



## Reguleringsplan og teknisk forprosjekt

BYBANEN OG HOVEDSYKKELROUTE  
FRA SENTRUM TIL ÅSANE,  
MED FORLENGELSE AV FLØYFJELLTUNNELEN

## Detaljreguleringsplan

Delstrekning 1, Kaigaten - Sandbrogaten

Planid 65800000

# Risikoanalyse – Risiko for skade på kulturmiljø, kulturminner, bygg eller infrastruktur

# Forord

Denne rapporten er utarbeidet som del av planarbeid for *Bybanen og hovedsykkelrute fra sentrum til Åsane, med forlengelse av Fløyfjelltunnelen*.

Rapporten beskriver risiko for skade på kulturminner og kulturmiljø som følge av anleggsvirksomhet og drift av Bybanen med hovedsykkelrute i planforslaget for delstrekning 1 Kaigaten – Sandbrogaten, Planid 65800000. Tidligere er to alternative løsninger vurdert, dagløsning langs Bryggen og tunnelløsning i fjell bak Bryggen. Vurderingene ble presentert i rapporten "Risikoanalyse tunnelalternativ og dagalternativ – Risiko for skade på kulturmiljø, kulturminner, bygg eller infrastruktur", Norconsult/Asplan Viak, datert 30.09.21.

Dokumentet må sees i sammenheng med andre dokumenter som er utarbeidet i det tekniske forprosjektet og som omtaler løsningen.

Bergen  
2022-09-28

02J	Risikoanalyse kulturmiljø, kulturminner, bygg og infrastruktur	28.09.2022	KARING	GAD	IOV	IOV
01D	Til kommentering fra partnere og oppdragsgiver	15.09.2022	KARING	GAD	OLNOT NIDYB STIMAT IOV EIHAL	IOV
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.

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>4</b>
1.1 Bakgrunn og mål for analysen .....	4
1.2 Sentrale referansedokument .....	4
1.3 Begreper og forkortelser .....	5
<b>2 Beskrivelse av analyseobjekt</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Metode</b> .....	<b>9</b>
3.1 Innledning.....	9
3.2 Kvalitativ risikoanalyse .....	11
3.3 Bruk av Bow-tie modell (sløyfemodell) .....	13
3.4 Risikoreducerende tiltak.....	15
<b>4 Fareidentifikasjon</b> .....	<b>16</b>
4.1 Innledning.....	16
4.2 Farer i anleggs- og driftsfasen .....	19
<b>5 Risikoanalyse</b> .....	<b>21</b>
5.1 Innledning.....	21
5.2 Spunting.....	23
5.3 Boring eller graving i nærhet av kulturlag .....	26
5.4 Utskifting av infrastruktur Torget til Kaigaten.....	28
5.5 Tunnelportalarbeider .....	30
5.6 Tunnelarbeid – tunnelsprengning .....	32
5.7 Underbygning (Bane).....	34
5.8 Jernbaneteknikk .....	35
5.9 Bane i drift .....	36
5.10 Trafikkomlegging .....	37
5.11 Risikomatrise .....	38
<b>6 Konklusjon og anbefaling</b> .....	<b>39</b>
6.1 Konklusjon og anbefaling .....	39
6.2 Vurdering av usikkerhet i analysens resultater .....	40
<b>7 Referanser</b> .....	<b>41</b>

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og mål for analysen

Risikoanalysen utgitt i 2021 vurderte to alternative løsninger for banen gjennom sentrum, et dagalternativ og et tunnelalternativ (Ref./7/). Risikoanalyserapporten var en av flere rapporter som danner beslutningsgrunnlag for endelig valg av løsning for bane gjennom sentrum.

I risikoanalysen fra 2021 ble det identifisert fem aktiviteter i gult risikonivå, dvs. en akseptabel risiko, men hvor risikoreduserende tiltak skal vurderes. Tiltak ble beskrevet i risikoanalysen. De forhold som ble identifisert i gult risikonivå er:

- i. Spunting langs Bryggen
- ii. Boring, graving eller arbeider i umiddelbar nærhet av kulturlag i Sandbrogaten
- iii. Tunnelportal i øvre del av Sandbrogaten
- iv. Fundamentering av KL-master langs Bryggen (*KL langs Bryggen utgår*)
- v. Bane over kulturlag i Sandbrogaten

Gjennom våren 2022 har Norconsult/Asplan Viak (NOAV) i samarbeid med oppdragsgiver og relevante fagmiljøer oppdatert beskrivelsene av anleggsgjennomføringen og endelig løsning. Disse beskrivelsene danner grunnlag for en ny risikoanalyse.

Mål for denne risikoanalysen:

- Oppdatere beskrivelsen av risikoforhold basert på ny informasjon
- Beskrive hvordan prosjektet kan sikre kontroll på risikoforhold
- Beskrive risikonivå gjennom bruk av en risikomatrise
- Sikre involvering av relevante fageksperter og fagmiljø

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

## 1.2 Sentrale referansedokument

Følgende dokumenter gir detaljerte beskrivelser av reguleringsplanen sine løsninger:

- DS1 – Oppfølging av KUVAs anbefalinger for anleggsfase Bryggen (ref. /1/)
- DS1 – Hydrogeologi og kulturlag (ref. /8/)
- DS1 – Kryssing av jernbanetunnel til Koengen – Vurderinger og konsekvenser, datert 2022-03-29, dokument NO-DS1-029 (ref./9/)
- Støyberegninger for Bergen sentrum DS1, datert 2021-06-18, dokumentnummer NO-DS1-015 (ref./10/)

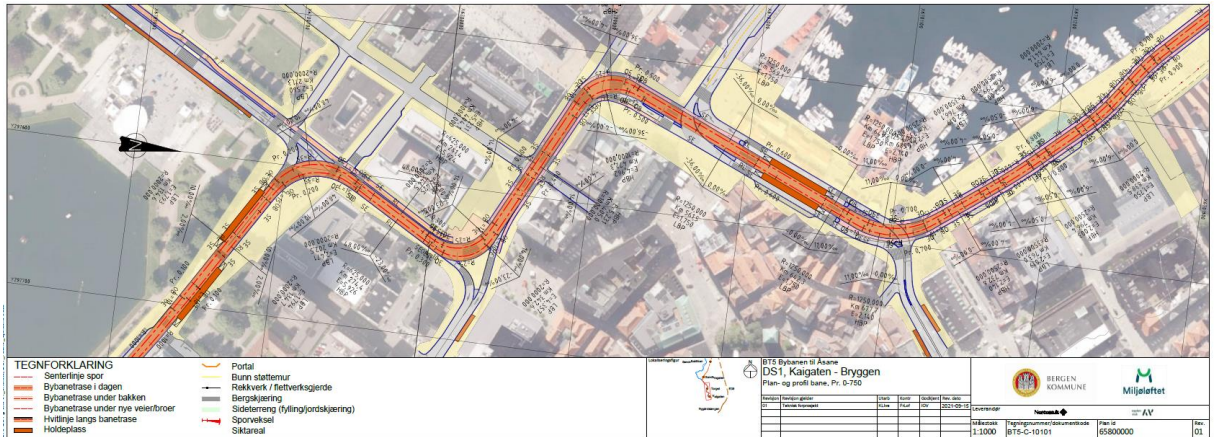
## 1.3 Begreper og forkortelser

Tabell 1-1. Begrep og forkortelser

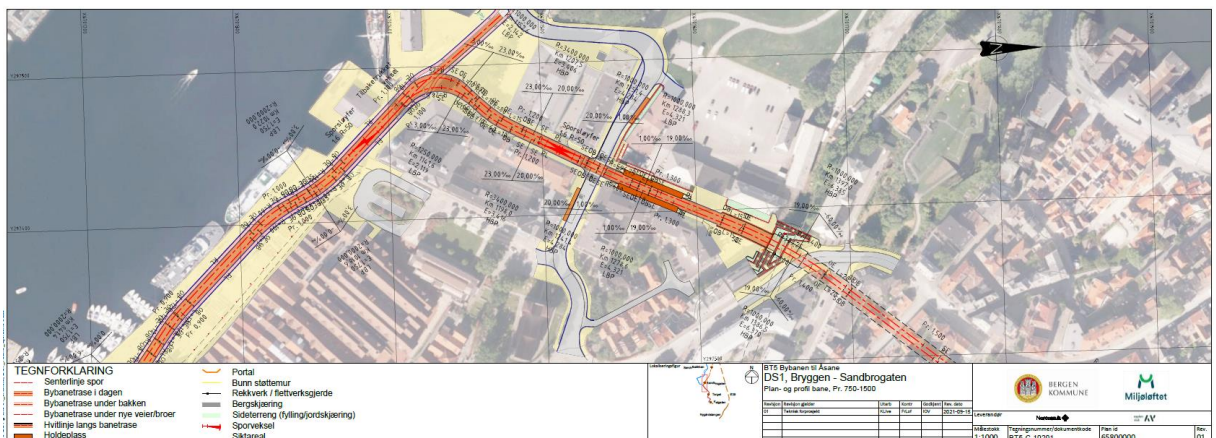
Uttrykk	Beskrivelse
BowTie (Sløyfemodell)	Grafisk presentasjon av mulig hendelsesforløp. Utfyllende beskrivelse er gitt i vedlegg A til NS 5814 (Ref. /3/)
BT5	Byggetrinn 5 Bybanen i Bergen
DS1	Delstrekning 1 av byggetrinn 5
KL	Kjøreledning for Bybanen (strømledning over banelegeme)
Konsekvens	Mulig følge 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.
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. <a href="#">Lov om kulturminner [kulturminneloven] - Lovdata</a>
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 enn reformasjonen er automatisk fredet. Yngre kulturlag kan ha verneverdi. Organiske kulturlag, som er vanlige i middelalderbyer, er avhengige av anaerobe bevaringsforhold, f. eks under grunnvannsnivå. Ved tilførsel av oksygen kan lagene gå i forråtnelse og komprimeres.
KUVA (HIA)	Konsekvensutredning for verdensarven (Heritage Impact Assessment on the World Heritage) I denne sammenhengen for verdensarvstedet Bryggen.
NIKU	Norsk Institutt for kulturminneforskning
NOAV	Konsulentteamet Norconsult og Asplan Viak
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 konsekvensreducerende tiltak.
Sannsynlighet	I hvilken grad det er trolig at en hendelse vil kunne inntreffe.
VA	Infrastruktur vann og avløp

