

Til: Bergen kommune, Plan- og geodata

Fra: Norconsult

Dato: 2013-02-14

Bybane gjennom Bergen sentrum. Hydrogeologi

1 INNLEDNING

For å avklare de forskjellige traséalternativer for bybane Bergen Sentrum – Åsane, må blant annet ulike inngreps påvirkning av grunnvannstand utredes. Redusert grunnvannstand kan føre til uttørking, nedbrytning og komprimering av organiske avsetninger i grunnen. På sikt kan dette medføre blant annet setningsskader på bygninger, og i Bergen har dette særlig vært knyttet til skader på stående kulturminner (Bryggen) og tap av automatisk fredede kulturminner (kulturlag).

Grunnvannsproblematikk, som sorterer under faget hydrogeologi, er derfor behandlet i tett sammenheng med kulturlag i utredningen for bybane Bergen sentrum – Åsane. Som del av en omfattende analyse av konsekvenser ved de alternative traséene, skal følgende punkter utredes om kulturlag:

- 1) Hva betyr eventuelle tunellinnslag og tunellføringer for grunnvannet i området, og hvordan vil dette kunne påvirke kulturlagene? Hvordan vil inngrepene påvirke kulturlagenes følsomhet for oksygen?
- 2) Identifisere områdene som er mest sårbare for økt trykkbelastning, rystelser og endringer i overvannsgjennomstrømmingen.
- 3) Hvilke behov for utgraving medfører de ulike traseene. Identifisere spesielt sårbare områder, er det noen steder der kulturlagene er å betrakte som umistelige?
- 4) Kartlegging av sjøbunnens sårbarhet i forhold til inngrep som vil bli nødvendig for å krysse Vågen.

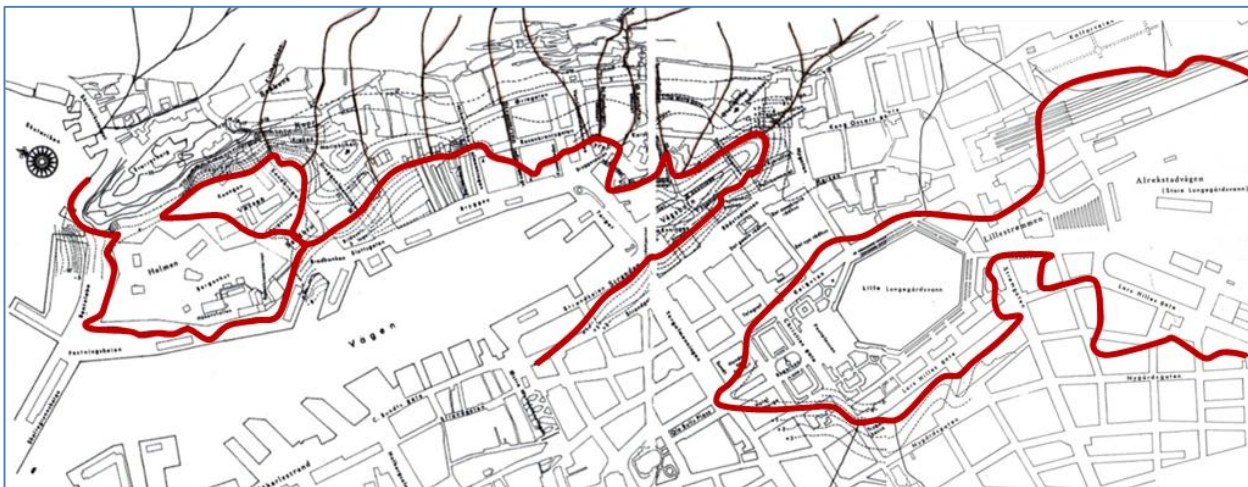
Dette notatet omhandler i første rekke oppgave 1, hva betyr eventuelle tunellinnslag og tunellføringer for grunnvannet i området, og hvordan vil dette kunne påvirke kulturlagene? Hvordan vil inngrepene påvirke kulturlagenes følsomhet for oksygen? I noen grad omhandler notatet problemstilling 2, men må sees i sammenheng med alle problemstillingene. Disse er behandlet i notat om kulturlag i middelalderbyen (Nøttveit), og disse to notatene må leses i sammenheng. Dette notatet innleder med en beskrivelse av grunnvannsproblematikk i Bergen, særlig relatert til kulturlag. Deretter følger en vurdering av de ulike trasealternativene for Bergen sentrum i forhold til grunnvann, med kort beskrivelse av løsning og håndtering. Notatet avsluttes med foreløpige anbefalinger, som kan betraktes som førende for videre arbeid med trasealternativene i sentrum. Tross enkelte detaljerte eksempler holdes gjennomgangen på et mer generelt nivå. Detaljerte beskrivelser, vurderinger og anbefalinger er naturlig å bringe inn på reguleringsplannivå.

1.1 Grunnvann og kulturlag

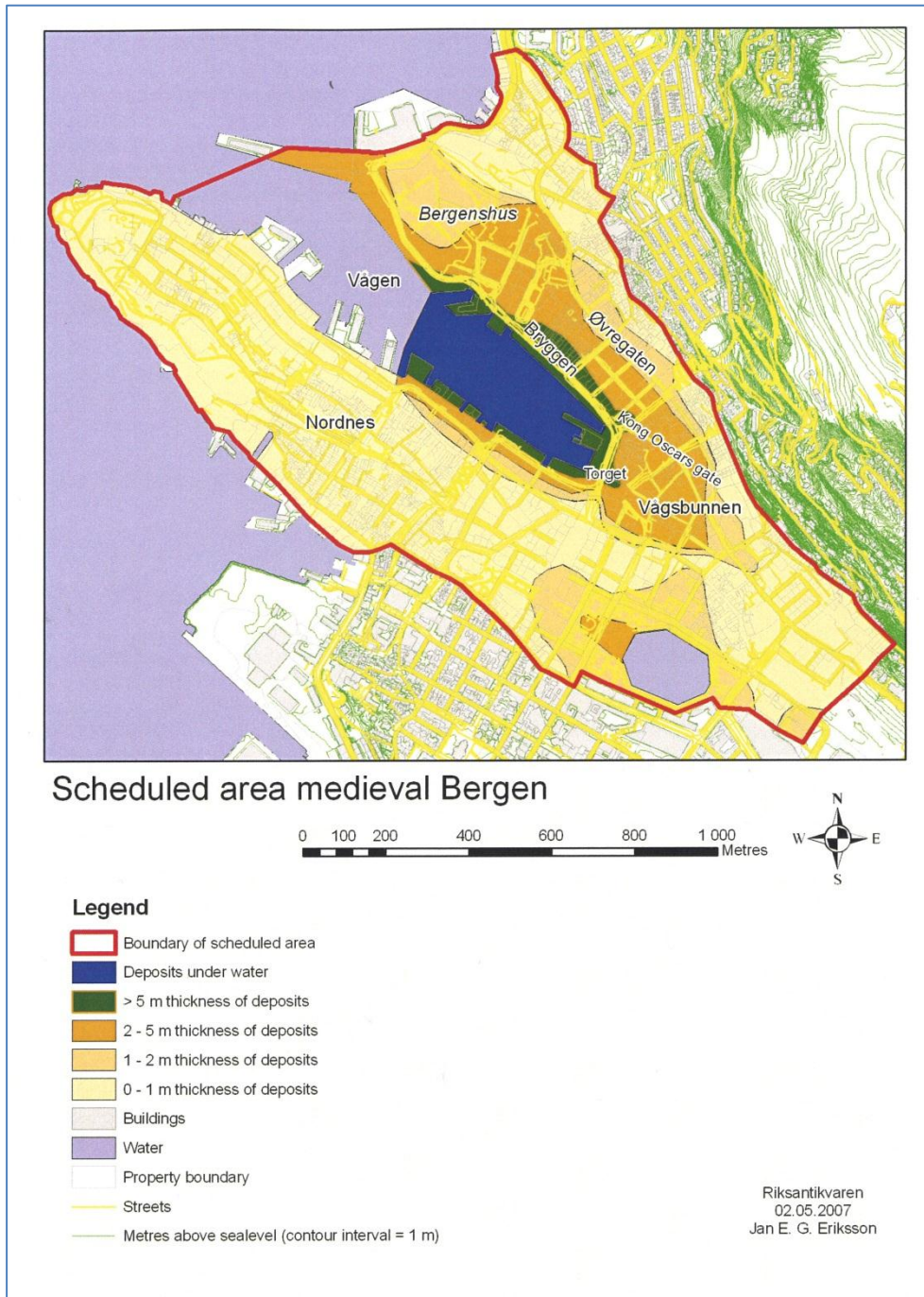
Stabil grunnvannstand er en forutsetning for bevaring av store deler av de automatisk fredete kulturlagene i Norges middelalderbyer. Denne typen kulturlag består ofte av overveiende organiske komponenter som bevares i anaerobe omgivelser. Ved tilførsel av oksygen i slike masser vil forråtnelsesprosesser igangsettes eller eskalere, med andre ord, kulturlagene råtner bort. Tilførsel av oksygen skjer ved senkning av grunnvannstand, som kan være en bieffekt av tiltak i bygrunnen som graving og masseutskiftning (drenering). Avhengig av inngrepets karakter, jordart og topografi kan grunnvannet påvirkes i en stor radius rundt selve inngrepet. Beregninger har vist at organiske kulturlag som brytes ned og tørkes ut, kan komprimeres med

