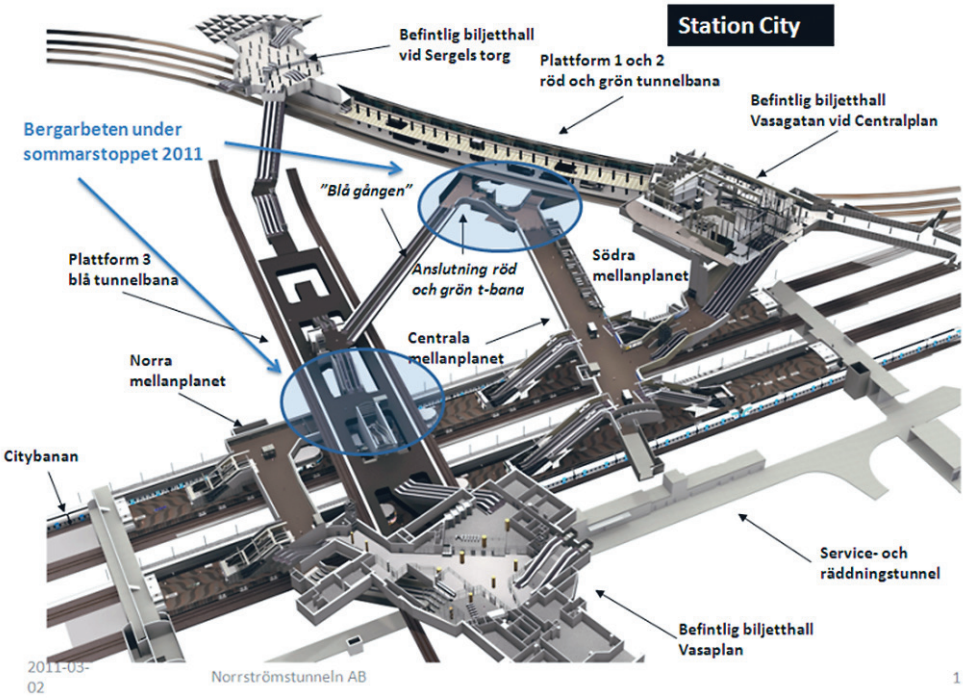
© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

6. Genomslag mellan Norrströms-tunneln och tunnelbanans Blå Linje sommaren 2011

Författare: Ulrika Sandahl, Göran Manell, Cecilia Montelius – NCC, Projekt Norrströmstunneln

Föredragshållare: Jan Udén – Projektchef, Ulrika Sandahl – Riskhantering samt KMA

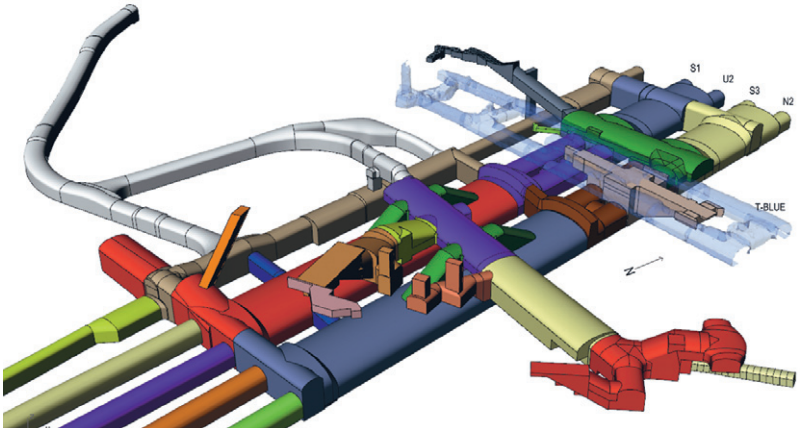
Norrströmstunneln – bergarbeten under sommarstoppet 2011



© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Allmänt

Citybanan är belägen mitt under centrala Stockholm och omfattar en 6 km lång pendeltågstunnel i berg inkl 2 st underjordiska pendeltågsstationer. Denna entreprenad, Norrströmstunneln, omfattar byggandet av Station City, bestående av spår- och plattformstunnlar, en parallell räddnings- och servicetunnel, rulltrapps- och ventilationsschakt samt ett antal tvärtunnlar inom en sträcka av ca 1 km. Berguttaget omfattar totalt ca 470 000 m^3 berg. Kontraktet är en utförandeentreprenad i samverkan mellan Trafikverket och NCC. Trafikverkets projektör WSP är också djupt delaktig i samverkansprocessen vilket bidrar till produktionsanpassade bygghandlingar och effektiv byggprocess.



