

Uppföljning av tunnelrenovering vid järnvägstunnlarna vid Graversfors

Slutrapport SBUF-projekt 12518

2011-12-22

Hans Hogård

Jonas Olsson

Robert Sturk

Innehåll

1	Introduktion.....	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Sammanfattande projektinformation	5
1.3	Tunneldesign vid Graversfors	6
1.4	Tidigare utredningar och referenser	7
1.5	Mål och syfte med utvecklingsprojektet	8
2	Övergripande problembeskrivning.....	9
2.1	Innertak/inklådnader i bergtunnlar.....	9
2.1.1	Bergmassans stabilitet.....	9
2.1.2	Vatten- och frostsäkring	10
2.1.3	Drift & Underhåll	10
2.1.4	Summering	10
2.2	Graversforsprojektets relevans för andra tunnelprojekt	11
3	Geologi och bergmekanik.....	12
3.1	Mekanismer för blockinstabilitet i hårt berg.....	12
3.1.1	Sprickgeometri	12
3.1.2	Sprickegenskaper.....	12
3.1.3	Bergsspänningar	12
3.2	Regional geologi och tektonik i området.....	14
3.3	Geologisk uppföljning från renoveringsarbetena.....	14
3.3.1	Petrografi.....	14
3.3.2	Sprickor och vittring	14
3.3.3	Bergklassificering.....	14
3.3.4	Spänningar.....	15
3.3.5	Hydrogeologi	15
4	Resultat av undersökningar och inspektioner av berget.....	16
4.1	Blockutfall i Graversforstunnlarna	16
4.2	Erfarenheter efter utförda arbeten under 2011	16
4.3	Geologisk/bergmekanisk förklaringsmodell för blockutfallen	17
5	Observationer kopplade till innertaket	20
5.1	Takets allmänna kondition	20
5.2	Takets lastupptagande förmåga.....	20

5.3	Inspektionsmöjligheter.....	20
6	Renoveringsarbetena	21
6.1	Bakgrund och planering.....	21
6.2	Design av bergförstärkning och dränering	22
6.3	Utförande och kapaciteter	22
6.3.1	Etablering	23
6.3.2	Vägbyggnation på spår	23
6.3.3	Rivning av taksegment och maskinell skrotning av berg.....	25
6.3.4	Utlastning av Asbestmaterial och asbestsanering.....	26
6.3.5	Handskrotning	26
6.3.6	Tvättning av berg och sprutning.....	27
6.3.7	Bultborrning	27
6.3.8	Bultning	27
6.3.9	Dränsättning.....	28
6.3.10	Borttagande av väg på spår	28
6.4	Kostnader	29
7	Resultat av renoveringsarbetena	30
8	Slutsatser	31
8.1	Allmänt	31
8.2	Renoveringsarbeten	31
8.3	Erfarenheter med relevans för andra liknande tunnelprojekt.....	32
9	Referenser	34
10	Bilagor.....	35
10.1	Bilaga 1	35
10.2	Bilaga 2	36

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Trafikverket förvaltar tre korta dubbelspårstunnlar för järnväg i Graversfors utanför Norrköping.

Under våren 2011 utför Trafikverket renoveringsarbeten med Skanska Sverige AB som entreprenör och Bergab som konstruktör. Renoveringen görs bland annat som ett resultat av att blockutfall skett i tunneln, ovan det innertak som monterats.

På initiativ av Skanska Sverige AB Stora Projekt föreslogs ett uppföljningsprojekt för att dokumentera och analysera renoveringsarbetena. Frågeställningar kring tunnlar med innertak med avseende på inspekterbarhet och risk för blockinstabilitet/-nedfall är allmänt giltigt eftersom flera både äldre och nyare tunnlar byggts med olika typer av innertak och inklädnader.

Uppföljningsprojektet har genomförts av en arbetsgrupp bestående av Jonas Olsson (Bergab senare Hifab), Hans Hogård och Robert Sturk (Skanska Sverige AB). Projektet har finansierats av SBUF med naturinsatser från Skanska Sverige AB, Bergab och Trafikverket. Följande referensgrupp har följt projektet:

- Håkan Stille (Geokonsult Stille AB)
- Lars-Olov Dahlström (NCC & LTU)
- Arvid Taube (Trafikverket)
- Pär Fjällström (Besab)
- Lars Olsson (Geostatistik AB)
- Thomas Sträng (SL)

1.2 Sammanfattande projektinformation

Järnvägstunnelarna vid Graversfors ligger längs den södra stambanan strax norr om Norrköping. De tre dubbelspårstunnelarna, som ligger på en sträcka av totalt ca 2 km, byggdes som beredskapsarbete mellan 1958 och 1961. Tunnelarna är byggda med borring och sprängning och är endast sporadiskt förstärkta med bultar i tak och väggar. Tunnelarna är oinjekterade. Bergmassan består av granit. Innertakssegment, av sprutbetong på korrugerade asbest, är monterade från anfang till anfang.

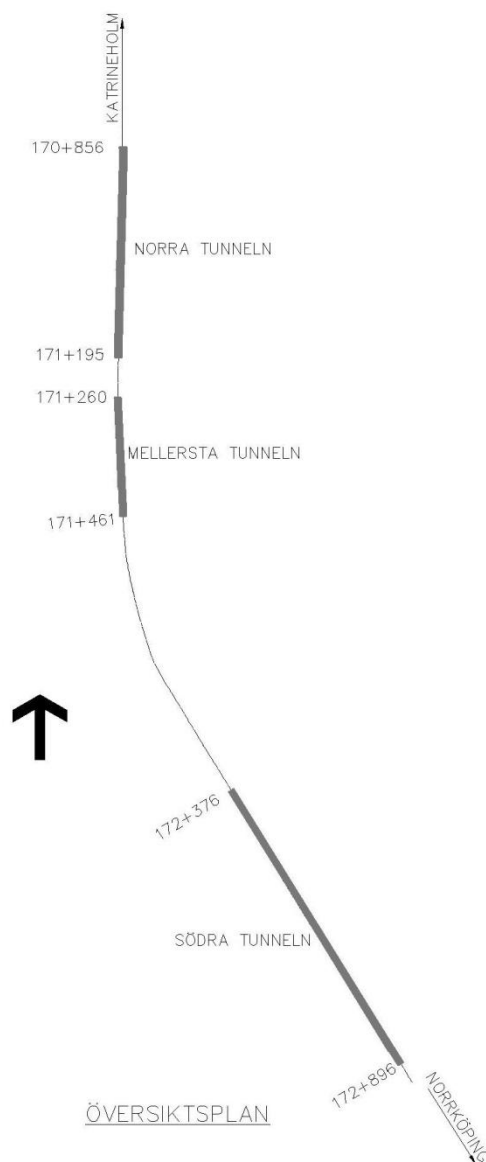
Den norra tunneln är ca 340 m lång och omfattar taksegment 1-14, den mellersta är ca 200 m lång och omfattar segment 15-23 och den södra är ca 520 m lång och omfattar segment 24-45.

I anslutning till tunnelmyningarna har förskärningarna selektivt förstärkts med stödmurar och kontreforliknande konstruktioner. Att döma av betongkvaliteten har dessa byggts vid olika tidpunkter.

Troligen har endast sporadiskt underhåll av tunnelarna skett från byggtiden och fram till inspektionerna under år 2006 då man upptäckte vissa stabilitetsproblem i väggarna.

Sedan dess har tre renoveringsinsatser genomförts, inledningsvis selektiva åtgärder under två kortare tågstopp, då de områden som bedömdes som värst utsatta har åtgärdats (Etapp 1 och 2). Därefter nu senast ett längre tågstopp då hela tunnelsystemet renoverades (Etapp 3).

Det bör påpekas att det visat sig mycket svårt att hitta information om projektet från byggskedet, exempelvis konstruktionsdokument, relationshandlingar etc.



1.3 Tunneldesign vid Graversfors

Renoveringsprojekten eller uppföljningsprojektet har inte lyckats finna någon dokumentation om den specifika designen vid Graversfors. Vi vet således inte vilka resonemang som låg bakom de lösningar som använts eller om det utförts beräkningar med avseende på bärförmåga och beständighet.

Det förefaller högst troligt att det förekommit stabilitetsproblem i tunnelarna redan under byggtiden, framförallt i den södra tunneln. Ett par så kallade "kyrkor", där kilformade block rasat ut, finns i tunneltaken och har förstärkts med hjälp av betongbalkar, se Figur 1. Dessa har gjutits innan takelementen monterats. Dessa strävor har förmodligen installerats för att undvika ytterligare nedfall men deras verkningssätt är oklart och tvivelsamt. Tunnelarna är i övrigt mycket sparsamt förstärkta med enstaka ingjutna bultar i tak och väggar. Injektering för kontroll av inläckande vatten har inte utförts.



Figur 1 Utfall i tunneltak och förstärkning med hjälp av betongbalkar/strävor.

Taken har utformats enligt en princip som utvecklades av FortF för användning i skyddsrum. Principen innebär att tunneltaken förstärks mycket sparsamt (med enstaka bult) och att ett innertak installerats som skydd för vattendropp och mindre stenedfall. Gamla typritningar finns på FortF valven och dessa visar både inspektionssluckor och kryputrymme mellan innertak och bergtak. I Graversfors har man dock inte konstruerat innertaket på det sättet.

