



Vestfold og Telemark
FYLKESKOMMUNE

Fv. 35 Ås-Linnestad

Hydrologisk rapport

01.09.2023



**Aprova AS**

Teknologiveien 1
4846 Arendal
Telefon: 400 01 099
NO 995 156 954 MVA

Oppdragsgiver:	Vestfold og Telemark fylkeskommune
Oppdrag:	Fv 35, Ås-Linnestad, vurdering Vesleelva
Oppdrag nummer:	20088
Rapportnavn:	Hydrologisk rapport
Dato:	01.09.2023
Nøkkelord:	Flomvurdering, erosjonssikring
Arkiv (filnavn):	O:\20088\08_Rapport_notat\Hydrologisk vurdering rapport.docx
Oppdragsansvarlig:	Tor Albert Oveland
Skrevet av:	Tor Albert Oveland

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 Sammen drag.....	4
2 Innledning	5
3 Nedbørfelt	6
4 Flomvannstand.....	8
4.1 Krav i N400 Bruprosjektering	8
4.2 NVEs aktsomhetskart for flom	8
4.3 Normal vannstand ved Bjune bru.....	9
4.4 Estimert flomvannstand basert på aktsomhetskart	9
4.5 Tidligere flomvurderinger i området	10
4.5.1 Planbeskrivelse - Detaljregulering for Fv35 Ås-Linnestad, GS-veg	10
4.5.2 Reguleringsplan for næringsområde Åskollen nord, Tønsberg kommune	11
4.5.3 Bru E18 Aulielva vest.....	12
5 Flomvannføring	13
6 Hydrauliske beregninger	14
6.1 Beregningsprogram	14
6.2 Strekning som er modellert.....	14
6.3 Beregning av dimensjonerende flom, uten brutverrsnitt.....	16
6.4 Foreliggende tegningsunderlag for ny bru	17
6.5 Beregning av dimensjonerende flom, med ny GS-bru	18
6.6 Beregninger for erosjonssikring.....	19
7 Steinstørrelser for erosjonssikring.....	20

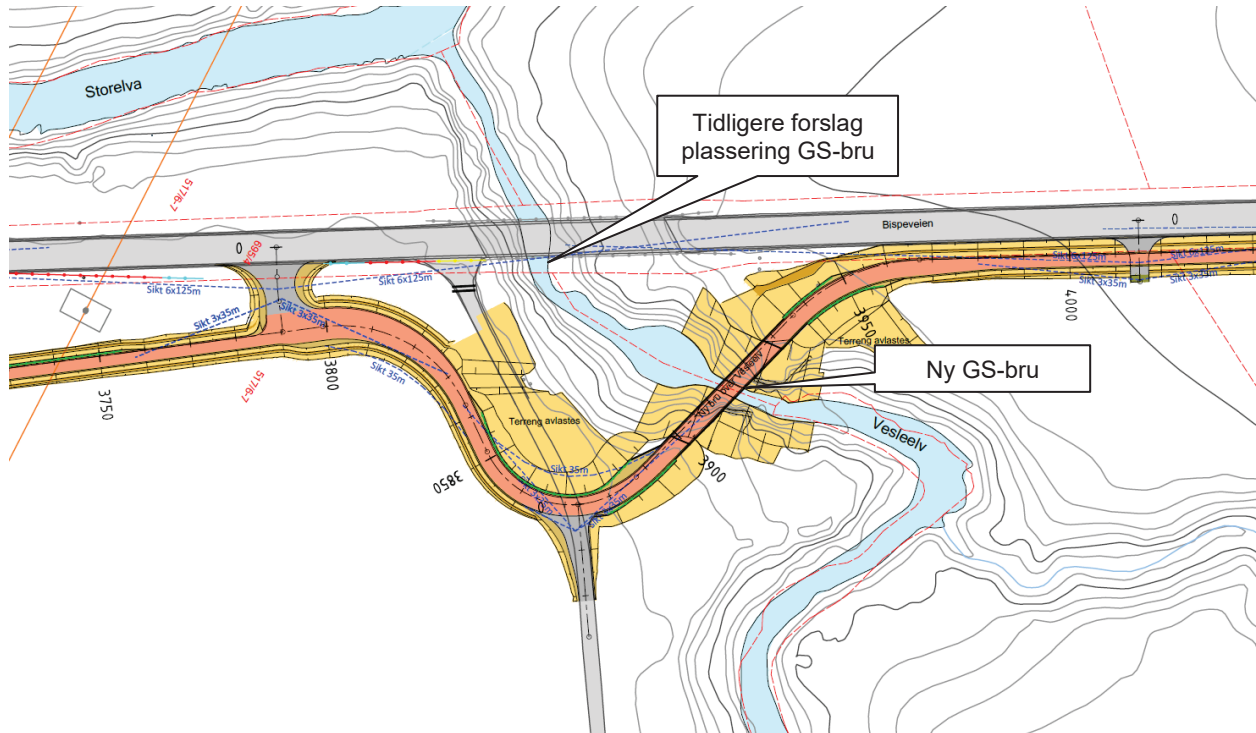
FIGURLISTE

Figur 1 Oversiktsplan ny GS-bru.	4
Figur 2 Aktuelt analyseområde	5
Figur 3 Nedbørfelt Vesleelva, basert på NEVINA	6
Figur 4 Nedbørfelt Vesleelva og Storelva, basert på NEVINA	7
Figur 5 NVE Atlas, aktsomhetskart flom	8
Figur 6 Plassering Åskollen nord i forhold til ny bru over Vesleelva	11
Figur 7 Plassering Åskollen nord i forhold til ny bru over Vesleelva	12
Figur 8 Utsnitt av tegning for bru E18 Aulielva vest.	12
Figur 9 Modelleringsområde hydraulisk modell.	14
Figur 10 Typisk tverrprofil (P50)	15
Figur 11 Lengdeprofil.....	15
Figur 12 Lengdeprofil Vesleelva, dagen situasjon.	16
Figur 13 Utsnitt av oversiktsplan (ViaNova Kristiansand AS).	17
Figur 14 Snitt langs den nye brua. (Stærk & Co AS).	17
Figur 15 Lengdeprofil Vesleelva, med utslaking av skråninger under ny bru til 1:2.	18

1 SAMMENDRAG

Det er utført hydrologisk vurdering av Vesleelva i forbindelse med prosjektering av bru for GS-veg langs Fv 35 Bispeveien, Vesleelv GS-bru.

Denne rapporten er en oppdatering av vurderingene som ble utført høsten 2020, på grunn av ny plassering av GS-brua.



Figur 1 Oversiktsplan ny GS-bru.

Det foreslås å sette maksimal vannstand ved 200-årsflommen til kote 8.60 m. Ut fra håndbok N400 blir dermed kravet til høyde for underkant bru kote 9.1 m.

Dimensjonerende vannføring for 200-årsflommen er 40 m³/s.

Dette er beregnet med klima- og usikkerhetsfaktor ut fra SVVs håndbok N200, versjon juli 2018.

Ved store flommer er vannstanden i Vesleelva sterkt påvirket av vannstand i Storelva. Dette gjør at det blir lave vannhastigheter i Vesleelva ved de største flommene.

For erosjonssikring er det beregnet hastigheter for mindre flommer hvor man kan anta at vannstanden i Storelva er lavere. Det vil si situasjoner hvor flom i Vesleelva bygges raskere opp enn flom i Storelva.

Dimensjonerende hastighet for erosjonssikring er satt til 2.7 m/s.

2 INNLEDNING

Aprova AS er engasjert for å gjøre hydrologisk vurdering av Vesleelva i forbindelse med prosjektering av bru for GS-veg langs Fv 35 Bispeveien, Vesleelv GS-bru.

