© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

CITYBANAN – SPRÄNGTEKNISK UTMANING

Sven-Erik Johansson, Nitro Consult
Roberth Colliander, WSP Sverige
Sören Karlsson, Citybanan

Sammanfattning

Citybanan är en planerad ny pendeltågstunnel under Stockholms innerstad. Tunneln sträcker sig från Tomteboda i norr till befintlig pendeltågstation, Stockholm Södra i söder. Vilket motsvarar en sträcka på cirka sex kilometer. Huvuddelen av tunneln förläggs i berg liksom två nya stationer i City och Odenplan som också ingår i projektet. Om erforderliga tillstånd och avtal erhålls enligt tidsplanen kommer entreprenadarbetena startas under 2006.

På i stort sett hela sträckan som omfattas av bergarbeten finns bebyggelse ovanför tunneln. Totalt ligger cirka 300 fastigheter rakt ovanför tunnelsträckningen. Inom inventeringsområdet som sträcker sig ett par hundra meter från centrum av tunnlarna finns ungefär tio gånger så många fastigheter. Sprängningsarbetena måste anpassas till byggnader, verksamhet, vibrationskänslig utrustning samt befintlig järnvägstrafik. Under mark måste sprängningsarbetena anpassas till restriktioner i tunnelbanan och befintliga ledningstunnlar. Dessutom är bergtäckningen i korsningarna med befintliga tunnlar i flera fall mycket liten.

Inledning

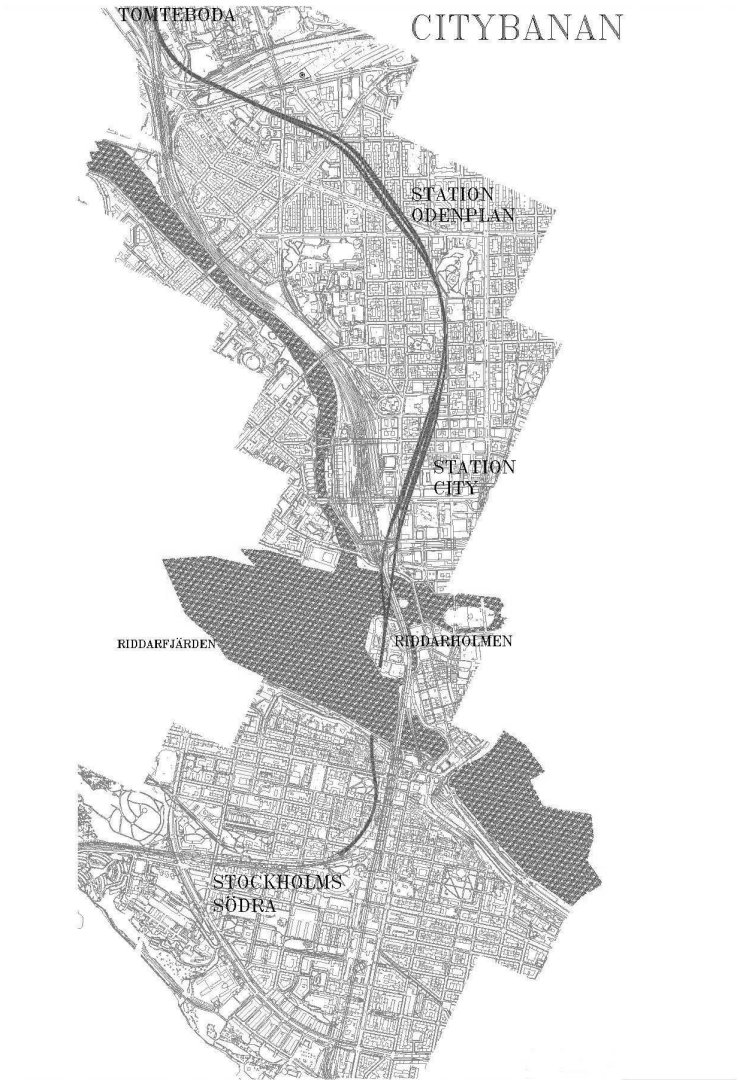
Citybanan omfattar en ny cirka sex kilometer lång järnvägssträcka som i huvudsak kommer att förläggas i berg- och betongtunnlar, från Tomteboda i norr till Årstabroarnas landfästen på Södermalm. Betongtunneln byggs i Riddarfjärden för att sammanbinda bergtunneln på Södermalm med bergtunneln mellan Riddarholmen och Tomteboda. Tunnlarna kommer att trafikera pendeltågstrafiken på två spår. Det blir två nya bergförlagda stationer, City och Odenplan. I söder ansluter tunnlarna till den befintliga pendeltågsstationen på Södermalm, Stockholm Södra.

