



## Reguleringsplan og teknisk forprosjekt

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

## Detaljreguleringsplan

Delstrekning 1, Kaigaten - Sandbrogaten

Planid 65800000

## Geoteknisk rapport

## Sammendrag

Denne rapporten omhandler geotekniske vurderinger knyttet til planlegging av Bybanen til Åsane, delstrekning 1 (DS1), med fokus på geotekniske problemstillinger. Nivået på vurderinger er tilpasset reguleringsplan.

Følgende forhold trekkes frem som viktige oppfølgingspunkter for videre planlegging og detaljprosjektering:

Sentrale problemstillinger for DS1 inkluderer bæreevne for banefundamentering og infrastruktur i grunnen, samt tilpasning til varierende grunnforhold. Dette innebærer hensyn til kulturlag, grunnvannsbalanse og potensielle setninger for bane, tilstøtende infrastruktur og tilstøtende bygg. Disse problemstillingene har blitt undersøkt nøye, og det er funnet passende løsninger.

I Sandbrogaten ligger planlagt Bybanetrasé over svært viktige kulturlag. Massene under bærelaget er i hovedsak identifiserte og definerte bevaringsverdige kulturlag som ikke må endres pga. økt belastning, omrøring eller endrede grunnvannsforhold.

Et bredt og relativt stivt sporfundament (betongplate) som kan gi god lastfordeling vil minimere økt spenning i grunnen og utjevne eventuelle differansesetninger. Et slikt fundament gir god bæreevne i områder med humusholdige lag i dybden. I tillegg vil delvis masseutskifting med lette fyllmasser av Glasopor, eller tilsvarende, kompensere for vekten av bybanefundamentet inkludert vognlast, slik at grunnen i dybden (kulturlag) ikke blir påført tilleggslast. Det legges også opp til å sveise skjøter, slik at man unngår rystelser fra støt i overgangene.

Utgravinger for infrastruktur kan medføre utfordringer i forhold til sikring av nærliggende kjørefelt, bygninger og aktivitetsområder, spesielt ved dypere graving. Stedvis vil det være nødvendig med spunt i byggefasen. Det er da forutsatt bruk av rørsputt som bores ned, fordi denne metoden gir vesentlige mindre rystelser.

Ved Torget, der nedgravd betongkulvert er planlagt, er permanent spunt ikke ønsket, bl.a. på grunn av konflikt med kulturlag. Foreslått løsning innebærer graving og installasjon av kulvert under vann. Slikt arbeid er krevende, men ble også utført i forbindelse med etablering av eksisterende kulvert langs Strandkaiaen.

Det ligger to store sentrale VA-ledninger som er rundt 100 år gamle under banetraseen langs Bryggen. Nedlagt ledningsnett som ikke graves opp skal ha ringstivhet som sikrer at en unngår setningsskader, skal være tette og ikke påvirke grunnvannsstanden. Metodevalg for å oppnå dette bestemmes i detaljprosjekteringsfasen.

Det er utført grunnundersøkelser i 4 omganger i perioden mellom 2019-2023. Omfanget av undersøkelsene er tilpasset reguleringsplanfase, og anses som tilstrekkelig til å kunne vurdere gjennomførbarheten til foreslåtte løsninger. Lastfordelende betongplate under banen ivaretar bæreevnen for banen selv om det skulle være avvikende grunnforhold mellom utførte borpunkter.

I detaljprosjekteringsfasen anbefales det å utføre supplerende undersøkelser basert på de løsningene som skal utarbeides.

Bergen:2023-03-29

07J	Til 2.g. behandling	2023-03-29	GuMjo	BryOEy	OLNot/CaKan	IOV
06J	Justert suppl. og 1.g høring	2023-03-24	GuMjo	BryOEy	AK	IOV
05J	Justert etter suppl. borpkt	2022-09-28	GJWes	-	AK	IOV
04J	Geoteknisk vurdering	2022-09-14	GJWes	BryOEy	AK	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.

## INNHOOLD

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
1.1	Hensikt.....	4
1.2	Beskrivelse delstrekning 1 (DS1) .....	4
<b>2</b>	<b>Grunnforhold</b> .....	<b>5</b>
2.1	Utførte grunnundersøkelser.....	5
2.2	Topografi .....	5
2.3	Beskrivelse av grunnforhold .....	6
2.4	Grunnvann.....	6
<b>3</b>	<b>Geotekniske vurderinger</b> .....	<b>8</b>
3.1	Banefundamentering.....	8
3.2	Infrastruktur ved Torget .....	11
3.3	Infrastruktur ved Bryggen.....	11
<b>4</b>	<b>Supplerende grunnundersøkelser</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Videre prosjektering</b> .....	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>17</b>

