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

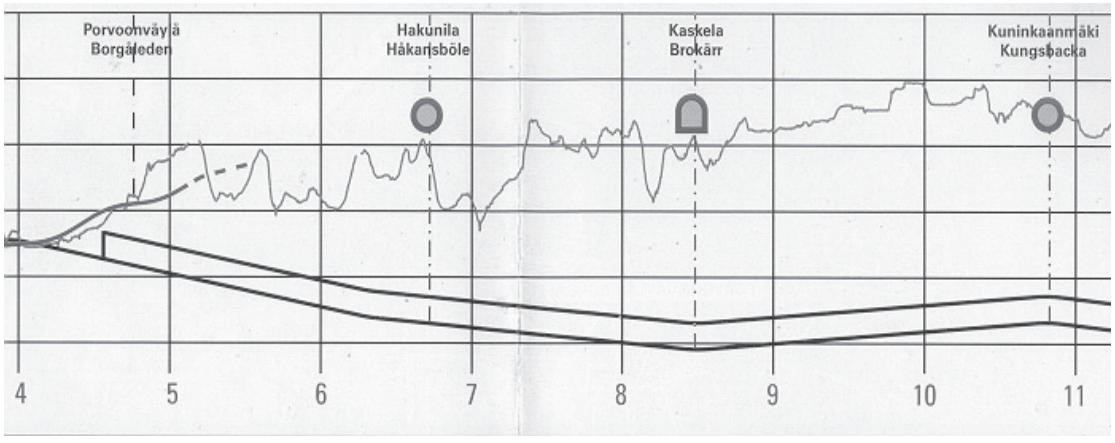
YIT:s DEL AV JÄRNVÄGSTUNNEL TILL HELSINGFORS NYA HAMNANLÄGGNING

Janne Lehto YIT Construction Ltd, Gunnar Nord Atlas Copco Rock Drills AB

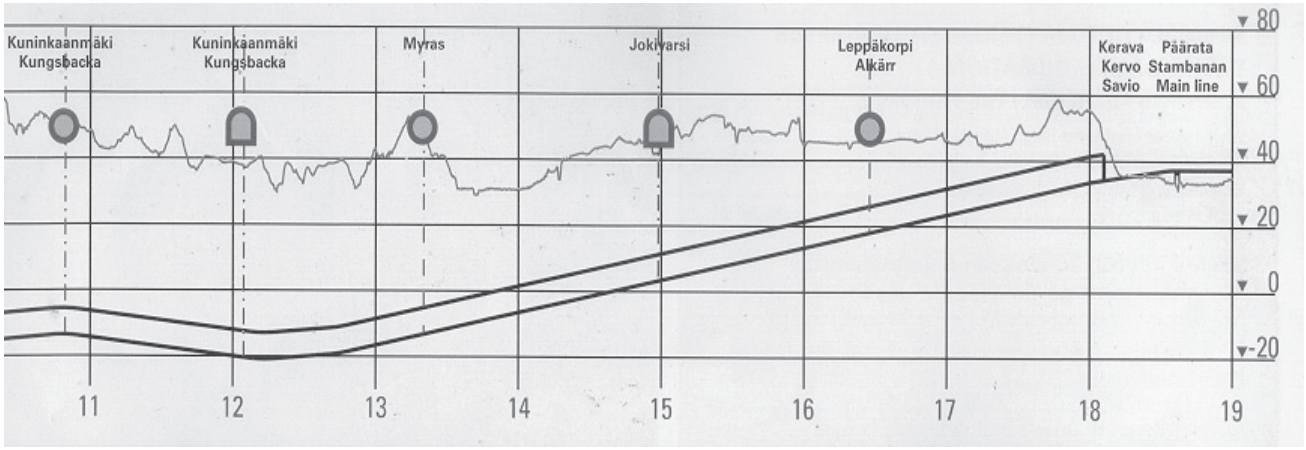
Abstract:
En ny hamnanläggning, Nordsjö Hamnprojekt håller på att byggas i Vuosaari och den skall ersätta de två befintliga godshamnarna i centrala Helsingfors. För att kunna hantera trafiken till och från den nya hamnen byggs nya kommunikationsleder både för väg och för järnväg. Den 19 km långa järnvägsleden har två tunnlar, som tillsammans utgör 14 km. Saviotunneln är 13,5 km och Labbacka 0,6 km.
Båda tunnlarna är enkelspåriga och har en tvärsektion av 65-70 m2. Entreprenören YIT har på denna tunnel tilldelats två kontrakt som tillsammans utgör cirka 6 km. För tunneldrivningen har YIT engagerat två stycken moderna borriggar från Atlas Copco. Den ena är en Rocket Boomer XL3C med borrmaskinen Cop 1838 HF och den andra en Rocket Boomer WL4 C30 med den nya borrmaskinen Cop 3038. För tätningsarbetena används två injekteringsriggar som YIT och Atlas Copco Craelius har planerad och byggd tillsammans. Den ena av dem är en två pumps rigg och den andra är utrustad med fyra separata pumpar.