Citybanan kommer att byggas i två etapper. I den första etappen byggs spårtunnlar, stationerna Odenplan och City som två-spårsstationer medan station City byggs som fyr-spårsstation. Byggtiden för den första etappen beräknas till ca 6 år från byggstart till driftstart. I ett senare skede, när behovet av kapacitet har ökat, byggs stationerna Odenplan och Stockholm Södra ut med ytterliggare en plattform och två spår.

Pendeltågstrafiken kommer när Citybanan är klar att utökas till 10-minuterstrafik, vilket innebär att ett tåg kan angöra en Citybanestation med 2 till 2,5 minuters intervall.

I detta föredrag kommer några av de sprängtekniska utmaningar som väntar de blivande entreprenörerna att beskrivas.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors



Figur 1. Citybanans sträckning från Tomteboda i norr till Stockholm Södra i söder.

Entreprenader

Bergarbetena för Citybanan kommer att starta med drivningen av fem arbetstunnlar. Dessa planeras att startas under 2006 och pågå under ungefär ett år.

Arbetstunnlarna är belägna vid, Norra Stationsgatan, Drottninggatan, Torsgatan, Centralstation och Söder Mälarstrand. Arbetstunnlarna är mellan 250 meter och 530 meter långa.

När arbetstunnlarna är klara påbörjas drivningen av spårtunnlar och stationer. Dessa arbeten utförs i sex entreprenader. Sprängningsarbetena för dessa är beräknade till cirka 3-4 år.
I varje entreprenad ingår sprängningar för tekniska utrymmen, servicetunnlar och spårtunnlar. Den totala mängden tunnelberg i Citybanan är ca 1,5 miljoner m^3.
I tabellen nedan anges fördelningen av berg på de olika uppdragen för upprättande av systemhandlingen.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Tabell 1. Sammanställning av ungefärliga bergvolymer för olika konsultuppdrag samt vilka tunnelentreprenader som ingår i respektive uppdrag.

Uppdrag	Bergvolym, m^3	Tunnelentreprenader
Tomteboda – City	600 000	Vasatunneln Norrmalmstunneln
City – Södermälar Strand	300 000	Norrströmstunneln Söderströmstunneln
Södermalm	100 000	Södermalmstunneln
Stationerna	500 000	Odenplan City

Söderströmstunneln blir en betongtunneln under vatten. Bergsprängningar kommer att krävas för förskärningarna till anslutningarna till bergtunnlarna i söder och norr.

Normalsektionen för enkelspårstunneln är cirka 70 m^2 och för dubbelspårstunnel cirka 110 m^2. Stationerna får en största bredd på 28 meter och höjden cirka 12 meter.

Projektering

Arbetet med framtagande av systemhandlingar har pågått sedan slutet av 2003. Systemhandlingar för spårtunnlarna [1] och stationerna [2] har färdigställts under hösten, 2005. För närvarande görs ytterligare studier av stationerna för att reducera kostnaden för projektet.

För arbetstunnlarna är förfrågningsunderlagen klara och upphandling pågår i skrivande stund för Bangårdstunneln vid Centralstation.

Riskanalyser

Sprängningsarbetena måste anpassas till byggnader, verksamhet, vibrationskänslig utrustning samt befintlig järnvägstrafik. På i stort sett hela sträckan som omfattas av bergarbeten finns bebyggelse ovanför tunneln. Totalt ligger cirka 300 fastigheter rakt ovanför tunnelsträckningen. I riskanalyserna [3] som omfattar ett inventeringsområde som sträcker sig ett par hundra meter från centrum av tunnlarna har ungefär tio gånger så många fastigheter inventerats.

Under mark finns ett tjugo-tal korsningar med ledningstunnlar och schakt till ledningstunnlar [4]. Tunnelbanans tre linjer korsas på fem ställen. Bergtäckningen är i flera av korsningarna mycket liten (två till sju meter). Dessutom krävs sprängningar för förbindelsegångar mellan stationerna för Citybanan och T-banan vid T-Centralen och Odenplan.

Tillsammans med tunnelägarna kommer program för restriktioner och åtgärder att tas fram för alla korsningar.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

I ett område ovanför den blivande arbetstunneln vid Torsgatan har grundläggningsarbeten för nya bostads-, kontors- och hotellbyggnader nyligen startat. Detta innebär att tunnelsprängningarna måste anpassas till restriktioner för nygjutna konstruktioner.

Vid framtagandet av systemhandlingarna har omfattande bergmekaniska och sprängtekniska studier utförts i kritiska passager. I detta föredrag kommer några av de sprängtekniska utmaningar som väntar de blivande entreprenörerna att beskrivas närmare.

