

Bergen kommune

Bybanen til Åsane – BT5 Reguleringsplan og teknisk forprosjekt

Risikoanalyse tunnelalternativ og dagalternativ - Risiko for skade på kulturmiljø, kulturminner, bygg eller infrastruktur



03J	Sluttrapport	2021-09-30	KARING	GAD	KJT	HPD
02D	For gjennomgang hos oppdragsgiver	2021-09-24	KARING	GAD	KJT	
Versjon	Beskrivelse	Dato	Utarb. av	Fagkontroll	Tverf.kontr.	Godkj. av

Dette dokumentet er utarbeidet av rådgiver som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører rådgiver. 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.

Forord

Dette dokumentet beskriver risiko for tap av kulturmiljø som følge av anleggsvirksomhet og den ferdige delstrekningen for byggetrinn 5. To alternative løsninger er vurdert, dagløsning langs Bryggen og tunnelløsning i fjell bak Bryggen

Hensikten med dokumentet er å gi en bedre forståelse av risikoforhold som del av beslutningsgrunnlaget for valg av løsning for videre planlegging. Dokumentet må sees i sammenheng med andre dokumenter som er utarbeidet i det tekniske forprosjektet og som omtaler begge løsninger.

Bergen
2021-09-30

Dette dokumentet er et internt dokument som skal gi grunnlag for videre vurderinger og anbefalinger. Dokumentet er en del av arbeidet med skissefasen for reguleringsplanene for Bybanen fra sentrum til Åsane. Reguleringsplanarbeidet er i en pågående prosess, og dokumentet gir et bilde av løsninger og vurderinger på det gitte tidspunkt. Både utarbeiding av løsninger og vurderinger av disse er en del av en arbeidsprosess der løsningene kan bli endret underveis, og dokumentet vil ikke nødvendigvis oppdateres. Skissefasen blir dokumentert i en offentlig oppsummeringsrapport, der løsninger og faglige vurderinger blir presentert. Oppsummeringsrapporten fra skissefasen vil være en orientering om status og vår faglige anbefaling til politikere om videre arbeid.

1 Innhold

Forord	2
1 Innhold	3
2 Innledning	4
2.1 Bakgrunn og mål for analysen	4
2.2 Begreper og forkortelser	4
3 Beskrivelse av analyseobjektet	6
4 Metode	10
4.1 Innledning.....	10
4.2 Kvalitativ risikoanalyse	13
4.3 Bruk av Bow-tie modell (sløvfemodell)	15
4.4 Risikoreducerende tiltak.....	16
5 Fareidentifikasjon	17
5.1 Innledning	17
5.2 Farer i anleggs- og driftsfasen	20
6 Risikoanalyse	22
6.1 Innledning.....	22
6.2 Spunting i dagsoner	24
6.3 Boring eller graving i nærhet av kulturlag i dagsone.....	27
6.4 Tunnelportalarbeider	29
6.5 Tunnelarbeider – tunnelsprengning	31
6.6 Underbygning (Bane).....	34
6.7 Jernbaneteknikk	35
6.8 Bane i drift og tunnel i driftsfasen	36
6.9 Utbygging av eksisterende infrastruktur	38
6.10 Trafikkomlegging	39
6.11 Risikomatrise	40
7 Konklusjon og anbefaling	42
7.1 Konklusjon og anbefaling	42
7.2 Vurdering av usikkerhet i analysens resultater	43
8 Referanser	44

Vedlegg A: Detaljert BowTie

2 Innledning

2.1 Bakgrunn og mål for analysen

Reguleringsplan for Bybanen fra sentrum til Åsane har utarbeidet to alternative løsninger for banen gjennom sentrum, et dagalternativ og et tunnelalternativ. I de utførte vurderingene er det fremkommet at det er usikkerhet rundt vurdering av risiko for skade på kulturmiljø som kulturminner, bygg eller infrastruktur som følge av anleggsvirksomhet, ferdig løsning eller som følge av drift av det ferdige anlegget. Bergen kommune har engasjert Norconsult til å gjennomføre en egen risikovurdering for å beskrive risiko for skade på kulturminner inkludert kulturlag, bygg eller infrastruktur som følge av anleggsvirksomhet og drift av det ferdige anlegget.

Mål:

- Beskrive risikoforhold
- Beskrive hvordan prosjektet kan sikre kontroll på risikoforhold
- Beskrive risikonivå gjennom bruk av en risikomatrise
- Sikre involvering av relevante fageksperter og fagmiljø
- Utarbeide en risikoanalyse som skal være en del av beslutningsgrunnlag for politisk behandling ved valg av alternativ for Bybanen gjennom sentrum

Det utarbeides en rekke andre dokumenter som en del av det tekniske forprosjektet. Disse dokumentene omtaler også risikoforhold, som eksempelvis risiko for skader på kulturmiljø som følge av banens lokasjon.

2.2 Begreper og forkortelser

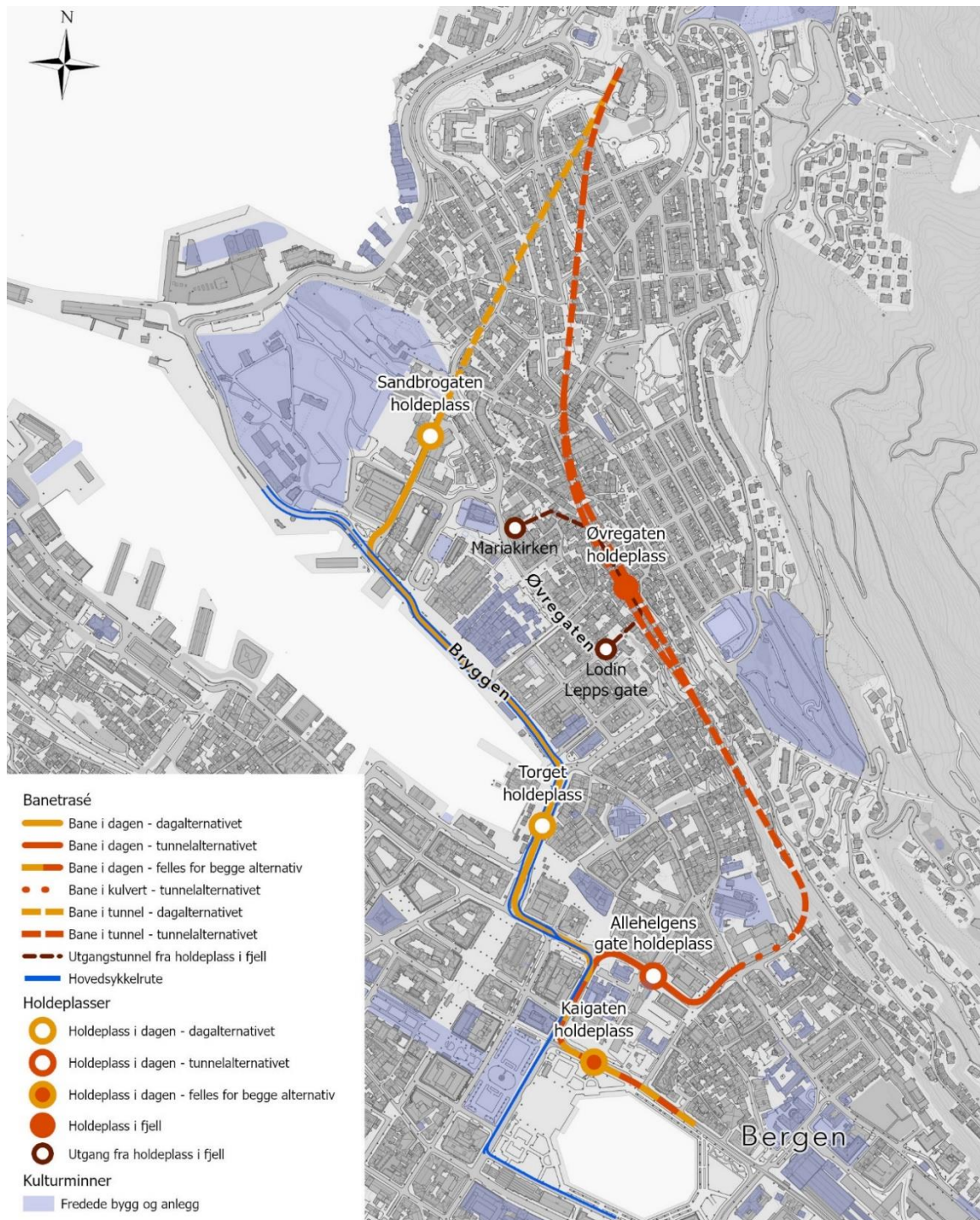
Tabell 2-1. Begrep og forkortelser

Uttrykk	Beskrivelse
BowTie (Sløyfemodell)	Grafisk presentasjon av mulig hendelsesforløp. Utfyllende beskrivelse er gitt i vedlegg A til NS 5814 (Ref. /4/)
BT5	Byggetrinn 5 Bybanen i Bergen
DS1	Delstrekning1 av byggetrinn 5
KL	Kjøreledning for Bybanen (strømledning over banelegeme)
Konsekvens	Mulig følge av en uønsket hendelse. Konsekvenser kan uttrykkes med ord eller som en tallverdi for omfanget av skader på mennesker, tap av stabilitet og/eller materielle verdier. Det vil alltid være usikkerhet knyttet til hva som vil bli konsekvensene.
Kulturmiljø	Et område der kulturminner inngår som del av en større helhet eller sammenheng. Også naturelementer med kulturhistorisk verdi kan inngå i et kulturmiljø. Kulturmiljøer kan for eksempel være et byområde, ei setergrend, et fiskevær eller et industriområde med fabrikker og boliger.
Kulturlag	Kulturlag kan defineres som avsetninger i grunnen med spor av menneskelig virksomhet. I middelalderbyene kan slike lag være svært tykke og bestå av et variert materiale som er kastet, mistet, fylt ut, eller på annen måte deponert. Kulturlag eldre en reformasjonen er automatisk fredet. Yngre kulturlag kan ha verneverdi.

Uttrykk	Beskrivelse
Kulturminner	Kulturminner defineres som «alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til». Kulturminner eldre enn reformasjonen er automatisk fredet. Yngre kulturminner kan også fredes på ulikt vis. Lov om kulturminner [kulturminneloven] - Lovdata
KUVA (HIA)	Konsekvensutredning for verdensarven (Heritage Impact Assessment on the World Heritage Property Bryggen)
NIKU	Norsk Institutt for kulturminneforskning
NOAV	Norconsult / AsplanViak
Outstanding universal values Enestående universelle verdier (EUV)	Kulturell eller naturlig betydning som er så eksepsjonell at den overskrider nasjonale grenser og er av felles betydning for nåværende og fremtidige generasjoner av hele menneskeheten. Som sådan er den permanente beskyttelsen av denne arven av høyeste betydning for det internasjonale samfunnet som helhet.
Risiko	Uttrykk for kombinasjonen av sannsynlighet for og konsekvensen av en uønsket hendelse.
Risikoanalyse	Systematisk fremgangsmåte for å beskrive og/eller beregne risiko. Risikoanalysen utføres ved kartlegging av uønskede hendelser, deres årsaker, sannsynlighet og konsekvenser.
Risikoreduserende tiltak	Tiltak som påvirker sannsynligheten for eller konsekvensen av en uønsket hendelse. Risikoreduserende tiltak består av forebyggende tiltak og konsekvensreduserende tiltak.
Sannsynlighet	I hvilken grad det er trolig at en hendelse vil kunne inntreffe.
VA	Infrastruktur vann og avløp

3 Beskrivelse av analyseobjektet

Som en del av reguleringsplanen er det utarbeidet to forslag til alternative traseer for Bybanen BT5, delstrekning 1. Begge alternativer er detaljert beskrevet i ref. /1/ og ref. /2/.



