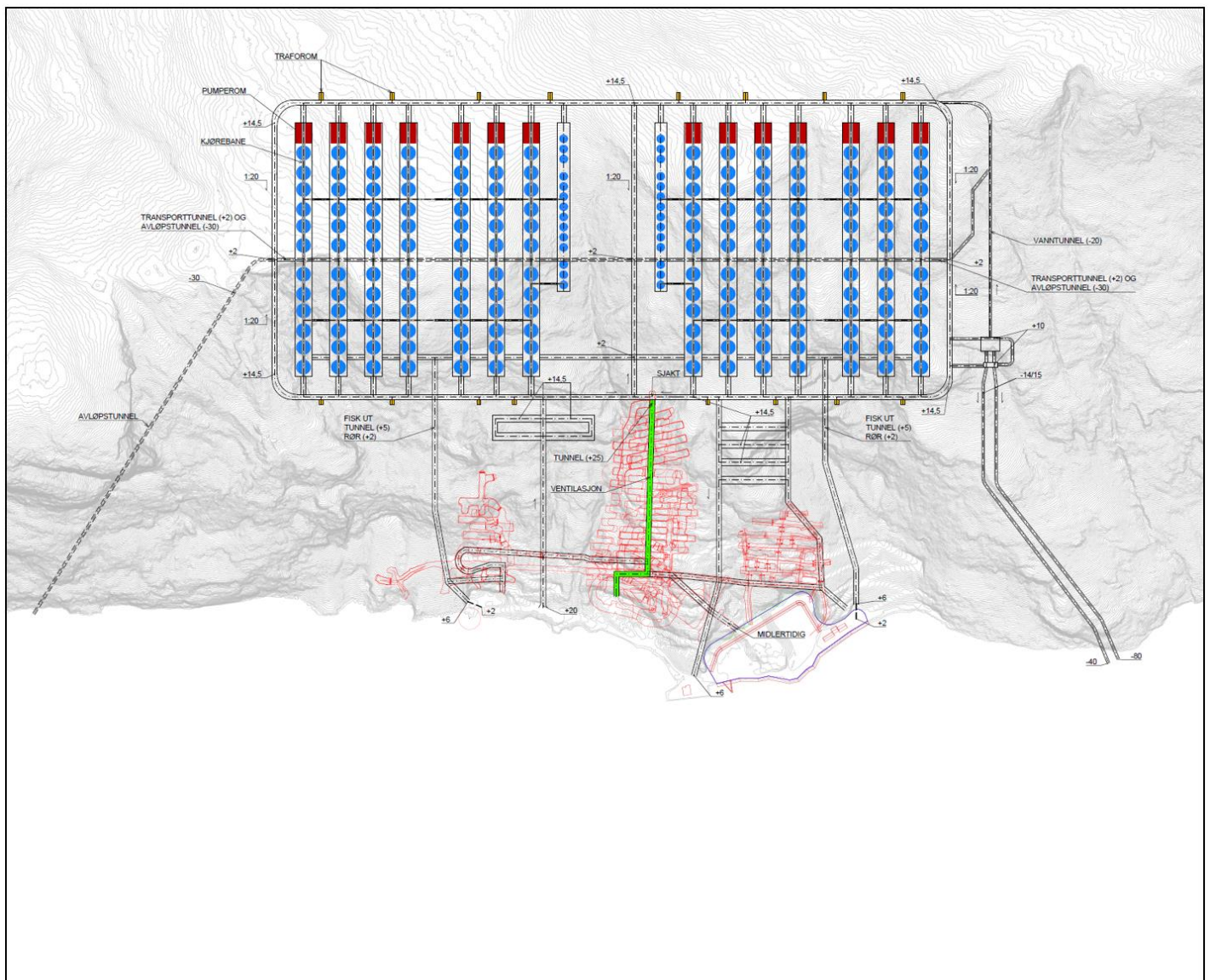


Artec Aqua AS

# ► WHS Raudbervika

Konseptstudie utslag under vann

Oppdragsnr.: 5209949 Dokumentnr.: RA-03 Versjon: J02 Dato: 2021-02-25



**Oppdragsgiver:** Artec Aqua AS  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Andres Thyri  
**Rådgiver:** Norconsult AS  
**Oppdragsleder:** Terje Jensen  
**Ass.oppdragsleder:** Torgeir Sandøy  
**Fagansvarlig:** Ingvar Tyssekvam / Thomas K. Mathiesen  
**Andre nøkkelpersoner:** Ragna Torås Halseth

J02	2021-02-25	Endret forside og bilde	ToSan	RagHal	Tosan
J01	2021-01-28	Rapport, for bruk	TKM	RagHal	ToSan
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

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Tunnelutslag under vann – prinsipp og metoder</b>	<b>5</b>
2.1	Utslag mot vannfylt tunnel	6
2.2	Utslag mot tørr tunnel	7
<b>3</b>	<b>Topografi, geologi og løsmasser</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Valg av metode og anbefalt videre arbeid</b>	<b>11</b>
4.1	Risiko	11
4.2	Anbefalt metode	11
4.3	Anbefalt videre arbeid og undersøkelser	12
<b>5</b>	<b>Foreløpig foreslått utslagsmetode</b>	<b>13</b>
5.1	Metode og geometri	13
5.2	Tunneltrasé og utslagssted	13
5.3	Prinsipp og prosedyre for utslag	14
5.4	Tunneldriving fram til utslag	16
5.4.1	<i>Påvisning og tetting av mulige vannlekkasjer</i>	16
5.4.2	<i>Sonderboring</i>	17
5.4.3	<i>Injeksjon</i>	17
5.4.4	<i>Kartlegging av sjøbunnen i utslagsområdet</i>	17
5.5	Sedimenttransport ved utslag	18
<b>6</b>	<b>Vurdering av risiko for gjennomføring og for omgivelser</b>	<b>19</b>
6.1	Normal anleggsrisiko	19
6.2	Spesiell risiko	19
6.3	Risiko for omgivelser	20
6.3.1	<i>Sprengningsrystelser</i>	20
6.3.2	<i>Trykkbølge i sjøen</i>	20
6.4	Tiltak for å redusere risiko	20

# 1 Bakgrunn

Det utredes mulighet for å etablere oppdrettsanlegg i fjellhaller i berg ved Raudbergvika. Anlegget skal hente vann for driften fra to ulike dyp i fjorden, og skal ha en avløpstunnel ut til fjorden fra motsatt side av anlegget.

Inntaksdyp er med bl.a. hensyn til vanntemperaturer satt til henholdsvis -40 og -80 m dyp. For utløpstunnelen er det ikke angitt noe dyp, så foreløpig er det antatt at dette kan være i området fra overflaten og ned mot ca. -20 m dyp.

Inntakstunnelene skal ha en kapasitet for overføring av 100-120 m<sup>3</sup>/s, som tilsier at tunnelene trolig bør ha en dimensjon i størrelsesorden 50-60 m<sup>2</sup> eller større. Det er ikke spesifisert nødvendige dimensjoner på utslagsåpningene. Det antas at det er ønskelig med så stor åpning som mulig (dvs. minst mulig falltap ved inntakene), men at det vil være akseptabelt med en viss innsnevring. Hydraulikken i systemet må studeres nærmere, men foreløpig tas det utgangspunkt i at det kan være aktuelt med en utslagsåpninger på inntil 35 m<sup>2</sup>.

Det påpekes at utslag under vann er en spesiell arbeidsoperasjon, som innebærer vesentlige usikkerheter sammenlignet med ordinær tunnelsprengning. Sannsynlighet for problemer kan begrenses – og bør begrenses så mye som det lar seg gjøre – men konsekvens ved eventuell mislykket sprengning vil være betydelig, ettersom det vil være krevende å utbedre eventuell utilstrekkelig brytning i utslagsåpningen.

Risiko for personell (skade eller dødsfall), vil alltid være uakseptabelt, og derfor forutsetter all prosjektering av utslagssalve at det benyttes metoder og prinsipper som eliminerer risiko for personskade eller dødsfall som følge av forberedelser og sprengning av utslagssalve. Risiko for skade på materiell, konstruksjoner vil kunne ha økonomisk betydning og/eller medføre forsinkelser i fremdrift/ferdigstillelse, og det kan vurderes for hvert element hvorvidt denne type risiko kan være akseptabel eller ikke.