## 1 Innledning

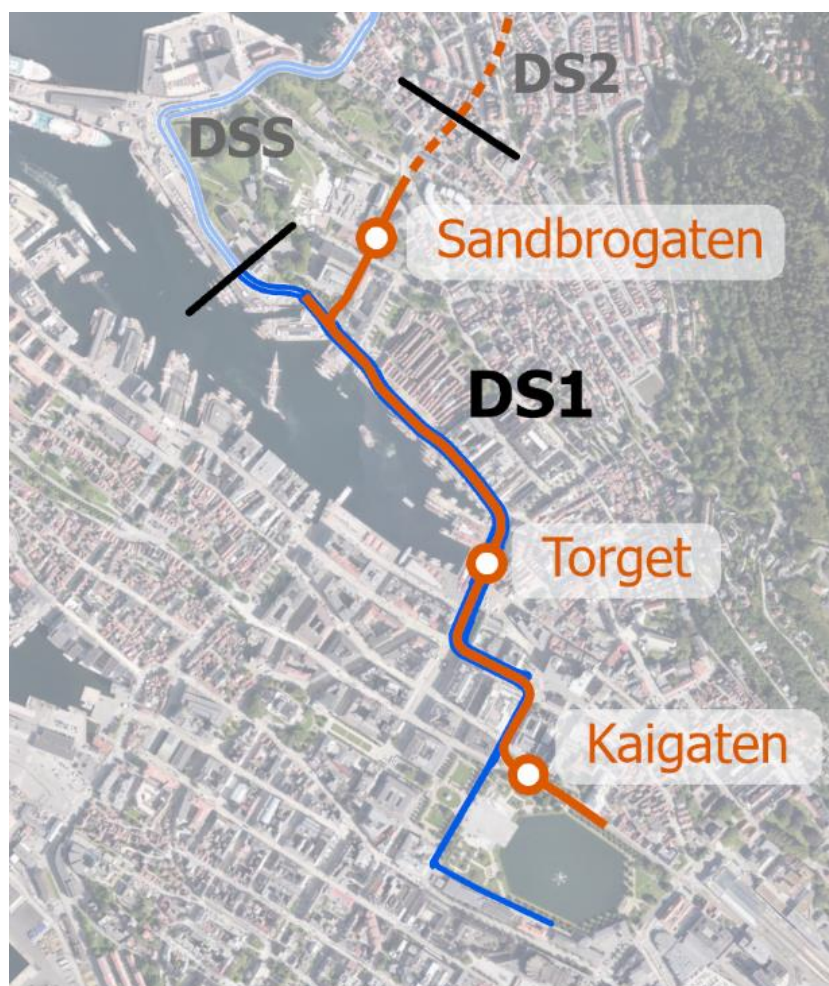
### 1.1 Hensikt

Denne rapporten omhandler geotekniske vurderinger knyttet til planlegging av Bybanen til Åsane, delstrekning 1 (DS1), med fokus på geotekniske problemstillinger. Nivået på vurderinger er tilpasset reguleringsplan.

### 1.2 Beskrivelse delstrekning 1 (DS1)

Bybanetraseen til Åsane starter øst for Peter Motzfeldts gate i Kaigaten, og tar en nordlig retning. Endeholdeplassen i Starvhusgaten utgår og blir en kollektivgate med bussgjennomkjøring til Olav Kyrres gate. Banetraseen går via Gulatings plass, Christies gate, Småstrandgaten og nordre Torgallmenningen, hvor den deler kjørefelt med buss og varelevering. Fra Torget går traseen rundt Rundetårn, langs Bryggen, inn i Sandbrogaten og videre i tunnel under Nye Sandviksvei. Et hensettingsspor er planlagt mellom Slottsgaten og Bradbenken.

Det er tre holdeplasser på strekningen: Kaigaten ved Gulating (sakset løsning), samt Torget og Sandbrogaten (parallele plattformer). Sandbrogaten-holdeplassen ligger nord for Øvre Dreggsallmenningen. Ved vending i Sandbrogaten benyttes sporsløyfer sør for holdeplassen som forventes brukt når Bryggen og Torget stenges for arrangementer.



Figur 1 Oversiktskart DS1

## 2 Grunnforhold

### 2.1 Utførte grunnundersøkelser

Grunnforholdene i DS1 er varierte, og har lagt føringer på hvordan prosjektet har utviklet seg. Det er utført grunnundersøkelser for prosjektet innenfor DS1 i 4 omganger. Se tabell nedenfor for oversikt over utførte undersøkelser. Grunnforhold vurderes å være godt kartlagt. Det vises til «RA-DS1-004 Geoteknisk datarapport» for utfyllende informasjon om utførte undersøkelser.

Omfanget av undersøkelsene er tilpasset reguleringsplanfase, og anses som tilstrekkelig til å kunne vurdere gjennomførbarheten til foreslåtte løsninger.

Tidspunkt	Undersøkelsesmetoder		
	Totalsonderinger	Naverprøver	Piezometere/ poretrykksmålere
November 2019	8	19	4
Mai 2020	14	50	11
April/mai 2022	16	108	7 (+2 miljøbrønner)
Februar/mars 2023	4	113	(6 miljøbrønner installert av NIKU)
Totalt	42	292	22 (+ 8 miljøbrønner)

Utførte undersøkelser gir godt grunnlag til å vurdere lokal- og områdestabilitet, behov for sikringstiltak og valg av fundamenteringsmetoder. I detaljprosjekteringsfasen kan det vurderes å utføre supplerende undersøkelser basert på de løsningene som skal utarbeides, som er normalt praksis inn mot en byggeplan. Dette vil gjelde områder der man eventuelt ønsker å redusere inngrep gjennom å bruke brattere graveskråninger enn vist på gravekart, samt detaljprosjektering av sikkerhetstiltak og vurdering av setningsømfintlighet

Hensikten med å utføre supplerende undersøkelser er ikke å skaffe mer grunnlag for å trygge gjennomførbarheten til valgte løsninger, men for å kunne optimalisere valgte løsninger mht. materialbruk og detaljer. Det inkluderer også instrumentering for overvåking i utførelsesfasen.

Planleggingen av supplerende undersøkelser må ta hensyn til utfordringer erfart for de foregående grunnundersøkelsene utført for DS1, som inkluderer å få kunnskap om mer nøyaktig posisjonering av infrastruktur innenfor angitt sikkerhetssone (store sikkerhetssoner for rør/kabler gjør at det er utfordrende å finne lokasjoner hvor det er lov å bore). Slik planlegging kan inkludere å måle inn rør i grunnen eller for eksempel fremgrave rør med ukjent posisjon, slik at man kan utføre undersøkelser mellom rør/kabler.