Inledning:

Nordsjö hamnprojekt omfattar byggandet av en containerhamn, ett logistikområde, ett företagsområde samt erforderliga nya trafikförbindelser omfattande hamnvägen, hamnbanan och farleden, till hamnen. Projektet genomförs tillsammans av Helsingfors hamn, Sjöfartsverket, Banförvaltningscentralen och Vägförvaltningen och är delat in två separata delprojekt: VUOLI - projekt, som inkluderar alla trafikförbindelser och VUOSA -projekt som inkluderar själva hamncentrum. Byggnadsarbetena startade i januari 2003 och är planerade färdiga 2008.
Nordsjö hamnbana är 19 km lång och består huvudsakligen av enkelspårs järnvägsförbindelse. Inte mindre än 14 km av den totala sträckan är förlagd i tunnel och den fördelar sig på två tunnlar Labbacka 0,6 km och Savio 13,5 km. Den senare slutar i Savio där den ansluter till stambanan. I entreprenadarbetena ingår 4 stycken tillfartstunnlar samt 5 stycken vertikala schakt från markyta till tunnel. Tunneln skall trafikeras av godståg och schakten är i huvudsak avsedda för evakuering av tågpersonal vid nöd situation. Tunneln har givits den nominella dimensionen H=08,75 m och B= 6,6 m. Lokala breddökningar förekommer och likaså nischer för installationer.



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



Figur 0 Längdsektion genom hela Savio tunneln

Entreprenadavtalen avseende Savio tunneln tecknades i december 2004 med 3 entreprenörer och omfattar totalt 5 kontrakt, TU2-TU6. Bergschakterna skall vara avslutade under 2007. Totalkostnad för tunneln är beräknad till 100 miljoner Euro varav tunnelschaktarbetena står för 65 miljoner. Två av kontrakten TU2 och TU5 har tilldelats YIT Rakennus Oy. Tunnelentreprenaderna inkluderar bergtekniska arbeten dvs. bergshaknings-, förstärknings- och tätningsarbetena samt utjämning av tunnelbotten. Bantekniska arbeten kommer att göras i separata entreprenader efter att tunnelarbetena är färdigställda.

YIT:s kontrakt

Bergschakterna har ett totalpris som grundar sig på en prognostiserad fördelning av drivningsklasser. Härtill kommer förstärkning och injektering som ersätts enligt utförda mängder. Avvikelser från prognostiserade drivningsklasser regleras enligt fastställd prislista i Euro/tunnelmeter.

