

E 4 Förbifart Stockholm

Komplettering Tillåtlighet

Fråga 3

Bilaga Bergtekniska förutsättningar i Lambarfjärden

2009-01-16

Innehåll

1	Inledning	4
2	Utförda undersökningar	4
3	Bergtekniska förutsättningar	6
4	Kalkylunderlag	11
5	Slutsats	12
6	Referenser	13

1 Inledning

I vägutredningen går Förbifart Stockholm på bro över Lambarfjärden som ligger mellan Lovön och Grimsta. Bron, med segelfri höjd på ca 26 meter, tillsammans med anslutande betongtråg och betongtunnel kommer att påverka områdena på norra Lovön och i Grimsta.

Vägverket har gett i uppdrag att undersöka möjligheterna att istället för en bro gå i bergtunnel under Lambarfjärden.

Syftet med denna PM är att beskriva de bergtekniska förutsättningarna för en bergtunnel under Lambarfjärden samt att ge det bergtekniska underlaget till en jämförande kalkyl.

2 Utförda undersökningar

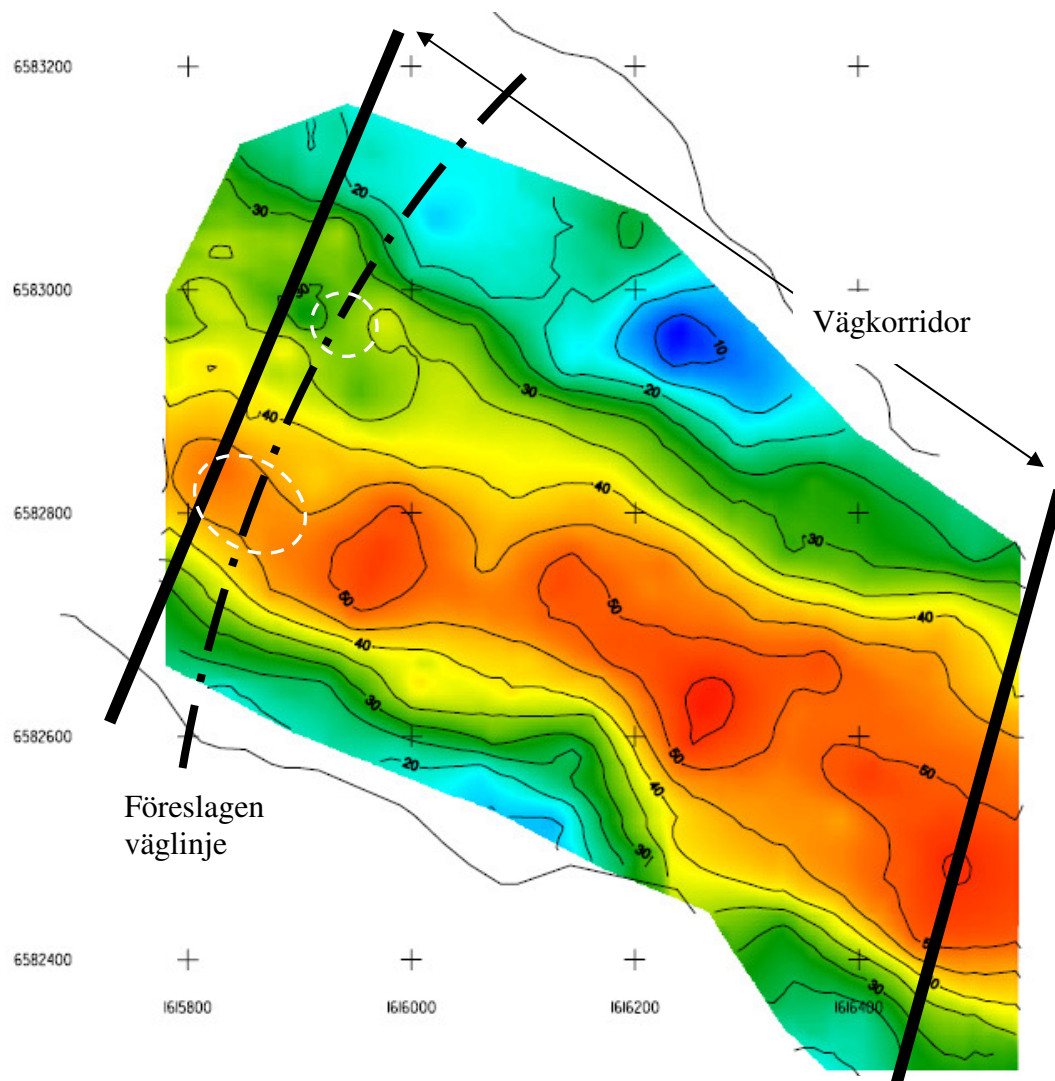
För att bestämma vattendjup, sedimenttjocklek, bergytans läge och ev. svaghetszoner i Lambarfjärden har maringeofysiska undersökningar genomförts i form av sub-bottom mätningar, refraktions- och reflektionsseismik.

