

Kvam herad

► **Gjenåpning av Øyrabekken**

Vurdering av muligheter og kostnadsestimat

Oppdragsnr.: 52301942 Dokumentnr.: NO_515_52301942_rap Versjon: J03 Dato: 2023-10-26



Gjenåpning av Øyrabekken

Vurdering av muligheter og kostnadsestimat

Oppdragsnr.: 52301942 Dokumentnr.: NO_515_52301942_rap Versjon: J03

Oppdragsgiver: Kvam herad
Oppdragsgivers kontaktperson: Tore Dolvik, Trond Inge Brakestad
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Julie Scott-Hansen
Fagansvarlig: Julie Scott-Hansen
Andre nøkkelpersoner: Marijn Alferink, Daniel Fossberg

J03	2023-10-26	Oppdatert etter tilbakemelding fra oppdragsgiver	JulSco	DBFos	JulSco
C02	2023-09-26	For gjennomgang hos oppdragsgiver	JulSco	DBFos	JulSco
A01	2023-09-25	For intern gjennomgang	JulSco		
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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

► Innhold

1	Innledning	4
1.1	Innhold i rapporten	5
2	Situasjonsbeskrivelse	6
2.1	Bakgrunn	6
2.2	Generell beskrivelse av Øyrabekken	6
2.3	Bekkelukking	8
2.4	Grunnforhold	9
2.5	Overvannsrør	10
2.6	Flom og oversvømmelse	12
3	Bekkeåpning – vurdering og hensyn	13
3.1	Generell vurdering	13
3.2	Flomvurdering	13
3.3	Biologisk vurdering	13
4	Flomvurdering	15
4.1	Flomberegning	15
4.2	Gjentaksintervall og sikkerhetskategori	15
4.3	Modellresultater	15
5	Bekkeåpning – utforming og dimensjonering	17
5.1	Trasé	17
5.1.1	<i>Nord for Hardangerfjordvegen (Mikkjelsflaten)</i>	17
5.1.2	<i>Krysning under Hardangerfjordvegen</i>	17
5.1.3	<i>Sør for Hardangerfjordvegen (Øysteseparken)</i>	18
5.1.4	<i>Utforming av trasé</i>	19
5.2	Tverrsnitt	20
5.2.1	<i>Nødvendig tverrsnitt</i>	20
5.2.2	<i>Utforming av tverrsnitt</i>	20
5.3	Kulvert	23
5.4	Fall og hastigheter	24
5.5	Dimensjonerende steinstørrelse	26
6	Kostnadsestimat	27
7	Oppsummering	28
7.1	Suksessfaktorer	28
7.2	Generelle hensyn	29
7.3	Konklusjon og videre arbeid	30
8	Referanser	31
9	Vedlegg	32

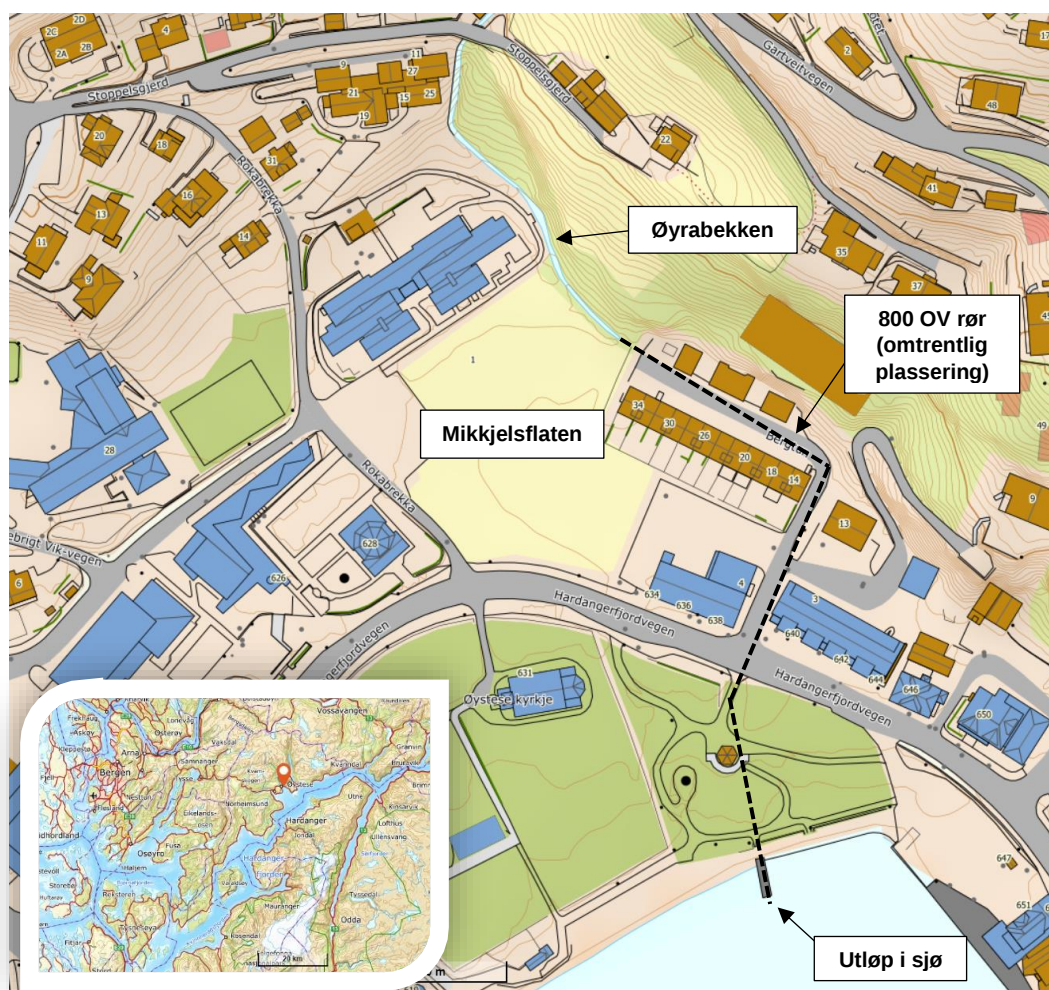
1 Innledning

Norconsult AS er engasjert av Kvam herad (kommunen) for å gjøre en vurdering av muligheter for gjenåpning av den nedre delen av Øyrabekken, som i dag går i rør.

Kommunen jobber for tiden med en områdeplan for Øystese sentrum. Øyrabekken renner øst i planområdet og i forbindelse med planarbeidet har det kommet opp et ønske om å vurdere muligheter for gjenåpning av den nedre strekningen av bekken. Bekken går inn i et 800 mm diameter overvannsrør ved det nordøstlige hjørnet av det som kalles Mikkjelsflaten, som leder bekken omtrent 200 m, under Hardangerfjordvegen (FV79), til et utløp i Hardangerfjorden, se oversiktskart på Figur 1-1.

Innløpet til røret er et kritisk punkt som har gått tett flere ganger og vannet har kommet på avveie og ført til skade. Det er også foretatt en flomvurdering av Norconsult som bekrefter at røret ikke har tilstrekkelig kapasitet for de beregnede flomvannføringene. I tillegg er det blitt observert sjørørret oppstrøms for røret, og det vurderes at et åpent bekkeløp vil gi et større habitat for fisk [1].

Øyrabekken, som renner gjennom Skårdalen, er lokalt også kjent som Skårdalsbekken, men det er valgt å bruke navnet Øyrabekken i denne rapporten som samsvarer med navnet brukt av kommunen i dag.



Figur 1-1. Oversiktskart over Øyrabekken og område vurdert for bekkeåpning.

1.1 Innhold i rapporten

Denne rapporten inneholder en vurdering av mulighetene rundt bekkeåpningen og grove kostnadsoverslag. Hensikten med denne leveransen er å fremlegge mulighetene for bekkeåpningen på skisse-nivå, og eventuell detaljering og prosjektering av bekkeåpningen må gjøres i senere faser dersom det blir aktuelt.

Det er utført en flomberegning og 2D hydraulisk modell for å vurdere flomsituasjonen i Øyrabekken, både iht. dagens situasjon og mulig fremtidig situasjon med åpent bekkeløp. Flomberegningen og beskrivelse av den hydrauliske modellen er oppsummert i en separat rapport, 'Øyrabekken – flomvurdering', utarbeidet av Norconsult [2]. En kort beskrivelse av dagens flomsituasjon i Øyrabekken er inkludert i denne rapporten fordi det er relevant med tanke på at åpning av bekken er, blant annet, et flomreduserende tiltak. Men generelt sett er det valgt å fokusere på detaljer ift. mulighetene rundt bekkeåpningen i denne rapporten og det henvises til flomrapporten for mer utdypende detaljer rundt flomvurderingen av dagens situasjon.

Denne rapporten inneholder:

- Beskrivelse av den eksisterende situasjonen i Øyrabekken
- Vurdering av mulighetene og fordelene med bekkeåpning
- Beskrivelse av mulig trasé og nødvendig tverrsnitt for bekken, og dimensjonering av steinstørrelse for erosjonssikring
- Oppsummering av resultater fra den hydrauliske modellen
- Grovt kostnadsoverslag

2 Situasjonsbeskrivelse

2.1 Bakgrunn

I forbindelse med utvikling av områdeplanen til Øystese sentrum har det kommet opp et ønske om å vurdere muligheten for å åpne Øyrabekken fra der den i dag går inn i rør ved Mikkjelsflaten og deretter ned til sjø i Hardangerfjorden. Tiltaket er vurdert å være både samfunnsnyttig i forhold til å redusere fare for oversvømmelse ved innløpet til røret, samtidig som det vil ha positive virkninger for miljø, natur og landskap.

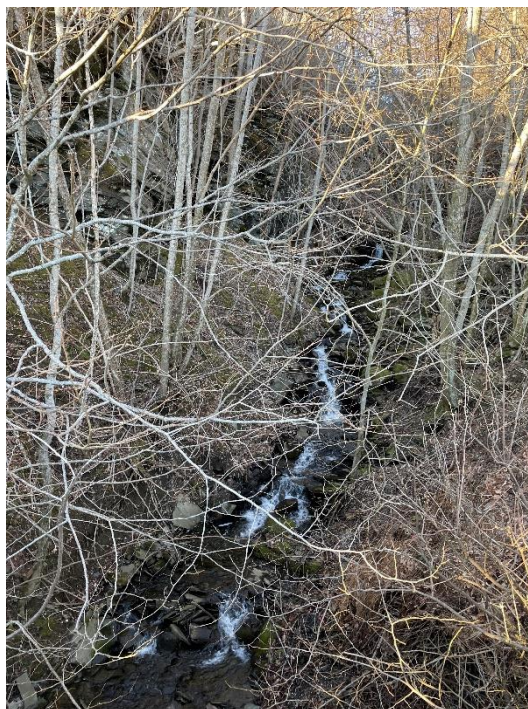
2.2 Generell beskrivelse av Øyrabekken

Øyrabekken har sin opprinnelse i de bratte fjellsidene som ligger ovenfor den østlige delen av Øystese og renner bratt nedover i Skårdalen mot Øystese sentrum. Bekken er omtrent 1 km lang, men de siste 200 m går i rør. Bekken krysser flere veier på vei nedover Skårdalen og er lagt i rør eller kulvert ved krysningpunktene. Strekningen ovenfor Mikkjelsflaten er for bratt for fisk, så anadrom strekning og muligheter for fiskeopphold er kun vurdert å være aktuelt de nederste 300 m av bekken [1].

Skårdalen er utbygget med boliger der terrenget tillater det, og noen steder ligger bygninger tett inntil bekkeløpet. Andre steder får bekken renne uforstyrret, og bekkedalen er generelt dekket med tett vegetasjon av trær og kratt, se utsnitt fra 3D applikasjonen til Norge i Bilder (www.norgeibilder.no) og bilder fra befaringsmars 2023 i Figur 2-2.