opp til 77 %. Utover tap av kulturminneverdier kan slike prosesser føre til setningsskader på omkringliggende bygg og anlegg. Som følge av setningsskader på Bryggen har fokus på disse prosessene økt de senere årene. Bevaring og opprettholdelse av grunnvannstand er derfor et tema som Riksantikvaren legger stor vekt på.

En relativt stor del av Bergen sentrum er bygget på organiske avsetninger som har vært deponert i sjø siden middelalderen. Disse massene, men i noen grad også organiske masser deponert på land, opprettholdes av grunnvannsspeilet, og vil kunne komprimeres ved en senkning av dette. Deler av disse massene er automatisk fredet etter kulturminneloven fordi de er avsatt før 1536. Overliggende lag tillegges også verdi av Riksantikvaren, fordi de er med og opprettholder grunnvann og stabile forhold i massene under. Hvis de yngre kulturlagene blir fjernet, kan dette føre til oksygentilgang i dypereliggende, fredete lag. Dette notatet må derfor leses i sammenheng med Nøttveits notat om kulturlag



Figur 1. Antatt opprinnelig strandlinje i Bergen, markert med rødt. Store deler av sentrum, og bybanetraséer, hviler på utfylte masser (etter Helle 1982:20-21).



Figur 2. Generell oversikt over kulturlagstykkelser Bergen. De oppgitte tykkelser samsvarer ikke nødvendigvis med forekomst av automatisk fredete kulturlag (Riksantikvaren/NIKU, 2008).

1.2 Grunnlagsmateriale

Grunnlagsmateriale hentes fra en rekke kilder:

Som del av prosjekt Bryggen leder Riksantikvaren et bevaringsprogram for kulturlagene. Dette er et tverrfaglig prosjekt som fokuserer på grunnvannsproblematikk med grunnvannsovervåkning og -restaurering, geologisk kartlegging og modellering, geotekniske, geokjemiske og arkeologiske undersøkelser. Hovedaktørene er NGU, NIKU, Statsbygg, Nasjonalmuseet i København og Multiconsult. Statsbygg har engasjert Norconsult for rådgivning innen hydrogeologi ved Bryggen. Noen av resultatene er tilgjengelige i Riksantikvarens vitenarkiv (<http://brage.bibsys.no/riksant/>). Hittil har tiltak for å heve grunnvannsnivået på Bryggen vært vellykket, og prosjektet ferdigstilles ila. 2013.

Oppmerksomheten rundt grunnvannsproblematikken er vekket også utenfor kulturminnefeltet. Det er påvist setnings-skader på bygg og i grunnen i området rundt nedre Korskirkeallmenning. Bergen kommune har derfor satt i gang forprosjekt Vågsbunnen for å kartlegge grunnvannsnivå og skadeomfang. Prosjektet har så langt resultert i enkelte rapporter som vil være svært relevante for noen av traséalternativene.

Utover hydrogeologisk faglitteratur vil også arkeologisk/historisk litteratur om Bergen kunne fortelle om kulturlagenes beskaffenhet i forskjellige deler av byen. Det understrekes igjen at dette notatet må leses i sammenheng med notat om kulturlag i middelalderbyen.

1.3 Traséalternativer

I «Bybanen Bergen sentrum – Åsane. Planprogram» (revidert 4. mai 2012) foreslås fire hovedvarianter gjennom sentrum, som vist på kartet i Figur 3.



Figur 3. Traséene A og B, 1 til 4. Figur til høyre viser ulike varianter som er vurdert i løpet av silingsprosessen

Utgangspunktene for traseene

- A1 Kaigaten – Christies gate – Småstrandgaten – Torget.
- A2 Kaigaten – Christies gate – Vågsallmenningen – Torget.
- A3 Kaigaten – Starvhusgaten – tunnel fra Markeveien – Nordnes – Vågen – Dreggen.
- A4 Kaigaten – tunnel fra Peter Motzfeldts gate/Christies gate/Markeveien

- B1 Ytterst på Bryggen – Sandbrogate – tunnel til Slaktehustomten.
- B2 Innslag i Finnegårdsgaten ved Kjøttbasaren og tunnel til Slaktehustomten, holdeplass i fjell under Krohnengen.
- B3 Videreføring av A3.
- B4 Videreføring av A4.

I høring av forslag til planprogram for bybane Sentrum – Åsane, varslet Riksantikvaren at flere traséer ville kunne medføre innsigelse på bakgrunn av graveomfang, påvirkning av grunnvannstand, inngrep i automatisk fredete kulturminner, trykk og mulig skade på omliggende kulturlag. Planprogrammet revidert 4. mai 2012 innebærer en del endringer, men det er verdt å merke at Riksantikvaren varslet mulig innsigelse på trasé over Vågsalmenning, tunellinnslag i Finnegårdsgaten og trasé med tunellinnslag i Sandbrogate. Det kan også merkes at Riksantikvaren ikke varslet dette for kulturlag utenfor Bryggen. Den ytre delen av Bryggen er bygget ut gjennom første halvdel av 1900-tallet, noe som tilsier relativt moderne fyllmasser på sjøbunn.

