

Dato: 2021-06-11

*Dette dokumentet er et internt notat som skal gi grunnlag for videre faglige vurderinger og anbefalinger. Notatet er en del av arbeidet med skissefasen for reguleringsplanene for Bybanen fra sentrum til Åsane. Reguleringsplanarbeidet er i en pågående prosess, og notatet 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 notatene 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.*

## DS1 – Hydrogeologi og kulturlag

01D	Første versjon til oppdragsgiver	2021-06-11	OMN/EH	OMN/EH/KJT/HdB	IOV/ET/GW/RF	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.

## Sammendrag og oppsummering

Notatet gir en oppdatert vurdering av hvordan planlagt bybane gjennom Bergen sentrum (BT5-DS1) vil påvirke automatisk fredede kulturlag gjennom evt. endringer i grunnvannsnivå, og gjennom rystelser.

Notatet svarer ut arbeidsoppgave 3: *Vurdere konsekvenser for kulturminner i grunnen mht grunnvann og vibrasjoner ut over det som allerede ligger inne i kontrakt. Tekniske avklaringer og forslag til løsninger som drøftes underveis i prosessen*, blant oppgavene til oppfølging av anbefalingene fra KUVA-konsulent. KUVA – Konsekvensutredning for verdensarv – utføres av firmaet Michael Kloos Planning and Heritage Consultancy, Tyskland, som del av planleggingen i bybane fra Bergen sentrum til Åsane.

Notatet fokuserer på de tre områdene Sandbrogaten, Bryggen med Finnegården, og Torget.

Notatet tar utgangspunkt i konsekvensutredningen fra 2013 for bybane fra Bergen sentrum til Åsane, og sammenstiller med rapporten Oppsummering fra skissefase, fra det pågående arbeidet med reguleringsplan for bybane og hovedsykkelrute fra Kaigaten til Vågsbotten. I dette notatet er virkninger på kulturlag som følge av bybanetrase gjennom Bergen sentrum oppdatert med kunnskap slik den foreligger nå, for å gi et bedre grunnlag for vurderinger i forbindelse med KUVA. Den oppdaterte kunnskapen er i hovedsak knyttet til grunnvannsmålinger, et supplerende notat om Sandbrogaten utført av NIKU, et teknisk notat med vibrasjonsvurderinger fra NGU, samt nærmere planlagte løsninger for infrastruktur.

For Sandbrogatens del anbefales det å arbeide videre med en pumpeløsning for infrastruktur, og dermed begrense og unngå inngrep dypere enn nødvendig i gaten. Kulturlag, både middelalderske og yngre organiske, kan i stor grad bevares med denne løsningen. En stabilisering av det svingende grunnvannsnivået i gaten vurderes å kunne gi en positiv effekt for grunnvannssituasjon og kulturlag i Sandbrogaten. Tunnelportal og tunnel planlagt nord for Sandbrogaten bør være så vanntett som mulig for å opprettholde vannbalansen og tilførsel av grunnvann til kulturlag i området.

For verdensarvstedet Bryggens del vurderes det at etablering av spunt i forbindelse med infrastruktur i det yngre kailegemet (1918-1924) kan fungere som en terskel for innenfor-liggende grunnvann. Dette vil hindre den pågående infiltreringen av saltvann med nedbrytende sulfater til kulturlagene utenfor Bryggens fasader, og redusere svingninger i grunnvannsnivået som følger av flo og fjære. Dette gjelder først og fremst de eldre kaifundamentene utenfor selve Bryggenbygningene, preget av saltvannspåvirkning, og med mindre god bevaringstilstand. Innenfor ligger kulturlagene under verdensarvbygningene. Her er det generelt gode bevaringsforhold. En bedring av grunnvannsforholdene i kaisonen vil trolig også bidra til å opprettholde gode grunnvannsforhold for resten av verdensarvstedet på sikt.

For Finnegården og Torgets del anbefales ikke ytterligere grunnvannstiltak for kulturlagenes del, utover generelle tiltak som hindrer økt gjennomstrømming av grunnvann og saltvann.

## Innholdsliste

<b>1</b>	<b>BESKRIVELSE AV FOKUSOMRÅDET .....</b>	<b>4</b>
1.1	BERØRTE OMRÅDER .....	4
1.2	PROBLEMSTILLING.....	4
1.3	BAKGRUNN.....	5
<b>2</b>	<b>SANDBROGATEN .....</b>	<b>6</b>
2.1	KU 2013 OG OPPSUMMERING SKISSEFASE.....	6
2.2	DAGENS SITUASJON – OPPDATERT KUNNSKAP.....	8
2.3	TILTAK/LØSNING.....	13
2.4	VIRKNING FOR HYDROGEOLOGI/KULTURLAG.....	15
2.5	SKADEREDUSERENDE TILTAK .....	16
2.6	SAMLET VURDERING SANDBROGATEN.....	17
<b>3</b>	<b>VERDENSARVSTEDET BRYGGEN.....</b>	<b>17</b>
3.1	KU 2013 OG OPPSUMMERING SKISSEFASE.....	17
3.2	DAGENS SITUASJON – OPPDATERT KUNNSKAP.....	19
3.3	TILTAK/LØSNING .....	24
3.4	VIRKNING FOR HYDROGEOLOGI / KULTURLAG .....	28
3.5	SKADEREDUSERENDE TILTAK .....	28
3.6	SAMLET VURDERING VERDENSARVSTEDET BRYGGEN.....	29
<b>4</b>	<b>FINNEGAARDEN – HANSEATISK MUSEUM.....</b>	<b>29</b>
4.1	KU2013 OG OPPSUMMERENDE SKISSEFASE .....	29
4.2	DAGENS SITUASJON – OPPDATERT KUNNSKAP.....	30
4.3	TILTAK LØSNING.....	32
4.4	FØLGER FOR HYDROGEOLOGI/KULTURLAG.....	32
4.5	SKADEREDUSERENDE TILTAK .....	32
4.6	SAMLET VURDERING FINNEGÅRDEN.....	32
<b>5</b>	<b>TORGET.....</b>	<b>32</b>
5.1	KU2013 OG SKISSEFASE.....	32
5.2	DAGENS SITUASJON – OPPDATERT KUNNSKAP.....	33
5.3	TILTAK/LØSNING.....	35
5.4	FØLGER FOR HYDROGEOLOGI/KULTURLAG.....	35
5.5	SKADEREDUSERENDE TILTAK .....	36
5.6	SAMLET VURDERING TORGET.....	36
<b>6</b>	<b>VIBRASJONER.....</b>	<b>36</b>
6.1	GRENSEVERDIER .....	36
6.2	BESKRIVELSE AV OMRÅDET OG PLANLAGT BANELØSNING .....	37
6.3	VIBRASJONSMÅLINGER.....	38
6.4	RESULTATER OG KONKLUSJONER.....	39
<b>7</b>	<b>OPPSUMMERING .....</b>	<b>40</b>
7.1	SANDBROGATEN .....	40
7.2	BRYGGEN .....	41
7.3	FINNEGAARDEN.....	41
7.4	TORGET.....	41
7.5	OPPSUMMERT ANBEFALING.....	41
7.6	VIDERE ARBEID - IDENTIFISERTE PROBLEMSTILLINGER.....	42
	<b>REFERANSER.....</b>	<b>43</b>

## 1 Beskrivelse av fokusområdet

### 1.1 Berørte områder

Notatet gir en nærmere vurdering av hvordan planlagt bybane gjennom Bergen sentrum (BT5-DS1) vil påvirke kulturlag i middelalderbyen Bergen, gjennom evt. endringer i grunnvannsnivå og gjennom vibrasjoner.

Kulturlag kan defineres som avsetninger med spor av menneskelig virksomhet. Kulturlag avsatt før 1537 er fredet etter kulturminneloven. Yngre kulturlag kan være vernet eller fredet gjennom andre bestemmelser. Utover en egenverdi som historisk kildemateriale, kan slike etterreformatoriske kulturlag ha en viktig funksjon i Bergen, hvor de inngår i et grunnvannsregime som beskytter de dypereliggende eldre kulturlagene. Det vil flere steder være viktig at både eldre og yngre kulturlag bevares, siden de er bærende for bygninger oppå kulturlagene. Også avsetninger fra nyere tid kan defineres som kulturlag. I dette notatet brukes betegnelsen moderne masser på avsetninger fra rundt de siste 100 år, og omfatter hovedsakelig ikke-organisk materiale som fyllmasser, stabiliserende masser og forskjellige former for nyere gatedekker.

Notatet fokuserer på de tre områdene Sandbrogaten, Bryggen med Finnegården, og Torget.

### 1.2 Problemstilling

Gjennom Konsekvensutredning Bybanen Bergen sentrum – Åsane, heretter referert til som KU 2013 [1], og ytterligere belyst i skissefase [2] medfører bybanetrase gjennom Bergen Sentrum mot Åsane svært liten direkte konflikt med automatisk fredede kulturlag, under forutsetningen av at banens fundamentering går en meter ned i grunnen.

Banen kan imidlertid ha indirekte virkning på automatisk fredede kulturlag gjennom endringer i grunnvannsnivå, eller gjennom vibrasjoner.

Det kan ikke ligge langsgående infrastruktur under banen. Infrastruktur må legges om, og ligger dypere enn banens fundamentering. Denne omleggingen kan medføre direkte eller indirekte konflikt med kulturlag.

Stabil og høy nok grunnvannstand slik at høy vannmetning i kulturlagene opprettholdes / oppnås, er en forutsetning for bevaring av store deler av de automatisk fredete kulturlagene i Norges middelalderbyer. Kulturlagene består i stor grad av organisk materiale som bevares i anaerobe omgivelser under grunnvannstanden. Reduksjon av grunnvannstanden vil føre til økt tilførsel av oksygen som igjen vil føre til økt forvitring av kulturlagene. Dette vil igjen kunne føre til setninger på overflaten.

Notatet svarer ut arbeidsoppgave 3: *Vurdere konsekvenser for kulturminner i grunnen mht grunnvann og vibrasjoner ut over det som allerede ligger inne i kontrakt. Tekniske avklaringer og forslag til løsninger som drøftes underveis i prosessen*, blant oppgavene til oppfølging av anbefalingene fra KUYA-konsulent. KUYA – Konsekvensutredning for verdensarv – utføres av firmaet Michael Kloos Planning and Heritage Consultancy, Tyskland, som del av planleggingen i bybane fra Bergen sentrum til Åsane [3].

Notatet fokuserer altså på bybanens virkninger på kulturlag ut fra grunnvannsforhold og vibrasjoner, ut fra kunnskap i prosjektet så langt. Prosjektet er i overgangsfase fra fase 3, skissefasen, over i fase 4, reguleringsplan og teknisk forprosjekt. Mens det er gjort supplerende undersøkelser for grunnvann og kulturlag i løpet av skissefasen, har undersøkelser av vibrasjon vært planlagt å skje i løpet av fase 4. For dette notatet har NGI gjort innledende vurderinger av vibrasjoner til følsomme kulturlag ved Bryggen, Finnegården og Sandbrogaten. Vurderingene er blant annet basert på eksisterende målinger for bybanen, og øvrig sammenlignbart materiale [17]. Dette er presentert i kapittel 6, men er også innarbeidet i notatet sammen med øvrige nye vurderinger.

### 1.3 Bakgrunn

Kulturminner i grunnen, spesielt automatisk fredete kulturlag, ble utredet i KU 2013, mer detaljert og utdypet i vedleggsnotatene 02 *Konsekvensutredning kulturminner og kulturmiljø* [4] og 03 *kulturlag i middelalderbyen Bergen* [5]. For kulturlags del ble det særlig pekt på at eksisterende infrastruktur ligger til dels i automatisk fredede kulturlag av stor verdi, som i Sandbrogaten, eller i nærheten av slike, men uten å berøre dem direkte, som utenfor verdensarvstedet Bryggen.

Kulturlag er avhengige av stabil grunnvannstand, og at denne er høy nok til å sikre tilstrekkelig metning i kulturlagene. Endringer i grunnvannsnivå som følge av bybane vil da kunne påvirke kulturlag. Dette er tidligere behandlet i vedleggsnotatet 04 *Bybane gjennom Bergen sentrum hydrogeologi* [6]. Senere samme året ble temaet ytterligere belyst i tilleggsutredningene 06 *Supplerende hydrogeologiske vurderinger i Sandbrogaten og Vågsbunnen* [7], 07 *Sandbrogaten, gravedybder, fundamentering og infrastruktur* [8], og 08 *infrastruktur under bybanetraseen i sentrum* [9], til dels også 02 *Endret Linjeføring ved Finnegården* [10]. Samlet danner disse notatene et omfattende grunnlag om kulturlag og forhold under bakken langs traseen, og i Sandbrogaten spesielt. Kjennskap til disse utredningene legges til grunn for dette notatet. I dette notatet behandles i hovedsak nye undersøkelser, og om hvorvidt vurderingene som ligger til grunn i KU endres som følge av nye resultater.

Siden den gang er bybanen gjennom sentrum nærmere planlagt gjennom skissefasen, første del av reguleringsplanarbeidet med bybane og hovedsykkelrute fra Kaigaten til Vågsbotten. Det er gjennomført målinger av grunnvannsnivå langs traseen. For Sandbrogatens del er det gjennomført en ekstern oppdatering av kunnskapsgrunnlaget om gatens kulturlag, hvor de nye grunnvannsmålingene er inkludert [11].

I rapporten *Oppsummering skissefasen* [2] nevnes flere punkter som skal jobbes videre med i fase 4:

- Forhold knyttet til hydrogeologi, kulturlag og løsninger som sikrer et stabilt grunnvannsnivå detaljeres nærmere når valg av infrastrukturløsning er klarlagt.
- Infrastrukturløsninger med overvannshåndtering detaljeres, og arbeidet vil ha stort fokus på å utarbeide løsninger som hensyntar hydrogeologi og kulturlag i sensitive områder.
- Det skal utarbeides et mer detaljert grunnlag for vurdering av rystelser i sensitive områder som eksempelvis Bryggen, Sandbrogaten og Øvregaten.

Gjennom dette notatet vil virkninger på kulturlag som følge av bybanetrase gjennom Bergen sentrum oppdateres, ut fra kunnskap slik den foreligger nå, for å gi et bedre grunnlag for

vurderinger i forbindelse med KUVA. Det tas imidlertid forbehold om at ikke alle løsninger er fastsatte, og at målinger og beregninger av grunnvann og vibrasjoner kan endre seg etter hvert som vi får et mer omfattende datamateriale. Det er også noe begrenset hvor langt tekniske løsninger kan planlegges i skissefasen. Slik sett kan også dette notatet revideres når nye data og mer detaljerte løsninger foreligger.

## 2 Sandbrogaten

### 2.1 KU 2013 og oppsummering skissefase

#### 2.1.1 KU 2013

Sandbrogatens nedre kvartal ligger på en opprinnelig strandtunge som strakte seg mot Holmen hvor festningen ble etablert i middelalderen. På denne tungen kan det være spor av noe av byens tidligste bebyggelse. Øvre del av gaten dekker østre del av det opprinnelige ferskvannsbassenget Veisan, som ble gradvis fylt igjen i løpet av middelalderen, uten at vi kjenner detaljene i denne prosessen. Utover materiale deponert ved igjenfylling i middelalderen, er Veisan et paleobotanisk reservoar som inneholder viktige data om byens historie før middelalderen, gjennom fossile botaniske spor som viser områdets vegetasjonshistorie.

Gatens kulturlag ble vurdert til stor verdi i KU. På et punkt utenfor Sandbrogaten 5 er det påvist omrodede middelalderske kulturlag 1,32 meter under bakkenivå, *in situ* lag 1,62 meter under bakkenivå. Kjente dybder på infrastruktur ble vurdert mot påviste funndybder. Omlegging av infrastruktur i gaten ble vurdert til stor negativ konsekvens. Dette er beskrevet i detalj i vedleggsnotat 02 *Fagrapport kulturminner og kulturmiljø* [4].

Løsninger her ble viet stor oppmerksomhet i tilleggsutredningene, og Sandbrogaten ble grundigere utredet i tilleggsutredning 07 *Sandbrogaten, gravedybder, fundamentering og infrastruktur* [8]. Rapporten anslår at automatisk fredede kulturlag treffes mellom 1 og 2 meter ned i bakken i nedre del av Sandbrogaten, med eksempler på «grunne» treff av middelalderlag ved Sandbrogaten 3 (1-2 m under overflate) og 5 (1,35 m, *in situ* lag 1,62 m under overflate). I øvre del av gaten er påviste middelalderlag noe dypere, generelt rundt 2 meter under overflate. Ut fra de originale prosjekteringstegningene fra byarkivet angis trolig dybde av bebyggelse langs gaten, opplysningene er angitt i tabell under.

