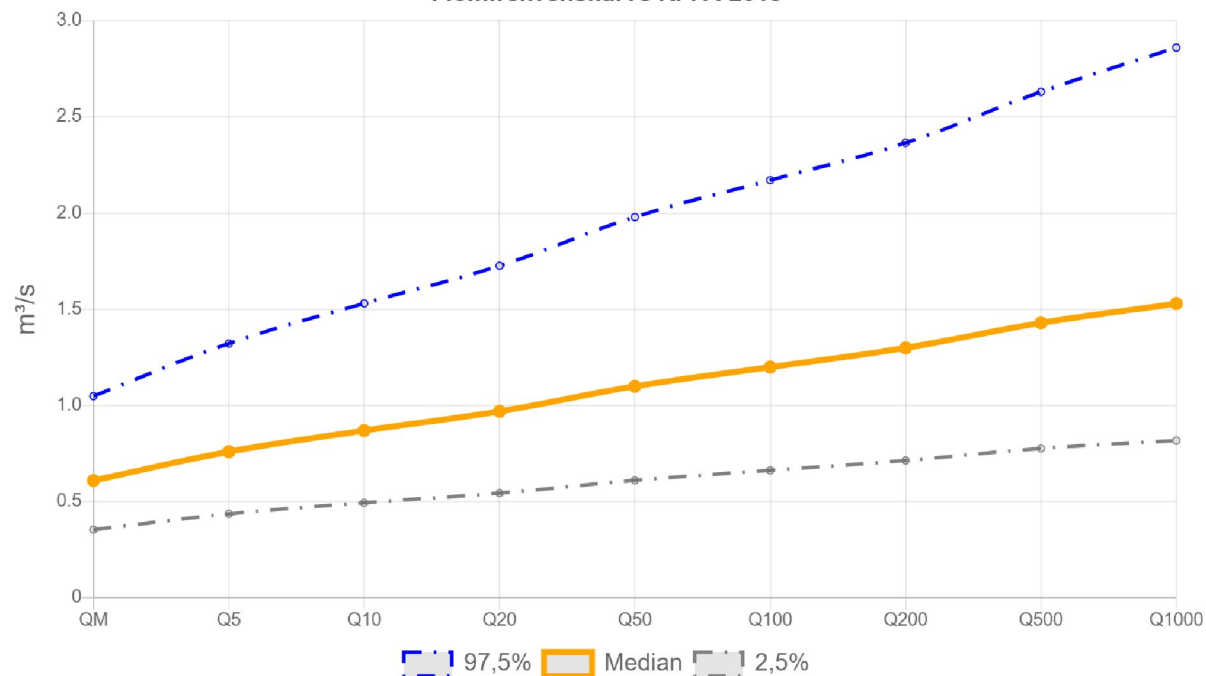
Vassdragsnr.: 118.11Z
 Kommune.: Frøya
 Fylke.: Trøndelag
 Vassdrag.: Madsvågelva
 Nedbørfeltareal: 2.63 km²

Flomestimer er beregnet basert på «Regional flomfrekvensanalyse (RFFA-2018)». Om nedbørfeltet er mindre enn 60 km², er det alternativt beregnet kulminasjonsflommer basert på NIFS-formelverk (2015).

Anbefalinger om klimapåslag er gitt i NVE rapport nr. 81-2016 og klimaprofiler for fylker (se www.klimaservicesenter.no).

Hvordan bruke resultatene fra rapporten, se her.

Flomfrekvenskurve RFFA-2018



RFFA-2018

Tidsoppløsning	Døgn	-
Indeksflom (QM): Medianflom	232	l/s*km ²
Klimapåslag	20	%
Kulminasjonsfaktor	1.13	-

NIFS-2015

Tidsoppløsning	Kulminasjon	-
Indeksflom (QM): Middelflom	376	l/s*km ²
Klimapåslag	40	%

Annet

Tilløpsflom	Nei	-
-------------	-----	---

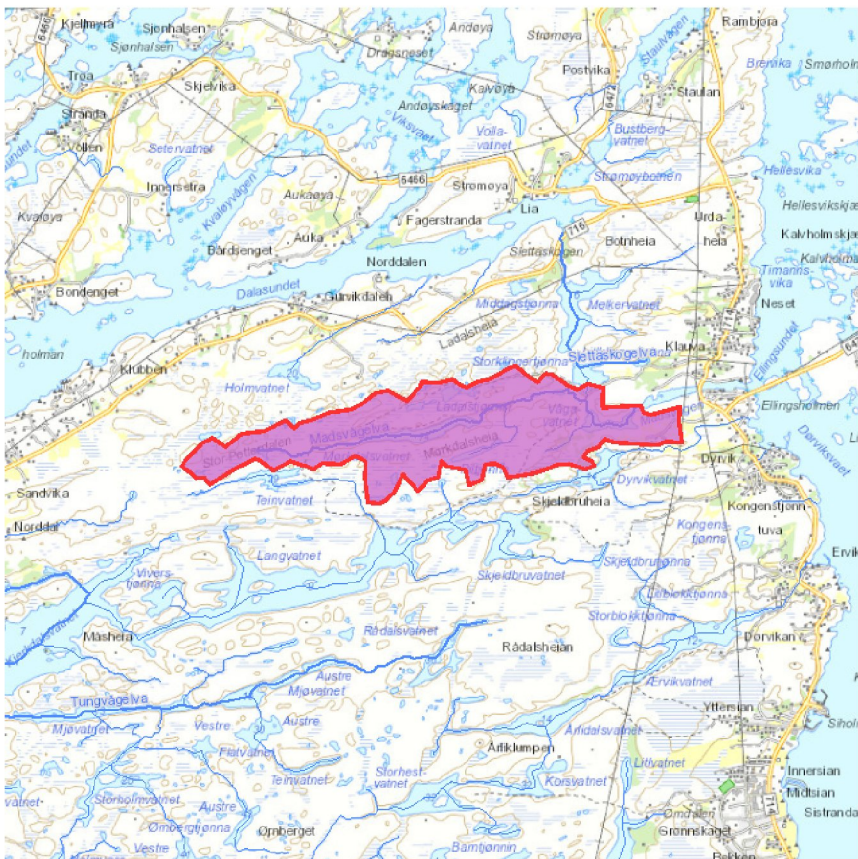
RFFA-2018 (døgnmiddel)

