

KU Bybanen Sentrum - Åsane - Tilleggsutredning nr 6.

Supplerende hydrogeologiske vurderinger i Sandbrogaten og Vågsbunnen

2013-10-07



Til: Bergen kommune, Etat for plan og geodata
 Fra: Norconsult
 Dato: 2013-10-07

**KU Bybane Bergen sentrum - Åsane. Tilleggsutredning.
 Supplerende hydrogeologiske vurderinger i Sandbrogaten og Vågsbunnen**

1 Innledning.....2

2 Bakgrunn3

3 Sandbrogaten3

 3.1 Arkeologi.....5

 3.2 Infrastruktur under bakken6

 3.3 Bane/fundamentering6

 3.4 Følger for hydrogeologi9

4 Vågsbunnen (med Finnegaarden) – Bane over Torget10

 4.1 Arkeologi.....12

 4.2 Infrastruktur under bakken14

 4.3 Banefundamentering.....14

 4.4 Følger for hydrogeologi16

5 Vågsbunnen – Tunellalternativer17

 5.1 Arkeologi.....20

 5.2 Hydrogeologi21

6 Sammenligning, diskusjon og oppsummering24

 6.1 Sammenligning av dagalternativet 1Aa og tunellalternativer Vågsbunnen.....24

 6.2 Sammenligning tunell Sandbrogaten og tunneller rundt sentrum28

7 konklusjon28

Kilder29

0	2013-10-07		OMN	KT, GH, LV	HPD
Rev.	Dato:	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontroll	Godkjent

1 INNLEDNING

Dette notatet vurderer hydrogeologiske forhold og risiko for endret grunnvannstand i Sandbrogaten og Vågsbunnen som følge av Bybanen Bergen sentrum – Åsane.

I fagnotat av 2013.06.12 fra Etat for plan og geodata, Bergen kommune, anbefales en rekke tilleggsutredninger etter høring av konsekvensutredning for Bybanen, strekningen Bergen sentrum – Åsane.

I fagnotatet beskrives utredning av hydrogeologi på følgende måte: «Kartlegging av hydrogeologiske forhold og risiko for endret grunnvannstand i Sandbrogaten og Vågsbunnen. Det er i KU benyttet meget spesialisert ekspertise på hydrogeologiske vurderinger. Når dette arbeidet ble presentert for antikvariske myndigheter, inkludert RA (høsten 2012), sa disse seg meget fornøyd med arbeidet. Vi ser imidlertid farene knyttet til endringer i hydrogeologiske forhold, og vil vurdere de to mest sårbare områdene (Sandbrogaten og Vågsbunnen) mer detaljert i forhold til både dagløsning og tunnelalternativ, som skissert i vedtaket til Fylkesutvalget (sak 153/13). Samme personell vil bli benyttet og en vil benytte eksisterende kunnskap i området. Det er naturlig å supplere med mer detaljerte vurderinger av fundamentering og behov for gravedybde. Vurdering av hydrogeologiske konsekvenser i Sandbrogaten og Vågsbunnen suppleres.» (Notat side 4, punkt d, 1. del).

Oppgaven skal svares ut i det følgende ved å gjennomføre mer detaljert vurdering av Sandbrogaten og Vågsbunnen. For Vågsbunnens vedkommende innebærer dette å sammenligne alternativ 1Aa over Torget med tunnelalternativ 2Aa og 2Ab. Dette vil svare ut Hordaland fylkeskommunes krav om utredning av temaet, formulert som «Kartlegging av hydrogeologiske tilhøve og vurdering av risiko for endringer av grunnvannstanden i Sandbrogaten og Vågsbunnen.»

Inngrep i grunnen består i banelegeme/fundamentering, KL-anlegg og omlegging av rør. Omlegging av rør, og banelegeme/fundamentering for Sandbrogaten blir behandlet i egen vurdering og opplysninger hentes derfra (Tilleggsnotat nr. 7). Omlegging av rør for Torget er beskrevet i eget notat og opplysninger hentes derfra (Tilleggsnotat nr. 8).

Banelegeme/fundamentering for Torget er ikke beskrevet i eget notat, og vil bli beskrevet her. Strekningen over Torget som beskrives her inkluderer svingen mot Bryggen like forbi Finnegården / Hanseatisk Museum. Nærføring til Hanseatisk museum er imidlertid beskrevet i eget notat (Tilleggsnotat nr. 3).

Tilleggsutredningen berører dermed mange tema. Det vises generelt til KU. Formålet med denne tilleggsutredningen er å gjennomgå hydrogeologi på nytt, sett i forhold til mer detaljerte beskrivelser av tiltaket. Dette vil gi en bedre vurdering av hvilke følger tiltaket har for grunnvannsforhold i Sandbrogaten og Vågsbunnen.

Det må understrekes at notatet ikke er ment som erstatning, men som et tillegg til KU, og må leses i sammenheng med denne.

2 BAKGRUNN

Hydrogeologiske vurderinger og anbefalinger er del av konsekvensutredningen for Bybanen Bergen sentrum – Åsane. Vurderingene er spesifisert i notatet «Bybane gjennom Bergen sentrum. Hydrogeologi» (Vedleggsnotat 4 til KU). Videre er de hydrogeologiske vurderingene trukket inn i vurderinger av automatisk fredet bygrunn (arkeologi), og geologi generelt.

Riksantikvaren har bedt NGU, Multiconsult og NIKU om faglige vurderinger av KU som grunnlag for sin uttale.

I store trekk er NGUs vurderinger på linje med dem som presenteres i KU, også i at negative konsekvenser kan møtes med avbøtende tiltak. NGU bemerker på generelt grunnlag at dagtraséer medfører mindre risiko for endring i grunnvannstand enn traséer gjennom fjell eller i kulvert gjennom løsmasser. NGU påpeker at det ikke foreligger måleserier langs traséene, og forutsetter at det gjennomføres et systematisk kartleggings- og overvåkingsprogram i utbyggingsområdene. Videre påpekes det at det ikke er tatt hensyn til fysisk barrierevirkning på grunnvann ved tunellinnslag og tunellanlegg, og at tunellalternativene vil kreve hydrogeologiske forundersøkelser og modellering.

Multiconsults vurdering munner ut i en oppsummering hvor ingen av alternativene kan gjennomføres uten stor sannsynlighet for skade på kulturlag og bygninger (alt 1Aa, 1Ab), og senkning av grunnvannsnivå i Vågsbunnen (alt 2Aa, 2Ab). Multiconsult har vurdert traséene ut fra premisset om at Bybanen krever fundamentering med pæler i Sandbrogate, på Torget og ved Finnegården. Dette er ikke lagt til grunn i KU, som forutsetter at bane kan legges på flytende betongfundament med egnet fundamentering og eventuelt jordarmeringsnett som i dagens bane i Kaigaten.

NIKUs vurdering berører grunnvannsproblematikk på et mer generelt nivå, men påpeker at det savnes nærmere vurderinger av tunellalternativene i forhold til grunnvann, utover tunellinnslagene, som der er fokusert på i KU.

3 SANDBROGATEN

Hydrogeologi i Sandbrogaten er beskrevet i KU med vedleggsnotat 04 (Hydrogeologi), og viktighet av å unngå drenering er påpekt. Grunnvannsforhold er ikke kjent i detalj, men følgende momenter ble påpekt i KU:

- Grunnvannstrømmen i gaten er usikker.
- Det er mulig drenering langs VA-kulvert som krysser Sandbrogaten langs Øvre Dreggsallmenning.
- Slottsgaten (grenser til nedre del av Sandbrogaten) har et lavt grunnvannsnivå pga spillvannspumpestasjon med dype grøfter flere meter under gateplan.
- Fjellside med sprekker er viktig for mating av grunnvannet i området.

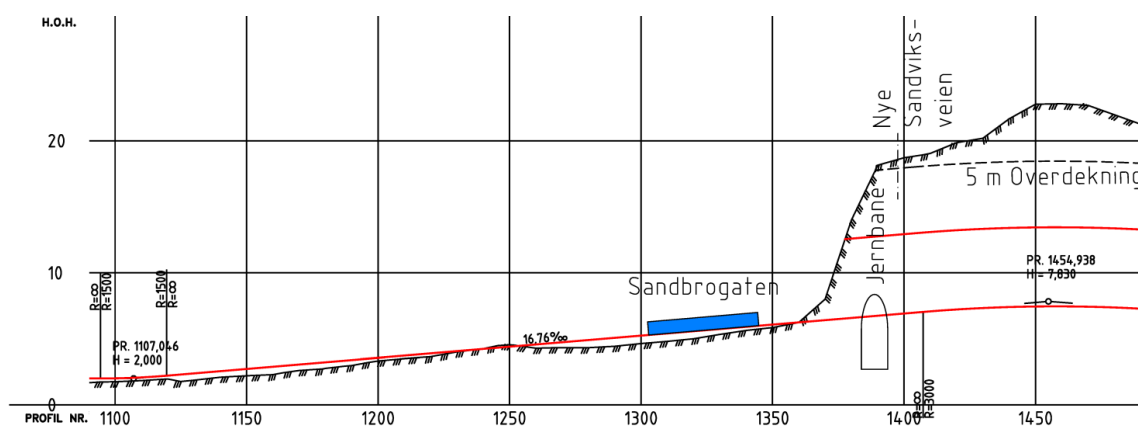
I KU er trasé i Sandbrogaten vurdert som gjennomførbar mht. hydrogeologi. Bane bør legges med grunnvannsbarrierer på tvers av traséen. Disse kan hindre en senkning og drenering av grunnvannet, både i bane-traseen og eventuelle nye VA-grøfter. I tunnellingsslag må det være sterkt fokus på tetting/injeksjon i berggrunnen, og i forhold til eksisterende jernbanetunell.

For ytterligere å redegjøre om eventuelle endringer av grunnvannsforhold i Sandbrogaten som følge av Bybanen, gis her en kort gjennomgang av kulturhistoriske verdier i grunnen (arkeologi), en løsning for omlegging av infrastruktur (VA) under bakken, sammen med en beskrivelse av fundamentering og bane på dette strekket.

Følger for grunnvannsforhold vurderes deretter ut fra dette.