I kravspesifikasjon for dette prosjekteringsarbeidet framgår det følgende om Vesleelva og flom:

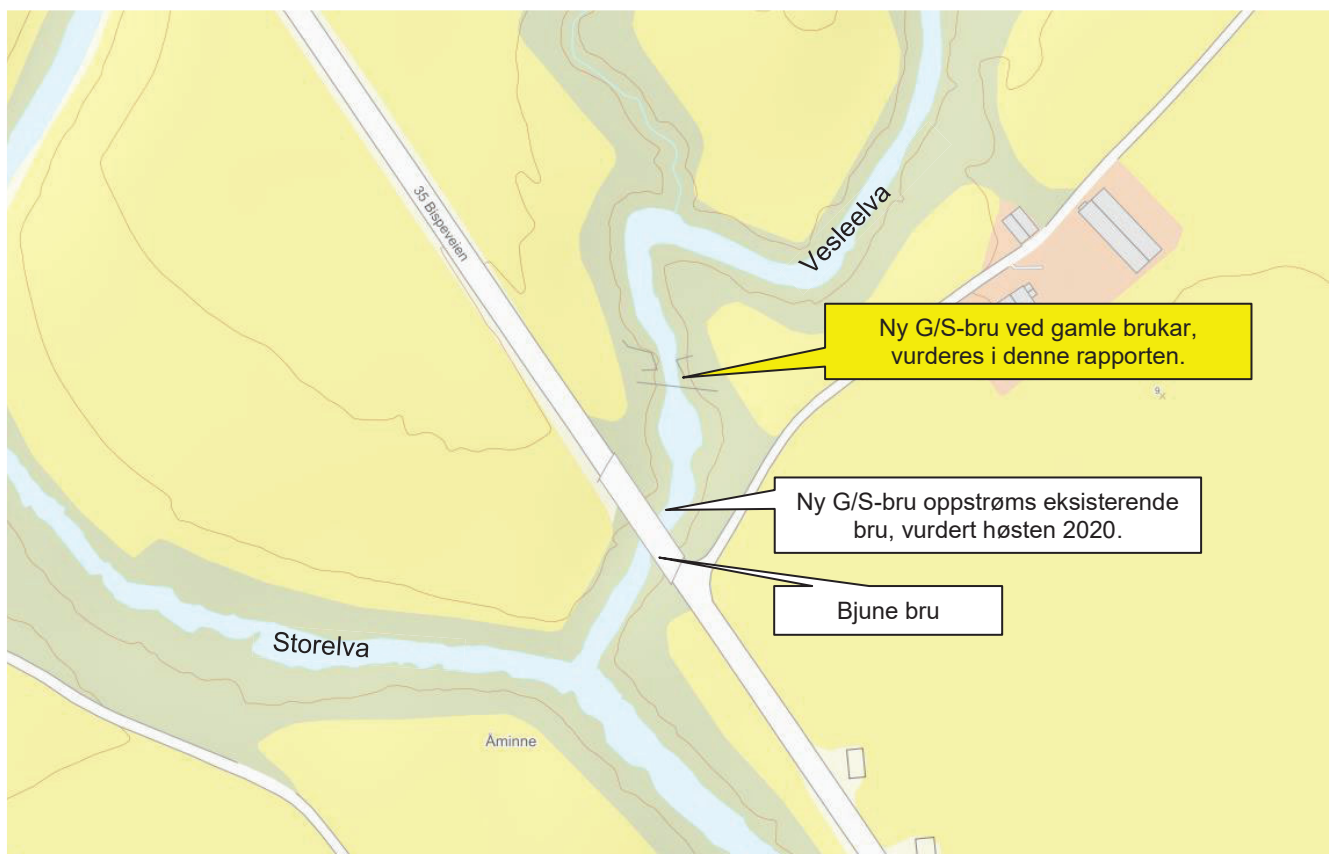
3.1.4 Hydrologiske vurderinger i Vesleelva

Posten omfatter alle arbeider med hydrologiske vurderinger i Vesleelva. Det er behov for å kalkulere kotehøyde for 200-års flom i Vesleelva da dette skal brukes som grunnlag ved prosjektering av gs-bru. Eksisterende kjørebru blir nesten oversvømt ved store vannmengder i dag.

Det er tidligere gjort vurderinger av en plassering inntil Fv35, sammenfattet i rapport "FV 35, Ås-Linnestad, vurdering Vesleelva. Hydrologisk rapport", Aprova AS, 15.10.2020.

Ny bruplassering skal være ved de gamle brukarene, se figur under.

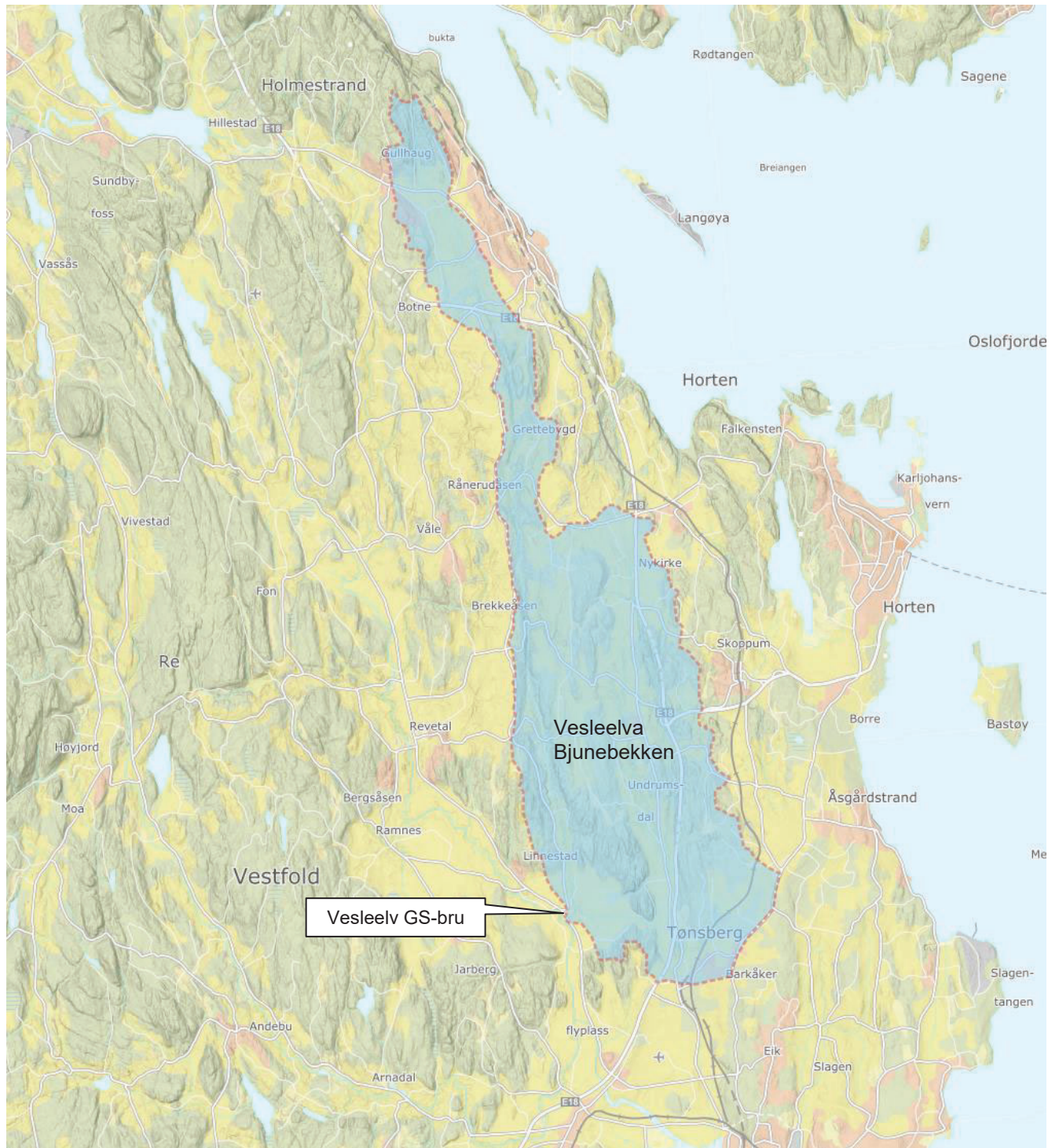
Datagrunnlaget angående nedbørfelt og flom, samt metodikk som ble benyttet for vurderingen i 2020 er også benyttet for vurderingene som dokumenteres i denne rapporten.



Figur 2 Aktuelt analyseområde

3 NEDBØRFELT

Nedbørfeltet til Vesleelva med utgangspunkt i dagens bru har en utstrekning på 68,9 km² ifølge NVE sin kartløsning NEVINA. Figur 3 viser nedbørfeltet.