	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q _{200-klima}
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.25	1.43	1.59	1.80	1.97	2.13	2.34	2.51	-
Flomverdier, m ³ /s	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s	1.0	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	-
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	-

NIFS (kulminasjon)

	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q _{200-klima}
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.24	1.48	1.76	2.17	2.55	2.98	3.67	4.30	-
Flomverdier, m ³ /s	1.0	1.2	1.5	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	4.1
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s	1.8	2.2	2.7	3.3	4.2	5.0	5.9	7.3	8.5	-
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	-

Flomverdier er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres. Verdiene kan ikke benyttes direkte, men må sammenlignes med andre metoder, sammenligningsstasjoner og/eller egne data.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Bereg.punkt: 194482 E
7085193 N

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

Feltparametere

Areal (A)	2.63	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	5.26	%
Elvleengde uten sjø (E _{TL,net})	2.9	km
Elvegradient (E _G)	8.2	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	5.0	m/km
Helning	5	°
Dreneringstetthet (D _T)	2.2	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	4.2	km

Feltparametere Tilløp

Effektiv sjø – Tilløp (A _{AE-T})	3.5	%
Feltlengde – Tilløp (F _{F-T})	3.74	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	1.8	%
Myr (A _{MYR})	17.9	%
Leire (A _{LEIRE})	0	%
Skog (A _{SKOG})	1.9	%
Sjø (A _{SJO})	8.9	%
Snaufjell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	0	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	69.7	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	1	m
Høyde ₁₀	13	m
Høyde ₂₅	18.5	m
Høyde ₅₀	26	m
Høyde ₇₅	33	m
Høyde _{MAX}	49	m

Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	24.2	l/s*km ²
Nedbør juni	54	mm
Nedbør juli	74	mm
Regn og snøsmelting mai	58	mm
Regn og snøsmelting juni	71	mm
Regn og snøsmelting årlig 4d	89	mm
Regn og snøsmelting november	138	mm
Temperatur februar	0.4	°C
Temperatur mars	1.4	°C

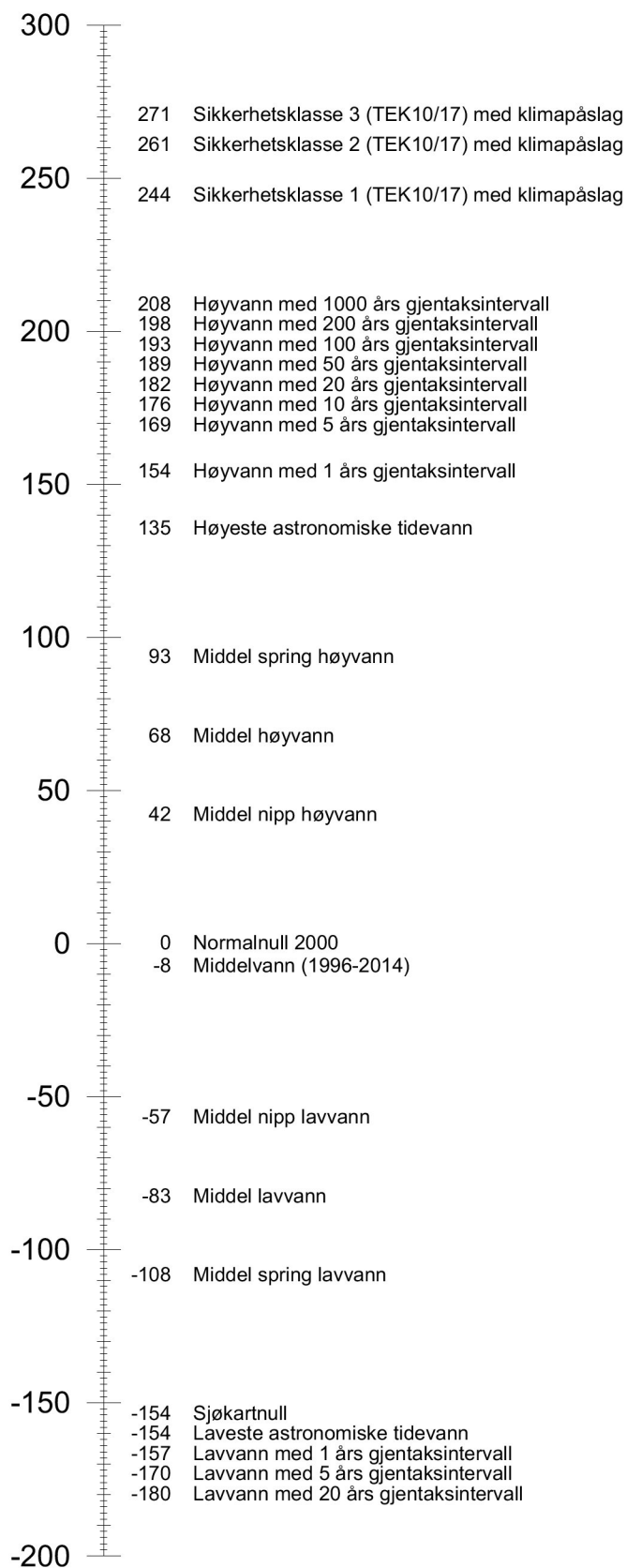
Vedlegg 3: Havnivåstigning

N63°43,8' E8°49,5'

Nivåskisse

FRØYA KOMMUNE

Nivå knyttet til tidevann er hentet fra Mausund, justert med faktor 1,02.