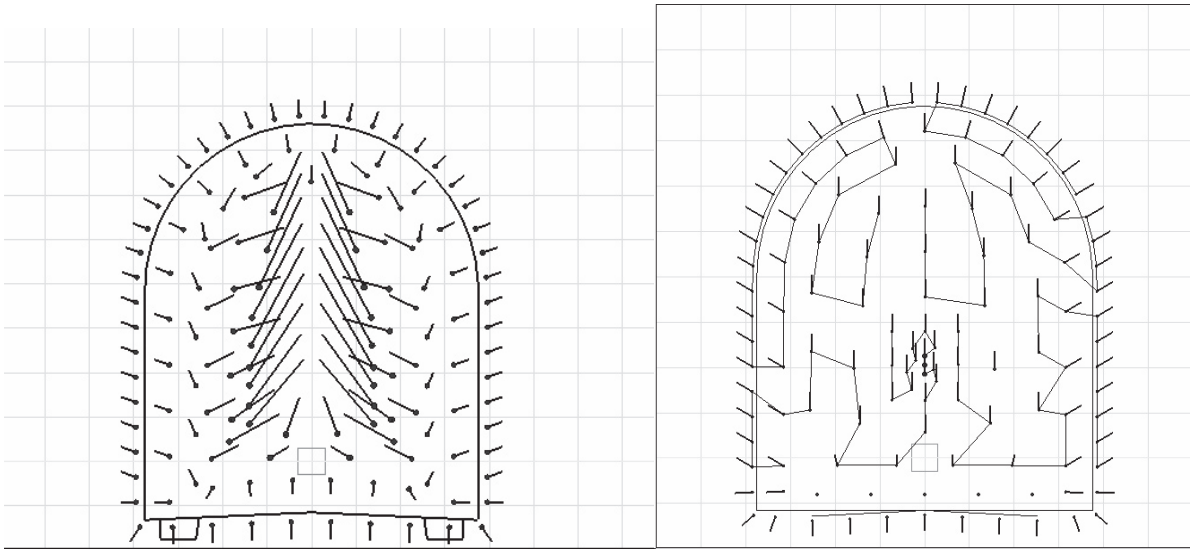
Mängder och värdet av de två kontrakten framgår av tabell 1 nedan. Beställaren tar i kontraktet fullt ansvar för bergförhållandena samt täthetskraven och ersätter allt utfört arbete enligt i förhand uppgjorda prislistor.

Den nominella tunnelbredden är 6,6 m men YIT har valt att göra 0,9 meter bredare för att kunna genomföra en snabbare utlastning. Vinsten av den snabbare utlastningen överstiger de ökade kostnaderna för transportmängderna, borr och laddningsmängderna samt förstärkningarna. En fördjupad studie av kostnadsförhållandena kommer att göras nedan i avsnittet: Varför har tunnelsektionen breddats. Den större tunnelbredden medför också att man kan driva hela tunneln med en och samma tvärsektion

Kontrakt	TU 2	TU 5
Byggtid	12/2004-3/2007	12/2004-2/2007
Värde i Euro miljoner	11,0	13,4
Längd sektion	4 423 - 6 739	13 000 – 16 505
Total tunnel längd inklusive tillfarts tunnlar	2,5 km	3,8 km
Bergvolym totalt inklusive förskärning m3	170 000	240 000
Injekteringsborrning m	23 000	29 000
Bergbultning totala meter m	45 000	57 000
Sprutbetong m3	4 300	5 300
Dräner m	3 300	5 000

Tabell 1 Arbeten som omfattas av kontrakt TU2 och TU5

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



Figur 1 Tvärsektion av enkelspårstunneln höjd 9 m bredd 7,5 m. I vänstra bilden med plogkils öppning och högra med parallellhålsöppning samt rörelseschema för borriggens bommar

Bergförhållanden:
Berget utgörs av gnejser och graniter av generellt god kvalité. Ett antal zoner med sämre förhållanden har dock identifierats längs tunnelsträckningen. De är lokaliserade till

Figur 2 Typiskt resultat på tunnelprofil efter sprängning, Atlas Copco Boomer WL4C30

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

lågpunkterna i terrängen. Tunneln har förlagts på ett relativt stort djup varvid vittring undantagsvis når ned till tunnelnivån. Bergtäckningen varierar i stort mellan 20 och 60 meter utom vid tunnel ändarna där den av naturliga skäl blir lägre. I de sämre partierna har salvdjupet begränsats och förstärkning utförs vid tunnelfront. I de bättre partierna utförs förstärkningarna långt bakom fronten. Tunneln kommer att ges en generell sprutbtonginklädnad. Förinjektering utförs bara på begränsade delar av tunneln och omfattningen varierar mellan de skilda kontrakten. YIT:s kontrakt TU 5 karakteriseras av lite förinjektering medan kontrakt TU 2 som har mindre bergtäckning har väsentligt större andel förinjektering. Den hittills utförda sträckningen i TU 5 cirka 2 km av totalt 3,5 uppvisar torra förhållanden.

