© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Med pumpbart emulsionssprängämne genom Alperna – De första erfarenheterna med pumpbart emulsionssprängämne i den nya tågtunneln genom Gotthardmassivet i Schweiz

Mats Börjesson,
Dyno Nobel Sweden AB, Gyttorp, Sverige.

Sammanfattning

Byggnadsarbetena med de båda schweiziska NEAT-tunnlarna Gotthard och Lötschberg pågår sedan något år. I detta föredrag kommer i främsta hand sprängarbetena i Gotthard-tunneln att behandlas. Tack vare förnyade och modernare metoder har återigen sprängningsmetoden kommit att framstå som ett konkurrenskraftigt alternativ till bl a tunnelborrmaskiner (TBM). En hög effektivitet samt optimerad balans mellan datastyrda borriggar, bergförstärkningsutrustningar, automatiserade laddutrustningar för sprängmedel samt utlastningsutrustningar har gjort detta möjligt. Det senaste decenniet har inneburit något av en "industriell revolution" inom det traditionella tunnelbyggandet där nyutvecklade bergbyggutrustningar medfört en kapacitetsökning om ca 30%. Pågående jämförande tester av olika konkurrerande sprängämnestyper och -system kommer att kunna påvisa deras olika effektivitet och potential för ytterligare förbättringar.

1 Inledning

Det sedan ett par decennier emotsedda NEAT-projektet (Neue Eisenbahn Alpen Tranversalen) kunde för ett par år sedan ta sin början. En investering motsvarande CHF 35 mdr (ca SEK 180 mdr) påkostas i uppgradering av det schweiziska järnvägsnätet. