

Kvam herad

► Hydraulisk analyse av flomsikringstiltak i Øysteseelva

Oppdragsnr.: 52301942 Dokumentnr.: HYD_Øysteseelva_02 Versjon: J02 Dato: 2024-05-24



Oppdragsgiver: Kvam herad
Oppdragsgivers kontaktperson: Tore Dolvik, Trond Inge Brakestad
Rådgiver: Norconsult Norge AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim
Oppdragsleder: Julie Scott-Hansen
Fagansvarlig: Daniel Fossberg
Andre nøkkelpersoner: Katherine Aurand

J02	2024-05-24	For bruk - oppdatert etter kommentarer fra oppdragsgiver	KatAur	DBFos	JulSco
B01	2024-01-26	For kommentar fra oppdragsgiver	KatAur	DBFos	JulSco
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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

► Sammendrag

Norconsult Norge AS er engasjert av Kvam herad for å utføre en vurdering av flomsikringstiltak for Øysteseelva i Øystese sentrum.

Dagens situasjon for 200-årsflom og 1000-årsflom er tidligere beregnet og beskrevet i egen flomsoner rapport [1]. En flomberegning utført av NVE i 2009 er kontrollert og funnet å fortsatt være gjeldende. Klimapåslag i dette nedbørfeltet er vurdert til en økning på 20% på vannføringen. På grunn av usikkerheten i datagrunnlaget og modellen, er det benyttet et ytterligere sikkerhetspåslag på 30%.

Dimensjonerende flom for vurdering av flomutbredelse er beregnet til 229 m³/s for en 200-årsflom inkl. klima- og sikkerhetspåslag. For en 1000-årsflom inkl. klima- og sikkerhetspåslag er det beregnet en dimensjonerende vannføring på 271 m³/s.

Simulering av ulike flomsikringstiltak i vassdraget er utført ved hjelp av en hydraulisk vannlinjemodell laget i dataprogrammet HEC-RAS. Resultatene er basert på laserkartlegging av terrenget og elvebunnskartlegging med manuelle modifikasjoner. Eventuell erosjon og masseforflytning med tilhørende endringer i elvegeometrien etter kartleggingstidspunkt eller under store flomhendelser kan ikke tas høyde for i denne vurderingen.

Oppstrøms grensebetingelse er konstant vannføring for dimensjonerende flom, inklusiv klimapåslag og sikkerhetspåslag. Nedre grensebetingelse i vannlinjemodellen er gitt av vannstanden i Hardangerfjorden ved ett-års stormflo, inklusiv havnivåstigning.

Det er tre bruer som krysser elva i analyseområdet. Bruene fungerer som flaskehalser, og flomsikringstiltak må ta hensyn til forhold ved bruene. Øysteseelva er derfor delt inn i tre delområder, sentrert rundt hver bru. Flomsikringstiltak er vurdert for hvert delområde både med og uten tiltak på bruene. Listen over vurderte tiltak er omfattende og mange av tiltakene har blitt utviklet gjennom diskusjoner og statusmøter med Kvam herad som ønsket en vurdering av samtlige alternativer.

I utgangspunktet anbefales tiltak på alle bruene da disse skaper flaskehalser i vassdraget. Da dette ikke nødvendigvis er hensiktsmessig med hensyn til kostnad, er følgende tiltak anbefalt:

- Fjerning av bru og rørgate i Sjusetevegen, utvidelse av tverrsnitt på begge sider, men spesielt på østsiden av elva ved brua, samt noe terrengheving og/eller flomvegg nordøst for brua.
- Utvidelse av tverrsnitt ved og oppstrøms Holmane 7, samt oppbygging av eksisterende flomvoll på østsiden av elva. Terrengheving eller flomvegg på østsiden av elva direkte oppstrøms Holmane bru, eller sprengning i elvebunn.
- Omfattende terrengheving eller flomvegg ved elva som også tar hensyn til dimensjonerende stormflo mot fjorden. Det anbefales heving av Hardangerfjordbrua på sikt.

Alle resultater i rapporten er basert på høydesystem NN2000.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Formål med rapporten	7
1.3	Avgrensning av analyseområdet	7
1.4	Regelverk og krav	7
1.5	Hydrologisk grunnlag	8
1.6	Hydrauliske beregninger	8
1.7	Dagens situasjon	9
2	Vurderte flomsikringstiltak	11
2.1	Generell vurdering	11
2.2	Delområder	12
2.3	Delområde 1: Sjusetevegen bru	14
2.3.1	<i>Flomvoll mot Busdalen</i>	18
2.3.2	<i>Kontrollert flomløp gjennom Busdalen</i>	19
2.3.3	<i>Kun heving av brua og rørgate</i>	20
2.3.4	<i>Fjerning av brua</i>	21
2.3.5	<i>Fjerning av brua og utvidelse av tverrsnitt</i>	22
2.4	Delområde 2: Holmane bru	23
2.4.1	<i>Omfattende flomvoller ved Holmane bru</i>	27
2.4.2	<i>Utvidelse av elveløpet oppstrøms Holmane bru, sammen med mindre flomvoller</i>	28
2.4.3	<i>Sprengning i elveløpet ved Holmane bru</i>	29
2.4.4	<i>Sprengning i elveløpet og utvidelse av elveløpet ved Holmane bru</i>	30
2.4.5	<i>Fjerning av Holmane bru</i>	31
2.4.6	<i>Heving av Holmane bru og sprengning i elveløpet</i>	32
2.4.7	<i>Heving av Holmane bru og omkringliggende terreng</i>	33
2.4.8	<i>Heving av Holmane bru og utvidelse av elveløpet</i>	34
2.4.9	<i>Heving av Holmane bru med utvidelse av elveløpet og sprengning i elveløpet</i>	35
2.5	Delområde 3: Hardangerfjordbrua og utløp i fjorden	36
2.5.1	<i>Sprengning i elvebunn under Hardangerfjordbrua</i>	41
2.5.2	<i>Etablering av en kulvert for vannavledning forbi Hardangerfjordbrua</i>	42
2.5.3	<i>Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua</i>	43
2.5.4	<i>Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua med flomvoller</i>	44
2.5.5	<i>Heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua</i>	45
2.5.6	<i>Heving av terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua</i>	46
2.5.7	<i>Heving av terrenget både nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua</i>	47
2.5.8	<i>Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua</i>	48

2.5.9	<i>Fjerne pilaren under Hardangerfjordbrua og utvide brutverrsnitt</i>	49
2.5.10	<i>Utvide bruspenn Hardangerfjordbrua uten å fjerne eksisterende pilar</i>	50
2.5.11	<i>Utvide bruspenn Hardangerfjordbrua med heving av brudekke</i>	51
2.5.12	<i>Heving av Hardangerfjordbrua og omkringliggende terreng</i>	52
2.5.13	<i>Heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke</i>	53
2.5.14	<i>Heving av terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke</i>	54
2.5.15	<i>Heving av terrenget både nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke</i>	55
2.5.16	<i>Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke</i>	56
2.6	<i>Andre vurderte tiltak</i>	57
2.6.1	<i>Elvepark ved Kiwi</i>	57
2.6.2	<i>Regulering av Fitjadalsvatn</i>	57
2.6.3	<i>Utfylling i sjø / heving av terrenget ytterst mot betongen ved Hardangerfjorden</i>	58
3	Anbefalte flomsikringstiltak og konklusjon	60
4	Referanser	65

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

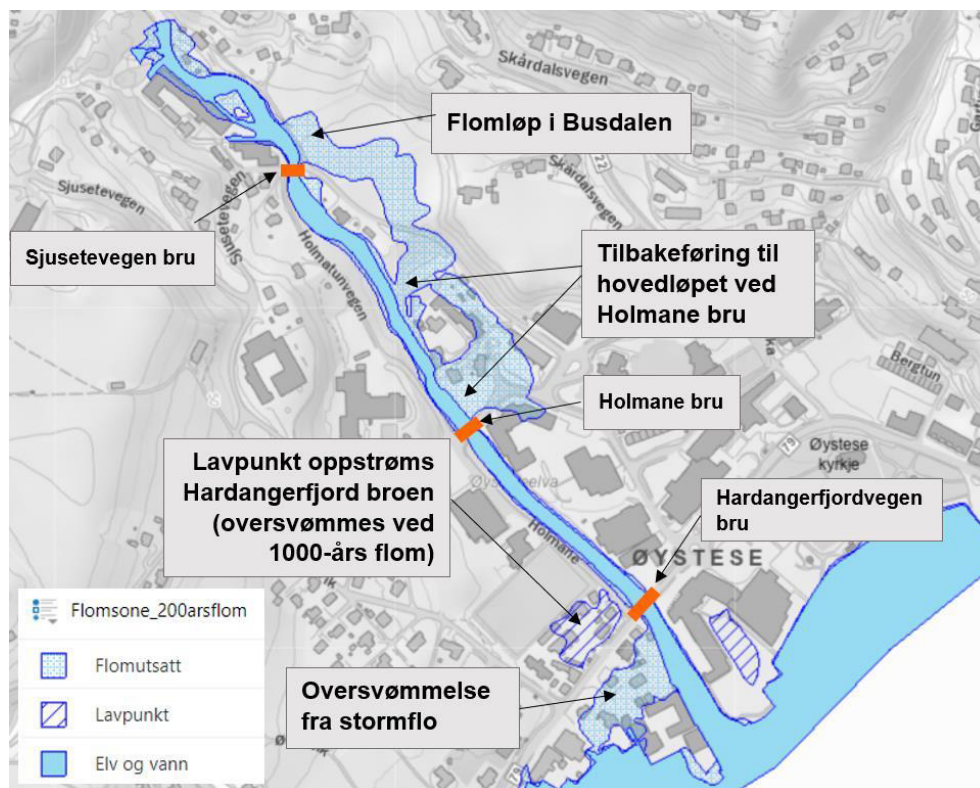
Norconsult Norge AS er på vegne av Kvam herad engasjert for å utvikle tiltak for flomsikring av Øysteseelva som renner gjennom Øystese. Kvam herad jobber for tiden med å utvikle en områdeplan for Øystese sentrum.

Øystese ligger i Vestland fylke på nordsiden av Hardangerfjorden, omtrent 7 km øst for Norheimsund. Øysteseelva renner sentralt gjennom Øystese og har utløp i Hardangerfjorden rett nedenfor sentrumsområdet, se Figur 1-1.



Figur 1-1. Oversiktskart over Øystese og Øysteseelva. Planområdet er vist i lilla.

Øysteseelva har historisk sett vært utsatt for flom flere ganger og elva er tett innbygget gjennom sentrumsområdet med boliger, veier og næringsbygg. NVE utførte en flomsonekartlegging av elva i 2015 som viste flomproblematikk flere steder langs strekningen mellom Busdalen og fjorden, se utsnitt fra NVE Atlas med forklaringer i Figur 1-2. En ny hydraulisk modell ble utarbeidet av Norconsult for denne vurderingen da det ble ansett at det hydrauliske grunnlaget i NVE modellen var utdatert. I tillegg er den nye modellen utarbeidet som en 2D modell, som egner seg bedre for å vurdere situasjoner hvor elva bryter ut av sine bredder. En full beskrivelse av flomsonekartleggingen, inkludert vurdering av det eksisterende hydrologiske grunnlaget, er tilgjengelig i rapport 'Flomvurdering av Øysteseelva', utarbeidet av Norconsult [1].



Figur 1-2. Utsnitt fra NVE Atlas som viser flomsone for 200-års flom i Øystese fra NVE sin flomsonekartlegging i 2015. Broer er vist i oransje. (Kilde: NVE Atlas)

1.2 Formål med rapporten

Dette dokumentet oppsummerer simulering av samtlige flomsikringstiltak som har blitt vurdert for Øysteseelva. Rapporten redegjør for:

- Samtlige flomsikringstiltak som har vært simulert i modellen og hvor de ligger langs elva
- Endelige anbefalte flomsikringstiltak fra et hydraulisk perspektiv

Listen over vurderte tiltak er omfattende og mange av tiltakene har blitt utviklet gjennom diskusjoner og statusmøter med Kvam herad som ønsket en vurdering av samtlige alternativer.

Grunnlagsdata, usikkerhet, modell detaljer, osv. er beskrevet i flomsonerapporten [1]. Vurdering av eksisterende erosjonssikring er ikke omfattet av rapporten.

1.3 Avgrensning av analyseområdet

Analyseområdet med hensyn til flomsikringstiltak er fra ca. 400 m oppstrøms Sjusetevengen bru til utløpet i Hardangerfjorden.

1.4 Regelverk og krav

Beregningen er utført i henhold til NVEs veileder for flomberegninger [5] og for flomfarekartlegging i vassdrag [2] og på bakgrunn av TEK 17. Ifølge TEK 17 skal byggverk plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom med bestemte gjentakintervall. Gjentakintervall avgjøres av konsekvensene som skade på

bygget vil medføre. En oversikt over sikkerhetsklassene med tilhørende krav til gjentakintervall er vist i punktlisten under.

- F1 – Liten konsekvens (garasjer, lager, boder) – 20-årsflom
- F2 – Middels konsekvens (bolighus, fritidsboliger, skoler, kontorbygg) – 200-årsflom
- F3 – Stor konsekvens (sykehjem, brann-/politistasjoner, avfallsdeponier) – 1000-årsflom

For Øystese er det vurdert at alle bygninger, som kan berøres av flom fra Øysteseelva, faller inn under sikkerhetsklasse F2 eller F1. Derfor er en 200-årsflom utredet. Det er også i visse tilfeller gjort en vurdering av 1000-årsflom ettersom det kan være ønskelig å åpne for F3 bygninger i fremtiden gjennom planprosessen.

1.5 Hydrologisk grunnlag

Hydrologisk grunnlag er tatt fra flomsoner rapporten [1] samt NVEs flomberegning [3]. Det er benyttet en 200-årsflom med 20% klimapåslag og 30% sikkerhetspåslag for vurdering av flomsikringstiltak, se Tabell 1-1. Det er også benyttet en 1000-årsflom med 20% klimapåslag og 30% sikkerhetspåslag for vurdering av anbefalte tiltak. I simuleringer er det benyttet 1-års stormflo med klimapåslag som nedstrøms grensebetingelse i fjorden, som er 1,62 moh.

Tabell 1-1. Kulminasjonsvannføringer med klimapåslag og sikkerhetspåslag.

Scenario	200-årsflom (m ³ /s)	1000-årsflom (m ³ /s)
Flomvannføring	147	174
Med 20% klimapåslag	176	209
Med 20% klimapåslag og 30% sikkerhetspåslag	229	271

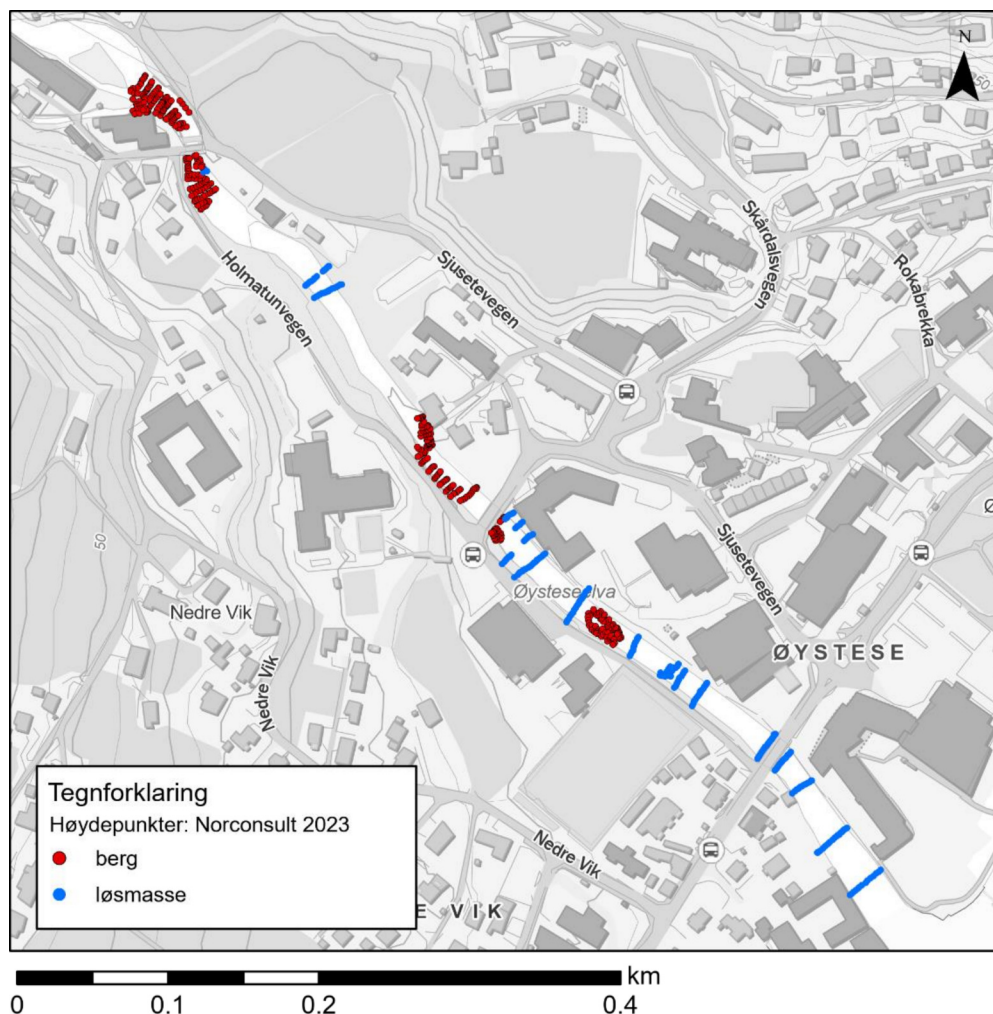
1.6 Hydrauliske beregninger

Den hydrauliske modellen er satt opp i programmet HEC-RAS (ver. 6.3.1), som en "2D-modell". 2D-modellen beregner vannstander og hastigheter i et nett av beregningsceller, med utgangspunkt i en underliggende terrengmodell. Benyttet terrengmodell er satt opp i koordinatsystem UTM32N, med høydedatum NN2000.

Oppbygging av modellen og detaljer om brugeometri er beskrevet i flomsoner rapporten [1]. Flere bruddlinjer er lagt til modellene for simuleringer av ulike tiltak for å fange opp ny geometri best mulig.

Øysteseelva har flere partier med høy vannhastighet og stryk. Det er vurdert bruk av energihøyden i vurdering av flomsikringstiltak, men konkludert at det vil føre til uforholdsmessige store konstruksjoner ettersom energihøyden er høy på grunn av høy vannhastighet i elveløpet. Vannføringen som er lagt til grunn er uansett vurdert som konservativ ettersom den inkluderer klimapåslag og sikkerhetspåslag.

Øysteseelva er en elv preget av massetransport, og flomsikringstiltak er vurdert fra elvebatymetri på det tidspunktet terrengoppmålingen er tatt. Det er flere strekninger med fastfjell, spesielt rundt Sjusetevegen bru og Holmane bru, og flere strekninger med løsmasser i elveløpet, spesielt i den nederste elvestrekningen (Figur 1-3). Høydepunkter målt på berg representerer minimum elvebunn på det punktet (bergart i elva er motstandsdyktig mot erosjon), men elvebunnen kan bli høyere under en flomhendelse på grunn av avsetning av løsmasser. Høydepunkter målt på løsmasser er mer usikre, og elvebunnen kan bli høyere eller lavere under en flomhendelse.

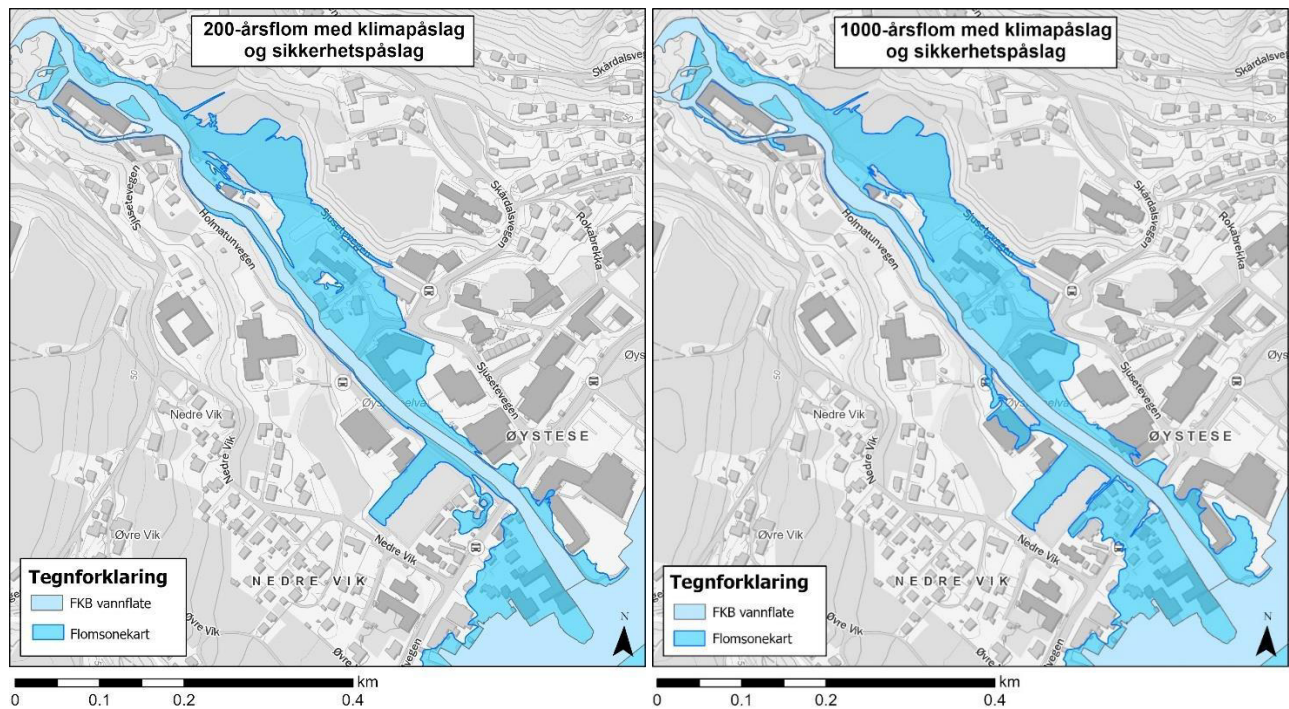


Figur 1-3. Oppmålte punkter av Norconsult, hvor det er differensiert mellom punkter tatt på fast berg (rød) og på løsmasser (blå).