2 VURDERING

2.1 Generelt

Tunneler

Bybanen vil gå i tunnel fra sentrum til Sandviken, alternativene har ulik plassering av tunnellinnslag i sentrum. Fjellsiden er et stort og vesentlig nedslagsfelt for vann som infiltreres til bygrunnen. Grunnvannstanden i bygrunnen er avhengig av dette nedslagsfeltet, men det hydrologiske systemet er ikke fullt ut forstått. Man vet ikke om det er i balanse (Dunlop 2004). Grunnvannsendringene fra middelalderens «naturlige» hydrogeologiske tilstand, skyldes bl. a. alle bekkelukkingene som fører overflatevann direkte ut til sjøen, uten mulighet for å kunne mate grunnvannsnivået som tidligere (se Figur 1 **Error! Reference source not found.**).

Tunellinnslag, tunneller og eventuelle dyptgående kulverter for Bybanen kan skape «sluk» og «kanaler» under dagens grunnvannspeil, med påfølgende senkning av dette. Et tunnellinnslag eller en tunnel som ikke er tett, kan påvirke grunnvannstanden i en radius på flere hundre meter fordi de kan skape en drenering og alternative veier for grunnvannet. Kulverter kan bygges som tette enheter, men inngrep i løsmasser omkring kulvertene må prosjekteres slik at de ikke drenerer eller medfører økt tilførsel av oksygenrikt eller saltrikt grunnvann til kulturlagene. Det er også viktig at man vurderer effekten av tidligere inngrep når man vurderer tettekrav til nye anlegg som, f. eks. et tunnelanlegg. Det er summen av alle lekkasjer i et gitt område som utgjør den endelige effekten på grunnvannsnivået.

Bane i dagen

Også bane i dagen kan medføre endringer i grunnvannstand, avhengig av faktorer som dybde av fundamentering, fundamenteringsmasse og omgivelsenes karakteristika. Grøfter for kabler og ledninger er ofte fylt med drenerende masser, slik at grøftene blir foretrukne strømningsveier som drenerer grunnvannet. Spillvannsledninger har ofte lekkasjer, og må pumpes for å føre spillvannet til et renseanlegg. En bieffekt av pumpingen er ytterligere drenasje fra eksisterende grøfter, som allerede drenerer grunnvann. Det er viktig å være klar over at det allerede eksisterer en mengde slike kanaler i Fjellsiden og bygrunnen, i form av nedgravinger for rør og kabler. Grunnvannstand er resultat av et komplekst system innenfor hele nedslagsfeltet, hvor topografi og grunnforhold spiller en avgjørende rolle, og hvor forskjellige typer inngrep vil ha ulik effekt i ulike områder. Ved etablering av nye grøfter og lukking av eldre, kan det ofte ha en gunstig effekt å fylle grøftene med lav-permeable masser som hindrer drenering.

Generelt er det relativt grunt til fjell rundt Vågen og Lille Lungegårdsvann. Løsmassene rundt Vågen (nord-nordvest for Christies gate) består av unge fyllmasser med innslag av grus og sand, over kulturlag med humusholdige fyllmasser, stedvis med torv eller trematerialer, lær o.l., over den gamle sjøbunnen. De marine avsetningene er av skiftende materiale fra silt til sandige og grusige masser med innhold av skjell. Rundt Lille Lungegårdsvann og sørover er utfyllt med generelt yngre humusholdige masser.. Disse massene kalles ofte «byfylling».

I Bybanens første byggetrinn ble det valgt fleksibelt fundament med relativt grunt jordarmeringsnett mot underliggende masser i Kaigaten. Jordarmeringen har som funksjon å spre laster både i lengde og bredderetning samtidig som det skal virke utjavnede på setninger. I det videre arbeid med bybanetraseene vil fundamenteringsmetoder vurderes med formål å velge best mulig løsning for å få minst mulig setning, enkelt vedlikehold og minst mulig påvirkning på definerte kulturlag.

2.2 Gjennomgang av alternativene

A1: Kaigaten – Christies gate – Småstrandgaten -Torget

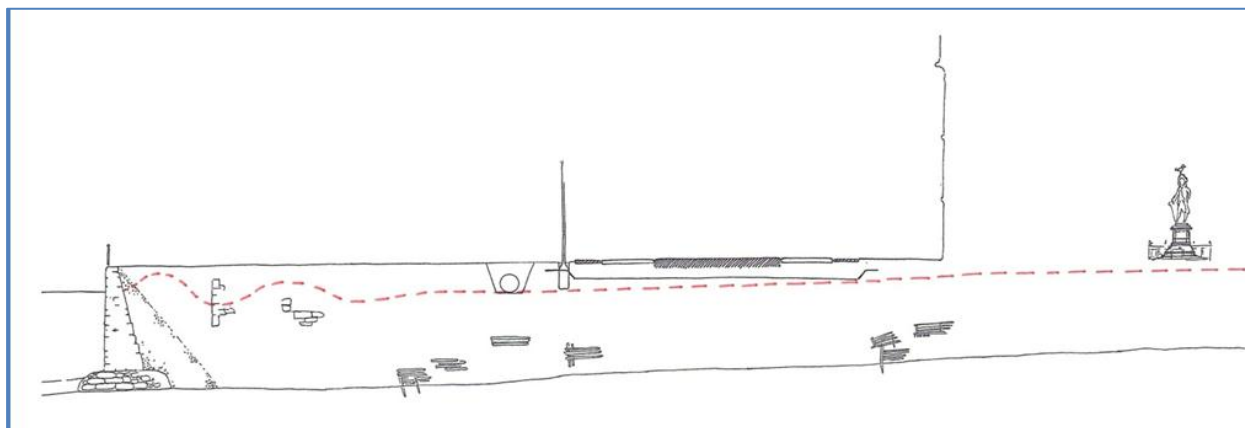
Med trasé i dagen vil påvirkningen på grunnvannet være svært begrenset.

Langs Kaigaten er terrenget flatt, og grunnvannet har trolig en slak gradient inn mot Lille Lungegårdsvann, på tvers av traseen. Ved og langs Christies gate er terrenget noe hevet på en berggrunnsrygg med liten løsmassemektighet (ca. 0 – 1m). Tiltak for å hindre en grunnvannstrømning langs traseen vil være enkelt å gjennomføre da det er så pass flatt terreng i Småstrandgaten før traseen går nord- og nedover til Torget. Dette kan gjøres med grunnvannsbarrierer med overløp for å både hindre drenering av grunnvannet, samt øke oppholdstiden av grunnvannet mellom barrierene for å minske strømning av oksygenrikt grunnvann gjennom grøftene inn i de stedlige massene.

Nordover fra Småstrandgaten øker løsmassemektingen, og traseen kommer inn i Vågsbunn-området med tykkere kulturlag. Traseen går i et høytrafikkert område, slik at dagens veibelastning 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 strømning av grunnvann vil også kunne medføre økt oksygeninnhold, og dermed øke nedbrytningsraten til de organiske massene.

Ved en eventuell flytting av VA-grøften til utsiden av traseen (nærmere Vågen) på Torget, vil man kunne tilbakefylle med lav-permeable masser i både gammel og ny grøft slik at de ikke medvirker til verken drenering av grunnvann eller rask strømning av sjøvann inn og ut av grøfteområdet.