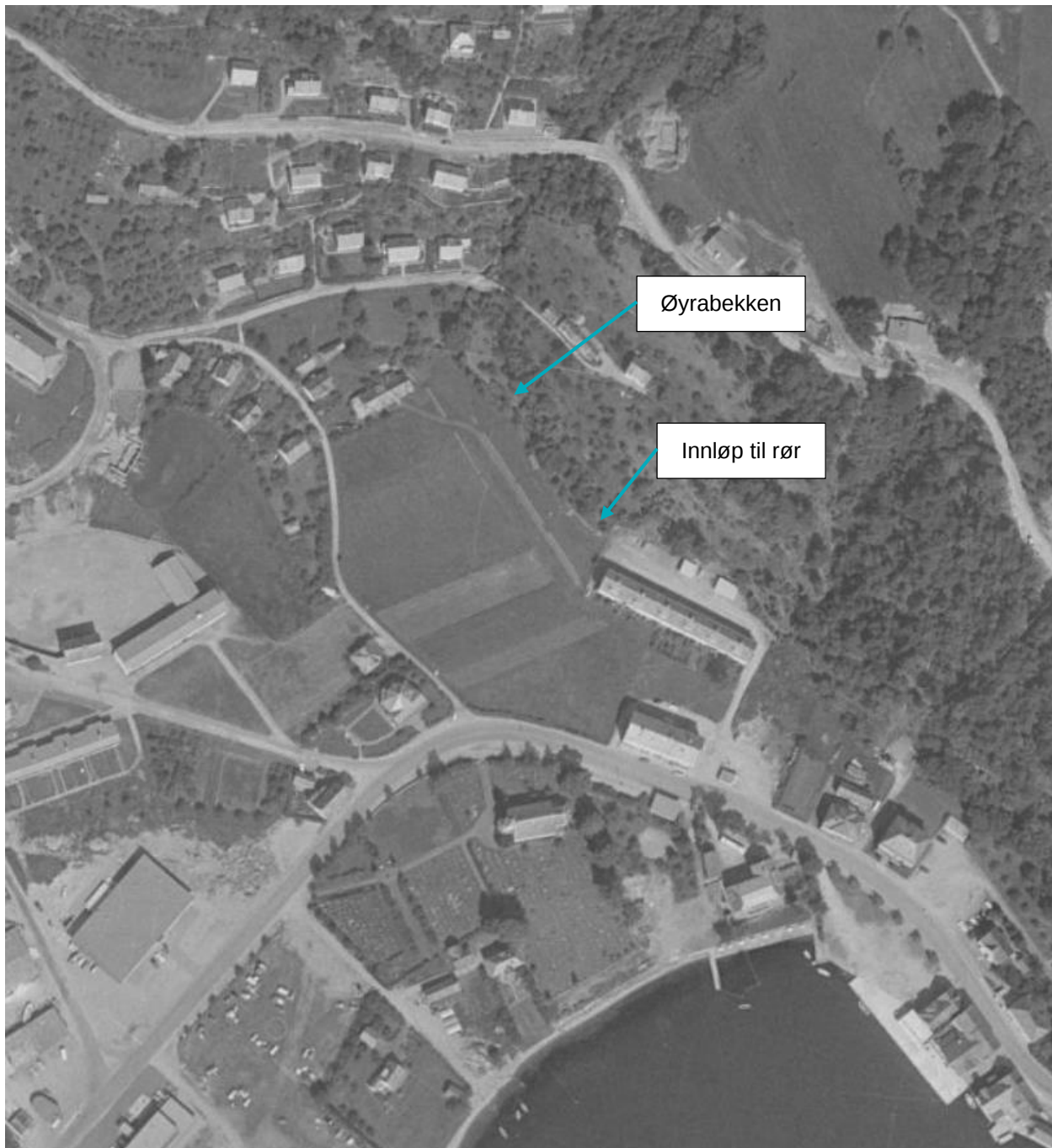
Figur 2-1. Utsnitt fra 3D applikasjonen til Norge i Bilder som viser oversikt over Øyrabekken og omkringliggende terreng.
Kilde: www.norgeibilder.no



Figur 2-2. Bilder av Øyrabekken fra befaring i mars 2023. Øverst tv: Øyrabekken rett oppstrøms krysningen under Stoppelsgjerd med bygning tett inntil bekkeløpet. Øverst th: Øyrabekken oppstrøms krysningen under Gartveitvegen hvor bekken renner uberørt gjennom et område dekket av tett vegetasjon. Nederst tv: Krysning i steinsatt kulvert under Stoppelsgjerd. Nederst th: Nederste bratte strekning av Øyrabekken før den svinger mot øst og flater ut ovenfor Mikkjelsflaten. Bilder: Norconsult

2.3 Bekkelukking

Det er ikke kjent for Norconsult akkurat når den nederste strekningen av Øyrabekken ble lagt i rør eller hvor den opprinnelige traséen gikk, men antakelig gikk den igjennom det som i dag kalles Mikkjelsflaten. Det tidligste flyfoto over området tilgjengelig på Norge i Bilder (www.norgeibilder.no) er fra 1966 som viser at bekken var lagt i rør allerede da, se Figur 2-3.



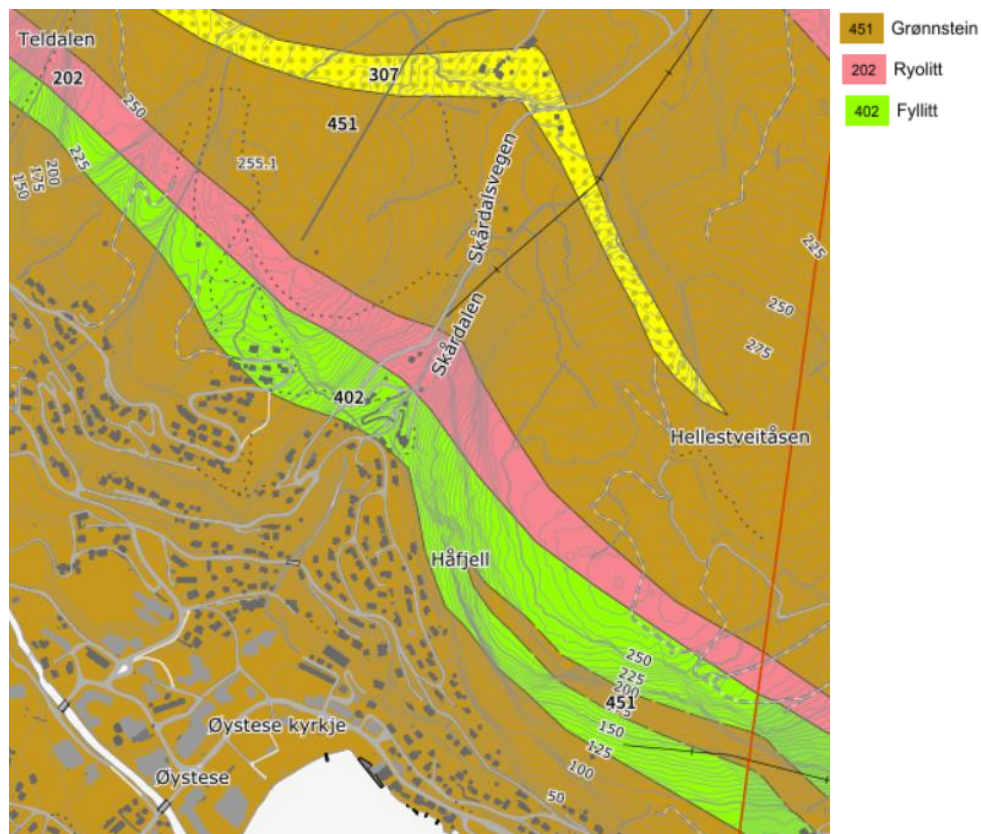
Figur 2-3. Flyfoto fra 1966 som viser at Øyrabekken var lagt i rør allerede da. (Kilde: www.norgeibilder.no)

2.4 Grunnforhold

Det er ikke foretatt noen grundig undersøkelse av grunnforholdene i Skårdalen på dette tidspunktet, men geologiske kart viser at bekken renner gjennom et område som hovedsakelig består av grønnstein og grønskifer med to smale belter av ryolitt og fylitt som går på tvers av bekkedalen, se kartutsnitt i Figur 2-4.

Det var tegn til noe løsmasser nederst i bekken under befaring, men det er ikke kjent at massetransport og avsetning er et stort problem i Øyrabekken, se bilder fra befaring i mars 2023 som viser typisk bunnsstrat og bergart i bekkeløpet i Figur 2-5.

Ifølge NVE Atlas er bekkedalen dekket av aktsomhetssone for marin leire. Norconsult er også engasjert for å utrede faren for områdeskred grunnet kvikkleire i Øystese, men denne vurderingen var ikke ferdigstilt da denne rapporten ble utarbeidet så det anbefales at det innarbeides i neste fase av utredningen.



Figur 2-4. Kartutsnitt fra Nasjonal berggrunnsdatabase som viser berggrunnsarter i Skårdalen (Kilde: NGU).



Figur 2-5. Bilder fra befaring i mars 2023 som viser bunnsubstrat i Øyrabekken. Tv: Bekken i den bratte strekningen under Stoppelsgjerd - tydelig tegn på skifer. Th: Bekken i området hvor den går fra bratt til slakere strekning – skifer og noe løsmasser. Bilder: Norconsult

2.5 Overvannsrør

Ved det nordøstlige hjørnet av Mikkjelsflaten går Øyrabekken inn i et Ø800 mm overvannsrør som leder bekken under bebygget område ved Bergtun, under fylkesveien, og så ut i sjø ved bryggen nedenfor Øysteseparken. Se utsnitt fra kommunen sitt VA-kart i Figur 2-6 hvor overvannsrøret er vist med svart stiplet linje.

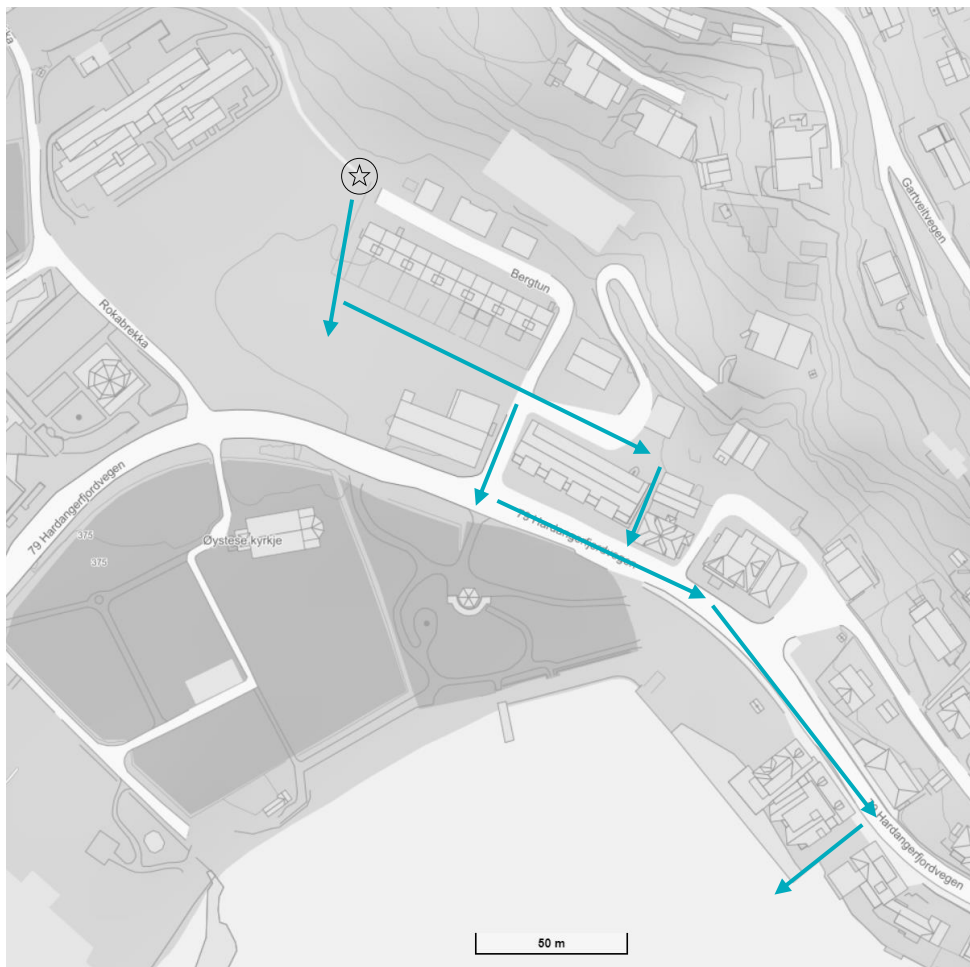
Ifølge VA-avdelingen i kommunen er tilstanden til røret ukjent og det har ikke blitt gjennomført noen videoinspeksjon av røret. Det antas at tilstanden til røret er god siden det ikke er meldt om noe lekkasje i området. Det er heller ikke meldt at redusert kapasitet i røret fører til oppstuvning. Røret er installert med skrå inntaksrist ved innløpet.



\\norconsultad.com\dfs\norloppdrag\sandvika\523\01\52301942\5 arbeidsdokumenter\54 øyrabekken\rapport og dokumenter\rapp_gjenåpning av øyrabekken_j03.docx

2.6 Flom og oversvømmelse

Ifølge kommunen går innløpet til røret tett og dette fører til oversvømmelse. Siste kjente situasjon var i 2019 som medførte at flomvannet fordelte seg både sørover over Mikkjelsflaten og på sørsiden av leilighetene langs Bergtun. Deretter fulgte vannet adkomstveier og åpninger mellom bygninger før det rant nedover Hardangerfjordvegen og så ut i sjø, se situasjonsbeskrivelse av flomveiene kartlagt av kommunen i Figur 2-7.



Figur 2-7. Skisse av flomveier som har blitt observert når innløpet til røret har gått tett.

Det er ikke kjent for Norconsult per dags dato at det har vært andre flomhendelser i Øyrabekken som har påvirket områdene lengre oppstrøms for innløpet til røret.

3 Bekkeåpning – vurdering og hensyn

3.1 Generell vurdering

Gjenåpning av bekker og elver er generelt ansett som meget positive tiltak, og utførelse av gjenåpningsprosjekter har blitt mer og mer populært de siste årene. Gjenåpning av bekker og elver er med på å forberede omgivelsene våre på klimaendringer som er forventet å gi hyppigere og kraftigere nedbør, spesielt for mange områder på Vestlandet. Samtidig bidrar det til bedre naturkvaliteter for liv i vassdrag og et mer attraktivt landskapsbilde som skaper verdi for folk som bor og jobber i nærområdet.

Lukkede vassdrag ble innført mange steder i løpet av 1900-tallet for å effektivisere vannføring gjennom urbane områder, og dermed kunne utnytte større areal for utbygging eller skape f.eks. produksjonsområder for landbruk. Historisk var det også mye forurensning som ble ført direkte til bekker og elver, og forstyrrelser og plager fra dette ble da fjernet fra omgivelsene ved å gjemme vassdragene under bakken.

Så nylig som 1990-tallet begynte det å bli lagt inn restriksjoner på bekkelukking i Norge, og trenden begynte deretter å snu seg mot gjenåpning.

3.2 Flomvurdering

Bekkeåpning og reetablering av natur-like vassdrag er viktige tiltak for å forebygge flomrisiko, spesielt iht. forventede klimaendringer med økt nedbør. Et åpent vassdrag – dersom det har tilstrekkelig kapasitet for flomvannføringer – vil kunne redusere flomrisiko ved å restaurere flommark, senke vannhastigheter og fjerne kritiske punkt som innløp til kulverter som forårsaker oppstuvning og lokal oversvømmelse.