Området er også preget av mye trafikk. Det er nødvendig å innhente godkjenninger fra flere etater, samt planlegge for trafikkdirigering og nattarbeid.

### 2.2 Topografi

Terrengoverflaten for dagens situasjon varierer fra holdeplassområdet ved Lille Lungegårdsvann på kote ca. +3 og stiger nordover. I Småstrandgaten ligger den på kote +5, før den synker til omtrent kote +1,5 ved Torget. Deretter er terrenget svakt stigende langs Bryggen til ca. kote +2 ved nedre del av Sandbrogaten, men med et lavbrekk ned mot kote +1,5

ved Dreggsallmenningen. I Sandbrogaten stiger gateoverflaten til ca. kote +6 øverst, nær tunnelinngangen.

### 2.3 Beskrivelse av grunnforhold

Løsmassetykkelsen registrert i borpunktene varierer fra ca. 1,0 til 31,1 meter. Berg er påvist i samtlige totalsonderinger, med unntak av borpunktene nr. DS1-002, DS1-003 og DS1-203 v/Bryggen. Disse er avsluttet i løsmasser i henholdsvis 24,1, 20,4 og 32,3 meter dybde.

Geologiske kart viser grovt at bergoverflaten i sentrum faller mot Vågen fra begge sider. Det vil si at Bryggen ligger langs et variert dypt parti med skrå bergoverflate fra øst, sør og vest mot Vågen.

Utførte grunnundersøkelser gir en tilstrekkelig god oversikt over løsmassetykkelse, lagdeling og karakteristikk av de ulike lagene langs traseen.

Boremotstanden i totalsonderingene varierer langs traseen, men alle boringene viser et fast topplag (stor motstand ned til ca. 1,0 m dybde under terreng). Videre nedover i sonderingene har alle boringene (sett bort fra posisjon DS1-001) innslag av masser med lav til middels lav boremotstand. I noen borpunkter viser sonderingsresultatene lav til meget lav boremotstand i noen dypere lag. Resultatene fra gjennomførte laboratorieundersøkelser viser at massene generelt er relativt faste, bestående av sand, grus. I mindre partier er det registrert høyere siltinnhold og/eller humusholdig materiale i de dypere lagene.

Det høye vann- og humusinnholdet i massene, spesielt prøvene ved Bryggen og Torget, indikerer at massene i dybden har setningspotensiale, og det er derfor viktig at det legges opp til løsninger som gir lav tilleggsbelastning på grunnen for å unngå setninger.

### 2.4 Grunnvann

Grunnvannsnivået i området har blitt grundigere undersøkt de siste 10-20 årene, blant annet for å utvikle løsninger for bevaring av bygninger og kulturavsetninger. Spesiell oppmerksomhet har vært rettet mot stabilisering av i grunnvannsstanden og setninger med risiko for skade, knyttet til kjemiske endringer i fyllmateriale med betydelig innhold av humusmateriale.

Planlagte tiltak innenfor DS1 skal ikke endre grunnvannstanden i området. Dette sikres ved bruk av lavpermeable masser rundt ny infrastruktur under grunnvannsstand. En utfordring ved etablering av dype VA-grøfter er langvarig endring av grunnvannsnivå. En langvarig senkning av grunnvannsnivå vil medføre poretrykksreduksjoner i eksisterende masser. Dette kan medføre setninger på eksisterende bygninger. Bygninger i og rundt Torget/Vågsbunnen vurderes å være mest setningssensitive ved poretrykksreduksjoner da disse står på kulturlag med innhold av organisk materiale. Under kulturlagene er det strandavsetninger som kan være permeable, og dermed kan influenssonen til poretrykksreduksjonen i gravegropen bli relativt stor. All fundamentering av bygninger må verifiseres i prosjekteringsfasen og setningsømfintlighet må vurderes.

Risikoreduserende tiltak vil være overvåkning av poretrykk/grunnvannsstand før, i og etter anleggsfasen. Behov for avbøtende tiltak må vurderes for alle tiltak i DS1. Det henvises til kap. 3.10.3 Grunnvannsnivå og anleggsgjennomføring i RA-DS1-010 for mer informasjon.

I områdene ved Torget og Bryggen anses grunnen som relativt permeabel, og det er sannsynlig at grunnvannsnivået vil variere i takt med tidevannet.

Det planlegges for permanent spunt langs verdensarvstedet Bryggen. Detaljprosjektering av spunten må sikre at spunten reduserer grunnvannsvariasjoner grunnet tidevann, og samtidig ikke er til hinder for tilstrekkelig (rask) drenering (ved flom/store nedbørtilfeller) i masser som ligger over Verdensarvstedet Bryggens dreneringssystem. Nivå for kapping av spuntrør må vurderes ved detaljprosjektering.



### 3 Geotekniske vurderinger

#### 3.1 Banefundamentering

De mest sentrale geotekniske problemstillingene på strekningen knyttes til bæreevne for banefundamentering, infrastruktur i grunnen, og hvordan disse må tilpasses de varierte grunnforholdene. Dette innebærer å ta hensyn til kulturlag, grunnvannsbalanse og potensielle setninger.

Ved eksisterende banespor v/Kaigaten varierer løsmassemektigheten fra 1-10 m, og det er registrert humusinnhold i løsmassene. Resultatene fra laboratorieundersøkelsene viser at det er registrert masser med humusinnhold på 4-10%, som er en indikasjon på at setningsmotstanden er lav i dette området.

