

Oppdragsgiver: **Nord-Fron kommune**
Oppdragsnr.: **5172950** Dokumentnr.: **N-15**

Til: Nord-Fron kommune v/ Erik Kvernes, Bjørn Bjørke
Fra: Norconsult AS v/ Lars Jenssen
Dato 2020-04-29

► Flomsikring av Givra, del 3, vassdragsteknisk utforming

1 Bakgrunn og hensikt

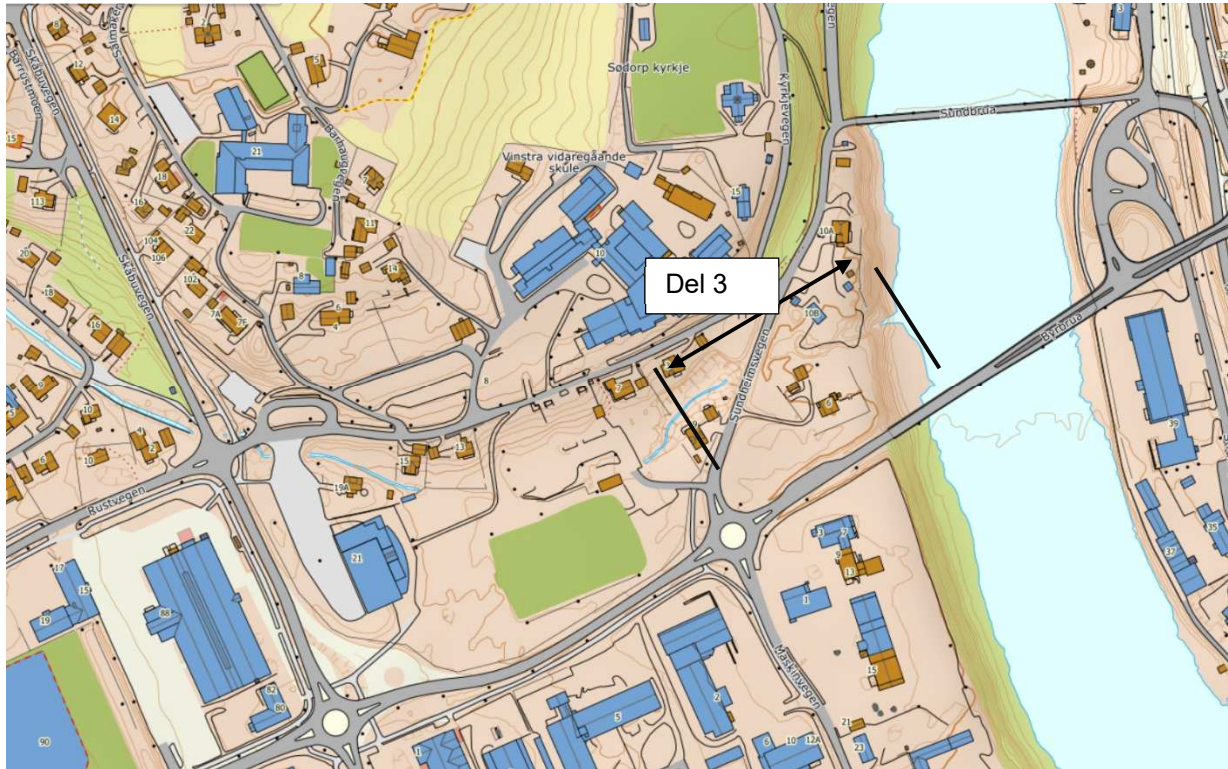
Norconsult AS bistår Nord-Fron kommune med sikring av Givra nedstrøms E-6. Strekningen som skal sikres er delt i tre delstrekninger.

Dette notatet gjelder delstrekning 3, som strekker seg fra ca. 50 m oppstrøms Sundheimsvegen og ut til Lågen, se Figur 1. Notatet dokumenterer den vassdragstekniske utformingen av tiltaket.

1.1 Oversikt over den foreslåtte løsningen

Løsningen har følgende hovedkomponenter (fra oppstrøms):

- Åpent, trapesformet tverrsnitt med bunnbredde ca. 3 m oppstrøms Sundheimsvegen.
- V-formet drivfang med peler i elvebunnen.
- Inntakskonstruksjon / kulvertinnløp med sikkerhetsgrind.
- Rektangulær betongkulvert, B*H = 2,4m *2,2 m fra inntaket og ca. 30 m til passering over eksisterende VA-ledning.
- Plass-støpt overgang fra rektangulær til sirkulær kulvert.
- Betongrør Ø 1,8 m til utløp i skråningen over Lågen.
- Plass-støpt utløpskonstruksjon.
- Erosjonssikring med stor stein fra utløpet og ned til Lågen.



Figur 1 Oversiktskart

2 Grunnlag og forutsetninger

2.1 Tidligere arbeider

Norconsult har tidligere utredet flomfaren i Givra, og foreslått flomsikringstiltak. Det er beskrevet i *Tiltaksplan for Givra* (oppdragsnr.: 5172950, dokumentnr.: R-01, versjon: J01 Dato: 2017-10-03). Rapporten viser at eksisterende bekkelukking på del 3 har for liten kapasitet.

Norconsult har gjort et kostnadsoverslag for sikring av del 3: *Flomsikring Givra, Grovt kostnadsoverslag alternativer nedre del (Del 3)* datert 4.10.2019.

Norconsult har også sammenliknet lukket og åpen løsning for del 3: *Flomsikring av Givra, del 3, skissemessig beskrivelse av åpen og lukket løsning* (5172950-N11-D02 datert 11.11.2019).

Det er i tillegg gjort flere vurderinger av delstrekning 3 som ikke er dokumentert i egne notater.

2.2 Åpen eller lukket løsning?

Det har vært diskusjon om lukket eller åpen løsning for del 3. Begge deler har blitt utredet i *Flomsikring av Givra, del 3, skissemessig beskrivelse av åpen og lukket løsning* (5172950-N11-D02 datert 11.11.2019).

Fordi Givra ligger dypt under dagens oppfylte terreng er det nødvendig med en dyp kanal med høye, bratte sider for å åpne Givra. Det er ugunstig:

- Kanalen vil legge beslag på mye areal og er derved ugunstig for grunneierne.
- En dyp kanal er anleggsteknisk vanskelig.
- Den vil utgjøre en risiko for fall og utforkjøring.
- Den vil hindre adkomst til deler av området – det må anlegges omkjøring.

Selv om man generelt ønsker å unngå bekkelukking valgte kommunen derfor å la Givra forbli lukket. NVE har godkjent dette i brev datert 10.12.2019.

2.3 Flomberegning og dimensjonerende vannføring

Norconsult gjorde flomberegning ifm. *Tiltaksplan for Givra* (se over). Vannføring for en 200-årsflom med en klimafaktor på 1,4 for Givra, i oppstrøms ende av tiltaksstrekningen, ble der beregnet til 18 m³/s. Restfeltet nedstrøms er så lite at vi bruker samme vannføring for hele strekningen.

For tiltakene i denne rapporten bruker vi derfor dimensjonerende vannføring = $1,4 \cdot 200$ -års flomvannføring = 18 m³/s.

2.4 Dimensjonerende vannstand oppstrøms Sundheimsvegen

For dimensjonering av kulvert gjennom Sundheimsvegen og videre til Lågen må vi forutsette en maksimalt tillatt vannstand ved innløpet. Terrenget ved bolighuset på høyre side (Sundheimsvegen 9) ligger på ca. 252,7 moh. (innmåling fra kommunen). Huset har ikke kjeller. Garasjen ligger lavere med terrenghøyde 251,2 moh., se Figur 2.

Vi forutsetter derfor at maks tillatt vannstand oppstrøms inntakskonstruksjonen (oppstrøms ristene) ved innløpet til kulverten under Sundheimsvegen = $251,2 - 0,5$ (fribord) = **250,7 moh.**

Inntaket blir utstyrt med sikkerhetsrister for å hindre folk å komme inn i kulverten fra oppstrøms side. Over ristene vil det bli et falltap som avhenger av hvor mye ristene tilstoppes. Vi forutsetter skjønnsmessig at det kan bli et falltap på inntil 0,5 m over ristene. Dette gir drivende trykknivå ved innløpet til kulverten (nedstrøms risten) lik $250,7 - 0,5 =$ **250,2 moh.**



Figur 2 Terreng høyder ved hus ved kulvertinnløpet oppstrøms Sundheimsvegen

2.5 Dimensjonerende vannstand i Lågen

Vi forutsetter at vannstanden i Lågen ikke påvirker kapasiteten til del 3:

1. Det er stor høydeforskjell mellom Lågen og kulvertutløpet. Lågen må stige 4 – 5 m før strømmingen i nedre del av kulverten påvirkes.
2. Det er ikke sannsynlig med samtidig flom i Givra og Lågen. Flom i Givra inntreffer ifm. kraftig, kortvarig nedbør. Flom i Lågen krever langvarig nedbør og snøsmelting.

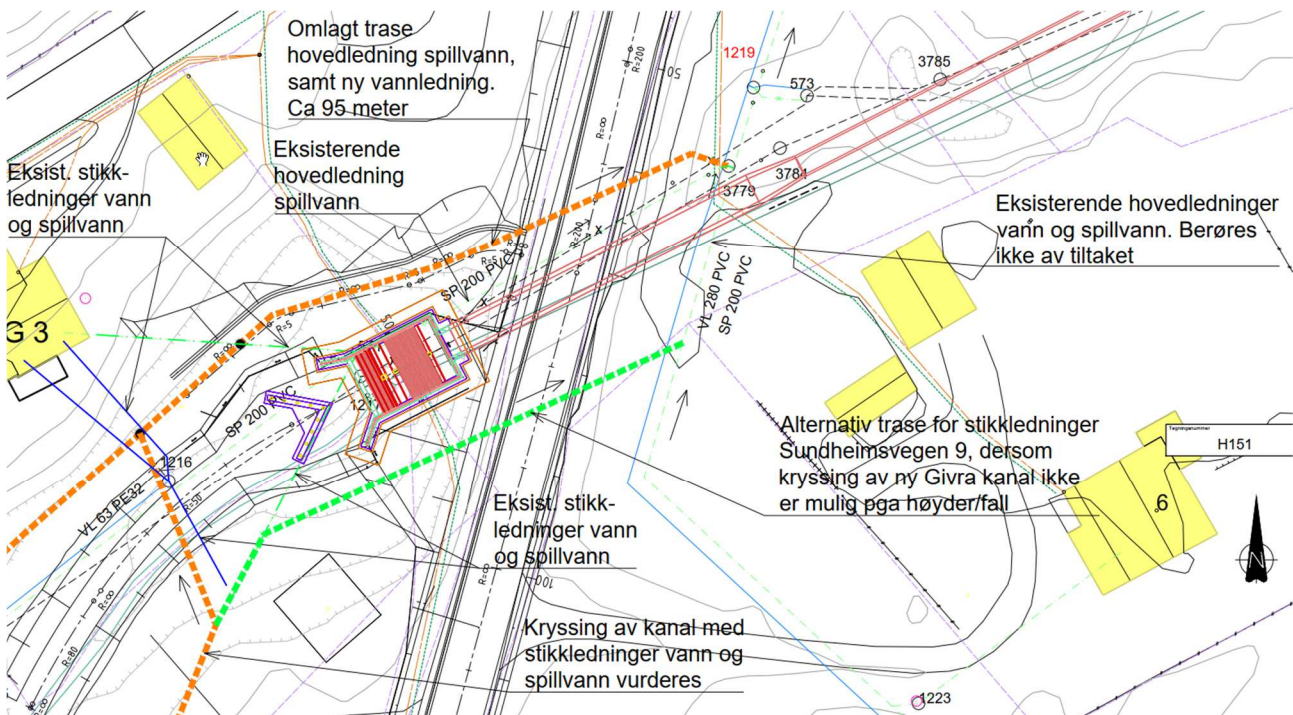
2.6 Høyde på eksisterende VA

Ny kulvert må passere over eksisterende VA (vann og spillvann) som ligger langs østsiden av Sundheimsvegen, se Figur 3. I prosjekteringen ble det lagt til grunn at høyden på eksisterende VA-ledning var **246,15 moh.**

Vi forutsetter videre at det må være 0,75 m klaring mellom topp VA og underkant ny kulvert, og at veggtykkelsen i kulverten blir 0,25 m.