Innertaken är uppbyggda av platstillverkade betongvalv sprutade mot korrugerade skivor av asbest-cement. Betongen är armerad med klen nätarmering. Valvtjockleken varierar från ca 60 mm i hjässan till drygt 100 mm vid anfangen. Innertaket är tillverkat i ca 18 m långa segment (längden varierar något) med ca 2 m mellanrum mellan segmenten. Mellanrummen används för montage av bärare för kontaktledning mm. Varje segment är försett med sprutade gavlar, vilket innebär att utrymmet ovan segmenten varit helt slutet och oåtkomligt för inspektion alltsedan byggtiden.

1.4 Tidigare utredningar och referenser

I följande avsnitt ges en sammanfattande kronologisk beskrivning av utredningar och händelser kopplade till Graversforstunnlarna. Beskrivningen baseras på information från tidigare rapporter och dokument som ingått i projektet Graversfors.

1961: Graversforstunnlarna färdigställda. Innertakssegmenten helt tillslutna utan någon inspektionsmöjlighet.

2005: Banverket observerar stabilitetsproblem i bergväggarna samt bompartier i taket mellan taksegmenten, vilket innebär att misstanke väcks om att det kan finnas instabilitet även i berget ovan innertaken.

September 2006: Inspektion genomförs av samtliga segment i norra tunneln samt två segment i den mellersta tunneln och tre segment i den södra. En relativt stor mängd nedfallna block i olika storlekar upptäcks, bl.a. ett stort block som vilade på innertakssegment nr 35 i södra tunneln. Dessutom fanns en hel del vittrat material ovanpå takelementen. Denna inspektion genomförs av Sweco (Inspektion och kartering av bergtunnlar, Sweco/VBB 2006).

Hösten 2007: Förnyad inspektion av innertaken, inspektionshål öppnas också i de flesta av segmenten i mellersta och södra tunnlar. Nu upptäcks bl.a. det block (som senare vid rivning visade sig vara mycket stort) som vilade på en betongbalk ovanför segment 36, södra tunneln. Denna inspektion genomförs av Bergab och finns redovisad i rapport (Inspektionsrapport av Graversforstunnlarna. 2008-02-09).

Våren 2008: Ytterligare en inspektion av de inspekterbara innertaken i samtliga tunnlar genomförs. Utifrån utförda inspektioner kan inga förändringar på anläggningens status konstateras mellan de två besiktningstillfällena, hösten 2007 – april 2008. Även denna inspektion utförs av Bergab. Under april 2008 hålls också ett möte med bergmekanisk expertis angående tunnlaras kondition, risken för negativa konsekvenser samt rekommendationer på åtgärder. Ett utdrag ur ett sammanfattande PM från detta möte redovisas i Bilaga 1. Följden av ovanstående blir att dåvarande Banverket, efter en intern riskbedömning, beslutar att hastigheten ska sänkas till max 40 km/h. Även andra åtgärder, exempelvis täta inspektioner, införs. Dessutom får SGI i uppdrag att utföra en riskanalys med fokus på att bedöma personsäkerhet vid aktuell situation med hastighetsnedsättning till 40 km/h (SGI Riskbedömning 2008).

September 2008: BV genomför en partiell renovering av tunnlar (Renoveringsetapp 1) varvid sex innertakssegment (nr 34-39) åtgärdas i den södra tunneln. Vid rivningen upptäcks att ett av blocken är betydligt större än vad som framgått av inspektionerna (segment 36). I samband med renoveringen tas även nya inspektionshål upp för att möjliggöra inspektion av samtliga segment.

Hösten 2008: BV anlitar KTH för utredningar om innertakets bärförmåga. Laborietester på insamlade provbitar från rivning och håltagning utförs för att bestämma materialegenskaperna hos innertaket. Både analytiska och numeriska beräkningsmodeller används för att skatta valvens bärförmåga. KTH lyckas återskapa den analytiska beräkningsmodell "knytnävsformeln" som FortF ursprungligen använde för dimensionering av denna typ av innertaksvalv (KTH, Teknisk Rapport 2008:12 Betongbyggnad samt Teknisk Rapport 2008:13 Betongbyggnad). Dessutom genomförs en förnyad komplett inspektion av samtliga taksegment av BV och SGI (SGI Riskbedömning 2008-06-10). Bland annat upptäcks ett omfattande nedfall på segment 14, vid inlagsvalvet i norra tunneln, som inte tidigare noterats.

Januari-Februari 2009: BV beslutar att utföra selektiva åtgärder under våren 2009 med målet att säkerställa en tillåten hastighet om 70 km/h. SGI presenterar ytterligare en riskanalys som visar att personsäkerheten är uppfylld både för 40 och för 70 km/h utan ytterligare åtgärd i form av rivning av segment, förutom att segment 14 måste åtgärdas samt att ett regelbundet inspektionsprogram genomförs för att kunna finna allvarliga förändringar av förhållandena.

Mars 2009: BV avser utföra en mindre åtgärd (Renoveringsetapp 2) för att ta hand om problemen vid segment 14 samt åtgärdande av ytterligare några segment.

Höst 2009 och 2010: Planering inför slutlig renovering. Uppföljning av tidigare renoveringsetapper visar att en fungerande metod finns för att renovera tunnlar. Handlingar tas därför fram för en totalrenovering. Ett längre tågstopp godkänns till slut och möjliggör slutlig planering och upphandling av totalrenoveringen. En första upphandling görs i början på 2010 men endast ett anbud kommer in, som en följd av detta omarbetas förfrågningsunderlaget (BEST-arbeten lyfts ur och vissa mängder minskas). Tre anbud inkommer och i februari 2011 kontrakteras en entreprenör att utföra arbetena.

Februari-Juni 2011: Trafikverket utför en total renovering av hela tunnelsystemet (Renoveringsetapp 3).

1.5 Mål och syfte med utvecklingsprojektet

Problem kopplade till innetak som döljer en förstärkt eller oförstärkt bergyta, till exempel med avseende på inspektion, underhåll samt livslängd, är av allmänt intresse för bergbyggnadsbranschen. Därför initierade Skanska Sverige AB ett projekt för att sammanställa erfarenheter från den unika renoveringen av tunnlarna vid Graversfors. Intressanta frågor är exempelvis:

- Vilka brottmekanismer i bergmassan har lett till problemen?
- Hur ser de geologiska förhållandena ut och är dessa normala eller speciella för skandinaviskt urberg?
- Hur var designprinciperna för tunneln då den byggdes?
- Vilken roll har innetaket spelat, både för att statistiskt klara blocklaster men också med utgångspunkt från drift och underhåll (inspektion)?
- Kan relevanta riskbedömningar av liknande situationer göras och vad leder dessa till för beslut?

Eftersom den planerade renoveringen skulle ske under en mycket kort och intensiv period var ett av målen att under byggtiden göra en fördjupad dokumentation och analys av arbetena för att kunna öka förståelsen för händelseförloppet. Specifika mål med projektet har varit;

- att dokumentera de geologiska förhållandena under arbetets gång och redovisa dessa på ett visuellt överskådligt sätt,
- att dokumentera och redovisa fakta kopplade till innetaket, exempelvis dess kondition och förmåga att hantera blocklaster,
- att redovisa produktionsfakta som kan ligga till grund för planering av liknande renoveringsinsatser,
- att med hjälp av insamlad data ta fram en förklaringsmodell för berggrasen, dvs om möjligt beskriva hur rasen har uppkommit och varför.

2 Övergripande problembeskrivning

2.1 Innertak/inklådnader i bergtunnlar

En relativt livlig debatt förekommer i tunnelbranschen angående heltäckande eller partiella inklådnader i tunnlar. Många aspekter finns i frågan och kravbilden är komplex både vad avser utformning/arkitektur (upplevelserelaterade frågor) och funktion (från bärförmåga, vatten- och frostsäkring till drift och underhåll). Ett flertal olika system har provats i Skandinavien, men någon standardiserad lösning finns inte. En sammanfattande beskrivning av tunnelinklådnader i Skandinavien, som beskriver kravbilden samt olika lösningar som använts i Norge, Sverige och Danmark, görs i en rapport av Nordiskt Vegtekniskt Forbund (Burvik et al. 2008). Gemensamt för de flesta lösningar är dock att inklådningen inte kan ta stora laster från nedfallande block och att konstruktionen bygger på att berget förstärks på konventionellt sätt.

I denna rapport görs en kort allmän belysning av de aspekter som är intressanta med avseende på information som framkommit inom Graversforsprojektet, dvs bergmassans stabilitet, vatten- och frostsäkring samt drift och underhåll. Dessa aspekter belyses framförallt vad gäller inspekterbarhet och möjlighet till reparation.

2.1.1 Bergmassans stabilitet

En av grundbultarna i kravställandet för tunnlar är det bärande huvudsystemets bärförmåga. Det bärande huvudsystemet utgörs i en stor majoritet av Skandinaviska tunnlar av både bergmassan själv, bergbultar (ofta ingjutna) och sprutbetong (ofta armerad) i samverkan.

Många berganläggningar i Sverige och Skandinavien, speciellt de som utförts under första halvan och mitten av 1900-talet, är endast sporadiskt förstärkta och står stabilt i årtionden. Det finns i motsats till det också exempel på tunnlar eller bergrum som rasat trots att kraftig och omfattande förstärkning utförts. Detta understryker bara det faktum att bergmassan är komplex och att stabiliteten i en anläggning inte är ett statistiskt förhållande utan beror av processer som förändras med tiden. Således bygger principen med att bygga tunnlar med ett samverkande bärande huvudsystem på att det sker en kontinuerlig inspektion och underhåll.