I forbindelse med dette oppdraget har Norconsult utarbeidet en flomvurdering for Øyrabekken som innebærer flomberegninger for 20-, 200- og 1000-årsflommer (inkludert klimapåslag) og flomsonekartlegging med en 2D hydraulisk modell i verktøyet HEC-RAS. Vurderingen har tatt for seg både dagens situasjon og simulering av forslag til tiltak for å forebygge flomrisiko, inkludert bekkeåpning.

Som nevnt tidligere er flomvurderingen beskrevet i egen rapport [2] og det henvises til denne rapporten for fullstendig beskrivelse av flomsonekartleggingen for Øyrabekken. Kun relevante detaljer iht. bekkeåpningen er beskrevet videre her.

Flomvurderingen iht. bekkeåpningen er beskrevet nærmere i kapittel 4, men kort oppsummert viser modellen at det er utilstrekkelig kapasitet i overvannsrøret som Øyrabekken renner inn i. Det er også erfaringsmessig kjent at innløpet til røret utgjør et kritisk punkt som går tett og fører til oversvømmelse.

Tiltaksutredning for å forebygge oversvømmelse ved innløpet fokuserer derfor i hovedsak på å øke kapasiteten for Øyrabekken og bekkeåpning vil oppnå dette resultatet samtidig som det skaper andre positive ringvirkninger for natur og landskap. Andre tiltak for å øke kapasiteten ville hovedsakelig gått ut på å legge et større eller flere rør, eller etablere et åpent flomløp som kun har til hensikt å effektivt føre flomvann ut til sjøen uten å ta hensyn til natur- og landskapsverdier. Disse tiltakene er ikke vurdert videre i forbindelse med denne utredningen.

Gjenåpning av Øyrabekken er derfor ansett å være et viktig og nødvendig tiltak dersom det er ønskelig å redusere flomfare forbundet med den rørlagte strekningen.

3.3 Biologisk vurdering

Det ble utarbeidet et kort biologisk notat av Rådgivende Biologer AS i 2020 for å vurdere aktuelle tiltak for sjørørret i Øyrabekken [1]. Vurderingen observerer at anadrom strekning i bekken er ca. 300 m lang, men de

nederste 200 meterne av bekken er lukket i rør, så dette reduserer sterkt det nåværende aktuelle habitatet for sjørørret. Det er observert sjørørret oppstrøms røret, og det er derfor mulig at det produseres noe sjørørret i bekken [1]. Vurderingen konkluderer med tre anbefalte tiltak:

1. Gjenåpning av bekken der den i dag går i rør
2. Reetablering av kantvegetasjon langs strekningen av bekken som i dag er åpen
3. Utlegg av gytegrus i kulper langs strekningen av bekken som i dag er åpen

Gjenåpning av Øyrabekken er derfor ansett å være et kritisk tiltak dersom det er ønskelig å øke habitat for fisk i bekken.

4 Flomvurdering

4.1 Flomberegning

Flomberegningen som er utført for Øyrabekken er beskrevet i rapporten 'Øyrabekken - flomvurdering', utarbeidet av Norconsult i forbindelse med dette oppdraget [2]. En oppsummering av endelige dimensjonerende flomvannføringer for 20-, 200- og 1000-årsflommer er vist i Tabell 4-1. Flomberegningen benyttet to forskjellige metoder; NIFS-formelverk og rasjonell metode. Det ble valgt å vektlegge resultatet fra rasjonell metode ettersom spesifikk kulminasjonsvannføring fra NIFS-formelverket ga uforholdsmessige høye verdier for feltet, basert på erfaring fra felt med samme geografiske utgangspunkt (ca. 70 km innlands fra kysten).

Ifølge Norsk klimaservicesenter [3] anbefales det å benytte minst 20 % klimapåslag på vannføringen i mindre bekker og elver. Det velges imidlertid å benytte en høyere verdi på 30 % for Øyrabekken siden terrenget er meget bratt og feltet vil reagere raskt på nedbør.

Tabell 4-1. Oppsummering av flomberegning for Øyrabekken med vannføringer for ulike gjentakintervaller.

Returperiode (år)	Vannføring (m ³ /s)	Vannføring inkl. 30 % klimapåslag (m ³ /s)
20	1,3	1,7
200	2,2	2,9
1000	2,7	3,5

4.2 Gjentakintervall og sikkerhetskategori

Mikkjelsflaten omsorgsboliger, som ligger i det nordvestlige hjørnet av Mikkjelsflaten, faller innenfor sikkerhetskategori F3 iht. risikoklassifisering i Byggeteknisk forskrift (TEK 17) § 7-2. Dette betyr at sikringstiltak i og langs Øyrabekken som påvirker omsorgsboligene direkte må dimensjoneres tilsvarende mot 1000-årsflom.

Tiltaksutredning for området ovenfor omsorgsboligene, som skyldes utilstrekkelig kapasitet i bekken og lavt terreng på høyre side av bekken (sett medstrøms), er utredet for en 1000-årsflom for å hensynta F3 risikoklassifiseringen. Her er det foreslått å bygge en forhøyning/flomvoll langs høyresiden av bekken for å holde flomvannføringen innenfor bekkeløpet. Dette er beskrevet nærmere i flomvurderingsrapporten [2].

Ved innløpet til overvannsrøret er det foreløpig ingenting som tilsier at sikringstiltak må utredes for 1000-årsflom ettersom oversvømmelse fra dette punktet kun påvirker eksisterende bygg i risikokategorier F1 og F2, hvor sikkerhetskravene settes for henholdsvis 20- og 200-årsflom. Samtidig er det foreløpig uvisst hva som skal utvikles på Mikkjelsflaten i fremtiden og ifølge kommunen kan det bli aktuelt å etablere F3 bygg på denne tomten og det er derfor tatt hensyn til både 200- og 1000-årsflom videre i denne vurderingen.

Havnivået i modellen (nedre grensebetingelse) er lagt inn som 1-års stormflo med nivå 1,57 moh.

4.3 Modellresultater

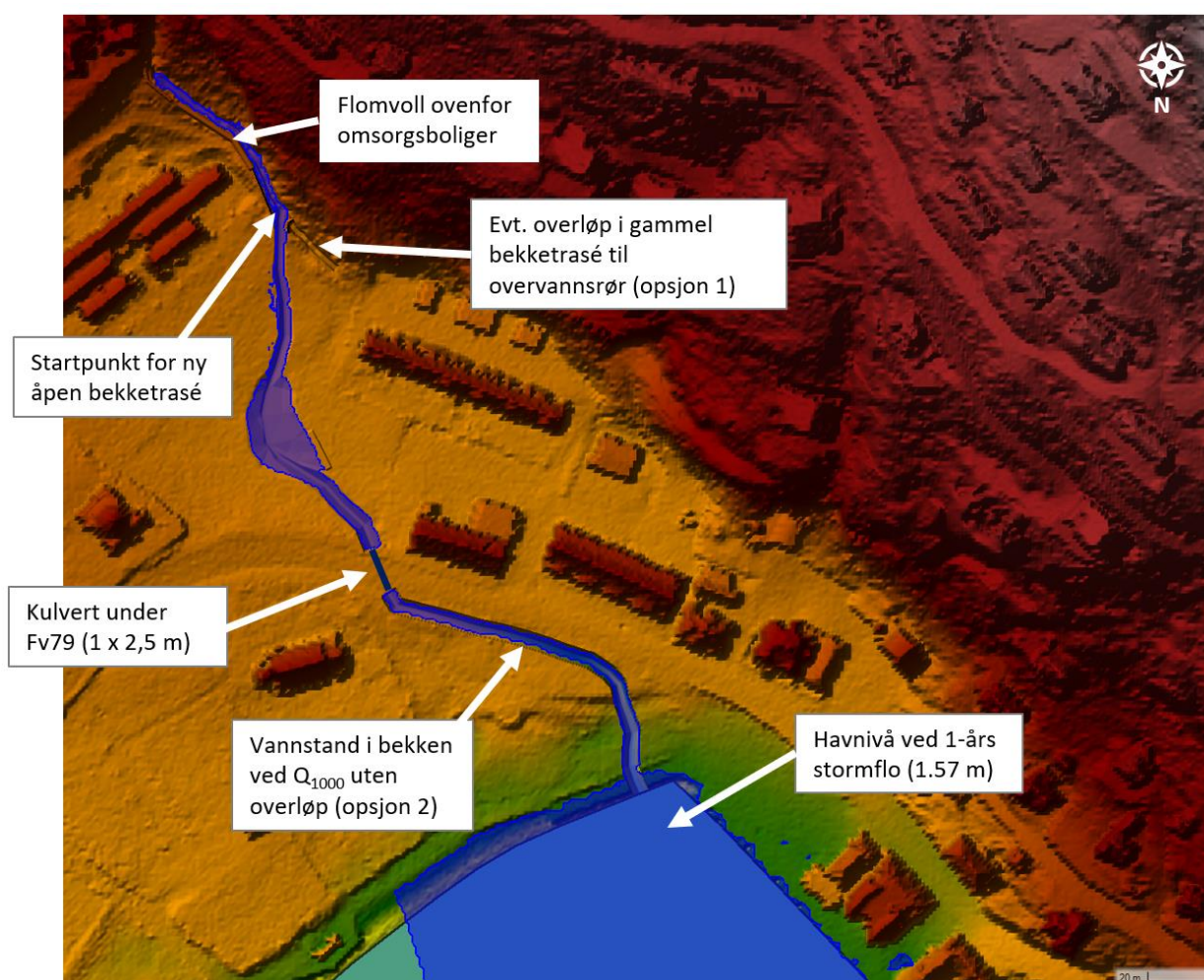
Flomvurderingen for situasjonen med åpen bekk langs hele strekningen ned til sjø er simulert i den hydrauliske modellen for gjentakintervall på 20, 200 og 1000 år med to opsjoner:

1. Åpen bekk med eksisterende overvannsrør (Ø800 mm) som ekstra flomavledning
2. Åpen bekk uten overløp til eksisterende overvannsrør

Beregnet maks kapasitet i det eksisterende overvannsrøret er omtrent 0,75 m³/s. Det er antatt at kapasiteten i røret er redusert med 1/3 under en flomsituasjon for å ta hensyn til mulig tilstopping, og overløp til det eksisterende røret er derfor satt til 0,5 m³/s. Med andre ord vil vannføring gjennom den åpne bekken være 0,5 m³/s høyre for opsjon 2 (uten overløp).

Den hydrauliske modellen har i hovedsak blitt brukt til å dimensjonere bekken ifm. bekkeåpningen, og vurdere vannhastigheter for erosjonssikring (se kapittel 5.4). Foreløpig kapasitet i bekkeåpningen er dimensjonert for å være tilstrekkelig for 'worst-case' scenarioet som vil være 1000-årsflom uten overløp til overvannsrøret, som medfører høyest vannføring gjennom den åpne strekningen. Et utsnitt fra modellen for denne situasjonen er vist i Figur 4-1 som viser at denne vannføringen holdes innenfor bekkeløpet og ikke fører til oversvømmelse. Bekken kan eventuelt skaleres ned under videre utredning og detaljering når det er klart hvilket gjentakintervall og hvilken opsjon det er ønskelig å legge til grunn.

Begge situasjonene er simulert med en flomvoll ovenfor Mikkjelsflaten omsorgsboliger ettersom det antas at dette tiltaket vil bli utført, og bekken (med og uten flomavledning gjennom røret) må derfor ha tilstrekkelig kapasitet for den totale vannføringen som kommer ned til Mikkjelsflaten.



Figur 4-1. Utsnitt fra den hydrauliske modellen som viser vannstand (inundation boundary) for 1000-årsflom uten overløp til overvannsrøret ('worst-case').

5 Bekkeåpning – utforming og dimensjonering

5.1 Trasé

Traséen til bekkeåpningen er delt opp i tre hovedstrekninger:

1. Nord for Hardangerfjordvegen (Mikkjelsflaten)
2. Krysning under Hardangerfjordvegen (kulvert)
3. Sør for Hardangerfjordvegen (Øysteseparken)

Forslag til utforming av traséene er beskrevet videre nedenfor.

5.1.1 Nord for Hardangerfjordvegen (Mikkjelsflaten)

For traséen til bekkeåpningen gjennom Mikkjelsflaten er det tatt utgangspunkt i planskissen utarbeidet av ABO Plan og Arkitektur, som vist i Figur 5-1.



Figur 5-1. Planskisse for Mikkjelsflaten utarbeidet av ABO Plan & Arkitektur

Traséen er ca. 120 m lang og har noe meandring gjennom området, hovedsakelig preget av en 90 graders sving mot øst omtrent ved midtpunktet. Her er det også lagt inn en kulp som fungerer som dempende iht. vannhastigheter og kan være et funksjonsområde for fisk.