Det gir laveste nivå på innvendig kulvertbunn ved passering av eksisterende VA = **247,15 moh.**

Senere innmåling av eksisterende VA har vist at den kanskje ligger noe lavere, ca. 246,0. Bunnen i ny kulvert kan derfor senkes noe.



Figur 3 Eksisterende VA på østsiden av Sundheimsvegen

2.7 Beregningsmetode og detaljeringsgrad

Notatet skal gi grunnlag for detaljprosjektering. Det er gjort detaljert strømningsberegning med en- og todimensjonal HEC-RAS. Beregningene er kontrollert manuelt og vha. nomogrammer.

3 Dagens situasjon på del 3

I dag er Givra lukket fra rett oppstrøms Sundheimsvegen til utløpet i Lågen. Gjennom Sundheimsvegen er en D = 1000 mm kulvert av betong. Den er forlenget med et D = 1200 mm betongrør til utløp i en bratt skråning ca. 4 - 5 m over Lågen.

Bekkedalen nedstrøms Sundheimsvegen, der Givra opprinnelig gikk åpent, er fylt igjen og planert. Området brukes til lagerplass / oppstillingsplass.

På oppstrøms side av Sundheimsvegen er det bolighus / garasjer på begge sider av Givra.

Notat

Oppdragsgiver: Nord-Fron kommune

Oppdragsnr.: 5172950 Dokumentnr.: N-15



Figur 4 Området oppstrøms innløpet til bekkelukking del 3, Sundheimsvegen i bakgrunnen



Figur 5 Innløp til eksisterende bekkelukking del 3



Figur 6 Området over eksisterende bekkelukking del 3



Figur 7 Utløpet av eksisterende bekkelukking. Lågen nede til venstre.

3.1 Kapasiteten til eksisterende kulvert

I *Tiltaksplan for Givra* er kapasiteten til eksisterende kulvert anslått til 6 m³/s ved 5,5 m vannstandstigning målt fra bunnen i kulvertinnløpet. Det tilsvarer vannstandstigningen fra bunnen av innløpet (246,5 moh.) til toppen av Sundheimsvegen (ca. 252,0 moh.)

4 Vannlinjeberegning

Vi har brukt vannlinjeberegning for å utforme tiltakene i Givra, og for å dokumentere virkningen. Det er gjort to ulike beregninger:

1. Det åpne løpet oppstrøms inntaket ved Sundheimsvegen er beregnet med 2D HEC-RAS og er beskrevet i dette kapitlet.
2. Den lukkede delen mellom Sundheimsvegen og Lågen er beregnet med 1D HEC-RAS. Beregningen er beskrevet i avsnitt 7.4.

4.1 Generelt om beregningsmetoden

Vannlinjeberegning er å beregne hvor høyt vannstanden stiger for en gitt vannføring. I tillegg til vannstand gir beregningene opplysninger om hydrauliske parametere som vannhastighet, dybde, skjærspenning mot bunnen osv.

Som grunnlag for beregningene trenger vi:

- Vannføring (m³/s) f.eks. fra en flomberegning.
- Elvas geometri, f.eks. fra målte tverrprofil, fra laserskann eller fra kart.
- Elvas ruhet (strømningsmotstand), som vi vanligvis anslår skjønnsmessig basert på tabeller.
- Grensebetingelser i oppstrøms og nedstrøms ende av beregningsstrekningen. I oppstrøms ende bruker vi vanligvis vannføringen (tilstrømmende vann) som grensebetingelse. I nedstrøms ende bruker vi vannstanden.

Beregningene kan gjøres i en, to eller tre romlige dimensjoner (1D, 2D, 3D).

Ved endimensjonal beregning deles elva opp i tverrsnitt som går over hele bredden av elven. Vi forutsetter samme vanndybde og hastighet over hele tverrsnittet, og beregningene gir gjennomsnittsverdier for hvert tverrsnitt.

Hvis vi ønsker mer detaljerte resultat så kan vi bruke en todimensjonal modell. Da deles beregningsstrekningen opp i et gitter, og vi beregner vannhastighet og dybde for hver celle i gitteret. Vi får da et ganske detaljert bilde av strømmingen, men bare i horisontalplanet.

Hvis vi i tillegg deler opp slik at vi får flere celler i dybden, så kan vi også beregne hvordan strømmingen varierer over dybden. Da gjør vi en 3D-beregning.

Der strømmingen er parallell, f.eks. der vannet følger et definert elveløp, er endimensjonale modeller tilstrekkelig. Hvis strømmingen spres utover, f.eks. over en flomslette, bør man bruke en todimensjonal modell. Hvis vi trenger et detaljert bilde av strømmingen, f.eks. sekundærstrømmer som går på tvers av hovedstrømmen, må vi gjøre beregningen i tre dimensjoner.

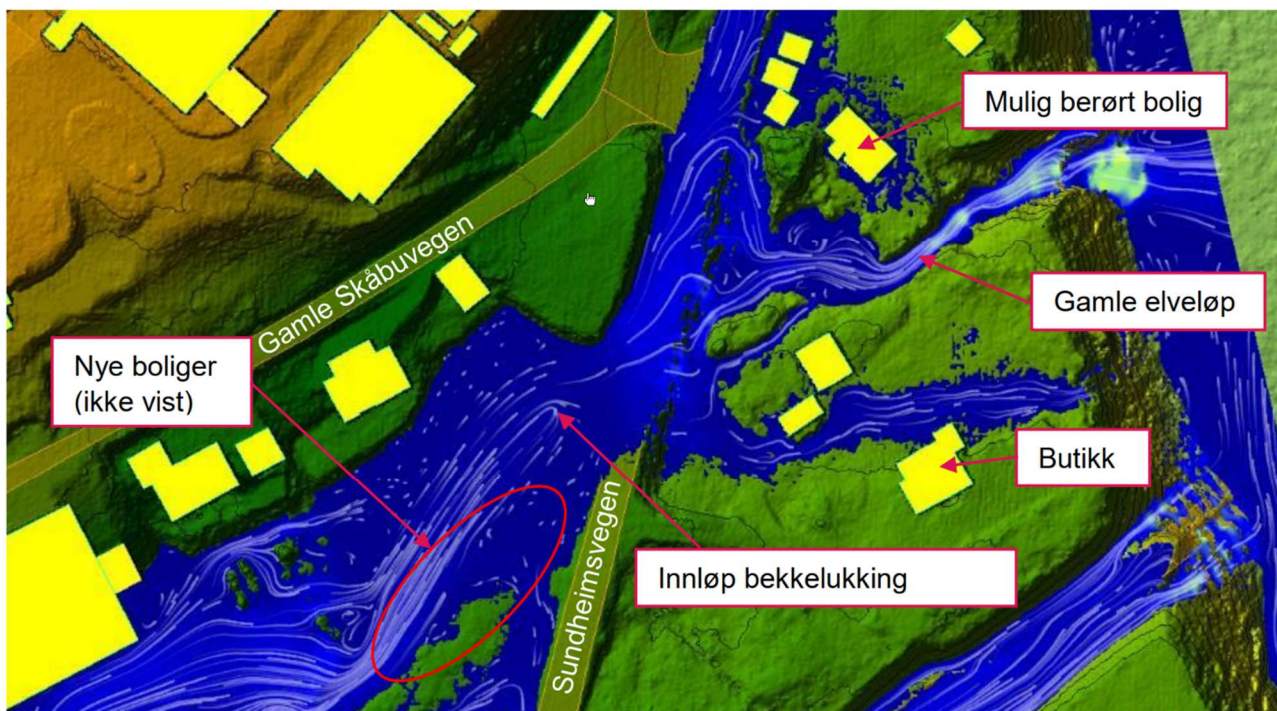
Beregningene gjøres i et dataprogram. Programmet velges ut fra hvor avanserte beregningene skal være, men programmet HEC-RAS fra US Army Corps of Engineers er mye brukt til 1D og 2D beregninger.

Beregningene vi har gjort tar ikke hensyn til erosjon eller avlagring av masse, men forutsetter at elveløpet ikke endrer form.

Resultatene fra vannlinjeberegningen er vanligvis kart og lengdeprofil som viser vannstand og vannhastighet. I tillegg gir beregningene en rekke andre hydrauliske parametere som kan tas ut hvis det er behov.

4.2 Tidligere beregninger

Norconsult beregnet flomsone med og uten ulike tiltak ifm. *Tiltaksplan for Givra*. Figur 8 viser flomsone uten tiltak hentet fra den rapporten.



Figur 8 Beregnet flomsone uten tiltak (utsnitt fra *Tiltaksplan for Givra*)

4.3 Beregningsmetode og programvare

Beregningene er gjort i programmet HEC-RAS fra US Army Corps of Engineers.

Det er gjort to ulike vannlinjeberegninger:

1. For det åpne løpet oppstrøms inntaket ved Sundheimsvegen: Beregningene er gjort i 2D med likningssett = *full momentum* (St Venants likninger) med 2*2 meter gitter (cellestørrelse).

2. For den lukkede delen mellom Sundheimsvegen og Lågen er det gjort en 1D vannlinjeberegning. Den er beskrevet i avsnitt 7.4

4.4 Inngangsdata og forutsetninger

4.4.1 Høyre og venstre side

Når vi angir *høyre* og *venstre* side av elven, så er det alltid når vi ser mot nedstrøms.

4.4.2 Høydereferanse

Hvis ikke annet er angitt er høydereferansen NN2000.

4.4.3 Geometri – elveløp og terreng

Terrenget utenfor elveløpet ble definert av en høydemodell med 0,25* 0,25 m oppløsning som er basert på laserskanning fra fly: *NDH Ringebu-Fron-Gausdal 5 pkt 2017* lastet ned fra Hoydedata.no.

For å definere nytt elveløp ble de planlagte tverrsnittene lagt inn i programmet Novapoint. Herfra ble det generert et nytt, utvidet elveløp. Modellen av det nye løpet ble kombinert med høydemodellen av terrenget rundt (laserskann) til en høydemodell som ble brukt i beregningene.

4.4.4 Beregnet strekning

2 D beregningen går fra utløpet av planlagt stikkrenne under Skåbuvegen ned til inntaket ved Sundheimsvegen. Den omfatter derfor hele Givra del 2 og oppstrøms ende av del 3. Utforming av løpet for del 2 er basert på Rambølls forslag ifm. Vinstra park, og er ikke endelig.

4.4.5 Vannføring

Beregningene utført for 200-års flom med 40 % klimatillegg: $1,4 \cdot Q_{200} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.4.6 Strømningsmotstand

Strømningsmotstanden (ruheten) beskrives med Manningstall, M. I beregningene har vi brukt Manningstall $M = 30$ ($n = 0.033$) for hele strekningen.

4.4.7 Oppstrøms grensebetingelse

Som oppstrøms grensebetingelse har vi brukt vannføring.