Tabell 2-1 Oversikt over antatt kjellerdybde for bebyggelse langs Sandbrogaten, basert på tegninger fra Byarkivet

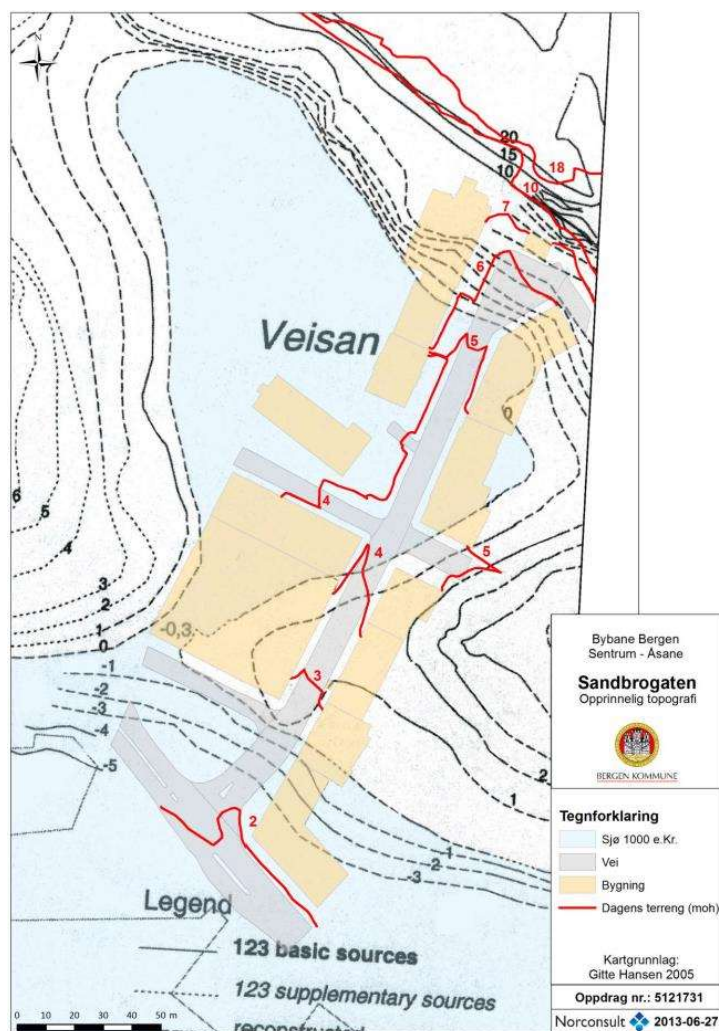
Adresse	Kjeller under bakkenivå
Bradbenken 1	2 meter
Sandbrogaten 1	>2 meter
Sandbrogaten 3	>2 meter
Sandbrogaten 5-7 / Øvre dreggsalm.6	>4 meter
Øvre Dreggsallmenning 7 Vikinghallen	>2 meter
Sandbrogaten 11 Arven	>2 meter

Langs begge sider av nedre del av Sandbrogaten går bygningsmassen dypere enn bevarte kulturlag i selve gaten. Det påpekes også at det er påført masse i øvre del av gaten, og at

vannavsatt pollen som er verdifulle paleobotaniske spor, her ligger minst 4 meter under dagens bakkenivå.

Ut fra et fåtall nærliggende målinger ble grunnvannstand anslått å ligge minst halvannen meter under bakkenivå, og antas dreneres langs VA-grøften i Øvre Dreggsallmenning, øvrig infrastruktur, kjellere, samt jernbanetunnelen nord for gaten.

Ved omlegging av infrastruktur vil selvfølgelig kreve grøftegraving fra Carlsen i Dræggen – nå Arven – til Øvre Dreggsallmenning mellom ~ 2,25 - 3,35 meter relativt terreng og vil medføre konflikt med kulturlag. Som alternativ løsning ble det foreslått pumping fra hus, for å redusere gravedybder til om lag 1,2 meter under bakkenivå. Fra KU-fasen foreligger et omfattende materiale om Sandbrogaten. For ytterligere beskrivelse av Sandbrogatens historie, kulturlag og om grunnvannsforhold og infrastruktur vises det til KU 2013, samt vedleggsnotater 02 og 03, og tilleggsutredninger 06, 07 og 08 [1][4][5][7][8][9].



Figur 2-1 Opprinnelig strandlinje og topografi i Sandbrogaten. Dagens Sandbrogaten med høydekoter i rødt er lagt over opprinnelig topografi og viser dagens høyde over opprinnelig terreng.

### 2.1.2 Oppsummering skissefase

I merknad til varsel om oppstart av reguleringsplanarbeid for Bybanen fra Sentrum til Åsane, skriver Riksantikvaren at «I Sandbrogaten ligg dei eldste og viktigaste kulturlaga i Bergen».

Følgende ble skrevet i oppsummeringsrapport for skissefasen:

*Det er i Sandbrogaten at etablering av bybane har størst risiko for å komme i konflikt med automatisk fredede kulturlag. Her ligger kulturlag fra middelalderen relativt grunt, og kulturlagene er karakterisert som svært viktige og sårbare.*

*I løpet av skissefasen er det gjort kildesøk for oppdatering av arkeologiske observasjoner i traseen siden 2013, disse er fåtallige. Det er dispensert fra kulturminneloven fra Riksantikvaren for 20 grunnundersøkelser innenfor delstrekningen. Det ble krevd arkeologisk observasjon ved ni grunnboringer, hovedsakelig i Sandbrogaten-området. Observasjonene er utført av NIKU, rapporten venter svar på botaniske prøver og dateringsprøver for å ferdigstilles.*

*Kulturlag, både automatisk fredede fra middelalder, og yngre lag, er nært forbundet med hydrogeologi og infrastruktur. Det er igangsatt kartlegging og målinger av grunnvannsnivå langs delstrekningen, særlig i området rundt Sandbrogaten. Det er også satt i gang en supplerende utredning av arkeologiske forhold i Sandbrogaten, for om mulig å sikre et bedre kunnskapsgrunnlag for gatestrekket, for bedre å forstå sammenhengen med omliggende kulturlag, og for å sette dette i sammenheng med hydrogeologiske forhold. NIKU er leid inn for å gjennomføre denne utredningen.*

(Oppsummering skissefasen s. 73-74 [2])

Utfordringene med hensyn til kulturlag i Sandbrogaten er mangefasetterte. Grunnlaget fra KU er grundig og omfattende, men gjennom skissefasen ble det altså satt i gang flere tiltak for å supplere dette: kartlegging av grunnvannsnivå, og supplerende arkeologiske vurderinger.

## 2.2 Dagens situasjon – oppdatert kunnskap

### 2.2.1 Måling av poretrykk og grunnvannstand

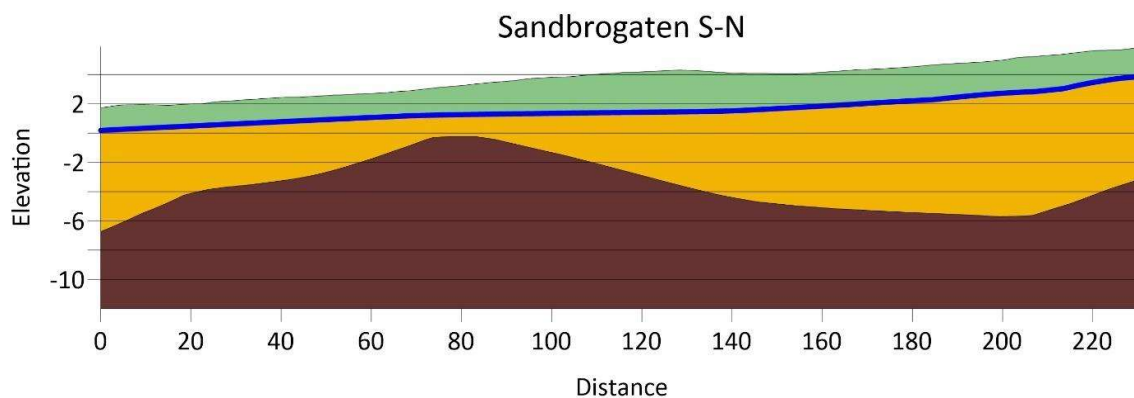
Som del av arbeidet med reguleringsplan og behov for økt kunnskap om grunnforhold, er det etablert 7 poretrykksmålere i og rundt Sandbrogaten. Poretrykksmålerne er for det meste etablert ned mot berg. Disse viser at poretrykket varierer ca. med 1-2 m med årstidene. Sannsynligvis er poretrykket også representativt for grunnvannsspeilet, men det kan være noe forsinkelse i grunnvannsspeilets endringer i forhold til poretrykket, pga. relativt tette kulturlag med begrenset hydraulisk ledningsevne. Detaljerte måledata for poretrykksmålere er i vedlegg 1. Den regionale grunnvannsgradienten går fra høyere områder i nordøst mot Vågen (Figur 2-2). Øverst i Sandbrogaten er gjennomsnittlig poretrykk ca. på kote +3,5 som er ca. 2,4 m under terreng (DS1-703P). Denne måleren varierer med ca. 1,8 m som er relativt mye. Det er sannsynligvis fordi den påvirkes i stor grad av tilstrømming fra høyereliggende områder. I nedre del av Sandbrogaten er gjennomsnittlig poretrykk på ca. kote +0,5 som er ca. 2,3 m under terreng (DS1-701P). Det er ikke tydelig flo og fjære påvirkning i DS1-701P, som er ca. 50 meter fra Vågen. Her varierer poretrykket med ca. 0,9 m.





Figur 2-2: Gjenomsnittlig målt poretrykk ved Sandbrogaten. Poretrykksmålere er vist med sorte ruter. Måleperioden for målerne varierer, november 2019 til mai 2021 for målerne DS1-701P, DS1-702P, DS1-703P, DS1-704P og mai 2020 til mai 2021 for DS1-713P, DS1-714P, 715P. Miljøbrønnene (MBx) er data fra overvåking av vannstand ved Bryggen fra mai 2020 til mai 2021.

Det kan se ut som poretrykket blir litt påvirket av drenering fra dyp VA-grøft i Øvre Dreggsallmenningen som krysser Sandbrogaten ved målerne DS1-714P og DS1-702P. Dette kan sees ved at poretrykket har litt brattere gradient i nordre halvdel av Sandbrogaten og at grunnvannsnivået ser ut til å ligge dypest under terreng i dette området (Figur 2-3). Målerne har gjennomsnittlig poretrykk på henholdsvis kote +1,3m og +1,2m og poretrykket ligger henholdsvis 3,8m og 1,8 m under terreng. Begge målerne varierer med 1,2 m.



Figur 2-3: Viser snitt langs profil vist med sort strek i Figur 2-2. Gjennomsnittlig grunnvannsnivå/poretrykk er vist med blå strek. Løsmasser over grunnvannsspeiler vist med grønt, under grunnvannsspeil med oransje og berg med mørkebrunt. Det er usikkerheter i nøyaktig grunnvanns- og bergoverflate.

Oppsummert ser grunnvannsforholdene ut slik at grunnvannsnivået varierer mest øverst i Sandbrogaten og minst nederst. Grunnvannet ligger dypest i forhold til terreng i området ved krysset Sandbrogaten/Øvre Dreggsallmenningen.

### 2.2.2 Kulturlag og grunnvann – NIKU rapport 2021

NIKU, Norsk institutt for kulturminneforskning, har utarbeidet en rapport som supplerer de eldre KU-rapportene med de siste års observasjoner i området, samt setter dette i sammenheng med pågående målinger av grunnvannstand [11].

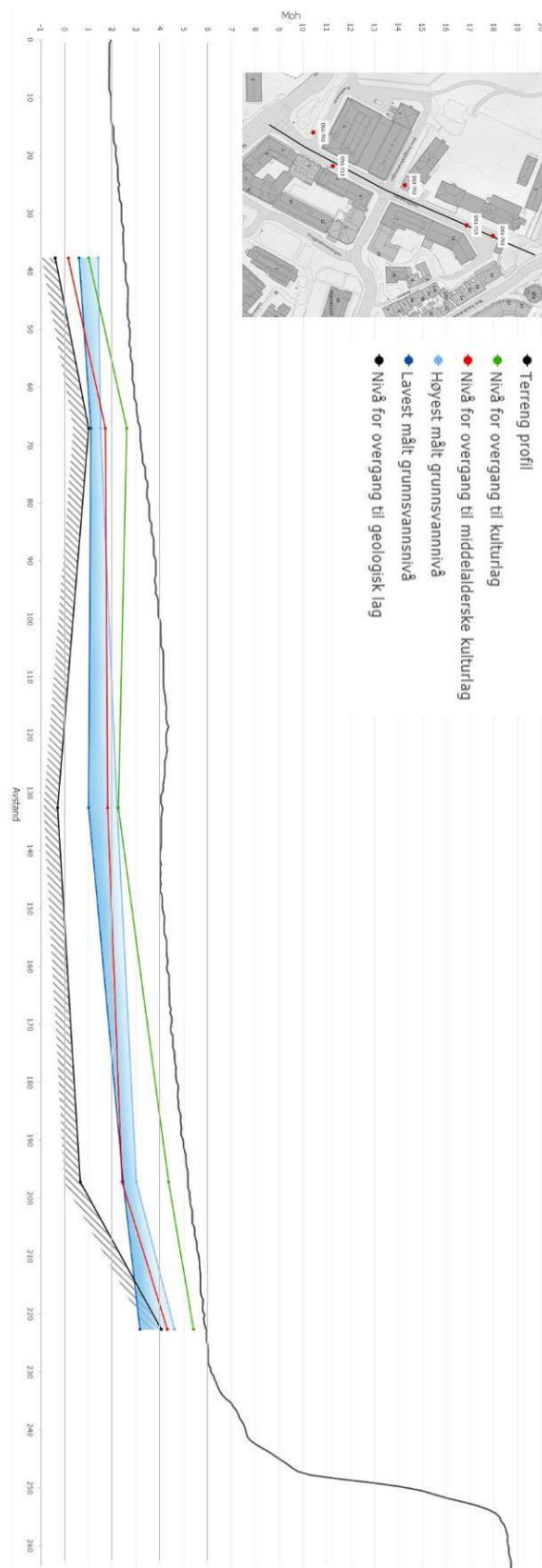
Rapporten supplerer tidligere utredninger med nyere arkeologiske undersøkelser i gaten og nærområdet. Blant de viktigste observasjonene kan nevnes at: Nyere grøfteobservasjoner i øvre del av gaten påviser middelalderske lag 2m under overflaten, men omrotede nyere tids kulturlagsmasser kan treffes fra en halv meter under overflaten (BRM1010). Utenfor Sandbrogaten 5 ble det truffet noe etterreformatorisk materiale under moderne masser som var 1,5 meter tykke (NIKU-prosjektnummer 1021151). Dette er av interesse siden det er langs vannledningen i dette området vi fra før har de grunneste observasjonene av eldre lag. Rapporten beskriver også en del undersøkelser i det nærliggende Koengen-området, men jevnt over når disse registreringene ikke ned til automatisk fredede kulturlag.

Rapporten legger større vekt på de arkeologiske observasjonene av totalsondering og nedsetting av piezometere (grunnvannsmålere) i forbindelse med arbeidet med bybanen. Disse omfatter fem boringer i umiddelbar nærhet til traseen, samt en på Koengen og en i Øvre Dreggsallmenning. For detaljvurderinger av disse vises det til NIKUs rapport, men hovedpunkter fra observasjonene er vist i Tabell 2-2.

Tabell 2-2. De fem boringene i Sandbrogaten eller i umiddelbar nærhet, presentert i rekkefølge fra nedre del av gaten og nordover. Høyder er oppgitt i moh, men i parentes er det angitt dybde under overflate i meter

	Overflate moh	Tykkelse moderne masser	Overgang til øverste organiske lag	Overgang til automatisk fredede kulturminner	Overgang til geologiske lag	Svingning grunnvann
DS1-701	2,60 moh	Max 1,05 moh (Minst 1,55 m)	0,85 moh (1,75 m)	Mulig 0,15 moh (Mulig 2,45 m)	0,40 moh (3,00 m)	0,60-1,40 moh (1,2-2 m)
DS1-713	3,10 moh	2,60 moh (0,5 m)	1,60 moh (1,5 m)	Trolig 1,70 moh (Trolig 1,40 m)	1,00 moh (2,10 m)	1,10-1,50 moh (1,6-2 m)
DS1-702*	3,05 moh	2,25 moh (0,85 m)	1,60 moh (1,45 m)	Trolig 1,80 moh (1,25)	0,30 moh (3,35 m)	1,00-2,20 moh (0,85-2,2 m)
DS1-715	5,20 moh	4,35 moh (Minst 0,85 m)	3,05 moh (1,65 m)	2,40 moh (2,80 m)	0,65 moh (4,55 m)	2,45-3,00 moh (2,2-2,75 m)
DS1-703	6,00 moh	5,40 moh (0,60 m)	-	Trolig 4,30 moh (1,70 m)	4,05 moh (1,95 m)	3,15-4,60 moh (1,4-2,85 m)

\* DS1-702 er boret i hagen like nord for krysset Sandbrogaten/Øvre Dreggsallmenning. Gatelegemet er bygget opp her. I NIKUs rapport er det derfor lagt til 1 meter på disse målingene



Figur 2-4 Grafisk fremstilling av borpunktene i tabell 2-1 i terrenget i Sandbrogaten. Punktene gir nødvendigvis en forenkling av terrenget under bakken, for eksempel gjenspeiles ikke dybden eller omfanget av det opprinnelige Veisan under øvre del av Sandbrogaten. Likevel gir illustrasjonen en god oversikt over kulturlagsdybder og tilstand ut fra grunnvannsnivå

Observasjonene kan samles i følgende punkter:

Organiske kulturlag opptrer om lag fra 1,5 meter under bakken. Middelalderske lag er påvist grunnere utenfor Sandbrogaten 5, men her er altså de organiske sporene omtrent borte i de øverste middelalderske lagene.

Middelalderske kulturlag opptrer generelt dypere. Grovt regnet fra om lag 2 meter under bakkenivå, men enkelte steder grunnere, som vist over.

Grunnvannstand fluktuerer mellom fra 40 til 155cm i de ulike borepunktene, og overgangen til middelalderske lag ligger som regel i denne fluktuasjonssonen (senere målinger viser fluktuasjon ved Sandbrogaten fra 70 cm til 180 cm)

Dette vil si at de dypeste middelalderske kulturlagene ligger i permanent vannmettet sone og er godt bevart. Mye av de etterreformatoriske kulturlagene er permanent over grunnvannsnivå, og er utsatt for nedbryting. Øverste del av de middelalderske kulturlagene og nedre del av etterreformatoriske kulturlag ligger i en sone ned skiftende grunnvannsnivå, og er utsatt. Rapporten påpeker at de organiske lagene er sårbare uten beskyttelse av vann uten beskyttelse av vann, «...og det er stor risiko for rask nedbrytning av det organiske materialet i disse lagene.