Høyder er i cm over Normalnull 2000 som er nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000. Datagrunnlag sist endret: 18. august 2021. Lastet ned: 3. mai 2022.

Sikkerhetsklasser i TEK10/17 med klimapåslag

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap har i 2016 anbefalt at for planleggingsformål som faller inn under Sikkerhetsklasse 1, 2 og 3 i TEK10 (og TEK17), skal man bruke returnivå for stormflo med henholdsvis 20-, 200- og 1000-års returnivå og legge til et klimapåslag. Klimapåslaget er anbefalt å være tallene fra RCP8.5 fra rapporten fra FN's klimapanel (2013) for årene 2081-2100 og framskrivningenes 95-persentil.

Høy-/lavvann med gjentakintervall

Statistiske beregninger av hvor hyppig et ekstremt høy-/lavvann av en viss størrelse vil opptre. I gjennomsnitt når høy-/lavvannet dette nivået en gang i løpet av gjentakintervallet. Eksempel: et ekstremt høyvann med 50 års gjentakintervall vil i gjennomsnitt opptre en gang per 50 år. Gjentakintervall kalles også returperiode.

Høyeste astronomiske tidevann

Høyeste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes HAT ved å lage tidevannstabeller for 19 år og plukke ut det høyeste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

Middel spring høyvann

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til høyere høyvann enn ellers.

Middel høyvann

Gjennomsnittet av alle observerte høyvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann pluss amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

Middel nipp høyvann

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til lavere høyvann enn ellers.

Normalnull 2000

Nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000

Middelvann (1996-2014)

Gjennomsnittlig høyde av sjøens overflate på et sted over en periode på 19 år. Middelvann beregnes som gjennomsnittet av vannstandsobservasjoner foretatt med faste tidsintervall - fortrinnsvis over en periode på 19 år. Dagens middelvann er beregnet over perioden 1996-2014.

Middel nipp lavvann

Gjennomsnittet av observerte lavvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til høyere lavvann enn ellers.

Middel lavvann

Gjennomsnittet av alle observerte lavvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann minus amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

Middel spring lavvann

Gjennomsnittet av observerte lavvann omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til lavere lavvann enn ellers.

Sjøkartnull

Nullnivå for dybder i sjøkart og høyder i tidevannstabellen. Sjøkartnull er fra 1. januar 2000 lagt til laveste astronomiske tidevann (LAT). Langs Sørlandskysten og i Oslofjorden er tidevannsvariasjonene små i forhold til værrets virkning på vannstanden (vind, lufttrykk og temperatur). Sjøkartnull er derfor av sikkerhetsmessige grunner lagt 20 cm lavere enn LAT langs kysten fra svenskegrensen til Utsira og 30 cm lavere enn LAT i indre Oslofjord (innenfor Drøbaksundet).