Figur 1: Plan-tegning av bane med holdeplass i Sandbrogaten som vist i KU



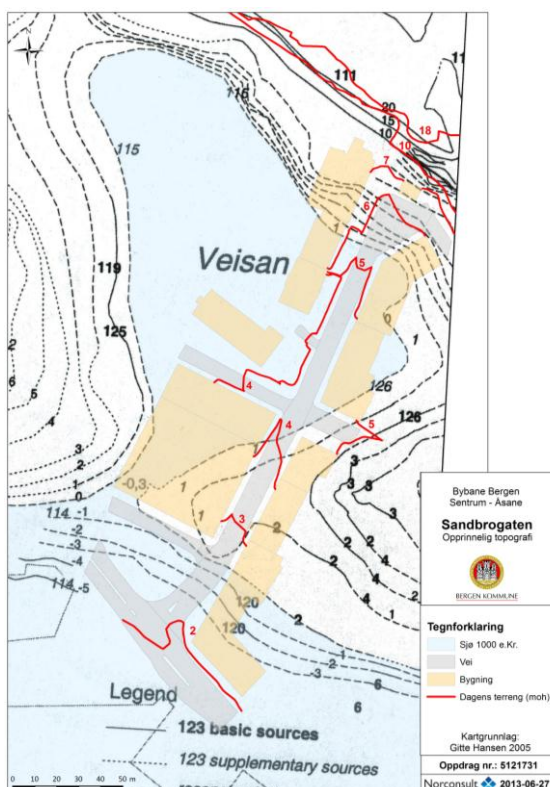
Figur 2: Profil-tegning av bane med holdeplass i Sandbrogaten som vist i KU

3.1 Arkeologi

De arkeologiske forholdene i Sandbrogaten er beskrevet i KU med vedleggsnotater, og i tilleggsnotat 7. Det skal bare kort nevnes her at Sandbrogaten er av stor kulturhistorisk verdi, særlig pga. arkeologiske spor av høy alder på den opprinnelige landtungen mot Holmen (Sandbro), og paleobotaniske spor deponert i Veisan, det opprinnelige bassenget mellom Holmen og byområdet.

Sandbrogaten beskrives som et lite undersøkt område, men opplysninger fra ulike kilder gir oss likevel et visst historisk inntrykk av grunnforholdene i gateløpet. I nedre kvartal av gaten er det påvist et trolig middelaldersk brannlag over redeponert middelaldersk keramikk, 1,35 meter under bakkenivå. Urørte kulturlag ble her påvist fra 1,62 meter under bakkenivå, og som spor av byens tidligste faser er disse lagene av høy verdi. I øvre kvartal av gaten er det flere indikasjoner på at middelalderske kulturlag vil treffes rundt 2 meter under bakkenivå. Veisan er trukket frem som et paleobotanisk reservoar, men dagens Sandbrogate er i dag 4 meter over havnivå i den delen av gaten som går over den opprinnelige Veisan.

De arkeologiske forholdene i Sandbrogaten er nøye beskrevet i tilleggsnotat 7. Det avgjørende punkt i forhold til arkeologiske verdier i dette notatet, er hvorvidt anlegning av bane i Sandbrogaten vil medføre endringer i grunnvannsnivå, og om dette kan skade kulturhistoriske verdier.



Figur 3: Dagens Sandbrogate med bygninger og høydekoter vist over opprinnelig topografi i området. Til høyre relining av vannledning i øvre del av Sandbrogaten februar 2013. I denne delen av gaten er det anslagsvis 2 meter ned til middelalderske kulturlag, og 5 meter ned til opprinnelig nivå av Veisan.

3.2 **Infrastruktur under bakken**

Infrastruktur i bakken i Sandbrogaten er omfattende, til dels gammel og i dårlig stand. Flere ledninger ligger midt i vegen med koblinger til husene, og hviler flere steder på eller i kulturlag. I Øvre Dreggsallmenning som krysser Sandbrogaten, går det avløpsledning som ligger 3,35 m under terreng i krysset.

Ved etablering av Bybanen må rørene flyttes, og det er søkt løsninger som ikke, eller i minst mulig grad, berører kulturlag. Inngrepene må heller ikke forskyve eksisterende grunnvannsforhold i gaten.

Det foreslås å flytte overvann, spillvann og drikkevann på østre side av gate, i byggegrop til stående bygninger. Bredde av byggegrop er ikke kjent, men antas å være av en viss størrelse, ettersom alle bygninger har kjeller som går minst to meter lavere enn dagens gatenivå.

Ledninger fra øvre og nedre del av Sandbrogaten kobles til rørene i hhv Øvre Dreggsallmenning og Slottsgaten. Eksisterende ledninger i midten av gaten blindes og blir liggende. Ved å legge avløpsrør i selvføll må man grave dypt langs bygninger og ved ny kobling i Øvre Dreggsallmenning og i Slottsgaten. Alternativt kan avløpsledningene legges høyere enn dagens utløp fra hus, med avløpspumpe i eller ved bygningene. Med en pumpeløsning kan gravedybden reduseres slik at vi får grøftedybder på ~1,2 meter. Drikkevannsledning og overvannsledning for håndtering av overvann fra Bybanen vil ikke påvirkes av grunnere grøft, men i forbindelse med detaljprosjektering må behovet for isolasjon- og avlastningsplater vurderes.

Den foreslåtte løsningen medfører minst mulig inngrep i grunnen, og vil i trolig unngå å berøre kulturlag. De nye rørene legges grunt og nær bygninger, og danner ikke dypere liggende renner i forhold til eksisterende rør.

For en mer detaljert beskrivelse vises det til tilleggsnotat nr. 7 og tilleggsnotat nr. 8.

3.3 **Bane/fundamentering**

Grunnforhold

Informasjon om grunnforholdene er basert på det som er gitt i tilleggsnotat 7 «Sandbrogaten; gravedybder, fundamentering og infrastruktur» om arkeologi og kulturlag og generell informasjon om grunnforholdene på Bryggen og langs Vågen. Utover dette har vi ikke resultater fra grunnundersøkelser utført i Sandbrogaten.

Ved prøvegravinger og utgravinger for bygninger og ledningsanlegg er det påvist kulturlag og rester fra tidligere fundamentering som starter 1 – 2 m under dagens terreng. Mektigheten på laget med fyllmasser varierer oppover langs gata, da den krysser en tidligere landtunge ved Sandbrogaten 3 – 5, før den går over et tidligere brakkvannsbasseng (Veisan) og deretter over tidligere land før gata ender mot en bergvegg. Mektighet av laget med oppfylte masser antas å variere med tykkelse på 2 – 7 m. Opp igjennom årene har det vært relativt omfattende gravearbeider i Sandbrogaten, med etablering av dype vann- og gassledninger og mye nybygging. Sandbrogaten 1, 3 og 11 ble bygget rundt 1950. Da ble nedre del av Sandbrogaten lagt om østover.

Disse byggene har kjellere som går 2 m under dagens terreng, mens Sandbrogate 5 har kjellernivå 4 m under terreng.

Nærmest Vågen antas opprinnelige masser under fyllmassene å bestå av mineralske masser av middels fast lagret finsand og sand, og trolig noe grovere masser rett over berg. Ved kryssing av Veisan antar vi at de opprinnelige massene er finere og trolig har et høyere humusinnhold.

Grunnvannsnivået antas å følge vann-nivået i Vågen lengst nede i Sandbrogaten, og at det stiger noe nordover mot enden av gata. Det er sannsynlig at grunnvannstanden ligger minimum 1,5 m under dagens terrengnivå, og trolig lavere, tatt i betraktning både nivået på kjellere og VA-kulvert i Øvre Dreggsallmenning.

Fundamentering av eksisterende bygg

Vi har lite informasjon om hvordan byggene er fundamentert. Byggene har generelt 4 – 7 etasjer, med unntak av byggene øverst i gaten som har to etasjer. Det er sannsynlig at noen av de høyeste byggene er fundamentert til berg.

Setninger

Gata er preget av lokale setninger, spesielt rundt bekkalokk og sluk. Satellittmålinger av setninger i området antyder at det er små generelle terrengsetninger i Sandbrogaten, varierende fra 0,5 – 0 mm pr. år i gjennomsnitt.¹ Disse skyldes trolig krypsetninger fra tidligere pålastinger eller grunnvannssenkinger. I tillegg kan det være lokale setninger på bygninger, avhengig av hvordan disse er fundamentert. Lokale setninger i gata (vist på bildet neste side), kan delvis skyldes at massene rundt kummer og ledninger har satt seg etter anleggsarbeidene og at det er lokale forekomster av organisk humusholdige masser som brytes ned og råtner.

¹ Cetinic, F. og Lauknes, T. R. 2013. SBAS-INSAR processing of Bergen City using ERS-1 and ERS-2 Satellite data (1992-2000).

Gjennomsnittlig vertikaldeformasjon målt med satellitt for et fåtall godt reflekterende målepunkter innenfor ruter på 20 X 24m, i og ved Bergen sentrum i perioden 1992-2000. Metoden gir god oversikt over deformasjonsutviklingen i et større område og langs objekter med lang utstrekning, men egner seg dårlig til å avklare lokale skeivsetninger og liknende. Metoden er ment som et supplement til stedlige setningsmålinger med presisjonsnivellemt for å kunne si noe om den historiske setningsutviklingen for et område.

Multiconsult referer til disse målingene i sitt notat til Riksantikvaren.



Figur 4: Bekkalokk i gata ut for Sandbrogaten 5, bekkalokk og gatedekke utenfor Bradbenken 1.

Fundamentering av Bybanen i Sandbrogaten

Hovedprinsippet for fundamenteringen er at man ikke, eller i minst mulig grad øker belastningen på eksisterende løsmasser, at gravearbeidene ikke berører kulturlaget og at grunnvannstanden ikke endres.

Fra lengdesnittet går det frem at traséen skal ligge tilnærmet på terreng, men noen mindre justeringer for å oppnå en jevn stigning på skinnene.

Det er i KU ikke foreslått en konkret fundamenteringsløsning for Bybanen i Sandbrogaten, men anbefalt et prinsipp som gjengitt over. Som hovedalternativ foreslår vi at man graver ut ned til ca. en meters dybde og bygger opp nytt forsterkningslag som underlag for en betongplate som skinnene festes i. Forsterkningslaget kan armeres med geonett, og bestå av lette masser for å sørge for utjevning av setninger og hindre eller redusere tilleggsbelastninger. Med en fundamenteringsdybde på rundt 1 m under dagens terreng, vil dette ikke påvirke grunnvannsnivået og ikke kreve graving ned i kulturlagene. Bybanen vil med en slik løsning "følge" med omgivelsene rundt, mens skinnene holdes stabilt på en armert betongplate. Dette er gunstig for å hindre differansesetninger mellom Bybanen og omkringliggende terreng og installasjoner. Vi vurderer derfor peler som mindre hensiktsmessig, peling kan derimot låse konstruksjonen på en dårlig måte i forhold til omgivelser, og føre til f.eks. sprekkdannelse i gaten.

I Sandbrogaten er det tung trafikk i dag, med blant annet mange busser. Erfaringer med vibrasjoner i grunnen fra Bybanen eller trikk, viser at disse er beskjedne sammenlignet med f.eks. vibrasjoner fra busser og annen tungtrafikk. Dette bekreftes av nylig utførte målinger av vibrasjoner på terreng i Kaigaten nært inntil Bybanen. Disse viste mindre vibrasjoner enn tilsvarende målinger på Bryggen der det går busser. Bybanen i Sandbrogaten vil ut fra disse erfaringene ikke øke vibrasjonene i gata, men heller redusere disse.

3.4 Følger for hydrogeologi

Det ble skrevet i KU at grunnvannstand ikke er kartlagt i Sandbrogaten, og at nivå og strømninger av grunnvannet er usikkert. Dette utdypes og diskuteres derfor i det følgende.