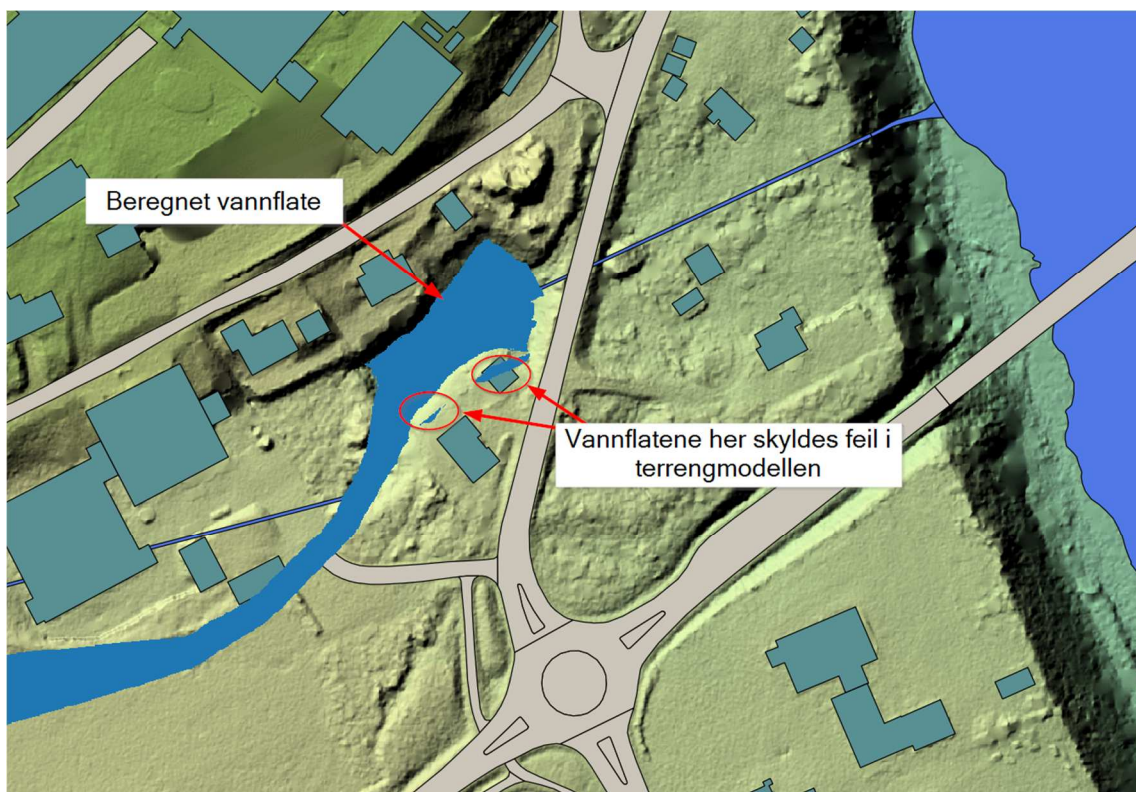
4.4.8 Nedstrøms grensebetingelse

Som nedstrøms grensebetingelse har vi brukt beregnet vannstand ved inntak til bekkelukkingen, 250,7 moh., se avsnitt 2.4.

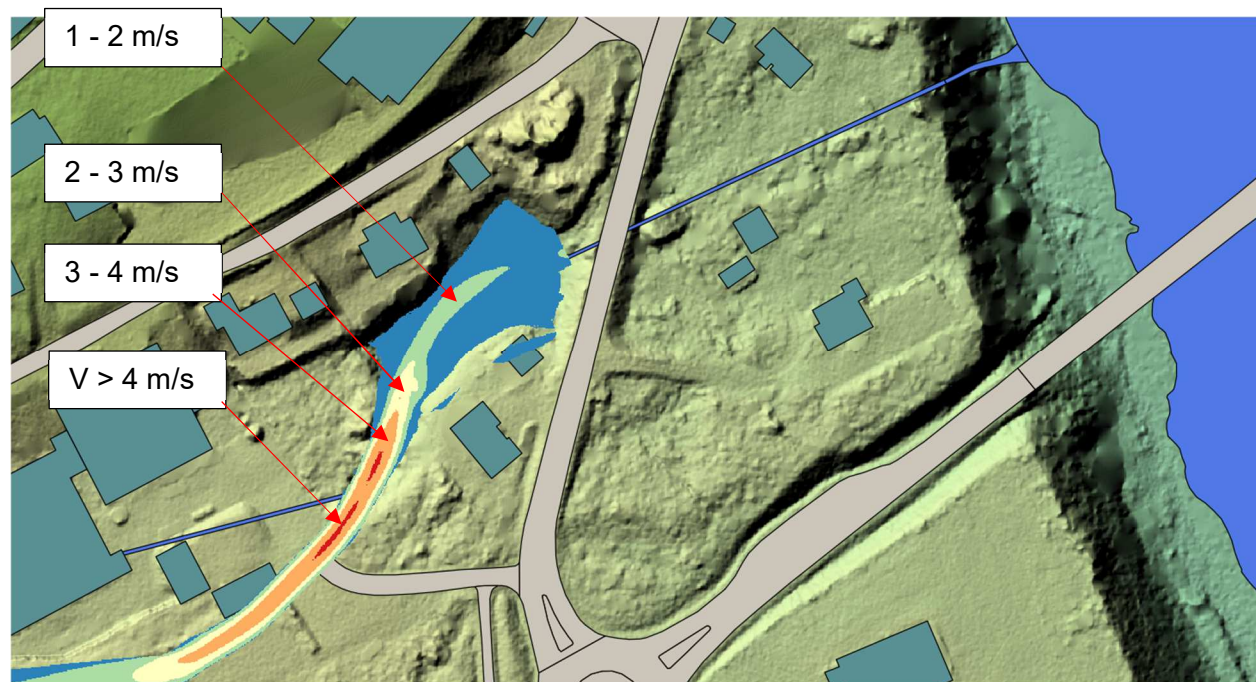
4.5 Beregningsresultat

Figur 9 viser flomsoneen etter utvidelse og utskifting av kulvert. Figur 10 viser beregnet vannhastighet.

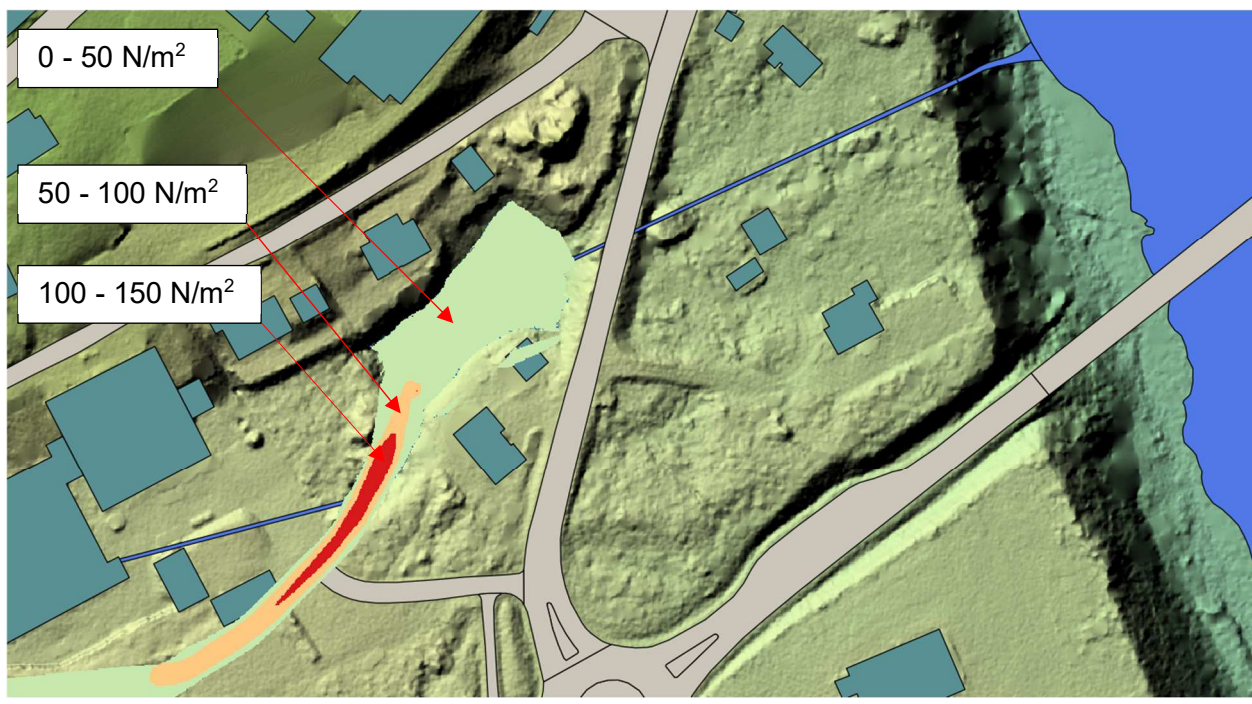
Tiltakene er ikke detaljprosjektert, og mindre justeringer av løpet må påregnes.



Figur 9 Beregnet flomsone etter tiltak ($Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$)



Figur 10 Beregnet vannhastighet i m/s ($Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$)



Figur 11 Beregnet skjærspenning i N/m^2 ($Q = 18 m^3/s$)

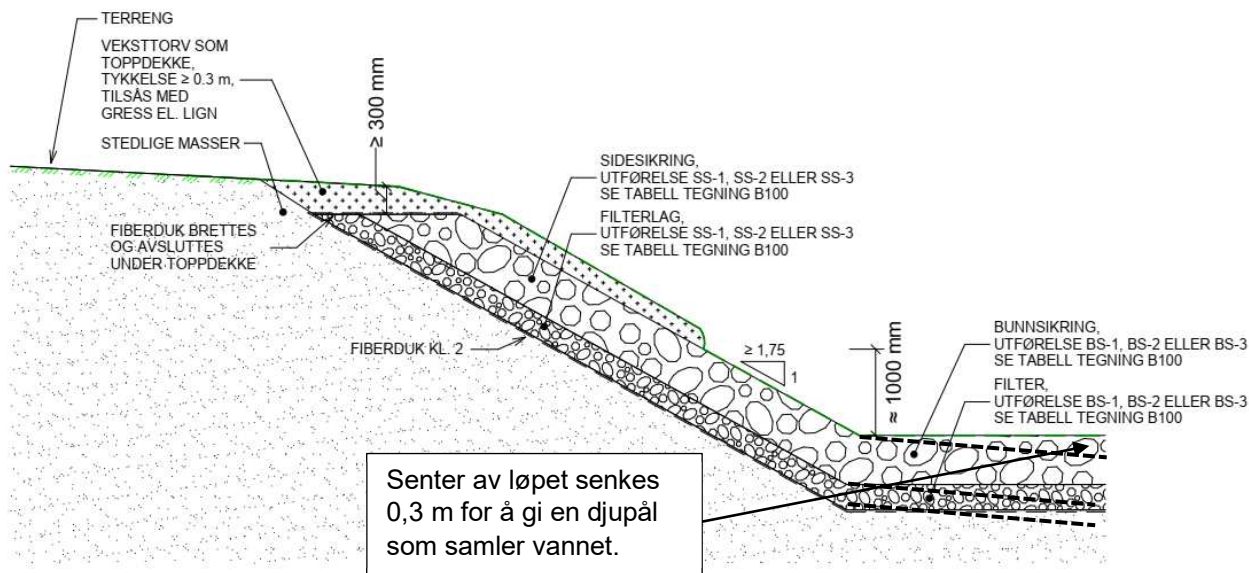
5 Utforming og erosjonssikring av elveløpet oppstrøms Sundheimsvegen

Oppstrøms inntakskonstruksjonen ved Sundheimsvegen er det åpent løp. Det er ca. 35 m opp til grensen mot Del 2. På den strekningen blir løpet utformet som følger (fra oppstrøms):

- Trapesformet løp med erosjonssikrede bunn og sider
- Kombinert stein- og drivfang
- Plastring rundt drivfanget
- Nedkjøringsrampe for adkomst til inntak og drivfang for rensk og vedlikehold.

5.1 Utforming av elveløpet

Elveløpet utformes i prinsippet som vist på Figur 12. Sikringens tykkelse, steinstørrelse og oppbygging vil variere avhengig av belastningen. Senter av løpet senkes for å samle vannet i en djupål.



Figur 12 Normal sikring av bunn og sideskråning, prinsippnitt (NB. Henvisningene i tegningen gjelder del 1.)

5.2 Løpets kapasitet

Kapasiteten til elveløpet oppstrøms Sundheimsvegen er beregnet med programmet HEC-RAS, se kapittel 4.