1.7 Dagens situasjon

Alle simuleringer av flomsikringstiltak er utført for en 200-årsflom med 20% klimapåslag og 30% sikkerhetspåslag som presentert i flomsoner rapporten [1]. Alle steder i denne rapporten hvor det skrives 200-årsflom eller 1000-årsflom er det heretter innforstått at det betyr vannføring med 20% klimapåslag og 30% sikkerhetspåslag. 200- og 1000-årsflom for dagens situasjon er vist i Figur 1-4.

Øysteseelva oversvømmer sine bredder helt øverst i analyseområdet ved Sjusetevegen 61. Brua i Sjusetevegen forårsaker oppstuvning som fører til et flomløp gjennom Busdalen. Dette flomløpet dannes allerede ved 20-årsflom med klima- og sikkerhetspåslag [1]. Dette berør flere bygninger ved Holmane på østsiden av Øysteseelva. I tillegg skaper Holmane bru oppstuvning, noe som fører til oversvømmelse opp- og nedstrøms brua. Ellers er nesten alt på vestsiden av Øysteseelva nedstrøms Hardangerfjordbrua berørt av flom og havvannstand. Det er også oversvømmelse oppstrøms Hardangerfjordbrua ved 1000-årsflom, og beskjeden oversvømmelse ved 200-årsflom på dette området.



Figur 1-4. Til venstre: 200-årsflom, dagens scenario. Til høyre: 1000-årsflom, dagens scenario. Fra [1].

2 Vurderte flomsikringstiltak

2.1 Generell vurdering

Øysteseelva er et krevende vassdrag med hensyn til flomsikringstiltak på grunn av blant annet:

- Det er tre bruer som krysser elva i sentrum som fungerer som flaskehalser på grunn av utilstrekkelig kapasitet.
- Elven er forholdsvis bratt, særlig i øverste delen av analyseområdet, og det er mye turbulens generelt, og spesielt ved større vannføringer.
- Det er mye bebyggelse som ligger tett inn mot elva, med noen bygninger etablert rett på elvebredden. Noen strekninger har nesten ingen muligheter for å øke elvas tverrsnittareal uten å flytte bebyggelse.
- Elven er svært masseførende.
- Elven er vernet, og det er ikke ønskelig å gjøre store endringer til strømningsmønsteret. Nederste delen av elvestrekningen er påvirket av vannstand i fjorden.

Generelle flomsikringstiltak som er vurdert for strekningen inkluderer:

- **Økt tverrsnittareal:** Den beste løsningen for flomsikring er generelt å gi elva mer plass. En økning i tverrsnittareal bidrar til å redusere vannstanden. Bygninger står tett mot elva langs flere strekninger, noe som gjør det svært krevende å øke tverrsnittareal uten større inngrep på plannivå.
- **Bunnsenkning:** Bunnsenkning øker tverrsnittarealet og dermed bidrar til å redusere vannstanden. Bunnsenkning blir vurdert som lite aktuelt for Øysteseelva på grunn av følgende:
 - Det er mye fastfjell i elvebunnen, spesielt i den øverste halvdel av analyseområdet. Det betyr at steinen må sprenges for å få til bunnsenkning.
 - Deler av analyseområder hvor elvebunnen består av løsmasser kan lettere senkes ved å grave ut stein. Massetransport dynamikken blir endret ved bunnsenkning, og det er stor fare for at løsmasser blir avsatt tilbake i elveløpet innen forholdsvis kort tid. Det er mye løsmasser tilgjengelig oppstrøms analyseområdet så det anses som høyt sannsynlig at masser vil forflyttes og avsettes igjen på nytt.
 - Vassdraget er vernet og fordeler med et økt tverrsnitt må veies opp mot ulemper som kan forekomme av sprengning og potensialet for endring av bunnsbunnsstrat som påvirker fiskeforhold.
- **Flomvoll / flomvegg mot elva:** En omfattende flomvoll eller flomvegg mot elva hindrer vann fra å renne over breddene. Avhengig av hvor stort vanntrykket er / hvor høy vannstanden er på vannsiden av flomvollen, kan det være betydelig restrisiko bak konstruksjonen. En slik konstruksjon vil også føre til at vannstanden økes ettersom den snevrer inn elveløpet. Dersom sikringen utføres som tilbaketrukket fra elva kan høyden på sikringen reduseres.
- **Terrengheving:** Terrengheving har samme effekt som flomvoll / flomvegg, men restrisikoen 'bak' sikringstiltaket er generelt lavere.
- **Fjerning eller heving av bruer:** Fjerning eller heving av bruer er et aktuelt tiltak dersom bruene skaper oppstuvning. Fjerning av bruer er kun vurdert som et alternativ dersom veien er lite trafikkert og en tilstrekkelig omkjøringsmulighet er tilgjengelig. Heving av en bru krever terrenginngrep også utenfor brua for å heve veien til samme nivå som nytt brudekke. Avhengig av hvor mye brua må heves, kan dette være et betydelig inngrep. Heving av eksisterende bruer er vanligvis svært kostbart, og det må være tilstrekkelig omkjøringsmuligheter under anleggsfasen, særlig hvis brua er sterkt trafikkert. Fjerning av pilarer og/eller tilbakeføring av landkar kan også øke kapasitet under brua, men dette krever som regel minst like mye tiltak på brua som heving av brudekke.

- **Flomdemping:** Etablering av et lagringsmagasin kan redusere flomtoppen nedstrøms. Dette er ikke vurdert å være aktuelt for Øysteseelva ettersom det ikke finnes stort nok areal for å lagre tilstrekkelig volum av vannmasser for å dempe flomtoppen (jf. kapittel 2.6.2).

Fribord: En flomsikringskonstruksjon langs et vassdrag bygges normalt høyere enn beregnet dimensjonerende vannstand. Denne vertikale avstanden fra dimensjonerende vannstand til toppen av konstruksjonen betegnes som 'fribord', og har direkte betydning for konstruksjonens sikkerhet [4]. Fribord mellom dimensjonerende flomvannstand og konstruksjoner kan benyttes i tillegg til sikkerhetsmargin, som bestemmes av usikkerheten i hydrologiske og hydrauliske beregninger og inkluderes direkte i simuleringsresultatene ved at flomvannføringen økes med en viss prosentandel, i tillegg til eventuelle klimapåslag. Eventuelt kan man bruke den simulerte vannstanden, inkludert sikkerhetsmargin, til å sette høyden på konstruksjonen, uten å legge til ytterligere fribord. Dette er noe som må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

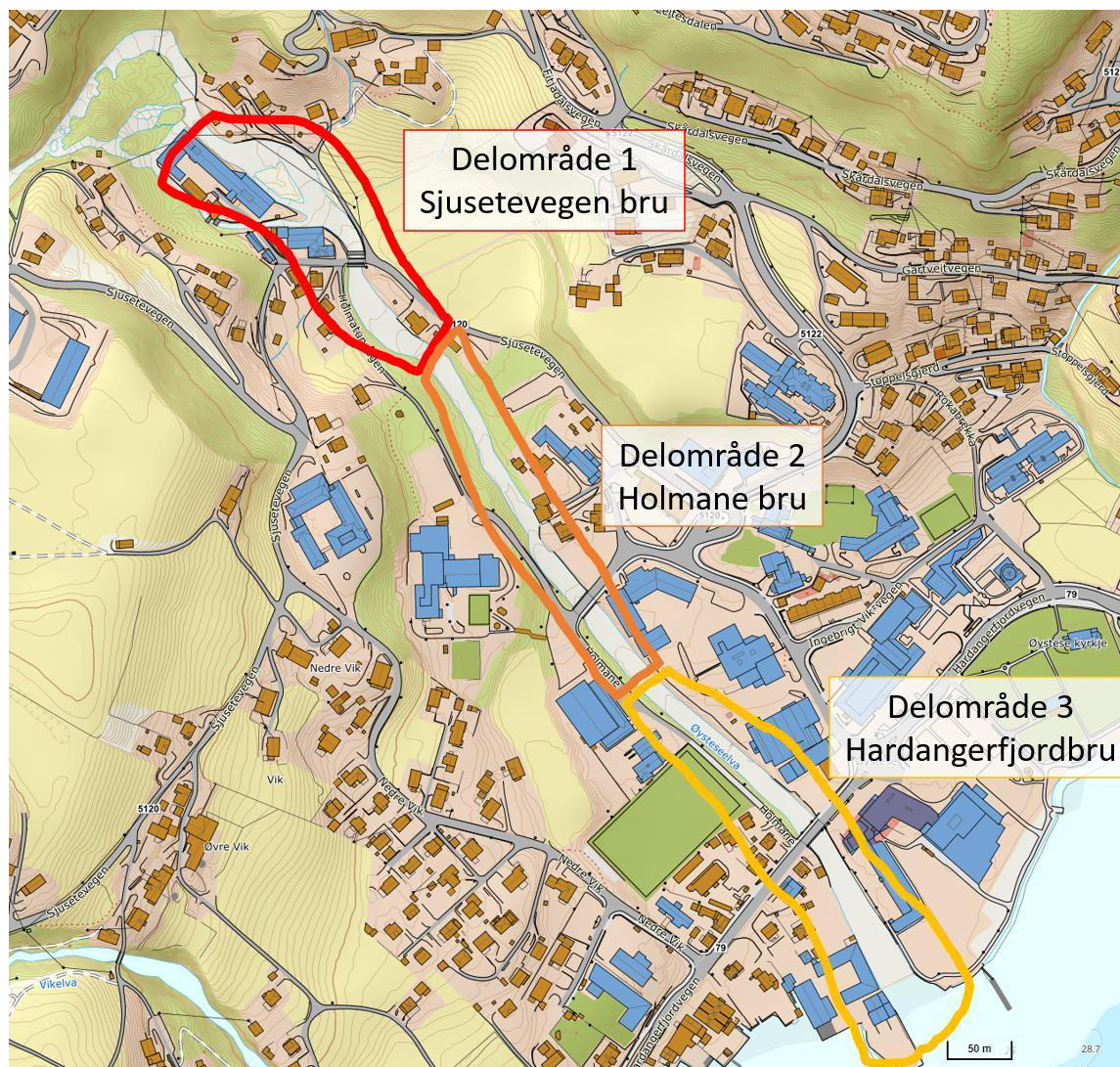
Ofte prosjekteres en flomvoll med 0,5 m fribord, men dette er ikke et absolutt krav. Fribordet tar hensyn til blant annet grunnforhold, setningsrisiko og sårbarheten ved eventuell overtopping av konstruksjonen. En flomvegg kan ofte ha lavere fribord, f.eks. 0,3 m, da konsekvensene av overtopping er mindre kritiske enn en flomvoll som kan eroderes av vannmassene.

Statens vegvesen har egne kriterier når det gjelder fribord under bruer som har som formål å ta hensyn til tilstopningsfare slik at brukonstruksjonen ikke blir konstruksjonsmessig ustabil. For nye brukonstruksjoner er det et krav om 0,5 m fribord mellom dimensjonerende flomvannstand og underkant brudekke, ifølge Vegnormal N400 Bruprosjektering [5]. Hvis kravet ikke kan tilfredsstilles, kan det søkes om dispensasjon ved å levere bl.a. dokumentasjon på at konstruksjonssikkerheten er ivarettatt ved at strømningslaster på overbygningen ikke gir kollaps. Vann kan gå på avveie hvis bruene blir tilstoppet med drivgods og løsmasser, og det må også dokumenteres at det er fortsatt tilstrekkelig sikkerhet mot flomfare ved brua.

Stormflo: Sikring mot stormflo er ikke omfattet av denne vurderingen i utgangspunktet, men den er kommentert for scenarioer som vurderer oppbygging av terrenget nedstrøms Hardangerfjordbrua. Havvannstand for sikkerhetsklasse 2 er 1,97 moh. inkludert klimapåslag. Havvannstand for sikkerhetsklasse 3 er 2,05 moh. inkludert klimapåslag. Nesten alt terrenget på vestsiden av elva nedstrøms Hardangerfjordbrua ligger under dette nivået, samt terrenget sør for Hardangerfjord hotell og Hardangerbadet.

2.2 Delområder

Bruene fungerer som flaskehalser i vassdraget, og flomsikringstiltak må ta hensyn til forhold ved bruene. Øysteseelva er derfor delt i tre delområder, sentrert rundt hver bru. Flomsikringstiltak er vurdert for hvert delområde både med og uten tiltak på bruene, som beskrevet i underkapitlene nedenfor. Et oversiktskart over delområdene er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1. Oversikt over delområder for vurdering av flomsikringstiltak i Øysteseelva. Bakgrunn: Norgeskart.

Basert på resultatene fra utredningen vil det bli behov for 'mindre' punktsikring langs Øysteseelva i tillegg til hovedsikringstiltak. Omfanget av punktsikring er avhengig av de valgte hovedsikringstiltakene ved delområdene. Punktsikringstiltak vil sannsynligvis innebære etablering av mindre flomvegger eller oppheving av terreng langs enkelte strekninger. Punktsikring er presentert i kapittel 3 sammen med anbefalte flomsikringstiltak.

2.3 Delområde 1: Sjusetevegen bru

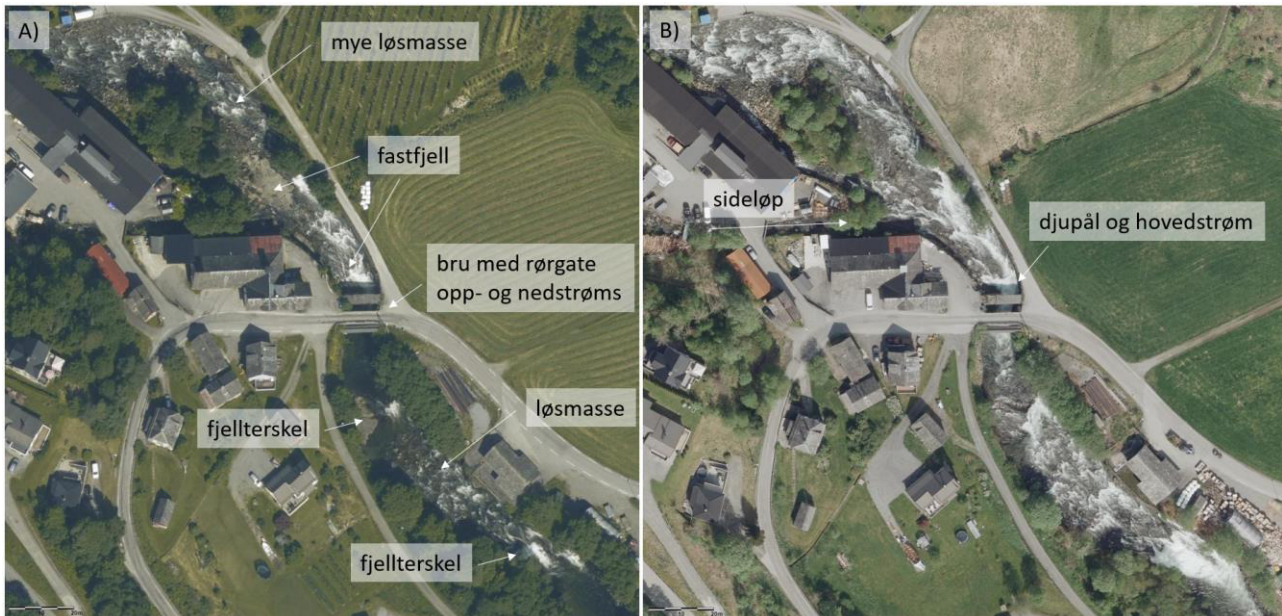
Beskrivelse av strekning:

Lengde = ca. 270 m; gjennomsnittlig helning = ca. 4,5%

Det er ugunstige strømningsforhold mot Sjusetevegen bru, hvor det blir ujevn vannstand pga. skjevstrømning. For lite kapasitet under brua gjør at vannet går på avveie mot Busdalen og danner et flomløp. Mye løsmasser er avsatt oppstrøms brua, spesielt hvor elva deler seg i tre løp oppstrøms Sjusetevegen 67. Elveløpet som har samløp med hovedløpet ved Sjusetevegen 63 bidrar til å presse hovedvannstrømmen mot østsiden av elveløpet, hvor djupålen har blitt dannet. Fastfjell er synlig direkte oppstrøms, gjennom og nedstrøms brua. Det finnes en «fjellhulle» under brua ved landkaret på østsiden. Tørrmur på vestsiden av elva direkte oppstrøms brua har delvis rast ut under flommen i 2018. En fjellterskel ca. 25 m nedstrøms brua gir roligere strømningsforhold direkte nedstrøms brua under normale vannføringer. Se Figur 2-2 og Figur 2-3 for oversiktsforklaring og bilder fra delområde 1. Dagens flomsonekart for en 200-årsflom er vist i Figur 2-4.

Utfordringer:

- Manglende kapasitet under brua. Vannstand = ca. 21,5 moh. ved 200-årsflommen, hvor ca. 75% av flomvannføringen renner gjennom brua og resten renner i flomløpet gjennom Busdalen. Underkant bru / rørgate er på ca. 19,8 moh.
- Vann på avveie mot Busdalen, som danner et flomløp
- Mye løsmasser tilgjengelig oppstrøms som kan føre til tilstopping og ytterligere oppstuvning
- Sjusetevegen oppstrøms brua på østsiden av elva ligger for lavt langs noen strekninger
- Samløp med et mindre elveløp ca. 25 m oppstrøms brua, som strømmer i en ca. 90-graders retning fra hovedløpet. Dette påvirker strømningsmønsteret oppstrøms brua og dermed vannstandsprofil, hvor vannet står høyere ved østlig elvebredd ved høyere vannføringer.
- En fjellterskel ligger ca. 25 m nedstrøms, som er bestemmende for vannstanden under brutverrsnittet for lavere vannføringer, særlig hvis bruen er fjernet.



Figur 2-2. Oversikt over delområde 1. A) Flyfoto tatt 22.07.2022 med normal / lavere vannføring. Det er lett å se hovedstrømmen og roligere partier ved fjellterskler. B) Flyfoto tatt 19.05.2017 med høyere vannføringer. Mye turbulens i elva. Foto fra NorgeiBilder.no.



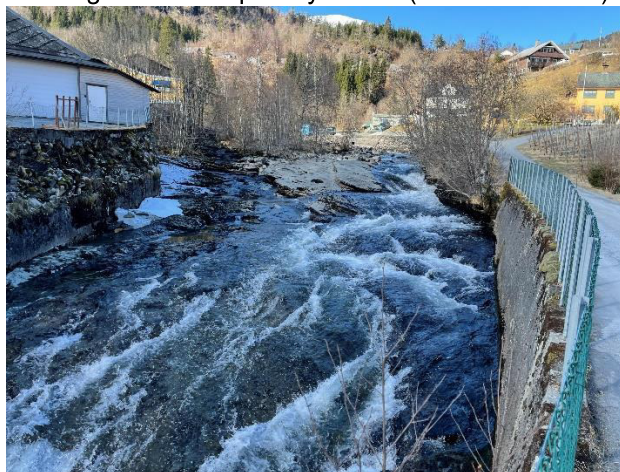
A) Skjevstrømning oppstrøms Sjusetevegen bru under flommen i 2018 (sett medstrøms).



B) Forhold ved Sjusetevegen bru ved «normal» vannføring, steinhylle under bru på venstre side og utrasing av tørrmur på høyre side (sett medstrøms).



C) Mye løsmasser oppstrøms Sjusetevegen bru (sett oppstrøms).



D) Fastfjell direkte oppstrøms Sjusetevegen bru (sett oppstrøms).