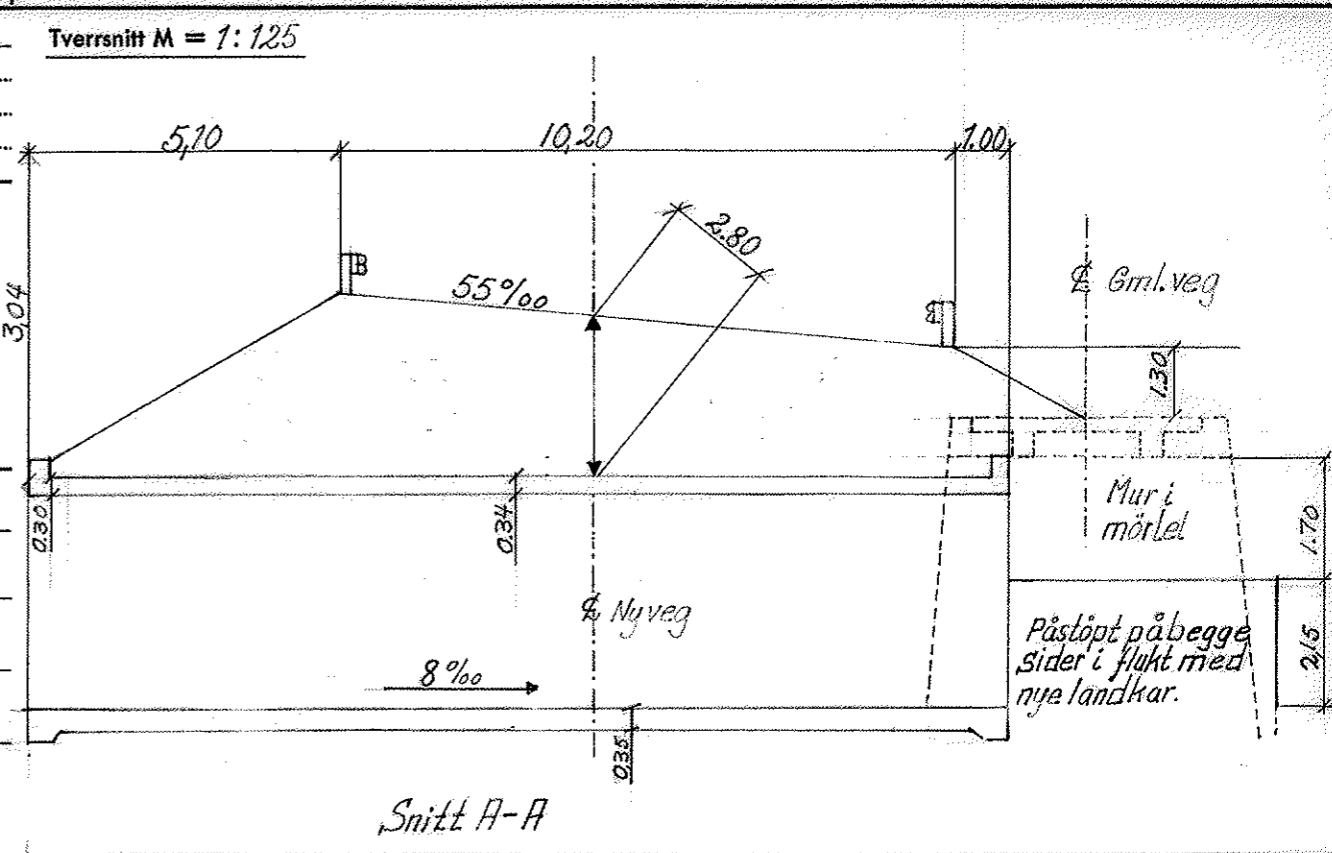
Laveste astronomiske tidevann

Laveste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes LAT ved å lage tidevannstabeller for 19 år og plukke ut det laveste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

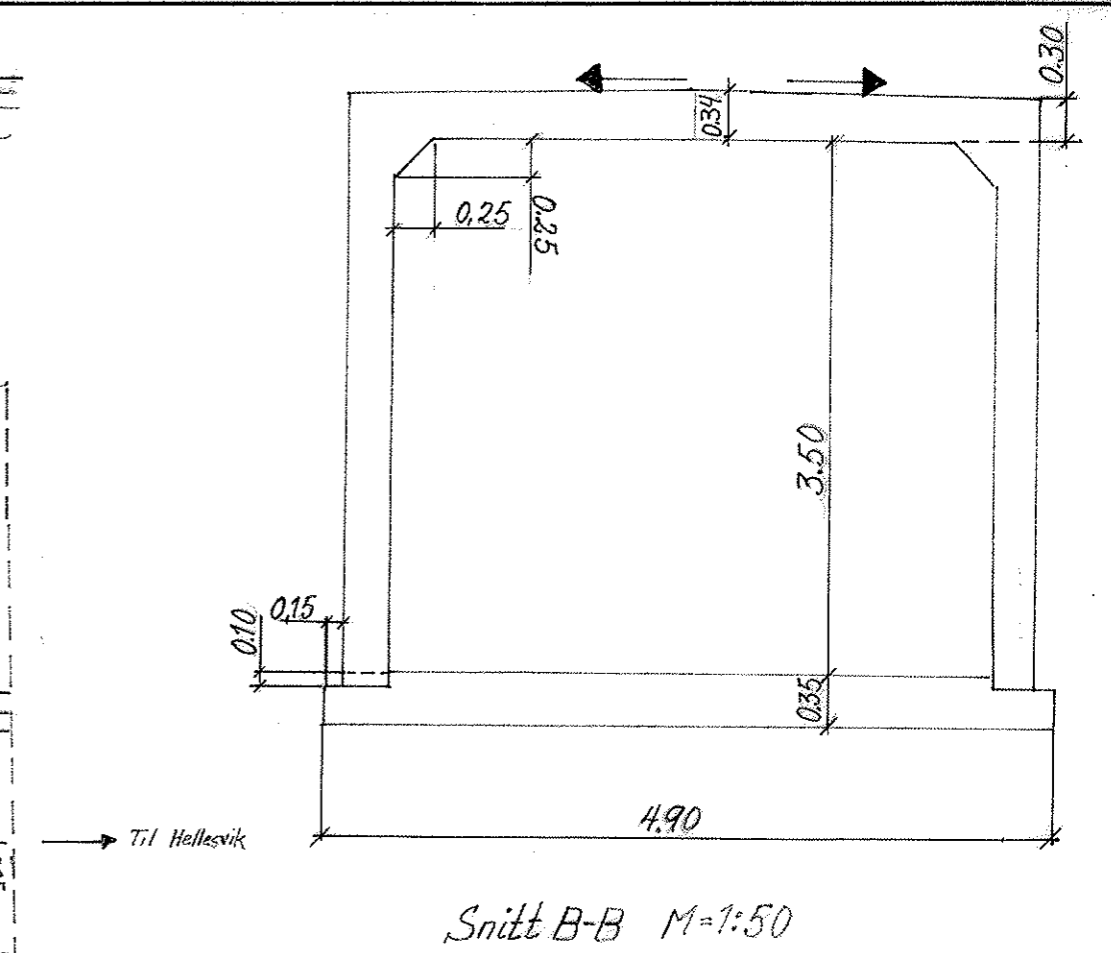
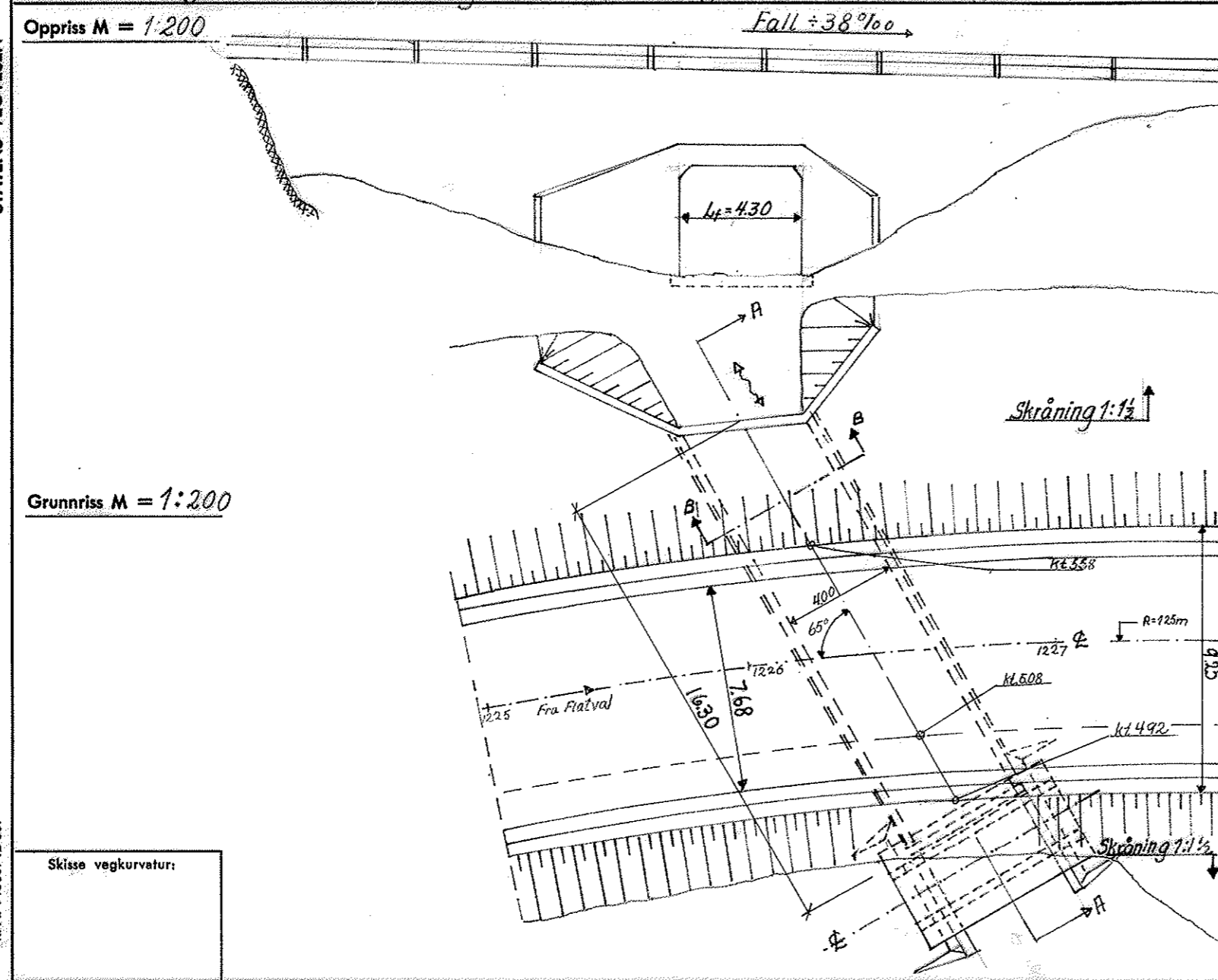
Vedlegg 4: Tegning eksisterende Massvåg bru