*Slik nedbrytning vil ikke bare medføre tap av uerstattelige arkeologiske verdier, men også tap av volum. Sagt på enkelt vis, vil kulturlagene krympe. Dette vil kunne resultere i utvikling av setninger som igjen kan føre til ujevnheter i gatedekket samt skader på underjordisk infrastruktur.*

*Enhver miljøforandring som fører til endring av bevaringsforholdene i en negativ retning – f.eks. ved inngrep i kulturlagene i forbindelse med grøftegraving og lignende – bør unngås så langt det overhodet er mulig. Dersom slike inngrep ikke kan unngås, vil det måtte vurderes å iverksette avbøtende tiltak.»*

Viktigheten av at Koengen-området ikke påvirkes blir påpekt, og for Sandbrogatens del vurderes det kulturhistoriske kunnskapspotensialet i kulturlagene som høyt, og at framtidige inngrep og påvirkning må holdes lavest mulig for å begrense dette.

Rapporten viser til uttalelser om Koengenområdet og Sandbrogatens viktighet, men påpeker også at øvre del av Sandbrogaten og Koengen trolig forble ubenyttet til boligformål gjennom middelalderen: «...– antakelig fordi de lenge fortsatte å være våte og sumpete. Det er heller gode indikasjoner – fra både arkeologisk og botanisk hold – at de gjerne ble brukt for dyrking/beite, samt for deponering av avfall fra bosetningen i nærheten. Denne deponeringen fungerte også som utfylling og stabilisering.»

### **2.2.3 Vibrasjoner og kulturlag**

For vibrasjoner vises det til kap. 6 og fremtidige undersøkelser, men de innledende vurderingene viser at:

- Vibrasjonsverdier fra fremtidig Bybanetrasé er lavere enn det som forventes å kunne gi opphav til irreversible endringer i jordens kornskjelett, setninger, øket komprimeringsgrad eller poretrykkoppbygging i kulturlag ved siden av banen.

- Vibrasjonene fra Bybanen i kulturlag rett under banen kan overstige terskeltøyningen hvis lagene er veldig bløte (lav skjærbølgehastighet). Det anbefales derfor at det gjøres FE-beregninger for å belyse dette i en senere fase av prosjektet når grunnforholdene er undersøkt. Resultatene fra beregningene kan få innvirkninger på anbefalinger om baneoppbyggingen i Sandbrogaten.

Det har ikke vært gjennomført en utregning og FE-beregning av hvordan vibrasjoner eventuelt kan påvirke rett under bybane i Sandbrogaten. Grunnen i Sandbrogaten er heller ikke undersøkt for å kartlegge hvorvidt den er mottagelig for slike vibrasjoner. Dette vil følges opp i fase 4.

#### **2.2.4 Vurdering dagens situasjon/utfordringer**

Grunnvannsmålinger og NIKUs rapport utfyller bildet fra KU 2013 med tilleggsutredninger og gir et sikrere beslutningsgrunnlag. Disse nyere undersøkelsene har ikke gitt opplysninger som bryter med forutsetningene lagt til grunn i KU, men gitt en sikrere forståelse av grunnforholdene. Enkelte punkter kan være nyttige å summere:

- Selv om det er påvist noen dateringer grunnere, ser det ut til at middelalderiske dateringer generelt begynner på om lag 2 meter under overflaten. De opptrer imidlertid grunnere utenfor Sandbrogaten 5. Dette er det grunne området som har vært påpekt tidligere, her er det også påvist middelalderspor over grunnvannsnivå, grunnere enn organiske lag. Hvis en skal peke ut et område som er mest skadet og sårbart i gaten, vil det trolig være her, over den grunne sandtungen som gikk mot Holmen
- Grunnvannet fluktuerer mellom 40 cm og halvannen meter, de øverste middelalderlagene er som regel påvist i denne sonen,
- De øverste organiske kulturlagene begynner generelt 1,5 meter under overflate, og må antas å ha dårlig bevaringstilstand (de er utsatt for uttørking, og vil da på sikt gi dårligere beskyttelse til underliggende lag)
- Drenering skjer trolig langs eksisterende rør, det tverrgående løpet i Øvre Dreggsallmenning, og langs bygningene langs gaten. Ved høyt grunnvannsnivå står grunnvannet i gaten trolig høyere enn kjellerne til nærliggende bygg. Ved laveste punkt kanskje på nivå med kjellerne, men vi har ikke nøyaktige målinger av kjellerne til å bekrefte om grunnvannet retter seg etter kjellernivåene
- Det er altså allerede utsatte områder i Sandbrogaten, og har foregått og foregår en nedbryting av kulturlag. Tiltak bør være rettet mot å forbedre og i alle fall ikke forsterke eller utvide områder der nedbryting foregår, i den videre planleggingen av bybanen.

### **2.3 Tiltak/løsning**

#### **2.3.1 Infrastruktur**

Generelt ligger eksisterende VA-infrastruktur under planlagt trase. Rørnett er gammelt, og må flyttes ut av Bybanetraseen. Det foreligger 2 ulike prinsipp for reetablering av infrastruktur i Sandbrogaten. Ved selvføll vil det være behov for dype grøfter, ved en pumpeløsning kan grøfter legges grunnere.

- Eksisterende VA-infrastruktur i området består av fellesledninger for avløp, som er dype selvfallsledninger (nærmere tre meter under bakkenivå på det dypeste). I gaten er det også vannledninger som er trykkledninger. Disse ligger dypt i dag, men er mer fleksible i forhold til fremtidig plassering. I tillegg er det både stikkledninger og hovedledninger for både vann og avløp.
- Det er planlagt at overvann fra Bybanetunnelen til Sandviken skal føres mot Vågen i Sandbrogaten. Denne overvannsledningen kan legges i grunn grøft.
- Dersom eksisterende rør ikke fjernes når det settes ut av drift, så må både rørene og massene rundt plugges med tette masser for å unngå transport av grunnvann. Fjernes rørene må grøftetraseene stedvis tettes med tette masser slik at grunnvannsdreneringen går saktere enn i dag.

Øvre Dreggsallmenningen krysser Sandbrogaten. I Øvre Dreggsallmenningen ligger DN 400 mm vannledning, og en DN 1 000 mm fellesledning avløp. Disse ledningene skal erstattes av nye ledninger der hvor de krysser under selve Bybanesporet. En antar at de fornyes i den grøften hvor de ligger i dag. Det kan da være hensiktsmessig å erstatte gamle grøftmasser med nye grøftmasser som er tette, slik at grunnvannstransport langs eksisterende rør kan reduseres. Resten av den eksisterende DN 1 000 mm fellesledning avløp bør undersøkes for lekkasjer. Ledninger er 98 år gammel, og ikke tett. Det kan bety at grunnvannet i området dreneres via denne gamle ledningen. I så fall bør den rehabiliteres, eller skiftes ut.

### **2.3.1.1 Selvfall**

Dersom en skal beholde selvfallsledninger i Sandbrogaten, må også disse bli liggende dypt, opptil 3 meter under bakkenivå. Planen er å legge dem inntil eksisterende bygg. Grøftene etableres da i masser som allerede er forstyrret, eller tilbakefylt. En utfordring her er at en vet lite om størrelsen på de faktiske byggegropene, og massenes beskaffenhet.

Å grave dype grøfter tett inntil eksisterende bygninger medfører en risiko for å undergrave dem. I verste fall kan dette få konsekvenser for byggene.

Dype grøfter i trange tverrsnitt tett på Bybanesporet medfører også en risiko ved eventuelt ledningsbrudd. Å grave seg ned til en dyp ledning etter at bane er i drift kan føre til undergraving av sporet. Dette kan medføre behov for sikring av grøfter, med tilhørende ulemper for kulturlag i Sandbrogaten. Ved å legge til rette for gravefri adkomst til VA-anleggene når de etableres, så kan denne risikoen reduseres betraktelig. Med gravefri adkomst menes at rørene er solide, ligger i gode masser, og har tilstrekkelig antall med store kummer som sikrer tilkomst.

For å unngå at nye dype grøfter skal drenere ut grunnvannet i området, må det benyttes tette omfyllingsmasser rundt de nye rørene.

### **2.3.1.2 Med pumpe**

Ved pumping fra private kjellere kan man legge rør grunnere i gaten og unngå konflikt med kulturlag. Det må da gjøres en omfattende registrering og vurdering av privat infrastruktur inne i husene i Sandbrogaten i forbindelse med forprosjekt / prosjektering.

Det er stikkledninger for vann og avløp på begge sider av Sandbrogaten. Det er også avstikk til sprinkleranlegg på begge sider av gaten. Det innebærer at en enten må ha VA-anlegg som krysser gaten under sporet, eller et VA-anlegg på hver side av gaten.

Ved bruk av pumper og grunne grøfteløsninger fjernes behovet for dype selvfallsledninger, men det vil likevel være behov for å grave i en viss dybde, på grunn av f. eks anlegg på tvers av trase og koordinering med annen infrastruktur.

Før de nye VA-anleggene er planlagt sammen med all øvrig infrastruktur i gaten, kan det ikke sies sikkert hvor dype de nye VA-grøftene vil bli. Vi tror at en kan unngå nye grøfter som er dypere en 1.5 meter.

Det er også mulig å etablere en hybrid løsning med noen dype grøfter, og noe pumping med grunne grøfter, så sant dette ikke kommer i konflikt med kulturlag, f. eks nede ved Bradbenken.

## **2.4 Virkning for hydrogeologi/kulturlag**

### **2.4.1 Selvfall**

Ved å legge ny infrastruktur med selvfall vil det være behov for graving på dybder som i stor grad tilsvare nivå for grøfter i dag. Ved å legge infrastruktur i antatt eksisterende byggegrop vil man trolig begrense konflikt med kulturlag, men det er ikke usannsynlig at en vil ha behov for større plass, og dermed være i konflikt med kulturlag som grenser inn mot byggegrop. Grøft vil ligge så dypt at det blir konflikt med middelalderske kulturlag. I øvre del av Sandbrogaten vil graving i 3 meters dybde medføre konflikt med både etterreformatoriske og middelalderske kulturlag. Grøften vil også ligge i fluktusjonssone og i underkant av denne for grunnvann.

I Nedre del av Sandbrogaten ligger de grunnest påviste kulturlagene, utenfor nummer 5. Grøftedybder på 2-3 meter vil her skjære gjennom middelaldersk kulturlag og komme ned i opprinnelig grunn, «sandtungen» ved Sandbro.

Risiko for drenering og senkning av grunnvannsnivå kan gjøres mindre ved å fylle tette grøftemasser rundt nye og eksisterende rør, også rør som ikke skal brukes lenger. Tette grøftemasser har kun hensikt hvis drenering vil kunne påvirke kulturlag negativt ved at kulturlag ellers kan bli liggende over grunnvannsnivå. Tilførsel av tette grøftemasser kan gjøres stedvis nedover i Sandbrogaten slik at de tette massene fungerer som terskler for grunnvannet.

Like fullt medfører etablering av nytt ledningsnett med selvfall konflikt med automatisk fredede kulturlag.

### **2.4.2 Med pumpe**

Løsningen vil ligge på ned mot 1,5 meter dybde, dybden styres bl.a. av kryssinger under banetrasé. Med denne løsningen vil man kunne unngå konflikt med automatisk fredede kulturlag, generelt vil man ligge like i overkant av organiske etterreformatoriske kulturlag. Ekstra hensyn må vises midt i nedre del av Sandbrogaten, utenfor Sandbrogaten 5. Her er

middelalderiske kulturlag påvist grunnest, og må antas å allerede være skadet av eksponering for oksygen.

Ved å bruke pumpeløsning vil sannsynligvis infrastrukturen ligge over grunnvannsnivå. Dette vil isolert sett for den nye VA-grøften bety mindre risiko for drenering av grunnvann. Uansett vil eldre dype VA-grøfter ha potensial for å drenere grunnvannet. For å avbøte dette vil det være nyttig med bruk av tette grøftemasser i disse. Tette grøftemasser kan utformes som stedvise terskler nedover Sandbrogaten.

## 2.5 Skadereduserende tiltak

I utgangspunktet er beste skadereduserende tiltak for kulturminnenes del å velge pumpeløsning.

Med unntak av nordside av øvre kvartalet mot Koengen, har Sandbrogaten bygninger med grunnmurer som strekker seg minst 2 meter ned i gaten på begge sider. De bevarte kulturlagene i gaten ligger altså som en «forhøyning» mellom bortgravde masser på sidene av gaten. Det er overveiende sannsynlig at grunnvann i gaten dreneres av omliggende kjellere, samt eksisterende infrastruktur, men grunnvannet ligger tidvis høyere i gaten enn disse omliggende kjellerne.

Det er også overveiende sannsynlig at eksisterende infrastruktur virker drenerende på kulturlag. Dette vil være langs gaten, og på tvers av gaten i Øvre Dreggsallmenning. Drenering kan være i og langs eksisterende rør. Ved avsluttet bruk anbefales at rørene tettes/fylles for å hindre drenering. For drenering langs rør anbefales at disse tettes med «plugging», at man på utvalgte steder langs røret graver seg ned og fyller rundt røret med tette masser som vil danne terskler. Å grave opp langs rørene i full lengde for å erstatte dem antas å kunne gjøre større skade på kulturlag. Anbefalte lokasjoner for etablering av terskler er i krysset Sandbrogaten/Øvre Dreggsallmenningen (tersklene i krysset skal hindre drenering videre både i Sandbrogaten og Øvre Dreggsallmenningen) og nederst i Sandbrogaten ved Sandbrogaten 1.

En slik plugging antas ikke å heve grunnvannsnivå i Sandbrogaten pga. drenerende kjellere, men det vil begrense gjennomstrømming, og dermed sannsynligvis redusere de sterke svingningene viser i grunnvannsnivået i dag. En stabilisering av grunnvannsnivået vil være en gevinst, særlig for de dypest liggende kulturlagene.

Etablering av lokal infiltrasjon av overvann til grunnen bør vurderes. Dette kan være regnbed eller andre permeable dekker der nedbør infiltrerer ned til kulturlag.

Det blir viktig at tunnelportal og tunnel som er planlagt inn i berget nord for Sandbrogaten (DS2) blir så vanntett som mulig for å opprettholde vannbalansen og unngå reduksjon av tilførsel av grunnvann til kulturlagene i området. Det er sannsynlig at grunnvannsnivået i området ved Sandbrogaten i stor grad er avhengig av tilførsel av grunnvann fra berget fra oppstrøms høyere liggende områder. Det kan bli aktuelt med midlertidig vanninfiltrasjon i berg i anleggsfasen som avbøtende tiltak.



## 2.6 Samlet vurdering Sandbrogaten

Sandbrogaten har verdifulle kulturlag langs gateløpet. Organiske kulturlag ligger generelt fra 1,5 meters under overflaten, middelalderiske lag begynner generelt fra 2 meter nede i grunnen, selv om det er påvist at de kan treffes grunnere.

Grunnvannet fluktuierer rundt overgang til middelalderiske kulturlag. Kulturlag i «tørrlagt» sone er i generelt dårlig tilstand. Dette kan gjelde de høyestliggende middelalderiske lagene noen steder. I fluktuasjonssonen befinner det seg både middelalderiske og etterreformatoriske lag. Fluktueringen av grunnvann er uheldig for bevaring av disse lagene.

Med pumpeløsning for ny infrastruktur og tetting med terskler langs eksisterende infrastruktur kan gjennomstrømming av grunnvann reduseres. Det er urealistisk å se for seg en vesentlig heving av grunnvannsnivå i gaten, men all den tid grunnvannet tidvis står høyere enn omliggende kjellere, vil det være en gevinst for kulturlagene å stabilisere grunnvannsnivået. Det gjennomsnittlige grunnvannsnivået øker da noe, og dette vil være gunstig for vannmetning og for reduksjon av setningspotensiale. Slik sett kan etablering av bybanen gjennom gaten bidra til en positiv påvirkning for kulturlag og grunnvann i Sandbrogaten, selv om denne effekten er begrenset.

Det blir viktig å vurdere tett tiltak langs VA-grøfter og evt. infiltrasjon av overvann i forhold til kjellere langs med gaten. Et resultat av nevnte tiltak kan bli at kjellere får innsig av grunnvann og at dette må håndteres.

Tunnelportal og tunnel planlagt nord for Sandbrogaten bør være så vanntett som mulig for å opprettholde vannbalansen og tilførsel av grunnvann til kulturlag i området.

## 3 Verdensarvstedet Bryggen

Dette kapitlet konsentrerer seg om Bryggen i forkant av verdensarvstedet. Finnegården er også en del av verdensarvstedet, men ligger som en enklave lenger sør, adskilt fra den øvrige bebyggelsen etter 1702-brannen av Murbryggen, kvartalene som ble sanert og bygget opp tidlig på 1900-tallet. Se kap. om 4 Finnegården.

### 3.1 KU 2013 og oppsummering skissefase

#### 3.1.1 KU 2013

I KU 2013 ble bybane trase utenfor Bryggen vurdert til ubetydelig konsekvens for kulturlag, all den tid den går på gjenfylt masse utenfor selve den eldre kaifronten. En mulig positiv virkning ved å bremse tidevannsstrømming inn på bryggen ble påpekt.