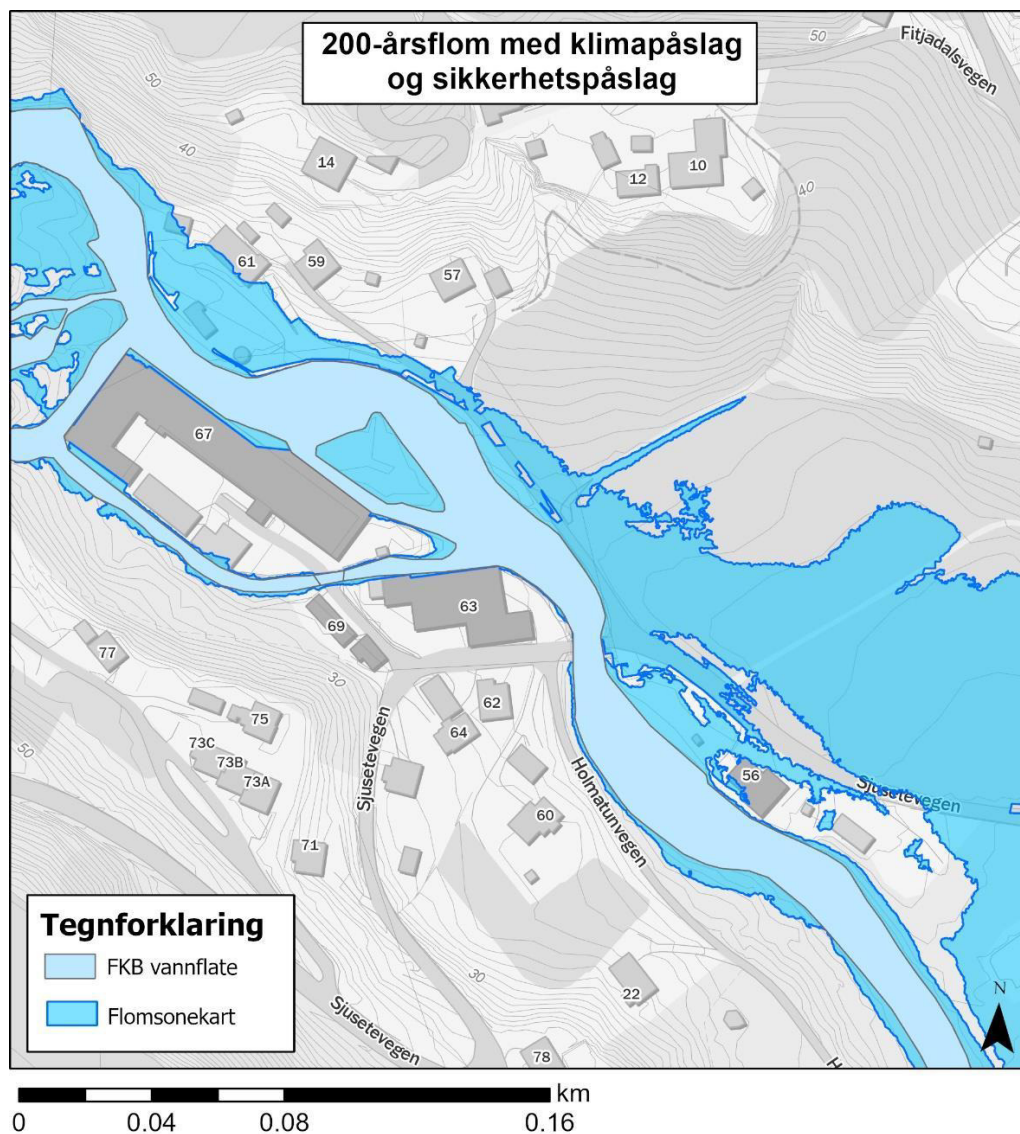


E) Fjellterskel nedstrøms Sjusetevegen bru, som gir roligere forhold nedstrøms brua (sett medstrøms).



F) Fjellterskel nedstrøms Sjusetevegen bru (sett oppstrøms).

Figur 2-3. Bilder fra delområde 1. Bildet «A» er tatt av Kvam herad, 13. okt. 2018. Bilder B – F er tatt av Norconsult, B og C på 28. mars 2023, D-F på 27. mars 2023.



Figur 2-4. Flomsonekart for dagens situasjon, 200-årsflom, delområde 1. Kilde: [1].

Fem alternativer er vurdert for flomsikring i delområde 1, som presentert i Tabell 2-1. De er beskrevet i etterfølgende delkapitler.

Tabell 2-1. Oversikt over simuleringer av flomsikringstiltak ved brua i Sjusetevegen.

Delkapittel	Tiltak
Scenarioer uten tiltak på Sjusetevegen bru	
2.3.1	Flomvoll mot Busdalen
2.3.2	Kontrollert flomløp gjennom Busdalen
Scenarioer med tiltak på Sjusetevegen bru	
2.3.3	Kun heving av Sjusetevegen bru og rørgate
2.3.4	Fjerning av Sjusetevegen bru
2.3.5	Fjerning av Sjusetevegen bru og utvidelse av tverrsnitt

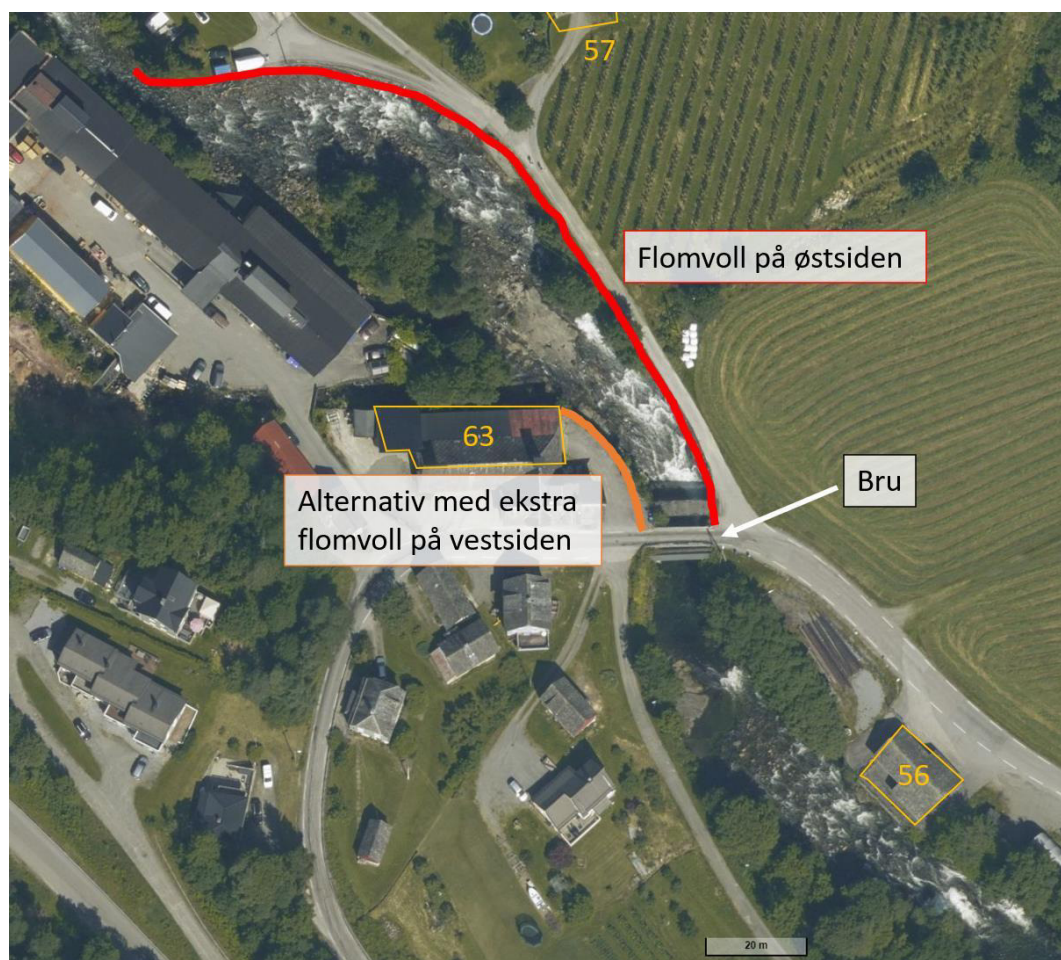
2.3.1 Flomvoll mot Busdalen

Beskrivelse av tiltak: En flomvoll etableres på østsiden av elva mot Busdalen (Figur 2-5).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Flomvollen må være ca. 2,5 m høy ved brua, og nærmere 1,5 m høy ved innkjørselen til Sjusetevegen 57. Dette inkluderer ca. 0,5 m fribord.

Vurdering: Etablering av flomvoll på østsiden av elva hever vannstanden slik at det blir oversvømmelse på vestsiden av elva ved Sjusetevegen 63. Det er også vurdert etablering av flomvoll på vestsiden av elva ved Sjusetevegen 63. Vannstanden på oppstrøms side av brua er da ca. 22,5 moh. mot østsiden av elveløpet, og mer enn 1 m over brudekket. Bruen fungerer derfor fortsatt som en flaskehals. Dette betyr at vannet vil likevel renne nedover Sjusetevegen selv om det er beskyttet fra etablering av et større flomløp gjennom Busdalen. Bruen og rørgatene blir mest sannsynlig hardt skadet. En flomvoll som er ca. 2,5 m høy på østsiden av elveløpet utgjør en betydelig restrisiko. Det blir stort krav til erosjonssikring, da strømningsmønsteret gjør at det blir mye turbulens og høye hastigheter mot østsiden av elveløpet hvor flomvollen etableres.

Konklusjon: Dette tiltaket er ikke aktuelt fordi det fortsatt er oversvømmelse ved brua, samt at det er betydelig restrisiko bak flomvollen.



Figur 2-5. Flomvoll mot Busdalen.

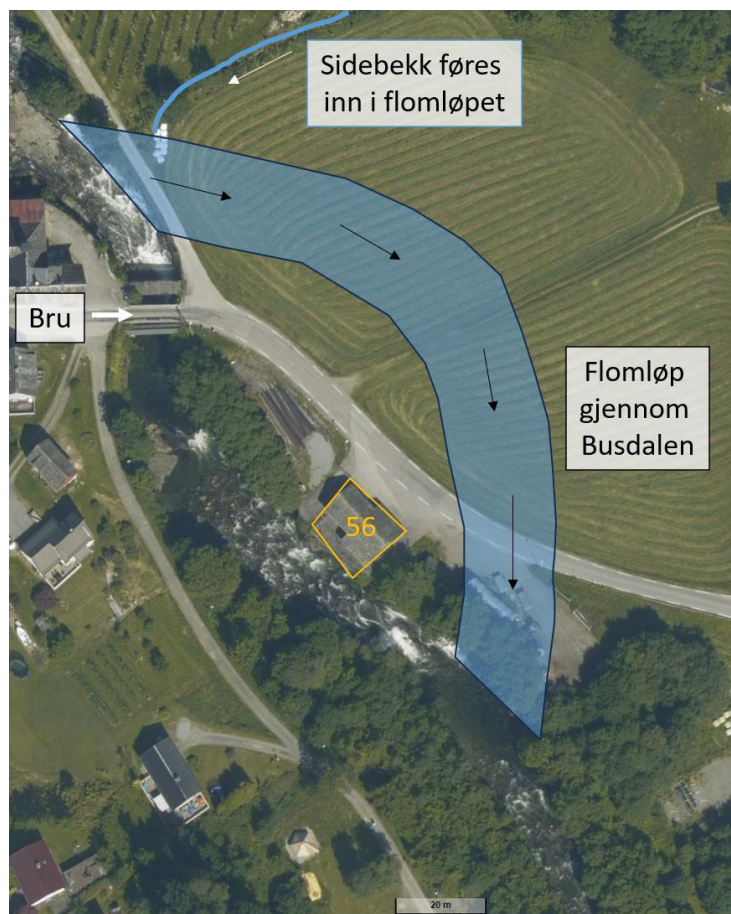
2.3.2 Kontrollert flomløp gjennom Busdalen

Beskrivelse av tiltak: Et flomløp etableres gjennom Busdalen fra oppstrøms brua til nedstrøms Sjusetevegen 56 (Figur 2-6). Sidebekken oppstrøms brua kan føres inn i flomløpet.

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Det forutsettes at $100 \text{ m}^3/\text{s}$ må tas gjennom flomløpet, som er litt under halvparten av en 200-årsflom. Det blir fortsatt noe oppstuvning bak brua. Flomløpet må være minst 25 m bredt.

Vurdering: Elvebunnen er ca. 18 moh. ved innløpet til flomløpet. Flomløpet må etableres på et høyere nivå for å hindre at hovedstrømmen endrer seg til flomløpet under normal vannføring. Terreng høyde ved innløpet til flomløpet er satt til ca. 20 moh. Hvis innløpet er på ca. 19 moh., må åpningen være ca. 70 m lang, noe som ikke er realistisk. Hvis innløpet er etablert på 18 moh., kan åpningen være ca. 25 m lang, som er fortsatt er betydelig. Flomløpet må erosjonssikres for å hindre bunnsenkning, som ville øke risiko for at elva etablerer et nytt hovedløp gjennom flomløpet. Flomløpet må også erosjonssikres ved yttersvingen, som blir utsatt for høye vannhastigheter.

Konklusjon: Dette tiltaket er ikke aktuelt fordi det blir for stor risiko for at hovedløpet byttes til flomløpet, samt at det blir større endringer til dagens strømningsmønster og tiltaket blir svært dyrt da det må bl.a. etablere to nye veikryss over flomløpet. Tiltaket er arealkrevende. Det blir fortsatt ikke tilstrekkelig kapasitet under brua.



Figur 2-6. Kontrollert flomløp gjennom Busdalen.

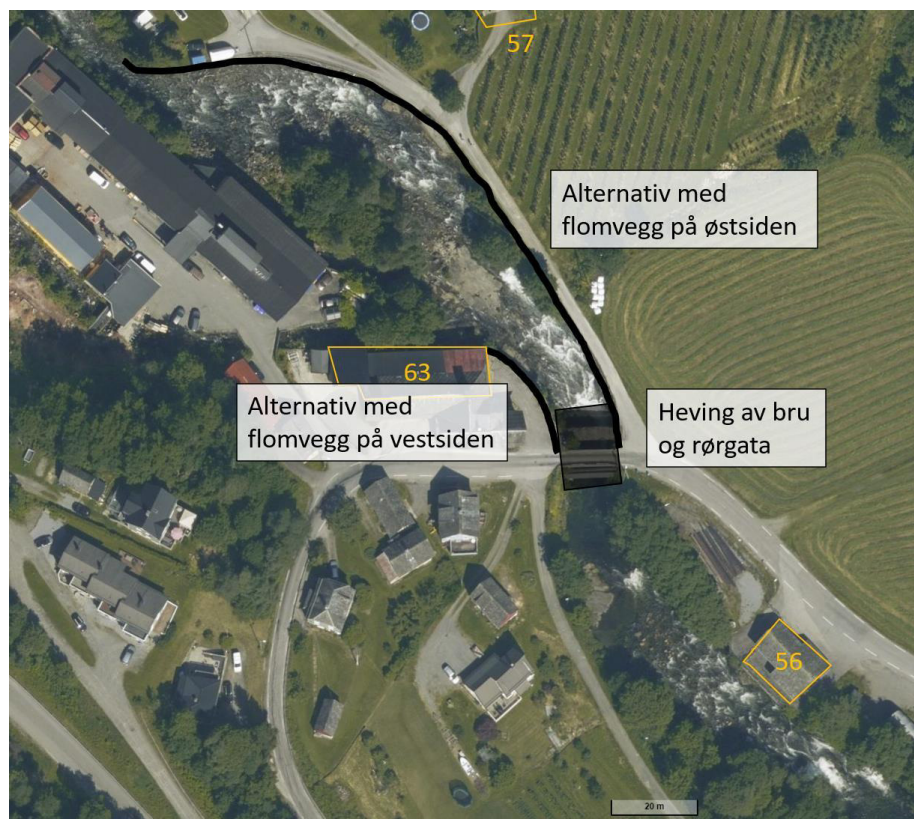
2.3.3 Kun heving av brua og rørgate

Beskrivelse av tiltak: Brua og rørgatene heves (Figur 2-7).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Vannstanden ved oppstrøms ende av østlig landkar er på ca. 20,6 moh. Med krav om 0,5 m fribord under bruåpningen, gir dette ca. 21,1 moh. som minimumsnivå for underkant bru/rørgate. Dette er en heving på ca. 1,4 m fra dagens nivå. Det blir fortsatt noe flomløp gjennom Busdalen, samt oversvømmelse ved brua uten ytterlige tiltak.

Vurdering: Kun heving av brua og rørgate er ikke tilstrekkelig for å sikre flomløpet gjennom Busdalen eller sikre mot oversvømmelse ved brua i Sjusetevegen. Bruheving på 1,4 m er et omfattende tiltak, og har konsekvens for veioppbygging på hver side av elva. En simulering med kun heving av brua og rørgate fører til oversvømmelse rundt brua på østsiden, samt flomløp gjennom Busdalen. Det er vurdert et scenario som kombinerer heving av brua og rørgate med etablering av flomvegg på begge sider av elva. Dette gir en vannstand på ca. 22,0 moh. på oppstrøms ende av østlig landkar, som er ca. 1,5 m høyere enn veien på østsiden av brua, og ca. 2 m høyere enn terrenget like oppstrøms ved elvebredden. Flomveggen må være lokalt minst 1,5 m høy på østsiden av elva. Flomveggen må være litt over 0,5 m høy på vestsiden av elva direkte oppstrøms brua.

Konklusjon: Dette tiltaket er ikke aktuelt fordi det blir fortsatt oversvømmelse ved brua og i Busdalen uten ytterlige tiltak.



Figur 2-7. Kun heving av brua og rørgate.

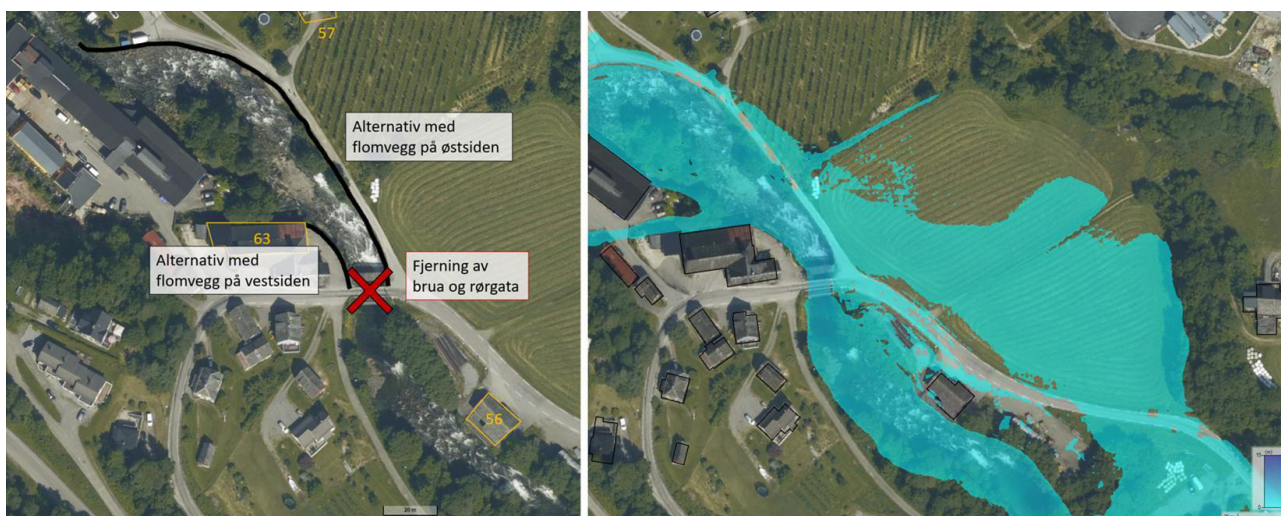
2.3.4 Fjerning av brua

Beskrivelse av tiltak: Bruen og rørgaten fjernes (Figur 2-8).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Fjerning av brua uten ytterlige tiltak.

Vurdering: Kun fjerning av brua og rørgate er ikke tilstrekkelig for å sikre flomløpet gjennom Busdalen eller sikre mot oversvømmelse ved brua i Sjusetevegen. En simulering med kun fjerning av brua og rørgate fører til oversvømmelse rundt brua på østsiden, samt flomløp gjennom Busdalen. Det er vurdert et scenario som kombinerer heving av brua og rørgate med etablering av flomvegg på begge sider av elva, som tilsvarer simulering av kun heving av brua og rørgate med ytterlige flomvegg. Dette øker vannstanden ved brutverrsnittet, da det ikke er vann på avveie gjennom Busdalen eller rundt brua og dermed mer vannføring må trenges gjennom tverrsnittet ved den tidligere brua. Dette gir en vannstand på ca. 22,0 moh. på oppstrøms ende av østlig landkar, som er ca. 1,5 m høyere enn veien på østsiden av brua, og ca. 2 m høyere enn terrenget like oppstrøms ved elvebredden. Flomveggen må være lokalt minst 1,5 m høy på østsiden av elva. Flomveggen må være litt over 0,5 m høy på vestsiden av elva direkte oppstrøms brua. Fjerning av brua og rørgate reduserer tilstopningsrisiko, som kan være stor ved Sjusetevegen bru grunnet løsmasser direkte oppstrøms, men det er fortsatt ugunstige strømningsforhold ved tverrsnittet som reduserer gevinsten av å fjerne brua.

Konklusjon: Dette tiltaket er ikke aktuelt alene fordi det fortsatt blir oversvømmelse ved brua og i Busdalen uten ytterlige tiltak. Det fjerner risikoen med tilstopping fra løsmasser, men det er fortsatt ugunstige strømningsforhold ved brutverrsnittet.



Figur 2-8. Til venstre: Fjerning av brua i Sjusetevegen. Til høyre: Flomsone etter kun fjerning av brua og rørgata (ingen flomvegg).

2.3.5 Fjerning av brua og utvidelse av tverrsnitt

Beskrivelse av tiltak: Bruen fjernes og tverrsnittet under brua utvides (Figur 2-9).

Minimum dimensjoner 200-årsflom:

Utvidelse på begge sider: Tverrsnittet må utvides med ca. 450 m² på vestsiden ned til kote 16 moh. og ca. 350 m² på østsiden ned til kote 16 moh.