## 2 Beskrivelse av analyseobjekt

Risikoanalysen omfatter strekningen fra Kaigaten til og med første del av tunnel fra Sandbrogaten, se Figur 2-1 og Figur 2-2. Detaljerte tegninger og skisser av strekningen og av anleggsaktiviteter er vist i vedlegg B.



Figur 2-1 DS1, Kaigaten - Bryggen



Figur 2-2 DS1, Bryggen - Sandbrogaten

Reguleringsplanen sitt forslag kort oppsummert:

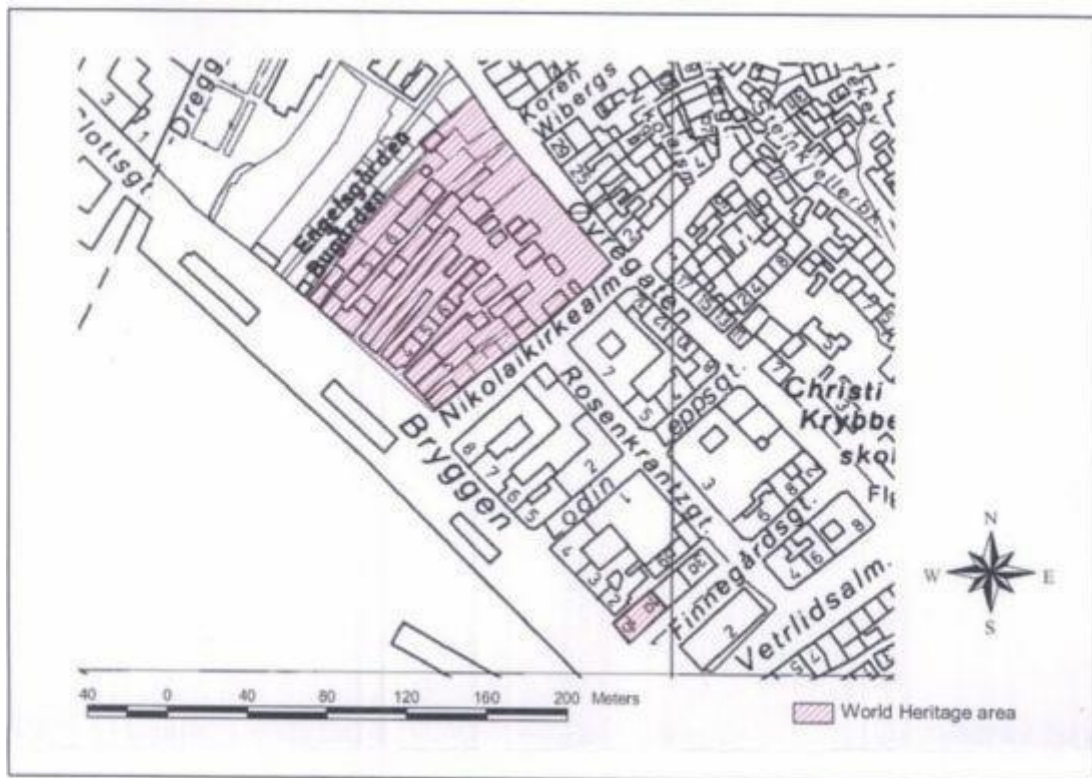
- 1390 meter bane i dagen gjennom sentrum
- 660 meter tunnel fra Sandbrogaten til Sandvikskirken holdeplass
- Holdeplasser i dagen – Kaigaten ved Gulating, Torget og Sandbrogaten

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





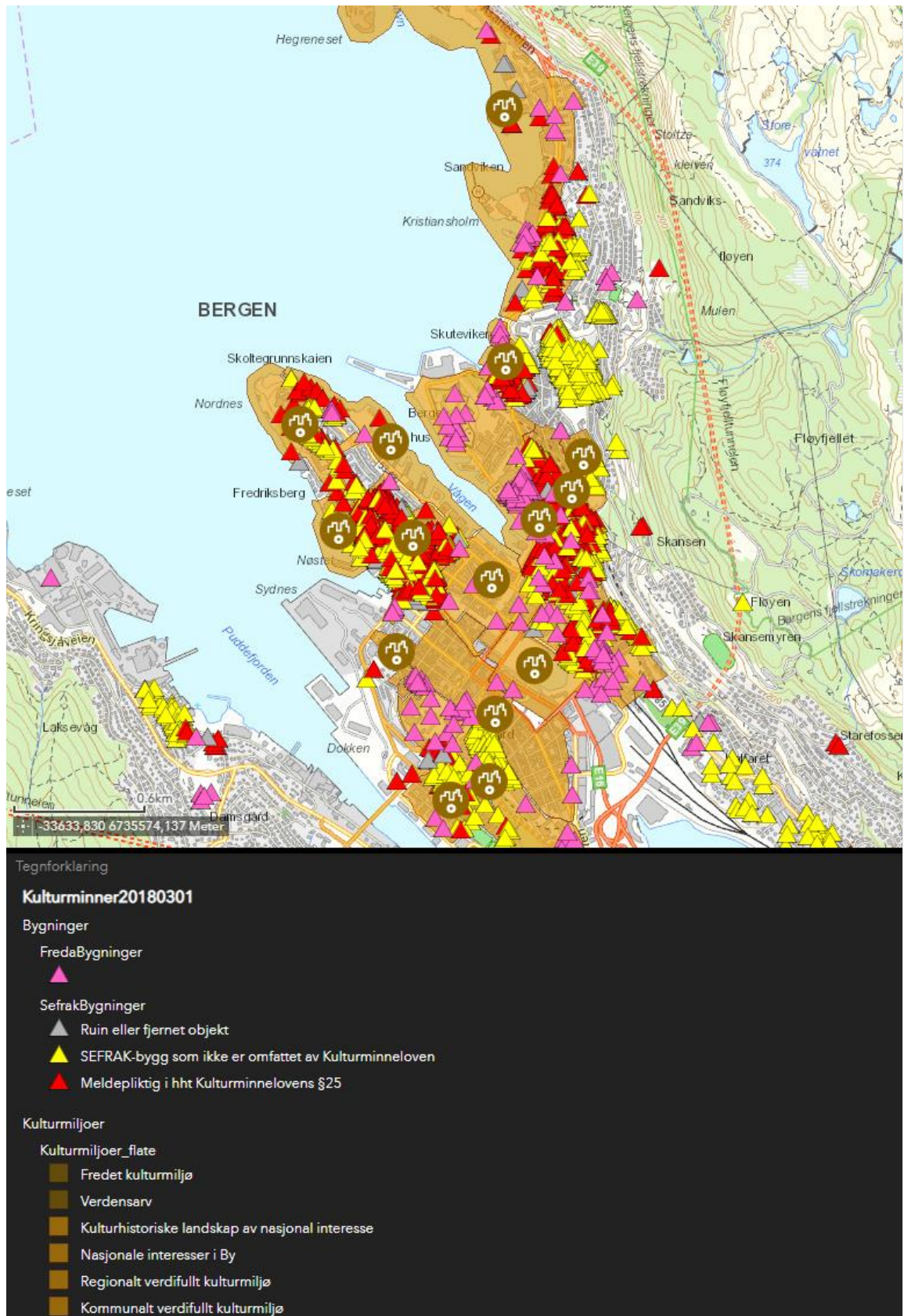
Figur 2-3 Verdensarvområdet Bryggen (Ref. /2/)



Figur 2-4 Verdensarvstedet Bryggen markert med rødt (Bilde: Byantikvaren)



Kulturminner er beskrevet i Riksantikvarens database, se Figur 2-5.