#### 3.1.2 Oppsummering skissefase

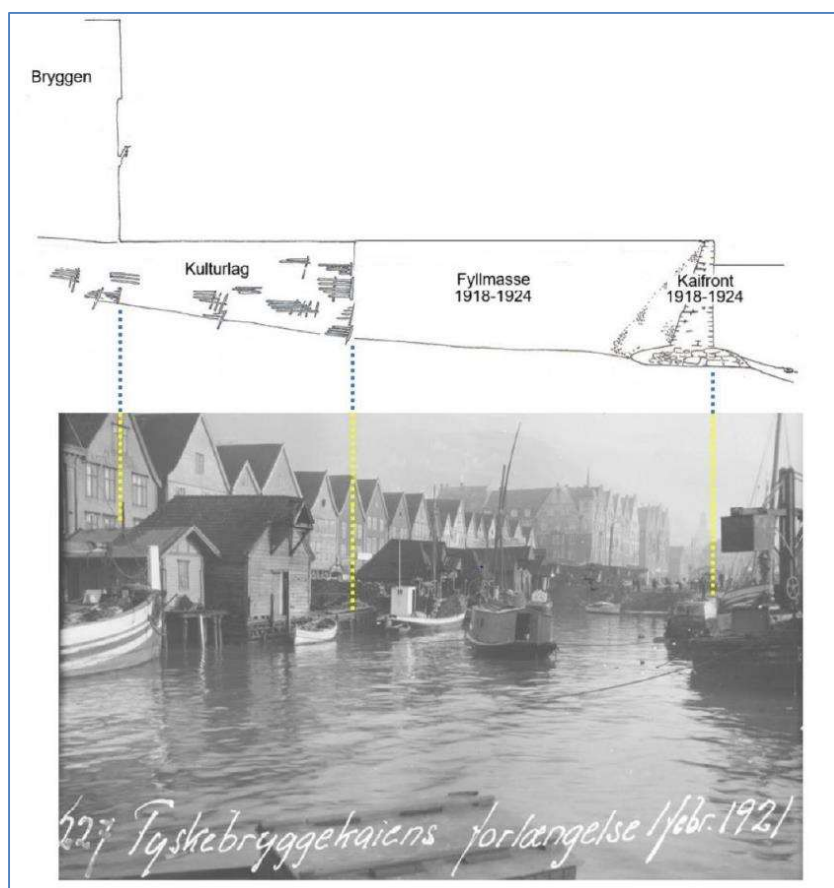
Fra oppsummering skissefasen:

*Bybanens fundamentering vil ha svært liten, om noen, påvirkning på kulturlag så lenge den går på gjenfylt masse fra 1918-1922 utenfor Bryggen. Omlegging av infrastruktur kan imidlertid påvirke grunnvann, og dermed også kulturlag.*

Langs Bryggen går i dag 2x 1000 mm avløpsrør i betong fra 1922, i dybde fra 2,5 til 3,3 meter fallende fra Rundetårnet til Dreggen. Rørene følger i stor grad planlagt løp for Bybanen. Det er flere mindre av- og overløp koblet til denne hovedledningen. Vannledning som går langs Bryggen, er av samme alder og ved siden av eller over avløp langs Murbryggen. Utenfor verdensarvstedet og SAS-hoteller ble imidlertid vannledningen flyttet ut mot kaikant i 2003. Også vannledning har flere avstikk.

Saltvannsinstrømming tilfører oksygen og sulfater til organiske masser og fundamenter under Bryggen og kan virke nedbrytende på disse. Bruk av lavpermeable masser i gamle og nye røgrøfter kan ha en positiv effekt på grunnvannsnivået. Spuntløsninger kan også brukes til fordel for grunnvannsnivået. Slike løsninger må søkes for både anleggs- og driftsfase når det er klarlagt hvordan infrastruktur skal legges om.

I videre faser må det derfor legges vekt på å unngå og begrense inngrep i kulturlag ved graving og omlegging av infrastruktur. Videre må løsningene søkes å gi gunstigere forhold for opprettholdelse av grunnvannsnivå. Prosjekterte løsninger for omlegging av infrastruktur og fundamentering av bane må være planlagt og kvalitetssikret på en slik måte at det ikke er behov for å endre løsningene i anleggsfase. (Oppsummering av skissefasen, s 74 [2])



Figur 3-1 Prinsippskisse av grunnforhold langs Bryggen, med fotografi fra havneutvidelsen 1918-24. Bildet er tatt i 1921, under arbeidet med kaiutvidelsen. Merk at kaifronten etableres før fyllmasse tilføres i etterkant. Kilde: Billedsamlingen UIB Brosings samling.

### 3.2 Dagens situasjon – oppdatert kunnskap

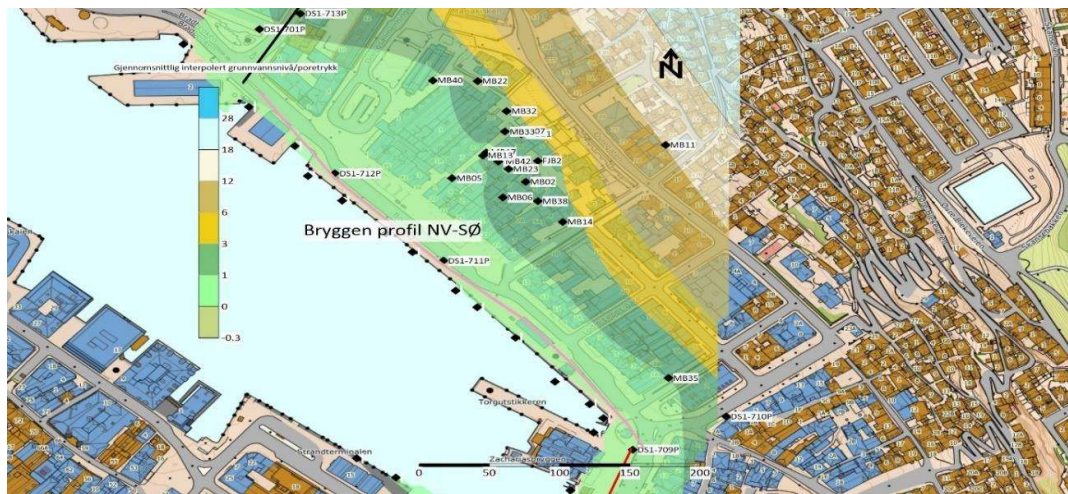
#### 3.2.1 Måling av poretrykk og grunnvannstand

Som del av arbeidet med reguleringsplan og behov for økt kunnskap om grunnforhold, er det etablert 4 poretrykksmålere langs Vågen ved Bryggen og mot Finnegården. Poretrykksmålerne DS1-712P og DS1-711P er ikke etablert ned mot berg, mens DS1-709P og DS1-710P er etablert ned mot berg. DS1-712P og DS1-711P ligger ca. 8-10 m fra Vågen og er tydelig påvirket av flo og fjære. Begge varierer med 1,9m i måleperioden. Gjennomsnittlig poretrykk er på kote 0 som er ca. 1,6m under terreng. Sannsynligvis er poretrykket også representativt for grunnvannspeilet da det ytre del av kaien består av relativt permeable masser, men det kan være litt forsinkelse i grunnvannspeilets endringer i forhold til poretrykket. Måler DS1-709P ligger ca. 30 m fra Vågen og er også tydelig påvirket av tidevannet. Den varierer med 1,1m og har gjennomsnittlig poretrykk på ca. kote +0,2, som er ca. 1,6m under terreng. DS1-710P er ikke tydelig påvirket av tidevann. Den varierer med 0,8 m og har gjennomsnittlig poretrykk på ca. kote +1,1 som er ca. 1,3m under terreng. I Øvre regaten ved MB11 er gjennomsnittlig poretrykk ca. på kote +12 (varierer med ca. 1,6 m), ved MB14 ca. kote +1,8 (varierer med ca. 0,5 m) og ved MB22 på ca. kote +1,3 (varierer med ca. 1,3m).

Under Radisson Blue Hotellet mellom brønn MB05 og MB40 er grunnvannspeilet påvirket av masseutskiftning med permeable masser og spuntløsning rundt hotellet med kontrollert drenering på ca. kote +0,7m. Det er også her etablert en infiltrasjonsløsning av overvann til grunnvannet på utsiden av spunten mellom hotellet og Schøtstuene.

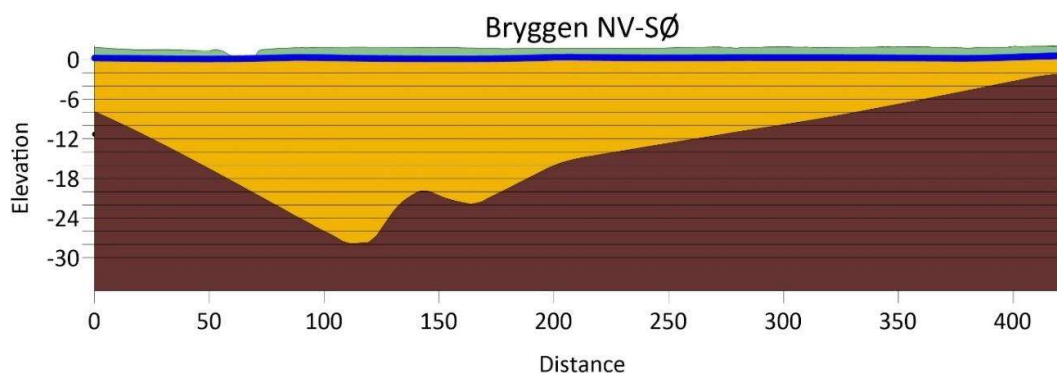
Detaljerte måledata for poretrykksmålere er i vedlegg 1.

Den regionale grunnvannsgradienten går fra høyere områder i nordøst mot Vågen (Figur 3-2).



Figur 3-2: Gjennomsnittlig målt poretrykk og grunnvannstand ved Bryggen. Poretrykksmålere og brønner (MBx) er vist med sorte ruter. Måleperioden er fra mai 2020 til mai 2021. Brønnene er fra overvåking av Bryggen og Hanseatisk museum i regi av NIKU.

Poretrykket/grunnvannspeilet langs Bryggen korrelerer med havnivå og ligger ca. 1-2 meter under terreng (Figur 3-3).

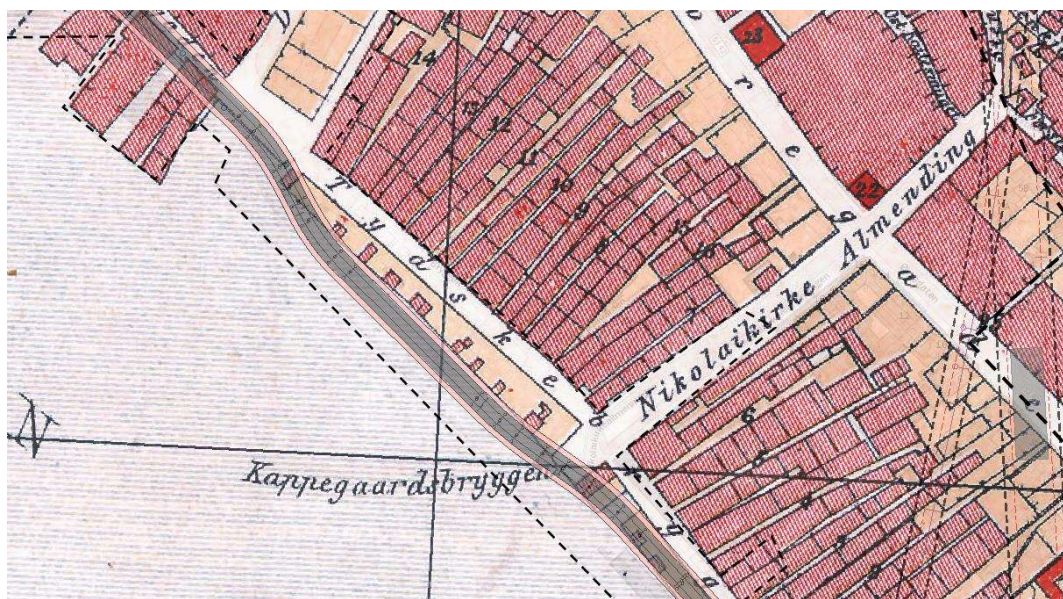


Figur 3-3: Viser snitt langs profil vist med rosa strek i Figur 3-2. Gjennomsnittlig grunnvannsnivå/poretrykk er vist med blå strek. Løsmasser over grunnvannsspeil er vist med grønt, under grunnvannsspeil med oransje og berg med mørkebrunt. Det er usikkerheter i nøyaktig grunnvannsoverflate og til dels store usikkerheter i bergoverflate.

Oppsummert ser grunnvannsforholdene ut slik at grunnvannsnivået nærmest Vågen varierer mest pga. flo og fjære og korrelerer med havnivå. Rett oppstrøms Bryggen kvartalet er grunnvannsspeilet 1,5-2 meter over havnivå. Ved Øvregaten ser grunnvannsnivået ut til å stige raskt sannsynligvis pga. at terrenget stiger og det blir grunnere til berg.

### 3.2.2 Kulturlag og grunnvann

Sjøbunnen utenfor verdensarvstedet ble fylt ut 1918-24. Fra før var de fylt ut tilsvarende utenfor Murbryggen (1899-1903). Banen er planlagt like i ytterkant av kaifront slik den fremsto i 1885. Midt utenfor verdensarvstedet er bane med sykkelvei like utenfor kaikant, i nord- og sørende berører traseen kaikant fra 1885 (Figur 3-4).



Figur 3-4 Kart fra 1885 med dagens kaifront markert som stiplet linje. Planlagt trase for bybane er markert, og ligger like utenfor eller i flukt med kaifront fra 1885, noen steder innenfor

Det er ikke urimelig å tenke at kaikant fra 1885 representerer noen utvidelser fra 1702 kaikant gjennom en nesten 200-årig periode, men disse utvidelsene er ikke nødvendigvis store i areal.

Arkeologiske observasjoner av grunnboringer på Bryggen fremfor bebyggelsen er ikke gjennomgått i detalj, men gir et inntrykk av en viss mengde moderne materiale over de eldre kailagene, fra en meter og dypere. Det nye kaiarealet fra 1918-24 ble også bygget høyere enn innenfor liggende areal. Selve banen med sin meterdype fundamentering vil etter alt å dømme ikke berøre kailag fra 1700-tallet.

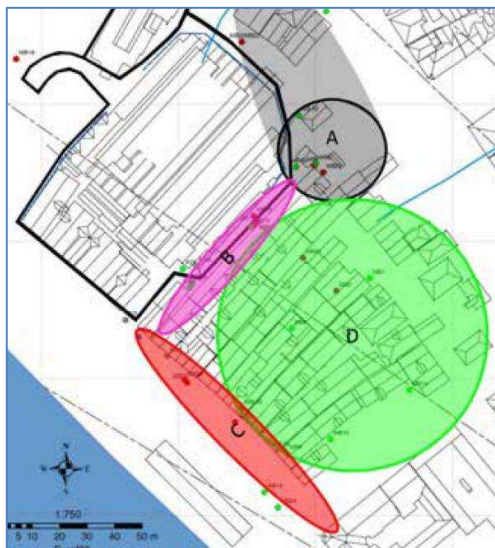
Problemstillingen er derimot hvordan dypere liggende nye grøfter utenfor bybanetraseen vil påvirke kulturlagene som ligger innenfor bybane traseen.

Kulturlagene under verdensarvstedet Bryggen er ikke berørt av nyere bebyggelse og strukturer som andre steder i Bergen. De kjente Bryggenutgravningene som fulgte da nordre del av Bryggen brant ned i 1955 var arkeologifaglig banebrytende, langt utover landets grenser. Bevaringsforhold og funnmengde i arkeologiske lag som var avgrenset av ulike brannlag som lot seg tidfeste har gitt grunnlag for mye av vår kunnskap om Bergens historie. Kulturlagene i tilknytning til verdensarvminnet er en del av kulturminnet og har internasjonal verdi.

Bevaringstilstanden til disse kulturminnene er belyst gjennom Grunnvannsprosjektet. Grunnvannsprosjektet Bryggen ble igangsatt og finansiert av Riksantikvaren i 2011. Det ble utført ulike tiltak – både over og under bakken – for å redusere tapet av grunnvannet fra verdensarvstedet Bryggen ved å tette spuntveggen rundt nabotomten mot nord samt å bruke en rekke overflater i og ved verdensarvstedet til å infiltrere oppsamlet regnvann i grunnen [12].

Formålet var å heve grunnvannsnivået, noe som er kritisk for den fortsatte bevaringen av kulturlagene og for å hindre at de historiske trebygningene blir utsatt for setninger og etterfølgende skader.

Gjennom grunnvannsprosjektet har man kartlagt og vurdert bevaringstilstand til kulturlag i tilknytning til verdensarvstedet, vist i Figur 3-5.



Figur 3-5 Gjennom grunnvannsprosjektet har man definert 4 soner ved verdensarvstedet, med ulike bevaringsgrad og ulike trusler for bevaring.

Sone A: Relativt tynne kulturlag, generelt dårligere bevart.

Sone B: Tykke arkeologiske lag, setninger og drenering pga. spunt (svart linje)

Sone C: Tykke arkeologiske lag (se nærmere beskrivelse i tekst under)

Sone D: Generelt tykke kulturlag, stabilt og høyt grunnvannsnivå, generelt gode bevaringsforhold (s. 68-69, 80 [12])

Sone C er nærmest planlagt bybanetrase, og den sonen som i første rekke kan påvirkes av tiltak i forbindelse med banen. Sone C er karakterisert av:

- Tykke arkeologiske avsetninger
- Lav grad av moderne forstyrrelser (nesten utelukkende i avsetningene umiddelbart under overflaten)
- Stor andel av løse, sandige, relativt permeable avsetninger ned til så mye som 5 meter under overflaten
- Påvirket/truet av inntrenging av saltvann gjennom flere århundrer
- Samme tydelige vertikale misforhold i bevaring som i sone B. Fra overflaten og fire meter ned viser avsetningene generelt dårlig bevaringstilstand, fra dypere enn fire meter viser lagene generelt en god bevaringstilstand, men det er ikke påvist avsetninger i svært god tilstand i denne sonen (Monitoring, Mitigation, Management s. 69 – oversatt fra engelsk [12])

Det kan kommenteres at kulturlag fra tidlig 1700-tall nødvendigvis vil befinne seg noe dypere enn rett under overflaten, og trolig dypere desto lenger ut mot kaikanten kommer. Ny kai fra perioden 1918-24 ble bygget høyere enn den innenfor liggende eldre kaien, og terrenget er fylt på for å danne en jevn flate ned mot bygningsfasadene. Ettersom de eldre fundamentene har satt seg, har man også fylt på terrenget. For eksempel ble gaten hevet mellom Nikolaikirkeallmenning og Dreggekaien i 1938, for å unngå stadige oversvømmelser med springflo innenfor den nye kaien fra 1918-24.

