

Dato: 2022-03-29

Dette dokumentet er et internt notat som skal gi grunnlag for videre faglige vurderinger og anbefalinger. Notatet er en del av arbeidet med reguleringsplanene for Bybanen fra sentrum til Åsane. Reguleringsplanarbeidet er i en pågående prosess, og notatet gir et bilde av løsninger og vurderinger på det gitte tidspunkt. Både utarbeiding av løsninger og vurderinger av disse er en del av en arbeidsprosess der løsningene kan bli endret underveis, og notatene vil ikke nødvendigvis oppdateres. Planprosessen blir dokumentert i planbeskrivelsen, der løsninger og faglige vurderinger blir presentert. Reguleringsplan med teknisk forprosjekt skal legges ut på offentlig ettersyn før den vedtas politisk.

DS1 – Kryssing av jernbanetunnel til Koengen – Vurderinger og konsekvenser

Sammendrag

Notatet har som målsetting å sjekke ut muligheten for å få til en planskilt kryssing mellom jernbanesporet i Skansentunnelen og Bybanesporet i kryssende spor i tunnel inn fra Sandbrogaten.

Etter kryssing av jernbanetunnelen er bybanetunnelen lagt med maksimalt fall innover i tunnelen. Omtrent 50 meter innenfor tunnelpåhugget ved Nye Sandviksveien er det kartlagt et søkk i bergoverflaten. Med minimum høybrekkskurve og maksimalt fall oppnår en ikke mer enn ca. 5 meter bergoverdekning på det minste for anbefalt linjeføring for Bybanen. Liten overdekning fortsetter et par hunder meter inn fra Sandbrogaten. Tett bebyggelse og vanskelig tilkomst for å kunne utføre nødvendig omfang av grunnundersøkelser, gjør at usikkerheten knyttet til bergnivå under bebyggelsen er stor, og det er usikkert om det dypeste punktet i bergoverflaten er funnet. Ingeniørgeologiske vurderinger tilsier derfor at det ikke vil være forsvarlig å løfte tunnelen høyere enn anbefalt trase i reguleringsplanforslaget.

Ved å redusere tunnelprofilen for Bybanen basert på minimumshøyde for kontaktledning, kan sporet heves noe uten at tunnelhengen heves tilsvarende. Dersom en samtidig senker ned jernbanesporet med 1,15 m, ned til kote 0,7 over en strekning på minimum 225 meter, vil det være fysisk mulig å kunne opprettholde et jernbanespor uten elektrifisering under Bybanesporet ut mot Koengen.

Løsningen fjerner muligheten for å ha dette som sikkerhetsmargin dersom grunnforholdene i senere planfase eller ved utbygging skulle vise seg enda mer krevende enn det vi vet i dag.

Senkning av jernbanesporet, med nødvendig pumpesykk, kan gi utfordringer i forhold til grunnvannstilførsel til Sandbrogaten, spesielt dersom en ikke klarer å få tettet fjellet. En eventuell grunnvannssenkning vil være svært negativt for kulturlag i Sandbrogaten og på Koengen. Senkning av jernbanesporet vil også påvirke terreng innenfor området for Forsvarets Landsverneplan og fredningen av Bergenus.

01D	Fagnotat	2022-03-29	Klive/HaK/IOV	OMN/EH/HW	AK	IOV
Versjon	Beskrivelse	Dato	Utarb. av	Fagkontroll	Tverf.kontr.	Godkj. av

Dette dokumentet er utarbeidet av rådgiver som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører rådgiver. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Innhold

1	INNLEDNING	3
1.1	Bakgrunn og hensikt	3
1.2	Dagens jernbanetunnel.....	3
1.3	Vernet bygrunn	4
2	ANBEFALT LØSNING TIL REGULERINGSPLAN.....	6
2.1	Kulturminner og hydrogeologi.....	6
2.2	Bergtekniske forhold	8
2.2.1	<i>Grunnforhold</i>	<i>8</i>
2.2.2	<i>Ingeniørgeologiske vurderinger</i>	<i>11</i>
2.3	Spor.....	12
2.4	Konsekvenser for jernbanetunnelen	13
3	ALTERNATIVE LØSNINGER	15
3.1	Alt. 1: Heve bybanetunnelen over en elektrifisert jernbanetunnel	15
3.1.1	<i>Beskrivelse av løsning</i>	<i>15</i>
3.1.2	<i>Konsekvens av løsning</i>	<i>15</i>
3.2	Alt. 2: Senke jernbanesporet, men fortsatt opprettholde mulighet for elektrifisering	16
3.2.1	<i>Beskrivelse av løsning</i>	<i>16</i>
3.2.2	<i>Konsekvens av løsning</i>	<i>17</i>
3.3	Alt. 3: Senke dagens jernbanetunnel uten elektrifisering.....	18
3.3.1	<i>Beskrivelse av løsning</i>	<i>18</i>
3.3.2	<i>Konsekvens av løsning</i>	<i>19</i>
3.4	Alt. 4: Redusere høyde i bybanetunnelen og senke jernbanen tilstrekkelig	19
3.4.1	<i>Beskrivelse av løsning</i>	<i>19</i>
3.4.2	<i>Konsekvens av løsning</i>	<i>20</i>
4	OPPSUMMERING / KONKLUSJON	23

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og hensikt

Bybanen fra sentrum til Åsane er gjennom flere behandlinger og vedtak i byrådet og bystyret besluttet å gå gjennom sentrum via Bryggen og Sandbrogaten før den fremføres i tunnel under Skuteviken og Sandviken til Amalie Skrams vei. I vedtatt konsekvensutredning (KU) fra 2013 passerer bybanetraseen gjennom eksisterende jernbanetunnel til Koengen (havnespor nord). Den gang ble dette akseptert av jernbaneløst.

I anbefalt løsning til reguleringsplan vil det ikke være nok høyde til at tog kan fremføres forbi krysningspunktet med bybanen. I arbeidet med teknisk forprosjekt for reguleringsplan er det utredet flere tiltak som har til hensikt å gi størst mulig fri høyde i jernbanetunnelen i krysningspunktet med bybanen, og om mulig finne en løsning som gir mulighet for å passere med tog ut til Koengen. I dette notatet beskrives bakgrunnen for anbefalt løsning til reguleringsplan, og hvilke alternative løsninger og tiltak som har vært vurdert.

1.2 Dagens jernbanetunnel

Jernbanetunnelen benyttes i dag til hensetting av tog. Dagens spor ender noenlunde der Bybanesporret er tenkt å krysse over. Tverrsnittet i tunnelen er ca. 5,9-6,1 meter høyt i senter. Sporet er i dag ikke elektrifisert, og profilet i tunnelen har ikke plass til KL. I portalen ut mot Koengenområdet er det en gitterport med adkomst til tunnelen. Sporene ligger i dag delvis nedgravd på området utenfor tunnelen.

Vurderingene tar utgangspunkt i at det som minimum må opprettholdes en rømningsvei samt naturlig ventilasjon fra jernbanetunnelen i østre ende ved Koengen. Vurderinger i notatet tar ikke stilling til en mulig fremtidig bruk av Koengenområdet til jernbaneformål, men det har vært et mål å forsøke å finne en løsning som gir mulighet for tilgang med tog ut av tunnelen til Koengen.

BaneNor har et sterkt ønske om å kunne ivareta muligheten for togbetjening ut i dagen på Koengen og videre tilgang til sjø. Primært ønskes også mulighet for senere elektrifisering av jernbanesporret. I de vurderinger som er gjort er derfor også mulighet for elektrifisering vurdert.

Teknisk regelverk for bybanen og Bane NOR er lagt til grunn.



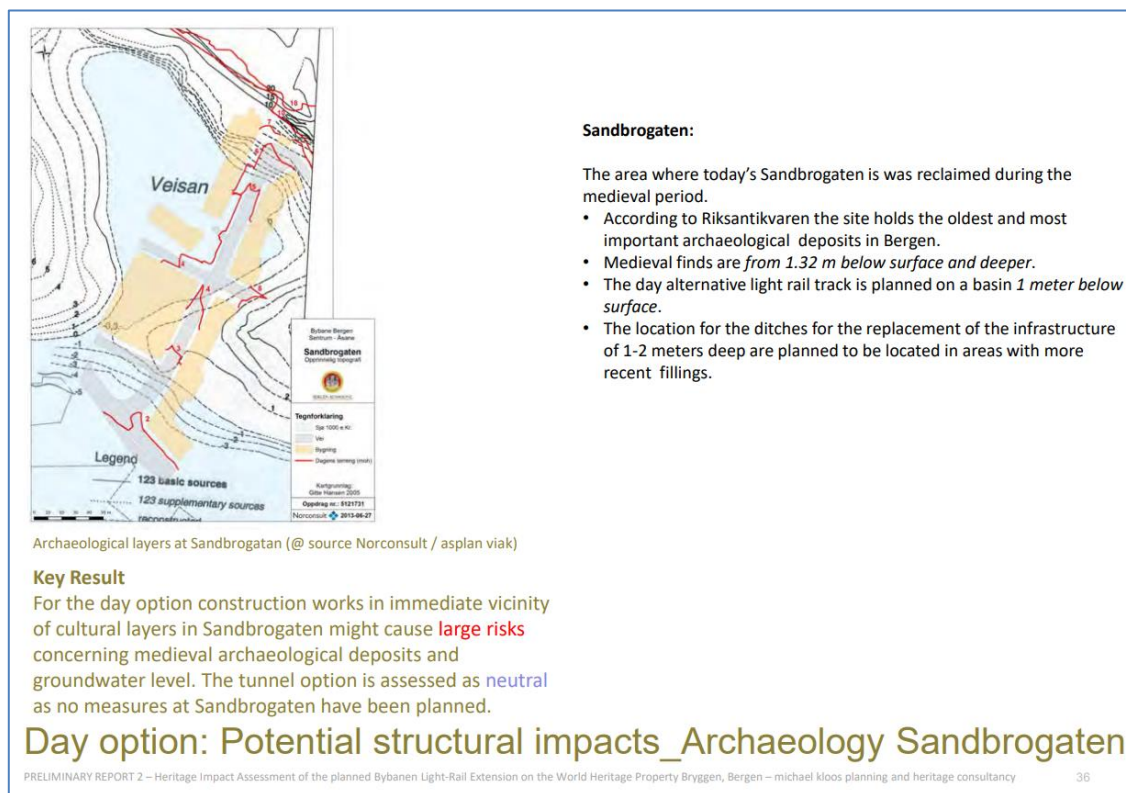
Figur 1-1: Portal med port sett fra Koengen (venstre) og første del av portal sett fra tunnelåpning (høyre)