Sandbrogaten og Veisan

Vi har ikke målinger av grunnvannstand i Sandbrogaten, og grunnvannsnivået er derfor beskrevet som usikkert i KU, blant annet på grunn av eventuell virkning (drenering) av en dyptliggende VA-grøft som går på tvers av Sandbrogaten, i Øvre Dreggsallmenning og sør for Koengen. En overvåkningsbrønn i Dreggsallmenningen 4 viser et grunnvannsnivå nesten 2m under terreng. Tatt også i betraktning dybden til kjellere langs den østlige siden av Sandbrogaten (Kap 3.3), ligger grunnvannsnivået i gaten minst 1,5m under terreng. Terrengformen på den øvre delen av Sandbrogaten viser at veien er hevet i forhold til naturlig nivå, noe som også bekreftes av eldre byggetegninger. Gateplan ligger derfor sannsynligvis enda noe høyere over grunnvannsnivået her.

Øvre del av Sandbrogaten går over opprinnelige Veisan, et område hvor det er antatt at bevaringsforhold for organisk materiale (i.e. under grunnvannsnivå) er generelt godt (Monitoring manual, 14). Satellittmålinger av terrenget viser ingen eller minimale setninger for store deler av Veisanområdet (Koengen) og øvre del av Sandbrogaten (se note 1, s. 7).

Effekten av VA-kulverten i Øvre Dreggsallmenning, drenering ved kjeller i Sandbrogaten 7 og 11, samt grunnvannsdrenering i jernbanetunellen ved nordenden av Sandbrogaten, har sannsynligvis hatt en drenerende effekt på grunnvannet også ved Veisan. Rapporterte nivåer på naturlige sandig strandsedimenter og dybden til kjellere i Sandbrogaten 5 og 7, antyder at grunnvannet kan ha blitt drenert delvis under de viktige kulturlagene og organiskrike avsetningene i og ved siden av Sandbrogaten.

Under naturlige forhold er strandavsetningene i Sandbrogaten og under Veisan forholdsvis permeable, sammenlignet med kulturlag eller sjøbunnsedimenter. Strandavsetningene kan dermed drenere grunnvann noe lettere enn andre masser i området. Moderne endringer har sannsynligvis forårsaket en sterkere strømning og drenering gjennom strandavsetningene ved å senke grunnvannet lokalt, f. eks. under kjellere og VA-kulvert. En lokal senkning gir økning i grunnvannsgradienten i like rundt seg. Når grunnvannsgradienten øker, øker også strømningshastigheten. Økt strømningshastighet gir økt drenering gjennom de stedlige massene, selv om permeabiliteten er den samme. Det kan imidlertid også hende at drenering i strandavsetningene ikke har ført til et redusert grunnvannsnivå i Veisan, dersom Veisan er et hengende grunnvannsmagasin med et tett bunnlag over strandavsetningene.

Tunellinnslag

Det er mer sannsynlig at lekkasjer i den eksisterende togtunellen på oversiden av Sandbrogaten kan ha påvirket grunnvannsmatingen til Veisan. Før jernbanetunellen ble anlagt i fjellsiden ovenfor Sandbrogaten, var det sannsynligvis en grunnvannsmating fra fjellåsen og inn i løsmassene ved Sandbrogaten og Veisan. Det er trolig fremdeles en viss mating av grunnvann fra berggrunnen inn til løsmassene, men denne er redusert pga. tunellekkasjer i den uttette

tunellen, samt ovenfor nevnte infrastruktur. Et nytt tunellpåkugg for bybanen vil gå rett over og på tvers av dagens jernbanetunell. Tunellpåkugget vil måtte tettes nøye, både i åpningen og videre inn i berggrunnen. En del av dette arbeidet vil være i forhold til å sikre jernbanetunellens styrke i denne sonen. Dersom det ikke er mulig å tette grunnen godt nok for grunnvannslekkasjer, er det mulig å anlegge et infiltrasjonsanlegg for å mate grunnvannet, selv om dette ikke er en ettertraktet teknisk løsning.

Mastefundament

Ved etablering av mastefundament nedenfor Bradbenken 1 etableres en eller flere punkt-konstruksjoner i grunnen. Dette er nær Slottsgaten hvor grunnvannsnivået er lavt på grunn av pumpestasjon. Det bør likevel fokuseres på å unngå eventuell poretrykkreduksjon ved eventuell punktering av tettere lag mot bunnen av en sjakt. Det anbefales å legge tette konstruksjoner inn til de stedlige massene for å hindre eventuell sideveis og vertikal strømming av grunnvannet.

Avrunding

Siden Bybanen i Sandbrogaten kan anlegges grunt, og dagens infrastruktur har senket grunnvannet i forhold til et naturlig nivå, vil en ny Bybanetrasé, anlagt og tettet etter dagens teknologi, ikke ha betydning for grunnvannsnivået.

4 VÅGSBUNNEN – BANE OVER TORGET

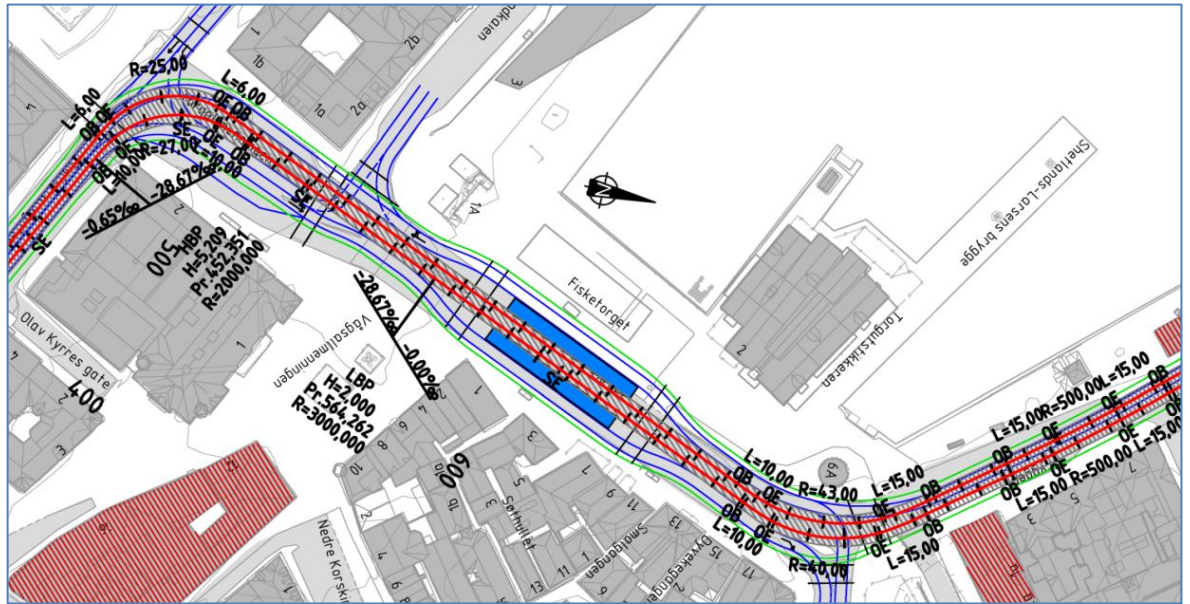
Hydrogeologi på Torget og i Vågsbunnen er beskrevet i KU og vedleggsnotat 04:

- Vågsbunnområdet har tykke kulturlag. Traséen går i et høytrafikkert område hvor dagens trafikkbelastning allerede har medført en prosess med porevannsmigrasjon fra massene under, og et nytt baneanlegg vil sannsynligvis ikke medføre økt porevannsmigrasjon fra disse massene.
- Dersom en allikevel skulle få en grunnvannsdrenering i traseen langs Torget, vil sjøen kunne opprettholde grunnvannsnivået. Dreneringen kan imidlertid trekke sjøvann lengre inn i grunnen, noe som vil være en ulempe for kulturlagene pga økt nedbrytningsrate med saltere grunnvann. Økt strømming av grunnvann vil også kunne medføre økt oksygeninnhold, og dermed øke nedbrytningsraten til de organiske massene.

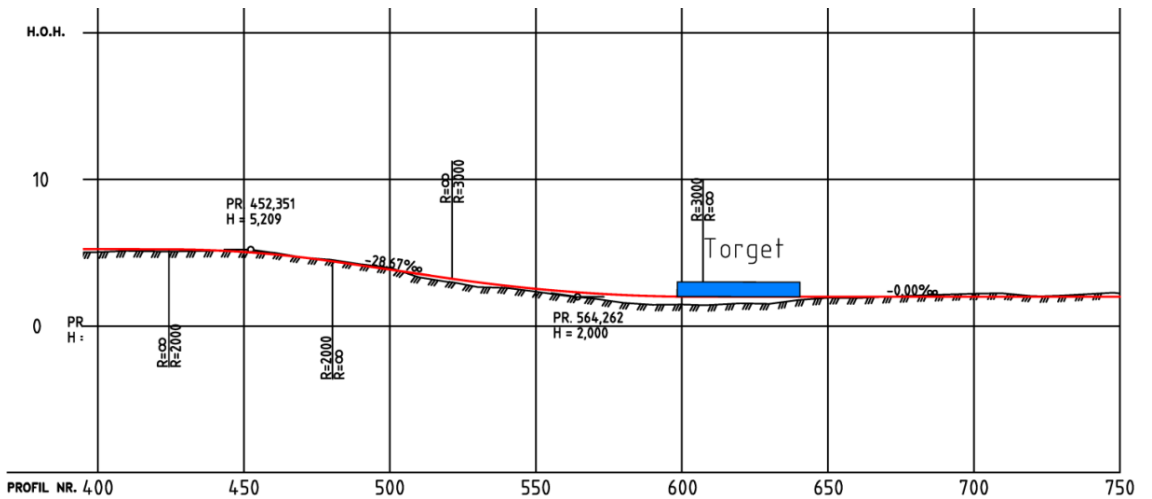
I KU foreslås det å legge ny VA-grøft til utsiden av traseen (nærmere Vågen) på Torget. Ved å tilbakefylle med lav-permeable masser i både gammel og ny grønft vil disse bremse drenering av grunnvann eller rask strømming av sjøvann inn og ut av grønftområdet.

For å redegjøre om eventuelle endringer av grunnvannsforhold i Vågsbunnen som følge av Bybane i dagen, altså over Torget, gis her en kort gjennomgang av kulturhistoriske verdier i grunnen (arkeologi), en beskrivelse av fundamentering og bane på dette strekket, sammen med en løsning for omlegging av infrastruktur (VA) under bakken. Følger for grunnvannsforhold vurderes deretter ut fra dette. Etersom bane ved Finnegården har vært trukket frem i

høringsfasen, er det naturlig å inkludere banens sving ved Finnegården. Arkeologi, geoteknikk og arkeologi ved Finnegården er imidlertid detaljert beskrevet i tilleggsnotat nr. 3, og vil her bli nevnt hvis det knytter seg spesielle forhold til området.