Figur 1. Översiktsbild från 3D-modell Norrströmstunneln framtagen av NCC Teknik

Berguttag inför och under sommaren 2011 – T-blå

Arbetena med byggnationen av Citybanans Station City under T-centralen omfattar bergsprängning inne på stationen samt i direkt anslutning till befintlig tunnelbana. Under sommaren 2011 stängde SL av tunnelbanetrafiken på Blå Linjen mellan Kungsträdgården och Rådhuset under 4 månader. Avstängningen av Blå Linje inom denna del kallas vidare i denna artikel ”sommarstoppet” och var en förutsättning för att kunna genomföra anslutningen för de nya stationstunnlarna till befintlig station. Sammanlagt stängs trafiken av på tunnelbanans Blå Linje vid 3 st tillfällen om 4 månader vardera. Under det 1:a sommarstoppet 2009 utfördes förberedande arbeten då en provisorisk spårbrygga lades över det bergparti, som skulle tas bort i samband med berggenomslaget mellan Blå Linje och de nya plattformstunnlarna. Bergarbetena för nämnda genomslag skedde under det 2:a stoppet 2011. Vid det 3:e och sista sommarstoppet (denna sommar 2012) återställs stationen och då ersätts den provisoriska spårbron med en permanent betongbro.

© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Arbetena under sommarstoppet 2011 omfattade i huvudsak 2 st huvudaktiviteter

- Berggenomslag mot befintlig spårtunnel genom fällning av kvarvarande berg mellan Citybanans stationstunnel och Blå Linjens plattform.
- Berggenomslag mellan rulltrappschakt från Östra Mellanplanet mot Blå Gången genom borttagande av mellanliggande bergplugg.

Berguttag under Blå Linjens plattform inför sommarstoppet – vintern/våren 2011

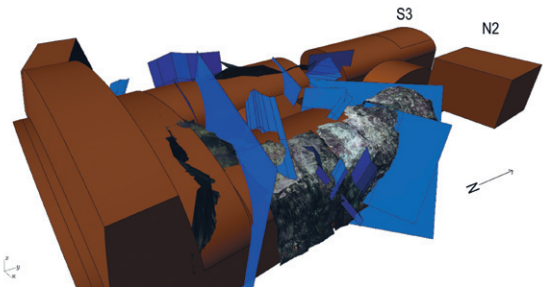
Under vintern och våren 2011 låg stort fokus på att ta ut berget i den underliggande stationstunneln under Blå Linjen. Under arbetet med att spränga och schakta bort berget i de nya stationstunnlarna var det avgörande säkerställa bergpelarna under Blå Linjen samt hinna ta ut berget i stationstunneln i tid för att klara tidplanen. Bergpelarna bär lasten från ovanliggande station och ligger i ett kritiskt bergparti med sämre bergkvalitet och ogynnsamma sprickor. Dessutom påverkades existerande bergpelares lastförmåga av berguttagen som utfördes. Detta har inneburit att vi haft en mycket komplex uttagsordning av berget under Blå Linjen. Bergtäckningen mellan Citybanan och Blå Linjen i detta parti ligger mellan 2–5 m.

Vi styrdes av förutbestämda tullgränser vilka inte fick passeras förrän ansvarig bergprojektör värderat att de antagna designkriterierna överensstämde med verkligheten. Som underlag för dessa beslut arbetade vi bl.a. med 3D-modeller som redovisande de geologiska förhållanden baserat på utförd kartering.

Arbetet var framgångrikt bl.a. genom ett nära samarbete mellan Trafikverket, WSP, SL samt NCC genom hela byggprocessen; från framtagande av bygghandling till produktionsutförande. Projekteringen omfattade alternativa projekteringslösningar som kunde väljas beroende på utfallet från den slutliga värderingen av bergförhållandena i området. De två huvudalternativen var en bergpelare, alternativt en förstärkt berg/betongpelare, det senare alternativet betydligt mer tidskrävande i ett redan tidskritiskt skede.

Detta var den mest kritiska tullgränsen för projektet både gällande tidplanen som bergstabiliteten i området. Under pågående framdrift var det nödvändigt att på ett enkelt och effektivt sätt upptäcka kritiska bergkilar i berget vilka skulle kunna ge blockutfall och då ha förödande konsekvenser för tunneln och ovanpåliggande anläggning. För att på ett tillförlitligt sätt fastställa detta mättes bergsprickor in vid stuff med totalstation.