Ferdigbrutegning

Massvåg bru Riks veg 714 838 1973		Arkiv nr. 68 4 716/1	
Hellesvik - Flatval - Titran Hp14 nr. Byggenr. Bygd år		HP14 12.040/88	
Fylke Sör-Tröndelag	Herred Fröya	Kilometrering (beliggende) 4,5 km S for Svellingen	
Brusystem Kulvert: lukket plateramme i 1 spenn.			
Konstruksjon (materialer) Arm.bet. tplate = 30-34 cm.			
Brudekke Arm.bet. m/grus overdekn. ca 2.80 m sliotedekke Grus			
Underbygning (materialer) Ramme og vinger arm.bet			
Fundamentering Betongplate			
Spennvidde/Lysvidde $L_f = 4.30 m$			
Kurveutv. b =	m	Gangbaner G =	m
Fri bredde over føring		Fri høyde over pl.	
Fri bredde over rekkv.		Fri høyde bru	
Fri seilløp		Føringsavst. F = 7.68 m	
Konstruert for lastkl. Internatdisk 1971		Endringer av lastkl./akseltr.	
Konstruert for akseltrykk: 13 tonn			
Overbygning:		Underbygning:	
Konstruert av: Vegvesenet i Sör-Tröndelag		Konstruert av: Vegvesenet i Sör-Tröndelag	
Bygd av: Vegvesenet i Sör-Tröndelag		Bygd av: Vegvesenet i Sör-Tröndelag	



STATENS VEGVESEN



Måli meter

Forsterket/Utv.:

Tegnet den 31. Okt. 1973
av: Konstr. S. Schistark

Vedlegg 5: Erosjonssikringsberegninger

Erosjonssikring av kulvertutløp med ett lag steinblokker

Beregning av erosjonssikring av steinblokker ved bruk av formel 4.23 og figur 91 i veileder for erosjonssikring (Jensen & Tesaker, 2009).