Figur 3-1 Alternative traseer for Bybanen

Dagalternativet kort oppsummert:

- 1390 meter bane i dagen gjennom sentrum
- 660 meter tunnel fra Sandbrogaten til Sandvikskirken holdeplass
- Holdeplasser i dagen – Kaigaten ved Gulating, Torget og Sandbrogaten

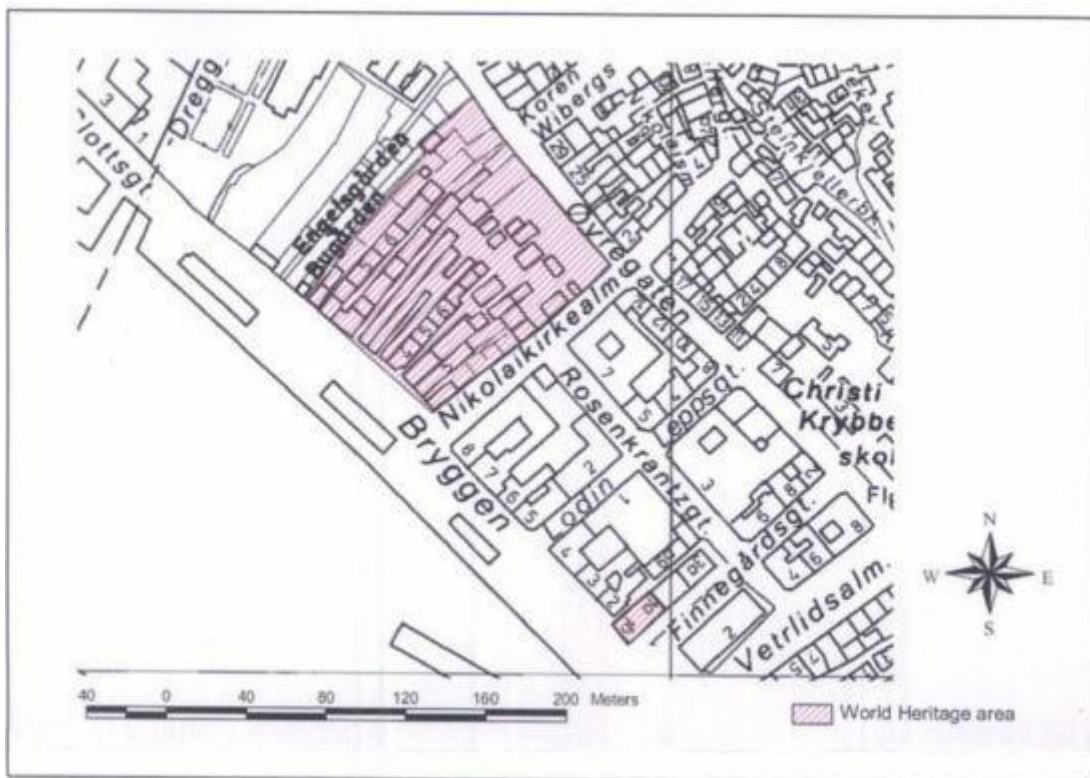
Tunnelalternativet kort oppsummert:

- 620 meter bane i dagen gjennom sentrum
- 1620 meter tunnel fra Heggebakken til Sandvikskirken holdeplass
- Holdeplasser i dagen – Kaigaten ved Gulating og i Allehelgens gate
- Underjordisk holdeplass - Øvregaten

"UNESCO world heritage property" (verdensarvstedet) Bryggen ligger i området hvor det planlegges for ny Bybane. Området er vist i Figur 3-2. Finnegården er også en del av verdensarvstedet, men ligger som en enklave noe sør for de øvrige Bryggengårdene.

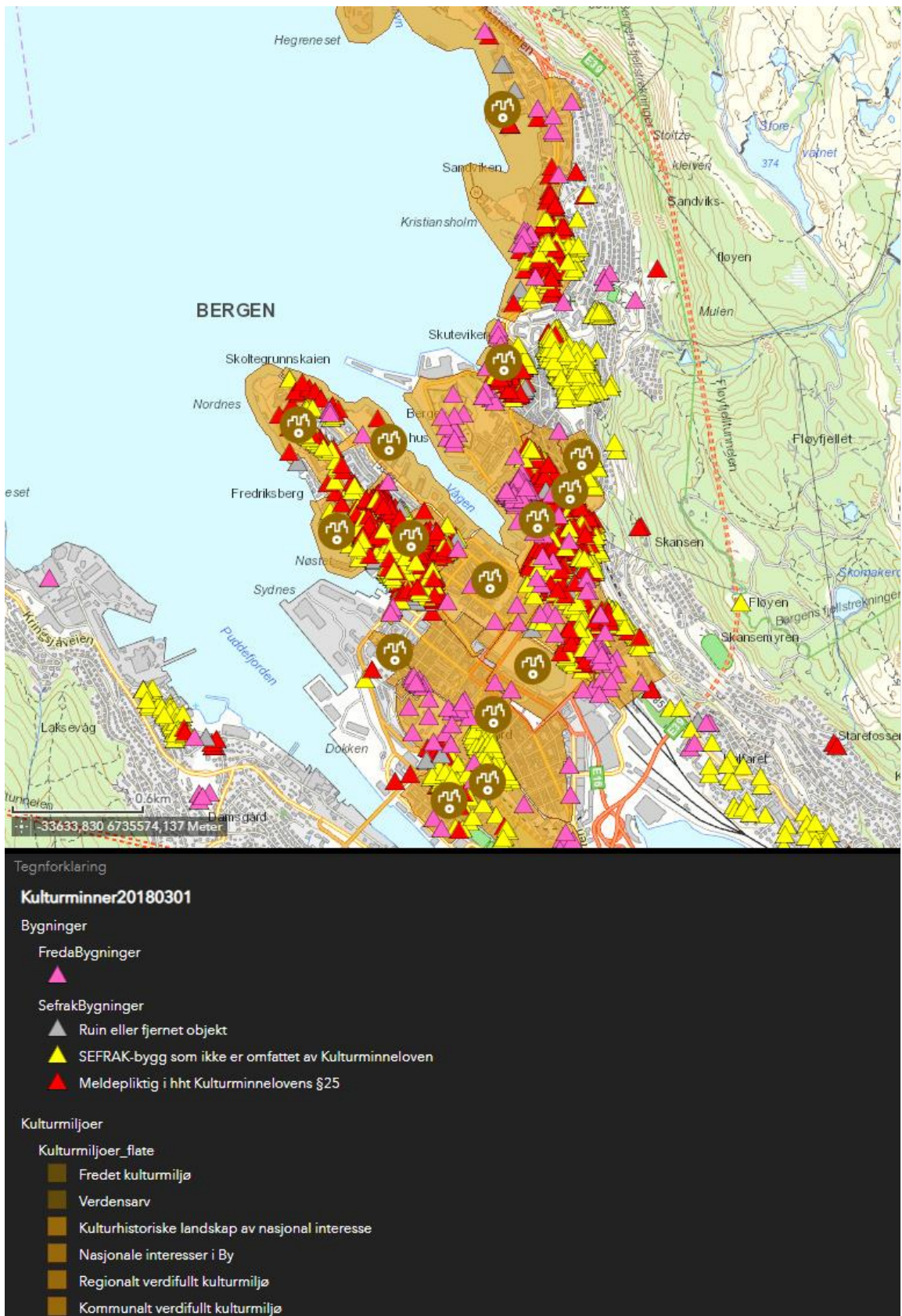


Figur 3-2 Verdensarvområdet Bryggen (Ref. /3/)



Figur 3-3 Verdensarvstedet Bryggen markert med rødt (Bilde: Byantikvaren)

Kulturminner er beskrevet i Riksantikvarens database, se Figur 3-4.



Figur 3-4 Utsnitt fra Riksantikvarens karttjeneste – område hvor kulturmiljø kan påvirkes (<https://riksantikvaren.maps.arcgis.com/>)

4 Metode

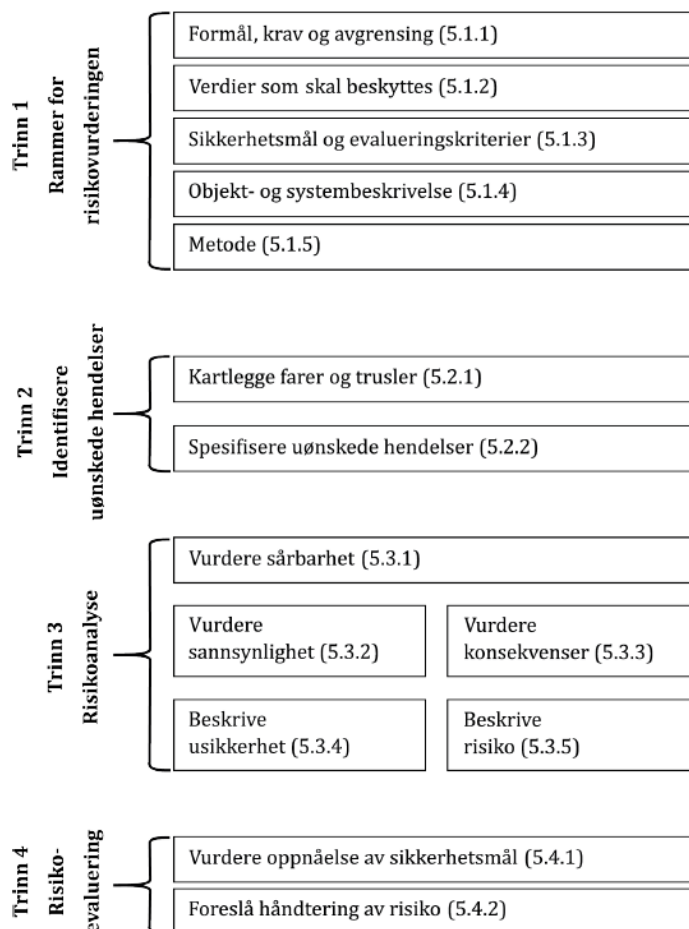
4.1 Innledning

4.1.1 Arbeidsprosess for risikoanalyse

NS 5814:2021 – Krav til risikovurderinger (Ref. /4/) danner basis for metodikken benyttet for å sikre en forsvarlig risikoanalytisk prosess og sikre at årsaker, sannsynlighet, konsekvenser og risikonivå blir vurdert forsvarlig.

I tillegg bygger analysen på krav og innspill fra:

- ISO 31000 Risikostyring (Ref. /5/)
- Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging (ref./6/)
- F&U prosjektet REMEDY (ref. /7/)
- Involvering av fagkompetanse og fagmiljøer, se møtedeltakelse



4.1.2 Rammer for risikovurderingen

Formål med analysen er beskrevet i kapittel 2.1

Følgende forutsetninger og avgrensninger er gjeldende for denne analysen:

- Analysen er en overordnet og kvalitativ grovanalyse.
- Analysen omfatter farer for skader på kulturmiljø, bygg eller infrastruktur.
- Vurderingene i analysen er basert på foreliggende dokumentasjon om prosjektet.
- Analysen tar for seg forhold knyttet til anleggsfasen og til driftsfasen (ferdig løsning).

Analysen omhandler enkelthendelser, ikke flere uavhengige og sammenfallende hendelser.

Avgrensninger:

- Identifisere aktiviteter som kan ha negativ påvirkning på kulturmiljø (inkludert verdensarvstedet Bryggen), kulturminner, bygg og/eller infrastruktur for tunnelalternativet og dagalternativet. En skal både se på anleggsperioden og på driftsperioden.
- Beskrive hvordan anleggsaktiviteter kan ha negativ påvirkning.
- Beskrive tiltak som reduserer sannsynlighet for negativ påvirkning og/eller konsekvens.
- Kvantifisere risiko for skade på kulturmiljø (risikomatrix).

4.1.3 Fareidentifikasjon – identifikasjon av uønskede hendelser

Fareidentifikasjon gjennomføres i to trinn, i forberedende møter og i analyse møte.

Hensikt med de forberedende møtene er å sikre tilstrekkelig faglig involvering, kompetanse og erfaring inn i analysen. Samtalene ga også nyttig underlag til risikoanalyse møtet og mulighet til å diskutere og bli godt kjent med utfordringer og usikkerheter som kan ha negativ påvirkning. Tiltak som kontrollerer eller reduserer risiko ble også diskutert i møtene.

Mange viktige problemstillinger og diskusjonspunkter kom frem i de forberedende møtene. De viktigste punktene som ble diskutert er:

- Kontroll på antikvariske verdier?
- Definere sannsynlighetsklasser og konsekvensklasser
- Beskrivelse av restrisikoforhold og risikoreducerende tiltak
- Sikre opprettholdelse av Bybanens funksjon
- Irreversible skader?
- Risikostyring i prosjekt – kontrollfunksjoner
- Kulturlag i grunn – skader?
- Hvordan sikre involvering
- Involvere fagpersoner og fagmiljøer
 - Geologi
 - Hydrologi
 - Kulturminne / kulturmiljø
 - Riksantikvar og Byantikvar
 - Bergen kommune og Fylkeskommune
 - Anleggsgjennomføring
 - Prosjektkunnskap
 - Driftserfaring
- Er grunnforhold mer utfordrende her enn andre steder?
- Er kulturminner, bygg eller infrastruktur mer sårbare her enn andre steder?