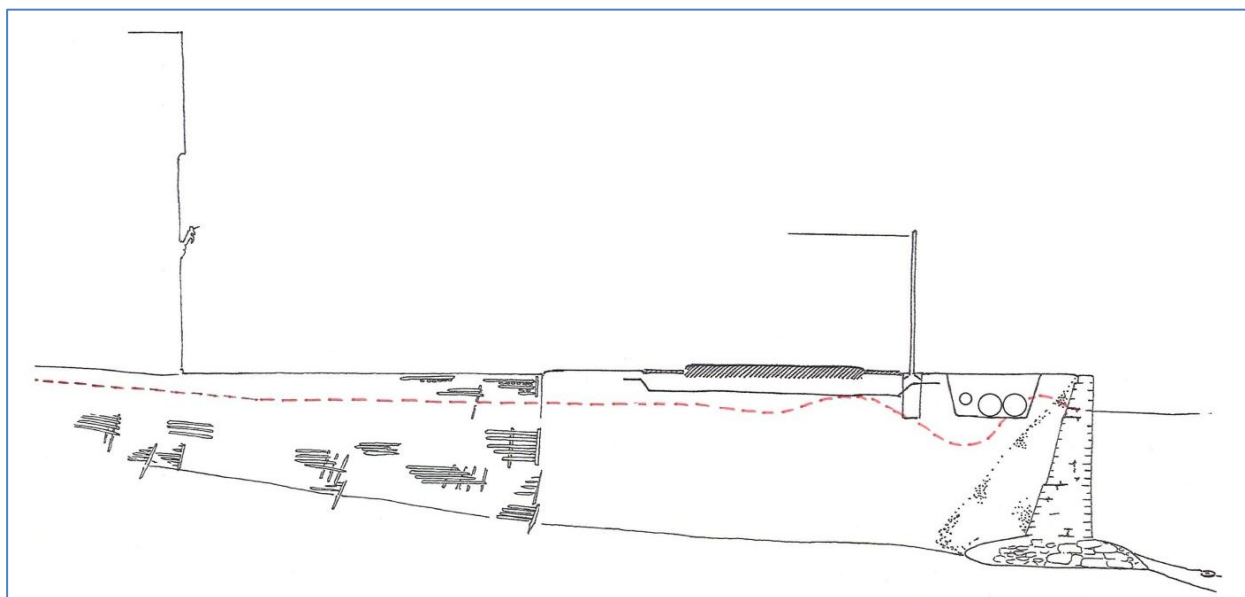


Figur 4 Prinsippkisse av grunnforhold ved Torget, illustrert med sykkelstie-bilbane-bilbane-sykkelstie. Dagens avløpskanal er flyttet ut mot Torget. Grunnvannsnivå er illustrert med rød stiplelinje. NB: som prinsippkisse er denne ikke basert på reelle grunnvannsmålinger.

B1: Torget-Bryggen-Sandbrogaten-tunnelinnslag i Fjellsiden

Banetrassé i dagen langs Bryggen vil ligge i dagens vegbane, og dermed på moderne fundamentert grunn. Dette vil ikke ha effekt på grunnvannet eller kulturlagene (se Figur 5), (Norconsult 2012: Kulturlag i middelalderbyen Bergen). Denne delen av traseen er dermed ansett som uproblematisk mht. grunnvann. Overvåking av grunnvannsnivå på Bryggen viser at den ytre delen av Bryggen mot Vågen er veldig påvirket av vannstand i Vågen. Det er en tydelig rask strømming av sjøvann inn under den moderne delen av Bryggen fra Vågen. Grunnvannsnivået i denne delen av traseen er dermed betinget og lik vannstanden i Vågen. Dette er pga. de moderne fyllmassenes gjennomstrømmingsevne, samt de enkle strømningsforhold i alle grøftene foran på Bryggen (se Figur 6).

Ved en eventuell flytting av VA-grøften på utsiden av traseen (nærmere Vågen) langs Bryggen, vil man kunne tilbakefylle med lav-permeable masser i både gammel og ny grøft slik at de ikke medvirker til verken drenering av grunnvann eller rask strømming av sjøvann inn og ut av grøfteområdet.



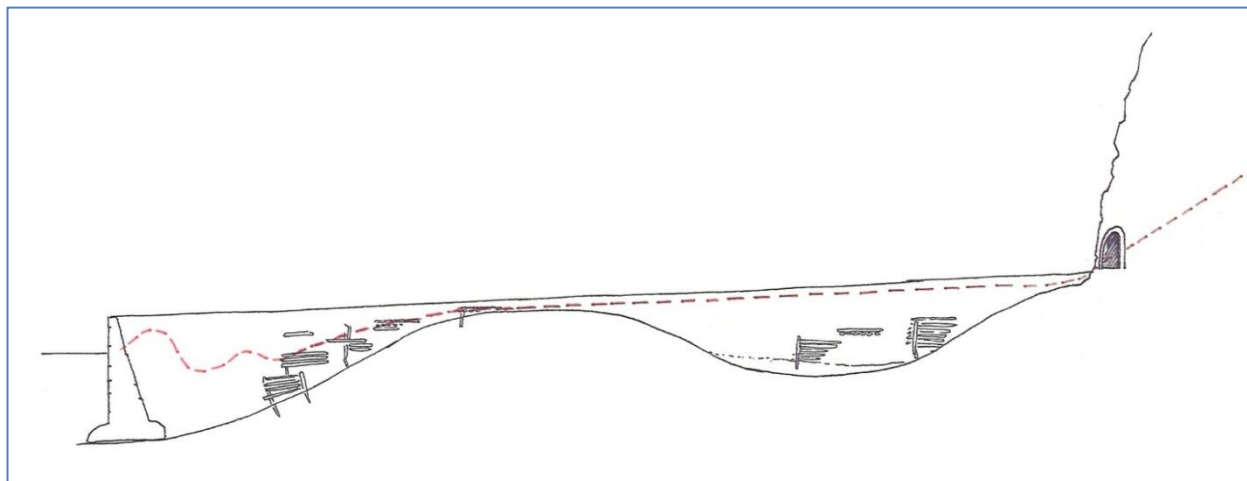
Figur 5 Prinsippkisse av grunnforhold langs Bryggen, illustrert med sykkelstie-bilbane-sykkelstie. Avløps- og vannrør er flyttet ut mot kaikanten. Grunnvannsnivå er illustrert med rød stiplelinje. NB: som prinsippkisse viser ikke skissen reelle grunnvannsmålinger.



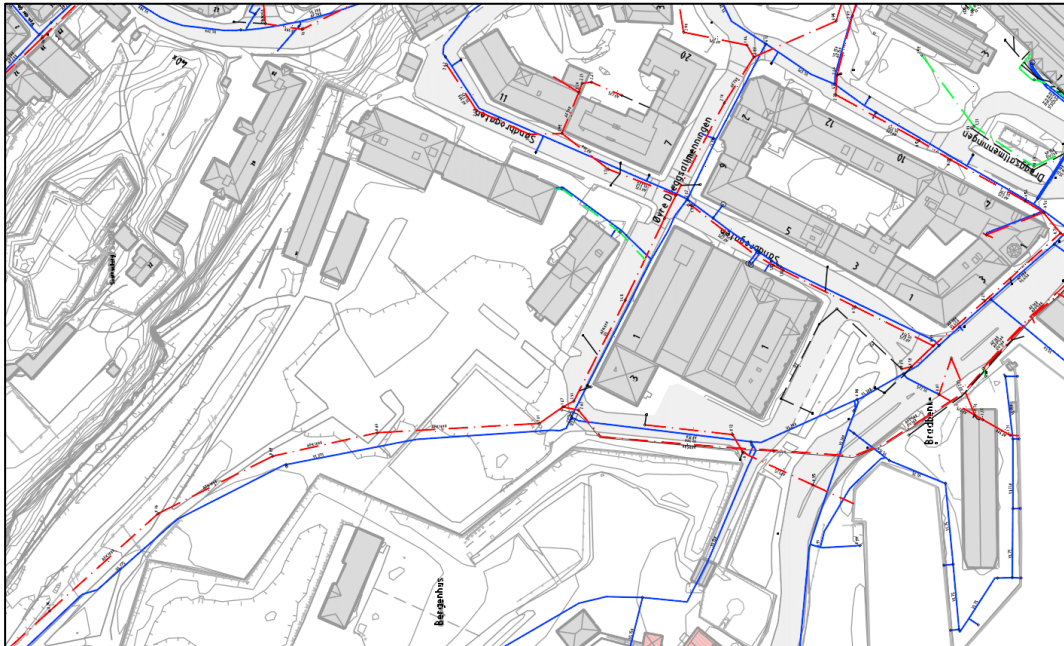
Figur 6. Ledningsanlegg foran Bryggen.