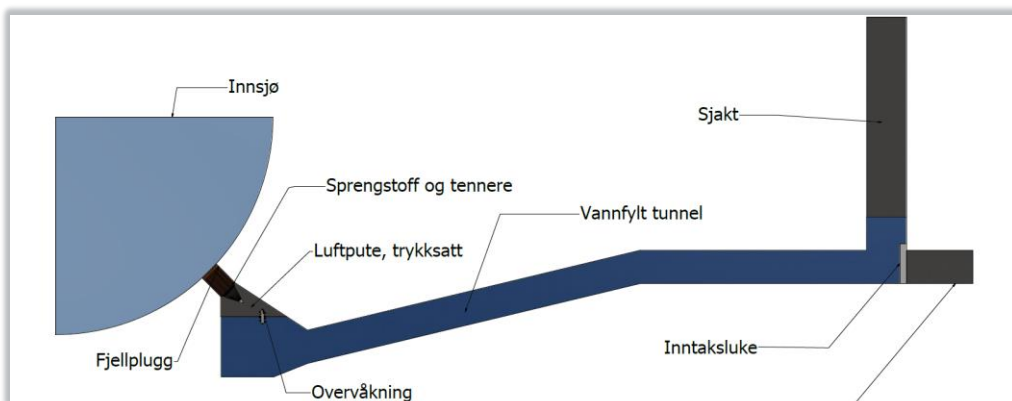
Grundige undersøkelser, prosjektering og planlegging, samt detaljert oppfølging og kvalitetskontroll under utførelse, er essensielt for å etablere en robust løsning og sikker gjennomføring av utslag under vann.

## 2 Tunnelutslag under vann – prinsipp og metoder

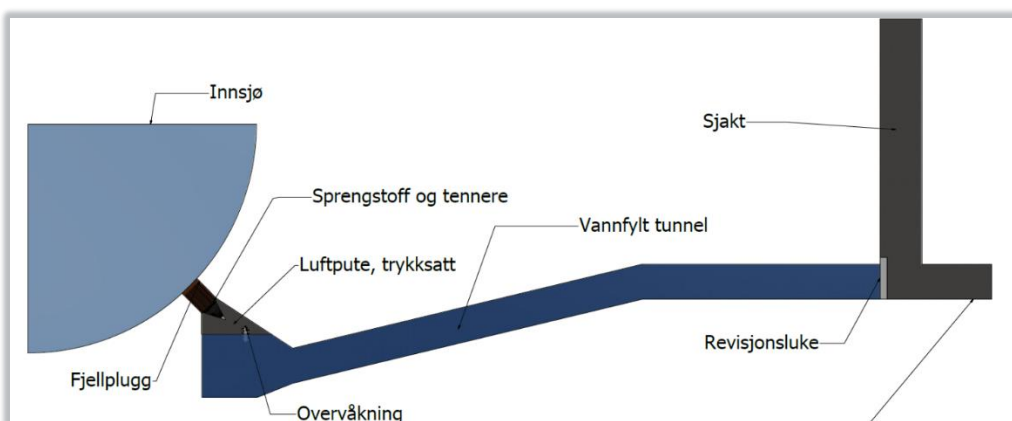
Det finnes ulike metoder for å utføre utslag under vann. Prinsipielt kan en skille mellom utslag mot en vannfylt tunnel «*vannfylt utslag*», eller utslag mot en tørr tunnel «*tørr utslag*». Videre kan man dele inn disse i «*åpent*» eller «*lukket*» utslag, avhengig av om tunnelen står i kontakt med friluft, eller om den er isolert fra friluft ved et stengeorgan. Dette gir 4 prinsipielle metoder for utslag:

- Vannfylt, åpent (Figur 1)
- Vannfylt, lukket (Figur 2)
- Tørr, åpent (Figur 3)
- Tørr, lukket (Figur 4)

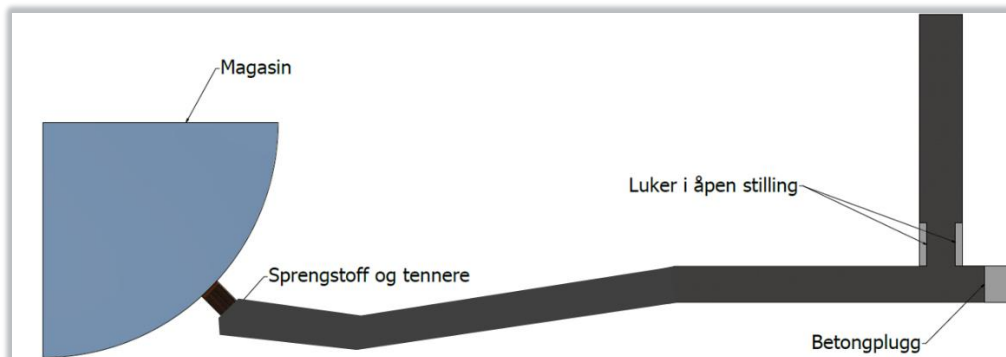
Det kan også være aktuelt å benytte mellomliggende løsninger, slik som; delvis vannfylt utslag, og delvis lukket utslag.



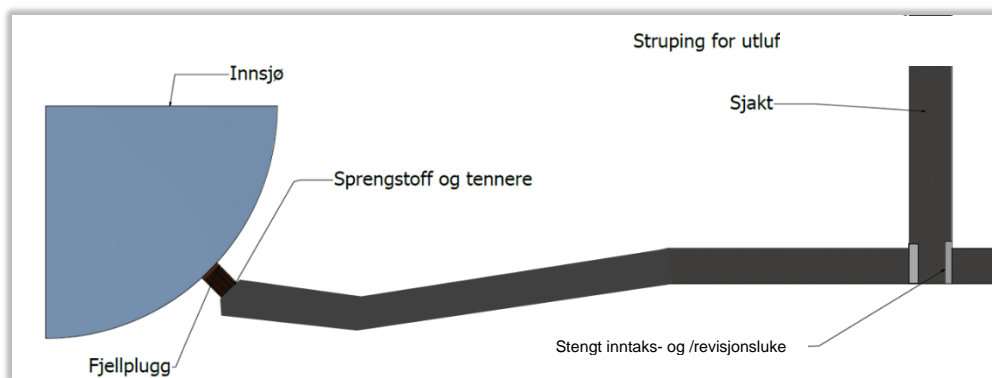
Figur 1 Vannfylt tunnel - åpent utslag.



Figur 2 Vannfylt tunnel - lukket utslag.



Figur 3 Tørr tunnel - åpent utslag (mot betongplugg)



Figur 4 Tørr tunnel - lukket utslag.

De ulike metodene for å utføre utslag har en felles utfordring i at man får normalt kun én sjanse til å gjennomføre utslagssalven. Sannsynligheten for at det skal oppstå feil eller skje noe galt under sprengningen er ikke nødvendigvis forskjellig fra andre sprengningsarbeider i en tunnel, men konsekvens ved en feil kan være svært stor. Dette medfører at risikoen ved en utslagssalve under vann er betydelig større enn ved en vanlig tunnelsalve.

## 2.1 Utslag mot vannfylt tunnel

Utslagsmetoden forutsetter helt eller delvis vannfylling av tunnelen før utslagssalven sprenges. Vannfylling av tunnelen har to hovedformål:

- Redusere innstrømmende vann, og dermed transport av løsmasser fra selve utslagssalve og øvrige løsmasser i tunnelsystemet.
- Beskytte stengeorgan (luke/ventil/bjelkestengsel) mot trykk forårsaket av innstrømmende vann, samt potensiell skade grunnet suspenderte steinmasser i vannstrømmen som treffer stengeorganet.

Sprengstoffet i salven kan ikke være i direkte kontakt med vannet i tunnelen. Hovedgrunnen til dette er at sprengstoff som detonerer i kontakt med vann vil medføre en hydrodynamisk trykkbølge som vil være

skadelig for konstruksjoner og installasjoner i tunnelsystemet (eksempelvis luke/ventil). Videre vil også vannmetning av sprengstoff, tennere eller koblingssystem medføre en økt risiko for ufullstendig detonasjon.

For å unngå kontakt med vann stiller metoden geometriske krav til tunnelen, ved at det må etableres et lavbrekk i tunnelen som gjør det mulig å fange en tilstrekkelig stor luftlomme opp mot utslagssalven. Luftlommen må i mange tilfeller trykkesett for å optimalisere demping og resulterende trykkbelastning på vannstrengen som følge av sprengningstrykket (gassutvikling fra sprengstoffet). Luftlommen vil videre sikre at sprengstoff, tennere og koblingssystem ikke kommer i kontakt med vannet i tunnelen.

Dersom tunnelen er tilnærmet helt fylt med vann, vil volumet av innstrømming etter utslagssalve være begrenset. For å sikre at sprengtsteinen ikke blir liggende til hinder for tilstrekkelig åpning, er det normalt nødvendig å vinkle tunnelsalven oppover, med tilstrekkelig vinkel til at sprengsteing faller/sklir inn fra utslagsåpningen. Videre må det etableres en grop på innsiden, som tillater sedimentering av sprengstein uten å begrense det endelige tverrsnittet i tunnelen.