5.1.2 Krysning under Hardangerfjordvegen

Krysningspunktet under fylkesveien viderefører traséen fra Mikkjelsflaten og er lagt opp til det sørøstlige hjørnet av tomten. Nødvendig lengde på kulverten er omtrent 17 m, og den er lagt inn i modellen som en rektangulær kulvert med 1 m høyde og 2,5 m bredde. Denne lysåpningen ligger innenfor kriteriet for at

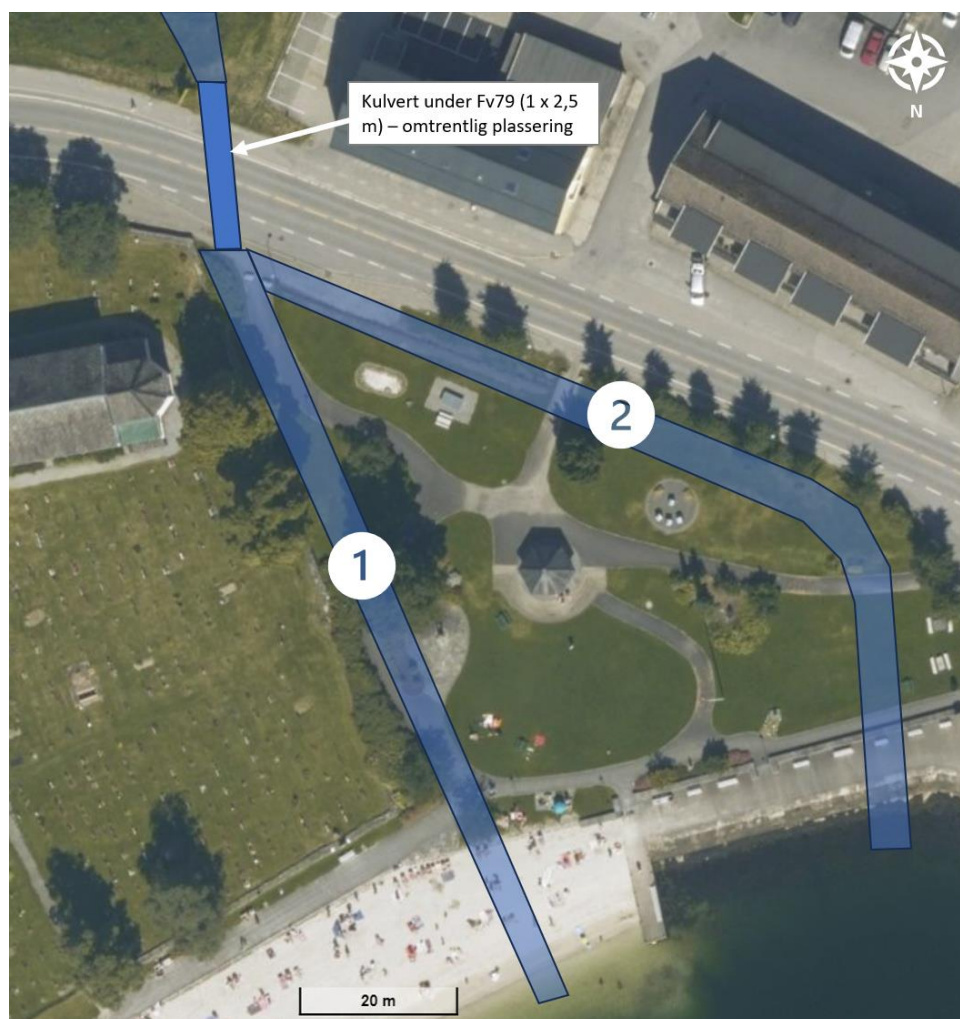
krysningen skal kvalifiseres som en stikkrenne/kulvert iht. krav fra Statens vegvesen; krysninger med lysåpning/diameter over 2,5 m klassifiseres som broer og har andre sikkerhets- og dimensjoneringskrav som må hensyntas.

Kulverten må ha tilstrekkelig kapasitet for å forhindre oppstuvning av flomvannet og det bør også tas hensyn til fiskevandring gjennom kulverten. Dette er beskrevet videre i kapittel 5.3.

5.1.3 Sør for Hardangerfjordvegen (Øysteseparken)

To forslag til traséen gjennom Øysteseparken har blitt vurdert i samarbeid med kommunen; alternativ 1 følger en rett strekning ned til sjø langs grensen til Øystese kirke og gravlund, og alternativ 2 går først østover langs fylkesveien og deretter svinger sørover mot sjøen, se oversiktsforklaring i Figur 5-2.

Alternativ 1 har en lengde på omtrent 105 m mens alternativ 2 er på omtrent 130 m. Det er ca. 5 m med fall i terrenget fra utløpet til kulverten til sjø, og en lengre trasé vil være fordelaktig for å redusere gjennomsnittlig fall i bekken og deretter vannhastigheter. Kommunen har også gitt uttrykk for at alternativ 2 er foretrukket på dette stadiet ettersom det tilsynelatende ligger mye infrastruktur i bakken som alternativ 1 kommer i konflikt med.



Figur 5-2. Oversikt over to forslag til trasé for bekkeåpning gjennom Øysteseparken. Alternativ 2 er foreløpig foretrukket.

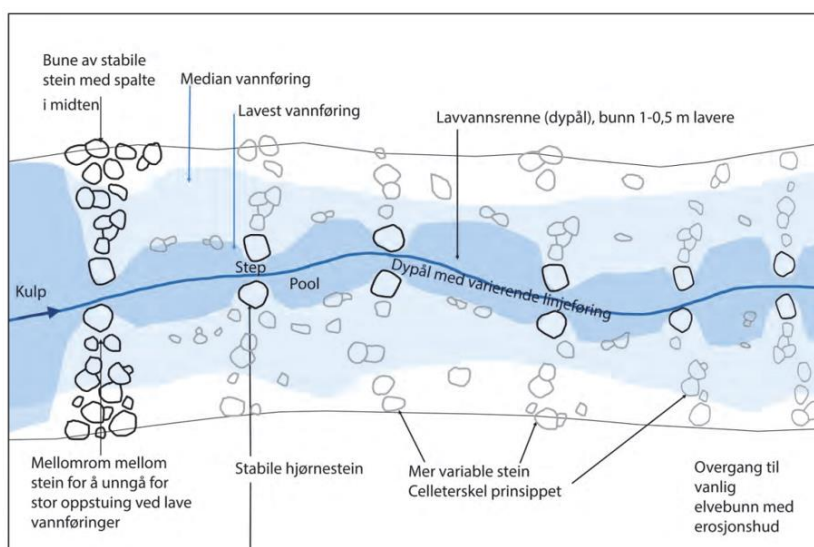
Alternativ 2 er valgt for videre vurdering på dette stadiet, men den endelige traséen for bekken bør vurderes nærmere og optimaliseres i videre utredning og prosjektering av bekkeåpningen. Det må blant annet tas hensyn til den eksisterende utformingen av parken som inkluderer gangstier, trær, skulpturer og en paviljong. Se oversiktsbilde av parken tatt under befaring i mars 2023 i Figur 5-3, som er tatt fra det sørvestlige hjørnet av parken.



Figur 5-3. Oversiktsbilde av Øysteseparken fra befaring i mars 2023. Bilde: Norconsult

5.1.4 Utforming av trasé

Utformingen av den endelige traséen bør ta hensyn til vannføring, arealutnyttelse og vannhastigheter. Vannhastigheter kan reduseres ved å skape variasjon og meandrering i traséen. Langs strekninger uten betydelig meandrering kan variasjon og naturlig dynamikk skapes med en djupål og buner av stein, se eksempel på utforming i Figur 5-4 som er hentet fra 'Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø', utarbeidet av Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI) [4].

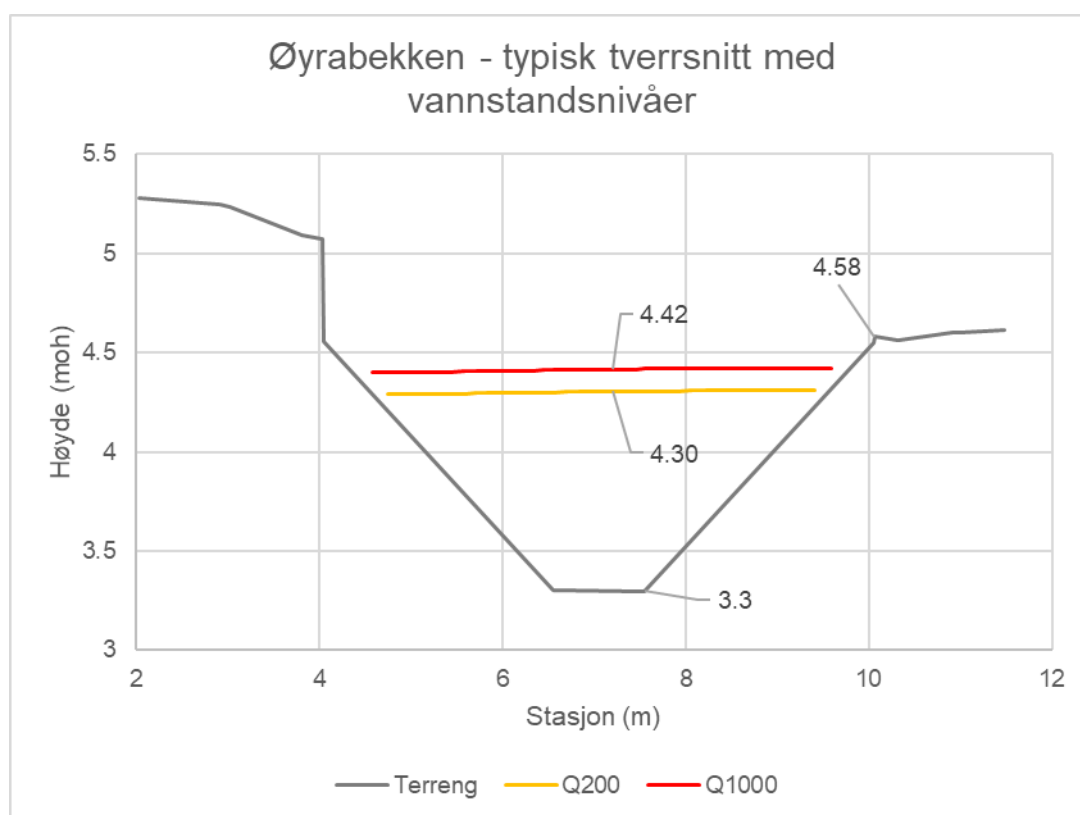


Figur 5-4. Eksempel på mulig utforming av variasjon og djupål med buner av stein. Kilde: LFI [4].

5.2 Tverrsnitt

5.2.1 Nødvendig tverrsnitt

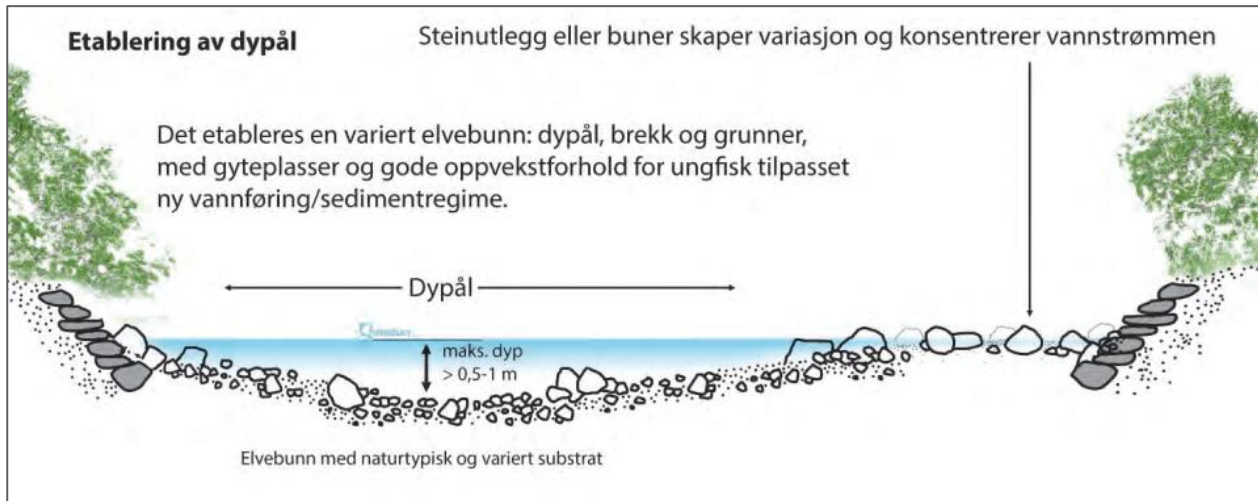
Bekken har blitt lagt inn i den hydrauliske modellen som en kanal med flat bunn og sideskråninger for å vurdere minimumskriterier for nødvendig kapasitet. Figur 5-5 viser typisk tverrsnitt for kanalen med vannstands nivåer for 200- og 1000-årsflom rett oppstrøms for den foreslåtte kulverten under fylkesveien. Kanalen er 1 m bred i bunn, ca. 1,25 m dyp med sideskråninger på 1:2. Bredde i topp er ca. 6 m. Forskjellen i vannstands nivå mellom 200- og 1000-årsflom er ca. 12 cm som gir en indikasjon på hvor mye kapasiteten i bekken evt. må endres med når det er klarlagt hvilken sikkerhetskategori iht. TEK 17 §7-2 det skal tas hensyn til.