For å oppsummere: Kulturlagene nærmest banetrase utenfor Bryggen består av kaifundamenter, disse ligger i alle fall innenfor kaifront markert på 1885-kartet. De øverste 4 meterne har dårlige bevaringsforhold, mens situasjonen er bedre dypere ned i massene. Disse kulturlagene er beskrevet som påvirket og truet av saltvannsinntrenging gjennom århundrer. Innenfor de gamle kaifundamentene, under selve Bryggenbebyggelsen, er bevaringsforholdene derimot gode, med unntak mot nord, mot spunt for hotellgarasje.

### 3.2.3 Kulturlag og vibrasjoner

For vibrasjoner vises det til kap. 6 og fremtidige undersøkelser, men de innledende vurderingene viser at:

- Vibrasjonsverdier fra fremtidig Bybanetrasé er lavere enn det som forventes å kunne gi opphav til irreversible endringer i jordens kornskjelett, setninger, øket komprimeringsgrad eller poretrykkoppbygging i kulturlag ved siden av banen.
- En spuntvegg vil kunne gi økte vibrasjoner på den siden som vender mot banen. Også innberegnet effekt av spuntveggen ligger de forventede vibrasjonsverdiene lavere enn grenseverdiene. Selve installasjon av en spuntvegg kan imidlertid skape store vibrasjoner og andre deformasjoner i bakken dersom metode og gjennomføring ikke velges med omhu.
- Vibrasjonene fra Bybanen i kulturlag rett under banen kan overstige terskeltøyningen hvis lagene er veldig bløte (lav skjærbølgehastighet). Det anbefales derfor at det gjøres FE-beregninger for å belyse dette i en senere fase av prosjektet når grunnforholdene er undersøkt.

Ut fra målinger langs dagens bybanetrase vurderes bybanen ikke å påvirke kulturlag innenfor traseen, heller ikke om vibrasjoner reflekteres fra spuntvegg. Eventuell vibrasjon under selve banen vurderes ikke være relevant utenfor verdensarvstedet, all den tid banen her går utenfor kailinje.

### 3.2.4 Vurdering av dagens situasjon/utfordringer

Bane vil gå på moderne kailegеме utenfor kulturlag. Kulturlag utenfor bygningsfront og mellom bane vil ligge dypere enn banens fundamentering. Infrastruktur vil legges dypere, lengre ute i kailegemet. Kulturlagene innenfor bybanetrase er i første rekke eldre kaifundamenter utenfor selve Bryggenbebyggelsen. De øverste 4 meterne har dårlige bevaringsforhold, mens situasjonen er bedre dypere ned i massene. Disse kulturlagene er beskrevet som påvirket og truet av saltvannsinntrenging gjennom århundrer. Innenfor de gamle kaifundamentene, under selve Bryggenbebyggelsen, er bevaringsforholdene derimot gode.

Bybanen vil ikke være i berøring av disse kulturlagene utenfor verdensarvstedet Bryggen, all den tid banen ligger utenfor kaifront fra 1885. Like sør for verdensarvstedet, på nederste del av Nikolaikirkeallmenning, vil banetrase svinge inn over den eldre kaifronten. Basert på øvrige observasjoner kan vi imidlertid regne med at eventuelle spor av 1700-talls kaie vil ligge dypere enn 1 meter under overflate, altså dypere enn banefundamentering.

Ny infrastruktur vil ligge i kaikant utenfor banetrase, og dermed et stykke unna gammel kaifront. Utforming av ny infrastruktur kan påvirke grunnvannsforhold i retning mot verdensarvminnet.

### 3.3 Tiltak/Løsning

#### 3.3.1 Infrastruktur

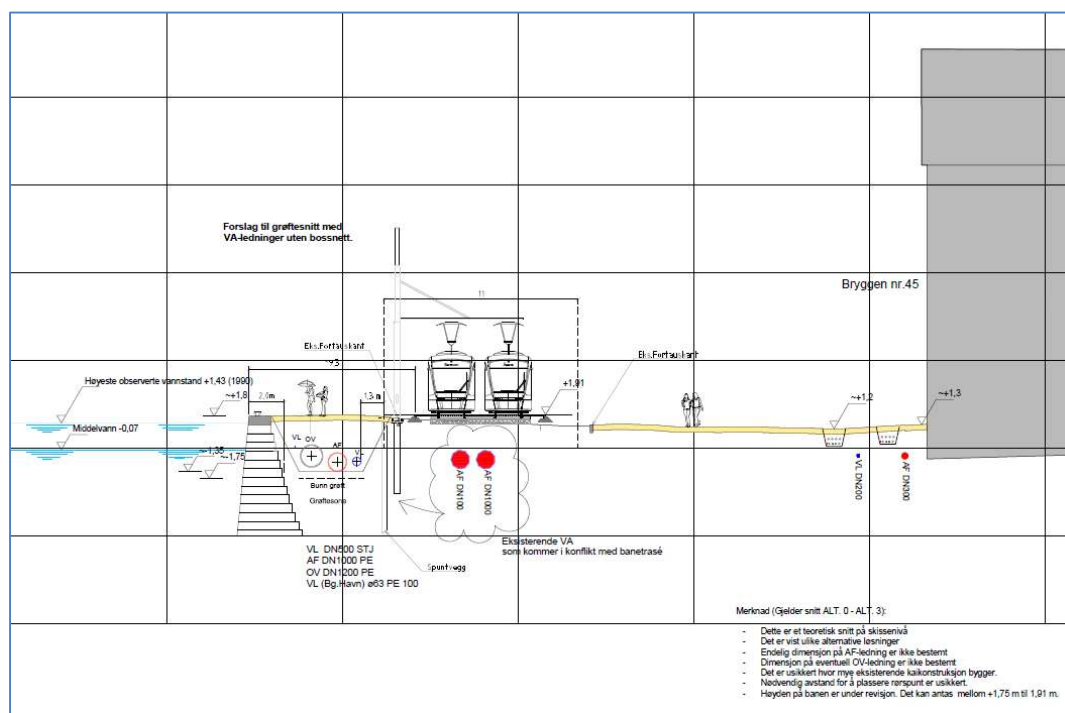
Eksisterende vann- og avløpsledninger på Bryggen ligger innenfor planlagt bybanetrase. Det ligger to parallelle betongrør med diameter 1,0 meter og disse frakter avløpet fra sentrumsbebyggelsen med selvfall til Dreggen pumpestasjon som er plassert i Skur 8. Avløpsnettet er utbygget som felles system hvor overflatevann er tilknyttet avløpsnettet. I nedbørsrike perioder frakter disse store mengder overvann i tillegg til avløpsvann. Ved siden av avløpsledningene ligger en hovedvannledning DN450. Ledningsnettets er ca. 100 år gammelt. Vannledningen er skiftet ut og lagt i ny trase nærmere kaikanten fra ca. 30 meter nord for Skur 11 og mot Dreggen.

Alderen på ledningsnettets tilsier at det er behov for oppgraderinger. Det enkleste ville være å benytte NO-dig-løsninger å fornye eksisterende anlegg på stedet, men dette er utelukket da det ikke skal være langsgående infrastruktur under bybanetraseen.

Det har vært vurdert ulike løsninger og en har valgt å beholde i hovedsak tilsvarende løsningsprinsipp som i dag, men å flytte hele ledningstraseen til side for bybanetraseen slik at rørene blir liggende nærmere kaikanten. Det blir noen kryssinger av banetraseen for å få infrastruktur til de ulike gateløpene utover Bryggen. De gamle rørene kan fases ut når det nye anlegget er etablert.

I anleggsfasen planlegges det med ensidig spunt for langs grøftetrase for å begrense grøftebredde og sikre anleggsområdet. Det vil være en fordel at spunten blir kappet under terrengnivå og blir stående permanent. Dette vil forenkle adkomst til VA-rørene ved eventuell senere oppgraving for vedlikehold/reparasjon, og hindrer fare for undergraving av banespor.





Figur 3-6 Snitt ved Bryggen 45. Kaifront fra 1885 er like innenfor eksisterende fortauskant, midt i bildet. Eldre kulturlag ligger altså innenfor dette

### 3.3.2 Geoteknikk (Spunt)

Ved omlegging av VA anlegg fra Torget til Slottsgaten må eksisterende bygg og gater sikres for legging av nye ledninger i grøft. Sikring av grop og nærliggende infrastruktur (veger og bygg) forutsetter spuntavstivet overgang.

For å minimalisere risiko for skader på bygg og omgivelser forutsettes anvendt borede pelersom skjøtes sammen til en kontinuerlig stålvegg, se Figur 3-7. Pelene bores ned i grunnen og evt. inn i berg v.h.a. en borkrone stor nok til å la stålrøret med «vinger» senkes ned med kontinuerlig kopling mot foregående rør sin vinge med en borkrone ved pelerspiss som håndteres v.h.a. borstang inne i røret. Dette gir en kontinuerlig stålvegg hvor vanntetthet kan påvirkes sterkt med smøring av overgangskoplingen mellom rørene. Veggen forankres horisontalt i løsmassene bak veggen som for eksempel i vegkonstruksjonen langs Bryggen ved hjelp av innborede stag som injiseres fast i løsmassene bak den teoretiske sone som direkte påvirkes av den belastede veggen. Detaljert dimensjonering vil gi beregnet nødvendig dybde for rørspuntveggen, lengde og kapasitet for forankringsstålet inn under f.eks. tilgrensende gate eller bygg. Med relativt liten dybde til fjell forenkles løsningen mht forankringslast o.l. ved å bore spuntrøret ned i berg, evt. med injisering. I gitte problemstillinger sikrer det ekstra godt hvis vanntettningsbehov.

I normal situasjon etableres røret med sin topp i terreng. Forankringsnålene fanger opp og fordeler det horisontale jordtrykket via en horisontal bjelke.



Figur 3-7 Til venstre: Rørpeler med skjøteløsning, her vist med varierende pelestørrelse for tilpasset stivhet/motstand kapasitet. Til høyre Horizontal forankring av rørspuntvegg

Stålvæggen som etableres kan bygges relativt vanntett mot den stabilitetssikrede sone. Det kan være et ønske hvis byggegrøp ønskes holdt rimelig tørr. For den aktuelle utfordring f.eks. langs Bryggen kan passende tetthet søkes etablert med målsetting å gjøre vanninnlekking mot høy flo mindre og/eller å sinke utlekking av grunnvann mot lavvanns situasjon. En permanent spuntløsning må planlegges for 1) sikkert grøftarbeid 2) mulighet for å gjenåpne grøft med fortløpende trafikk i tilgrensede kjørebane 3) noe redusert tilførsel av overvann til grunnen med kulturlag innenfor eller 4) bedre kontroll på jevnere grunnvannsspeil under den arkeologisk fredede sone. Den optimale løsningen må vurderes med topp permanent høyde på spuntvegg, evt. borede hull i vegg under grunnvannsspeilet for langsom utjevning av høydeforskjell i vannstand eller en etablert drengrøft med rør langs innside av spuntvegg mot oppsamlingsavrenning gjennom spuntvegg med regulert kapasitet.

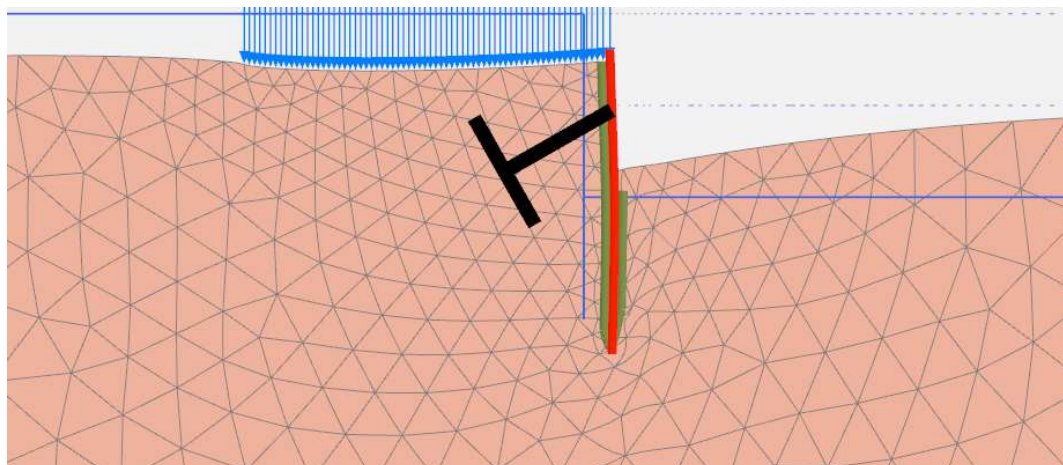
Løsmassene i grøftetraseen er ikke detalj kartlagt mht geotekniske egenskaper. Den innledende dimensjonering i skissefasen er basert på rimelig konservative estimat av styrke og stivhet. Løsmassene på Torget og langs den ytre del av Bryggen har varierende alder, sammensetning og derved noe geotekniske egenskaper både vertikalt og langssetter trase. Noe mer detaljert undersøkelse må vurderes.

Spuntveggen er dimensjonert med FEM-metode hvor de vesentlige resultat er spuntveggen sin stivhet (styrke), antall og avstand mellom forankringsstag, lengde og belastning på stag og forankringsbjelker mellom stagen langs vegg. Å velge den permanente høyde på spuntveggen og ønskede og mulige drenerings løsninger må detaljmodelleres etter ønske og målsetting. Der også gjenåpning av grøft for rørvedlikehold må tas med i vurderingen. Og om en permanent spuntveggtopp i f.eks. ¾ m under framtidig gateplan er mest tilfredsstillende.

Et evt. ønske om å etablere en rørgrøft som med rimelighet kan holdes tørr i byggefasen vil kreve stedvis spunt til større dybde, innvendig avstiving mellom veggene og betydelig større volum spuntvegger.

I Figur 3-8 illustreres beregningsmodellen der endelige variable forutsetninger er valg av grunnvannsstand på innsiden, størst forskjell mellom vannspeil i grøft og bak vegg. Figuren illustrerer omfang av dimensjonerende last f.eks. fra bygg eller vegtrafikk og mulige deformasjoner i kjørebane og i grøft (overdrevet målestokk i figur). Lengden på forankringsstaget er forenklet som prinsipp. Generelt lenger innboring med injisering langs et

rør med diameter i størrelse 100mm. Lengde og injiseringssone må tilpasses utbredelse av kulturlag bak spuntveggen. Eventuelt kan man dimensjonere opp rørsput. Ved kraftige nok rør kan behovet for forankringsstag falle bort. Dette vil være en fordel, siden forankringsstag kan være drenerende om de ikke er tette nok.



Figur 3-8 En PLAXIS FEM modell for dimensjonering av forankret spuntvegg mot Bryggen.

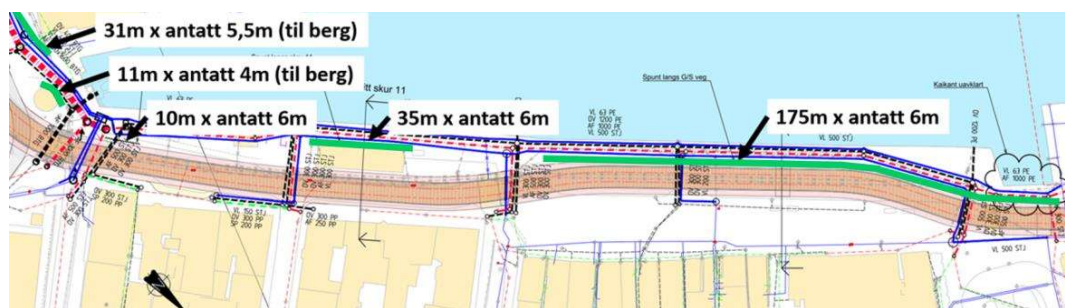
Basert på skisseforslag om grøfteavstiving fra VA gir dette følgende mengder for 5 soner. I tillegg kan det aktualiseres en byggefase avstiving i Torgalmenningen, før beregning antatt relativt grunnspunt uten forankring langs et 60 m langt fundament.

Tabell 3-1 Oppsummert volum av spuntvegger

Sted	Lengde vegg langs innerkant grøft	Antatt rørsputlengde	Type stålvegg	Sum mengde stålrør	Løpemetar stag
Zachariasbryggen	31	5,5 m (antatt spiss i berg)	RD220+30/16	600m	110m
Rundetårnet	11	4,0 m (til berg)	RD220+30/16	155m	50m
Overgangssone mot Skur 11	10	6,0	RD220+30/16	210m	40m
Skur 11	35	6,0m	RD220+30/16	750m	130m
Langs Bryggen	175	6m	RD220+30/16	3700m	600m

En detaljprosjektering kan påvirke forankringsdimensjoner mht krav om ekstra sikkerhet hvis bruddskader e.l. Last fra trafikk i hht vanlig standard. Tilgrensende bygg Rundetårnet og Skur 11 med hittil liten belastning.

I Figur 3-9 illustreres de vurderte avstivede grøftesoner. Kontinuerlig avstiving fra Skur 11 og nordover kan vurderes nyttig mht grunnvannsstand kontroll. Tilsvarende sydover fra Skur 11 og over Torget.



Figur 3-9: De skisserte avstivede områder er markert i de 5 områdene med grønn strek. Tegningen tar utgangspunkt i spuntbehov for VA-grøft, men vil forlenges og tilpasses behov for reduksjon av saltvannsinntømming til Bryggen

Denne skisseløsning kan og bør optimaliseres. Målsetting om å oppnå mer stabile grunnvannsforhold etter at grøften er gjenfylt påvirker ikke spuntdimensjoneringen

### 3.4 Virkning for hydrogeologi / kulturlag

Plasseringen av rørsputt på sjøsiden av planlagt Bybanetrasé vil redusere tilførsel av sjøvann med sulfat inn i kulturlagene på Bryggen. Dette vil føre til mindre forvitring av kulturlag grunnet mindre tilførsel av oksygen og sulfat fra sjøvann. Det vurderes ikke som viktig at spuntten blir helt vanntett ned i dypere lag da eksisterende intakte tette kulturlag inn mot bebyggelsen reduserer tilførsel av sjøvann fra dypere lag. Planlagt gravedyp er på det meste ca. på kote -1,8. Spunten vil hindre at grunnvannsnivået reduseres inne ved setningssensitiv bebyggelse i anleggsfasen, hvis den er tett. Hvor dypt spuntten må gå for å tette tilstrekkelig må imidlertid vurderes mer detaljert.