Självklart påverkas möjligheten till inspektion av berget och dess förstärkning om det döljs bakom en inklådning med bara en smal spalt mellan berget/sprutbetongen och inklådningen. Således måste hänsyn tas till detta då ett sådant system designas. I moderna inklådningssystem finns inspektionsfrågan med i kravbilden och man söker lösa den på olika sätt. Någon allmängiltig lösning på problemet finns dock ej. Men i äldre tunnlar, som exempelvis i Graversfors, kan inte inspektion göras om inte ny håltagning sker i inklådningen. Detta är ett stort och kostsamt ingrepp som påverkar trafiken i hög utsträckning.

Oavsett om vi kan göra en vederhäftig inspektion eller inte, måste vi i alla tunnlar bedöma risken för stabilitetsproblem under anläggningens livstid. Bedömningarna baseras på begränsad och osäker information. Ett sannolikhetsbaserat angreppssätt kan vara att föredra, emellertid måste den grundläggande geologiska och hydrogeologiska informationen vara av så bra kvalitet som möjligt. Dessutom är det svårt att bedöma vilken bärförmåga en inklådning verkligen har (vilket visat sig vara

fallet i Graversfors). Generellt gäller dock att bärförmågan är begränsad för alla fristående varianter av inklädnad och vid nedfall av större block är risken för genomstansning relativt stor.

2.1.2 Vatten- och frostsäkring

Det skandinaviska sättet att bygga tunnlar bygger på en omfattande förinjektering av bergmassan för att säkerställa tunnelns täthet i stort, därefter görs vanligen punktvis efterinjektering för att minska inläckaget i blötare partier samt reducera dropp. Därefter installeras dräner (isolerade vid frostrisk) för att hantera vattendropp som finns kvar inom trafikutrymmet. I princip tillåts inget dropp från fria tak- och väggytor, enligt Trafikverkets regelverk.

Erfarenheter från många tunnlar visar att det är problematiskt att både effektivt bygga frostisolerade dräner och framförallt underhålla dem. Detta gäller både vattnets vägar som förändras, vilket leder till att dränerna blir ineffektiva och inte tar hand om droppen på längre sikt, samt som en konsekvens av detta också isuppbyggnad. Ett steg mot att bättre kontrollera dropp i tunnlar har då varit att installera hela fristående valv antingen i tunnarnas tak eller i både tak och väggar. Det har då inneburit en förbättring avseende droppproblematiken men innebär också en tillkommande svårighet avseende möjligheten till inspektion och underhåll av berget. Valven kan göras isolerade eller oisolerade. Det inklädnadssystem som installeras i Norra Länken i Stockholm är en icke isolerad konstruktion där isbildning i utrymmet mellan inklädnad och berg tillåts.

Indikationer från Graversfors (inga dokumenterade fakta finns) pekar på att dropp tagits om hand väl av innertaken, men det har också förekommit relativt omfattande isbildning ovanpå dessa.

2.1.3 Drift & Underhåll

Många undermarksanläggningar i Skandinavien, framförallt vägtunnlar, dras med höga underhållskostnader idag, se exempelvis Burvik et al. (2008). Underhåll av trafik-tunnlar omfattar många olika aspekter men viktiga är tvättning (gäller framförallt vägtunnlar), vattendränage och isbildning på vintern. Självklart är underhåll av trafik-tunnlar komplicerat och dyrt eftersom det ofta kräver full tillgänglighet till utrymmen som är trafikerade mer eller mindre dygnet runt. Speciellt svårt blir det när, som varit fallet i Graversfors, ett större ingrepp måste göras som kräver många veckors arbete.

Ett problem vid gamla anläggningar är att olika handlingar, exempelvis dimensioneringsprinciper och relationsritningar ofta inte finns tillgängliga och om de gör de är informationen ofta bristfällig. Således behöver bedömningar om underhåll och eventuella reparationer göras utifrån begränsat underlag framförallt baserat på vad som kan inspekteras.

En debatt förs idag, och flera utvecklingsprojekt drivs, inom området LCC analys. I den typen av analyser tittar man på ett projekts totalkostnad sett över hela livslängden och balanserar exempelvis investeringskostnader med framtida underhållskostnader. Kanske är det så att det är mer kostnadseffektivt att välja en mer robust konstruktionslösning som har högre investeringskostnad men i det långa loppet blir billigare tack vare lägre underhållskostnader?

2.1.4 Summering

När man designar ett tunnelsystem med inklädnad måste man således minst beakta alla ovan beskrivna aspekter. I Graversfortunnlarna, vilket kommer framgå mer i detalj senare i rapporten, har

detta inte skett. Vatten och frostsäkring har fungerat tillfredsställande medan bergets stabilitet på lång sikt inte i tillräcklig omfattning tagits om hand. När det gäller inspektion och underhåll finns också stora brister i den lösning som valdes för Graversforstunnlarna.

2.2 Graversforsprojektets relevans för andra tunnelprojekt

Resultaten från Graversfors, både avseende själva rasen och renoveringsarbetena, bedöms ha stor relevans för andra tunnelanläggningar och -projekt. Flera frågeställningar är viktiga och har också i branschen setts som prioriterade områden under senare år:

- dräneringsproblematiken
- inspektion av bergytan bakom en "fristående" inklädnad
- underhåll av både det bärande huvudsystemet, dränage och installationer
- säkerhet (mot ras), speciellt i ett LCC-perspektiv
- möjlighet att utföra kostnadseffektiva renoveringsarbeten

I de följande avsnitten beskrivs fakta från Graversforsprojektet. Slutsatser och erfarenheter presenteras i slutet av rapporten.

3 Geologi och bergmekanik

3.1 Mekanismer för blockinstabilitet i hårt berg

Blockinstabilitet i hårt berg är ett vida omskrivet ämne och ett förhållandevis enkelt bergmekaniskt problem, åtminstone vad avser mekanismer och beräkningsteorier. Det betyder dock inte att det är enkelt att prognostisera huruvida ett block i en tunnel är stabilt eller inte. Många osäkra parametrar påverkar stabiliteten, som så ofta när geologi och grundvatten styr utfallet. I denna rapport ges en kort introduktion till de parametrar/förhållanden som i huvudsak styr blockstabiliteten i ett sprucket berg. Syftet är att ge en bakgrund till den förklaringsmodell för blockinstabiliteten vid Graversfors som presenteras senare i rapporten.

Analys av blockstabilitet görs normalt vid dimensionering av bergförstärkning och normalt är att nyckelblock låses med bergbultar som sedan samverkar med sprutbetong för att säkerställa storstabiliteten i en tunnel. En viktig faktor är bultarnas längd i förhållande till blockens storlek och form. Trots att man ofta i projekteringskedet bestämt bergförstärkningens omfattning är det viktigt att göra en geologisk kartering och uppföljning under byggandet för att verifiera att sprickgeometrin följer förväntningen.

3.1.1 Sprickgeometri

Sprickorna i berget skapar en blockig struktur som självklart bestäms av dels hur många sprickor som finns och till vilka sprickgrupper dessa hör, samt dels hur sprickgrupperna är orienterade. Ofta förekommer i svenskt urberg minst tre sprickgrupper, men ibland flera. Sprickgruppernas orientering är kopplad till den geologiska historien och vilka tektoniska rörelser bergmassans utsatts för. Flera sprickgrupper samverkar oftast för att skapa potentiellt "lösa" block eller kilar av olika storlek i både tunneltak och tunnelväggar.

3.1.2 Sprickegenskaper

Kraftspelet kring ett block i bergmassans bestäms i hög grad av sprickyttans förmåga att ta upp skjuvspänningar. En rå och ondulering sprickyta har högre skjuvhållfasthet än en slät och plan spricka. Normalt diskuteras två aspekter av sprickegenskaper; råhet och omvandling (Joint Roughness J_r och Joint Alteration J_a).

Sprickyttornas utseende och egenskaper är också kopplat till vilka geologiska processer bergmassan varit utsatt för. De storskaliga deformationer, med faktorer som tension kontra kompression respektive spröd kontra plastisk deformation, som skett i bergmassan påverkar sprickyttans råhet och ondulering. En rad sprickbeläggningar förekommer dessutom i svenskt urberg, i olika omfattning, och är resultat av exempelvis vittringsprocesser, skjuvdeformationer samt hydrotermal omvandling och mineralisering.

Olika modeller finns för att klassificera en sprickyttas egenskaper och bestämma dess skjuvhållfasthet. Ibland genomförs också laboratorieförsök på sprickyttor.

3.1.3 Bergsspänningar

En mycket viktig faktor för blockstabiliteten är spänningssituationen i bergmassan. Kraftspelet påverkas positivt av framförallt horisontella in situ spänningar som "klämmer ihop" bergmassan

(problem med för höga spänningar behandlas inte här). Blockstabiliteten kan motsatt påverkas mycket negativt om bergets in situ spänningar är låga. I Sverige är normalt den största horisontalspänningen större än vertikalspänningen vilket också oftast är gynnsamt för blockstabilitet i tunnlar. Naturligtvis har också tunnels riktning i förhållande till spänningsriktningen betydelse för stabiliteten.

Bergspänningarna är svåra och kostsamma att mäta och kan också lokalt variera, på grund av variationer i bergmassan (exempelvis svaghetszoner). Det är dock av central betydelse att förstå den tektoniska historien i ett område, och information om detta kan hämtas från geologiska kartor (SGU) och översiktliga karteringar av topografi och lineament. Med denna kunskap kan man dra slutsatser om stabiliteten i tunnlar och eventuella problem kopplade till blockutfall trots att man inte har mätningar just i aktuellt projekt.

Information om spänningar kan också hittas i databasen World Stress Map (www.world-stress-map.org).

