
RAPPORT

FLOMSIKRING SOKNA FASE 2

HYDRAULISK BEREGNING OG KONSTRUKSJON AV INNTAKSLØSNING

SLUTTRAPPORT



Kunde:	Sokndal kommune
Prosjekt:	Flomsikring Sokna Fase 2
	Hydraulisk beregning og konstruksjon av inntaksløsning
Prosjektnummer:	10218293
Dokumentnummer:	10218293-RA-01 Rev 00
Dato:	15.01.2021

Sammendrag

Områdene langs nedre del av Sokna er svært flomutsatt og det har derfor over flere år vært arbeidet med mulige løsninger for å flomsikre området. Med utgangspunktet i slike studier er det valgt å gå videre med å utrede en løsning med en tunnel som leder flomvann fra et inntak ved Prestbru i Sokna til et utløp i Jøssingfjorden.

Det er igangsatt et forprosjekt for å videreutvikle dette konseptet. Fase 1 vurderte forskjellige utforminger og løsninger omkring tunnelen og konkluderte med at det var mulig å finne løsninger som fungerte tilfredsstillende. I fase 2 er det nå gjort videre vurderinger av vannstrømningen ved inntak, tunnel og utløp. Flere alternative utforminger ved disse konstruksjonene ble undersøkt og et alternativ (Alternativ 3.1) ble valgt for mer detaljerte hydrauliske vurderinger.

Alternativet som er valgt er en dyr løsning å bygge, men sikrer enkel adkomst for inspeksjon og eventuelt vedlikehold.

Det er beregnet vannstander ved Prestbru ved 200-årsflom med klimapåslag samt ved enkelte andre vannstander. De hydrauliske simuleringene viser at den valgte løsningen sannsynligvis vil fungere godt og at det er relativt liten fare for at det skal bygge seg opp sedimenter i tunnelen i driftsfasen under flom. Ved bruk av tunnelen ved mindre vannføringer (mindre enn 5-årsflom), vil det imidlertid kunne antas noe sedimentering. Det anbefales derfor å utarbeide rutiner for hvordan lukene skal styres på delåpninger for å unngå sedimentering. Dette bør bestemmes ut fra analyser av sedimenttransport sett opp mot behovet for å sende ca.100 m³/s eller mindre i Sokna som minstevannføring.

Undersøkelser av sedimenttransporten er også viktig for å avgjøre om det kan benyttes andre tunnellsøsninger som vil være billigere å bygge siden delvis eller helt dykkede tunneler kan utnytte mer av den tilgjengelige fallhøyden enn den valgte løsningen gjør.

Det anbefales å se på om det går an å gjøre tiltak som kan redusere eller fjerne sedimenttransporten i elva slik at man kan bygge en delvis eller helt dykket tunnel.

Det anbefales å utføre vannføringsmålinger i alle tilførselselver oppstrøms Prestbru og for vannføringen i Sokna gjennom Sogndalsstranda for å skaffe til veie et godt grunnlag for flomberegninger. Målingene bør minimum utføres over en periode på 2 år.

Det anbefales også å utføre kalibreringsmålinger hvor vannstand og vannføring måles samtidig. Målingen vil gi bedre kunnskap av hvor stor vannføring sentrum tåler før det blir problemer.

Eventuelle sedimenter som legger seg oppstrøms inntaket bør fjernes etter hvert. Spesielt under Åmodtsbrua er det viktig å fjerne sedimenter som bygger seg opp, for å redusere flomproblemene i områdene oppstrøms Åmodtsbrua.

Utarbeidet av: Hilde Marie Kjellesvig Samuel Vingerhagen	Sign: 
Kontrollert av: Samuel Vingerhagen Agnar Theodorsen	Sign: 
Godkjent av: Hilde Marie Kjellesvig	Sign:
Prosjektleder: Hilde Marie Kjellesvig	Prosjekteier: Anne Christiansen Bjørkenes

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.1.1	Flomproblematikken i Sokna	1
1.1.2	Tidligere utredninger	1
1.2	Formål	2
1.3	Alternativer i forprosjektet	2
2	Metoder og forutsetninger	2
2.1	Hydrologi	2
2.2	Ingeniørgeologi	3
2.3	Hydraulikk	3
2.4	Naturmiljø og kulturminner	3
2.5	Kostnadsvurdering	3
3	Tekniske løsninger benyttet i prosjektet	3
3.1	Obermeyer-luker	3
3.2	Segment luke	5
4	Flomsikring med flomtunnel, alternativ 3.1	6
4.1	Innledning	6
4.2	Teknisk beskrivelse	7
4.2.1	Inntak	7
4.2.2	Stengsel i Sokna	7
4.2.3	Tunnel	7
4.2.4	Utløp	7
4.3	Kostnader for alternativet	7
4.3.1	Kostnader inntak	7
4.3.2	Kostnader tunnel	8
4.4	Vurdering av konsekvenser	8
4.4.1	Hydrologi og hydraulikk	8
4.4.2	Naturmiljø	8
4.4.3	Landskap	9
4.4.4	Kulturminner/kulturmiljø	9
4.4.5	Sedimenter	9
4.4.6	Allmenn sikkerhet	9
5	Konklusjon og forslag til videre arbeid	10

6	Vedlegg	11
7	Referanser	11

Vedlegg

- Vedlegg 1 - Illustrasjoner av valgt alternativ
- Vedlegg 2 – Usikkerhet i hydraulisk modell. 10218293-RiVass_NOT_001_00
- Vedlegg 3 – Vannlinjenotat mulige utforminger av inntak tunnel og utløp. 10218293-RiVass_NOT_002_00
- Vedlegg 4 – Informasjon tunnelgeometri for de ulike alternativene. 10218293-RiVass_NOT_003_00
- Vedlegg 5 – Ulemper, fordeler og kostnader for forskjellige tunnelalternativer. 10218293-RiVass_NOT_004_00
- Vedlegg 6 – Vannlinjenotat utforming 3.1, Inntak, tunnel og utløp. 10218293-RiVass_NOT_005_00
- Vedlegg 7 - Grunnlag for kostnadsberegning inntakskonstruksjon. 10218293-NOT_006_00

RAPPORT

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Områdene i Hauge i Dalane i Sokndal kommune langs nedre del av Sokna er svært flomutsatt. Det har derfor over flere år vært arbeidet med å finne løsninger på flomproblematikken. Vurderingene har så langt konkludert med en løsning hvor flomvannet føres i gjennom en tunnel fra Sokna og ned til Jøssingfjord. I disse studiene er omtrentlig plassering av tunnel og omtrentlig kapasitet angitt.

Det er igangsatt et forprosjekt hvor Fase 1: *Skissefase tunnel inkludert hydrauliske beregninger og ingeniørgeologi* er gjennomført se rapport Asplan Viak, 2020.

Sweco er engasjert av Sokndal kommune for å utføre Fase 2a: *Hydrauliske undersøkelser av tunnellsøsning med innløp, tunnel og utløp*, samt Fase 2b: *Detaljert løsningsforslag for inntaksløsning, tunnel og utløp*. I påfølgende rapport er resultater fra Fase 2a og 2b oppsummert.

Videre er ytterligere 2 faser i forprosjektet planlagt: Fase 3: *Detaljert ingeniørgeologi* og Fase 4: *Eventuell fysisk eller 2d modell av inntaksløsning*.

1.1.1 Flomproblematikken i Sokna

Områdene langs Sokna, spesielt nedstrøms samløpet av Litlå og Sokna er svært utsatt for flom. Dette påvirker blant annet sentrum i Sokndal kommune, Hauge i Dalane. For å forhindre flomskader er det gjennomført beregninger av Blasy og Dr. Øverland [1] som viser at ved en 200 årsflom så bør minimum 240 m³/s av flomvannet føres ut av vassdraget før disse områdene nåes. Samtidig er det forutsatt at en vannføring på 100 m³/s opprettholdes i det opprinnelige elveløpet.

1.1.2 Tidligere utredninger

I 2015 ble det gjennomført et skisseprosjekt av Sweco hvor en rekke alternative lokaliseringer med hensyn til innløp, tunneltrase og utløp for en flomtunnel ble identifisert [3].

Ingeniørgeologiske vurderinger ble deretter gjennomført av Sweco i 2017 for to av tunellalternativene [3]. Basert på dette gjennomførte Sweco senere samme år en utredning med hensyn til inntakskonstruksjoner samt vurdering av de to alternative tunneltraseene B3 og E2 [4]. Denne vurderingen konkluderte med at begge løsningene var teknisk gjennomførbare, men at tunnelene må være noe lengre enn først antatt, må ha større flomavledningskapasitet samt større tunneltverrsnitt.

I 2018 ble det laget et planprogram for detaljregulering Sokna Del 1 – Flomtunnel Prestbro – Jøssingfjord [5]. Dette arbeidet ble gjennomført av Prosjektil Areal AS.

I 2019 utarbeidet NVE reviderte flomberegninger for Sokna [2].

Dr. Blasy & Dr. Øverland utarbeidet i 2019 et notat [1] som vurderer inntaket og hvilken kapasitet dette bør ha.

Fase 1 i forprosjektet til Flomsikring Sokndal ble deretter gjennomført av Asplan Viak [6]. I fase 1 ble forskjellige prinsipp for tunnelen er vurdert. Det ble konkludert med at løsningen vil fungere og at det anbefales friskepeisstrømning i tunnelen.. Det er gjort innledende geologiske vurderinger som konkluderer med at konvensjonell drivemetode med boring og sprengning er anbefalt. Det er så gitt anbefalinger om en rekke momenter som bør undersøkes videre i senere planfaser.

1.2 Formål

Fase 2 har som formål å gjennomføre hydrauliske undersøkelser av tunnelløsning med innløp, tunnel og utløp for å identifisere en utforminger som kan fungere samt belyse eventuelle fordeler og ulemper ved de forskjellige løsningene. Basert på dette utarbeides det et detaljert løsningsforslag for en valgt løsning med hensyn til inntak, tunnel og utløp.

1.3 Alternativer i forprosjektet

I fase 2 er kun alternativet med inntak nær Prestbru, tunnel og utløp i Jøssingfjorden utredet.

Ved oppstart av Fase 2 framla Sweco en alternativ løsning basert på erfaringer fra andre nylig gjennomførte flomsikringsprosjekteralternativ. Hovedtanken var å ta ut flomvannføring lenger oppe i delfeltene. Skisser til dette ble presentert i mail til kommunen 04.06.2020. Etter diskusjon mellom kommunen og NVE ble det besluttet at videre utredning av et slikt alternativ ikke var ønskelig å prioritere i denne omgang, og at det i Fase 2 kun skulle sees på alternativet Prestbru - Jøssingfjord.

Med utgangspunkt i dette ble alternativer med inntak i området rett oppstrøms og nedstrøms Prestbru vurdert. Videre ble forskjellige løsninger for sedimenthåndtering, lukestyring, type tunnelstrømning, samt nivå ved innløp og utløp vurdert. En oversikt over hvilke alternativer som er vurdert er gitt i Vedlegg 4 og en nærmere beskrivelse av de forskjellige alternativene er gitt i kapittel 2 i Vedlegg 5.

2 Metoder og forutsetninger

Vurderingene som er gjennomført i Fase 2 baserer seg på informasjon fra en rekke fagfelt.

2.1 Hydrologi

Flomverdiene som er benyttet er hentet fra NVE sine reviderte flomberegninger for Sokna [2]. Det er i beregningene tatt utgangspunkt i en flom med 200 års gjentakintervall samt anbefalt klimapåslag på 20% ($Q_{200} + \text{klimapåslag}$). Det er videre hensyntatt anbefalingen som gitt av i Dr. Blasy og Dr. Øverland [1] med hensyn til at maksimal vannføring i Sokna nedstrøms Prestbru er $100 \text{ m}^3/\text{s}$, og at resterende flomvannføring dermed må avledes i flomtunnelen.

2.2 Ingeniørgeologi

Det er tatt utgangspunkt i tidligere gjennomførte geologiske vurderinger beskrevet i [3] og [7]. I tillegg deltok en ingeniørgeolog på befaring ved oppstart av prosjektet hvor området ved Prestbru ble befart. Det er ikke gjort vurderinger ut over dette ettersom slike vurderinger planlegges gjennomført i Fase 3 i forprosjektet.

2.3 Hydraulikk

De hydrauliske beregningene er gjennomført i et 2-dimensjonalt hydraulisk beregningsprogram. I programmet er flomverdier, grensebetingelser, topografi og ruhet lagt inn. En nærmere beskrivelse av programmet og hvilke inngangsverdier som er benyttet er beskrevet i notat, se Vedlegg 3 og 6. Disse to vannlinjenotatene beskriver beregningene som er gjennomført i henholdsvis Fase 2a og 2b.

Hydrauliske beregninger innehar alltid noe usikkerhet, en vurdering av usikkerheten ved beregningene i Sokna er oppsummert i Notat, se Vedlegg 2. I etterkant av dette notatet ble enkelte nye vurderinger omkring usikkerhet gjennomført, dette er beskrevet i de to vannlinjenotatene.

2.4 Naturmiljø og kulturminner

Det har i denne fasen ikke vært involvert fagspesialister innen disse fagfeltene, men der hvor vi allerede nå ser at det typisk kan foreligge problemstillinger er dette kommentert med anbefaling om videre undersøkelser.

2.5 Kostnadsvurdering

Basert på erfaringstall er det utarbeidet grove kostnadsoverslag. Et slikt overslag ble i Fase 2a utarbeidet for de forskjellige alternativene. Disse overslagene inneholdt ikke alle kostnadene, men fokuserte på differansen mellom de forskjellige alternativene. Denne vurderingen er presentert i Vedlegg 5.

I Fase 2b er det utarbeidet et grovt kostnadsoverslag basert på erfaringstall for det valgte alternativet. Resultatene av vurderingen er presentert i avsnitt 4.3.

3 Tekniske løsninger benyttet i prosjektet

3.1 Obermeyer-luker

Obermeyer-luker kan beskrives som en serie med stålplater som på nedstrøms side støttes opp av oppblåsbare luft-pølses. Ved å kontrollere trykket i "pølsene" kan vannstanden reguleres trinnløst innenfor lukesystemets høyeste og laveste vannstand. Når lufttrykket reduseres vil stålskjoldet automatisk legge seg ned slik at vannet strømmer over.

Obermeyer-lukene settes på et betongfundament og forankres til betongen med rustfrie stålankere. Luftpølsene er festet i stålankerene og koblet til lufttilførsel via rør som kan støpes inne i betongfundamentet. Luftrørene går til et eller flere lukehus hvor det står

kompressorer koblet til strømtilførsel. Normalt vil systemet være tett, og kompressoren vil kun opereres i forbindelse med justering av lukene.

I overgangen mellom de ulike stålplatene legges neopren som tetting og anslag for neste luke. Lukeseksjonene kan deles opp med betongpilarer ved retningsendringer. Pilarene kan benyttes til å støtte overliggende konstruksjoner.

Fordeler:

- Stålplatene dekker de underliggende luftpølsene i alle posisjoner og beskytter dem mot is, tømmerstokker og annet drivgods.
- Lukene kan reguleres trinnløst avhengig av behovet.
- Lukene har ingen høypresisjonsdeler eller lager som gir et begrenset vedlikeholdsbehov over tid
- Det er kun luft som benyttes til regulering, ingen hydrauliske væsker eller andre forurensende komponenter.
- De ulike luftpølsene er atskilt fra hverandre med sikkerhetsventiler eller separate rør slik at om det oppstår skade på en vil det ikke påvirke de andre.

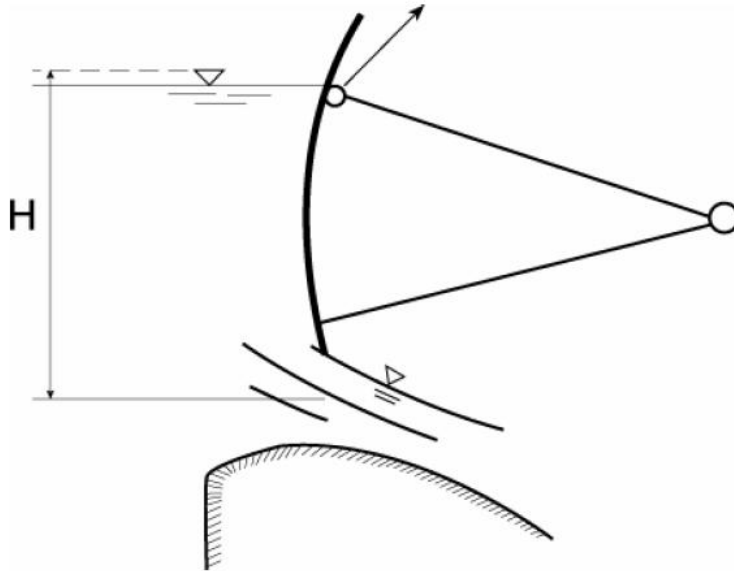
De lukene som er knyttet til den samme lufttilførselen vil ha samme høyde på toppen. Seksjoner med ulik lufttilførsel kan opereres uavhengig av hverandre. Lukene kan opereres lokalt og de kan fjernstyres.



Figur 1: Obermeyer luke. Ved venstre luke kan den oppblåste gummipølsen sees med lukebladet liggende over. Luken til høyre er noe senket slik at vann renner over (foto: Obermeyer Hydro, Inc.)

3.2 Segment luke

Segmentluker er en type reguleringsluke bestående av en krummet frontplate som i lukket posisjon står ned mot en terskel. Ved åpning vil luken åpnes gradvis og vann vil strømme under luka.



Figur 2: Prinsippskisse av en segmentluke (figur hentet fra NVE)

4 Flomsikring med flomtunnel, alternativ 3.1

4.1 Innledning

Det aktuelle alternativet er visualisert ved hjelp av en 3d-modell. Nedenfor er en oversikt av tiltaket vist. Ytterligere illustrasjoner er vist i Vedlegg 1.



4.2 Teknisk beskrivelse

Nedenfor er det gitt en kort oppsummering av alternativ 3.1, en mer detaljert beskrivelse kan finnes i vannlinjenotatet, se Vedlegg 5.

4.2.1 Inntak

Inntaket er lokalisert oppstrøms Prestbru. Rett oppstrøms inntaket og under Åmodtsbrua er bunnen senket til kote 5. Overgangen fra elva og inn mot tunnelen er avrundet for å bedre strømningsmønsteret og redusere falltap. Det er tenkt etablert en lav terskel ved innløpet for å redusere sedimentinnstrømningen gjennom tunnelen og etablere et lite oppsamlingsbasseng for sedimenter oppstrøms inntaket. Vannstrømningen inn i tunnelen reguleres ved hjelp av en segmentluke.

4.2.2 Stengsel i Sokna

For å sikre tilstrekkelig vannstrømning inn i tunnelen er det behov for å heve vannstanden oppstrøms inntaket i flomsituasjoner. Dette planlegges gjort ved at det etableres en senkbar luke av typen Obermeyer eller liknende i Sokna rett oppstrøms Prestbru. Ved normale vannføringer vil luka ligge nede og da jevnt med eksisterende elvebunn. Ved behov for å føre vann inn i tunnelen kan luka heves. Vannstanden vil da heves tilsvarende i områdene oppstrøms inntil ønsket vannmengde renner inn i inntaket og videre gjennom tunnelen til Jøssingfjord.

4.2.3 Tunnel

Det er planlagt en ca. 3 km lang tunnel til Jøssingfjord. Tunnelen bygges som en tunnel med frspeilsstrømning. Bredden til tunnel er beregnet å være 14,5 meter med et tverrsnitt på ca. 90 m². Det er forutsatt betongsåle. Tunnelbunnen ligger i innløp på kote 5 og ved utløpet på kote 0. Tunnelen utnytter ikke hele fallhøyden og er lagt på kote 0 i utløpet for å sikre enkel adkomst for inspeksjon og eventuelt vedlikehold.

4.2.4 Utløp

Utløpet er lokalisert i Jøssingfjord. Ved lokalisering er det hensyntatt at tiltaket ikke skal være synlig fra Heleren.

4.3 Kostnader for alternativet

Totale kostnader for tunnel med inntak og luker er estimert til ca. rett i underkant av 450 millioner NOK. Spesifisering av kostnadene finnes i Vedlegg 7. Nedenfor er det gjort en enkel oppstilling av hovedkostnadspunktene.

4.3.1 Kostnader inntak

Lukedam i Sokna:	27 500 000
Inntak med bru og segmentluke	52 000 000

Senkeing av elvebunn foran inntak	3 000 000
-----------------------------------	-----------

4.3.2 Kostnader tunnel

Tunnel	256 000 000
Transport av masser (5-8 km)	52 000 000
Støpt betongsåle	58 000 000

4.4 Vurdering av konsekvenser

4.4.1 Hydrologi og hydraulikk

De hydrauliske beregningene viser at etter gjennomføring av tiltaket vil vannstanden rett oppstrøms Prestbru bli ca. 10,1 – 10,2 moh. under en 200-årsflom med klimapåslag. I en slik situasjon vil vannføringen i flomtunnelen være 240 m³/s og vannføringen i Sokna ned mot sentrum vil være 100 m³/s.

Vannstanden oppover i Litlå er også beregnet til å kunne reduseres til opp mot 0,6 meter i forhold til vannstand uten tiltak. Dette forutsetter at elvebunnen i området ved og under Åmotsbrua senkes til kote 5. Hvor langt oppover denne senkningen har effekt er noe usikkert som følge av manglende data med hensyn til elvebunnen samt manglende data for å kalibrere modellen i det aktuelle området.

Det er gjennomført hydrauliske beregninger for å vurdere vannstand oppstrøms Prestbru ved forskjellige vannføringer samt konsekvenser ved en eventuell lukesvikt ved Obermeyerlukene rett oppstrøms Prestbru. Resultater av disse beregningene kan finnes i Vedlegg 6.

4.4.2 Naturmiljø

Tiltaket vil kunne ha påvirkning på naturmiljøet både under bygging og drift. Det er viktig at dette undersøkes videre av eksperter innen dette fagfeltet.

Det antas at blant annet fisk og elvemusling må hensyntas under bygging. Det må også utarbeides plan for hvordan disse tas hensyn til når området oppstrøms inntaket må tømmes for sedimenter.

Elvebunnen i området oppstrøms inntaket er forutsatt senket, utforming av elvebunnen etter senkning, blant annet materialbruk, betong eller steinbunn må vurderes i forhold til konsekvensene for fisk i området.

Under bygging av tunnelen vil det være behov for et massedeponi for lagring av sprengstein dersom det ikke finnes måter å nyttiggjøre seg disse massene på. Massene kan lagres på land eller eventuelt i havet. Dersom det vurderes lagring i havet er Jøssingfjorden eller Dyngadjupet aktuelle lokaliteter som følge av avstand til disse områdene. Disse områdene er imidlertid allerede benyttet / i bruk / under utredning som mulige områder for fremtidig deponi for Titania. En videre vurdering av disse områdene

som mulig område for lagring av sprengstein må derfor hensynta og koordineres i samråd med Titania sine pågående utredninger.

4.4.3 Landskap

Ved inntaket vil planlagt tiltak medføre endringer i landskapet ved at det etableres en skjæring inn mot tunnelen. Videre må det bygges en ny bru over skjæringen for fv 44.

Det vil plasseres en segmentluke i området mellom den nye veibrua og tunnelinnløpet samt Overmeyerluker oppstrøms Prestbru. Sistnevnte vil ved normalvannføring ligge flatt langs elvebunnen og være lite synlig i en slik stilling.

Bunnen i området oppstrøms inntaket er planlagt senket. Dette tiltaket vil ikke være synlig i større grad, da det er lokalisert under vannflaten.

Utløpet er lokalisert ved Jøssingfjorden slik at det ikke er synlig fra Hellenen.

Det er utarbeidet illustrasjoner av tiltaket, se Vedlegg 1.

4.4.4 Kulturminner/kulturmiljø

Rett nedstrøms Prestbru er det lokalisert et eldre brukar som er klassifisert som et fornminne. Det valgte tiltaket antas ikke å berøre det nevnte brukaret.

4.4.5 Sedimenter

Det er knyttet stor usikkerhet til sedimenttransporten i tilførselselvene oppstrøms inntakspunktet. Usikkerheten knyttet til sedimenttransporten er hovedårsaken til at man har gått for en dyr løsning med betongdekke på bunnen i tunnelen og ikke utnyttet hele fallhøyden som er tilgjengelig. Hvis det kan gjøres tiltak som fjerner sedimenttransporten i elva, eller det kan dokumenteres at de aktuelle sedimentene vil transporteres gjennom f.eks. en delvis en helt eller delvis dykket tunnel. Kan man bygge en tunnel som utnytter mer av fallhøyden og som er billigere å bygge.

I situasjoner hvor vannføringen i tunnelen er lavere enn ca.50 m³/s, vil vannhastighetene i tunnelen være såpass lave at det er fare for at sedimenter kan legge seg igjen i tunnelen. Det er derfor anbefalt å utføre undersøkelser av sedimenttransporten som sørger for at lukene opereres på en best mulig måte for å sikre at det ikke sedimenterer i tunnel samt at det føres tilstrekkelige mengder med vann nedover i Sokna.

4.4.6 Allmenn sikkerhet

Inntak av vann vil alltid medføre en risiko for uønskede hendelser ved at personer eller andre objekter kan dras inn mot inntaket og i verste tilfelle følge med flomvannet gjennom tunnelen. Det vil derfor være viktig å etablere tiltak som reduserer sannsynligheten for slike uønskede hendelser. Tiltak kan være lenser oppstrøms inntaket, skilting, varsling ved regulering av lukene, overvåkning, samt sperrer for å forhindre atkomst inn i tunnelen fra utløpet i Jøssingfjord. Det anbefales at det utarbeides en plan for dette.

I Vedlegg 6 er konsekvenser av feilmanøvrering eller havari av Obermeyer-lukene diskutert. Det anbefales å se nærmere på konsekvensene av slike situasjoner.

5 Konklusjon og forslag til videre arbeid

Simuleringene viser at den valgte løsningen sannsynligvis vil fungere godt og at det er relativt liten fare for at det skal bygge seg opp sedimenter i tunnelen i driftsfasen. Det er mulig å gjøre flere undersøkelser som kan redusere både kostnader og usikkerhet i prosjektet.

Det anbefales at det gjøres undersøkelser av sedimenttransporten i elva for å finne ut hvilke fraksjoner og mengder som blir transportert ved forskjellige flomstørrelser. Hvordan lukene skal styres på delåpninger bør bestemmes ut fra analyser av sedimenttransport sett opp mot behovet for å sende ca.100 m³/s eller mindre i Sokna som minstevannføring.

Undersøkelser av sedimenttransporten er også viktig for å avgjøre om det kan benyttes andre tunnellsninger som vil være billigere å bygge siden delvis eller helt dykkede tunneler kan utnytte mer av den tilgjengelige fallhøyden enn den valgte løsningen gjør.

Det anbefales å se på om det går an å gjøre tiltak som kan redusere eller fjerne sedimenttransporten i elva slik at man kan bygge en delvis eller helt dykket tunnel

Det anbefales å utføre vannføringsmålinger i alle tilførselselver oppstrøms Prestbru og for vannføringen i Sokna gjennom Sogndalsstranda for å skaffe til veie et godt grunnlag for flomberegninger. Målingene bør minimum utføres over en periode på 2 år.

Det anbefales også å utføre kalibreringsmålinger hvor vannstand og vannføring måles samtidig. Målingen vil gi bedre kunnskap av hvor stor vannføring sentrum tåler før det blir problemer.

Eventuelle sedimenter som legger seg oppstrøms inntaket bør fjernes etter hvert. Spesielt under Åmodtsbrua er det viktig å fjerne sedimenter som bygger seg opp, dette for å redusere flomproblemene i områdene oppstrøms Åmodtsbrua.

Videre anbefales det å gjøre undersøkelser innen de fagfelt som ikke er innbefattet i Fase 2, som geologiske vurderinger av tunneltraseen, vurderinger omkring natur/miljø og massedeponering.

Den valgte tunnellsningen kan være egnet som vei til Jøssingfjorden, det anbefales å utrede om tunnelen kan brukes i kombinasjon med en gang og sykkelvei til Jøssingfjorden, eller eventuelt en bilvei til Jøssingfjorden.