Etablering av spunt vurderes å ha en positiv virkning for verdensarvminnet, da den reduserer tilførsel saltvann og sulfater, samt reduserer variasjonen i grunnvannsnivået og grunnvannsgjennomstrømming foran Bryggen som følge av flo og fjære. Ved stormflo kan fremdeles saltvann komme over spuntten. Da vil saltinnholdet på innsiden av spuntten bli relativt høyt pga. spuntveggen. I sum vil allikevel spuntveggen føre til betydelig mindre tilførsel av sjøvann. Netto resultat vil være positivt, det vil oppstå en ny balanse mellom salt- og ferskvann, hvor en kan forvente et noe redusert saltinnhold i kulturlagene.

### 3.5 Skadereduserende tiltak

Det blir viktig å ha et godt tilpasset dreneringssystem av grunnvann gjennom spuntveggen slik at ikke grunnvann stuver seg opp til et nivå der det kan bli et problem for bygninger på Bryggens eldre del, men heller ikke yngre deler nord og sør for verdensarvminnet. Spesielt viktig blir da høyden på dreneringen som må korrelere med eksisterende dreneringssystemer. Utenfor Murbyggen er det viktig at høyde tilpasses slik at kjellere ikke får problemer med grunnvann. Samtidig blir det viktig at dreneringssystemet ikke reduserer dagens grunnvannsnivå inne ved Bryggen, da dette vil føre til forvitring av kulturlag og setninger.

Drenering gjennom spunt kan gjøres ved å ha flere hull i rørsputten som er koblet med dreneringssystem på innsiden og utsiden av spuntveggen. Disse må ha flomventiler for å hindre sjøvann å komme inn ved flo og gjennomføringene må være tette. Hvis det velges å

kappe av spunt i passende dreneringsnivå må det vurderes om dette kan føre til ustabil Bybanetrasé ved senere graving i planlagt VA-grøft.

Der det ikke planlegges spunt anbefales det tette grøftemasser i VA-grøfter som krysser bybanetraseen til VA-grøften på sjøsiden. Dette vil redusere tilførsel av sulfat fra saltvann fra Vågen og sannsynligvis redusere grunnvannsdrenering, noe som vil redusere forvitring av kulturlag. Eksisterende VA-grøfter og rør under planlagt Bybanetrasé må tettes slik at de ikke virker som transportveier for sjøvann.

### **3.6 Samlet vurdering verdensarvstedet Bryggen**

Ved å legge infrastruktur langs ytre del av dagens kaifront (1918-1924) og skille denne fra bane og innenforliggende masse med spunt, dannes en barriere mellom infrastrukturen og øvrige masser. Løsningen har en teknisk fordel, den sikrer i anleggsfase og gir senere tilgang til infrastruktur, uten fare for undergraving av bybanetrase.

Med hensyn til kulturlag har imidlertid løsningen en annen fordel. Spunt vil fungere som en terskel som hindrer den pågående infiltreringen av saltvann med nedbrytende sulfater til kulturlagene innenfor planlagt trase, utenfor Bryggens fasader. Slik sett vil Bybanen bidra til en bedring for grunnvannssituasjonen ved verdensarvstedet. Løsningen vil redusere tilførsel av sulfater til sone C, og redusere grunnvannsdynamikken i det øvre sjiktet av massene. Reduksjon av grunnvannsdynamikken i massene under kaien er også en forbedring, i hvert fall for å unngå setninger av terreng og fundamenter. Dette er primært de eldre kaifundamentene utenfor Bryggen. Sonen er allerede preget av saltvannspåvirkning, og bevaringstilstand i denne sonen er ikke vurdert som god i de første fire meterne under bakkenivå. Innenfor disse kaifundamentene ligger imidlertid sone D, som er kulturlagene under selve verdensarvbygningene. I denne sonen er det generelt gode bevaringsforhold. En bedring av grunnvannsforholdene – reduksjon av sulfater og reduksjon av grunnvannsdynamikk – i sone C vil trolig også bidra til å opprettholde gode grunnvannsforhold i sone D på sikt. Det er pr. i dag ikke store setninger av selve bygninger ved fronten av Bryggen, så vidt vi kjenner til. For deler av Bryggen har fundamenter blitt skiftet ut og bygninger hevet. Stabile grunnvannsforhold vil bidra til å redusere nedbrytningsprosesser også av rehabiliterte fundamenter.

## **4 Finnegården – Hanseatisk museum**

### **4.1 KU2013 og oppsummerende skissefase**

#### **4.1.1 KU 2013**

I KU 2013 ble det vurdert at trase for bane ville gi begrenset negativ konsekvens for kulturlag langs Murbryggen, selv om muligheten for å treffe etterreformatoriske kulturlag på denne dybden langs Murbryggen er til stede. Infrastruktur var tenkt å legges lenger ute, i nyere kaifyllinger.

Denne vurderingen tok ikke tilstrekkelig hensyn til Finnegården/Hanseatisk museum, som er en del av verdensarvstedet og ligger i sørenden av Murbryggen. Fra kulturminneforvaltningen ble det spilt inn at nærføring til Finnegården var uakseptabel, og at «Nærføring vil være kritisk da det er kjent at bygningen har store setningsskader og ligger i et område med problematiske grunnforhold.»

I tilleggsutredning 03 *Endret linjeføring ved Finnegården*, presenteres ny løsning hvor sving ved Rundetårn er noe krappere, og banen får 2 meter lenger avstand til Finnegården. Banen går da over hoper og utstikkere som vist på kart fra 1880. Notatet beskriver i kaiutvidelsen i disse hopene, med utviding og steinsetning i den sørligste hopen 1845-48 og utvidelse av hele Murbryggen i 1899-1903, og hvordan den nye kaifronten er hevet.



Figur 4-1 Situasjonen ved Finnegården før og etter kaiutvidelsen i 1899-1903. Planlagt bybanetrase ligger over trebryggene utenfor det indre gatearealet som er brolagt i bildet til venstre

#### 4.1.2 Oppsummerende skissefase

Fra oppsummeringsrapport skissefase:

*Rystelser er ikke vurdert utover KU2013 og tilleggsutredninger. Det vises her til at trafikk medfører noen vibrasjoner ved Finnegården. Ikke nok til å deformere mineralske masser, men slike vibrasjoner kan øke og påskynde setninger i trefundamenter som er skadet og i forråtnelse.*

*Generelle erfaringer samt målinger fra eksisterende trasé viser at bane gir mindre vibrasjoner enn busser, på grunn av annen fordeling av akseltrykk på skinner enn på vei. Med fundamentering som fordeler trykkbelastning og vibrasjoner i bakken vil banetrasé ikke påvirke setningen i massene (KU2013 s. 11 og 296, tilleggsutredning 3 s. 6 og 10).*

(Oppsummering skissefase side 94 [2])

*Traseen over Bryggen følger i utgangspunktet traseen fra KU2013, men med enkelte tilpassinger. Avstanden til Finnegården er uendret fra KU2013 og anlegget, inkludert sykkelfelt, ligger med minimumsavstand ca. 4,8 meter fra bygningen. I begge ender av Tyskebryggen er s-kurvene slakket ut noe for å gi bedre komfort for passasjerene.*

(Oppsummering skissefase 96 [2])

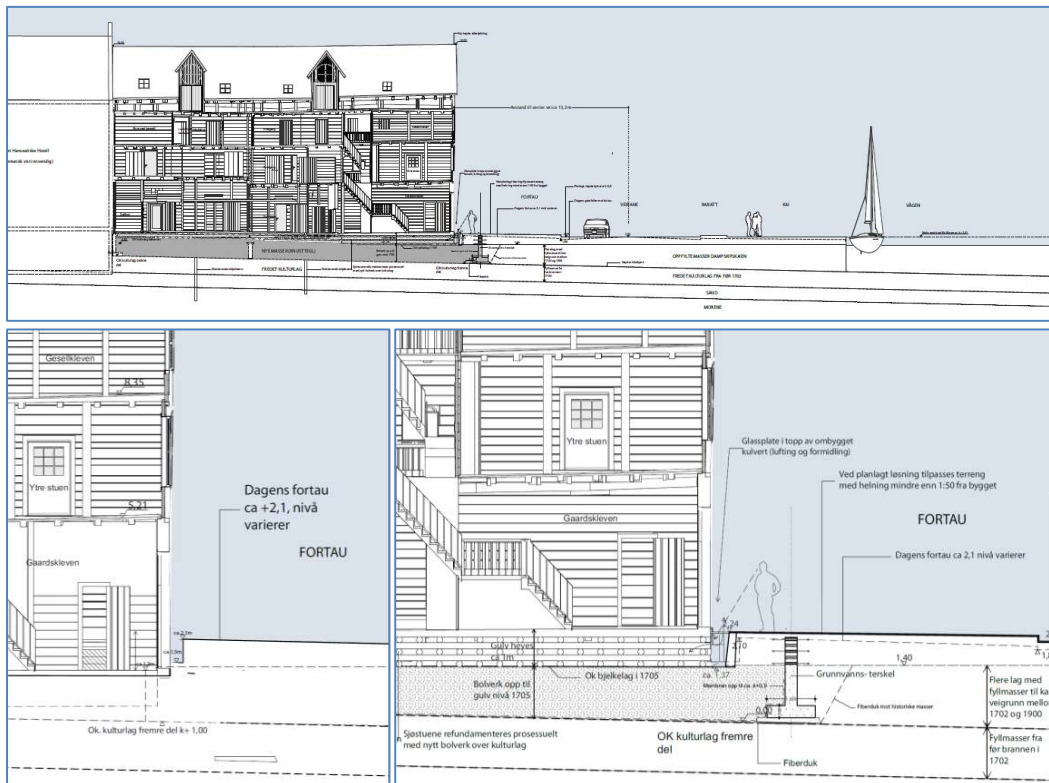
## 4.2 Dagens situasjon – oppdatert kunnskap

### 4.2.1 Poretrykkmålinger/grunnvannstand

Interpolert poretrykk/grunnvannstand basert på gjennomsnittsverdier ved Finnegården kan sees i Figur 3-2. Miljøbrønn MB35 ligger ved østveggen av gården. MB35 har gjennomsnittlig grunnvannstand på ca. kote +0,9, ca. 1 meter under terreng. MB35 ligger ca. 55 m fra Vågen. Nærmere Vågen korrelerer poretrykket med havnivå, se beskrivelse av DS1-709P i kap.3.2.1.

#### 4.2.2 Kulturlag og grunnvann

Kulturlag er behandlet i detalj i tilleggsutredning 03 til KU (2013). For kulturlag under Finnegården er imidlertid betingelsene under endring. For å utbedre setningsskader skiftes byggets fundamentering nå ut, ned til brannlaget fra 1702. Eksisterende bjelker skiftes ut, og legges på et lag av knust tegl, oppå fyllmasser avsatt frem til 1702. I forkant av museet og rundt, etableres en grunnvannsterskel som vil holde grunnvann stabilt under museet, til et nivå på kote 0,9 moh. Bygningen heves 1 meter. For å gjennomføre dette uten å skade nabobygningen Bryggen 3, vil det peles 17 RD-peler (Ø 220 mm) fordelt på to rekker mellom bygningene.



Figur 4-2 Utsnitt fra prinsippskisse for heving av Finnegården. Nede til venstre opprinnelig situasjon, til høyre fremtidig situasjon med hevet bygning og terskel i forkant (Bergen kommune)

For kulturlagenes del skal kulturlag under Finnegården være sikret med tanke på grunnvann. Den planlagte terskelen vil gå ned til brannlaget fra 1702.

#### 4.2.3 Kulturlag og vibrasjoner

For vibrasjoner vises det til kap. 6 og fremtidige undersøkelser, men de innledende vurderingene viser at:

- Vibrasjonsverdier fra fremtidig Bybanetrasé er lavere enn det som forventes å kunne gi opphav til irreversible endringer i jordens kornskjelett, setninger, øket komprimeringsgrad eller poretrykkoppbygging i kulturlag ved siden av banen.
- En spuntvegg vil kunne gi økte vibrasjoner på den siden som vender mot banen. Også innberegnet effekt av spuntveggen ligger de forventede vibrasjonsverdiene lavere enn grenseverdiene. Selve installasjon av en spuntvegg kan imidlertid skape store vibrasjoner og andre deformasjoner i bakken dersom metode og gjennomføring ikke velges med omhu.

#### **4.2.4 Vurdering av dagens situasjon**

Hanseatisk museum/Finnegården er under restaurering hvor fundamentering skiftes ut og erstattes med en løsning som skal sikre grunnvannsnivå under bygning.

#### **4.3 Tiltak løsning**

Beskrivelse av eksisterende anlegg og forslag til løsning foran Finnegården er tilsvarende som på Bryggen, se punkt 3.3.1 over. Behovet for spunt i forbindelse med anleggsgjennomføring kan være noe mindre her, men det vil være behov for spunt på noen lokale punkter av hensyn til selve VA-grøften og anleggsgjennomføring.

#### **4.4 Følger for hydrogeologi/kulturlag**

Da det lages eget grunnvannssystem for Finnegården hvor grunnvannsnivået skal holdes stabilt på kote +0,9 m vil Finnegårdens kulturlag være ivarettatt.

#### **4.5 Skadereduserende tiltak**

Det blir viktig at drenering gjennom spunt som beskrevet i kap. 3.5 er godt utført slik at ikke oppstuvning av grunnvannstand blir et problem.

#### **4.6 Samlet vurdering Finnegården**

Finnegården er under heving med restaurering av underliggende fundamentering ned til brannlaget fra 1702. Den nye fundamenteringen sikres med terskel som bevarer grunnvannsnivå rundt bygningen. Spunting med hensyn til infrastruktur vil ikke bidra til en bedring av kulturlag ved Finnegården, da denne sikres med egen terskel.

## **5 Torget**

### **5.1 KU2013 og skissefase**

#### **5.1.1 KU2013**

Vågsbunnen er beskrevet i KU2013 og mer detaljert i tilleggsutredning 06 *Supplerende hydrogeologiske vurderinger i Sandbrogaten og Vågsbunnen*. Enkelt oppsummert kan en si at



dagens vegtrase går over masser som er fylt ut i etterreformatorisk tid. Midde lalderske deponeringer og eventuelle utfyllinger vil ligge svært dypt i dette strekket (under havnivå), med et unntak av overgangen fra Torgallmenning, hvor senmiddelalderske avsetninger er påvist dypere enn 1,5 meter under gatenivå. Eventuelle senmiddelalderske lag og strukturer langs nordre del av Torget vil ligge under havnivå.

Bane som går en meter ned i bakken vil i liten eller ingen grad komme i konflikt med kulturlag og konstruksjoner. Omlegging av infrastruktur vil gå dypere og trolig komme i konflikt med etterreformatoriske kulturlag, og man kan ikke utelukke middelalderske avsetninger ved overgang til Nedre Torgallmenning.

Ved en eventuell drenering ved infrastruktur vil trolig sjøvann opprettholde grunnvannsnivå, men med økt salinitet, som er uheldig for kulturlagene. Ved flytting av VA-grøft til utsiden av trasé vil man kunne fylle med lavpermeable masser i både gammel og ny trasé slik at de ikke medvirker til drenering eller rask gjennomstrømming av sjøvann inn og ut av grøfteområdet.

### 5.1.2 Skissefase

I skissefase har kulturlag på Torget vært mindre i fokus, utover vurderinger som bidrag inn til planlegging av infrastruktur og målinger for hydrogeologi. I Skissefaserapporten skrives blant annet at «Forhold knyttet til hydrogeologi, kulturlag og løsninger som sikrer et stabilt grunnvannsnivå detaljeres nærmere når valg av infrastrukturløsning er klarlagt.»

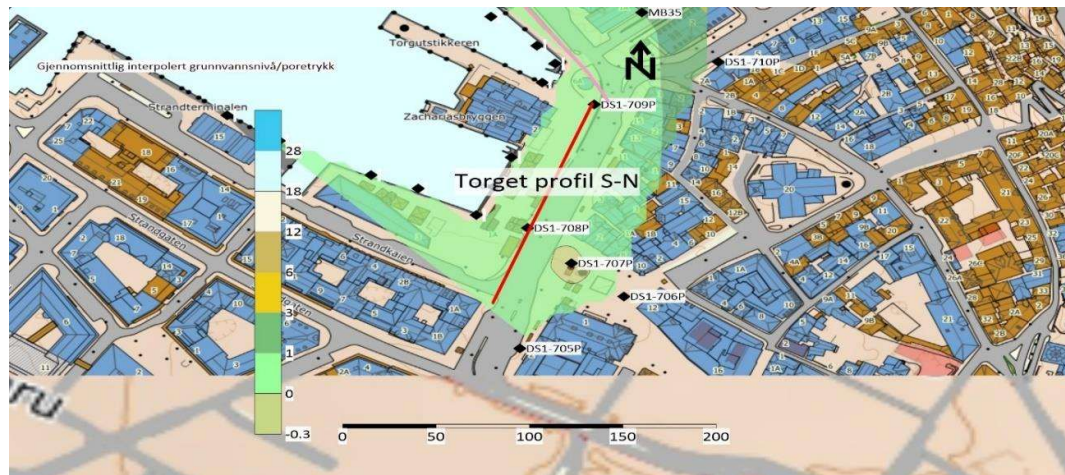
## 5.2 Dagens situasjon – oppdatert kunnskap

### 5.2.1 Poretrykksmålinger/grunnvannstand

Som del av arbeidet med reguleringsplan og behov for økt kunnskap om grunnforhold, er det etablert 5 poretrykksmålere langs Torget. Alle målerne er etablert ned mot berg. DS1-708P og DS1-709P ligger ca. 30 m fra Vågen og er tydelig påvirket av flo og fjære. Begge varierer med ca. 1,0-1,1m i måleperioden. Gjennomsnittlig poretrykk er på henholdsvis kote +0,4 og kote +0,2 (henholdsvis ca. 1,3 og 1,6 m under terreng). Sannsynligvis er poretrykket også representativt for grunnvannsspeilet da tettere kulturlag i dette området i noen grad er gravd vekk under bygningene slik at trykkendringer relativt raskt vil spre seg vertikalt. Måler DS1-707P ligger ca. 60 m fra Vågen. Den varierer med 1,5m og har gjennomsnittlig poretrykk på ca. kote -1,0 (ca. 2,9 m under terreng). Denne måleren er sannsynligvis påvirket av en grunnvannspumpe. DS1-705P og DS1-706P ligger lengst fra Vågen og varierer begge med 1,0 m og har gjennomsnittlig poretrykk på henholdsvis kote +0,6 og kote +0,4 (henholdsvis ca. 3,2m og 1,4 m under terreng).