3.2 Regional geologi och tektonik i området

Området där de tre tunnarna är lokaliserade tillhör Graversforsmassivet. Graversforsmassivet tillhör yngre graniterna och utgörs primärt av Graversforsgraniten som kännetecknas av en grovkorning ögonförande typ av granit med delvis, plagioklasmantrade, runda microklinögon. Färgen är vanligen blekröd men även gråröda och blekvioletta typer förekommer. Kvartsen varierar mellan blå och gråvita nyanser. Hornblände är det vanligaste mörka mineralet och dominerar över biotit, Wikström (1976).

Tektoniken i Graversforsmassivet är påverkad av de två förkastningarna, Närken- och Bråviksförkastningen. Där Närkenförkastningen ligger i nord sydlig riktning och följer tunnarna på den östra sidan medans Bråviksförkastningen ligger i öst västlig riktning söder om tunnarna. Dessa två har gett upphov till rörelser i området.

3.3 Geologisk uppföljning från renoveringsarbetena

3.3.1 Petrografi

Graversforsgraniten som karterats är grovkorning och rödgrå till färgen, oftast ögonförande och där kvartsen varierar mellan blå och gråvita nyanser. Graniten är oftast massformig men ställvis folierad.

3.3.2 Sprickor och vittring

De tre tunnarna skiljde sig avsevärt med avseende på struktur och vittring.

I den norra tunneln var berget uppsprucket med relativ stor sprickfrekvens och många sprickgrupper men med låg vittringsgrad.

Den mellersta tunneln uppvisade samma sprickfrekvens och samma uppsättning sprickgrupper men en högre vittringsgrad. Särskilt de södra delarna av den mellersta tunneln var områden med kraftig vittring, och detta troligtvis pga den låga bergtäckningen och närvaron av vatten.

I tunneln längs i söder var berget mer storstrukturellt med färre sprickgrupper och där sprickorna var mer uthålliga. Uthålligheten i kombination med sprickgruppernas orientering, strykning och stupning i 320/80 och 110/70, skapade geometriska förutsättningar för utfall, vilket även skett i mitten av den södra tunneln.

3.3.3 Bergklassificering

Efter att rivningen av segmenten var klar utfördes en grov geologisk kartering samt klassning av berget enligt Q-systemet. Karteringen gjordes från tunnelgolvet med endast punktbelysning som hjälp. Q-värdet varierade mellan 1 och 11. De lägsta Q-värdena återfanns i den mellersta tunneln och kvaliteten påverkades av både dålig bergtäckning och omvandlat berg. Karteringen återfinns i Bilaga 2.

	Norra tunneln	Mellan tunneln	Södra tunneln
Q	2,5 – 6,5	1 – 6	9 – 11

3.3.4 Spänningar

Eftersom det inte finns några data går det inte med säkerhet att säga något om spänningssituationen i tunnlarna. Tunnlarna ligger dock väldigt nära stora förkastningar, i en korspunkt mellan Närken och Bråvikensförkastningarna. I regional skala har Graversforsmassivet förskjutits vertikalt uppåt och närliggande block neråt. Dessutom, vilket sannolikt är kopplat till ovanstående, är området topografiskt relativt varierande med isolerade "bergknallar" omgivna av dalar och svackor.

Sammantaget innebär detta att det inte är osannolikt att en avlastning har skett i området där tunnlarna ligger. Några synliga tecken på att bergmassan har låga spänningar har dock inte noterats under de nu utförda arbetena. Bergspänningens inverkan på blockinstabiliteten kan inte uteslutas även om denna upplevs som mer geometriskt betingad.

3.3.5 Hydrogeologi

Tunnlarna ligger alla i randområden av bergsryggar varför påverkan av grundvatten kan anses som liten. Det som påverkar inläckaget till tunnlarna är till stor del ytvatten. Sannolikt är exempelvis den vittring som noterats i den mellersta tunneln ett resultat av genomströmning av ytvatten.

Den södra tunneln har större bergtäckning och är därmed i högre utsträckning påverkad av grundvatten. Detta återspeglas i behovet av dränmattor, som varit mindre i den norra och mellersta tunneln och högre i den södra tunneln.

4 Resultat av undersökningar och inspektioner av berget

4.1 Blockutfall i Graversforstunnlarna

SWECO genomförde 2006 en stickprovsinspektion för att få en uppfattning om tunnarnas status. Detta resulterade i att Bergab våren 2008 genomförde en totalinspektion av de tre tunnarna. Där även inspektion bakom samtliga taksegment genomfördes genom att såga upp inspektionsluckor i gavlarna på varje taksegment.

Vid dessa inspektioner visade det sig att bakom samtliga taksegment fanns det brister enligt BVs "Inspektionshandboken för tunnlar" och där samtliga klassades enligt tillståndsklass 2 eller 3. Där tillståndsklass 2 definieras som bristfällig funktion inom 3 år och tillståndsklass 3, bristfällig funktion vid inspektionstillfället.

Vid inspektionen noterades bergkvalitet, blockstorlek och övriga synbara parametrar så som mängden bergmaterial på taksegmenten, närvaro av bult, och om dessa var korroderade.

Bergblock med kantstorlek från 60 cm till >300 cm noterades. Ett av de största blocken låg löst på en av de betongbalkar som gjutits i en av kyrkorna, det uppskattades som stort redan vid inspektionen och visade sig sedermera vid rivning vara ca 25 m³. På ett flertal valv noterades lösa block med storlek av upp till minst 1 m³ (under inspektionen var det dock svårt att i detalj uppskatta storleken på grund av de mycket begränsade inspektionsmöjligheterna).

Vid besiktning bakom segmenten visade det sig även att graniten ställvis var mycket vittrad. Detta kunde ses på innertaken där mycket "grus"-material ansamlats. Även mellan segmenten fanns partier som var mycket ytvittrade, speciellt i den mellersta tunneln. En svårighet vid inspektion av dessa områden var att spalten mellan berg och tak var smal och ställvis fylld med mindre bergmaterial (grus och småsten). Det var under inspektionen i princip omöjligt att avgöra hur långt upp dessa utfall sträckte sig. Vid rivning visade det sig senare att en del av det som tolkats som utfall var ganska spetsiga gaddar som satt kvar mellan nedrasat berg.

4.2 Erfarenheter efter utförda arbeten under 2011

Det är först under renoveringen i Etapp 3 (2011) som en total bild av förhållandena kunnat göras eftersom samtliga takelement då tagits ner. Under arbetena har samtliga bergytter inspekterats, skrotats och översiktligt karterats. Bergytan har också scannats. Man har kunnat se hur berget varit förstärkt och det kan konstateras att bergförstärkningen varit väldigt sporadiskt, enstaka bultar har installerats.

Det visade sig att inspektionen gafflat in problemet, dvs inspektionen lyckades identifiera de värsta områdena. Alla stora block hade identifierats vid inspektionen och tagits ner under Etapp 1 och 2. De tre renoveringsetapperna följde den inspektion som genomförts och inga större överraskningar påträffades efter att innertaken tagits ner. Det verkliga förhållandet i tunneln var snarare bättre än vad som befarats vid inspektionen med ett mer homogent berg och mindre vittring.

I Etapp 1 genomfördes de mest akuta åtgärderna och Etapp 2 följde de mindre akuta men som fortfarande innebar bergteknisk risk. Inför tredje etappen ansågs det inte föreligga några

bergtekniska risker varför det fanns tid att genomföra en ordenlig projektering, ansöka om ett längre tågstopp och då även renovera övriga konstbyggnader (murar, kontreforer och portaler). Det är noterbart att dessa var i klart sämre kondition än vad som framkom vid inspektionen.

Vid tvättningen av tunnlarna hittades ett område med kraftig svart beläggning. Det visade sig att det brunnit i tunneln (dränbrand) någon gång på 90-talet. Detta var något som inte kommit fram under planeringen och projekteringen av arbetena.