Figur 2-5 Utsnitt fra Riksantikvarens karttjeneste – område hvor kulturminner og kulturmiljø kan påvirkes (<https://riksantikvaren.maps.arcgis.com/>)



### 3 Metode

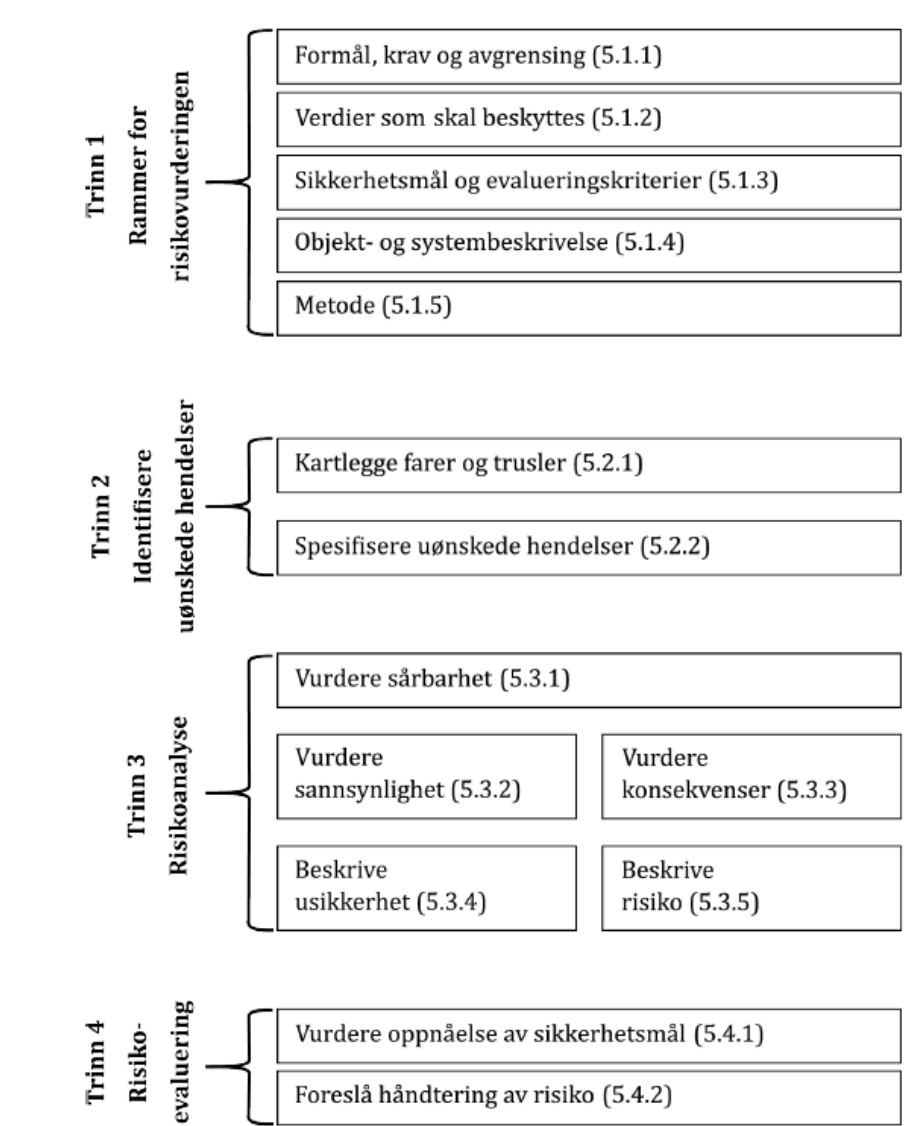
#### 1.4 Innledning

##### 1.4.1 Arbeidsprosess for risikoanalyse

NS 5814:2021 – Krav til risikovurderinger (Ref. /3/) 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. /4/)
- Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging (ref./5/)
- F&U prosjektet REMEDY (ref. /6/)
- Involvering av fagkompetanse og fagmiljøer, se møtedeltakelse



#### **1.4.2 Rammer for risikovurderingen**

Formål med analysen er beskrevet i kapittel 1.1.

Følgende forutsetninger og avgrensninger er gjeldende for denne analysen:

- Analysen er en overordnet og kvalitativ grovanalyse.
- Analysen omfatter farer for skader på kulturminner og 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 kulturminner og kulturmiljø (inkludert verdensarvstedet Bryggen), bygg og/eller infrastruktur. En skal både se på anleggsperioden og på driftsperioden.
- Beskrive hvordan anleggsaktiviteter kan ha negativ påvirkning på strekningen Kaigaten til tunnel fra Sandbrogaten.
- Beskrive tiltak som reduserer sannsynlighet for negativ påvirkning og/eller konsekvens.
- Kvantifisere risiko for skade på kulturminner og kulturmiljø (risikomatrise).

#### **1.4.3 Fareidentifikasjon – identifikasjon av uønskede hendelser**

Fareidentifikasjon i denne rapporten tar utgangspunkt i de farer som ble beskrevet i risikoanalysen fra 2021 (Ref./7/) samt fareidentifikasjon og diskusjoner i analyse møte 6. september 2022. Deltakere er listet i Tabell 3-1.

I rapporten fra 2021 ble problemstillinger og diskusjonspunkter beskrevet. De viktigste punktene som ble diskutert er:

- Kontroll på antikvariske verdier?
- Definere sannsynlighetsklasser og konsekvensklasser
- Beskrivelse av restrisikoforhold og risikoreduserende 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
  - Kulturminner og kulturmiljø
  - Riksantikvar og Byantikvar
  - Bergen kommune og Vestland fylkeskommune
  - Anleggsgjennomføring
  - Prosjektkunnskap
  - Driftserfaring
- Er grunnforhold mer utfordrende her enn andre steder?
- Er kulturminner og kulturmiljø, bygg eller infrastruktur mer sårbare her enn andre steder?

Tabell 3-1. Deltagere<sup>1</sup> i analyse møte 6. september 2022.

Navn	Representerer	Rolle
Johanne Gillow	BK, Byantikvaren	Byantikvar
Solveig Mathiesen	BK, PBE	Prosjektleder Bybanen
Katri Lisitzin	KUVA	Observatør
Hans de Beer	NGU	Forsker/konsulent hydrogeologi
Rory Dunlop	NIKU	Konsulent arkeologi
Nina Dybwad	NOAV	DS1-leder
Eivind Halvorsen	NOAV	Hydrogeolog
Gro Aanesland Dahle	NOAV	Risikoanalyse
Karl Ove Ingebrigtsen	NOAV	Risikoanalyse
Ole-Magne Nøttveit	NOAV	Fagansvarlig kulturminner, arkeolog
Stian Femanger Mathiassen	NOAV	Ingeniørgeolog
Ivar Øvretvedt	NOAV	Oppdragsleder
Jarle Hovland	VLFK, BU	Prosjektleder Mindemyren
Ole Wilhelm Mortensen	VLFK, BU	Anleggsgjennomføring / kontrakt
Marit Aase	BK, Bergen Vann	Vann- og avløpsanlegg

## 1.5 Kvalitativ risikoanalyse

### 1.5.1 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 3-2 Sannsynlighets kategorier

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

<sup>1</sup> VLFK/Riksantikvar var invitert, men meldte forfall

### 1.5.2 Kategorisering av konsekvenser

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

- Alvorlighetsgrad på skade på kulturminner og 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 3-3 Konsekvenskategorier

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

### 1.5.3 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:

<b>GRØNN</b>	Akseptabel risiko - risikoreduserende tiltak er ikke nødvendig, men bør vurderes
<b>GUL</b>	Akseptabel risiko - risikoreduserende tiltak skal vurderes



**RØD**

Uakseptabel risiko - risikoreduserende tiltak er nødvendig

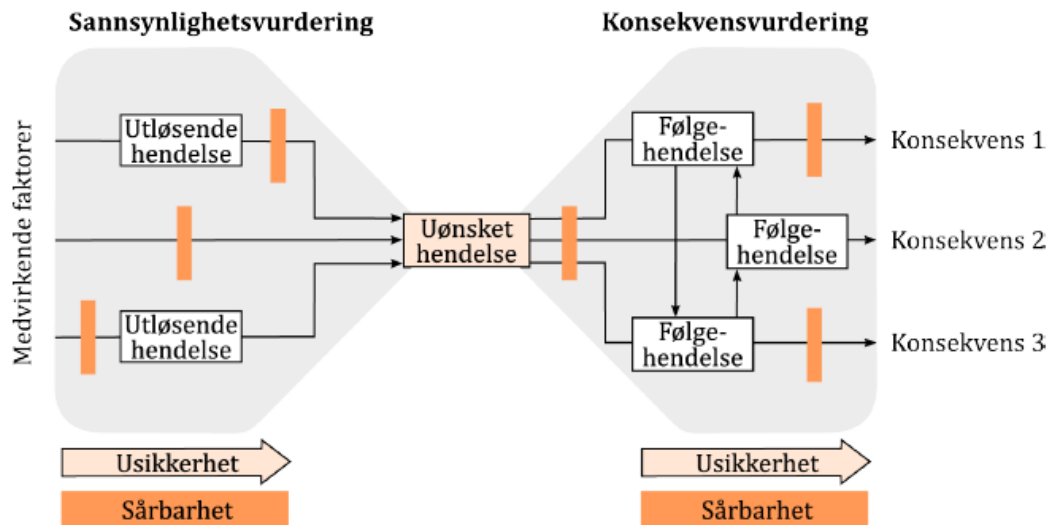
Akseptkriteriene for risiko er gitt av de fargede sonene i risikomatrisen nedenfor.