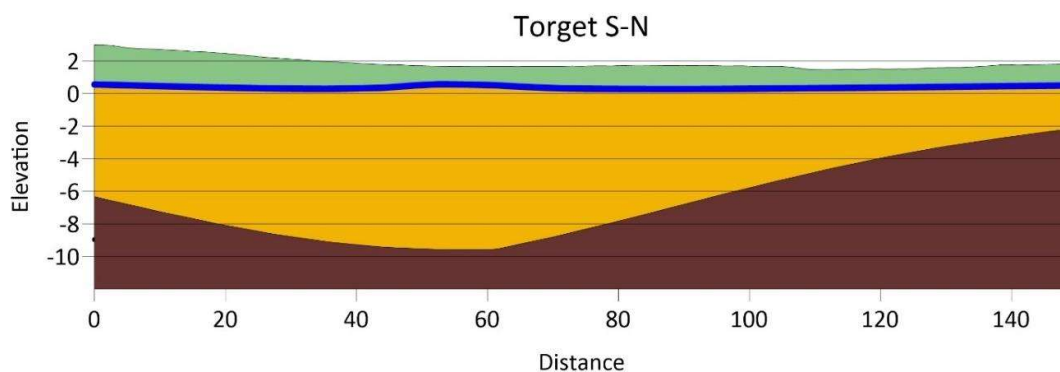
Detaljerte måledata for poretrykksmålere er i vedlegg 1.

Den regionale grunnvannsgradienten går sannsynligvis fra øst mot vest ved Vågen Figur 5-1.



Figur 5-1: Gjennomsnittlig målt poretrykk ved Torget. Poretrykksmålere og brønner (MBx) er vist med sorte ruter. Måleperioden er fra mai 2020 til mai 2021. Brønnene er fra overvåking av Bryggen og Hanseatisk museum i regi av NIKU.

Poretrykket/grunnvannsspeilet langs Torget korrelerer med havnivå og ligger ca. 1-3 meter under terreng (Figur 5-2).



Figur 5-2: Viser snitt langs profil vist med rød strek i Figur 5-1. Gjennomsnittlig grunnvannsnivå/poretrykk er vist med blå strek. Løsmasser over grunnvannsspeil er vist med grønt, under grunnvannsspeil med oransje og berg med mørkebrunt. Det er usikkerheter i nøyaktig grunnvanns- og bergoverflate.

Oppsummert ser grunnvannsforholdene ut slik at grunnvannsnivået nærmest Vågen varierer mest pga. flo og fjære og korrelerer med havnivå. Inne på Vågsallmenningen ser grunnvannsnivået til å være kunstig redusert av trolig en grunnvannspumpe. Denne situasjonen tilsvarer trolig flere lokaliteter i Vågsbunnen. Grunnvannsnivået i nærområdet til Torget er bare litt over havnivå og sannsynligvis i stor grad påvirket av at tettere kulturlag er gravd vekk under bygg.

### 5.2.2 Kulturlag

Som nevnt i kap.5.1.2 har det ikke vært gjort nye vurderinger av kulturlag på Torget utover bidrag til planlegging av infrastruktur og grunnvannsmålinger. Grunnvannsmålinger viser at nivået på Torget korrelerer med havnivå, men også at grunnvannsnivå er redusert i Vågsbunnen, trolig på grunn av grunnvannspumper i kjellere. Fra arkeologiske registreringer er det også observert at flo og fjære følger eksisterende infrastruktur helt inn i Vågsbunnen.

### 5.2.3 Vurdering av dagens situasjon

Grunnvannsnivået nærmest Vågen ser ut til varierer mest pga. flo og fjære og korrelerer med havnivå. Grunnvannsnivået i nærområdet til Torget er bare litt over havnivå og sannsynligvis i stor grad påvirket av at tettere kulturlag er gravd vekk under stående bygninger. Inne på Vågsallmenningen ser grunnvannsnivået til å være kunstig redusert. Tiltak i forbindelse med bybanen vil trolig ikke endre situasjonen nevneverdig på Torget.

## 5.3 Tiltak/løsning

### 5.3.1 Infrastruktur

På Torget mellom Harbitzhjørnet og Rundetårnet ligger det en større avløpskulvert med dimensjon 700x1600 under planlagt trase for bybane. I KU var det foreslått å forsterke denne og la den ligge under Bybanen. Denne løsningen er ikke lenger aktuell. Kulverten er fra 1920-tallet, og det er besluttet at eksisterende anlegg fases ut og ny avløpskulvert etableres lengre ute på Torgflaten. Det etableres en felles grøftetrase for VA og kabelanlegg på torgsiden. For fjernvarme foreligger det to alternative løsninger, en som følger VA-traseen og en som ligger på østsiden av gaten.

Nytt VA-anlegg planlegges etablert på sjøsiden i forhold til Rundetårnet. Det vil være behov for lokale spuntløsninger ved Rundetårnet og ved Zachen for å sikre grøft og bygninger. Også her vil det være viktig at det blir tilkomst til ledningsnett i fremtiden, og det må vurderes om spunten skal bli stående permanent.

I krysset ved Vetrilidsallmenningen er det mye infrastruktur, og det må gjøres nærmere vurderinger for å fastlegge eksakte løsninger for både VA og kabelanlegg. Arbeidet må koordineres med hensyn på trafikk- og anleggsgjennomføring.

## 5.4 Følger for hydrogeologi/kulturlag

VA-grøft på sjøsiden av planlagt Bybanetrasé vil ha gravedyp på ca. kote -1,0 m og vil måtte pumpes for sjøvann/grunnvann under arbeid i grøften, eller man må arbeide vått. Sannsynligvis vil ikke grunnvannet reduseres ved bygningene som ligger ca. 20 meter øst for planlagt VA-grøft. Årsaken er mye tilsig til området fra sjøvann. Tette kulturlag er gravd vekk under byggene for fundamentering. Dette øker også vanntilførsel fra sjøen via dypere lag.

### 5.5 Skadereduserende tiltak

En evt. spuntvegg mellom VA-grøften og Bybanetraseen vil gi mindre risiko for reduksjon av grunnvannsnivå i anleggsfasen og gi mindre tilførsel av sjøvann med oksygen og sulfat til kulturlag. For at spuntveggen skal gi god effekt må den spuntet helt ned i tette lag slik at kommunikasjonen mellom Vågen og kulturlagene innenfor blir vesentlig redusert. Det vurderes ikke som hensiktsmessig med spuntvegg som avbøtende tiltak for kulturlag alene. Årsaken er at kulturlagene er forstyrret av bortgraving under eksisterende bygg og at en spuntvegg derfor sannsynligvis vil ha begrenset kost/nytte effekt.

Bruk av tette grøftemasser som terskler/tettepropper rundt rør i VA-grøfter som kan føre sjøvann fra Vågen til kulturlag innenfor bør etableres. Dette gjelder spesielt for rør som går ut i Vågen ved sørsiden av torget ved krysset ved Vågsallmenningen. Dette vil redusere tilførsel av sulfat og oksygen fra saltvann og vil være positive tiltak for kulturlag.

### 5.6 Samlet vurdering Torget

Infrastruktur legges på Torget utenfor banetrasé. Spunting av grøft vil være nødvendig stedvis av hensyn til grøfter og anleggsgjennomføring, men for at spuntet skal redusere tilførsel av saltvann og sulfater i de yngre kulturlagene på Torget og videre innover, må det spuntet ned til tette lag på Torget. Dette vil medføre konflikt med dypere liggende kulturlag. Dette vurderes ikke som hensiktsmessig for kulturlags skyld alene. Det vurderes som tilstrekkelig å fylle nye grøfter med lavpermeable masser slik at de ikke medvirker til drenering eller rask gjennomstrømming av sjøvann inn og ut av området. Eksisterende grøfter som har kommunikasjon med Vågen bør fylles med tette grøftemasser.

## 6 Vibrasjoner

*Det følgende i dette kapitlet er et sammendrag av det tekniske notatet Vurdering av vibrasjoner fra bybanetrasé til kulturlag ved Bryggen, Finnegården og Sandbrogaten fra NGL, levert sammen med det tekniske notatet for å legges direkte inn i denne rapporten. Det er vist til dette kapitlet under foregående kapitler:*

Det er utført en vurdering av vibrasjoner fra Bybanen til ømfintlige kulturlag i Sandbrogaten, Bryggen og Finnegården i Bergen. Det er også vurdert vibrasjoner fra fremtidig busstrafikk i Øvregaten til området rundt Mariakirken.

Vurderingen dekker risiko for skader på bygninger og nedbrytning av jorden samt påvirkning på mennesker i boliger. Ved Bryggen, Finnegården og ved Mariakirken er det vibrasjonspåvirkning til bygninger og mennesker som er vurdert. Ved Sandbrogaten er det i tillegg vurdert vibrasjonspåvirkning til kulturlag under banen. Påvirkning på eventuelle arkeologiske gjenstander i jorden er ikke vurdert.

Dette kapittel inneholder et sammendrag av vurderingen som er beskrevet mer i detalj i [17]

### 6.1 Grenseverdier

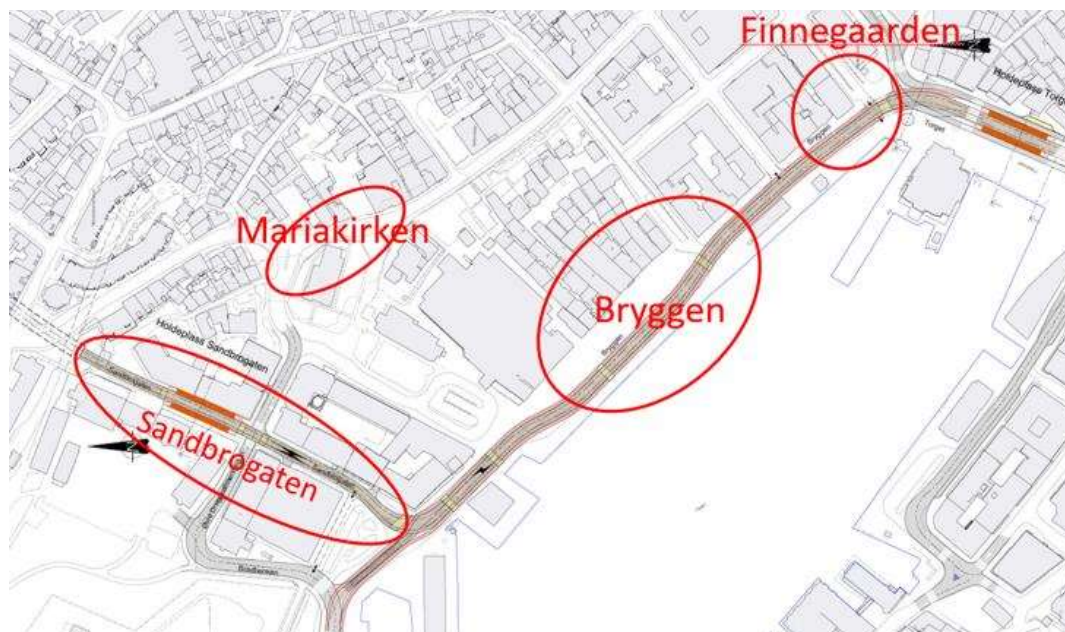
Vurderingen er utført ved å sammenligne målte vibrasjonsverdier fra Bybanen og fra busstrafikk med følgende grenseverdier:

- Grenseverdi fastsatt i Teknisk regelverk for Bybanen [1] for å ta hensyn til virkning av vibrasjoner på mennesker i boliger. Tiltaksgrensen er satt som statistisk maksimalverdi,  $v_{w,95} \leq 0.3$  mm/s (frekvensveid maksimal RMS 1s vibrasjonshastighet etter NS 8176 [14]).
- Grenseverdi for å unngå bygningsskade beregnet etter NS 8141 [15]. Grenseverdier beregnet etter NS 8141 avhenger av grunnforhold, bygningstype, fundamenttype, bygningsmaterialer, avstand og vibrasjonskilde. Hvis en konservativ tilnærming legges til grunn (svært bløte grunnforhold, ømfintlige bygninger og mest ugunstig fundamenteringsløsning) er grenseverdien for de aktuelle bygningene langs Bryggen og Finnegården ca.  $v = 3$  mm/s (toppverdi av vibrasjonshastighet).
- Terskeltøyning for å unngå nedbrytning av jorden fra ISO/TS 14837-32 [16]. Ved bløt leire i grunnen tilsvarer terskeltøyningen en vibrasjonshastighet på ca.  $v_{th} = 10$  mm/s (toppverdi av vibrasjonshastighet) og ved torv og annet organisk materiale kan den være helt ned til  $v_{th} = 5$  mm/s.

## 6.2 Beskrivelse av området og planlagt baneløsning

Områdene som er vurdert vises på kart i Figur 6-1 sammen med planlagt Bybanetrasé. Bryggen og Finnegården (Hanseatisk museum) har status som verdensarvsted.

Korteste avstand fra nærmeste spor til bygningene er ca 9 m ved Finnegården, ca 23 m ved Bryggen og ca 4.4 m i Sandbrogaten [18]. Avstanden fra nærmeste veibane til Mariakirken i Øvregaten er ca 4 m. Baneløsningen er ikke avklart, men det er forventet å bli en løsning med vibrasjonsisolert fastspor tilsvarende den som er benyttet ved Kaigaten (Embedded rail, CDM / Pandrol Q-track [19]). Det er forventet masseutsiftning til 1m ned under terreng. Ved Bryggen og eventuelt også ved Finnegården er det planlagt spunt mellom bane og ny infrastruktur.



Figur 6-1 Planlagt trasé for Bybanen og områder som er vurdert med hensyn til vibrasjoner

Grunnforholdene på stedet og avstand ned til berg er ikke kjent i detalj, men Norconsult opplyser at det sannsynligvis er gammel sjøbunn med fyllmasser. Dette indikerer bløte grunnforhold som generelt sett medfører større risiko for vibrasjonsproblemer enn ved fastere grunnforhold.

### 6.3 Vibrasjonsmålinger

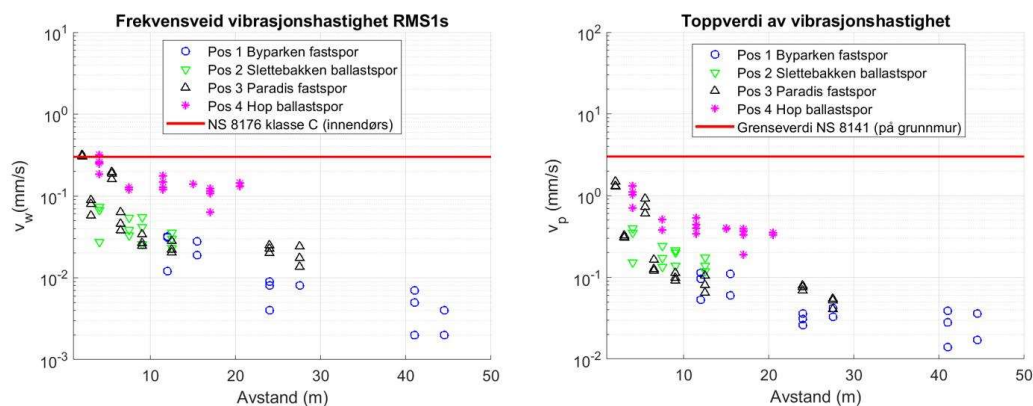
NGI utførte i 2010 måling av vibrasjoner fra Bybanen i Bergen på fire ulike steder i forbindelse med prosjektering av delstrekningen Rådalen – Flesland. Av målestedene er det Sentrum Byparken som er mest aktuell å sammenligne mot. Byparken ligger nærmest området som vurderes nå og det er forventet å bli en lignende sporløsning.

Figur 2-1 viser resultater fra NGIs vibrasjonsmålinger på bakken i ulike avstander ved Bybanepasseringer forskjellige steder, sammen med grenseverdien som tar hensyn til virkning av vibrasjoner på mennesker i boliger i Teknisk regelverk og NS 8176 og en konservativ grenseverdi for å unngå bygningskade beregnet etter NS 8141. Merk at grenseverdien i Teknisk regelverk og NS 8176 gjelder innendørs på gulv og grenseverdien etter NS 8141 gjelder på grunnmur, mens vibrasjonsverdiene er målt utendørs på bakken. Generelt kan man forvente omtrent en faktor på ca to i forsterking fra utendørs på bakken til innendørs på gulv, mens vibrasjonene på fundamenter bli tilnærmet like de som måles direkte på bakken ved bløte grunnforhold.

Målingene viser vibrasjonsverdier lavere enn det som er forventet å gi overskridelser av grenseverdiene i Teknisk regelverk, NS 8176 og NS 8141. Dette gjelder spesielt målingene fra Byparken som indikerer god margin opp til grenseverdiene.

Resultatene viser videre at tøyningene som oppstår ved passering av Bybanen ikke forventes å gi opphav til irreversible endringer i jordens kornskjelett, setninger, øket komprimeringsgrad eller poretrykkoppbygging i jordlag ved siden av banen.