Figur 5: Plan bane på Torget, som vist i KU, utsnitt



Figur 6: Profil bane på Torget, som vist i KU, utsnitt



Figur 7: Mulig plassering av master og oppheng for kontaktledningsnett

4.1 Arkeologi

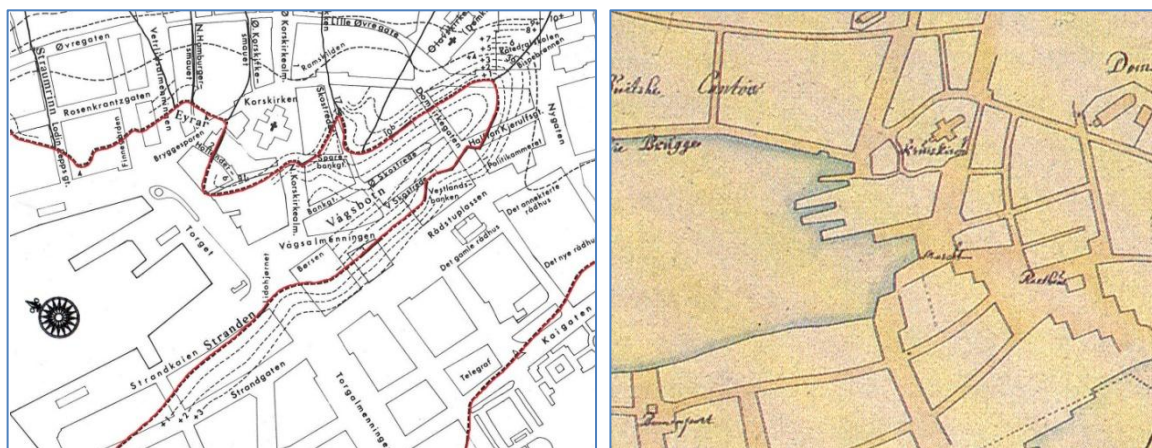
De arkeologiske forholdene på Torget er beskrevet i KU og vedleggsnotater. Vågsbunnen er bare sporadisk nevnt i den arkeologifaglige utredningen, da grunnen her ikke blir direkte berørt av tiltak. Her følger en beskrivelse av kulturlag i Vågsbunnen, før en kort presentasjon av kulturlag på Torget, og følger av alternativ 1Aa for kulturlag på Torget.

Kulturlag i Vågsbunnen

Vågsbunnen har vært et håndverker- og boligområde siden middelalderen, hvor deler av middelalderk gatestruktur er beholdt. Vågen gikk opprinnelig inn til dagens Domkirkegate, på nordøstsiden delvis avskåret på nordsiden av neset Eyrastein, hvor Korskirken ble bygget rundt 1150. Bukten på Nordsiden av Eyrastein var trolig fylt igjen rundt 1200. Utfylling av det grunne sjøområdet sør for Korskirken var trolig i gang i høymiddelalderen. Før 1507 var Skomakerstredet blitt overgang fra Brygge- til Strandsiden, trolig med en form for fjelebro for deler av stretet (Helle 1982:717). 1600-tallet var en hektisk utfyllingsfase for nedre del av Vågsbunnen og Torget, men først etter reguleringen som følge av bybrannen i 1702 blir det regulert frem passasje over torget (Fossen 1985:40, Harris 1991:20). I 1845-1848 steinsettes kaikanten langs Torget, (Fossen 1985:108), og i 1911-1912 utvides Fisketorget med nærmere 20 meter ut i Vågen med moderne murt kai som langs Bryggen (Håland 2005:83).

Det store opprinnelige sjøarealet innenfor steinsettingen har vært bygd ut og fylt ut etter metoder vi kjenner fra Bryggen, med tømmerkasser og bolverksskar som fundamenter for hus og brygger. Noen ganger kan slike være fylt med stein, men er som regel av varierende karakter, ofte med stort organisk innhold, og ofte fylt med masser som stammer fra opprydding etter bybrann. Gjennom årene har disse massene satt seg og blitt dekket av nye lag av gatedekker, og er i varierende grad utsatt for inngrep som kjellere, bygningsfundamenter og rørsystemer av forskjellig slag. Kulturlagene med strukturer og konstruksjoner stammer fra middelalder til nåtid.

Svært forenklet kan man si at de eldste lagene vil være innerst i Vågen, langs land, og dypt (undervannsdeponert). Grovt sett varierer kulturlagstykkelsen fra 2-5 meter i indre del av området, til over 5 meter mot Torget. Stabiliteten til disse kulturlagene er avhengig av anaerobe omgivelser, og senkning av grunnvannsnivå vil føre til forråtnelse og komprimering av disse lagene, med følgende fare for setninger. Setninger er påvist i Vågsbunnen, og prosjekter er satt i gang for å kartlegge omfanget av disse. Overdekning er mellom 0,5 til 2 meter, overdekningen er minst i indre deler av Vågsbunnen.



Figur 8: Antatt opprinnelig strandlinje i Vågsbunnen, etter Helle 1982:25. På van Geelkercks kart fra 1649 ser vi at nordre del av Torget er fylt ut, samt hele området mellom Korskirken og nedre Vågsallmenning.

Kulturlag på Torget

Dagens veitrase går over masser som er fylt ut i etterreformatorisk tid. Middelalderiske deponeringer og eventuelle utfyllinger vil ligge svært dypt i dette strekket (under havnivå), med et unntak av overgangen fra Torgallmenning, hvor senmiddelalderiske avsetninger er påvist dypere enn 1,5 meter under gatenivå. Eventuelle senmiddelalderiske lag og strukturer langs nordre del av Torget vil ligge under havnivå. Utenfor Finnegården svinger dagens veitrase over hoper som fremdeles var åpne på slutten av 1800-tallet. Kulturlag ved Finnegården er beskrevet i detalj i tilleggsnotat nr. 3.

Tiltakets følger for kulturlag

Ved graving i dagens vegtrase på Torget vil man erfaringsmessig først møte moderne påførte masser og rester av nyere gatedekker. Dybden på dette laget vil variere, men vil gjerne være rundt en meter. Under dette laget vil man treffe eldre lag og konstruksjoner, rester fra eldre kaier og fundamentering i området. Disse vil være fra nyere tid, dvs. etterreformatoriske, og generelt vil de være yngre jo høyere de ligger. Disse lagene og strukturene vil være forstyrret i forskjellig grad av moderne nedgravinger for rør o.l., gjerne i stort omfang. Hvilken dybde etterreformatoriske lag og strukturer vil påtreffes langs hele strekket er vanskelig å forutse, noen steder kan de treffes

grunnere enn en meter, andre steder vil en ikke treffe kulturhistoriske lag før dypere enn 2 meter, under havnivå.

Generelt kan det sies at jo lengre ut mot kaikant man går, desto yngre deponeringer vil man møte ved graving.

Bane som går en meter ned i bakken vil i liten eller ingen grad komme i konflikt med kulturlag og konstruksjoner. Hvis avløpsledning beholdes (se neste kapittel) vil ikke omlegging av denne medføre konflikt med kulturlag.

Overvann legges på utside av banetraseen. Som utgangspunkt vil overvann legges på en dybde rundt 1,7 meter og kan således komme i konflikt med kulturlag. I KU er grøft på Torget forestått fylt med lavpermeable masser for å bremse eventuell drenering av grunnvann, og hindre økt rask strømning av oksygenrikt sjøvann inn og ut av grøfteområdet.

Kontaktledningsanlegget vil trolig kreve master på begge sider av banen ved Fisketorget, ved holdeplass og på en side av banen nord på Torget (se Figur 7). Mastefundamenter vil være 2 til 3 meter dype og brede. Dette vil utgjøre punktvis inngrep i etterreformatoriske kulturlag. Ved graving under havnivå er det en liten mulighet for å treffe senmiddelalderse avsetninger og konstruksjoner, men denne vil være høyest nær husrekken.

4.2 **Infrastruktur under bakken**

Infrastruktur er beskrevet i tilleggsnotat 8 (Infrastruktur under bakken), her følger kort beskrivelse med anbefaling.

Det går en større avløpskanal fra Lidohjørnet til Rundetårnet. Kulverten måler 700x1600 mm og er 185 meter lang. Kulverten ligger midt i banetrasé. Ved Lido ligger bunn kulvert på kote +0,13 og ved Rundetårnet på kote -0,15. Terreng høyden på Torget ligger mellom kote + 1,7 - +2,2.

Vi anbefaler å rehabilitere og forsterke eksisterende kulvert slik at denne kan ligge under sporet. I start- og endepunkt av kanalen kan det etableres kumarrangement som knyttes til kanalen slik at det oppnås tilgang for inspeksjon og vedlikehold utenfor sporet.

Ny overvannsledning kan legges parallelt med Bybanen mellom banen og Torget. Denne vil betjene bane og vegareal over Torget fra fotgjengerovergang sør på Torget mot Rundetårnet. Som utgangspunkt vil denne legges på en dybde rundt 1,7 meter. I prosjekteringsfase kan det imidlertid legges til rette for grunnere dybder.

4.3 **Banefundamentering**

Grunnforhold

Kulturlagene og deres beliggenhet er presentert i kap. 4.1 om arkeologi. Kort oppsummert ligger disse fra 1,5 m til 2 m under dagens gatenivå, og mektigheten kan være på over 5 m under Torget der Bybanetraséen er tenkt å gå.

Norconsult har hatt tilgang til rapport 52174 av 1998-08-31 fra Multiconsult, med resultater fra grunnundersøkelser utført langs fasaden av Torget 9. Denne viser dybder til berg fra terreng på kote + 1,7 varierende mellom 4,5 m og 5,6 m. Under et ca. 1 m tykt lag med mineralske fyllmasser av nyere dato, er det gamle fyllmasser med flis over gammel sjøbunn bestående av sand og grus. Mektigheten på laget med flis er angitt å variere mellom 2,0 m og 2,5 m. I KU er det antydnet at dybder til berg langs Vågsalmenningen kan være på opp til 10 m. Vi har ikke tilgang til detaljert informasjon om grunnforholdene langs Torget. Generelt antas det at dybdene til berg er størst under midtre del av den tidligere Vågsbotn som er fylt igjen, og at det er økende dybder ut mot Vågen.

Konsekvenser for grunnvannstanden og mulig porevannsmigrasjon er kort beskrevet i innledningen i kap. 4.4 om hydrogeologi. Grunnvannstanden er i stor grad styrt av nivået i sjøen. Det legges vekt på å få til løsninger som ikke endrer poretrykkene eller grunnvannsstrømningen i grunnen.

Dagens terrengnivå langs Torget varierer mellom kote +1,7 og +2,0.

Det er utført satellittmålinger av terrengsetninger fra 1992 til 2000 i deler av Bergen sentrum (se note 1, s. 7). Disse viser gjennomsnittlige terrengsetninger på 1,5 – 0,5 mm/år langs Torget. Vi antar at disse skyldes krepsetninger fra tidligere pålastinger eller dagens grunnvannssenkinger (bl. a. fra grunnvannspumping i huskjellere). I tillegg kan det være lokale setninger på bygg som står på gamle fundamenter av treverk.

VA-omlegging

Det er foreslått at kulverten som går parallelt med Torget sentralt under sporområdet for Bybanen, rehabiliteres og blir liggende. Dette gir minst inngrep i gaten og overbygningen, og er etter vår vurdering den løsningen som vil gi minst lokale deformasjoner på terreng. Kulverten har ligget i bakken i mange år, og Torget er trafikkert med busser og annen tungtransport. Komprimering av masser rundt kulverten som følge av trafikk er derfor i stor grad unnagjort. Det er imidlertid mulig at lokal grunnvannspumping under huskjellere langs Torget vil kan føre til ytterligere setninger. Ved fundamentering av banen må man ta hensyn til at kulverten vil fremstå som stivere enn omkringliggende masser.

Fundamentering av Bybanen

Banetraséen langs Torget vil ligge i dagens vegbane, og dermed på nyere fyllmasser over kulturlagene. Det er behov for å heve terrenget på deler av strekningen med ca. 0,3 m. Foreslått prinsipp er at man graver ut ned til ca. en meters dybde og bygger opp nytt forsterkningslag som underlag for betongplate for skinnefeste. Betongplaten må dimensjoneres for ujevn stivhet i underlaget på grunn av kulverten. Forsterkningslaget kan armeres med geonett, og bestå av lette masser for å sørge for utjevning av setninger og hindre eller redusere tilleggsbelastninger. Ved bruk av lette masser må det kontrolleres at man ikke får oppdrift ved flom. Vi har utført grove kontrollberegninger som viser at det er mulig å få til en slik løsning. Med en fundamenterings-

dybde på rundt 1 m under dagens terreng, vil dette i liten grad påvirke grunnvannsnivået, som her er styrt av vannstanden i Vågen. For sving ved Finnegården vises det til tilleggsnotat 3.

4.4 Følger for hydrogeologi

De grunne tiltakene som er beskrevet over som en dag-løsning over Torget for Bybanen, vil sannsynligvis ikke ha nevneverdig påvirkning på grunnvannsforholdene i Vågsbunnen og på Torget. Anlegget må utformes slik at grunnvann ikke dreneres eller øker gjennomstrømning i forbindelse med installasjonene.

Ved ombygging av eldre installasjoner (som nevnte kulvert) bør også disse oppgraderes slik at de får en mindre påvirkning på grunnvannsdrenering enn før tiltaket. Som foreslått i KU bør grøft (overvann) fylles med lavpermeable masser for å bremse eventuell drenering av grunnvann, og hindre økt rask strømning av oksygenrikt sjøvann inn og ut av grøfteområdet. Ved etablering av masteføttene til ledningsstolpene risikerer man å grave så dypt at man punkterer lavpermeable lag. For å unngå eventuell poretrykksreduksjon kan det anlegges tette konstruksjoner inn til de stedlige massene for å hindre både sideveis og vertikal strømning av grunnvannet.

I den senere tid har man blitt oppmerksom på rask setningsrate i terrenget i Vågsbunnen. Bergen kommune har nå et stort prosjekt pågående for å kartlegge både omfanget av setningene og årsaken til denne forholdsvis raske setningsraten. Det har blitt kjent at det er flere kjellere i området med pumpesumper for å holde grunnvannsnivået på et lavt nok nivå, slik at kjellerne ikke blir for fuktige. Dette er trolig en av hovedårsakene til den raske setningsraten i området.

Bybanen vil ikke nødvendigvis ha nevneverdig innvirkning på grunnforholdene, men det anbefales å måle grunnvannsnivå og setningsrater langs traseen før, under og etter Bybanen er anlagt for å dokumentere de faktiske forhold og bistå i å skille årsak til setningene i området. Dersom tiltak for å heve grunnvannet i området der det er senket ikke iverksettes, vil setningene i området sannsynligvis fortsette, også etter at Bybanen er anlagt.

5 VÅGSBUNNEN – TUNELLALTERNATIVER

For tunellalternativene ble det lagt vekt på tunellinnslag og holdeplasser i KU og notat, med vurderinger og anbefalinger. Mens tunellinnslaget i Kaigaten ikke berører Vågsbunnen, ble det beskrevet at kulvert for tunellinnslag i Peter Motzfeldts gate ville kunne medføre nye og raskere strømningsveier for grunnvann langs kulvert (til Skivebakken). Uten tilstrekkelig tetning ville denne kunne senke grunnvannsnivå i Vågsbunnen og i området ved Lille Lungegårdsvann. Denne traséen går gjennom permeable naturlige avsetninger som kan være vanskelige å tette.

For begge tunellalternativer ble det påpekt at tunnelen vil bli det laveste berganlegg i området, og vil dermed kunne definere et nytt lavere-liggende lekkasjenivå i nærheten av kulturlag. De eksisterende fjellanleggene drenerer grunnvann allerede. Konsekvensene vil være et resultat av summen av den totale grunnvannsdreneringen fra alle anlegg i området.

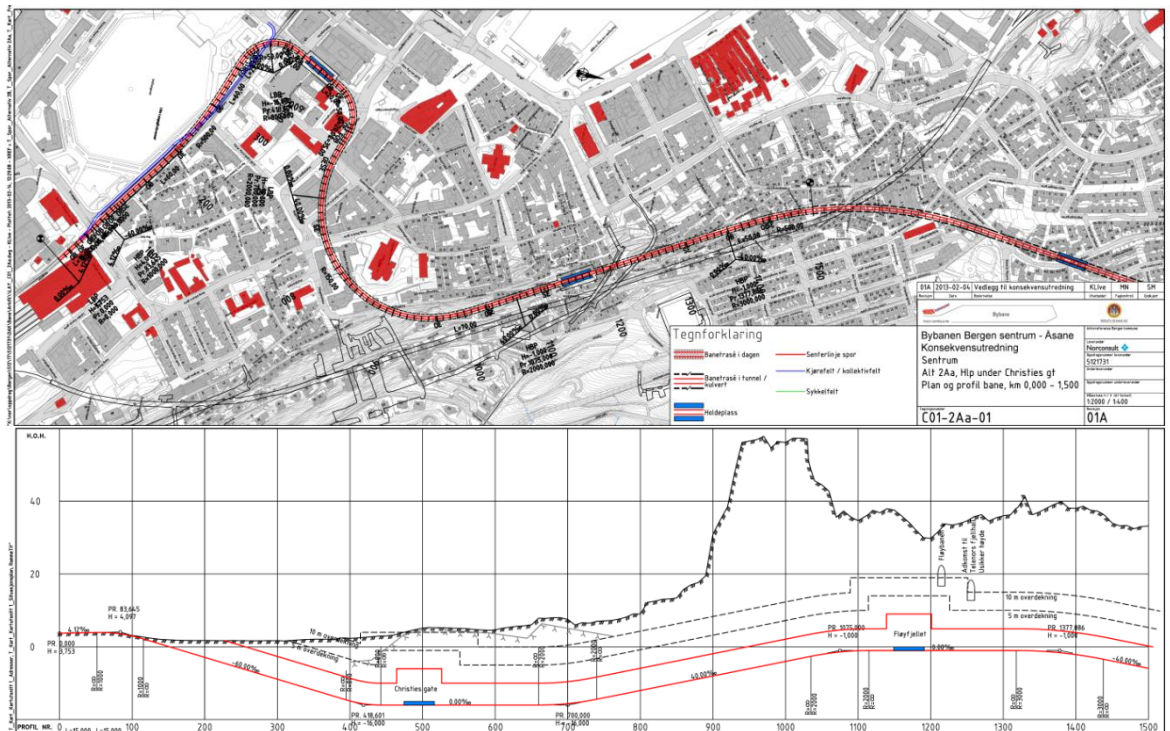
Nedganger til holdeplass i Christies gate, og holdeplass i fjell bak Fløibanestasjonen med innganger, ble ikke vurdert i detalj i KU.

Alternativ 2Aa

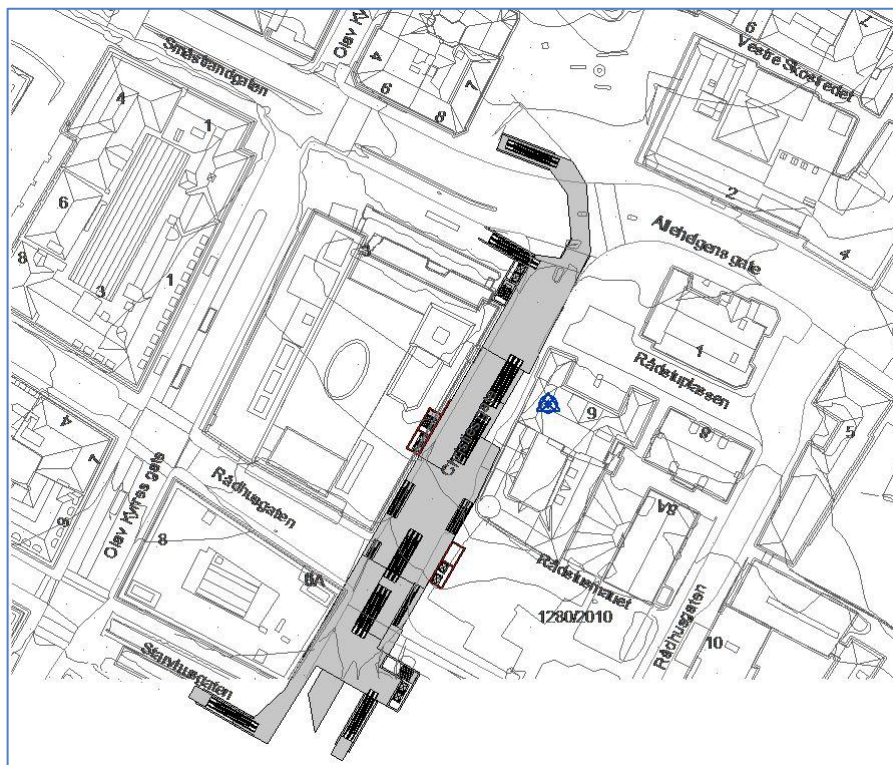
Alternativ 2Aa medfører nedramping med kulvert langs Lille Lungegårdsvann, med holdeplass under Christies gate og i Fløyfjellet. Fra stasjonen i Christies gate går banen i fjell rundt den opprinnelige Vågen til ny holdeplass bak lille Øvregate og derfra videre til Sandviken (Figur 9 - Figur 12).