6 Vedlegg

- Vedlegg 1 - Illustrasjoner av valgt alternativ
- Vedlegg 2 – Usikkerhet i hydraulisk modell. 10218293-RiVass_NOT_001_00
- Vedlegg 3 – Vannlinjenotat mulige utforminger av inntak tunnel og utløp. 10218293-RiVass_NOT_002_00
- Vedlegg 4 – Informasjon tunnelgeometri for de ulike alternativene. 10218293-RiVass_NOT_003_00
- Vedlegg 5 – Ulemper, fordeler og kostnader for forskjellige tunnelalternativer. 10218293-RiVass_NOT_004_00
- Vedlegg 6 – Vannlinjenotat utforming 3.1, Inntak, tunnel og utløp. 10218293-RiVass_NOT_005_00
- Vedlegg 7 - Grunnlag for kostnadsberegning inntakskonstruksjon. 10218293-NOT_006_00

7 Referanser

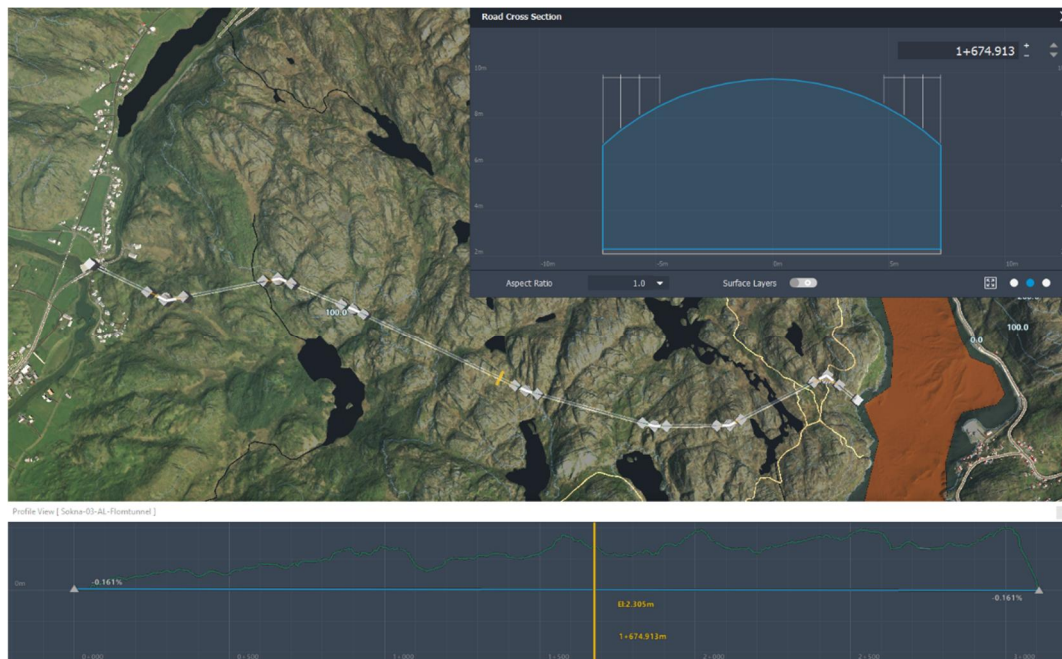
- [1] Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure, «Flomsonekart – Delprosjekt Sokndal,» Norges vassdrags- og energidirektorat, Eching am Ammersee, 2020.
- [2] S. Hernes, «Sokndal kommune. Flomavledning i Sokna. Skisseprosjekt,» 2015.
- [3] K. H. Skaug, «Forprosjekt for flomløpstunnel ved Sokna. Ingeniørgeologisk vurdering av tunnelalternativer,» Sweco, 2017.
- [4] S. Hernes, «Sokndal kommune - Flomavledning i Sokna. Tillegg til skisseprosjekt, Sweco 06.10.2015. Utredning om inntakskonstruksjoner, samt vurdering av to alternativer for tunneltase, B3 og E2,» Sweco, 2017.
- [5] C. Bø og T. Heskestad, «Planprogram for "Detaljregulering Sokna Del 1, Flomtunnel Prestbru - Jøssingfjord", Sokndal kommune,» Prosjektil Areal AS, 2018.
- [6] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Revidert flomberegning for Sokna (026.4Z),» Norges vassdrags- og energidirektorat, 2019.
- [7] J. B. Zeigler, T. M. Eidset og L. E. Friestad, «Flomsikring Sokndal - Forprosjekt flomtunnel FASE 1,» Asplan Viak, 2020.
- [8] S. Vingerhagen og H. M. Kjellesvig, *Vannlinjenotat Mulige utforminger av inntak tunnel og utløp, 10218293-RiVass-NOT-002*, Sweco, 2021.
- [9] S. Vingerhagen, *Informasjon tunnelgeometri for de ulike alternativene, 10218293-RiVass-NOT-003*, Sweco, 2020.
- [10] S. Vingerhagen og H. M. Kjellesvig, «Fordeler ulemper og kostnader forskjellige alternativer, 10218293.RiVass-NOT-004,» Sweco, 2020.
- [11] N. Homme, *Geometridata på vei og gangbruer, 6.aug.2020*.
- [12] Parker Maritime AS, «Kartlegging ved kaier i Jøssingfjord,» Parker Maritime AS, 2015.

Vedlegg 1

Illustrasjoner av alternativ 3.1



Oversikt over tiltaksområdet



Tunnel med profil og tverrsnitt



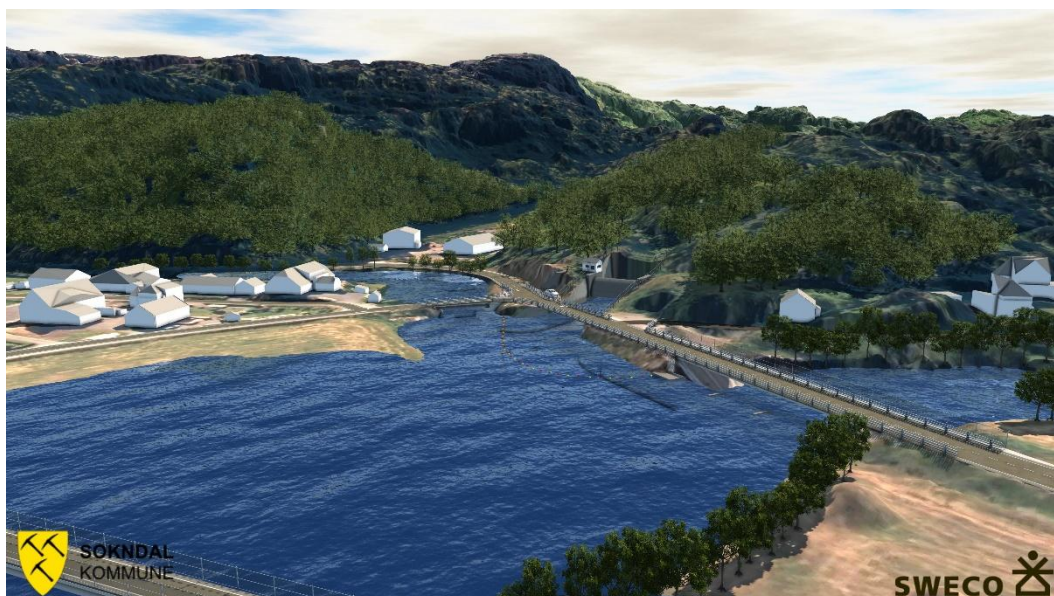
Inntaksområdet



Inntaket med vannstand på kote 7



Inntaksområdet uten vann i elva

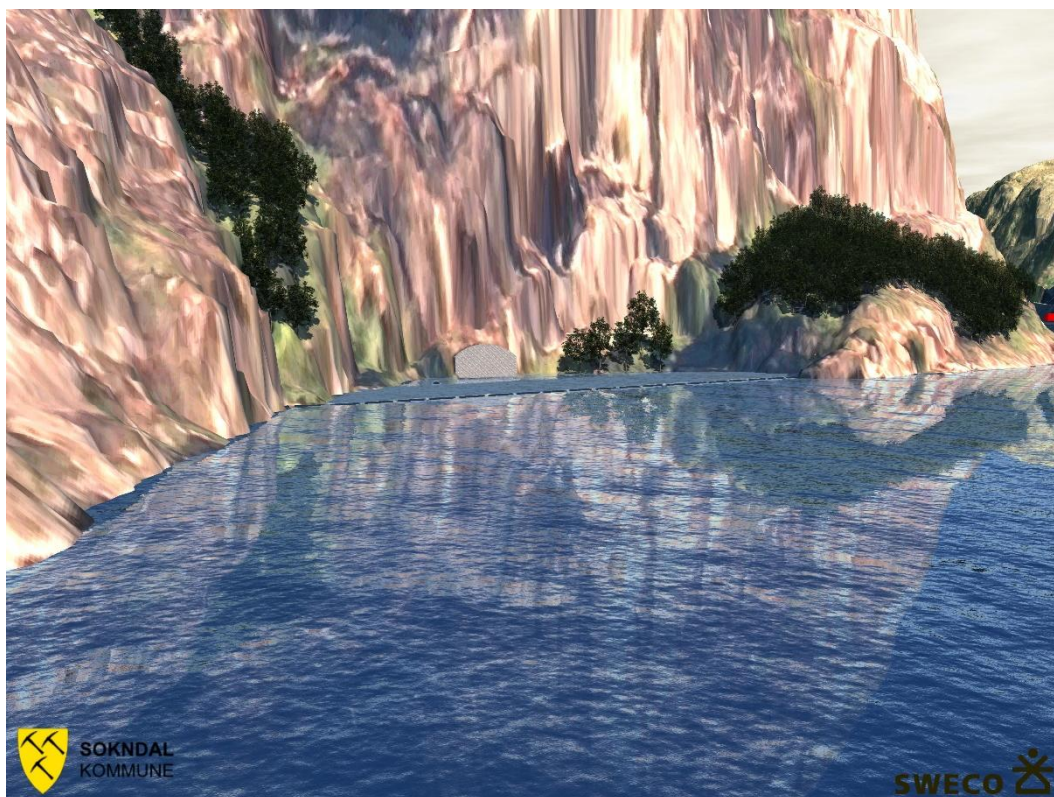


Inntaksområdet ved vannstand i elva på kote 9



Inntaksområdet ved vannstand i elva lik kote 10





Utløp i Jøssingfjorden



Utløp i Jøssingfjorden

Vedlegg 2

Usikkerhet i hydraulisk modell. 10218293- RiVass_NOT_001_00

NOTAT

KUNDE / PROSJEKT Sokndal kommune Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2	PROSJEKTLEDER Hilde Marie Kjellesvig	DATO 20.08.2020
PROSJEKTNUMMER 10218293	OPPRETTET AV Samuel Vingerhagen	REV. DATO
DISTRIBUSJON:	FIRMA	NAVN
TIL:	Sokndal kommune	Jan-Ove Grastveit
KOPI TIL:		

Usikkerhet i hydraulisk modell

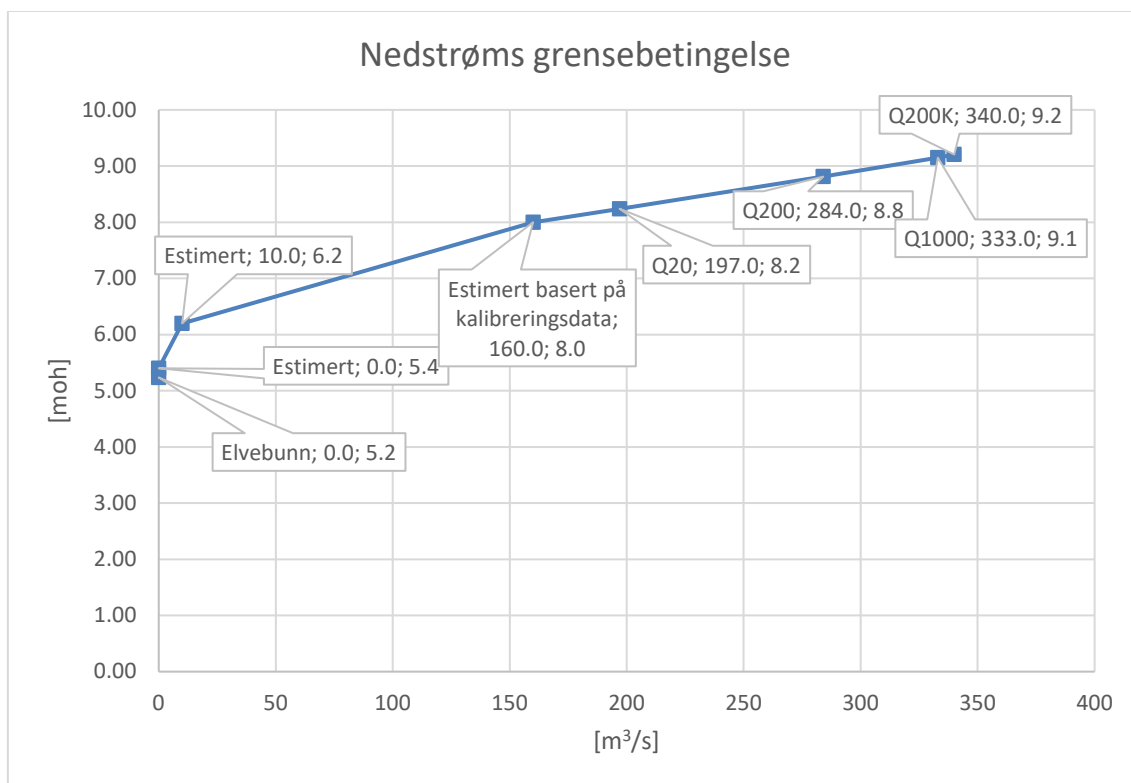
I et Teams-møte 14.aug.2020, mellom Sokndal kommune ved Jan-Ove Grastveit og Sweco ved Hilde Marie Kjellesvig og Samuel Vingerhagen, informerte Sweco om usikkerheter i den hydrauliske modellen som skal benyttes for å beregne flomtunnelen fra Prestbru til Jøssingfjorden. Følgende hovedpunkter ble tatt opp i møtet. Nedenfor punktlista følger et kort sammendrag av hvert tema.

- Nedstrøms grensebetingelse
- Feil grunnlag for bruer.
- Elvebunnen er grovt innmålt.
- Terrengmodell Prestbru

Nedstrøms grensebetingelse.

I Figur 1 er det vist en oversikt over vannstand/vannførings relasjonen som er benyttet som nedstrøms grensebetingelse. Som vi ser av figuren finnes det kun et punkt som har relativt stor sikkerhet og det er vannstanden på ca 8,0 moh ved en vannføring 160 m³/s som er hentet fra flomsonekartleggingen [1] som nylig er gjennomført. Punktene over 160 m³/s er beregnet i flomsonekartleggingen. Punktene under 160 m³/s er estimert basert på skjønn.

Siden vannføringen som skal sendes gjennom Sokndal sentrum er ca. 100 til 125 m³/s mener Sweco det vil være nyttig å skaffe et kalibreringspunkt til som ligger i området mellom 60 til 100 m³/s.



Figur 1 Oversikt over nedstrøms grensebetingelse

Brukonstruksjoner

Basert på grunnlaget i flomsonekartleggingen [1] og tilgjengelige bilder, ble det konkludert med at det var en eller flere feil på brumålene i flomsonekartleggingen. De mest fremtredende feilene er:

- Bru nr. 5 Prestbru: feil tykkelse på brupilar. (Liten betydning for resultatet)
- Bru nr. 6 Blåfjellbanen: feil antall pilarer (Liten betydning for resultatet)
- Bru nr. 7 Åmotsbrua: feil høyde på underkant brubjelke. (noe betydning for resultatet)

Sokndal kommune målte inn tykkelse på brubjelker, brudekke og rekkverk. Målene på bruene ble så estimert basert på innmålingene i kombinasjon med; høydedata fra høydedata.no, bilder, data fra flomsonekartleggingen samt anbudstegninger for bru nr. 5.

Det antas at bruene nå er relativt nøyaktig beskrevet. En eventuell innmåling med landmåler ventes ikke å gi endringer som vil påvirke resultatet, men kan brukes for å verifisere at bruene er korrekt lagt inn i den hydrauliske modellen.

Elvebunn er grovt innmålt

Det var ventet at elvebunnen var noe unøyaktig og unøyaktighetene er årsaken til at modellen kjøres ukalibrert. Det var imidlertid ikke ventet at man skulle finne ut at elvebunnen i enkelte punkt er estimert i trinn som er inntil 1 m høye.

Det synes å være litt i overkant store unøyaktigheter i elvebunnen og det hadde vært ønskelig med ny innmåling og nye kalibreringsdata. Nøyaktig innmåling av elvebunnen hadde også vært nyttig for å i fremtiden kunne finne ut hvor mye sedimenter som blir transportert/avsatt i elveløpet.

Sweco vil anbefale at det gjøres en ny oppmåling av elvebunnen samt fremskaffing av nye kalibreringsdata før en eventuell detaljprosjektering.

Terrengmodell Prestbru

I området fra Prestbru og ca 50 m nedstrøms Prestbru i et ca. 200 m bredt felt er det benyttet laserdata fra 2009. Dataene fra 2009 ble benyttet av 2 årsaker:

1. Laserdata fra 2017 ble fanget da det lå en midlertidig bru nedstrøms Prestbru. Den midlertidige brua er nå fjernet, men det er vanskelig å estimere terrenget uten nye innmålinger.
2. Det er gjort en dronekartlegging av området etter at den midlertidige brua er fjernet. Høydejusteringen av dronekartleggingen er svært unøyaktig og varierende målt opp mot laserdataene fra 2017. Punktskyen fra dronekartleggingen er kort forklart ikke i vater og blir derfor ikke benyttet.

Det vil være noe unøyaktighet ved å bruke dataene fra 2009, men avvikene anses å være så små at det ikke vil påvirke resultatet i nevneverdig grad når man sammenligner med andre unøyaktigheter i modellen, som f.eks innmåling av elvebunnen. Unøyaktighetene vil derimot bli synlige i eventuelle visualiseringer.

Sweco vil anbefale at det gjøres en ny oppmåling før en eventuell detaljprosjektering.

Referanser

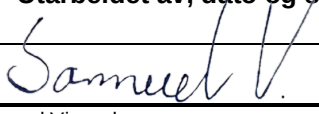
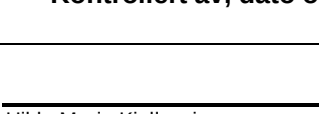
- [1] Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure, «Flomsonekart – Delprosjekt Sokndal,» Norges vassdrags- og energidirektorat, Eching am Ammersee, 2020.

Vedlegg 3

Vannlinjenotat mulige utforminger av inntak tunnel og utløp. 10218293-RiVass_NOT_002_00

NOTAT-10218293-RIVASS-NOT-002

KUNDE / PROSJEKT Sokndal kommune Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2	PROSJEKTLEDER Hilde Marie Kjellesvig	DATO 15.01.2021
PROSJEKTNUMMER 10218293	OPPRETTET AV Samuel Vingerhagen	REV. DATO
DISTRIBUSJON:	FIRMA	NAVN
TIL:	Sokndal kommune	Jan-Ove Grastveit

	Utarbeidet av, dato og signatur	Kontrollert av, dato og signatur
Rev.0	 Samuel Vingerhagen	 Hilde Marie Kjellesvig

Vannlinjenotat mulige utforminger av inntak tunnel og utløp

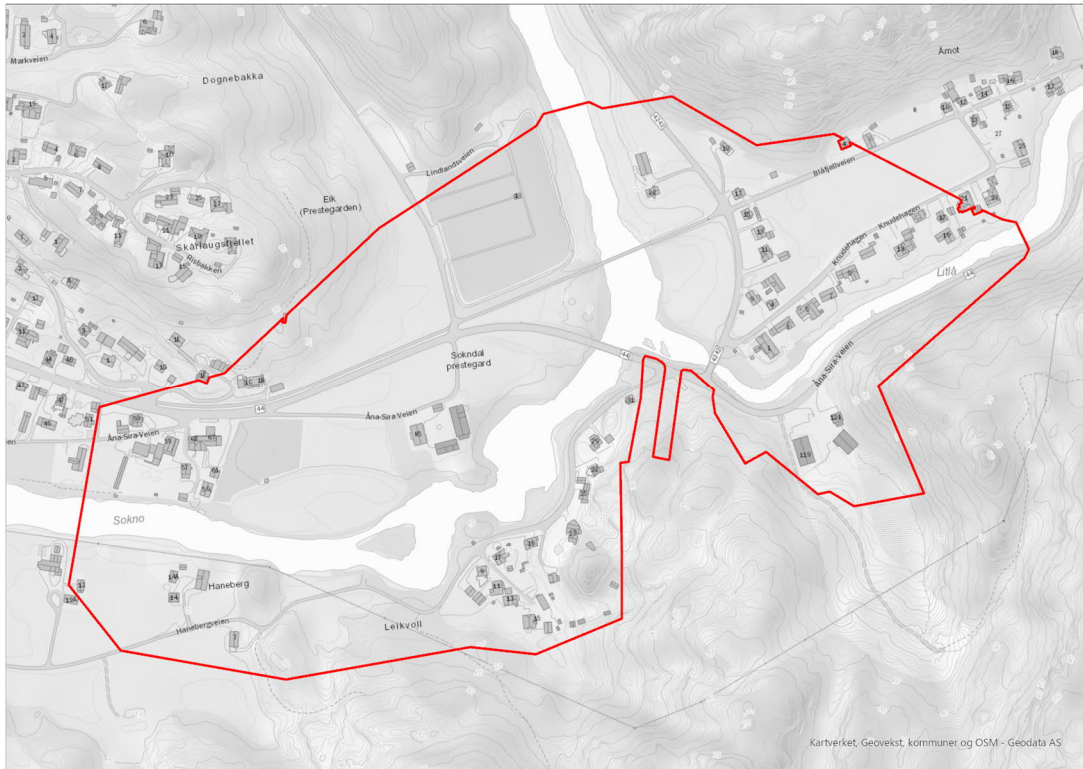
1 Forutsetninger

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med prosjektet «Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2» er det sett på forskjellige utforminger av inntak, tunnel og utløp for flomsikringstunnelen som er planlagt mellom Prestbru i Sokndal og Jøssingfjord. Hensikten er å finne en utforminger som kan fungere og eventuelle fordeler og ulemper med de forskjellige løsningene.

1.2 Avgrensning av prosjektet

Området som er kartlagt er vist i Figur 1.1. Området dekker Sokna fra like nedstrøms Haneberg og opp til Eikedal gravplass oppstrøms Blåfjellveien bru og nesten opp til Måhølen i Litlå.



Figur 1.1: Utrekning av hydraulisk modell, Området varierer noe mellom de forskjellige inntaksløsningene.

1.3 Prosjektgjennomføring

Prosjektet er gjennomført med Sokndal kommune som oppdragsgiver og Sweco som utførende. NVE har utført flomberegning for vassdraget. Elvebunnen er hentet fra flomsonekartleggingen for Sokna [1]. Detaljerte høydedata over vann er hentet fra høydedata.no (datasett innmålt i 2017 og 2009). Bruer i vassdraget er estimert basert på enkle målinger utført av Sokndal kommune samt estimeringer basert på laserdata, bilder og mål fra flomsonekartleggingen.

Samuel Vingerhagen og Hilde Marie Kjellesvig har befart beregningsstrekningen, sammen med representanter fra Sokndal kommune, og utarbeidet en hydraulisk modell. Modellen er kjørt ukalibrert. Prosjektet er utført av Samuel Vingerhagen, med Hilde Marie Kjellesvig som fagkontrollør. Jan-Ove Grastveit (Sokndal kommune) har vært diskusjonspartner underveis i prosjektet.

2 Metode og data

2.1 Hydrologiske data

Flomberegningen er dokumentert i Revidert flomberegning for Sokna [2]. Resultatene fra beregningen er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Kulminasjonsverdier for forskjellige flomstørrelser. [m^3/s]

	Areal km^2	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Litlå	58	49	58	73	78	92	102	112	122	131
Sokna (os Litlå)	236	96	116	145	154	183	202	222	241	260
Sokna (ns Litlå)	294	123	148	185	197	234	259	284	308	333
Med 20% klimapåslag										
Litlå	58	58	70	88	93	111	123	134	146	158
Sokna (os Litlå)	236	116	139	174	185	220	243	266	289	312
Sokna (ns Litlå)	294	148	178	222	237	281	311	341	370	400

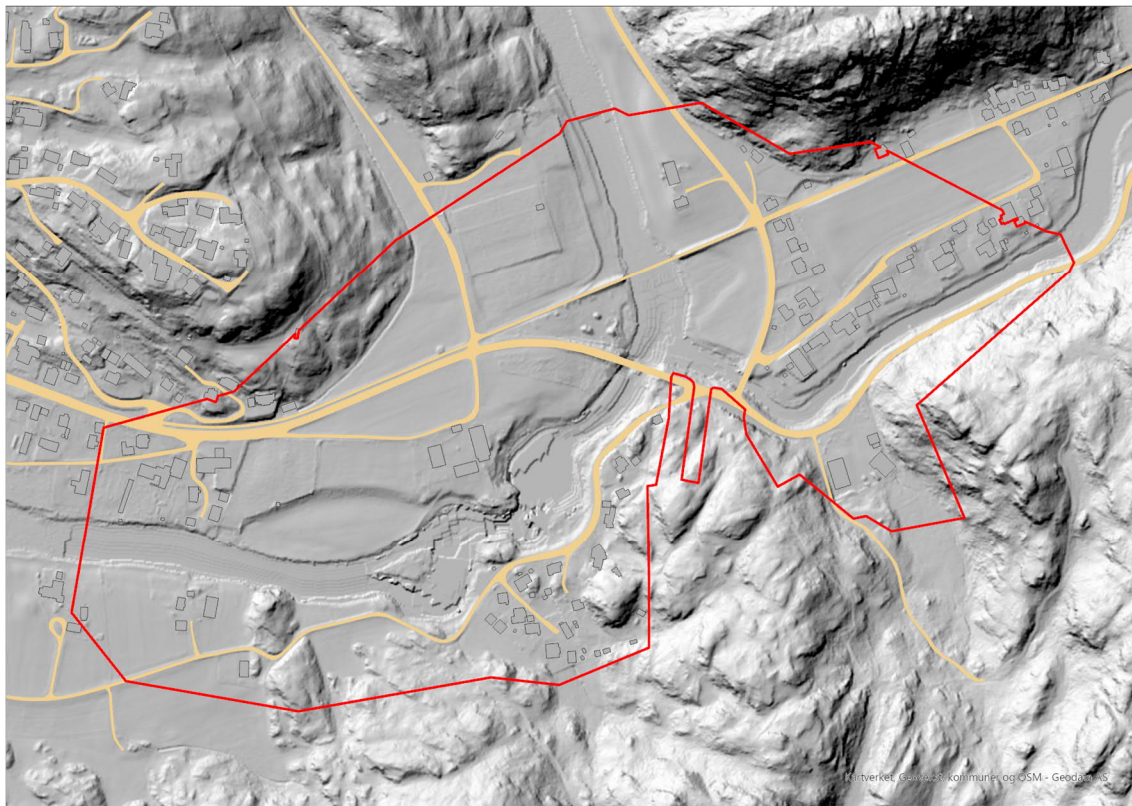
Framskrivinger av klimaet viser at Sokna får en 20% økning i vannføring for 200-årsflommen fram mot år 2100.

2.2 Topografiske data

Alle topografiske data er oppgitt i UTM-sone 32N med høydereferanse NN2000.

2.2.1 Elvebunnsdata

Det er benyttet data fra flomsonekartleggingen [1], i form av en digital sammenhengende terrengmodell, under vann. Kartlagt område er vist i Figur 2.1.



Figur 2.1: Analyseområdet er vist med rød linje. Bunndata og terrengdata er vist med grå skravur.

2.2.2 Terrengmodell

Til utarbeidelse av terrengmodellen er det tatt utgangspunkt i elvebunnsdataene som dekker hele området i vann, se avsnitt 2.2.1. Over vann er det benyttet laserdata fra høydedata.no. Hovedsakelig er det benyttet data fra oppmålingen i 2017, men for et lite område fra Prestbru og 50 m nedstrøms Prestbru, i et ca. 200 m bredt felt, er det benyttet laserdata fra 2009.

2.2.3 Kalibreringsdata

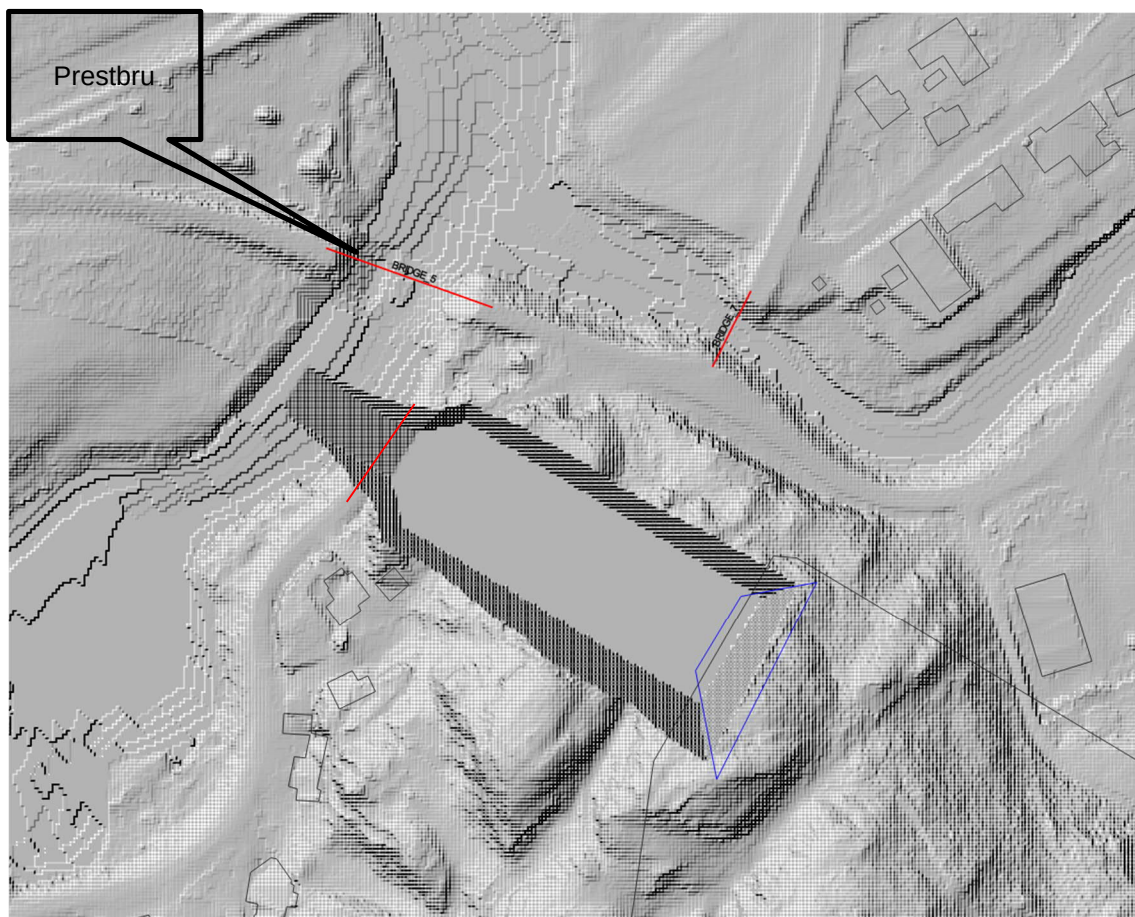
Det finnes begrensede kalibreringsdata fra flommer i 2009 (se flomsonekartlegging [1]), 2017 (ukjent vannføring), og 2020 (ukjent vannføring). Modellen ble ikke kalibrert.

Flommen som ble observert i 2009 har en vannføring som tilsvarer et gjentaksintervall på ca. 5 til 10 år.