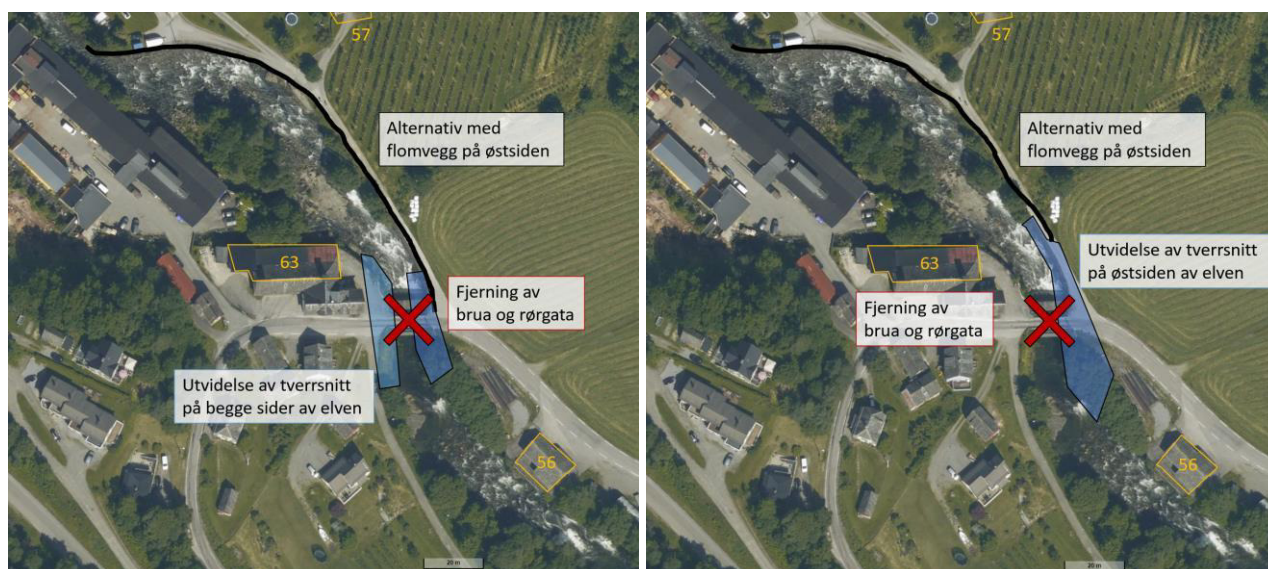
Utvidelse kun på østsiden: Tverrsnittet utvides ca. 600 m² ned til 16 moh. Dette forutsetter at terrenget kan senkes så lavt – og at det er lett å fjerne evt. fastfjell. Fastfjell står på ca. kote 18,4 under brua på østsiden av elva, så det er ikke mulig å senke til 16 moh. uten å fjerne fastfjell.

Vurdering: Kun fjerning av brua og rørgate er ikke tilstrekkelig for å sikre flomløpet gjennom Busdalen eller sikre mot oversvømmelse ved brua i Sjusetevegen. Det blir heller ikke tilstrekkelig kapasitet ved å kun utvide tverrsnittet på vestsiden av elva på grunn av vannstandsforskjellen tvers over bru-området hvor vannet står høyere på østsiden. For å sikre mot flomløpet i Busdalen, må tverrsnittet også utvides på østsiden av elva. Dette er på grunn av strømningsmønsteret, som er styrt av topografien oppstrøms, hvor djupålen ligger mot øst og hovedstrømmen renner i yttersvingen.

Vannstanden er ned mot ca. 19,2 moh. ved oppstrøms ende av østlig landkar ved utvidelse kun på østsiden av elva. Vannstanden er ca. 18,0 moh. ved oppstrøms ende av østlig landkar ved utvidelse på begge sider av elveløpet. Det blir fortsatt behov for en flomvegg direkte oppstrøms tiltaksområdet, som må variere i høyde fra ca. 0,5 til 1,0 m (uten fribord). Det må også vurderes sikring ved oppstrøms ende av Sjusetevegen 56 som følge av utvidelse av elveløpet.

Optimalisering av tverrsnittutvidelsen er anbefalt i videre utredning av tiltaket, men gjerne etter at en grundigere vurdering av fjellforhold er utført.

Konklusjon: Dette tiltaket er vurdert å være aktuelt, og det anbefales utvidelse av tverrsnittet hovedsakelig på østsiden, men også noe utvidelse på vestsiden. Det blir fortsatt behov for punksikring med flomvegg eller heving av terreng lokalt oppstrøms brua og ved Sjusetevegen 56.



Figur 2-9. Fjerning av brua i Sjusetevegen og utvidelse av elvetverrsnitt ved brua. Til venstre: utvidelse på begge sider av elva. Til høyre: utvidelse kun på østsiden av elva.

2.4 Delområde 2: Holmane bru

Tiltak i delområde 2 er vurdert med forutsetning om at sikringstiltak i delområde 1 (Busdalen / Sjusetevegen bru) er utført.

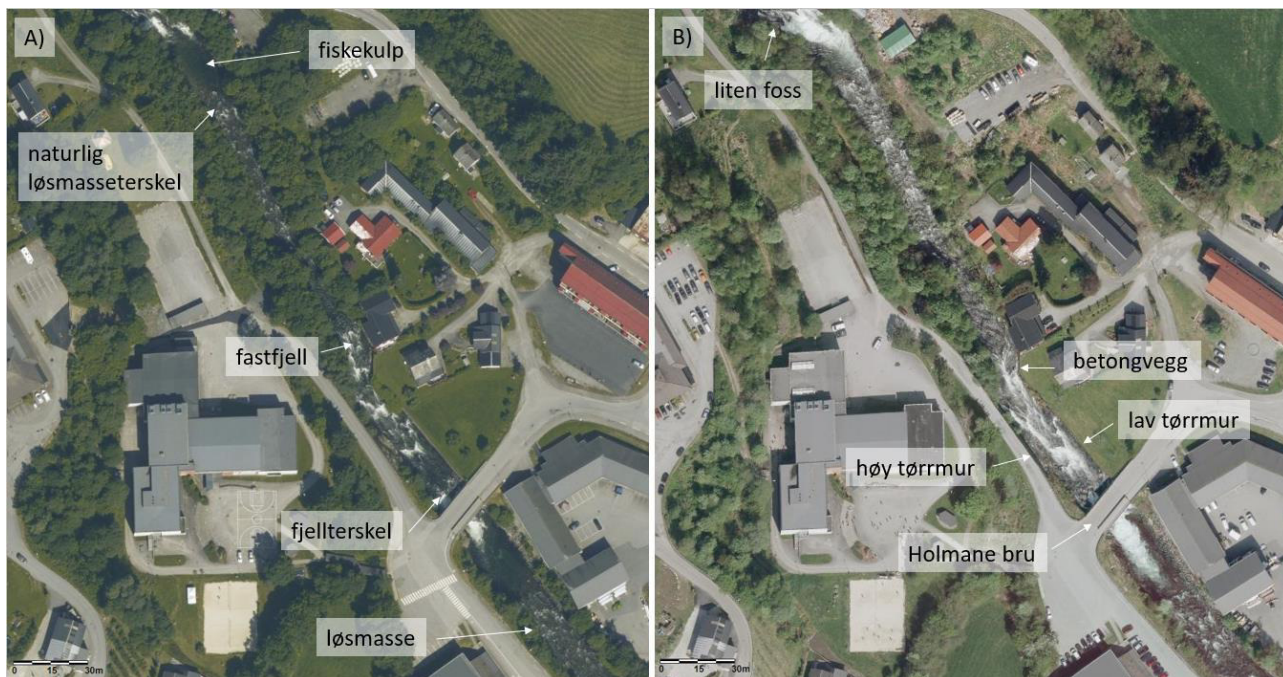
Beskrivelse av strekning:

Lengde = ca. 300 m; gjennomsnittlig helning = ca. 3,5%

Helt øverst i strekningen ligger det en fiskekulp direkte nedstrøms en liten foss. En dynamisk løsmasseterskel ligger nedstrøms fiskekulpen og bidrar til å danne kulpen. Videre nedover strekningen er det en stor høydeforskjell mellom øst- og vestsiden av elva, hvor østsiden ligger i et flomutsatt område og vestsiden ligger høyt over elva. Tørrmur er etablert på begge sider av elva fra ca. 60 m oppstrøms Holmane bru. Det er fastfjell som er på et høyere nivå i elveløpet på vestsiden av elva direkte oppstrøms brua. En bolig (Holmane 7) ligger direkte inntil elvebredden ca. 65 m oppstrøms Holmane bru. Det er etablert en betongvegg og erosjonssikring i stein inn mot elva. En fjellterskel ligger direkte oppstrøms Holmane bru. Det er fastfjell gjennom brua. Djupålen er sentrert gjennom midten av lysåpningen under brua. Det er tørrmur direkte nedstrøms brua på vestsiden, hvor det har skjedd en utrasing ca. 15 m nedstrøms brua. Det er steinsikring på østsiden av elva nedstrøms brua. Se Figur 2-10 til Figur 2-12 for oversiktsforklaring og bilder fra delområde 2. Dagens flomsonekart for en 200-årsflom er vist i Figur 2-13.

Utfordringer:

- For lite kapasitet under Holmane bru, delvis på grunn av lite tverrsnittareal direkte oppstrøms brua ved fjellterskelen.
- Oversvømmelse oppstrøms brua på grunn av oppstuvning.
- Holmane 7 ligger på elvebredden og er flomutsatt.



Figur 2-10. Oversikt over delområde 2. A) Flyfoto tatt 22.07.2022 med normal / lavere vannføring. Det er lett å se roligere partier ved terskler. B) Flyfoto tatt 19.05.2017 med høyere vannføringer. Mye turbulens i elva. Foto fra NorgeiBilder.no.



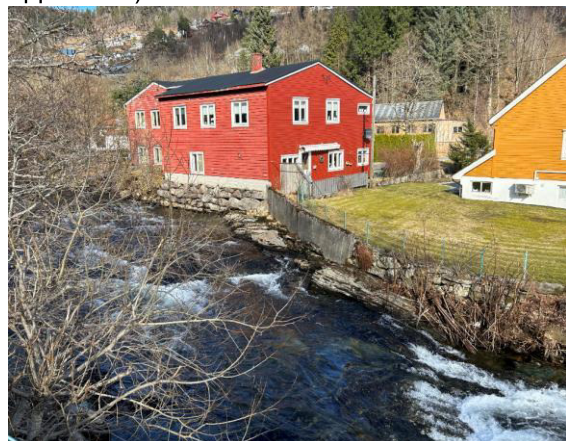
A) Liten foss oppstrøms fiskekulp (sett oppstrøms).



B) Fiskekulp ca. 25 m nedstrøms Sjusetevegen 56. Dynamisk løsmasseterskel nedstrøms fiskekulp (sett oppstrøms).



C) Holmane 7 (bolig) ved elva. Betongvegg og erosjonssikring i stein. Fastfjell ved elvebredden (sett oppstrøms).



D) Holmane 7 (rødt hus) og Holmane 9 (gult hus) ved elva. Fastfjell og erosjonssikring i stein (sett oppstrøms).



E) Utsikt oppstrøms mot ungdomsskole. Tørrmur på østsiden av elva, med betong på toppen (sett oppstrøms).



F) Utsikt nedstrøms mot Holmane bru fra østsiden av elva. Vestsiden av elva består av en høy tørrmur (sett medstrøms).

Figur 2-11. Bilder fra delområde 2 oppstrøms Holmane bru. Bildene er tatt av Norconsult på 27. mars 2023, med unntak av bilde «B» som er tatt av Kvam herad på 27. april 2023.



A) Forhold oppstrøms Holmane bru under flommen i 2018 (sett oppstrøms).



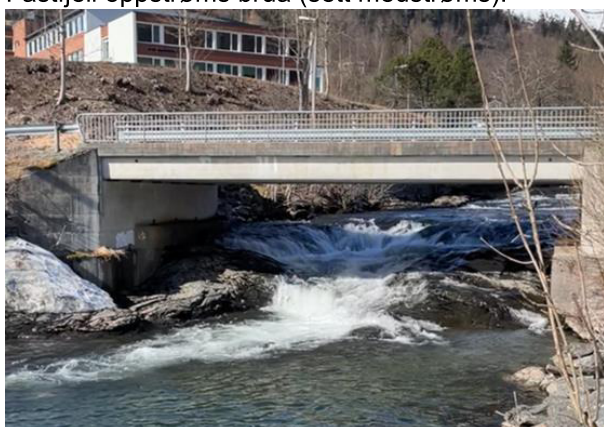
B) Forhold oppstrøms Holmane bru. Tørrmur på begge sider av elva, med stor høydeforskjell (sett oppstrøms).



C) Utsikt mot Holmane bru fra vestsiden av elva. Fastfjell oppstrøms brua (sett medstrøms).



D) Strømningsforhold under Holmane bru (sett oppstrøms).

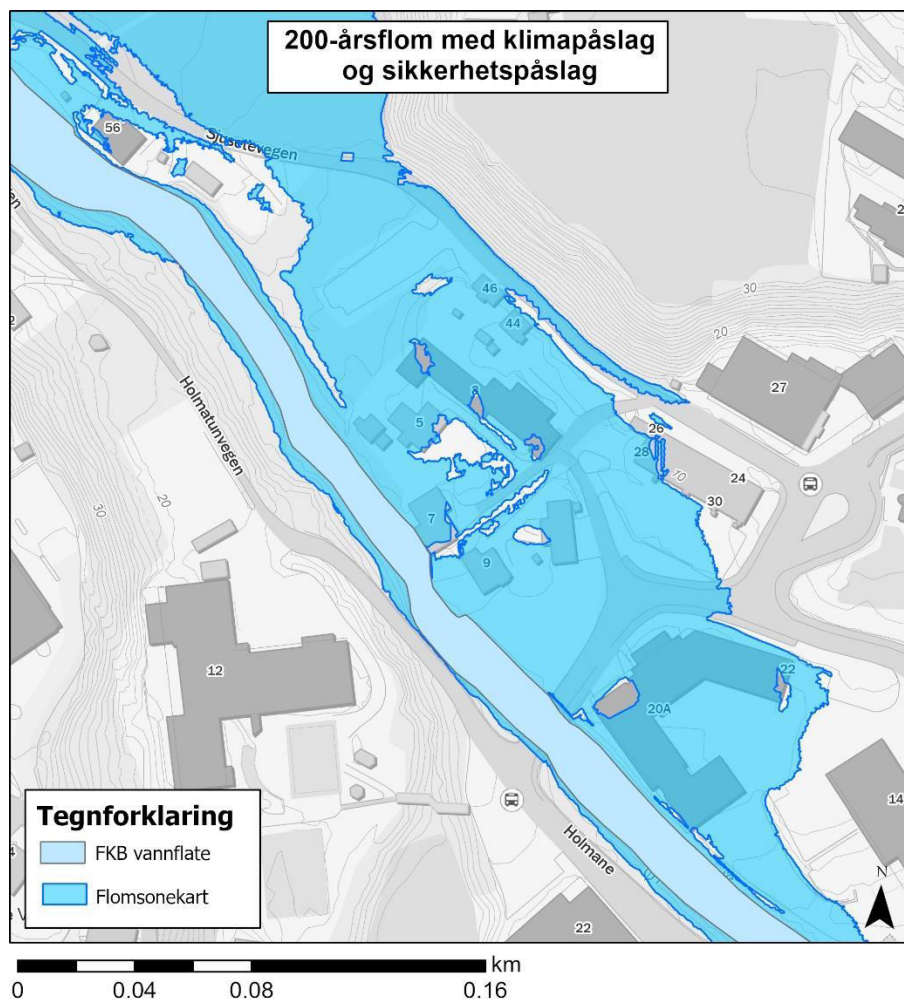


E) Fjellterskel oppstrøms Holmane bru og fastfjell gjennom brua. Djupål sentrert gjennom lysåpning (sett oppstrøms).



F) Forhold nedstrøms Holmane bru – utsikt mot nedstrøms. Tørrmur på vestsiden, med utrasing ca. 15 m nedstrøms brua. Steinsikring på østsiden (sett medstrøms).

Figur 2-12. Bilder av forhold ved Holmane bru. Bildet «A» er tatt av Kvam herad, 13. okt. 2018. De andre bildene er tatt av Norconsult på 27. mars 2023.



Figur 2-13. Flomsonekart for dagens situasjon, 200-årsflom, delområde 2. Kilde: [1].

Ni alternativer er vurdert for flomsikring ved Holmane bru, som presentert i Tabell 2-2. De er beskrevet i etterfølgende delkapitler.

Tabell 2-2. Oversikt over simuleringer av flomsikringstiltak ved Holmane bru.

Delkapittel	Tiltak
Uten tiltak på Holmane bru	
2.4.1	Omfattende flomvoller ved Holmane bru
2.4.2	Utvivelse av elveløpet oppstrøms Holmane bru, sammen med mindre flomvoller
2.4.3	Sprengning i elveløpet ved Holmane bru
2.4.4	Sprengning i elveløpet og utvidelse av elveløpet ved Holmane bru
Med tiltak på Holmane bru	
2.4.5	Fjerning av Holmane bru
2.4.6	Heving av Holmane bru og sprengning i elveløpet
2.4.7	Heving av Holmane bru og omkringliggende terreng
2.4.8	Heving av Holmane bru og utvidelse av elveløpet
2.4.9	Heving av Holmane bru med utvidelse av elveløpet og sprengning i elveløpet

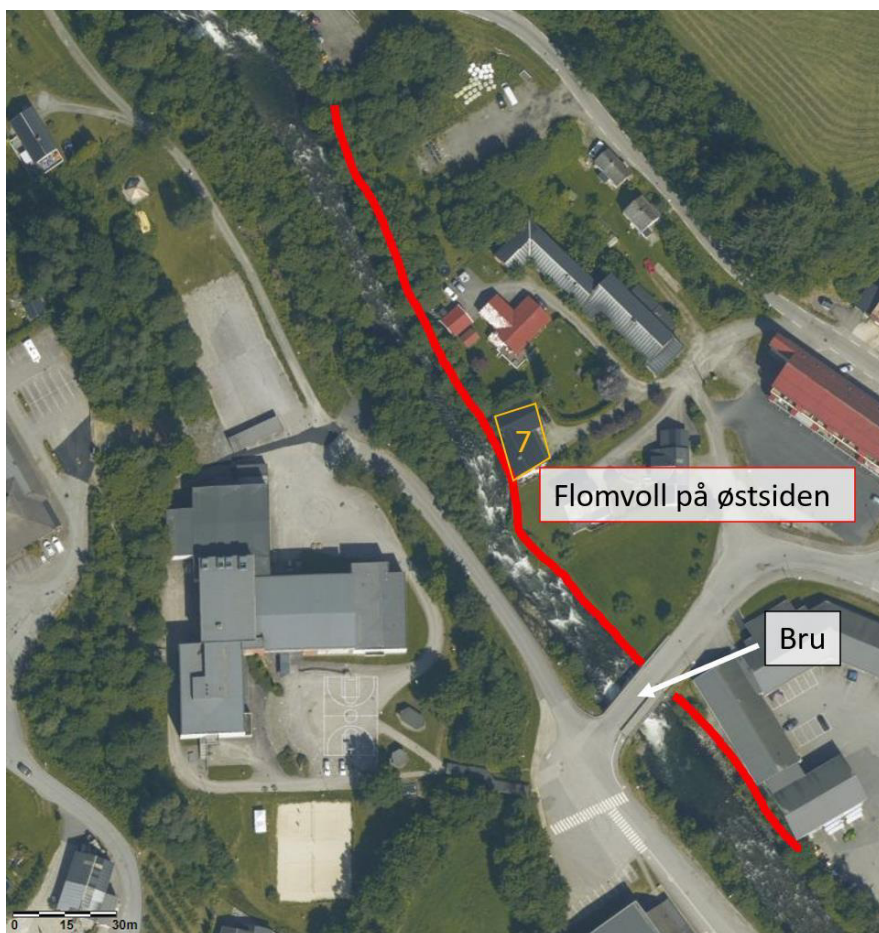
2.4.1 Omfattende flomvoller ved Holmane bru

Beskrivelse av tiltak: Omfattende flomvoller ved Holmane bru, hovedsakelig på østsiden av elva (Figur 2-14).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Flomvollen må være 1,0 – 1,5 m høy ved brua og helt øverst i strekningen, og 1,5 m høy ved Holmane 7. Dette inkluderer ca. 0,5 m fribord.

Vurdering: Etablering av en flomvoll på østsiden av elva hever vannstanden i elva. Terrenget på vestsiden av elva er høyt nok for at det ikke blir oversvømmelse på vestside som følge av etablering av flomvoller på østsiden. Vannstanden på oppstrøms ende av brua er på ca. 8 moh., sammenlignet med underkant bru på 8,28 moh. Det blir betydelig restrisiko bak flomvollen.

Konklusjon: Dette tiltaket er aktuelt med unntak av strekningen ved Holmane 7, hvor det ikke er plass til etablering av en flomvoll eller ytterlig betongvegg mot elva. Det er likevel betydelig restrisiko bak flomvollen, slik at det er andre alternativer som er mer attraktive.



Figur 2-14. Omfattende flomvoller ved Holmane bru.

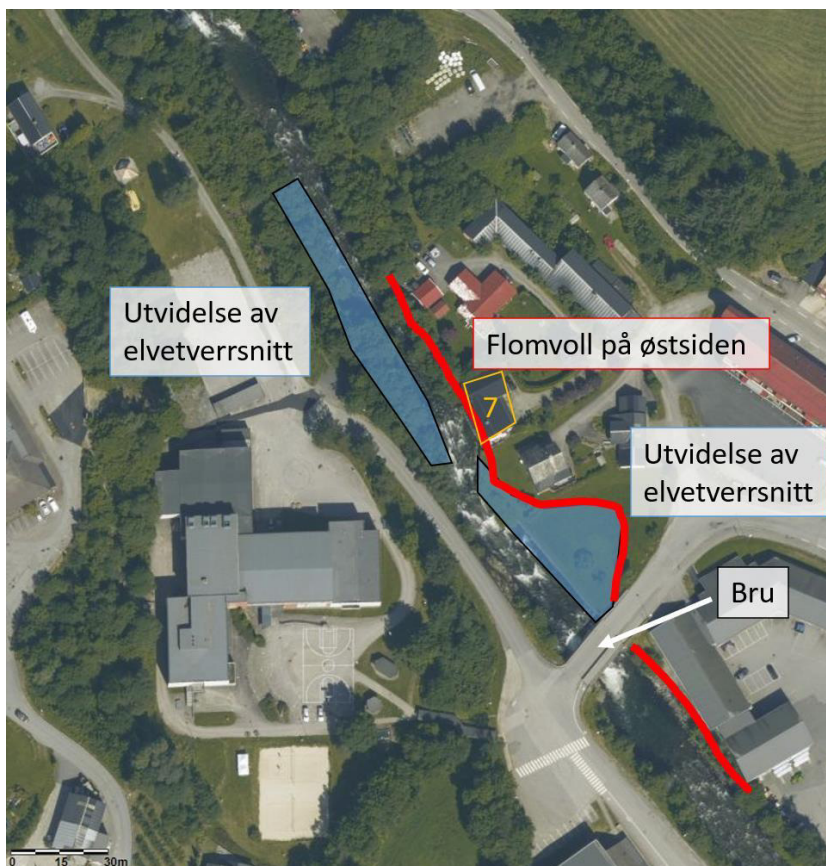
2.4.2 Utvidelse av elveløpet oppstrøms Holmane bru, sammen med mindre flomvoller

Beskrivelse av tiltak: Utvidelse av elveløpet på østsiden av elva oppstrøms Holmane bru og på vestsiden av elveløpet ved- og oppstrøms Holmane 7, samt mindre flomvoller (Figur 2-15).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Flomvannstanden er redusert med ca. 1 m oppstrøms Holmane 7 sammenlignet med simulering med kun flomvoller som tiltak (2.4.1). Dette reduserer lengden til flomvollen, samt høyden. Nedstrøms Holmane 7 må flomvollen fortsatt være 1,0 – 1,5 m høy, og den blir lengre. Dette inkluderer ca. 0,5 m fribord.