For prosjektering av overgang mellom eksisterende banespor og nytt banespor er det viktig å få en god overgang som jevner ut eventuelle setninger, eller at det legges opp til en løsning som ikke gir tilleggsspenninger på grunn (kompensert fundamentering med lette fyllmasser av f.eks. Glasopor).

Mens det er kort avstand til berg i Småstrandgaten, er det tykkere løsmasseforekomster i traseens øvrige gater.

Over Torget og deler av Bryggen viser prøvene som er tatt noe organisk materiale i grunnen, med lagvis forekomst med høyere organisk innhold (opp til ca. 20% i noen lag). Dette opptrer varierende ved verdensarvstedet Bryggen på 7-10 m dybde, og har derfor liten påvirkning på overflatens bæreevne, da lagene ovenfor vil virke lastfordelende. Ved indre del av Bryggen og over Torget er det grunnere til humusholdig materiale, ca. 4-6 meter dybde under terreng. Med valgt banefundamenteringsløsning påvirker heller ikke her disse massene bæreevnen.

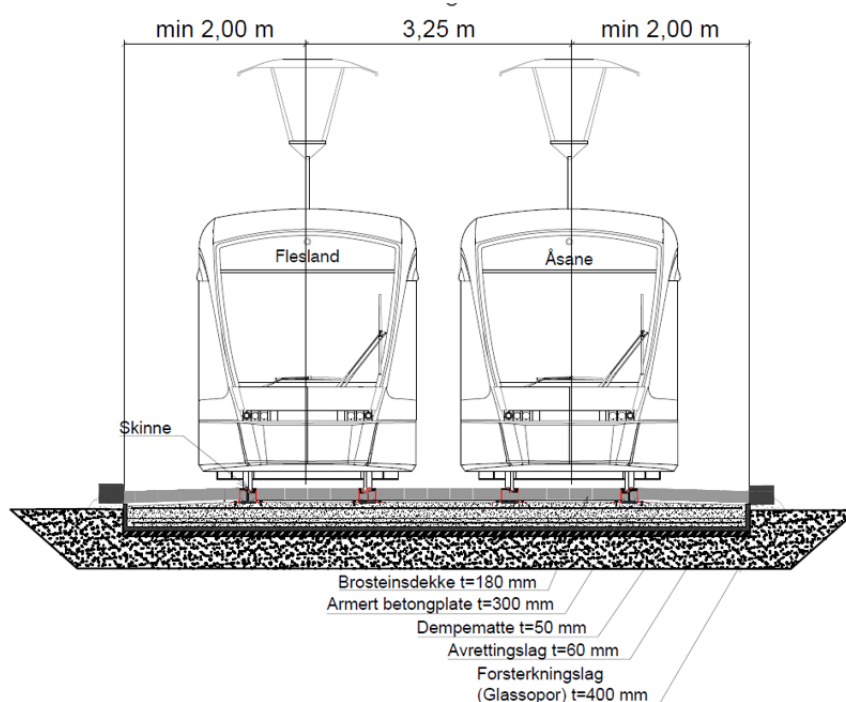
I Sandbrogaten er løsmassene mindre mektige, men her er det påvist liten dybde ned til verdifulle kulturlag. Disse funnene har vært førende for valg av banefundamentering.

De geotekniske løsningene for fundamentering av banen fra Torgallmenningen til og med Sandbrogaten har lagt vekt på å unngå setninger i områder som har lag med lav setningsmotstand i dybden, og samtidig ikke påføre grunnen tilleggslast i områder hvor det er kulturlag. Disse problemstillingene er ivarettatt med foreslåtte løsninger.

En løsning hvor man peler banefundamentet er ikke vurdert nærmere, fordi peling vil kunne gi store skader på arkeologisk viktige kulturlag i dybden.

Et bredt og relativt stivt sporfundament (betongplate) som kan gi god lastfordeling vil minimere økt spenning i grunnen og utjevne eventuelle differansesetninger. Et slikt fundament gir god bæreevne i områder med bløte lag i dybden. I tillegg vil delvis masseutskifting med lette fyllmasser av Glasopor, eller tilsvarende, kompensere for vekten av bybanefundamentet inkludert voglast, slik at grunnen i dybden (kulturlag) ikke blir påført tilleggslast (jfr. figur 3 og tabell 1 nedenfor). Det legges også opp til å sveise skinneskjøter, slik at man unngår rystelser fra støt i overgangene.





Figur 3 Prinsippskisse for oppbygging av banetrase med Glasopor ned mot undergrunnen og under stiv betongplate for banespor.

Tabell 1. Vektkompensert banefundamentering, eksempel beregning med markert nytte å bruke lett betong i elementoppbyggingen. Forhold mellom mengde Glasopor og brutto høyde justeres for å gi 0 tilleggslast med gitte fundamentdimensjoner.