I Slottsgate er det en pumpestasjon for spillvann, med dype grøfter flere meter under gate- og havnivå. Bane i Slottsgate vil ikke drenerer ytterligere enn det som grøfteanlegget drenerer av grunnvann i dag. Denne delen av traseen er også ansett som uproblematisk mht. grunnvann.

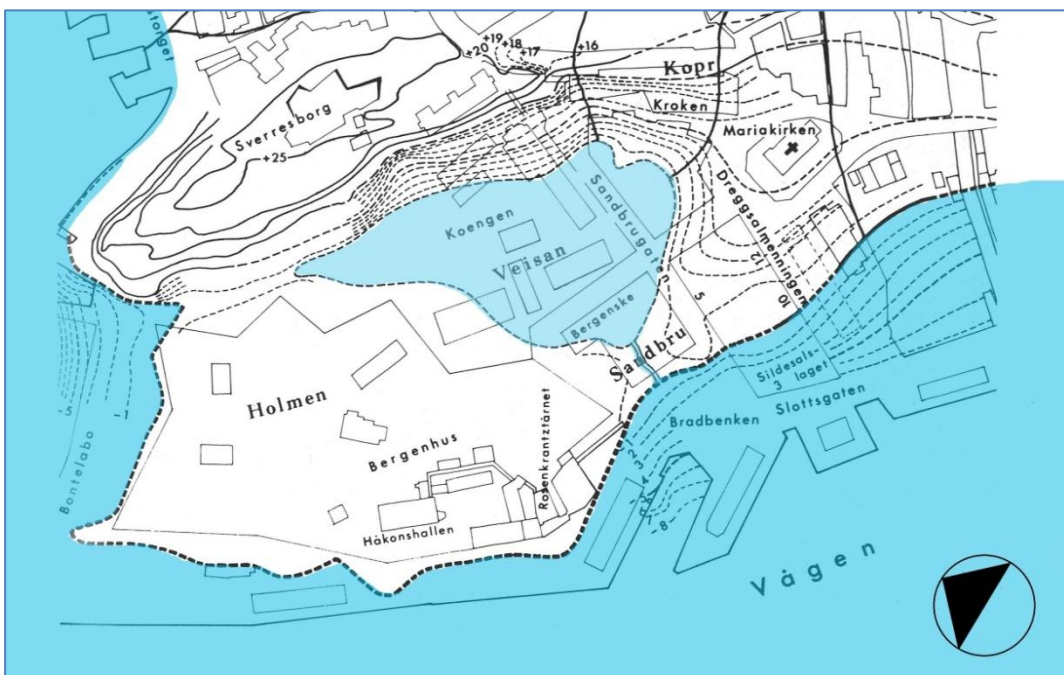
Langs Sandbrogaten vil det derimot være svært viktig å unngå drenering av grunnvann. Grunnvannsnivået er usikkert her, bl. a. pga. en mulig drenering av grunnvannet langs en kulvert for vannledning og spillvann som krysser Sandbrogaten langs Øvre Drengsallmenningen, og som fortsetter sørvest for Veisan (se Figur 8). Grunnvannsbarrierer på tvers av traséen kan hindre en senkning og drenering av grunnvannet, både i bane-traseen og eventuelle nye VA-grøfter.



Figur 7. Prinsippskisse av grunnforhold langs Sandbrogate. Traseen går over den østlige delen av Veisan. Det er usikkert om avrenning her går mot havnebassenget, eller mot nordvest. NB: Prinsippskissen viser ikke reelle grunnvannsmålinger.



Figur 8. Kulvert for vannledning og spillvann går i Øvre Drengsallmenningen og forbi Veisan, som en mulig dreneringsvei for grunnvann i Veisan.

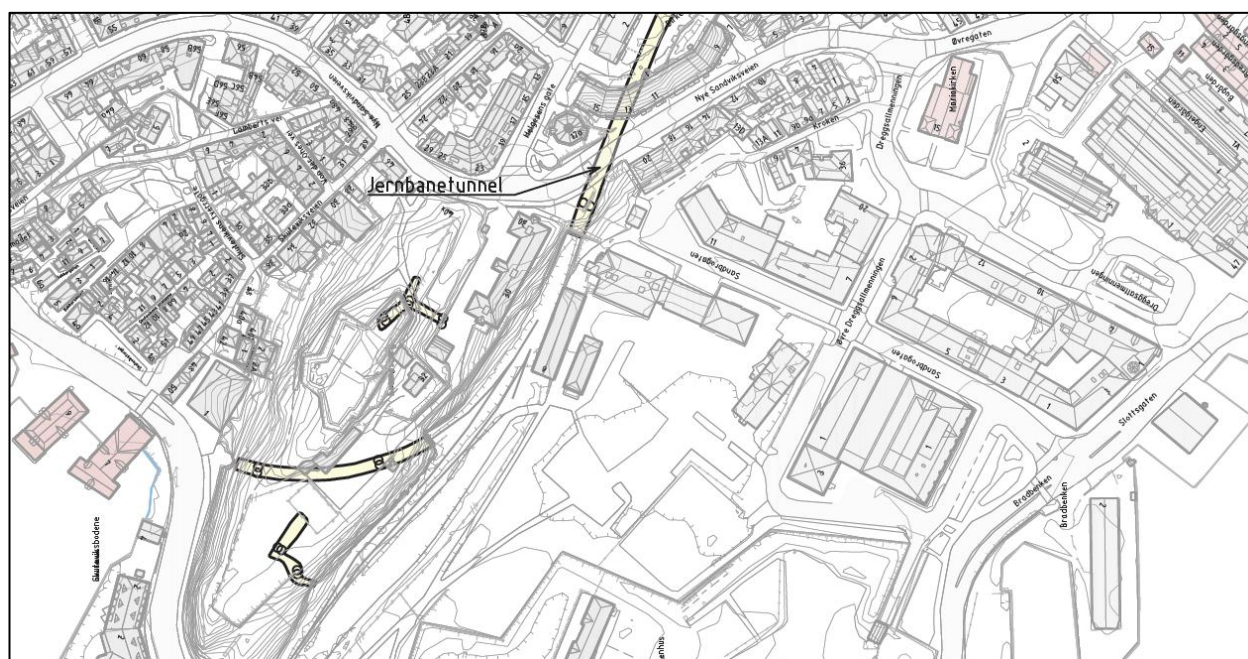


Figur 9. Antatt opprinnelig strandlinje etter Helle (1882). Kartet viser eksisterende bebyggelse og veier, men Veisans utbredelse er usikker.