Pålgrundläggning

Eftersom vi var flera konsulter som upprättade riskanalyserna fanns det anledning att samordna utformningen av riskanalyserna. En av de viktigaste frågorna var hur vi skulle behandla byggnader och anläggningar grundlagda på pålar. I sprängstandarden, SS 460 48 66 – riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader – görs ingen skillnad mellan pålgrundläggning och andra typer av grundläggningar. En byggnad med undergrund av lera får samma riktvärde oavsett om grundläggningen är på rustbädd eller stödpålar. Trots att det i det senare fallet är en betydligt stabilare grundläggning.

Anledning till att ingen skillnad görs i sprängstandarden beror på att när den togs fram i slutet av 1980-talet fanns liten erfarenhet av omfattande tunnelsprängningar i närheten av pålgrundlagda byggnader. Något som sprängningarna för Lundby-tunneln, som drevs under leromården, i Göteborg i början av 1990-talet gav riklig kunskap om.

På basis av erfarenheter från Lundbytunneln och provsprängningar för Götatunneln i Göteborg tog Nitro Consult fram ett förslag [5] till klassificering av olika typer av pålgrundläggningar och hur de skulle kunna tillämpas i sprängstandarden. Förslaget, som också använts i riskanalyserna för Citybanan, sammanfattas i tabell 2 nedan.

Tabell 2. Sammanställning av klassificering av olika typer av grundläggningar

Grundläggning	Pållängd, m	Klassificeras enligt undergrund
Stödpålar i betong	<5	Berg
Stödpålar i stål[1)]	<5	Berg
Stödpålar i betong	5-20	Morän
Stödpålar i stål[1)]	5-20	Morän
Friktionspålar	<15	Morän
Stödpålar i betong	>20	Lera
Stödpålar i stål[1)]	>10	Lera
Kohesionspålar av betong	-	Lera
Träpålar	-	Lera

Anm. [1)] Innefattar stålrörspålar, stålkärnepålar, räls etcetera.

Tomteboda - Vasatunneln

Citybanans bergtunnlar startar i norr vid de befintliga spåren i Tomteboda. En dubbelspårstunnel kommer att sprängas ut i närheten av de SJ:s gamla kontorsbyggnader i kvartetet Haga. Bergtunneln kommer att passera cirka 17 meter under södra delen av Smittskyddsinstitutet (SMI).

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

I samtliga byggnader i området finns mycket vibrationskänslig utrustning. På Karolinska Institutet (KI) och SMI finns även verksamhet som är känslig för buller från borrning och sprängning.

För att undersöka effekterna på Instituten och fastigheterna på Norra Stationsgatan genomfördes provsprängningar under sommaren, 2004.

Provsprängningar - Tomteboda

Då det inte var möjligt att spränga regelrätta tunnelsalvor utfördes provsprängningarna [6] med laddningar i djupa inspända borrhål, utan möjlighet till fritt utslag. Provsprängningarna begränsades också till detonation av en laddning per tillfälle. Laddningsmängden ökade successivt men kunde av praktiska skäl aldrig komma upp i de laddningsmängder som är aktuella i en tunnelsalva.

Borrning

På grund av borrhålens stora djup 40 meter respektive 51 meter och att det i ett borrhål (Norra Stationsgatan) krävdes borrning genom jord- och fyllnadsmassor användes en brunnsborrningrigg, typ ENTECO E14G försedd med sänkborrhammare (DTH-hammare). Sänkborrhammaren drevs av en kompressor, typ Ingersoll Rand 1070 med arbetstrycket 1800 kPa vid foderrörsborrning (ϕ 165 mm) och 2400 kPa vid borrning med sänkhammare, ϕ 96 mm.

Stomljud och stomvibrationer är proportionella mot den energi som tillförs berget. Ett brunnsborrningsaggregat med borrkronans diameter, ϕ 96 mm på en sänkhammare har en relativt låg borrsjunkning, cirka 0,4 till 0,6 m/minut, jämfört med konventionella tunnelborrningsaggregat som för salvborrning (ϕ41 mm) ligger på 2,5 m/minut.
Vid injekteringsborrningen används grövre borrkronor, ϕ64 mm vilket medför att borrsjunkningen reduceras till cirka 1 m/minut. Men i och med att borrhålsvolymen är mycket större med en sänkborrhammare blir den avverkade bergvolymen jämförbar med vad som åstadkoms med konventionella tunnelborrningsaggregat, se sammanställning i tabell 3.

Tabell 3. Sammanställning av bergavverkning för olika typer av borrmetod och borrhålsdiameter.