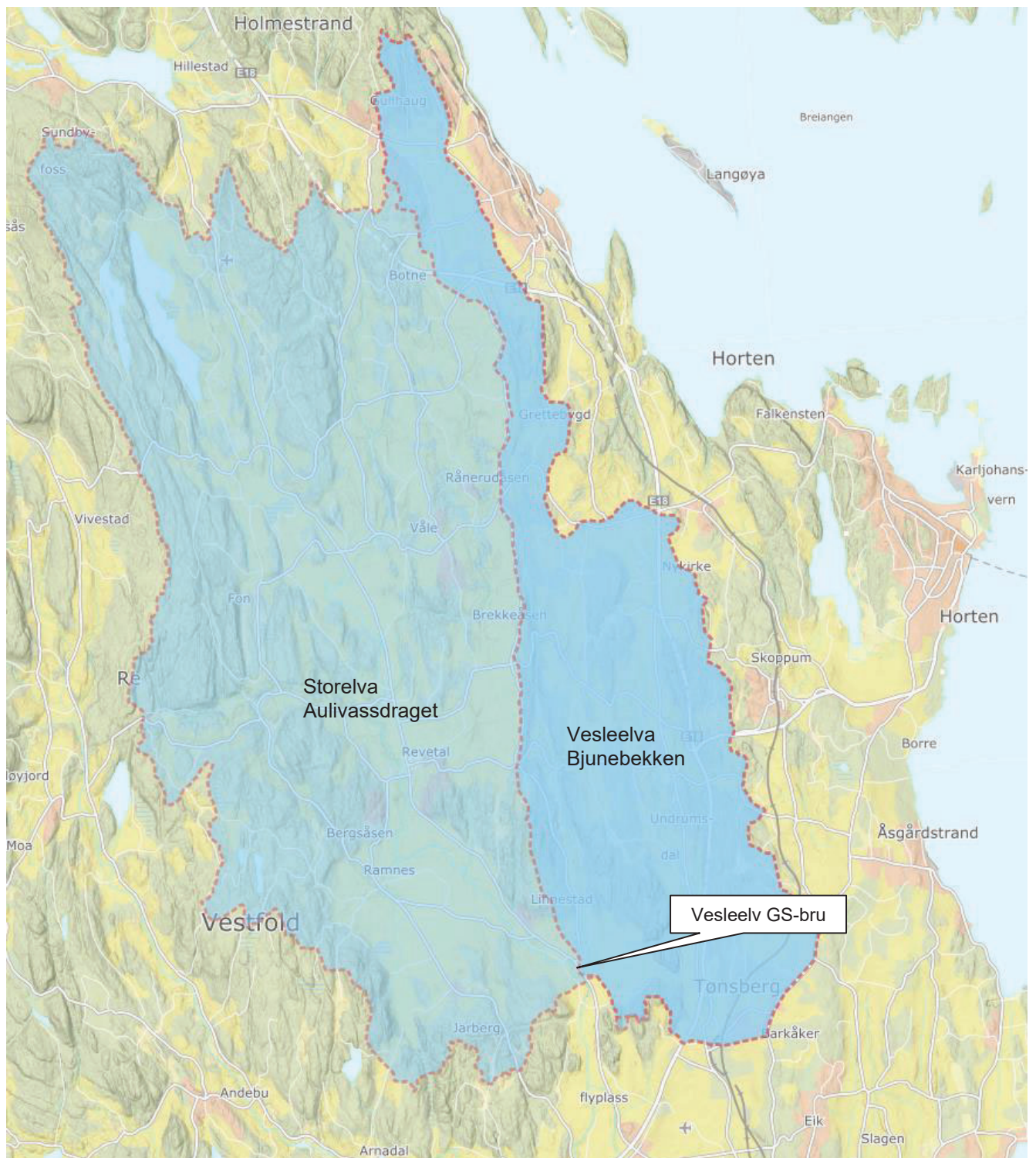


Figur 3 Nedbørfelt Vesleelva, basert på NEVINA

NVE sitt navn på vassdraget er Bjunebekken, vassdragsnr 014.BA0.

Beregnet elvegradient er ifølge NEVINA 5.2 m/km.

Vesleelva og Storelva møtes 50 m nedenfor dagens bru, derfor vil flomvannstanden i området være påvirket av begge nedbørfeltene. Samlet areal er 222 km².



Figur 4 Nedbørfelt Vesleelva og Storelva, basert på NEVINA

NVE sitt navn på vassdraget er Aulivassdraget, vassdragsnr 014.B0.

Beregnet elvegradient er ifølge NEVINA 1 m/km.

4 FLOMVANNSTAND

4.1 Krav i N400 Bruprosjektering

I håndbok N400 er det oppgitt krav til fri høyde over vassdrag:

Fri høyde over vassdrag bestemmes slik at det er minst 0,5 m klaring mot overbygningen ved beregnet vannstand for 200-års flom.

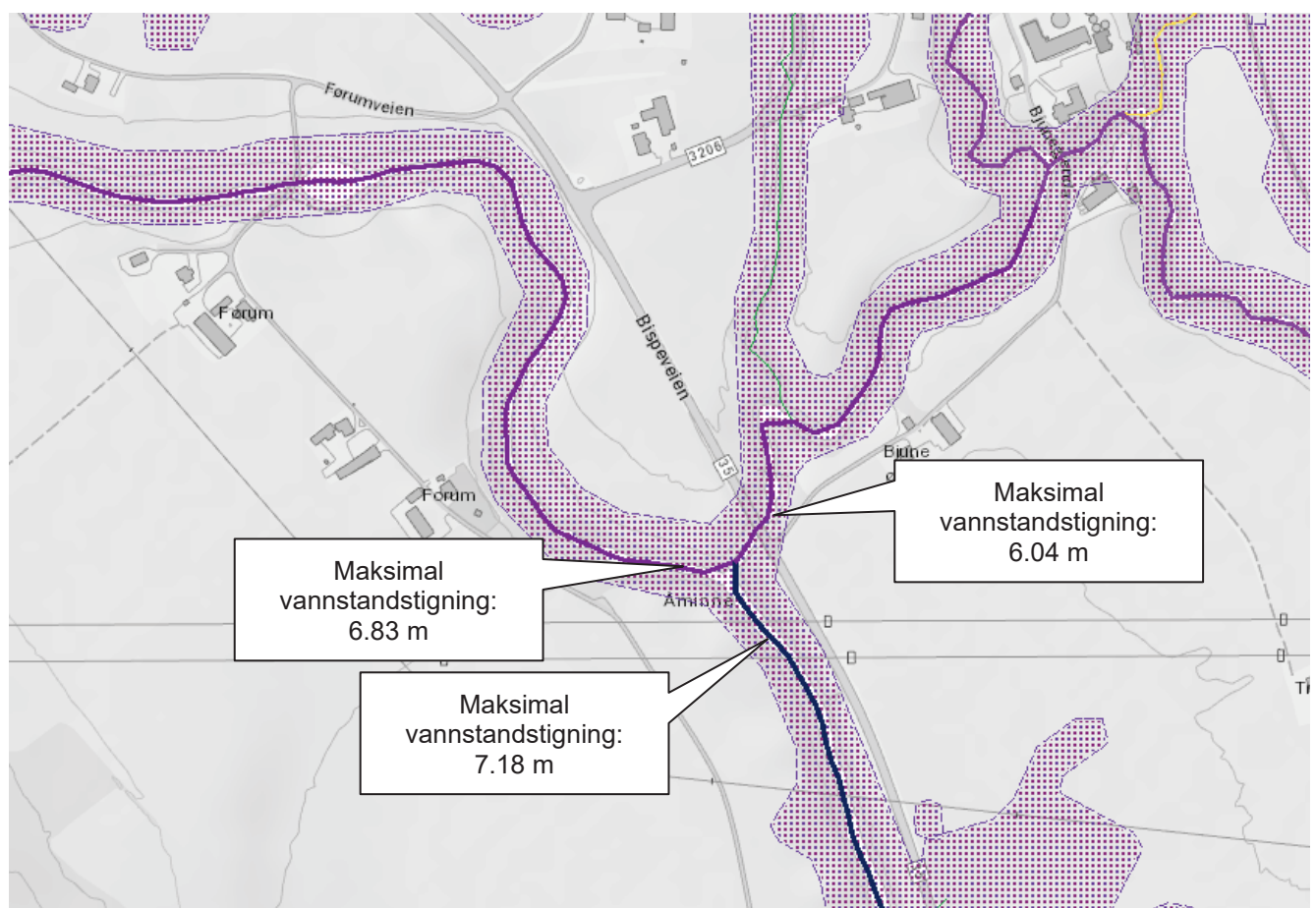
I tilfeller der konsekvenser av høy flomvannstand er spesielt store (blant annet manglende omkjøringsmuligheter) kan det være aktuelt å benytte lengre returperiode. Disse valg gjøres i samråd med NVE.

4.2 NVEs aktsomhetskart for flom

I NVEs aktsomhetskart for flom framkommer hvilke områder som kan være utsatt for flomfare, jf. figuren under. Utbredelsen av flomområdet er skravert, og er et forenklet estimat på oppstuvning.

Datagrunnlaget for figuren under er av NVE oppgitt til juni 2020.

Det er også beregnet maksimal vannstandstigning ved flom. Dette er beregnet med utgangspunkt i veileder "Flaumfare langs bekker" fra NVE, med en forenklet metode for beregning av maksimal vannstand ved flom med 500 års gjentakintervall.