Sub-bottom mätningar är en snabb och relativt billig metod för att lokalisera bergytan. Resultaten kan försämrats då bergytan överlagras av sediment med stor mäktighet, sediment innehållande gas eller storblockig morän då den lågfrekventa signalen ej når ned till bergytan.

De seismiska mätningarna ger en lägre upplösning av bergytan jämfört med sub-bottom men penetrerar istället djupare ned i sedimenten och underliggande berg. Refraktionsseismik ger information om ev svaghetszoner i berg genom att återge p-vågshastigheten. Reflektionsseismik kan ge information om stupning på ev. svaghetszoner, under förutsättning att de inte är vertikala. De redovisade resultaten är en samtolkning av subbottom och refraktionsseismiken.

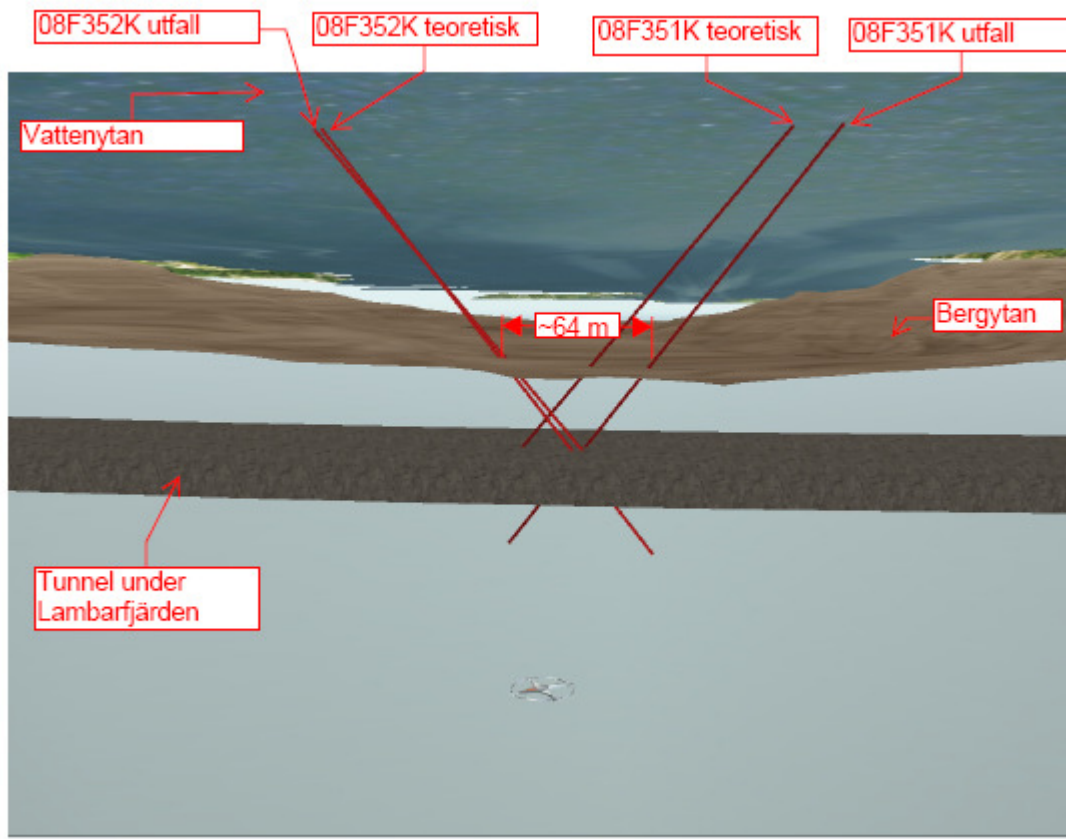
De maringeofysiska undersökningarna visar på ett tolkat vattendjup på maximalt ca 20 m. Sedimenten under vattnet har en tolkad mäktighet på maximalt 35 m. Det maximala djupet till berg inom korridorens bredd tolkas till att variera upp till 55 m, se Figur 1. För en detaljerad redovisning av utförda undersökningar hänvisas till Rapport "Sjömätningar i tre passager under Mälaren, Förbifart Stockholm 2008" (Geonova, 2008).