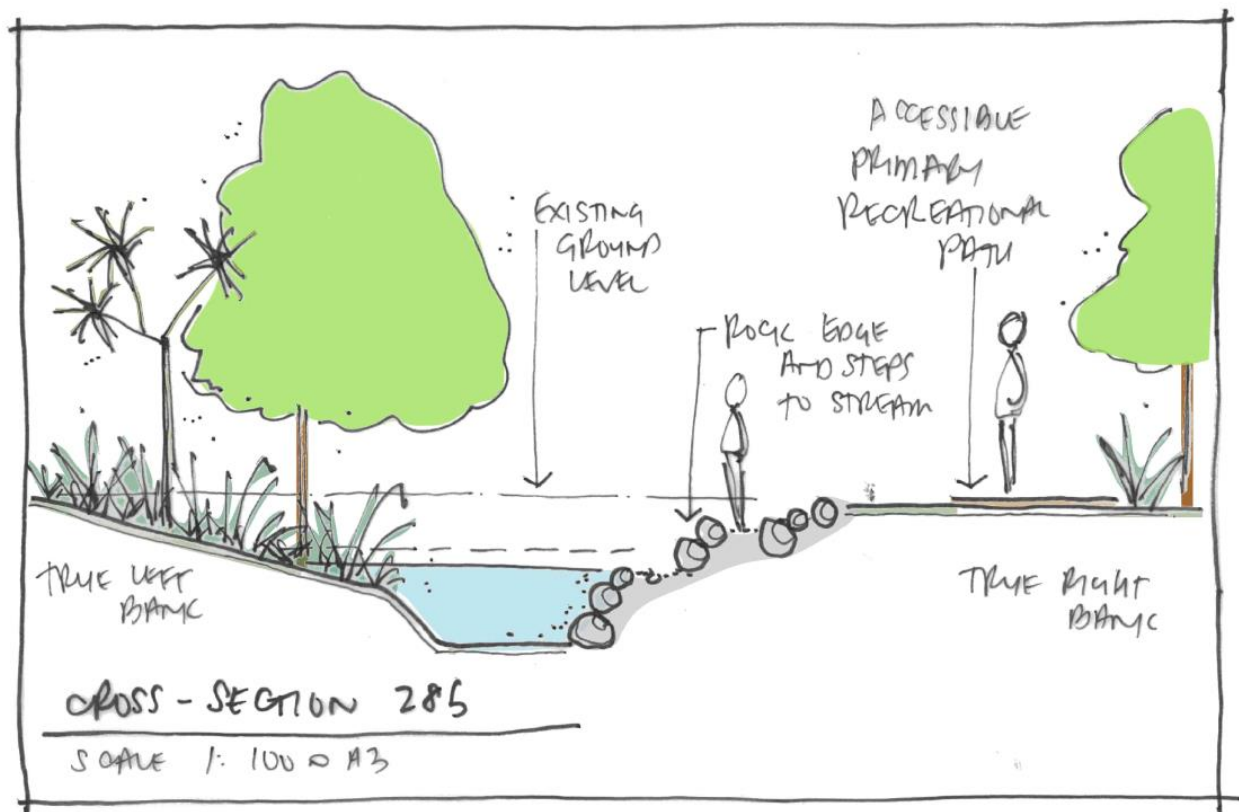
Figur 5-5. Typisk tverrsnitt for Øyrabekken slik det er lagt inn i den hydrauliske modellen. Oransje strek viser vannstands nivå for 200-årsflom og rød strek for 1000-årsflom.

5.2.2 Utforming av tverrsnitt

Tverrsnittet beskrevet i kapittel 5.2.1 kan brukes som et utgangspunkt for nødvendig kapasitet i bekken, men det anbefales å utforme tverrsnittet på en mer natur-lik måte med en djupål som tilpasses normalvannføringen, og så et utvidet tverrsnitt for flomvannføring. Djupålen kan utformes på ulike måter, men hovedprinsippet går ut på å etablere et tverrsnitt med en smalere del som konsentrerer vannstrengen under normal vannføring. Det totale tverrsnittet vil inkludere et større areal som kan utnyttes under flomvannføring. Under normal vannføring kan det utvidede tverrsnittet utformes til andre formål f.eks. ved å etablere planter (som tåler sporadisk oversvømming) eller turstier eller andre tiltak som tilrettelegger for tilkomst og tilgjengeliggjøring av bekken. Se skisser som viser eksempler på mulig utforming i Figur 5-6 og Figur 5-7.



Figur 5-6. Forslag til utforming av tverrsnitt med variert elvebunn og dypål. Kilde: LFI [4].

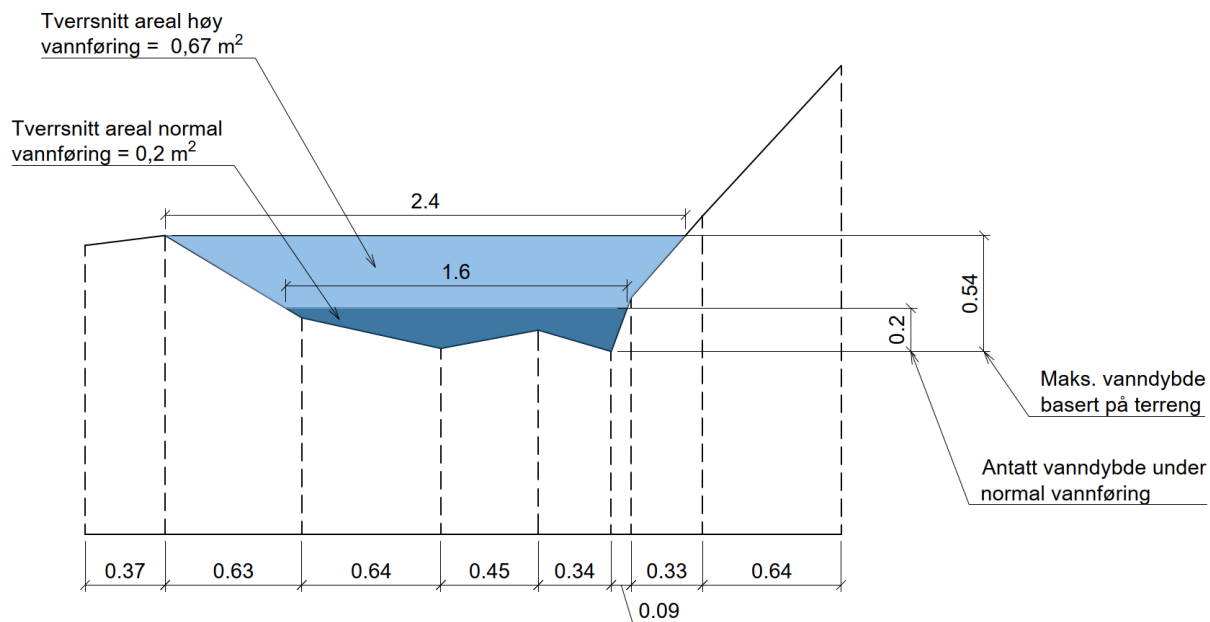


Figur 5-7. Forslag til utforming av dypål og bekkeverrsnitt. Her er tverrsnittet lagt opp til at breddene kan utnyttes for rekreasjon og tilkomst under normal vannføring, mens under flom vil det utvidete tverrsnittet fylles av vannføring.

Kilde: Christchurch City Council [5]

Nødvendig kapasitet i dypålen bør optimaliseres under fremtidig detaljprosjektering, men et godt utgangspunkt er tverrsnittet til den eksisterende bekken oppstrøms. Det ble oppmålt fire representative

tverrsnitt av bekken i forbindelse med utvikling av den hydrauliske modellen, se skisse av tverrsnittet omtrent 50 m oppstrøms fra innløpet til overvannsrøret i Figur 5-8. Figur 5-9 viser et bilde av bekken omtrent hvor tverrsnittet er oppmålt.



Figur 5-8. Oppmålt tverrsnitt av Øyrabekken, omtrent 50 m oppstrøms fra innløpet til overvannsrøret.

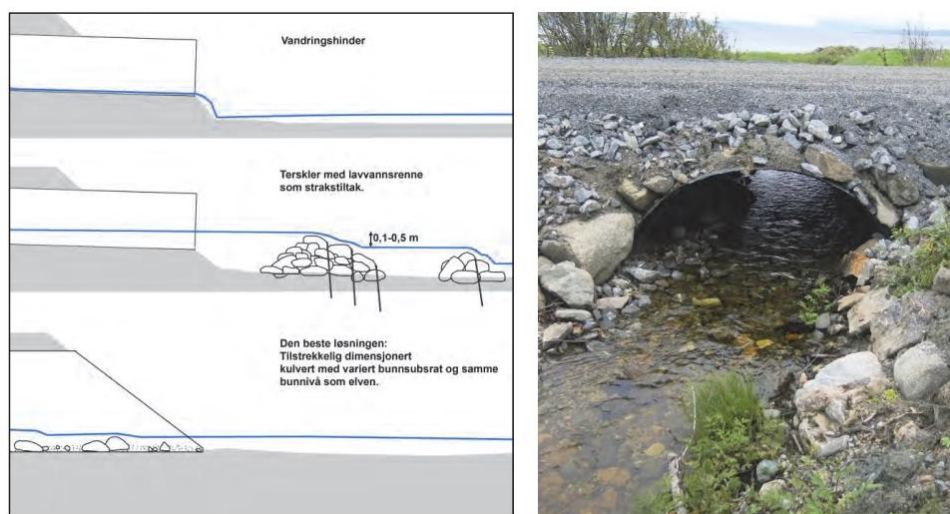


Figur 5-9. Bilde av Øyrabekken omtrent hvor tverrsnittet vist i Figur 5-8 er oppmålt. Bilde: Norconsult

Tabell 5-1. Oppsummering av kulvert kapasitet for ulike gjentaksintervall og situasjon med/uten overløp

	Vannstand ved innløp (over kulvert bunn)	Gjenstående lysåpning	Gjenstående kapasitet
Uten overløp	(m)	(m)	(%)
Q200	0,88	0,12	12 %
Q1000	1,00	0,00	0 %
Med overløp	(m)	(m)	(%)
Q200	0,78	0,22	22 %
Q1000	0,91	0,09	9 %

Ettersom et av formålene med gjenåpning av Øyrabekken er å øke habitat for sjøørret er det kritisk at kulverten under fylkesveien ikke danner et vandringshinder for fisk. Et vandringshinder dannes hvis det er laget et høydesprang uten å ta hensyn til fisk [4]. Dersom det ikke er mulig å legge kulverten uten et høydesprang ved innløpet eller utløpet kan det dannes terskler som gir fisken mulighet til å hoppe opp til neste nivå. Den beste utformingen er dog en tilstrekkelig dimensjonert kulvert med naturtypisk elvebunn og samme bunnivå som bekken, se prinsipptegninger for passerbare kulverter og eksempel på en god løsning i Figur 5-11.

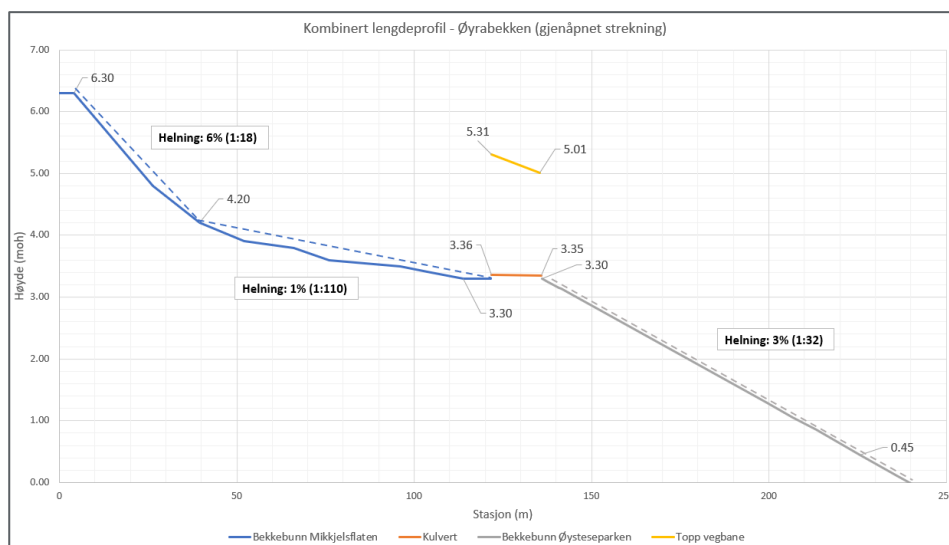


Figur 5-11. Prinsipptegning for utforming av kulvert med hensyn til fiskevandring og et godt eksempel (gjengitt i LFI-rapport nr. 296 med tillatelse fra Statens Veivesen, Haugland & Hjellev 2015) [4].

5.4 Fall og hastigheter

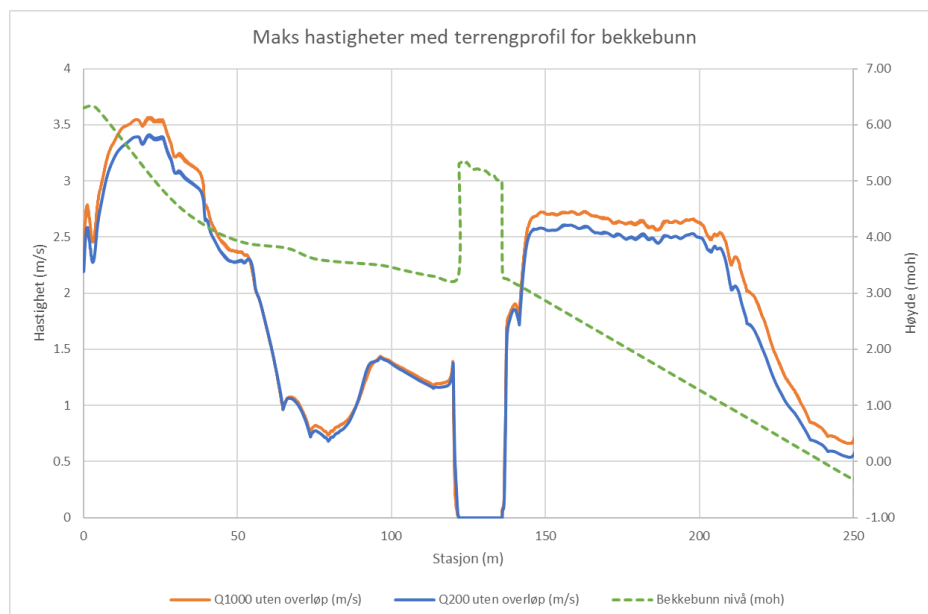
Bekkeåpningen må utføres med tilstrekkelig erosjonssikring for å unngå undergraving og erosjon av sidekantene og bekkebunnen. NVE veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein [7] vektlegger to forskjellige metoder for å beregne stabil steinstørrelse. Robinsons formel anbefales for bratte strekninger (> 2 % helling) mens Maynords formel for slakere strekninger (< 2 % helling).