Tabell 3-4 Risikomatrise

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	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
4. Sannsynlig	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
3. "As-likely-as-not"	Green	Green	Yellow	Red	Red
2. Lite sannsynlig	Green	Green	Green	Yellow	Red
1. Svært lite sannsynlig	Green	Green	Green	Yellow	Red

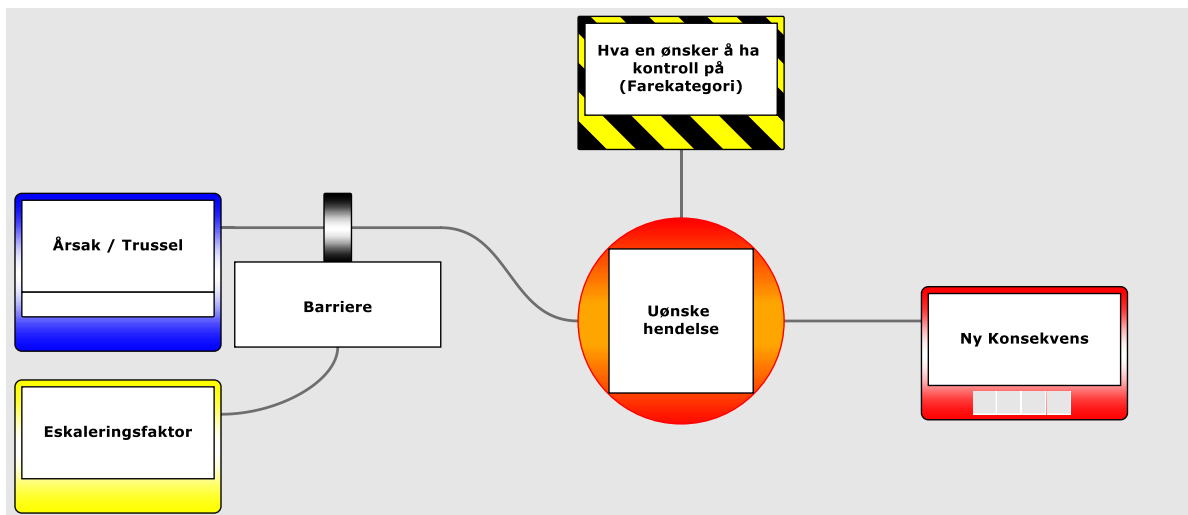
## 1.6 Bruk av Bow-tie modell (sløyfemodell)

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 3-1 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 3-2 Generisk BowTie modell

I bow-tie analysen er følgende definisjoner benyttet:

- Farekategori
  - Aktivitet, funksjon, prosess, utstyr eller system som man trenger for verdiskaping.
  - 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/>.

## 1.7 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.

## 4 Fareidentifikasjon

### 1.8 Innledning

Denne analysen tar utgangspunkt i tidligere utført risikoanalyse der Dagalternativ og Tunnelalternativ ble vurdert (Ref./7/). Ny informasjon om metoder og løsninger for anleggsgjennomføring og endelige baneløsning er tatt hensyn til i analysen og ble gjennomgått i analysemøtet, se kapittel 5 for detaljert beskrivelse av aktivitetene og farer.

Uønskede hendelser er som beskrevet i kapittel [Error! Reference source not found.](#), skade på kulturminner og kulturmiljø, bygg og/eller infrastruktur som følge av anleggsvirksomhet eller som følge av drift av det ferdige anlegget.

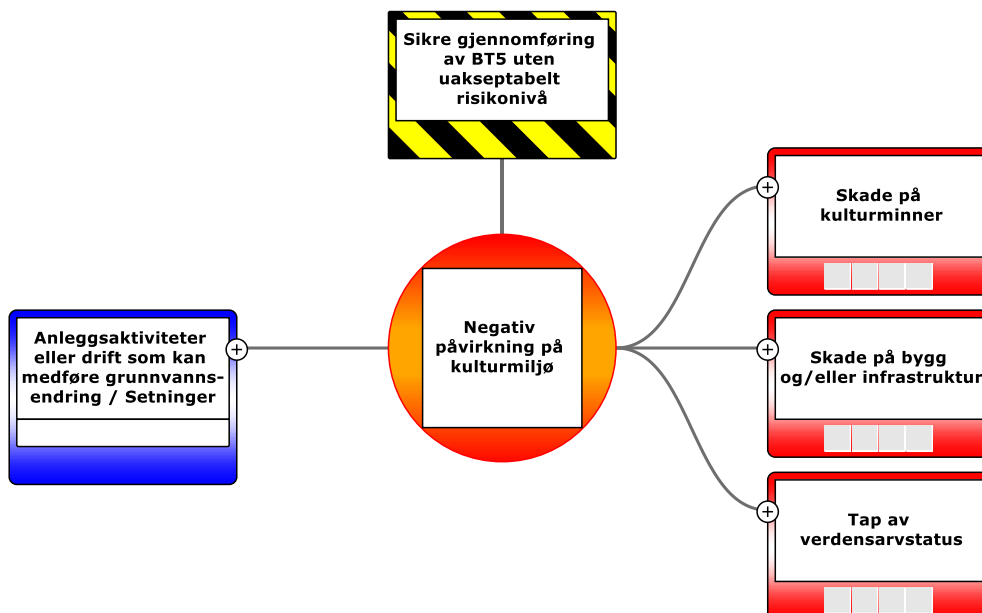
Analysen er avgrenset til å se på følgende årsaker til at skader kan oppstå:

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

I analysen er disse slått sammen til følgende årsak:

- Anleggsaktiviteter og/eller driftsaktiviteter som gir grunnvanssendringer eller setningsskader

Figur 4-1 viser sammenheng mellom årsaker til at skader kan oppstå og hvilke konsekvenser slike skader kan forårsake på kulturminner og kulturmiljø.



Figur 4-1 Overordnet BowTie som viser årsaker til negativ påvirkning på kulturminner og kulturmiljø og konsekvenser som er vurdert i denne analysen



Risikoanalysen fra 2021 presenterte barrierer som påvirker hendelsesforløp og årsaker til at barrierer kan svekkes og er benyttet i denne analysen også. Figur 4-2 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:

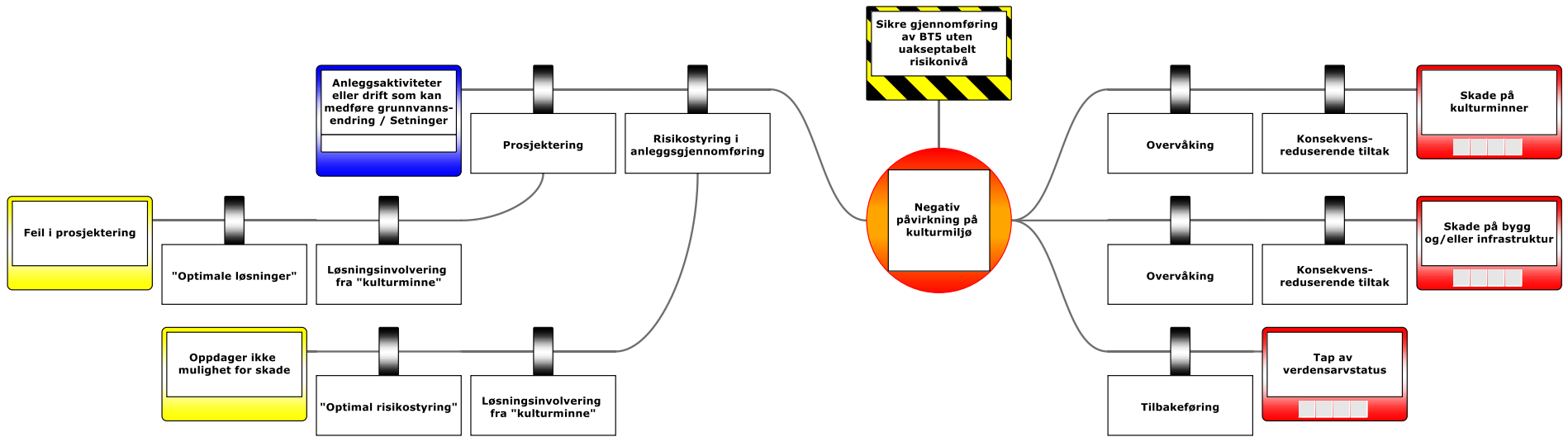
- Prosjektering – planlegging og gjennomføring av anleggsvirksomhet
  - Årsaken til feil prosjektering kan eksempelvis være utilstrekkelige grunnundersøkelser.
  - Tiltak (barrierer) for å hindre feilprosjektering kan være bruk av tidligere løsninger og prosjekterte løsninger i samarbeid med kulturminnefaglig 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 kulturminnefaglig 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

I analysemøte ble det ikke identifisert fundamentale nye barrierer, dvs Bow-Tie diagrammet som vist i Figur 4-2 er ikke endret i denne rapporten, se vedlegg A.