Vannfylling og komprimering av luftlomme mot stuff krever et omfattende system for måling og overvåking, for å sikre korrekt volum og trykk i luftlommen. Videre vil selve vannfyllingen av tunnelen ta en del tid, noe som øker tiden hvor ferdig koblet salven blir stående uten direkte tilsyn. Graden av forkomprimering i luftlomme avhenger av hvor dypt utslaget ligger. Normalt vil man komprimere luften til et trykk på 0,5 – 1 bar lavere enn vanntrykket utenfor utslaget. Ved store dyp blir dette et betydelig trykk, og sprengstoffet som benyttes i utslagssalven må nødvendigvis tåle dette trykket (i fuktig luft) over den tiden som er nødvendig fra vannfylling starter til salven kan sprenges. Konvensjonelt sprengstoff (dynamitt) har en trykkbestandighet på ca. 1 bar, noe som i mange tilfeller ikke vil være tilstrekkelig for et vannfylt utslag. Det finnes ulike typer spesialsprengstoff som tåler en del mer trykk, men kostnaden er en del høyere og spesielt tilgjengelighet og leveringstid kan være en utfordring.

## 2.2 Utslag mot tørr tunnel

I noen tilfeller kan det være mulig å gjennomføre utslag uten å fylle vann i tunnelen før sprengning. Om dette skal kunne gjennomføres, må tunnelen nedstrøms utslaget stige til et nivå over vannivået i magasin/hav, eller en luke må befinne seg i tilstrekkelig stor avstand fra utslagsstedet, slik at vannstrøm bremses ned før den treffer stengeorganet.

Ved sprengning av utslagssalve mot tørr tunnel, vil vann strømme inn i tunnelen med høy hastighet, og vaske med seg alt av stein og løsmasser fra salven, samt andre masser som måtte befinne seg i tunnelen. Vannstrømmen vil bremse opp på grunn av friksjon mot konturen i tunnelen, samt mottrykk etter hvert som vannivået i tunnelen stiger. Ved et eventuelt lukket (eller delvis lukket) tørt utslag, vil vannstrømmen i tillegg bremses av økende trykk i luften foran vannstrengen som komprimeres. Ettersom vannhastigheten rett etter sprengning være svært høy, er det normalt ikke nødvendig å vinkle utslagssalven oppover for å få sprengsteinsmassen til å «falle» inn. Videre vil behovet for å etablere en massegrop rett på innsiden av utslagspluggen bortfalle, ettersom massene uansett ikke vil sedimentere der.

Vannstrømmen vil bære med seg suspenderte løsmasser, inntil hastigheten reduseres nok til at massene sedimenterer. Gjennomføring av tørt utslag forutsetter dermed at det er akseptabelt at det blir liggende sedimentert løsmasser på tunnelsålen, samt at det ikke finnes konstruksjoner eller installasjoner i tunnelen som kan skades av vannstrøm med suspenderte løsmasser. Innstrømningshastighet, massetransport og sedimentasjon kan analyseres nærmere.

Tradisjonelt har tørt utslag blitt benyttet i tilfeller der det ikke finnes noen installasjoner eller stengeorgan i tunnelen, og det er akseptabelt at vann og løsmasser strømmer fritt gjennom tunnelen; tørt, åpent utslag

(Figur 3), eller der et helt eller delvis lufttett stengeorgan ligger i stor avstand (>1000 m) fra utslagsstedet; tørt, lukket utslag (Figur 4).

I tilfeller der fritt innstrømmende vann ikke kan aksepteres innenfor et gitt punkt, kan metoden med tørt utslag likevel være mulig å gjennomføre. Dette kan eksempelvis oppnås ved å etablere en midlertidig betongplugg, som kan motstå både vanntrykk og skader fra suspenderte løsmasser, som senere fjernes (pigges eller sprenges) når vannstrømmen har kommet til ro. Forutsetning for denne løsningen er at det lar seg gjøre å etablere de nødvendige hjelpetunneler og/eller sjakter, og et stengsel som gjør det mulig å pumpe ut vannet på våt side av den midlertidige pluggen.

Dersom forholdene ligger til rette for å utføre utslagssalve mot tørr tunnel, innebærer denne metoden en rekke fordeler, sammenlignet med vannfylt tunnel. Fordeler med «tørt» utslag inkluderer:

- Metoden stiller i mindre grad spesielle krav til vann- og trykkbestandighet for sprengstoff
- Risiko for hydrodynamisk sjokkbølge i tunnelen er eliminert
- Ikke behov for massegrøp, som gir enklere tunnelgeometri og mindre sprengnings- og sikringsarbeider
- Ikke behov vannfylling, og dermed heller ikke måle- og overvåkningsutstyr
- Ikke behov for installasjon av luftrør fram til stuff
- Ikke behov for vanntette koblinger for avfyringskabel inn til stuff
- Salve og koblinger kan kontrolleres helt frem til avfyring av salve

Av «ulemper» nevnes:

- Behov for etablering av ekstra tunneler/sjakter (dersom dette ikke allerede inngår i anlegget)
- Eventuell etablering av midlertidig betongplugg, og riving av pluggen etter utslag
- Det vil bli liggende løsmasser/sprengstein på sålen i tunnelen

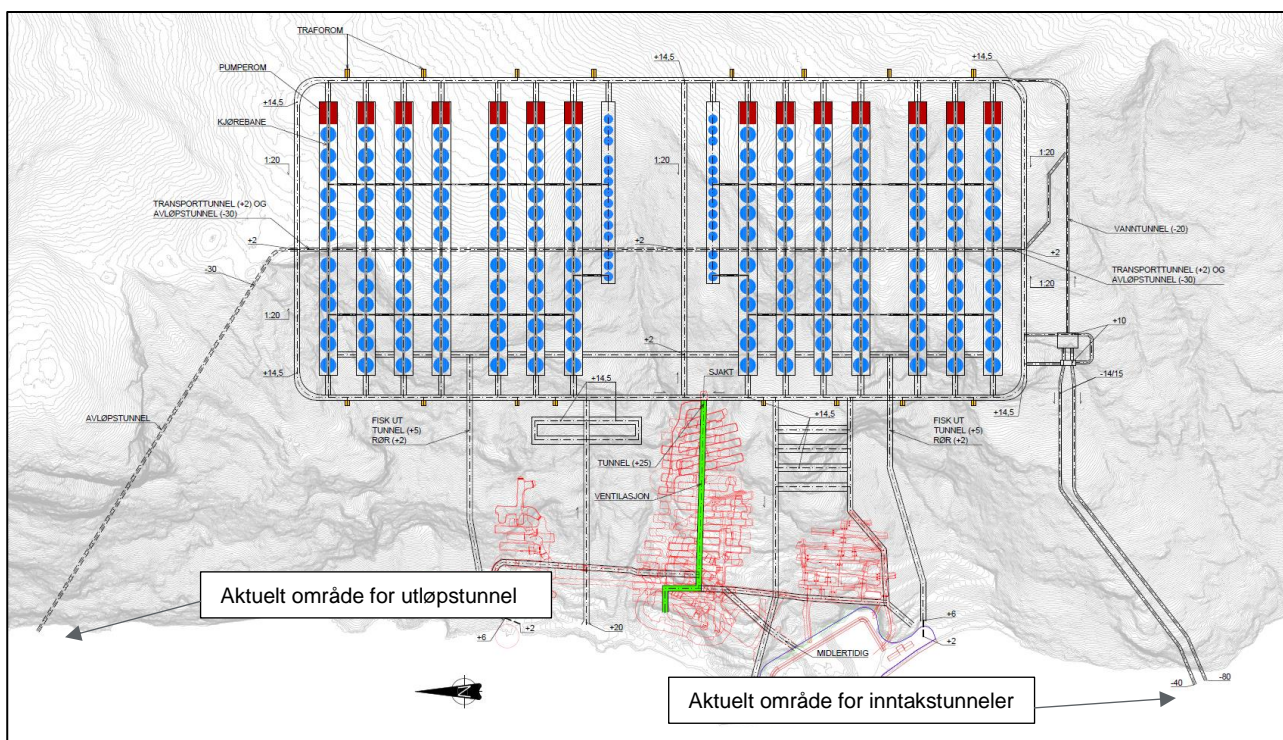
Med hensyn til sistnevnte ulempe, kan det utføres beregninger og simuleringer av sannsynlig massetransport og sedimentasjon. Det kan også bygges inn løsninger for oppsamling av løsmasser, i form av sand-/steinfang, eller bruk av delvis vannfylling (i lavbrekk i tunnelen) før sprengning av utslag. Slike elementer kan benyttes for å begrense transporten av masser under selve utslagssalven, eller for å fange opp senere massetransport gjennom tunnelsystemet ved normal drift. Massegrøper/sandfang som kan begrense transport under innstrømmingen ved utslagssalve vil være heftet med usikkerhet med hensyn til funksjon og effekt. For oppsamling av mulig massetransport ved fremtidig normal drift av vanntunnelen finnes det imidlertid god erfaring og beregningsgrunnlag (ref. sandfang i kraftverkstunneler).