Bekkeåpningen er delt opp i tre strekninger basert på gjennomsnittlig fall. Strekningen gjennom Mikkjelsflaten er delt i to; en bratt strekning oppstrøms (ca. 6 %) og en slakere strekning (ca. 1 %). Nedenfor fylkesveien, gjennom Øysteseparken, har bekken en jevn helling på 3 %. Figur 5-12 viser kombinert lengdeprofil for traséen til bekkeåpningen.



Figur 5-12. Kombinert lengdeprofil for Øyrabekken med gjennomsnittlige hellinger. Blå strek er gjennom Mikkjelsflaten, oransje strek er kulvert under fylkesveien og grå strek er gjennom Øysteseparken.

For beregning av dimensjonerende steinstørrelse er det tatt utgangspunkt i situasjonen uten overløp til det eksisterende overvannsrøret ettersom dette gir høyest vannføring i bekken og derfor større hastigheter. Endelig dimensjonering av erosjonssikring bør tilpasses opsjonen og gjentakintervall på flom som legges til grunn når dette er avklart. Hastigheter langs lengdeprofilen for bekken for denne opsjonen for 200- og 1000-årsflom er vist i Figur 5-13.



Figur 5-13. Hastigheter fra den hydrauliske modellen langs lengdeprofil av bekken. Hastighetene er vist for senterlinjen av bekken hvor de er høyest.

Den dimensjonerende hastigheten (maks) for de tre strekningene langs bekkeåpningstraséen er trukket ut av den hydrauliske modellen og oppsummert i Tabell 5-2 for å dimensjonere steinstørrelser for erosjonssikring.

Tabell 5-2. Maks hastigheter for strekninger langs Øyrabekken

	Maks hastighet Q_{200}^* (m/s)	Maks hastighet Q_{1000}^* (m/s)
1 - Mikkjelsflaten (6 %)	3,4	3,6
2 - Mikkjelsflaten (1 %)	1,4	1,4
3 - Øysteseparken (3 %)	2,6	2,7

* Inkludert klimapåslag

5.5 Steinstørrelse

Formlene for å beregne stabil steinstørrelse tar hensyn til blant annet fall på strekningen og vannføring/hastighet. Tabell 5-3 oppsummerer valgt steinstørrelse basert på beregningene for de tre strekningene med ulike hellinger og gjentakintervall på 200 og 1000 år (inkl. klimapåslag). Merk at formlene regner ut stabil steinstørrelse med ulike vektfordelinger, hvor Robinsons beregner D_{50} og Maynords beregner D_{30} . Dette er definert som at D_x er den steinstørrelsen som x % av prøven er mindre enn, regnet etter vekt. Utsnitt fra regnearkene brukt til å dimensjonere steinstørrelser er inkludert i Vedlegg 1. Av praktiske årsaker er valgt steinstørrelse satt lik for strekning 1 og 3, selv om beregnet steinstørrelse varierte noe.

Tabell 5-3. Beregnet stabil steinstørrelse for strekninger av Øyrabekken

	Formel for stabil steinstørrelse	Endelig valgt steinstørrelse Q_{200}^* (mm)		Endelig valgt steinstørrelse Q_{1000}^* (mm)	
		Bunn	Sideskråning	Bunn	Sideskråning
1 - Mikkjelsflaten (6 %)	Robinsons (D_{50})	180	220	200	240
2 - Mikkjelsflaten (1 %)	Maynords (D_{30})	50	60	50	60
3 - Øysteseparken (3 %)	Robinsons (D_{50})	180	220	200	240

* Inkludert klimapåslag

6 Kostnadsestimat

Det er utarbeidet kostnadsoverslag for bekkeåpningen som beskrevet i denne rapporten. Enhetsprisene som er oppgitt i kostnadsoverslaget er basert på erfaringstall fra sammenlignbare oppdrag der Norconsult har utført prosjekteringen. Estimater for utføring av ny kulvert er trukket fra samledokumentasjon fra Statens vegvesen fra 2018, hvor det er oppgitt en median pris per løpemeter for kulverter på kr 145 000 [8]. Denne prisen er inflasjonsjustert med ca. 20 % for å oppnå 2023 priser.

Det er viktig å understreke at det er stor variasjon i enhetsprisene fra prosjekt til prosjekt og fra entreprenør til entreprenør. Mengder er basert på grove anslag som er utredet på skisse-nivå. Både enhetspriser og mengder er dermed usikre, og representerer resultater som bør betraktes som grove overslag. I tillegg vil poster som «rigg og drift» og «uforutsett» medføre stor usikkerhet.

Nåværende kostnader er estimert til ca. **kr 6,8 millioner** (ekskl. mva.)

Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris	Sum
Kulvert - krysning under Hardangerfjordvegen	RS	1	kr 2 220 000.00	kr 2 220 000.00
Gravearbeid	m ³	3000	kr 125.00	kr 375 000.00
Filterduk	m ²	3000	kr 50.00	kr 150 000.00
Filterlag	m ³	600	kr 600.00	kr 360 000.00
Erosjonssikring (rauset stein)	m ³	1500	kr 650.00	kr 975 000.00
Landskap og anleggsgartnerarbeid	RS	1	kr 750 000.00	kr 750 000.00
Sum				kr 4 830 000.00
<i>Rigg og drift</i>			25 %	<i>kr 1 207 500.00</i>
<i>Usikkerhet/uforutsett</i>			20 %	<i>kr 301 875.00</i>
<i>Byggherrekostnader</i>			10 %	<i>kr 483 000.00</i>
Sum (netto)				kr 6 822 375.00
Merverdiavgift			25 %	kr 1 705 593.75
Sum (brutto)				kr 8 527 968.75

7 Oppsummering

7.1 Suksessfaktorer

Oslo kommune har utført en rekke bekkeåpningsprosjekter i nyere tid og har i den forbindelse utarbeidet et styringsdokument for 'Gjenåpning av elver og bekker i Oslo' [9]. Dokumentet legger frem en rekke faktorer som skal til for å lykkes med gjenåpning av bekker og elver. Tabellen nedenfor (Tabell 7-1) er et utsnitt fra styringsdokumentet og lister opp kritiske suksessfaktorer, nødvendige tiltak og ansvarsfordeling for å oppnå suksess med enkeltprosjekter for gjenåpning. I kolonnen for 'Ansvar for tiltaket' vil det være naturlig at 'Prosjekteier' vil være Kvam herad når dette ses i sammenheng med gjenåpning av Øyrabekken.

Tabell 7-1. Kritiske suksessfaktorer for å lykkes med gjenåpning av bekker og elver - enkeltprosjekter. Kilde: Oslo kommune [9].

 Kritiske suksessfaktorer	Tiltak	Ansvar for tiltaket
God koordinering mellom kommunale aktører	Felles prioritering av prosjekter gjennom tverretattlig samarbeid og beslutning	MOS/ Prosjekteier og samarbeidspart
Samtidig finansiering av prosjektene	- Felles bestilling fra MOS/ overordnet bestiller - Samtidig innspill til budsjett	MOS/ Prosjekteier og samarbeidspart
Prosjektet følger føringene i kommunens investeringsregime	Bestille konseptvalgutredning, KS1, forprosjekt med styringsdokument og KS2. Ha oppmerksomhet på kostnadskontroll gjennom utrednings- og forprosjektfasen	Prosjekteier
Tidlig involvering og medvirkning fra bydelene og berørte innbyggere	- Gjennomføre interessentanalyse og identifisere medvirkningsbehov tidlig i utrednings-/ reguleringsplanfasen - Gjennomføre medvirkningsaktiviteter i utrednings-/ reguleringsplanfasen og forprosjektfasen - Tidlig kontakt med bydelene	Prosjekteier
Koordinering med andre prosjekter i området	Gjennomføre medvirkningsaktiviteter i utrednings-/ reguleringsplanfasen og forprosjektfasen	Prosjekteier
Riktig kvalitet på utredning, prosjektering og gjennomføring i anleggsfasen samt kontroll ved overtagelse	- Organisasjonen må inneha nødvendig kompetanse til bestilling, oppfølging og kontroll av utredning, prosjektering og gjennomføring - Tidlig kartlegging/innhenting av kunnskap om grunnundersøkelser	Prosjekteier
Avklarte driftsforhold	Avklare drift av ulike elementer i prosjektet i forprosjektfasen og gjennom arbeid med styringsdokument for prosjektet	Prosjekteier
Vedlikehold og drift av gjenåpnet bekkeløp	Tidlig vurdering av faktorer som påvirker vedlikehold og drift	Prosjekteier

7.2 Generelle hensyn

Det er mange hensyn som skal ivaretas i et bekkeåpningsprosjekt, og det kan være utfordrende å komme frem til en løsning som tilpasser seg alle de ulike fokusområdene. Styringsdokumentet til Oslo kommune [9] nevner følgende hensyn som bør tas i betraktning:

- Dimensjonering for nødvendig vannføring
- Utforming av bekkeløp i henhold til tilgjengelig areal
- Bekkens funksjon for planter, dyr og mennesker
- Opplevelser og rekreasjon
- Vannkvalitet
- Sidearealer og kommunalt eierskap

I samarbeid med andre involverte aktører anbefales det at kommunen etablerer en prioriteringsliste over hvilke fokusområder som er de viktigste å ivareta i bekkeåpningen, og eventuelt hvilke som overstyrer andre hvis dette er tilfelle. Denne prosessen kan styres ved å sette tre hovedmål for prosjektet; et eksempel på hovedmål og krav til bekkeåpningsprosjekter i Oslo kommune er:

1. God tilpasning til klimaendringer
2. Bedre vannmiljø og byøkologi
3. Økt mulighet for friluftsliv og bedre folkehelse [9].

Bildene nedenfor i Figur 7-1 viser ferdigstilte bekkeåpningsprosjekter i Oslo som kan brukes som inspirasjon for gjenåpning av Øyrabekken og mulighetene et slikt prosjekt kan by på.



Figur 7-1. Bilder fra utførte bekkeåpningsprosjekter i Oslo. Kilder: 1 – Oslo kommune. 2 – Oslo kommune. 3 – Oslo Elveforum. 4 – Simona Robba, COWI.

7.3 Konklusjon og videre arbeid

Det har blitt foretatt en vurdering av muligheter for gjenåpning av Øyrabekken, inkludert kostnadsoverslag. Øyrabekken renner ned Skårdalen i Øystese og renner inn i et rør i det nordøstlige hjørnet av Mikkjelsflaten som leder bekken en strekning på omtrent 200 m ut i sjø. Røret har ikke tilstrekkelig kapasitet for flomvannføring og innløpet har gjentatte ganger gått tett og ført til oversvømmelse. Røret begrenser også tilkomst for fisk og reduserer tilgjengelig habitat for sjørørret [1]. Gjenåpning av bekken er generelt sett som et meget positivt tiltak iht. flere funksjonsområder som blant annet reduisering av flomrisiko, økning av habitat i anadrom strekning og forbedring av landskapsverdier.

Ulike muligheter for utforming av bekkestraséen og tverrsnittet er vurdert på et skisse-nivå iht. foreløpig tilgang på informasjon og forutsetninger. Bekkeåpningen har blitt simulert i en hydraulisk modell i HEC-RAS for å vurdere nødvendig kapasitet og vannhastigheter for dimensjonering av steinstørrelse som er nødvendig for erosjonssikring av bekken.

Bekkeåpningen vil innebære krysning under Hardangerfjordvegen hvor bekken må legges i kulvert. Det er foreløpig estimert at det vil være nødvendig med en kulvert på 1 m høyde og 2,5 m bredde, men dette må vurderes nærmere iht. krav for sikkerhetsspåslag fra Statens vegvesen under detaljutredning av tiltaket. Ettersom et av formålene med gjenåpning av Øyrabekken er å øke tilgang til habitat for sjørørret, er det kritisk at kulverten også tilrettelegger for fiskevandring.

Det er utarbeidet et grovt kostnadsoverslag for gjenåpning av bekken. Foreløpig kostnadsestimat er beregnet til ca. kr 6,8 millioner (eks. mva). Det er viktig å understreke at det er stor variasjon i enhetsprisene fra prosjekt til prosjekt og fra entreprenør til entreprenør. Mengder er basert på grove anslag som er utredet på skisse-nivå. Både enhetspriser og mengder er dermed usikre, og representerer resultater som bør betraktes som grove overslag. I tillegg vil poster som «rigg og drift» og «uforutsett» medføre stor usikkerhet.

Videre fremdrift av bekkeåpningen bør utredes av kommunen i samarbeid med aktuelle samarbeidspartnere og valgte konsulenter for planutredning og teknisk utforming. Listen nedenfor legger frem et forslag til arbeidsoppgaver og utredninger som må fullføres for å sikre fremdrift av bekkeåpningsprosjektet:

- Dialog med plankonsulent og berørte samfunnsinstitusjoner og/eller private aktører som har interesse i å utvikle Mikkjelsflaten.
- Videre utredning av grunnlagsinformasjon som bl.a. innhenting av geotekniske grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering.
- Dialog med Statens vegvesen og fylkeskommunen ang. etablering av kulvert under Hardangerfjordvegen.
- Prosjektering og utredning av bekkeåpningen iht. vassdragstekniske og biologiske prinsipper.

8 Referanser

- [1] M. Kambestad, «Aktuelle tiltak for sjørret i Skårdalsbekken i Øystese,» 2020.
- [2] Norconsult, «Øyrabekken - flomvurdering,» 2023.
- [3] Norsk klimaservicesenter, «Klimaprofil Hordaland,» 18 04 2023. [Internett]. Available: <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hordaland>.
- [4] Laboratorium for ferskvannssøkologi og innlandsfiske (LFI), «Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø,» 2018.
- [5] Christchurch City Council, *Cashmere Stream Enhancement Realignment: Stages 3&4 consultation plan*, 2022.
- [6] Statens vegvesen, «N200 Vegbygging,» 2022.
- [7] NVE, «Veilder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein, Rapport 4/2009,» NVE, 2009.
- [8] G. Saxebøl, «Samledokumentasjon 2018 - Statens vegvesen rapport nr. 252,» 2019.
- [9] Oslo kommune, «Gjenåpning av elver og bekker i Oslo,» 2022.