	Borrhålsdiameter, mm				
	41	**48**	**64**	**96**	**165**
Typ av borrutrustning	1)	1)	1)	2)	3)
Volym, liter per m borrhål	1,3	1,8	3,2	7,2	21,4
Borrsjunkning m/minut	2,5	2,3	1,0	0,5	0,15
Bergvolym, liter/minut	3,3	4,2	3,2	3,6	3,2

Anm. 1) Hydrauliskt borraggregat
2) DTH-hammare utan foderrör
3) DTH-hammare med foderrör

Bullermätningar gjordes i två fastigheter med ljudnivåmätare Norsonic 118.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Avståndet mellan borrhålet på Ryssberget och SMI varierade mellan 23 och 41 meter. Vid avståndet cirka 23 meter registrerades 43 dB(A) på lägsta våningen i byggnaden.

Provsprängningar

Vibrationsmätningar utfördes i 27 mätpunkter utomhus och inomhus i olika byggnader med instrument UVS 1500 och Infra Master.

Laddningsmängden (sprängämne Dynomit) ökade planenligt i de fyra provskotten, i borrhål 1 vid Norra Stationsgatan, från 0,5 kg till 4,0 kg. I borrhål 2 (51 meter djupt) i närheten av SMI:s byggnad genomfördes sex provskott med laddningsmängden varierande mellan 0,4 till 4,4 kg.

Högsta vibrationsnivåer var cirka 16 mm/s på fundament till gång- och cykelbro vid Norra Stationsgatan och cirka 8 mm/s i SMI:s byggnad.

Vid provskotten på Ryssberget var svängningshastigheten i golvet på SMI mellan 11 % och 77 % högre än de högsta registreringarna i sockeln. Accelerationsnivåerna i golvet var två till fyra gånger högre än motsvarande registrering i sockeln. Avståndet mellan provskotten och mätpunkterna varierade mellan cirka 35 och 90 meter.

Regressionsanalys

Resultatet av provskotten i de två borrhålen analyserades med hjälp av skallagsformeln (1) som ger ett samband mellan vibrationsnivåer, avstånd och samverkande laddningsmängd.

$$v = A \times \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{B} \qquad (1)$$

A och B = överföringskonstanter
v = svängningshastighet, mm/s
Q = samverkande laddningsmängd, kg
R = avstånd, m

En samverkande laddningsmängd på 10 kg förväntas generera vibrationsnivåer, från sprängningarna för förskärningen och arbetstunnel vid Norra Stationsgatan, på under 5 mm/s på SMI:s och KI:s byggnader. Verksamhet och utrustningar bedöms klara dessa vibrationsnivåer utan några speciella åtgärder.

Under förutsättning att erforderliga åtgärder, typ vibrationsisolering, information före varje salva etcetera utförs kommer det sannolikt att vara möjligt att utföra sprängningarna för huvudtunneln under KI och SMI med riktvärdet för byggnaden som dimensionerande.

I tabell 4 redovisas samverkande laddningsmängder för olika avstånd och konfidensnivåer. Beräkningarna är utförda för ett riktvärde (v_{10}) på 84 mm/s på byggnader.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Tabell 4. Samverkande laddningsmängder för olika avstånd, konfidensnivå och riktvärde.

	Max samverkande laddningsmängd, kg			
Avstånd, m	**50 %**	**84%**	**98 %**	**v_{till}[1)], mm/s**
15,0	5,5	3,3	2,0	69
20,0	8,6	5,2	3,1	61
30,0	16,2	9,8	5,9	52
40,0	25,3	15,3	9,2	46
50,0	35,7	21,6	13,0	42

Anmärkning: [1)]Avståndsfaktor, enligt Svensk Standard, SS 460 48 66.

Normalt brukar värdena i 84 % kolumnen kunna användas vid dimensionering av sprängsalvor. Det förutsätter att det finns indata från sprängningar av borrhål som har fritt utslag. I och med att detta saknas bör produktionsplanering utföras efter 98 % kolumnen.

Med hänsyn till byggnadskonstruktionen bedömer vi det möjligt att spränga salvor med håldjup 4 till 5 meter på ett avstånd av 30 meter. Därefter måste håldjupet reduceras successivt för att mitt under byggnaden (bergtäckning 17 meter) vara nere på 2 till 3 meter.

Station Odenplan

Från norr blir det sprängningar för två enkelspårstunnlar fram till stationstunneln som blir ett stort bergrum med arean 275 m^2 och längden 255 meter. Stationstunneln ligger cirka 30 meter under gatunivå. Bergtäckningen till tunnelbanestation, Odenplan är cirka 12 meter. T-stationen är betongtunnel byggd i en öppen schakt och delvis grundlagd på berg. T-banan är grundlagd på både berg och friktionsjord. Den senare undergrunden finns i ett område öster om nuvarande uppgång till Odenplan. Arbetstunnel, Drottningatan passerar, som närmast, cirka 30 meter från den sträcka där friktionsjordens mäktighet är som störst, cirka 7 meter.