Under oktober har jord-bergsonderingar utförts i lågpunkten i Lambarfjärden, se inringat område i Figur 1. De preliminära resultaten av bergytans läge i respektive sonderingspunkt stämmer överrens med bergnivåerna från refraktionsseismiken. Den djupaste sonderade bergnivån är -48. Resultat av jord-bergsonderingarna i Lambarfjärden redovisas senare i RGeo samt i vr-modellen.



Figur 1. Djup till berg under Lambarfjärden. Koordinatsystem RT90.

Utifrån de maringeofysiska undersökningarna har två stycken kärnborrhål borrats igenom den förmodade svaghetszonen, se Figur 2. Båda kärnborrhålen är vinklade från horisontalplan ca 50 grader. Avståndet mellan påhugget för de två kärnborrhålen på bergytan är ca 64 meter.



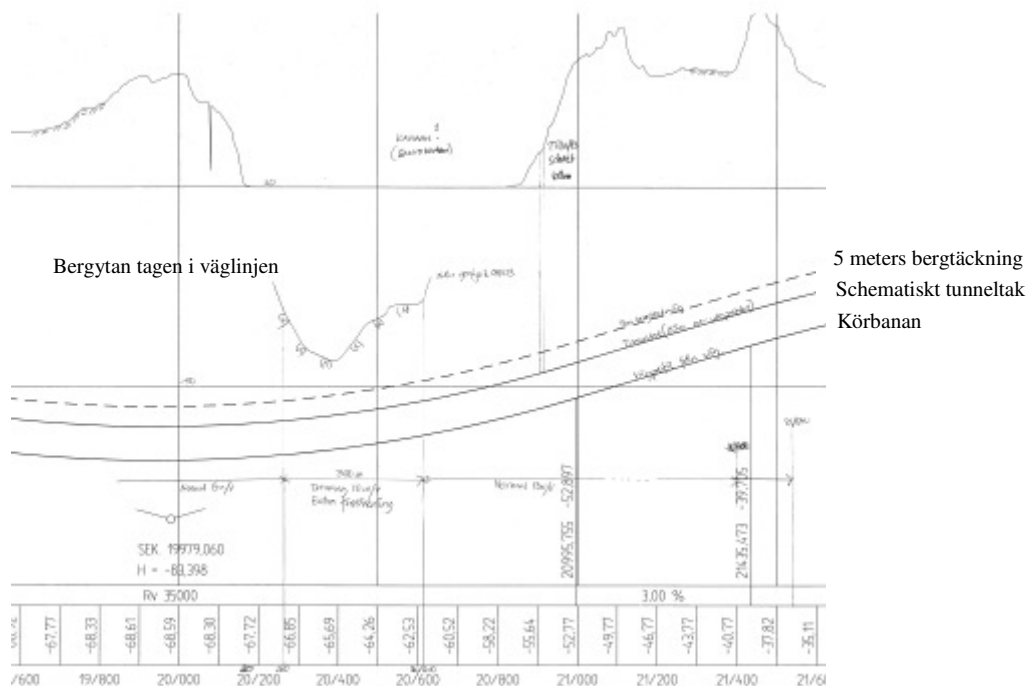
Figur 2. Läge för planerade och utförda kärnborrhål i Lambarfjärden (bild tagen från vr.modellen).