5.3 Erosjonssikring

5.3.1 Generelt

Bunn og sider erosjonssikres med stein. Fordi både belastningen på sikringen og sideskråningen varierer får vi flere ulike utførelser. Disse er beskrevet under.

Rundt drivfanget kan vannhastigheten bli høy, slik at det må sikres særskilt, se avsnitt 5.4.2.

5.3.2 Krav til steinmaterialet

Der ikke annet er spesielt angitt skal steinmaterialet som brukes i erosjonssikringen, inkludert filteret, oppfylle følgende krav:

- Knust berg (bruddstein) med god styrke og bestandig mot nedbryting.
- Formen skal være kubisk, forholdet mellom bredde og tykkelse skal være mindre enn 3.
- Los Angeles-verdi < 40
- Materialet skal ikke inneholde miljøfarlige stoffer.

All utlegging av erosjonssikring / plastring skal starte fra nedstrøms og legges ut mot oppstrøms.

5.3.3 Dimensjonerende belastning

Under dimensjonerende flom vil kapasiteten til inntaket bestemme vannstanden i Givra nærmest Sundheimsvegen. Nær inntaket stiger vannstanden så mye at vannhastigheten og belastningen blir lav til moderat.

Lengre oppstrøms avtar oppstuvningseffekten fra inntaket. Her øker vannhastigheten og skjærspenningen.

Skjærspenning og vannhastighet er beregnet vha. HEC-RAS. Figur 10 og Figur 11 viser beregnet hastighet og skjærspenning ved dimensjonerende flom.

5.3.4 Steinstørrelse og filter for normal erosjonssikring

Nødvendig steinstørrelse er beregnet vha. Shields formel og kontrollert med Robinsons formel (se f.eks. *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*, Jenssen & Tesaker, NVE-rapport 4-2009).

Forutsetninger

- Skjærspenning tatt fra HEC-RAS 2D beregning
- Shields $C = 0.04$
- Sikkerhetsfaktor $S_f = 1,2$
- Korreksjon for sideskråning, S_s
 - 1:2 gir $K = 1,25$
 - 1:1,75 gir $K = 1,4$
 - 1:1,5 gir $K = 1,70$
- Resultatet kontrollert m Robinsons formel: $q = 5 \text{ m}^2/\text{s}$ og bunnhelling S_0 målt på representativ strekning.

Resultat

Tabellen under viser hvordan oppbyggingen avhenger av opptredende skjærspenning. Figur 12 viser prinsippssnitt. Figur 16 viser området som sikres. Plasseringen er omtrentlig og vil bli tilpasset ifm. detaljprosjektering.

Tabell 1 Oppbygging av normal erosjonssikring, bunn og side (sideskråning $S_s = 1:1,75$)

Skjærspenning (N/m^2) =	$\tau < 50$	$50 < \tau < 75$	$75 < \tau < 100$	$100 < \tau < 150$
Bunnsikring	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4
Shields, d_{50} bunn (mm) =	80	110	154	232
¹ Robinson, d_{50} bunn (mm) = ($Q = 6 \text{ m}^2/\text{s}$)	110 ($S_0 = 0,01$)	130 ($S_0 = 0,013$)	-	-
d_{50} bunn ink. Sf (mm) =	100	140	190	280
d_{min} (mm)	60	100	130	160
d_{maks} (mm)	200	300	400	550
Tykkelse (mm)	200	300	400	550
Sidesikring S_s maks 1:1,75	SS-1	SS-2	SS-3	SS-4
d_{50} side ink. Sf (mm) =	140	190	270	390
d_{min} (mm)	100	130	200	230
d_{maks} (mm)	300	400	550	800
Min. tykkelse (mm)	300	400	550	800
Filterlag				
Samfengt pukk 0/45	x	x		
Kult 22/125			x	x
Kult 22/180				
Tykkelse filterlag (mm) =	200	200	250	300

5.4 Drivfang

Retts oppstrøms inntaket blir det anlagt et drivfang (drivgodsfang) utført med sylindriske peler satt i V-form.

Hensikten med drivfanget er:

- Fange opp drivgods før det når inntaksristen for å hindre at den blir tett.
- Fange opp stort drivgods som kan sette seg fast i kulverten når inntaksristen er åpen.
- Redusere transporten av grov grus og stein. Drivfanget blir kombinert med et massebasseng.

Nedbørfeltet er ca. 6 km² og består av skog, jordbruksareal, enger og åpne områder, private hager mm. Under storflom vil disse områdene produsere drivgods: gress, kvist, trær, plast, mm. Drivgods kan tette inntaksrister slik at kapasiteten blir sterkt redusert. Hvis det ikke er rist foran inntaket kan stort drivgods, f.eks. trær, sette seg fast inne i kulverten.

Hensikten med drivfanget er primært å fange opp stort drivgods som kan sette seg fast i kulverten. Drivfanget vil også redusere mengden drivgods som vil nå ristene i inntaket, dersom ristene ikke er åpnet før flommen kommer.

5.4.1 Utforming av drivfang

Generelt

Figur 13 og Figur 14 viser eksempel på utforming.

Utformingen må ta hensyn til:

- Skal stanse stort drivgods.
- Tilstopping skal ikke føre til skadelig høy vannstand.

- Styrke og stabilitet mot velting.
- Erosjonsfaren.
- Adkomst for tømning og vedlikehold.

Plassering og form

Fanget utformes i prinsippet som vist på Figur 15. Mellom spissen og inntaket bør det være ca. 4 m for adkomst for rensk.

Toppvinkelen velges 60 – 80 grader. Utformingen må tilpasses adkomst for rensk og terrenget rundt.

Lysåpning mellom pelene

Lysåpning: $b = 1,2$ m

Lysåpningen er satt til 1,2 m basert på anbefaling i *Debris Control Structures, Evaluation and Countermeasures* (HEC-9, FHWA-IF-04-016, 2005). Lysåpningen skal være maks 2/3 av minste lysåpning (1,8 m). $2/3 \cdot 1,8 = 1,2$ m.

Maks toppnivå for peler

Maks toppnivå: $H_{\text{topp}} = 249,6$ moh.

Vi har ikke funnet retningslinjer for høyden på drivfang, men vi har forutsatt at faren for høy oppstrøms vannstand ved full tilstopping til nivå med topp peler blir dimensjonerende.

Forutsetninger:

- Maks tillatt vannstand = 250,7 moh. (avsnitt 2.4).
- Bredde av elveløp i nivå med topp peler, $B = 10$ m
- Overløpskoeffisient, $C = 1,6 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$
- Dimensjonerende vannføring, $Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$

Vannstandsstigning over topp pel blir (overløpsformelen): $H = 1,1$ m

Maksimalt toppnivå for peler: 250,7 moh. – 1,1 m = 249,6 moh.



Abb. 89: Belastungsprobe für den V-Rechen beim Hochwasser vom 13. Mai 1999

Figur 13 Drivfang etter flom, eksempel fra Sveits

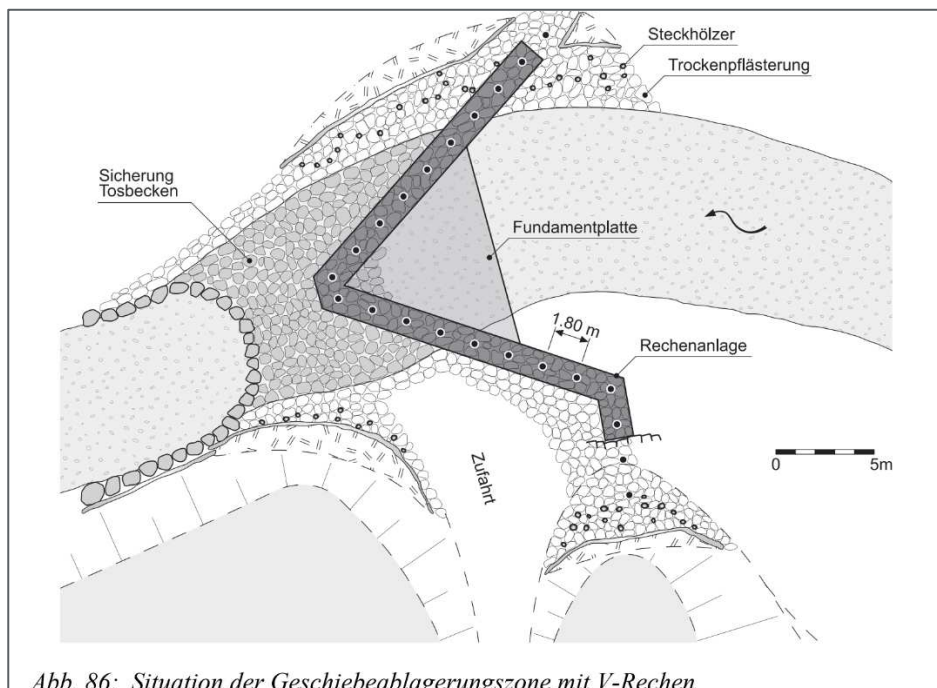
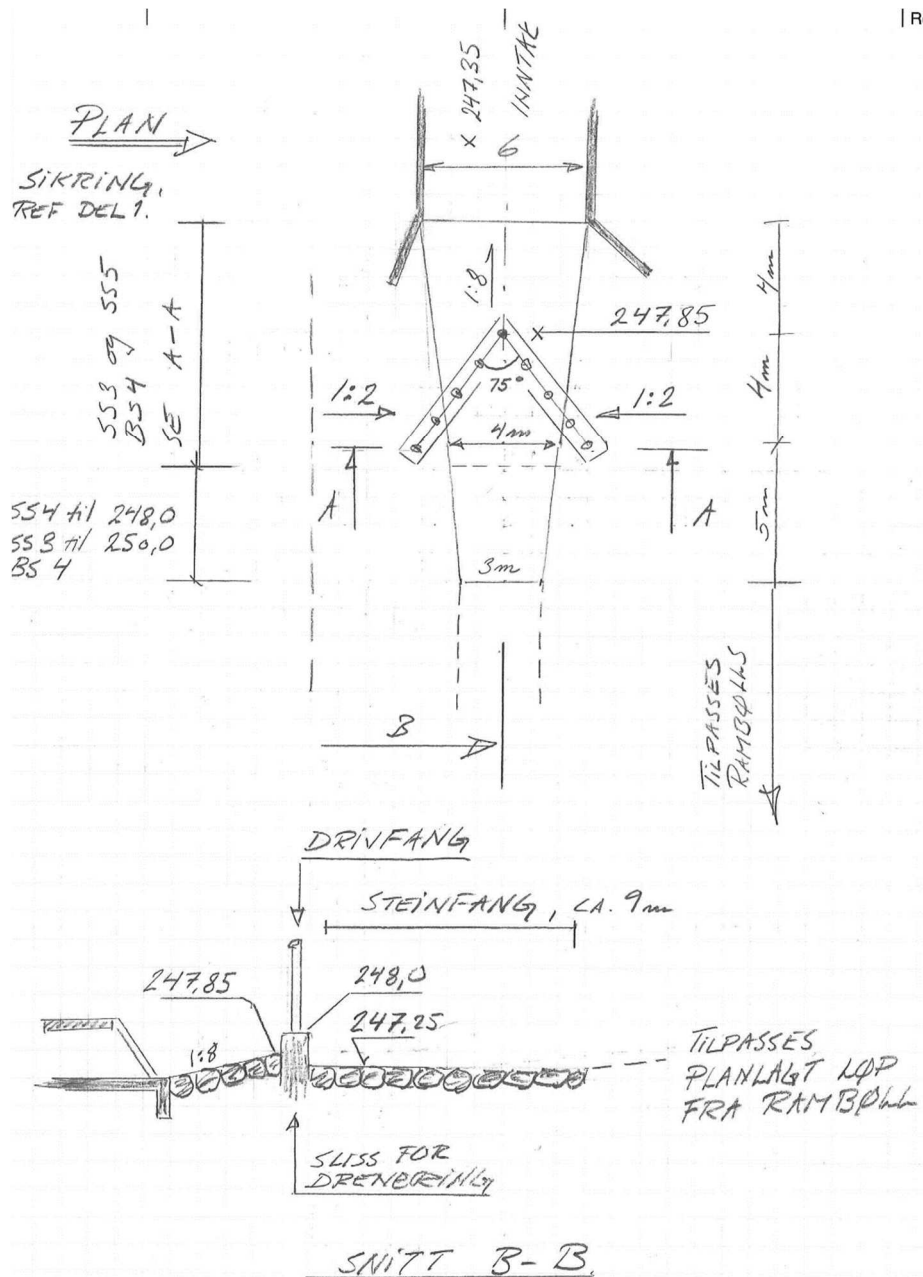


Abb. 86: Situation der Geschiebeablagerungszone mit V-Rechen

Figur 14 Eksempel på drivfang fra Sveits (plantegning). Samme prinsipp vil bli brukt i Givra.