2.3 Tunnelløsninger

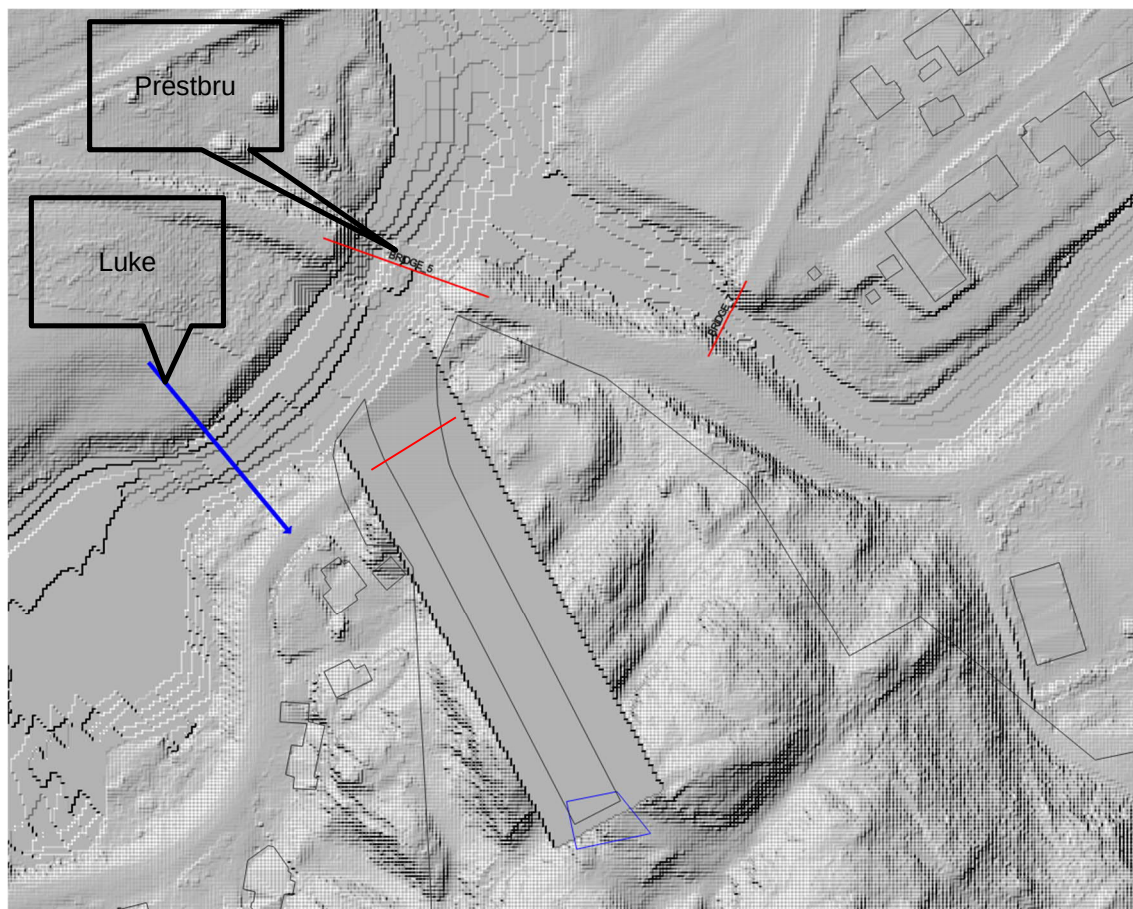
2.3.1 Utforming 1

I Utforming 1 er inntaket plassert rett nedstrøms Prestbru. Like nedstrøms inntaket er det plassert et sedimenteringsbasseng som vist i figurene nedenfor. Det er testet en utforming med et bredt sedimenteringsbasseng som vist i Figur 2.2. Etter sedimenteringsbassenget renner vannet inn en standard tunnel med tverrsnitt på 90 m² som er dykket.



Figur 2.2: Utforming 1.0 Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer.

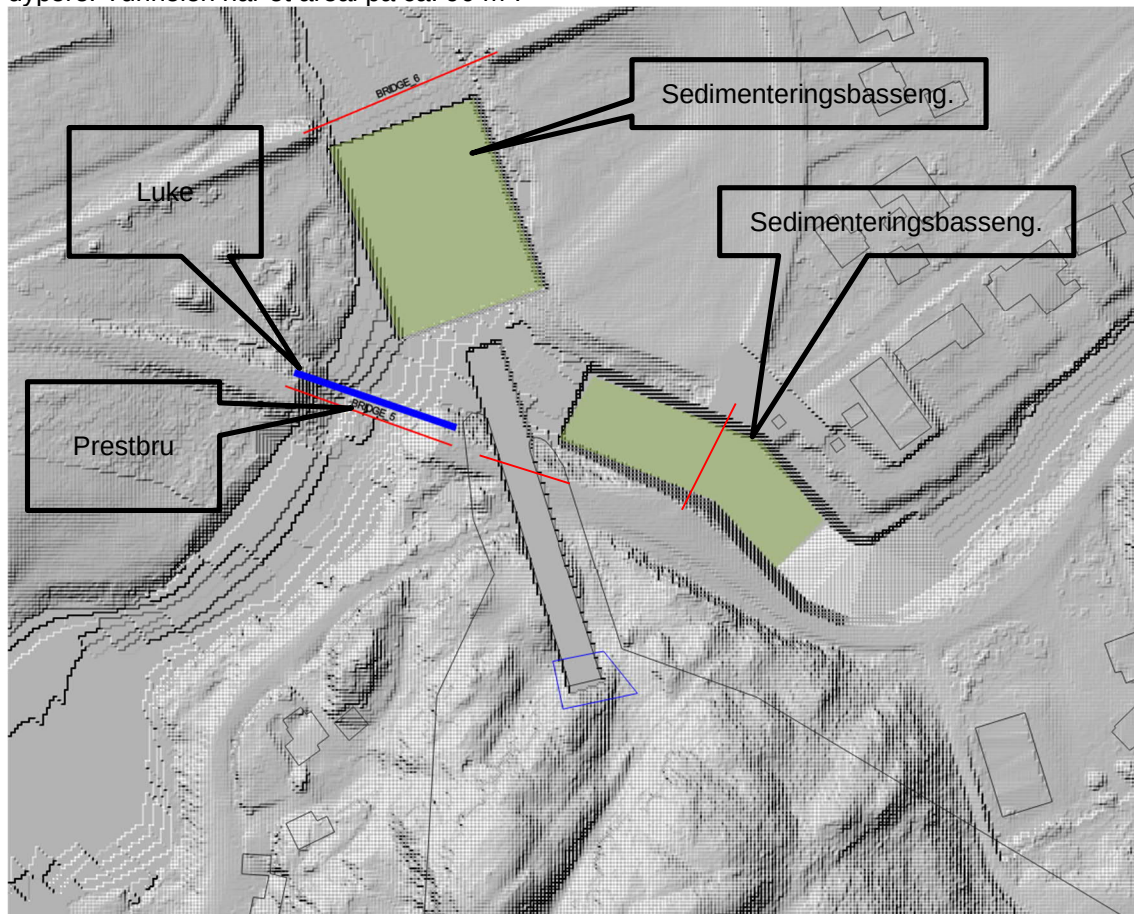
En alternativ utforming (1.1) uten sedimenteringsbasseng er vist Figur 2.3. I Utforming 1.1 renner vannet inn i en ca. 14,5 m bred tunnel, med betongsåle, på ca. 90 m² med innløp bunn innløp 5 moh. og bunn utløp 0 moh. Det er friskeils-strømning i tunnelen.



Figur 2.3: Utforming 1.1, Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer, blå strek er en terskel/luke.

2.3.2 Utforming 2

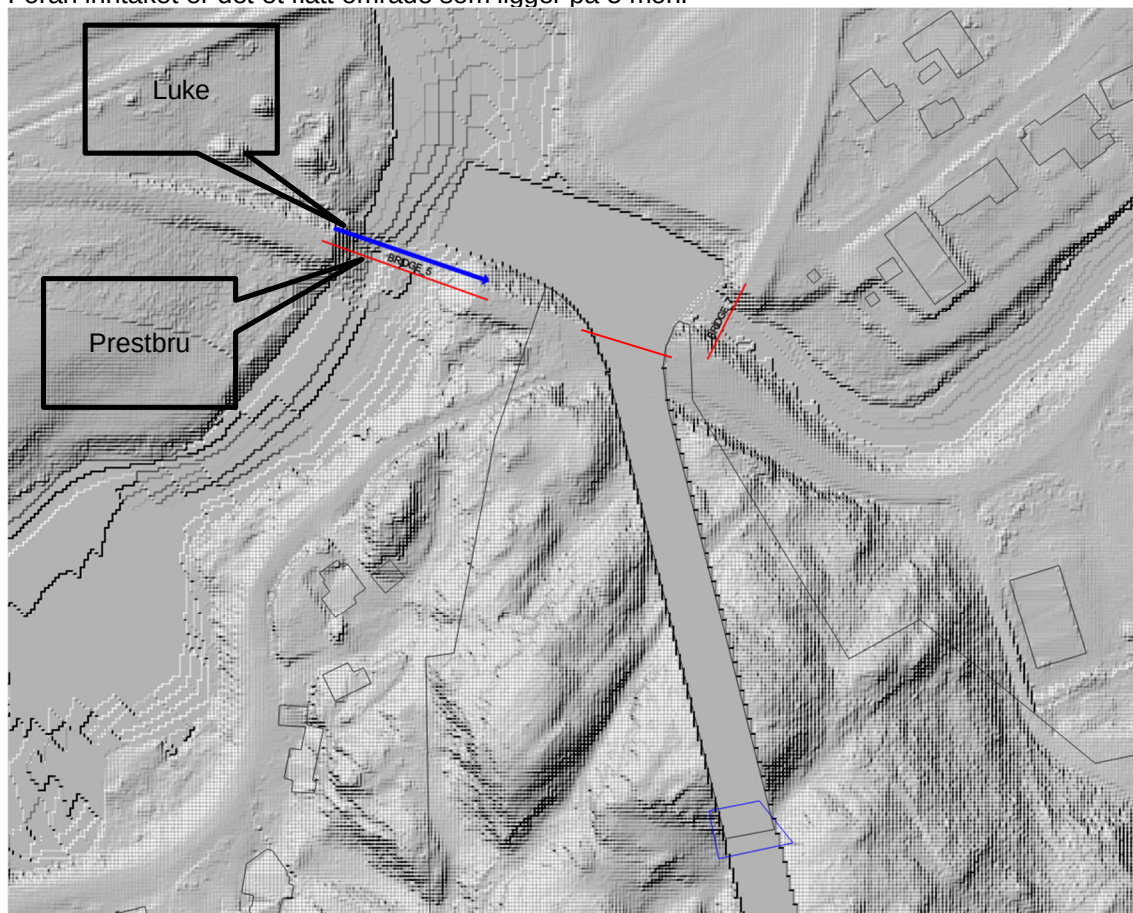
Utforming 2.0 har et sedimenteringsbasseng i Sokna og et sedimenteringsbasseng i Litlå som vist i Figur 2.4. Sedimenteringsbassengene har en kapasitet på henholdsvis ca. 23 000 m³ og 15 000 m³ (Litlå). Tunnelen er dykket og har bunn innløp -2 moh. og bunn utløp på -8 moh. eller dypere. Tunnelen har et areal på ca. 90 m².



Figur 2.4: Utforming 2.0. Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer, blå strek er en terskel/luke.

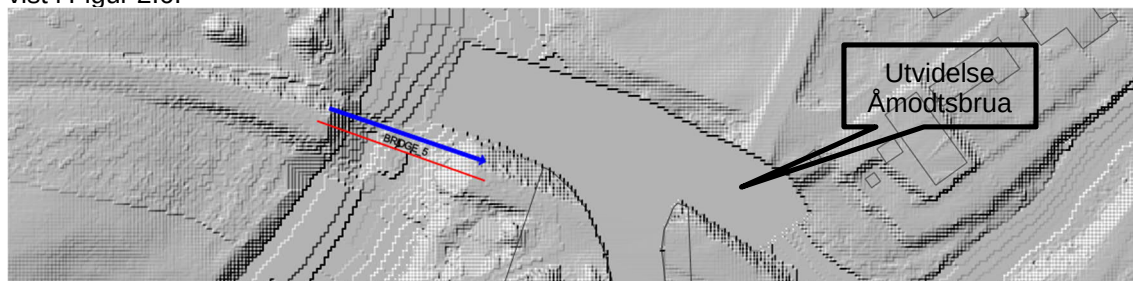
2.3.3 Utforming 3

Utforming 3.0 har innløp rett inn en ca. 14 m bred tunnel, med betongsåle, på ca. 90 m² som vist i Figur 2.5. Det er friskeils-strømning i tunnelen, bunn innløp 5 moh og bunn utløp 0 moh. Foran inntaket er det et flatt område som ligger på 5 moh.



Figur 2.5: Utforming 3.0. Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer, blå strek er en terskel/luke.

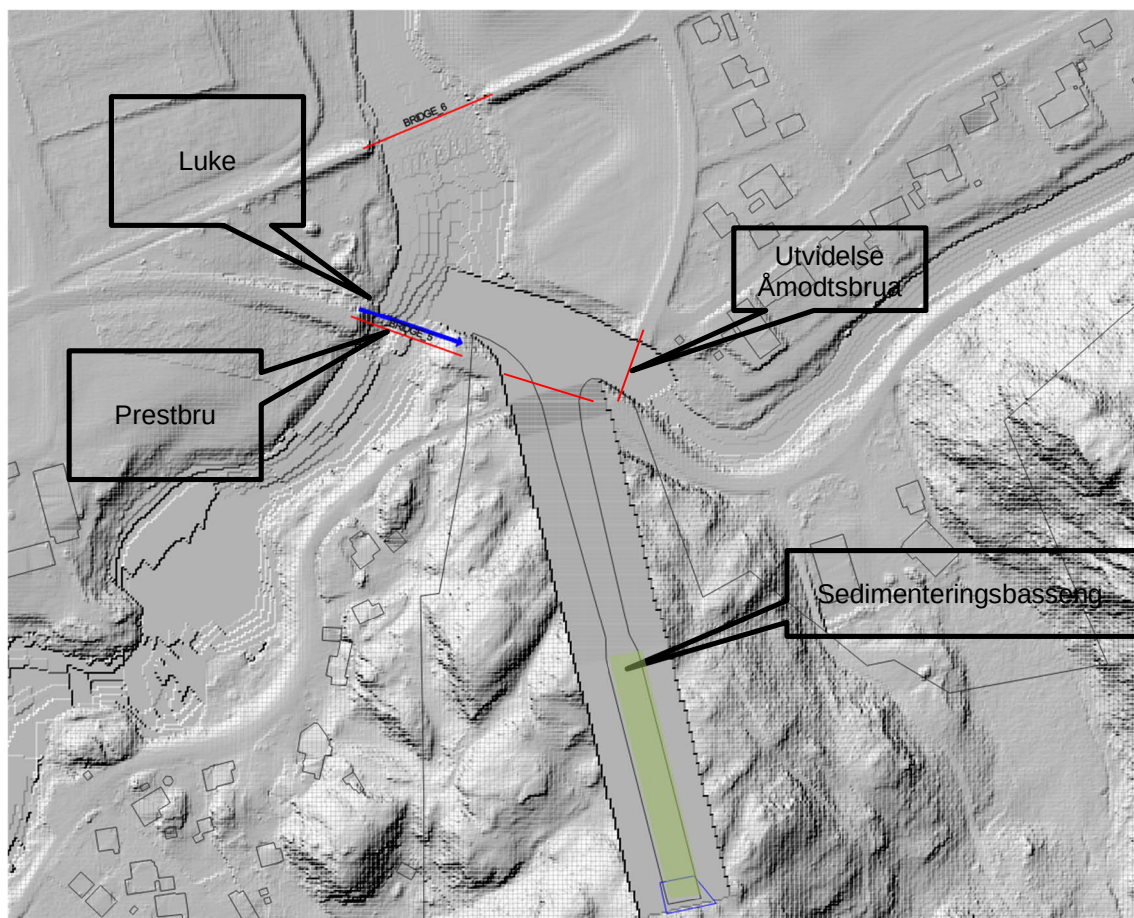
Utforming 3.1 er nesten helt lik utforming 3.0, men tverrsnittet under Åmødsbrua er utvidet, som vist i Figur 2.6.



Figur 2.6 Utforming 3.1

2.3.4 Utforming 4

Utforming 4.0 har lik utforming som utforming 3.1 oppstrøms inntaket. I inntaket føres vannet inn i et sedimenteringsbasseng før det renner videre inn i en dykket tunnel med innløp 0 moh og utløp - 10 moh eller dypere. Tunnelen har et tverrsnitt på ca. 90 m². Utforming av inntaket er vist i Figur 2.7. Tunnelen inn til sedimenteringsbassenget har bunn på 5 moh ved inntaket som raskt faller til 3 moh i starten på innsnevringen og en bredde på 14,5 m. Deretter følger en gradvis overgang til en bredde på 10 m med bunn på 0 moh. før en rask utvidelse inn i sedimenteringsbassenget og en bredde på 14 m. I enden av sedimenteringsbassenget er det en fin overgang til en tunnel med en bredde på ca. 10 m.

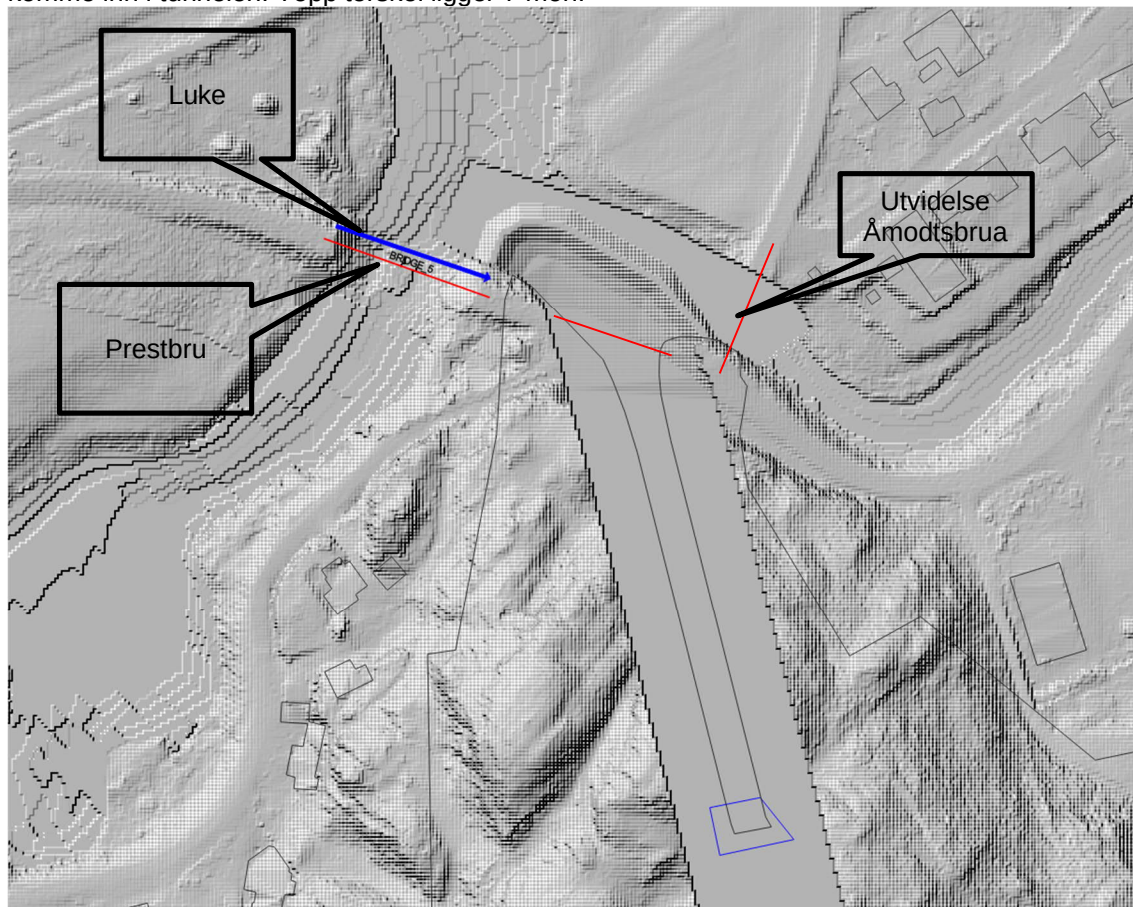


Figur 2.7: Utforming 4.0. Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer, blå strek er en terskel/luke.

Utforming 4.1 er lik utforming 4.0 med unntak av utløpet fra sedimenteringsbassenget hvor vannet føres inn i en friskeils-strømningstunnel med bunn tunnel 2 moh ved utløpet fra sedimenteringsbassenget og bunn tunnel – 6,6 moh ved utløpet i Jøssingfjorden.

2.3.5 Utforming 5

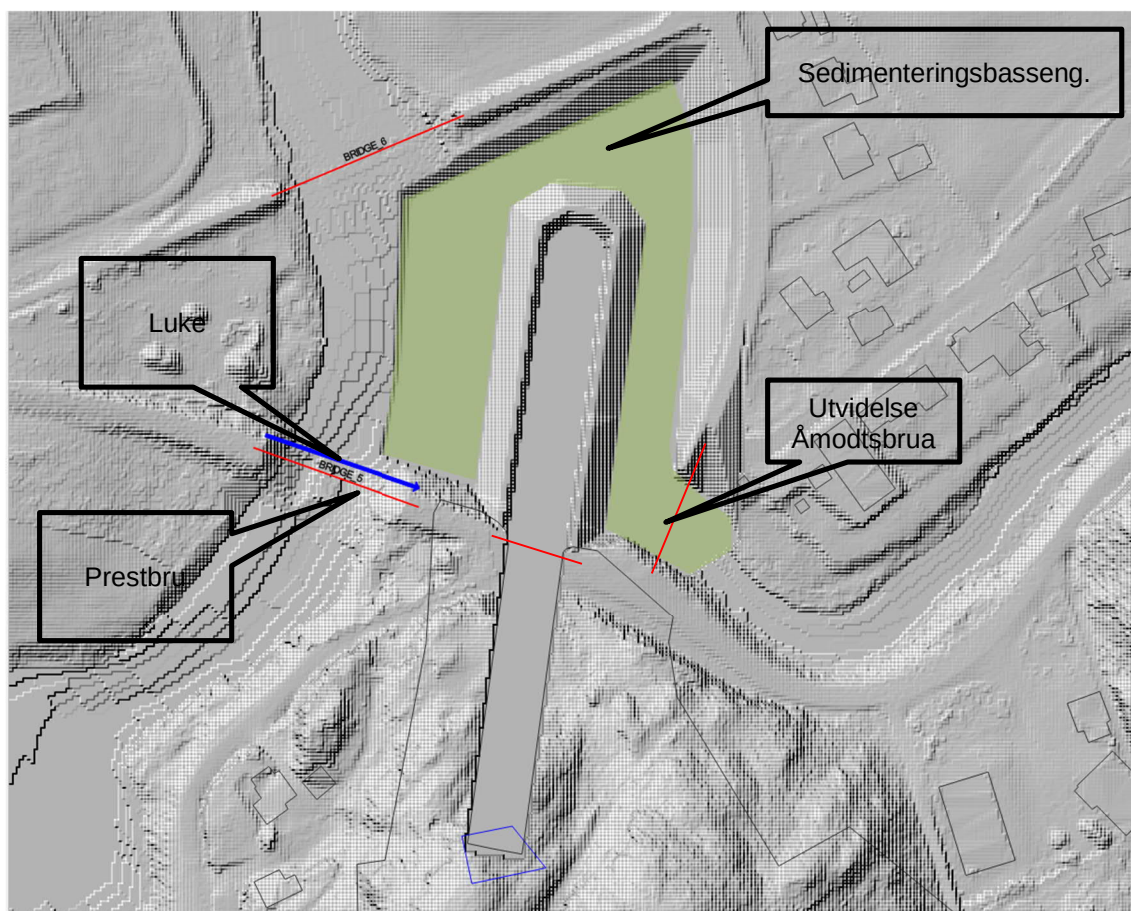
Utforming 5.0 har innløp inn en ca. 10 m bred tunnel, på ca. 90 m² som vist i Figur 2.8. Det er friskeils-strømming i tunnelen. Bunn innløp 2 moh. og bunn utløp – 6,6 moh. Foran inntaket er det flatt område med betongsåle som ligger 5 moh. og en terskel som skal hindre sedimenter å komme inn i tunnelen. Topp terskel ligger 7 moh.



Figur 2.8: Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer, blå strek er en terskel/luke.

2.3.6 Utforming 6

Utforming 6.0 Har et stort sedimenteringsbasseng foran inntaket. Etter sedimenteringsbassenget er det en terskel hvor topp terskel ligger 8,8 moh. Etter terskelen renner så vannet inn i en tunnel. Man står fritt til å velge mellom dykket tunnel, tunnel med friskeils-strømming og tunnel med friskeils-strømming og betongsåle.



Figur 2.9: Utforming 6.0, Blått område utløp inn i tunnel, røde streker er bruer, blå strek er en terskel/luke.

3 Hydrauliske beregninger

Beregningene er utført med RiverFlow2D+ GPU v7.27 og 7.16. Riverflow2D+ benytter grunt vann ligningene fra vertikal integrering av Navier-Stokes ligningene. Friksjonen mot underlaget er antatt å følge retningen til gjennomsnittshastigheten i vandypet. Modellen inkluderer ikke turbulens. Turbulens og energitap hensyntas kun gjennom Manning's n leddet i momentum-ligningene. Programmet bruker et trekantet beregningsgrid med variabel cellestørrelse til å beregne vannstrømninger i to dimensjoner.

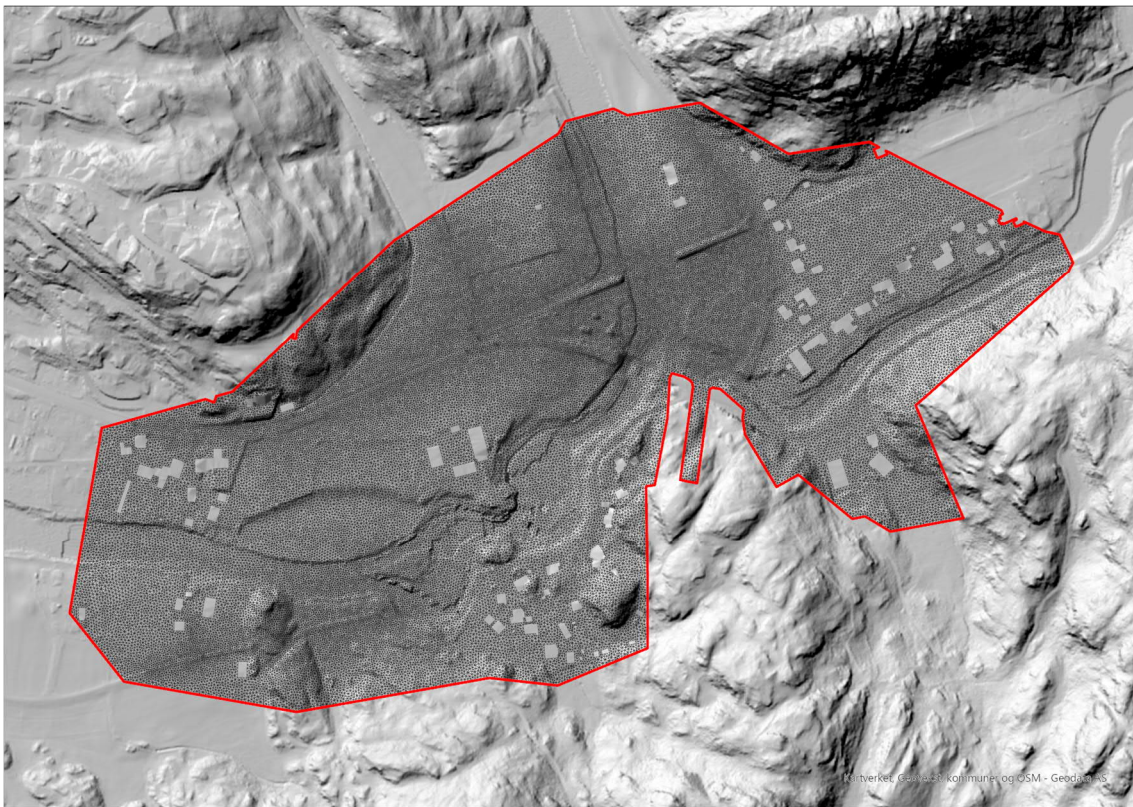
I beregningene er tilleggsmodulen «bru» brukt. Brumodulen deler brua opp i flere seksjoner og beregner falltapet for hver seksjon basert på om det er fritt vannspeil, trykkstrømning, overtopping eller kombinert trykkstrømning, overtopping og neddykking i to dimensjoner.

3.1 Modellering

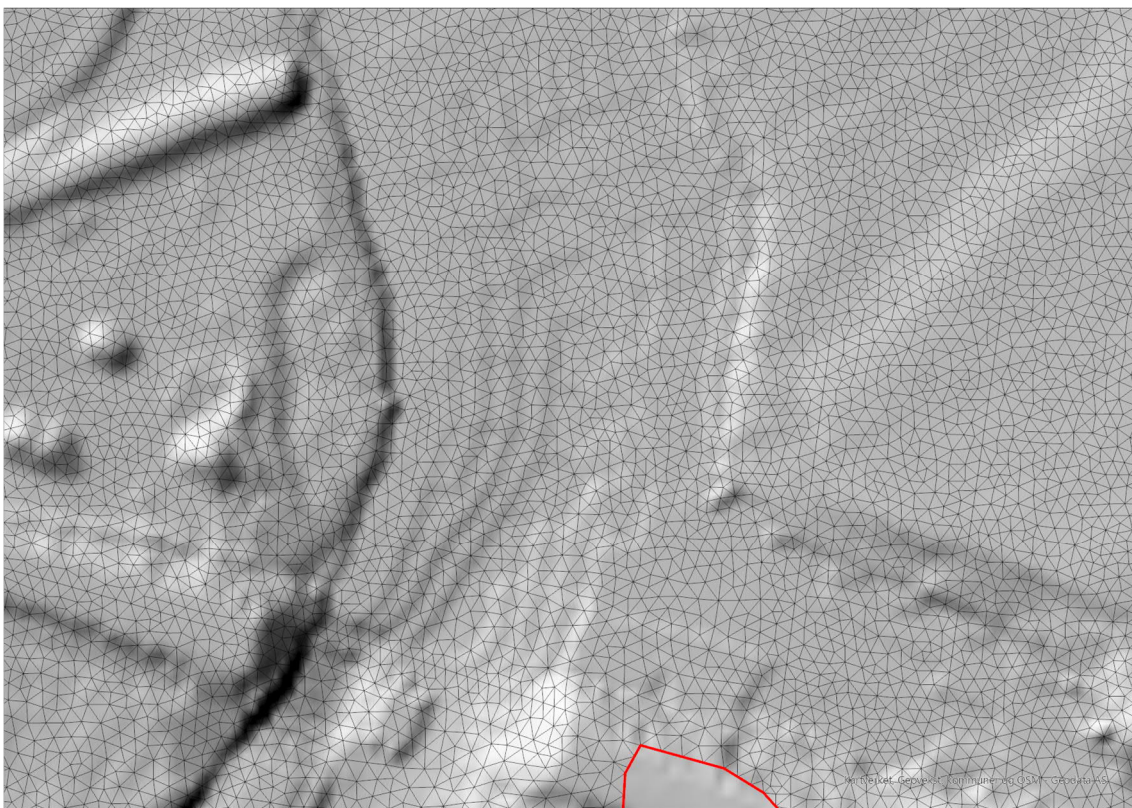
Det er benyttet ArcGis Pro 2.5 til å generere en terrengmodell. Fra ArcGis Pro er så dataene overført til Qgis 3.x hvor man bygger opp alle inputfilene til Riverflow2D+. Her er alle bruene modellert med modulen for bruer i Riverflow2D+. Fra Qgis eksporteres inngangsdata ut til Riverflow2D+ som utfører simuleringen. Så tas resultatfilene inn i ArcGis Pro hvor flomsonene generes.