3 Bergtekniska förutsättningar

Passagen under Lambarfjärden förutsätts ske med två stycken bergtunnlar med en 15 m bred mellanliggande bergpelare. Eftersom typsektionen för bergtunnlarna inte finns framtagna i uppdraget i dagsläget så antas att tunnarnas invändiga teoretisk höjd är 8,5 meter från körbanan och bredden är 16 meter.

Resulterande bergyta från utförda maringeofysiska undersökningar har legat till grund vid placering av bergtunnlarna både i plan och i profil. Enligt utförda undersökningar stiger bergytan i nordvästra delen av korridoren.

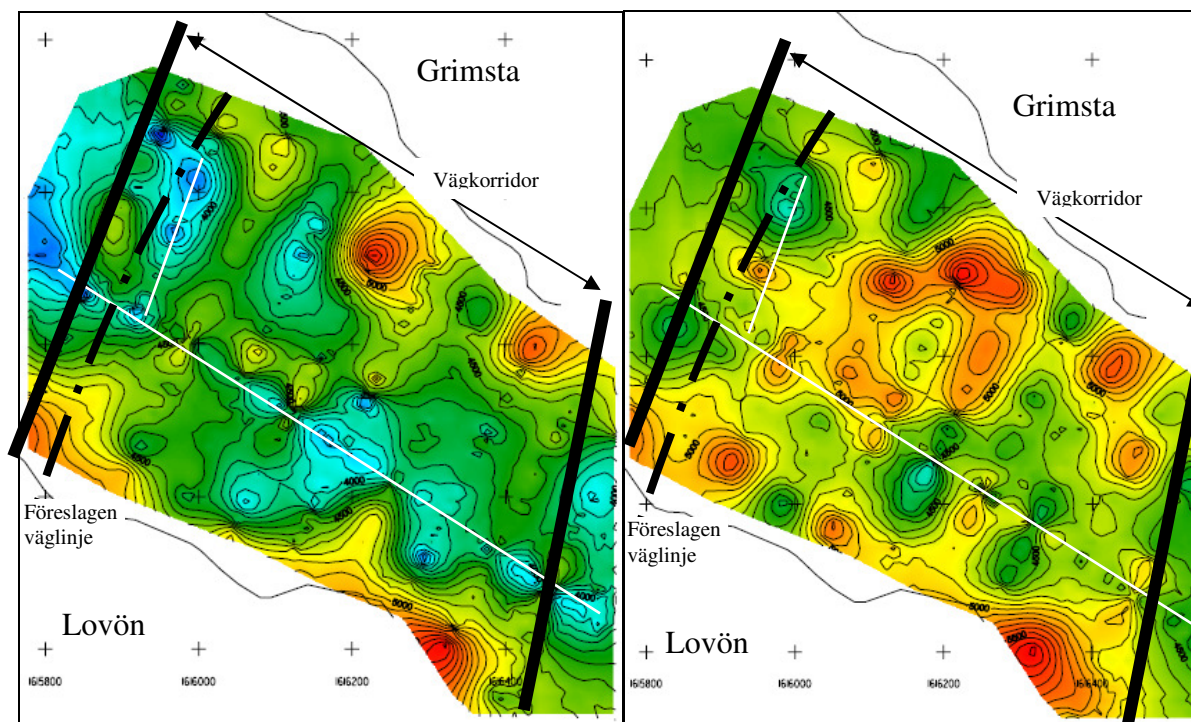
Bergtäckningen i väglinjen under Lambarfjärden i föreslagen placering är som minst ca 13 m, se Figur 3. Observera att bergytan i Figur 3 är tagen i väglinjen och inte i tunnelmitt. Väglinjen ligger mitt emellan de båda tunnelrören, dvs i bergpelaren. De sonderade nivåerna tyder dock på att djupare bergnivåer finns i läge för bergtunnlarna. Bergtäckningen kan på begränsade sträckor gå ned till 6-8 m.