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Dimensjonerte flom	5.9	m ³ /s	Fra flomberegning
Bunnbredde elveløp	5.00	m	Basert på terreng
Vanndybde, y ₀	0.30	m	Fra vannlinjeberegning
Helning på sideskråninger, z (1V: zH)	8.50	-	Basert på eksisterende terreng og anbefalte helning for sikringslag
Bredde for beregning av enhetsvannføring q	7.55	m	Bredde på midten av vanndybde
Bunnhelning i elveløpet, S ₀ (1:n), n =	8.33	-	S ₀ på 2,5 % fra eksisterende terreng
Bunnhelning formelverk S ₀ (1:n), n =	6	-	Formelverk i NVE 2009 for S ₀ = 1:10 (10 %)
Enhetsvannføring, q	0.8	m ³ /s/m	Bredde på midten av vanndybde er benyttet å beregne q
Tykkelse, t basert på q	253	mm	Formel til 1:10 bunnhelning (NVE, 2009). Lengden på aksene normalt på bunnen, dvs. tykkelsen til sikringslaget
D50, Figur 91 NVE, 2009	230	mm	Fra Figur 91 i NVE (2009): terskelkurve for terskelhelning 1:15 for ensgradert sprengstein (VHL 1969; SINTEF 1982).
Bunn			
t_beregnet	250	mm	t på elvebunnen. Maks av beregnet fra formelverk og terskelkurve. Plastring som damplastring (V = 4-6 m/s, overkritisk strømning)
Sikringsfaktor for ispåkjenning, SF (-)	1.0	mm	Forutsatt medium belastning fra is. NVE (2009) avsnitt 2.12.3 s. 29
t_benyttet	250		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A _{eksp})	0.13	m ²	2 x t ²
Bredde til steinblokk, B	250	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	250	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Eksponert flate mot vannet (A _{eksp}) = L * B	0.06	m ²	
Sideskråninger			
Korr. faktor bratt sideskråning C _θ	1.2	-	C _θ fra figur 60 i NVE (2009) (avsnitt 4.7.1) = 1,55. Det er benyttet for helning på sideskråninger på 1:1,5.
t_beregnet	300	mm	t på sideskråninger

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
t_benyttet på bunn og skråninger	300		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A_{eksp})	0.18	m ²	$2 \times t^2$
Bredde til steinblokk, B	300	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	300	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Eksponert flate mot vannet (A_{eksp}) = L * B	0.09	m ²	$L * B < 2 \times t^2$, OK!

Erosjonssikring av kulvertutløp med rauset stein

Beregning av erosjonssikring av rauset stein ved bruk av Robinson formel (4.22) i veileder for erosjonssikringer av stein (Jensen & Tesaker, 2009).

Beskrivelser	Verdi	Enhet	Kommentarer
Dimensjonerte flom, m ³ /s	5.9	m ³ /s	Fra flomberegning
Bunnbredde, b	5.00	m	Basert på tverrsnitt fra terreng/tegning
Vanddybde, y ₀	0.30	m	Fra vannlinjeberegning/hydrauliskeberegning
Helning på skråning, n (1V:nH)	8.5	-	Basert på tverrsnitt fra terreng/tegning (avrundet f.eks. 4, 3.5, 3, 2.5, 2 og 1.5 for beregning av C ₀). Sideskråningen bør ikke være brattere enn 1:2 (NVE, 2009)
Bredde for beregning av q	7.55	m	Bredde på midten av vanddybde: $b + 2 * (n * y_0 / 2)$
Bunnhelning, S ₀	0.12	-	2.5 % (1:40) basert på høyde informasjon fra terreng. Brattere enn 2% (1:50), ikke brattere enn 40% (1:2,5)
Enhetsvannføring, q	0.78	m ² /s	Bredde på midten av vanddybde er benyttet å beregne q. Konservativt
D50 (bunn)	0.23	m	Formelverk 4.21 for S ₀ < 1:10 (10%) og formelverk 4.22 for 1:10 <= S ₀ <= 1:2.5 (avsnitt 4.7 i veileder NVE 2009)
D50, bunn med + 20 %	0.27	m	Anbefaling i NVE 2009 avsnitt 4.7 (D50 øker med 20 % for dimensjonering)
Sikringsfaktor for ispåkjenning, SF (-)	1	mm	Forutsatt liten belastning fra is.
Cu (D60/D10)	1.73	-	Mellom 1,25 og 1,73 (side 94 i NVE 2009)
Bunn			
D50	273	mm	
Dmaks	546	mm	2D50
Tykkelse	546	mm	min (2D50) tykk og relativt ensgradert anbefaling i NVE 2009 avsnitt 4.7

Beskrivelser	Verdi	Enhet	Kommentarer
D85	409	mm	1.5D50
D60	300	mm	1.1 D50
D30	227	mm	D50/1.2
D15	191	mm	0.7 D50
D10	173	mm	D60/Cu
D5	109	mm	0.4 D50
Skråning			
Korr. faktor bratt sideskråning C_{θ}	1.2	-	Fra figur 60 i NVE (2009)
D50	327	mm	Korr. for skråning basert på figur 60 i NVE (2009)
Dmaks	700	mm	2D50
Tykkelse	700	mm	min (2D50) tykk og relativt ensgradert anbefaling i NVE 2009 avsnitt 4.7
D85	491	mm	1.5D50
D60	360	mm	1.1 D50
D30	273	mm	D50/1.2
D15	229	mm	0.7 D50
D10	208	mm	D60/Cu
D5	131	mm	0.4 D50

Erosjonssikring inne i kulvert DN2400 for alternativ 4

Beregning av erosjonssikring av steinblokker ved bruk av formel 4.23 og figur 91 i veileder for erosjonssikring (Jensen & Tesaker, 2009).