Figur 5 NVE Atlas, aktsomhetskart flom

4.3 Normal vannstand ved Bjune bru

Det er målt vannstand over to uker i august-september 2020. Målingene viser vannstand mellom kote 0.93 og 0.99. Dette var i periode med forholdsvis tørt vær. Videre er det jevnlig målt vannstand fra november 2022 til juni 2023.

Ut fra målingene legges 1.5 m til grunn som normal vannstand i området ved Bjune bru.

Det kan utføres flere kontrollmålinger for å verifisere dette i forkant av detaljprosjektering.

4.4 Estimert flomvannstand basert på aktsomhetskart

Ettersom Vesleelva blir sterkt påvirket av Storelva ved flom, bør det tas hensyn til vannstandstigningen som er beregnet nedstrøms samløpet mellom Storelva og Vesleelva. Dette er i aktsomhetskartet oppgitt til 7.18 m.

Maksimal vannstand ut fra aktsomhetskartet blir dermed $1.5 \text{ m} + 7.18 \text{ m} = \text{kote } 8.68 \text{ m}$.

Aktsomhetskartet er satt opp med utgangspunkt i å beregne 500-årsflom.

Vekstfaktorene som er benyttet av NVE i NEVINA-løsningen for å oppskalere til ulike gjentaksintervall er på henholdsvis 2.15 for 200-årsflom og 2.40 for 500-årsflom. Forskjell i flomvannføring fra 500-årsflommen til 200-årsflommen er omtrent 20%.

Hva slags vannstandsending dette innebærer er sterkt påvirket av topografien i området og vanskelig å fastsette uten å modellere hele strekningen ned mot sjøen. Ettersom det er svært flatt elveløp, vil innsnevring i Storelva og Aulielva nedenfor gi effekter bakover mot Bjune bru.

I vurderingene som ble gjort i 2020 ble det lagt til grunn en maksimal vannstand ved 200-årsflommen på kote 8.50 m. Den nye bruplasseringen er noe lenger opp i Vesleelva, dette tilsier at flomvannstanden er noe høyere her. Vassdragsmodellen viser imidlertid at det er svært lite forskjell i vannstand mellom Bjune bru og de gamle brukarene ved en 200-årsflom, kun noen få cm økning. Grunnen til den marginale økningen er at området i utgangspunktet er flatt, og at i situasjoner hvor vannstanden er over 5-6 m vil strømningstverrsnittet ha et stort areal.

Det foreslås å sette maksimal vannstand ved 200-årsflommen til kote 8.60 m.

Da er det tatt noe høyde for usikkerhet i beregningene, samtidig som det tas i betraktning at 200-årsflommen vil gi lavere vannstand enn hva som framkommer av aktsomhetskartet.

Ut fra håndbok N400 blir dermed kravet til høyde for underkant bru kote 9.1 m.

4.5 Tidligere flomvurderinger i området

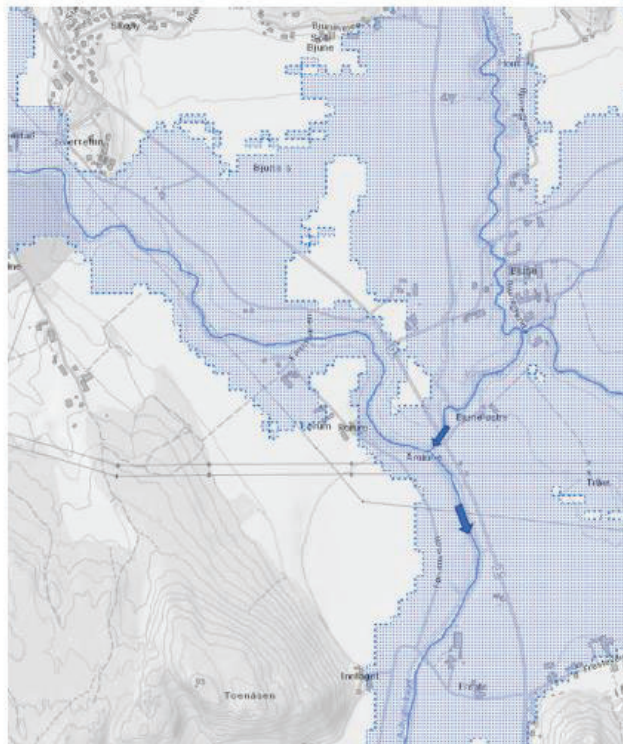
Som støtte til vurdering av flomvannstand er det sett på andre vurderinger i området.

4.5.1 Planbeskrivelse - Detaljregulering for Fv35 Ås-Linnestad, GS-veg (2017)

I detaljreguleringen ble det sett på flomproblematikken. Utsnittet under er hentet fra planbeskrivelsen.

6.10 Flom

Aulielva/Storelva følger fv35 langs hele prosjektets lengde, men i varierende avstand. Fra drøye 20m til om lag 350m. I tillegg kommer det noen større og mindre kryssende bekker inn fra øst. Ved flom er det Aulielva/Storelva som er den store flomveien. Den går over sine bredder og ut over jordene. På vedlagt kart ser man de viktigste flomveiene og aktsomhetsområdet. Aktsomhetsområdet er den største utstrekning hvor flom kan forekomme.



Figur 6. Flomveier Freste-Linnestad

Vesleelv er den største bekken/elven som kommer fra øst og renner ut i elva, som her heter Storeelv. Her krysser Fv.35 over på bro, GS – vegen vil følge parallelt på en ny bro. Ved en normal vannføring er veidekket på brua 7,6m over elva. Ved 500 års flom kan vannet stige til 6,1m over normalstand. Brua vil ikke få brupilarer som står i elva og den vil få en høyde lik den eksisterende brua, slik at den ikke vil skape noe hinder ved flom.

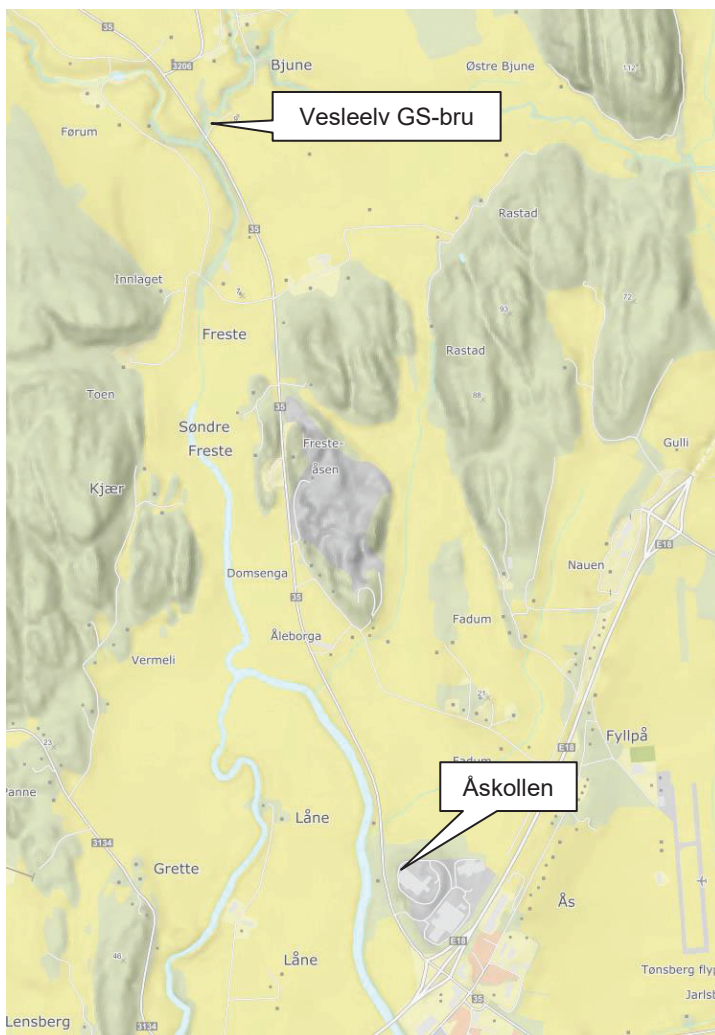
4.5.2 Reguleringsplan for næringsområde Åskollen nord, Tønsberg kommune

Dette området ligger ved Storelva / Aulielva, 3.5 km lenger sør. Her ble det utført konsekvensutredning med flomvurdering i 2017 i forbindelse med detaljregulering.

Ut fra planbeskrivelsen kan følgende oppsummeres:

- Maksimal vannstandstigning er oppgitt til 7.7 m.
- Normalvannstand i elva ved Åskollen er satt til kote 1 m.
- Maksimal vannstand med 500 års gjentakintervall: kote 8.7 m.