Tunneldrivning vid YIT:s två kontrakt:
Drivningsupplägget vid de två kontrakten är detsamma. Båda kontrakten inleddes med access tunnlar för att komma ned till djupen 25 m för TU 2 och 35 m för TU 5. Lutning är i båda fallen cirka 1:8 vilket ger längder av 200 m och 305 m respektive. Vid båda spårtunnlarna utförs drivningen med pendeldrift. Vid TU 2 var den södra fronten i december 2005 framme vid genomslag varför återstoden blir enkelfrontsdrift. Vid TU 5 är avståndet mellan fronterna i början av januari cirka 2 km.

Salvborrning
Vid båda kontrakten genomförs borrningen med Atlas Copco Rocket Boomer riggar. Vid den kortare tunneln TU 2 används en XL3 rigg med borrmaskinerna Cop 1838 HF och vid den längre WL4 C30 rigg med den nya borrmaskinen Cop 3038. Håldiametern är 51 mm i båda fallen men hållängden är för XL3 riggen 5,8 m (20 fot) och för WL4 6,1 m (21 fot). På båda fronterna tillämpas traditionell parallelhålskil med 3 stycken 102 mm grovhål. Den tredimensionella V-kilen har också testats på fyrbomsriggen. Man konstaterade att den hade ett antal fördelar som god logistik vid bomförflyttning och inga störningar av laddkorgen samt mera lättlastad salva. Nackdelar var längre laddningstid (SSE laddningen), längre skrotnings- och rensningstid samt något sämre indrift per salva. Laddningsmetoden SSE laddningen var bestämt i förhand i projektet och fick inte ändras till AnFo. Man bestämde sig därför att utnyttja normal parallelhålskil. Borrningen utförs på båda riggarna av endast en man oberoende av vilken kiltyp som tillämpas.
Bergförhållandena vid de två tunnelkontrakten betraktas som likvärdiga ur borrningssynpunkt varför en jämförelse av uppnådda resultat av borrningen kan göras. Medelvärdet för borrsjunkningen har för hela året vad avser salvhål strax under 2 (1,92) meter per minut för borrmaskinen Cop 1838 HF och för Cop 3038 är motsvarande siffra 3,0 (2,95).
Borrsjunkningen grundar sig på medelvärden av all hittills utförd borrning och inkluderar således även injekteringsborrning vilken som känt är ger lägre penetrationshastigheter. För XL3C riggen är injekteringsborrningen omfattande varför borrsjunkningen i detta fall är icke oväsentligt högre för rena salvhål.
Tid för själva salvborrningen har för XL3 C är av storleksordningen 3,5-4 timmar och antalet hålmeter har då varit 750-780. För Cop 3038 är motsvarande siffra 2,5-3,0 timmar med 790 – 810 borrmeter. Vinsten per salva är då tidsmässigt 1 timme samt 5% längre indrift vid övergång från XL3 C till WL4C30. I angivna tider ingår också tid för att ladda bottenhålen. Under kortare perioder har en Boomer 1000 med Cop 1838 ME varit engagerad och typiska värden för denna är 1,6 meter per minut samt en salvborrningstid av 4,5-5,0 timmar. Till alla tider skall mobilisering läggas för alla tre riggarna. För att göra sifferpresentationen mera överskådlig har värdena införts i tabell 2 nedan.

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

Rigg	Borrmeter meter	Borrsjunk m/min	Borrtid salva & laddning sulhål timmar	Mobilise-Ring timmar	Total tid timmar
Boomer WL4C30 Cop 3038	790-810	3,0 (2,95)	2,5-3,0	0,3	2,8-3,3
Boomer XL3 Cop 1838 HF	750-780	1,9 (1,92)	3,5-4,0	0,3	4,8-4,3
Boomer 100 Cop 1838 ME	750-780	1,6	4,5-5,0	0,3	4,8-5,3

Tabell 2 sammanställning salvborrningstider för tre olika riggar vid likartade bergförhållanden. Observera att borrsjunkningen som angivits är medelvärden som även omfattar injekteringsborrning, vilken har varit av väsentlig omfattning för Boomer XL3C.