För T-banan gäller generellt gränsvärdet 10 och 30 mm/s. Det högre riktvärdet får endast tillämpas när trafiken är avstängd. För delar grundlagda på friktionsjord pågår undersökningar för att utreda om det finns risk för sättningar på grund av sprängningsinducerade vibrationer. Dessa utredningar är i skrivande stund inte färdigställda.

Bergtäckningen till, grundläggningsnivån för de djupaste grundmurarna, Gustaf Vasa kyrkan är ungefär 12 meter. Avståndet till lägsta våningen är cirka 22 meter. Kyrkan är Stockholms största med 1500 sittplatser. Kyrkans kupol reser sig 60 meter över golvet och inventarier [7] av vilka det unika altaret av Burchardt Precht ursprungligen uppfört i Uppsala Domkyrka 1725-31 är föremål för noggrannare inventering för att fastställa om speciella åtgärder måste utföras innan sprängningsarbetet under kyrkan startar. Verksamhet bedrivs i kyrkan i stort sett alla dagar i veckan.

I området runt Odenplan finns även Läkarhuset som bedriver undersökningar med MR-kamera sju dagar i veckan. För att minimera störningar i verksamheten som bedrivs runt Odenplan kommer fasta sprängtider att tillämpas.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Arbetstunnnel, Torsgatan

I området finns Sabbatsbergs sjukhus och ett flertal kontor [8] med vibrationskänslig utrustning samt en äldre blydiktad gasledning. Men det som sannolikt kommer att dimensionera sprängningsarbetet är en del av de nya kontor, bostäder och ett hotell som planerar att byggas på södra sidan av Torsgatan och Östra Järnvägsgatan mellan Kammakargatan och Kungsbron. Byggherrar är Skanska, NCC, Familjebostäder och Qyier Invest. Det är i dags läget inte fastställt om det blir platsgjuten betong i hela stommen. Skanska utreder även alternativet med prefab-stomme på våningar ovan mark. Grundläggningen för byggnaderna mot Torsgatan blir på stålkärnepålar och stålkärnerör, max pållängd cirka 18 meter. Pålarna borras ned cirka 4 meter i berget. Bergschakt erfordras för NCC:s byggnad mot Östra Järnvägsgatan.

Schaktning för Hotellet startade i december, 2005. Hotellet skall stå klart i augusti 2007. Byggstart för övriga byggnader är inte klart men enligt de planer som gäller idag skall samtliga byggnader vara klara under 2008. Detta innebär att gjutningsarbeten kommer att pågå regelbundet från våren 2006 till 2008.

För de planerade byggnaderna redovisas riktvärdet, v_{10} när betongen uppnått 28-dygns hållfasthet i tabell 5. För nygjutna konstruktioner skall vibrationsgränsvärdet för aktuellt avstånd beräknat enligt svensk Standard, SS 460 48 66 multipliceras med en härdningsfaktor som bestäms enligt ”Diagram för beräkning av riktvärden för tillåten svängningshastighet i nygjuten betong”.

Tabell 5. Riktvärde, v_{10} respektive för kortaste radiella avstånd mellan arbetstunnel och planerade byggnader på Torsgatan och Östra Järnvägsgatan när betongen uppnått fullgod hållfasthet.

Byggnad	**Undergrund/ Grundläggning**	**Källar-golvs-nivå**	**Kortaste radiella avstånd, m**	**Riktvärde, v_{10}, mm/s (v för kortaste avstånd)**
Skanska, kontor	Fast botten/ Stålkärnepålar, längd cirka 5-10 m	+0.9	10	50 (50)
Skanska, bostäder	Fast botten/ stålkärnepålar längd cirka 5-12 m	+0.9	22	42 (33)
Familjebostäder, bostäder	Lera/ Stålkärnepålar, längd cirka10-18	+0.9	26	22 (18)
Skanska, Hotell	Lera/ Stålkärnepålar, längd 18 m	+0.9	33	26 (21)
NCC, kontor	Berg	-3	102	100 (37)

De beräkningar vi har gjort är baserade på att vi jämställt pålgrundläggningen med grundläggning på morän och lera (pålar längre än 10 m). Detta ger lägre gränsvärde än byggnader grundlagda direkt på berg. Om vi i stället räknat med berg och morän som undergrund skulle vibrationsgränsvärdena öka cirka 70 %. En höjning av gränsvärdet