Därefter 3D-visualiserades sprickorna till sprickplan i projektets 3D-modell och kritiska bergkilar kunde upptäckas.



Figur 2. Bild redovisande modell för 3D-kartering under T-Blå

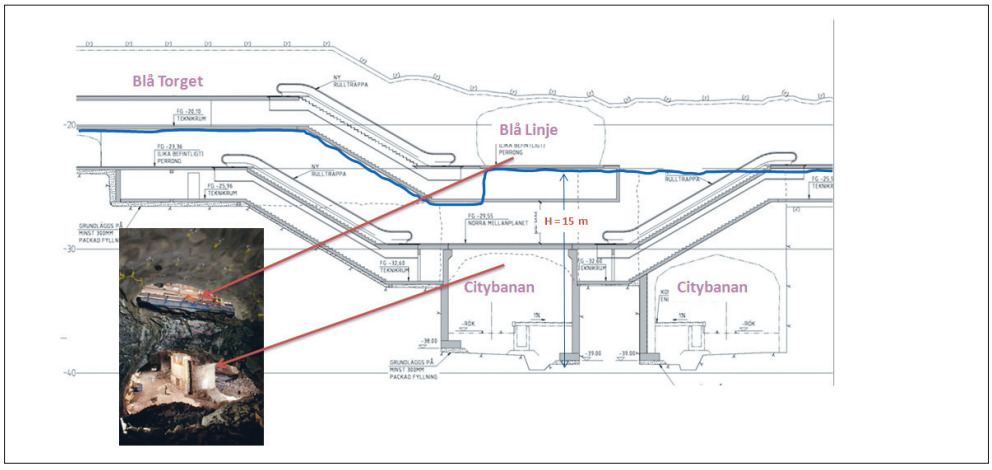
© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Metoden fungerade mycket effektivt p g a ett välfungerade team med geolog och mättekniker vid stuff, ett snabbt och säkert dataprocessförande och ett nära samarbete mellan NCCs geologer, beställarens teknikstöd och bergprojektör.

Utvärderingen vid tullgränsen visade att bergets kvalitet var tillräckligt bra, och medgav det enklare utförandet, en bergpelare förstärkt med sprutbetong samt en mindre platsgjuten betongvägg.

Anslutning till T-Blå tunnelbanstation – sommarstoppet juni–oktober 2011

Nya rulltrappsuppgångar från den nya pendeltågsstationen utförs med direkt koppling upp till såväl Blå linjen. Detta ställer höga krav säkerhet i genomförandet vad gäller projektering, drivningsmetodik, sprängteknik, metodval samt omgivningspåverkan.



Figur 3. Tvärsektion berguttag under T-Blå, fotot visar bergpelare under T-Blå

Under sommarstoppet 2011 har berget under spårbron fällts ner i plattformstunneln och genomslag mellan befintlig station och de nya plattformstunnlarna har erhållits. Berget har tagits ut i ett område med höga horisontella bergspänningar samtidigt som vi är extremt nära en befintlig anläggning som ej får skadas. Uttagsordningen för berget under blå tunnelbana är därför uppdelad i 9 st delar, där varje del måste vara klara och permanentförstärkta innan nästa del kunde påbörjas.

Inför sommarstoppet hade vi sprängt oss fram med fyra spårtunnlar under tunnelbanespåren med en bergtäckning som minst på tre meter. Vibrationsgränsen var satt till 92 mm/s mot SL:s anläggningar. Vid sprängningar med förväntade vibrationer över 30 mm/s utrymdes Blå Linjes plattform och inga resenärer tilläts att vistas där. Vid de kritiska sprängningarna i närheten av tunnelbanan användes konsekvent elektronik-sprängkapslar av typ eDev. Vi lyckades upprätthålla salvdjup över för-

© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

väntan. Normala salvor var tre meter långa med vibrationsnivåer 50-60 mm/s. Vid passage av lägen för blivande bergpelare gick vi före med en pilot och sprängde delar mot bergpelarna med släpande stross och försiktig sprängning.

För att få berggenomslag in till station Blå Linjes plattform norrifrån sprängde vi ut Norra Mellanplanet som ligger i nivå med Blå Linjens plattform. Vi sprängde fram till tre meter från genomslag till norrgående tunnelbanetunnel för Blå Linje.

Dessa tre återstående metrarna schaktade vi loss med hydraulisk spräckning. Detta gjordes genom att tunnelfronten först perforerades med Ø64 mm-hål i 30x30 cm borrmönster. Därefter spräcktes berget loss med hydraulisk bergspräckningsutrustning från firman Emstone. Spräckningen kompletterades med en berghammare som knackade loss berget. Volymen spräckt berg till färdig kontur uppgick till c:a 150 m^3 och tog 10 dagar (=140 timmar) att bryta loss.