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Dimensjonerte flom	8.9	m ³ /s	Fra flomberegning
Bunnbredde elveløp	1.20	m	Basert på terreng
Vanndybde, y_0	1.60	m	Fra vannlinjeberegning
Helning på sideskråninger, z (1V: zH)	0.00	-	Basert på eksisterende terreng og anbefalte helning for sikringslag
Bredde for beregning av enhetsvannføring q	2.26	m	Bredde på midten av vanndybde
Bunnhelning i elveløpet, S_o (1:n), $n =$	50	-	S_o på 2,5 % fra eksisterende terreng
Bunnhelning formelverk S_o (1:n), $n =$	10	-	Formelverk i NVE 2009 for $S_o = 1:10$ (10 %)
Enhetsvannføring, q	3.9	m ³ /s/m	Bredde på midten av vanndybde er benyttet å beregne q

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Tykkelse, t basert på q	403	mm	Formel til 1:10 bunnhelning (NVE, 2009). Lengden på akse normalt på bunnen, dvs. tykkelsen til sikringslaget
D50, Figur 91 NVE, 2009	400	mm	Fra Figur 91 i NVE (2009): terskelkurve for terskelhelning 1:15 for ensgradert sprengstein (VHL 1969; SINTEF 1982).
Bunn			
t_beregnet	400	mm	t på elvebunnen. Maks av beregnet fra formelverk og terskelkurve. Plastring som damplastring (V = 4-6 m/s, overkritisk strømning)
Sikringsfaktor for ispåkjenning, SF (-)	1.0	mm	Forutsatt medium belastning fra is. NVE (2009) avsnitt 2.12.3 s. 29
t_benyttet	400		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A_{eksp})	0.32	m ²	2 x t ²
Bredde til steinblokk, B	400	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	400	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Eksponert flate mot vannet (A_{eksp}) = L * B	0.16	m ²	
Sideskråninger			
Korr. faktor bratt sideskråning C θ	1.2	-	C θ fra figur 60 i NVE (2009) (avsnitt 4.7.1) = 1,55. Det er benyttet for helning på sideskråninger på 1:1,5.
t_beregnet	450	mm	t på sideskråninger
t_benyttet på bunn og skråninger	450		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A_{eksp})	0.41	m ²	2 x t ²
Bredde til steinblokk, B	450	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	450	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Eksponert flate mot vannet (A_{eksp}) = L * B	0.20	m ²	L*B < 2 x t ² , OK!

Erosjonssikring inne i kulvert DN2400 for alternativ 5

Beregning av erosjonssikring av steinblokker ved bruk av formel 4.23 og figur 91 i veileder for erosjonssikring (Jensen & Tesaker, 2009).

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Dimensjonerte flom	7.2	m ³ /s	Fra flomberegning

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Bunnbredde elveløp	1.20	m	Basert på terreng
Vanndybde, y_0	1.60	m	Fra vannlinjeberegning
Helning på sideskråninger, z (1V: zH)	0.00	-	Basert på eksisterende terreng og anbefalte helning for sikringslag
Bredde for beregning av enhetsvannføring q	2.26	m	Bredde på midten av vanndybde
Bunnhelning i elveløpet, S_o (1:n), $n =$	50	-	S_o på 2,5 % fra eksisterende terreng
Bunnhelning formelverk S_o (1:n), $n =$	10	-	Formelverk i NVE 2009 for $S_o = 1:10$ (10 %)
Enhetsvannføring, q	3.2	$m^3/s/m$	Bredde på midten av vanndybde er benyttet å beregne q
Tykkelse, t basert på q	350	mm	Formel til 1:10 bunnhelning (NVE, 2009). Lengden på akse normalt på bunnen, dvs. tykkelsen til sikringslaget
D50, Figur 91 NVE, 2009	350	mm	Fra Figur 91 i NVE (2009): terskelkurve for terskelhelning 1:15 for ensgradert sprengstein (VHL 1969; SINTEF 1982).
Bunn			
t_{beregnet}	350	mm	t på elvebunnen. Maks av beregnet fra formelverk og terskelkurve. Plastring som damplastring ($V = 4-6$ m/s, overkritisk strømning)
Sikringsfaktor for ispåkjenning, SF (-)	1.0	mm	Forutsatt medium belastning fra is. NVE (2009) avsnitt 2.12.3 s. 29
t_{benyttet}	350		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A_{eksp})	0.25	m^2	$2 \times t^2$
Bredde til steinblokk, B	350	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	350	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Eksponert flate mot vannet ($A_{\text{eksp}} = L \cdot B$)	0.12	m^2	
Sideskråninger			
Korr. faktor bratt sideskråning C_Θ	1.2	-	C_Θ fra figur 60 i NVE (2009) (avsnitt 4.7.1) = 1,55. Det er benyttet for helning på sideskråninger på 1:1,5.
t_{beregnet}	400	mm	t på sideskråninger
t_{benyttet} på bunn og skråninger	400		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A_{eksp})	0.32	m^2	$2 \times t^2$
Bredde til steinblokk, B	400	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	400	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Eksponert flate mot vannet (A_{eksp}) = L * B	0.16	m ²	L*B < 2 x t ² , OK!

Erosjonssikring inne i kulvert DN2000 for alternativ 5

Beregning av erosjonssikring av steinblokker ved bruk av formel 4.23 og figur 91 i veileder for erosjonssikring (Jensen & Tesaker, 2009).