Element	tykkelse (m)	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Brosteinsdekke:	0,1	27,0	2,7
Betong:	0,4	25,0	10,0
Dempematte:	0,03	10	0,3
Glasopor:	0,4	3,0	1,2
Avretting grus:	0,06	19,0	1,1
<b>Sum ny oppbygging</b>	<b>0,99</b>		<b>15,3</b>
Fratrekk eks veg	-0,89	18,5	-16,5
Asfalt	-0,1	26,0	-2,6
<b>Sum etter utgraving</b>	<b>-0,99</b>		<b>-19,1</b>
<b>Sum avlastning etter ombygging</b>			<b>-0,37</b>
Last full vogn (70 tonn)	70		
Areal plate (42x3,975)	167		
Areal brutto plate (42 x 3,975+ 0,30)	179,55		
Tilleggspenning banelast uk plate			0,39
<b>Sum last inkludert full Bybanevogn med fundament</b>			<b>0,02</b>

I nordenden av Sandbrogaten stiger berget raskt opp mot Nye Sandviksveien og delstrekning 2 (DS2). Her ligger påhugg for banetunnelen fram til planlagt Sandvikskirken stasjon i fjell. Tunnelpåhugget inkluderer en tunnelportal for Bybanen, reetablert tunnel for jernbanen på begge sider, og flere bygg for likeretter og tekniske rom. Selve tunnelen starter i relativt steil og tilnærmet løsmassefri skråning opp mot Nye Sandviksveien, men med relativt liten bergoverdekning for tunnel.

Geoteknisk vurdert gir det en tydelig og relativt skarp overgang fra banespor på løsmasse foran tunnelåpning og videre trasé på berg i tunnelen. Den nye tunnelen skal passere tvers over og gjennom en tunnel på et sidespor for jernbanen.

Utfordringene i overgang og videreføring av banetraseen inn mot tunneltraseen er i alt vesentlig ingeniørgeologi omkring tunnelløsning, men også hydrogeologisk om hvordan grunnvannsspeilet i berget kan kontrolleres best mulig vha. injeksjon i berget rundt tunnelprofilet. Dette for å sikre at tunnelen ikke blir en for sterk dreneringskanal innover under boligsonene. Sikring for minst mulig påvirkning av grunnvannet i løsmassene utover dagens drenering / innlekkasje mot jernbanetunnelen er en viktig målsetting. Eventuell stor lekkasje og evt. endring av grunnvannsspeilet i løsmassene over tunnelen ville kunne påvirke fundamenteringsunderlaget betydelig, og gitt setninger for de av bygårdene innover langs tunneltraséen i DS1/DS2 som ikke er fundamentert direkte på berg. Ved tetting av fjellet kan dette unngås. Endringer i grunnvannstilsiget fra fjellet vil også kunne gi negative konsekvenser for kulturlagene i Sandbrogaten. Derfor er det beskrevet strenge tettekrav i planbeskrivelse og teknisk forprosjekt, både for tunnel, byggegrop og portal.

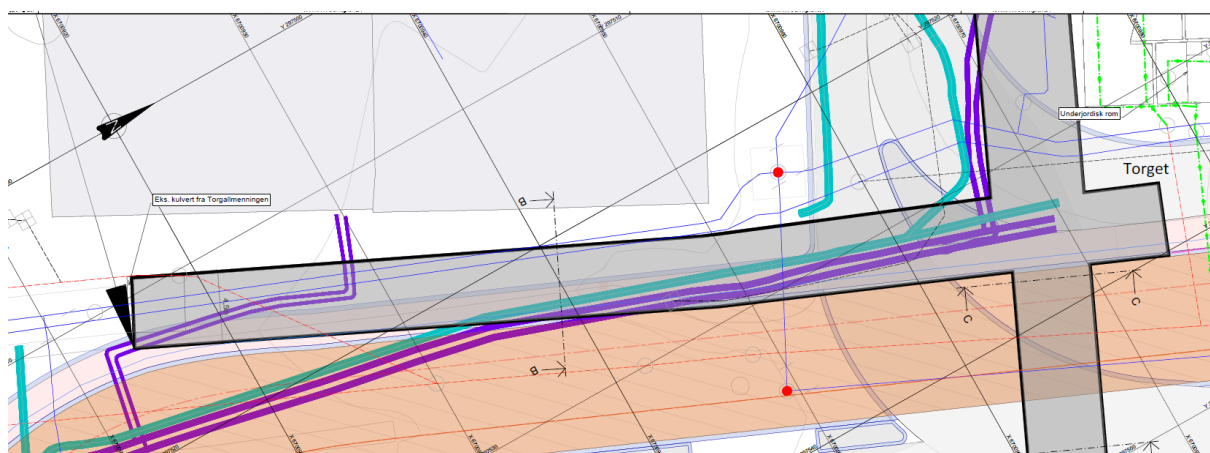
Tunnelportalen og likeretterbygget må søkes fundamentert på fjell. Utgravd grunnareal bør søkes rimelig avgrenset. Sporet er låst i høyde med utgangspunkt i å unngå behov for å løfte, eller senke, sporet i forhold til nåværende veg, slik at en unngår påvirkning av grunnvannsspeil og potensielle setninger i kulturlagene i Sandbrogaten.

### 3.2 Infrastruktur ved Torget

Vest for Torget skal det etableres teknisk kulvert for samordning av infrastruktur i grunnen utenfor banelegemet. En utfordring ved anleggsgjennomføring vil være etablering av trygg og sikker byggegrop samtidig som det opprettholdes tilstrekkelig kjørebane, bygg og aktivitetsområde. Arbeid med dype grøfter må utføres på en måte som ikke medfører langvarig senkning av grunnvannstand/poretrykk rundt eksisterende bygninger, da dette kan årsake setninger. Bygninger i og rundt Torget/Vågsbunnen vurderes å være mest setningssensitive ved poretrykksreduksjoner, da disse står på kulturlag med innhold av organisk materiale. Under kulturlagene er det strandavsetninger som kan være permeable, og dermed kan influenssonen til poretrykksreduksjon i gravegrop bli relativt stor. All fundamentering av bygninger må verifiseres i prosjekteringsfasen og setningsømfintlighet må vurderes. Risikoreducerende tiltak vil være overvåking av poretrykk/grunnvannstand før, i og etter anleggsfasen. Avbøtende tiltak som å grave vått i seksjoner og kun pumpe grunnvann i åpen grøft for tilkobling av konstruksjoner/rør/kummer, kan bli nødvendig og må følges opp ved detaljprosjektering. Behov for spunt ved dyp kulvert må vurderes ved detaljprosjektering i forhold til utførte grunnboringer. Det må også planlegges for infiltrasjonsløsninger som kan iverksettes ved behov hvis poretrykket faller under graving.