Vurdering: Utvidelse av elveløpet ved og oppstrøms Holmane 7 fører til en vannstandsreduksjon i størrelsesorden 1 m avhengig av utvidelsesomfanget. Dette har en positiv effekt på krav til flomvollen på østsiden av elva, dvs. at flomvoll kan være betydelig mindre og dermed har mindre restrisiko. Det er flere strekninger med fjell, slik at utvidelsen av elveløpet forutsetter at graving i skråning ned til dagens elvebunn er mulig. Utvidelse av elveløpet på østsiden mellom Holmane 7 og Holmane bru har lite påvirkning på flomvannstand, da fjellterskelen direkte oppstrøms Holmane bru samt lysåpning til brua bestemmer vannstandsprofilen langs denne strekningen, slik at utvidelse mot østsiden kun skaper en bakevje som ikke fører til betydelig reduksjon i vannstanden.

Konklusjon: Dette tiltaket er aktuelt for strekningen mellom fiskekulpen og Holmane 7 (vestsiden), men ikke like aktuelt for strekningen mellom Holmane 7 og Holmane bru (østsiden). Det blir likevel behov med en mindre flomvoll selv om elveløpet er utvidet.



Figur 2-15. Utvidelse av elveløpet oppstrøms Holmane bru, sammen med mindre flomvoller

2.4.3 Sprengning i elveløpet ved Holmane bru

Beskrivelse av tiltak: Sprengning i elveløpet ved Holmane bru, hovedsakelig av fjellterskel direkte oppstrøms brua (Figur 2-16).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Det forutsettes ingen sprengning direkte under brua ettersom dette kan påføre skader på bru og landkar. Elveløpet må sprenges i en strekning på omtrent 40 m oppstrøms brua, med bredde på 15 m. Det forutsettes en helning fra 7,2 moh. i oppstrøms ende til 5,6 moh. i nedstrøms ende. Det er viktig at overgangen fra den sprengte strekningen til den naturlige elvebunnen oppstrøms er forholdsvis slak for å unngå et stort vannstandssprang ved nedsprengt parti, derfor er det anbefalt en slak helning langs hele strekningen. Mengde fjell som må fjernes er estimert til ca. 6 250 m³ men det påpekes at det er mye usikkerhet tilknyttet sprengningsvolumet på dette tidspunktet.

Vurdering: Elvebunnen oppstrøms Holmane bru er fastfjell. Fjellterskelen og generelt grunne forhold i elveløpet er bestemmende for vannføringen oppstrøms. Det må sprenges flere tusen kubikkmeter fjell for å ha noen reduserende effekt på vannstanden, og det blir betydelige endringer til strømningsmønsteret som følger. Fiskevandring må tas hensyn til, og det må unngås bråe overganger i helning som skaper vannstandssprang (fra bratt til slakt/flatt), samt det må unngås at helningen blir for bratt over en lengre strekning som hindrer fiskepassasje. Det er ikke vurdert sprengning lengre oppstrøms, kun direkte oppstrøms brua, da det ikke er ønskelig med mye sprengning i elveløpet for å ivareta fiskeforhold og ytterlige miljøverdier. Simulering av tiltaket viser at det fortsatt blir noe oversvømmelse på hagen på nordøst siden direkte oppstrøms brua.

Konklusjon: Dette tiltaket er aktuelt for strekningen direkte oppstrøms Holmane bru. Det blir fortsatt behov for kombinasjon med andre tiltak oppstrøms og nedstrøms brua.



Figur 2-16. Sprengning i elveløpet ved Holmane bru

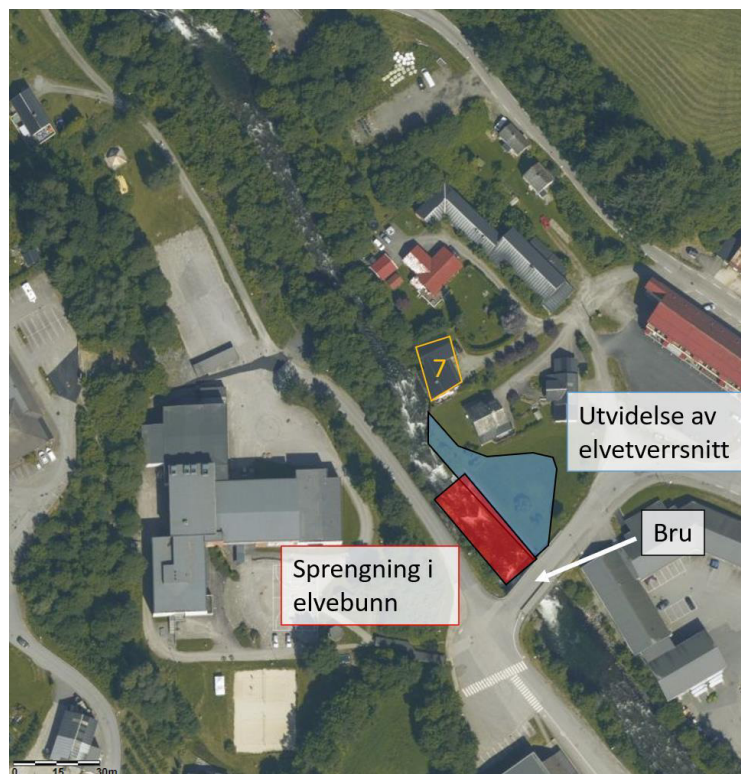
2.4.4 Sprengning i elveløpet og utvidelse av elveløpet ved Holmane bru

Beskrivelse av tiltak: Sprengning i elveløpet ved Holmane bru, hovedsakelig ved fjellterskel direkte oppstrøms brua, samt utvidelse av elveløpet ved Holmane bru på østsiden av elva (Figur 2-17).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Det forutsettes ingen sprengning direkte under brua. Elveløpet må sprenges i en strekning på omtrent 40 m oppstrøms brua, med bredde på 15 m. Det forutsettes en helning fra 7,2 moh. i oppstrøms ende til 5,6 moh. i nedstrøms ende. Det er viktig at overgangen fra den sprengte strekningen til den naturlige elvebunnen oppstrøms er forholdsvis slak for å unngå et stort vannstandssprang ved nedgravd parti, derfor er det anbefalt en slak helning langs hele partiet. Mengde fjell som må fjernes er estimert til ca. 6 250 m³ men det påpekes at det er mye usikkerhet tilknyttet sprengningsvolumet på dette tidspunktet. Utvidelsen er på østsiden av elva på eiendommen til Holmane 9.

Vurdering: Elvebunnen oppstrøms Holmane bru er fastfjell. Fjellterskelen er bestemmende for vannføringen oppstrøms. Det må sprenges flere tusen kubikkmeter fjell for å ha noen reduserende effekt på vannstanden, og det blir betydelige endringer til strømningsmønsteret som følger. Fiskevandring må tas hensyn til, og det må unngås bråe overganger i helning som skaper vannstandssprang (fra bratt til slakt/flatt), samt det må unngås at helningen blir for bratt over en lengre strekning som hindrer fiskepassasje. Det er ikke vurdert sprengning lengre oppstrøms, kun direkte oppstrøms brua, da det ikke er ønskelig med mye sprengning i elveløpet for å ivareta fiskeforhold og ytterlige miljøverdier. Utvidelse av elveløpet har ytterlig påvirkning på strømningsmønsteret, og skaper en bakevje. Utvidelse av elveløpet direkte oppstrøms brua har lite effekt da vannstanden fortsatt er kontrollert av lysåpningen under Holmane bru.

Konklusjon: Dette tiltaket har ingen ytterlige fordeler over scenarioet presentert ovenfor med kun sprengning i elveløpet (2.4.3) og tiltaket vil innebære et stort inngrep på privat eiendom.



Figur 2-17. Sprengning i elveløpet og utvidelse av elveløpet ved Holmane bru

2.4.5 Fjerning av Holmane bru

Beskrivelse av tiltak: Fjerning av Holmane bru (Figur 2-18).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Total fjerning av brua.

Vurdering: Fjerning av Holmane bru er ikke tilstrekkelig for å flomsikre strekningen. Det blir fortsatt oversvømmelse ved østsiden av elva oppstrøms brua på grunn av utilstrekkelig kapasitet i elveløpet.

Konklusjon: Fjerning av brua er ikke aktuelt ettersom det har lite effekt på sikring av området oppstrøms, og kun gir fordeler lokalt ved brua. Brua er også et nødvendig krysningspunkt for veisystemet i Øystese.



Figur 2-18. Fjerning av Holmane bru.

2.4.6 Heving av Holmane bru og sprengning i elveløpet

Beskrivelse av tiltak: Heving av Holmane bru og sprengning i elveløpet (Figur 2-19).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Holmane bru må heves ca. 0,5 m for å ha tilstrekkelig fribord. Det forutsettes ingen sprengning direkte under brua. Elveløpet må sprenges i en strekning på omtrent 40 m oppstrøms brua, med bredde på 15 m. Det forutsettes en helning fra 7,2 moh. i oppstrøms ende til 5,6 moh. i nedstrøms ende. Det er viktig at overgangen fra den sprengte strekningen til den naturlige elvebunnen oppstrøms er forholdvis slak for å unngå et stort vannstandssprang ved nedsprengt parti, derfor er det anbefalt en slak helning langs hele partiet. Mengde fjell som må fjernes er estimert til ca. 6 250 m³ men det påpekes at det er mye usikkerhet tilknyttet sprengningsvolumet på dette tidspunktet. Det må fortsatt sprenges like mye selv om brua er hevet – dette for å unngå oversvømmelse på østsiden av elva.

Vurdering: Elvebunnen oppstrøms Holmane bru er fastfjell. Fjellterskelen og generelt grunne forhold i elveløpet er bestemmende for vannføringen oppstrøms. Det må sprenges flere tusen kubikkmeter fjell for å ha noen reduserende effekt på vannstanden, og det blir betydelige endringer til strømningsmønsteret som følger. Fiskevandring må tas hensyn til, og det må unngås bråe overganger i helning som skaper vannstandssprang (fra bratt til slakt/flatt), samt det må unngås at helningen blir for bratt over en lengre strekning som hindrer fiskepassasje. Det er ikke vurdert sprengning lengre oppstrøms, kun direkte oppstrøms brua, da det ikke er ønskelig med mye sprengning i elveløpet for å ivareta fiskeforhold og ytterlige miljøverdier. Heving av brua vil innebære betydelige kostnader.

Konklusjon: Dette tiltaket er aktuelt for strekningen direkte oppstrøms Holmane bru, men er ansett som et meget inngripende og kostbart tiltak sammenlignet med andre løsninger. Det blir fortsatt behov for kombinasjon med andre tiltak oppstrøms og nedstrøms brua.



Figur 2-19. Heving av Holmane bru og sprengning i elveløpet.

2.4.7 Heving av Holmane bru og omkringliggende terreng

Beskrivelse av tiltak: Heving av Holmane bru og omkringliggende terreng (Figur 2-20).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Terrengtet må heves med ca. 1 m på østsiden av elva. Det er ikke behov for heving av terreng på vestsiden av elva. Det er kun undersøkt heving av terreng nedstrøms Holmane 7. Brua burde heves med ca. 0,5 m for å ha tilstrekkelig fribord.

Vurdering: Denne løsningen har samme effekt som flomvoll, men har ikke samme restrisiko hvis terrengtet er bygd opp over hele området.

Konklusjon: Denne løsningen er aktuelt som tiltak nedstrøms Holmane 7, men den bør vurderes mot oppbygging av en flomvoll mht. kost/nytte. Det er likevel høy hastighet og mye stryk langs strekningen, slik at oppbygging av terrengtet anses som en tryggere løsning enn flomvoll. Elveskråningen må erosjonssikres.



Figur 2-20. Heving av Holmane bru og omkringliggende terreng.

2.4.8 Heving av Holmane bru og utvidelse av elveløpet

Beskrivelse av tiltak: Heving av Holmane bru og utvidelse av elveløpet (Figur 2-21).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Brua må heves med minst 0,5 m for å ha tilstrekkelig fribord. Utvidelse av elveløpet er kun aktuelt på østsiden av elva. Det er kun undersøkt utvidelse nedstrøms Holmane 7, da utvidelsen oppstrøms er undersøkt i kap. 2.4.2.

Vurdering: Utvidelse av elveløpet skaper en bakevje oppstrøms brua, og fører til endringer i strømningsmønsteret. Det er lite lagringsplass i det utvidete arealet, og vannstanden er fortsatt styrt av fjellterskelen og tverrsnittet gjennom brua.

Konklusjon: Som konkludert i kap. 2.4.2, er ikke utvidelse av elveløpet på østsiden et godt alternativt oppstrøms Holmane bru ettersom det har marginal effekt på vannstanden oppstrøms brua.



Figur 2-21. Heving av Holmane bru og utvidelse av elveløpet.

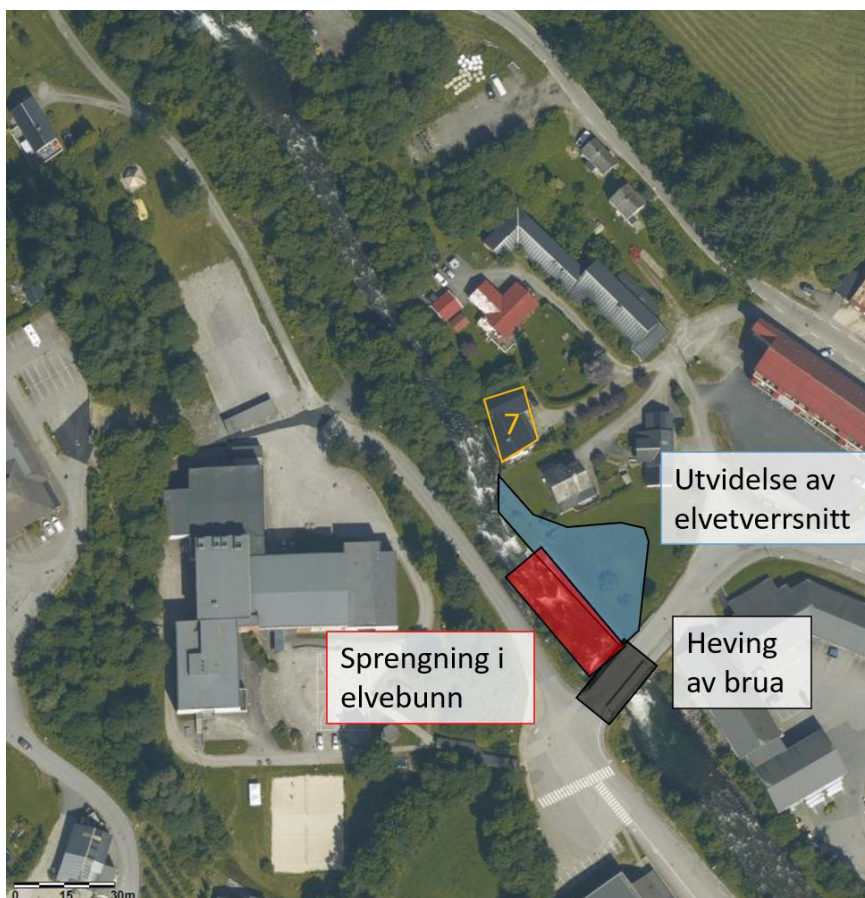
2.4.9 Heving av Holmane bru med utvidelse av elveløpet og sprengning i elveløpet

Beskrivelse av tiltak: Heving av Holmane bru med utvidelse av elveløpet og sprengning i elveløpet (Figur 2-22).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Brua må heves minst 0,5 m for å ha tilstrekkelig fribord. Utvidelse av elveløpet er kun aktuelt på østsiden av elva. Det er kun undersøkt utvidelse nedstrøms Holmane 7, da utvidelsen oppstrøms er undersøkt i kap. 2.4.2. Det forutsettes ingen sprengning direkte under brua. Elveløpet må sprenges i en strekning på omtrent 40 m oppstrøms brua, med bredde på 15 m. Det forutsettes en helning fra 7,2 moh. i oppstrøms ende til 5,6 moh. i nedstrøms ende. Det er viktig at overgangen fra den sprengte strekningen til den naturlige elvebunnen oppstrøms er forholdsvis slak for å unngå et stort vannstandssprang ved nedsprengt parti, derfor er det anbefalt en slak helning langs hele strekningen. Mengde fjell som må fjernes er estimert til ca. 6 250 m³ men det påpekes at det er mye usikkerhet tilknyttet sprengningsvolumet på dette tidspunktet.

Vurdering: Utvidelse av elveløpet skaper en bakevje oppstrøms brua, og fører til endringer i strømningsmønsteret. Det er lite lagringsplass i det utvidete arealet. Vannstanden er noe redusert hvor det er sprengt, men det blir fortsatt behov for ytterlige sikringstiltak oppstrøms brua.

Konklusjon: Som konkludert i kap. 2.4.2, er ikke utvidelse av elveløpet på østsiden et godt alternativt oppstrøms Holmane bru ettersom det har marginal effekt på vannstanden oppstrøms brua.



Figur 2-22. Heving av Holmane bru med utvidelse av elveløpet og sprengning i elveløpet.

2.5 Delområde 3: Hardangerfjordbrua og utløp i fjorden

Tiltak i delområde 3 er vurdert med forutsetning om at sikringstiltak i delområde 1 (Busdalen / Sjusetevegen bru) og 2 (Holmane bru) er utført.

Beskrivelse av strekning:

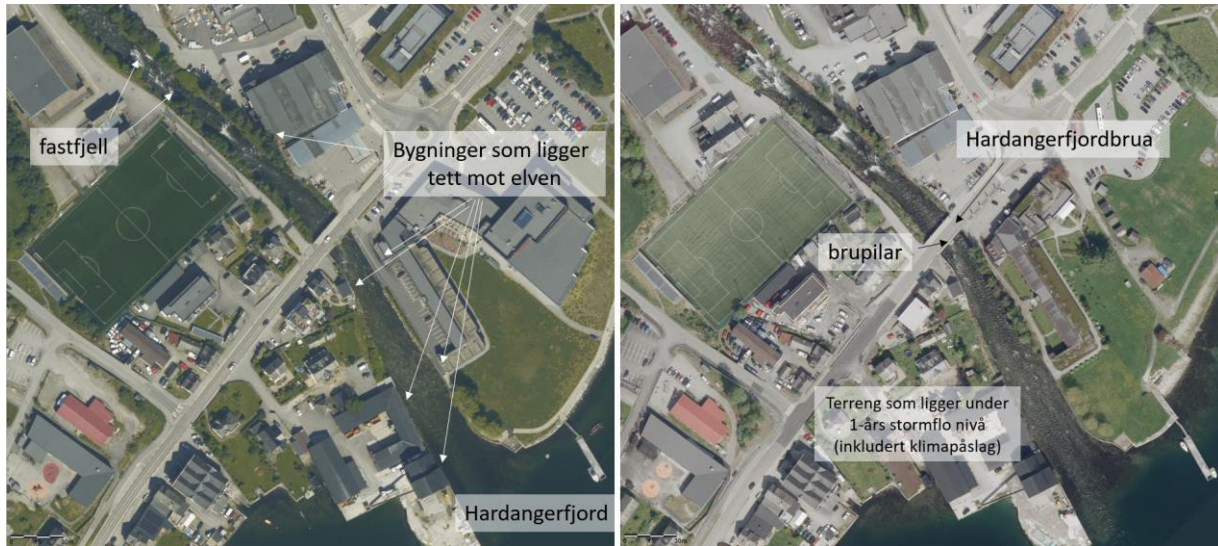
Lengde = ca. 380 m; gjennomsnittlig helning = ca. 1,0 %

Delområde 3 er generelt en slakere strekning som ender med å krysse under Hardangerfjordvegen bru (FV79) før elva munner ut i Hardangerfjorden. Hele strekningen er oppbygget og har enten tørrmur eller steinsikring langs kanten, se oversiktsforklaring og bilder i Figur 2-23 og Figur 2-24. Hardangerfjordbrua ligger ca. 180 m oppstrøms utløpet til fjorden. Brua har en pilar i midten av bruspennet, som er beskrevet i flomsoner rapporten [1]. Sjusetevegen 6 og 4 (næringssenter og bensinstasjonen) ligger tett mot elva på østsiden oppstrøms brua. Garasjen til Hardangerfjordvegen 609 ligger på elvekanten på vestsiden direkte nedstrøms brua, se Figur 2-25. Hardangerfjordvegen 601 og 599 ligger også på elvekanten på vestsiden av elva, men de vurderes fjernet på sikt. Hardangerfjord hotell (Hardangerfjordvegen 613) ligger også litt over 15 m fra elvekanten på østsiden, og kun 3 m fra elvekanten mot utløpet av fjorden, samt kun 7 m fra elvekanten direkte nedstrøms brua. Det er mye løsmasser i elvebunnen langs denne strekningen, men det er fastfjell ved Holmane 20.