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Dimensjonerte flom	5.0	m ³ /s	Fra flomberegning
Bunnbredde elveløp	1.20	m	Basert på terreng
Vanndybde, y0	1.60	m	Fra vannlinjeberegning
Helning på sideskråninger, z (1V: zH)	0.00	-	Basert på eksisterende terreng og anbefalte helning for sikringslag
Bredde for beregning av enhetsvannføring q	1.88	m	Bredde på midten av vanndybde
Bunnhelning i elveløpet, So (1:n), n =	50	-	So på 2,5 % fra eksisterende terreng
Bunnhelning formelverk So (1:n), n =	10	-	Formelverk i NVE 2009 for So = 1:10 (10 %)
Enhetsvannføring, q	2.7	m ³ /s/ m	Bredde på midten av vanndybde er benyttet å beregne q
Tykkelse, t basert på q	310	mm	Formel til 1:10 bunnhelning (NVE, 2009). Lengden på akse normalt på bunnen, dvs. tykkelsen til sikringslaget
D50, Figur 91 NVE, 2009	280	mm	Fra Figur 91 i NVE (2009): terskelkurve for terskelhelning 1:15 for ensgradert sprengstein (VHL 1969; SINTEF 1982).
Bunn			
t_beregnet	300	mm	t på elvebunnen. Maks av beregnet fra formelverk og terskelkurve. Plastring som damplastring (V = 4-6 m/s, overkritisk strømning)
Sikringsfaktor for ispåkjenning, SF (-)	1.0	mm	Forutsatt medium belastning fra is. NVE (2009) avsnitt 2.12.3 s. 29
t_benyttet	300		
Maks. anbefalt eksponert flate mot vannet (A_{eksp})	0.18	m ²	2 x t ²
Bredde til steinblokk, B	300	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	300	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)

Beskrivelser	Verdier	Enhet	Kommentarer
Ekspontert flate mot vannet (A_{eksp}) = $L \cdot B$	0.09	m ²	
Sideskråninger			
Korr. faktor bratt sideskråning $C\theta$	1.2	-	$C\theta$ fra figur 60 i NVE (2009) (avsnitt 4.7.1) = 1,55. Det er benyttet for helning på sideskråninger på 1:1,5.
t_{beregnet}	350	mm	t på sideskråninger
t_{benyttet} på bunn og skrånninger	350		
Maks. anbefalt ekspontert flate mot vannet (A_{eksp})	0.25	m ²	$2 \times t^2$
Bredde til steinblokk, B	350	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Lengde til steinblokk (i strømningsretning), L	350	mm	Det bør brukes blokker av sprengt stein med kubisk form (NVE, 2009, avsnitt 4.7.2 side 95)
Ekspontert flate mot vannet (A_{eksp}) = $L \cdot B$	0.12	m ²	$L \cdot B < 2 \times t^2$, OK!

Vedlegg 6: Tidevann hentet fra Kartverket

Observasjoner, prediksjoner, væreffekt og varsel.

Tidevann justert med 0 minutter og høydefaktor på 1,02 og observert værbidrag fra Mausund

Oktober 2022						Oktober 2022															
	Tid	Obs	Pre	Vær	Var		Tid	Obs	Pre	Vær	Var		Tid	Obs	Pre	Vær	Var				
10 Ma	0100	124	106	18		12 On	2300		4		18										
	0200	90	69	21			0000		56		71										
	0300	37	16	21			0100		95		109										
	0400	-19	-41	22		13 To															
	0500	-67	-89	23																	
	0600	-92	-116	24																	
	0700	-90	-116	26																	
	0800	-62	-90	28																	
	0900	-16	-43	27																	
	1000	38	16	22																	
	1100	93	71	21																	
	1200	124	104	20																	
	1300	124	106	18																	
	1400	97	80	17																	
	1500	54	35	19																	
	1600	3	-18	21																	
	1700	-44	-68	24																	
	1800	-77	-99	22																	
	1900	-79	-103	23																	
	2000	-54	-80	27																	
	2100	-8	-37	29																	
	2200	49	19	29																	
	2300	104	75	29																	
	11 Ti	0000	142	113	29																
0100		148	120	28																	
0200		123	97	27																	
0300		76	52	25																	
0400		19	-4	23																	
0500		-37	-59	22																	
0600		-78	-99	21																	
0700		-94	-115	21																	
0800		-84	-103	19																	
0900		-52	-69	18																	
1000		-0	-17	17																	
1100		57	42	15																	
1200		104	90	14																	
1300		122	110	12																	
1400		108	99	9																	
1500		71	64	7																	
1600		20	14	6																	
1700		-32	-39	7																	
1800		-74	-82	8																	
1900		-94	-102	8																	
2000		-87	-95	8																	
2100		-56	-64	8																	
2200		-10	-17	6																	
2300		45	40	5																	
12 On	0000	95	90	5	92																
	0100	121	116	5	116																
	0200	115	110	4	109																
	0300	82	79	4	78																
	0400	33	30	3	28																
	0500	-23	-24	1	-27																
	0600	-70	-71	1	-73																
	0700	-96	-100	3	-104																
	0800	-98	-103	5	-108																
	0900	-76	-82	6	-86																
	1000	-35	-42	7	-45																
	1100		11		9																
	1200		64		65																
	1300		99		100																
1400		106		107																	
1500		84		88																	
1600		43		49																	
1700		-7		2																	
1800		-55		-46																	
1900		-87		-77																	
2000		-96		-85																	
2100		-80		-68																	
2200		-44		-32																	

Tidspunktene følger gjeldende tid i Norge. De blir automatisk justert etter sommer- og vintertid. Sommertid fra siste søndag i mars til siste søndag i oktober. Høyder er i cm over Normalnull 2000 som er nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000. Vannstanden er målt i Mausund, multiplisert med faktor 1,02 og tidskorrigert med 0 minutter. Vannstandsvarsel er levert av Meteorologisk institutt.