1.3 Vernet bygrunn

Bygrunnen i Bergen er automatisk fredet som middelalderisk bygrunn. I nord strekker dette seg til Bakkegaten over tunneltrasé, og omfatter også Nye Sandviksvei og området vest for denne, like forbi Skuteviken. Kulturlag i grunnen i Sandbrogaten er automatisk fredet og vurdert som svært verdifulle. Hensynet til kulturlagene i gaten og grunnvannssituasjonen i Koengenområdet er en sentral premisse for bybanetraseen gjennom sentrum. I sin merknad til oppstartsvarselet av reguleringsplanarbeid for Bybanen fra Sentrum til Åsane, skriver Riksantikvaren at «I Sandbrogaten ligg dei eldste og viktigaste kulturlaga i Bergen».

I KU, tilleggsutredning 7, er det beskrevet at «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».

For å unngå å berøre kulturlagene må Bybanen i stor grad følge eksisterende terreng i Sandbrogaten. En senket Bybanetrase vil medføre oppgraving av kulturlagene, og en heving vil gi økt belastning på de underliggende kulturlagene.



Figur 1-2: Vurdering fra KUVA-utredningen

2 Anbefalt løsning til reguleringsplan

2.1 Kulturminner og hydrogeologi

Sandbrogaten krysser over en tidligere brakkvannslagune som ble fylt igjen i løpet av middelalderen. Dette tidligere bassenget utgjør dermed et paleobotanisk reservoar. Analyser av fossile pollen og botaniske spor i grunnen belyser vegetasjonshistorie, og dermed bruk av området, før Bergen ble by. I nedre del av Sandbrogaten kan det også være arkeologiske spor fra byens aller tidligste faser.

Kulturlagene i Sandbrogaten er automatisk fredet og vurdert som svært verdifulle. Dette ble belyst i KU 2013, og Sandbrogaten vil være sentral i kulturminneforvaltningens behandling av bybanesaken. Kunnskap om kulturlagene er nå supplert gjennom arkeologiske observasjoner ved ulike prøveboringer og nedsetting av piezometere i området.

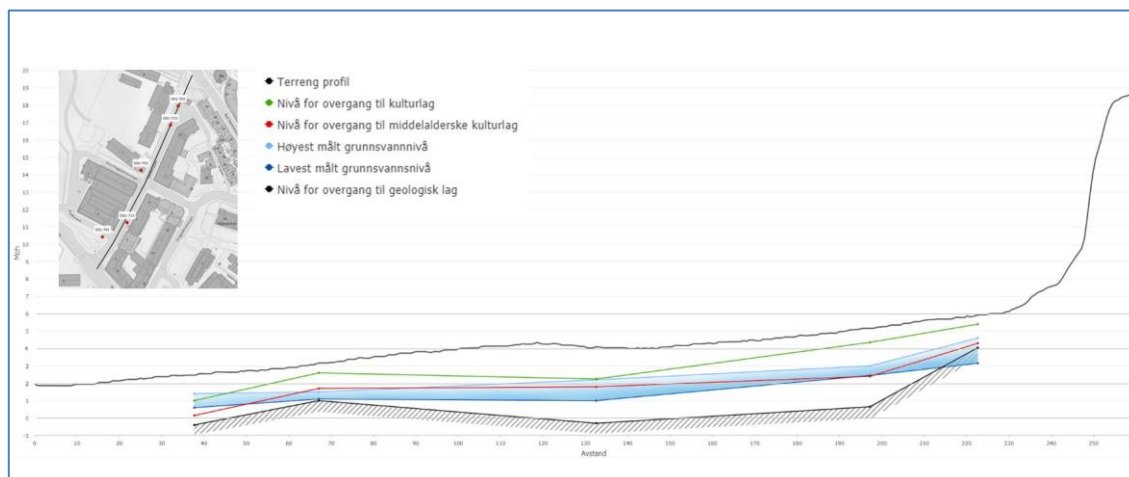
De automatisk fredede (middelalderske) kulturlagene ligger etter det vi nå vet generelt om lag to meter under bakken i øvre del av Sandbrogaten. Noen steder kan de ligge grunnere, om lag 1,5 meter opp mot fjellfoten, men her er kulturlagene tynne. Over disse lagene ligger etterreformatoriske kulturlag, som også har historisk verdi i seg selv, og fungerer som en beskyttelse for underliggende lag. Grunnvannsundersøkelsene i Sandbrogaten har vist at grunnvannet fluktuerer rundt overgangen til de middelalderske lagene. Øvre deler av de middelalderske lagene og lagene over har dermed vært utsatt for oksygen og nedbryting, og er i dag i en dårlig tilstand. Dagens grunnvannsnivå skyldes trolig omliggende bygninger og infrastruktur i grunnen. Kulturlagene er sårbare, og må ikke utsettes for mer påvirkning enn nødvendig.

Øverst i Sandbrogaten viser poretrykksmåler DS1-703 et poretrykk mellom kote +2,8 til +4,5 (Figur 2-1). Tre grunnvannsbrønner i berg viser at grunnvannstanden er på ca. kote +8,7 ca. 10-15 meter nord for eksisterende jernbanetunnel (P1) og at grunnvannstanden stiger raskt nordover til ca. kote +21,8 ved Sverresborg/Nye Sandviksvei (P3) og ca. kote +24,5 ved Baglergaten (P2). Grunnvannet står dermed over planlagt bybanetunnel og eksisterende jernbanetunnel som medfører potensiale for innlekkasje. Innlekkasje av grunnvann til tunneler vil kunne føre til mindre tilførsel av grunnvann til kulturlag nedstrøms (Sandbrogaten) og lavere grunnvannstand. Konsekvensen av lavere grunnvannstand er økt forvitring av kulturlag pga. mer oksygen, men også potensiale for setninger på eventuelle direktefundamenterte bygninger over eller nær tunnelen. Dette er årsaken til at det er satt et strengt innlekkasjekrav til denne delen av Bybanetunnelen på 3 l/min per 100 meter tunnel.



Figur 2-1: Bergbrønner med grunnvannstand (målt i desember 2021) og målt poretrykk i Sandbrogaten (mars 2021).

Det er også andre viktige kulturminnehensyn å ta, utover kulturlagene i Sandbrogaten og Koengenområdet. Bergenhus festning med Sverresborg er fredet, og underlagt svært strenge vernebestemmelser. Festningsområdet inngår også i forvarets landsverneplan. Verneplanområdet er noe større enn det fredede området, og planavgrensning for bybanen strekker seg inn i begge disse områdene. Kroken, det eldre bygningsmiljøet like øst for nordenden av Sandbrogaten, er vurdert som et svært verdifullt kulturmiljø. Det er også flere bygninger av kulturhistorisk verdi langs Sandbrogaten. For kulturminnene er det altså viktig å vurdere bybaneanleggets utforming også på bakkeplan.