9 Vedlegg

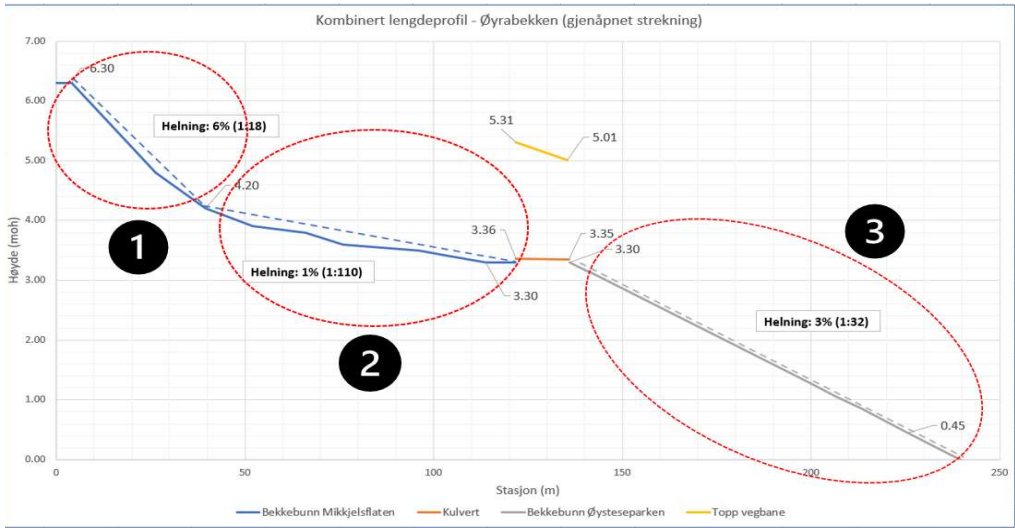
1. Beregninger av stabil steinstørrelse

Maynords metode for beregning av erosjonssikring av bunn- og sidesikring i elv			
OPPDRAAG	OPPDRAAGSNUMMER	OPPRETTET AV	DATO
Gjenåpning av Øyrabekken	52301942	JSH	2023-09-27
BEREGNING	REVISJON	KONTROLLERT AV	DATO
Maynord og Robinsons	1	DBFos	2023-10-10

Info:

Dette regnearket beregner stabil steinstørrelse for ulike strekninger av Øyrabekken ifm. bekkeåpning. Bekken er delt opp i tre strekninger basert på gjennomsnittlig helling, som vist i figuren til høyre:

Strekning 1 - 6% helling, benytter Robinsons formel
 Strekning 2 - 1% helling, benytter Maynords formel
 Strekning 3 - 3% helling, benytter Robinsons formel



Oppsummering av beregnet steinstørrelse (m)		
Strekning 1 - Robinsons	D50	D50 sidesikring
Q200	0.180	0.216
Q1000	0.191	0.229
Strekning 2 - Maynords	D30	D30 sidesikring
Q200	0.024	0.031
Q1000	0.024	0.030
Strekning 3 - Robinsons	D50	D50 sidesikring
Q200	0.114	0.137
Q1000	0.121	0.146

Endelig valgt steinstørrelse (mm)		
Strekning 1 - Robinsons	D50	D50 sidesikring
Q200	180	220
Q1000	200	240
Strekning 2 - Maynords	D30	D30 sidesikring
Q200	50	60
Q1000	50	60
Strekning 3 - Robinsons	D50	D50 sidesikring
Q200	180	220
Q1000	200	240

Strekning 1 - 200-årsflom (inkl. klimapåslag)

1. Robinsons formel - for strekninger brattere enn 2%, $S_0 < 1:10$

Bunnhellning S_0 (m/m)	0.056
Bunnbredde b (m)	1
Dybde H (m)	1
Sidelling (1:z)	2
Effektiv bunnbredde (m)	3 <i>Satt lik bredden ved halv vanddybde</i>
Vannføring Q (m ³ /s)	2.9
Enhetsvannføring q (m ³ /s/m)	1.0
Steinstørrelse bunn D ₅₀ (m)	0.150
Dimensjonering D₅₀ + 20%	0.180
Økningsfaktor for sideskråning	1.20
Steinstørrelse sideskråning D₅₀ (m)	0.216

$$D_{50} = 1,5 S_0^{0,79} q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10 \quad (4.21)$$

$$D_{50} = 0,5 S_0^{0,31} q^{0,53} \quad \text{for } 1:10 \leq S_0 \leq 1:2,5 \quad (4.22)$$

Her er:

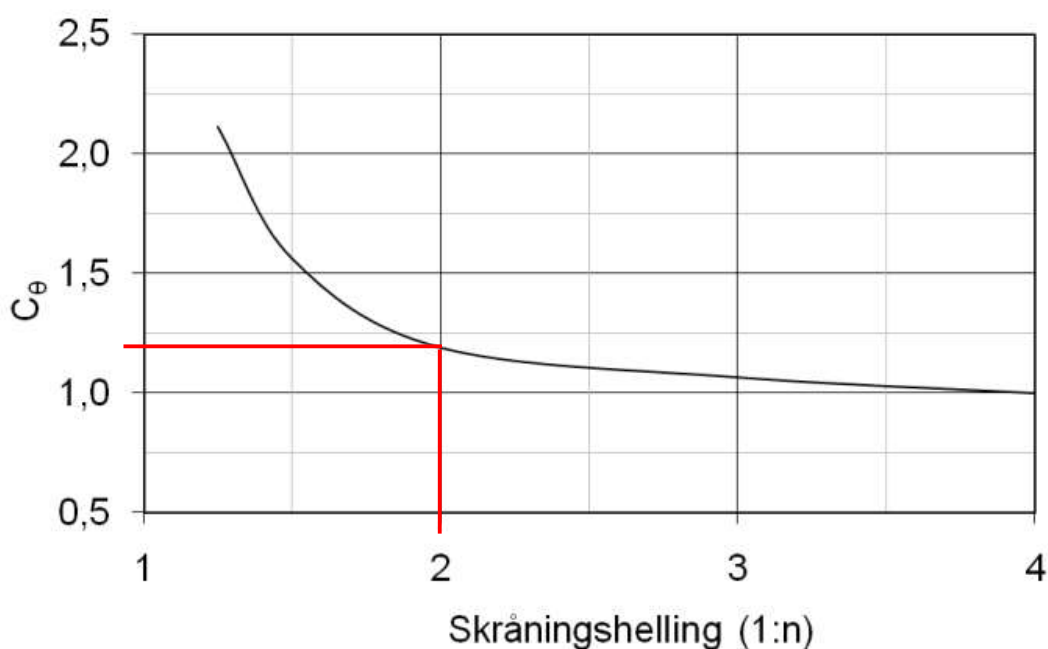
D_{50} = steinstørrelse (m)

S_0 = bunnhellning (-)

q = enhetsvannføring (m²/s)

Formlene gir den høyeste enhetsvannføringen bunnen tåler før brudd. Ved den vannføringen vil sikringen få en ujevn overflate og betydelig deformasjon. For dimensjonering anbefales det å øke steinstørrelsen med 20 %.

Formlene forutsetter at det brukes sprengt, kubisk stein med $s = 2,6$.



Figur 60 Korreksjonsfaktor C_ϕ

Strekning 1 - 1000-årsflom (inkl. klimapåslag)

1. Robinsons formel - for strekninger brattere enn 2%, $S_0 < 1:10$

Bunnhellning S_0 (m/m)	0.056	
Bunnbredde b (m)	1	
Dybde H (m)	1.12	
Sidehellning (1:z)	2	
Effektiv bunnbredde (m)	3.24	Satt lik bredden ved halv vanndybde
Vannføring Q (m ³ /s)	3.5	
Enhetsvannføring q (m ³ /s/m)	1.1	
Steinstørrelse bunn D50 (m)	0.159	
Dimensjonering D50 + 20%	0.191	
Økningsfaktor for sideskråning	1.20	
Steinstørrelse sideskråning D50 (m)	0.229	

$$D_{50} = 1,5S_0^{0,79}q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10 \quad (4.21)$$

$$D_{50} = 0,5S_0^{0,31}q^{0,53} \quad \text{for } 1:10 \leq S_0 \leq 1:2,5 \quad (4.22)$$

Her er:

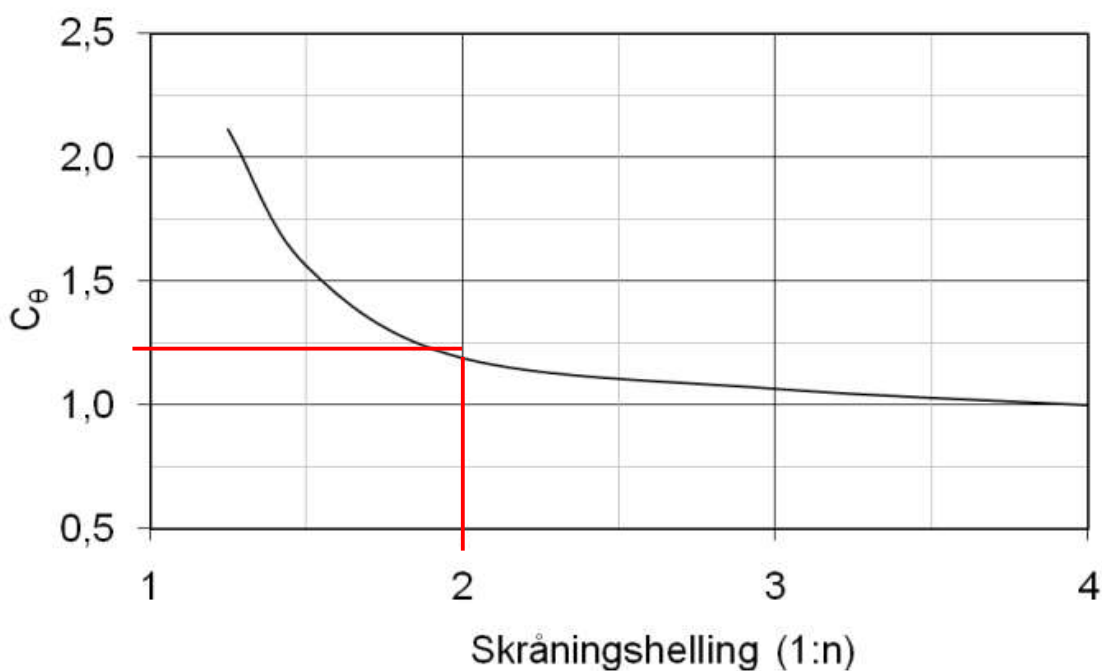
D_{50} = steinstørrelse (m)

S_0 = bunnhellning (-)

q = enhetsvannføring (m²/s)

Formlene gir den høyeste enhetsvannføringen bunnen tåler før brudd. Ved den vannføringen vil sikringen få en ujevn overflate og betydelig deformasjon. For dimensjonering anbefales det å øke steinstørrelsen med 20 %.

Formlene forutsetter at det brukes sprengt, kubisk stein med $s = 2,6$.



Figur 60 Korreksjonsfaktor C_ϕ

Steinstørrelse erosjonssikring - Maynords formel

Strekning 2 - 200-årsflom (inkl. klimapåslag)

Gyldighet

Fall på elva/kanalen	n	110 (-)	1:n
Maynords formel gyldig for fall på elva/kanalen		Ja	Gyldig for elver med fall opp til 1:50 (2 %)
Sideskrånninger på elva	h	2 (-)	1:k
Maynords formel gyldig for fall på sideskrånninger		Ja	Gyldig for sideskrånninger slakere enn 1:1,5.