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



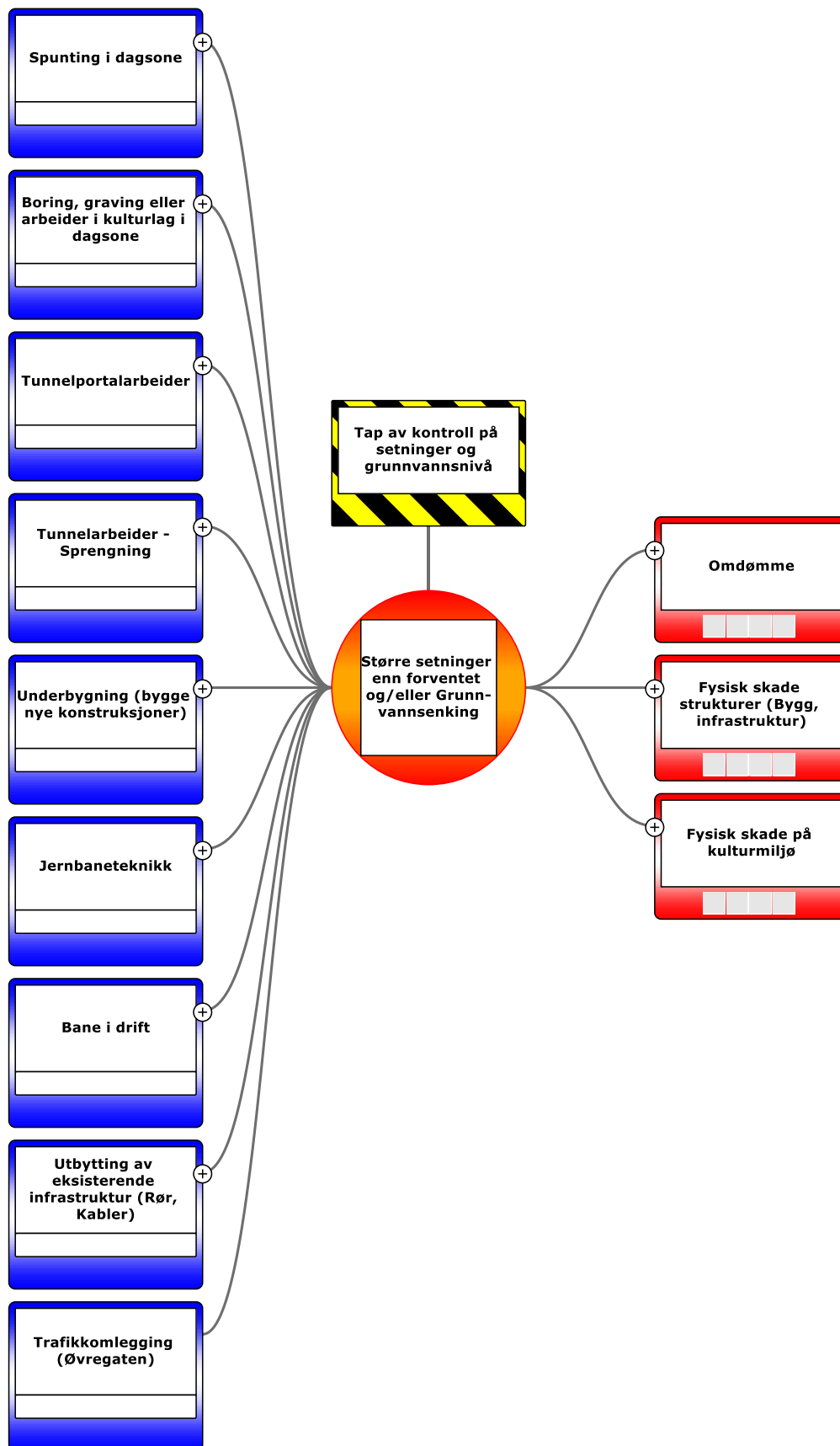
Figur 4-2 Detaljert BowTie overordnet nivå

## 1.9 Farer i anleggs- og driftsfasen

Analysemøtet startet med å diskutere om det er nye aktiviteter på overordnet nivå og som ikke ble dekket i risikoanalysen fra 2021. Ingen nye overordnede aktiviteter ble identifisert.

For å anlegge ny bane er det identifisert en rekke aktiviteter med potensial for endring av grunnvannsnivå eller setninger, som igjen kan gi uønskede skader på kulturminner og kulturmiljø og bygg/infrastruktur, se Figur 4-3. Disse aktiviteter gjelder både anleggsfasen og drift av bane.

- 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
  - Injeksjonskjerm
  - Midlertidige infiltrasjonsbrønner
- Tunnelarbeider
  - Forinjisering, bore, sprengning, tette
- Underbygning
  - Etablering av banelegeme over kulturlag
- Jernbaneteknikk
  - Etablering av spor, signal og KL
- Bane i drift
  - Vibrasjoner, støy, lekkasje av vann, endringer av vannstrømmer i fjell
- Utskifting av infrastruktur på strekningen Torget til Kaigaten
  - Se også spunting og graving
  - Arbeider i nærheten av kulturminner og kulturlag
- Trafikkomlegging
  - Endringer av trafikkmønster i anleggsperioden og i driftsperioden



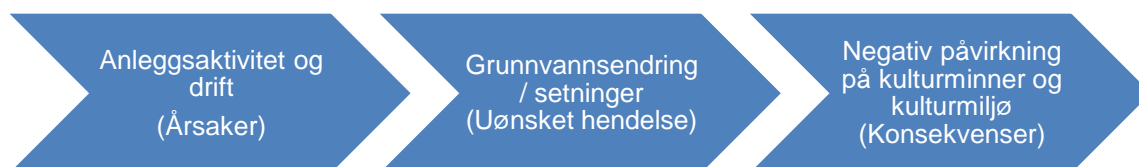
Figur 4-3 BowTie grunnvannsendring og/eller setningsskader som kan gi fysisk skader på kulturminner og kulturmiljø



# 5 Risikoanalyse

## 1.10 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 5-1.



Figur 5-1 Hendelsesforløp som er vurdert i analysen

Risiko som kvantifiseres i denne analysen er:

- Risiko for negativ påvirkning på kulturminner og 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 5-1.

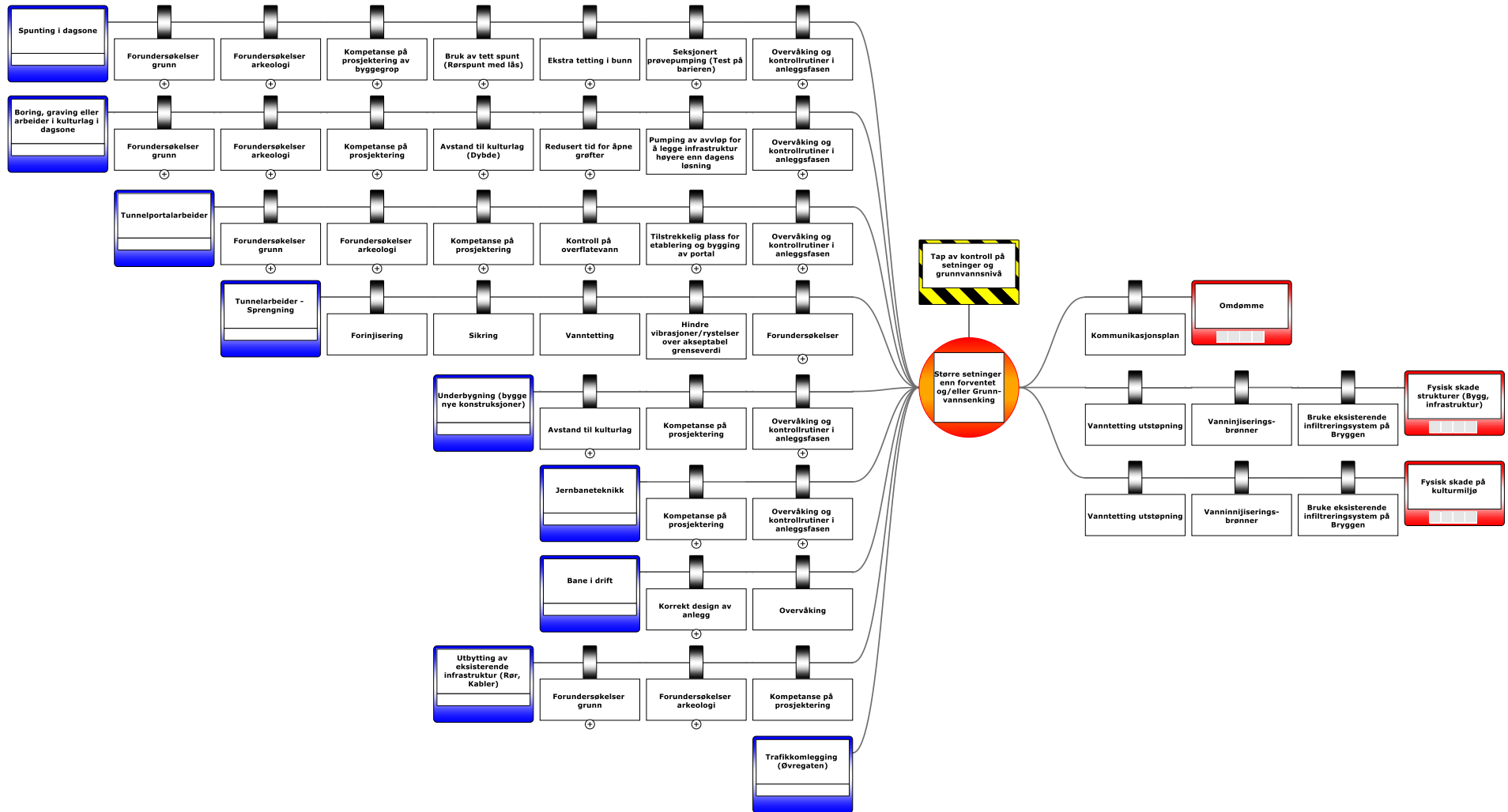
Konsekvenser kan på kort eller lengre sikt være:

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

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 5-2.