Figur 3 Fyrbomsriggen WL4C30 som utför att salv- och bultborrning på kontrakt TU5

Laddning av bottenhål görs så snart hålraden ovanför bottenraden är borrad. Borriggen är under laddningsförfarandet helt inaktiv. Laddningen utförs av borraren och sprängämnet är patronerad emulsion Kemiitti 29x1000. Tiden för denna laddning är 15- 20 minuter.
I salvtiden ingår också 3-4 kronbyten eftersom omslipning sker efter cirka 100-120 borrmeter.

Laddning:
Kontraktshandlingarna säger att laddning får utföras med patronerat sprängämne eller alternativt med bulk emulsion. AnFo får inte användas i tunnlarna och anledningen till detta är att man vill minimera sprickutbildningen i tunnel väggar och tak. Vid bulk emulsion måste entreprenören även i efterhand kunna visa hur mycket sprängämne i kg man har använd i varje enskilt konturhål.
YIT har valt att använda bulkemulsion och då med SSE tekniken där emulsionsmatrixen gasas strax innan den matas in i spränghålet. Forcit är leverantör av sprängämnet men tillhandahåller inte blandarutrustning. YIT har designad en egen mobil blandarstation vilket byggdes på ett chassi från Normet. Den är helt datastyrd och har inprogrammerat ett antal recept. Laddaren väljer recept beroende av vilken typ av hål han skall ladda. Periferihålen ges

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

300 gram per meter hål, hål i hjälparraden ges 600 gr/m och öppningshålen 1300gr/m och som dessutom laddas fullt ut. Det innebär att en salva med håldjup 6,1 m och 117 hål tar emot cirka 700 kg. Till detta kommer den patronerade laddningen av bottenhålen som är 10 stycken.

Figur 4 Laddningsrigg framtagen av YIT

Att ladda ett hål tar 30-40 sekunder inklusive flytt mellan hålen. Totala laddtiden blir cirka 2 timmar inkluderande mobilisering och sprängning.
Laddningsriggen registrerar varje hål samt total mängd av emulsion i varje salva. Registreringsinformation kan tas ut efter laddningen med hjälp av bärbara datorn och rapportera till beställarens kontrollant.

Ventilation:
Avståndet mellan friskluftintaget vid fläktarna och fram till den längst bort belägna stuffen är nästintill 2km. Det är en lång sträcka och man har därför 2,0 m diameter på fläkttuben. I nedfartstunnel ges dock inte utrymme för mer än två stycken 1,6 m tuber. Det innebär att fläktarna måste ges stor effekt och det är inte förvånande att de är de enskilt största energiförbrukarna på arbetsplatsen trots att man väljer lämpligaste effektläge för aktuell aktivitet vid tunnelfront. Total installerad effekt på arbetsplatsen TU 5 är 1 440 kVA och på TU 2, 1 000 kVA.

Lastning:
Lastning sker vid tunnelfront med sidtippande skopa på reguljära lastbilar med 4 eller 5 axlar. Bergmassorna körs på allmänna vägar till hamnområdet där utfyllning sker för den nya containerhamnen. Massorna ägs av beställaren. Eftersom transporterna är intensivt övervakade av polis vad gäller överlast tillåter man bara 2,5 – 3 skopor per lass där varje skopa är cirka 6,5 ton. Lastaren är en Cat 980 G med sidtippande tandlös skopa av finskt fabrikat. Cykeltiden för en skopa är strax under 40 sekunder och utlastningskapaciteten

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

inklusive växling av lastbil är dryga 100 verkligt fasta m3/timme. Det innebär att det åtgår dryga 15 lastbilar för att hålla undan för lastmaskinen eftersom avståndet till tipp är cirka 20 km enkel väg.
Volymen av en salva är cirka 350 m3 (tf) och den är utlastad på cirka 3,5 timmar.
Borttransporten utförs av en underentreprenad. YIT står själva för upplastningen.

Skrotning:
Skrotningsförfarandet i Finland skiljer sig uppenbarligen från det i Sverige. Man använder inte hydraulhammare utan man river loss det lösa berget med hjälp av en kraftig ”julgransfot” i stål som är monterad på en grävare av mellanstorlek. Ibland tillämpas manuell skrotning från salvhögen. Tiden för salvskrotning blir därför relativt kort och är av storleksordningen 1,5 h inklusive rensning. Skrotningsverktyget framgår av figur nedan.