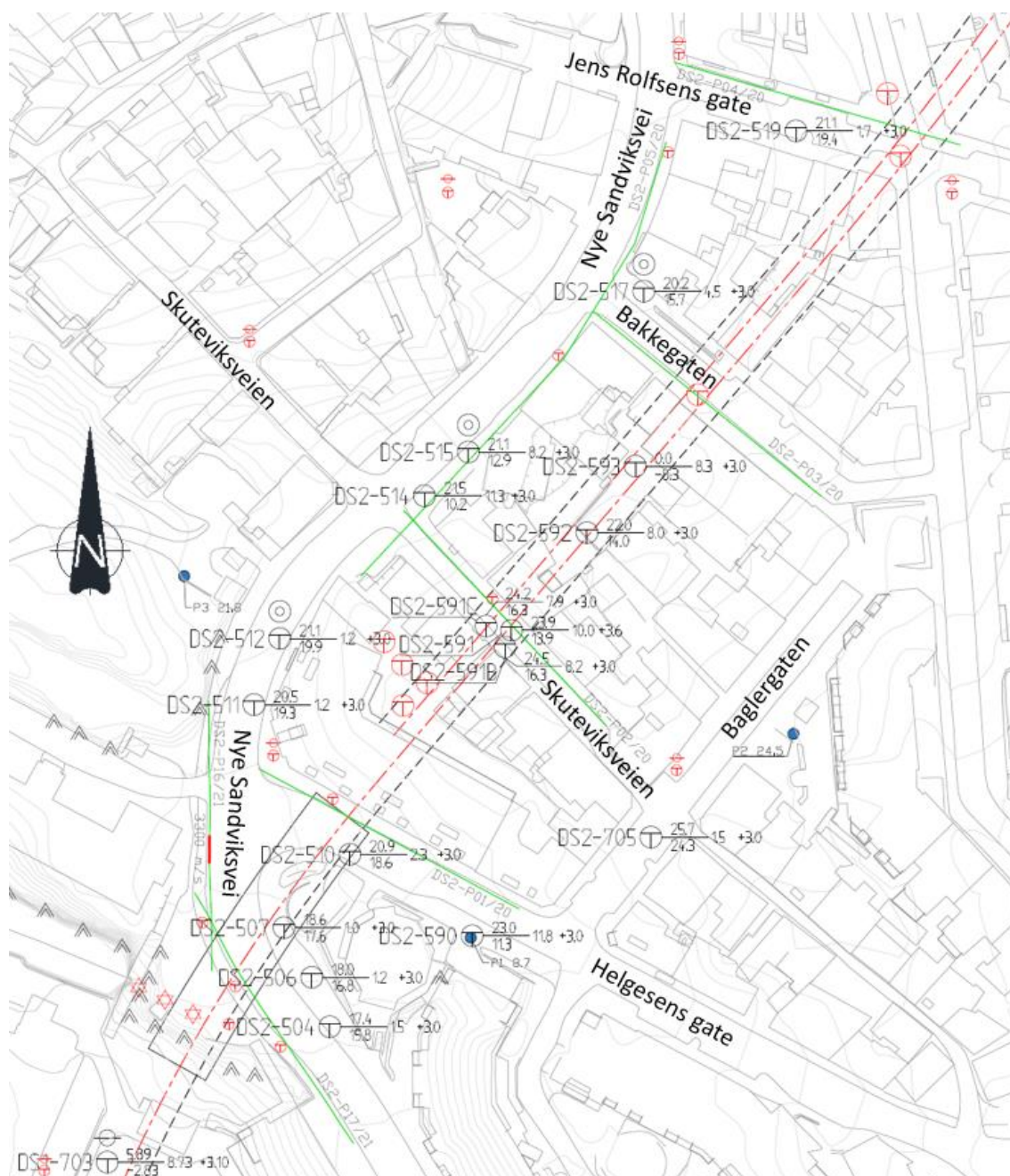
Figur 2-2: Grunnvannsnivå i Sandbrogaten, basert på 5 piezometere langs gaten. Det blå feltet viser svingninger i grunnvannsnivå, sonen under er permanent under grunnvannsnivå.

2.2 Bergtekniske forhold

2.2.1 Grunnforhold

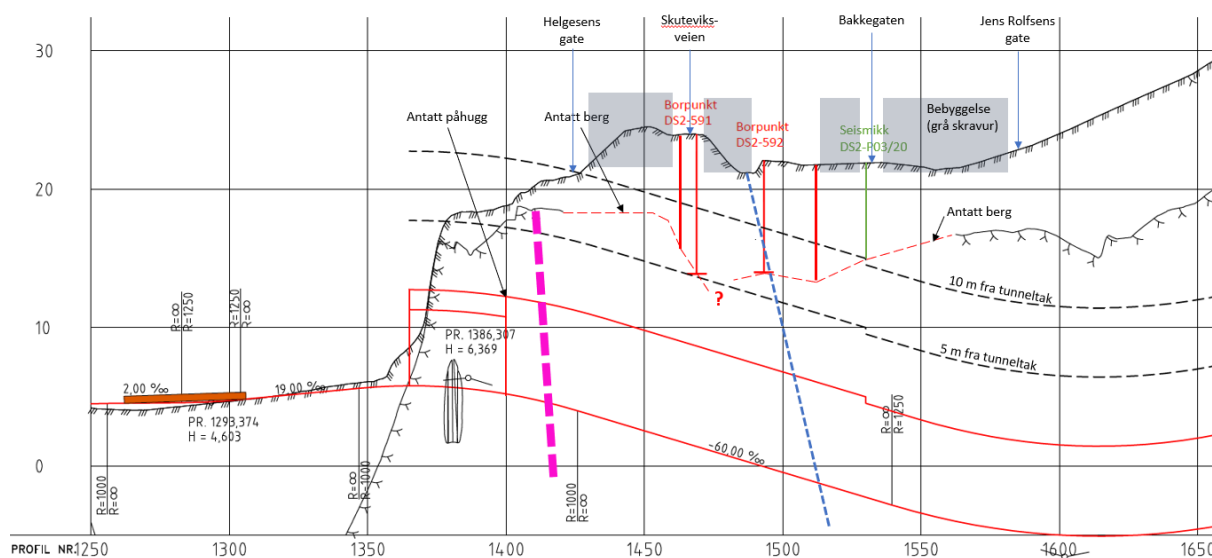
Første del av tunneltraseen mellom Sandbrogaten og Jens Rolfsens gate (ca. profil 1400 – 1600) går i et tett bebygget område med liten bergoverdekning (< 10 meter). Det er til nå utført et begrenset omfang av forundersøkelser, da konflikt med kabler og andre eksisterende anlegg i grunnen, tett bebyggelse og fysisk umulig tilkomst for borerigg inne i bygårder, vanskeliggjør arbeidet. Det er derfor stor usikkerhet knyttet til faktisk bergnivå og bergmassekvalitet på deler av strekningen.

Figur 2-3 viser en sammenstilling av alle grunnundersøkelser utført for bybaneprojektet i området Sandbrogaten – Jens Rolfsens gate. Det er utført geotekniske boringer (totalsondering, fjellkontrollboring, prøveserier) og refraksjonsseismiske undersøkelser. I tillegg er det planlagt et kjernebor hull som vil gi supplerende informasjon om berg- og grunnvannsforhold langs den første delen av tunnelen mellom bergpåhugget og Skuteviksveien. Kjerneboringen er planlagt utført sommeren 2022.

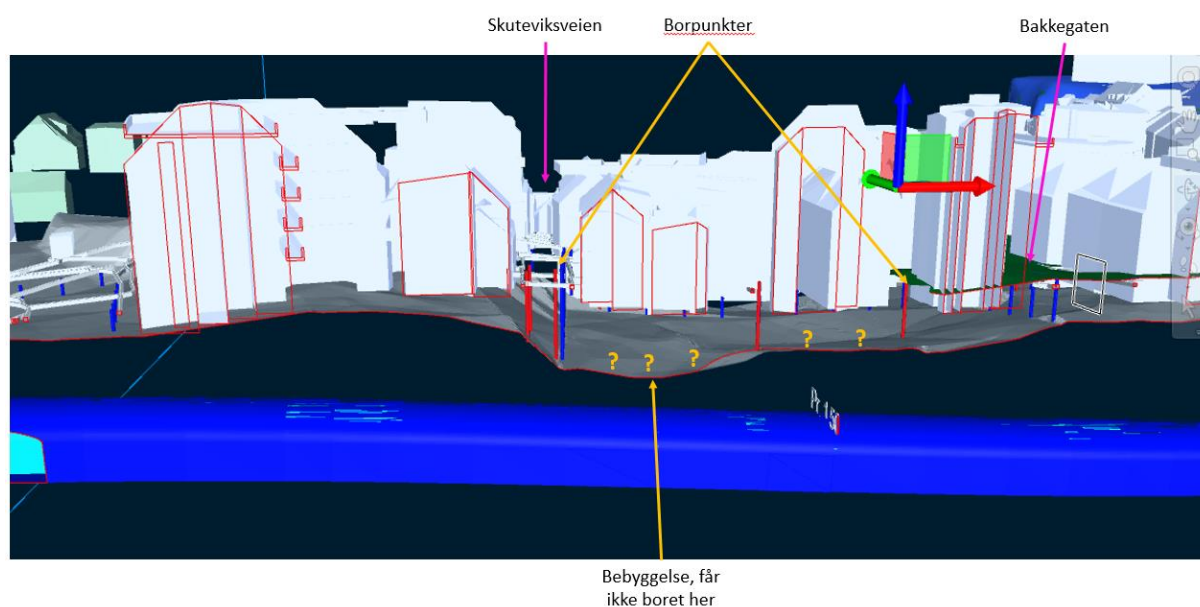


Figur 2-3 Sammenstilling av utførte grunnundersøkelser på strekningen Sandbrogaten – Jens Rolfsens gate i Skuteviken. Borepunkter som ikke er mulig å gjennomføre, grunnet konflikt med eksisterende anlegg eller umulig tilkomst for borerigg, er vist med rødt symbol. Utførte seismikkprofiler er vist med grønne linjer. En seismisk lavhastighetszone, som indikerer en mulig svakhetssone med nedsatt bergmassekvalitet, er vist i rødt langs seismikk-profilet DS2-P16/21. Planlagt fjellpåhugg ligger sør for Helgesens gate (ikke nord for slik skissen viser).

Borepunkter vist med rødt symbol i figuren ovenfor angir planlagte punkter hvor det ikke har vært mulig å gjennomføre boring. Dette skyldes konflikt med kabler eller andre eksisterende anlegg i grunnen, eller fysisk umulig tilkomst for borerigg inne i bygårder. Områdene som ikke er tilgjengelig å undersøke fra terreng på grunn av bebyggelse er også vist i lengdesnittet i Figur 2-4 og i utsnitt fra innsynsmodell i Figur 2-55.



Figur 2-4 Lengdesnitt langs anbefalt tunneltrase med tolket bergoverflate. Grå bokser markerer bebyggelse rett over tunnelen. Rosa stiplet linje viser en antatt svakhetszone med bredde ca. 5 meter. Blå stiplet linje viser antatt bergartsgrense mellom glimmerskifer til venstre (sør-vest) og gneis til høyre (nord-øst). Merk at målestokken er ulik i horisontal/vertikal retning. Jernbanetunnelen er vist ved profil 1380.



Figur 2-5: Utsnitt fra innsynsmodell. Spørsmålsteget markerer stor usikkerhet i bergoverflatens beliggenhet.