Grunnvannet strømmer gjennom sprekker i berggrunnen, og ut i løsmassene ved foten av Fjellsiden, og videre til Veisan. Det vil være viktig å tette tunnelinnslaget slik at grunnvannet ikke senkes i berggrunnen, og dermed reduserer grunnvannsmating til løsmassene ved Sandbrogaten og til Veisan fra Fjellsiden. Det er viktig å opprettholde grunnvannsnivået i massene ved Veisan (se Figur 9). Ved overgangen til berggrunnen er det krevende å hindre drenering av grunnvann i løsmassene. Tetting av tunnelinnslag er mer krevende

enn tetting av tunnelen generelt. Ved å hindre drenering i løsmassene, og en nøyaktig tetting/injeksjon i berggrunnen, vil det kunne være mulig å oppnå ønsket tettekrav.

Jernbanetunnelen bak Koengen ligger lavere enn tunnelinnslaget for Bybanen (se Figur 10). Hydrogeologisk kartlegging av jernbanetunnelen viser en eksisterende drenering gjennom tunnelen (Multiconsult, 2008). Kartleggingen påviste også spor av uttørkede lekkasjer. Som nevnt i rapporten er det en generell erfaring at eldre tunnelanlegg ofte har reduserte lekkasjer pga. gjentetting av sprekker ved utfelling av mineraler og rust (jern). Selv om jernbanetunnelen har lekkasjer, er det tydelig at grunnvannsnivået i berggrunnen ligger høyere enn tunnelen. Bybanetraseen vil skjære gjennom dette grunnvannsnivået. Det vil være svært viktig å oppfylle strenge tettekrav til den nye tunnelen og innslaget, slik at det ikke grunnvannsnivået reduseres ytterligere. Dette omfatter også tiltak mot økte lekkasjer i jernbanetunnelen under sprengningsarbeid for bybane-tunnelen.



Figur 10. Orientering av jernbanetunnelen ved Sandbrogaten og Veisan.

A2: Vågsallmenningen – Torget

Alternativ A2 går fra Christies gate ned gjennom Øvre og Nedre Vågsallmenning til Torget. Gjennom Vågsallmenningen går alternativet nærmere Vågsbunnens sentrale deler, som karakteriseres av tykkere løsmasselag. Naturlig grunnvannstand har vært høy i dette området, men det påvises nå setninger pga. tidligere aktiviteter med drenering av grunnvann.

Det vil, i likhet med Alternativ A1, være behov for tiltak for å unngå drenering av grunnvann langs traseen, f. eks. grunnvannsbarrierer i traseen. Det bør også tas hensyn til effekt av økt belastning langs traseen i forbindelse med at det er påvist senket grunnvannsnivå i den senere tid. Dersom tiltak for å restaurere grunnvannsnivå i Vågsallmenningen ikke fører til heving av grunnvannet, kan ny trykkbelastning og vibrasjoner akselerere den pågående setningen i massene. Det er imidlertid mulig å fundamentere banetraseen slik at denne risikoen blir liten.

B2: Tunnelinnslag i Finnesgårdsgaten ved Kjøttbasaren med tunnel Sandviken

Dette alternativet er vurdert forholdsvis detaljert da hydrogeologi, sammen med teknisk gjennomførbarhet, grunnforhold, flom og konsekvenser for eldre og nyere tids kulturminner er vurdert som de mest kritiske tema for alternativet.

Grunnforhold

Grunnvannstand ved Finnesgården er overvåket i forbindelse med Riksantikvarens arbeid for bevaring av Bryggen. Overvåkningsbrønn nr. 35 står i Finnegårdsgaten, mellom husnr. 1a og 2a. Det ble registrert et grunnvannsspeil på kote +1,25m den 5. oktober 2012, dvs. 0,7m under terreng. Brønnen viser at over de siste 2 månedene er det en ganske jevn grunnvannstand. Grunnvannsbrønnen viser grunnvannsnivået i kulturlagene, siden brønnfilteret er plassert i de sammen lagene. Grunnvannsnivået ble også rapportert målt etter etablering av brønnen, og et par dager etter en grunnvannsprøvetaking. Dette nivået målt 29. november 2011 viser et lavere nivå, på Kote +0,79m (Multiconsult, 2011). Det kan hende at dette viser en variasjon i grunnvannsnivået i denne brønnen, men det kan også vise et påvirket nivå pga. prøvetaking av grunnvannet, og en sen tilbakefylling i brønnen fra forholdsvis tette masser.

En VA-kum i veikrysset Finnegårdsgaten og Rosenkrantzgaten indikerer et nivå på VA-ledninger/kum på kote +2,49m. Det er sannsynlig at grunnvannet er drenert ned til dette nivået på grunn av den drenerende effekten permeable grøtfeyllmasser har på grunnvannet. Terrengtet er på ca kote +4,7m ved veikrysset (Noteby, 1987), og grunnvannet er dermed drenert ned ca. 2,2m under terrengtet her.

Under området ved Øvre Blekerveien går jernbanetunnelen i berggrunnen. Denne ligger oppe i fjellsiden ovenfor Kjøttbasaren. Tunnelen er rapportert til å ha små lekkasjer i tunnelhengen (Multiconsult, 2008), som tyder på at grunnvannet i berggrunnen er høyere enn tunnelen, da det lekker inn i tunnelen. Det er 2 stk. energibrønner nære ved (ca. 30m) jernbanetunnelen lengre nord, ved Stølesmauet 1 og 4. Her er grunnvannsnivået rapportert henholdsvis ca. 0,5m og 5m under terreng, som ligger på ca kote +38m. Det vil si at grunnvannsnivået er på ca kote +33m og +37,5m. Det er også rapportert om tydelige lekkasjer i selve jernbanetunnelen i dette området (Multiconsult, 2008).

I bakgården til Nikolaikirkeallmenningen 2b, like på oversiden av Øvregaten, er det en referanse-overvåkingsbrønn, MB11, som benyttes av Riksantikvaren. Den viser et grunnvannsnivå er på ca. kote +12,5m, ca. 4,5m under terreng. Det har sannsynligvis vært et høyere grunnvannsnivå i dette området tidligere. Det som har ført til senkning av grunnvannstanden er flere faktorer slik som at naturlige bekker er lagt i bekkelukninger/rør og ført til Vågen, berganlegg har drenert lekkasjevann, grøtfeanlegg og annen infrastruktur har drenerte under terreng.

Vurdering av tunnelinnslag i Finnesgårdsgaten

En tunnelportal og påhugg mellom Kjøttbasaren og Finnegården vil medføre at bybaneanlegget må gå gjennom nyere og eldre kulturlag, et mer permeabelt finsandlag under disse, og deretter inn i berggrunnen. Grunnvannsnivået ligger i kulturlagene. Dette betyr at en mulig drenering vil påvirke kulturlagene. Ved en større lekkasje, vil den mer permeable finsanden føre til at influensområde for grunnvannsenkning kan bli stort og påvirke grunnvannet i en radius på flere hundre meter omkring anlegget.