3.2 Beregningsnett

Totalt består beregningsgridet av ca. 0,1 millioner celler. Lengden på cellene er 3 m eller mindre. Beregningsnettet er bygd opp av trekantede celler som er standard i Riverflow2D+. Et eksempel på beregningsnett er vist i Figur 3.1 og et detaljutsnitt i Figur 3.2.



Figur 3.1: Oversikt over beregningsnettet. Beregningsnettet varierer noe avhengig av de forskjellige utformingene av inntaket.



Figur 3.2: Beregningsnett detalj. Beregningsnettet varierer noe avhengig av de forskjellige utformingene av inntaket.

3.3 Grensebetingelser

Modellen har to oppstrøms og to nedstrøms grensebetingelser. Oppstrøms grensebetingelse er vannføring for aktuell flomstørrelse (se også kap. 2.1) for Litlå og Sokna. Nedstrøms grensebetingelse er vannstanden i Sokna ved forskjellige vannføringer samt vannstanden i tunnelinnløpet.

3.3.1 Oppstrøm grensebetingelse Q_{200} + klimapåslag

Verdiene i Tabell 3-1 brukes for å simulere en 200-årsflom med klimapåslag. Grensebetingelsen brukes for å analysere hvordan tiltakene fungerer om hovedtyngden av flommen kommer fra henholdsvis Sokna eller Litlå.

Tabell 3-1: Oppstrøm grensebetingelse Q_{200} + klimapåslag

Tid	Litlå	Sokna	Totalt inn
[timer]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.0	0	0	0
0.1	134	207	341
1.0	134	207	341
1.01	75	207	282
1.2	75	266	341
2.0	75	266	341

3.3.2 Oppstrøms grensebetingelse varierende vannføring.

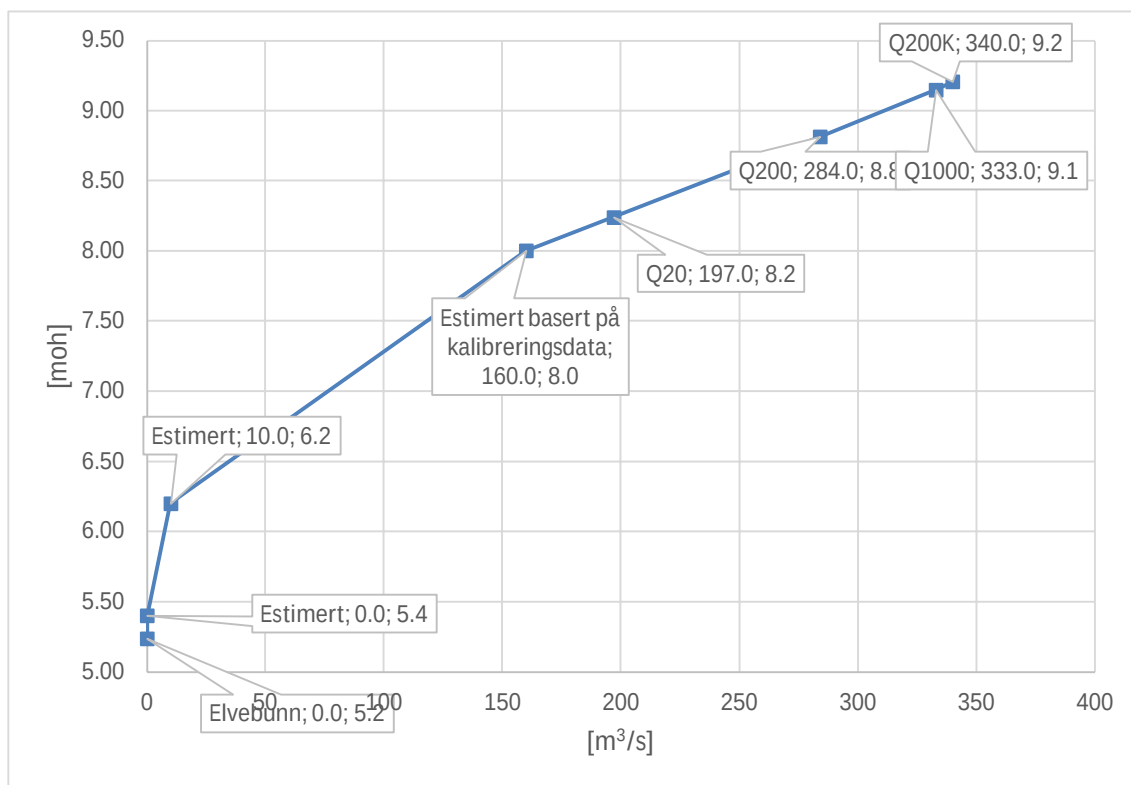
Verdiene i Tabell 3-2 brukes for å finne vannstanden ved Prestbru ved flere forskjellige vannføringer.

Tabell 3-2: Oppstrøms grensebetingelse varierende vannføring

Tid	Litlå	Sokna	Totalt inn
[timer]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.0	0	0	0
0.1	33	67	100
1.0	33	67	100
1.1	50	100	150
2.0	50	100	150
2.1	67	133	200
3.0	67	133	200
3.1	84	166	250
4.0	84	166	250
4.1	100	200	300
5.0	100	200	300
5.1	116	233	349
6.0	116	233	349

3.3.3 Nedstrøms grensebetingelse Sokna

Nedstrøms grensebetingelse i Sokna er vist i figuren nedenfor. De 5 høyeste vannføringspunktene er hentet fra resultater og inngangsparametere i flomsonekartleggingen [1]. De tre nederste punktene er estimert basert på skjønn.



Figur 3.3: Nedstrøms grensebetingelse Sokna

3.3.4 Nedstrøms grensebetingelse tunnel

I Tabell 3-3 er nedstrøms grensebetingelse for vannstanden i innløpet i tunnelen for den aktuelle tunneltypen/utformingen vist. Vannstanden er beregnet med utgangspunkt i Mannings formel.

Tabell 3-3: Nedstrøms grensebetingelse tunnel

Utforming	Vannstand tunnelinnløp
1.0	8,3
1.1	9,3
2.0	9,3
3.0	9,2
3.1	9,15
4.0	9,7
4.1	9,3
5.0	9,5
6.0	9,3

3.3.5 Luker like oppstrøms eller nedstrøms Prestbru.

I Tabell 3-4 er det vist hvordan lukene like oppstrøms eller nedstrøms Prestbru er styrt i simuleringene.

Tabell 3-4: Luker like oppstrøms eller nedstrøms Prestbru

Vannstand [moh]	Vannføring [m ³ /s]
0	0
6	0
9.99	85 (95 Tiltak2)
11	340

3.4 Kalibrering

Den hydrauliske modellen bør kalibreres mot en eller flere flommer i vassdraget, da dette er med på å redusere usikkerhetene i beregningene.

Modellen ble ikke kalibrert pga. usikkerheter i tilgjengelige kalibreringsdata og terrengdata.

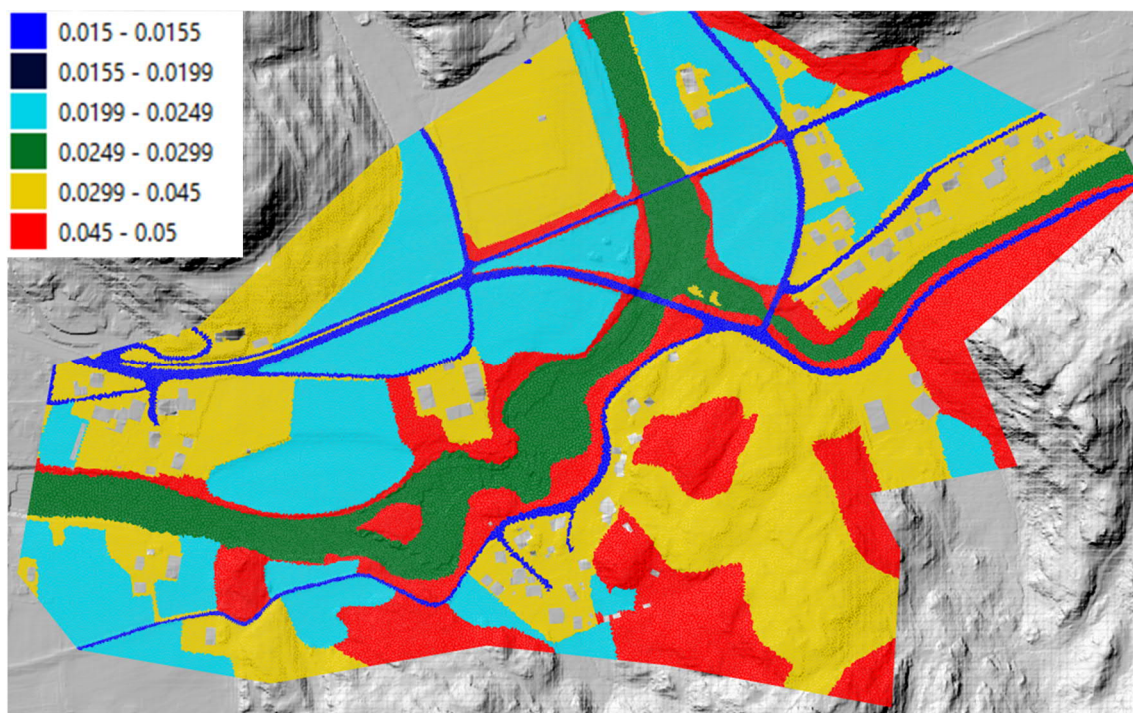
I området foran og inn mot tunnelen er det brukt konservative Manningsverdier. Det er forutsatt at innløpsgeometrien støpes med betong i bunnen og langs sidene fram til tunnelinnløpet.

Det er brukt en relativt glatt verdi for ruheten i elveløpet som er satt til $M = 40$, se Figur 3.4.

Valg av ruhet utenfor elveløpet har generelt liten betydning for resultatene da vannstandene i hovedsak styres av tverrsnittene i hovedelva. Det finnes ikke kalibreringsvannstander utenfor elveløpet og det er derfor ikke mulig å kontrollere at korrekte Manningsverdier er benyttet.

I områdene utenfor elveløpet er følgende verdier benyttet:

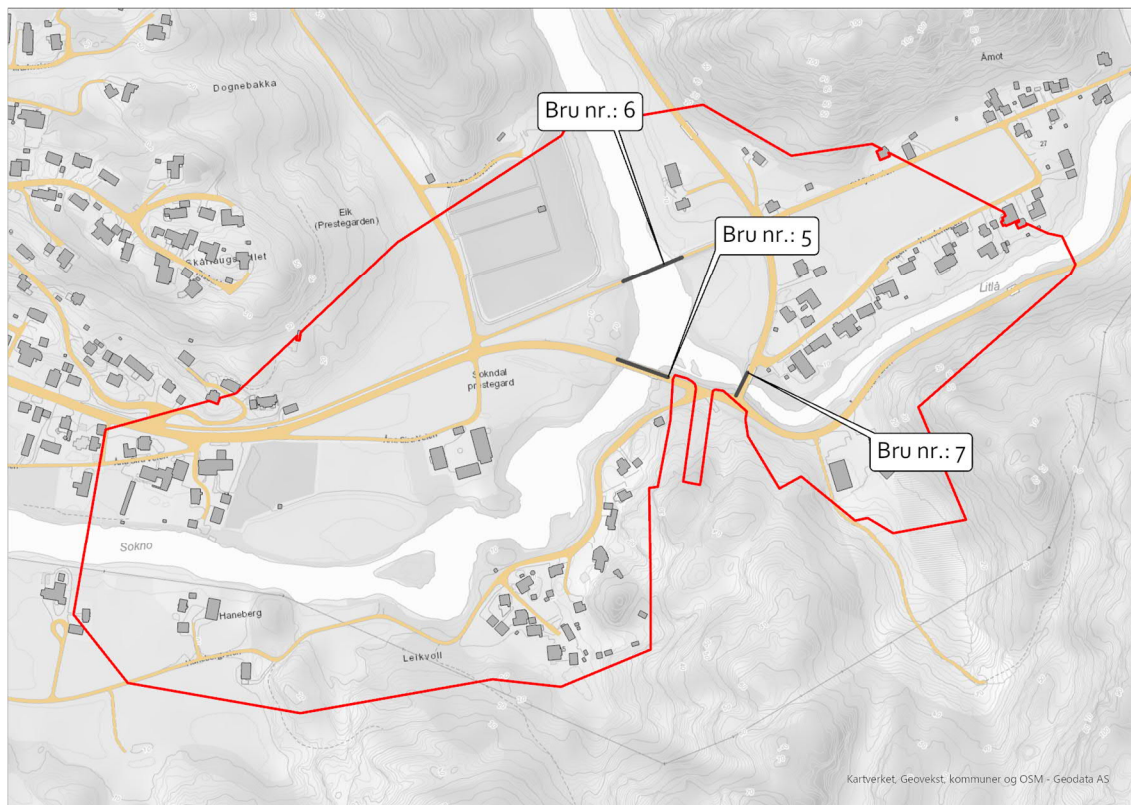
- Veier $M = 67$
- Bebyggelse eller betydelig opparbeidet areal $M = 33$
- Jordbruksareal dyrket til vanlig plen høyde $M = 50$
- Innmarksbeite $M = 33$
- Spredt skog $M = 20$
- Bygninger $M =$ Blokkert ut.



Figur 3.4 Benyttede Manningsverdier (n)

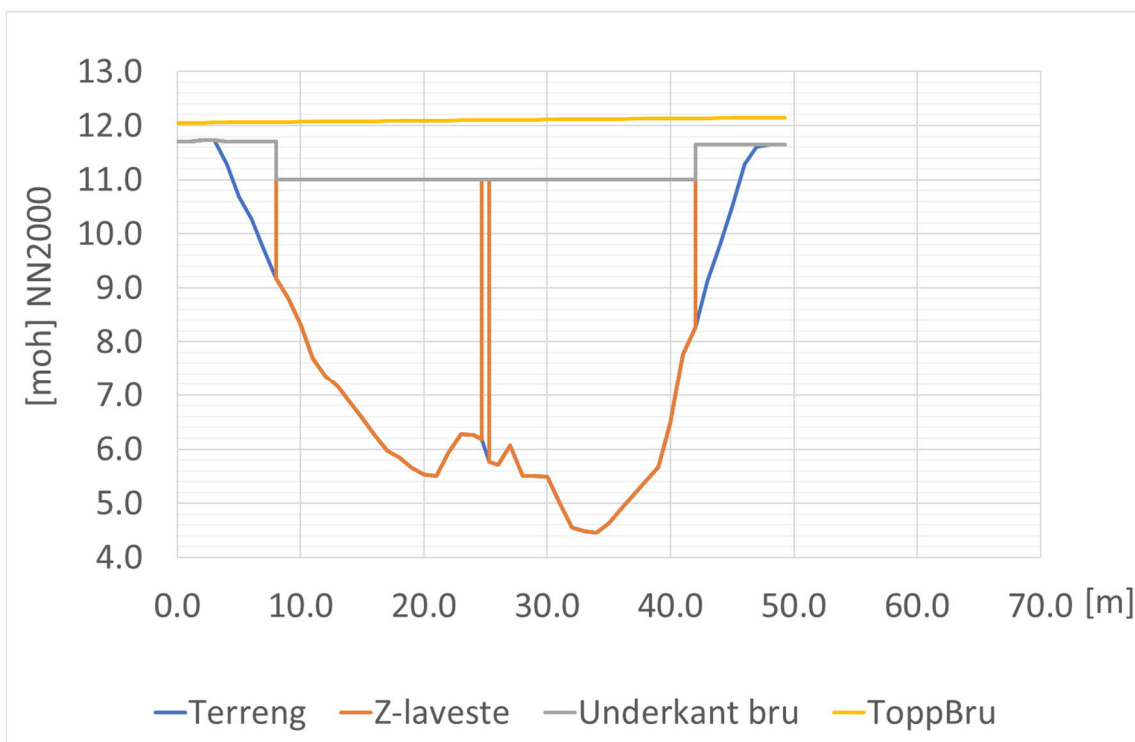
3.5 Broer og kulverter

Det er tre bruer på beregningsstrekningen, bruene er vist i Figur 3.5. De er nummert som bru 5 (Prestbru), 6 (Blåfjellbanen) og 7 (Åmodtsbrua).



Figur 3.5: Oversikt over bruer i flomsonekartleggingen.

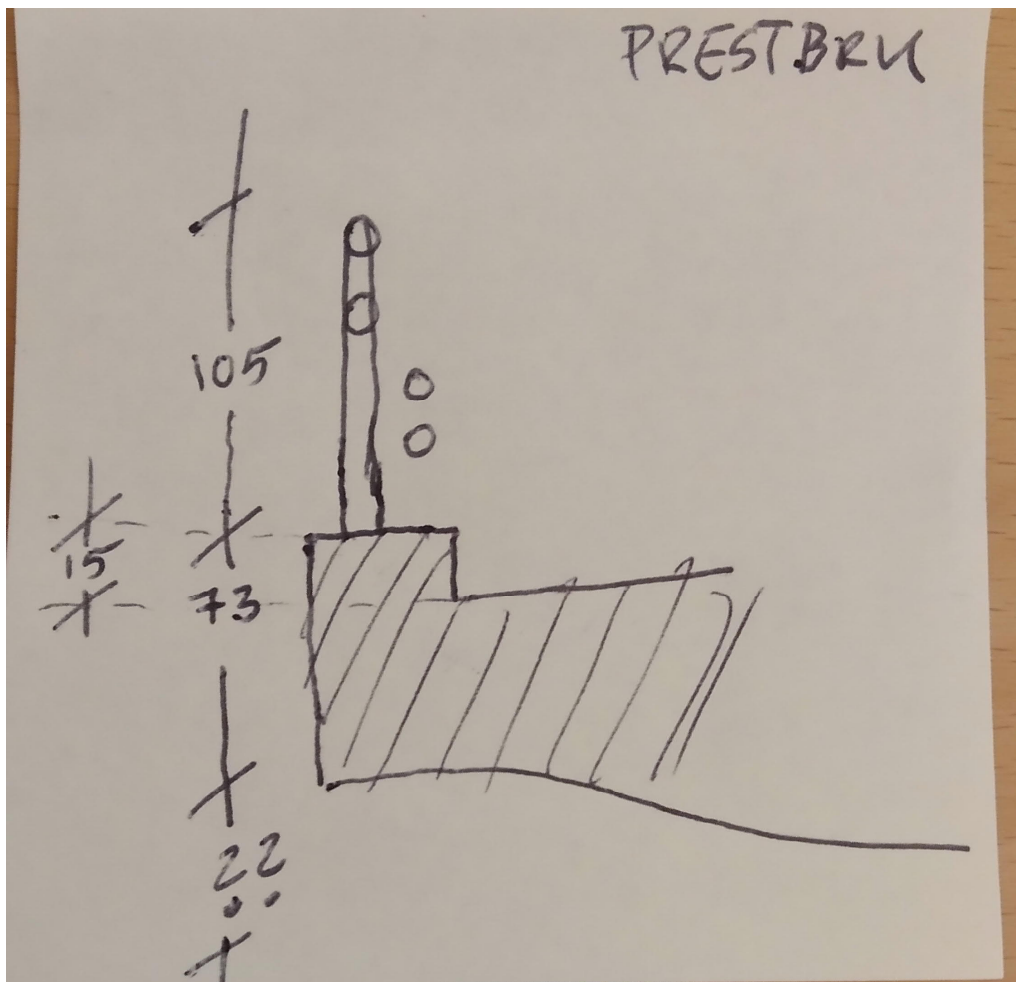
I Figur 3.6, Figur 3.10 og Figur 3.13 er det vist hvordan geometrien til bruene er lagt inn i den hydrauliske modellen. Det finnes anbuds tegninger av bru nr. 5. Sokndal kommune har oversendt enkle geometriske mål av bruene, som sammen med data fra høydedata.no, lengdemålinger på flyfoto, bilder av bruene og data fra flomsonekartleggingen danner grunnlaget for geometrien som er lagt inn i den hydrauliske modellen.



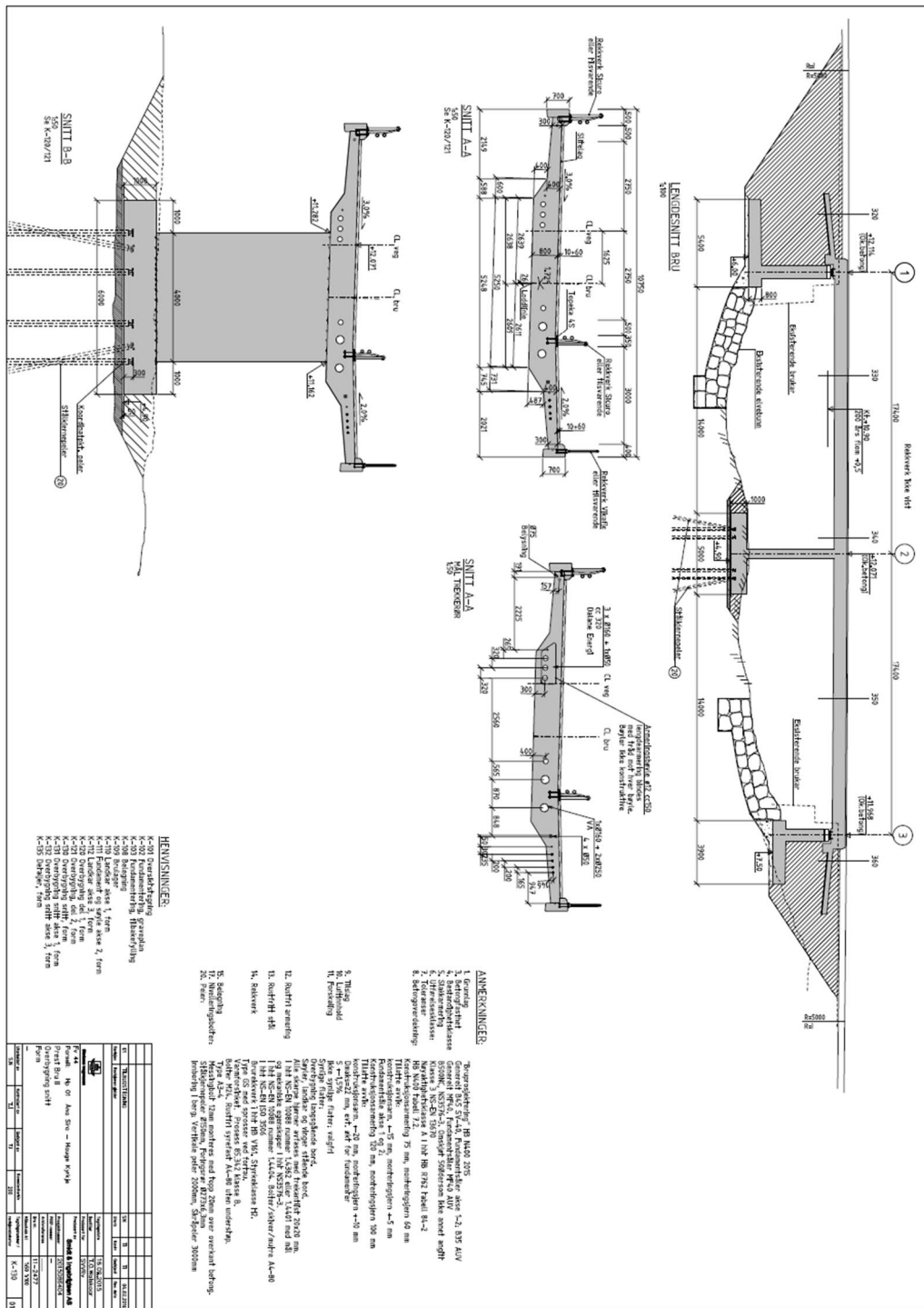
Figur 3.6: Bru 5, Input til beregningsprogram.



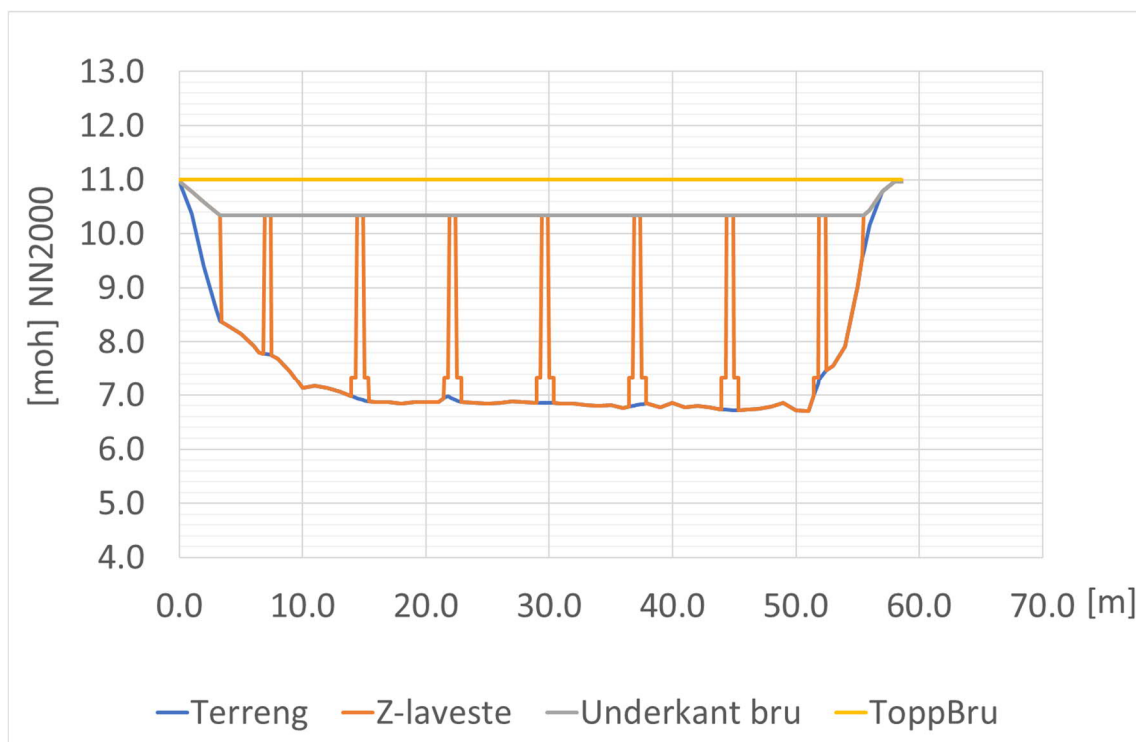
Figur 3.7: Foto av bru nr.: 5 sett fra oppstrøms side. Laveste høyde underkant bru 11,0 Foto: Samuel Vingerhagen



Figur 3.8: Mål bru nr.: 5 [3]



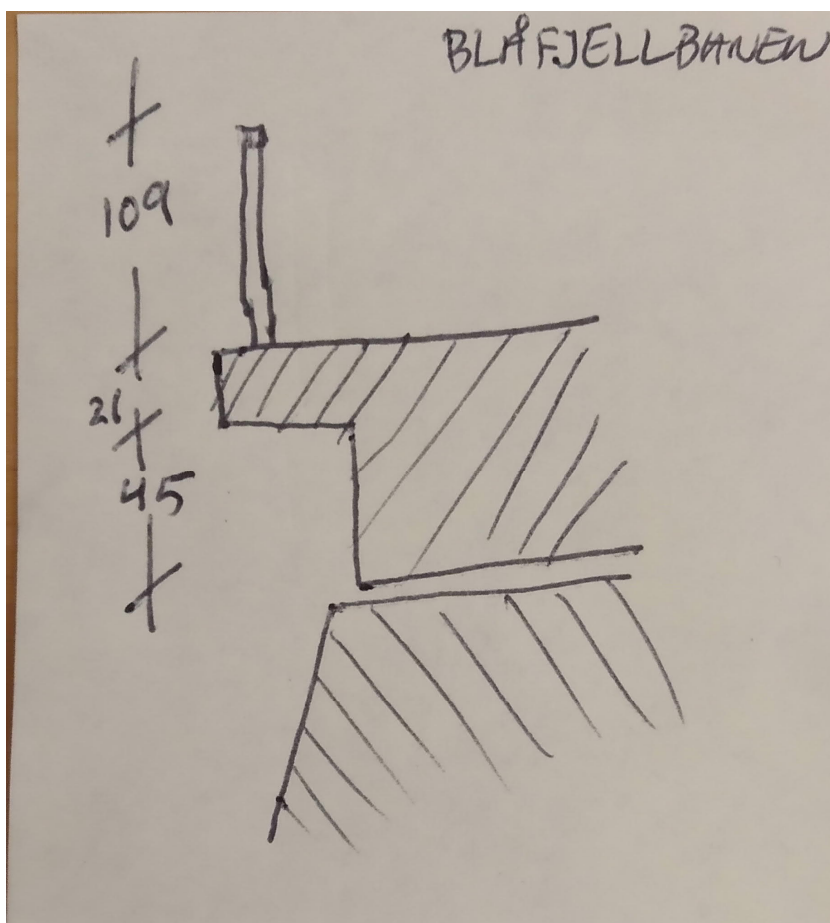
Figur 3.9: Tilbudstegning bru nr.: 5



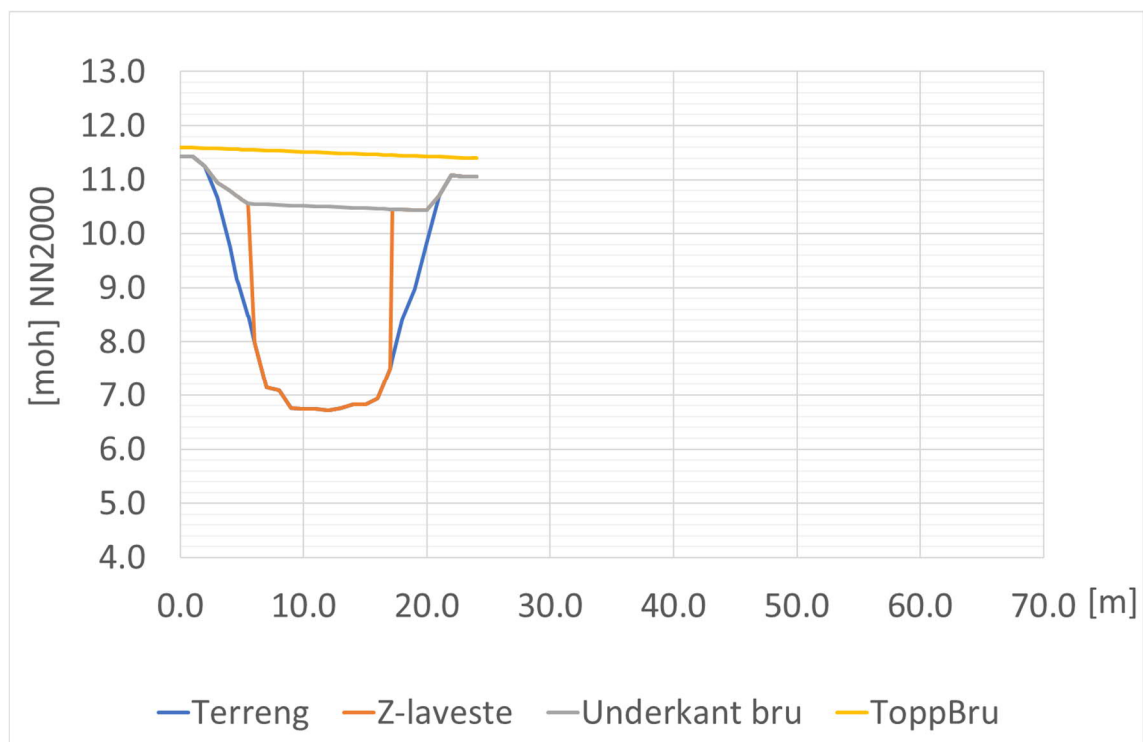
Figur 3.10: Bru 6, Input til beregningsprogram.