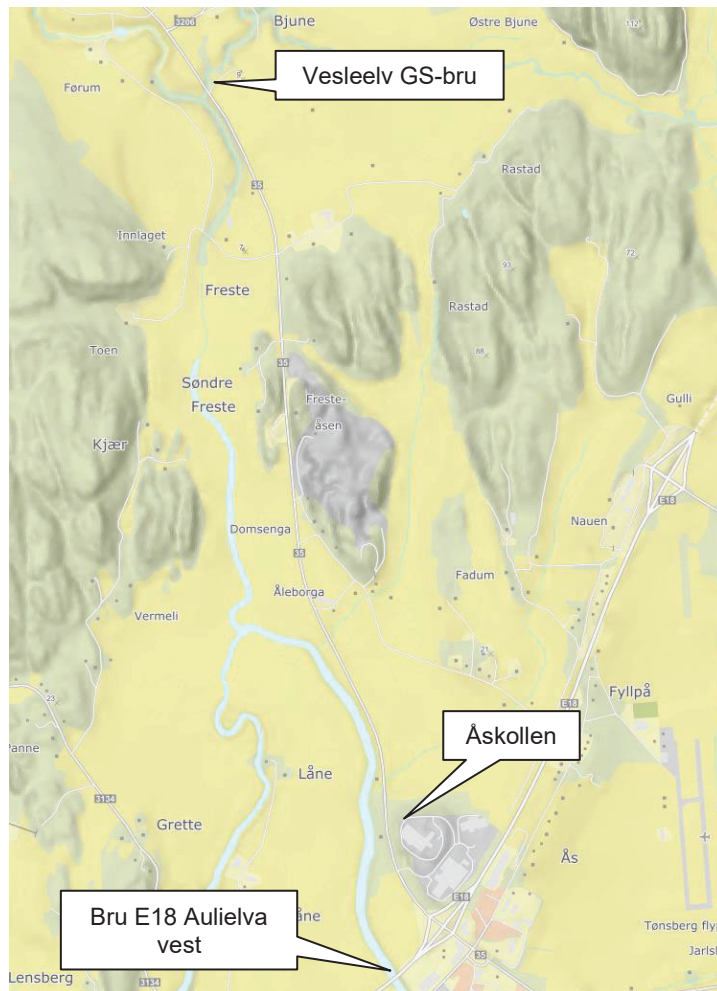
Med denne bakgrunnen er det lagt til grunn maksimal flomvannstand med 200 års gjentakintervall på kote 8.3 m.



Figur 6 Plassering Åskollen nord i forhold til ny bru over Vesleelva

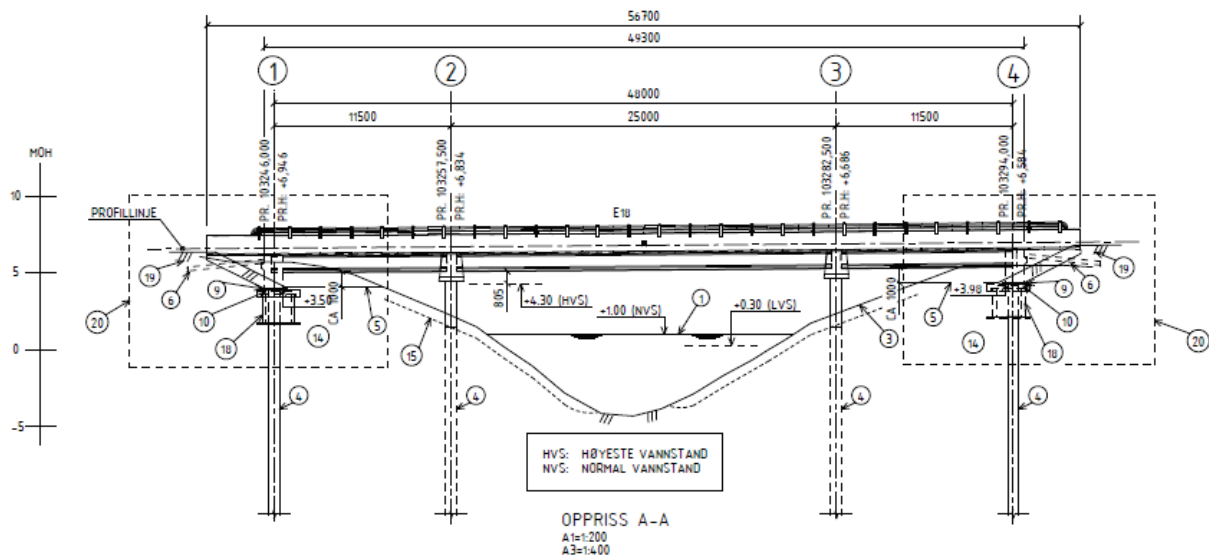
4.5.3 Bru E18 Aulielva vest

E18 krysser Aulielva rett sør for Åskollen, se utsnitt under.



Figur 7 Plassering Åskollen nord i forhold til ny bru over Vesleelva

Fra brutegningen godkjent dato 31.08.2011 framkommer flomhøyde HVS 4.30. Det er ikke funnet hvilke vurderinger eller beregninger som ligger bak dette tallet.



Figur 8 Utsnitt av tegning for bru E18 Aulielva vest.

5 FLOMVANNFØRING

Det er tatt utgangspunkt i nedbørfeltet som vises i Figur 3. Feltstørrelsen er på 68.9 km².

Ut fra NVE sin kartløsning NEVINA beregnes følgende flommer:

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 (QM / QT)	1	1.18	1.36	1.54	1.78	1.97	2.15	2.40	2.60	-
Flomverdier, m ³ /s	12.9	15.2	17.6	19.9	23.0	25.4	27.8	31.0	33.5	38.9
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s	22.9	27.5	32.5	37.7	44.9	50.8	55.6	62.1	67.1	-
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s	7.3	8.4	9.5	10.5	11.8	12.7	13.9	15.5	16.8	-

Det legges til grunn flomstørrelse med 200 års gjentaksintervall. Ut fra tabellen over er dette 27.8 m³/s.

Klima- og usikkerhetsfaktor beregnes ut fra SVVs håndbok N200, versjon juli 2018.

Dimensjonerende avrenning / vannføring beregnes med påslag for klimaendringer og usikkerhet:

$$Q_{\text{dim},T} = Q_T * F_k * F_u$$

Forklaring:

$Q_{\text{dim},T}$ = Dimensjonerende avrenning for en valgt returperiode T (m³/s)

Q_T = Beregnet avrenning for returperiode T (m³/s)

F_k = Sikkerhetsfaktor for fremtidige klimaendringer

F_u = Sikkerhetsfaktor for usikkerhet ved beregningsmetode

Avrenning i valgt returperiode, Q_T $Q_{200} = 27.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Datagrunnlag fra NVEs Nevina.

Klimafaktor, F_k $F_k = 1.2$

Datagrunnlag fra N200, tabell 404.1

Vestfold, stort felt > 10 km²

Usikkerhetsfaktor, F_u $F_u = 1.2$

Sikkerhetsklasse hentet fra N200 tabell 404.2

ÅDT >4000, dvs klasse V3

Sum faktor $F_k * F_u = 1.44$

Dimensjonerende avrenning / vannføring $Q_{\text{dim},200} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$