4.3 Geologisk/bergmekanisk förklaringsmodell för blockutfallen

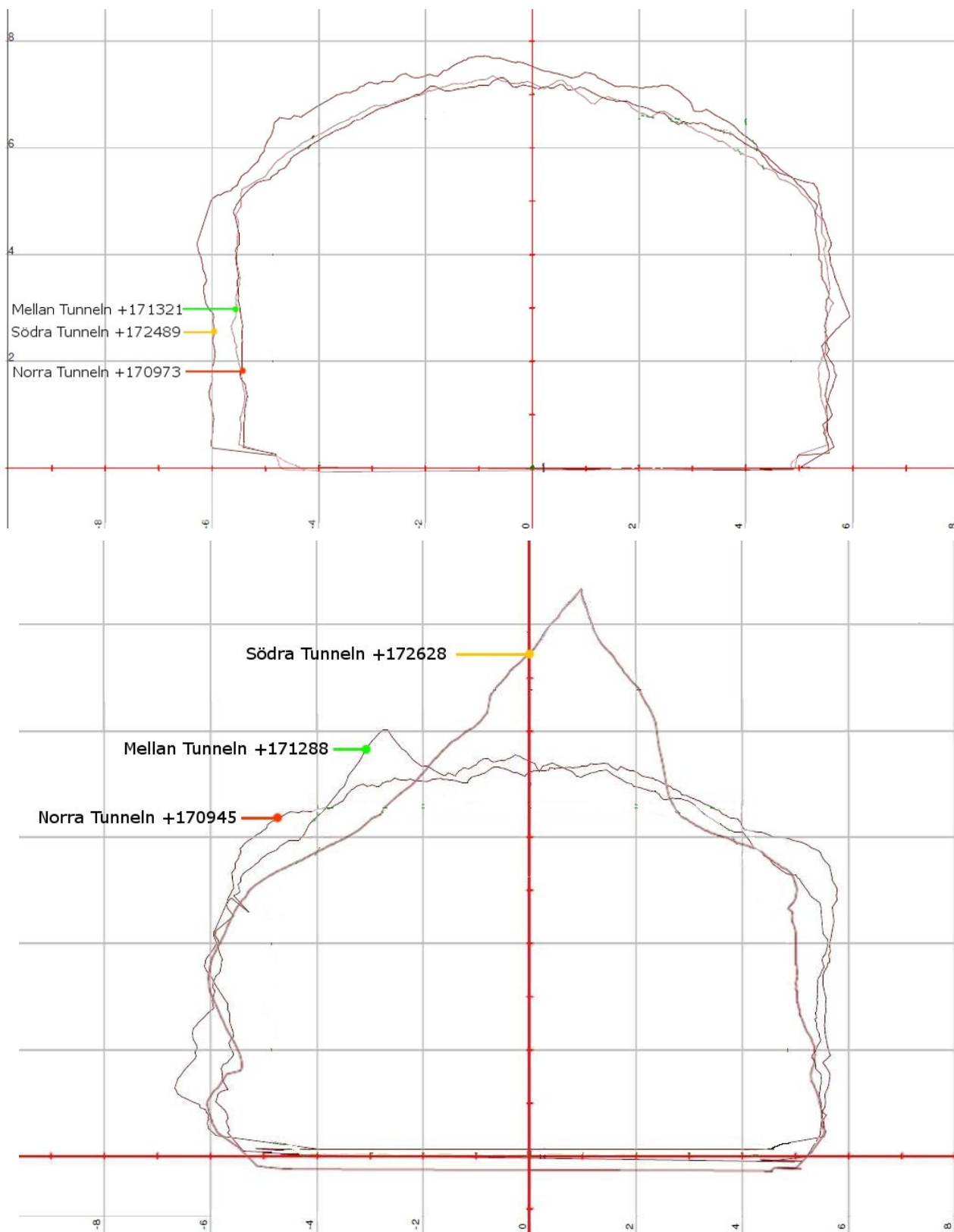
Efter fullständig inspektion och renovering av de tre tunnlarna kan man konstatera att det bara var i den södra tunneln det skedde utfall av "block". I både den norra och mellersta tunneln fanns mindre utfall/vittring på de tak som revs och även från bergskrotningen plockades mindre stenar ner, dock inga som per definition kan klassas som block. I Figur 2 visas några typexempel på scannade sektioner för de tre tunnlarna.

Det är naturligtvis inte möjligt att med full säkerhet och i detalj förklara vad som inträffat vid Graversfors och varför blocken blivit instabila, därtill är informationen för osäker. Baserat på de fakta som samlats in, dels från tidigare arbeten och dokumentation, dels från de nu aktuella arbetena, kan man dock dra några generella slutsatser som pekar mot ett troligt scenario:

- Som beskrivits ovan fanns det i den södra tunneln en större omvandlingszon som följer tunneln parallellt till subparallellt en längre sträcka i taket. Det är sannolikt att blockutfallen således till största delen beror på sprickgeometri. Den geologiska uppföljningen visar att sprickgrupperna är orienterade så att kilar bildas i taken i framförallt den södra tunneln. Stora utfall inträffade också under byggtiden, vilket resulterat i den någon tveksamma installationen av betongsträvor i taket.
- Det är också troligt, baserat på den tektoniska situationen både regionalt och lokalt vid tunnlarna, att horisontalspänningarna är låga i Graversforstunneln. Detta kan således ha haft en negativ inverkan på blockstabiliteten, speciellt då större kilar bildats i taket.
- Sprickegenskaperna däremot, bedöms inte ha en avgörande betydelse för blockens stabilitet i detta fall, åtminstone inte på kort sikt.

Utöver ovanstående finns några övriga faktorer som sannolikt påverkar stabiliteten, dessa är:

- Temperaturvariationer (isbildning har iakttagits ovan innertaken och på väggarna). Om vatten i sprickor tinar och fryser i många cykler sker frostsprängning i sprickorna, vilket kan leda till att bergblock på sikt "bryts loss" och blir instabila.
- Grundvattensituationen. I mellantunneln har troligen ytvattnets rörelser i berget bidrag till vittring av bergmassan. Detta har lett till en successiv uppluckring, minskad kohesion i sprickorna och att mindre stenar lossnat.



Figur 2 Typexempel på scannade sektioner från de tre tunnlarna.

De två senaste faktorerna, som är "långsamma" processer, innebär att risken för instabilitet ökar med tiden, medan de tre första kan innebära instabilitet även på kort sikt. Mot bakgrund av att det i den södra tunneln inträffade ras under byggtiden samt att de rasade områdena inte förstärks på ett, enligt dagens standard, vederhäftigt sätt, är det troligt att de stora blocken i södra tunneln blivit instabila relativt kort tid efter tunnelns färdigställande. Man kan dock inte utesluta att långsammare processer som vittring och frostsprängning också ökat bergmassans mobilitet. Detta har varit tydligast i den mellersta och norra tunneln.

5 Observationer kopplade till innertaket

5.1 Takets allmänna kondition

Innertakets kondition var mycket bra. Inga tecken på dålig betong har iakttagits. Bultinfästningen i anfangen var också bra och det krävdes intensiv knackning för att få bort betong och asbest för att sedan kunna kapa bultarna. De sprutade valven har haft en jämn och fin kvalitet, exempelvis när det gäller sprutbetongens tjocklek. Inte heller asbestcementskivorna visar några som helst tecken på förslitning, vilket i och för sig kanske inte är så förvånande.

Sammantaget kan man konstatera att, jämfört med övriga betongkonstruktioner i och mellan tunnlarna t ex stödmurar och kontreforer som ställvis varit mycket dåliga, är sprutbetongen i väldigt gott skick och takvalven har varit förvånansvärt opåverkade av 40 års åldrande.

5.2 Takets lastupptagande förmåga

Frågan om takets lastupptagande förmåga har diskuterats i tidigare rapporter och riskanalyser som tagits fram inom Projekt Graversfors. Denna rapport syftar inte till att utreda den frågan på djupet men några observationer från renoveringsarbetena är:

- Rivningen indikerar att armeringen i takelementen var spröd. Detta innebar att takelementen föll isär i mindre (meterstora flak) bitar vid rivning. Konstruktionen var således inte speciellt seg utan uppvisade ett sprött brottbeteende.
- Trots detta har taket inte gått sönder av de block som faktiskt fallit ner på det. Däremot fanns i något segment en sprickindikation just där ett block fallit ner. Takelementen har bevisligen motstått stora blocklaster och sannolikt också under lång tid.

Det har visat sig svårt och motsägelsefullt att förstå och räkna på det aktuella lastfallet/-situationen och därmed bestämma både den teoretiska och verkliga bärförmågan. Möjligen kan man konstatera att det, för kommande liknade projekt, varit intressant att göra ett fullskaletest av takets lastupptagande förmåga i tunneln. Emellertid utgör förekomst av asbest en stor begränsande faktor för genomförandet av försök och andra aktiviteter i tunneln.

5.3 Inspektionsmöjligheter

Möjligheterna till inspektion har varit mycket små med den design som funnits i Graversfors. Enda alternativet har varit att genomföra tågstopp och under dessa ta upp hål i taksegmenten. Även med dessa hål kan endast selektiv och okulär inspektion och bedömning göras. Till exempel lyckades inte inspektionerna att helt bestämma storleken på de instabila blocken (ett block i Segment 36 visade sig vara betydligt större än man trott).

Det är emellertid mycket viktigt att påpeka att den fullständiga inspektion som nu genomförts under totalrenoveringen av tunnlarna visar att de punktvisa inspektioner som gjorts mellan år 2006 och 2008 har lyckats identifiera de aktuella problemen, och de allvarliga/kritiska områdena har kunnat ringas in och åtgärdas i enlighet med en korrekt prioritering.

6 Renoveringsarbetena

6.1 Bakgrund och planering

Renoveringsarbeten i de tre tunnlarna i Graversfors utfördes vid tre etapper då tunnlarna stängdes helt från trafik. Tågtrafiken leddes då om via andra järnvägssträckningar. Totalavstängningar på stambanan kräver lång framförhållning och innebär stor påverkan för järnvägstrafiken. Två korta avstängningar planerades in 2008 och 2009 då de områden i tunnlarna som ansågs vara i sämst skick åtgärdades. Med längre framförhållning lyckades ett längre trafikstopp planeras in 2011 då resterande delar åtgärdades.

De två första korta avstängningarna utfördes som löpande räkning, medan den sista etappen handlades upp i konkurrens som generalentreprenad.

Ettapp 1

2008 augusti september 5 veckor

6 takegment i södra tunneln

Utförare Bergproduktion HB (Besab i samarbete med Structon)

På sträckan där takelement tagits ned installerades fria dräner med branskyddsduk. Detta arbete utfördes efter perioden då tunnlarna var totalavstängda.

Ettapp 2

2009 februari mars ca 4 veckor

2+1* segment i norra tunneln

Utförare Bergproduktion HB (Besab i samarbete med Structon)

Ettapp 3

2011 februari juni 15 veckor

37+3* segment. 12 i norra tunneln, 9+2 i mellantunneln och 16+1 i södra tunneln.