I de neste kapitler er alle årsaker (anleggsaktiviteter) beskrevet med tilhørende barrierer for dagalternativ. 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 5-2 BowTie med tilhørende barrierer

## 1.11 Spunting

### Spunting

#### Beskrivelse av aktivitet

Generell funksjon til rørspunt langs Bryggen er å sikre at det kan etableres en grøft for legging av ny infrastruktur langs Bryggen. Dybde på rørspunten varierer, med en maksimal forventet dybde på 14 meter, se vedlegg B. Dette vil gi en stabil spunt uten behov for forankringsstag. Dybde av grøft er 3 - 5 meter.

Spunten skal begrense grøftenes utbredelse generelt, men spesielt innover mot verdensarvstedet Bryggen og under Bybanens fundamentering, langs Skur 11 og ved Rundetårn. Spuntveggen etableres som tett spunt foran verdensarvstedet Bryggen (dette hindrer ikke vanngjennomstrømming under spunten), langs resten av strekningen etableres den som åpen spunt (med mellomrom mellom rørene).

Det legges til grunn bruk av rørspunt som bores ned, og ikke slås ned som vanlig spunt. Denne metoden er veldig skånsom for rystelser. Se eksempler vist i vedlegg B. Det etableres en våt grøft, mellom kaifront og spuntvegg, som innebærer at det ikke er behov for pumping. Videre vil grøften bare være åpen i relativt korte strekk over kort tid om gangen (tilsvarende to rørlengder). Spuntveggen vil bli stående igjen permanent etter at aktiviteten er avsluttet. Dette er vurdert å ha en positiv effekt for bidrag til stabilt grunnvann på innsiden av veggen i permanent situasjon foran verdensarvstedet Bryggen. Den kappes da på et nærmere vurdert nivå under overflaten, og vil ikke bli synlig. Langs resten av strekningen vil det være mest gunstig å opprettholde dagens vanngjennomstrømming, en åpen spuntløsning vil bidra til dette (Hanseatisk museum har egen grunnvannssikring).

Spuntveggen står i sin helhet i nyere fyllmasser utenfor dagens vei og skur 11, men kan strekke seg ned i gammel sjøbunn. Den berører i dette området ikke automatisk fredede kulturlag. Spuntveggen kan komme i konflikt med eventuelle bevarte marine kulturlag som er vernet. Disse er trolig i stor grad fjernet gjennom omfattende mudring (sommerens boreprøver ser ut til å bekrefte dette).

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.

Planlagte løsning vil hindre setningsskader da vann ikke skal pumpes ut i anleggsfasen slik at grunnvannsnivå endres (åpen løsning for vanngjennomstrømming). Korte perioder (timer) kan pumping være nødvendig, men vil ikke være av slik varighet at setningsskader kan oppstå.

Den åpne spunten vil derfor ikke påvirke grunnvannsnivå i kjellere langs Bryggen da grunnvannet vil strømme gjennom. Langs lukket spunt ved Bryggen vil eksisterende og planlagte dreneringsløsninger måtte sikre at grunnvannsnivået ikke staves opp.

Rørspunt er tidligere benyttet av BU, eks ved Mindemyren, se vedlegg B. BU har ikke erfart spesielle problemer med bruk av denne type spunt.

## Spunting

Langs Torget er det hovedsakelig etterreformatoriske masser som følge av utfylling etter 1702-brannen. Her er det imidlertid større potensial for marine kulturlag.

Ved Rundetårn er det smalt tverrsnitt, se vedlegg B

### Identifiserte barrierer

- Forundersøkelser grunn
- Forundersøkelser arkeologi (Det er gjennomført nye undersøkelser som vil ble rapportert høsten 2022)
- Kompetanse på prosjektering av byggegrop
- Bruk av rørsput med lås
- Gjennomstrømming av vann for å hindre endring i grunnvannsnivå
- Skal ikke pumpe bort vann, eventuelt kun i korte perioder på korte strekninger under overvåking
- Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen

Se eget notat Ref. /8/ DS1 – Hydrologi og kulturlag for mer informasjon

### Sannsynlighet

Bruk av en rørsput er en god barriere som reduserer sannsynligheten for at man får grunnvannsendring, og minimerer rystelser ved montering.

De nyere fyllmassene i front av bryggekannten er svært permeable, og bidrar til at grunnvannsnivået er ustabil. Rørsputten/den permanente spuntveggen kan bidra til et økt eller mer stabilt grunnvannsnivå på innsiden. Dette kan medføre at kulturlagene får et mer stabilt grunnvannsinhold og vil være positivt for bevarelse av kulturlagene ved at nedbrytningsraten reduseres.

Forundersøkelser vil avdekke kulturlag og dybde og bidra til å redusere usikkerhet i anleggsgjennomføringen. Spuntveggen berører i dette området ikke automatisk fredede kulturlag, men spuntveggen kan komme i konflikt med eventuelle bevarte marine kulturlag som er vernet. Disse er trolig i stor grad fjernet gjennom omfattende mudring (sommerens boreprøver ser ut til å bekrefte dette). 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. Dessuten er grøften bare åpen i relativt korte strekk over kort tid. Det skal ikke pumpes bort vann (evt. kun i korte perioder), dette er også med på å redusere faren for setninger som følge av endringer i grunnvannsnivå.

Generelt har fagmiljøet meget lang erfaring og god kompetanse på prosjektering av byggegrop og bruk av spunt.

## Spunting

Sannsynligheten for at spunting medfører grunnvannsendringer og setninger vurderes å være liten. Kategori 2.

### Konsekvens

To konsekvenser er vurdert, endringer i grunnvannsnivå eller kollaps av spunt.

- Endring av grunnvannsnivå vil bare kunne inntreffe om en pumper ut vann, eventuelt om spunt hindrer vanngjennomstrømning. Siden kontinuerlig pumping ikke skal gjennomføres er det antatt at det bare kan oppstå endringer i grunnvann i korte perioder slik at skader på kulturminner ikke er forventet å oppstå. Kontinuerlig overvåking av grunnvannsnivå vil identifisere eventuelle uønskede hendelser og tiltak kan iverksettes. Avstand fra spuntvegg til kritiske områder gir en ekstra sikkerhet for at skader ikke skal oppstå.
- En kollaps/ras/utglidning av rørsputen vil kun ha lokal påvirkning, og det vurderes at dette ikke vil påvirke grunnvannsnivået eller ha negative konsekvenser for kulturlag eller andre kulturminner da avstand er for stor.

Det mest sårbare området/ den mest alvorlige konsekvensen vurderes å være knyttet til skade på Bryggen og Hanseatisk Museum.

Om kollaps eller endring i grunnvann inntreffer er det vurdert at konsekvensene i ekstreme tilfeller vil kunne være kritisk.

Kategori 3.

### Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen

Løsning for VA må ivareta behov for drenering av grunnvann på innsiden av spunten (for eksempel hull i spunten i riktig høyde koblet til drenering på utsiden av spunten, eller grøft på innsiden av spunten).

I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.

**Risiko (S2, K3)**

## 1.12 Boring eller graving i nærhet av kulturlag

### Boring eller graving

#### Beskrivelse av aktivitet

Graving ned til om lag 1 meter for fundamentering av bane langs hele traseen i Christies gate, Småstrandgaten, Nedre Torgallmenning, Torget, Bryggen og Sandbrogaten, se vedlegg B. Anleggsvirksomheten vil være lengst mulig vekk fra opprinnelig strandlinje med middelalderse kulturlag.

I Sandbrogaten er det ca. 2 meter til middelalderse lag, men i et parti i søndre del av gaten er det i overkant av 1 meter til middelalderse lag, se vedlegg B. All omlegging av infrastruktur gjøres med grunne løsninger i Sandbrogaten. Eksisterende infrastruktur saneres med begrenset graving i utvalgte punkt og rørene tettes. Det er beskrevet forslag til etablering av terskler samt tett tiltak langs gamle dype VA-grøfter for å hindre at disse drenerer grunnvann.

Det skal etableres infiltrasjonsanlegg langs banen for å bidra til et stabilt grunnvannsnivå.

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 planlagt pumping av avløpsvann opp fra kjellere til nytt VA-anlegg.