Bunnsikring

Gjennomsnittshastighet ved beregningssted	V	1.4 (m/s)	$V=Q/A$
Dybdemiddelshastighet	U	1.4 (m/s)	$U = 1,25 * V$ om det ikke gjøres nøyere vurderinger, U = V
Vanndybde samme sted som U	Y ₀	1 (m)	
Sikkerhetsfaktor	S _f	1.1 (-)	1,0 er begynnende skade. Min 1,1 anbefales.
Stabilitetskoeffisient	C _s	0.3 (-)	0,3 for kantent sprengt stein, 0,375 for rundet stein. Gjelder for $1,7 < d_{85}/d_{15} < 5,1$
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C _v	1 (-)	C _v = 1 for rett strekning. NB! 1,25 nedstrøms betongkanaler og ved spissen av buner, utstikkende voller og lignende
Koeffisient for sikringstykkelser	C _t	1 (-)	Settes lik 1,0 hvis sikringstykkelser er lik den største av D _{maks} eller 1,5 d ₅₀ . Hvis sikringen er tykkere kan steinstørrelsen reduseres, C _t finnes da fra Figur 55.
Blokkenes tyngdetetthet	γ _r	26 (kN/m ³)	
Blokkenes spesifikke tetthet	S	2.6 (-)	$S=\gamma_r/\gamma_w$
Koeffisient for skråningshellning	K _i	1 (-)	K _i settes lik K _i = 1,0 for bunnsikring
Tyngdens akselerasjon	g	9.81 (m/s ²)	$D_{30} = S_f C_s C_v C_t \gamma_0 \left[\left(\frac{1}{s-1} \right)^{0.5} \frac{U}{\sqrt{K_i g \gamma_0}} \right]^{2.5}$
Stabil steinstørrelse i bunn av elva ved rett strekk og innsiden av kurver	d₃₀	0.024 (m)	

Sidesikring

Gjennomsnittshastighet ved beregningssted	V	1.4 (m/s)	$V=Q/A$
Dybdemiddelshastighet sidesikring rett strekk	U _{ss}	1.4 (m/s)	U _{ss} = V på rett strekk
Vanndybde i bunn av sidesikring	Y _{maks}	1 (m)	
Vanndybde 20 % opp i skråning	Y ₀	0.8 (m)	
Sikkerhetsfaktor	S _f	1.1 (-)	1,0 er begynnende skade. Min 1,1 anbefales.
Stabilitetskoeffisient	C _s	0.3 (-)	0,3 for kantent sprengt stein, 0,375 for rundet stein. Gjelder for $1,7 < d_{85}/d_{15} < 5,1$
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C _v	1 (-)	C _v = 1 for rett strekning. NB! 1,25 nedstrøms betongkanaler og ved spissen av buner, utstikkende voller og lignende
Koeffisient for sikringstykkelser	C _t	1 (-)	Settes lik 1,0 hvis sikringstykkelser er lik den største av D _{maks} eller 1,5 d ₅₀ . Hvis sikringen er tykkere kan steinstørrelsen reduseres, C _t finnes da fra Figur 55.
Blokkenes tyngdetetthet	γ _r	26 (kN/m ³)	
Blokkenes spesifikke tetthet	S	2.6 (-)	$S=\gamma_r/\gamma_w$
Skråningens horisontalkomponent	h	2 (-)	1:h / v:h
Breddens helling i forhold til horisontal (grader)	θ	26.6 (°)	
Koeffisient for skråningshellning	K _i	0.876 (-)	$K_i = -0,672 + 1,492 \cot \theta - 0,449 \cot^2 \theta + 0,045 \cot^3 \theta$
Tyngdens akselerasjon	g	9.81 (m/s ²)	
Stabil steinstørrelse sidesikring rett strekk og innsiden av kurver	d₃₀	0.031 (m)	

Steinstørrelse erosjonssikring - Maynords formel

Strekning 2 - 1000-årsflom (inkl. klimapåslag)

Gyldighet

Fall på elva/kanalen	n	110 (-)	1:n
Maynords formel gyldig for fall på elva/kanalen		Ja	Gyldig for elver med fall opp til 1:50 (2 %)
Sideskråninger på elva	h	2 (-)	1:k
Maynords formel gyldig for fall på sideskråninger		Ja	Gyldig for sideskråninger slakere enn 1:1,5.

Bunnsikring

Gjennomsnittshastighet ved beregningssted	V	1.4 (m/s)	$V=Q/A$
Dybdemiddelshastighet	U	1.4 (m/s)	$U = 1,25 * V$ om det ikke gjøres nøyere vurderinger, U = V
Vanndybde samme sted som U	Y ₀	1.12 (m)	
Sikkerhetsfaktor	S _f	1.1 (-)	1,0 er begynnende skade. Min 1,1 anbefales.
Stabilitetskoeffisient	C _s	0.3 (-)	0,3 for kantent sprengt stein, 0,375 for rundet stein. Gjelder for $1,7 < d_{85}/d_{15} < 5,1$
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C _v	1 (-)	C _v = 1 for rett strekning. NB! 1,25 nedstrøms betongkanaler og ved spissen av buner, utstikkende voller og lignende
Koeffisient for sikringstykkelser	C _t	1 (-)	Settes lik 1,0 hvis sikringstykkelser er lik den største av D _{maks} eller 1,5 d ₅₀ . Hvis sikringen er tykkere kan steinstørrelsen reduseres, C _t finnes da fra Figur 55.
Blokkenes tyngdetetthet	Y _r	26 (kN/m ³)	
Blokkenes spesifikke tetthet	S	2.6 (-)	$S=Y_r/Y_w$
Koeffisient for skråningshellning	K _i	1 (-)	K _i settes lik K _i = 1,0 for bunnsikring
Tyngdens akselerasjon	g	9.81 (m/s ²)	$D_{30} = S_f C_s C_v C_t Y_0 \left[\left(\frac{1}{s-1} \right)^{0.5} \frac{U}{\sqrt{K_i g Y_0}} \right]^{2.5}$
Stabil steinstørrelse i bunn av elva ved rett strekk og innsiden av kurver	d₃₀	0.024 (m)	

Sidesikring

Gjennomsnittshastighet ved beregningssted	V	1.4 (m/s)	$V=Q/A$
Dybdemiddelshastighet sidesikring rett strekk	U _{ss}	1.4 (m/s)	U _{ss} = V på rett strekk
Vanndybde i bunn av sidesikring	Y _{maks}	1.12 (m)	
Vanndybde 20 % opp i skråning	Y ₀	0.9 (m)	
Sikkerhetsfaktor	S _f	1.1 (-)	1,0 er begynnende skade. Min 1,1 anbefales.
Stabilitetskoeffisient	C _s	0.3 (-)	0,3 for kantent sprengt stein, 0,375 for rundet stein. Gjelder for $1,7 < d_{85}/d_{15} < 5,1$
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C _v	1 (-)	C _v = 1 for rett strekning. NB! 1,25 nedstrøms betongkanaler og ved spissen av buner, utstikkende voller og lignende
Koeffisient for sikringstykkelser	C _t	1 (-)	Settes lik 1,0 hvis sikringstykkelser er lik den største av D _{maks} eller 1,5 d ₅₀ . Hvis sikringen er tykkere kan steinstørrelsen reduseres, C _t finnes da fra Figur 55.
Blokkenes tyngdetetthet	Y _r	26 (kN/m ³)	
Blokkenes spesifikke tetthet	S	2.6 (-)	$S=Y_r/Y_w$
Skråningens horisontalkomponent	h	2 (-)	1:h / v:h
Breddens helling i forhold til horisontal (grader)	θ	26.6 (°)	
Koeffisient for skråningshellning	K _i	0.876 (-)	$K_i = -0,672 + 1,492 \cot \theta - 0,449 \cot^2 \theta + 0,045 \cot^3 \theta$
Tyngdens akselerasjon	g	9.81 (m/s ²)	
Stabil steinstørrelse sidesikring rett strekk og innsiden av kurver	d₃₀	0.030 (m)	

Strekning 3 - 200-årsflom (inkl. klimapåslag)

1. Robinsons formel - for strekninger brattere enn 2%, $S_0 < 1:10$

Bunnhellning S_0 (m/m)	0.031	
Bunnbredde b (m)	1	
Dybde H (m)	1	
Sidehellning (1:z)	2	
Effektiv bunnbredde (m)	3	Satt lik bredden ved halv vanndybde
Vannføring Q (m ³ /s)	2.9	
Enhetsvannføring q (m ³ /s/m)	1.0	
Steinstørrelse bunn D50 (m)	0.095	
Dimensjonering D50 + 20%	0.114	
Økningsfaktor for sideskråning	1.20	
Steinstørrelse sideskråning D50 (m)	0.137	

$$D_{50} = 1,5 S_0^{0,79} q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10 \quad (4.21)$$

$$D_{50} = 0,5 S_0^{0,31} q^{0,53} \quad \text{for } 1:10 \leq S_0 \leq 1:2,5 \quad (4.22)$$

Her er:

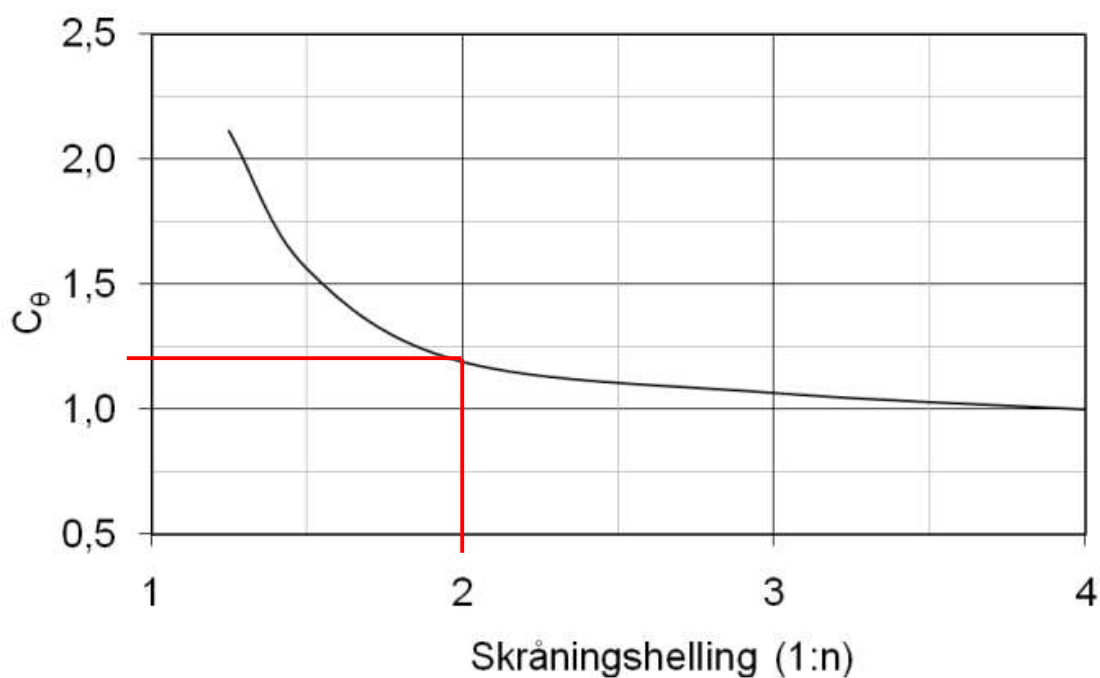
D_{50} = steinstørrelse (m)

S_0 = bunnhellning (-)

q = enhetsvannføring (m²/s)

Formlene gir den høyeste enhetsvannføringen bunnen tåler før brudd. Ved den vannføringen vil sikringen få en ujevn overflate og betydelig deformasjon. For dimensjonering anbefales det å øke steinstørrelsen med 20 %.

Formlene forutsetter at det brukes sprengt, kubisk stein med $s = 2,6$.



Figur 60 Korreksjonsfaktor C_θ

Strekning 3 - 1000-årsflom (inkl. klimapåslag)

1. Robinsons formel - for strekninger brattere enn 2%, $S_0 < 1:10$

Bunnhellning S_0 (m/m)	0.031	
Bunnbredde b (m)	1	
Dybde H (m)	1.12	
Sidehellning (1:z)	2	
Effektiv bunnbredde (m)	3.24	Satt lik bredden ved halv vanndybde
Vannføring Q (m ³ /s)	3.5	
Enhetsvannføring q (m ³ /s/m)	1.1	
Steinstørrelse bunn D50 (m)	0.101	
Dimensjonering D50 + 20%	0.121	
Økningsfaktor for sideskråning	1.20	
Steinstørrelse sideskråning D50 (m)	0.146	

$$D_{50} = 1,5 S_0^{0,79} q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10 \quad (4.21)$$

$$D_{50} = 0,5 S_0^{0,31} q^{0,53} \quad \text{for } 1:10 \leq S_0 \leq 1:2,5 \quad (4.22)$$

Her er:

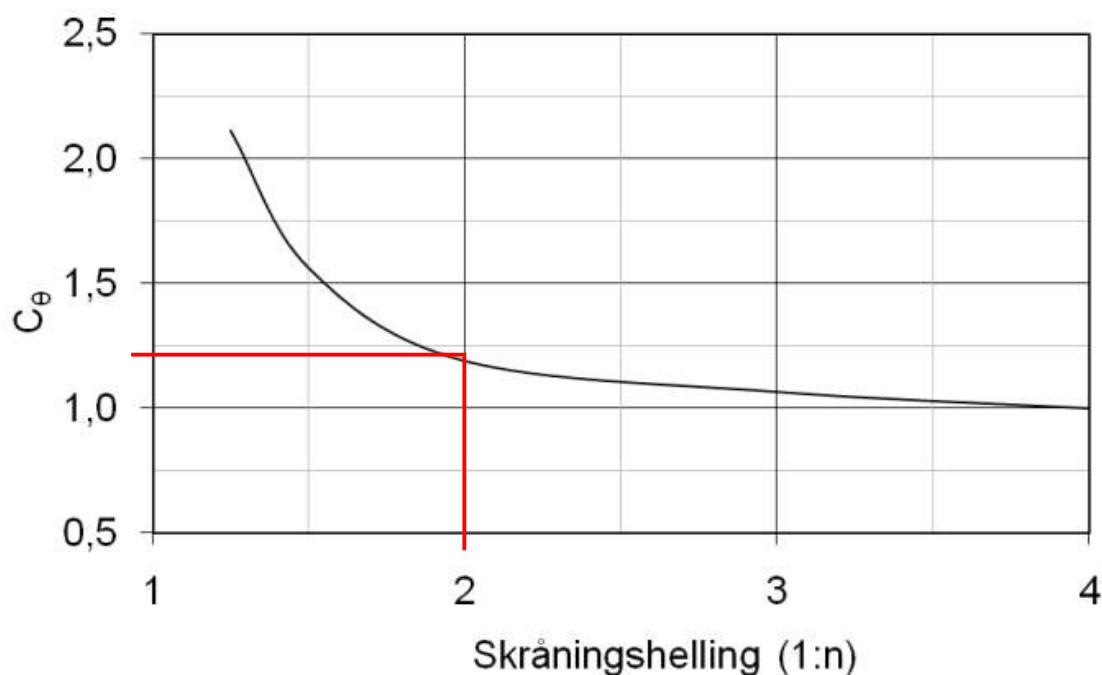
D_{50} = steinstørrelse (m)

S_0 = bunnhellning (-)

q = enhetsvannføring (m²/s)

Formlene gir den høyeste enhetsvannføringen bunnen tåler før brudd. Ved den vannføringen vil sikringen få en ujevn overflate og betydelig deformasjon. For dimensjonering anbefales det å øke steinstørrelsen med 20 %.

Formlene forutsetter at det brukes sprengt, kubisk stein med $s = 2,6$.



Figur 60 Korreksjonsfaktor C_θ