Utförare Skanska Sverige AB

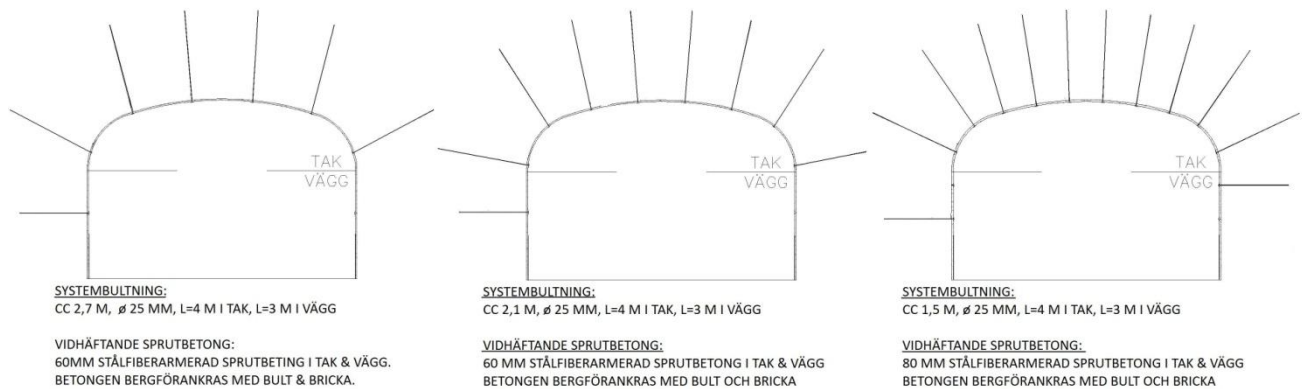
I Ettapp 3 ingick även renovering av stödmurar och inslagsvalv samt ombyggnad av kontaktledningsanläggningen i tunnlarna.

**Avser de kortare element som var placerade intill inslagsvalven längd ca 10 meter övriga element var ca 18 meter.*

6.2 Design av bergförstärkning och dränering

Förstärkningsdesign togs fram av Bergab mot bakgrund av de specifika bergförhållandena och för effektivast möjlig produktion.

Bergförstärkningen delades in i tre olika förstärkningsklasser (A, B och C, se skiss) som alla byggde på ett heltäckande lager av fiberarmerad sprutbetong i väggar och tak samt systembultning med utanpåliggande brickor.



Figur 3 Förstärkningsklasser

Denna typ av förstärkning, där tunnlnarna alltid sprutas i sin helhet innan de systembultas, är tydlig och förutsägbar för entreprenören. Detta gör att resurser och material kan planeras effektivare än om det även finns förstärkningsklasser med selektiv bultning.

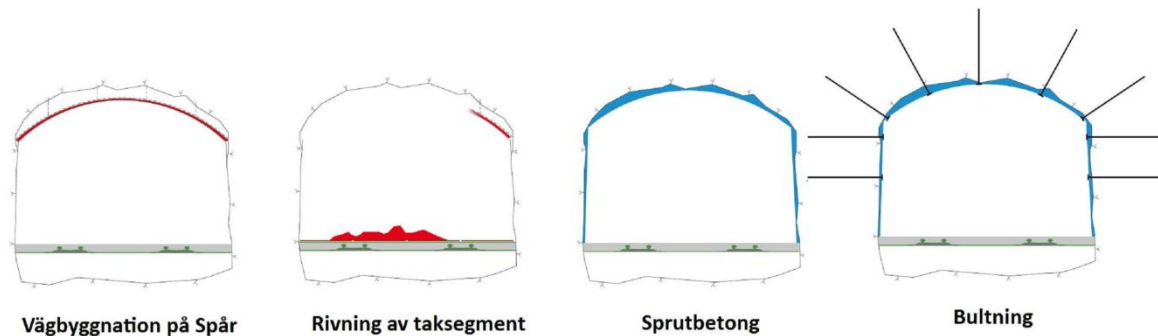
Förstärkningsdesignen behölls oförändrad för de tre olika etapperna.

6.3 Utförande och kapaciteter

Metod för utförande av åtkomst till tunnlnarna samt rivning och förstärkning är framtaget för Etapp 1 och 2 av Bergproduktion i samarbete med Banverket (numer Trafikverket).

I Etapp 3 användes samma metod som i de tidigare etapperna. Det som gjordes annorlunda var utförandemetoden för vägbyggnationen samt att det i den sista etappen etablerades el- och vattenförsörjning längs hela sträckningen.

Nedan beskrivs de olika arbetsmomenten. Kapaciteter som nämns är hämtade från Etapp 3.



Figur 4 Huvudsakliga arbetsmoment

6.3.1 Etablering

Vid de två första korta etapperna fanns inte tid att etablera el- och vattenförsörjning samt verkstad. I dessa etapper utfördes arbetena 24 timmar per dygn med full uppsättning reservmaskiner på plats. Vatten för produktionen kördes till arbetsplatsen i tankbilar och maskinerna drevs med diesel.

I den sista etappen som var längre än de första etapperna etablerades el, 1000- och 400 volt längs hela byggsträckan. Vattenförsörjning etablerades från ån norr om norra tunneln där ett reningsverk för vatten placerades. Åvattnet renades via sandfilter för att uppfylla krav på vattenkvalitet för vattenbilning. Detta vatten leddes i ledningar längs hela sträckningen och användes även för bultborrning, tvättning av berg samt för eftervattning av sprutbetong. Till bultsättningsbruk användes vatten från två borrhållningar inom arbetsområdet.

I Etapp 3 påbörjades trafikavstängningen 26 februari. I de två tunnlarna som renoverades först, den norra och den mellersta, monterades väderskydd i tunnelmyningarna i form av pressningar hängda i balkar och inplankning ovanför dessa. Vid sprutningsarbetena värmdes tunnlarna med Kocoverk.

6.3.2 Vägbyggnation på spår

Spåret i tunnlarna är försett med urspårningsräl, dvs två extra skenor sitter mellan rälen för att mildra effekterna vid en eventuell urspårning, se Figur 6.

I de båda första etapperna byggdes vägen på spåret genom att geotextil lades ut direkt på makadamen och spår och ovanpå detta lades bergkross. Utläggningen skedde med lastbilar och grävmaskin.

I Etapp 3 användes spårbunden utrustning för utläggningen. För att underlätta borttagandet av vägen lades först spårmakadam direkt mellan spåren för att skydda dessa. Tanken med detta var initialt att kunna plöga bort spårmakadamen och då använda delar av mängden som ballastkomplettering.



Figur 5 Lastning av tågagnar från provisorisk lastramp

Massorna för vägbyggnationen lades upp på lager på arbetsplatsen där 3 stycken MFS-100 vagnar lastades från en provisorisk lastramp. Lastning av vagnarna utfördes med en lastmaskin CAT980. Först lastades all makadam. Utläggningen skedde via transportband från samtliga tre vagnar till den sista där materialet fördes ner på spåret. Efter utläggningen justerade en spårburen Huddig grävmaskin makadamen så att det låg som planerat. Då makadamen var utlagd och justerad längs hela sträckan monterades en hållare för geotextil längst bak på den sista vagnen. På detta sätt kunde bergkrossen läggas direkt på duken som då hölls på plats i önskat läge. Bergkrossen lades ut med start från norr och söderut. Då bergkrossen applicerades på det spår där tåget körde kunde inte hela sträckan byggas från tåget utan sista 100 metrarna i södra tunneln byggdes med lastbilar. Då allt material var lagt i spårområdet justerades det med väghyvel.

All utläggning av material skedde från uppspår. För att nå nedspår vinklades transportbandet. I områden där takelement skulle rivas byggdes vägen så att den lades upp mot bergväggen, detta för att undvika att en ficka mellan vägen och bergväggen bildas från vilken asbestdamm blir svårt att sanera.

Totalt byggdes
790 meter fullbred väg bredd 13 meter.
970 meter väg mellan spåren bredd ca 5 meter.

Material för vägbyggnad

10 000 ton bergkross 0-100
3 000 ton spårakadam
Klass 4 geotextil

Resurser

Lastmaskin CAT980
Diesel lok samt 3 st MFS-100 vagnar
Väghyvel

Kapacitet

Utläggning av krossprodukter 194 ton/timme



Figur 6 Provisorisk väg på spår. Makadam mellan spår över detta geotextil och bergkross.

6.3.3 Rivning av taksegment och maskinell skrotning av berg

Innan rivningen påbörjades lades en geotextil på den provisoriska vägen för att förhindra att bergkrossen kontaminerades med asbest. För att skydda duken och spåret lades körplåtar på duken. Körplåtar lades ut i hela tunneln innan rivning påbörjades. Utläggningen skedde med hjullastare med specialbyggda gafflar.

Rivning av innertaken och skrotning av det bakomliggande berg utfördes på samma sätt i de tre olika etapperna.

Rivning av element utfördes med rivkrok monterad på grävmaskin. Först togs ett hål upp i gaveln på elementen och sedan fördes kroken in mellan berget och taket och tryckte ned detta. Det var en effektiv metod och rivningen utfördes i sin helhet i en tunnel innan denna skrotades för hand.

Då takelementen innehöll asbest bedrevs rivningsarbetena enligt gällande föreskrifter för asbetsarbeten. Detta innebar att alla som skulle in i tunnarna, om så bara för att titta på något vid

ett enstaka tillfälle, var tvungna att ha asbestsutbildning och läkarundersökning. Detta gjorde att få hade möjlighet att se hur rivningen gick till.

Asbestarbete innebär heltäckande klädsel och mask. Denna utrustning är varm och vid exempelvis bergskrotning störs man av värme från kläder och mask.