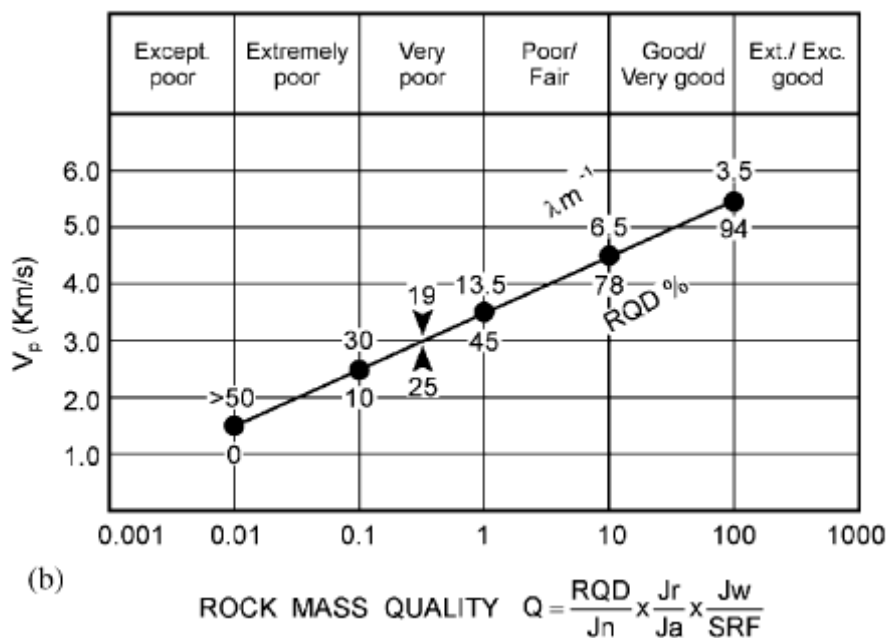
Figur 3. Profil för Bergtunnel under Lambarfjärden.

Utifrån utförd refraktionsseismik görs en prognos på bergkvalitet. P-vågshastigheten, som är uppmätt i kontakten mellan sediment och berg, varierar mellan 3500 m/s och över 5000 m/s. Tolkat låghastighetsområde i bergkontakten i bergmassan visas i Figur 4a respektive 4b. I Figur 4a, som visar låghastighetsområden i bergkontakten, kan man tolka ut en förmodad svaghetszon som är parallell med sundet. Mäktigheten på zonen antas till 10-20 meter. I samma figur kan man även tolka en mindre utbredd zon som är vinkelrät den första zonen.

Generellt gäller att om p-vågshastigheten är hög, över 5 000 m/s, så indikerar det god bergkvalitet. Barton (2002) har tagit fram en korrelation mellan ytlig refraktionsseismik och Q-värdet i hårt kristallint berg, se Figur 5. Enligt denna korrelation skulle p-vågshastigheten på 3500 m/s motsvara $Q=1$.



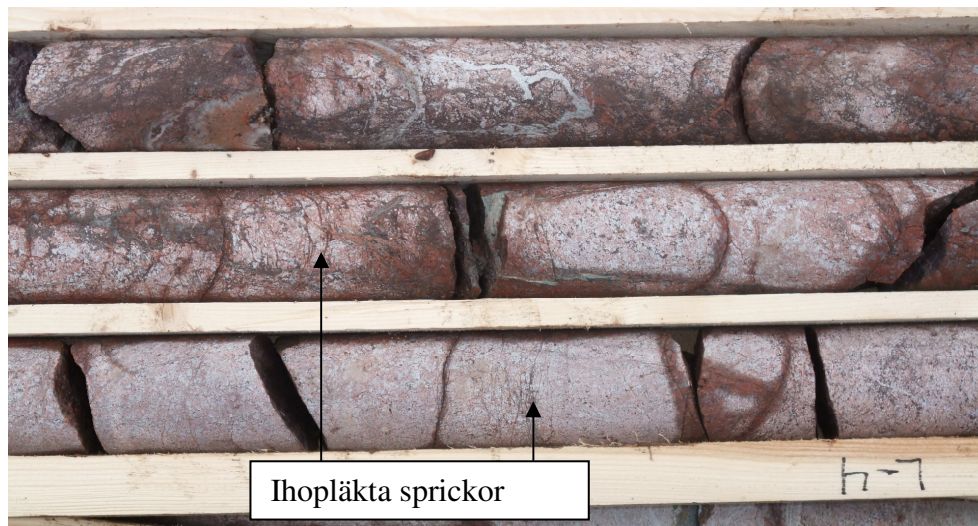
Figur 4. P-vågshastigheten i bergkontakten inkl linje för tolkade svaghetszoner (a) och i bergmassan (b). Koordinatsystem RT90.