Figur 5 Julgransfot (fot i skopan) för salvskrotning, här ej monterad på grävaren

Sprutbetong och bergbultning:
I stora delar av tunneln är bergkvaliten så god och berguttaget har gjorts så fackmannamässigt att risken för blocknedfall har bedömts som obefintlig. Merparten av tunneln behöver inte någon bultning eller sprutbetonginklädnad alls under sprängningsarbetets gång. Om det finns behov för enstaka bultar i tunneltaket utnyttjas man normalt CT-bult L=3 m. I sämre sträckor har man utnyttjat borrbultar L=12-15 m (typ Wiborex) som vinklas över tunneltaket (spiling), systematisk bergbultning med kamjärn samt fibersprutbetong i tunnelväggar och tak.
Vid förstärkningsarbeten intill tunnelfront krävs att betongen har uppnått tryckhållfastigheten 15 MPa innan nästa salva kan sprängas.
Hela tunneln får en systematisk försträkning med helingjutna kamjärnsbultar och sprutbetong efter avslutat berguttag. Betonghållfasthetsklassen för slutlig sprutbetong är satt till K35 vilket

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

betyder att sprutbetong kräver cirka 430 kg cement. Vattenmängden i sprutbetong får inte överstiga 180 kg.

Förinjektering:
Det har ovan sagts att förinjektering inte förväntas utföras generellt utan endast i ett begränsat antal zoner. Så har också utfallet blivit. I kontrakt TU5 har hittills en mycket liten sträcka krävt förinjektering för att uppfylla kraven på accepterad inläckning. Prognosen för den kommande tunnelsträckningen indikerar dock väsentligt mer förinjektering. För effektivt utföra det väntade tätningsarbetena har YIT investerat i en helt ny injekteringsrigg i samarbete med Atlas Copco Craelius. Den är försedd med fyra separata injekteringspumpar och varje pump servar två injekteringsledningar vilket gör att åtta hål kan injekteras samtidigt om möjligt. Varje pump har sitt eget blandningskärl och omrörare och riggen är helt datoriserad med automatisk registrering av operationer och hanterade mängder. Operatörsplatsen är så arrangerad att operatören har sikt över tunnelfronten vilket underlättar kommunikationen med personalen som befinner på tunnelfronten och i arbetsplatttform.

Figur 6 Den nya injekteringsriggen som har utvecklats tillsammans med Atlas Copco Craelius. Observera att taket över operatörsplattformen är i nedsänkt läge för transport.

Tid för salvcykeln:
Enkelt kan salvcykeln sammanfattas enligt tabell 3 nedan. Den typiska salvan innehåller inga förstärkningsinsatser

Aktivitet	Timmar
Borrning salvhål	3,0
Laddning salvhål	2,0
Ventilation	0,5
Utlastning	3,5
Skrotning	1,0
Rensning	0,5
Total tid	10,5

Tabell 3 Sammanställning av den typiska salvcykeln

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

. Den genomsnittliga salvtiden är dryga 10 timmar och eftersom arbetstiden per vecka är 120 timmar skulle det teoretiskt vara möjligt att få ut cirka 11 salvor per front det vill säga 22 salvor. I praktiken uppnår man 17 till 18 salvor i bra berg inkluderande sonderingsborrning samt vattenförlustmätning vid var tredje salva, vilket är >80% av vad som maximalt kan uppnås. Det är ett gott resultat för tvåfrontsdrift. Sjutton salvor betyder 93 m tunnel i veckan.

Arbetstid och personalinsats:
Arbetet bedrivs på 3 skift 5 dagar i veckan och det betyder 120 timmar per vecka. För att möta lagstadgade arbetstiden är var trettonde fredag arbetsbefriad. Besättningen utgörs av totalt 6 man per skift. Egentligen är det 5 man samt en person under utbildning. Dessutom har man en skiftgående arbetsledare. Till dessa tillkommer den personal som arbetar för underentreprenören som svarar för uttransporten av bergmassorna samt den maskinella skrotningen. På dagtid finns ytterligare två arbetsledare. Det innebär att hela YIT besättningen är 23 man varav 3 är under utbildning. Man arbetar 48 veckor om året.
Service av borrigg tillhandahålles av Atlas Copco Finland.