Tabell 4-1. Involverte i formøter eller analyse møte

Navn	Representerer	Rolle	Formøte	Analyse møte
Johanne Gillow	BK, Byantikvaren	Byantikvar	X	X
Marianne Knutsen	BK, Byantikvaren	Saksbehandler, prosjektleder/oppdragsgiver HIA	X	
Karin van Wijngarden	BK. PBE	Delprosjektleder Dagløsningen	X	
Rune Herdlevær	BK. PBE	Kontraktsansvarlig	X	
Kirsti Arnesen	BK. PBE	Delprosjektleder Tunnelutredningen	X	X
Solveig Mathiesen	BK. PBE	Prosjektleder Bybanen	X	X
Jenny Langford	NGI	Forsker/konsulent hydrogeologi	X	
Vidar Kveldsvik	NGI	Forsker/konsulent	X	
Einar John Lande	NGI	Forsker/konsulent	X	
Hans de Beer	NGU	Forsker/konsulent hydrogeologi	X	X
Rory Dunlop	NIKU	Konsulent arkeologi	X	X
Duun Hans Petter	NOAV	Oppdragsleder	X	
Nøttveit Ole-Magne	NOAV	Kulturminner	X	X
Knudsmoen Hanne	NOAV	Geologi	X	X
Westerlund Geir Johan	NOAV	Geoteknikk	X	
Kevin Tuttle	NOAV	Hydrogeologi	X	X
Øvretvedt Ivar	NOAV	Leder Teknisk forprosjekt	X	X
Øystein Skofteland	NOAV	DST-leder	X	
Dybwad Nina	NOAV	DS1-leder	X	
Karl Ove Ingebrigtsen	NOAV	Risikoanalyse	X	X
Gro Aanesland Dahle	NOAV	Risikoanalyse	X	X
Marthe Pedersen	NOAV	Risikoanalyse	X	X
Håkon Rasmussen	VLFK	Avdelingsdirektør Mobilitet og kollektivtransport	X	
Ronny Turøy	VLFK, BU	Kommunikasjon	X	
Mortensen Ole Wilhelm	VLFK, BU	Anleggsgjennomføring / kontrakt	X	X
Einar Borgen	VLFK, BU	Anleggsgjennomføring	X	X
Ole Vegard Skauge	VLFK, Kultur	Saksbehandler	X	X

4.2 Kvalitativ risikoanalyse

4.2.1 Kategorisering av sannsynlighet

Sannsynlighet for uønsket hendelse kan uttrykkes på flere måter, eksempler:

- Forventet antall uønskede hendelser i anleggsperioden
- Antall erfarte uønskede hendelser fra sammenlignbare aktiviteter
- Funksjon av styrken på barrierer
 - Antall
 - Uavhengig - avhengig
 - Type (organisatorisk, fysisk)

I analysen er det benyttet en kvalitativ inndeling i sannsynlighetsklasser som vist nedenfor.

Tabell 4-2 Sannsynlighetskategorier

Sannsynlighetskategori	Beskrivelse
1. Svært lite sannsynlig	Hendelsen forventes å ikke inntreffe. Meget gode barrierer.
2. Lite sannsynlig	Lite sannsynlig at hendelsen inntreffer. Gode barrierer som reduserer sannsynligheten for hendelsen.
3. "As-likely-as-not"	50% sannsynlighet for at hendelsen inntreffer
4. Sannsynlig	Sannsynlig at hendelsen inntreffer. Det finnes barrierer, men disse forhindrer ikke hendelsen i tilstrekkelig grad.
5. Meget sannsynlig	Hendelsen forventes å inntreffe, er erfart tidligere

4.2.2 Kategorisering av konsekvenser

Konsekvenser på kulturmiljø, kulturminner, bygg eller infrastruktur kan uttrykkes på flere måter, for eksempel:

- Alvorlighetsgrad på skade på kulturmiljø, bygg, areal mellom bygg, kulturlag eller verdensarv
- Reparasjonskostnader
- Reparasjonstid
- Omdømmetap (inkludert stopp av Bybanens videreutvikling)
- Endring i nedbrytningshastighet
- Skal ikke "øke risiko" i forhold til i dag

Skader på kulturlag er ikke reparerbare. Begrensede skader på bygg kan repareres. Foringelse av bevaringsforhold (f.eks. mer saltvann, lavere fuktighet, andre oksidative forhold) kan gjenopprettes slik at skadevirkning minimeres eller stoppes.

Nedbrytning av kulturlag er per definisjon irreversibel, og gir tap av kulturminneverdi i form av redusert bevaringstilstand. Omfanget kan vurderes som et tap jf. kategoriseringen av "bevaringstilstand" i NS9451:2009. Når setninger oppstår (konsekvens av nedbrytning), kan en forvente at et irreversibelt tap har oppstått.

I analysen er det benyttet en kvalitativ inndeling i konsekvensklasser som vist nedenfor.

Tabell 4-3 Konsekvenskategorier

Konsekvenskategori	Beskrivelse
1. Ingen skade (Ufarlig)	
2. Mindre skader (Farlig)	<ul style="list-style-type: none"> Mindre tiltak må iverksettes, men uten påvirkning på fremdrift og/eller kostnadsøkning Mindre skader som lar seg reparere slik at kulturverdi opprettholdes (1-2 bygg) Kompleksitet i håndtering er liten
3. Større skader (Kritisk)	<ul style="list-style-type: none"> Tiltak iverksettes. Mindre omprosjekteringer og/eller utvikling av setningsskader/grunnvannsendring som stoppes umiddelbart Mindre skader som lar seg reparere slik at kulturverdi opprettholdes (mindre enn 2 bygg)
4. Alvorlig skader (Meget kritisk)	<ul style="list-style-type: none"> Tiltak forsinket BT5 med mer enn 1 år, og/eller ny prosjekteringsløsning må etableres Større skader som medfører større reparasjoner på ett eller flere bygg med kulturverdi Kompleksitet i håndtering er stor
5. Irreversible skader (katastrofalt)	Uakseptabel konsekvens som med stor sannsynlighet stopper prosjektet, ødelegger kulturmiljøet permanent eller gir en alvorlig trussel mot status som verdensarvsted.

4.2.3 Vurdering av risiko - akseptkriterier

De uønskede hendelsene vurderes i forhold til mulige årsaker, sannsynlighet og konsekvens. Risikoreduserende tiltak vil bli vurdert. I en grovanalyse plasseres uønskede hendelser inn i en risikomatrix gitt av hendelsenes sannsynlighet og konsekvens.

Risikomatriksen har 3 soner:

GRØNN	Akseptabel risiko - risikoreduserende tiltak er ikke nødvendig, men bør vurderes
GUL	Akseptabel risiko - risikoreduserende tiltak skal vurderes
RØD	Uakseptabel risiko - risikoreduserende tiltak er nødvendig

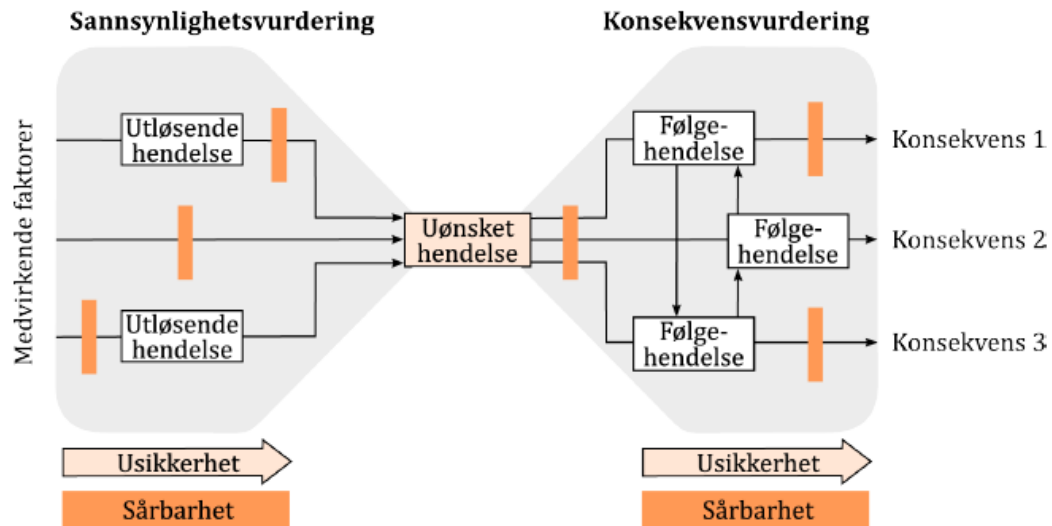
Akseptkriteriene for risiko er gitt av de fargede sonene i risikomatriksen nedenfor.

Tabell 4-4 Risikomatrixe

SANNSYNLIGHET	KONSEKVENNS				
	1. Ingen skade (Ufarlig)	2. Mindre skader (Farlig)	3. Større skader (Kritisk)	4. Alvorlig skader (Meget kritisk)	5. Irreversible skader (katastrofalt)
5. Meget sannsynlig	Gul	Gul	Rød	Rød	Rød
4. Sannsynlig	Grønn	Gul	Gul	Rød	Rød
3. "As-likely-as-not"	Grønn	Grønn	Gul	Rød	Rød
2. Lite sannsynlig	Grønn	Grønn	Grønn	Gul	Rød
1. Svært lite sannsynlig	Grønn	Grønn	Grønn	Gul	Rød

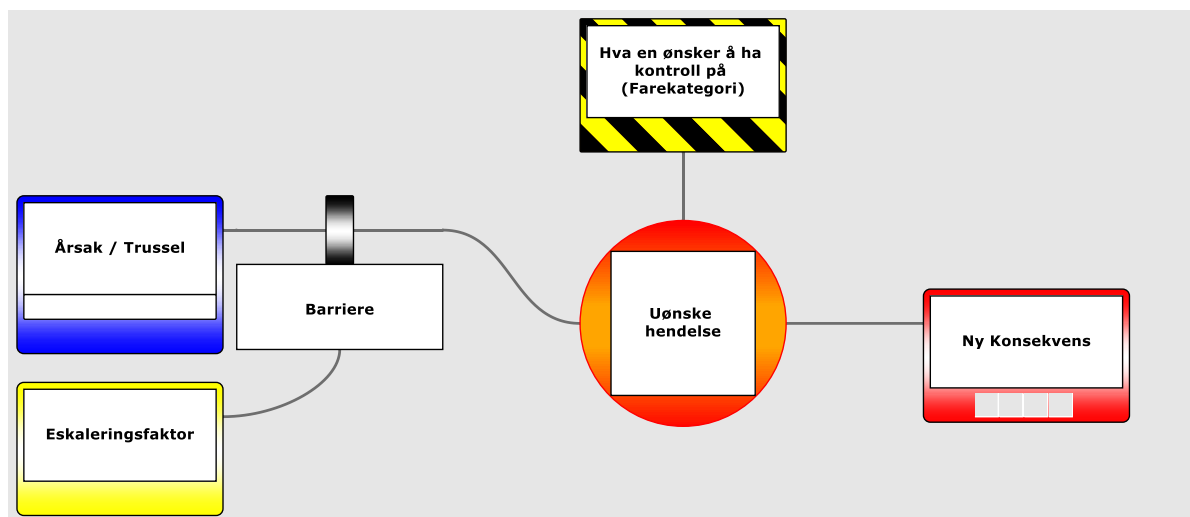
4.3 Bruk av Bow-tie modell (sløyfemodell)

Analysen av risiko for menneskers liv og helse, miljø og materielle verdier følger som tidligere beskrevet hovedprinsippene i *NS 5814:2021 Krav til risikovurderinger*.



Figur 4-1 Et hendelsesforløp kan illustreres på en tidslinje i en sløyfemodell (BowTie) for å detaljere hendelsen. Stolpene i figuren illustrerer barrierer som kan påvirke hendelsesforløpet (EN 5814:2021)

Bow-Tie-metodikk beskriver årsaker og konsekvenser til uønskede hendelser. For alle årsaker (trusler) er det beskrevet barrierer som skal hindre eller redusere at uønsket hendelse inntreffer.