Stasjonen i Christies gate er foreslått med 4 innganger, som fra Byparken, Kaigaten (ved Gulating), Småstrandgaten (foran Xhibition) og øvre del av Vågsallmenningen. Inngang fra Torgallmenningen er også nevnt. En holdeplass under Christies gate vil være om lag 20 meter dyp, med fire etasjer under gatenivå. Selve stasjonen vil være rundt 120 meter lang i bunn, økende mot 180 meter lang mot overflate. Stasjonen vil være 30 meter bred. De ulike nedgangene vil kreve rulletrapp, og inngangen utgjør da en ca. 18 x 5 meter nedgravning i terrenget. Flere av nedgangene må også ha heis, som vil kreve ytterligere 5x12 meter. Det er videre nødvendig med to nødutganger og luftekanaler. I anleggsfase vil hele Christies gate måtte åpnes til bunn, med bygging av anlegg nedenfra. De underjordiske stasjonene ble ikke planlagt i detalj i KU, men tallene over gir et bilde av hva som er nødvendig av dimensjoner. I størrelse vil stasjonen under Christies gate utgjøre nærmest et «underjordisk kvartal».

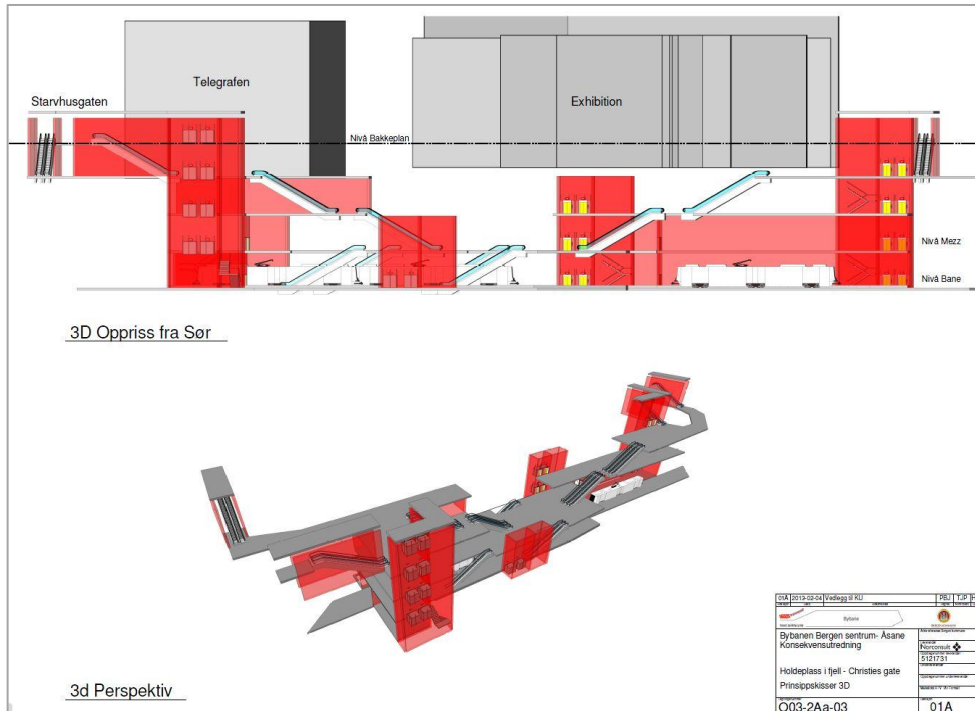
Stasjonen i bak Lille Øvregate / Fløyen vil være om lag 30 x 60 meter i areal, og rundt 12 meter høy. De to utgangene går gjennom fjell til respektive allmenninger og vil kreve åpninger som er om lag 30 x 10 meter i areal. I tillegg kommer luftesjakter.



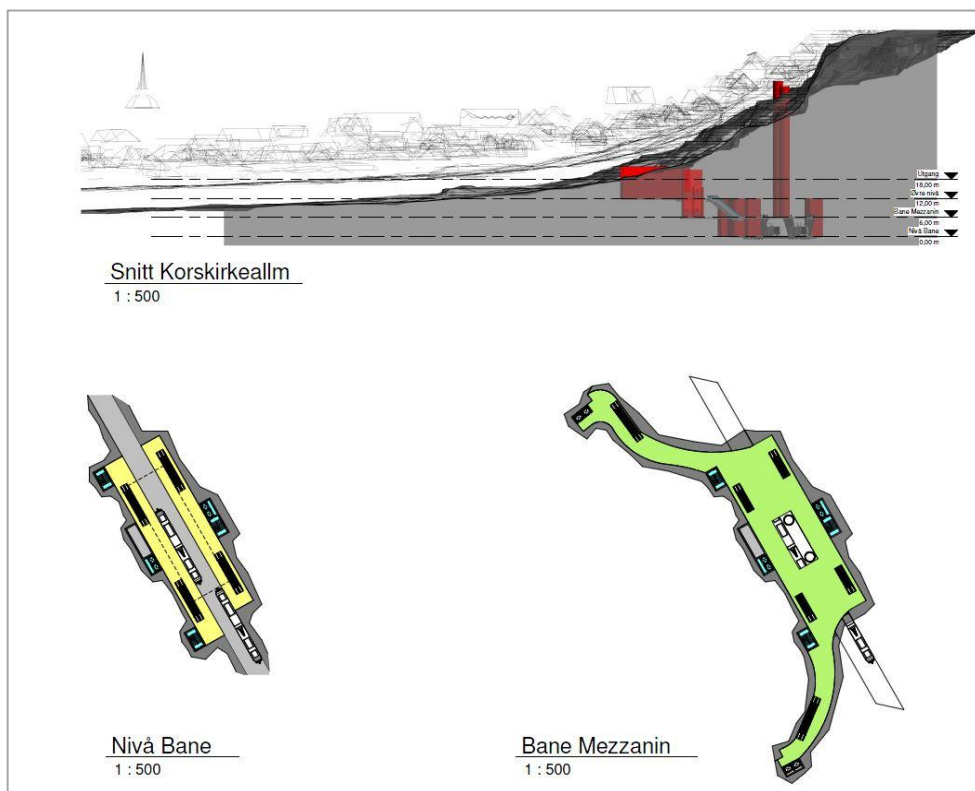
Figur 9: Alternativ 2Aa, plan og profil.



Figur 10: Kartutsnitt holdeplass i Christies gate. Område for holdeplass under bakken med fire nedganger er markert med grått. Fra nordligste til sørligste holdeplass er det om lag 180 meter. Dypest vil holdeplassen være om lag 120 x 30 meter.



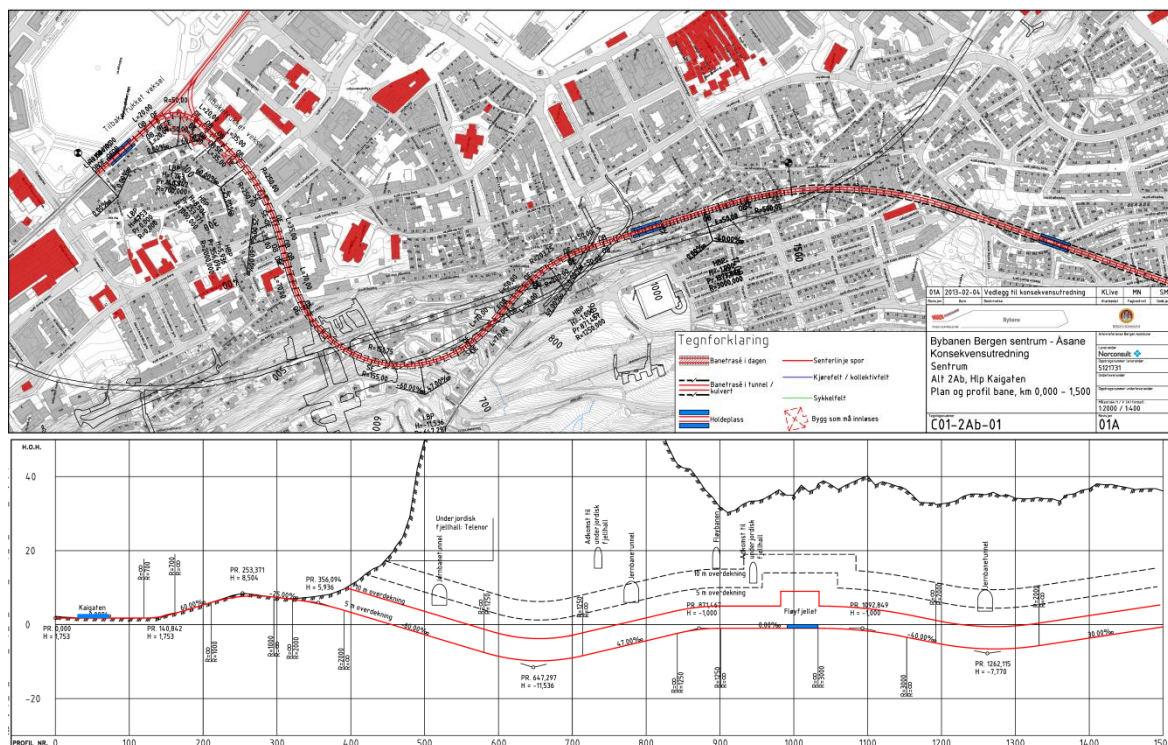
Figur 11: Holdeplass Christies gate, vist i 3D-skisse.



Figur 12: Holdeplass Vetrlidsallmenningen, plan og snitt.

Alternativ 2Ab

Alternativ 2Ab innebærer tunellinnslag i Peter Motzfeldts gate. Imidlertid må tunnelen gå i kulvert fra Peder Motzfeldts gate gjennom Nygaten helt til begynnelsen av Heggebakken. Alternativet har en underjordisk stasjon, med holdeplass i Fløyfjellet (Figur 12 - Figur 13)



Figur 13: Alternativ 2Ab, plan og profil.

5.1 Arkeologi

Tunellalternativene er utredet i KU i forhold til tunellmunninger og stasjoner. Det er påpekt at begge tunellalternativene i sentrum vil medføre utgraving av etterreformatoriske kulturlag av svært stort omfang ved etablering av kulverter. Videre vil underjordiske stasjoner medføre inngrep i middelalderiske kulturlag.

Alternativ 2Aa

Alternativ 2Aa innebærer at Christies gate og Kaigaten graves opp i anleggsfasen. Det samme gjelder tilkomst til underjordisk stopp. Med underjordisk stopp i Fløyfjellet er det tenkt inngang fra Øvre Korskirkeallmenning og Vetrilidsallmenning, hvor det også må åpnes.

Samlet vurdering av alternativ 2Aa ble stor negativ konsekvens for kulturminner i KU. For kulturlagenes del skyldes det total fjerning av middelalderiske kulturlag ved etablering av

innganger i Øvre Korskirkeallmenning og Vetrilidsallmenningen. Alternativet medfører også fjerning av yngre kulturlag i svært stort omfang i traséen nær Lille Lungegårdsvann, hvor inngrepene strekker seg også fra Christies gate helt inn i øvre del av Øvre Vågsallmenning.

Alternativ 2Ab

Alternativ 2Ab innebærer omfattende graving rundt og i Peder Motzfeldtsgate, og graving av kulvert for tunell gjennom Nygaten helt til begynnelsen av Heggebakken. Med underjordisk stopp i Fløyfjellet er det tenkt to innganger, hvorav den ene i Vetrilidsallmenning, hvor det også må åpnes.