#### Identifiserte barrierer

- Forundersøkelser grunn
- Forundersøkelser arkeologi. Foreløpige observasjoner bekrefter bildet vi har av kulturlagene i gaten.
- Kompetanse på prosjektering
- Avstand til kulturlag (dybde)
- Redusert tid for åpne grøfter
- Overvåkning og kontrollrutiner i anleggsfasen
- Erfaring fra samme type utfordringer i tidligere byggetrinn.

#### Sannsynlighet

Graving foregår i begrenset dybde.

Det er relativt god kjennskap til kulturlagene med hensyn til dybde og bevaringsgrad.



#### Boring eller graving

Generelt har fagmiljøet meget lang erfaring og god kompetanse på denne type aktivitet. Tilsvarende aktivitet er utført på tidligere byggetrinn på Bybanen. Med 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.

I Sandbrogaten viser målinger at grunnvannet fluktuerer, dvs. at grunnere deler av kulturlagene tørrelegges midlertidig, og utsettes for forvitring. 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. Det skal benyttes lette masser som vil gi lik eller mindre trykk mot kulturlag.

Sannsynligheten for at boring eller graving i nærhet av kulturlag i dagsone medfører grunnvannsendringer, direkte skader eller setninger vurderes å være svært liten. Kategori 1.

#### Konsekvens

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. Skade på kulturlag under graving vil være i mindre områder, skader på kulturlag i driftsfasen er ikke forventet (bruk av lette masser). Uønsket berøring av kulturlag er forventet å bli umiddelbart oppdaget og graving vil stanset. Kun lokale skader vil oppstå.

Kategori 3.

#### Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen

I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.

#### Risiko (S1, K3)

## 1.13 Utskifting av infrastruktur Torget til Kaigaten

### Utskifting infrastruktur Torget til Kaigaten

#### Beskrivelse av aktivitet

For området langs Bryggen og i Sandbrogaten, se foregående kapitler.

Utskifting av eksisterende infrastruktur langs traseen skal gjennomføres. Det skal etableres en stor kulvert ved Torgallmenningen/Torget. I området er det automatisk fredede kulturlag (den gamle strandlinjen går her) som vil kunne komme i konflikt med etablering av ny infrastruktur. Påvirkning på kulturlag vil også kunne inntreffe på strekningen Torget til Strandgaten.

Kulturminner på denne strekningen er vurdert å ha noe lavere kulturhistorisk verdi enn kulturminner i og nærmere verdensarvstedet. Det skal ikke underslås at også her er det automatisk fredede kulturlag, men middelalderiske lag er her generelt noe yngre og mindre omfattende enn langs Bryggen og i Sandbrogaten. Hendelsen som er vurdert i denne analysen er skade på kulturlag med noe lavere verdi.

#### Identifiserte barrierer

- Forundersøkelse grunn
- Forundersøkelser arkeologi
- Kompetanse på prosjektering
- Overvåkning og kontrollrutiner i anleggsfasen
- Erfaring fra samme type utfordringer i tidligere byggetrinn.

#### Sannsynlighet

Det er lite sannsynlig at utskifting av eksisterende infrastruktur medfører setningsskader eller grunnvannssenkning, men det må påregnes konflikt med automatisk fredete kulturlag. Omfang av middelalderiske kulturlag ved Torget/Torgallmenningen er ikke like godt kjent som ved Bryggen og i Sandbrogaten, så det er usikkerhet knyttet til hvor stor konflikten vil bli.

Sannsynlighet for å skade kulturminner av lavere verdi langs denne delen av traseen er vurdert til sannsynlig da anleggsvirksomhet skal gjennomføres i områder der kulturlag er identifisert og ikke kan unngås berørt av anleggsvirksomhet.

Kategori 4.

## Utskifting infrastruktur Torget til Kaigaten

### Konsekvens

Mest alvorlige konsekvens vurderes å være skade på kulturlag av høy verdi, det er imidlertid ikke identifisert eller forventet å finne kulturlag av samme alder og omfang i denne delen av traseen som ved Verdensarvstedet og Sandbrogaten.

Graving og etablering av kulvert og ny infrastruktur vil påvirke kulturlag. Dette er konsekvenser som ofte vil følge ved oppgradering og utskifting av infrastruktur. Kulturlag i dette området vurderes å være av noe lavere verdi enn ved Bryggen og i Sandbrogaten og derfor antatt at en skade vil være mindre alvorlig enn for de deler som ligger i eller i nærheten av verdensarvstedet. I vurdering av konsekvens er det hensyntatt en mindre verdi av kulturminner og derfor en lavere konsekvens av forventet skade.

Kategori 3.

### Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen

I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.

**Risiko (S4, K3)**

## 1.14 Tunnelportalarbeider

### Tunnelportal

#### Beskrivelse av aktivitet

Tunnelportalarbeidet innebærer etablering av byggegrop, spunting og sprengning, samt eventuelle injeksjonsarbeider. Graving og spunting er omtalt i de foregående kapitler. Tunnelportalarbeid øverst i Sandbrogaten ved å etablere en åpen grop hvor man går inn mot Helgesens gate, se vedlegg B.

Utfordrende å få tett byggegrop i nærhet av eksisterende jernbanetunnel er tørr (utført befarings). Det er utført kjerneboring fra Koengen. Utført kjernelogging indikerer tett berg, og det er ikke registrert vanntap under utførte vanntapmålinger

Lekkasje inn i byggegropa med påfølgende grunnvannsendringer kan ødelegge kulturlag, gjelder hele området ved Koengen og ved Sandbrogaten.

Grunnvannstanden fluktuere i området rundt Sandbrogaten. Middelalderiske kulturlag ligger grunnest nederst i Sandbrogaten.

Om lekkasjer oppstår vil dette identifiseres raskt i anleggsperioden og i driftsperioden.

I tidligere byggetrinn er sammenlignbare aktiviteter utført uten uønskede hendelser.

For selve tunnelen se notat DS1 – Kryssing av jernbanetunnel til Koengen – Vurderinger og konsekvenser, Ref./9/

#### Identifiserte barrierer

- Forundersøkelser grunn
- Forundersøkelser arkeologi
- Påhuggsområdet må være så tett som mulig, forinjiserings anbefales utført (injeksjonsskjerm)
- Etablerte tettekrav og maksimal tillatt poretrykksreduksjon
- I anleggsfasen etableres infiltrasjonsbrønner
- Kompetanse på prosjektering
- Kontroll på overflatevann
- Tilstrekkelig plass for etablering og bygging av portal
- Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen
- Plugge igjen gamle ledninger og grøfter

## Tunnelportal

### Sannsynlighet

Det vurderes at det er lite sannsynlig at en lokal byggegrop vil endre dreneringsforholdene i området. Dersom byggegropen 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.

Forundersøkelser og nødvendige tiltak i byggefasen skal sikre at kulturlag ikke berøres i grave- eller sprengningsarbeid.

Sannsynligheten for setninger og grunnvannsendringer vurderes å være liten. Kategori 2

### Konsekvens

Mest alvorlige konsekvens vurderes å være en grunnvannssenkning som påvirker kulturlagene i området Sandbrogaten negativt. Ved senkning av grunnvann kan tiltak iverksettes, for eksempel infiltrasjonsbrønner, men kritiske skader kan oppstå i perioden fram til at grunnvannsnivå er reetablert.

Kategori 3

### Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen

I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.

### Risiko (S2, K3)

## 1.15 Tunnelarbeid – tunnelsprengning

### Tunnelarbeid

#### Beskrivelse av aktivitet

Forinjeksjon og sprengning fra tunnelportal i Sandbrogaten mot Sandvikskirken holdeplass, lengde 660 meter. Vanntetting etter behov, maksimal tillatt innlekkasje langs første del av tunnelen på 3 l/min/100m. Kontrolleres gjennom poretrykksmålere som etableres nær tunnelen. Langs første del av tunnelen (ca. 200 m) er det forutsatt økt tverrsnitt for å få plass til vanntett, udrenert utstøping dersom det ikke oppnås tett nok tunnel ved hjelp av forinjeksjon.

Selve tunneltrase er i god avstand fra Bryggen-området, og deler av tunnelen går over grunnvannsnivået.

#### Identifiserte barrierer

- Forundersøkelser grunn
- Forundersøkelser arkeologi
- Kompetanse på prosjektering
- Forinjisering
- Tettekrav
- Forsiktig sprengning
- Vanntett utstøpning
- Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen

#### Sannsynlighet

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 forutsetter strenge tettekrav for tunnelen, og kanskje noe lokal utstøpning.

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 avstand og et begrenset tiltaksområde. Vannstrømmer i fjellet går parallelt med tunnelen, noe som er vurdert som positivt i forhold til redusert påvirkningsområde (influensområde).

Kategori 2

#### Konsekvens

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.

Eksponert område for skader på kulturminner og kulturmiljø er lite.

Kategori 3



## Tunnelarbeid

### Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen

Etablering av bergbrønner og poretrykksmålere for overvåkning. I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.