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

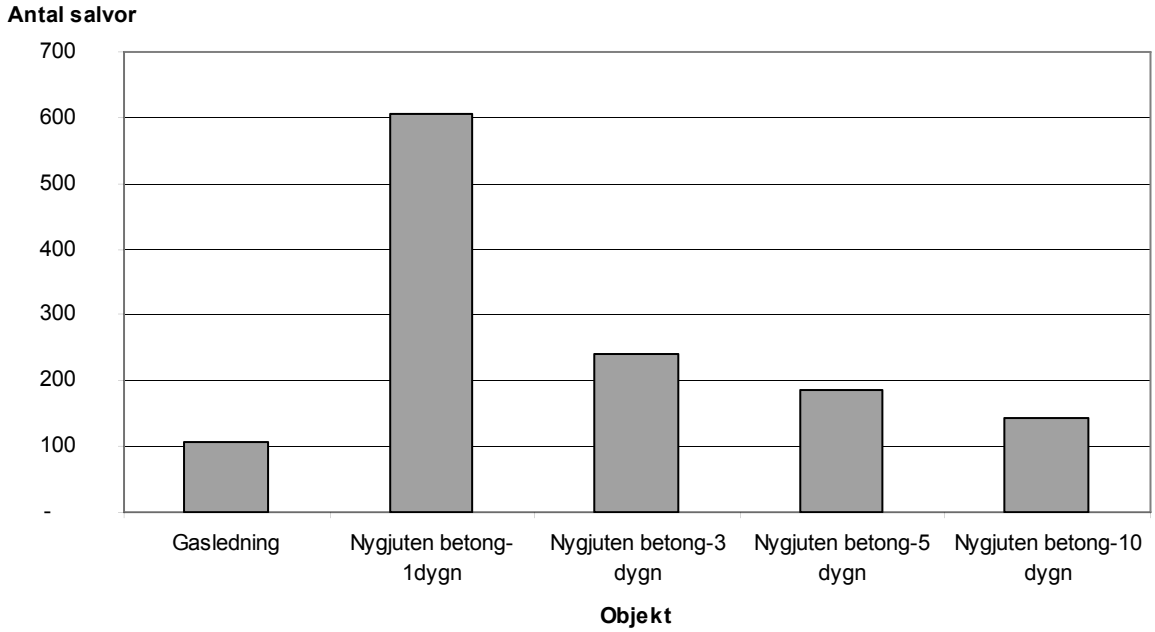
sänker kostnaden för tunneldrivningen av arbetstunneln samtidigt som risken skador på nygjutna konstruktioner ökar.

Riktvärden för nygjuten betong (standardcement) med härdningstemperatur +10 grader och olika härdningstid redovisas i tabell 6. Samtliga riktvärden är beräknade för kortaste radiella avståndet.

Tabell 6. Riktvärden för nygjuten betong vid olika härdningstid och härdningstemperatur +10 °C.

	Riktvärde, mm/s för olika härdningstid				
Byggnad	**1 dygn**	**2 dygn**	**3 dygn**	**5 dygn**	**10 dygn**
Skanska, kontor	4	11	17	24	32
Skanska, bostäder	3	8	11	16	21
Familjebostäder, bostäder	1.5	4	6	9	12
Skanska, Hotell	2	5	8	10	14
NCC, kontor	3	9	13	18	24

För att få en jämförelse med existerande förhållanden har vi utgått från riktvärdet 30 mm/s på den befintliga gasledningen i Torsgatan och nygjutna konstruktioner med härdningstiden 1, 3, 5 och 10 dygn. Längden på sträckan med nygjutna konstruktioner är 340 meter. Resultatet av beräkningarna sammanställs i figur 2. Beräkningarna har utförts för patronerade sprängämnen.



Figur 2. Förväntat antal salvor vid olika typer av dimensionerande objekt.

Inte oväntat kommer antalet salvor på den aktuella sträckan att öka dramatiskt om det finns nygjutna konstruktioner rakt ovanför tunnelfronten. Även vid en härdningstid av 10 dygn för de konstruktioner som befinner sig rakt ovanför tunnelfronten kommer antalet salvor att öka med 34 %. Skulle härdningstiden reduceras till 5 dygn ökar antalet salvor med 74 %