En annen muligheter for å styre og optimalisere sedimentasjonen, dersom dette vurderes å være nødvendig, kan være å strupe luftingen fra tunnelene, eksempelvis gjennom å bygge en tett vegg med en liten åpning. Luften som fortreges av innstrømmende vann i tunnelen vil da passere en liten luftåpning, og føre til en komprimering og dermed en luftbrems som begrenser innstrømningshastigheten.



### 3 Topografi, geologi og løsmasser

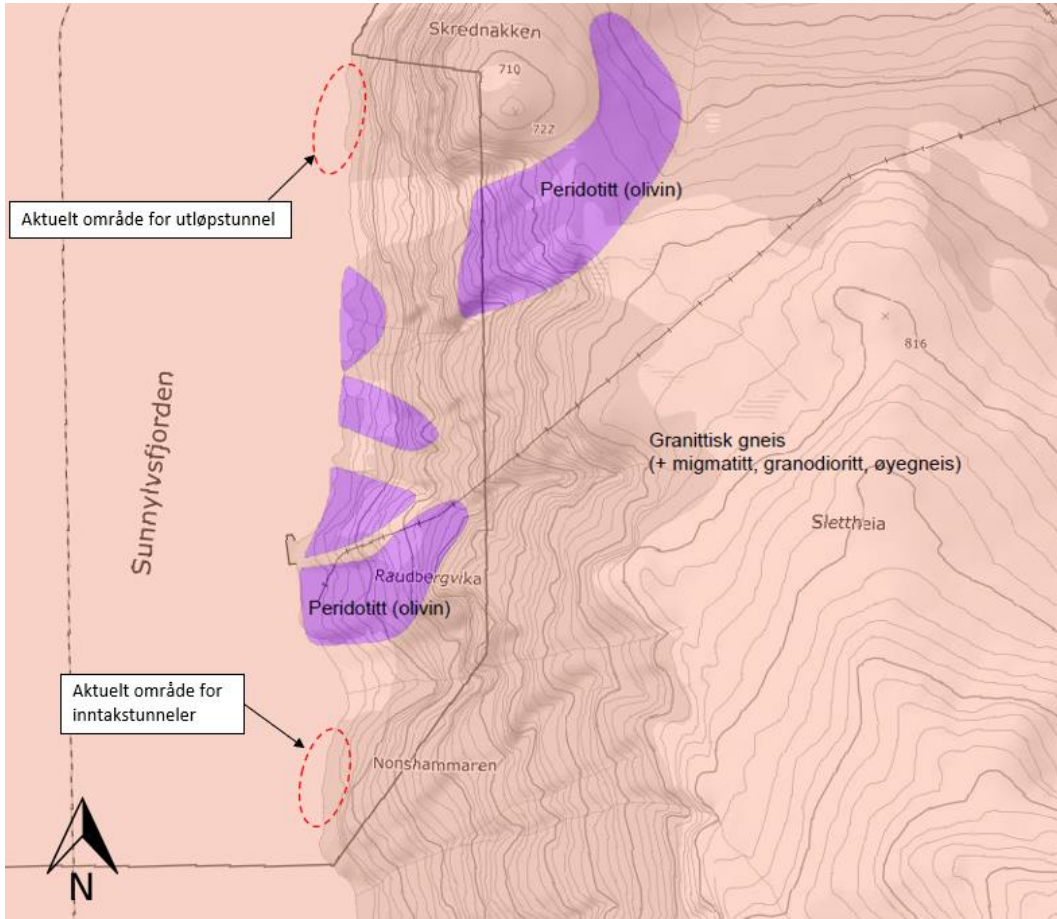
Prosjektområdet ligger ved og rundt den nedlagte gruva ved Raudbervika. Anlegget skal ha to inntakstunneler, på henholdsvis ca. 40 og 80 meters dyp, samt et utløp. Det er ikke definert behov for dykking av utløpstunnelen, så inntil videre tas utgangspunkt i at utløpet skal ligge på mellom 0 og 20 m dyp. Det er ønskelig at det skal være størst mulig avstand mellom inntak og utløp, og dermed er inntaket planlagt etablert sør for prosjektområdet, og utløpet nord for prosjektområdet, se Figur 5.



Figur 5: Oversiktstegning som viser foreløpig plassering av inntak sør for anlegget og avløp nord for berghallene. (Modifisert fra tegning 1179-G-O-O-20-001)

De aktuelle områdene for inntak og utløp ligger i Sunnlyvsfjorden, langs en bratt fjellside som strekker seg opp til mellom 800 og 1000 m høyde. Ifølge sjøkart fortsetter dalsiden med tilsvarende bratt fall ned til mellom 400 og 500 m dyp under havnivå. Det er foreløpig ikke sett detaljert på aktuelle utslagssteder for tunnelene, men det forventes at det vil være mulig å finne egnede lokaliteter, med bratte (nær vertikale) flater uten nevneverdige løsmasser.

Det gamle gruveanlegget har drevet på en forekomst av olivin, som fremkommer med lilla farge på geologisk kart (Figur 6). Olivinmalmen har en definert utbredelse, og omkringliggende berg er rapportert å bestå av gneisige bergarter. I følge berggrunnsgeologisk kart fra NGU ligger fjellanlegget og innløp-/utløpstunneler i granittisk gneis. For detaljert beskrivelse av berggrunnsgeologi og bergmasseforhold, vises til øvrige geologiske rapporter i prosjektet.



Figur 6 Berggrunnskart, med angivelse av hovedbergarter: ultramafiske linser av peridotitt (lilla) og granittisk gneis (brun).

## 4 Valg av metode og anbefalt videre arbeid

### 4.1 Risiko

Risiko ved utslagssalve er en funksjon av sannsynlighet for og konsekvens av feil. Feil ved utslagssalve kan ha 3 typer konsekvenser:

- Skade på person
- Skade på utstyr, installasjoner eller konstruksjoner (materiell skade)
- Forsinkelser i prosjektet (kostnad og fremdrift)

Konsekvensen ved feil kan vanligvis kun i liten grad påvirkes, men sannsynligheten for feil kan reduseres betydelig ved riktig valg av metode for utslag, god planlegging og detaljert oppfølging av arbeidene.

Risiko for personskade anses alltid som uakseptabelt, og det må dermed iverksettes tiltak som reduserer denne risikoen til et lavest mulig nivå – og ikke høyere enn annen normal sprengning/tunneldriving.

Materiell skade kan i noen tilfeller vurderes å være akseptabelt, men materiell skade som krever reparasjon eller utskifting kan få betydning for fremdriften og økonomi for prosjektet. Forsinkelser i prosjektet kan oppstå som en følge av at noe må byttes ut eller repareres, eller ved manglende eller ufullstendig brytning i utslagssalven. Sistnevnte kan i verste tilfelle medføre at tunnelen må forlates og det må bygges en helt ny inntakstunnel (og nytt utslag).

Prosjektering av utslagssalve handler i stor grad om å eliminere eller redusere risiko ved alle elementer til et så lavt nivå som mulig. Dette oppnås ved følgende hovedprinsipp:

1. Valg av egnet metode og lokalitet for utslag
2. Grundig planlegging og undersøkelser
3. Kvalitetskontroll i alle ledd av planlegging og utførelse
4. Redundans i alle ledd der det praktisk lar seg gjennomføre

Med hensyn til punkt 1, er det viktig å presisere at dersom risikoen skal kunne være akseptabel må grunnforholdene ved utslagsstedet er egnet for den valgte utslagsmetoden. Dette innebærer blant annet følgende:

- Stabilt berg og stabile løsmasser ved utslagspunkt og høyere opp i skråning
- Moderat mengde og løst konsoliderte løsmasser ved utslagsstedet, uten innhold av store blokker eller tømmer
- God bergmassekvalitet og lav permeabilitet i bergmassen i utslagsområdet

### 4.2 Anbefalt metode

Ved utslag mot vannfylt tunnel vil kabler, koblinger og sprengstoff befinne seg i et fuktig miljø og være utsatt for et trykk (ved forkomprimering av luftlomme). Ved utslag mot tørr tunnel er det ingen vesentlig forskjell i sannsynlighet for feil ved detonasjon, sammenlignet med sprengning av en vanlig tunnelsalve.