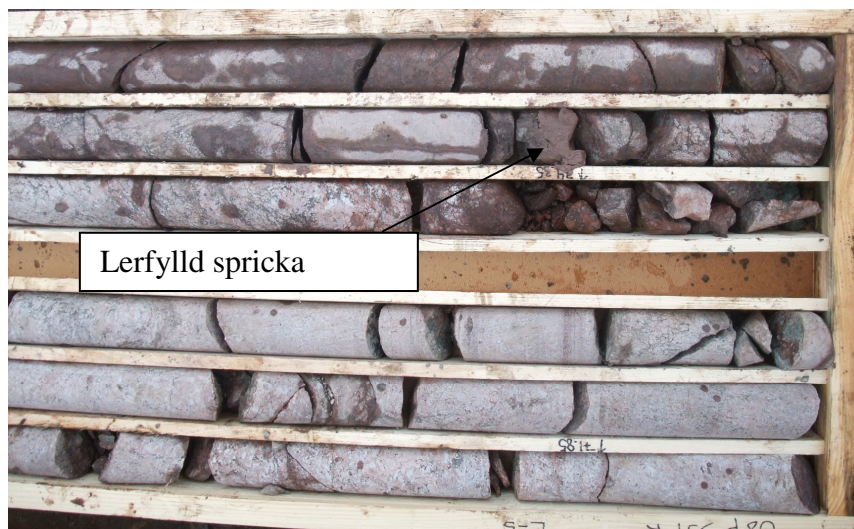
Figur 5. Samband mellan p-vågshastigheten och Q-värde (Barton, 2002).

De preliminära resultaten från kärnkarteringen av 08F351K och 08F352K visar att bergarten består i huvudsak av en medelkornig i hög grad rödfärgad granit med varierad struktur. Ställvis förekommer en fint medelkornig granit med massiv struktur som är förhållandevis lite påverkad av läkta nätverk. Gångar av pegmatit eller medel- till grovkornig granit återfinns genom hela kärnan. Hela kärnan är mer eller mindre påverkad av ett tunt läkt spricknätverk som generellt sett består av klorit, hematit, kvarts, fältspat och kalcit.

I huvudsak ligger sprickfrekvensen på 5 sprickor per meter och ett RQD på över 80 vilket är relativt bra ur en bergteknisk synvinkel. Hållfastheten i det omvandlade berget är dock sämre. Berget ter sig sprött (likt pegmatit) och spricker lätt upp. De ihopläkta sprickorna i mylonit/breccian innehåller ofta sekundära mineraler med liten hållfasthet, se Figur 6. I 08F351K förekommer en ca 1 cm öppen spricka, ca 21 m ner i berget, innehållande lera, se Figur 7. BIPS-bilderna, som är något otydliga pga suspensioner i vatten, visar ingen tydlig lerfylld spricka.



Figur 6 Läkta sprickor (08F351K).



Figur 7. Lerfylld spricka (08F351K).

Ingen storskalig krosszon förekommer i kärnborrhålen men den rödfärgade omvandlingen och inslag av mylonit/breccia som observerades tyder på att en rörelsezon finns i närheten.

Fullständig information om kärnkarteringen kommer att redovisas i kommande RGeo. En enklare sammanfattning kan läsas i Rapport Lambarfjärden kärnborrhål 08F351K och 08F352K.

Vattenförlustmätningarna som utförts i 08F351K och 08F352K visar på en vattenförlust för hela hålen på ca 4 l/min respektive ca 20 l/min. I 08F352K inträffade i stort sett hela vattenförlusten i den första mätsektionen, dvs i ytberget.

Palmström har 1995 sammanställt uppskattade samband mellan p-vågshastighet, bergmassans förhållande och förväntad bergförstärkning, se Tabell 1.