Ved Torget, der nedgravd betongkulvert er planlagt, er tett spunt ikke ønsket, bl.a. på grunn av konflikt med kulturlag, og fordi man ikke ønsker at tørr byggegrop skal påvirke grunnvannstand i området. Foreslått løsning innebærer graving og installasjon av kulvert under vann. Slikt arbeid er krevende, men ble også utført i forbindelse med etablering av eksisterende kulvert langs Strandkaiaen. Tilbakeføring av masser må sørge for at man ikke endrer grunnvannsstrømmen i området. Dette gjøres gjennom bruk av lavpermeable masser under dagens grunnvannsnivå, jmfør bestemmelse 4.2.2

Grøftene for etablering av kulvert ved Torget er på det dypeste 4-5,5 m dype. Det antas, på bakgrunn av resultater av grunnundersøkelsene og erfaring med etablering av kulvert langs Strandkaiaen, at det vil være stort vanntilsig i grøften. Eventuell lensing ville vært utfordrende uten bruk av spunt eller andre tetttiltak.



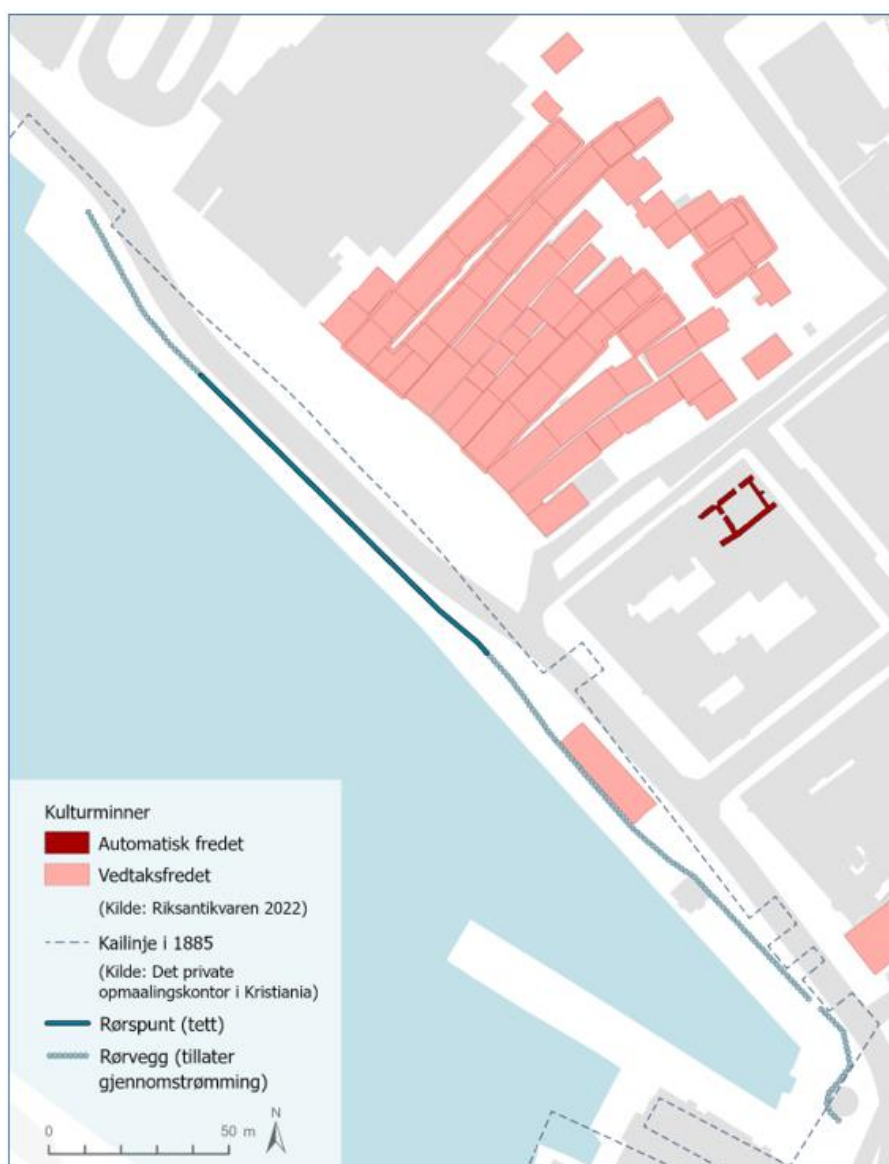
Figur 2: Utklipp fra BT5-H-16003. Figuren viser hvor det kommer dyp kulvert ved Torget.

### 3.3 Infrastruktur ved Bryggen

Planlagt omlegging av kommunens eksisterende VA-anlegg langs Bryggen vil kreve store utgravninger og spuntavstiving for å begrense virkningene på nærliggende vegger og bygg. Dette

er rundt 100 år gamle konstruksjoner som uansett trenger en oppgradering. Ved verdensarvstedet Bryggen skal Bybanetraseen, så langt det er mulig, følge dagens vegtrase. I henhold til teknisk regelverk for prosjektering og bygging av Bybanen, skal det ikke etableres langsgående infrastruktur (som ikke tilhører Bybanen) direkte under banelegemet. Dette innebærer at eksisterende infrastruktur langs Bryggen må legges om på utsiden av banetraseen.