Figur 4-2 Generisk BowTie modell

I bow-tie analysen er følgende definisjoner benyttet:

- Farekategori
 - Aktivitet, funksjon, prosess, utstyr eller system som man trenger for verdiskapning.
 - Fare – det tap av den funksjonen vi ønsker å opprettholde.
 - Hva ønsker vi å få kontroll over?
- Topphendelse (uønsket hendelse)
 - Tap av kontroll eller oversikt over en overordnet tilstand/hendelse.
- Trussel (Årsak til uønsket hendelse)
 - Tilstand/hendelse som individuelt kan lede fram til topphendelsen.
- Konsekvens
 - En potensiell tilstand/hendelse beskrevet som tap av verdier etter topphendelsen. Konsekvensstørrelse og sannsynlighet kan plottes i matrise.
- Barriere
 - Menneskelige, tekniske eller organisatoriske forhold som reduserer sannsynlighet for eller konsekvens av en topphendelse.
- Eskaleringsfaktor
 - Tilstand/hendelse som kan svekke barrierens funksjon eller effektivitet.

Bow-tie diagram er utarbeidet ved å benytte programvaren BowTieXP, <https://www.cgerisk.com/>.

4.4 Risikoreducerende tiltak

Med risikoreducerende tiltak mener vi sannsynlighetsreducerende (forebyggende) eller konsekvensreducerende tiltak (beredskap) som bidrar til å redusere risiko, for eksempel fra rød sone og ned til akseptabel gul eller grønn sone i risikomatriksen. De risikoreducerende tiltakene kan medføre at klassifisering av risiko for en hendelse forskyves i matrisen.

Hendelser i matrisens røde områder – risikoreducerende tiltak er nødvendig

Hendelser som ligger i det røde området i matrisen, er hendelser (med tilhørende sannsynlighet og konsekvens) vi på grunnlag av kriteriene ikke kan akseptere. Dette er hendelser som må følges opp i form av tiltak. Fortrinnsvis omfatter dette tiltak som retter seg mot årsakene til hendelsen, og på den måten reduserer sannsynligheten for at hendelsen kan inntreffe.

Hendelser i matrisens gule områder – tiltak bør vurderes

Hendelser som befinner seg i det gule området, er hendelser som ikke direkte er en overskridelse av krav eller akseptkriterier, men som krever kontinuerlig fokus på risikostyring. I mange tilfeller er dette hendelser som man ikke kan forhindre, men hvor tiltak bør iverksettes så langt dette er hensiktsmessig ut ifra en kost/nytte-vurdering.

Hendelser i matrisens grønne områder – akseptabel risiko

Hendelser i den grønne sonen i risikomatriksen innebærer akseptabel risiko, dvs. at risikoreducerende tiltak ikke er nødvendig. Dersom risikoen for disse hendelsene kan reduseres ytterligere uten at dette krever betydelig ressursbruk, bør man imidlertid også vurdere å iverksette tiltak også for disse hendelsene.

5 Fareidentifikasjon

5.1 Innledning

Årsaker til uønskede hendelser ble identifisert i formøte og i analyse møte. Uønskede hendelser er som beskrevet i kapittel 2.1, skade på kulturmiljø, kulturminner, bygg og/eller infrastruktur som følge av anleggsvirksomhet eller som følge av drift av det ferdige anlegget.

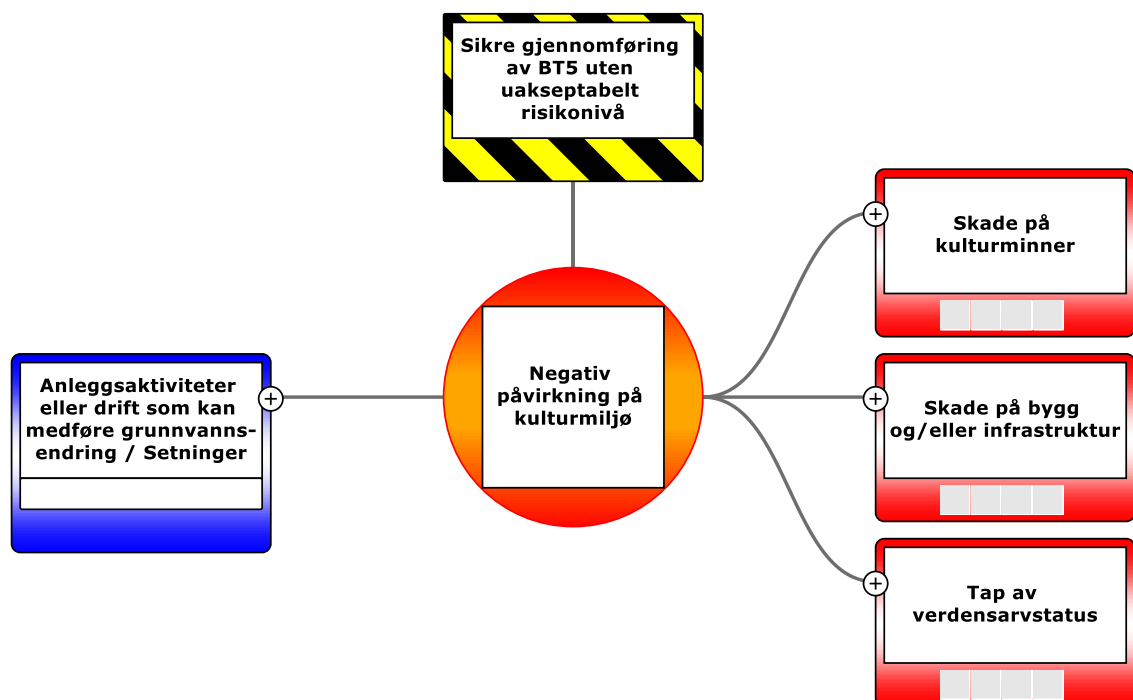
Analysen er avgrenset til å se på følgende årsaker til at skader kan oppstå:

- Prosjektert anleggsvirksomhet og endringer
 - boring, spunting, graving, sprengning, bygging, tunnelportalarbeider, fremtidig endring av grunnvannsnivå som følge av lekkasjer, etc.
- Drift av banen og tunnel
 - vibrasjoner, trafikkomlegging, drift og vedlikehold av tunnel, etc.

I analysen er disse slått sammen til følgende årsak:

- Anleggsaktiviteter, driftsaktiviteter eller påvirkninger fra ferdig tunnel som gir grunnvannsendringer eller setningsskader

Figur 5-1 viser sammenheng mellom årsaker til at skader kan oppstå og hvilke konsekvenser slike skader kan forårsake på kulturmiljøet.



Figur 5-1 Overordnet BowTie som viser årsaker til negativ påvirkning på kulturmiljø og konsekvenser som er vurdert i denne analysen

I de innledende diskusjoner ble det identifisert barrierer som påvirker hendelsesforløp og årsaker til at barrierer kan svekkes. Figur 5-2 viser en grafisk presentasjon av hvilke barrierer og hva som kan påvirke barrierer i en mulig hendelsesutvikling.

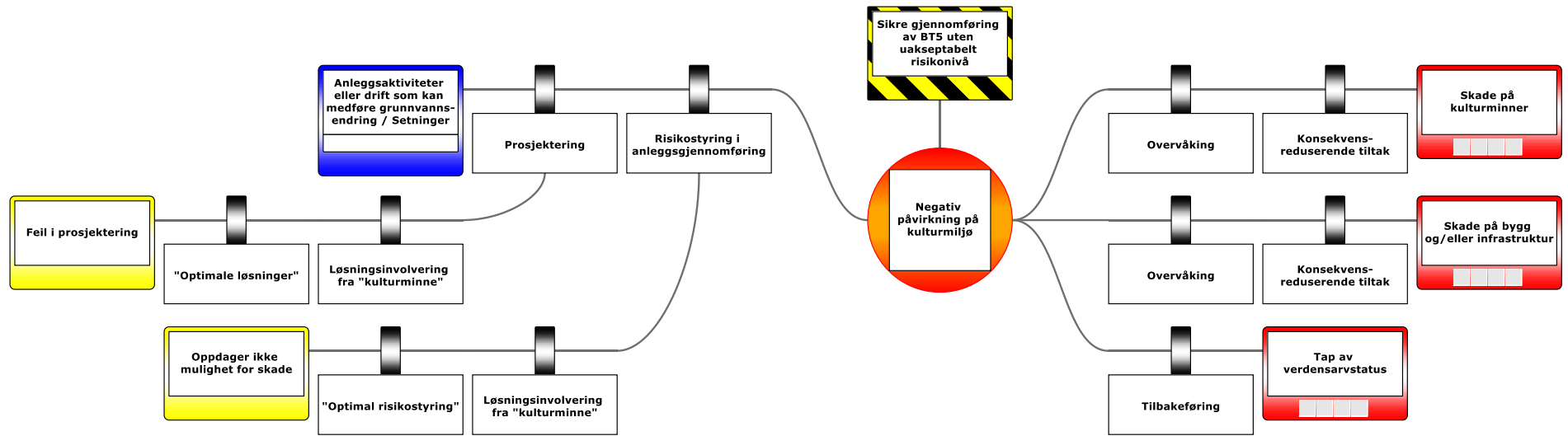
Som sannsynlighetsreducerende barrierer er det identifisert to viktige barrierer:

- Prosjektering – planlegging og gjennomføring av anleggsvirksomhet
 - Årsaken til feil prosjektering kan eksempelvis være utilstrekkelige grunnundersøkelser.
 - Tiltak (barrierer) for å hindre feilprosjektering kan være bruk av tidligere løsninger og prosjekterte løsninger i samarbeid med kulturminnefaglig kompetanse.
- Risikostyring i anleggsgjennomføring
 - Årsaken til at mulighet for skade ikke oppdages kan være at detaljerte risikoanalyser for anleggsvirksomhet ikke er tilstrekkelig utført.
 - Tiltak (barrierer) for å hindre at skader ikke oppdages er å sikre god risikostyring i anleggsgjennomføringen og tett samarbeid med kulturfaglig kompetanse.

Som konsekvensreducerende barrierer (tiltak etter at skade er inntruffet) er det beskrevet flere barrierer ut fra hvilke sluttkonsekvenser som vurderes:

- Overvåking for å identifisere skadeutvikling
- Reparasjoner for å redusere / stoppe skadeutvikling
- Tilbakeføring til opprinnelig tilstand

Tilbakeføring til opprinnelig tilstand kan gjennomføres ved forskjellig typer av tiltak. Slike tiltak kan være for eksempel oppretting av skader, oppretting av grunnvannsnivå eller etablering av infiltrasjonsbrønner.