I simuleringer er det benyttet 1-års stormflo med klimapåslag som nedstrøms grensebetingelse i fjorden. Vannstanden i Øysteseelva i simuleringene er påvirket av havnivået fra noen meter oppstrøms fotballbanen ned til utløpet i fjorden, se Figur 2-26. Strekningslengden, som er påvirket av havvannstand, er ca. 315 m. Senkning av elvebunnen langs denne strekningen har derfor neglisjerbar påvirkning på flomvannstanden. Terrenget på vestsiden av elva nedstrøms Hardangerfjordbrua ligger nesten utelukkende under kote 1,62 og er dermed oversvømt av havvannstanden i tillegg til eventuell oversvømmelse fra Øysteseelva.

Utfordringer:

- For lite kapasitet under Hardangerfjordbrua, som skaper oppstuvning.
- Oversvømmelse oppstrøms brua på grunn av oppstuvning.
- Flere bygninger ligger tett mot elva og er flomutsatt.
- Området sørvest for brua ligger under 1-års stormflo nivå og er utsatt for oversvømmelse fra sjøen, men også fra elva.



Figur 2-23. Oversikt over delområde 3. A) Flyfoto tatt 22.07.2022 med normal / lavere vannføring. B) Flyfoto tatt 19.05.2017 med høyere vannføringer. Foto fra NorgeiBilder.no.



A) Fastfjell i elveløpet ved Holmane 20 (sett medstrøms).



B) Oppstrøms Sjusetevegen 6. Tørrmur med noe utrasing (sett medstrøms).



C) Forhold oppstrøms Hardangerfjordbrua (sett oppstrøms fra brua).



D) Forhold oppstrøms Hardangerfjordbrua, sett medstrøms mot Sjusetevegen 4. Tørrmur. Løsmasser i elvebunnen.



E) Hardangerfjordbrua og brupilar (sett medstrøms).

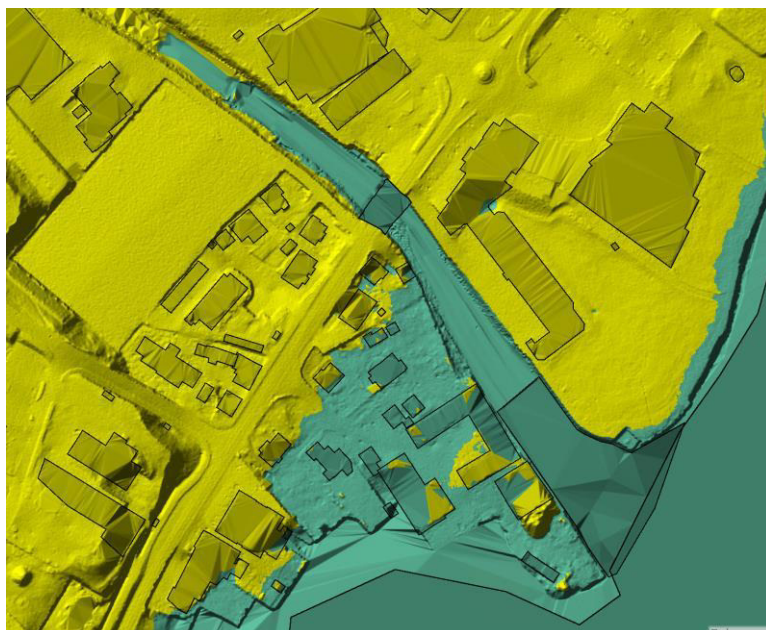


F) Forhold nedstrøms Hardangerfjordbrua. Utsikt medstrøms mot Hardangerfjorden.

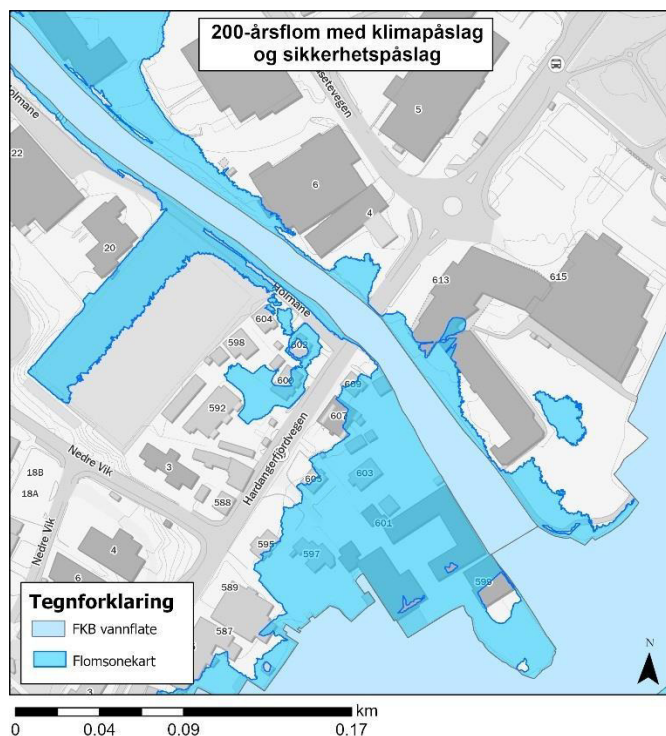
Figur 2-24. Bilder fra delområde 3. Bildene er tatt av Norconsult på 27. mars 2023.



Figur 2-25. Øysteseelva nedstrøms Hardangerfjordbrua. Foto: Google Maps, bilder tatt juli 2023.



Figur 2-26. Terreng som ligger under 1,62 moh., dvs. 1-års stormflo med klimapåslag, er vist i grønn.



Figur 2-27. Flomsonekart for dagens situasjon, 200-årsflom, delområde 3. Kilde: [1].

18 alternativer er vurdert for flomsikring i delområde 3 ved Hardangerfjordbrua, som presentert i Tabell 2-3. De er beskrevet i etterfølgende delkapitler.

Tabell 2-3. Oversikt over simuleringer av flomsikringstiltak ved Hardangerfjordbrua.

Kapittel	Tiltak
Scenarier uten tiltak på Hardangerfjordbrua	
2.5.1	Sprengning i elvebunn under Hardangerfjordbrua
2.5.2	Etablering av en kulvert for vannavledning forbi Hardangerfjordbrua
2.5.3	Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua
2.5.4	Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua med flomvoller
2.5.5	Heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua
2.5.6	Heving av terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua
2.5.7	Heving av terrenget både nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua
2.5.8	Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua
Scenarier med tiltak på Hardangerfjordbrua	
2.5.9	Fjerne pilaren under Hardangerfjordbrua og utvide brutvernsnitt
2.5.10	Utvide bruspenne Hardangerfjordbrua uten å fjerne eksisterende pilar
2.5.11	Utvide bruspenne Hardangerfjordbrua med heving av brudekke
2.5.12	Heving av Hardangerfjordbrua og omkringliggende terreng
2.5.13	Heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke
2.5.14	Heving av terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke
2.5.15	Heving av terrenget både nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke
2.5.16	Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke

2.5.1 Sprengning i elvbunn under Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: Sprengning i elvbunn under Hardangerfjordbrua for å øke tverrsnittareal (Figur 2-28).

Vurdering: Vannstand under Hardangerfjordbrua er sterk påvirket av havvannstand. Det er svært lite fall mellom brua og utløp i fjorden. Senkning av elvbunnen under Hardangerfjordbrua må derfor videreføres helt til utløpet i fjorden. Det er stor fare for ytterlig masseavsetning ved bunnsenkning. Senkning av elvbunnen har svært lite effekt på flomvannstanden på grunn av bl.a. påvirkning av havvannstand.

Konklusjon: Dette scenarioet er ikke aktuelt.



Figur 2-28. Sprengning i elvbunn under Hardangerfjordbrua.

2.5.2 Etablering av en kulvert for vannavledning forbi Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: En flomavledningskulvert som leder vann forbi Hardangerfjordbrua på vestsiden av elva (Figur 2-29).

Vurdering: Det er ikke vurdert aktuelt å etablere en kulvert på østsiden av elva på grunn av bensinstasjonen og hotellet. Alt terrenget nedstrøms brua på vestsiden av elva ligger under dimensjonerende havvannstand. Vannstanden i kulverten blir sterkt påvirket av havvannstanden og vil dermed være full eller nesten full også under normalvannføring. Kulvertdimensjonene må sannsynligvis være større enn prefabrikkerte løsninger, også når det tas hensyn til fare for tilstopping fra løsmasser. Tilstopping av innløpet på grunn av løsmasser er en stor risiko, i tillegg til fare for avsetning av løsmasser i kulverten når det er lite fall. Etablering av en kulvert vil medføre en endring i strømningsmønsteret.

Konklusjon: Dette scenarioet er ikke aktuelt.



Figur 2-29. Etablering av en kulvert for vannavledning forbi Hardangerfjordbrua

2.5.3 Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: Elveløpet er utvidet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua (Figur 2-30).

Vurdering: Utvidelsen opp- og nedstrøms brua begrenser oversvømmelse til noe grad, men det er fortsatt noe oversvømmelse i boligområdet direkte nordvest for brua, samt ved parkeringsplassen til bensinstasjonen. Vannstanden direkte oppstrøms Hardangerfjordbrua er på 3,7 moh., som er nesten 1 m over underkant av brubjelken og ca. 10 cm lavere enn brudekke. Det vil si at Hardangerfjordbrua fører til oppstuvning. Terrengene sørvest for brua er oversvømt, men mye av dette er på grunn av havvannstanden, som ligger høyere enn terrengnivået.

Konklusjon: Dette scenarioet er aktuelt, men det er behov for ytterlige tiltak for å flomsikre området. Hardangerfjordbrua fungerer fortsatt som en flaskehals.



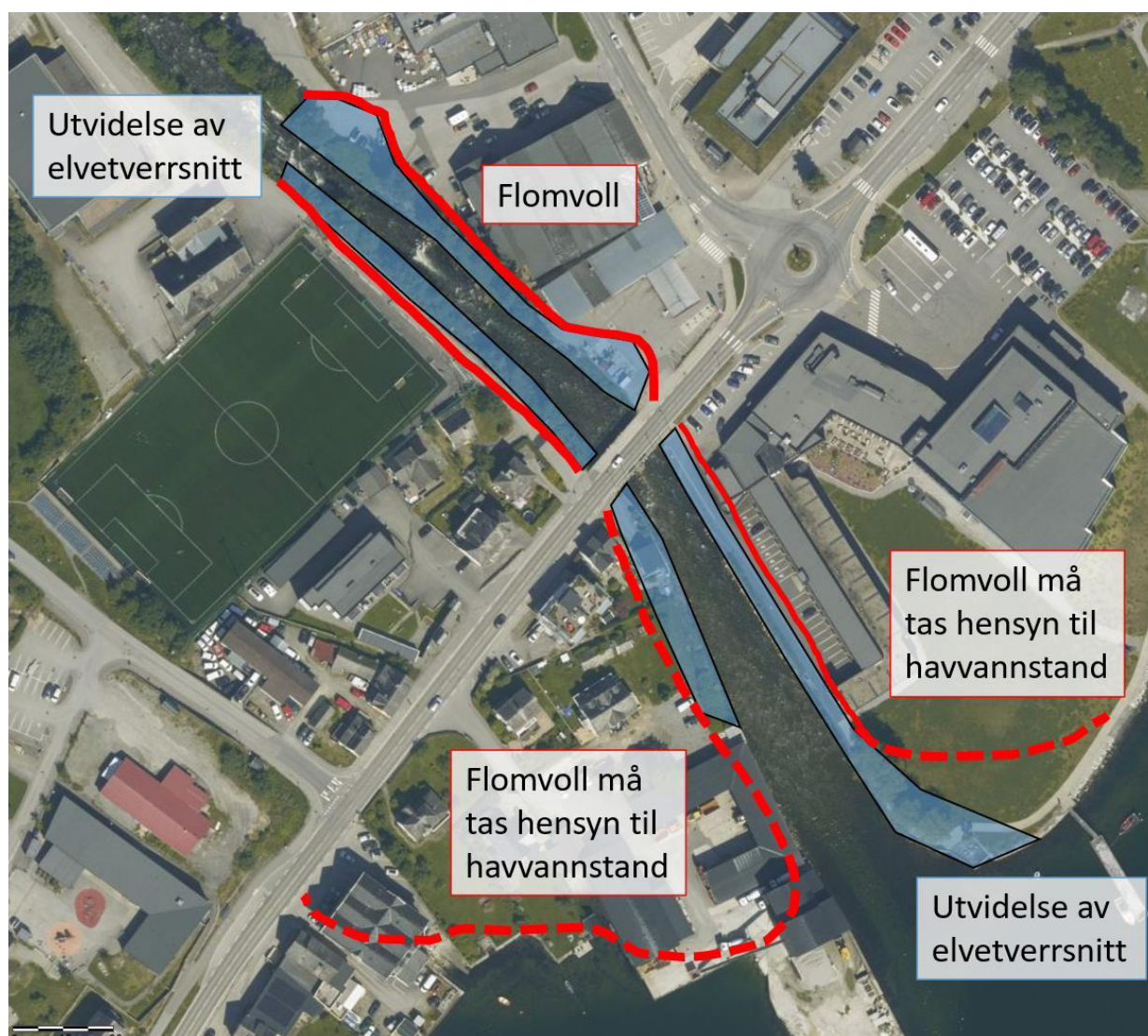
Figur 2-30. Til venstre: Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua. Til høyre: Flomsone etter tiltak.

2.5.4 Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua med flomvoller

Beskrivelse: Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua i kombinasjon med flomvoller (Figur 2-31).

Vurdering: Utvidelsen opp- og nedstrøms brua begrenser oversvømmelse til noe grad, og flomvoll bidrar til å sikre omkringliggende områder. Oppstuvning bak Hardangerfjordbrua fører til at flomsikringstiltak må være ganske omfattende oppstrøms brua. Havvannstanden i fjorden fører til at det må gjøres omfattende tiltak nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det vil være kostbart og har noe restrisiko bak flomvollene.



Figur 2-31. Utvidelse av elveløpet opp- og nedstrøms Hardangerfjordbrua med flomvoller. Stiplede linjer viser hvor flomvollen må hovedsakelig dimensjoneres etter havvannstand.

2.5.5 Heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: Terrengheving nordvest for Hardangerfjordbrua (Figur 2-32).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig av forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde langs elva. Høyden varierer fra ca. 5,5 moh. ved oppstrøms ende til 4,1 moh. ved Hardangerfjordbrua. Dette inkluderer ca. 0,5 m fribord.

Vurdering: Terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir ytterlige oversvømmelse på østsiden av elva. Det blir fortsatt oppstuvning bak Hardangerfjordbrua. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-32. Til venstre: Terrengheving nordvest for Hardangerfjordbrua. Stiplede linjer viser hvor grensen til terrengheving ikke er fastsatt. Til høyre: Flomsonekart etter tiltak (terrengheving).

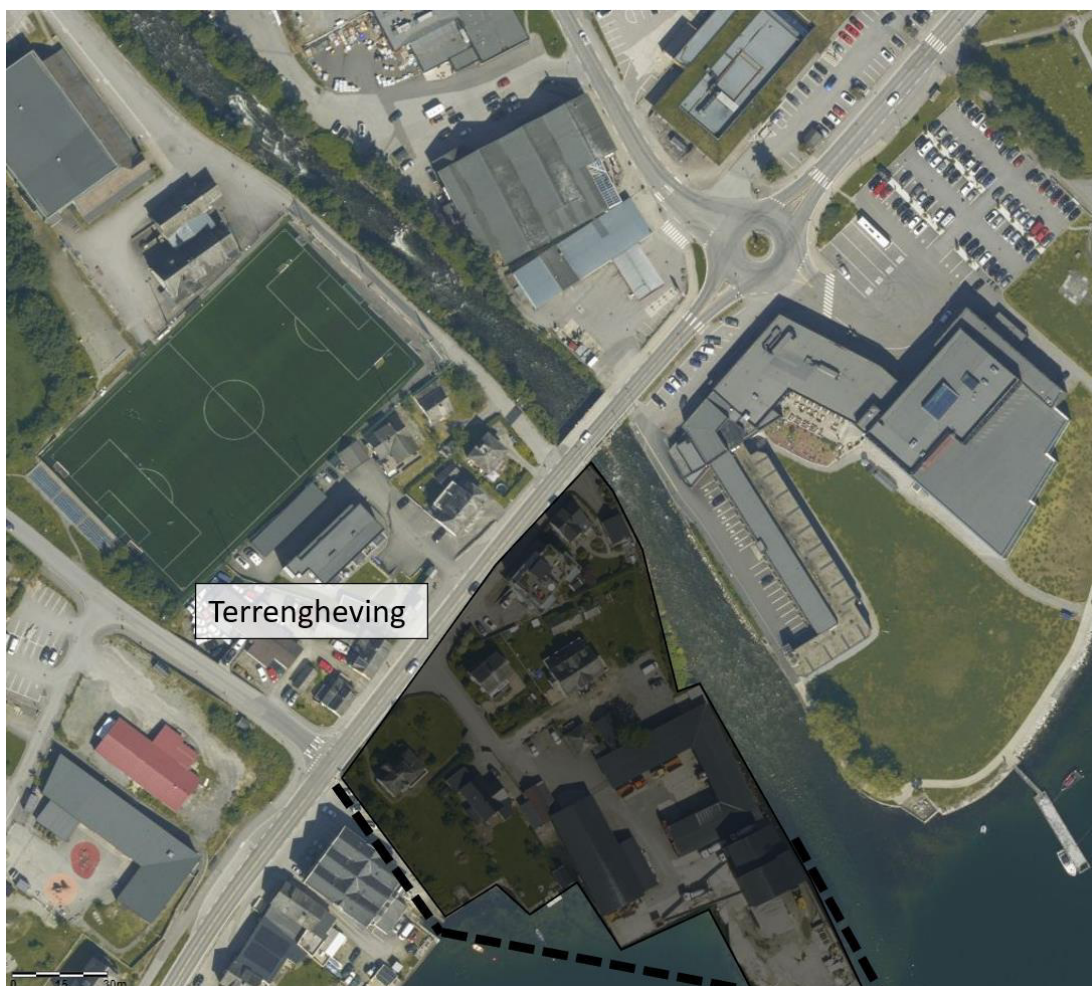
2.5.6 Heving av terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: Terrenghaving sørvest for Hardangerfjordbrua (Figur 2-33).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig av forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde langs elva og fjorden. Høyden varierer fra ca. 3,3 moh. direkte nedstrøms brua og ikke lavere enn 2,5 moh. mot fjorden. Dette inkluderer 0,5 m fribord.

Vurdering: Terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir fortsatt oversvømmelse langs opp- og nedstrøms brua. Det blir fortsatt oppstuvning bak Hardangerfjordbrua. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms for brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-33. Terrenghaving sørvest for Hardangerfjordbrua.

2.5.7 Heving av terrenget både nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: Terrenghaving nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua (Figur 2-34).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig av forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde langs elva og fjorden. Oppstrøms brua varierer høyden fra 5,5 moh. ved oppstrøms ende til 4,1 moh. ved Hardangerfjordbrua. Nedstrøms brua varierer høyden fra ca. 3,3 moh. direkte nedstrøms brua og ikke lavere enn 2,5 moh. mot fjorden. Dette inkluderer ca. 0,5 m fribord.

Vurdering: Terrenget nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir fortsatt oversvømmelse langs elva på østsiden. Det blir fortsatt oppstuvning bak Hardangerfjordbrua. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-34. Terrenghaving nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua.

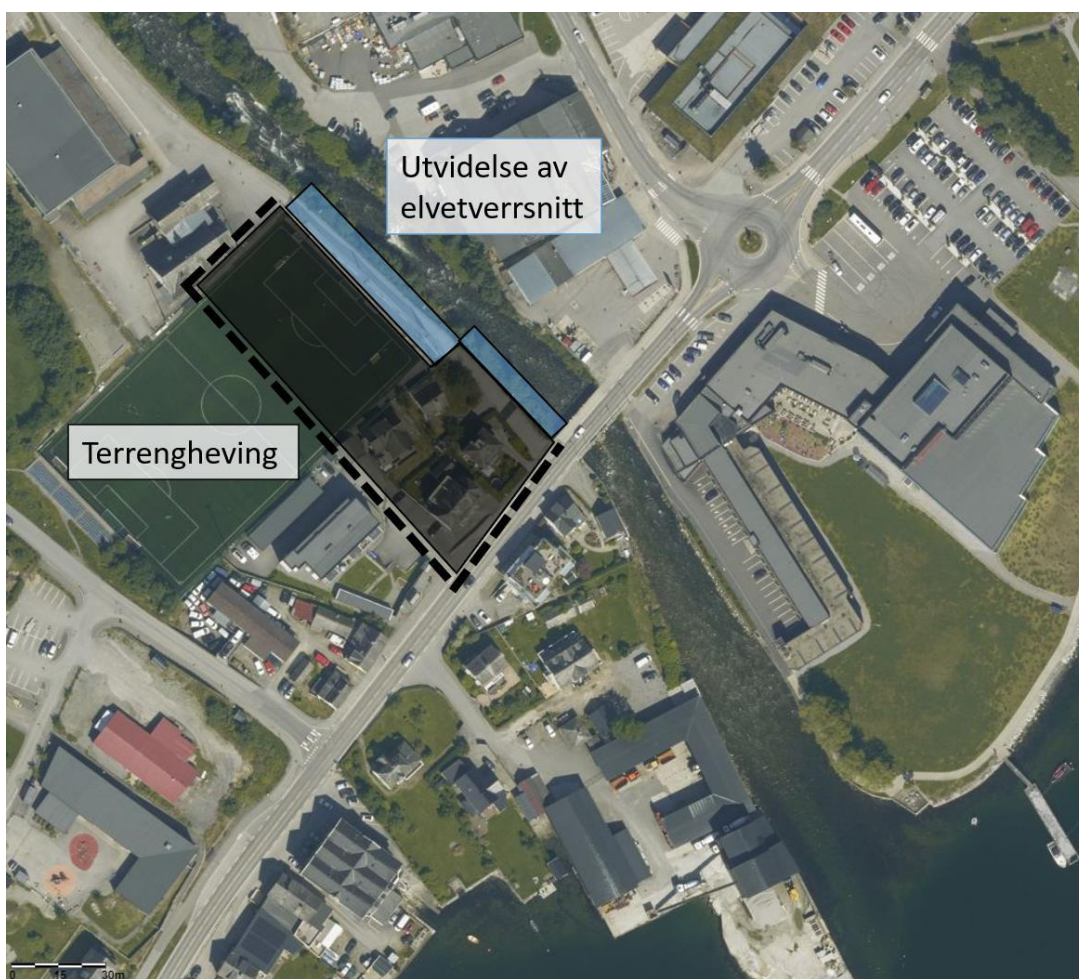
2.5.8 Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua

Beskrivelse: Terrenghaving nordvest for Hardangerfjordbrua (Figur 2-35).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Senkning av terrenget ved fotballbanen antar et område som er ca. 68 m langt og ca. 9 m bredt. I tillegg er det utført senkning på vestsiden av elva mellom fotballbanen og brua inntil eksisterende mur, som er en strekning på ca. 40 m lengde og ca. 7 m bredde. Høyden til ny elvebunn i det nedsenkete området er fra 1,8 moh. ved oppstrøms ende av fotballbane til ca. 0,35 moh. ved brua / nedstrøms ende. Det forutsettes en konstant helning langs den senkede strekningen. Terrenget på nordvest siden av brua er hevet.