6 HYDRAULISKE BEREGNINGER

6.1 Beregningsprogram

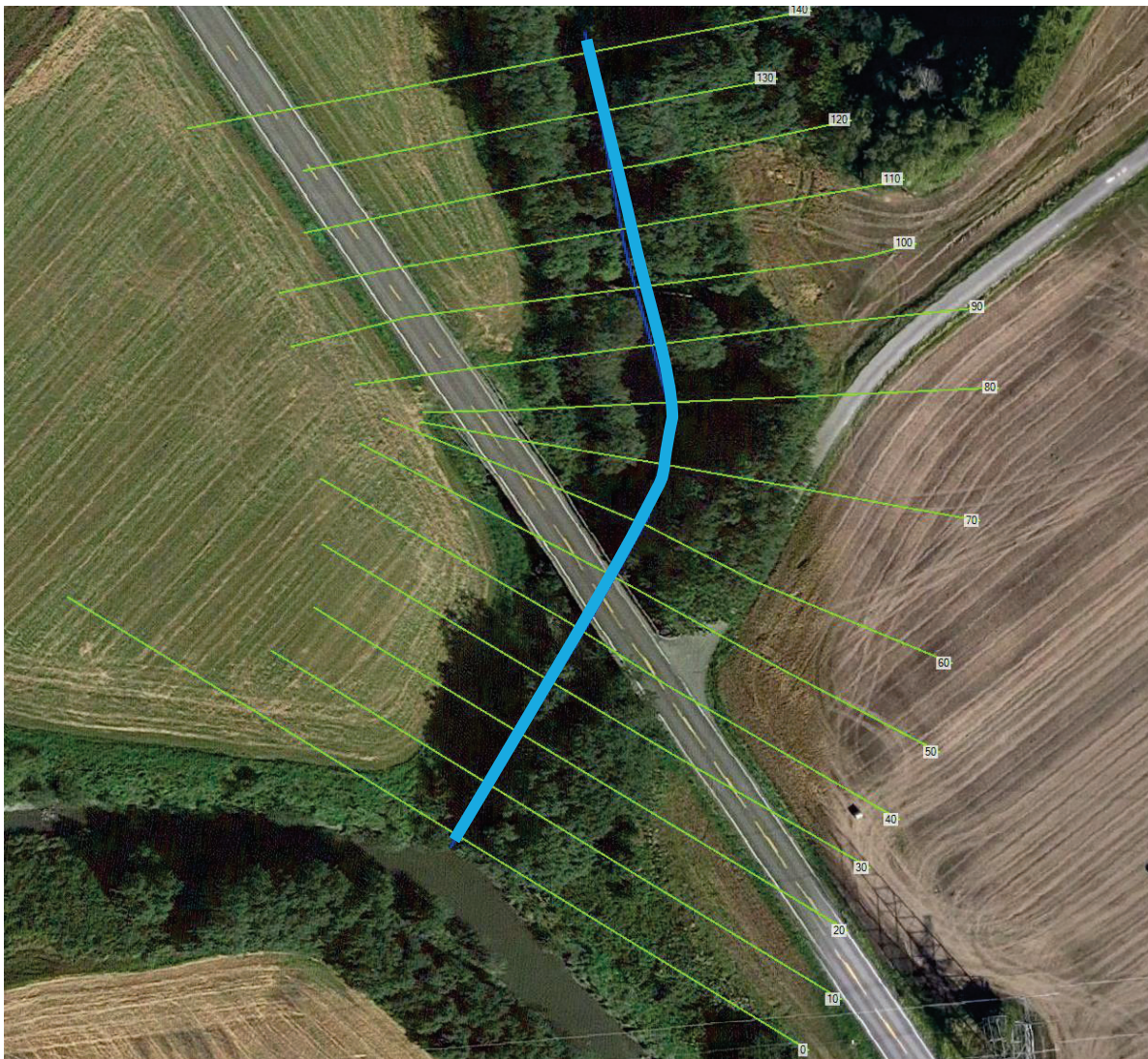
HEC-RAS 5.0.7 er benyttet som hydraulisk beregningsprogram. Programmet kan benyttes til en- og todimensjonale beregninger av stasjonære og ikke-stasjonære strømninger.

I dette tilfellet er det brukt en-dimensjonal beregning.

6.2 Strekning som er modellert

Det er lagt til grunn å modellere elvestrekningen i Vesleelva som er vist med blå strek under, dette dekker både området ved den nye og den eksisterende brua på Fv 35.

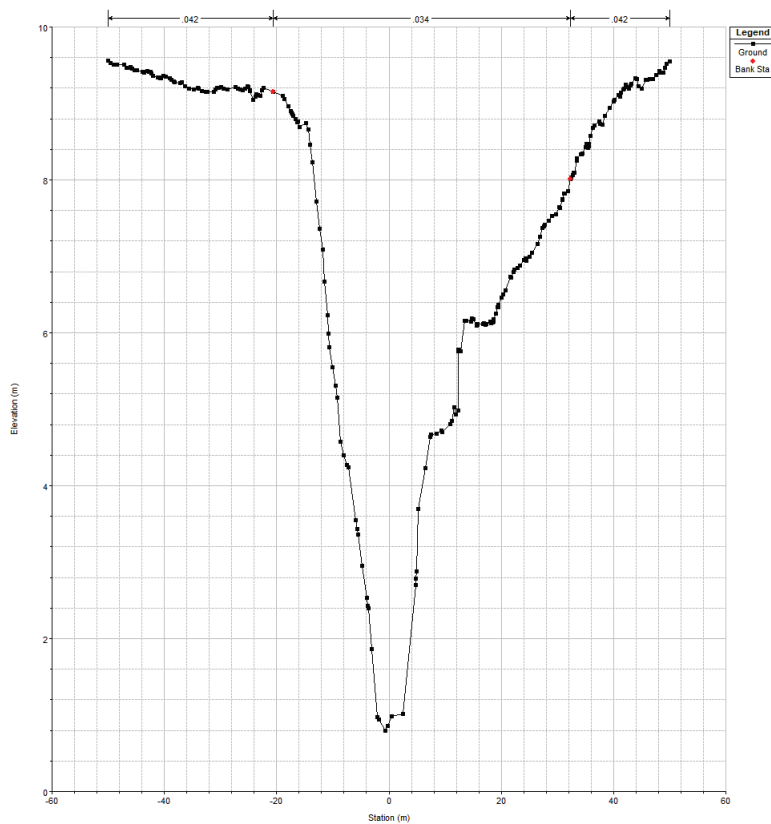
Oppdragsgiver har vært klar på at det ikke skulle etableres hydraulisk modell for vassdraget videre mot sjø (Storelva og Aulielva). Dette gjør at det må forutsettes vannstand ved utløp av Vesleelva, basert på data fra NVE. Samvirke og forløp med tanke på flomtopper i Storelva og Vesleelva blir derfor ikke beregnet. Det er satt flere ulike vannstander i Storelva som inngangsdata til beregninger av Vesleelva, for å se hvilke effekter dette får for oppstuvning og hastigheter.



Figur 9 Modelleringsområde hydraulisk modell.

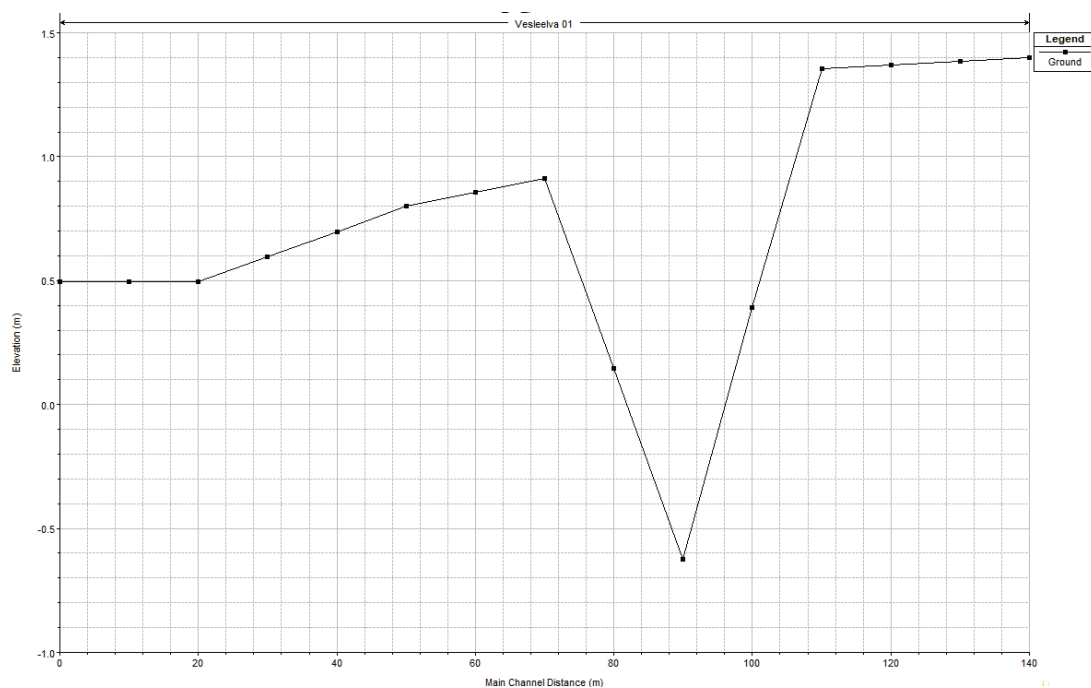
Tverrprofiler, som danner grunnlag for modellen, er vist med grønne linjer i figuren over. Disse er konstruert fra terrengmodell hvor også elvebunnen inngår. Bunnen ble målt inn i desember 2019. Et typisk tverrsnitt framgår av Figur 10, og lengdeprofil i Figur 11.

Lengdeprofilet viser at det er en kulp i området rundt pr. 80 og pr. 100. Dette henger trolig sammen med at de gamle brukarene, som står igjen etter tidligere vei, skaper turbulens og oppvirvling av bunnen.



Figur 10 Typisk tverrprofil (P50)

Lengdeprofilet for strekningen er vist i figuren under.