En fläkt med filter för att ta upp asbestsamm placeras i ena tunnelmynningen. Denna förbättrade luftkvaliteten något under rivningsarbetena. För att få bättre effekt av fläkten skulle det varit intressant att prova att montera en vägg i ena tunnelmynningen.

Rivning av takelementen utfördes för en tunnel i taget.

Resurser

Rivning och maskinell skrotning av berg utfördes av 1 maskin 22 timmar per dygn.
Specialbyggd Liebherr 914B med teleskopisk säkerhetshytt och rivkrok.
Körplåtar 600 st

Kapacitet

3 timmar per element inklusive skrotning av berg med rivkrok bakom detta.

6.3.4 Utlastning av Asbestmaterial och asbestsanering

Då innertaken var rivna och tunneln säkrad lastades materialet, en blandning av asbest sprutbetong och nerskrotad sten, ut. Materialet lastades med Bobcat till lastväxlarcontainrar och som täckta kördes till deponi. Där innertaken var fästa, i anfangen mot berget, satt rester av eternit och sprutbetong kvar. Dessa kanter knäckades ner med hydraulhammare monterad på grävmaskin.

Asbestsaneringen avslutades med att springorna mellan körplåtarna på marken damsögs manuellt. Efter detta lyftes körplåtarna upp och spolades rena med högtryckstvätt. Fiberduken som legat under körplåtarna veks ihop och kördes på deponi. Efter detta var tunnarna fria från asbests.

Resurser

Utlastning och sanering utfördes 22 timmar om dygnet. Två arbetslag bestående av 10 yrkesarbetare, en hjullastare, en grävmaskin samt en Bobcat.

Kapacitet

3 takelement per dygn.

6.3.5 Handskrotning

Innan saneringsarbetena påbörjades handskrotades tunnarna. Detta arbete utfördes av två man från arbetsplattform. Arbetet utfördes som asbestarbete med heltäckande skyddsklädsel och hjälm.

Resurser

2 man med arbetsplattform.

Kapacitet

4 tunnelmeter i timmen. Kapaciteten varierade mycket mellan olika delar i tunnarna beroende på bergets beskaffenhet.

6.3.6 Tvättning av berg och sprutning

6.3.6.1 Tvättning

I Etapp 1 och 2 tvättades berget med tryckluft och vatten genom sprutrobotens sprutslang. Vatten till tvättning togs till projektet med tankbilar.

I Etapp 3 tvättades bergytan med en separat hydrauldriven högtryckstvätt med munstycket monterat längst ut på sprutrobotens lans. Denna metod kräver mer vatten men ger också ett bättre resultat. Vidhäftningsprover från de olika etapperna visade på vidhäftning kring 0,5 MPa i de första etapperna jämfört med ca 1,0 MPa i Etapp 3. Skillnaden i vidhäftning skulle kunna bero på metoden för tvättning av berget. Tillgänglig tid styrde metoden.

6.3.6.2 Sprutning

Sprutning utfördes med våtsprutning i samtliga etapper.

I Etapp 3 användes följande recept: C32/40 vct 0,45 stålfiber 50 kg/m³.

Provningar av balkar visade en medelresidualhållfasthet på 3,5 MPa och en medeltryckhållfasthet på 60 MPa.

6.3.6.3 Eftervattning

Vid byggnationen av Etapp 3 noterades att sprutbetongen från Etapp 1 och 2 hade mycket krympsprickor. Begränsad tid för eftervattning samt begränsad tillgången till vatten för dessa två etapper kan vara en förklaring till att dessa sprickor uppkommit. I Etapp 3 var tiden mer tilltagen samt tillgången på vatten obegränsad.

Resurser

Meyco Potenza och Normet Spraymec som reservrobot.

Kapacitet

4,5 m³ per timme inklusive tvättning och eftervattning.

6.3.7 Bultborrning

Bultborrning utfördes med en tvåboms borrjumbo.

Resurser

Atlas Copco L2C

Kapacitet

15 bulthål/timme inklusive påmärkning av bult från arbetsplattform med mall.

6.3.8 Bultning

Bultning utfördes manuellt från arbetsplattform. Bulttypen var combicoatade bultar, längd 3-3,8 meter med bricka. Bultning utfördes efter sprutbetong och med utanpåliggande paltad bricka.

Tunnlarna var generellt sett torra, av 2800 bulthål läckte 56 st. Läckande hål var framförallt lokaliserade till den mellersta tunnelns södra del. I läckande hål monterades Thorbolt med mycket bra resultat. Samtliga Thorbolt resulterade i täta hål.

Resurser

Bultsättning utfördes av tre man med en arbetsplattform

Kapacitet

7 bult/timme

6.3.9 Dränsättning

Dräner sattes i Etapp 1 och i Etapp 3. I handlingarna beskrevs både fria dräner med brandskyddsduk och insprutade dräner.

I den första etappen sattes en del fria dräner med brandskyddsduk, beroende på tidsbrist. Vid avstängningen för Etapp 3 kunde man i detta område se läckage i skarvarna mellan dessa dräner och de befintliga betongbågarna i tunneln.

Totalt sattes 1001 m² insprutade dräner i Etapp 3 fördelat på 7 olika platser i de tre tunnlar. Behovet av dräner var dock större än vad som under tillgänglig tid kunde monteras.

Resurser

Borrning med tvåbomsaggregat L2C
Bultsättning samt dränsättning från arbetsplattform

Kapacitet

0,9 timmar per m² alla arbetsmoment inräknade.

6.3.10 Borttagande av väg på spår

Borttagandet av vägen på spåret utfördes med en hjulburen grävmaskin som lastade massorna direkt på lastbil. Båda spåren togs samtidigt. Då endast ett tunt lager krossmaterial låg kvar på duken rullades denna ihop med hjälp av skopan. Ett problem som uppkom var att geotextilen gick sönder i området där den legat i kontakt med rälen. Där geotextilen var trasig lämnades denna orörd och sögs upp i nästa skede med en spårbunden Railvac. På långa sträckor hade duken gått sönder där den låg mot spåren, vilket resulterade att makadamen förorenades. Detta ledde till att merparten av makadamen kring spåren sögs upp istället för, som planerats, plogades ut.

Resurser

Hjulburen grävmaskin
Spårbunden sugmaskin Railvac

Kapacitet

Borttagning av väg med grävmaskin 25 meter i timmen fullbred väg. 50 meter i timmen väg mellan spår.
Sugning med Railvac 20 m³ timmen.

6.4 Kostnader

Jämförelse av kostnader för de tre olika etapperna. I kostnaderna ingår endast kostnader för entreprenadarbetena gällande rivnings- och förstärkningsarbetena kopplade till taksegmenten. Kostnader för BEST arbeten och arbeten utanför tunnlar är ej med i nedan angivna kostnader.

Etapp	Utförandetid	Antal segment	Kostnad [MSEK]	Kostnad per segment [MSEK]
1	5 veckor	6	18	3
2	4 veckor	2,5	9,5	3,8
3	13 veckor	38,5	58,5	1,5

Från denna grova jämförelse syns inverkan av tiden tydligt. Då entreprenadtiden blir längre sjunker kostnaderna per segment väsentligt. Detta beror på att kostnader som exempelvis etablering och vägbyggnation fördelas på fler segment men även på att skiftgångar blir mindre kostsamma då entreprenadtiden förlängs och ständiga nattskift kan undvikas. Noteras kan även att tidsberoende risker bör sjunka vid längre kontraktstid. I detta fall ingår kostnad för risk endast i Etapp 3 då Etapp 1 och 2 utfördes på löpande räkning.

7 Resultat av renoveringsarbetena

Tunnlarna är helt renoverade till nu gällande normer och standarder.

Ett tillkommande problem kan vara att vattnet som tidigare runnit på innertaken nu droppar ner på tunnelgolvet. Detta kan framförallt leda till isbildning på vintern. Problemet har delvis hanterats genom dränsättning i Etapp 1 och 3 och kommer att följas upp av Trafikverket och åtgärdas löpande vid behov.

När tunnlar stängdes av byggdes samtidigt kontaktledningssystemet om, vilket föranleder en lastprofilsökning och därmed ökad kapacitet på sträckan.

Inslagsvalv och stödmurar utanför tunnarna har renoverats med nya täcksikt och i vissa fall har stödmurar helt bytts ut.

8 Slutsatser

8.1 Allmänt

Uppföljningen av tunnelrenoveringen i Graversfors samlar mycket relevant och intressant information som kan vara till nytta för framtida tunnelrenoveringar. Principfrågan om tunnelinklädnader och deras funktion belyses från olika håll och aspekter som bergmassans stabilitet, vatten- och frostsäkring samt inspekterbarhet, drift och underhåll har diskuterats.

Vad gäller bergutfallen och blockinstabiliteten dras slutsatsen att dessa sannolikt framförallt har sin orsak i ogynnsam sprickgeometri, kanske i kombination med låga bergspänningar. De större blockutfall som inträffat har troligen skett relativt snart efter färdigställandet i början på 60-talet. Den slutsatsen baseras bland annat på att det inträffat ras redan under byggskedet samt att designen inte varit anpassad till den geologiska situationen i tunneln. Långsamma processer, som vittring och frostsprängning, har mycket troligt ökat bergmassans mobilitet, något som framförallt iakttagits i den mellersta och norra tunneln.