Bergarten langs første del av tunneltraseen er glimmerskifer. Basert på kartlegging i skjæringer i dagen og i eksisterende tunneler karakteriseres bergmassekvaliteten som middels til dårlig. Enkelte partier med svært dårlig bergmassekvalitet kan ikke utelukkes, f.eks. i forbindelse med registrerte lavhastighetssoner og forsenkninger i antatt bergoverflate. Det antas at

bergmassen er relativt tett utenom svakhetssoner. Ved ca. profil 1500 forventes tunnelen å komme inn i gneis av mer kompetent karakter.

Vanntapsmålinger i bergbrønner (se Figur 2-1 for plassering) viser at bergmassens permeabilitet i første del av tunnelen varierer mye. Vannledningsevnen er i størrelsesorden 10^{-6} m/s (åpne sprekker, permeabelt berg) ved Helgesensgate, til 10^{-9} m/s (tett berg) ved Sverresborg/Nye Sandviksvei. Ved Baglergaten er vannledningsevne i størrelsesorden 10^{-7} m/s.

2.2.2 Ingeniørgeologiske vurderinger

Gjeldende banetrasé vurderes å være gjennomførbar, men anleggsgjennomføringen vil bli svært krevende. Det er kritisk for gjennomførbarheten at traséen ikke heves. Dette på grunn av meget liten og usikker bergoverdekning langs de første 150 meterne av tunnelen, samt meget strenge krav til innlekkasje for å unngå setninger og ivareta fredede kulturlag i grunnen i Sandbrogaten.

Profil 1430 – 1470: Mellom Helgesens gate og Skuteviksveien har det ikke vært mulig å utføre grunnundersøkelser, men ut ifra boringer og seismikk i gatene rundt kvartalet antas det lite løsmassemekthet over berg på denne strekningen, i størrelsesorden 1 - 2,5 meter. Boringer i Skuteviksveien viser at bergoverflaten faller bratt mot nordøst under, eller rett nordøst for, bebyggelsen på sørvestre side av veien. Tunnelen vil med rimelig sikkerhet ha bergoverdekning fra 5 til 7-8 meter på denne strekningen. Bergmassekvaliteten bør kontrolleres ved planlagt kjerneboring.

Profil 1475 – 1530: Ved Skuteviksveien er det usikkert om berget fortsetter å falle av mot nordøst, eller om det dypeste punktet er påtruffet omtrent ved borpunkt DS2-591, der tunnelen kun har ca. 5 meter bergoverdekning. Mellom Skuteviksveien og Bakkegaten har man lyktes å bore kun to borpunkter inne i gårdsrommene. Disse viser hhv. 8,0 og 8,3 meter løsmasser over fast berg. Med avstander på ca. 15-20 meter mellom sikre punkter langs traseen, og ingen boringer i bredden, er det knyttet stor usikkerhet til bergoverdekningen på denne strekningen. Det kan ikke utelukkes at lokale variasjoner vil medføre kritisk lav bergoverdekning eller dårlig bergmassekvalitet.

Profil 1540 – 1590: I Jens Rolfsens gate er bergoverflaten kartlagt å ligge noe høyere enn i Bakkegaten. Tunneltraseen går med bratt fall mot nordøst, og det antas derfor at bergoverdekningen vil øke fra ca. 10 meter til ca. 15 meter på denne strekningen. På grunn av overliggende bebyggelse er det imidlertid ingen sikre opplysninger om bergnivå langs denne ca. 50 meter lange strekningen av tunnelen. Refraksjonsseismikk og boringer utført langs Nye Sandviksveien viser at berget stiger svakt mot nordøst i avstand 10-20 meter vest for traseen. Med antatt bergoverdekning mer enn 10 meter vurderes usikkerheten på denne strekningen å være akseptabel.

Det er satt et foreløpig krav til maksimal innlekkasje til tunnelen på 3 l/min per 100 meter tunnel frem til profil 1600. For å kunne overholde dette kravet forventes det behov for systematisk forinjeksjon av tunneltraseen. På grunn av meget liten bergoverdekning vil det imidlertid være svært krevende, og stedvis ikke mulig, å utføre slike injeksjonsarbeider. Det vil være fare for utgang av injeksjonsmasse i dagen og i kjellere. Det vil også være vanskelig å styre at injeksjonsmassen havner på ønsket sted, da det ikke kan benyttes tilstrekkelig høyt injeksjonstrykk nær overflaten. Dersom det påtreffes vannførende soner som man ikke klarer å tette ved injeksjon, og som kan gi skadelig senkning av grunnvannet over tid, vil det bli behov for å etablere en vanntett, udrenert utstøpning av tunnelprofilen på en strekning forbi

lekkasjen. Vanntett utstøpning krever mer plass i tunnelprofilen enn det som er avsatt til bergsikring. Den første delen av tunnelen bør derfor sprenges ut med et utvidet profil.

Det forventes behov for systematisk sonderboring foran stoff, meget forsiktig tunneldriving og tung bergsikring på stoff. Mekanisk bryting av berget som alternativ til sprengning kan bli aktuelt. Andre tiltak som midlertidig fraflytting fra enkelte bygninger med svært kort avstand til tunnelen må også vurderes i neste planfase.

Det finnes spesielle metoder for å kunne drive tunnel med svært liten bergoverdekning, eller også manglende berg i hele eller deler av tunnelprofilen. Metoder for å forsterke grunnen fra overflaten, som jetpeling, eller fra tunnel, ved f.eks. bruk av rørparaply i kombinasjon med etappevis utgraving, er metoder som har vært benyttet i kompliserte tilfeller. Felles for metodene er at man må ha kontroll på grunnforhold og grunnvann, som krever at det må gjøres et betydelig antall supplerende grunnundersøkelser langs traseen. Det er behov for å vite mer nøyaktig hvor bergoverflaten ligger, undersøke variasjoner i løsmassetyper og mektighet, og variasjoner i bergmassekvalitet. Ved metoder for grunnforsterkning fra overflaten vil det være behov for tilkomst med tungt utstyr over tunnelen, noe som vil kreve riving av bebyggelse og omlegging av infrastruktur i grunnen. På grunn av manglende mulighet for tilkomst for både grunnundersøkelser og andre tiltak fra overflaten, vurderes det derfor at tunnelen må legges på et nivå som med rimelig sikkerhet kan antas å være gjennomførbar å bygge som bergtunnel. Risiko ved å gå videre med en løsning der man ikke vet hvilke byggemetoder som blir nødvendige eller konsekvensen av dem, anses å være for stor.

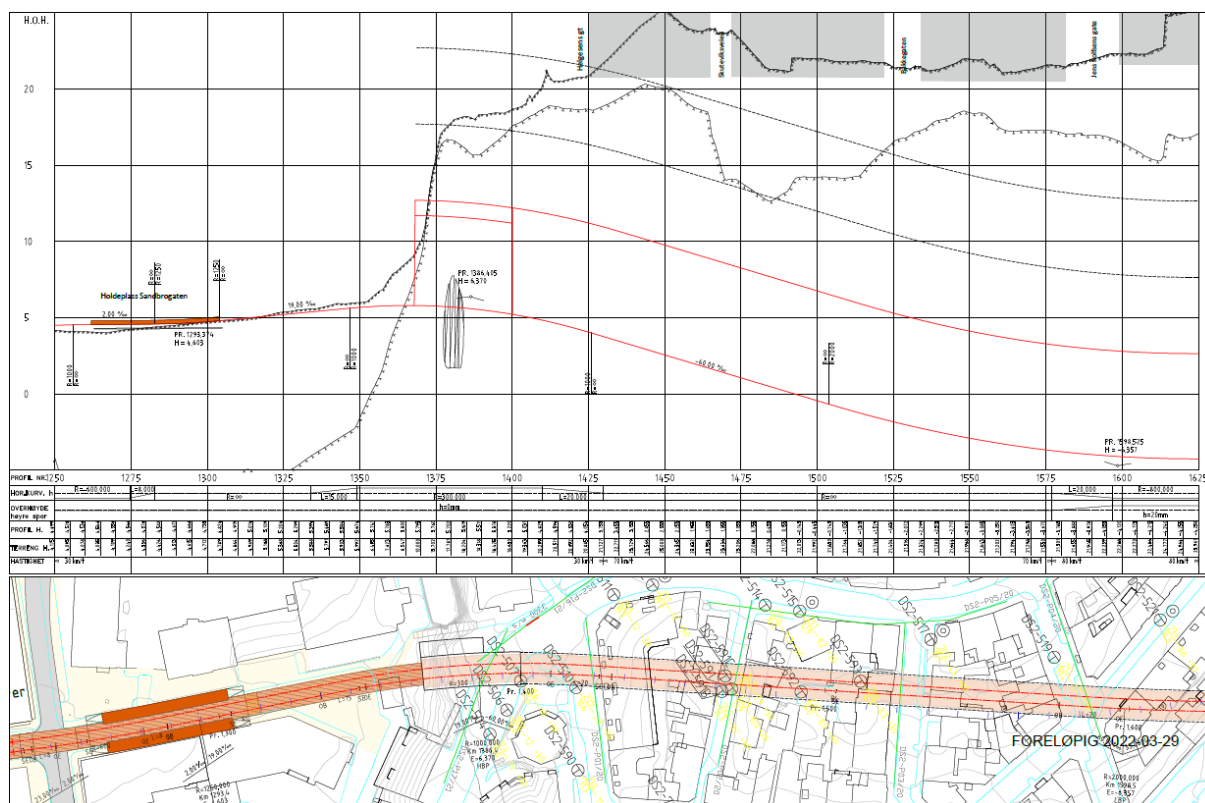
På bakgrunn av forholdene beskrevet over, frarådes det å heve tunneltraseen mer enn i anbefalt løsning på strekningen mellom ca. profil 1400 og 1600.