For å legge Bybanesporet nær nåværende veg må det etableres en ny rørtrasé mellom planlagt banespor og nåværende kaikonstruksjon. En åpen spuntvegg mot banetraseen er planlagt for å holde på massene og dermed minimere plassbehovet ved oppgraving. Løsningen skal også sikre banekonstruksjonen ved senere behov for graving på rørene, samt ivareta små deformasjoner i bakenforliggende løsmasser hvor banen skal anlegges. Det er besluttet å benytte rørsput for å unngå rystelser under installasjon. Foran verdensarvstedet skal spuntveggen utføres med tette koblinger for å redusere gjennomstrømning av grunnvann, og begrense tilførsel av sulfater fra saltvannet i kulturlagene.



Figur 5: Illustrasjon av det aktuelle omfang spuntavstivet grøft langs Bryggen. Med hensyn til grunnvannskontroll er spuntveggen foran verdensarvsonen gjort tett.

Rørspunt skal etableres uten forankring og være selvbærende. Det forutsettes tilstrekkelig store dimensjoner på rør. Ved bruk av rørspunt uten avstiving må det forventes noe setninger (1-2 cm) like bak rørspunt (i en bredde på ca. 2-5 m bak vegg) på grunn av horisontal bevegelse av vegg. Dette vil være i områder der det uansett skal etableres ny overflate. Ved Skur 11 og Rundetårn ligger grøften så tett på at det vil det være behov for mer detaljert prosjektering for sikring av bygningene. Dette vurderes ikke som spesielt utfordrende.

Fordelen med å bruke rørspunt uten forankring (skråstag som forankres i berg og/eller løsmasser), er at man unngår å påvirke kulturlag med boring/injisering av støttestag.

Videre er det viktig å ha kontroll over grunnvannsnivået i området innenfor spuntveggen som inkluderer kulturlag, og å begrense innstrømming av sulfater. Dette innebærer minimal innvirkning på grunnvannsnivået fra sjøen mot og under de fredede bygningene, og minst mulig innstrømning av saltvann under høyvann. Se figur 6 for eksempel på rørspunt med vannlås.

En tettsluttende spuntvegg reduserer vannlekkasje og opprettholder grunnvannsnivået. Toppen av spuntveggen eller ventiler kan regulere og sikre mot en maksimal grunnvannsstand. Tettsluttende spuntvegger reduserer også strømmingen av saltvann inn og ut, noe som kan øke grunnvannstanden med ferskvann på innsiden. Ved springflo vil foreslåtte løsninger tillate vannet å strømme over spuntveggen og inn i løsmassene, noe som gir et midlertidig økt saltinnhold som vil bli skylt ut over tid. Dette er vurdert å være en forbedring i forhold til dagens situasjon.

Basert på resultater fra grunnundersøkelser, må en spuntvegg føres ned til en dybde på ca. 10-14 m for å nå de antatte tettsluttende lagene. Beregningene indikerer at "svevespunt" uten forankring krever en rørdimensjon på RD400x10 (400 mm diameter) for å minimere utbøyning. Som for øvrige tiltak i grunnen skal grunnvann og setninger overvåkes før under og etter anleggsfasen, slik at effekt av spuntvegg dokumenteres, og tiltak kan iverksettes ved avvik (jf. notater fra NGU).



Figur 6 Skjøting mellom rørene i rørspuntvegg.

Fyllmaterialet fra ca. 1920 på Bryggen er grovt og vurderes å gi gode grave- og fundamenteringsforhold for rørkulverten i den aktuelle dybden. Utgravingen etableres som en grøft med varierende dybde opp til 3,5 m (ca. 3 m v/ verdensarvstedet Bryggen og ca. 3,5 m lenger nord mot Dreggekaien) netto dybde under nåværende overflate, med spuntavstiving mot eksisterende kjørebane og ny bybane. Mot ytterkanten forutsettes en fri graveskråning mot innerkanten av kaimuren. Grøften antas å være kontinuerlig fylt med vann opp til det varierende grunnvannsnivået, sannsynligvis lik sjøvannstanden da piezometere i traséen ved Bryggen viser at grunnvannsstanden varierer med tidevannet. Ved detaljprosjektering må det vurderes om det er behov for å gjøre tiltak for å sikre stabiliteten på kaimurene som går langs verdensarvstedet Bryggen i anleggsfasen.

I forprosjektet er det utført kontrollberegninger for ett snitt i Bryggen-området, der dybden til fjell er størst. Grunnforholdene, med tanke på laggrenser, vil variere betydelig langs traséen. I det sørøstligste området vil bunnen av spunten sannsynligvis måtte bores inn i fjell. Dette er en fordelaktig og enklere tilnærming som også bidrar til stålkonstruksjonens stabilitet.



## 4 Supplerende grunnundersøkelser

Det er utført grunnundersøkelser i 4 omganger i perioden mellom 2019-2023. Omfanget av undersøkelsene er tilpasset reguleringsplanfase, og anses som tilstrekkelig til å kunne vurdere gjennomførbarheten til foreslåtte løsninger. I siste runde av supplerende undersøkelser ble det lagt vekt på å innhente mer kunnskap om kulturlagene, og for å få enda mer trygghet omkring valgte løsninger.