Figur 11 Lengdeprofil

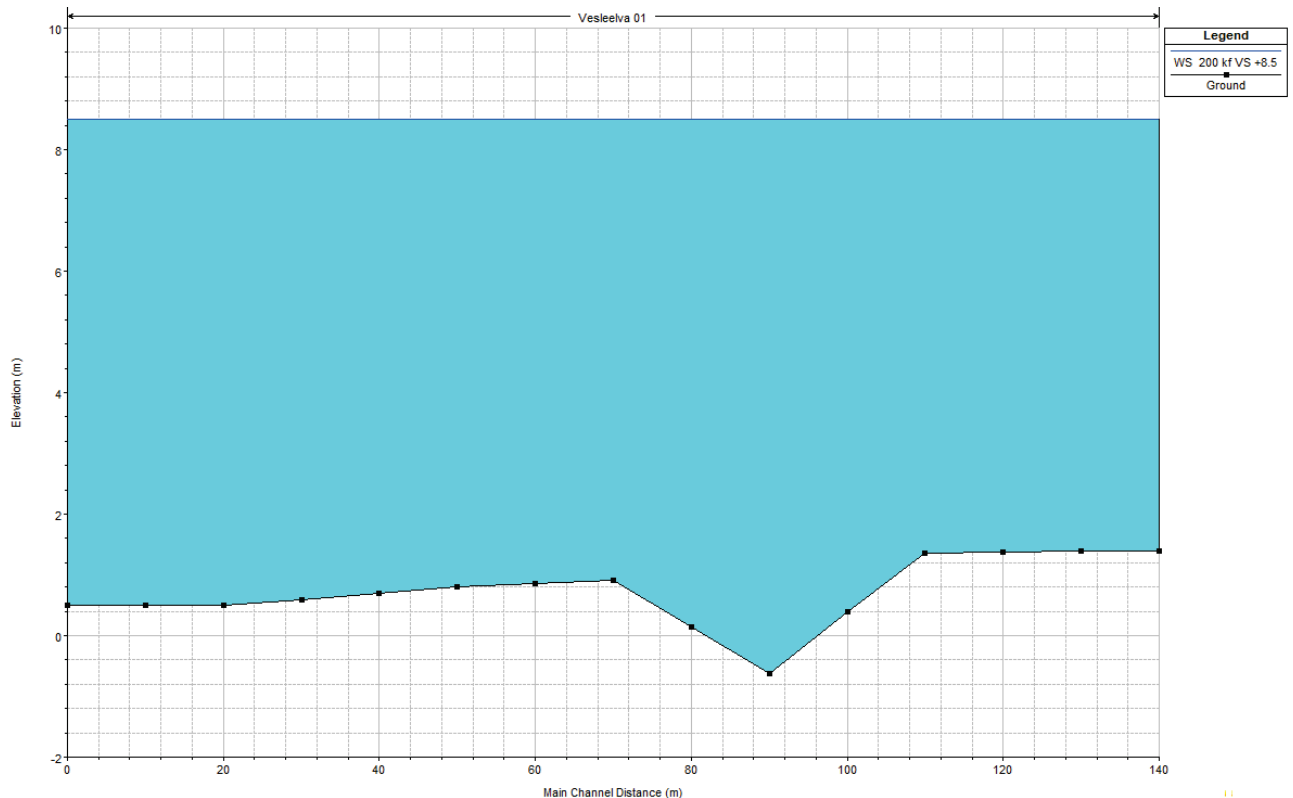
6.3 Beregning av dimensjonerende flom, uten brutverrsnitt

Det er kjørt beregning for elveløpet uten eksisterende Bjune bru inne i modellen. Påvirkningene i hastighet og oppstuvning på grunn av brukar og pilarer fra dagens bru regnes som neglisjerbare for vurderingene av den nye GS-brua.

Forutsetninger:

- Bjune bru er ikke med i modellen
- Dimensjonerende flomvannføring: 40 m³/s.
- Flomvannstand i Storelva ved utløpet av Vesleelva: kote 8.5 moh.

Beregnet vannlinje ved dimensjonerende flom:

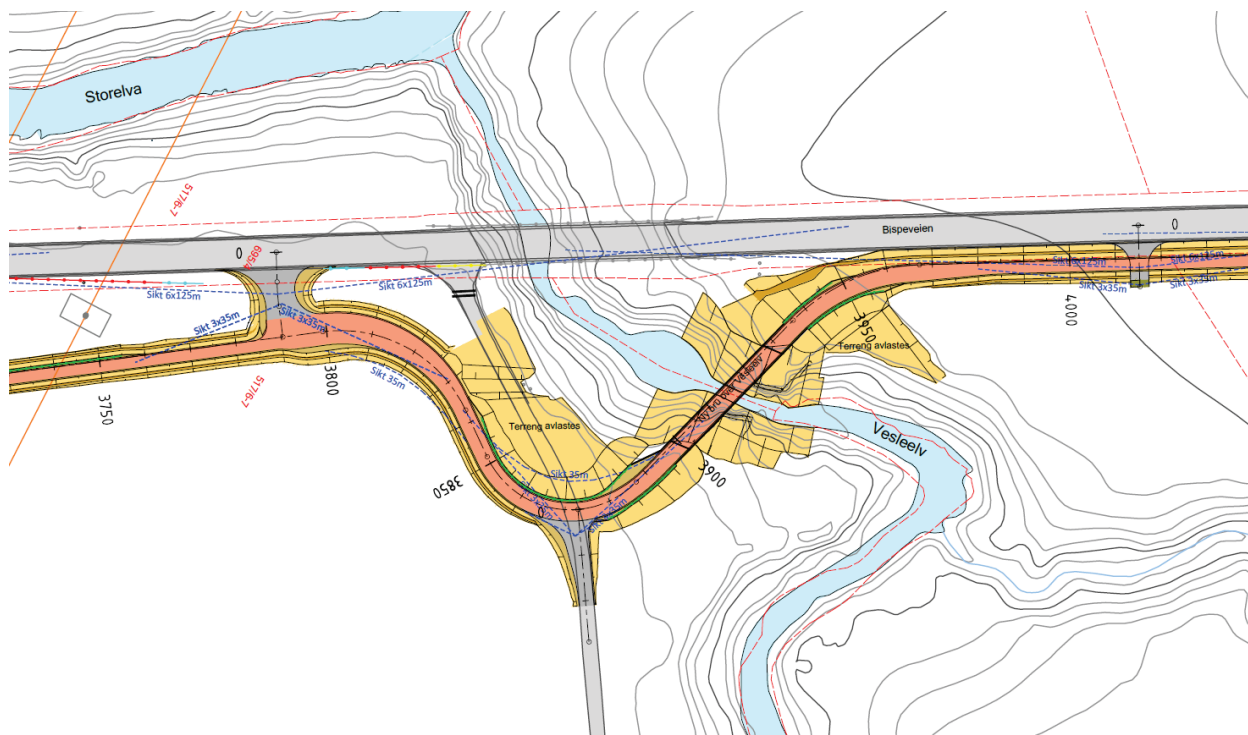


Figur 12 Lengdeprofil Vesleelva, dagen situasjon.

Beregningen viser at det er svært lav hastighet med den estimerte flomvannstanden. Ved området rundt den nye brua ligger hastigheten på 0.5 m/s.

6.4 Foreliggende tegningsunderlag for ny bru

Oversiktsplan er vist under.

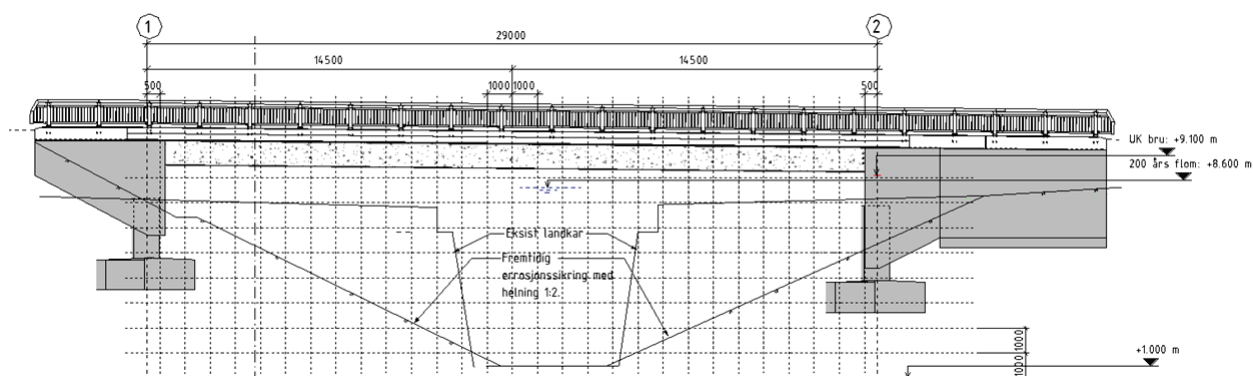


Figur 13 Utsnitt av oversiktsplan (ViaNova Kristiansand AS).