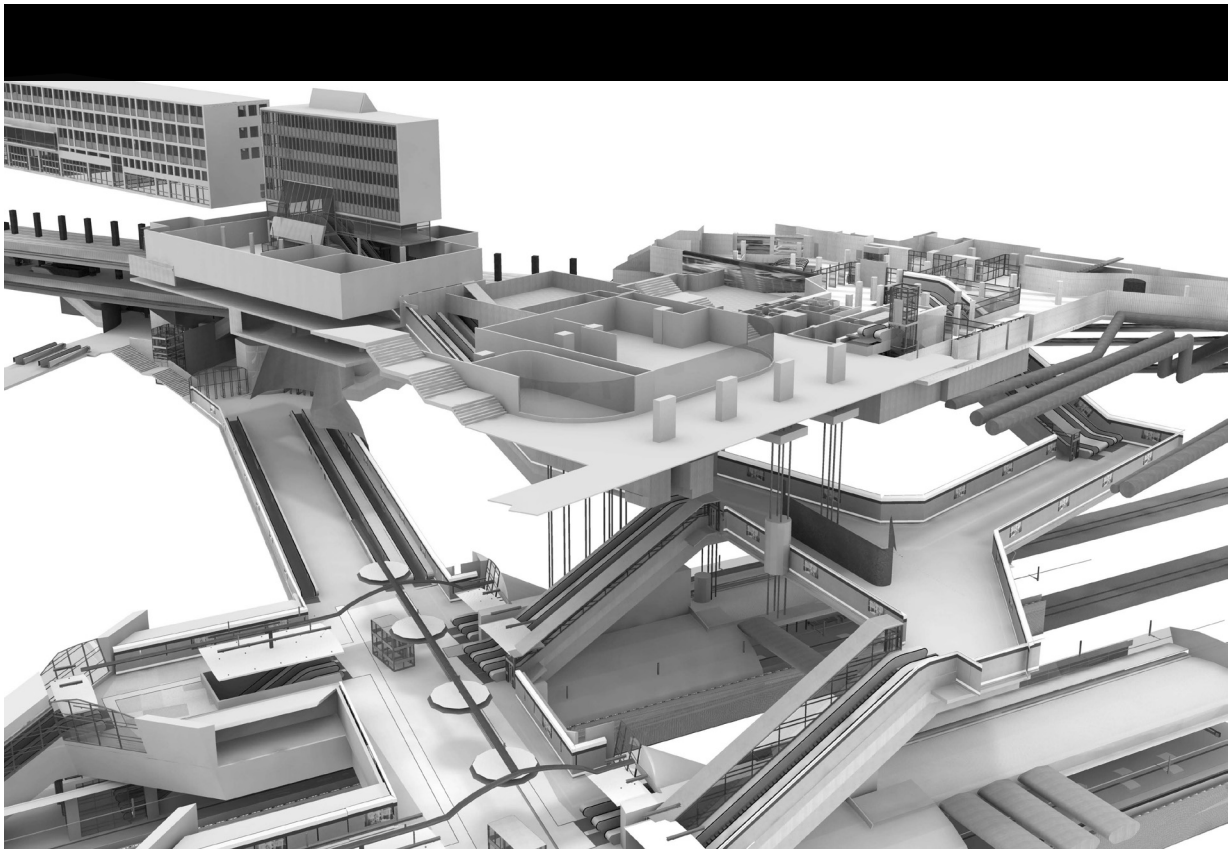
© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

jämfört med befintliga förhållanden. Om nygjutningar skulle utföras varje dag blir antalet salvor (drygt 600) orimligt stort. Sannolikt kommer det inte att bli så olyckligt att gjutningsetapperna konstant ligger rakt ovanför tunnelfronten, men en närmare precisering förutsätter att tidplanerna för alla berörda projekt är kända.

Station City

Station City byggs med två dubbelspårstunnlar som vardera får bredden 27 meter, höjden 12 meter och längden 255 meter. Avståndet från tunneltaket till marknivån är cirka 30 meter. Det blir två uppgångar, en i södra delen mot kv Orgelpipan på Klarabergsvägen och en i norra delen mot Vasagatan/Kungsgatan. Slutlig utformning av stationen är ännu inte klar.

Sprängningarna skall anpassas till bebyggelsen ovan mark, undermarksanläggningar i form av ledningstunnlar och T-banan. I den del korsningar är bergtäckningen till ledningstunnlarna mindre än 5 meter. Omfattande bergmekaniska [9] studier har gjorts av berguttaget för Station City men detta kommer inte att beröras i detta föredrag.



Figur 3. 3D-modell av station City med uppgången mot tunnelbanan röda/gröna linjer och Kv Orgelpiparen.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Tunnelbanan

Citybanan korsar under stationen för tunnelbanans blå linjen (T-Blå) med en bergtäckning på cirka 3 meter. Tunnelbanan består av bergtunnlar som är förstärkta med sprutbetong. I söder kommer sprängningar för uppgångarna att göras fram till och in under stationen för de röda och gröna linjerna (T-röd/grön). Den stationen är en betongkonstruktion grundlagd på berget med betongbågar i taket som också är grundlagda på berg.

Sprängningarna och berguttaget i närheten av tunnelbanan måste utföras med stor försiktighet med successiv förstärkning av berget och fronten uppdelad i flera salvor. Citybanan och SL AB, Storstockholms Lokaltrafik, Teknik har därför beslutat att utföra provsprängningar i T-Blå.

Syftet med provsprängningarna är att ge underlag för bedömning och fastställande av riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i olika delar av tunnelbanestationen, T-blå. Dessutom kommer resultatet att användas att förbättra underlaget för beräkning av samband mellan laddning, avstånd och vibrationsnivåer för dimensionerande avstånd. Detta kommer att utgöra underlag för beräkningar av samverkande laddningsmängder, håldjup och indrifter på olika avstånd mellan Citybanan och T-Blå.