Rett under banen kan høyere vibrasjonsverdier oppstå. Vi har ikke målinger på dette fra Bergen eller andre steder. FE-beregninger for jernbane med ballastspor på bløt grunn som vi har utført i andre sammenhenger, indikerer imidlertid at vibrasjonsverdier rett under bybanen kan overstige terskeltøyningen, dersom jordlagene er veldig bløte (lav skjærbølgehastighet).



Figur 6-2 Venstre: Frekvensveid vibrasjonsverdi målt på bakken ved passering av bybane. Rød linje viser grenseverdi innendørs i boliger etter [13] og [14]. Høyre: Toppverdi av vibrasjonshastighet målt på bakken ved passering av bybane. Rød linje viser konservativ grenseverdi på grunnmur etter [15]

#### 6.4 Resultater og konklusjoner

Vurderingen viser følgende:

- Vibrasjonene fra fremtidig Bybanetrasé er lavere enn det som er forventet å gi overskridelser av grenseverdien i Teknisk regelverk.
- Vibrasjonsverdier fra fremtidig Bybanetrasé er lavere enn det som forventes å kunne gi bygningsskader.
- Vibrasjonsverdier fra fremtidig Bybanetrasé er lavere enn det som forventes å kunne gi opphav til irreversible endringer i jordens kornskjelett, setninger, øket komprimeringsgrad eller poretrykkoppbygging i kulturlag ved siden av banen.
- En spuntvegg vil kunne gi økte vibrasjoner på den siden som vender mot banen. Også innberegnet effekt av spuntveggen ligger de forventede vibrasjonsverdiene lavere enn grenseverdiene. Selve installasjon av en spuntvegg kan imidlertid skape store vibrasjoner og andre deformasjoner i bakken dersom metode og gjennomføring ikke velges med omhu.
- Vibrasjonene fra Bybanen i kulturlag rett under banen kan overstige terskeltøyningen hvis lagene er veldig bløte (lav skjærbølgehastighet). Det anbefales derfor at det gjøres FE-beregninger for å belyse dette i en senere fase av prosjektet når grunnforholdene

er undersøkt. Resultatene fra beregningene kan få innvirkninger på anbefalinger om baneoppbyggingen i Sandbrogaten.

- Som et ledd i utbyggingen vil busstrafikken som i dag går langs Bryggen flyttes til Øvregaten. Vibrasjoner fra buss vil være i omtrent samme størrelsesorden som vibrasjoner fra bybane. Hull, fartshumper og andre ujevnheter i veibanen gir imidlertid opphav til vesentlig høyere vibrasjonsverdier enn jevn veibane og må unngås.

## 7 Oppsummering

Notatet gir en vurdering av hvordan planlagt bybane gjennom Bergen sentrum (BT5-DS1) vil påvirke automatisk fredede kulturlag gjennom evt. endringer i grunnvannsnivå, og gjennom rystelser.

Notatet svarer ut arbeidsoppgave 3: *Vurdere konsekvenser for kulturminner i grunnen mht grunnvann og vibrasjoner ut over det som allerede ligger inne i kontrakt. Tekniske avklaringer og forslag til løsninger som drøftes underveis i prosessen*, blant oppgavene til oppfølging av anbefalingene fra KUVA-konsulent. KUVA – Konsekvensutredning for verdensarv – utføres av firmaet Michael Kloos Planning and Heritage Consultancy, Tyskland, som del av planleggingen i bybane fra Bergen sentrum til Åsane.

Notatet fokuserer på de tre områdene Sandbrogaten, Bryggen med Finnegården, og Torget.

Notatet tar utgangspunkt i grunnlaget fra KU (2013) og sammenstiller med rapporten Oppsummering fra skissefase. I denne blir det identifisert ulike tema som må arbeides videre med i reguleringsplan og teknisk forprosjekt. Gjennom dette notatet er virkninger på kulturlag som følge av bybanetrase gjennom Bergen sentrum oppdatert med kunnskap slik den foreligger nå, for å gi et bedre grunnlag for vurderinger i forbindelse med KUVA. Den oppdaterte kunnskapen er i hovedsak knyttet til grunnvannsmålinger, et supplerende notat om Sandbrogaten utført av NIKU, et teknisk notat med vibrasjonsvurderinger fra NGI, samt nærmere planlagte løsninger for infrastruktur.

### 7.1 Sandbrogaten

Sandbrogaten har verdifulle kulturlag langs gateløpet. Organiske kulturlag ligger generelt fra 1,5 meters under overflaten, middelalderske lag begynner generelt fra 2 meter nede i grunnen, selv om det er påvist at de kan treffes grunnere.

Grunnvannet fluktuierer rundt overgang til middelalderske kulturlag. Kulturlag i «tørrlagt» sone er i generelt dårlig tilstand. Dette kan gjelde de høyestliggende middelalderske lagene noen steder. I fluktusjonssonen befinner det seg både middelalderske og etterreformatoriske lag. Fluktueringen av grunnvann er uheldig for bevaring av disse lagene.

Med pumpeløsning for ny infrastruktur og tetting med terskler langs eksisterende infrastruktur kan gjennomstrømming av grunnvann reduseres. Det er urealistisk å se for seg en heving av grunnvannsnivå i gaten, men all den tid grunnvannet tidvis står høyere enn omliggende kjellere, vil det være en gevinst for kulturlagene å stabilisere grunnvannsnivået. Slik sett kan etablering av bybanen gjennom gaten bidra til en svak positiv effekt for kulturlag og grunnvann i Sandbrogaten.



Det blir viktig å vurdere tett tiltak langs VA-grøfter og evt. infiltrasjon av overvann i forhold til kjellere langs med gaten. Et resultat av nevnte tiltak kan bli at kjellere får innsig av grunnvann og at dette må håndteres.

## 7.2 Bryggen

Ved å legge infrastruktur langs ytre del av dagens kaifront (1918-1924) og skille denne fra bane og innenforliggende masse med spunt, dannes en barriere mellom infrastrukturen og øvrige masser. Løsningen har en teknisk fordel, den sikrer i anleggsfase og gir senere tilgang til infrastruktur, uten fare for undergraving av bybanetrase.

Med hensyn til kulturlag har imidlertid løsningen en annen fordel. Spunt vil fungere som en terskel som hindrer den pågående infiltreringen av saltvann med nedbrytende sulfater til kulturlagene innenfor planlagt trase, utenfor Bryggens fasader. Løsningen vil også redusere grunnvannsdynamikken fra flo og fjære. Slik sett vil Bybanen bidra til en bedring for grunnvanns situasjonen ved verdensarvstedet. De eldre kaifundamentene utenfor Bryggen er allerede preget av saltvannspåvirkning og flo/fjære-svingninger, og bevaringstilstand i dette området er ikke vurdert som god i de første fire meterne under bakkenivå. Innenfor ligger imidlertid kulturlagene under selve verdensarvbygningene. I denne sonen er det generelt gode bevaringsforhold. En bedring av grunnvannsforholdene i de utenforliggende kulturlagene vil trolig også bidra til å opprettholde gode grunnvannsforhold under selve Bryggen på sikt.

## 7.3 Finnegården

Finnegården er under heving med restaurering av underliggende fundamentering ned til brannlaget fra 1702. Den nye fundamenteringen sikres med terskel som bevarer grunnvannsnivå rundt bygningen. Spunting med hensyn til infrastruktur vil ikke bidra til en bedring av kulturlag ved Finnegården, da denne sikres med egen terskel.

## 7.4 Torget

Infrastruktur legges på Torget utenfor banetrasé. Spunting av grøft vil være nødvendig stedvis av hensyn til grøfter og anleggsgjennomføring, men for at spuntene skal redusere tilførsel av saltvann og sulfater i de yngre kulturlagene på Torget og videre innover, må det spunt ned til tette lag på Torget. Dette vil medføre konflikt med dypere liggende kulturlag. Dette vurderes ikke som hensiktsmessig for kulturlags skyld alene. Det vurderes som tilstrekkelig å fylle nye grøfter med lavpermeable masser slik at de ikke medvirker til drenering eller rask gjennomstrømming av sjøvann inn og ut av området. Eksisterende grøfter som har kommunikasjon med Vågen bør fylles med tette grøftemasser.

## 7.5 Oppsummert anbefaling

For Sandbrogatens del anbefales det å arbeide videre med en pumpeløsning for infrastruktur, og dermed begrense og unngå inngrep dypere enn nødvendig i gaten. Kulturlag, både middelalderske og yngre organiske, kan i stor grad bevares med denne løsningen. Dagens tilstand for kulturlagene i Sandbrogaten er ikke tilfredsstillende, dette gjelder særlig de øverste organiske lagene. Noen av dem må antas å være forvitret og tapt, andre er utsatt for relativt

store svingninger i grunnvannstand. Det lar seg ikke gjøre å heve grunnvannstand i Sandbrogaten, men med en pumpe-løsning for grunn infrastruktur, med tettende terskler rundt eldre dypereliggende infrastruktur, vil svingningene i grunnvannstand kunne stabiliseres mer enn i dag. Dette vurderes å kunne gi en positiv effekt for grunnvannssituasjon og kulturlag i Sandbrogaten.

Kulturlag og grunnvannstand under verdensarvstedet Bryggen vurderes ikke å berøres på samme måte av bybanerelaterte tiltak som Sandbrogaten. Trasé og omlegging av infrastruktur griper i all hovedsak inn i de nyere massene utenfor eldre kaifronter. For grøft for infrastruktur bør det anlegges spunt for sikring i anleggsfase og for senere tilgang. Spunt vil kunne bygges på en slik måte at den vil fungere som en grunnvannsterskel.

Dette vil hindre den pågående infiltreringen av saltvann med nedbrytende sulfater til kulturlagene utenfor Bryggens fasader. Dette er de eldre kaifundamentene utenfor Bryggen, preget av saltvannspåvirkning, og med mindre god bevaringstilstand. Innenfor ligger kulturlagene under selve verdensarvbygningene. Her er det generelt gode bevaringsforhold. En bedring av grunnvannsforholdene i kaisonen vil trolig også bidra til å opprettholde gode grunnvannsforhold for resten av verdensarvstedet på sikt.

Finnegården/Hanseatisk museum er under heving og restaurering med etablering av grunnvannsterskel rundt bygget. Det anbefales derfor ikke ytterligere tiltak fra bybanens side for kulturlag i tilknytning til Finnegården.

Torget kjennetegnes av hovedsakelig yngre og etterreformatriske kulturlag, selv om også middelalderiske lag forekommer dypt og stedvis. I den innenfor liggende Vågsbunnen er grunnvannsnivået flere steder lavt, trolig på grunn av grunnvannspumper.

Grunnvannssituasjonen på Torget er preget av gjennomstrømming av sjøvann, både gjennom eldre infrastruktur og fordi tettere kulturlag er fjernet under eksisterende bygningsmasse lenger inne. Etablering av dyptgående spunt langs infrastruktur på Torget vil trolig komme i konflikt med underliggende eldre kulturlag (i motsetning til på de nyere kaiene langs Bryggen). Selv om dette kan bremse grunnvannsgjennomstrømming vil det trolig ikke etablere en tilsvarende terskel som på Bryggen. Det vurderes derfor ikke regningssvarende. Det anbefales imidlertid utstrakt bruk av tette fyllmasser i nye og eldre grøfter.

## 7.6 Videre arbeid - identifiserte problemstillinger

- Løsningene for infrastruktur og spunt må detaljprosjekteres. Under dette arbeidet må hensynet til hydrogeologi og forholdet til kulturlag følges opp kontinuerlig med fortsatt kartlegging av dreneringsveier i grunnen, og hvordan disse kan tettes.
- Dette inkluderer mer detaljert kartlegging av kjellere langs traseen, og annen ukjent infrastruktur som ikke er kartlagt, f.eks. drensledninger fra land til hav.
- Kontinuerlig overvåkning av grunnvann gjennom prosjektet. Det anbefales fjellbrønner i overkant av Sandbrogaten, som i Helgesens gate, for bedre kartlegging av grunnvannsmating til Sandbro-området.
- Ved detaljprosjektering av fundamentingsløsninger må det utføres FE-beregninger av grunnen i Sandbrogaten, og løsningene må tilpasses massenes toleranse for eventuelle vibrasjoner

## Referanser

- [1] Bergen kommune (2013). Konsekvensutredning Bybanen Bergen sentrum – Åsane. Bergensprogrammet februar 2013. [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2014/07/5121731\\_-Bybanen\\_til\\_%C3%85sane\\_KU\\_20130221\\_forside.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2014/07/5121731_-Bybanen_til_%C3%85sane_KU_20130221_forside.pdf)
- [2] Bergen kommune (2020). Reguleringsplan og teknisk forprosjekt Bybanen og hovedsykkelruten med forlengelse av Fløyfjellstunnelen fra Sentrum til Åsane – Oppsummering av skissefasen <https://xn--miljftet-o8ab.no/globalassets/bybanen-til-asane/dokumenter/dokumenter-skissefasen/ra-ds0-007-oppsummering-skissefasen.pdf>
- [3] Michael Kloos Planning and Heritage Consultancy (2020). Preliminary Report. Heritage Impact Assessment of the planned Bybanen Light-Rail Extension on the World Heritage Property Bryggen / Bergen [https://xn--miljftet-o8ab.no/globalassets/bybanen-til-asane/dokumenter/dokumenter-skissefasen/fagnotat-oppsummeringsrapp/hia-bryggen-preliminary-report\\_20201016.pdf](https://xn--miljftet-o8ab.no/globalassets/bybanen-til-asane/dokumenter/dokumenter-skissefasen/fagnotat-oppsummeringsrapp/hia-bryggen-preliminary-report_20201016.pdf)
- [4] Bergen kommune (2013). Konsekvensutredning kulturminner og kulturmiljø Fagrapport Bybanen Bergen sentrum – Åsane. Vedleggsnotat 02 Februar 2013 [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/02/Vedleggsnotat\\_02\\_Norconsult\\_fagrapport\\_kulturminner\\_kulturmilj%C3%B8\\_20130221.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/02/Vedleggsnotat_02_Norconsult_fagrapport_kulturminner_kulturmilj%C3%B8_20130221.pdf)
- [5] Bergen kommune (2013). Notat: Kulturlag i middelalderbyen Bergen Bybanetrasé Bergen sentrum – Åsane [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/02/Vedleggsnotat\\_03\\_Norconsult\\_kulturlag\\_20130222.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/02/Vedleggsnotat_03_Norconsult_kulturlag_20130222.pdf)
- [6] Bergen kommune (2013). Bybane gjennom Bergen sentrum. Hydrogeologi [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/02/Vedleggsnotat\\_04\\_Norconsult\\_hydrogeologi\\_20130214.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/02/Vedleggsnotat_04_Norconsult_hydrogeologi_20130214.pdf)
- [7] Bergen kommune (2013). KU Bybanen Sentrum - Åsane - Tilleggsutredning nr 6. Supplerende hydrogeologiske vurderinger i Sandbrogaten og Vågsbunnen [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/09/060\\_Tilleggsnotat\\_06\\_Hydrogeologi\\_2013-10-07.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/09/060_Tilleggsnotat_06_Hydrogeologi_2013-10-07.pdf)
- [8] Bergen kommune (2013). KU Bybanen Sentrum - Åsane - Tilleggsutredning nr 7. Sandbrogaten, gravedybder, fundamentering og infrastruktur [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/09/070\\_Tilleggsnotat\\_07\\_Fundamentering\\_Sandbrogaten\\_2013-10-07.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/09/070_Tilleggsnotat_07_Fundamentering_Sandbrogaten_2013-10-07.pdf)
- [9] Bergen kommune (2013). KU Bybanen Sentrum - Åsane - Tilleggsutredning nr 8. Infrastruktur under bybanetraseen i sentrum [http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/09/080\\_Tilleggsnotat\\_08\\_Infrastruktur\\_under\\_bakken\\_2013-10-07.pdf](http://bergensprogrammet.no/wp-content/uploads/2013/09/080_Tilleggsnotat_08_Infrastruktur_under_bakken_2013-10-07.pdf)
- [10] Bergen kommune (2013). KU Bybanen Sentrum - Åsane - Tilleggsutredning nr 3. Endret linjeføring ved Finnegården <http://bergensprogrammet.no/wp->

[content/uploads/2013/09/030\\_Tilleggsnotat\\_03\\_Linjef%C3%B8ring\\_Finneg%C3%A5rden\\_2013-10-07.pdf](content/uploads/2013/09/030_Tilleggsnotat_03_Linjef%C3%B8ring_Finneg%C3%A5rden_2013-10-07.pdf)

- [11]Dunlop, A. R. (2021). Sandbrogaten, kunnskapsgrunnlag: Supplering. NIKU oppdragsrapport 29/2021 <https://xn--miljftet-o8ab.no/globalassets/bybanen-til-asane/dokumenter/dokumenter-14.04.21/oppdragsrapport-for-grunnundersokelser-niku-mars-2021.pdf>
- [12]Riksantikvaren (2015). Monitoring, Mitigation, Management, The Groundwater Project – Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen. Eds Rytter, J. and Schonhowd, I. <https://ra.birgce.unit.no/ra-xmlui/handle/11250/300104>
- [13]Bybanen. Teknisk regelverk for prosjektering og bygging, kapittel: A.5. Datert 2019-02-05.
- [14]NS 8176:2017 Vibrasjoner og støt. Måling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel, vibrasjonsklasser og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker.
- [15]NS 8141:2001 Vibrasjoner og støt. Måling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk.
- [16]ISO/TS 14837-32:2015 Mechanical vibration – Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 32: Measurement of dynamic properties of the ground.
- [17]NGI notat 20180567-01-TN Vurdering av vibrasjoner fra bybanetrasé til kulturlag ved Bryggen, Finnegaarden og Sandbrogaten.
- [18]Oversikt\_plan\_Del-1 og Del-2. DS1 Oversikt over veg og bane. Foreløpige tegninger
- [19][https://www.pandrol.com/product\\_lines/sustainable-resilient-systems/](https://www.pandrol.com/product_lines/sustainable-resilient-systems/)

## Vedlegg

Poretrykksmålinger