Risiko (S2, K3)

## 1.16 Underbygning (Bane)

Underbygning
<p><b>Beskrivelse av aktivitet</b></p> <p>Se også kapitel 1.11 til 1.13.</p> <p>KL-master og kulvertløsning for å legge til rette for infrastruktur fra Torgallmenningen til Torget. KL-master vil ikke benyttes langs Bryggen.</p> <p>Fundamentering av master, hovedsakelig på Torget, kan 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 lett konstruksjon som skal flyte oppå kulturlaget, uten peler, uten å gi skader. Samme løsning er tidligere benyttet eksempelvis i Kaigaten. Det benyttes et vektkompensert banefundament som samlet gir mindre belastning på undergrunnen. Selve banekonstruksjonen utføres som en "flytende" sammenhengende støpt betongplate bred nok til å fordele lasten jevnt mot underlaget. Det skal ikke benyttes pelefundamentering langs noen deler av strekningen</p>
<p><b>Identifiserte barrierer</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Avstand til kulturlag</li><li>• Kompetanse på prosjektering</li><li>• Overvåking og kontrollrutiner i anleggsfasen</li><li>• Overvåkning av grunnvann, og tilføring av regnvann gjennom overbygning</li></ul>
<p><b>Sannsynlighet</b></p> <p>Det er svært lite sannsynlig at underbygningsarbeidene medfører setningsskader, direkte skader på kulturlag eller grunnvannssenkning. Kategori 1.</p>
<p><b>Konsekvens</b></p> <p>Den alvorligste konsekvensen vurderes å være skade på kulturlag i forbindelse med fundamentering av KL-master hovedsakelig på Torget. Dette vil være lokale skader.</p> <p>Erfaring fra Kaigaten (over 12 år) har vist at foreslåtte løsning ikke gir skader på kulturlag.</p> <p>Kategori 3.</p>
<p><b>Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen</b></p> <p>I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.</p>
<p><b>Risiko (S1, K3)</b></p>

## 1.17 Jernbaneteknikk

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

## 1.18 Bane i drift

Bane i drift
<b>Beskrivelse av aktivitet</b> Bane i drift vil gå gjennom sentrum, langs Torget og Bryggen, inn Sandbrogaten og inn i tunnel øverst i Sandbrogaten. Foreslåtte løsning, se kapittel 1.12 vil gi akseptable trykkbelastninger på kulturlaget.
<b>Identifiserte barrierer</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Korrekt design av anlegg</li><li>• Overvåking</li></ul> Støy: Se eget notat Støyberegninger for Bergen sentrum DS1 (Ref. /10/)
<b>Sannsynlighet</b> Det er svært lite sannsynlig at bane i drift medfører setningsskader eller grunnvannssenkning. Rystelser fra Bybanen gir ikke større rystelser enn buss i dagen. Kjente og tidligere brukte prosjekteringsløsninger vil bli benyttet. Sannsynlighet for at lett fundamenteringskonstruksjon ikke fungerer og medfører skade på kulturlaget er vurdert til svært liten. Kategori 1.
<b>Konsekvens</b> Skal kulturlag skades må fundamenteringskonstruksjon skades i driftsfasen. Oppstår skade på konstruksjonen kan trykkforhold mot kulturlag endres, og skader kan oppstå. Kulturlaget er kategorisert til å ha høy verdi. Skader vil være lokale og alvorlige. Kategori 3.
<b>Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen</b>  Overvåking av fundamenteringskonstruksjon i Sandbrogaten slik at skader ikke oppstår på kulturlag under fundamenteringskonstruksjon. I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.
<b>Risiko (S1, K3)</b>

## 1.19 Trafikkomlegging

Dagalternativ
<b>Beskrivelse av aktivitet</b> 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.
<b>Identifiserte barrierer</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Ingen risikoreduserende tiltak er beskrevet</li></ul>
<b>Sannsynlighet</b> Det er lite sannsynlig at trafikkomlegging til Øvregaten medfører setningsskader eller grunnvannssenkning (se vedlegg C Rapport Øvregaten – Bæreevneålinger Fv 5342). Kategori 2.
<b>Konsekvens</b> Mest alvorlige konsekvens vurderes å være setningsskader i Øvregaten. Kategori 2.
<b>Identifiserte tiltak som ikke er beskrevet i reguleringsplandokumentasjonen</b>  I vedlegg A er alle barrierer som påvirker hendelsesforløpet beskrevet, det forutsettes at videre prosjektering hensyntar disse barrierene.
<b>Risiko (S2, K2)</b>

## 1.20 Risikomatrise

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

Nedenfor er risiko relatert til de forskjellige anleggsaktiviteter plottet inn i risikomatriksen. Anleggsaktiviteter og drift av bane som kan medføre grunnvannsendringer / setninger som er plottet i risikomatriksen:

1. Spunting
2. Boring / graving / arbeider
3. Utskifting av infrastruktur
4. Tunnelportalarbeider
5. Tunnelarbeid
6. Underbygning
7. Jernbaneteknikk
8. Bane i drift
9. Trafikkomlegging

Tabell 5-1 Risikomatrise – risiko for grunnvannsendring eller setningskader

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			- Utskifting av infrastruktur		
3. "As-likely-as-not"					
2. Lite sannsynlig	- Jernbaneteknikk	-Trafikkomlegging	-Spunting -Tunnelportal - Tunnelarbeid		
1. Svært lite sannsynlig			-Boring eller graving -Underbygning -Bane i drift		



## 6 Konklusjon og anbefaling

### 1.21 Konklusjon og anbefaling

Det er utført en kvalitativ vurdering av risiko for skader på kulturminner og kulturmiljø for tiltaket slik det er beskrevet i reguleringsplanforslaget. Nye vurderinger er utført basert på oppdatert informasjon etter at analysen fra 2021 var ferdigstilt. Grunnlag for vurderingene er informasjon og kunnskap fra den tidligere utførte risikoanalysen fra 2021 (ref. /7/), oppdatert informasjon, samtaler med fageksperter og analysemøtet med relevante deltagere.

Det er i analysen fra 2021, samt i denne oppdaterte analysen, 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 kulturminner og kulturmiljø vil være påvirket av hvor sterke disse barrierene er.

I analysen gjennomført i 2021 ble 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)

Nye og mer detaljerte planer er utarbeidet for anleggsfasen og den ferdige banen gjennom arbeidet med reguleringsplanen og er hensyntatt i denne analysen. Følgende resultater trekkes fram:

Utskifting av infrastruktur på strekningen Torget til Kaigaten har gult risikonivå (akseptabel risiko - risikoreduserende tiltak skal vurderes):

- Utskifting av infrastruktur på strekningen Torget til Kaigaten vil med stor sannsynlighet berøre kulturlag og er vurdert til gult risikonivå. Dette er kulturlag som er vurdert å ha noe lavere kulturhistorisk verdi enn kulturlag og kulturminner i eller i nærheten av verdensarvstedet.
- Risikoakseptkriteriet i denne analysen krever at for hendelser i matrisens gule områder bør tiltak vurderes for å redusere risiko så langt som praktisk mulig. Men utbygging av infrastruktur må gjennomføres og skader vil kunne oppstå. Kontinuerlig risikostyring og risikoreduserende tiltak må iverksettes så langt dette er hensiktsmessig ut ifra en kost/nytte-vurdering.

Alle andre aktiviteter er vurdert til grønt risikonivå (akseptabelt, ytterligere risikoreduserende tiltak ikke nødvendig).

- Hendelser i den grønne sonen i risikomatriksen innebærer akseptabel risiko. Dersom risikoen for disse hendelsene kan reduseres ytterligere uten at dette krever betydelig ressursbruk, bør man imidlertid vurdere å iverksette tiltak også for disse hendelsene. Det forutsettes at alle identifiserte barrierer ivaretas og følges opp gjennom prosjektering, bygging og drift.

### Anbefaling:

Alle identifiserte barrierer må ivaretas og risikoreduserende tiltak iverksettes og følges opp gjennom videre detaljprosjektering, bygging og drift. Det forutsettes 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 videreutvikles og gjennomføres gjennom å kombinere kunnskap om kulturminner og kulturmiljøforvaltning, anleggsteknikk, ingeniørgeologi, hydrogeologi og drift av Bybanen.

## **1.22 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.

## 7 Referanser

---

- 1 DS1 – Oppfølging av KUVAs anbefalinger for anleggsfase Bryggen, versjon 02B, datert 2022-05-18, Dokumentnr. NO-DS1-033
- 2 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
- 3 NS 5814:2021 Krav til risikovurderinger, 2021, Standard Norge
- 4 NS-ISO 31000-2018, Norsk Standard Risikostyring – retningslinjer
- 5 Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging, 2017, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
- 6 <https://www.ngi.no/Prosjekter/BegrensSkade-II-REMEDY-Risk-Reduction-of-Groundwork-Damage>
- 7 Bybanen til Åsane – BT5 Reguleringsplan og teknisk forprosjekt - Risikoanalyse tunnelalternativ og dagalternativ - Risiko for skade på kulturmiljø, kulturminner, bygg eller infrastruktur, datert 30-09-2021, rev. 03J
- 8 DS1 – Hydrogeologi og kulturlag, versjon 01D, datert 2021-06-11, Dokumentnr. NO-DS1-022
- 9 DS1 – Kryssing av jernbanetunnel til Koengen – Vurderinger og konsekvenser, datert 2022-03-29, dokument no NO-DS1-029
- 10 Støyberegninger for Bergen sentrum DS1, datert 2021-06-18, dokumentnummer NO-DS1-015