Vi hade nu öppnat upp från Citybanan och kunde se rakt in till Blå Linjens plattform.

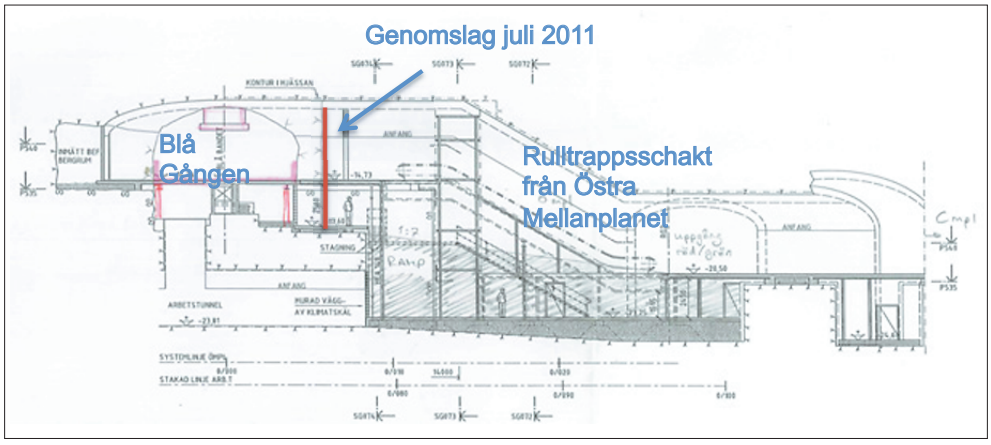
Figur 4 Fällning av berg under spårbrygga under T-Blå

Vid fortsatt berguttag under spårbryggan hade vi bestämt oss för att wiresåga sidorna. Genom detta metodval reducerades risken för ev. oförutsedda bergutfall, vilka annars kunnat äventyra upplagen för spårbryggan. Upplagen till spårbryggan låg bara ett par decimeter från den blivande schaktkanten och bergöverytan låg 50–100 cm under spårbryggan. Trots förväntade höga horisontalspänningar i berget gick sågningen utan problem. Berget hängde sig på sidorna, men vi fick ner berget genom att borra en kil riktad neråt. Vi sprängde kilen och fick ner allt berg som planerat i en smäll.

© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Anslutning Ö:a Mellanplanet till Blå Gången – sommarstoppet juni–oktober 2011

Blå Gången omfattades av SL:s avstängning av Blå Linjen under sommarstoppet. Under sommarstoppet utfördes genomslaget från Östra Mellanplanet mot Blå Gången.



Innan sommarstoppet hade rulltrappsschaktet från Östra Mellanplanet drivits fram och permanentförstärkts så att endast en bergplugg om ca 2 m återstod till genomslag in i Blå Gången.

Figur 6. Sågning inför genomslag till vänster i bild.

Bergpluggen wire-sågades som förberedelse inför håltagningen. Genom att bygga en skyddsvägg i Blå Gången kunde vi komma igång med borrning för wiresågning ett antal veckor före sommarstoppets inledning. Vi borrade hål i ett borrmönster 70x70 cm. Vi sågade sedan ut block med storleken 70x70x200 till 140x140x200. Blocken plockades sedan ut varefter tunneln kunde skrotas och permanentförstärkas. Med försiktig sprängning schaktade vi därefter bort den del i Blå Gången som skulle bli Blå Rondellen. Genomslaget ställde stora krav på kontroll av bergutfallet för att förhindra skada på SLs anläggning och störningar i tunnelbanetrafiken.

© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Riskhantering i samverkan – 3:e man, hälsa, miljö och säkerhet

Under förberedelserna inför arbetena under sommarstoppet har ett omfattande planerings- och riskarbete skett för att säkerställa genomförandet med hänsyn till säkerhet och omgivningspåverkan och samtidigt klara tidplanen. Under hösten 2010 påbörjades en gemensam planeringsprocess under ledning av Citybanan med medverkan från SL och NCC med fokus på säkerställandet genomförandet av sommarstoppet 2011. Planeringen tog sin utgångspunkt i de samlade erfarenheterna från 2009 år sommarstopp.