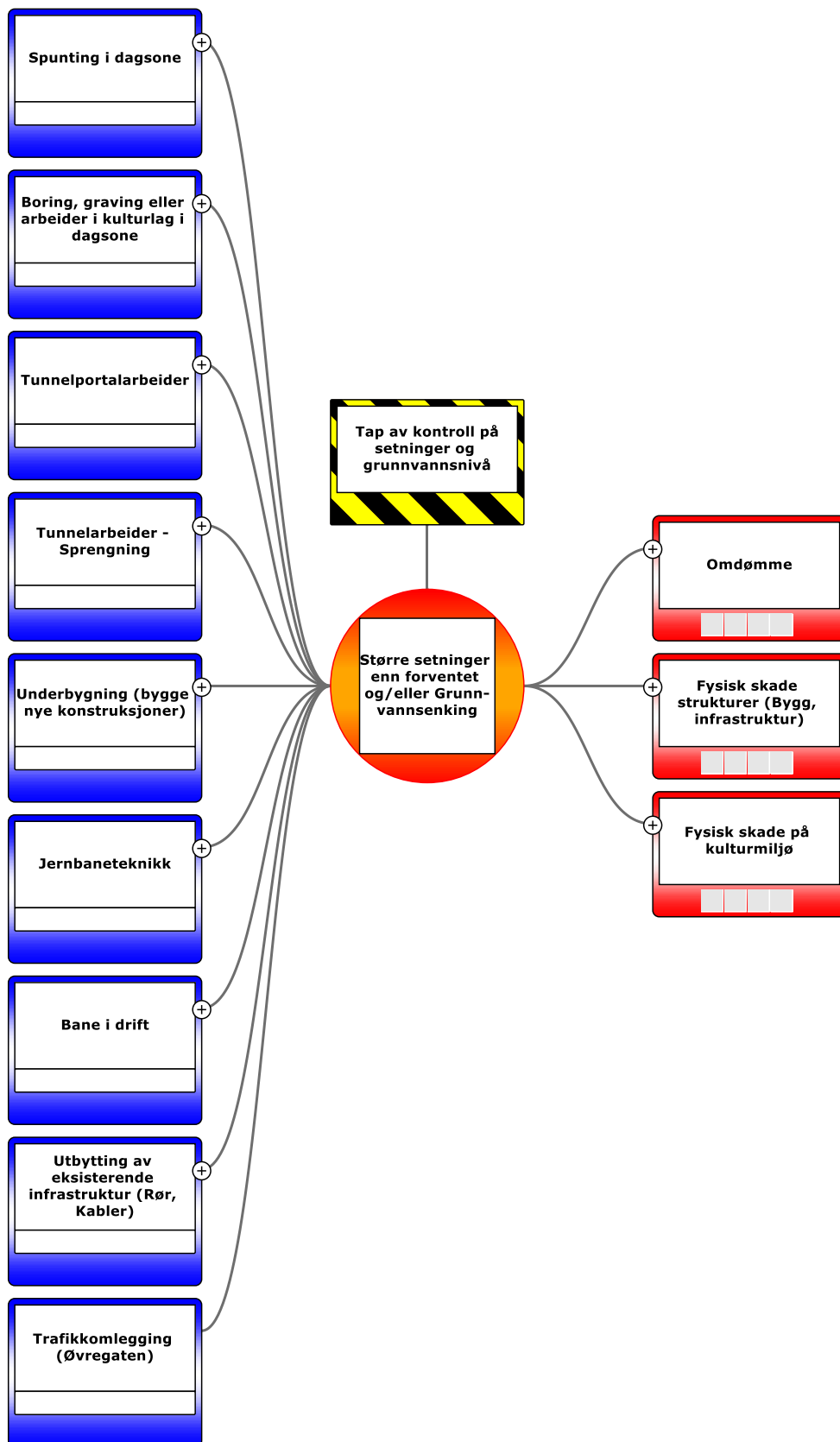


Figur 5-2 Detaljert BowTie overordnet nivå

5.2 Farer i anleggs- og driftsfasen

For å anlegge ny bane er det identifisert en rekke aktiviteter med potensial for endring av grunnvannsnivå eller setninger og påvirkninger fra ferdig tunnel, som igjen kan gi uønskede skader på kulturmiljø og bygg/infrastruktur, se Figur 5-3. Disse aktiviteter gjelder både anleggsfasen og drift av bane og tunnel.

- Spunting
 - Kontroll av grunnvannsnivå
 - Aktiviteter for å etablere en byggegrop
 - Aktiviteter for å bygge i en byggegrop
- Boring / graving / sprengning / arbeider i kulturlag i dagsone
 - Delvis sammenfallende aktiviteter som spunting
 - Fokus på aktiviteter i nærhet av kjente kulturlag
- Tunnelportalarbeider
 - Delvis sammenfallende aktiviteter som over
 - Fokus på aktiviteter i umiddelbar nærhet av tunnelportalen
- Tunnelarbeider
 - Forinjisering, bore, spreng, tette
- Underbygning
 - Etablering av banelegeme som eks. «flytende traue» over kulturlag
- Jernbaneteknikk
 - Etablering av spor, signal og KL
- Bane i drift, inkludert drift av tunnel
 - Vibrasjoner, støy, lekkasje av vann, endringer av vannstrømmer i fjell
- Utbygging av infrastruktur
 - Se også spunting og graving
 - Arbeider i nærheten av kulturminner og kulturlag
- Trafikkomlegging
 - Endringer av trafikkmønster i anleggsperioden og i driftsperioden

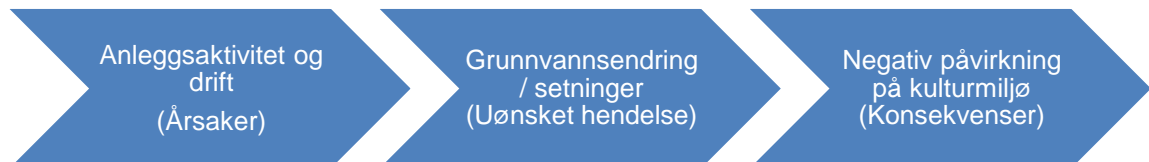


Figur 5-3 BowTie grunnvannsenkning og/eller setningskader som kan gi fysisk skader på kulturmiljø

6 Risikoanalyse

6.1 Innledning

Fastsettelse av risiko uttrykt som kombinasjonen av sannsynlighet for og konsekvensen av en uønsket hendelse er målet for denne analysen. Hendelsesforløpet som analysen har vurdert er vist i Figur 6-1.



Figur 6-1 Hendelsesforløp som er vurdert i analysen

Risiko som kvantifiseres i denne analysen er:

- Risiko for negativ påvirkning på kulturmiljø med årsaker relatert til grunnvannsendringer eller setninger.

Sannsynlighet for at en uønsket hendelse skal oppstå er avhengig av flere elementer som er beskrevet i fareidentifikasjonskapittelet. Robusthet i barrierer som hindrer utviklingen av hendelsen er viktig informasjon for å vurdere sannsynlighet. De sannsynlighetsreducerende barrierene skal hindre den uønskede hendelsesutviklingen som beskrevet i Figur 6-1.

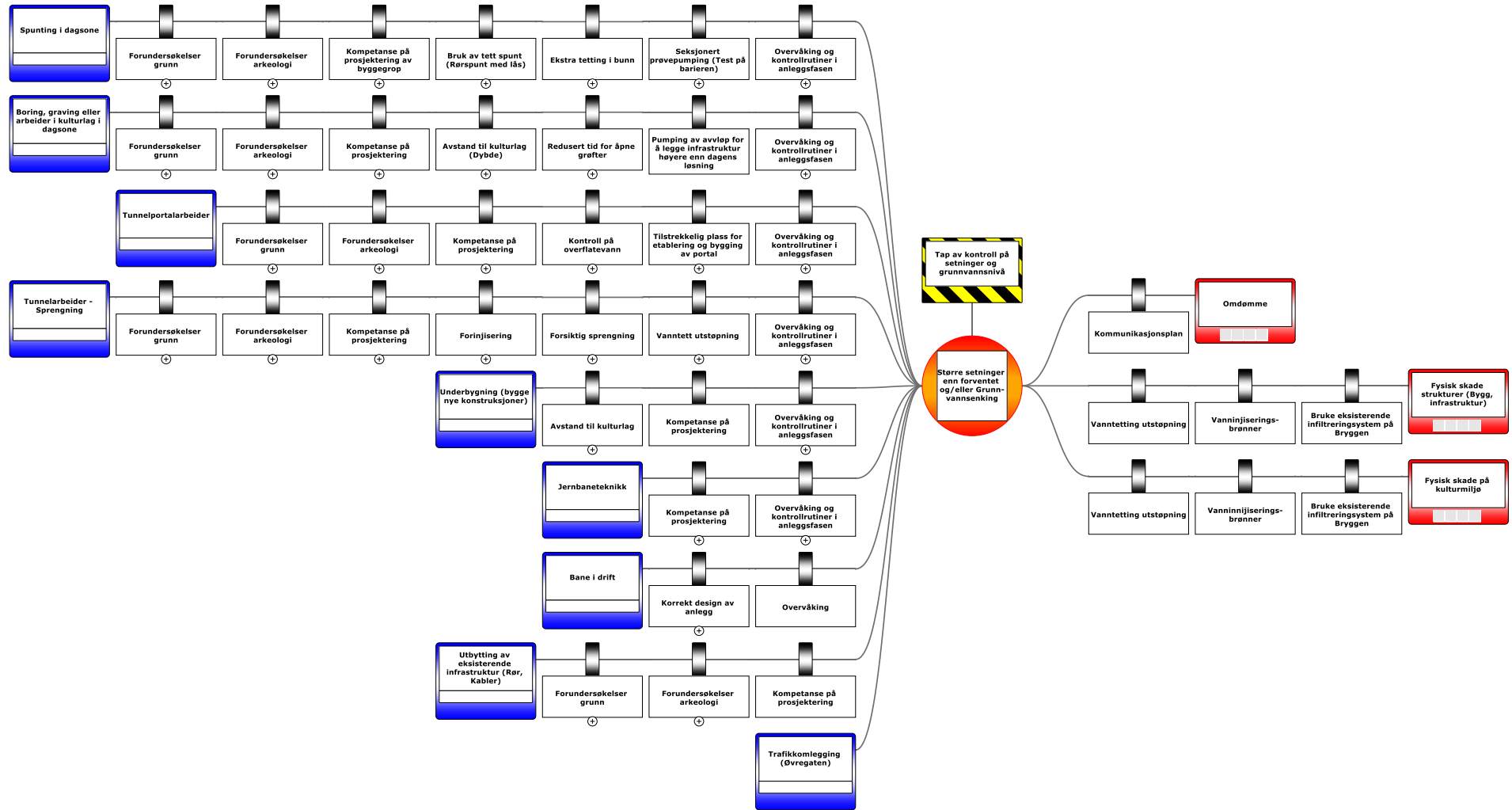
Konsekvenser kan på kort eller lengre sikt være:

- Tap av omdømme som igjen kan medføre negativ omtale og i ekstreme tilfeller stopp i BT5 prosessen.
- Fysisk skade på strukturer som bygg eller infrastruktur; fra mindre reparerbare skader til irreversible katastrofale skader.
- Fysisk skade på kulturmiljø; fra mindre reparerbare skader til irreversible katastrofale skader.

Fareidentifikasjonen identifiserte en rekke årsaker, sammen med en rekke barrierer som kan hindre utvikling av hendelsesforløpet til en uakseptabel konsekvens. Oversikt over årsaker og barrierer er vist i Figur 6-2.

I de neste kapitler er alle årsaker (anleggsaktiviteter) beskrevet med tilhørende barrierer for både dagalternativ og tunnelalternativ. Aktiviteter er valgt ut fra hvor potensiale for skade er størst og beskrevet slik at det lett kan relateres til hvor på strekningen aktiviteten pågår. Sannsynlighet for uønsket hendelse med tilhørende konsekvens er beskrevet slik at risikonivå kvalitativt kan vurderes og plottes i risikomatriksen.

BowTie-diagrammene beskriver en rekke tiltak, tiltak utover disse er beskrevet i analysen.