Figur 15 Drivfang og steinfang, prinsipp, plan og snitt

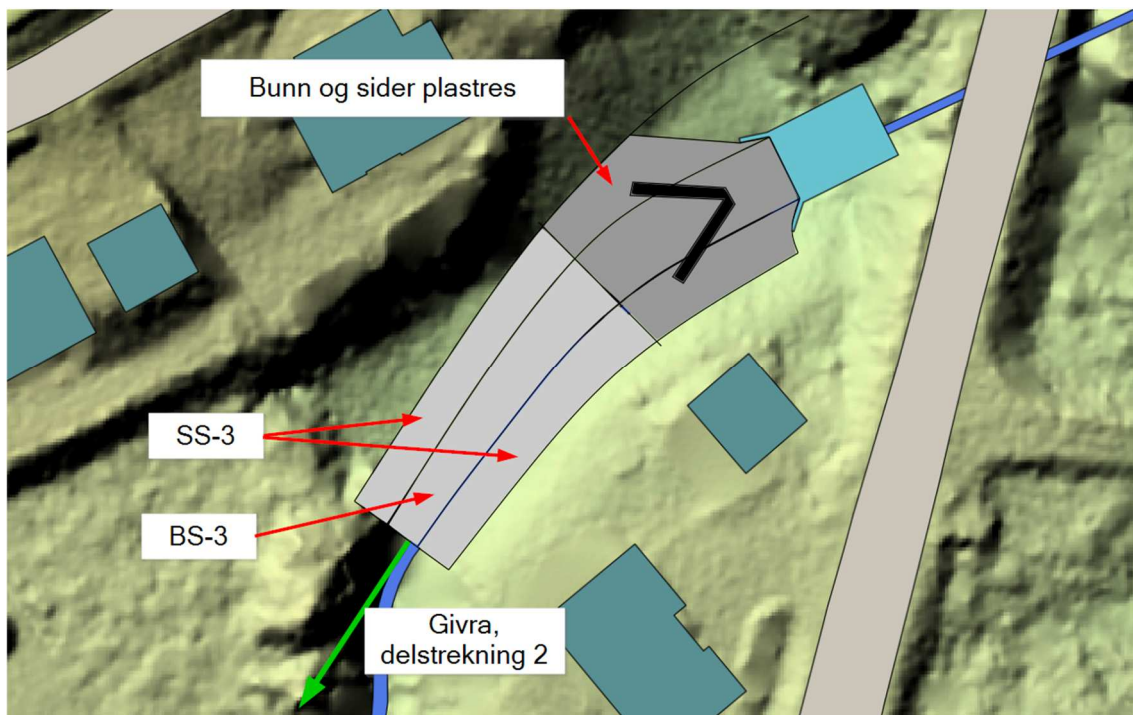
5.4.2 Erosjonssikring rundt drivfanget

Hvis drivfanget blir tett kan det bli 1,5 til 2 m trykkforskjell over drivfanget, og derved store vannhastigheter (5 – 6 m/s). Bunn og sider nær drivfanget må derfor plastres med stor stein, se Figur 16.

Vi har ikke beregningsmetoder som kan anvendes direkte for denne situasjonen, så valg av steinstørrelse er delvis basert på skjønn. Se Tabell 2 for detaljer.

Tabell 2 Oppbygging av plastring rundt drivfang

Parameter	Plastring	Ytre filter	Indre filter
Fraksjon, d_{min} / d_{maks} (mm)	600/800	22/180	Fiberduk
Midlere steinstørrelse, d_{50} (mm)	700	100	
$C_u = d_{60}/d_{10}$ (-), omtrentlig	1,2	3	
d_{50}/D_{50} maks (A_{50} admissible) basert på Cistin & Ziems filterkriterie mot overliggende lag=	-	8	
Minste D_{50} basert på filterkriterie mot overliggende lag (mm) =		90	
Krav til lagtykkelse =	Steintykkelse	$4 * d_{50} = 400$ mm Min 200 mm	
Valgt lagtykkelse bunn (mm) =	600 - 800	300 – 500 avhengig av plastringstykkelsen	
Valgt lagtykkelse side (mm) =	600 - 800	300 – 500 avhengig av plastringstykkelsen	
Maks fugeåpning (mm) =	100	-	
Fiberduk =			Fiberduk klasse 2



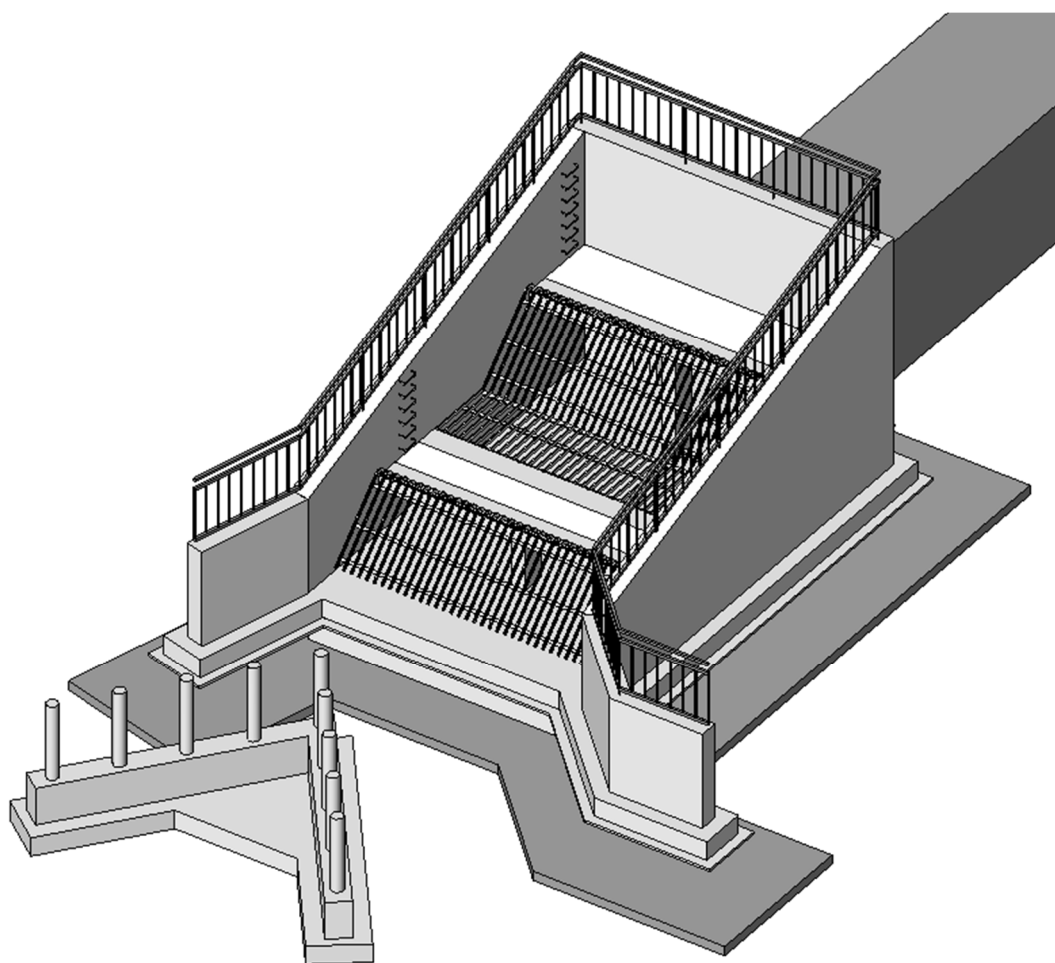
Figur 16 Erosjonssikring oppstrøms inntaket, se Tabell 1 og Tabell 2 for oppbygging

5.5 Steinfang

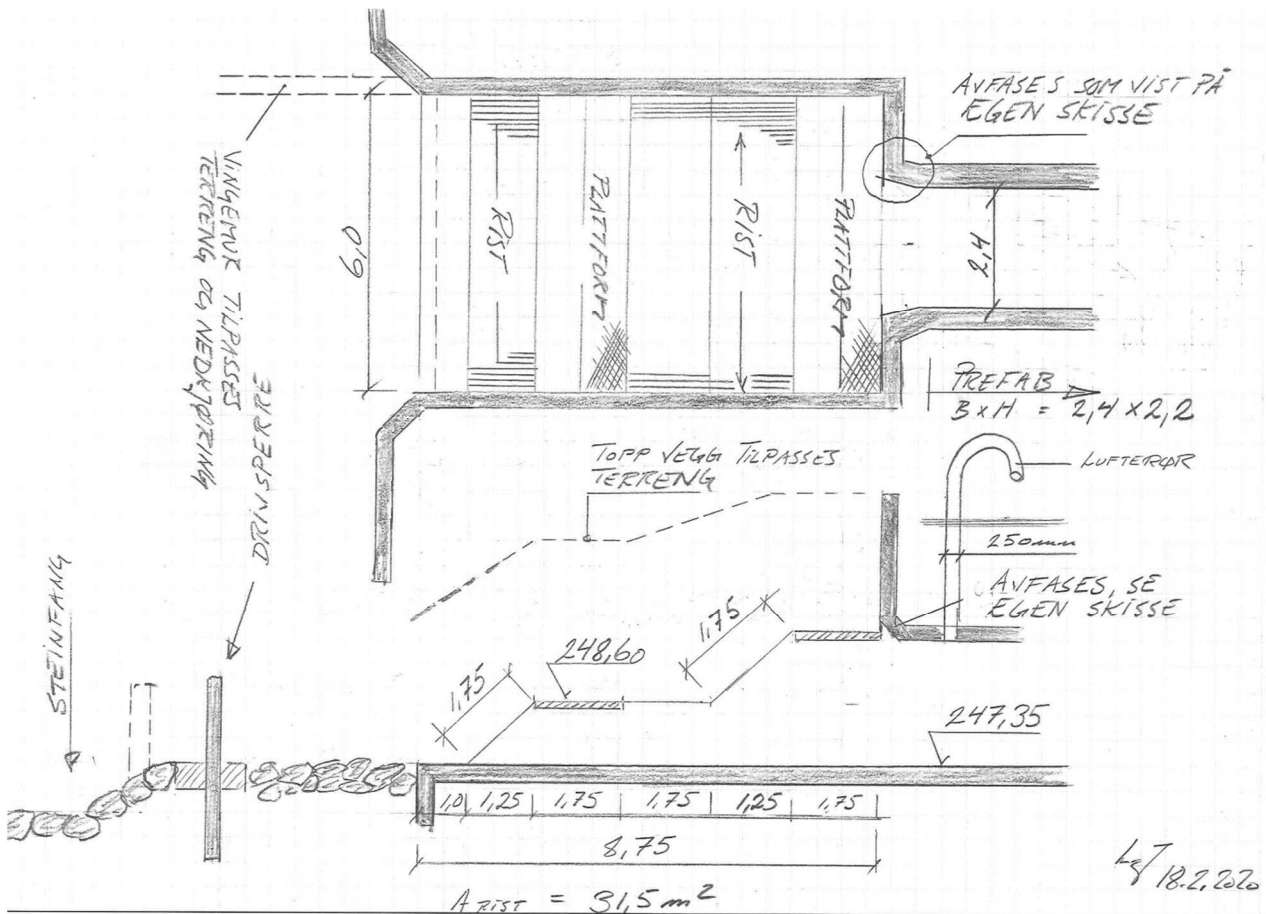
For å begrense mengden stein gjennom kulverten blir det anlagt et steinfang i kombinasjon med drivfanget. Pelenes betongfundament fungerer som terskel. Figur 15 viser prinsippet.