Den nye brua legges ved de gamle brukarene. Her er det i dag et smalt løp, dette skal slakes ut med skråninger 1:2. Det skal ikke være pilarer ned i elva fra den nye brua.

Stærk & Co har utarbeidet konstruksjonstegninger som er lagt til grunn for beregningene i den hydrauliske modellen.

Figuren under viser snitt langs den nye brua.



Figur 14 Snitt langs den nye brua. (Stærk & Co AS).

Underkant ny bru er lagt i henhold til N400 og kapittel 4.4 i denne rapporten på minimum kote 9.1 m.o.h.

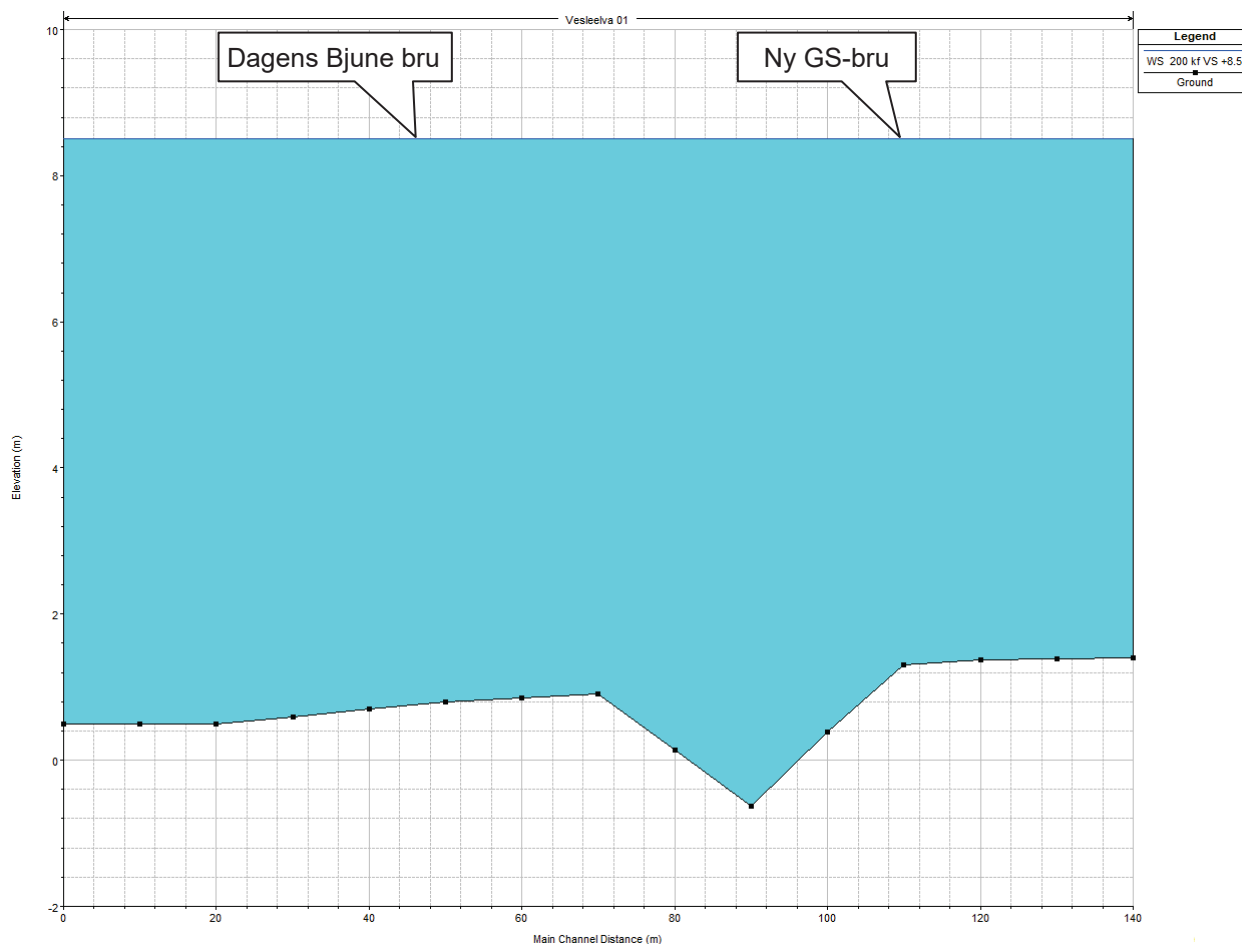
6.5 Beregning av dimensjonerende flom, med ny GS-bru

Det er kjørt beregning for elveløpet for framtidig situasjon.

Forutsetninger:

- Dimensjonerende flomvannføring: 40 m³/s.
- Flomvannstand i Storelva ved utløpet av Vesleelva: kote 8.5 m.o.h.
- Utslaking av skråninger / elvebredd under brua til 1:2.

Beregnet vannlinje ved dimensjonerende flom:



Figur 15 Lengdeprofil Vesleelva, med utslaking av skråninger under ny bru til 1:2.

Også for framtidig situasjon med utslaking av skråninger under ny bru er vannhastigheten lav, 0.36 m/s.

6.6 Beregninger for erosjonsvurdering

Beregningene viser at det er små hastigheter ved store flommer med tilhørende høye vannstander, under 0.5 m/s.

Det vil være mindre flommer med lav vannstand som gir de høyeste hastighetene i Vesleelva.

Det er derfor kjørt ytterligere beregninger i HEC-RAS hvor det er sjekket hva slags påvirkning ulike vannstands nivåer i Storelva utgjør for hastighet i Vesleelva.

Situasjon	Inngangsdata		Resultat
	Vannføring	Flomvannstand Storelva	Hastighet ved brutverrsnitt
Middelflom	12.9 m ³ /s	2.5 moh	2.68 m/s
100-års flom	25.4 m ³ /s	5 moh	0.81 m/s
100-års flom	25.4 m ³ /s	6 moh	0.52 m/s
100-års flom	25.4 m ³ /s	7 moh	0.36 m/s
200-årsflom med klimafaktor	40 m ³ /s	4.5 moh	1.63 m/s
200-årsflom med klimafaktor	40 m ³ /s	5.5 moh	1.00 m/s
200-årsflom med klimafaktor	40 m ³ /s	6.5 moh	0.67 m/s

Her går det tydelig fram at det er de mindre flommene som gir de største hastighetene. Når vannstanden i Storelva er høy, vil vannhastigheten i Vesleelva bli lavere.

Tilfellet med kraftig flom i Vesleelva (40 m³/s) kombinert med forholdsvis lav vannstand i Storelva (4.5 moh) gir lavere hastighet enn ved middelflom i Vesleelva og lav vannstand i Storelva.

Ut fra beregningene legges det til grunn at dimensjonerende hastighet for erosjonssikring rundt brutverrsnittet bør ligge over 2.68 m/s.

Det anbefales å benytte 2.7 m/s som dimensjonerende hastighet for erosjonssikring opp til kote 4 m.o.h.

7 STEINSTØRRELSER FOR EROSJONSSIKRING

"Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein" (NVE, 2009) er benyttet som underlag for å beregne nødvendige steinstørrelser.

Det er benyttet Maynords beregningsmetode for bunn- og sidesikring.

$$D_{30} = S_f C_s C_v C_t y_0 \left[\left(\frac{1}{s-1} \right)^{0,5} \frac{U}{\sqrt{K_I g y_0}} \right]^{2,5}$$

Her er:

D_{30} = stabil steinstørrelse (m)

S_f = sikkerhetsfaktor (-)

C_s = stabilitetskoeffisient (-)

C_v = koeffisient for vertikal hastighetsfordeling (-)

C_t = koeffisient for sikringstykkelse (-)

y_0 = vanndybde samme sted som U (m)

s = steinens spesifikke tetthet (-)

U = lokal hastighet midlet over dybden (m/s)

K_I = koeffisient for skråningshelling (-)

g = tyngdens akselerasjon (9,81 m/s²)

Med hastighet 2.7 m/s blir teoretisk steinstørrelse $D_{30} = 0.136$ m, denne rundes oppover til 140 mm.

Videre graderingsforslag ut fra Maynords i NVEs veileder:

D_{15}	100 mm
D_{30}	140 mm
D_{50}	168 mm
D_{85}	218 mm
D_{maks}	252 mm

Valgt gradering bør vurderes videre i detaljprosjekteringen.

Tykkelse bør være 50 cm.

Det vises for øvrig til geoteknisk notat for utførelse av sikring.