Valg av enklest mulige løsninger vil i mange tilfeller resultere i laveste total risiko – ettersom enklere metoder kan innebære færre elementer som kan feile. Sammenlignet med utslag mot vannfylt tunnel, vil utslag mot tørr tunnel innebære færre anleggstekniske og måletekniske utfordringer, færre restriksjoner på valg av utstyr og materiell, samt kortere tid for gjennomføring. Disse fordelene medfører enklere løsninger, og dermed normalt lavere risiko. Det anbefales derfor alltid å utrede om forholdene ligger til rette for å

gjennomføre utslag mot tørr tunnel, alternativt om det kan innføres geometri, løsninger eller konstruksjoner som tillater dette alternativet.

Ved en foreløpig gjennomgang av grunnforhold og forutsetninger for inntaks- og utløpstunnel for WHS Raudbervika, er det vurdert at det trolig vil være mulig og hensiktsmessig for prosjektet å velge metode; «*tørt og åpent utslag*». Tunnelene må i dette tilfellet trolig blokkeres av en eller flere midlertidige betongplugg eller terskler. Utslag vil da kunne sprenges mens luker/bjelkestengsel står i åpen posisjon. Etter at innstrømmende vann har kommet til ro, stenges tunnelene med luker/bjelkestengsel, og de midlertidige betongkonstruksjonene kan fjernes kontrollert i tørrlagte tunneler.

Det vil også kunne være mulig å modifisere denne løsningen til et helt eller delvis lukket utslag, eksempelvis ved å etablere en midlertidig vegg med en liten åpning (muligens en plankevegg). Dette kan begrense innstrømningshastigheten og dermed optimalisere sedimenttransport, sedimentering og oppsving av vann. Foreløpig foreslått løsning er skissert og nærmere beskrevet i kapittel 5.

### 4.3 Anbefalt videre arbeid og undersøkelser

Som nevnt i kapittel 4.1, krever et undersjøisk utslag at det kan finnes en lokalitet der grunnforhold og topografi er egnet for den valgte utslagsmetoden. Foreløpig finnes kun et begrenset omfang av undersøkelser av berggrunn og løsmasser i det aktuelle området for utslag. Det foreligger derfor ikke tilstrekkelig informasjon om kvalitet og permeabilitet av bergmasse, eller topografien på bergoverflaten. Det må utredes muligheter for å gjennomføre undersøkelser av berggrunn, samt detaljert topografisk kartlegging av bergoverflate. Det er viktig å få oversikt over:

- Nøyaktig beliggenhet av bergoverflate over hele tunneltraséen fra strandkanten og ut til utslagsstedet.
- Generell bergmassekvalitet og permeabilitet langs tunnelen fram til utslagsstedet.
- Bergmassekvalitet og permeabilitet ved utslagsstedet.
- Detaljert topografi, samt eventuell forekomst av løsmasser ved og nær utslagsstedet.

Ettersom topografien i prosjektområdet er bratt og potensielt rasutsatt, er det i tillegg viktig å evaluere stabiliteten av dalsiden over utslagsstedet, for å vurdere potensial for eventuelle ras som kan falle ned mot og potensielt blokkere utslagsåpningen.

Aktuelle metoder for undersøkelser kan være video- og sonarinspeksjon med ROV eller dykking, refraksjonsseismikk, kjerneboring i bergmassen, permeabilitetsmålinger (f.eks. Lugeon) i bergmassen. Viktigste er det å innhente opplysninger over tunnelen der bergoverdekningen kan være begrenset, og spesielt i området for utslag. Noen av detaljundersøkelser, spesielt knyttet til detaljert bergoverflate, bør suppleres med sonderboring fra tunnelen, underveis i drivingen – nærmere beskrevet i kapittel 5.4.

Videre må det studeres hvordan en hensiktsmessig geometri for tunnelsystemet i forbindelse med utslaget, kan sammenfalle med det øvrige berganlegget (inntaksbasseng, lukesjakt, tverrslag og adkomsttunnel). Når de geometriske forutsetningene er på plass, må det gjennomføres beregninger og analyse av innstrømning, oppsving og sedimenttransport, samt muligheter for optimalisering.

Dersom en detaljstudie viser at det ikke lar seg gjøre å gjennomføre utslag mot tørr tunnel, vil videre detaljprosjektering innebære mer omfattende analyser og beregninger. I dette tilfellet må det i tillegg undersøkes tilgjengelighet for egnet sprengstoff, tennmidler og koblinger, som kan tåle de nødvendige trykkene ved vannfylt løsning.

## 5 Foreløpig foreslått utslagsmetode

### 5.1 Metode og geometri

Det foreslås å utrede mulighet for å skyte utslagssalve mot tørr tunnel ved både de to inntakstunnelen og for utløpstunnel. Mulighet for «lukket» utslag kan utredes nærmere, men foreløpig vurderes det gjennomførbart å etablere et «åpent» utslag. Av forutsetninger for at denne metoden skal kunne gjennomføres nevnes:

- Inntakstunnelene samløper ved inntaksbasseng, og dermed vil disse utslagene trolig måtte sprenges samtidig (eventuelt etter hverandre med noen sekunders forsinkelse).
- Det må være akseptabelt at sprengstein fra utslagssalve vaskes inn i tunnelen og sedimenterer på sålen. Erfaringsmessig vil en slik sedimentasjon skje gradvis og dermed spres utover en stor lengde av tunnelen, uten betydelige opphopninger.
- Utslagssalve må sprenges med åpne luker/bjelkestengsel. Lukeføringer må være bygget for å tåle belastning av innstrømmende vann, inkludert eventuelt suspenderte steinmasser.
- Før stenging av luker/bjelkestengsel (etter utslagssalve) er det mulig at luketerskel må renskes for eventuelle sedimenterte masser. Det forventes at dypet ved terskel vil være begrenset, og at dette kan gjøres enten fra toppen av lukesjakt, eller ved hjelp av dykker eller ROV.
- Innenfor luker/bjelkestengsel vil det sannsynligvis være behov for en midlertidig avstenging av tunnel, eksempelvis ved en massiv betongplugg. Denne midlertidige konstruksjonen må fjernes kontrollert etter gjennomslag og luker/bjelkestengsel er satt.  
Alternativt kan det vurderes om innstrømming av vann lengre inn i anlegget kan aksepteres (og eventuelt pumpes ut etter at luker er satt).

Foreslått metode krever en bestemt geometri i tunnelsystemene. Det vurderes at foreløpig utkast til anleggets utforming tilfredsstillende krav til geometri, stengeluker/bjelkestengsel og nivåer på tunneler – alternativt synes det gjennomførbart å gjøre mindre justeringer for å tilfredsstille dette. Det vil være fordelaktig om bunnen av lukesjakter legges på et nivå som enkelt kan inspiseres og eventuelt utbedres av dykkere, dvs. mindre enn 20 m dyp.

### 5.2 Tunneltrasé og utslagssted

Utslag mot tørr tunnel krever ingen spesiell utforming av selve tunnelen. Selve utslagspluggen bør imidlertid utføres i en retning som gir boring mest mulig vinkelrett på sjøbunnen. Generelt kan utslaget ved denne metoden tilpasses enhver form og helning på sjøbunnen, men det enkleste vil være om tunnelutslaget kan utføres i samme retning som tunnelen, altså horisontalt, eller med en moderat helning oppover.

Det er foreløpig ikke undersøkt sjøbunnsgeometri med hensyn til egnede lokaliteter for å utføre tunnelutslag. Det forventes imidlertid at den bratte dalsiden fortsetter under vann, og dette vil i så fall trolig være gunstig for utforming av utslagspropp.

Det må utføres supplerende og detaljerte undersøkelser som verifiserer beliggenheten av bergoverflaten, for optimalisering av tunneltrasé. Det forventes at permeabilitet og bergmassekvalitet langs tunneltraséen, inkludert eventuelle svakhetssoner, vil kunne håndteres med konvensjonelle tunnelmetoder; bergsikring og sementinjeksjon. Det vil derfor trolig være hensiktsmessig å utsette en del av detaljert undersøkelse til byggefasen. Dette vil eksempelvis være i form av mer omfattende bruk av sonderboring foran stuff, underveis i tunneldrivingen (ref. også kapittel 5.4).