6 Inntaket til bekkelukkingen

Dette kapittelet gjelder inntakskonstruksjonen ved innløpet til kulverten (bekkelukkingen). Figur 18 viser prinsipp for utforming av inntaket.



Figur 17 Inntak og drivfang, illustrasjon



Figur 18 Prinsippskisse av inntaket, plan (øverst) og snitt

6.1 Sikkerhetsrist ved inntaket

6.1.1 Behov for rist

Generelt bør inntaksrister unngås. De utgjør en betydelig risiko. Under flom blir ristene ofte tettet av drivgods, slik at kulvertens kapasitet blir drastisk redusert.

Liten fare for tilstopping

Pga. stort tverrsnitt ($D_{min} = 1,8 \text{ m}$) så er det liten fare for tilstopping av selve kulverten. Mesteparten av drivgodset vil passere. Vi mener at et drivfang (drivgodsfang) vil være tilstrekkelig til å stoppe drivgods som kan tette kulverten, og at det er unødvendig med en rist for å stanse drivgods.

Nødvendig med sikkerhetsrist

Hvis noen kommer inn i kulverten, f.eks. barn som leker, kan det få alvorlige konsekvenser. Løpet er bratt og glatt, og ved utløpet er det et høyt fall ned mot Lågen.

Vi mener derfor at det er nødvendig med en sikkerhetsrist som skal hindre folk å komme inn i kulverten fra oppstrøms ende.

6.1.2 Lysåpning mellom stavene

Trash and Security Screen Guide (Environment Agency, 2009) anbefaler at sikkerhetsrister har **140 mm lysåpning** mellom stavene. Dette gjelder også mellom ytre stav og betongvegg.

6.1.3 Nødvendig ristareal

Nødvendig ristareal er anslått vha. metoden i *Trash and Security Screen Guide* (Environment Agency, 2009):

- Beregnet nødvendig ristareal **A = 88 m²**
- Erfaringsmessig øvre grense for $A = 30 \cdot A_{\text{kulvert}} = 30 \cdot 7,5 = 225 \text{ m}^2$
- Erfaringsmessig nedre grense for $A = 3 \cdot A_{\text{kulvert}} = 30 \cdot 7,5 = 23 \text{ m}^2$

Metoden er utviklet i England. Vi vet ikke hvor godt den passer for norske forhold, men kjenner heller ikke til andre metoder for å beregne ristarealet. (Håndskrevet notat med beregning tilgjengelig og lagret på oppdraget: 20200213 del 3, *beregning av areal inntaksrist.pdf*)

For å få plass til 88 m² rist blir inntaket upraktisk stort. I samråd med kommunen har forutsatt at risten lages slik at deler kan fjernes før / under flom, og at kommunen har beredskap for å renske eller fjerne ristene. Ut fra dette er ristarealet skjønnsmessig redusert til ca. 30 m².

Selv om ristarealet er redusert i forhold til beregningene mener vi det er større enn norsk praksis tilsier, og at NVE har godkjent en rekke kulvertinntak med vesentlig mindre ristareal.

6.1.4 Kapasitetsberegning for delvis tilstoppede rister

Pga. fare for tilstopping forutsetter vi at ristene fjernes ved varsel om stor flom, se over.

Inntaksristene bør likevel ha betydelig overkapasitet. Vi har derfor vurdert kapasiteten dersom laveste ristfelt, dvs. 45° frontfelt 6 m * 1,75 m blir fullstendig tett. Beregningene forutsetter at resterende ristfelt er åpne og ikke begrenser kapasiteten.

Forutsetninger

Arbeidsplattformen lengst oppstrøms fungerer som terskel med kritisk strømming, se Figur 18.

- Nivå terskel (plattform) ca. 248,8 moh.
- Terskelengde = bredden til inntaket: L = 6 m
- Overløpskoeffisient, C = 1,7 m^{1/2}/s

Resultat

- Vannstandsstigning over terskel: $H = [Q/(LC)]^{0,67} = 1,5 \text{ m}$
- Vannivå med fullstendig tett nedre ristflate = 248,8 + 1,5 = 250,3 moh.
- Dette er 0,4 m lavere enn dimensjonerende vannstand = 250,7 moh. --> OK

7 Innløp, gjennomløp og utløp

Dette kapitlet gjelder den lukkede delen fra inntakskonstruksjonen til utløpet av betongrøret. Strekingen er delt i tre:

- Del 1 rektangulær kulvert fra inntaket til passering over eksisterende VA
- Del 2 overgang fra rektangulær kulvert til rør
- Del 3 rør $D = 1,8$ m fra overgangen til utløpet

7.1 Del 1 fra inntak til passering eksisterende VA

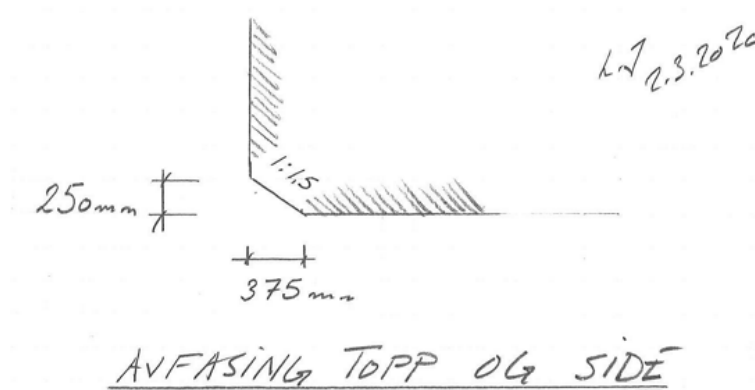
7.1.1 Kapasitetsberegning av kulvertinnløpet

Bekkelukkingen er så bratt at den vil ha innløpskontroll. Nødvendig størrelse på innløpet er derfor beregnet vha. nomogram i *Hydraulic Design of Highway Culverts* (FHWA-NHI-01-020 / 2001).

Det forutsettes at kulvertinnløpet utformes med 90° frontvegg med avfasing av hjørnene, iht. *Chart 10 A*, scale 1:1,5 bevels, se Figur 19.

- Velger rektangulær kulvert: $B \cdot H = 2,4 \cdot 2,2$ m
- Tilgjengelig trykk $HW = 250,2$ moh. $- 247,35 = 2,85$ m
- Relativt trykk: $HW/H = 2,85/2,20 = 1,3$
- Kapasitet fra nomogram (*Chart 10 A*, Scale 1:1,5 bevels) = $7,7$ m³/s/m
- Kapasitet for kulvert med $B = 2,4$ m: $Q = 7,7 \cdot 2,4 = 18,5$ m³/s $> Q_{dim} = 18$ m³/s \rightarrow OK

Den øvre arbeidsplattformen, se Figur 18, er så nær inntaket at kapasiteten kan bli redusert. Det forutsettes derfor at plattformen løftes av som beredskapstiltak ved varsel om flom.



Figur 19 Avfasing kulvertinnløp, topp og side

7.1.2 Rektangulær kulvert 2,4* m * 2,2 m til passering over eksisterende VA

Det anlegges rektangulær kulvert B*H = 2,4 m * 2,2 m inntaket til passering over eksisterende VA, ca. 30 m lang.

Det er forutsatt jevnt fall fra inntaket (247,35 moh.) til passering over VA (innvendig bunn = 247,15 moh.), slik av vi beholder overkritisk strømning nedstrøms inntaket.

7.2 **Del 2 overgang fra rektangulær kulvert til rør**

Etter passering over eksisterende VA-ledninger gis kulverten et fall slik at vannet akselereres. Nedstrøms akselerasjonssonen videreføres kulverten som betongrør Ø 1800 mm.

Forutsetninger:

- Oppstrøms tverrsnitt B*H = 2,4 m * 2,2 m
- Oppstrøms bunnivå = 247,15 moh.
- Nedstrøms tverrsnitt = rør D 1,8 m
- Nedstrøms bunnivå = 244,40 moh.
- Vertikalt fall = 2,75 m
- Vannhastighet ved oppstrøms ende av overgangen er ca. 4,7 m/s (fra HEC-RAS).

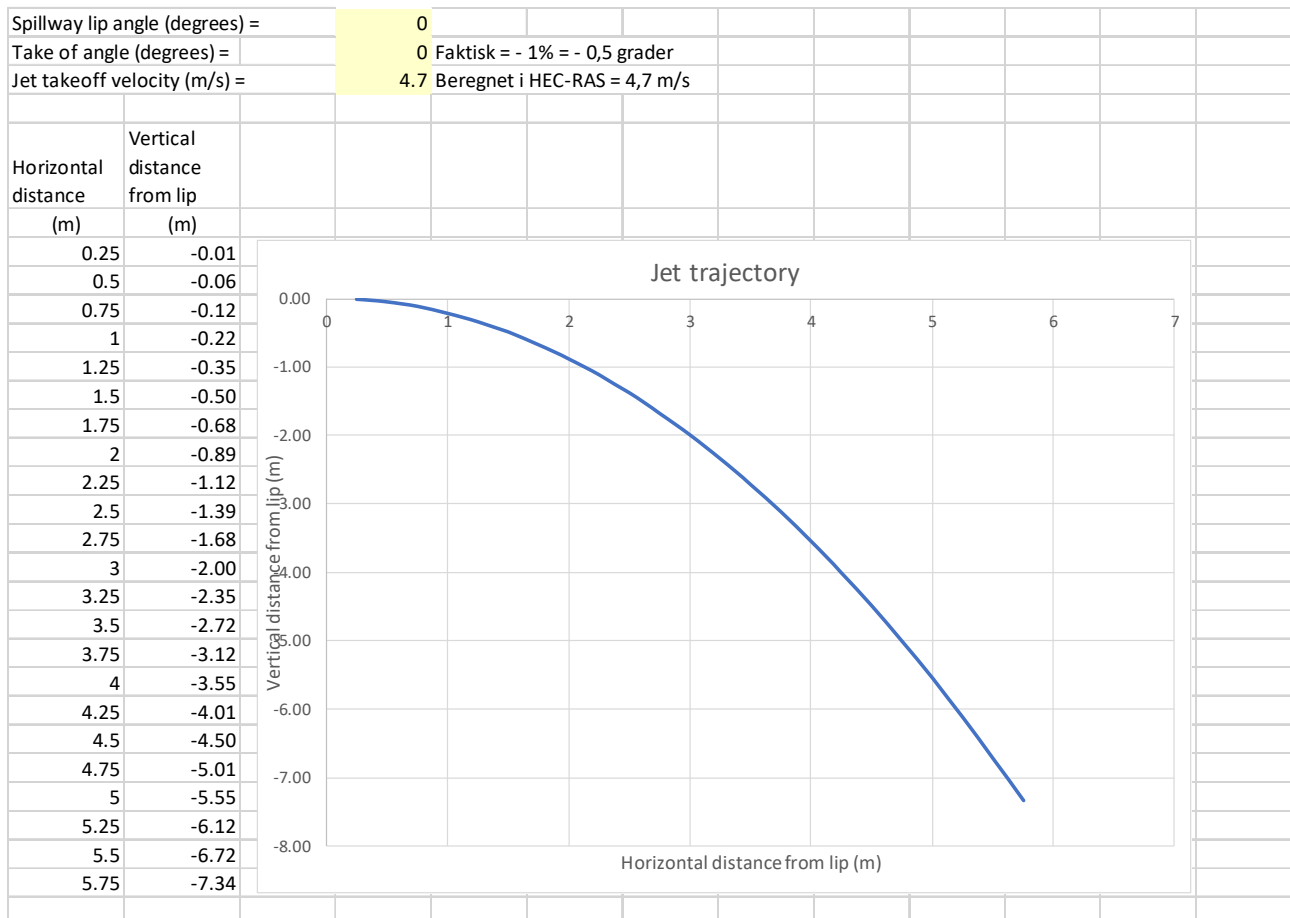
7.2.1 Bunnens fall

For å unngå undertrykk mot bunnen bør ikke bunnen falle raskere enn strålens naturlige fall.