Figur 6-2 BowTie med tilhørende barrierer

6.2 Spunting i dagsoner

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Spunting langs Bryggen og inn mot Torget for å legge til rette for flytting av infrastruktur. Spunten skal begrense grøftenes utbredelse innover mot Bryggen, og skal sikre at grunnvannet på landsiden ikke påvirkes av grøftearbeidene. Tilsvarende gjelder for spunting i nærheten av Rundetårn. Eventuell spunting foran Det Hanseatiske Museum vil også være for å begrense grøftenes utbredelse, men siden museet har egen grunnvannsikring kan spunten settes åpent i dette området.</p> <p>Det legges til grunn bruk av rørsput som bores ned, og ikke slås ned som vanlig spunt. Denne metoden er veldig skånsom for rystelser/skal sikre lite rystelser. Det etableres en våt grøft, mellom kaifront og spuntvegg, som innebærer at det ikke er behov for pumping. Spuntveggen vil kunne bli stående igjen permanent etter at aktiviteten er avsluttet på de strekk der den kan ha positiv effekt for bidrag til stabilt grunnvann på innsiden av veggen i permanent situasjon. Den kappes da litt under overflaten, og vil ikke bli synlig. Dette er aktuelt foran Bryggen.</p> <p>Spuntveggen står i sin helhet i nyere fyllmasser utenfor dagens vei og skur 11, men vil strekke seg ned i gammel sjøbunn. Den berører i dette området ikke kulturlagene.</p> <p>Spunting rundt byggegrop for påhuggsområdet innenfor Sandbrogaten, der en skjærer gjennom Nye Sandviksveien, kan være aktuelt i begrenset omfang siden det er relativt grunt til fjell. Dette først og fremst for å minimere utbredelsen av anlegget.</p> <p>Langs torget er det etterreformatoriske masser som følge av utfylling etter 1702-brannen.</p> <p>Ved Rundetårn er det smalt tverrsnitt.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Spunting rundt byggegrop fra Kong Oscars gate og mot fjellpånugg i Heggebakken i forbindelse med etablering av tunnelportal. Tilsvarende spunting rundt tunnelpånuggene der utgangene fra underjordisk stasjon vil komme opp på to steder langs østsiden av Øvregaten, i nærheten av Mariakirken og Lodin Lepps gate.</p> <p>Bane NOR sin del av Koengen er tenkt benyttet som anleggsområde. Avhengig av hvordan anleggstunnel mot bybanetunnelen utføres, kan den bli behov for noe begrenset spunting lengst sør og innover mot Nye Sandviksveien.</p> <p>Spunting i Heggebakken på begge sider og tett på bebyggelse vil måtte berøre kulturlag og kanskje kulturminne på deler av området. Masser innenfor spunten vil fjernes og må kartlegges, men trolig er omfanget mindre enn ved Mariakirken.</p> <p>Ved Mariakirken vil spunting sannsynligvis komme i konflikt med kulturlag i grunnen, og vil fordre en kartlegging innenfor veggene der all masse skal bort. Trolig fjerner dette 2 meter tykke kulturlag, og to eldre bygninger. Vanlig bebyggelse, tre- og murhusbebyggelse, tett på tunnelinngangen er en del av oppbygningen rundt verdensarvstedet og skader kan påvirke kulturmiljø. Derfor er det viktig at disse spuntveggene utføres som tette vegger. Rørsput forutsettes benyttet, da denne medfører mindre rystelser ved etablering. Tilsvarende gjelder ved Lodin Lepps gate, men trolig er kulturlagene her mindre omfattende.</p> <p>Mariakirken og tomten blir ikke direkte berørt. utfordringer ved denne aktiviteten er knyttet til nærhet til Mariakirken, annen bebyggelse, nærliggende kulturminner/kulturlag i grunnen og generelt kulturmiljø.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativet
	<p>Database/kartløsninger over eksisterende grunn/kulturlag anses ikke som tilstrekkelige og pålitelige.</p> <p>Denne aktiviteten inkluderer også graving i spuntegrop.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering av byggegrop • Bruk av tett spunt (rørspunt med lås) • Seksjonert prøvepumping • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse av prosjektering av byggegrop • Bruk av tett spunt (rørspunt med lås) • Ekstra tetting i bunn • Seksjonert prøvepumping • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen
<p>Sannsynlighet</p> <p>Bruk av rørspunt er en god barriere som reduserer sannsynligheten for at man får grunnvannsendring, og minimerer rystelser ved montering.</p> <p>De moderne fyllmassene i front av bryggekannten er svært permeable, og bidrar til at grunnvannsnivået er ustabil. Rørspunten/den permanente spuntveggen kan bidra til et økt eller mer stabilt grunnvannsnivå på innsiden. Dette kan medføre at kulturlagene får et mer stabilt vanninnhold og vil være positivt for bevarelse av kulturlagene ved at nedbrytningsraten reduseres.</p> <p>Forundersøkelser vil avdekke kulturlag og dybde og bidra til å redusere usikkerhet i anleggsgjennomføringen.</p> <p>Den åpne grøften gjør at man vil kunne ha god kontroll på en eventuell uønsket utvikling. Man har god tilgang til å kunne monitorere og overvåke grunnvannet, og vil kunne iverksette tiltak dersom målingene tilsier at det behov for det.</p>	<p>Sannsynlighet</p> <p>For tunnelalternativet er det stor usikkerhet knyttet til mulighet for å gjennomføre tilstrekkelige forundersøkelser. Det er vanskelig å få tilgang og tilkomst til flere av de aktuelle områdene, slik som i Heggebakken og ved Mariakirken. Usikkerhet knyttes til en viss grad til dybde på spuntvegg, og hvilke utfordringer en kan møte i forhold til å få byggegropen tørr uten at grunnvannet rundt påvirkes.</p> <p>Usikkerhet i forundersøkelsene innebærer at det også vil være større usikkerhet knyttet til mulighet for å iverksette kompensierende tiltak og kan komplisere denne prosessen.</p> <p>Skjulte og udokumenterte sprekkesystemer i fjellet gjør at det er vanskeligere å ha kontroll på influensområdet til dreneringen fra byggegropene.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Generelt har fagmiljøet meget lang erfaring og god kompetanse på prosjektering av byggegrop og bruk av spunt.</p> <p>Sannsynligheten for at spunting medfører grunnvannsendringer og setninger vurderes å være liten. Kategori 2.</p>	<p>Samlet sett vurderes det å være mer usikkerhet knyttet til spunting i tunnelalternativet enn for dagalternativet, og en noe høyere sannsynlighet for at det kan oppstå grunnvannsendringer og setninger. Kategori 3.</p>
<p>Konsekvens</p> <p>Det mest sårbare området/ den mest alvorlige konsekvensen vurderes å være knyttet til skade på Bryggen og Hanseatisk Museum.</p> <p>Kategori 4.</p>	<p>Konsekvens</p> <p>Det mest sårbare området vurderes å være området rundt Mariakirken. Her er det potensiell konflikt med middelalderse kulturlag.</p> <p>Vanlig bebyggelse, tre- og murhusbebyggelse, ved tunnelinngangen er en del av oppbygningen rundt verdensarvstedet og har høy kulturminneverdi.</p> <p>Kategori 4</p>
<p>Identifiserte tiltak</p> <p>Sikring av dype grøfter med spunt, og arbeid i våt grøft på sjøsiden av spuntveggen.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak</p> <p>Spuntvegg rundt byggegrop må utføres tett, og evt. bunn forinjiseres mot innlekkasjer av grunnvann nedenfra. Generelt bemerkes at det ikke er ønskelig å etablere permanent aktiv infiltrasjon, da tiltak som hindrer grunnvannsendringer bør prioriteres foran konsekvensreducerende tiltak.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p>Risiko (S2, K4)</p>	<p>Risiko (S3, K4)</p>

6.3 Boring eller graving i nærhet av kulturlag i dagsone

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Graving ned mot 1 meter for fundamentering av bane langs hele traséen i Christies gate, Småstrandgaten, Nedre Torgallmenning, Torget, Bryggen og Sandbrogaten.</p> <p>I nedre del av Sandbrogaten er det ca. 2 meter til middelalderske lag og et parti hvor det er i overkant av 1 meter til middelalderske lag.</p> <p>Infrastruktur i Sandbrogaten og bebyggelse i området med kjellere dypere enn planlagt graving er utfordrende. Grunnvannsstanden er høyere enn noen av kjellerne. For å unngå å grave dypt i gaten, er det aktuelt å foreslå pumping av avløpsvann opp fra kjellere til nytt VA-anlegg lagt grunnere i gaten.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Graving ned mot 1 meter for fundamentering av bane langs Christies gate, Allehelgens gate og frem til Heggebakken for å legge til rette for trasé. Graving i nærheten av Mariakirken og Lodin Lepps gate vil skje innenfor en spuntet byggegrop (se forrige avsnitt).</p> <p>Funn av murstruktur fra middelalderen i Heggebakken, og det kan være flere murstrukturer i tilknytning til klosteret. Mariakirken er i et område med ca. 2 m middelalderske lag og i Lodin Lepps gate ca. 1,3 meter i nedre del av lag. Konflikt med kulturlag i Christies gate og Allehelgens gate er mindre sannsynlig.</p> <p>Graving i Heggebakken og ved Mariakirken vil trolig komme i kontakt med grunnvannet.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering • Avstand til kulturlag (dybde) • Redusert tid for åpne grøfter • Overvåkning og kontrollrutiner i anleggsfasen 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering • Avstand til kulturlag (dybde) • Redusert tid for åpne grøfter • Overvåkning og kontrollrutiner i anleggsfasen
<p>Sannsynlighet</p> <p>Graving foregår i begrenset dybde.</p> <p>Det er relativt god kjennskap til kulturlagene med hensyn til dybde og bevaringsgrad.</p> <p>Generelt har fagmiljøet meget lang erfaring og god kompetanse på denne type aktivitet. Tilsvarende aktivitet er utført på tidligere byggetrinn på Bybanen. Med</p>	<p>Sannsynlighet</p> <p>Graving i gater i begrenset dybde. Dyp graving ved påhuggsområder foregår innenfor spuntvegger.</p> <p>Det er relativt god kjennskap til kulturlagene med hensyn til dybde og bevaringsgrad.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>den kunnskapen man har om grunnforholdene i Sandbrogaten, samt at det skal gjøres ytterligere forundersøkelser, vurderes det å være lite sannsynlig at det oppstår setninger eller grunnvannsendringer som påvirker kulturlagene negativt.</p> <p>I Sandbrogaten er det i dag fluktusjoner i grunnvannsmålingene, dvs. at det er fare for tørrleggelse av kulturlagene i dagens situasjon. Det antas at løsningen som etableres langs med Bryggen vil bidra til at grunnvannsstanden kan bli mer stabil og dermed faktisk en forbedring av dagens situasjon.</p> <p>Sannsynligheten for at boring eller graving i nærhet av kulturlag i dagsone medfører grunnvannsendringer og setninger vurderes å være liten.</p> <p>Kategori 2.</p>	<p>Generelt har fagmiljøet meget lang erfaring og god kompetanse på denne type aktivitet. Tilsvarende aktivitet er utført på tidligere byggetrinn på Bybanen.</p> <p>Risikoen består i at de dype byggegropene må utføres tørt, samtidig som de ligger tett på eksisterende bebyggelse og omkringliggende kulturlag. Eventuelle lekkasjer inn i byggegrop kan dermed påvirke omkringliggende grunnvann, og påføre skade. Vanskelig å sikre at innlekkasje i byggegrop skjer før byggegrop er gravd ut.</p> <p>Kategori 3.</p>
<p>Konsekvens</p> <p>Det mest sårbare området/den mest alvorlige konsekvensen vurderes å være knyttet til skade på kulturlag i Sandbrogaten. Kulturlagene i Sandbrogaten er av de mest verdifulle i Bergen. Kategori 4.</p>	<p>Konsekvens</p> <p>Det mest sårbare området/ den mest alvorlige konsekvensen vurderes å være knyttet til skade på kulturlag ved Heggebakken og Mariakirken. Konsekvens 3.</p>
<p>Identifiserte tiltak</p> <p>Unngå graving ned i kulturlag ved å fundamentere banen på 1m dypde og løfte opp ledninger i dype grøfter.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak</p> <p>Unngå graving ned i kulturlag ved å fundamentere banen på 1m.</p> <p>Sikre at utgraving i dype byggegrop skjer uten innlekkasje av grunnvann.</p> <p>Tette så snart lekkasjer oppdages. Generelt bemerkes at det ikke er ønskelig å etablere permanent aktiv vanninfiltrasjon i grunn.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p>Risiko (S2, K4)</p>	<p>Risiko (S3, K3)</p>