Tabell 1. Uppskattade samband mellan p-vågshastighet, bergmassans förhållande och förväntad bergförstärkning (Palmström, 1995).

In situ velocity m/s	Probable ground conditions	Possible rock support
< 3000	Cavities in the bedrock filled with soil, or completely crushed and fragmented rock material in weakness zones	Extensive rock support
< 4000	Ground related to faults, contact zones etc. with highly fractured rock	High amount of rock support
4000 – 4400	Strongly – moderately jointed rock masses	Moderate to high amount of rock support
4500 – 5000	Slightly – moderately jointed rock masses	Small to moderate amount of rock support
> 5000	Massive rock masses	Generally little need for rock support

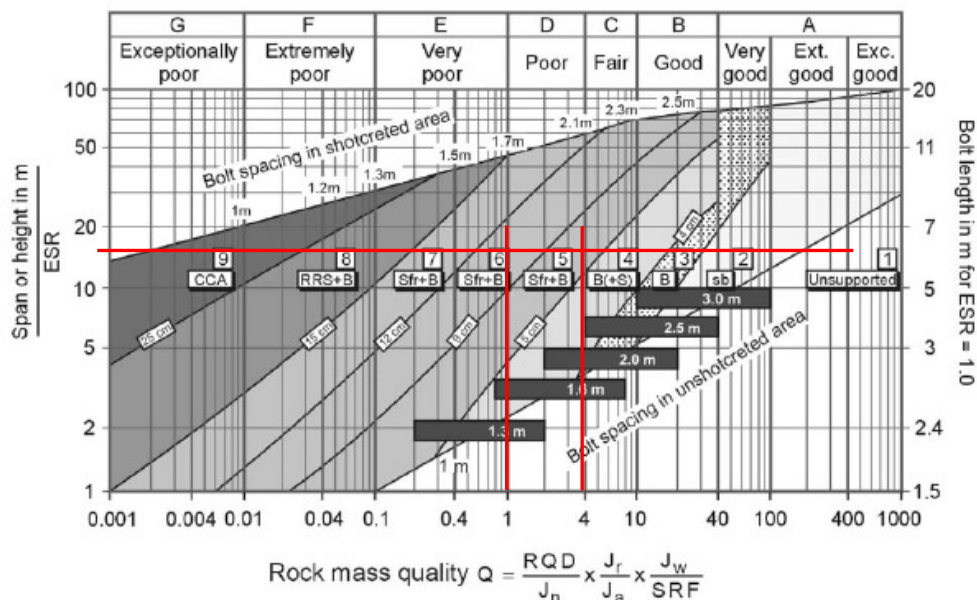
Förväntade bergtekniska problem kan vara vattenförande zoner med omfattande injekteringsinsats och/eller zoner med sämre bergkvalitet och/eller liten bergtäckning som kan komma att kräva ökad omfattning av bergförstärkning och anpassad drivning, tex med pilot och stross.

Genom att använda Q-systemet (Barton, 2002) kan man empiriskt uppskatta förstärkningsinsatsen beroende på bergkvalitet och spännvidd. Se Figur 8. Detta ger följande förstärkningsförslag vid en spännvidd på bergtunnlarna om 16 meter.

Q=4: Fiberarmerad sprutbetong $t_c = 70$ mm, systematisk bultning c/c 2 meter

Q=1: Fiberarmerad sprutbetong $t_c = 110$ mm, systematisk bultning c/c 1,7 meter.

Denna empiriska metod ger endast en indikation på omfattningen av bergförstärkning och skall inte ses som ett slutgiltigt förstärkningsförslag eller ligga till grund för dimensionering.



Figur 8. Förslag på bergförstärkning vid olika bergkvalitet och spännvidder (Barton, 2002).

4 Kalkylunderlag

Förutsättningarna för kalkylen är att tunnlar drivs konventionellt genom borrhinsprängning. Kontinuerlig förinjektering används för att minska inläckande vatten. Bergförstärkning utgörs av fiberarmerad sprutbetong med systematisk eller selektiv bultning.