Beregning av profilet til en fallende stråle er vist under. Vi ser at et vertikalt fall på 2,75 m krever horisontal avstand på minimum 3,5 m, dvs. helling 1:1,3.

I praksis foreslår vi at lengden på overgangen økes til 5 m horisontalt. Det gir gjennomsnittlig helling på $2,75/5 = 1:1,8$.

Overgangen strømlinjeformes for å redusere tap og bølgedannelse.



Figur 20 Banen til en fallende stråle

7.3 Del 3, betongrør fra overgangen til utløpskonstruksjonen

Nedstrøms overgangen leder et Ø1800 mm betongrør til utløpskonstruksjonen i skråningen ned mot Lågen.

Utforming:

- Betongrør med D = 1,8 m
- Oppstrøms bunnivå = 244,40 moh.
- Nedstrøms bunnivå = 241,00 moh.
- Vertikalt fall = 3,4 m
- Lengde ca. 60 m
- Bunnhelling $S_o = 3,4/60 = 1/17,6 = 5,7 \%$
- Vannhastighet ved utløp = 10,0 m/s (fra HEC-RAS)

7.4 Vannlinjeberegning

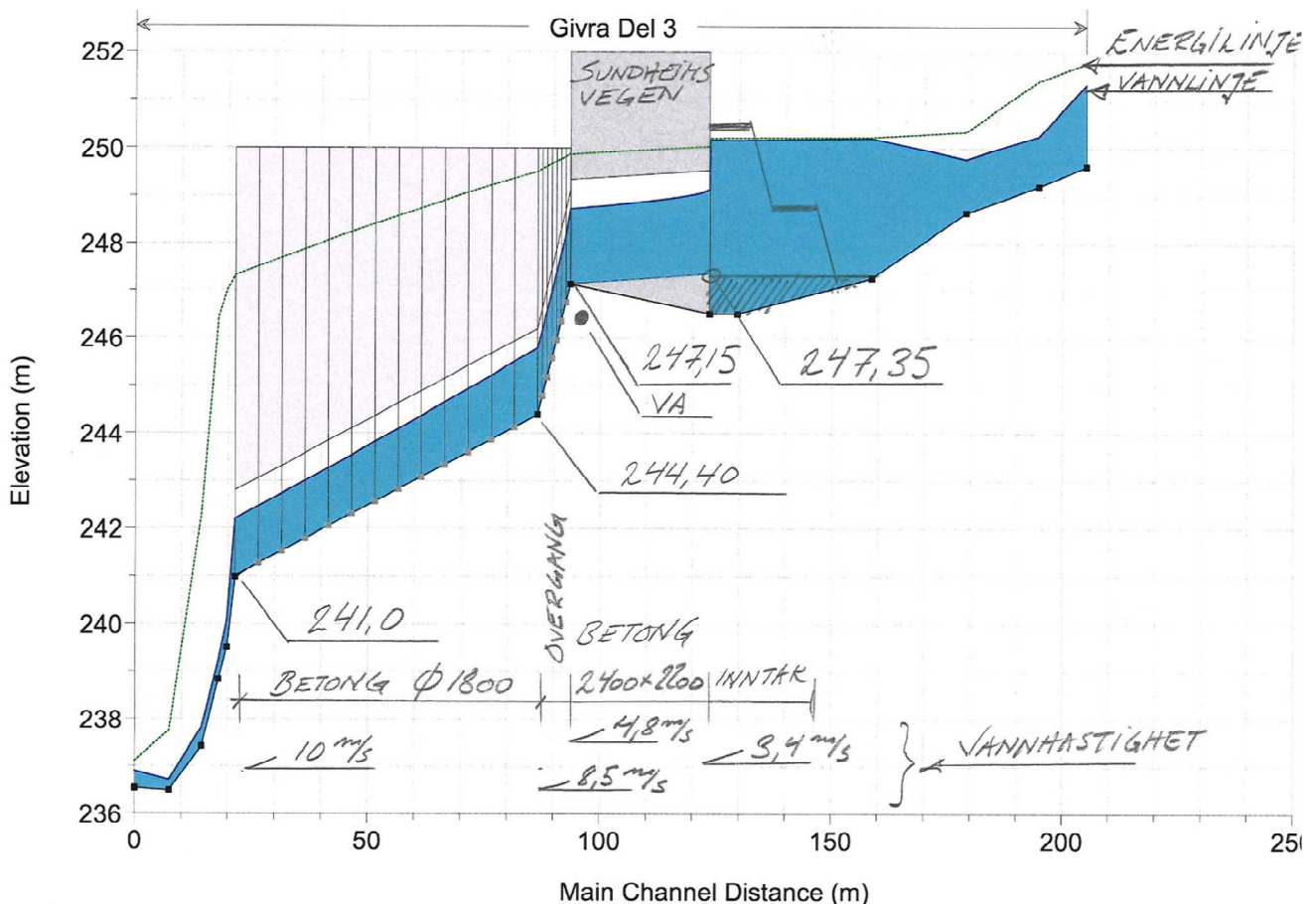
Kapasiteten til bekkelukkingen er kontrollert ved å gjøre en vannlinjeberegning med programmet HEC-RAS.

7.4.1 Forutsetninger

- Endimensjonal, stasjonær beregning.
- Geometri: Se Figur 21
- Ruhet: Betongkulvert: $n = 0.0125$ ($M = 80$)
- Flow regime = mixed flow
- Oppstrøms grensebetingelse = vannføring ($Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Nedstrøms grensebetingelse = vannstand 337 moh.
- Øvre del, rektangulær kulvert, regnes som kulvert med utforming som gitt over.
- Overgang og rør beregnet som tverrprofil med lokk (lid)

7.4.2 Resultat

Figur 21 viser vannlinje og vannhastighet ved $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannstanden oppstrøms Sundheimsvegen er beregnet til 250,2 moh.



Figur 21 Vannlinje for del 3 ($18 \text{ m}^3/\text{s}$) beregnet med HEC-RAS

7.5 Luftinnblanding

Luftinnblanding øker volumet av vannstrømmen. I tillegg kan en innelåst luftlomme gi økt falltap. I begge tilfelle kan kapasiteten bli redusert.

Med åpne rister vil vann dybden foran inntaket være mer enn 2 m og vannhastigheten lav, mindre enn 2 m/s. Det tilsier ubetydelig luftinnblanding.

Hvis nedre ristfelt er tett slik at det fungerer som en terskel, så vil vannet falle gjennom midtre og øvre ristfelt. Vi kan da få betydelig luftinnblanding i inntaket, og luften vil bli transportert inn i kulverten.

7.5.1.1 Avlufting på del 1, fra inntaket til overgangssonen

I kulverten, mellom inntaket og overgang til Ø1800 mm, har vi:

- Hastighet $V = 3,9 - 4,7$ m/s
- Dybde $Y = 1,5$ m
- Lengde $L = 20$ m
- Stigehastighet for bobler ($1 \text{ mm} < d < 10 \text{ mm}$) = 0,15 m/s.
- Tid for å stige fra bunnen til overflaten $t = 10$ sekund.
- Tid fra inntaket til overgang ca. 5 sek.
- Ut fra dette kan vi anta at ca. 50 % av innblandet luft vil avluftes gjennom vannoverflaten før starten av overgangssonen. Resten transporteres videre til den bratte overgangssonen mot rør Ø1800 mm

7.5.2 Transport og avlufting på del 2, overgangssonen

Overgangssonen er dimensjonert for frispelstrømning, men ved dimensjonerende flom, 18 m³/s, og betydelig luftinnblanding som øker volumet, kan denne delen bli vannfylt. Vi har derfor vurdert lufttransporten.

Vurdering:

Areal, $A = 2,5 \text{ m}^2$ ($D = 1,8 \text{ m}$)

Fall i bunnhellingen ca. 1:2

Dimensjonsløs vannføring, $Q^2/(gD^5) = 1,7$

Med denne kombinasjonen av vannføring og helling vil all luft transporteres med strømmen. (Se *Air-Water flow in hydraulic structures*, Eng. monograph no 41, US Dep. of the Interior, 1980, for grenseverdier for lufttransport.)

7.5.3 Transport og avlufting på del 3, rør Ø 1800 mm

Denne delen har frispelstrømning med vann dybde mindre enn ca. 1,5 m. Det er tilstrekkelig areal over vannstrømmen til fri transport av luft.

7.5.4 Luftinnblanding, vurdering og anbefaling

Kulverten er dimensjonert for frispelstrømning, og under normale forhold vil det være fri passasje av luft over vannspeilet.

Dersom nedre del av ristene blir tette kan vi få en foss av fallende vann som drar med seg mye luft inn i inntaket. Ca. 50 % av luften vil frigjøres fra vannet på de første 20 meterne. Luft som fremdeles er i vannet vil bli transportert til del 3 hvor det avluftes til fri overflate.

For å unngå at en luftlomme blir stående i del 1, bør det anlegges et lufterør rett nedstrøms inntaket.

7.5.5 Lufterør

Velger rør D = 250 mm

Med 50 m/s lufthastighet gir det $Q_{\text{luft}} = 0,25^2/4 \cdot \pi \cdot 50 = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Det tilsvarer 14 % av dimensjonerende vannføring. Vi mener dette er tilstrekkelig.

7.6 **Del 3, utløpskonstruksjonen**

Ved utløpet av kulvertøret anlegges en betongkonstruksjon som har flere funksjoner.

- Den utformes for å spre strålen fra utløpet slik at erosjonsbelastningen fordeles over et større område.
- Den skal forankre kulvertutløpet og hindre at det forskyver seg hvis det oppstår setninger i skråningen under røret.
- Den skal sikre god overgang mellom kulvertutløpet og erosjonssikringen ned mot Lågen.
- Den skal holde tilbake jord i skråningen over utløpet.

Figur 22 og Figur 23 viser prinsippskisse av utløpet, men utformingen vil bli detaljert videre ifm. detaljprosjekteringen.

7.7 **Dimensjoneringskriterier, usikkerhet og kapasitetskontroll**

De tre forholdene som vesentlig bidrar til usikkerhet for kulvertens kapasitet er:

- Tilstopping av inntaksristene
- Luftinnblanding
- Stående bølger og struping av innløpet til Ø 1800 rør

Vi forutsetter at kulverten er i sikkerhetsklasse F2 (TEK 17). Den skal i prinsippet dimensjoneres for 200-års flom som er $Q_{200} = 13 \text{ m}^3/\text{s}$, men er dimensjonert for $1,4 \cdot Q_{200} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$. Den har følgelig stor overkapasitet i forhold til kravene i forskriften.

7.7.1 Tilstopping av rister

Ristene har betydelig overkapasitet. $18 \text{ m}^3/\text{s}$ kan avledes selv om hele nedre ristfelt er tett, se avsnitt 6.1.4.

I tillegg er det forutsatt og lagt til rette for at flere ristfelt løftes av ved flom. Det vil minimalisere faren for tilstopping.

7.7.2 Luftinnblanding

Konsekvensene av luftinnblanding er behandlet i avsnitt 7.5. Ved dimensjonerende flom skal det være friskeilstrømning slik at luften kan transporteres over vannspeilet. Som ekstra sikkerhet har vi likevel lagt inn et rør for avlufting rett nedstrøms inntaket.

7.7.3 Stående bølger i overgangen mellom rektangulær kulvert og rør

Ved retningsendring i overkritisk strømning vil det dannes stående bølger som kan redusere kapasiteten hvis tverrsnittet blir fylt.

Det vil dannes stående bølger i overgangen fra rektangulær kulvert til rør. Nøyaktig beregning av bølgehøyden lar seg ikke gjøre med enkle metoder, men vil kreve 3-dimensjonal CFD (numerisk beregning) eller fysisk modell, som er for omfattende for dette prosjektet.