6.4 Tunnelportalarbeider

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Tunnelportalarbeidet innebærer etablering av byggegrop, spunting og sprengning. Graving og spunting er omtalt i kapittel i de foregående kapitler.</p> <p>Tunnelportalarbeid øverst i Sandbrogaten ved å etablere en åpen grop hvor man går inn mot Helgesens gate.</p> <p>Utfordrende å få tett konstruksjon i nærhet av eksisterende jernbanetunnel.</p> <p>Å sikre tilstrekkelig grunnundersøkelser og kartlegging av tettingsbehov er utfordrende.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Tunnelportalarbeidet innebærer etablering av byggegrop, spunting og sprengning. Graving og spunting er omtalt i foregående kapitler.</p> <p>Tunnelportalarbeid ved hovedportal i Heggebakken, og tunnelpåhuggene i nærheten av Mariakirken og Lodin Lepps gate. Heggebakken er et sårbart område for rystelser med 1700-talls bebyggelse. Det er murstrukturer/ murrester i forkant av tunnelportal og omfattende infrastruktur. Lite overdekning ved utganger anses det som spesielt utfordrende i forhold til rystelser og potensielle skader på nærliggende kulturmiljø.</p> <p>En fløy av Katedralskolen, et 80-talls hus og et eldre hus fra 1700-tallet må rives i Heggebakken. Bergen Barneasyl som er fredet bygning og Bergen Domkirke er i nærheten.</p> <p>Deler av området ved Mariakirken har vernede bygg og vernestatus, det er 1600-talls bebyggelse i bakkant og Katarinahospitalet i nærheten.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering • Kontroll på overflatevann • Tilstrekkelig plass for etablering og bygging av portal • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering • Kontroll på overflatevann • Tilstrekkelig plass for etablering og bygging av portal • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Sannsynlighet</p> <p>Det vurderes at det er lite sannsynlig at en lokal byggegrop vil endre dreneringsforholdene i området. Dersom byggegroppen går under grunnvannsnivået kan det imidlertid medføre en lokal senkning av grunnvannsstanden, men neppe slik at det påvirker Sandbrogaten. Det finnes gode barrierer for å forhindre hendelsen.</p> <p>Forundersøkelser skal sikre at kulturlag ikke berøres.</p> <p>Sannsynligheten for setninger og grunnvannsendringer vurderes å være liten.</p> <p>Kategori 2</p>	<p>Sannsynlighet</p> <p>Det er vanskelig å få gjort tilstrekkelig med grunnundersøkelser i de aktuelle områdene, så det knytter seg usikkerhet til omfang og behov for tetting av fjellet.</p> <p>I Heggebakken vil det være krevende å få tettet berget rundt portalen og sikre at man ikke får grunnvannslekkasje inn i byggegrop / portal når man går inn i fjellet.</p> <p>Det knytter seg usikkerhet til omfang av arbeidene og grunnforhold ved de to portalene som skal etableres i fjellsiden.</p> <p>Det er betydelige mangler i omfanget av grunnundersøkelser, og heller ikke mulig å ha full kontroll før etter utgravning, noe som medfører usikkerhet i hvilke tiltak som må iverksettes før, under og etter aktiviteten.</p> <p>Kategori 3.</p>
<p>Konsekvens</p> <p>Mest alvorlige konsekvens vurderes å være en grunnvannssenkning som påvirker kulturlagene i området Sandbrogaten negativt.</p> <p>Kategori 4.</p>	<p>Konsekvens</p> <p>Tunnelpåslag i Heggebakken er et inngrep i umiddelbar nærhet av viktige kulturmiljø. Kulturmiljøet/bebyggelsen i fjellsiden og i hele Vågenområdet er vesentlig del av verdensarvstedet, "buffersone".</p> <p>Setningsskader og grunnvannsendringer ved Heggebakken og Mariakirken vurderes å være svært kritisk.</p> <p>Kategori 4.</p>
<p>Identifiserte tiltak</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p>Risiko (S2, K4)</p>	<p>Risiko (S3, K4)</p>

6.5 Tunnelarbeider – tunnelsprengning

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Forinjeksjon og sprengning fra tunnelportal i Sandbrogaten mot Sandvikskirken holdeplass, lengde 660 meter. Vanntetting etter behov. Det er tatt høyde for noe full utstøpning i starten av tunnelen under Skuteviken.</p> <p>Selve tunneltrase er i god avstand fra Bryggen-området, og deler av tunnelen går over grunnvannsnivået.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet</p> <p>Forinjeksjon og sprengning av en 1620 meter tunnel fra Heggebakken til Sandvikskirken holdeplass samt to innganger og holdeplass i berg ved Øvregaten. Vanntetting med full utstøpning etter behov. Forventes i et begrenset omfang, men usikkerheten er stor.</p> <p>Tunneltrase går parallelt med Vågsbunnen og Bryggen-området, under områder med kulturmiljø og vil ligge under grunnvannsnivået.</p> <p>Tunnelen vil kunne danne en oppstuvning av grunnvannsstrømmer i fjellet.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering • Forinjisering • Forsiktig sprengning • Vanntett utstøpning • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelser grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering • Forinjisering • Forsiktig sprengning • Vanntett utstøpning • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen
<p>Sannsynlighet</p> <p>Tunnel går ikke i områder hvor det er forventet at større grunnvannsendringer eller setningsskader på Bryggen eller Vågsbunnen vil kunne inntreffe. Lav overdekning i starten under Skuteviken fouter setter strenge tettekrav for tunnelen, og kanskje noe lokal utstøpning.</p> <p>Lekkasjer i første del av tunnel (fra Sandbrogaten) kan påvirke grunnvannstand i kulturlaget i Sandbrogaten. Men sannsynlighet for dette vurderes til lav på grunn av</p>	<p>Sannsynlighet</p> <p>Det vil bli svært strenge tettekrav til tunnelarbeidet. Det er en utfordring å skaffe tilstrekkelig grunnlag for å sette de riktige tettekravene, samt etablere nok punkter for å overvåke lekkasjene. Dvs. det vil være vanskelig å måle at man faktisk oppfyller tettekravene. Ved svært strenge tettekrav vil det heller ikke være fysisk mulig å måle lekkasjene i tunnelen da vannet vil fordampe. Lekkasjer vil måtte måles i endret grunnvannsnivå.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>avstand og et begrenset tiltaksområde. Vannstrømmer i fjellet går parallelt med tunnelen, noe som er vurdert som positivt i forhold til redusert påvirkningsområde (influensområde).</p> <p>Kategori 2</p>	<p>Det er en utfordring mhp injeksjon at tunnelen ligger nær eksisterende jernbanetunnel.</p> <p>Det er også en utfordring at tunnelen ligger under grunnvannsnivået i området.</p> <p>Strengt tettekrav vil innebære stor grad av injisering og bruk av sement. Ved injeksjon nær dagen eller andre tunneler vil det være vanskelig å ha full kontroll på hvor tettemassene «tar veien» inne i fjellet.</p> <p>Det er usikkerhet knyttet til grunnforhold og mulighet for å gjøre tilstrekkelige grunnundersøkelser i området.</p> <p>Sannsynligheten for at det oppstår uforutsette utfordringer øker med økende tunnellengde.</p> <p>Grunnvannet strømmer vinkelrett på tunnelanlegget som er vurdert til å økt sannsynlighet for større influensområde.</p> <p>Risiko for at en tett tunnel med forinjisert fjell i en høyde på 30 m kan forstyrre grunnvannstrømmene gjennom fjellet og frem mot Vågsbunnen og Bryggen.</p> <p>Kategori 3.</p>
<p>Konsekvens</p> <p>Dersom tettekravene ikke oppfylles, vil grunnvannet kunne senke seg og stabilisere seg i et nytt nivå, men på grunn av begrenset tiltaksområde er det vurdert til mindre endringer.</p> <p>Eksponert område for skader på kulturmiljø er vesentlig mindre enn for tunnelalternativet.</p>	<p>Konsekvens</p> <p>Dersom tettekravene ikke oppfylles, vil grunnvannet kunne senke seg og stabilisere seg i et nytt nivå. Dette kan påvirke potensielt store områder, inkludert bebyggelse i fjellsiden og i buffersonen. Lokalisering av tunnelen, ved at den går i fjellsiden i bakkant av/parallelt med Bryggen, gjør at influensområdet potensielt kan bli stort, inkludert Vågsbunnen og Bryggenområdet.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Kategori 3</p>	<p>Kulturmiljø over tunnel kan påvirkes av rystelser under pøgningsarbeidet i tunnel, eksempelvis nedfall av takstein i trange smug.</p> <p>Selv med helt tett tunnel kan grunnvannsnivå bli endret som følge av endringer i vannveier i fjell. Om dette oppstår må permanent system for kontroll av grunnvannsnivå (vanninfiltrasjon) etableres, eventuelt dagens infiltrasjonssystem på Bryggen videreutvikles.</p> <p>Kategori 5</p>
<p>Identifiserte tiltak Etablering av bergbrønner og poretrykksmålere for overvåkning.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak Etablering av bergbrønner og poretrykksmålere for overvåkning. Forinjisering. Fortløpende full utstøpning ved større lekkasjer. Permanente systemer for justering av grunnvannsnivået.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p>Risiko (S2, K3)</p>	<p>Risiko (S3, K5)</p>

6.6 Underbygning (Bane)

Dagalternativ	Tunnelalternativet
<p>Beskrivelse av aktivitet Langs Bryggen monteres KL-master, og kulvertløsning for å legge til rette for infrastruktur fra Torgalmenningen til Torget</p> <p>Fundamentering av master, hovedsakelig på Torget, vil gå flere meter ned og kunne komme i kontakt med i all hovedsak etterreformatoriske kulturlag.</p> <p>Kulvertløsning for infrastruktur medfører dyp og bred graving, men ikke i de mest sårbare kulturlagene.</p> <p>For Sandbrogaten skal det etableres en konstruksjon (trau) som skal flyte oppå kulturlaget, uten peler, uten å gi skader. Samme løsning er tidligere benyttet eksempelvis i Kaigaten.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet Etablering av underbygning langs traseen. Fundamentering av KL-master der traseen går i dagen.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avstand til kulturlag • Kompetanse på prosjektering • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avstand til kulturlag • Kompetanse på prosjektering • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen
<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at underbygningsarbeidene medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Kategori 2.</p>	<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at underbygningsarbeidene medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Kategori 2.</p>
<p>Konsekvens Den alvorligste konsekvensen vurderes å være skade på kulturlag i forbindelse med fundamentering av KL-master hovedsakelig på Torget, eller om løsning med flytende trau i Sandbrogaten ikke fungerer. Kategori 4.</p>	<p>Konsekvens Den alvorligste konsekvensen vurderes å være skade på kulturlag i forbindelse med fundamentering av KL-master. Kategori 2.</p>
<p>Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p>Risiko (S2, K4)</p>	<p>Risiko (S2, K2)</p>

6.7 Jernbaneteknikk

Dagalternativ	Tunnelalternativ
Beskrivelse av aktivitet Etablering av jernbaneteknikk langs traseen.	Beskrivelse av aktivitet Etablering av jernbaneteknikk langs traseen.
Identifiserte barrierer <ul style="list-style-type: none"> • Kompetanse på prosjektering • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen 	Identifiserte barrierer <ul style="list-style-type: none"> • Kompetanse på prosjektering • Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen
Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at jernbaneteknikkarbeidene medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Kategori 2.	Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at jernbaneteknikkarbeidene medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Kategori 2.
Konsekvens Det er ikke identifisert aktiviteter i forbindelse med jernbaneteknikkarbeidene som vurderes å kunne medføre setningsskader eller grunnvannsendring. Kategori 1.	Konsekvens Det er ikke identifisert aktiviteter i forbindelse med jernbaneteknikkarbeidene som vurderes å kunne medføre setningsskader eller grunnvannsendring. Kategori 1.
Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.	Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.
Risiko (S2, K1)	Risiko (S2, K1)

6.8 Bane i drift og tunnel i driftsfasen

Dagalternativ	Tunnelalternativ
<p>Beskrivelse av aktivitet Bane i drift vil gå gjennom sentrum, langs Torget og Bryggen, inn Sandbrogaten og inn i tunnel øverst i Sandbrogaten.</p> <p>Løsning for Sandbrogaten er traue som flyter oppå kulturlaget. Dette skal gi akseptable trykkbelastninger på kulturlaget.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet Bane i drift vil gå fra sentrum (Kaigaten), inn Christies gate, inn Allehelgens gate og inn i tunnel ved Heggebakken.</p> <p>Drift av tunnelen vil medføre overvåking av grunnvannsnivå og lekkasje inn i tunnel. Tilgjengelighet for å gjennomføre vedlikehold og eventuelle reparasjoner av utstyr og signalanlegg i tunnelen vil tilrettelegges for å opprettholde en pålitelig bane i driftsfasen.</p> <p>Risiko for endringer i grunnvannsstrømmer og grunnvannssenkning som følge av en tilnærmet 100% tett tunnel er også omtalt i kapittel 6.5.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korrekt design av anlegg • Overvåking 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korrekt design av anlegg og tunnel • Overvåking
<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at bane i drift medfører setningskader eller grunnvannssenkning. Rystelser fra Bybanen gir ikke større rystelser enn buss i dagen. Ny bane fundamenteres på dempematter.</p> <p>Sannsynlighet for at trauløsningen ikke fungerer og medfører skade på kulturlaget er vurdert til liten.</p> <p>Kategori 2.</p>	<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at bane i drift medfører direkte setningskader eller grunnvannssenkning. Rystelser fra Bybanen gir ikke større rystelser enn buss i dagen. Ny bane fundamenteres på dempematter.</p> <p>Vannlekkasjer i tunnelen kan oppstå i driftsfasen og må da tettes om lekkasjen er større enn tillatte verdier for å unngå grunnvannsendringer. Det er vurdert at sannsynlighet for at det oppstår lekkasje som ikke kan ivaretas er liten.</p> <p>Sannsynlighet for endringer i vannstrømmer er også omtalt i kapittel 6.5</p> <p>Kategori 2.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativ
<p>Konsekvens Skal kulturlag skades må trauløsning skades i driftsfasen. Oppstår skade på konstruksjonen kan trykkforhold mot kulturlag endres, og skader kan oppstå.</p> <p>Kulturlaget er kategorisert til å ha høy verdi og skader er derfor vurdert til å kunne bli svært alvorlig om de oppstår.</p> <p>Potensielle skader på kulturlag er det vurdert til kategori 4.</p>	<p>Konsekvens Støy og vibrasjoner er vurdert til å kunne gi mindre skader. Om lekkasje oppstår så kan større kritiske skader oppstå som følge av grunnvannsendringer. Det er etablert infiltrasjonsbrønner ved Bryggen som vil ha konsekvensreduserende effekt om grunnvannsendringer blir identifisert.</p> <p>Om tunellen gjøres tilnærmet 100 % vanntett kan det oppstå endringer i vannstrømmer som igjen medfører endringer i grunnvannsnivå. I vurderingen av konsekvens er påvirkninger fra endringer i grunnvannsstrømmer viktigst årsak til at alvorlige konsekvenser kan oppstå.</p> <p>Konsekvenser av endringer i vannstrømmer er også omtalt i kapittel 6.5.</p> <p>Kategori 4.</p>
<p>Identifiserte tiltak Overvåking av traui i Sandbrogaten slik at skader ikke oppstår på kulturlag under traui.</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p>Risiko (S2, K4)</p>	<p>Risiko (S2, K4)</p>