Vurdering: Terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir ytterlige oversvømmelse på østsiden av elva. Det blir fortsatt oppstuvning bak Hardangerfjordbrua. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring hvis det kombineres med tiltak på brua, samt tiltak nedstrøms brua.



Figur 2-35. Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua.

2.5.9 Fjerne pilaren under Hardangerfjordbrua og utvide brutverrsnitt

Beskrivelse: Fjerning av pilar under Hardangerfjordbrua og utvidelse av brutverrsnitt (Figur 2-36).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Brutverrsnittet er utvidet med 11 m på vestsiden og pilaren er fjernet. Vannstanden når opp til underkant bru og skaper litt oppstuvning med maks. vannstand på ca. 2,9 moh. ved brua. Dette tilfredsstiller ikke kravet om 0,5 m fribord.

Vurdering: Terrengnet nordvest for Hardangerfjordbrua blir sikret med unntak av noe oversvømmelse ved lavpunktet ved oppstrøms ende av fotballbanen, ved veien langs Øysteseelva på vestsiden av elva mellom fotballbane og fylkesveien, samt noe oversvømmelse på østsiden av elva på motsatt side av fotballbanen. Det er fortsatt oversvømmelse nedstrøms brua hovedsakelig på grunn av havvannstanden.

Konklusjon: Dette scenarioet er aktuelt, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-36. Fjerning av pilar under Hardangerfjordbrua og utvidelse av brutverrsnittet.

2.5.10 Utvide bruspenn Hardangerfjordbrua uten å fjerne eksisterende pilar

Beskrivelse: Utvidelse av brutverrsnitt i Hardangerfjordbrua (Figur 2-37).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Brutverrsnittet er utvidet med 11 m på vestsiden. Vannstand er over underkant bru på kote 3,2 moh. Det tilfredsstiller ikke krav om 0,5 m fribord, og det er fortsatt oppstuvning.

Vurdering: Terrengtet nordvest for Hardangerfjordbrua blir sikret med unntak av noe oversvømmelse ved lavpunktet ved oppstrøms ende av fotballbane, ved veien langs Øysteseelva på vestsiden av elva mellom fotballbane og fylkesveien, samt noe oversvømmelse på østsiden av elva på motsatt side av fotballbanen. Det er fortsatt oversvømmelse nedstrøms brua hovedsakelig på grunn av havvannstanden. Det er noe oppstuvning bak brua på grunn av redusert tverrsnitt og ugunstige strømningsforhold ved å ikke fjerne pilaren under brua. Det er vurdert at det ikke er hensiktsmessig å utvide tverrsnittet ytterlig, da det vil medføre omfattende tiltak for omkringliggende områder, og det er lite gevinst sammenlignet med andre alternativer.

Konklusjon: Dette scenarioet er ikke aktuelt.



Figur 2-37. Utvidelse av brutverrsnittet ved Hardangerfjordbrua.

2.5.11 Utvide bruspenn Hardangerfjordbrua med heving av brudekke

Beskrivelse: Utvidelse av brutverrsnittet i Hardangerfjordbrua med heving av brudekke (Figur 2-38).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Brutverrsnittet er utvidet med 11 m på vestsiden. Det er vurdert å ikke fjerne pilaren. Brudekke med heves til minst 2,9 moh., som er eksklusiv 0,5 m fribord.

Vurdering: Terrengnet nordvest for Hardangerfjordbrua blir sikret med unntak av noe oversvømmelse ved lavpunktet ved oppstrøms ende av fotballbanen, ved veien langs Øysteseelva på vestsiden av elva mellom fotballbane og fylkesveien, samt noe oversvømmelse på østsiden av elva på motsatt side av fotballbanen. Det er fortsatt oversvømmelse nedstrøms brua hovedsakelig på grunn av havvannstanden. Det er vurdert at det ikke er hensiktsmessig å utvide tverrsnittet ytterligere, da det vil medføre omfattende tiltak for omkringliggende området, og det er lite gevinst sammenlignet med andre alternativer.

Konklusjon: Dette scenarioet er aktuelt, men må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-38. Utvidelse av brutverrsnittet og heving av brudekke ved Hardangerfjordbrua.

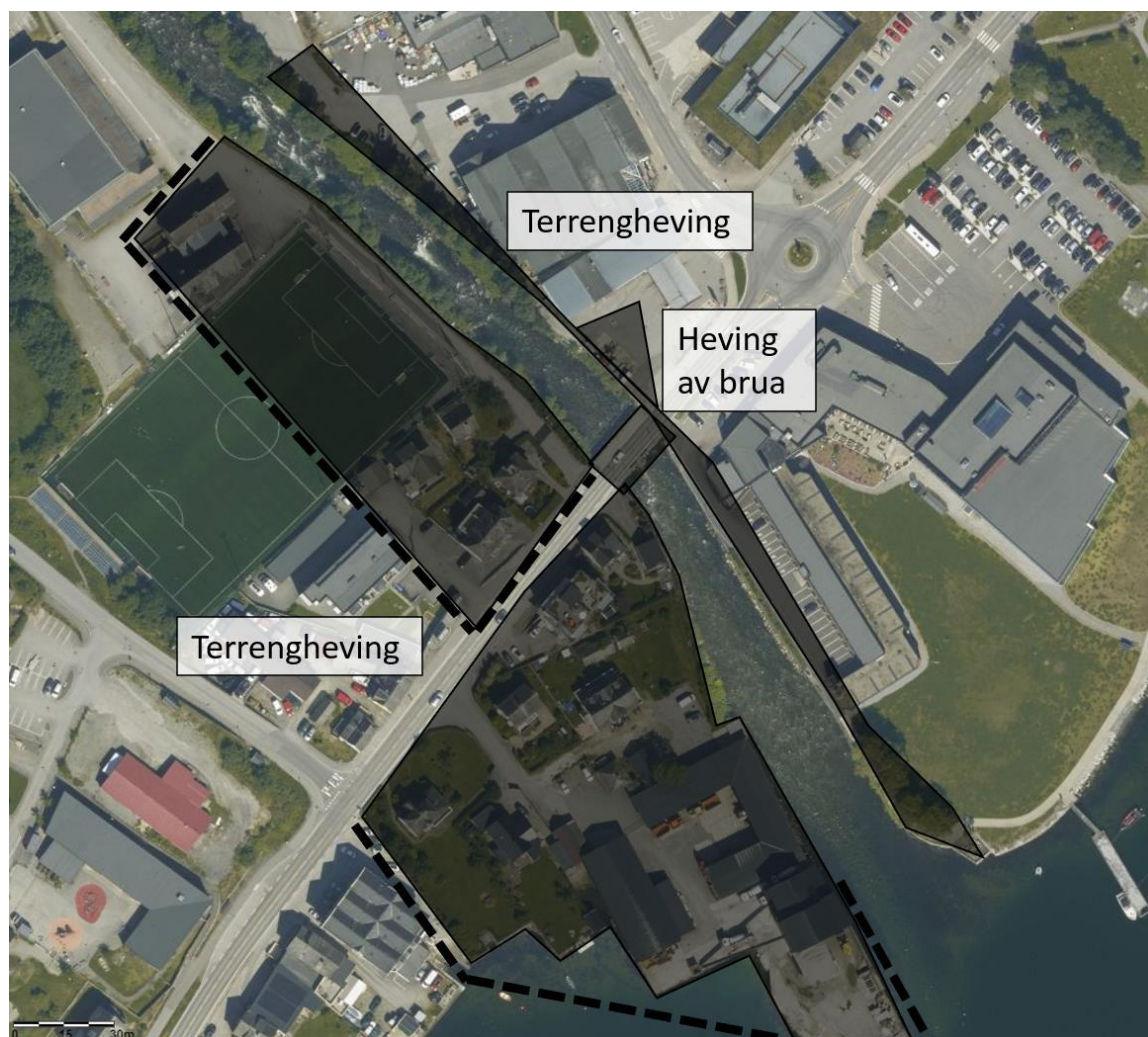
2.5.12 Heving av Hardangerfjordbrua og omkringliggende terreng

Beskrivelse: Heving av Hardangerfjordbrua og omkringliggende terreng (Figur 2-39).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde langs elva. Høyden varierer fra ca. 5,0 moh. ved oppstrøms ende av Holmane 20 til ca. 3,3 moh. ved oppstrøms ende av brua til 2,1 moh. ved nedstrøms ende av hotellet. Brua må heves minst 0,5 m, i tillegg til ytterligere 0,5 m for å oppnå krav om fribord.

Vurdering: Terrenget blir sikret. Dette er omfattende tiltak som vil medføre en stor kostnad og påvirke eksisterende bebyggelse.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring.



Figur 2-39. Heving av Hardangerfjordbrua og omkringliggende terreng.

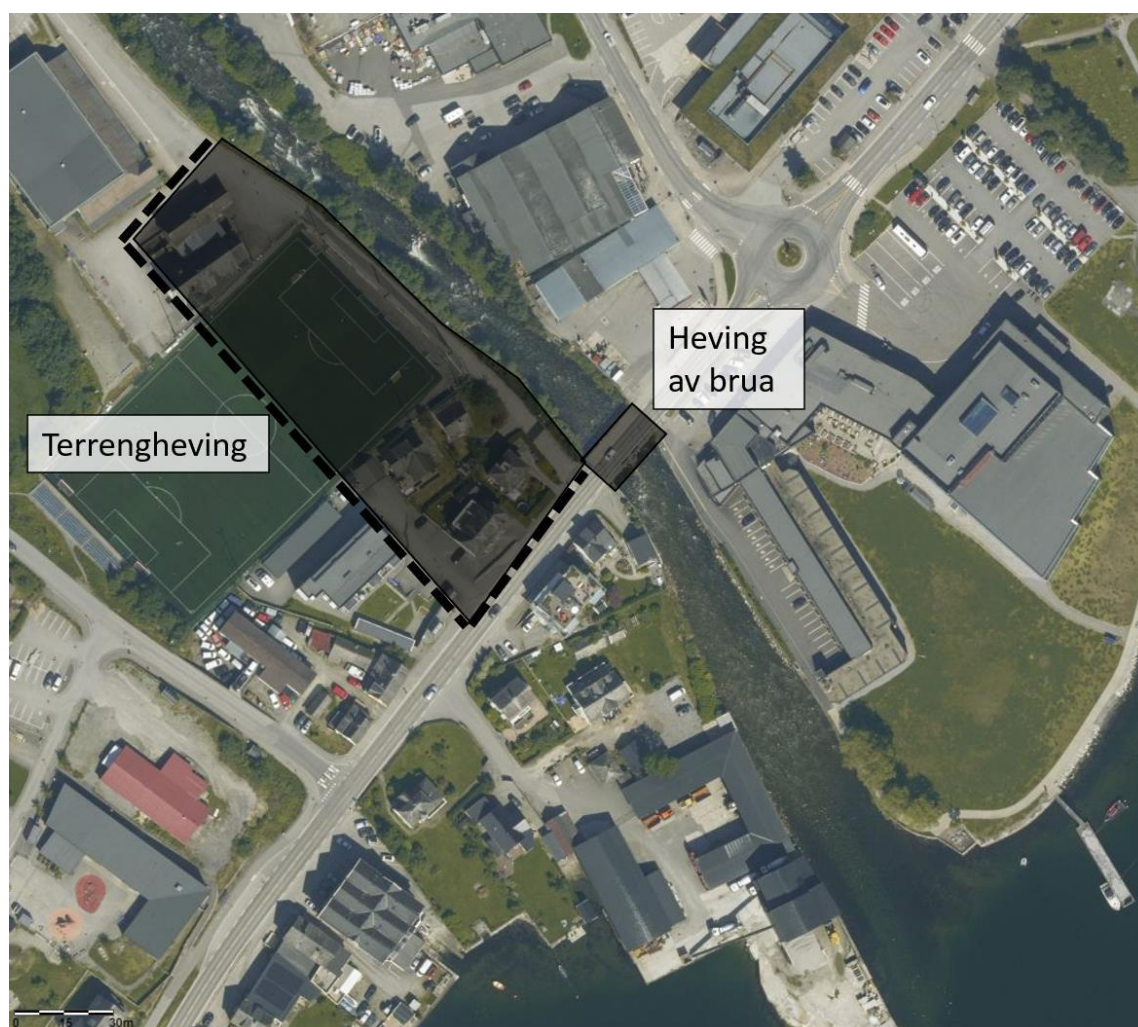
2.5.13 Heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke

Beskrivelse: Terrenghaving nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke (Figur 2-40).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde langs elva. Høyden varierer fra ca. 5,5 moh. ved oppstrøms ende til 3,6 moh. ved Hardangerfjordbrua. Dette inkluderer et 0,5 m fribord. Brua må heves minst 30 cm, i tillegg til ytterligere 0,5 m for å oppnå krav om fribord.

Vurdering: Terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir ytterligere oversvømmelse på østsiden av elva. Vannstanden er 0,5 m lavere ved Hardangerfjordbrua enn hvis brua ikke er hevet. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua. |

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-40. Terrenghaving nordvest for Hardangerfjordbrua og heving av brua. Stiplede linjer viser hvor grensen til terrenghaving ikke er fastsatt.

2.5.14 Heving av terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke

Beskrivelse: Terrenghaving nordvest for Hardangerfjordbrua (Figur 2-41).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig av forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde mot sjøen. Høyden varierer fra ca. 3,1 moh. direkte nedstrøms brua og 1,6 moh. mot fjorden. Dette er uten fribord. Brua må heves minst 30 cm, i tillegg til ytterligere 0,5 m for å oppnå krav om fribord.

Vurdering: Terrenget sørvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir fortsatt oversvømmelse langs elva. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-41. Til venstre: Terrenghaving sørvest for Hardangerfjordbrua og heving av brua. Stiplede linjer viser hvor grensen til terrenghaving ikke er fastsatt. Til høyre: Flomsonekart etter tiltak.

2.5.15 Heving av terrenget både nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke

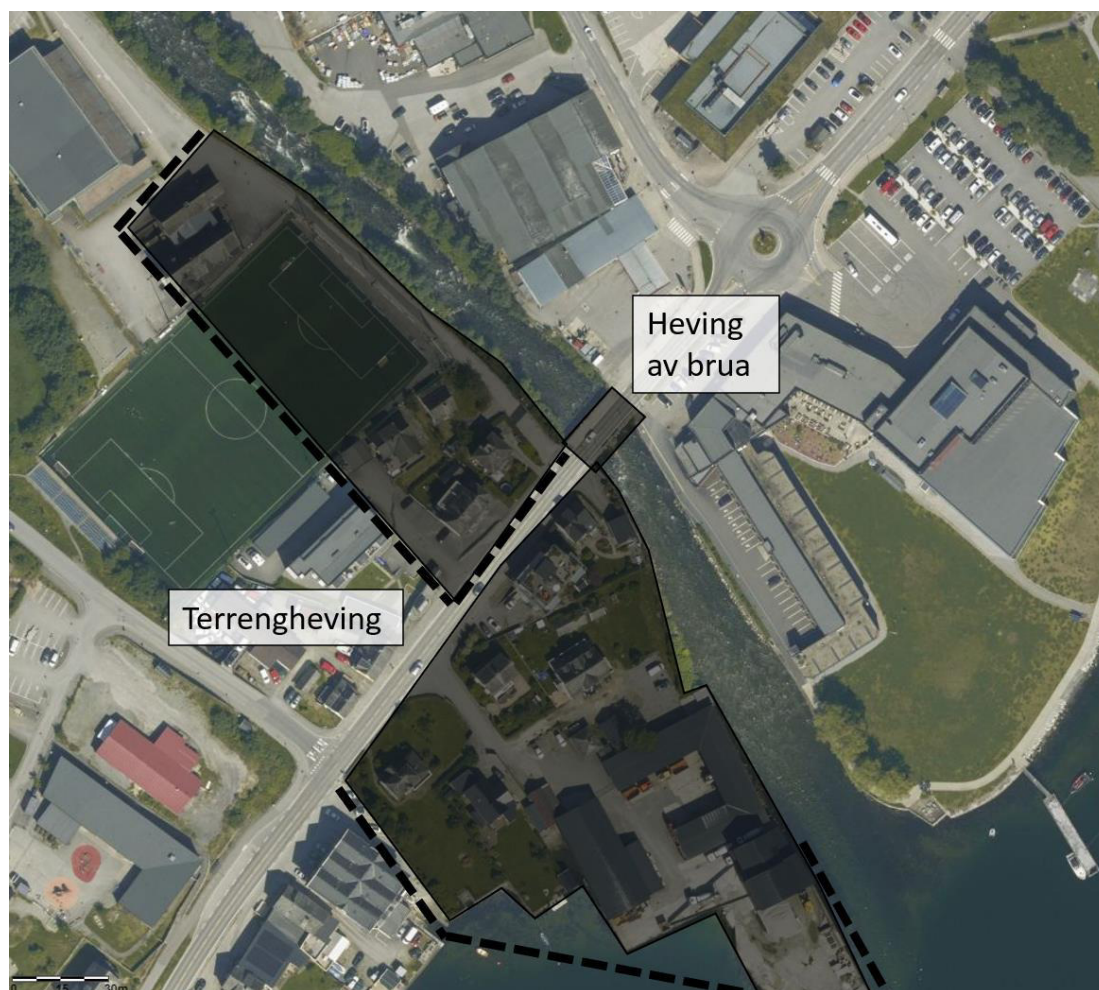
Beskrivelse: Terrenghewing nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke (Figur 2-42).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Avgrensning er avhengig av forskjellen mellom eksisterende terreng og nødvendig terrenghøyde langs elva og mot sjøen. Brua må heves med minst 40 cm, i tillegg til ytterligere 0,5 m for å oppnå krav om fribord.

Oppstrøms brua varierer høyden fra 5,5 moh. ved oppstrøms ende til 3,2 moh. ved Hardangerfjordbrua. Nedstrøms brua varierer høyden fra ca. 3,3 moh. direkte nedstrøms brua og ikke lavere enn 2,5 moh. mot fjorden. Dette inkluderer et 0,5 m fribord.

Vurdering: Terrenget nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua blir sikret, men det blir fortsatt oversvømmelse langs elva på østsiden. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring, men det må kombineres med andre tiltak.



Figur 2-42. Terrenghewing nordvest og sørvest for Hardangerfjordbrua og heving av brua. Stiplede linjer viser hvor grensen til terrenghewing ikke er fastsatt.