Fordi innsnevringen er moderat 2,2 m til 1,8 m, Froudetallet er relativt lavt (gir små bølger) og fordi kulverten er betydelig overdimensjonert i forhold til kravene i forskriften, mener vi overgangen er tilfredsstillende dimensjonert.

8 Erosjonssikring fra kulvertutløpet til Lågen

8.1 *Valgt løsning for utløpet*

Fra utløpet av betongrøret er det ca. 4 - 5 m høydeforskjell ned til Lågen. Skråningen under utløpet er relativt bratt, ca. 1:1,75.

Ved dimensjonerende flom er vannhastigheten ut av røret ca. 10 m/s. Det gir stor erosjonsbelastning.

Vi anbefaler derfor sikring med stor stein fra utløpet og et stykke ut i Lågen, som vist på Figur 22 og Figur 23. Vi har ikke gode metoder for å beregne denne typen erosjonssikring, så utformingen må delvis baseres på skjønn.

Under utløpet må det plastres med stein som er så stor som praktisk mulig, ca. 1 til 1,5 m³ (2500 kg – 4000 kg). Steinen settes med lengste akse (ca. 2 m) normalt på visflaten.

Mellom steinene gyses det med betong til ca. 0,5 meter under toppen av plastringen. Det vil øke stabiliteten og hindre utvasking av underliggende masse.

Plastringen legges i bue for å oppnå ytterligere stabilisering gjennom hvelvirkning.

Plastringens overflates gis trinn for å øke friksjonen og dissipere energi.

Under plastringen legges et filterlag av pukkk mot underlaget og en overgangssone av grovere stein mot plastringen.

For å sikre kanten av plastringen mot undergraving legges det en stripe, på 3 m, med lettere sikring mellom plastringen og terrenget rundt.

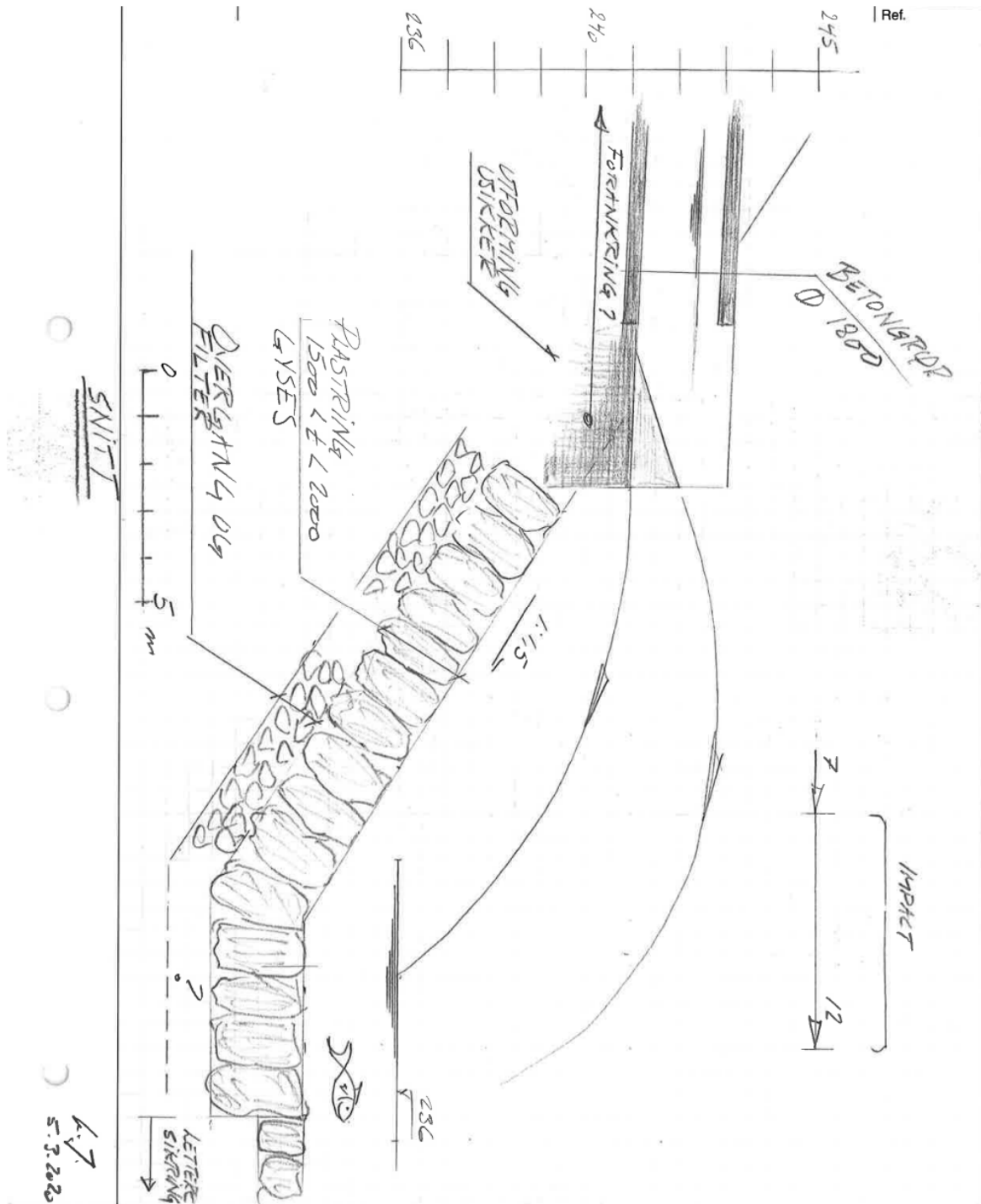
8.2 Flom og erosjonsfare fra Lågen

Sikringen er dimensjonert for vannhastighet som er mye større enn hastigheten i Lågen under flom. Sikringen skal derfor tåle den direkte belastningen fra Lågen.

Sikringen kan likevel bli skadet pga. bunnsenkning i Lågen, og påfølgende undergraving. Lågen kan også grave i den usikrede bredden langs kanten av sikringen, slik at sikringen destabiliseres.

Undergraving er motvirket ved å senke bunnsikringen godt ned i elvebunnen. Graving i kantene er motvirket ved å legge en kant av lettere sikring rundt hovedsikringen.

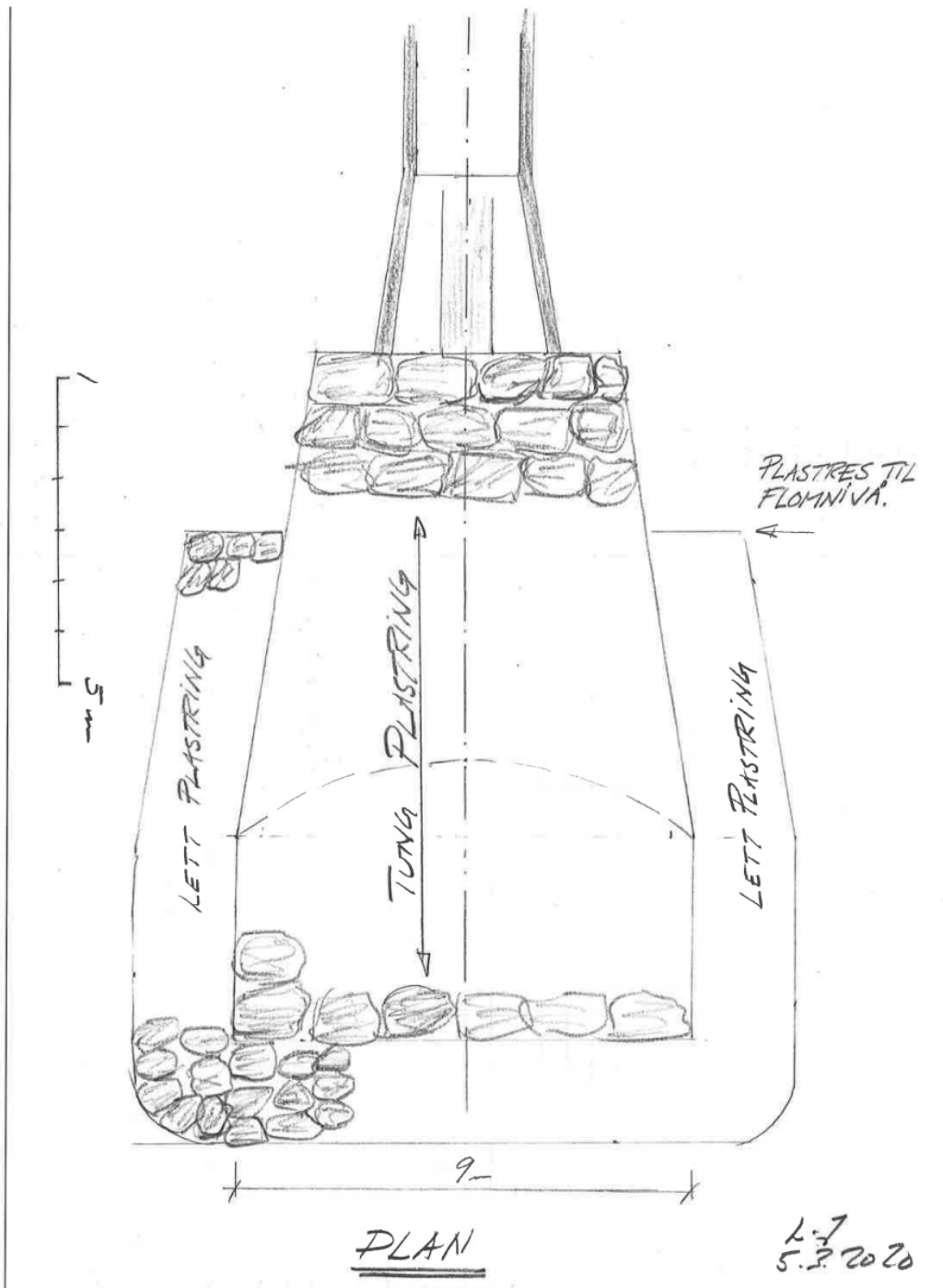
Elvebunn og bredder er i stadig endring. Sikringen bør derfor inspiseres etter stor flom. Ettersikring og reparasjon kan bli nødvendig.



Figur 22 Sikring ved kulvertutløp til Lågen, lengdesnitt (prinsipp)

Notat

Oppdragsgiver: Nord-Fron kommune
Oppdragsnr.: 5172950 Dokumentnr.: N-15



Figur 23 Sikring ved kulvertutløp til Lågen, plan (prinsipp)

8.3 Alternative løsninger for utløpet

I tillegg til plastring med stein, som beskrevet i forrige avsnitt, vurderte vi også:

Føre betongrøret helt ned til Lågen?

Fordi skråningen ned til Lågen er ca. 14 m høy vil graving helt ned til utløpet gi et svært stort inngrep. bredden ved toppen av grøften ville blitt ca. 45 m. Vi valgte derfor å legge utløpet på samme nivå som dagens utløp.

Betongtrapp eller betongrenne nedstrøms utløpet?

Det ble vurdert å bygge en betongrenne fra rørtløpet og ned til Lågen. Det ville gitt en vassdragsteknisk tilfredsstillende løsning, men hadde også flere ulemper.

- En stor betongtrapp ned mot Lågen er mer skjemmende enn en løsning med naturstein.
- Støping av nedre del, ute i Lågen, vil kreve bygging av fangdam eller undervannstøp, begge deler ugunstig.
- En betongrenne er lite fleksibel til å ta opp setninger i den bratte skråningen.
- Det vil uansett være nødvendig å erosjonssikre med stein rundt nedre del av rennen.

J02	2020-04-29	For bruk	Lars Jenssen	Daniel Fossberg	Tor Jostein Furu
B01	2020-04-16	Foreløpig. For informasjon & kommentarer	Lars Jenssen	Ikke fagkontrollert	Tor Jostein Furu
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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