2.3 Spor

I anbefalt løsning er det søkt å få til en trasè som følger dagens terreng i Sandbrogaten og som faller så raskt som mulig når traseen kommer inn i tunnel under Skuteviken.

Traseen følger terreng etter holdeplassen i Sandbrogaten, men kommer opp til 40 cm under terreng i toppen av gaten. Det er valgt å legge til grunn noe lavere stigning på Bybanetraseen enn dagens terreng for å unngå at traseen og høybrekket inne i tunnel kommer høyere enn absolutt nødvendig av hensyn til bergoverdekning lengre inne i tunnelen. Denne senkningen av traseen like utenfor tunnelportalen medfører at en kommer litt lenger ned mot kulturlag i øverste delen av Sandbrogaten. Kulturlagene oppunder fjellsiden fremstår som tynnere, de viktigste og mest verdifulle lagene ligger dypere og lenger nede i gaten. Denne senkningen er derfor ikke vurdert som en uakseptabel risiko for kulturlagene.

Fra toppen av Sandbrogaten og inn i tunnelen ligger banetraseen i en R=300 horisontalkurve og R=1000 vertikalkurve. Etter høybrekket faller traseen med 60 ‰ gjennom Skuteviken og mot et lavbrekk cirka 250 m inn i tunnelen. Strekning med maksimal vertikalkurvatur og fall fra tunnelmunning og gjennom Skuteviken er presset så langt Bybanens tekniske regelverket tillater, for å gi mest mulig bergoverdekning i de første 200 meterne av tunnelen der vi vet det er meget liten og usikker bergoverdekning.



Figur 2-6: Oversikt anbefalt banetrasé

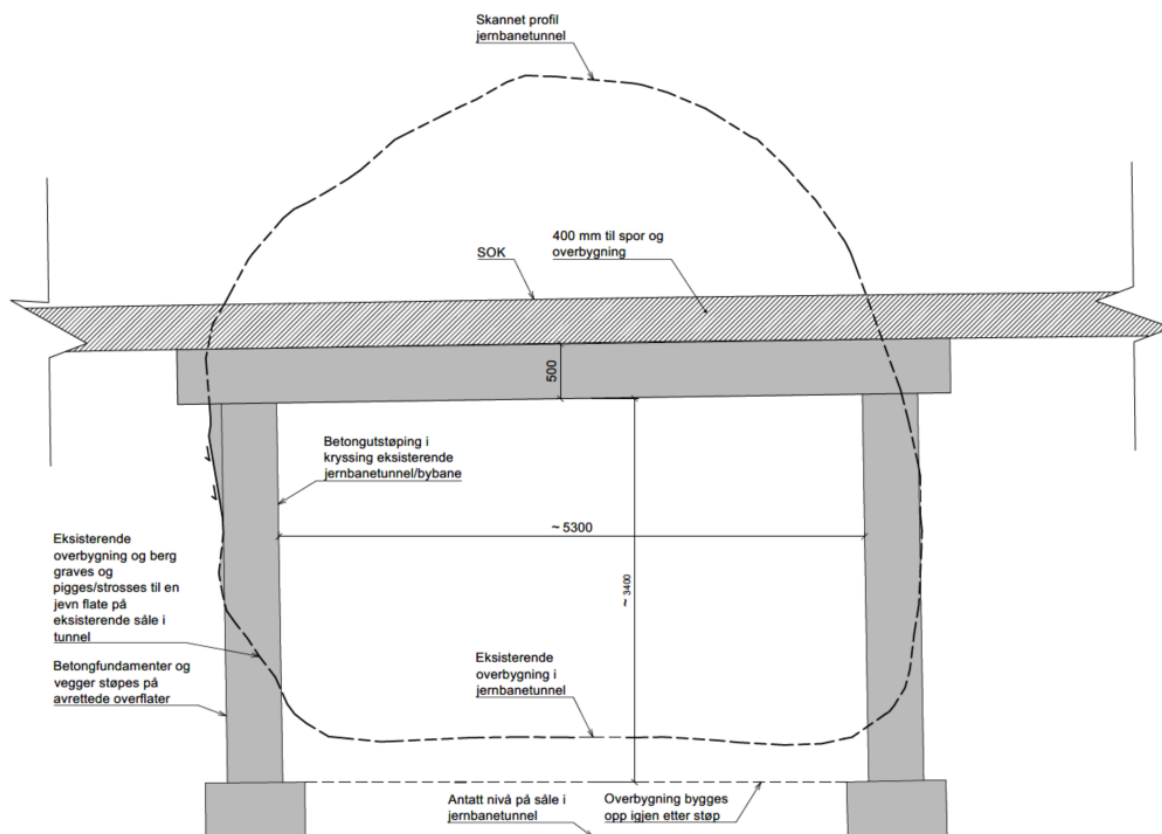
Sporgeometrisk er det ikke mulig å få til en dypere trasé gjennom kritisk strekning uten at traseen senkes i Sandbrogaten. $R=1000$ vertikalkurve og 60 % stigning/fall er absolutt maks i henhold til teknisk regelverk og det vurderes som uakseptabelt å fravike disse verdiene. Som følge av $R=1000$ kurven får Bybanevogner ut av tunnelen fra nord en hastighetsreduksjon som følge av manglende vertikalsikt. Dimensjonerende hastighet i anbefalt løsning vil være 30 km/t ut av tunnel. Noen skarpere vertikalkurve og dermed lavere hastighet på baner fra nord vurderes som uakseptabelt. Større stigning/fall vurderes også som uakseptabelt, også fordi det ligger et uttrekkspor for hensetting i sørenden av Sandbrogaten, som kan brukes til å hensette baner med tekniske feil i driftstiden. Defekte vogner må da kunne slepes ut av tunnelen.

2.4 Konsekvenser for jernbanetunnelen

Mellom Sandbrogaten og fjellpåhugg for bybanetunnelen i Nye Sandviksveien må det etableres en forskjæring/byggegropp for bygging av bybanetunnelen. Her må det også etableres betongportaler for begge tunnelene, samt en likeretter for bybanen parallelt med bybanesporet. Før portalene er etablert vil adkomst til jernbanetunnelen midlertidig stenges i nordre ende. Rømning i nødsfall kan ivaretas gjennom anleggsområdet.

Forskjæringen medfører at jernbanetunnelen får nytt bergpåhugg ca. 25 meter innenfor dagens portal, og det må bygges ny portal under bybanen. Syd for Bybanens krysningspunkt vil dagens tverrsnitt i jernbanetunnelen ikke endres. Den nye portalen blir ca. 25 meter lang, og vil få et mindre tverrsnitt enn dagens tunnel. En foreløpig skisse av portalens tverrsnitt er vist i figuren nedenfor Figur 2-7. Konstruksjonen er tenkt etablert med bærende vegger fra jernbanetraubunn og opp til bruplate for bybanen. Det legges til grunn en

konstruksjonstykkelse på 500 mm for bruaplata, og 400 mm høyde for fast spor over konstruksjonen. Dette vil gi et tilgjengelig tverrsnitt med fri høyde ca. 3,4 meter og bredde ca. 5,3 meter under Bybanen.



Figur 2-7: Prinsippnitt ved kryssing av jernbanetunnel

Tverrsnittet under bybanen vil ikke være stort nok til å ivareta nødvendig fri høyde for tog forbi krysningspunktet. Rømning fra jernbanetunnelen og naturlig ventilasjon vil fremdeles kunne ivaretas på tilsvarende måte som i dag. En ser for seg at dagens murte portal med gitterport reetableres, da den må tas ned under anleggsarbeidet. I det tilgjengelige tverrsnittet vil det være plass for kjørbare adkomst.

3 Alternative løsninger

Dersom mulig, er det et mål om å kunne opprettholde drift på jernbanesporet under Bybanen i krysningspunktet like øst for Sandbrogaten. Vi har forstått at BaneNor primært også ønsker å opprettholde mulighet for senere elektrifisering av et slikt spor, men kan akseptere at minimumsverdier legges til grunn, og at jernbanesporet i krysningspunktet om nødvendig kan senkes opptil en meter. Som grundig beskrevet i forrige kapittel, vil det være uforsvarlig å vurdere løsninger som hever tunnelprofilen for Bybanen høyere enn anbefalt løsning.

De muligheter som da gjenstår å teste ut er enten at jernbanetraseen senkes tilstrekkelig til å komme under anbefalt trase, eller at dette kombineres med en optimalisering og minimering av Bybanens tunnelprofil og anbefalt profil for Bybanetunnelen. I siste tilfelle kan Bybanens spor heves noe uten at tunnelen kommer høyere, men samtidig henter en da ut på forhånd den ekstra sikkerheten en kunne hatt i forhold til usikker overdekning.

For å svare ut alle spørsmål knyttet til alternative løsninger har vi sjekket ut løsningene systematisk i følgende rekkefølge:

Alt. 1: Heve bybanetunnelen over en elektrifisert jernbanetunnel

Alt. 2: Senke jernbanesporet, men fortsatt opprettholde mulighet for elektrifisering

Alt. 3: Senke dagens jernbanetunnel uten elektrifisering

Alt. 4: Redusere høyde i bybanetunnelen og senke jernbanen tilstrekkelig

Av alternativene er det naturligvis alternativ 4 som gir størst sjanse for å lykkes, men som også vil gi de største konsekvensene for begge parter. Går ikke denne er det trolig ikke mulig å opprettholde mulighet for drift på jernbanesporet ut mot dagsonen på Koengen. Vi velger likevel å vurdere alternativene stegvis for på den måten best få synliggjort konsekvensene av de ulike trinnene.

3.1 Alt. 1: Heve bybanetunnelen over en elektrifisert jernbanetunnel

3.1.1 Beskrivelse av løsning

Dersom bybanen skulle vært hevet over jernbanetunnelen når denne er tilrettelagt for elektrifisering, må sporene til Bybanen heves til minimum kote +8,05 i krysningspunktet med jernbanen.