Figur 3.11: Foto av bru nr.: 6 sett fra nedstrøms side. Laveste høyde underkant bru 10,3 Foto: Samuel Vingerhagen



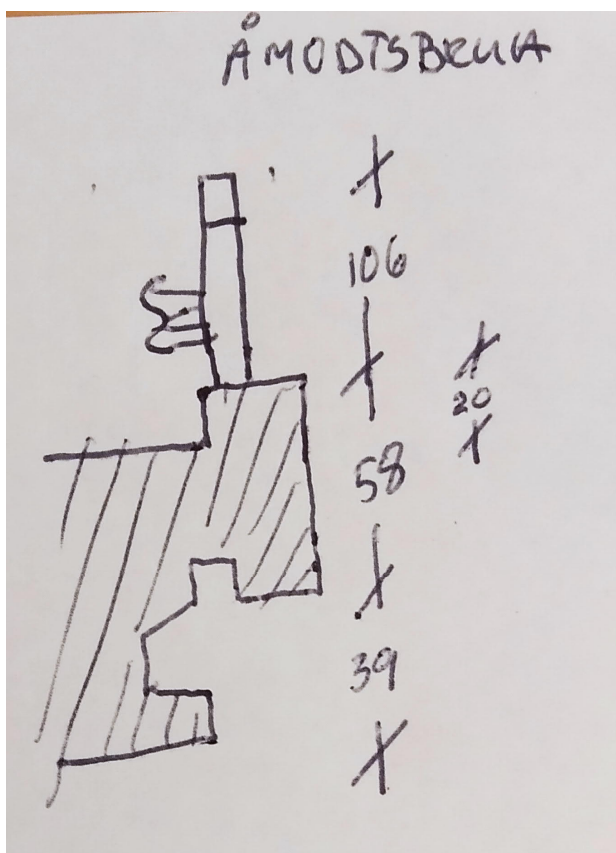
Figur 3.12: Mål bru nr.: 6 [3]



Figur 3.13: Bru 7, Input til beregningsprogram.



Figur 3.14: Foto av bru nr.: 7 sett fra nedstrøms side. Laveste høyde underkant bru 10,4 Foto: Samuel Vingerhagen



Figur 3.15: Mål bru nr.: 7 [3]

3.6 Følsomhetsanalyse

Det er ikke utført sensitivitetsanalyser. Det er antatt at de forskjellige utformingene vil ha omtrent lik usikkerhet.

4 Resultater

Alle de alternative utformingene presentert i avsnitt 2.3 klarer å ta ut ca. 220 til 240 m³/s ved en vannstand på ca. 10 til 10,5 moh like oppstrøms Prestbru ved en 200-årsflom med klimapåslag. Til sammenligning er vannstanden like oppstrøms Prestbru ca. 11,0 moh ved en 200-årsflom med klimapåslag uten tiltak.

Nedenfor er det gitt en kort vurdering av de forskjellige alternativene.

4.1.1 Utforming1

Utforming 1.0: Vanskelig å få til en god hydraulisk utforming for et bredt sedimenteringsbasseng nedstrøms Prestbru. Løsningen ble tidlig forkastet.

Utforming 1.1: Et godt alternativ til inntak oppstrøms Prestbru, men det er et falltap på ca. 40 cm gjennom Prestbru som fjerner 5 til 10% av den tilgjengelige energien til å drive vannet gjennom tunnelen.

Fordeler med plasseringen er at man slipper å lage ny bru for FV44. Ulemper er at det blir vanskeligere å flomsikre Litlå på strekningen mellom inntaket og Måhølen mot en 200-årsflom med klima.

4.1.2 Utforming 2

Utforming 2.0 Strømningsmønsteret i sedimenteringsbassengene er ikke tilfredsstillende. Det anbefales ikke å gå videre med utformingen.

4.1.3 Utforming 3

Utforming 3.0 Løsningen fungerer tilfredsstillende. Vannhastigheten er størst i tunnelen som indikerer at eventuelle sedimenter som blir dratt med inn i tunnelen blir ført gjennom tunnelen og sedimenterer nedstrøms utløpet. Tunnelen kan eventuelt brukes som veiforbindelse eller gang og sykkelvei til Jøssingfjord.

Utforming 3.1 Lik 3:1, men med en utvidelse av tverrsnittet ved Åmodtsbrua som vil bidra til at strekningen mellom inntaket og Måhølen mer eller mindre blir sikret mot en 200-årsflom med klima.

4.1.4 Utforming 4

Utforming 4.0 Løsningen kan fungere. Det må gjøres ekstra analyser av sedimentene som transporteres i elvene for å se om sedimentene vil sedimentere i sedimenteringsbassenget.

Utforming 4.1 Løsningen kan fungere. Det må gjøres ekstra analyser av sedimentene som transporteres i elvene for å se om sedimentene vil sedimentere i sedimenteringsbassenget.

4.1.5 Utforming 5

Utforming 5.0 Relativt lik utforming 4 og utformingen kan fungere. De største sedimentene vil sannsynligvis bli liggende igjen oppstrøms terskel. Det er imidlertid fare for at tunnelen fylles opp av sedimenter.

4.1.6 Utforming 6

Utforming 6.0 Strømningsmønsteret i sedimenteringsbassengene er ikke tilfredsstillende. Det anbefales ikke å gå videre med utformingen.

4.1.7 Tidsserie

I tabellen nedenfor er resultatene av simulerte vannstander rett oppstrøms Prestbru, uten tiltak, vist ved tilhørende vannføringer. Resultatene kan brukes som grensebetingelser i en komprimert simuleringsmodell.

Tabell 4-1: Vannstander rett oppstrøms Prestbru

Vannstand [moh]	Vannføring [m³/s]
0	0
8,6	100
9,3	150
9,8	200
10,2	250
10,6	300
10,9	350

5 anbefalinger

Det anbefales ikke å gå videre med utforming 1.0, 1.1, 2.0 og 6.0. Løsning 1.1 kan man vurdere å gå videre med som et alternativ til utforming 3, 4 og 5 om det skulle vise seg vanskelig å bruke plasseringen til utforming 3, 4 og 5 på et senere tidspunkt. En mer utfyllende sammenligning mellom utforming 3, 4 og 5 kan finnes i notatet «Fordeler ulemper og kostnader forskjellige alternativer» [4]

Videre anbefales det å undersøke sedimenttransporten i tilløpselvene. Det er viktig å kartlegge kornfordelingen til sedimentene, kartlegge om sedimentene er suspendert eller beveger seg som bunnlast. Det er også viktig å undersøke hvor mye sedimenter det potensielt kan komme.

6 Referanser

- [1] Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure, «Flomsonekart – Delprosjekt Sokndal,» Norges vassdrags- og energidirektorat, Eching am Ammersee, 2020.
- [2] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Revidert flomberegning for Sokna (026.4Z),» Norges vassdrags- og energidirektorat, 2019.
- [3] N. Homme, *Geometridata på vei og gangbruer*, 6.aug.2020.
- [4] S. Vingerhagen, «Fordeler ulemper og kostnader forskjellige alternativer, 10218293.RiVass-NOT-004,» Sweco, 2020.

Vedlegg 4

Informasjon tunnelgeometri for de ulike alternativene. 10218293-RiVass_NOT_003_00

NOTAT

KUNDE / PROSJEKT Sokndal kommune Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2	PROSJEKTLEDER Hilde Marie Kjellesvig	DATO 03.09.2020
PROSJEKTNUMMER 10218293	OPPRETTET AV Samuel Vingerhagen	REV. DATO
DISTRIBUSJON:	FIRMA	NAVN
TIL:	Sokndal kommune	Jan-Ove Grastveit
KOPI TIL:		

Informasjon tunnelgeometri for de ulike alternativene

I tabellen nedenfor er de geometriske målene og aktuelle vannstander for de forskjellige tunnelene vist. Alternativ 3_2 er ikke simulert, men løsningen er enklere enn Alternativ 3_1 og anses som gjennomførbart. Nedstrøms vannstand er satt til 1,5 moh.

Alternativ	Vannstand oppstrøms Prestbru	Vannstand start tunnel	Energivå start tunnel	Vannføring simulert til innløp tunnel	Beregnet vannføring tunnel	Tverrsnitt tunnel	Bredde tunnel	Høyde tunnel	Vannstand tunnel	Kote bunn tunnelinnløp	Kote bunn tunnelutløp	Type tunnel
	[moh]	[moh]	[moh]	[m³/s]	[m³/s]	[m²]	[m]	[m]	[m]	[moh]	[moh]	
1												Forkastet
1_1	10,5	9,45	10,15	235	240	90	14,5	7,2	4,3	5,0	0,0	Frispeil med betongsåle
2	9,75	9,3	9,6	250	240	90	10,0	10,0	10,0	-2,0	-10,0	dykket
3	10,1	9,3	10,0	230	230	90	14,0	7,2	4,4	4,9	0,0	Frispeil med betongsåle
3_1 (lik 3)	10,1	9,3	10,0	230	230	90	14,0	7,2	4,4	4,9	0,0	Frispeil med betongsåle
3_2					240	90	10,0	9,5	7,5	2,0	-6,0	Delvis dykket
4	10	9,7	9,8	250	240	90	10,0	10,0	10,0	0,0	-10	Dykket tunnel etter sandfang
4,1	10,1	9,3	10,0	240	230	90	10,0	9,3	7,3	2,0	-6,0	Delvis dykket etter sandfang
5	Se løsninger for alternativ 3. Marginalt større falltap i innløpet samelignet med alternativ 3											
6	10,1	9,2	9,6	230	Mulig med samme typer tunneler som alternativ 3, men mister ca. 0,5 m energihøyde over terskelen i innløpet før tunnelen							

Vedlegg 5

Ulemper, fordeler og kostnader for forskjellige tunnelalternativer. 10218293-RiVass_NOT_004_00

NOTAT

KUNDE / PROSJEKT Sokndal kommune Inntaksløsning og Flomttunnel fase 2	PROSJEKTLEDER Hilde Marie Kjellesvig	DATO 30.09.2020
PROSJEKTNUMMER 10218293	OPPRETTET AV Samuel Vingerhagen	REV. DATO
DISTRIBUSJON:	FIRMA	NAVN
TIL:	Sokndal kommune	Jan-Ove Grastveit
KOPI TIL:		

Ulemper, fordeler og kostnader for forskjellige tunnelalternativer.

Det er gjort en grov analyse av forskjellene mellom de forskjellige tunnelalternativene som er vurdert. Kostnadsoverslaget inneholder ikke alle kostnader da det kun er sett på differansen mellom de forskjellige alternativene. Kostnader til f.eks inntakskonstruksjonen er ikke tatt med i overslaget da det antas å kun være små forskjeller mellom de forskjellige alternativene. Det er beregnet kostnader for alternativ 3 og for forskjellige utgaver av alternativ 4. Det skulle i tillegg vært beregnet kostnader for alternativ 5. Forskjellen mellom alternativ 4 og 5 er hvordan man sikrer en eventuell minste vannføring rundt tunnelen og har liten betydning for valg av tunnelutforming. Det er derfor ikke beregnet kostnader for alternativ 5.

I Tabell 1 er kostnadene for de ulike alternativene vist. I Tabell 2 er fordeler og ulemper listet opp og i Tabell 3 er det vist et grovt estimat på driftskostnader.

Kostnader:

Tabell 1 Grovt kostnadsoverslag i millioner NOK

Tunnel:	Alt 3.1	Alt. 4 delvis dykket, uten sandfang	Alt 4 Helt dykket, uten sandfang	Alt 4 Helt dykket, med sandfang
Kostnader driving av tunnel	256	257	259	252
Transport av masser til Jøssingfjord hvor massene legges på bunnen av fjorden:	52	49	50	46
Kostnad for Sandfang på 30 000 m ³ .				29
Kostnader for Støpt betongsåle (1200 kr/m ²)	58			
Kostnader pumpestasjon med diesellaggregat		5	5	2,5
Kostnader til luke i utløpet for tømning av tunnel.	0	15	15	2
Totalt	366	326	329	331

1 (3)

Sweco
Ægirsvei 10B
NO-4632 Kristiansand,
Telefon +47 38 17 86 66

Sweco Norge AS
Organisasjonsnr. 967032271
Hovedkontor: Oslo

Samuel Vingerhagen
Sivilingeniør
Kristiansand

samuel.vingerhagen@sweco.no

www.sweco.no

VS \nokrsfs002\oppdrag\32713\10218293\000\06 dokumenter\03 rapporter og notater\notat 4\10218293-rivass-not-004_00 fordeler ulemper og kostnader forskjellige alternativer.docx

Fordeler og ulemper:

Tabell 2 Fordeler og ulemper

Alternativ	Fordeler	Ulemper
3.1	• Liten sannsynlighet for sedimenter i tunnel. • Lite sannsynlighet for sedimenter i tunnel også på dellast • Mulighet for å kjøre kjøretøy gjennom tunnelen. • Svært god mulighet for inspeksjon	• Betongdekket har begrenset levetid og det er kritisk for kapasiteten at betongdekket er glatt og jevnt. Anbefales i kombinasjon med biltrafikk som vil sikre at kvaliteten på betongdekket opprettholdes. • Utløp må sikres slik at personer ikke tar seg inn i tunnelen.
4 delvis dykket uten sandfang	• Mulighet for inspeksjon av tunnel ved bruk av båt.	• Årlig vedlikehold av pumper og ekstra luke • Fare for at sedimenter kan bli liggende igjen i tunnelen, spesielt på dellast. • Tunnelen bør inspiseres etter bruk for sjekk av mulige sedimenter i tunnel. • Kostnader ved tømning av tunnelen, pluss transport av sedimenter. • Utløp må sikres slik at personer ikke tar seg inn i tunnelen.
4 helt dykket uten sandfang		• Årlig vedlikehold av pumper og ekstra luke • Fare for at sedimenter kan bli liggende igjen i tunnelen, spesielt på dellast. • Krever bruk av undervannsdroner og båt for inspeksjon av tunnel. • Tunnelen bør inspiseres etter bruk for sjekk av mulige sedimenter i tunnel. • Kostnader ved tømning av tunnelen, pluss transport av sedimenter.
4 helt dykket med sandfang	• Sedimenter tas ut i sandfang nær innløpet, mindre fare for sedimenter i tunnelen	• Årlig vedlikehold av pumper og ekstra luke • Mulig lang transportvei av masser fra sandfanget • Sandfanget og tunnel bør inspiseres etter bruk for sjekk av mulige sedimenter. • Kostnader ved tømning av sandfanget, pluss transport av sedimenter.

Driftskostnader:

Tabell 3 Grovt estimat av årlige driftskostnader. (priser er hva du må betale i dag)

Alternativ	Hva må vedlikeholdes	Grovt anslag
3.1	Luker, inntakskonstruksjoner, samt betongdekke i tunnel	Rehabilitering betongdekke etter 80 år, 60 mill.
4 delvis dykket uten sandfang	Luker, inntakskonstruksjoner, pumper. Pluss fjerning av sedimenter	Årlig vedlikehold av pumper 5% av nypris. 0,25 mill. (Sannsynligvis et høyt anslag). Rehabilitering av luke og pumpe etter 40 år. 10 mill. (50% av nypris). Pluss eventuell tømming av tunnel 0,3 mill. og fjerning av sedimenter a 130 -150 kr/m ³ .
4 helt dykket uten sandfang	Luker, inntakskonstruksjoner, pumper. Pluss fjerning av sedimenter	Årlig vedlikehold av pumper 5% av nypris. 0,25 mill. (Sannsynligvis et høyt anslag). Rehabilitering av luke og pumpe etter 40 år. 10 mill. (50% av nypris). Pluss eventuell tømming av tunnel 0,3 mill. og fjerning av sedimenter a 130 -150 kr/m ³ .
4 helt dykket med sandfang	Luker, inntakskonstruksjoner, pumper. Pluss fjerning av sedimenter	Årlig vedlikehold av pumper 5% av nypris. 0,1 mill. (Sannsynligvis et høyt anslag). Rehabilitering av bjelkestengsel og pumpe etter 40 år. 3,5 mill. (50% av nypris). Pluss eventuell tømming av tunnel 0,15 mill. og fjerning av sedimenter a 130 -150 kr/m ³ .

Det vil gå med ca. 10 000 til 30 000 kWh for å pumpe ut vannet fra en dykket tunnel. Hvis det ikke legges strøm fram til pumpene må det benyttes dieselaggregat for å produsere strøm til pumpene.

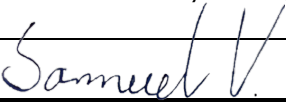
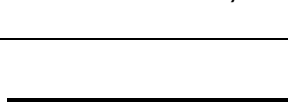
Fjerning av 30 000 m³. sedimenter fra en tunnel vil koste ca. 4 mill. ved 3 km transport til deponi.

Vedlegg 6

Vannlinjenotat utforming 3.1, Inntak, tunnel og utløp. 10218293- RiVass_NOT_005_00

NOTAT-10218293-RIVASS-NOT-005

KUNDE / PROSJEKT Sokndal kommune Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2	PROSJEKTLEDER Hilde Marie Kjellesvig	DATO 15.01.2021
PROSJEKTNUMMER 10218293	OPPRETTET AV Samuel Vingerhagen	REV. DATO
DISTRIBUSJON: FIRMA	NAVN	
TIL:	Sokndal kommune	Jan-Ove Grastveit

	Utarbeidet av, dato og signatur	Kontrollert av, dato og signatur
Rev.0	 Samuel Vingerhagen	 Hilde Marie Kjellesvig

Vannlinjenotat utforming 3.1, Inntak, tunnel og utløp

1 Forutsetninger

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med prosjektet «Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2» er det sett på forskjellige utforminger av inntak, tunnel og utløp for flomsikringstunnelen som er planlagt mellom Prestbru i Sokndal og Jøssingfjord. De forskjellige utformingene som er vurdert er beskrevet i tre notater [1] [2] [3]. Basert på notatene har Sokndal kommune bestemt at man skulle vurdere utforming 3.1 mer detaljert. I Figur 1.1 er det vist en oversikt over tiltak 3.1.



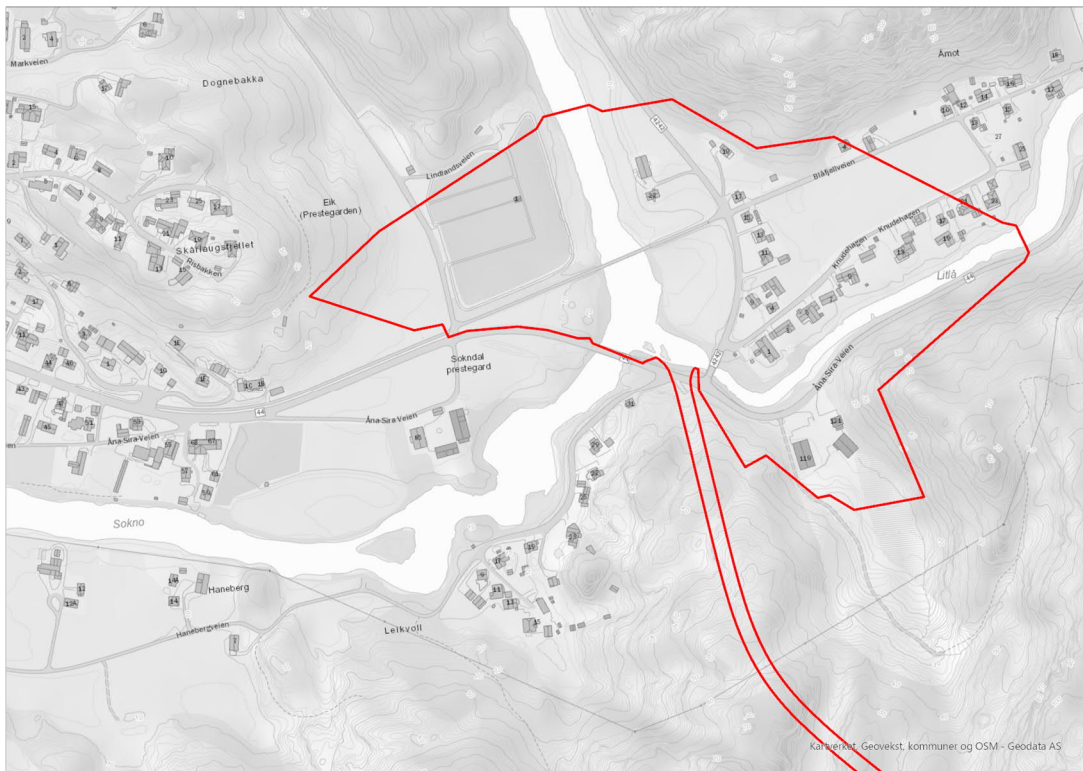
Figur 1.1: Oversikt over tiltaket

Tiltak 3.1 består av følgende elementer:

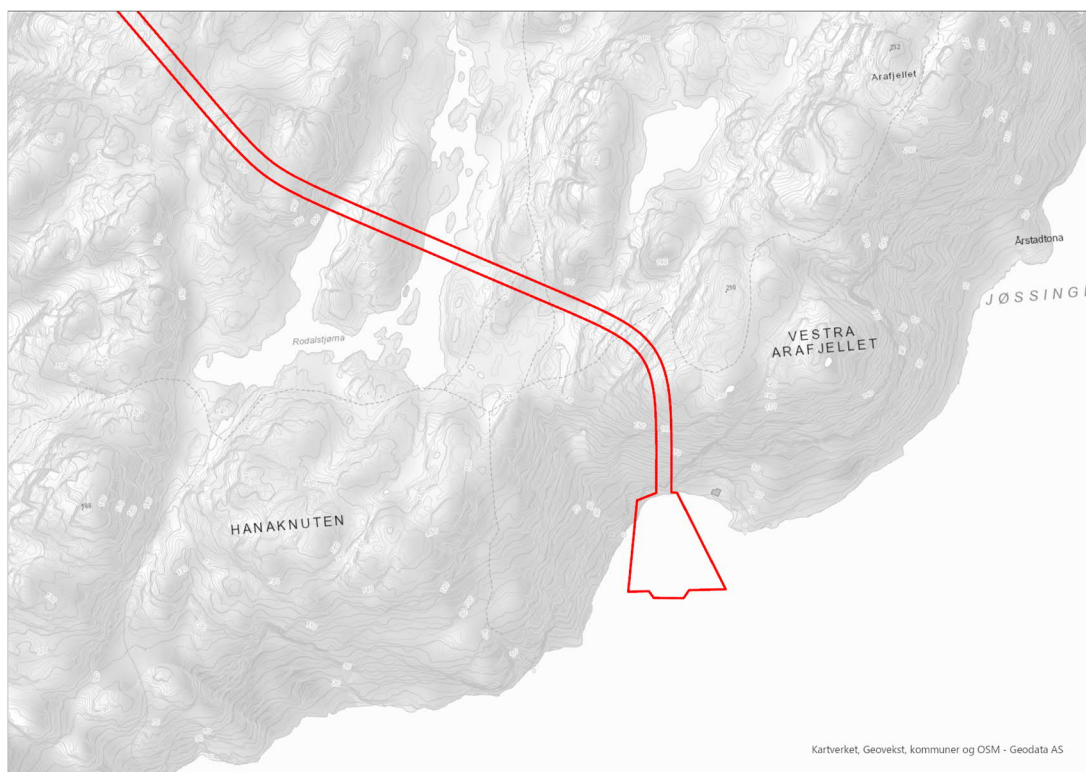
- Obermeyerluker rett oppstrøms Prestbru. Bunn av lukene ligger jevnt med eksisterende elvebunn
- Avrundet inntak med bru for FV44 over inntaket.
- Området foran inntaket er senket til 5 moh
- Segmentluke i inntaket før innløp i tunnel
- Ca. 3 km lang tunnel til Jøssingfjord
- Senkning av elvebunnen under Åmodtsbrua
- En halv til en meter høy terskel ved innløp til tunnel.

1.2 Avgrensning av prosjektet

Området som er kartlagt er vist i Figur 1.2, Figur 1.3 og Figur 1.4. Innløpsområdet dekker Sokna fra Prestbru og opp til Eikedal gravplass oppstrøms Blåfjellveienbru og nesten opp til Måhølen i Litlå. Utløpsområdet er like vest for Vestre Arafjellet i Jøssingfjorden.



Figur 1.2: Utstrekning av hydraulisk modell, avgrenset av rød linje. Innløp



Figur 1.3: Utstrekning av hydraulisk modell, avgrenset av rød linje. Utløp



Figur 1.4: Utstrekning av hydraulisk modell, avgrenset av rød linje.

1.3 Prosjektgjennomføring

Prosjektet er gjennomført med Sokndal kommune som oppdragsgiver og Sweco som utførende. NVE har utført flomberegning for vassdraget. Elvebunnen er hentet fra flomsonekartleggingen for Sokna [4]. Detaljerte dybde data i Jøssingfjord er hentet fra Parker sin oppmåling [5]. Detaljerte høyde data over vann er hentet fra høyde data.no (datasett innmålt i 2017 og 2009). Bruer i vassdraget estimert basert på enkle målinger utført av Sokndal kommune samt estimeringer basert på laserdata, bilder og mål fra flomsonekartleggingen.

Samuel Vingerhagen og Hilde Marie Kjellesvig har befart beregningsstrekningen, sammen med representanter fra Sokndal kommune, og utarbeidet en hydraulisk modell. Modellen er kjørt ukalibrert. Prosjektet er utført av Samuel Vingerhagen, med Hilde Marie Kjellesvig som fagkontrollør. Jan-Ove Grastveit (Sokndal kommune) har vært diskusjonspartner underveis i prosjektet.

2 Metode og data

2.1 Hydrologiske data

Flomberegningen er dokumentert i Revidert flomberegning for Sokna [6]. Resultatene fra beregningen er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Kulminasjonsverdier for forskjellige flomstørrelser. [m^3/s]

	Areal km^2	Q_M m^3/s	Q_5 m^3/s	Q_{10} m^3/s	Q_{20} m^3/s	Q_{50} m^3/s	Q_{100} m^3/s	Q_{200} m^3/s	Q_{500} m^3/s	Q_{1000} m^3/s
Litlå	58	49	58	73	78	92	102	112	122	131
Sokna (os Litlå)	236	96	116	145	154	183	202	222	241	260
Sokna (ns Litlå)	294	123	148	185	197	234	259	284	308	333
Med 20% klimapåslag										
Litlå	58	58	70	88	93	111	123	134	146	158
Sokna (os Litlå)	236	116	139	174	185	220	243	266	289	312
Sokna (ns Litlå)	294	148	178	222	237	281	311	341	370	400

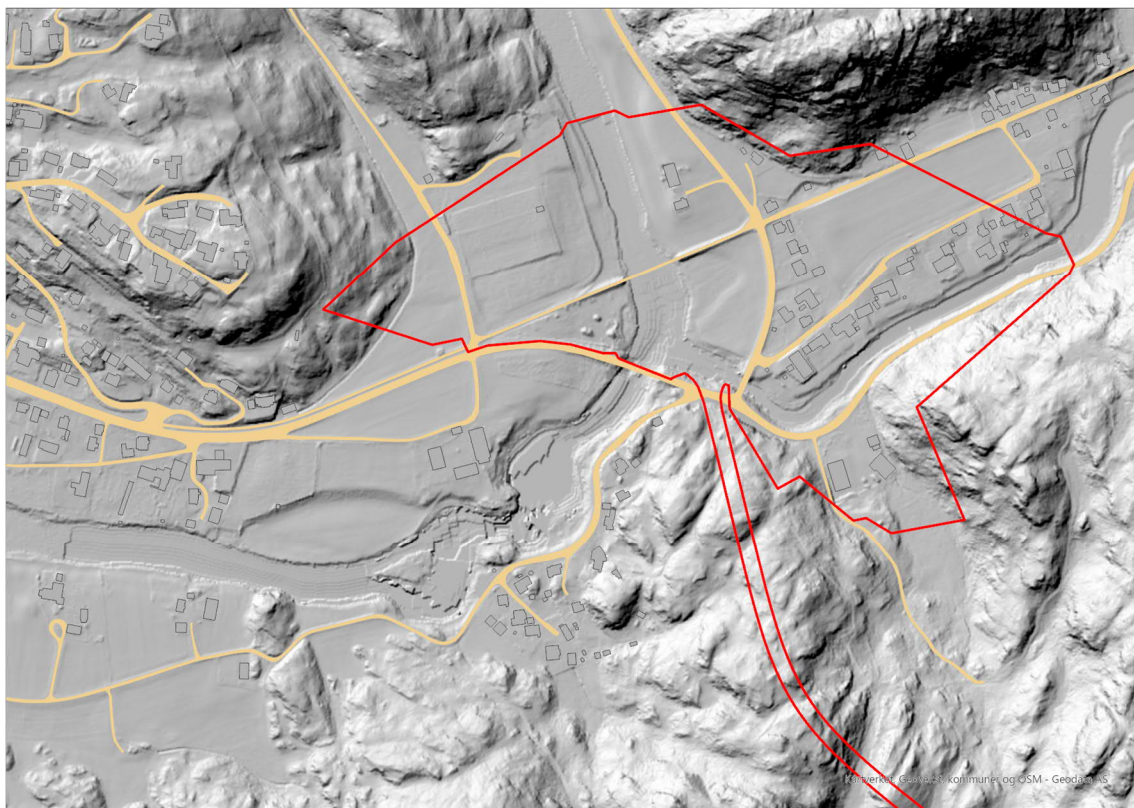
Framskrivinger av klimaet viser at Sokna får en 20% økning i vannføring for 200-årsflommen fram mot år 2100.