Maskinparken:
I tabell nedan har samtliga större maskinenheter sammanställts. Nyvärdet av YIT:s maskinpark ej inkluderande underentreprenörers utrustning är av storleksordningen 30 miljoner SEK i TU 5 kontrakt.

Borrigg WL4C30	1
Laddrigg	1
Lastare Cat 980G	1
Lastbilar UE	17
Sprutbetong rigg	1
Injekteringsrigg	1
Skrotare UE	1
Arbetsplattform	1
Fläktar	2

Tabell 4 Sammanställning av de större maskinenheterna i TU 5 kontrakt

Utförda arbetsmängder i TU 2 kontraktet:
Arbetena startade i januari 2005 med 200 m långa nedfarten. I mitten av februari började dubbelfrontsdriften vid huvudtunneln. Södra fronten (777 m) blev färdig i oktober. På grund av sämre berg i norra fronten har man satt omfattande mänger av bergbult och sprutbetong vilket har fördröjd färdigstallande av denna front. Vid årsskiftet 05-06 var totalt 1 560 m av järnvägstunneln färdigställd inkluderande de driftförstärkningsmänger som är sammanställda i tabell 5 nedan.

Tunnelschaktning i järnvägstunnel m	1560
Sonderingsborrning m	3 200
Förinjekteringsborrning m	18 700
Bergbultning helgjuten kamjärn m	5 800
Bergbultning CT-bult m	360
Bergbultning, borrbult typ Wiborex m	950
Sprutbetong m3	550

Tabell 5 Utförda arbetsmänger i TU 2 järnvägstunnel, december 2005

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

Utförda arbetsmängder i TU 5 kontrakt:
Arbetena startade i januari 2005 med 305 m långa nedfarten. I april började dubbelfrontsdriften vid huvudtunneln och vid årsskiftet var avståndet mellan fronterna näst intill 2250 meter. Det innebär att man på 9 månader har gjort 2 250 meter tunnel eller i snitt 250 meter per månad inkluderande driftförstärkningsmänger som är sammanställt i tabell 6 nedan.

Tunnelschaktning i järnvägstunnel m	2250
Sonderingsborrning m	6 350
Förinjekteringsborrning m	2 000
Bergbultning kamjärn m	1 650
Bergbultning CT-bult m	1 500
Sprutbetong m3	435

Tabell 6 Utförda arbetsmänger i TU 5 järnvägstunnel, december 2005

Varför har tunnelsektionen breddats:
Ovan har redan förklarats att entreprenören har med beställarens godkännande ökat tunnelbredden från 6,6 m till 7,5 m. Orsaken till breddökningen är att utlastning kan genomföras på betydligt kortare tid. Tidsvinsten är så stor att nettot mellan vinst på grund av kortare byggtid och de merkostnader som uppstår är positiv.
Hur kan detta vara möjligt om man tar hänsyn till de långa transporterna av bergmaterialet? För att demonstrera riktigheten i beslutet att vidga tunnelsektionen har en starkt förenklad särkostnadskalkyl utförts.
Utgångspunkt för beräkningen är att de tidsberoende kostnaderna utgör 70 % och de material beroende 30%. Om man antager att tunnel kontraktet omfattar 4 km tunnel att drivas som dubbelfront och att priset för själva tunneln är 12 miljoner Euro. Ett rimligt antagande är att kostnaden är 85% av priset. Tunnelbygget förväntas pågå i 20 månader eller 85 veckor. Det innebär att de tidsberoende kostnaderna per vecka blir då Euro 84 000.
Vid tunnelbredden 7,5 m kan upplastning ske vid tunnelfront med sidtippande skopa. Vid den smalare tunnelbredden 6,6 m måste lastning ske i utsprängda nischer som har placerats på var hundrade meter och lastning sker då med frontlastande skopa. I det senare fallet förlängs lastningstiden av en salva med inte mindre än 2,5 timmar trots att bergmängden är 9 % mindre. På en sträcka av 2000 m blir det 357 stycken 5,6 m långa salvor. Vid tidsvinsten 2,5 timmar på var och en av de 357 salvorna förkortar man arbetstiden med hela 9 veckor. Då har antagits att av veckans 120 nominella timmar är 102 effektiva (85 %). De nio veckorna betyder en kostnadsbesparing av Euro 765 000.
Självfallet tillkommer kostnader för de ökade mängderna. Det är transport av 24 000 m3 fast berg till en kostnad av 0,175 Euro per ton-km. Det ger en total fördyring av 227 000 Euro. Lastaren Cat 980 utför väsentligt mindre arbete eftersom den slipper transport till lastnisch. De materialberoende kostnaderna för detta arbete har beräknats till 1,9 Euro per ton-km vilket ger en kostnadsreduktion av Euro 76 000. För borrning av salvhål och laddning av dessa är den materialberoende kostnaden beräknad till 2,5 Euro/m vilket ger en fördyring på Euro 38 000.
För förstärkningsmaterial som bult och sprutbetong har volymökningen bedömts till 7 % på de ursprungliga mängderna och med ett pris av 15 Euro/m bult samt 300 Euro/m3 sprutbetong blir merkostnaden för dessa Euro 47 000 och 111 000 respektive. För övriga ej täckta kostnader har sats en klumpsumma på Euro 40 000. Förinjekteringen förväntas att påverkas