I detaljprosjekteringsfasen er det normalt å utføre mer undersøkelser enn i reguleringsplanfasen, og det anbefales også her at det utføres supplerende undersøkelser der detaljprosjektering av risikoreduserende tiltak viser at det er behov for kompletterende data. Planleggingen av slike undersøkelser må ta hensyn til utfordringer knyttet til DS1, som inkluderer infrastruktur med usikker beliggenhet i grunnen (med dette menes sikkerhetssoner for infrastrukturen i grunnen, som gjør det utfordrende å finne lokasjoner det er tillatt å utføre grunnundersøkelser). Området er også preget av mye trafikk. Det er nødvendig å innhente godkjenninger fra flere etater, samt planlegge for trafikkdirigering og nattarbeid.

Supplerende undersøkelser for detaljprosjektering bør fokusere på:

- Generelt flere totalsonderinger langs banespor for å få øke kunnskapen om lagdeling i løsmassene og dybden til berg, tilpasset detaljprosjekteringsnivå.
- CPTU (trykksondering) i de bløte lagene, spesielt ved Bryggen og Torget. CPTU vil kunne gi sikrere parametere som kan benyttes til å vurdere setningsutvikling og styreparametere ved dimensjonering av spuntvegg. Det vil være behov for forboring og foringsrør gjennom grove masser for å kunne utføre CPTU ved Bryggen og Torget.
- Instrumentering av nye miljøovervåkingsbrønner med sensorer for grunnvannsovervåking, samt vanntapstest ved Bryggen og Torget. Dette vil gi et grunnlag for å vurdere strømning innover Bryggen og følge grunnvannets forhold til tidevannsvariasjonene.
- En tettere undersøkelse langs Sandbrogaten for å styrke tolket overkant av kulturlag og grunnvannsspeil
- En miljøkontroll av de øvre 2-5 m løsmasser samordnes med grunnundersøkelsene
- Etablere nullsituasjon for setninger i deler av strekningen utenom verdensarvstedet



## 5 Videre prosjektering

I reguleringsfasen er det gitt forslag til løsninger som er trygt gjennomførbare for etablering av bane og tilhørende infrastruktur. I detaljeringsfasen må disse løsningene detaljeres ut. I noen tilfeller kan andre løsninger, som gir samme nytte, vurderes. Dersom det velges andre løsninger enn det som vises i reguleringsplanen, og som medfører avvik i forhold til gravekart BT5-GH-10101 og BT5-GH-10201, må det søkes om tillatelse hos Riksantikvaren.

Følgende vurdering bør ha oppmerksomhet:

- Foreløpig er det planlagt en tett løsning foran verdensarvstedet Bryggen, for å redusere tilførselen av nedbrytende sulfater fra tidevannet. Imidlertid vil spuntveggen fungere som en åpen rørsput langs resten av Bryggen, noe som bidrar til å opprettholde den nåværende gjennomstrømningen i massene. Dette anses som den mest gunstige løsningen for Finnegården og annen bebyggelse med kjellere. Det bør også vurderes hvor man setter grensen mellom tett og åpen rørsput, da det er store prisforskjeller mellom disse løsningene. Hensyn til verdensarven vies størst vekt.
- Det må avgrenses hvor man skal benytte kompensert fundamentering, med stiv plate og masseutskifting med lette fyllmasser, for å unngå differansesetninger og påvirkning av kulturlag. Det er foreløpig lagt til grunn at denne løsningen benyttes langs hele traseen, men dette kan optimaliseres. Blant annet i Småstrandgaten vil det være mulig å benytte tradisjonell fundamentering.
- Det ligger to store sentrale VA-ledninger som er rundt 100 år gamle under banetraseen langs Bryggen. Nedlagt ledningsnett som ikke graves opp skal ha ringstivhet som sikrer at en unngår setningsskader, skal være tette og ikke påvirke grunnvannsstanden. Metodevalg for å oppnå dette bestemmes i detaljprosjekteringsfasen.
- For endelig prosjektering og vurderinger av setningsrisiko for sporet kan mer detaljert undersøkelse og vurdering av stivhet i leirige avsetninger og humusholdige masser bli nyttig for endelig valg mht. omfang masseutskifting med vektkompensering i Kaigaten og over Torget.
- Det skal etableres kulverter ved Torget som skal knytte seg til eksisterende kulverter v/Torgallmenningen og langs Strandkaaien. Det er foreslått å etablere kulvert i vannfylt grøft for å unngå faren for å senke grunnvannstanden i området, samtidig som en lenset grøft ville vært utfordrende på grunn av stort vanntilsig. En slik løsning krever god planlegging for hvordan man skal etablere en grøft med god nok nøyaktighet for å installere kulvertelementene under vann. Tidligere har det blitt benyttet dykkere i slikt arbeid.

## 6 Referanser

1. Nilmar Janbu, «Grunnlag i geoteknikk», Tapir, 1974
2. 5187619 Bybanen BT5 Geoteknisk datarapport RA-DS1-004\_J02
3. SSAB, RD pile wall - Design and installation manual, 2019.
4. NGU “Kart på nett”, med kartene “Løsmasser og Marin grense” og “NADAG”. Kart på nett | Norges geologiske undersøkelse (ngu.no)
5. 5187619 Bybanen BT5 Geotekniske vurderinger, spunt over Bryggen NO-Ds1-031
6. NGU 2023: Bybanen BT5 - Overvåking av grunnvann og setninger i anleggs- og driftsfasen ved Bryggen i Bergen. Notat til Bergen kommune V/Bergen vann, 16.03.2023
7. NGU 2003 (2): Bybanen BT5 - Overvåking av grunnvann og setninger i anleggs- og driftsfase, delstrekning DS1 fra Kaigaten til Sandbrogaten. Notat til Bergen kommune V/Bergen vann, 16.03.2023