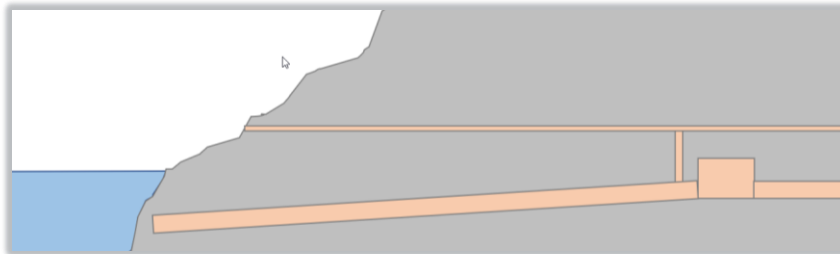
Utslagssted er foreløpig ikke definert, men det er opplyst at ønsket inntak skal være på henholdsvis 40 og 80 m vanddyp. Avløp er foreløpig antatt å ligge på ca. 20 m vanddyp.

Bergmassekvalitet og permeabilitet er mest kritisk i den delen av tunnelen som er nærmest utslagspunktet, og i selve bergpluggen for den siste utslagssalven. Lavest risiko for feil ved utslagssalven oppnås ved kortest mulig bergplugg. Normalt bør det tilstrebes at denne er i størrelsesorden 4-6 m lang, men kortere er bedre. Hvor kort bergplugg som kan stå igjen til siste salve avhenger imidlertid av bergmassekvalitet, permeabilitet, samt dimensjon/spennvidde på tunnelen. For å kunne begrense plugglenden bør derfor den endelige utslagsåpningen ikke være større enn høyst nødvendig. Dessuten vil et større areal/volum av utslagsåpningen medføre økt sannsynlighet for dårligere bergmassekvalitet innenfor den siste bergpluggen.

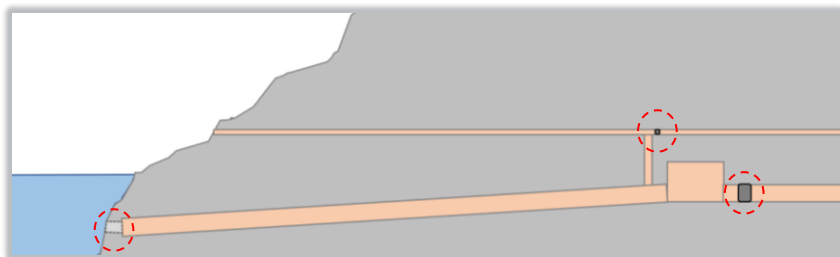
Optimal mektighet av sedimenter ved utslagsstedet er 0 - 1 m. Hvor mye mer enn 1 m sedimenter som kan håndteres avhenger av type sedimenter og grad av konsolidering, samt eventuell risiko for forekomst av store steinblokker eller andre elementer (eksempelvis tømmerstokker) som kan finnes i sedimentene. Videre er det viktig at bergmassen og eventuelle løsmasser rundt og over utslagsåpningen er stabil, slik at det ikke er risiko for at ras/nedfall kan falle inn og tette tunnelåpningen.

### 5.3 Prinsipp og prosedyre for utslag

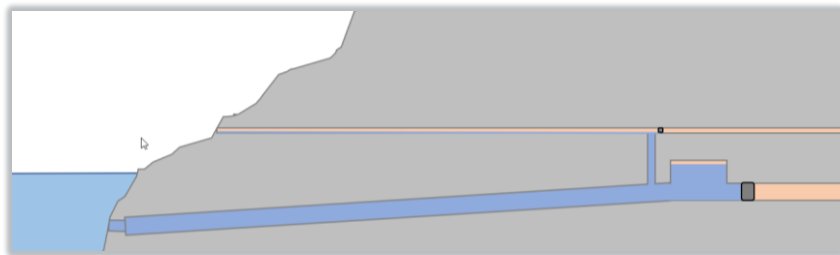
- For utslag mot tørr tunnel er det ingen spesielle krav til utforming av inntakstunnelen ved utslagssalven (Figur 7 A). Optimal form på utslagsåpningen, både med hensyn til sprengning og permanent stabilitet av åpningen, er sirkulært, men den kan også etableres med en annen form dersom det er nødvendig. Tykkelsen på gjenstående bergplugg avhenger av bergmassekvalitet, permeabilitet og dimensjon på åpningen som skal etableres. Normalt vil den være i størrelsesorden 4-6 m tykkelse. Utslagssalve lades med konvensjonelt sprengstoff. Samme prinsipp for utslag kan benyttes for inntakstunneler og avløpstunnel.
- Tunnelen kan bunnrenskes før gjennomslag, for å minimere mengden løsmasser. Etter utslaget vil det spyles inn nye løsmasser fra salven og eventuelt bunnsedimenter som suges inn med utslaget. Behov for å etablere stein-/sandfang for å samle opp noe av massene kan vurderes.
- Forberedelse av tunnelsystemet før utslag inkluderer å etablere en betongplugg på innsiden av lukesjakt, som skal hindre vann å strømme inn i de øvrige tunnelsystemene (før disse er klare til å ta imot vann). Det er ingen spesielle krav til utforming av en slik plugg, bortsett fra at den skal tåle vanntrykk under innstrømming. Det kan eventuelt være nødvendig å etablere flere helt eller delvis blokkeringer av andre tunneler, eksempelvis ved toppen av lukesjakt, for å hindre innstrømming av vann ved oppsving. Se Figur 7 B.
- Ved utslagssalve vil vannet strømme fram til plugg og opp i sjakt. Avhengig av nivå på sjakttopp, samt luftåpning (inkludert eventuell bevisst innsnevring), vil noe vann kunne strømme over toppen av sjakt under oppsving. En midlertidig terskel i tunnelen ved sjakttoppen kan være hensiktsmessig for å kontrollere vannstrømmen. Se Figur 7 C.
- Etter utslag settes luke i sjakt. Avhengig av strømming og massetransport, kan det eventuelt bli behov for å renske luketerskel før luke kan settes. Vann dreneres/pumpes ut mellom luke og betongplugg. Se Figur 7 D.
- Når tunnelen på innsiden av luke er tørrlagt, kan midlertidig betongplugg(er) rives kontrollert. Inntakstunnelen er nå klar, og vann holdes tilbake av luke inntil anlegget er klart for å motta driftsvann. Se Figur 7 E.



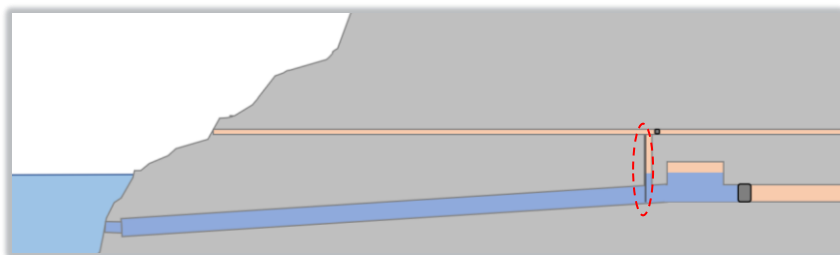
- A
- Tunnel drives fram til utslagssted.
  - Inntaksbasseng og lukesjakt klargjøres for å ta imot vann.



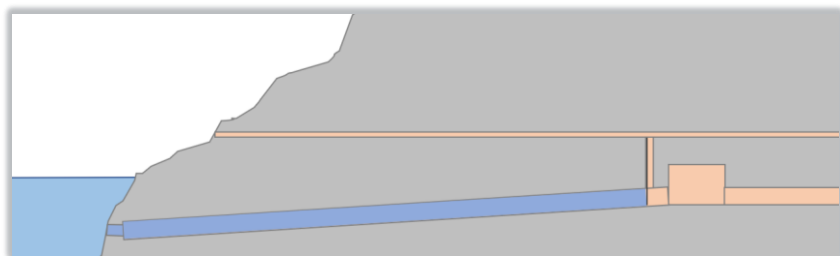
- B
- Plugg mot indre del av tunnelsystem etableres.
  - Terskel eller plugg i adkomsttunnel etableres (*om nødvendig*).
  - Tunnelutslag klargjøres for sprengning.



- C
- Tunnelutslag sprenges.
  - Vann strømmer inn i tunnel, inntaksbasseng og opp i lukesjakt.
  - Potensielt kan vann strømme ut gjennom adkomsttunnel (*avhenger av oppsving*).



- D
- Vannstand faller til ro i tunnel og sjakt ved havnivå.
  - Luke settes (*kan være behov for manuell rensk av luketerskel*).



- E
- Vann pumpes ut fra sjakt og inntaksbasseng.
  - Betongplugg(er) fjernes kontrollert.
  - Tunnelsystemet er tørrlagt for ferdigstillelse av anlegg. Inntakstunnel er komplett og vannfylt bak luke.

Figur 7 Prinsippskisse: Geometri for tunnel og lukesjakt for utslag mot tørr tunnel og midlertidig betongplugg(er).