For å unngå påvirkning av kulturlagene utenfor byggegropen (massene innenfor blir fjernet), vil det kreves strenge og fordyrende tiltak til, og muligens kontinuerlig overvåking og vedlikehold for å opprettholde påkrevd grunnvannsnivå. Eksempler på mulige tiltak som kunne være aktuelle er bl. a. etablering av tettevegg ned til og ned i berggrunnen. Selve veggen må være tett, og dette vil kreve spesielle utforming av staghull slik at de ikke drenerer. Boring i berggrunnen og tetting i dagfjellsonen er fordyrende, og vil kreve sannsynligvis litt større maskiner for å gjennomføre arbeide, som er både tid- og kostnadskrevende. Berggrunnen innenfor tetteveggen bør også tettes ved sementinjisering, slik at grunnvannet ikke dreneres via sprekker i bunnen av byggegropen. Det er en viss sannsynlighet at byggegropen fremdeles drenerer noe grunnvann, og da er det mulig å etablere en infiltrasjonsgrøft omkring byggegropen med høyde-terskler, slik

at grunnvannet kan opprettholdes utenfor byggegropen ved hjelp av infiltrasjon av vann fra grøften. Alle typer av infiltrasjon krever ettersyn og vedlikehold, og er en uønsket situasjon. Det er viktig at vannet som infiltreres ikke har for høy oksygeninnhold, og har en lav strømningshastighet.

I utgangspunktet er tiltakene mulige med ønsket resultat, men til en merkbar høyere kostnad enn ved andre anlegg. Sammenlignet med en tunnelportal som har et tettekrav som ikke er strengere enn ca. 10 l/min/100m, vil denne portalen være flere ganger dyrere.

Variant med tunnelinnslag i Vetruidsallmenningen

Tunnelportal og påhugget i Vetruidsallmenningen gir sannsynligvis bedre plass til anleggsarbeidet, og dermed bedre mulighet for å kunne oppnå ønsket kvalitet på anlegget. Vetruidsallmenningen var for om lag 850 – 1000 år siden et bekkeleie (Multiconsult, 2011). På grunn av de mer permeable bekkeavsetningene som ligger under kan det være mer grunnvann i Vetruidsallmenningen. Dette kan føre til behov for større tiltak for å håndtere en større grunnvannsføring i dette området.

Sammenligning av tunnelinnslag i Finnesgårdsgaten og i Vetruidsallmenningen

Et tunnelpåhugg ved Kjøttbasaren, enten det er i Finnegårdsgaten eller i Vetruidsallmenningen, vil kreve ekstra tiltak for å begrense grunnvannslekkasjer og for å bevare kulturlag i nærheten av anlegget. I tillegg vil det sannsynligvis kreves kontinuerlige tiltak (f. eks. grunnvannsmating) for å opprettholde grunnvannsnivået omkring anlegget.

I forhold til hydrogeologien ansees et tunnelpåhugg i Vetruidsallmenningen som en bedre plassering sammenlignet med Finnegårdsgaten, fordi det sannsynligvis er større naturlig tilførsel av grunnvann til området som vil kunne være med på å dekke opp om eventuelle lekkasjer i anlegget. Dersom man velger å se nærmere på et påhugg i Vetruidsallmenningen, bør det etableres en eller flere grunnvannsbrønner i nærheten for å avdekke de faktiske grunnvannsforholdene i denne gaten.

Alternativ B2 er anbefalt silt ut på grunn av konflikt med flere tema, og vurderes ikke videre.

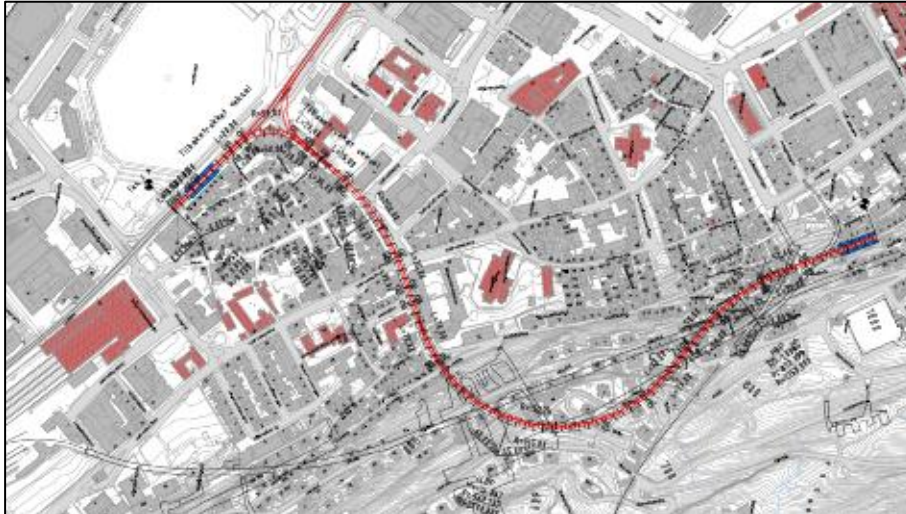
A3 – B3: Alternativ med trase ut til Nordnes og kryssing av Vågen

Alternativet som går ut på Nordnes og krysser Vågen er anbefalt silt ut på grunn av store konflikter med kulturminner, eller høy kostnad og dårlig dekningsgrad. Alternativet vurderes ikke videre mht. hydrogeologi.

A4 – B4: Tunneler under sentrum

Tunnelinnslag i Peter Motzfeldtsgate

Denne traseen går gjennom en del kulturlag og mer permeable naturlige avsetninger som kan være vanskelig å tette. Det er fare for både lekkasjer og eventuelle nye og raskere strømningsveier for grunnvannet ved etablering av en ny kulvert for Bybanen. Kulverten vil gå inn i en skråning der grunnvannsnivået sannsynligvis er høyere enn ved Kaigaten. Tiltak bør vurderes for å hindre økt strømning langs traseen fra høyere til lavere liggende terreng.

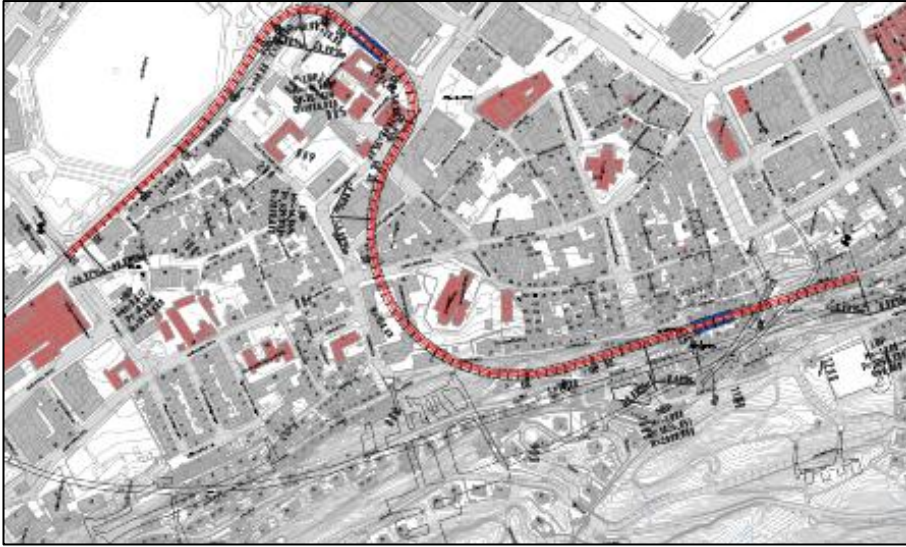


Figur 11. Tunnelinnslag i Peter Motzfeldtsgate.