Den aktuella konstruktionen med det helt slutna innertaket innebär att tunneln är mycket svårinspekterad. Under de inspektioner som gjorts genom upptagna hål har det också varit svårt att bedöma exempelvis blockens storlek samt hur omfattande de rasade partierna varit och hur stor bergmassa som påverkats av dem. Det kunde konstateras under totalrenoveringen (Etapp 3) att förhållandena var bättre än man befarat, exempelvis har väldigt lite berg skrotats ned. Detta kan bero på att alla inspektionsmöjligheter i det här fallet varit visuellt baserade vilket innebär att man kanske överskattar problemen. Man har vid inspektionstillfällena ej haft möjlighet att "känna" på berget, med exempelvis skrotspett. Vidare visade arbetena under Etapp 1 och 2 på ganska allvarliga situationer. Det är otäckt att se stora block ligga löst ovanpå ett innertak, vilket kan påverka bedömningen av situationens allvar. En viktig slutsats är dock att de inspektioner som genomförts lyckats identifiera de allvarliga problemen och rätt prioriteringar har kunnat göras.

En annan erfarenhet är att det är mycket svårt att hitta information om projektet från byggfasen, exempelvis dimensioneringsförutsättningar och relationshandlingar. Även händelser under drifttiden, exempelvis en dränbrand som inträffat i den södra tunneln någon gång under 90-talet, är ej dokumenterade. Det är av stor vikt att skapa en bra och lättillgänglig dokumentation i tunnelprojekt, speciellt eftersom dessa inkluderar ett "levande" material som bergmassan.

En övergripande slutsats är att trots alla problem som identifierats har tunnarna fyllt sin funktion under 40 år.

8.2 Renoveringsarbeten

Renoveringen har som tidigare beskrivits utförts i tre olika etapper. Projektet har haft hjälp i planeringen från den första och andra etappen då de teoretiska metoderna och kapaciteterna provades i praktiken. Erfarenheter från de två första etapperna överfördes dock ej på ett strukturerat sätt i förfrågningsunderlaget för Etapp 3. Den korta byggtiden för Etapp 3 i kombination med kort tid mellan upphandling och byggnation samt höga viten gav litet utrymme för att prova alternativa metoder jämfört med de två tidigare etapperna.

Metoden för vägbyggnation fungerade bra i Etapp 1 och valdes därför i de två efterföljande etapperna. Metoden är dock dyr och kräver en del tid i slutet av projektet. Då spåret är dolt under byggtiden finns risken för överraskande skador på spåret då vägen tas bort, något som dock inte inträffade i någon av de tre etapperna. Alternativa metoder för åtkomst diskuterades men provades aldrig. Alternativ som lades fram var att helt ta bort spåren, driva arbetet med enbart rälsburen utrustning samt att bygga väg med stockmattor för att på så sätt undvika hanteringen av krossmaterial och minimera risken för att upptäcka skador på spåret i sent skede.

Årstiden för renoveringsarbeten har inverkan på kvalitet och ekonomi. Vinterarbeten för mer sig både kostnadsökningar och kapacitets minskningar. Hur stor inverkan detta har beror på vilka arbetsmoment som skall utföras, men årstiden är en viktig parameter i planeringen av arbeten som detta.

Då innertaken revs uppdagades att delar av tunnarna är i behov av vatten och frostsäkring. Delar av detta kunde utföras under de totalavstängningar som varit men merparten av behovet är ännu ej utfört. Behovet kommer att kartläggas de kommande åren och utföras med trafik genom tunnarna. Detta kommer att vara kostsamt då kapaciteter blir låga vid arbete i driftsatta tunnlar.

Då arbetena utfördes med totalavstängda spår intresserade sig även företag som normalt ej arbetar i spårmiljö för projektet. I fråga om övervakning av tåg, tågvarnare, krävs dessa resurser även då banan är totalavstängd och spåren överfyllda. Regelverken för arbete på järnvägen är strikta och medför kostnader som är lätta att missa för de som är ovana vid att arbeta på spår.

Mot bakgrund av flera parametrar och den situation som rått från och med 2007 har den genomförda renoveringsprocessen sannolikt varit optimerad. Efter beslut om hastighetssänkning till 40km/h var Trafikverket tvungen att göra en akut insats för att hantera de mest kritiska områdena. Eftersom det varken fanns tid eller pengar att genomföra hela projektet i en entreprenad var man tvungen att prioritera. Den mer fullständiga kunskap som nu erhållits då en totalrenovering gjorts har visat att dessa prioriteringar varit rätt. Det bör också påpekas att två omfattande riskanalyser har utgjort ett viktigt underlag för de beslut som tagits.

8.3 Erfarenheter med relevans för andra liknande tunnelprojekt

I detta avsnitt görs korta reflektioner över några övergripande frågor som, i tillägg till ovanstående slutsatser, kan ha relevans för liknande projekt. Några av de redovisade punkterna är direkta erfarenheter som erhållits under arbetena vid Graversfors medan andra gäller mer generella frågor. De senare har framförallt framkommit under diskussioner med utvecklingsprojektets referensgrupp.

- I Etapp 3 har man upplevt att projektet som helhet hade vunnit på bättre samverkan mellan de olika renoveringsetapperna. Det gäller framförallt erfarenhetsåterföring och diskussion om fördelar och nackdelar med olika lösningar. I vissa fall har erfarenheter från tidigare etapper direkt används i efterföljande etapp. Det finns emellertid också exempel där man varit låst i tidigare lösningar och inte tillräckligt reflekterat över bättre och mer effektiva lösningar.
- Generellt har projektet upplevt att det funnits för lite tid till projektering. Framförallt för att hinna hitta och arbeta fram optimerade lösningar. Likande projekt måste nästan utan

undantag utföras under väldigt korta tågstopp, det utesluter dock inte att man tar god tid på sig för projektering och planering. Vid noggrann och genomtänkt projektering och planering är sannolikheten mycket större att utförandefasen blir optimerad och effektiv. Det bör emellertid påpekas att projekteringen till viss del behöver indata från anläggningen som inte blir tillgängliga förrän renoveringsarbetena inletts. Detta försvårar naturligtvis optimeringen.

- En bergsakkunnig måste finnas tillgänglig hela tiden för att kontinuerligt kunna bedöma förhållanden och inte minst ta nödvändiga bergtekniska beslut. Detta är en förutsättning för att erhålla en kort och effektiv utförandefas.
- En fråga som diskuterades mycket i anbudsskedet och som är väldigt tids- och kostnadsstyrande är huruvida innertaket kan rivas bit för bit eller i en sekvens. Detta beror på om det krävs kompletterande bergförstärkning under rivning. I Graversforsfallet kunde, under Etapp 3, hela taket rivas i en sekvens. Produktionstidplanen hade dock varit betydligt tuffare om successiv bergförstärkning krävts.
- Det ursprungliga kontraktsupplägget och innehållet i förfrågan kunde varit tydligare, framförallt vad avser BEST arbeten. Det har framkommit att några byggentreprenörer har blivit tveksamma att lämna anbud på grund av att förfrågan innehöll BEST arbeten.

9 Referenser

Bergab, 2008: Inspektionsrapport av Graversforstunnlarna, 2008-02-09, Bergab.

Buvik, H. (ed), 2008: Kledningar i tunnel. Nordiskt Vegteknisk Forbund, Rapport nr 06/2008, Utvalg 32: Broer og tunneler.

Holmgren, J., Sundqvist, H., 2008: Faller blocket genom sprutbetongvalvet? Kungliga Tekniska Högskolan, Inst. för Bygghvetenskap. Teknisk Rapport 2008:13.

Johansson, J., Olsson, L., 2008: Riskbedömning. Banverket diarienummer F 08-4999/IN60 Södra Stambanan, Graverforstunnlarna, Norr Åby. SGI 2008-06-10.

Johansson, J., Olsson, L., 2009: Riskanalys. SGI Banverket diarienummer F08-11749/IN60 Södra Stambanan, Graverforstunnlarna, Norr Åby. SGI 2009-06-23.

Trillkott, S., 2008: Provbekastning av sprutbetongbalkar. Kungliga Tekniska Högskolan, Inst, för Bygghvetenskap. Teknisk Rapport 2008:12

Sweco/VBB, 2006: Inspektion och kartering av bergtunnlar, Graversforstunnlarna, 2006-09-01. (Ingående i Programhandling).

Wikström, A., 1976: Beskrivning till Berggrundskartan Katrineholm SV. Serie Af, Nr 116, Sveriges Geologiska Undersökning, Uppsala.

10 Bilagor

10.1 Bilaga 1

Sammanfattande anteckningar av Arvid Taube och Lars Gustavsson skrivet 2008-04-21.

Second opinion

Lars-Olof Dahlström som är adjungerad professor vid avdelningen för geoteknologi vid LTU har inspekterat tunnlarna och vid telefonmöte 2008-04-18 lämnat sin syn på tunnlarnas tillstånd. LO Dahlström menar att:

- Valven är överbelastade på de delar där det ligger stenblock och grus
- Berget är generellt dåligt vilket innebär att de finns risk för mer blocknedfall
- Konstruktion är gammal och inte lämplig för den här typen av bergförhållanden
- Armeringen i valven har börjat att rosta vilket försvagar betongkonstruktionen
- Det finns en stor risk att betongbalkar som finns ovanför innertaken kan rasa ner pga av bristfällig infästning i berget.

Om vi inte kan bygga om allt på en gång anser han följande prioriteringsordning bör gälla:

- Ombyggnad av de delar där stenblock ligger och belastar konstruktionen.
- Säkra stabiliteten i dessa delar med bult och sprutbetong
- LO anser också att vi måste förbättra inspektion och övervakning under tiden tills att alla tunnlarna är ombyggda.

Sammanfattningsvis menar LO Dahlström att problemet är allvarligt och att tunnlarna kräver omedelbara förstärkningsåtgärder.

10.2 Bilaga 2

Geologisk kartering.