Provsprängningarna kommer att utföras i inspända borrhål, utan fritt utslag, som borras från perrongen. Vibrations- och bullermätningar kommer att utföras i mätpunkter på bergväggar, installationer, biljetthallar och fastigheter ovan mark. Provsprängningarna har ännu inte utförts men förhoppningsvis kommer vi att ha lite mer att berätta när det är dags att hålla föredraget.

Citybanan korsar T-Röd/Grön i norrström strax söder om Tegelbacken. I den delen av övergår tunnelbanans betongtunnlar från berggrundläggning till pålgrundläggning. Förslag till sprängningsinducerade riktvärden baserade på klassificering enligt tabell 3 ovan har tagits fram men behöver sannolikt kompletteras med ytterligare utredningar.

Ledningstunnlar

Ett tjugo-tal ledningstunnlar och vertikal schakt till ledningstunnlar kommer att korsas av Citybanan. Bergtäckningen i flera av de är 5 till 10 meter. I närheten av dessa korsningar förväntas ledningstunnlarna bli dimensionerande för sprängningsarbetet. En gemensam utredning har utförts av Citybanan tillsammans med ägarna av ledningstunnlarna med syfte att inventera vibrationskänsliga installationer och ta fram riktvärden för dessa samt åtgärder för att skydda vissa installationer. I utredningen gjordes även en genomgång av erfarenheter från andra projekt, Götatunneln och Arlandabanan samt ytterligare några till där omfattande sprängningsarbeten utförts i närheten av ledningstunnlar.

Resultatet av utredningen visade att de flesta installationer, som finns i ledningstunnlarna, inte är vibrationskänsliga. Det finns dock vissa komponenter till fjärrvärmesystemet som är vibrations känsligare än själva rören. Utredning av hur dessa kan komma att påverkas och vilka åtgärder som eventuellt måste vidtagas innan sprängningsarbetena startar pågår fortfarande. I den utredningen studeras också eventuella åtgärder, i de korsningar där det finns risk för statisk deformation av ledningstunnlarna, för att förebygga skador. Om skillnaden mellan deformationer i tak och golv överstiger några millimeter kan skador uppstå på fixar och axialkompensatorer till fjärrvärmeledningar.

© 2006, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

För bergtunnlarna tillåter ledningsägarna normalt 70 mm/s men om åtgärder vidtas kan riktvärdet höjas till 90 mm/s. Riktvärdena är inte avståndsberoende. Kablar för högspänning och telekommunikation kommer att skyddas genom nätning av taket, kompletterat med viss kompletterande systembultning i känsliga snitt för att förhindra skador på grund av eventuellt nedfallande sprutbetong eller mindre block. Hela kabelstegen kläs in; fram och baksida samt ett sluttande tak på ovansidan. Även själva rören i sig kläs med typ korrugerad takplåt för att tåla nedfall/bergutfall samt vara ett skydd under nätningen av taket/borrningen.

I de flesta korsningarna är det vibrationerna som kommer att bli dimensionerande för sprängningsarbetet. Men i ett par korsningar kan det bli både vibrationer och risken för deformationer som begränsar berguttaget.

Referenser

[1] Upprättade av WSP för delen från City till Tomteboda, Ramböll för delen från Söder Mälarstrand till Årstabroarna samt ELU konsult och Golder för Norrströms- och Söderströmstunneln
[2] Carl Bro SWECO VBB

[3] Upprättade av Ansvarsbesiktning, Golder och Nitro Consult inventering av byggnader och undermarksanläggningar samt Ingemansson Technolgy inventering av vibrationskänslig utrustning och bullerkänslig verksamhet.

[4] 0237-00-026, PM Övergripande – Ledningar i mark & korsande ledningstunnlar, kulvertar och stigschakt. Peter von Reedtz och Riggert Andersson Citybanan

[5] Väg 45, Götatunneln Obj. 429010, Provsprängningar och analyser. Jan-Olov Bergling Nitro Consult, 1996.

[6] PM T1-0803-0211-0101, Resultat av provsprängningar vid Norra Stationsområdet, S-E Johansson och Joachim Jonson, Nitro Consult samt Andreas Wennblom och Karin Carlsson, Ingemanssons Technology.

[7] 0237-0812-080_023, PM Gustaf Vasa Kyrka. Mikael Lindberg WSP.

[8] 9514-13-680_PM, Arbetstunnel Torsgatan, Riskanalys för vibrationsalstrande verksamhet. Jonas Hedlund, WSP

[9] 3-D Numerical Stabiliy Analyses of the Crossing Between the Existing N6 and N7 Utility Tunnels and the City Line. Terje Brandshaug and Carlos Carranza-Torres Itasca Consulting Group, Inc. May 2005