Såväl framdriften för att hinna framtill sommarstoppet 2011, som mängden arbete som skulle hinna utföras under det 4 månader långa stoppet, identifierades tidigt som en av de största riskerna med avseende på tidplanen. Detta tillsammans med de tekniska risker som det innebar att utföra omfattande sprängningar i direkt anslutning till befintlig tunnelbana. Så som beskrivits ovan lades stort fokus på att hitta produktionsmetoder med tillräcklig säkerhet med hänsyn till givna tidsramar samt omgivningsrestriktioner.

Vi har bedrivit riskarbetet i nära samarbete med Trafikverket enligt inarbetade gemensamma riskrutiner. Utöver detta har också externa parter, såsom SL i detta fall, aktivt deltagit i riskarbetet i syfte att ge alla berörda möjligheten att påverka. På så sätt erhölls en ömsesidig riskförståelse mellan alla och nödvändiga riskreducerande åtgärder kunde vidtas.

Planeringen inför sommarstoppet startade tidigt under hösten 2010, ett knappt år i förväg. Avstämning av föreberedelserna skedde vid regelbundna avstämningsmöten till vilka olika arbetsgrupper rapporterade. Dessa arbetsgrupper omfattade områdena ledning, produktion, brand- och personsäkerhet, trafikplanering/ersättningstrafik och information.

Metodval och teknisk granskning förankrades fortlöpande tillsammans med Citybanans byggledning, i dialog med SL:s projektledning. Detta för att inga oacceptabla trafikstörningar i tunnelbanetrafiken skulle uppstå. Sedan sprängningsarbetenas start fanns en överenskommelse om planerade tillfälliga stopp av trafiken på Blå Linjen vid sprängningar som påverkar Blå Linjens plattform. Vid dessa tillfällen utrymdes plattformen vid upp till 2 st tillfällen per dag då sprängning skedde över 30 mm/s. Inför sommarstoppet utöka-

© 2012, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

des överenskommelsen med ytterligare ett 3:e sprängtillfälle med stationstömning. På så sätt kunde tillräcklig framdrift erhållas för hinna med berguttaget under Blå Linjen i tid inför sommarstoppet, ett arbete som var kritiskt i tidplanen.

Genom att bygga in området mellan bergpelarna på Blå Linjens plattform med spräng- och gastäta väggar kunde pallsprängning påbörjas under vintern innanför dessa väggar och tunnelbanetrafiken kunde fortgå. På så sätt kunde mängden arbete som måste göras under själva sommarstoppet minskas, vilket bidrog till ökad marginal i tidplanen.

Eftersom arbetena bedrevs med tunnelbanestationen i drift ställdes höga krav på brandskyddsåtgärder med hänsyn till säkerheten för 3:e man. Väggarna mellan bergpelarna på Blå Linjens plattform uppfördes enligt krav på brandskyddsklass EI60. Arbetsområdet innanför försågs med brandlarm samt släckutrustning och förekomst av mängden brännbart material reducerades. Brandskyddsarbetet skedde i samverkan mellan byggledning, Trafikverkets brandsakkunniga samt NCCs produktionsledning.

Allt detta föregicks av noggranna riskanalyser vilka beaktade kostnader, tidspåverkan, arbetsmiljö, omgivningspåverkan samt goodwill. Riskanalyserna utförs fortlöpande inför nya arbetsmoment och skeden i entreprenaden. Alla inblandade parter jobbade i ett gemensamt riskregister där risker identifierades och följdes upp. En risksamordningsgrupp bestående av representanter från Trafikverket och NCC utser riskägare och ser till att identifierade risker omhändertas. Inför starten av arbetsmoment och skeden ska samtliga betydande risker vara åtgärdade och accepterade.

Efter två genomförda sommarstopp (2009, 2011) hittills, kan vi se flera goda erfarenheter av att i samverkan jobba med riskhantering. Några av framgångsfaktorerna för att i tid klara av att utföra komplicerade bergarbeten i känsliga omgivningar är:

- En gemensam riskbild skapar ömsesidig förståelse mellan berörda parter
- Att alla bidrar med kunskap och erfarenhet, d.v.s. prestigelöst informations- och erfarenhetsutbyte
- Leverans i tid av byggbara, produktionsanpassade bygghandlingar
- Öppenhet, förtroende och engagemang ger effektiv styrning av tid, kostnad och kvalitet
- En väl genomarbetad planering med fokus på kritiska områden skapar möjligheter att hantera ändrade förutsättningar
- Att tillgängliga resurser nyttjas optimalt
- Att kompetens tas till vara i alla led
- Framtagande av enkla lösningar som är produktionsvänliga och kostnadseffektiva
- Rätt attityd från alla parter bidrar till säker arbetsmiljö