2.2 Topografiske data

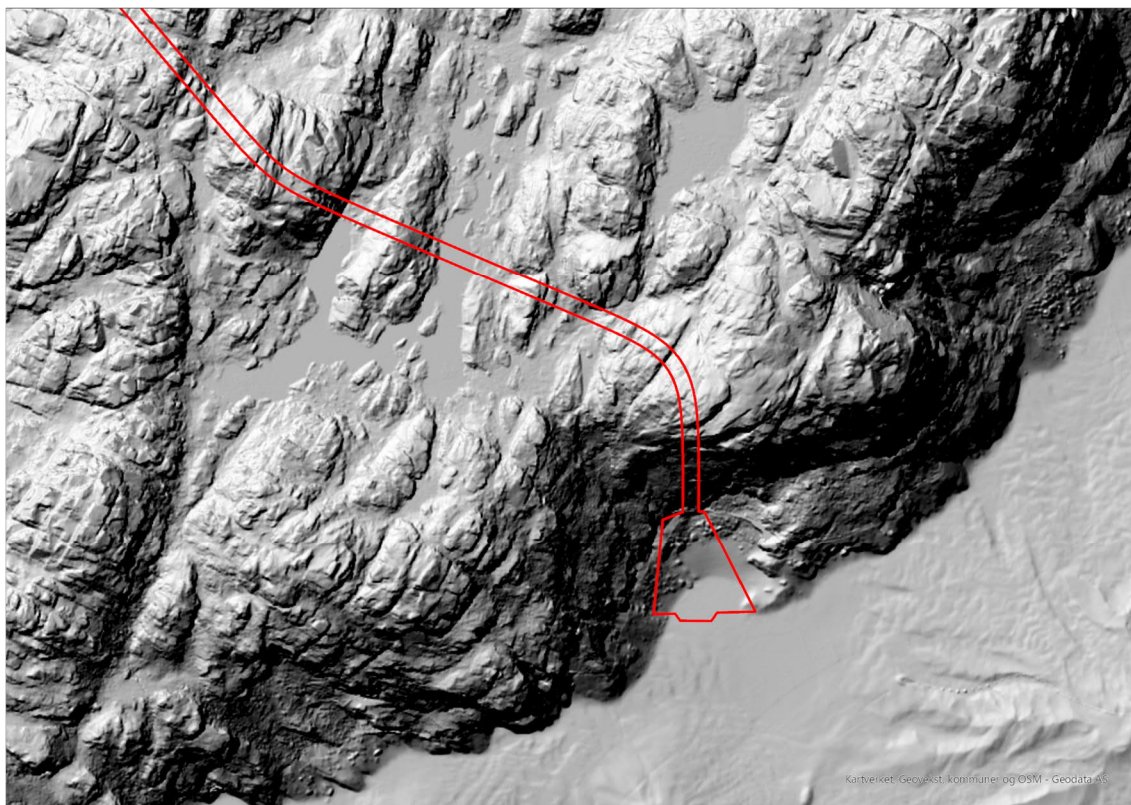
Alle topografiske data er oppgitt i UTM-sone 32N med høydereferanse NN2000.

2.2.1 Elvebunnsdata

Det er benyttet data fra flomsonekartleggingen [4], i form av en digital sammenhengende terrengmodell, under vann. Kartlagt område er vist i Figur 2.1. Ved utløpet i Jøssingfjord er det benyttet data fra Parker sin oppmåling [5]. Deler av kartlagt område ved utløpet er vist i Figur 2.2.



Figur 2.1: Analyseområdet ved innløpet er vist med rød linje. Bunndata og terrengdata er vist med grå skravur.



Figur 2.2: Analyseområdet ved utløpet er vist med rød linje. Bunndata og terrengdata er vist med grå skravur.

2.2.2 Terrengmodell

Til utarbeidelse av terrengmodellen er det tatt utgangspunkt i elvebunnsdataene som dekker hele området i vann, i elvene og i Jøssingfjorden, se avsnitt 2.2.1. Over vann er det benyttet laserdata fra høydedata.no. Hovedsakelig er det benyttet data fra oppmålingen i 2017, men for et lite område fra Prestbru og 50 m nedstrøms Prestbru, i et ca. 200 m bredt felt, er det benyttet laserdata fra 2009.

2.2.3 Kalibreringsdata

Det finnes begrensede kalibreringsdata fra flommer i 2009 (se flomsonekartlegging [4]), 2017 (ukjent vannføring), og 2020 (ukjent vannføring). Modellen ble ikke kalibrert.

Flommen som ble observert i 2009 har en vannføring som tilsvarer et gjentaksintervall på ca. 5 til 10 år.

3 Hydrauliske beregninger

Beregningene er utført med RiverFlow2D+ GPU v7.27. Riverflow2D+ benytter grunt vann ligningene fra vertikal integrering av Navier-Stokes ligningene. Friksjonen mot underlaget er antatt å følge retningen til gjennomsnittshastigheten i vandypet. Modellen inkluderer ikke turbulens. Turbulens og energitap hensyntas kun gjennom Manning's n leddet i momentum-ligningene. Programmet bruker et trekantet beregningsgrid med variabel cellestørrelse til å beregne vannstrømninger i to dimensjoner.

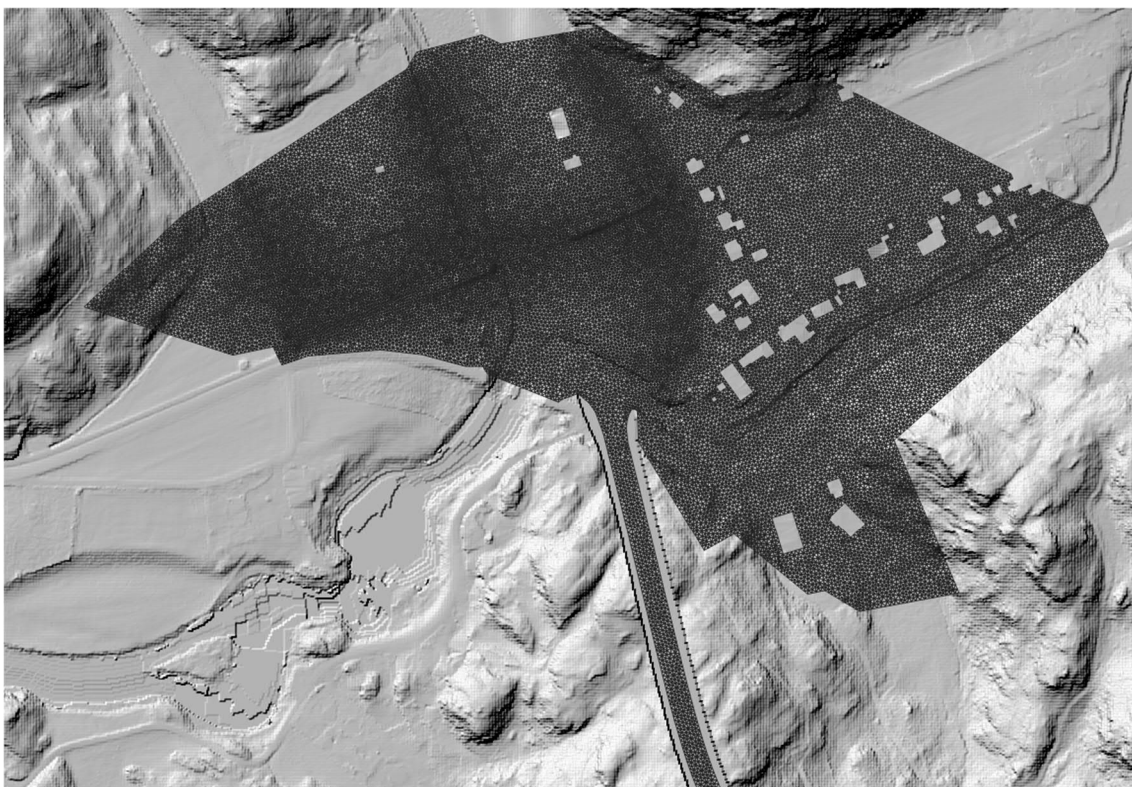
I beregningene er tilleggsmodulen «bru» brukt. Brumodulen deler brua opp i flere seksjoner og beregner falltapet for hver seksjon basert på om det er fritt vannspeil, trykkstrømning, overtopping eller kombinert trykkstrømning, overtopping og neddykking i to dimensjoner.

3.1 Modellering

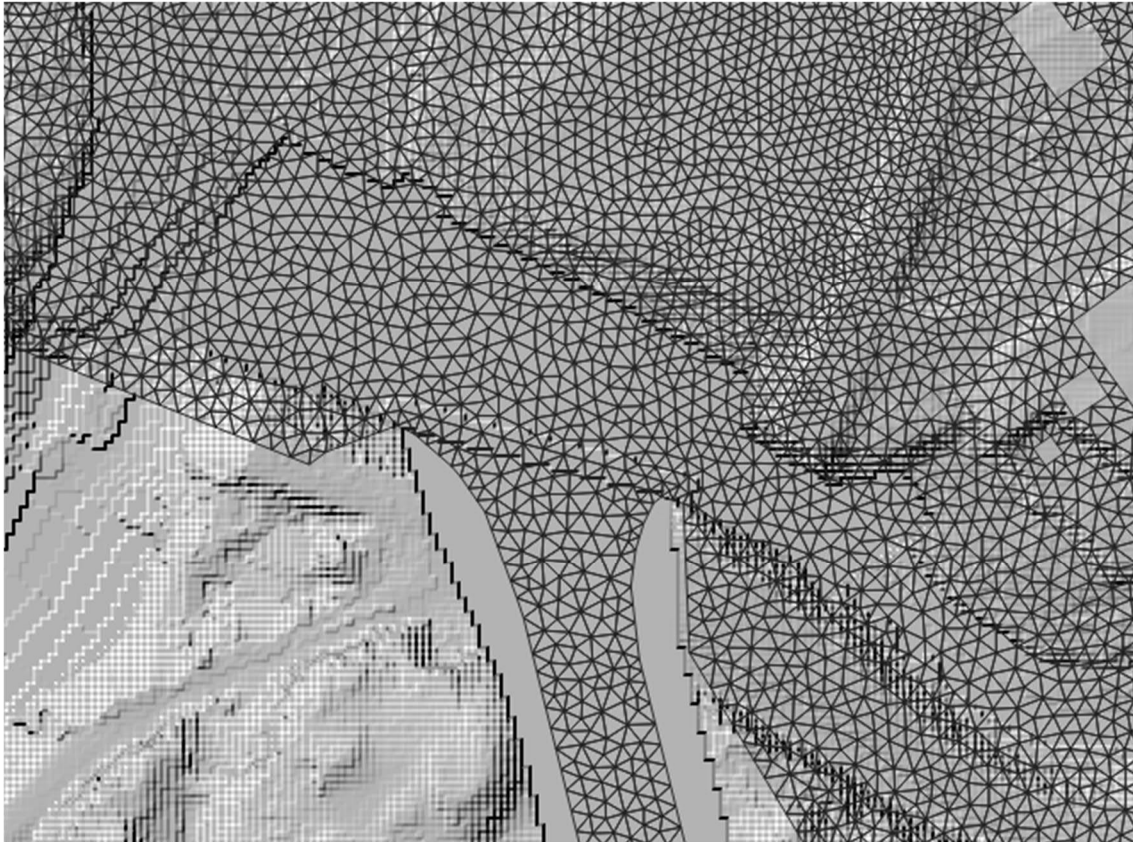
Det er benyttet ArcGis Pro 2.5 til å generere en terrengmodell. Fra ArcGis Pro er så dataene overført til Qgis 3. hvor man bygger opp alle inputfilene til Riverflow2D+. Her er de relevante bruene modellert med modulen for bruer i Riverflow2D+. Fra Qgis eksporteres inngangsdata ut til Riverflow2D+ hvor simuleringen utføres. Så tas resultatfilene inn i ArcGis Pro hvor flomsonene generes.

3.2 Beregningsnett

Totalt består beregningsgridet av ca. 0,065 millioner celler. Lengden på cellene er 3 m eller mindre. Beregningsnettet er bygd opp av trekantete celler som er standard i Riverflow2D+. Et eksempel på beregningsnett er vist i Figur 3.1 og et detaljutsnitt i Figur 3.2.



Figur 3.1: Oversikt over beregningsnettet.



Figur 3.2: Beregningsnett detalj. Beregningsnettet varierer noe avhengig av de forskjellige utformingene av inntaket.

3.3 Grensebetinger

Modellen har to oppstrøms og to nedstrøms grensebetinger. Oppstrøms grensebetinger er vannføring for aktuell flomstørrelse (se også kap. 2.1) i Litlå og Sokna. Nedstrøms grensebetinger er vannstanden i Sokna ved forskjellige vannføring samt vannstanden i Jøssingfjorden.

Det er gjennomført beregninger for flere forskjellige situasjoner, en hvor man sjekker hvordan tiltaket fungerer i en 200-årsflom med klimapåslag, hvor fordelingen mellom Sokna og Litlå er variert innenfor grensene gitt i flomberegningen.

Videre er det kjørt en beregning hvor man har sett på hvordan tiltaket vil fungere ved lavere vannføringer, hvor det er antatt at 1/3 av vannføringen kommer fra Litlå og 2/3 fra Sokna.

Det er også sett på en situasjon hvor man tester hvordan tiltaket vil fungere, for forskjellige vannføringer, om man fjerner lukene i Sokna eller de står åpne. Det er antatt at 1/3 av vannføringen kommer fra Litlå og 2/3 fra Sokna.

Nedenfor er grensebetingelsene for de forskjellige situasjonene angitt.

3.3.1 Oppstrøm grensebetingelse Q_{200} + klimapåslag ved tiltak

I Tabell 3-1 er grensebetingelsene for situasjonen hvor man sjekker hvordan tiltaket fungerer i en 200-årsflom med klimapåslag vist. Fordelingen av vannmengde mellom Sokna og Litlå er variert innenfor grensene gitt i flomberegningen.

Tabell 3-1: Inngangsdata Q_{200} + klimapåslag

Tid	Litlå	Sokna	Totalt inn
[timer]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.0	0	0	0
0.1	134	207	341
1.0	134	207	341
1.01	75	207	282
1.2	75	266	341
2.0	75	266	341

3.3.2 Oppstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, planlagt lukestyring forskjellige vannføringer.

I Tabell 3-2 er grensebetingelse for hvordan tiltaket vil fungere ved vannføringer mindre enn 200-årsflom med klima vist.

Tabell 3-2: Oppstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, planlagt lukestyring forskjellige vannføringer

Tid	Litlå	Sokna	Totalt inn
[timer]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.0	0	0	0
0.1	33	67	100
2.0	33	67	100
2.1	50	100	150
3.0	50	100	150
3.1	67	133	200
4.0	67	133	200
4.1	84	166	250
5.0	84	166	250
5.1	100	200	300
6.0	100	200	300

3.3.3 Oppstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, alle luker står åpne, varierende vannføring.

I Tabell 3-3 er grensebetingelse for hvordan tiltaket vil fungere når lukene i Sokna står åpne vist.

Tabell 3-3: Oppstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, alle luker står åpne, varierende vannføring

Tid	Litlå	Sokna	Totalt inn
[timer]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.0	0	0	0
0.1	33	67	100
2.0	33	67	100
2.1	50	100	150
3.0	50	100	150
3.1	67	133	200
4.0	67	133	200
4.1	84	166	250
5.0	84	166	250
5.1	100	200	300
6.0	100	200	300
6.1	116	233	349
7.0	116	233	349

3.3.4 Nedstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak

I Tabell 3-4 er grensebetingelsene for situasjonen hvor man sjekker hvordan tiltaket fungerer i en 200-årsflom med klimapåslag vist. Fordelingen av vannmengde mellom Sokna og Litlå er variert innenfor grensene gitt i flomberegningen.

Tabell 3-4: Nedstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak

Vannstand [moh]	Vannføring [m ³ /s]
0	0
6	0
10.3	100
11	340

3.3.5 Nedstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, planlagt lukestyring forskjellige vannføringer.

I Tabell 3-5 er grensebetingelse for hvordan tiltaket vil fungere ved vannføringer mindre enn 200-årsflom med klima vist.

Tabell 3-5: Nedstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, planlagt lukestyring forskjellige vannføringer

Vannstand [moh]	Vannføring [m ³ /s]
0	0
8,6	100
10,3	100
11,0	340

3.3.6 Nedstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, alle luker står åpne, varierende vannføring.

I Tabell 3-6 er grensebetingelse for hvordan tiltaket vil fungere når lukene i Sokna står åpne vist.

Tabell 3-6: Nedstrøms grensebetingelse Sokna ved tiltak, alle luker står åpne, varierende vannføring [1]

Vannstand [moh]	Vannføring [m ³ /s]
0	0
8,6	100
9,3	150
9,8	200
10,2	250
10,6	300
10,9	350

3.3.7 Vannstand Jøssingfjorden

Nedstrøms grensebetingelse i innløpet i Jøssingfjord er satt til vannstand med ca. 10 års gjentaksintervall i fremtidig klima som er ca. 1,5 moh [4].

3.4 Kalibrering

Den hydrauliske modellen bør kalibreres mot en eller flere flommer i vassdraget, da dette er med på å redusere usikkerhetene i beregningene.

Modellen ble ikke kalibrert pga. usikkerheter i tilgjengelige kalibreringsdata og terrengdata.

I området foran og inn mot tunnelen er det brukt konservative Manningsverdier. Det er forutsatt at innløpsgeometrien støpes med betong i bunnen og langs sidene fram til tunnelinnløpet.

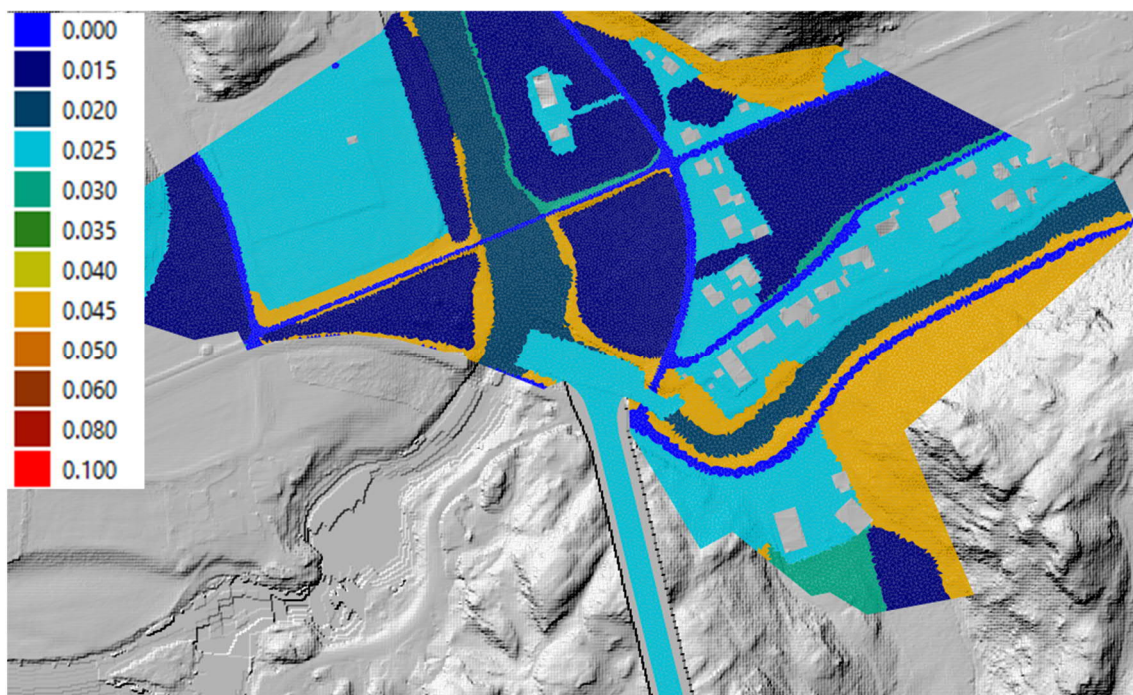
Det er brukt en glatt verdi for ruheten i elveløpet som er satt til $M = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, se Figur 3.3.

Valg av ruhet utenfor elveløpet har generelt liten betydning for resultatene da vannstandene i hovedsak styres av tverrsnittene i hovedelva. Det finnes ikke kalibreringsvannstander utenfor elveløpet og det er derfor ikke mulig å kontrollere at korrekte Manningsverdier er benyttet.

I tunnelen er lagt til grunn at bunnen av tunnelen støpes i betong. Det er antatt at M for betongen er $55 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ og M for sprengt vegg er $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. For en 14,5 m bred tunnel gir det en gjennomsnittlig Manningsverdi på $49,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ved et vandyp på 4,34 m som igjen gir en vannføring på $240 \text{ m}^3/\text{s}$. Siden simuleringsmodellen ikke tar hensyn til sidefriksjon er det benyttet et Manningstall på $35,7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ for å oppnå et vandyp på 4,34 m ved $240 \text{ m}^3/\text{s}$ i tunnelen. $M = 35,7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ er også benyttet i området oppstrøms inntaket som er senket i modellen.

I områdene utenfor elveløpet er følgende verdier benyttet:

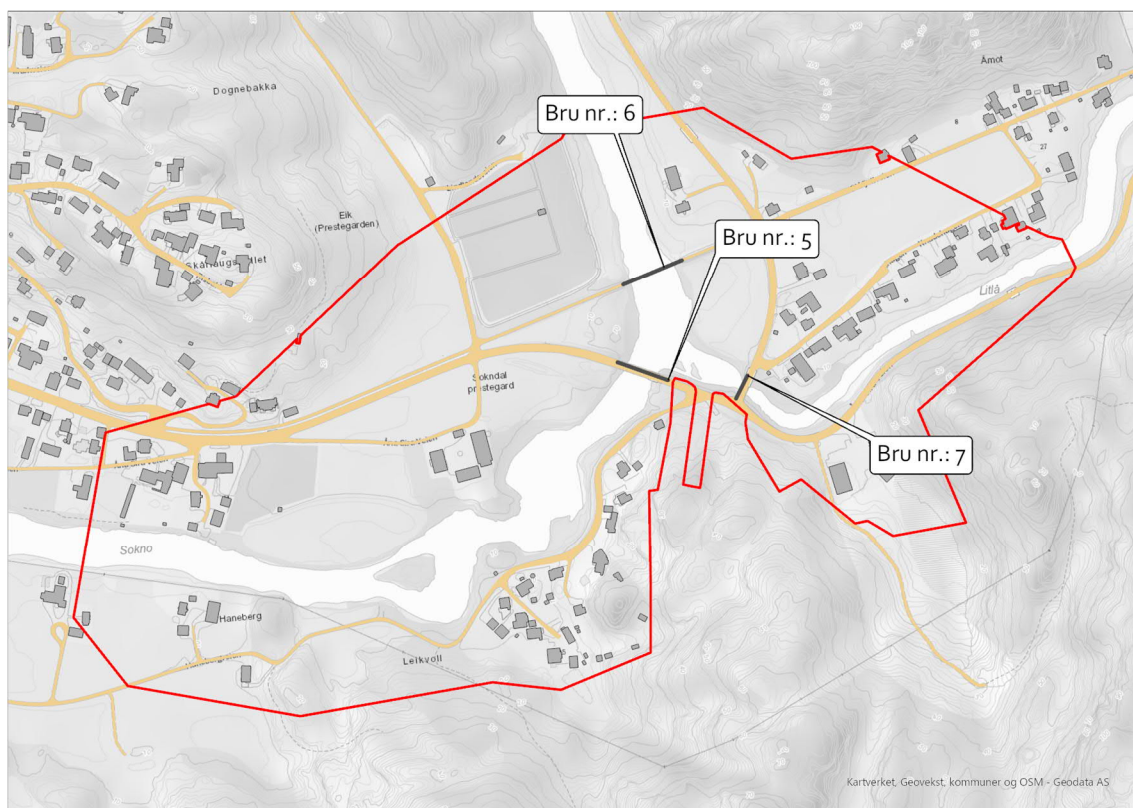
- Veier $M = 67 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Bebyggelse eller betydelig opparbeidet areal $M = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Jordbruksareal dyrket til vanlig plen høyde $M = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Innmarksbeite $M = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Spredt skog $M = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Bygninger $M =$ Blokkert ut.



Figur 3.3: Benyttede Manningsverdier ($n=1/M$).

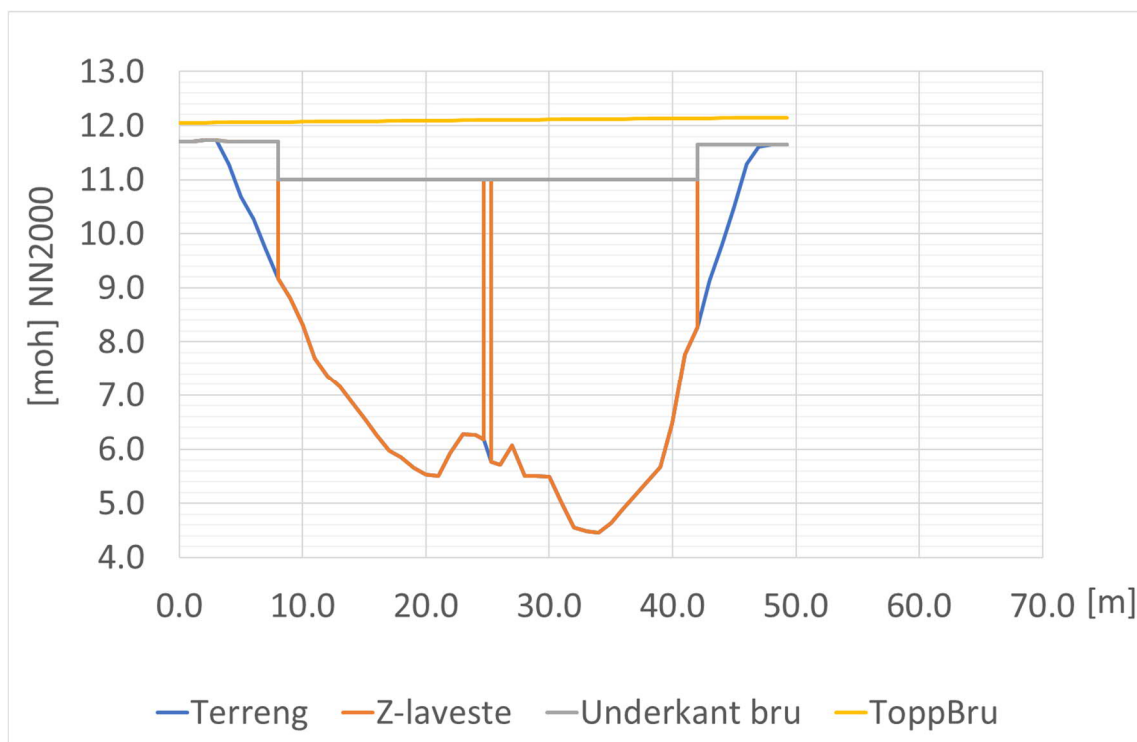
3.5 Broer og kulverter

Det er tre bruer på beregningsstrekningen, bruene er vist i Figur 3.4. De er nummert som bru 5 (Prestbru), 6 (Blåfjellbanen) og 7 (Åmodtsbrua).



Figur 3.4: Oversikt over bruer i flomsonekartleggingen.

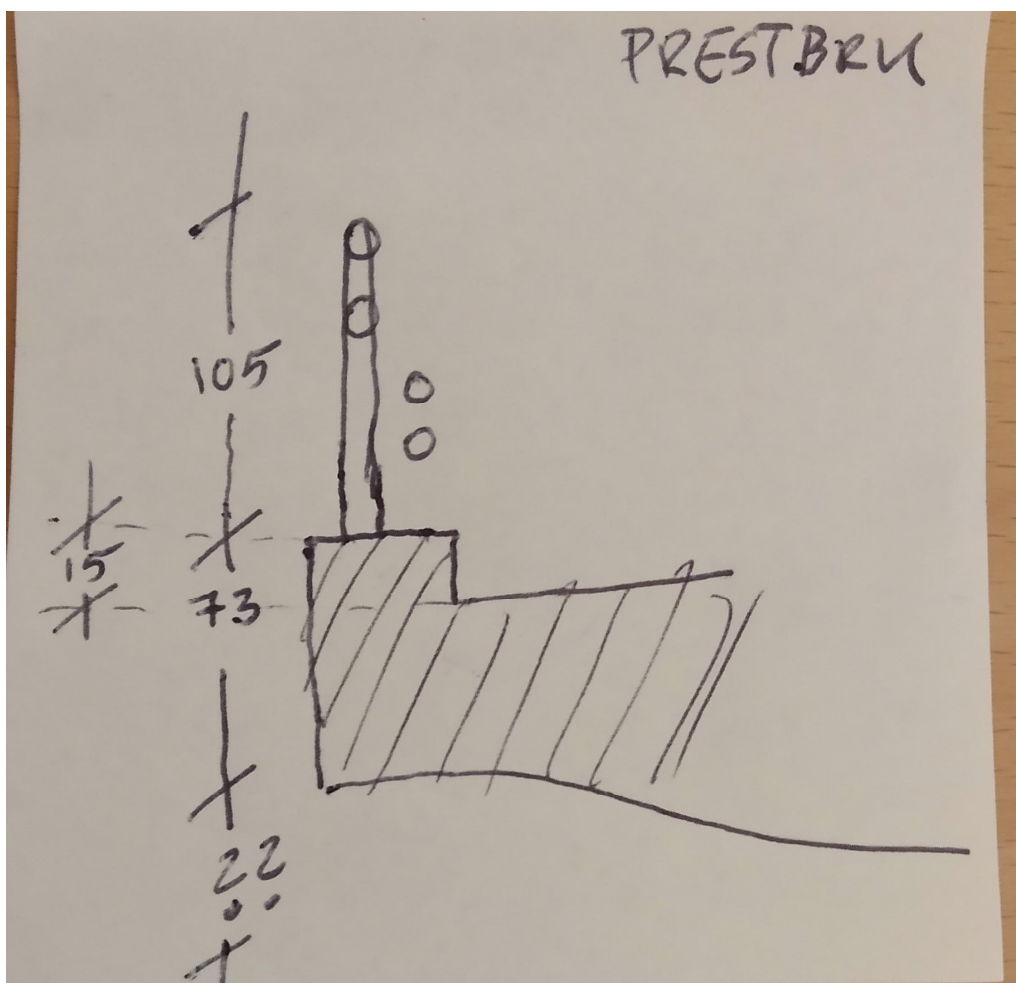
I Figur 3.5, Figur 3.9 og Figur 3.12 er det vist hvordan geometrien til bruene er lagt inn i den hydrauliske modellen. Det finnes anbuds tegninger av bru nr. 5. Soknedal kommune har oversendt enkle geometriske mål av bruene, som sammen med data fra høydedata.no, lengdemålinger på flyfoto, bilder av bruene og data fra flomsonekartleggingen danner grunnlaget for geometrien som er lagt inn i den hydrauliske modellen. Bru nr. 5 er ikke lagt inn i simuleringene siden modellen avsluttes ved bru nr. 5.