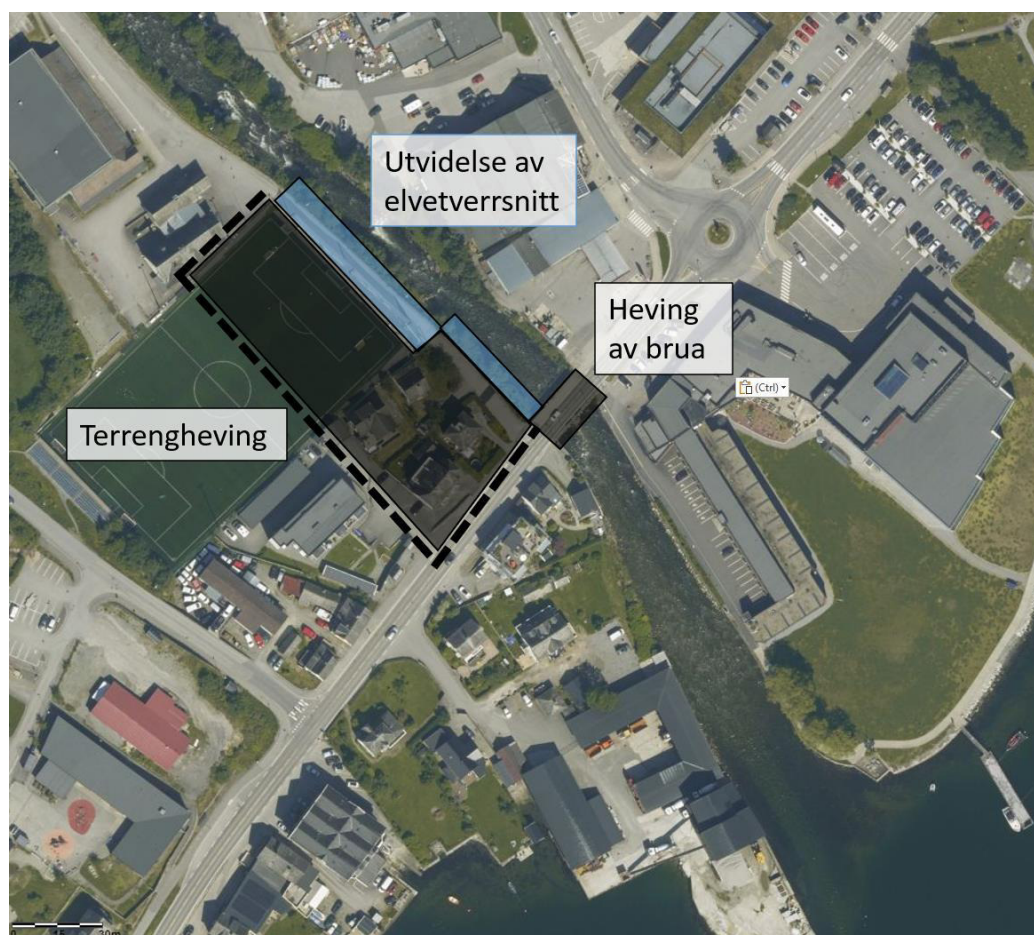
2.5.16 Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke

Beskrivelse: Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua med heving av brudekke (Figur 2-43).

Minimum dimensjoner 200-årsflom: Senkning av terrenget ved fotballbanen antar et område som er ca. 68 m langt og ca. 9 m bredt. I tillegg er det utført senkning på vestsiden av elva mellom fotballbanen og brua inntil eksisterende mur, som er en strekning på ca. 40 m lengde og ca. 7 m bredde. Høyden til ny elvebunn i det nedsenkete området er fra 1,8 moh. ved oppstrøms ende av fotballbane til ca. 0,35 moh. ved brua / nedstrøms ende. Det forutsettes en konstant helning langs den senkede strekningen. Terrenget på nordvest siden av brua er hevet. Brua må heves minst 60 cm, i tillegg til ytterligere 0,5 m for å oppnå krav om fribord.

Vurdering: Terrenget oppstrøms Hardangerfjordbrua blir sikret. Havvannstanden påvirker terrenget nedstrøms brua.

Konklusjon: Dette scenarioet kan fungere som flomsikring hvis det kombineres med tiltak nedstrøms brua.



Figur 2-43. Senkning av terrenget ved fotballbane samt heving av terrenget nordvest for Hardangerfjordbrua samt heving av brua.

2.6 Andre vurderte tiltak

2.6.1 Elvepark ved Kiwi

I forbindelse med en mulighetsstudie utført av COWI [6] ble det lagt frem forslag om å etablere en elvepark i Øystese sentrum (Figur 2-44). Norconsult sin vurdering er at etablering av elveparken slik den er foreslått har neglisjerbar påvirkning på flomsikring ettersom utvidelsesområdet er såpass lite at det ikke senker vannstanden noe betydelig. Elveparken kan være et attraktivt element i byen, og tilrettelegge for adkomst og interaksjon med elva, men det er liten gevinst for flomsikring da oppstuvning bak Hardangerfjordbrua har en stor påvirkning på vannstanden samt at det foreslåtte området ligger på grensen til strekningen som er påvirket av havnivået. Hvis tiltaket skal utføres må det utformes og etableres på en måte så det ikke blir en avsetningsplass for løsmasser som fraktes nedover elva.



Figur 2-44. Foreslått elvepark i Øystese sentrum, figur tatt fra [6].

2.6.2 Regulering av Fitjadalsvatn

Flomdempning i et vassdrag kan oppnås ved fordrøyning som fungerer ved å holde tilbake vannmasser oppstrøms og dermed redusere flomtoppen nedover i vassdraget. Et slikt tiltak kan være et godt alternativ som imiterer naturlige flomdempningseffekter i innsjøer og lignende, men forutsetter at man har et tilstrekkelig område oppstrøms den flomutsatte strekningen som kan benyttes som fordrøyningsmagasin.

Tidligere utredninger ifm. Øysteseelva har vurdert om fordrøyning i Fitjadalsvatn kan være et reelt flomsikringstiltak. Mulighetsstudien utført av COWI i 2020 [6] vurderte effekten av magasinering av

Fitjadalsvatn og dette har også blitt vurdert tidligere og av Sweco på oppdrag fra Øystese kraft AS i 2016 [7] i forbindelse med utredning av mulig kraftutvinning i Øysteseelva. Disse vurderingene er oppsummert og omtalt nedenfor.

COWI vurderte effekten av regulering av Fitjadalsvatn på en 200-årsflom med klimapåslag og beregnet at kulminasjonsflommen ville kunne reduseres med ca. 8%. Konklusjonen fra vurderingen var at magasinering hadde liten effekt i forhold til en stor påvirkning iht. oppdemmet vannstandsstigning på ca. 5,4 m, sett opp mot «naturlig» vannstandsstigning på 3,2 m i vannet [6].

Sweco utførte en vurdering av nødvendig reguleringshøyde i Fitjadalsvatn for å dempe flommen gjennom Øystese sentrum [7]. Resultatene viste at for en 200-årsflom med klimapåslag kreves en reguleringshøyde på ca. 3,5 til 4,3 m for å dempe flommen fra 176 m³/s til hhv. 90 m³/s eller 80 m³/s gjennom sentrumsstrekningen. Dette er i størrelsesorden til flommen i 2014, som ikke medførte skader på bebyggelse (boliger eller næringsbygninger).

Vurderingene utført av COWI og Sweco oppgir ikke informasjon om magasinkurven eller flomavledningskurven som er benyttet i analysen. Det beskrives at reguleringsmagasinet etableres ved enten oppdemming av vannet, senkning av vannstanden, eller ved en kombinasjon av disse [7].

Begge vurderingene benytter verdier fra flommen som kulminerte den 28. okt. 2014, men med følgende forskjell: COWI skalerte flommen fra en nærliggende målestasjon og benyttet et 60-timers flomforløp, mens Sweco benyttet timesdata fra målinger som ble tatt like nedstrøms utløpet fra Fitjadalsvatnet og benyttet et 72-timers flomforløp.

Vurderingene illustrerer muligheten for flomdempning ved en flom med samme forløp som flommen i oktober 2014 men er beheftet med mye usikkerhet. Flomforløpet til tilløpsflommen, magasinkurven, flomavledningsorganet, tilløpsflommen fra restfelt nedstrøms dammen, m.m. påvirker regulerings effektivitet.

Det er forventet at en reguleringskonstruksjon/dam ved utløpet til Fitjadalsvatn ville bli satt minst i konsekvensklasse 2, men sannsynligvis i klasse 3 iht. damsikkerhetsforskriften. Øysteseelva er òg et vernet vassdrag, og det forventes ikke at det ville blitt gitt tillatelse til å bygge en konstruksjon ved utløpet til Fitjadalsvatn for å dempe flom i elva.

2.6.3 Utfylling i sjø / heving av terrenget ytterst mot betongen ved Hardangerfjorden

Kvam herad ønsker å vurdere en langsiktig plan om å heve terrenget og bygge ut i sjøen ytterst mot fjorden på sørvestsiden av utløpet til Øysteseelva, se Figur 2-45. Terrenget er i dag utsatt for stormflo. Havvannstanden for sikkerhetsklasse 2 er 1,97 moh. inkludert klimapåslag. Det anbefales i videre utredning at terrenghøyden også må vurderes ut ifra bølgehøyder eller etablering av en konstruksjon som beskytter mot bølgekrefter. Ellers anbefales det et fribord på minst 0,5 m over stormflonivå for terrenghevingen. Geotekniske utfordringer med heving av terreng i kystområdet og utfylling i sjøen er ikke vurdert eller omtalt i denne rapporten.

Ønsket utfylling i sjøen er nedstrøms området hvor den vestlige elvebredden avslutter, og utbyggingen vil ha lite påvirkning på vannstanden i elva. Heving av brua i kombinasjon med utfylling og terrengheving, som vist i Figur 2-45, har ingen påvirkning på flomvannstand.

Hvis det ikke vurderes tiltak på østsiden av Øysteseelva, må terrenget heves til minst 2,10 moh. ved oppstrøms ende av det gule området, eksklusivt fribord.



Figur 2-45. Heving av terreng og utbygging i sjøen markert med gult. Skisse fra Kvam herad.

3 Anbefalte flomsikringstiltak og konklusjon

Øysteseelva har ikke kapasitet for en simulert 200-årsflom med dagens forhold. Øysteseelva er en krevende elv i henhold til flomsikring ettersom det er en dynamisk elv med mye massetransport. Da elva er masseførende, kan endringer i tverrsnittareal forekomme. Den nederste delen av elvestrekningen er påvirket av havvannstand. Elva har over årene blitt tett innbygget og snevret inn gjennom sentrumsområdet av Øystese.

Bruene som krysser elva fungerer som flaskehalser og skaper oppstuvning. Det er ikke ansett som hensiktsmessig å fjerne alle bruene, og ombygging av bruene, spesielt Hardangerfjordbrua, vil være svært kostbart. Gjennom planprosessen til Øystese sentrum er det åpnet for muligheten til å fjerne Sjusetevegen bru og heller etablere en gangbru i området (med tilstrekkelig kapasitet og fribord). Videre er det vurdert to ulike scenarioer; uten og med tiltak på Hardangerfjordbrua.

Scenarioet hvor det ikke utføres tiltak på Hardangerfjordbrua gir flomvannstand over brudekke.

Scenarioet hvor det utføres tiltak på Hardangerfjordbrua krever omfattende tiltak i sentrumsområdet og Fylkesvei 79.

Følgende anbefalinger gis for hvert delområde basert på vurderingen i kapittel 2. I tillegg til disse hovedtiltakene til det være behov for mindre punktsikring enkelte områder langs elva (Figur 3-1).

Delområde 1 (Sjusetevegen bru):

Det må utføres tiltak på brua, da scenarioer uten tiltak på brua ikke er tilstrekkelige. Fjerning av brua forbedrer flomsituasjonen, men er ikke nok for å sikre delområdet dersom det utføres i isolasjon. Det anbefales utvidelse av tverrsnittet, hovedsakelig på østsiden, sammen med fjerning av brua og rørgata og punktsikring oppstrøms med terrengoppbygging og/eller flomvegg.

Delområde 2 (Holmane bru):

Utvidelse av elvetverrsnittet på vestsiden av elva ved og oppstrøms Holmane 7, samt noe heving av eksisterende flomvoll på østsiden av elva. Nedstrøms Holmane 7 er det anbefalt enten heving av terrenget eller flomvegg på østsiden av elva med noe utvidelse i tverrsnittet, eller sprengning i elvebunnen. Brua har ikke tilstrekkelig kapasitet og oppfyller ikke kravet om 0,5 m fribord, men det anses som uforholdsmessig kostbart å gjøre tiltak med brua.

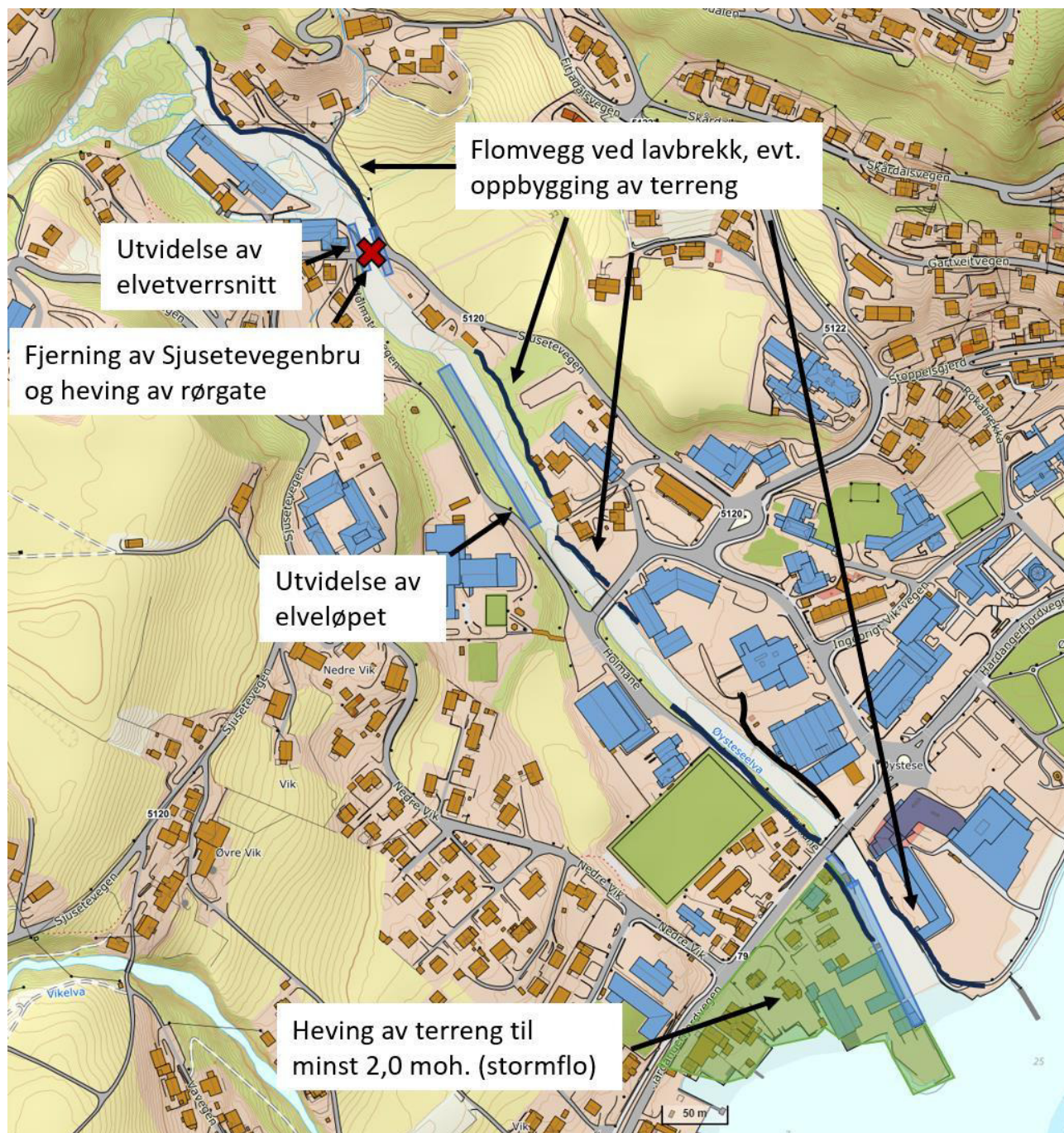
Delområde 3 (Hardangerfjordbrua):

Det anbefales heving av Hardangerfjordbrua på sikt. Kapasiteten under brua må økes for å sikre sentrumsområdet. Det må også utføres lokale terrengjusteringer og/eller oppbygging av flomvegg oppstrøms brua. Dimensjonerende høyder for terrengheving og/eller flomvegg oppstrøms brua blir høyere uten heving av brua.

Det må utføres terrengoppbygging på sikt mot fjorden, også for å motstå dimensjonerende stormflo.

Resultater for 200-årsflom med klimapåslag fra simuleringen med en sammensetning av endelige anbefalte tiltak for alle delområder er vist i Figur 3-2 (uten tiltak på Hardangerfjordbru) og i Figur 3-3 (med heving av Hardangerfjordbru).

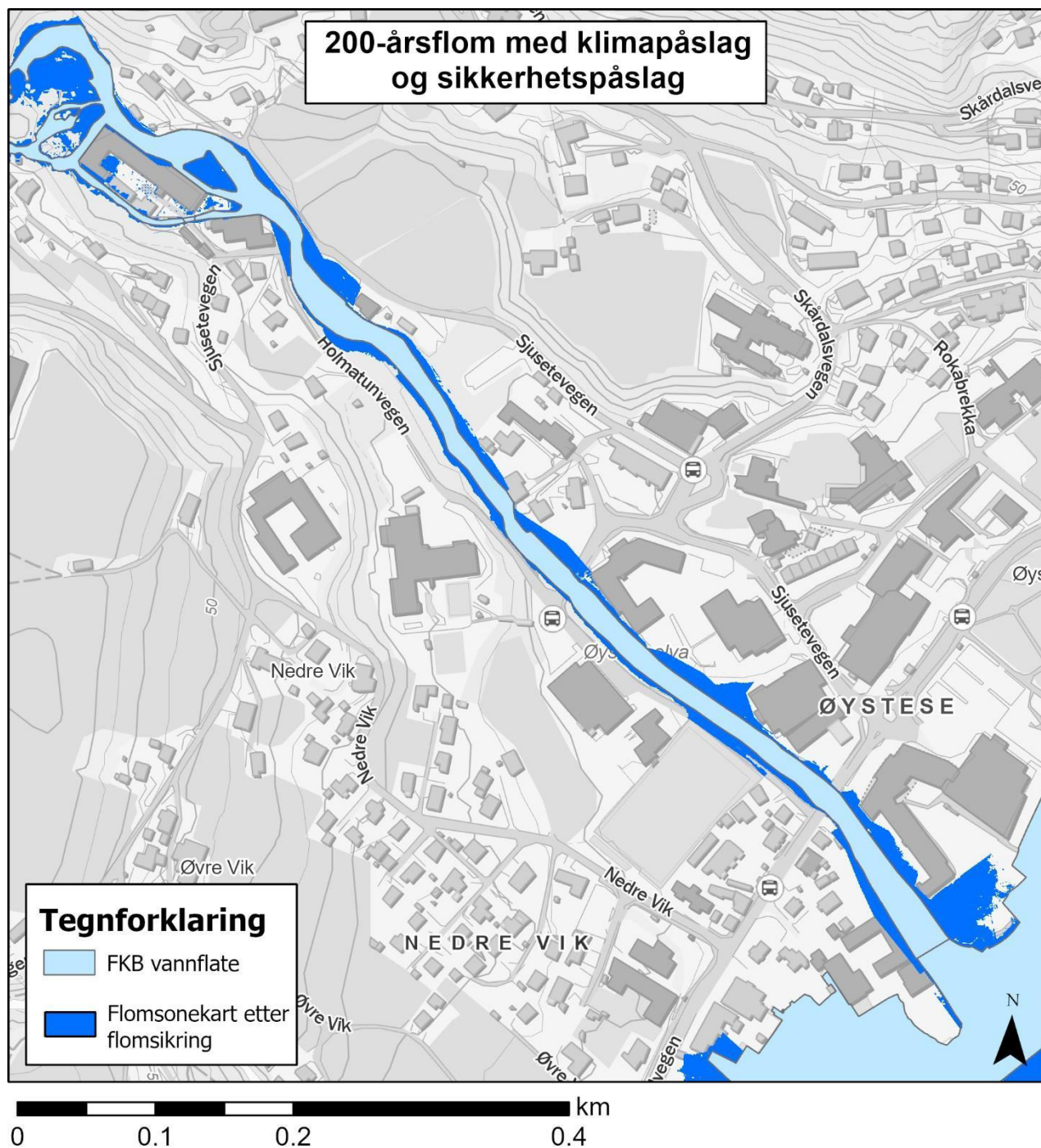
Oppstuvning bak bruene for en 1000-årsflom er så omfattende at det ikke er hensiktsmessig å dimensjonere tiltak for en 1000-årsflom uten å gjøre tiltak på bruene.



Figur 3-1. anbefalte flomsikringstiltak langs Øysteseelva for å sikre mot en 200-årsflom.



Figur 3-2. 200-årsflom, simulering av anbefalte tiltak ved alle delområder (samlet resultat), uten tiltak på Hardangerfjordbrua.



Figur 3-3. 200-årsflom, simulering av anbefalte tiltak ved alle delområder (samlet resultat), med heving av Hardangerfjordbru.

I forbindelse med planarbeidet er det skissert sju vurderte plasseringer av nye gangbruer over Øysteseelva (Figur 3-4). Minimumshøyde på underkant bru er vist i Tabell 3-1. Høydene er eksklusivt fribord. Hvor det er vurdert at gangbrua bygges ved eksisterende kjørebri, anbefales det at gangbrua plasseres på nedstrøms side av eksisterende bru av hydrauliske hensyn.



Figur 3-4. Vurderte plasseringer av framtidige gangbruer. Kilde: ABO.

Tabell 3-1. Minimumshøyder til underkant gangbru, som vist i Figur 3-4. Høydene er eksklusivt fribord og er oppgitt i moh. (NN2000).

Gangbru nr. (Figur 3-4)	Uten tiltak på Hardangerfjordbru	Med tiltak på Hardangerfjordbru
1	18,6	18,6
2	13,0	13,0
3	8,3*	8,3*
4	5,0	4,8
5	4,9	4,7
6	4,9	3,3
7	2,1	2,1

*Underkant gangbru burde ikke være lavere enn underkant kjørebri

4 Referanser

- [1] Norconsult Norge AS, «Flomvurdering av Øysteseelva 52301942-R03-B02,» 2024.
- [2] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «Sikkerhet mot flom. Veileder 3/2022,» 2022.
- [3] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «Flomberegning for Øysteseelvi. Dokument 15/2009,» 2009.
- [4] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «Sikringshåndboka. <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/>,» 2023.
- [5] Statens vegvesen, «Håndbok N400, Bruprosjektering,» 2015.
- [6] COWI, «Mulighetsstudie for flomsikring og tilrettelegging for allmennheten rundt Øysteseelva,» 2020.
- [7] Sweco, «Flomdempningsvolum i Fitjadalsvatnet Notat 15.01.2016,» 2016.