I Tabell 2 redovisas de mängder som är framräknade för en bergtunnel under Lambarfjärden. Start och slutpunkt är vald så att både bro- och tunnelalternativet går i bergtunnel vid dessa längdmätningar. Arealen för huvudtunnlarna och ramptunnlarna är uppskattad till 120 m^2 respektive 72 m^2 . För att få en effektiv produktionstidplan föutsätts en arbetstunnel på norra Lovön. Tvärsnittet för arbetstunneln är uppskattad till 35 m^2 . Oavsett om Förbifarten går på bro eller i bergtunnel förbi Lambarfjärden behövs två stycken tilluftsschakt inkl fläktstationer,

som placeras på Lovön respektive Grimsta. Vid bergtunnelalternativet blir dock dessa tilluftsschakt djupare. Tvärsnittsarean för dessa tilluftschakt sätts till 100 m² efter uppgift från funktionsområde Tunnelventilation. Slutligen ger bergtunnel under Lambarfjärden konsekvenser på ramptunnlarna vid trafikplats Vinsta. Huvudtunnlarna når inte upp i samma profilläge som vid broalternativet vilket innebär att de två södra ramptunnlarna blir vardera ca 100 meter längre enligt uppgift från funktionsområde Vägutformning.

I detta skede baseras kalkylen endast på mängden kubikmeter berg, dvs den använder sig inte av bultmängder, sprutbetong eller injekteringsmängder mm. För kalkylen har en 350 m lång sträcka under förmodade längsgående svaghetszonen i Lambarfjärden antagits i ett försök att få med ökade kostnader för drivning, injektering och förstärkning, se Tabell 2. I Tabell 3 visas det antagna relationen mellan kostnaden för normal bergtunnel och kostnaden för extra förstärkt bergtunnel under Lambarfjärden.

Tabell 2. Mängder för bergtunnel under Lambarfjärden.

Start	Slut	Typ	Längd (m)	Area (m ²)	Volym (m ³)
18530	20260	Normal bergtunnel	1730	240	415200
20260	20610	Extra förstärkning	350	260	91000
20610	21540	Normal bergtunnel	930	240	223200
19100	18500	Arbetstunnel	500	35	17500
		Tilluftschakt (2 st)	60	200	12000
	tpl Vinsta	Förlängda ramptunnlar (2 st)	100	136	13600
				Totalt	772500

Tabell 3. Förhållande mellan kostnad vid olika "bergtunneltyper".

Tunneltyp	Kostnad
Normal bergtunnel (13 m/vecka)	100 %
Extra förstärkning under Lambarfjärden (10 m/vecka)	150 %

5 Slutsats

Att gå med bergtunnel under Lambarfjärden bedöms, baserat på nuvarande information, vara bergteknisk möjligt. De utförda undersökningarna visar att bergtäckning kan uppnås för bergtunnlarna. Dock bör man sträva efter att försöka sänka vägprofilen ytterligare.

Beträffande den förmodade svaghetszonen som tvärrar tunnlar kan resultaten från refraktionsseismiken tolkas till att bergkvalitet i zonen motsvarar Q=1. För att verifiera detta har zonerna undersökas vidare genom kärnbörning, BIPS-loggning och kärnkartering. Det finns inget i kärnborrhålen som visar på förekomsten av en storskalig krosszon. Däremot finns många ihopläkta sprickor som vid tunneldrift kan spricka upp och ge en mer blockig bergmassa än vad RQD-värdet för kärnan indikerar. Den fullständiga kärnkarteringen och

boremapkarteringen pågår och den slutliga redovisningen (inkl Q- och RMR bedömningen) är inte klar för närvarande.

I ett byggskede skall sonderingsborring ske framför fronten för att verifiera bergtäckningen. Man bör vara medveten om att även om det rent bergtekniskt är genomförbart så kan svårigheter uppstå under byggskedet som påverkar indriften och ger ökad omfattningen av injektering och bergförstärkning än vad som prognostiserats.

6 Referenser

Barton N., 2002, Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences 39 (2002) 185-216. Pergamon Press.

Geonova, 2008, Sjömätningar i tre passager under Mälaren, Förbifart Stockholm.

Palmström. A, 1995, RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD Thesis.

Rapport Lambarfjärden kärnborrhål 08F351K och 08F352K. Geosigma oktober 2008