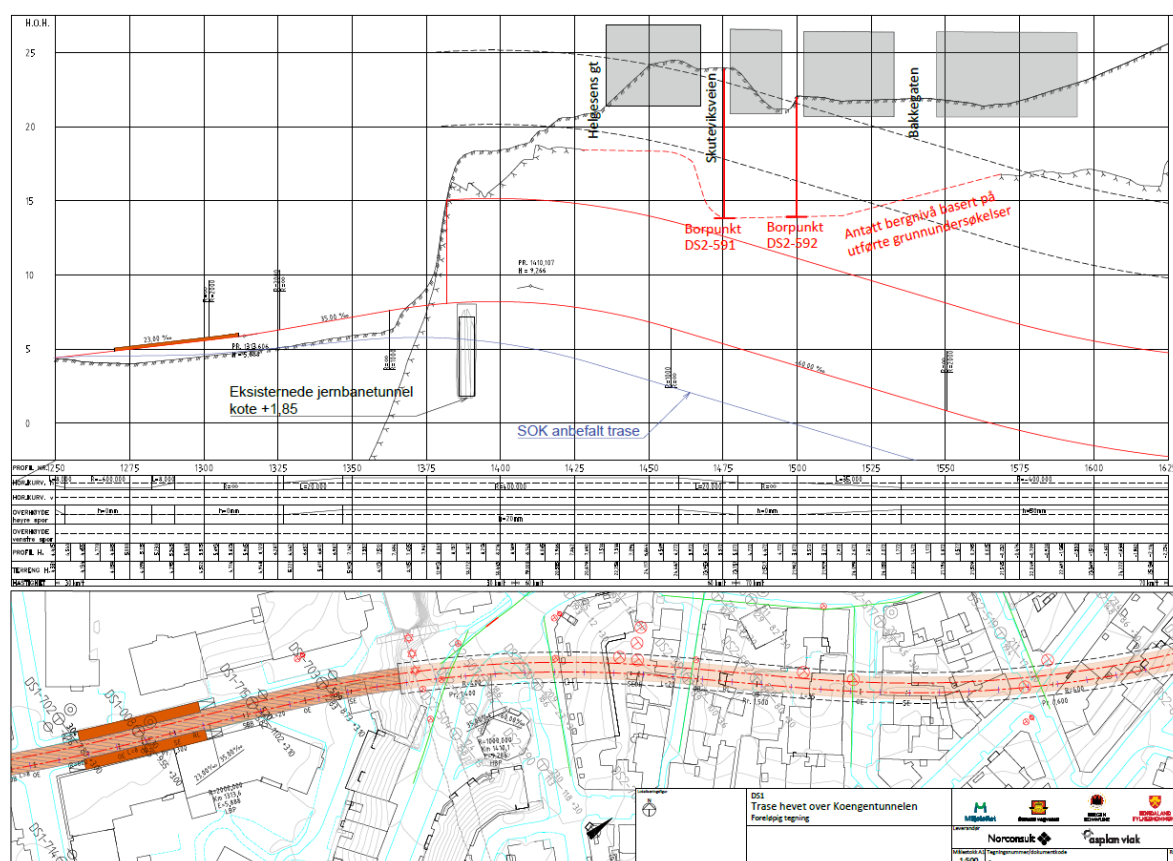
• SOK (Skinne OverKant) jernbane	kote	+1,85
• Kontakttråd høyde jernbane		4,8 m (krever dispensasjon)
• Konstruksjonshøyde kontaktledning jernbane		0,3 m
• Isolasjonsavstand inkl. isolasjon jernbane		0,2 m
• Konstruksjon og overbygning Bybanen		<u>0,9 m</u>
• SOK bybanen må løftes til	kote	<u>+8,05</u>

3.1.2 Konsekvens av løsning

Anbefalt trasé for Bybanen har en kote høyde på SOK i krysningspunktet over jernbanen på cirka 5,6 m. En oppramping av Bybanetraseen til kote +8,05 over jernbanen, vil medføre at hele den øvre delen av Sandbrogaten, inkludert planlagt holdeplassområde, må heves med opptil 1,5 meter. Dette medfører at gatens tilknytning mot Kroken endres radikalt, noe som reduserer sammenhenger og siktlinjer. Tilliggende bebyggelse nedover i Sandbrogaten, som Sølvsarefabrikken og Vikinghallen, vil få fortau godt opp på fasadene, og sperre rømningsvei og vinduer. Bergenhus Festningsmuseum blir liggende vesentlig lavere i forhold til gaten enn i dag.

Heving av banen med opp til 1,5 m over eksisterende terreng vil påvirke både kulturlagene og det stående kulturmiljø svært negativt. Dette splitter opp verdifulle kulturmiljø og kommer i konflikt med verneverdig bebyggelse. Heving gir betydelig risiko for tilleggslaster som kan gi komprimering av kulturlag. Dette vurderes som en uakseptabel konsekvens i forhold til vernede kulturlag.

Heving av bybanesporret medfører at traseen også må heves med opptil 4-4,5 m gjennom strekning med kritisk liten overdekning (profil 1450-1550). Som beskrevet i kapittel 2.2.2 om ingeniørgeologisk vurdering av anbefalt trasé frarådes en slik heving. Dette vil medføre store inngrep i eksisterende bebyggelse på strekningen.



Figur 3-1 Plan og profil for Bybanen over dagens jernbane tilrettelagt for elektrifisering

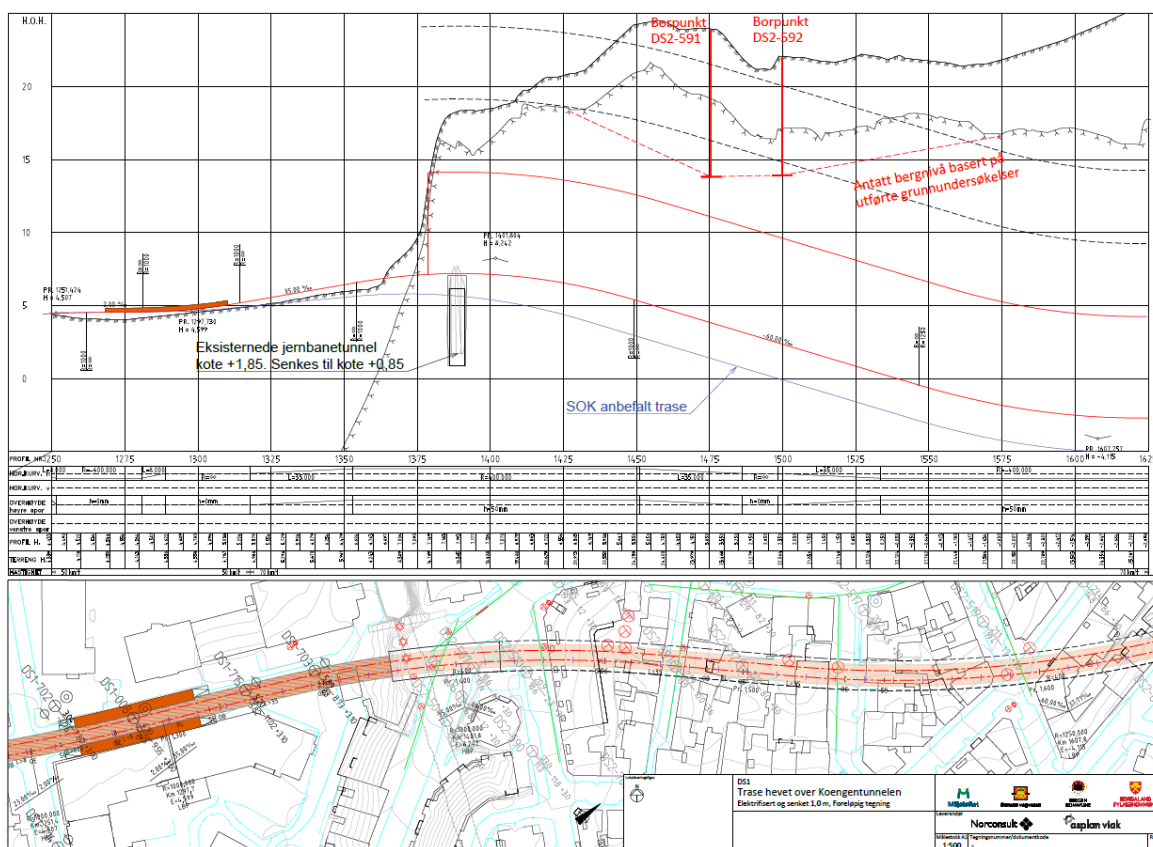
3.2 Alt. 2: Senke jernbanesporret, men fortsatt opprettholde mulighet for elektrifisering

3.2.1 Beskrivelse av løsning

Bane NOR ved Multiconsult har i notat datert 4. mai 2021 vurdert muligheten for å senke jernbanetunnelen slik at Bybanen kan krysse over på et lavere nivå i forhold til om Bybanen skal krysse over jernbanetunnelen slik den ligger i dag. I notatet konkluderes det med at det «innenfor kravet til vertikalkurvatur er det teknisk mulig å senke tunnelen inntil 1 m». Denne senkningen foreslås gjort over en strekning på cirka 275 m.