Det vil være viktig å opprettholde grunnvannsnivået i området ved Lille Lungegårdsvannet og Vågsbunnen for å bevare fuktigheten i kulturlagene, samt hindre økte grunnvannsgradienter. En økt gradient vil medføre en raskere grunnvannstrømning, og sannsynligvis et økt oksygeninnhold i grunnvannet.

Tunnelpåslaget ligger under et berggrunns-trau som er fylt delvis med kulturlag. Tunnelen vil bli det laveste berganlegg i området, og vil dermed kunne definere et nytt lavere-liggende lekkasjenivå i nærheten av kulturlag. Ved et nytt og lavere liggende berganlegg, vil denne tunnelen kunne senke grunnvannet lavere enn tidligere dersom den ikke er tettet tilstrekkelig.

Tunnelinnslag i Kaigaten nord for Strømgaten, holdeplass under bakken i Christiesgate



Figur 12. Tunnelinnslag i Kaigaten.

Kulverten i denne traseen starter i Kaigaten like nord for krysset med Strømgaten. Traseen dykker ned i et område med liten endring i terrengnivå, slik at grunnvannsgradienten i området er liten, men med et høyt grunnvannsnivå. Selve kulverten i dette området med flatt terreng vil ikke medføre drenering av grunnvann fra et område til et annet, men kan fremdeles drenere lokalt dersom den ikke er tettet. Ved en innlekkasje, så vil det dreneres fra oppstrøms retning, dvs. fra nord, inntil grunnvannsnivået har sunket så pass at vann fra Lille Lundegårdsvannet også trekkes inn i kulverten. En slik drenering vil, imidlertid, kreve en forholdsvis stor lekkasje.

Ved å gå inn i berg etter ca. 150-200 m er positivt mht. fare for forstyrrelse av grunnvannsnivået, men det er viktig at også påhugget og tunnelen tettes til et strengt nivå ($< 4\text{l/min}/100\text{m tunnel}$) for å hindre grunnvannssenkning og inntrengning av mer oksygenrikt vann. Dette kan være vanskelig dersom bergoverdekning er liten.

Også denne traseen blir det laveste berganlegg i området, slik at en drenering pga dette anlegget kan medføre ytterligere konsekvenser for en mulig grunnvannssenkning enn av de anlegg som allerede er etablert. Konsekvensene vil være et resultat av summen av den totale grunnvannsdreneringen fra alle anlegg i området.

Tunnelinnslag i Kaigaten sør for Vincent Lungesgate, holdeplass under bakken i Christiesgate

For alternativet med holdeplass under Christies gate som beskrevet over, er det mulig å trekke tunnelinnslaget lenger sør i Kaigaten. I området der dette tunnelinnslaget vil ligge, er terrenget forholdsvis flatt. Det betyr lave grunnvannsgradienter, men et høyt grunnvannsnivå under terreng. Kulverten og tunnelpåhugget ligger innenfor området for automatisk fredet bygrunn og svært nært Nonneseter kloster med påviste fredete kulturlag. Det gir en risiko for ødelegging av kulturminner fra middelalder og det må sees nærmere på om det er mulig å sikre de fredete kulturlagene.

3 FORELØPIGE ANBEFALINGER

3.1 Tettekrav for tunnelanlegg

Tunnelalternativene B2 i Finnegårdsgaten og A4-B4 under sentrum er orientert oppstrøms Middelalderbyen (området for automatisk fredet bygrunn), og anlagt dypere enn alle eksisterende fjellanlegg i områdene rundt. Begge disse faktorene tilsier at tunellene har potensiale til å drenere grunnvann fra kulturlag. De eksisterende fjellanleggene drenerer grunnvann allerede.

Det anbefales derfor at fremtidige fjellanlegg tilfredsstillende et svært strengt tettekrav på < 4 l/min/100m tunnel. Med en lekkasjerate på < 4 l/min/100m, så er tilstrømning av nedbørsinfiltrasjon og grunnvannstrømningen til tunellområdet så pass stort at denne lekkasjen ikke har en effekt av betydning til omgivelsene. Dette vil kreve systematisk forinjeksjon under driving av tunnelen. Et så strengt krav kan være vanskelig tilfredsstillende i strekninger med lite overdekning og der traseen passerer andre anlegg på kort avstand. Det kan være behov for full utstøping i deler av tunnelene der tettekrav ikke er oppnåelig ved systematisk forinjeksjon. Med full utstøping av tunnelen blir tunnelen helt tett. For å sikre at tettekrav opprettholdes, kan lekkasjerate måles i korte intervaller, med krav om full utstøping for de partiene hvor lekkasje eventuelt skulle vise seg å bli et problem.

Tettekrav til tunnelinnslaget og selve tunnelen for alternativ B1, med tunnelinnslag i enden av Sandbrogaten anbefales å være like strengt som for en tunnel med innslag i Finnegårdsgaten (B2) og en tunnel med innslag i Kaigaten eller Peter Motzfeldts gate (A4-B4). For alternativ B1 må en ta i betraktning bevaringsbehovet for massene ved Sandbrogaten, med fokus på Veisan.

3.2 Overvåking av grunnvannsnivå i løsmasser

I dagsonene, særlig i Vågsbunnen og i Sandbrogaten, anbefales overvåking av den valgte traseen med brønner, før, under og etter anleggsperioden, for å sikre at grunnvannsnivået ikke senkes av anlegget. Grunnvannsbarrierer, tetting av tunnelinnslag i løsmasser og eventuelt infiltrasjonsgrøfter er tiltak som må vurderes i den valgte traseen.

Bergen, 2012-12-07

Kevin Tuttle og Geir Westerlund
Norconsult AS

Kilder:

Bergen kommune, Statens vegvesen, Hordaland fylkeskommune: *Bybanen Bergen sentrum – Åsane. Planprogram* (revidert 04.05.2012)

Dunlop, R. A 2004: *Parkeringsanlegg sentrum øst, Bergen. Vurdering av mulige konsekvenser for kulturminner*. NIKU Arkivrapport 1–2004.

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

Multiconsult 2011: *Bryggen i Bergen, Fronten Søndre Finnegården, Grunnundersøkelser og setningsmålinger, Vurdering av omfundamentering*. 15. februar 2011, Rapp.nr. 610498-1-2, Oppdragsgiver: Riksantikvaren.

Multiconsult 2010: *Bybanen. Bergen sentrum – Åsane. Traséutvikling – silingsrapport*. Oppdragsgiver: Bergen kommune

Multiconsult 2008: *Fløygarasjen, Reguleringsplan, Hydrogeologisk kartlegging*. 29. april 2008, Rapp.nr. 611859-1, Oppdragsgiver: Bioforsk Jord og Miljø.

Norconsult 2012: *Kulturlag i middelalderbyen Bergen – Bybanetrasé Bergen sentrum – Åsane*. Bergen kommune.

Noteby, 1987: *Utbygging Finnegården-Kjøttbasaren, Grunnundersøkelser, Datarapport*. 23. mars 1987, Rapp.nr. 36128-1, Oppdragsgiver: Institutt for byfornyng AS.

Riksantikvaren/NIKU 2008: *The Monitoring Manual. Procedures & Guidelines for the Monitoring, Recording and Preservation/Management of Urban Archaeological Deposits*. Oslo.