Samlet vurdering av alternativ 2Ab ble middels til stor negativ konsekvens for kulturminner i KU. For kulturlagenes vedkommende skyldes dette fjerning av middelalderske kulturlag ved etablering av inngang i Vetrilidsallmenningen, samt total fjerning av kulturlag i Motzfeldtsgate og Nygaten. Det ble påpekt at kulverten legges her gjennom mer permeable naturlige avsetninger som kan være vanskelig å tette, siden kulverten skrår inn i en motbakke der grunnvannsnivået sannsynligvis er høyere enn ved Kaigaten. Ved kong Oscars gate vil tunnelen bli det laveste berganlegget i området, og vil dermed kunne definere et nytt lavereliggende lekkasjenivå i nærheten av kulturlag.

I KU ble disse vurderingene gjort under forutsetning at tunellinnslag og tunell gjennomføres uten lekkasje, eller med et lekkasjenivå som ikke medfører endring i grunnvannstand, både lokalt og videre under bykjernen.

Hvis tunnelene skulle medføre drenering, vil de kunne medføre skader på kulturminner over et større område. Som laveste berganlegg vil tunell gå rundt – eller delvis rundt – selve Vågsbunnen til stasjon bak Vetrilidsallmenning. Videre vil tunnelen gå i fjell langs fjellsiden, som er nedslagsfeltet for grunnvann for hele middelalderbyen. Foruten Vågsbunnen omfatter dette særlig Bryggenområdet.

5.2 Hydrogeologi

Det tas her utgangspunkt i alternativ 2Aa, avslutningsvis sammenlignes dette med alternativ 2Ab.

Utgangspunkt

Generelt sett er masser i Bergensområdet mindre setningsømfintlige enn f. eks. i Trondheim og Oslo. En vanlig tunelldrivingsprosess i Bergensområdet har gjerne en middels til stor sannsynlighet for grunnvannssenkning om ikke spesielle tiltak iverksettes. Usikre bergartsgrenser, svakhetssoner og sprekkdannelser, i kombinasjon med mulig artesisk trykk i sprekker fra grunnvann fra høyereliggende bergåser, er generelle usikkerhetsmomenter for tunelldriving i berggrunn.

Disse risikomomentene er til stede i Bergen, og for alternativ A2a kan en føye til følgende risikomomenter: nærhet til eksisterende fjellanlegg og hulrom, etablering av flere anlegg tett på hverandre (underjordiske stasjoner med 2 til 4-5 nedganger), størrelse, til tider lav overdekning og

dybde av det nye anlegget. Traséen omslutter videre Vågsbunnen, et område med kulturlag av både høy alder og stor tykkelse, foruten bygningsmasse over disse.

Ettersom alternativ 2Aa danner det laveste berganlegg i området, vil en eventuell drenering medføre ytterligere senkning av poretrykk og grunnvannsnivå enn de anlegg som allerede er etablert. Konsekvensen vil være et resultat av summen av den totale grunnvannsdrenering fra alle anlegg i området. En drenering vil først og fremst virke lokalt, men vil under noen betingelser kunne påvirke grunnvannstand over et område innen flere hundre meters omkrets.

For å sikre grunnvannsnivået i Bergen, med kulturlagene og bygningsmasse, må det utøves stor forsiktighet i utbyggingen av disse berganleggene.

Gjennomføring

Grunnvannsproblematikk og nærhet til andre anlegg (eksisterende og nye) samt svakhetssoner krever tilpassede metoder både i anleggsfase og gjennomføring. Tunellen utgjør et anlegg som består av mange ulike elementer, som påhugg og kulverter, adkomsttunneller og haller, utover selve tunelløpet. Samlet utgjør disse elementene et lekkasjepotensial som overskrider hvert enkelt av elementene. Tettekravet til hvert av elementene må vurderes opp mot dette lekkasjepotensialet og det må defineres et samlet tettekrav for å sikre grunnvannsnivået. Det vil kreve økte anleggskostnader og økt anleggstid for å kunne oppnå de forventede resultatene.

Det er flere innsatsnivåer for tettearbeider, avhengig av berggrunnens vanskelighetsgrad og hvor strengt tettekravet er for området. Det er vanlig å vurdere mellom tre hovedtyper av tettetiltak, fra behovsprøvd injeksjon i tette bergmasser, til systematisk forinjeksjon gjennom et bestemt parti, til full utstøping av et tunellparti. Disse tre formene for tettetiltak har et økende kostnadsnivå. Ved tunelldriving benytter en seg derfor av alle tre metodene avhengig av berggrunns kvaliteten og tettekravet langs traseen. Erfaringsmessig er det stort sett mulig å kunne oppnå tettekrav ved passende tetteinnsats. Imidlertid kjenner vi også enkelte avvik, og har eksempler der tettearbeidene ikke oppnår tettekravet.

Utfordringene for alternativ 2Aa vil være:

Kulverter (åpninger – tunellinnslag og innganger) gjennom løsmasser og kulturlag vil kreve nøye vurderinger av tiltakene for å begrense negative effekter på grunnvannsnivå og kulturlagene. Det vil være viktig at inngrepene berører kulturlag minst mulig, kortest mulig anleggsfase, samtidig som løsningen skal være tett og holdbar i lang tid framover. Dette er en utfordring ved en nedramping til 20 meter nær vann, over en strekning på flere 100 meter i byrom (Lille lungegårdsvann, Kaigaten og Christies gate). Dette kan imidlertid være mulig ved å anlegge tette vegger ned til berggrunnen, samt et stykke ned i bergmassene for å hindre en kortslutning gjennom bergsprekkene. Tetting av påhugg og videreføring av traseen i tunell må ha en helhetlig overgang for å hindre grunnvannslekkasjer inn i anlegget. Slike løsninger krever omfattende tiltak, men det er mulig å få til innenfor et forhåndsbestemt tettekrav.

Generelt sett er det i anleggsfasen en møter de største utfordringene i forhold til stabilt grunnvannsnivå. Nødtiltak for å bøte på eventuelle lekkasjer er mulig, både ved infiltrasjon fra terreng og ved injeksjon av vann i berggrunnen, selv om dette ikke er ønskelige løsninger.

Høy tetthet av hulrom øker risiko for grunnvannssenkning, og ved Christies gate vil det bli minst fire nedganger i tillegg til selve stasjonen. De to nedgangene til stasjonen bak Vetrilidsallmenningen øker risikoen også her. Adkomsttunellene til stasjonene må derfor tettes i like stor grad som hovedtunellen, og tettekravet for området omkring adkomsttunellene må ta hensyn til at det er flere mulige drenerende anlegg i et lite område.

Kryssing av eksisterende tunellanlegg er et klassisk risikopunkt, men de mindre bergoverdekningene i disse sonene er ikke uvanlige, og erfaringsmessig vurderes slike som håndterbare.

Eventuelle oppstuvning av grunnvann i løsmasser kan håndteres med terskler og overføringsledninger, slik som prosjektert bl. a. ved Madlaveien for den nye Eigenestunellen, Ryfast, Stavanger. Tette konstruksjoner kan muligens medføre en oppstuvning, men dette vannet kan bli ledet rundt for infiltrasjon på nedstrøms-siden.

I forhold til stabilt grunnvannsnivå vil anleggsfasen som nevnt være mer krevende enn driftsfasen.

Oppsummering

Ved et vanlig strengt tettekrav er det stor sannsynlighet for at alternativ 2Aa ikke vil medføre en nevneverdig endring i grunnvannsnivået eller påvirke kulturlagene negativt. Som nevnt i foregående kapittel 4.4, er det store inngrep i Vågsbunnen og i berggrunn med eksisterende anlegg, som allerede drenerer grunnvannet. Det vil være viktig at både tunell, adkomsttuneller og kulverter ikke forverrer situasjonen. Å gjennomføre en slik utbygging vil imidlertid kreve forholdsvis omfattende tiltak for å begrense både grunnvannslekkasjer og innvirkning på kulturlagene.

Det må imidlertid påpekes at en hydrogeologisk vurdering ikke kan anses som en garanti. Dette er vurderinger basert på kjente problemstillinger og erfaringer, og forventede effekter av ulike typer inngrep i fjell. Forskjellige former for tunelltetting, tiltak for å begrense grunnvannssenkning og avbøtende tiltak som ulike infiltreringsteknikker har vist seg svært gode, og er under utvikling. Det er derfor lite sannsynlig at tunellalternativ 2Aa vil føre til varig grunnvannsendring av Vågsbunnen. Hvis drenering skulle forekomme under anleggsfase eller i ferdig anlegg, vil dette kunne avbøtes med injeksjon av vann i berg eller infiltrasjon fra terreng.

Injeksjon av grunnvann i berg kan gjøres fra tunell, eller ved å bore fra terreng til berggrunn for injisering. Infiltrasjon fra terreng er gjerne overflatevann som samles og ledes til f. eks. infiltrasjonsgrøfter for videre mating av grunnvann. Regnbed er en annen infiltrasjonsløsning.

Det bør etableres et overvåkningssystem for grunnvann og poretrykk i berggrunnen og i løsmasser. Målinger igangsettes minst ett år før anleggsstart, og fortsetter under og etter anleggsfasen er gjennomført.

Ut fra disse vurderingene kan det tilføyes at tunellalternativ 2Ab har kortere lengde, bare en stasjon med to innganger, og går mindre dypt enn alternativ 2Aa. På et generelt nivå kan det sies at den innebærer mindre krevende tiltak i forhold til hydrogeologi. Som påpekt i KU medfører imidlertid dette alternativet en kulvert gjennom mer permeable masser nærmere Vågsbunnen.

6 SAMMENLIGNING, DISKUSJON OG OPPSUMMERING

Som nevnt innledningsvis berører denne tilleggsutredningen mange tema, men hovedfokus er hydrogeologiske forhold og risiko for endret grunnvannstand i Sandbrogaten og Vågsbunnen. Før sammenligning av alternativer er det likevel på plass å minne om hva senkning av grunnvann innebærer. For kulturlag med høyt organisk innhold som bevares på grunn av anaerobe omgivelser (liggende i oksygenfattig grunnvann), fører grunnvannssenkning til oksygentilførsel. Kort sagt setter dette i gang forråtning og ulike kjemiske prosesser, og kulturlagene komprimeres. Også en midlertidig senkning av grunnvann kan sette i gang slike prosesser. En heving av grunnvannet vil stoppe eller bremse prosessene, men stabilitet kan da være redusert.

Både i Sandbrogaten og Vågsbunnen er det verdifulle, tykke og omfattende kulturlag som er sårbare for grunnvannsendringer. Vågsbunnen utgjør videre et større areal med stor bygningsmasse. Store deler av bygningsmassen og urban struktur i dette området har stor verneverdi. Komprimering av kulturlag kan føre til setninger i terrenget, og slike prosesser med setningsskader på terreng og bygninger er påvist i deler Vågsbunnen.