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

endast marginellt och eventuella merkostnader täcks av posten övrigt. Med ovan angivna plus och minusposter skulle totalvinsten bli hela Euro 376 000. eller 3,7 % av totalkostnaden för hela tunneldrivningen. För att underlätta förståelsen av beräkningarna har slutsummorna sammanställts i tabell 7 nedan.

Total kostnad Euro	10 200 000	
	Kostnads reduktion	Kostnads ökning
Byggtid	765 000	
Salvhål: borr & ladd		38 000
Transport bergmassor		227 000
Upplastnig	74 000	
Sprutbetong		111 000
Bultning		47 000
Övrigt ospecificerat		40 000
Summa	839 000	463 000
Differens	376 000	3,7 %

Tabell 7 Sammanställning av särkostnadskalkyl för de två tunnelbredderna 6,6 och 7,5 m. Observera att siffrorna inte grundar sig på entreprenörens kostnadskalkyl utan är skapad i efterhand för att åskådliggöra effekten av en breddökning.

Hantering av pH i TU 2 avloppsvatten:
I handlingarna ställs krav på pH -värdet hos avloppsvattnet från tunnelbygget om vatten ska ledas till naturen efter normal sedimentering och oljeavskiljning, vilket är fallet i TU 2 kontraktet. I samband med injekterings- och sprutbetongarbeten blir pH -värdet i tunnelvattnet alltid för högt varför avloppsvattnet måste behandlas före utsläpp i recipienten. Istället för att sänka värdet med svavelsyra som är lite av en balansakt tillsätter man istället koldioxid (CO_2). Man tillsätter koldioxiden med hjälp av en perforerad matta. Den har placerats på botten av en genomströmningsbassäng för avloppsvattnet. Dosering av CO_2 och mätning av pH-värdena sker med full automatik.

Sammanfattning:
Tunneldrivningen har hittills löpt mycket smidigt med det upplägg som YIT har valt. Sannolikt bottnar framgången i att YIT redan i planeringsskedet hade en god uppfattning om vad bygget skulle innebära. Man har också tagit ett starkt grepp om drivningen genom att i mycket hög grad lita till eget kunnande, utförande och till viss del med egenutvecklad utrustning. Mängden underentreprenader är begränsad vilket är lite av att gå mot strömmen i tnneldrivningsbranschen.
Det är mycket intressant att konstatera att en cirka 10 % förstoring av tunneltvärsnittet visar sig i detta fall ge en totalt billigare tunnel. Vidare har den av Atlas Copco nyligen lanserade fyrbomsrig med den nya borrmaskinen Cop 3038 samt emulsionsladdning (i stället för patronerad sprängämne) givit ett stort bidrag till att hålla upp drivningshastigheten i dessa två kontrakt av projektet.

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