6.9 Utbygging av eksisterende infrastruktur

Dagalternativ	Tunnelalternativ
<p>Beskrivelse av aktivitet Utbygging av eksisterende infrastruktur langs traseen.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet Utbygging av eksisterende infrastruktur langs traseen.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelse grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forundersøkelse grunn • Forundersøkelser arkeologi • Kompetanse på prosjektering
<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at utbygging av eksisterende infrastruktur medfører setningsskader eller grunnvannssenkning.</p> <p>Infrastruktur i Sandbrogaten legges tett inntil eksisterende bygg for å hindre skade på kulturlag. Grunn nært eksisterende bygg består av "ny" grunn.</p> <p>Kategori 2.</p>	<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at utbygging av eksisterende infrastruktur medfører setningsskader eller grunnvannssenkning.</p> <p>Lekkasje inn i etablerte groper kan oppstå og medføre grunnvannsendringer, spesielt i områder med varige spuntvegger.</p> <p>Kategori 2.</p>
<p>Konsekvens Mest alvorlige konsekvens vurderes å være skade på kulturlag.</p> <p>Kategori 2.</p>	<p>Konsekvens Mest alvorlige konsekvens vurderes å være skade på kulturlag, men dette er ikke forventet der infrastruktur må byttes ut (Heggebakken).</p> <p>Dersom grunnvannsendringer oppstår, vil lokale setningsskader kunne oppstå.</p> <p>Kategori 3.</p>
<p>Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak Infiltrasjonsbrønner</p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>

Dagalternativ	Tunnelalternativ
Risiko (S2, K2)	Risiko (S2, K3)

6.10 Trafikkomlegging

Dagalternativ	Tunnelalternativ
<p>Beskrivelse av aktivitet Dagens bil- og busstrafikk langs Bryggen flyttes til Øvregaten. Bybanen vil gå langs Bryggen. Trafikken i Øvregaten vil ikke øke vesentlig i forhold til dagens situasjon.</p>	<p>Beskrivelse av aktivitet Dagens biltrafikk flyttes til Øvregaten. Busstrafikk langs Bryggen. Bybanen vil gå i tunnel. Trafikken i Øvregaten vil ikke øke vesentlig i forhold til dagens situasjon.</p>
<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> Ingen risikoreduserende tiltak er beskrevet 	<p>Identifiserte barrierer</p> <ul style="list-style-type: none"> Ingen risikoreduserende tiltak er beskrevet
<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at trafikkomlegging til Øvregaten medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Kategori 2.</p>	<p>Sannsynlighet Det er lite sannsynlig at trafikkomlegging til Øvregaten medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Kategori 2.</p>
<p>Konsekvens Mest alvorlige konsekvens vurderes å være setningsskader i Øvregaten. Kategori 2.</p>	<p>Konsekvens Mest alvorlige konsekvens vurderes å være setningsskader i Øvregaten. Kategori 2.</p>
<p>Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>	<p>Identifiserte tiltak I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
Risiko(S2, K2)	Risiko (S2, K2)

6.11 Risikomatrise

I foregående kapittel er sannsynlighet for uønsket hendelse og konsekvens av disse beskrevet.

Nedenfor er risiko for dagalternativet (D) og tunnelalternativet (T) plottet inn i risikomatrisen. Anleggsaktiviteter og drift an bane og tunnel som kan medføre grunnvannsendringer / setninger som er plottet i risikomatrisen:

1. Spunting
2. Boring / graving / arbeider i kulturlag i dagsone
3. Tunnelportalarbeider
4. Tunnelarbeider
5. Underbygning
6. Jernbaneteknikk
7. Bane i drift og tunnel i driftsfasen
8. Utbygging av infrastruktur
9. Trafikkomlegging

Tabell 6-1 Risikomatrise – risiko for grunnvannsendring eller setningsskader

SANNSYNLIGHET	KONSEKVENNS				
	1. Ingen skade (Ufarlig)	2. Mindre skader (Farlig)	3. Større skader (Kritisk)	4. Alvorlig skader (Meget kritisk)	5. Irreversible skader (Katastrofalt)
5. Meget sannsynlig					
4. Sannsynlig					
3. "As-likely-as-not"			T2	T1, T3	T4
2. Lite sannsynlig	D6, T6	T5, D8, D9, T9	D4, T8	D1, D2, D3, D5, D7, T7	
1. Svært lite sannsynlig					

Dagalternativ

For dagalternativet er det identifisert fem aktiviteter i gult risikonivå, dvs. akseptabel risiko hvor risikoreduserende tiltak skal vurderes:

- Spunting langs Bryggen
- Boring, graving eller arbeider i umiddelbar nærhet av kulturlag i Sandbrogaten
- Tunnelportal i øvre del av Sandbrogaten
- Fundamentering av KL-master langs Bryggen
- Bane over kulturlag i Sandbrogaten (trau-løsning)

Risikoreduserende tiltak må videreutvikles, spesielt i forhold til mulige skader på kulturmiljøet i Sandbrogaten

Tunnelalternativ

For tunnelalternativet er det identifisert to aktiviteter i gult nivå og tre aktiviteter i rødt risikonivå, dvs. uakseptabel risiko hvor risikoreduserende tiltak er nødvendig:

- Gult nivå:
 - Spunting ved innganger og tunnelportal
 - Endringer av vannstrømmer pga tilnærmet vanntett ferdig tunnel
- Rødt nivå:
 - Spunting i tunnelportal og to tunnelinnganger
 - Sprengning og graving for etablering av tunnelportal og innganger
 - Tunnelsprengning

Manglende grunnundersøkelser, usikkerhet i tunnelarbeidets påvirkning på grunnvannsnivå, og tunnelens plassering under grunnvannsnivå gir de største bidragene til at risiko er vurdert til å være uakseptabelt høyt i tunnelalternativet.

7 Konklusjon og anbefaling

7.1 Konklusjon og anbefaling

Det er utført en kvalitativ vurdering av risiko for skader på kulturmiljøet for dagalternativet og tunnelalternativet. Vurderingene bygger på samtaler med fageksperter, felles analysemøte gjennomført under ledelse av Norconsult og vurderinger i risikoanalyseteamet.

Risikoanalysen har identifisert hvilke barrierer som er etablert eller vil bli etablert i prosjektet for å hindre uønskede skader. Barrierene vil påvirke et mulig uønsket hendelsesforløp. Risikonivå for skade på kulturmiljø vil være påvirket av hvor robuste disse barrierene er.

Analysen er begrenset til:

- Anleggsaktiviteter eller driftsaktiviteter av bane og tunnel som kan medføre grunnvannsendringer eller setninger som igjen kan medføre skade på kulturmiljø.

For dagalternativet er det identifisert fem aktiviteter i gult risikonivå, dvs. akseptabel risiko hvor risikoreduserende tiltak skal vurderes:

- Spunting langs Bryggen
- Boring, graving eller arbeider i umiddelbar nærhet av kulturlag i Sandbrogaten
- Tunnelportal i øvre del av Sandbrogaten
- Fundamentering av KL-master langs Bryggen
- Bane over kulturlag i Sandbrogaten (trau-løsning)

For tunnelalternativet er det identifisert to aktiviteter i gult nivå og tre aktiviteter i rødt risikonivå, dvs. uakseptabel risiko hvor risikoreduserende tiltak er nødvendig:

- Gult nivå:
 - Spunting ved tunnelinnganger og tunnelportal
 - Endringer av vannstrømmer i driftsfasen
- Rødt nivå:
 - Spunting i tunnelportal og tunnelinnganger
 - Sprengning og graving for etablering av tunnelportal og tunnelinnganger
 - Tunnelsprengning

Manglende grunnundersøkelser, usikkerhet i tunnelarbeidets påvirkning på grunnvannsnivå, og tunnelens plassering under grunnvannsnivå gir de største bidragene til at risiko er vurdert til å være uakseptabelt høyt i tunnelalternativet.

Risikovurderingene viser at dagalternativet har et lavere risikonivå med hensyn til og skade på kulturmiljøet enn tunnelalternativet.

Det forventes at tunnelalternativet kan gjennomføres ved aktiv risikostyring og -håndtering, og ved at ytterligere risikoreduserende tiltak identifiseres. Men vurderingene som er gjort i denne analysen viser at tunnelalternativet innebærer en signifikant usikkerhet i forhold til om grunnvannsnivået påvirkes.

Dersom tunnelalternativet velges, må det også forventes stor usikkerhet i framdrift og kostnader for å sikre ivaretagelse av grunnvannsforhold. Permanente systemer for kontroll på grunnvannsnivået kan bli et nødvendig risikoreduserende tiltak om tunnelalternativet velges.

Velges dagalternativet vil ytterligere risikoreduserende tiltak videreutvikles, spesielt i forhold til mulige skader på kulturmiljøet i Sandbrogaten.

Anbefaling:

Uansett alternativ som velges for videre planlegging og prosjektering, må alle relevante barrierer for valgt alternativ ivaretas og risikoreduserende tiltak iverksettes. Det forutsettes også at anleggsaktivitetene og driftsfasen følges opp gjennom et tydelig system for proaktiv risikostyring.

Vår anbefaling er at for å finne gode og akseptable løsninger må løsninger utvikles og gjennomføres i fellesskap gjennom å kombinere kunnskap om kulturmiljøforvaltning, anleggsteknikk, ingeniørgeologi og hydrogeologi.

7.2 Vurdering av usikkerhet i analysens resultater

Denne analysen har lagt til grunn eksisterende dokumenter og kunnskap om prosjektet. Dersom dette kunnskapsgrunnlaget endres kan det medføre at de vurderinger som er gjort i analysen ikke lenger er gyldige, og en revisjon av analysen bør da vurderes.

Analysen bygger på kunnskap og erfaring fra deltakere i formøter og analysemøter. Manglende kunnskap om årsaker, sannsynlighet for hendelser eller konsekvenser av hendelser hos deltakere og risikoanalyseteam kan derfor medføre at relevante risiko ikke er identifisert eller omtalt, og vurderingene vil derfor medføre en viss grad av usikkerhet.

8 Referanser

- 1 Bybanen til Åsane – BT5. Reguleringsplan med teknisk forprosjekt. RA-DS0-007, 31.10.20, Norconsult/ Asplan viak
- 2 Oppsummering av skissefasen for tunnelalternativet gjennom sentrum. RA-DST-001, 29.06.21, Norconsult / Aslan viak
- 3 PRELIMINARY REPORT – Heritage Impact Assessment of the planned Bybanen Light-Rail Extension on the World Heritage Property Bryggen, Bergen – michael kloos planning and heritage consultancy, datert 16. oktober 2020
- 4 NS 5814:2021 Krav til risikovurderinger, 2021, Standard Norge
- 5 NS-ISO 31000-2018, Norsk Standard Risikostyring – retningslinjer
- 6 Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging, 2017, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
- 7 <https://www.ngi.no/Prosjekter/BegrensSkade-II-REMEDY-Risk-Reduction-of-Groundwork-Damage>