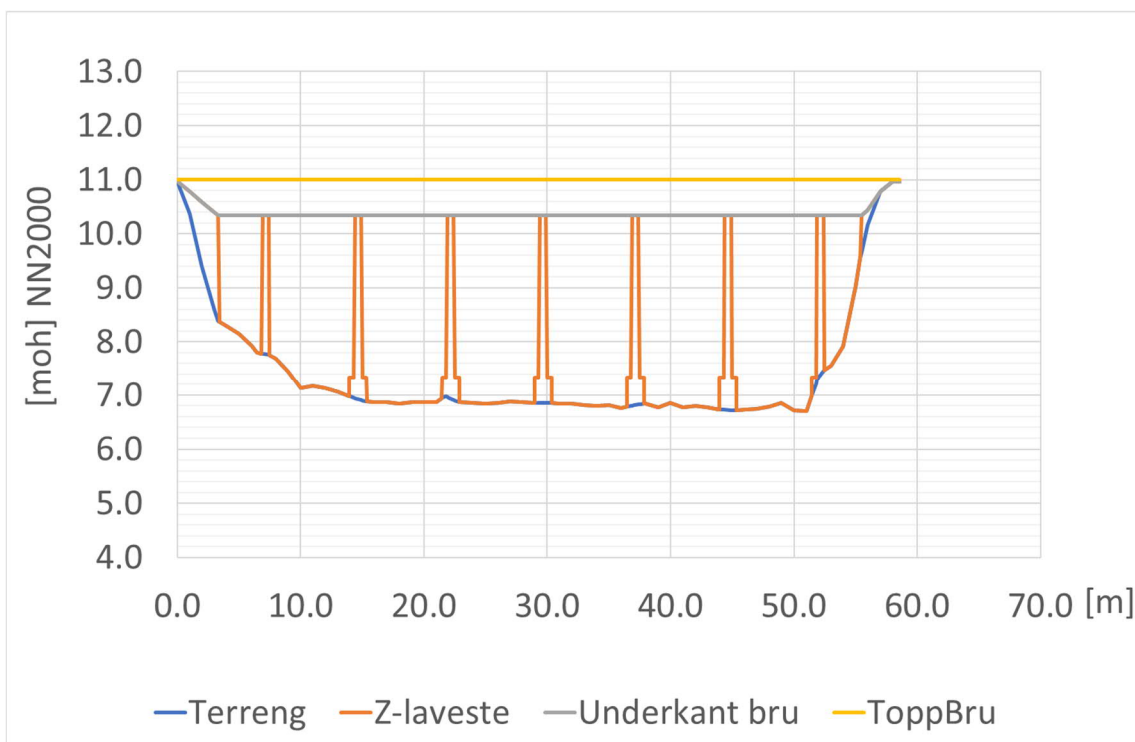
Figur 3.5: Bru 5, Input til beregningsprogram.



Figur 3.6: Foto av bru nr.: 5 sett fra oppstrøms side. Laveste høyde underkant bru 11,0 Foto: Samuel Vingerhagen



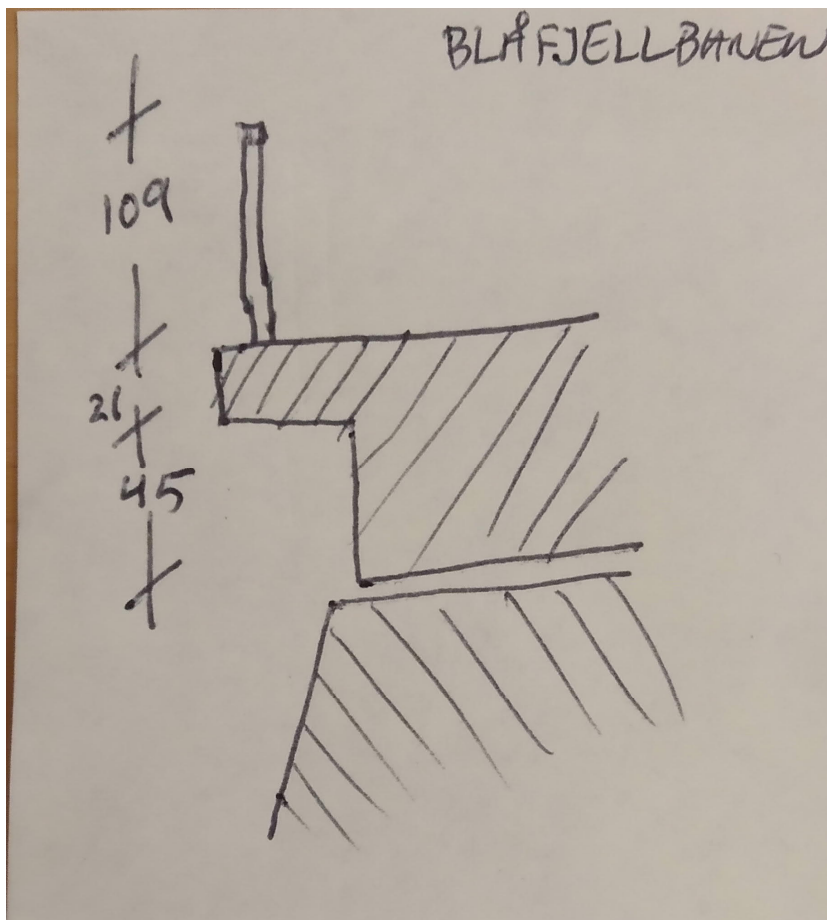
Figur 3.7: Mål bru nr.: 5 [7]



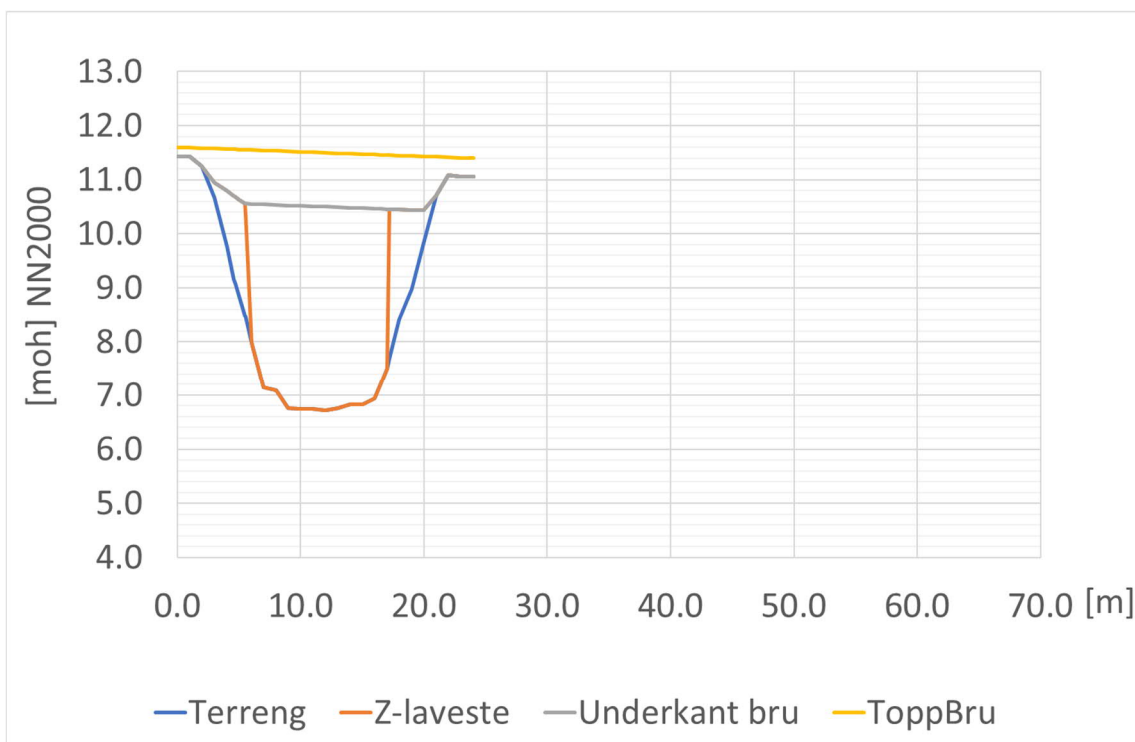
Figur 3.9: Bru 6, Input til beregningsprogram.



Figur 3.10: Foto av bru nr.: 6 sett fra nedstrøms side. Laveste høyde underkant bru 10,3 Foto: Samuel Vingerhagen



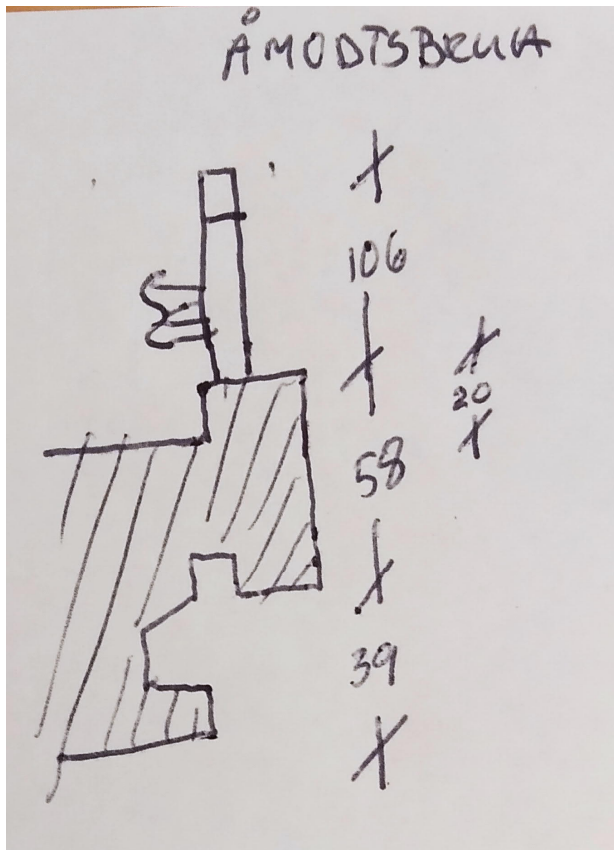
Figur 3.11: Mål bru nr.: 6 [7]



Figur 3.12: Bru 7, Input til beregningsprogram.



Figur 3.13: Foto av bru nr.: 7 sett fra nedstrøms side. Laveste høyde underkant bru 10,4 Foto: Samuel Vingerhagen



Figur 3.14: Mål bru nr.: 7 [7]

3.6 Følsomhetsanalyse

Det er ikke utført sensitivitetsanalyser. Usikkerheten knytter seg sannsynligvis til ruheten i tunnelen og ruheten i elveløpet. Det er brukt relativt konservative ruhetsverdier både for betong og ruheten til fjellet. Det er derfor ventet at tiltaket vil ha bedre kapasitet enn hva resultatene viser. Det er også brukt konservative verdier for ruheten i elveløpet som fører til at tiltakene får mindre effekt enn hva som er forventet.

4 Resultater

Resultatene viser at vannstanden like oppstrøms Prestbru vil bli ca. 10,1 til 10,2 moh ved en 200-årsflom med klima når det renner like over 240 m³/s i flomtunnelen og ca. 100 m³/s inn mot sentrum.

Resultatene viser også at vannstanden oppover i Litlå kan reduseres med opp mot 0,6 m i en 200-årsflom med klima ved å senke elvebunnen under Åmodtsbrua til 5 moh. Det er usikkert hvor langt oppover i Litlå man vil få en vannstandssenkning grunnet manglende elvebunns- og kalibreringsdata.

4.1 Resultater ved terrengnivå 7 moh oppstrøms inntak tunnel.

Om terrenget oppstrøms inntaket til tunnelen legges på 7 moh eller om det fylles opp av sedimenter til 7 moh vil vannstanden like oppstrøms Prestbru bli ca. 10,2 til 10,3 moh. Det vil fremdeles være en betydelig reduksjon i vannstanden i Litlå, men vannstanden er ca. 60 cm høyere enn om elvebunnen hadde vært på 5 moh under Åmodtsbrua, som er det planlagte tiltaket.

4.2 Resultater, vannstand holdes over 9 moh ved hjelp av lukestyring.

Resultater fra simulering hvor vannstanden holdes over 9 moh, oppstrøms Prestbru, når lukene er i funksjon.

Tabell 4-1: Resultater, ved bruk av luker for å holde vannstand over 9 moh.

Sokna	Tunnel	Totalt ut	Vannstand oppstrøms Prestbru
[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[moh]
100	0	100	8,6
100	50	150	9,1
100	100	200	9,3
100	150	250	9,6
100	200	300	10,0
100	240	340	10,2

4.3 Kapasitet, alle luker i åpen posisjon.

Resultater fra simulering som viser hva som hadde skjedd om alle luker sto i åpen posisjon ved f.eks lukesvikt på lukene i Sokna oppstrøms Prestbru.

Tabell 4-2: Resultater, alle luker i åpen posisjon

Sokna	Tunnel	Totalt ut	Vannstand oppstrøms Prestbru
[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[moh]
40	60	100	7,2
63	87	150	7,8
85	115	200	8,3
107	143	250	8,8
134	166	300	9,2
161	189	350	9,5

5 Diskusjoner

5.1 Sedimenttransport

Det er knyttet stor usikkerhet til sedimenttransporten i tilførselselvene oppstrøms inntakspunktet. Usikkerheten knyttet til sedimenttransporten er hovedårsaken til at man har gått for en dyr løsning med betongdekke på bunnen i tunnelen. Hvis det kan gjøres tiltak som fjerner

sedimenttransporten i elva kan man f.eks. benytte seg av en delvis dykket tunnel som vil være billigere å bygge.

5.1.1 Sedimenttransport ved delåpninger på segmentluke

Når vannføringen er lavere enn 100 m³/s er det antatt at vannet renner tilnærmet likt som i det naturlige elveløpet. Ved vannføringer over 250 m³/s vil normalt segmentluka stå helt åpen og sedimentene som kommer inn i tunnelen vil føres gjennom tunnelen. I området mellom 100 og 250 m³/s kan det være aktuelt å bruke segmentluka i posisjoner med delåpninger. I situasjoner hvor vannføringen i tunnelen er lavere enn ca. 50 m³/s, vil vannhastighetene i tunnelen være såpass lave at det er fare for at sedimenter kan legge seg igjen i tunnelen. Det er derfor anbefalt å utføre undersøkelser av sedimenttransporten som sørger for at lukene opereres på en best mulig måte for å sikre at det ikke sedimenterer i tunnel samt at det føres tilstrekkelige mengder med vann nedover i Sokna.

5.2 Måling av vannføring

Det er generelt lite grunnlag for å analysere flommene i vassdraget. Det er også sannsynlig at det skjer en viss demping av flommene i og rundt området ved Årstad naturreservat. Hvis man hadde hatt tilgang på vannføringsmålinger på tilførselselver og ved utløpet i Sogndalsstranda er det kanskje mulig å redusere kapasiteten på flomtunnelen vesentlig om man nyttiggjør seg av potensialet til noe flomdemping ved naturreservatet.

5.3 Kapasitet uten luker i Sokna

Som man ser av resultatene i Tabell 4-2 vil ca. 185 m³/s av en flom på 340 m³/s bli ført gjennom tunnelen om lukene i Sokna står åpne. Tar man hensyn til at modellen med stor sannsynlighet overestimerer mengden vann som vil renne i Sokna kan man anta at mer enn 185 m³/s vil renne gjennom tunnelen i en virkelig situasjon. Hvis f.eks. sentrum tåler en vannføring på over 100 m³/s i flere timer før det bli et problem er det mulig lukene i Sokna kan fjernes og eventuelt erstattes av en liten innsnevring ved Prestbru. Det er derfor viktig å få gode kalibreringsdata samt en oversikt over hvor mye vann som kan magasineres på jordene rundt Årstad naturreservat for å se om det kan være mulig å droppe luker i Sokna.

5.4 Obermeyerluker i elveløpet.

Den valgte løsningen har Obermeyerluker i elveløpet. Det vil være nødvendig at lukene åpner gradvis når vannføringen i Sokna og Litlå til sammen overstiger omtrent 250 m³/s (tilsvarer omtrent en 200-års flom). Etter hvert som vannføringen stiger over 250 m³/s vil vannstanden oppstrøms Obermeyerlukene gradvis øke og det bygger seg opp en høydeforskjell mellom opp og nedstrøms side av lukene. Skulle Obermeyerlukene gå til brudd når det er en høydeforskjell vil det danne seg en bruddbølge. Ved en 200-års flom i et fremtidig klima kan vannføringen potensielt øke fra 100 til ca. 160 m³/s om Obermeyerlukene skulle ryke.

5.5 Segmentluke foran tunnelen.

På samme måte som med Obermeyerluker kan lukesvikt eller feilmanøvrering føre til en hurtig økning av vannføringen i Sokna. Det vil derfor være viktig å sikre at luka ikke kan falle ned i lukket posisjon i en flomsituasjon.

Det er vurdert en løsning hvor det benyttes flere luker som står ved siden av hverandre i stedet for en bred luke. Løsningen med flere luker som står ved siden av hverandre reduserer kapasiteten noe, samtidig som faren for en eventuell tilstopping øker. En løsning med flere luker øker også spennvidden for brua over kanalen.

6 Konklusjoner/anbefalinger

Simuleringene viser at den valgte løsningen sannsynligvis vil fungere godt og at det er relativt liten fare for at de skal bygge seg opp sedimenter i tunnelen i driftsfasen. Det er mulig å gjøre flere undersøkelser som kan redusere både kostnader og usikkerhet i prosjektet.

Det anbefales at det gjøres undersøkelser av sedimenttransporten i elva for å finne ut hvilke fraksjoner og mengder som blir transportert ved forskjellige flomstørrelser. Hvordan lukene skal styres på delåpninger bør bestemmes ut fra analyser av sedimenttransport sett opp mot behovet for å sende ca.100 m³/s eller mindre i Sokna som minstevannføring.

Undersøkelser av sedimenttransporten er også viktig for å avgjøre om det kan benyttes andre tunnelloesninger som vil være billigere å bygge siden delvis eller helt dykkede tunneler kan utnytte mer av den tilgjengelige fallhøyden enn den valgte løsningen gjør.

Det anbefales å se på om det går an å gjøre tiltak som kan redusere eller fjerne sedimenttransporten i elva slik at man kan bygge en delvis eller helt dykket tunnel

Det anbefales å utføre vannføringsmålinger i alle tilførselselver oppstrøms Prestbru og for vannføringen i Sokna gjennom Sogndalsstranda for å skaffe til veie et godt grunnlag for flomberegninger. Målingene bør minimum utføres over en periode på 2 år.

Det anbefales også å utføre kalibreringsmålinger hvor vannstand og vannføring måles samtidig. Målingen vil gi bedre kunnskap av hvor stor vannføring sentrum tåler før det blir problemer.

Eventuelle sedimenter som legger seg oppstrøms inntaket bør fjernes etter hvert. Spesielt under Åmodtsbrua er det viktig å fjerne sedimenter som bygger seg opp, dette for å redusere flomproblemene i områdene oppstrøms Åmodtsbrua.

7 Referanser

- [1] S. Vingerhagen og H. M. Kjellesvig, *Vannlinjenotat Mulige utforminger av inntak tunnel og utløp*, 10218293-RIVass-NOT-002, Sweco, 2021.
- [2] S. Vingerhagen, *Informasjon tunnelgeometri for de ulike alternativene*, 10218293-RIVass-NOT-003, Sweco, 2020.

- [3] S. Vingerhagen og H. M. Kjellesvig, «Fordeler ulemper og kostnader forskjellige alternativer, 10218293.RiVass-NOT-004,» Sweco, 2020.
- [4] Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure, «Flomsonekart – Delprosjekt Sokndal,» Norges vassdrags- og energidirektorat, Eching am Ammersee, 2020.
- [5] Parker Maritime AS, «Kartlegging ved kaier i Jøssingfjord,» Parker Maritime AS, 2015.
- [6] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Revidert flomberegning for Sokna (026.4Z),» Norges vassdrags- og energidirektorat, 2019.
- [7] N. Homme, *Geometridata på vei og gangbruer*, 6.aug.2020.

Vedlegg 7

Grunnlag for kostnadsberegning inntakskonstruksjon. 10218293-NOT_006_00

NOTAT 006

KUNDE / PROSJEKT Sokndal kommune Inntaksløsning og Flomtunnel fase 2	PROSJEKTLEDER Hilde Marie Kjellesvig	DATO 14.01.2021
PROSJEKTNUMMER 10218293	UTARBEIDET AV Leif Otto Almestrand	REV. DATO

DISTRIBUSJON: FIRMA

NAVN

TIL:

KOPI TIL:

NOTAT - GRUNNLAG FOR KOSTNADSBEREGNING INNTAKSKONSTRUKSJON

LUKEDAM

Det skal bygges en lukedam i elveløpet som utstyres med Obermeyer-luker (gummiluker med stålskjold). Dammen skal begrense vannføringen nedstrøms til $Q_{maks} = 100,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Det øvrige tilsiget skal ledes til Jøssingfjorden via flomtunnelen. Dammen plasseres i tilknytning til eksisterende bru.

DFV = kt. 10,3. Overkant luker i hevet posisjon skal ligge på kt. 9,0.

Antatte grunnforhold : Brua er med en midtpilar plassert i elveløpet og med brukar på hver side. Midtpilarfundamentet er beskrevet satt på stålpeler rammet i løsmasser. Det er synlig berg ved brukarene på hver side. Antar ut fra dette at det er fjell på hver side og løsmasser i elveløpet hvor det er mulighet for å ramme ned spunt. Antar fin ensgradert sand-grusavsetning.

Overkant eksisterende brufundament midt i elveløpet er plassert på kt. 5,9. Vi har valgt denne høyden som terskelhøyde for lukene og for tilhørende plattform.

Vi velger å plassere lukekonstruksjonen oppstrøms brua og nær opp til denne men uten å forstyrre brufundamentene ifm. nødvendige grave-sprengningsarbeidene for lukefundamentene.

Fri avstand mellom vegg brukar på begge sider og betongliv midtpilar er $2 \times 16,7 \text{ m}$. Fundamentene under brukarene stikker frem 0,5 m og vil bygge inn i et lukeløp dersom bru-lysåpningen velges for lukeløpet. Velger å la vegglivet i lukeløpet flukte ytterkant fundament og deler løpet i 2 med en midtvegg som flukter midtpilaren under brua.

Lukekarene på hver side bygges tilsvarende brukarene og med utstrekning tilsvarende oppstrøms tetningsdekke. Overkant lukekar legges på kt. 11,0. Et lite lukehus som rommer manøvreringsorganene for lukene kan plasseres oppå et av lukekarene.

Ender da opp med følgende lukedata :

2 stk Obermeyer-luker hver med lysåpning $w = 16,2 \text{ m}$, ok luke i hevet stilling på kt. 9,0 og luketerskel på kt. 5,9.

Med $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ over lukene vil vannstanden nedstrøms forutsatt flatt overløp være : $H_w = (100/(1,4 \times 35))^{2/3} \rightarrow H_w = 1,6 \text{ m}$

1 (9)

Sweco
Drammensveien 260
Box 80 Skøyen
NO-0212 Oslo, Norge
Telefon +47 67 12 80 00

Sweco Norge AS
Organisasjonsnr. 967032271
Hovedkontor: Oslo

Leif Otto Almestrand
Senior Vannkraftingeniør
Energi

Mobil +47 975 35 248
leif-otto.almestrand@sweco.no

www.sweco.no

TAE p:\32713\10218293\000\06 dokumenter\03 rapporter og notater\notat 6 kostnadsberegning innløpskonstr\10218293-notat 006 sokna. kostnadsberegning konstr innløpet.docx

Dimensjonerende trykk 1 : $H_{dim} = 10,3 - (5,9 + 1,6) = 2,8 \text{ m}$

Dimensjonerende trykk 2 : $H_{dim} = 9 - 5,9 = 3,1 \text{ m}$

Antar dimensjonerende creep-ratio til 6,5 og dybde tetningsvegg til $d = 5,0 \text{ m}$. Nødvendig utstrekning av horisontal tett plattform blir da :

$$5 + 5 + 1 + 2 + L/3 = 3,1 \times 6,5 \rightarrow L = 25,0 \text{ m}$$

Ender opp med en konstruksjon som skissert nedenfor på fig. 1 og 2. Fig 2 viser også nødvendige inngrep gjennom bruløpet.

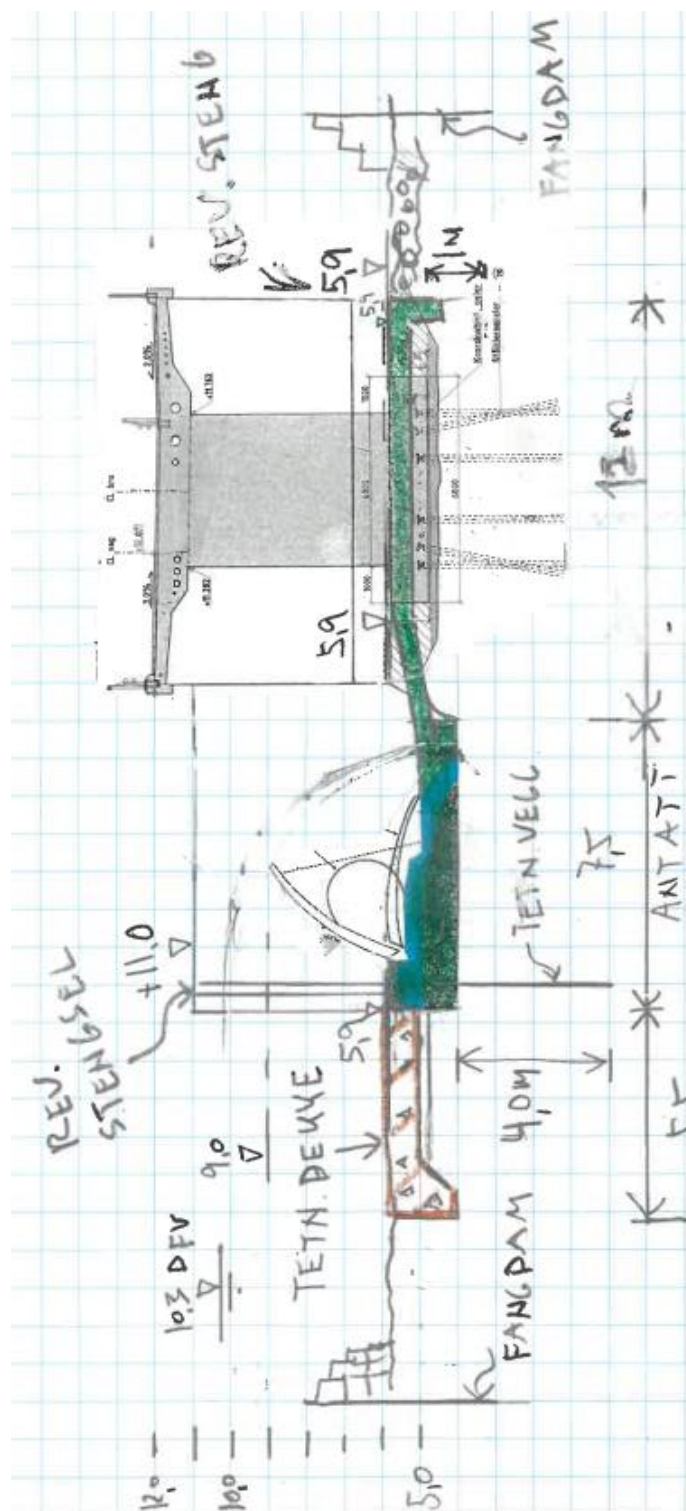
Lukefundamentene legges oppstrøms brua og hver bygger 7,5 m i lengderetningen. Det etableres en vertikal tetningsvegg i oppstrøms ende av hvert av fundamentene. Denne stikker 4 m dypt/alt. til fjell og er i kostnadsberegningen antatt som en spuntvegg. Alternative måter å bygge denne på kan være en utgravd sliss som stabiliseres med bentonitt og fylles med betong.

Nedstrøms disse bygges en betongplate som avsluttes i flukt med brukarene på hver side.