## 5.4 Tunneldriving fram til utslag

Området fra lukesjakt til utslag er ikke studert i detalj, og bergmassekvalitet og permeabilitetsforhold er foreløpig ikke kjent. Under tunneldriving under havnivå er det nødvendig å gå forsiktig frem med tunneldrivingen, slik at en unngår å bli overrasket over dårligere berg og høyere vannlekkasjer enn forventet.

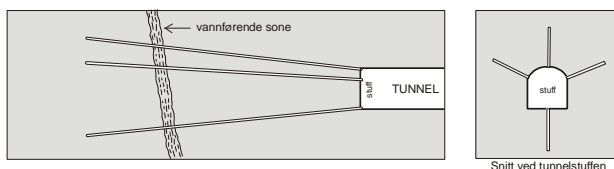
Vibrasjoner ved sprengningen kan skade tilstøtende bergmasse ved at eksisterende sprekker kan utvides, eller det kan dannes nye brudd i bergmassen. Ved passering av eventuelle områder med liten bergoverdekning og når tunnelen nærmer seg utslagsstedet, må det implementeres rutiner for systematisk sonderboring og forsiktig sprengning.

### 5.4.1 Påvisning og tetting av mulige vannlekkasjer

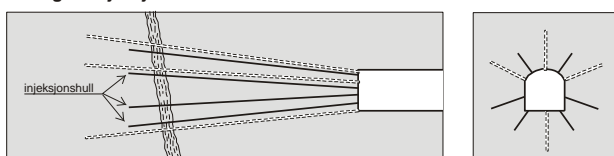
Det forventes at det meste av tunnelen fram til utslagsstedet vil kunne utføres som normal tunneldriving. Forskjellen fra den øvrige delen av anlegget er at tunnelen i dette området vil ligge under havnivå, og dermed ha et større potensial for vanninnbrudd. Det er viktig å være forberedt på vannlekkasjer og kunne håndtere slike ved forinjeksjon foran stuff. Det vil derfor være nødvendig å gjennomføre kontinuerlige sonderboringer foran stuff. Eventuell injeksjon vurderes basert på observasjoner av bergmassekvalitet og lekkasjemålinger fra sonderhullene. Program for sonderboring må vurderes fortløpende, og eventuelt modifiseres basert på observasjoner og erfaring. Prinsipp for sonderboring og injeksjon av tunnelen fram mot utslaget er vist i Figur 8.

#### Sonderboring fra tunnelstuffen

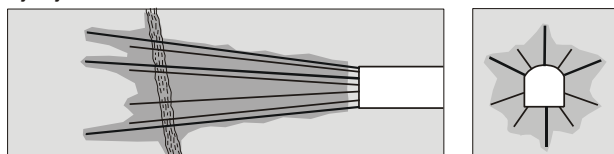
- en vannførende sone påvises



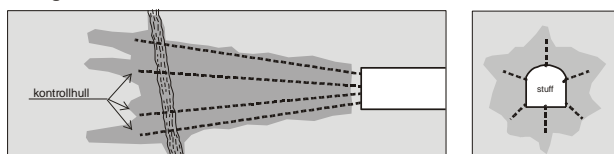
#### Boring av injeksjonshull



#### Injeksjon av den vannførende sonen



#### Boring av kontrollhull



Figur 8 Prinsipp for sonderboring, forinjeksjon og kontrollboring.

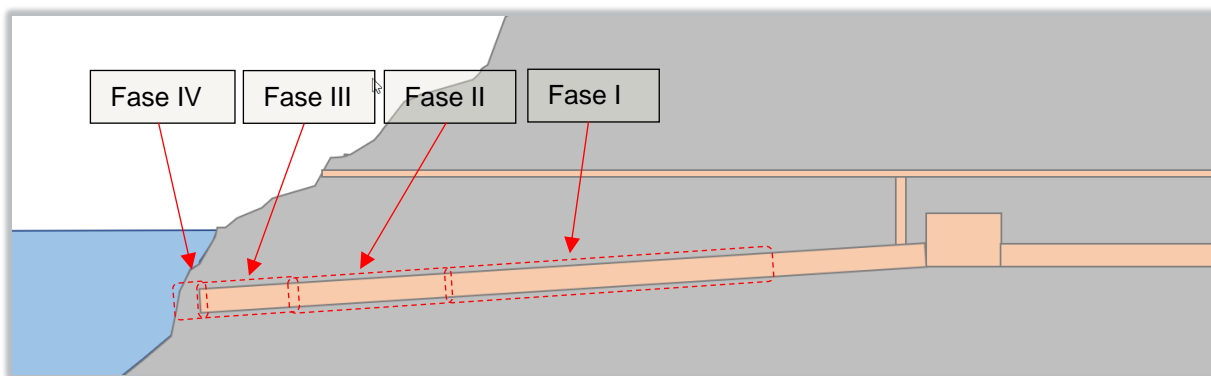


## 5.4.2 Sonderboring

Det er viktig med grundig oppfølging og dokumentasjon under boring av sonderhull. Dokumentasjon skal inkludere all relevant informasjon; borsynk, vannlekkasje, farge på lekkasjevann, mulige åpne slepper, vannførende soner, etc.

Etter avsluttet boring spyles hullet med borestrengen ved bevegelse inn og ut til det kommer rent vann ut av hullet. Måling av lekkasjevann utføres over en periode på 5 minutter og det noteres vannstrømning i liter/minutt angitt for hvert hull.

Entreprenøren må utarbeide detaljerte prosedyrer for sonderboring og injeksjon. Normalt vil det være hensiktsmessig å etablere enkle rutiner for sonderboring på et tidlig stadium, og øke omfanget og frekvensen av boring når stoffen går under vann og nærmer seg utslagsstedet. Program for sonderboringer kan deles inn i ulike faser som vist i Figur 9; fra noen få enkle sonderinger i starten, til gradvis mer omfattende undersøkelser når tunnelen passerer kritiske områder eller nærmer seg utslagsområdet. Program for sonderboring justeres etter behov og etter observasjoner underveis i arbeidene.



Figur 9 Opplegg for sonderboringer i 4 faser.

## 5.4.3 Injeksjon

Injeksjon av bergmasser utføres dersom sonderboring påviser lekkasjer over en definert grense.

Lengden på injeksjonshullene tilpasses salvelengder og bergforhold, i størrelsesorden 15 - 20 m eller den lengden som trenges for å nå lekkasjekilden som er påvist ved sonderboring. Hullene for injeksjon bores normalt i et viftemønster med 6-8 m stikning utover for å komme på utsiden av boltene rekkevidde.

Hullavstand i injeksjonsskjerm kan være i størrelsesorden 1,5 m. Tettere avstand i viftemønster, eventuelt flere injeksjonsrunder, kan bli nødvendig.

For hurtig herdning av mørtel, kan akseleratorstøttet blanding eller annen en- eller to-komponent, sementbaserte produkt bli benyttet. Dette kan være aktuelt å benytte ved åpne slepper med stor inntrengning av vann. Også bruk av mauring (tykt/grovt og ekspanderende injeksjonsmiddel) kan være aktuelt i slike tilfeller.

## 5.4.4 Kartlegging av sjøbunnen i utslagsområdet

I tillegg til sonderboring for å påvise mulige vannførende sprekker eller sone med ustabil, dårlig berg, må det utføres boringer for å kartlegge nøyaktig beliggenhet og forløpet av bergoverflaten i utslagsområdet. Det vil

være aktuelt å bore noen lange kontrollhull når en nærmer seg utslagsstedet – og et tettere og mer nøyaktig boreprogram utføres når tunnelen er drevet helt frem til utslagsstedet.

I den siste fasen av sonderboring vil det være aktuelt å bore et større antall hull ut i sjøen, for å kartlegge nøyaktig beliggenhet og form av bergoverflaten i og rundt utslagspluggen. Etter gjennom boring skal gjennom boring verifiseres ved å skyve borstangen minimum 1,5 m videre ut i sjøen. Alle hull plugges på innsiden av berget, tett til sjøbunnen, og injiseres med sementmørtel.

## 5.5 Sedimenttransport ved utslag

Som nevnt i kapittel 5.3 vil utslag mot tørr tunnel medføre at sedimenter og steinmasser spyles innover i tunnelen, før de sedimenteres på tunnelsålen etter hvert som vannhastigheten avtar.

Det kan utføres beregninger av hvor massene mest sannsynlig vil sedimentere, men det vil være noe usikkerhet forbundet med dette. Det er mulig å etablere tiltak for å styre strømningshastigheten, både for å begrense oppsving og for å kontrollere sedimentasjon. Innstrømningshastighet kan begrenses ved å strupe luftingen i tunnelen for å lage en luftbrems. Et annet tiltak kan være å etablere en eller flere utvidelser i tunnelen, som vil redusere vannhastigheten og framtvinge sedimentasjon av suspendert materiale.