6.1 Sammenligning av dagalternativet 1Aa og tunellalternativer Vågsbunnen.

Dagalternativet er et tiltak som etter vår vurdering medfører små følger for hydrogeologi i Bergen. En rekke steder vil grunnvannet ligge dypere enn en meter under bakkenivå, og banen vil ikke berøre grunnvannstand. Mastefester går dypere, 2 til 3 meter under bakkenivå. Dette er punktvis inngrep som kan sikres i forhold til grunnvannsstand med relativt enkle metoder. Omlegging av infrastruktur vil være grunnere enn mastefestene. I noen tilfeller kan masseutskiftninger rundt eksisterende og nye rør brukes til å forbedre forhold for grunnvannssituasjonen. Ettersom dagalternativet generelt bare medfører grunne inngrep er det også begrenset hvilken skade dagalternativet kan medføre. Alternativet er «oversiktlig» med hensyn til grunnvann.

Tunellalternativene er vurdert som gjennomførbare, og ble vurdert i KU utfra at dette lar seg gjennomføre uten nevneverdige lekkasjer. Ved valg av riktig metode og aksept for de kostnader det vil medføre, kan tunellene gjøres så tette at sannsynlighet for lekkasje er liten.

Hydrogeologiske tiltak som må gjøres i forbindelse med tunellinnslag, kulvert, nedganger og i anleggsperioden generelt er betydelig mer omfattende enn for dagalternativet.

Tunellalternativene betinger en aksept for avbøtende tiltak ved midlertidig grunnvannsenkning under anleggsfase og driftsfase. Avbøtende tiltak er injisering av vann og/eller infiltrering fra terreng. Slike tiltak vil medføre inngrep i terrenget, i form av borehull og infiltrasjonsgrøfter. Situasjonen ved tunellalternativene er langt mindre oversiktlig enn ved dagtrase.

Både dagalternativet og tunellalternativene er søkt gjennomført uten å endre grunnvannstand. Imidlertid utgjør lengde, størrelse, dybde og omfang av inngrep, både i anleggsfase og ferdig anlegg, at tunellalternativene medfører flere muligheter for at grunnvannstand kan bli påvirket, både ved midlertidige senkninger og permanente. De samme faktorene tilsier også konsekvensene kan bli langt mer omfattende ved tunellalternativene sammenliknet med dagalternativet.

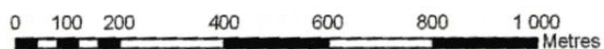
Sett ut fra et «worst case scenario» kan daglinje over Torget medføre en drenering av kulturlag i ytre del av Vågsbunnen. Dreneringen vil ikke være dypere enn eksisterende kulvert som traseen skal legges over (kulverten ligger rundt kote 0). Mastefundamenter vil være mellom 2 og 3 meter dype, men som punktvis inngrep kan de ikke lede bort eller påvirke grunnvannet over et større område.

Sett ut fra et «worst case scenario» kan tunell rundt Vågsbunnen medføre langt større skade. Lekkasje punkter i anleggs- eller driftsfase kan være 20 meter under bakkenivå. Selv om en lekkasje i første rekke påvirker lokalt (oppover), vil den kunne påvirke grunnvann i en radius på flere 100 meter, og altså gi grunnvannssenkning over et stort område. En grunnvannssenkning i Vågsbunnen kan utover å ødelegge verdifulle kulturlag, gi setninger i terrenget og på bygningsmasse. Selv om det er lite sannsynlig at en grunnvannssenkning som følge av tunell vil bli permanent, kan destabiliserende prosesser settes i gang også ved en midlertidig senkning. Avbøtende tiltak med infiltrering fra overflate vil nødvendigvis medføre inngrep i infrastruktur og bygrunn. Slike tiltak vil trolig også komme i konflikt med fredede eller vernede bygninger og gammel bystruktur.












Uten å eksemplifisere hva som kan skje med en gitt bygning eller kulturlag i et gitt område eller et gitt kvartal, kan vi si at det samlet sett knytter det seg en større risiko ved tunellalternativene. Dette er søkt illustrert i Figur 14 og Figur 15. Figurene viser tunellalternativene med 100-sone og 200-meters sone. En grunnvannssenkning kan påvirke grunnvannsnivået i en radius på flere hundre meter. Det meste av Vågsbunnen ligger mindre enn 200 meter fra tunnelen. Store deler av området har kulturlag i en tykkelse fra 2 til 5 meter.



Scheduled area medieval Bergen



Legend

- | | |
|---|--|
|  Boundary of scheduled area |  Buildings |
|  Deposits under water |  Water |
|  > 5 m thickness of deposits |  Property boundary |
|  2 - 5 m thickness of deposits |  Streets |
|  1 - 2 m thickness of deposits |  Metres above sealevel (contour interval = 1 m) |
|  0 - 1 m thickness of deposits | |









Figur 14: Tunell i alternativ 2Aa lagt over Riksantikvarens kart over kulturminnet middelalderbyen Bergen. Kartet gir en grov oversikt over kulturlagstykkelse. Tunnellen er tegnet inn med 100-meters sone og med 200-meters sone (Kartgrunnlag: Riksantikvaren 02.05.2007, Jan E. G. Eriksson)



Scheduled area medieval Bergen



Legend

	Boundary of scheduled area		Buildings
	Deposits under water		Water
	> 5 m thickness of deposits		Property boundary
	2 - 5 m thickness of deposits		Streets
	1 - 2 m thickness of deposits		Metres above sealevel (contour interval = 1 m)
	0 - 1 m thickness of deposits		

Figur 15: Tunell i alternativ 2Ab lagt over Riksantikvarens kart over kulturminnet middelalderbyen Bergen. Kartet gir en grov oversikt over kurlagstykkelser. Tunellen er tegnet inn med 100-meters sone og med 200-meters sone (Kartgrunnlag: Riksantikvaren 02.05.2007, Jan E. G. Eriksson)

6.2 Sammenligning tunell Sandbrogaten og tunneller rundt sentrum

Av hensyn til bevaringsbehov for massene i Sandbrogaten og Veisan, ble tettekrav til tunellinnslaget og selve tunnelen for alternativ 1Aa, med tunellinnslag i enden av Sandbrogaten anbefalt å være like strengt som for en tunell innslag i Kaigaten eller Peter Motzfeldts gate (2Aa, 2Ab). Det er imidlertid et prinsipielt skille på tunell i Sandbrogaten og tunell bak Vågsbunnen. Tunnelene bak Vågsbunnen er mer omfattende, går under andre eksisterende anlegg, og har et større potensial til å drenerer mer grunnvann.

Ved lekkasje vil tunell i enden av Sandbrogaten kunne redusere tilførsel av grunnvann fra fjellet til grunnvann i Sandbro og Veisan. Dette vil bli en langt mindre lekkasjerate enn det som dreneres til den eksisterende togtunnelen i dag. Samtidig vil anlegg av en ny tunell sannsynligvis føre til en tettere sone rund den lavere liggende eksisterende togtunnelen der den blir krysset.

Også tunell rundt sentrum vil kunne redusere tilførsel av grunnvann fra fjell til grunnvann i løsmasser i sentrum. Ettersom tunnelen går rundt og lavere enn løsmassene i Vågsbunnen, har den også potensial for å drenerer løsmassene nedenfra, noe tunnelen i Sandbrogaten ikke kan gjøre.

7 KONKLUSJON

Denne tilleggsutredningen om hydrogeologiske forhold i Sandbrogaten og Vågsbunnen har nødvendigvis berørt en rekke relaterte tema, særlig arkeologi og geoteknikk. Konklusjonene er imidlertid konsentrert om hydrogeologi, et tema som har følger for de andre fagområdene.

Den hydrogeologiske situasjonen (grunnvannet) i Sandbrogaten er styrt av en rekke prosesser og tidligere inngrep i grunnen. Siden Bybanen i Sandbrogaten kan anlegges grunt, og dagens infrastruktur har senket grunnvannet i forhold til et naturlig nivå, vil en ny Bybanetrasé, anlagt og tettet etter dagens teknologi, ikke ha betydning for grunnvannsnivået.

Bane over Torget går ytterst i Vågsbunnen, et område med pågående setninger. Også her vil Bybanen anlegges grunt, og vil ikke nødvendigvis ha nevneverdig innvirkning på grunnforholdene.

Tunellalternativ 2Aa går i fjell rundt Vågsbunnen, og vil utgjøre et dypestliggende anlegg, med to større hulrom i form av stasjoner, og en rekke åpninger og brudd av overflate i form av tunellinngang, stasjonsnedganger og nødutganger. Det vil kreve omfattende hydrogeologiske tiltak i anleggs- og driftsfase for å få tunnelen tett, men den vil da med stor sannsynlighet ikke føre til nevneverdig endring av grunnvannstand i Vågsbunnen. Tunellalternativ 2Ab er mindre omfattende, men innebærer de samme elementene. Det er lite sannsynlig at en eventuell grunnvannsenkning vil være permanent, med avbøtende tiltak som injeksjon i fjell og infiltrasjon fra overflate.

Sett i forhold til Vågsbunnen innebærer likevel tunellalternativene et betydelig større skadepotensial enn dagtraseen, ettersom grunnvannet kan dreneres på et langt dypere nivå, og over et langt større område. En eventuell grunnvannssenkning vil trolig ikke være av permanent karakter, men dette innebærer en aksept av tiltak for infiltrasjon på overflate, det vil si installasjoner av ulik karakter som også vil berøre kulturlag, infrastruktur og bygningsmasse.

Både dag- og tunellalternativene er søkt gjennomført uten å endre grunnvannstand. Det er også lite sannsynlig at tunellalternativene vil medføre senkning av grunnvannet. Imidlertid utgjør lengde, størrelse, dybder og omfang av inngrep, særlig i anleggsfase, at tunellalternativene medfører flere muligheter for at grunnvannstand kan bli påvirket, både ved midlertidige senkninger og permanente. De samme faktorene tilsier også konsekvensene kan bli langt mer omfattende ved tunellalternativene.

I forhold til grunnvann er det begrenset hva dagalternativet kan medføre av skade, mens tunellalternativet har potensiale for omfattende skader.

Bergen, 2013-10-07

Ole-Magne Nøttveit, arkeolog
Kevin Tuttle, hydrogeolog
Gunhild Hennem, geoteknikk

Hans Petter Duun
Oppdragsleder

Kilder

Fossen, A. B. 1984. Trekk ved utbyggingen av Bergen havn ca. 1870-1940. I *Sjøfartshistorisk årbok 1983*, Bergens Sjøfartsmuseum

Harris, C. J. H. 1991. Bergen i kart fra 1646 til vårt århundre. Bergen

Helle, K. 1982 (1995): *Kongssete og kjøpstad: fra opphavet til 1536*. Bergen bys historie bd. 1. Bergen

Håland, A. 2005: *Bergen havn gjennom 900 år II. – 1900-1945 Knutepunkthavnen*. Bergen