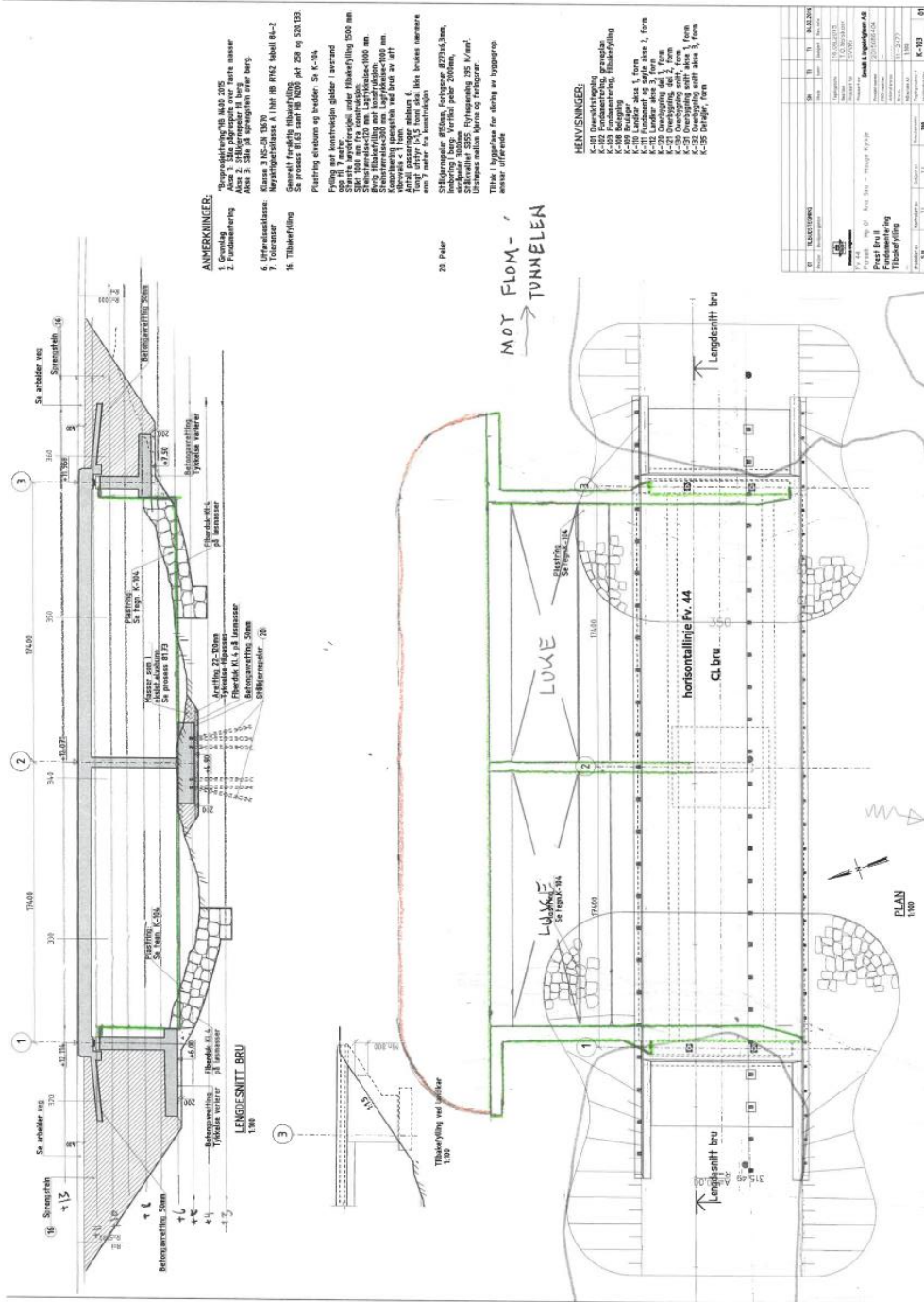
Hvert av lukeløpene arrangeres med revisjonsstengsler. Det monteres føringer for setting av bjelkestengsler i begge endene for hvert av lukeløpene slik at ett av løpene kan stenges mens naboløpet er åpent. Bjelkestengslet er planlagt for vanntrykk opp til kt. 8,00.

Oppstrøms lukefundamentene anlegges en tetningsplate som bygger 5,5 m i utstrekning. Denne består regnet fra undersiden av en fiberduk, derpå en morene/filter 0-60, på dette en tetningsduk (butylfolie), over denne et lag tunnelstein 0-200 og på overflaten et lag sprengstein $d_{50} > 300$.

Byggkostnadene for damkonstruksjonen fremgår av kostnadsberegningsvedlegget. Det må gjennomføres grunnundersøkelser før videre planleggingsarbeider. Dette er avgjørende for utformingen av fundamentløsningen samt for bestemmelse av hvordan den vertikale tetningskjernen skal bygges. I kostnadsberegningen er inkludert en post som skal dekke denne aktiviteten.



Figur 1 Skisse lengdesnitt damkonstruksjon med eksisterende bru



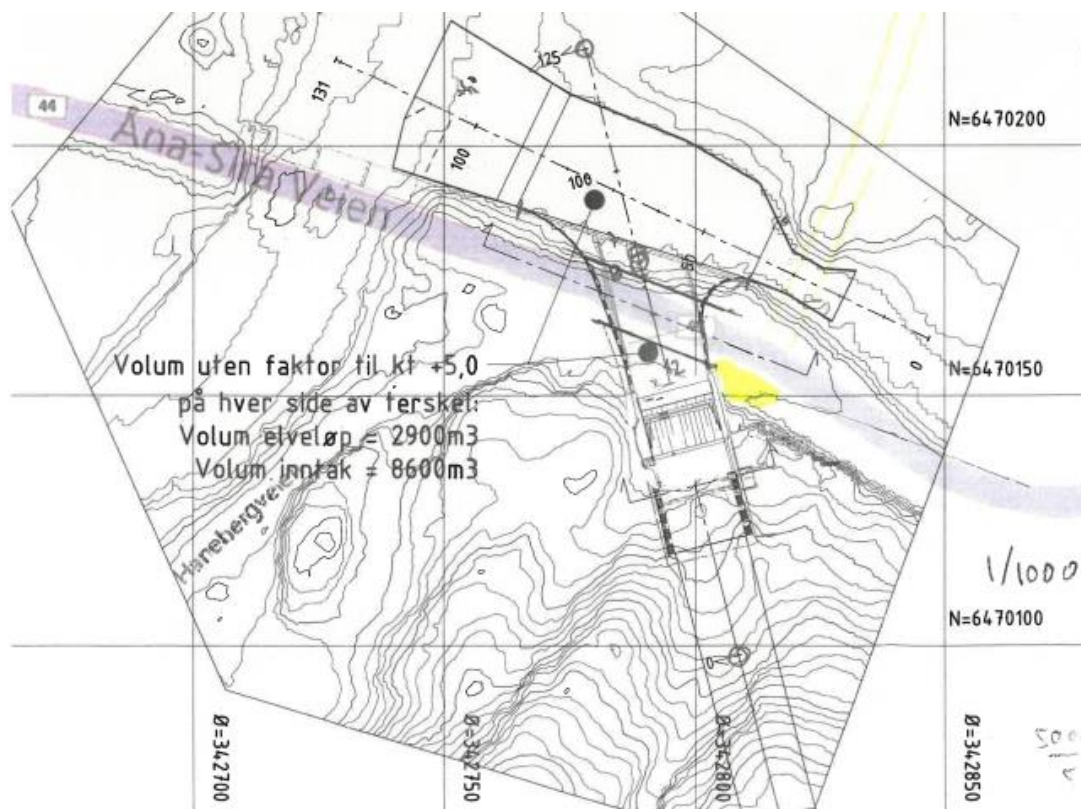
Figur 2 – Skisser inngrep eksisterende brukonstruksjon samt plansnitt damkonstruksjon tilknyttet brukonstruksjon

4 (9)

NOTAT 006
14.01.2021

KANALINNØP FLOMTUNNEL MED LUKEAVSTENGNING.

Planoversikt over kanalinnløpet til flomtunnelen er vist nedenfor på fig. 3.



Figur 3 Planoversikt innløpsområdet

Innløpskanalen er 62,5 m lang målt inn til tunnelpåhugget. Ved innløpet fra elveløpet skal bygges en 0,5 m høy terskel. Nær kanalinnløpet krysses kanalen med en brukonstruksjon ifm. passering av Ånas-Sira Veien.

Kanalen forsynes med en luke som manøvreres når tilsiget stiger. Luka slipper flomvann ut i Jøssingfjorden via flomtunnelen. Arrangementet bygges for å unngå at større vannføringer enn $Q = 100,0 \text{ m}^3/\text{s}$ slippes ned i elvas hovedløp.

Kanalens vannløp skal være betong-linet. Kanalens såle er horisontal og legges på nivå kt. 5,0. Betongveggene på begge sidene føres opp til kt. 11,0 som er 0,7 m over dim. flomvannstand (DFV). Kanalens bredde (lysåpning) innvendig er $W = 14,5 \text{ m}$ som tilsvarer tunnelbredden.

Design av betong-liningen fremkommer som følger :

Dim. fl.v.st. : kt 10,3

Terskelnivå damluker : kt. 5,9

Poretrykk mot betongsålen ved maks senkning : $H_{po} = (10,3-5,9) \times 9,81 = 43,2 \text{ kN/m}^2$.

Vanntrykk på sålen : $P_{sål} = (5,9-5,0) \times 9,81 = 8,83 \text{ kN/m}^2$

Netto opptrykk : $43,2-8,83 = 34,37 \text{ kN/m}^2$

Borer drenshull i sålen : Borhull dia. Ø 50-70 mm i et rutenett 3x3 m². Dybde i fjell : 0,5 m.

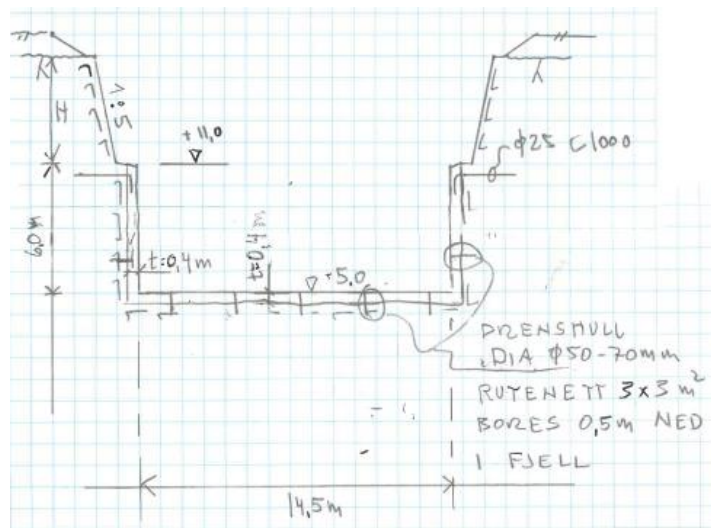
Drenshullene medfører at poretrykket reduseres beregningsmessig til $p_o = 0,30 \times 34,37 = 10,3 \text{ kN/m}^2$.

Antar betongplate med tykkelse $t = 0,4 \text{ m}$.

Likevekt : $0,4 \times 25,0 = 10,0 \text{ kN/m}^2 \approx 10,3 \text{ kN/m}^2$.

Kanalsidene det skal støpes mot legges vertikalt og taes ut v.h.j.a sømbøring. Fjellskjæringene og graveskråningene over kt. 11,0 skrås hhv 5/1 og 1/1,5. Det anordnes en berme i overgangen ved topp betongvegg.

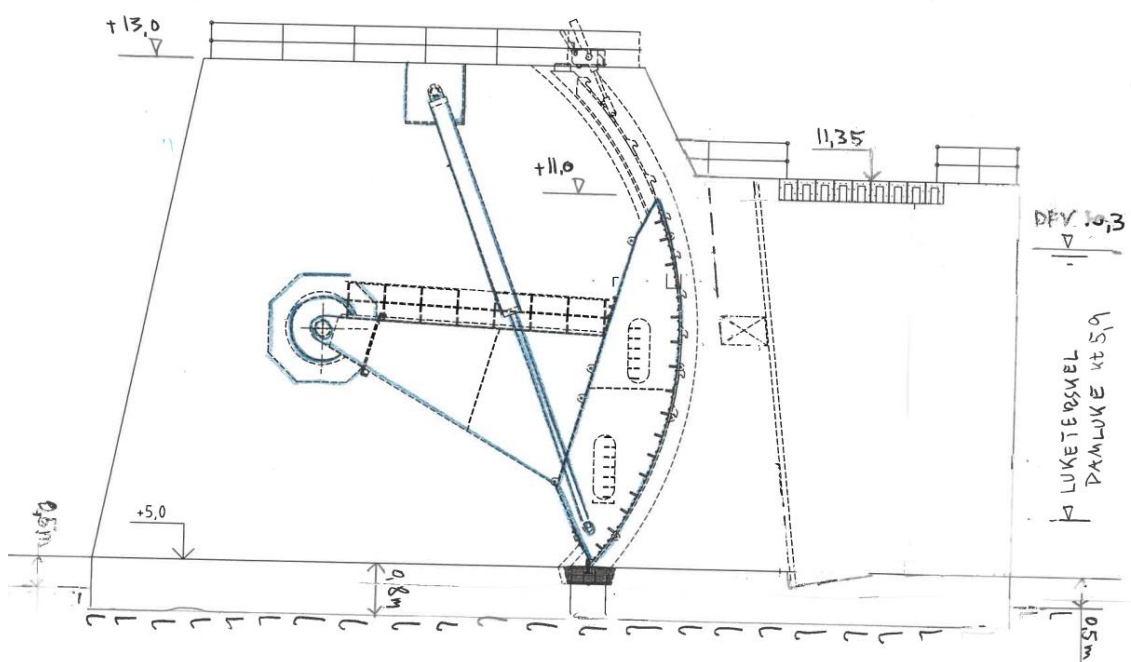
Skisse som viser kanalarrangement slik det da fremkommer ref. fig. 4 nedenfor.



Figur 4

Valgt luke er en segmentluke. Lukeløpet skal flukte kanalløpet. Lukas lysmål blir dermed $A = W \times H = 14,5 \times 6,0$.

Skisse med lengdesnitt av konstruksjonen er vist nedenfor på fig. 5. Luka er tenkt som en hydraulisk manøvrert luke med ensidig opptrekk. Den forsynes med en revisjonsavstengning i form av skråttliggende nålebjelker som hviler på en horisontal oppleggsbjelke samt mot et opplegg i sålen. For å kunne manøvrere bjelkestengslet samt tilrettelegge for montering og vedlikehold av lukekonstruksjonen etableres en bruløsning på oppstrøms side i nivå med passerende veiforbindelse.



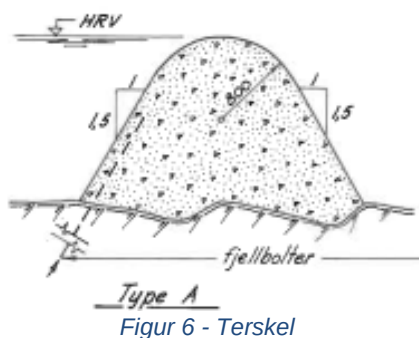
Figur 5 Lengdesnitt lukekonstruksjon

Veggene i lukeløpet kontaktstøpes mot fjell og forankres med fjellbolter. Betongdekke tunnelsåle støpes mot knørensåle. Et plansnitt gjennom konstruksjonen er vist på fig. 7. Veggtykkelsen i tilknytning til lukeopplagrene samt feste opptrekkssylinder er satt til 2,5 m. Øvrig veggtykkelse samt såletykkelsen settes til 0,8 m.

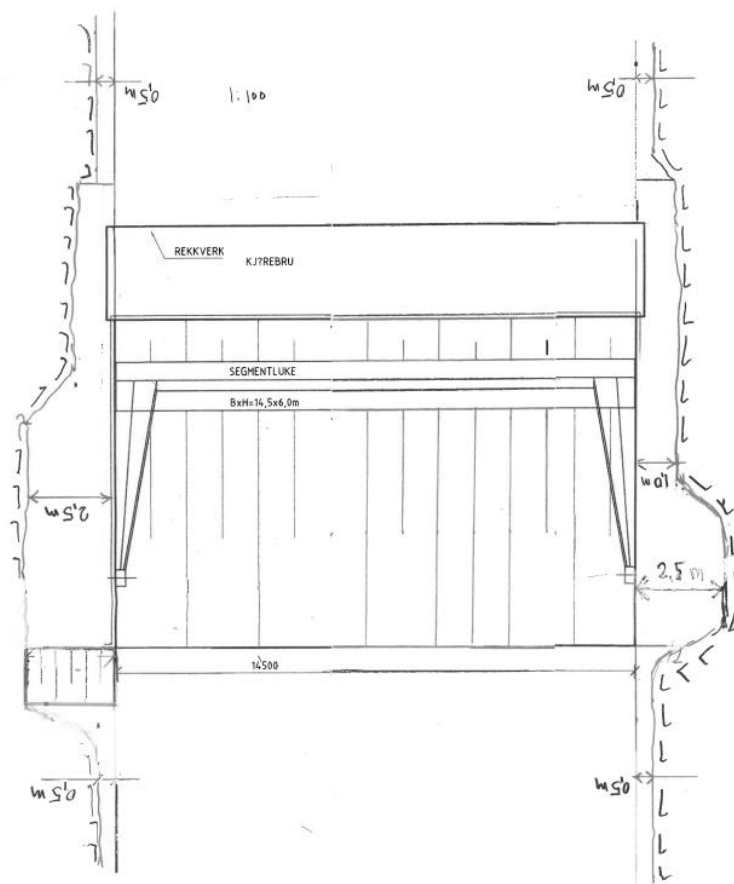
Luka foreslås plassert nær innløpet med adkomstplattform markert med gult på Planoversikt fig 3. Denne adkomstplattformen legges i tilknytning til veien som passerer gjennom området.

Ved innløpet anlegges en terskel med nivå krone på kt. 5,5, ref. fig. 6.

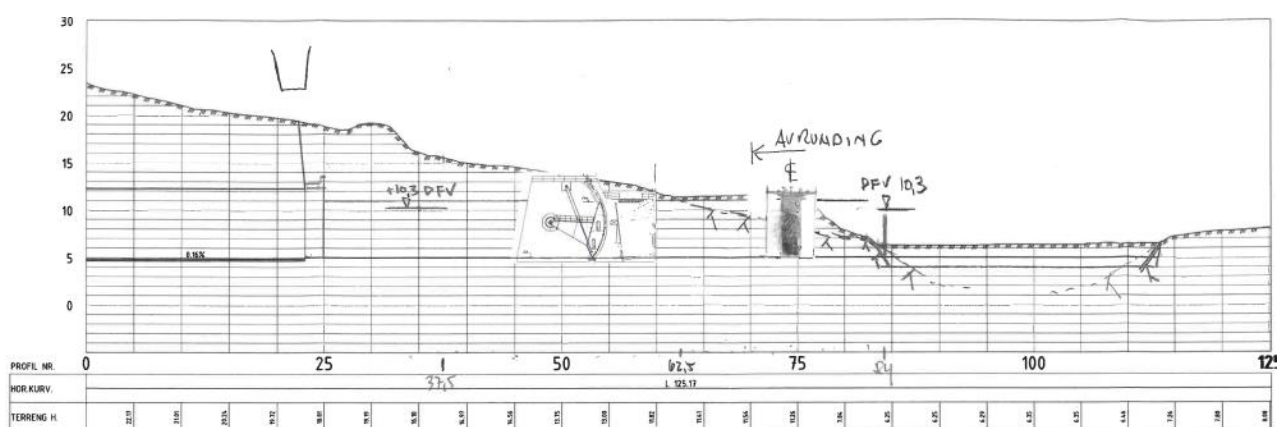
Et lengdesnitt av kanalen er vist nedenfor på fig. 8.



Figur 6 - Terskel



Figur 7 – Skisse plansnitt lukeløp



Figur 8 – Skisse lengdesnitt kanal

8 (9)

NOTAT 006
14.01.2021

ELVELØP

Det skal etableres en pond i elveløpet foran kanalinnløpet for å kunne holde tilbake bunnlast. Aktuelt elvestrekning er om lag 100 m og strekker seg fra elvesamløpet opp til oppstrøms for brua som krysser elva oppstrøms kanalinnløpet.

Bunnen av elveløpet på strekningen er antatt å bestå delvis av fjell på kantene og med løsmasseavsetninger i midtløpet.. Ved brua i oppstrøms ende smaltes partiet og det er her antatt at grunnen består av fjell.

Hoveddelen av arbeidene er forutsatt utført som arbeider under vann. Det er teknisk/økonomisk vanskelig å se for seg en løsning med tørrlegging av elvebunnen på strekket.

Det skal graves ut et basseng med ferdig bunn liggende på kt. 5,0. Eksisterende elvebunn er på nivå kt. 7,0-7,5 på strekningen. Det legges til grunn at det sprenges i fjell til en dybde av 2,0-2,5 m og graves i løsmassene til en dybde av 3,0-3,5 m. Aktuelt elvestrekk er om lag 100 m og avsluttes oppstrøms brua som krysser elva oppstrøms kanalinnløpet.

Løsmassepartiet dekkes deretter med et 25 cm tykt lag tunnelstein og på dette et 0,75 m tykt sprengsteingslag med $d > 300$ mm. Eksponert utsprengt traubunn blir liggende ubehandlet.

Vedlegg: Kostnadsberegninger konstruksjoner innløp tunnel

FLOMTUNNEL SOKNA
KOSTNADSBEREGNING INNTAK

SUMMERTE KOSTNADER

Post	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris kr	Sum kr
	LUKEDAM I ELVELØPET				27 500 000
	TUNNELINNLØPET				52 000 000
	ELVELØPET				3 000 000
	SUM UTBYGGINGSKOSTNADER INNTAKSOMRÅDET				82 500 000

FLOMTUNNEL SOKNA
KOSTNADSBEREGNING INNTAK

LUKEDAM ELVELØP

Post	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris kr	Sum kr
	Lukedam forsynt med 2 stk. Obermeyerluker				
A	BYGG				
	Fangdam spuntvegg, ett løp avstenges deretter trekkes spuntten og naboløpet avstenges.	RS			
1.1	Fangdam spunt ett løp	m2	360	2000,0	720 000
1.2	Fangdam naboløpet	m2	360	1000,0	360 000
1.3	Vannhåndtering	RS	1	100000,0	100 000
1.4	Stabilisering fangdam	m3	250	750,0	187 500
1.5	Graving lukefundament	m3	500	75,0	37 500
1.6	Forsiktig Sprengning karfundamenter	m3	100	700,0	70 000
1.7	Dype Forankringsbolter , stabilisering fundamenter bruker	stk	20	2000,0	40 000
1.8	Masseflytting, graving bruløp	m3	500	75,0	37 500
1.9	Graving oppstrøms tetteplate	m3	275	75,0	20 625
1.10	Opplasting og transport	m3	1375	60,0	82 500
1.10	Tetningsvegg (spunt)	m2	160	2000,0	320 000
1.11	Fundamentpreparering (komprimering)	m2	800	100,0	80 000
1.12	Fundamentpreparering før betongstøp mot fjell	m2	100	50,0	5 000
1.13	Forskaling fund.plate landkar	m2	50	1250,0	62 500
1.14	Forankringsbolter karfundamenter	stk	100	1500,0	150 000
1.15	Tilpasning mot berg	m	58	250,0	14 500
1.16	Betong fundamentplater	m3	80	2500,0	200 000
1.17	Armering fundamentplater	kg	8000	25,0	200 000
1.18	Forskaling vegger landkar	m2	375	1250,0	468 750
1.19	Forankringsbolter til eksisterende konstruksjon	stk	50	1000,0	50 000
1.21	Forskaling vegg gjennomløp bru ensidig	m2	130	2500,0	325 000
1.22	Betong vegger landkar + gjennomløp	m3	235	2500,0	587 500
1.23	Armering vegg landkar + gjennomløp	kg	30000	25,0	750 000
1.24	Forskaling lukefundament	m2	140	1250,0	175 000
1.25	Betong lukefundament	m3	350	2500,0	875 000
1.26	Armering lukefundament	kg	42000	25,0	1 050 000
1.27	Innstøping lukeelementer	RS	1	75000,0	75 000
1.28	Brettskuring lukefundament	m2	250	110,0	27 500
1.29	Betong plate bruløp	m3	215	2500,0	537 500
1.30	Waterstop bruløp	m	36	500,0	18 000
1.31	Brettskuring bruløp	m2	400	110,0	44 000
1.32	Armering plate bruløp	kg	21500	25,0	537 500
1.33	Forskaling midtvegg, tosidig	m2	106	1250,0	132 500
1.34	Forankringsbolter	stk	6	1000,0	6 000
1.35	Betong midtvegg	m3	31	2500,0	77 500
1.36	Armering midtvegg	kg	3700	25,0	92 500
1.37	Fiberduk tetningsplate	m2	175	25,0	4 375
1.38	Morene-filterlag	m2	175	160,0	28 000

FLOMTUNNEL SOKNA
KOSTNADSBEREGNING INNTAK

LUKEDAM ELVELØP

Post	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris kr	Sum kr
1.39	Tetningsmembran	m2	175	300,0	52 500
1.40	Tunnelstein	m2	175	160,0	28 000
1.41	Sprengstein d>300	m3	150	50,0	7 500
1.37	Lukehus	RS	1	250000,0	250000
	Sum direkte byggarbeider				8 887 250
	Diverse og uforutsett	RS	1	15,0 %	1 333 088
	Rigg og drift	RS	1	30,0 %	3 066 101
	Grunnundersøkelser	RS	1	400000,0	400 000
	Engineering byggeledelse	RS	1	10,0 %	1 368 644
	SUM BYGGKOSTNADER DAMKONSTRUKSJON				15 055 083
B	MEKANISK				
	Levering 2 stk Obermeyerluker				
2.1	A1=A2 = WxH = 16,2x3,1 m2	stk	2	5000000,0	10 000 000
2.2	Montasje-og testing	RS	1	1000000,0	1 000 000
2.3	Bjelkestengsel	RS	1	1000000,0	1 000 000
2.4	Engineering byggeledelse	RS	1	2,0 %	220 000
	SUM MEKANISK LUKEKOSTNADER				12 220 000
	SUM UTBYGGINGSKOSTNADER LUKEDAM				27 275 083
	Avrunding				224 917
	SUM UTBYGGINGSKOSTNADER LUKEDAM AVRUNDET				27 500 000

FLOMTUNNEL SOKNA
KOSTNADSBEREGNING INNTAK

INNØPSKANAL

Post	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris kr	Sum kr
	Innløpskanal med lukeavstengning og bru				
A	BYGG				
	Kanal				
1.0	Graving løsmasser	m3	1200	75,0	90000
1.1	Rensk før sprengning	m2	850	25,0	21 250
1.2	Sømboring	m2	500	500,0	250 000
1.3	Sprengning	m3	5500	700,0	3 850 000
1.4	Opplasting og transport	m3	7500	60,0	450 000
1.5	Fjellbolter sikring	RS	100	1000,0	100 000
1.6	Sprøytebetong sikring	m3	20	5000,0	100 000
1.7	Forankringsbolter vegg	stk	110	1500,0	165 000
1.8	Avretting kanalsåle før støp	m2	765	50,0	38 250
1.9	Støp betongsåle	m3	310	2500,0	775 000
1.10	Boring drenshull	stk	85	500,0	42 500
1.11	Brettskuring	m2	730	200,0	146 000
1.12	Armering sålestøp	kg	165000	25,0	4 125 000
1.13	Rensk fjellvegger før støp	m2	500	200,0	100 000
1.16	Forskaling vegger ensidig plan	m2	250	1750,0	437500
1.17	Forskaling vegger ensidig avrundet	m2	150	2500,0	375000
1.18	Forskaling vegg tosidig avrundet	m2	135	2000,0	270000
1.19	Betong vegger	m3	235	2500,0	587500
1.20	Armering vegger	kg	28000	25,0	700000
1.21	Drenshull vegger	stk	30	500,0	15000
	Lukekonstruksjon				
1.22	Graving løsmasser	m3	150	75,0	11250
1.23	Rensk før sprengning	m2	300	0,0	0
1.24	Sømboring	m2	300	500,0	150000
1.25	Sprengning	m3	2600	700,0	1820000
1.26	Opplasting og transport	m3	3000	60,0	180000
1.27	Forankringsbolter rand	stk	100	1500,0	150000
1.28	Montasjebolter	stk	100	1000,0	100000
1.29	Forankringsbolter lagre	stk	50	2500,0	125000
1.30	Avretting såle før støp	m2	245	50,0	12250
1.31	Forskaling sålestøp	m2	35	1750,0	61250
1.32	Betong sålestøp	m3	265	2500,0	662500
1.33	Armering	kg	30000	25,0	750000
1.34	Brettskuring sålestøp	m2	220	200,0	44000
1.35	Rensk fjellvegger før støp	m2	240	200,0	48000
1.36	Forskaling vegger ensidig	m2	250	1750,0	437500
1.37	Tilp. Fjell	m	70	650,0	45500
1.38	Betong veggstøp	m3	360	2500,0	900000
1.39	Armering vegger	kg	45000	25,0	1125000
1.40	Injeksjon	RS	1	100000,0	100000
1.40	Bru	RS	1	750000,0	750000
	Ramme tunnelinnløp				

FLOMTUNNEL SOKNA
KOSTNADSBEREGNING INNTAK

INNløPSKANAL

Post	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris kr	Sum kr
1.41	Forankringsbolterbolter	stk	50	1500,0	75000
1.42	Rensk fjell før støp	m2	30	200,0	6000
1.43	Forskaling vegger	m2	75	1500,0	112500
1.44	Forskaling dekke	m2	15	2500,0	37500
1.45	Tilpasning til fjell	m	100	650,0	65000
1.46	Betong rammekonstruksjon	m3	35	2500,0	87500
1.47	Armering	kg	5000	25,0	125000
	Brukonstruksjon				
1.48	Bru	RS	1	5000000,0	5000000
	Terskel ved innløp				
1.49	Rensk før støp	m2	26	200,0	5200
1.50	Fjellbolter	stk	30	1500,0	45000
1.51	Forskaling skrå	m2	11	3000,0	33000
1.52	Tilpasning til berg	m	31	650,0	20150
1.53	Betong	m3	12	2500,0	30000
1.54	Brettilpasning krone	m2	24	500,0	12000
1.55	Armering	kg	1000	25,0	25000
	Sum direkte byggarbeider				25 789 100
	Div. og uforutsett	RS	1	15,0 %	3868365
	Rigg og drift	RS	1	30,0 %	8897239,5
	Engineering - Byggeledelse	RS	1	10,0 %	3855470,45
	SUM BYGG KANALINNløP				42 410 175
B	MEKANISK				
	Segmentluke WxH=14,5x6,0	RS	1	8000000,0	8 000 000
	Montasje testing	RS	1	800000,0	800 000
	Nålestengsel	RS	1	300000,0	300 000
	Engineering byggeledelse	RS	1	2,0 %	182 000
	SUM MEKANISK				9 282 000
	SUM UTBYGGINGSKOSTNADER TUNNELINNløP				51 692 175
	Avrunding				307 825
	SUM UTBYGGINGSKOSTNADER TUNNELINNløP AVRUNDET				52 000 000

FLOMTUNNEL SOKNA
KOSTNADSBEREGNING INNTAK

HOVEDLØP ELV

Post	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris kr	Sum kr
	Arbeider i elveløpet				
A	BYGG				
1.0	Graving løsmasser	m3	4500	100,0	450000
1.1	Sømboring ved brufestene	m2	50	750,0	37500
1.2	Sprengning	m3	500	1000,0	500 000
1.3	Opplasting og transport	m3	5000	100,0	500 000
1.4	Fylling tunnelstein t=0,25m	m3	300	200,0	60 000
1.5	Fylling sprengstein d>300mm t=0,75m	m3	800	75,0	60 000
	Sum direkte byggarbeider				1 607 500
	Div. og uforutsett	RS	1	20,0 %	321500
	Rigg og drift	RS	1	30,0 %	578700
	Engineering - Byggeledelse	RS	1	10,0 %	250770
	SUM BYGG ELVELØP				2 758 470
	Avrunding				241 530
	SUM UTBYGGINGSKOSTNADER TUNNELINNØP AVRUNDET				3 000 000