## 6 Vurdering av risiko for gjennomføring og for omgivelser

### 6.1 Normal anleggsrisiko

Tunnelen fram mot utslaget drives under sjøen. Ut fra terrengformen er det forventet at det meste av tunnelen vil ha rikelig med bergoverdekning, men dette må vurderes når tunneltrasé og utslagssted er studert nærmere. Fram mot utslagsstedet vil det bli gradvis mindre bergoverdekning. Det forutsettes at det gjennomføres systematisk sonderboring for å ha kontroll med overdekning, slik at risiko for kollaps av tunnel, eller store og ukontrollerte vanninnbrudd elimineres.

Tunneldriving ved boring og sprengning frem mot utslaget, inkluderer normale anleggstekniske risikoelementer. Disse vil være tilsvarende som for de øvrige tunnelarbeidene i prosjektet, og slike forhold er dermed ikke diskutert videre i denne rapporten.

### 6.2 Spesiell risiko

Det forutsettes at det implementeres rutiner som sørger for at de anleggstekniske arbeidene med utslagssalven ikke medfører risiko for personskade. Foreløpige identifiserte spesielle forhold, som medfører risiko for gjennomføring av arbeidene og funksjon av sluttproduktet (samt skader på omgivelsene – se kap. 6.3), er omtalt under:

- Tunneldriving under vann inkluderer økt risiko for større kostnader forbundet med bergsikring og injeksjon, samt økt byggetid. Årsaker inkluderer:
  - Uventet dårlig bergmassekvalitet, som følge av dårligere mulighet til å kartlegge og undersøke tunneltraséen som ligger under sjøen.
  - Vanninnbrudd, som følge av kort avstand til sjøbunnen.
- Sprengning av utslagssalve innebærer risiko for feil som kan medføre manglende eller ufullstendig brytning mot sjøen. En slik hendelse vil kunne medføre redusert kapasitet/funksjon av vanninntaket, eventuelt tidkrevende og kostbare arbeider forbundet med utbedring av feilen, eventuelt driving av ny inntakstunnel. Årsaker inkluderer:
  - Mangelfull detonasjon av sprengstoff på grunn av vannmetning eller feil ved sprengstoff, tennere, koblinger, eller brudd på avfyringskabel.
  - Ufullstendig brytning, som følge av feil som nevnt over, eller på grunn av feil ved bore-, lade- eller tennplan.
- *[Gjelder kun ved «vannfylt utslag»]*: Trykkbølge i tunnel kan føre til skader på installasjoner og konstruksjoner i vannveien, spesielt luker og ventiler. Årsak til trykkbølge kan være:
  - Mangelfull demping av trykkbølge i luftlomme – som følge av feil ved planlegging, beregninger eller utførelse, eventuelt innlekkasje av vann eller utlekkasje av luft.
  - Sprengstoff i kontakt med vann i tunnelen – grunnet forhold nevnt over, eller at sprengstoff «faller» ut av salvehull før detonasjon.
- Oppsving av vann kan føre til for høy trykkbelastning på stengeorgan *[gjelder kun ved «lukket utslag»]*, erosjonsskade i tunneler eller terreng utenfor sjakt, eller skader på grunn av lufttrykk foran vannstrengen. Årsak kan være feil ved planlegging, beregninger eller utførelse.

- Massetransport kan skade installasjoner i tunnelen, eller sedimentere i områder der det hindrer tilstrekkelig kapasitet på tunnelen. Årsak kan være feil ved planlegging, beregninger eller utførelse.

## 6.3 Risiko for omgivelser

### 6.3.1 Sprengningsrystelser

Utslag under vann sprenges normalt med betydelig høyere spesifikk ladning og kortere detonasjonstid, sammenlignet med normal tunnelsalve. Dette medfører betydelig høyere mengde samtidig detonerende sprengstoff, og dermed høyere vibrasjoner enn ved vanlig tunnelsalve.

Dersom det finnes installasjoner eller konstruksjoner i nærheten av utslagsområdet, vil det være en høyere risiko for rystelseskade på disse.

### 6.3.2 Trykkbølge i sjøen

Detonasjon av sprengstoff under vann medfører en hydrodynamisk sjokkbølge som sprer seg i vannet. Størrelsen på trykkbølgen avhenger av mengden sprengstoff og avstand fra sprengningsstedet. Trykkbølgen vil bre seg utover i vannet i alle retninger fra sprengningsstedet, og vil ha en geometrisk dempning ved at energien spres på et stadig økende areal på et kuleskall fra sprengningsstedet. Refleksjoner fra vannoverflate, sjøbunnen eller andre hindringer vil kunne medføre redusert effekt av geometrisk dempning.

Best sprengningsresultat oppnås når all energi fra sprengstoffet går med til å fragmentere bergmassen, og dette oppnås ved å sørge for tilstrekkelig bergoverdekning rundt ladede borehull, og god fordemning av hullene. Ved optimal sprengning under vann, der alt sprengstoff detonerer i bergmassen, viser erfaring at størrelsen på trykkbølgen som brer seg ut i vannet reduseres til under 10% sammenlignet med fri detonasjon i vannet. Ved sprengning av utslagssalve vil det imidlertid være en risiko for at noe av sprengstoffet i salven vil kunne stå i direkte forbindelse med vann når det detoneres. Dette kan forekomme på grunn av permeabilitet inn til ladet borehull, eller ved at berget i deler av salven bryter før alle hull er detonert og at sprengstoff da kommer i kontakt med innstrømmende vann før det har detonert.

En hydrodynamisk trykkbølge kan være skadelig for konstruksjoner, installasjoner eller båter i vannet, og det kan være dødelig for marint liv; fisk, sjøpattedyr/-fugler, samt mennesker som svømmer eller dykkere. Ved detaljprosjektering av utslag (gjelder for øvrig også annen sprengning under vann) må skadepotensial fra sprengningen vurderes, og det må opprettes en sikkerhetssone fra sprengningsstedet. Det vil være spesielt viktig å sørge for at mennesker og båter ikke oppholder seg i vannet innenfor sikkerhetssonen, og det bør vurderes eventuelle tiltak som kan redusere omfanget av fisk og annet marint liv innenfor forventet skadesone.

## 6.4 Tiltak for å redusere risiko

Utslag under vann innebærer en del spesielle risikoelementer. Som nevnt i kapittel 4, handler prosjektering av utslagssalve i stor grad om å eliminere eller redusere risiko ved alle elementer til et så lavt nivå som mulig. Hovedprinsipp for hvordan dette kan oppnås vil som nevnt kunne være:

1. Valg av egnet metode og lokalitet for utslag
  - Utslag under vann krever egnede forhold med hensyn geometri, topografi, løsmassetyper og mektigheter, samt bergmassekvalitet og permeabilitetsforhold.

- Utslagsmetode må tilpasses de stedlige forutsetningene samt prosjektets krav til dimensjoner og geometri på tunneler og bergrom. Forenklinger ved utslagsmetode gir normalt redusert risiko. Som diskutert i kapittel 4, vil utslag mot tørr tunnel normalt medføre lavere total risiko sammenlignet med utslag mot vannfylt tunnel.
2. Grundig planlegging og undersøkelser (før og under arbeidene)
- Det må utføres tilstrekkelige grunnundersøkelser for å identifisere egnet utslagssted og velge optimal utslagsmetode.
  - Detaljert planlegging skal sørge for optimale løsninger og implementering av hensiktsmessige risikoreducerende tiltak.
  - Detaljerte beregninger og simuleringer må utføres for å velge riktig utslagsmetode, verifisere gjennomførbarhet og sørge for optimal gjennomføring av tiltak.
3. Kvalitetskontroll i alle ledd av utførelse
- Utvidet kvalitetskontroll bør implementeres i alle ledd der det er praktisk mulig.
  - Kvalitetskontroll er viktig i alle faser; grunnundersøkelser, planlegging, analyser/beregninger og alle ledd av utførelse.
4. Redundans i alle ledd der det praktisk lar seg gjennomføre.
- Doble og uavhengige systemer for måling/overvåkning.
  - Økt spesifikk ladning av utslagssalve; tettere boremønster og økt sprengstoffmengde.
  - Dobling av antall tennere (2 eller flere tennere i hvert hull), samt dobling eller mer av koblinger (i serie og parallell) og avfyriingskabler.
  - Bruk av tennsystem som tillater kontroll av salve umiddelbart før avfyring bør vurderes.