I notatet fra Bane NOR / Multiconsult er det lagt til grunn at jernbanetunnelen i fremtiden skal kunne elektrifiseres med kjøreløst, men at det kan være mulig å få dispensasjon for å etablere kontaktledningsanlegg med redusert systemhøyde. Med redusert systemhøyde kan

SOK bybanen teoretisk legges på kote 7,05 m i kryssingen, se utregning og skisse under. Dette er cirka 1,4-1,5 m høyere enn sporet i anbefalt trase (SOK kote cirka 5,6 m i krysningspunktet) og denne differansen øker i starten etter kryssingen da større stigning inn mot høybrekket forskyver knekkpunktet inn i tunnelen gitt at holdeplassen i Sandbrogaten ikke skal løftes. Dette ettersom sporet i anbefalt trase faller så raskt som mulig og knekker med minimum vertikalradius.



Figur 3-2 Plan og profil senket og elektrifisert jernbane

3.2.2 Konsekvens av løsning

Heving av bybanen medfører at traseen også må heves med opptil 2,5 m gjennom strekning med kritisk liten overdekning (profil 1450-1550). Som beskrevet i kapittel 2.2.2 om ingeniørgeologiske forhold, vil en slik heving gi uakseptabelt stor risiko både i forhold til bebyggelsen over traseen og for gjennomførbarheten av prosjektet.

Senkning av jernbanen med en meter kan i tillegg gi utfordringer i forhold til grunnvannet i området. Grunnvannstand i berget ligger høyst sannsynlig over jernbanetunnelen (ca. kote +8,7 10-15 m nord for jernbanetunnel, se kapittel 2.1) og grunnvannstanden stiger nordover. Dette er påvist i etablerte fjellbrønner. Utfellingene knyttet til innlekkasje over tid har trolig bidratt til å tette eksisterende sprekker, slik at tunnelen i dag fremstår som tett. Sprengning vil kunne føre til økt innlekkasje til tunnelen ved at vannførende sprekker åpnes opp. Det vil være behov for avbøtende tiltak som vanntetting og kanskje infiltrasjonsbrønner slik at ikke kulturlag i Bergen sentrum får mindre tilførsel av grunnvann med økt forvitring som resultat.

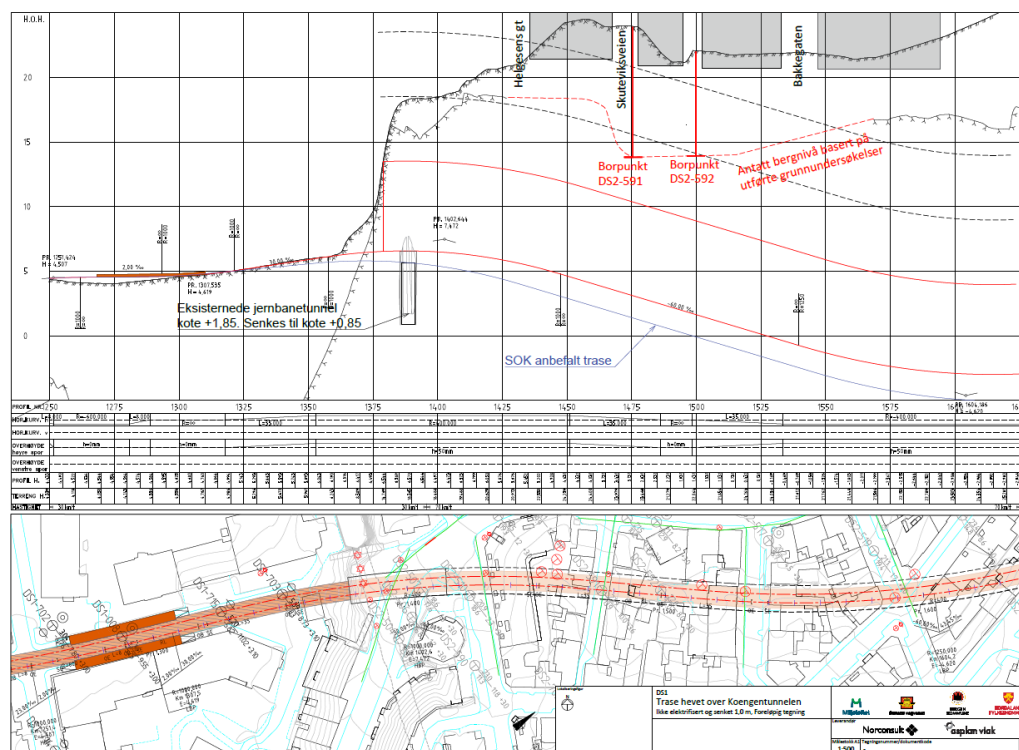
Senkning av jernbanetunnel under bybanetraseen medfører at en eventuell forlengelse av jernbanen ut i dagen på Koengen også må senkes i vestlig retning før den er oppe på dagens nivå. Dette medfører permanente fysiske endringer av jernbanen innenfor området som omfattes av Forsvarets Landsverneplan og fredningen av Bergenhus.

Selv om heving av traseen i Sandbrogaten i dette alternativet ikke er like stor, vil det fortsatt gi negative konsekvenser for Vikinghallen og Sølvvarefabrikken, der gaten vil heves over hhv. dagens rømningsvei og vinduer. Kobling mot Kroken blir også i dette tilfellet berørt, men her er plassen noe større og mulighetene derfor bedre til å jevne dette ut.

3.3 Alt. 3: Senke dagens jernbanetunnel uten elektrifisering

3.3.1 Beskrivelse av løsning

Dersom det ikke må tilrettelegges for at jernbanetunnelen i fremtiden skal elektrifiseres, kan det legges til grunn behov for 0,5 m mindre avstand mellom jernbanesporet og den overliggende Bybanen enn i alternativ 2. Det vil si SOK bybanen på kote 6,55 m. Dette er cirka 0,9-1,0 m høyere enn sporet i anbefalt trase, og denne differansen øker i starten etter kryssingen da større stigning inn mot høybrekket forskyver knekkpunktet inn i tunnelen gitt at holdeplassen i Sandbrogaten ikke skal løftes. Dette ettersom sporet i anbefalt trase faller så raskt som mulig og knekker med minimum vertikalradius.



Figur 3-3 Plan og profil senket jernbane + ingen elektrifisering

3.3.2 *Konsekvens av løsning*

Senkning av dagens jernbane uten elektrifisering vil gjøre det mulig at bybanetraseen kan legges på terreng i Sandbrogaten. Som omtalt tidligere et minst mulig høydejustering av terrenget i Sandbrogaten gunstig for bevaring av kulturlag og kulturmiljø i Sandbrogaten.

Potensielt uheldige konsekvenser for grunnvannet, og konsekvensene for sporet ut i dagen på Koengen, vil fortsatt gjelde tilsvarende som beskrevet under alternativ 2 (jf kap 3.2.2).

Selv om redusert høyde på jernbanen ved portalområdet gir mulighet for en noe lavere bybanetrasè, vil linjeføringen på stigning inn mot krysningspunktet fortsatt medføre en heving på cirka 1,5 m i tunnelen under Skuteviken i forhold til anbefalt trasé. Som beskrevet i kapittel 2.2.2 om ingeniørgeologiske vurdering av anbefalt trasé frarådes en slik heving. Dette vil kunne medføre store inngrep i eksisterende bebyggelse på strekningen.

3.4 **Alt. 4: Redusere høyde i bybanetunnelen og senke jernbanen tilstrekkelig**

3.4.1 *Beskrivelse av løsning*

Teknisk regelverk tillater som minimum 4,5 m kontakttråd høyde inne i tunnel. For å oppnå redusert frihøyde som kreves for kontaktledningen kan det utformes med strømskinne eller enkel kontakttråd med forsterkerkabel.

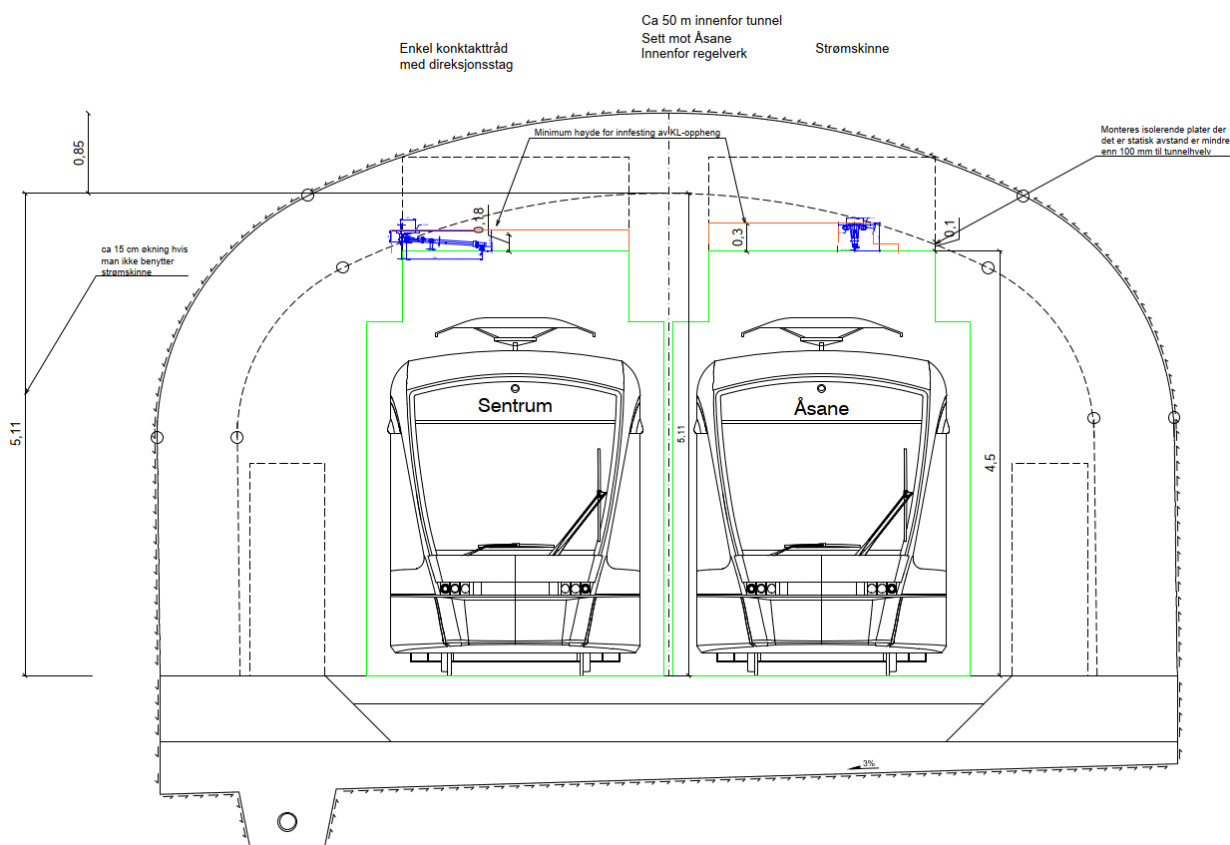
Utenfor tunnelprofilen må kontakttråd høyden være 5 m for å overholde krav i forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF), samt at senkning av kontakttråd høyde i tunnel medfølger et avvik fra teknisk regelverk. Prosjekterende hastighet er maks 50 km/t som medfølger maksimum endring i stigning på 15 ‰ og maksimum stigning på 30 ‰, som vil si mulig endring på 1,5 cm og 3,0 cm pr meter. Det gjør at 4,5 m i kontakttråd høyde kan oppnås etter ca. 50-60 m inne i tunnelen. Det er lagt til grunn ingen endring av kontakttråd høyde i nærmeste spenn ved overgang til mulig strømskinne.

Den skisserte KL-løsningen gir da mulighet til å snevre inn standard tunnelprofil gradvis i henhold til endring av kontakttråd høyde gjennom kritisk strekning.

Følgende reduksjoner oppnås:

Strømskinne med kontakttråd høyde 4,5 m medfører at standard profil kan senkes 0,95 m til 5,1 m frihøyde. Ved å benytte enkel kontakttråd uten bærelinje anslås det at frihøyden må økes med ca. 15 cm, samt at det må etableres forsterkningskabler i tunnelen.

Se figur 3-4 for illustrasjon av prinsipløsning med strømskinne og enkel kontakttråd. Løsningene for kontaktledningsanlegget kan kun forankres når detaljprosjektering skal gjennomføres.



Figur 3-4: Prinsipp for løsning med kontakttrådshøyde 4,5 m

Denne løsningen er for KL-systemet dyrere enn et KL-system med enkel kontakttråd med forsterkerkabel.

3.4.2 Konsekvens av løsning

Redusert kontakttrådshøyde gir lavere heng i tunnelen. En kontakttrådshøyde på 4,5 m gir 0,95 meter lavere heng i forhold til standard tunnelprofil.

Det betyr at med kontakttrådshøyde på 4,5 m kan anbefalt trase i teorien heves tilsvarende gjennom kritisk strekning uten at dette gir redusert overdekning. Hevingen medfører at sporet i Sandbrogaten løftes opp igjen til terreng sammenlignet med sporphøyden i anbefalt trasé. Samtidig medfører endringen noe mer frihet til å flytte høybrekkskurven på sporet noe nærmere portalen, og slik unngå at hengen på tunnelen kommer høyere enn i anbefalt løsning under området med kritisk fjelloverdekning.

basseng med målene i dybde x bredde x lengde = 2 x 7 x 8 m³, fortrinnsvis plassert like ved siden av lavpunktet i jernbanetunnelen.

I utgangspunktet er det positivt for kulturminner i Sandbrogaten at vi, i forhold til anbefalt trase, ikke senker bybanetraseen. Senket jernbanespor med pumpe-senk medfører imidlertid økt risiko for grunnvannssenkning. En grunnvannssenkning vil være negativt for kulturlag i Sandbrogaten og på Koengen.

Målinger av grunnvannstand og poretrykk (beskrevet i kap. 2.1) viser at grunnvannsnivået sannsynligvis ligger over tunnelens nivå. Strossing av tunnel rundt 1,15 m ned, pluss etablering av egen pumpe-senk minst 2 meter lavere, vil kunne åpne sprekker og føre til økt innlekkasje som igjen kan føre til redusert grunnvannstand ved kulturlag. Blir ikke dette helt tett pumper en da jevnlig ut grunnvann.

For å redusere risiko for dette kan det forsøkes å injisere berget ved alle soner hvor det er eksisterende innlekkasje. Det er i bunnen av tunnelprofilen under dagens tunnelsåle det vil være størst mulighet for å oppdage innlekkasjer, slik at vurderingen bør gjøres etter sålerensk. Det må injiseres minimum 10 m til hver side av innlekkasjesoner. Denne typen injeksjon etter at tunnelen er sprengt ut, er det imidlertid ofte vanskelig å lykkes med. Hvis det ikke oppnås tett nok bergmasse må det etableres en vanntett utstøping av tunnelprofilen, inkludert sålen, i lekkasjesonen minimum 10 m til hver side av lekkasjen. Det må etableres poretrykksmålere i løsmasser nedstrøms tunnelen. Ved poretrykkfall må det settes i gang infiltrasjonsbrønner som må være etablert på forhånd av arbeid i tunnelen, deretter gjøres tettearbeid i form av injisering og/eller utstøping. Infiltrasjonsbrønner skal kun brukes midlertidig frem til tetting av tunnelen er god nok og poretrykket er stabilt uten infiltrasjon.



Figur 3-6: Illustrasjon som viser på hvilken strekning jernbanespor må senkes for å komme under et redusert Bybanetunnelprofil.

4 Oppsummering / konklusjon

Alternativene 1, 2 og 3 innebærer alle at hengen i bybanetunnelen vil komme høyere enn i løsningen anbefalt i grunnlag for regulering. Grunnet manglende mulighet for grunnboringer under bebyggelse, og begrenset informasjon om fjelloverflate fra noen få borehull og seismikk i omkringliggende gater, er risikoen stor for at det kan finnes områder med lavere fjelloverflate enn det vi har klart å påvise. Vi har derfor valgt å sette krav om at tunnelhengen ikke må komme høyere enn fem meter under påvist fjelloverflate. Anbefalt løsning til reguleringsplanen klarer akkurat å holde seg under dette kravet. Alternativene 1,2 og 3 innebærer derfor en uakseptabel høy risiko for manglende bergoverdekning under eksisterende bebyggelse. Med dette følger fare for urimelig store konsekvenser for bebyggelse langs traseen og gjennomførbarheten av prosjektet.

I alternativ 4 reduserer vi takhøyden på bybanetunnelen, ved å foreslå et annet kontaktledningsoppheng og bruk av minimumsverdier, slik at sporet kan heves noe uten at tunneltaket kommer høyere. Samtidig senker vi jernbanesporet tilstrekkelig til å komme under en «bro» for Bybanen. Uten å ta høyde for mulig fremtidig elektrifisering av jernbanen (basert på 4,8 m høyde i frittromsprofil), må da jernbanesporet senkes i forhold til i dag med ca. 1,15 meter.

Planlegging med redusert takhøyde i bybanetunnelen og minimumskrav er i utgangspunktet ikke ønskelig. Dette fjerner dessuten muligheten for en slik senking i byggefasen, dersom i mellomtiden skulle får kunnskap om at fjellet under bebyggelsen ligger lavere enn antatt.

Senking av jernbanetunnel under bybanetraseen medfører at en eventuell forlengelse av jernbanen ut i dagen på Koengen også må senkes. Dette medfører permanente fysiske endringer av jernbanen innenfor området som omfattes av Forsvarets Landsverneplan og fredningen av Bergenhus. Dette fører også vann fra dagsonen inn i tunnelen.

I utgangspunktet er det positivt for kulturlag i Sandbrogaten at alternativet ikke medfører senking eller heving av bybanetraseen i gaten. Senking av jernbanesporet medfører imidlertid økt risiko for grunnvannssenking som vil være negativt for kulturlag i Sandbrogaten og på Koengen.

Grunnvannet kan påvirkes ved at utstrossing av en lavere tunnel vil øke risikoen for innlekkasje av grunnvann i jernbanetraseen. I dag ligger grunnvannsnivået i bakenforliggende terreng høyere enn tunnelen. Senking av SOK jernbane til kote +0,7 under Bybanen fører til at vann i lavbrekket må pumpes ut, og vann må samles opp for pumping i separat og dypere fjellkammer. Dette øker dybden og omfanget av utspregning i kritisk snitt. Konsekvensen av dette kan være redusert grunnvannsnivå ved kulturlag og økt forvitring av disse.

For å redusere risiko for negativ påvirkning på kulturlag må det etableres overvåkning av poretrykk nedstrøms jernbanetunnel, og alle innlekkasjer i tunnelen må tettes. I tillegg må det etableres infiltrasjonsbrønner som kan settes i drift hvis poretrykket faller uakseptabelt under anleggsarbeidet. Ved poretrykksfall må evt. innlekkasjer tettes før infiltrasjonsbrønner slås av. Tettemetoder vil kunne være injisering eller vanntett utstøping hvis injisering ikke er godt nok.

På bakgrunn av den risiko som er beskrevet ovenfor, vil det ikke være tilrådelig å gå videre med en løsning som skissert i alternativ 4 uten at det kan påvises et viktig behov for å ivareta mulighet for å kunne føre et jernbanespor ut i dagen mot Koengen. Bybanens anbefalte løsning bryter jernbanetunnelen, men ivaretar godt tilkomst og rømning, og vil derfor ikke påvirke dagens bruk av jernbanesporet i tunnelen.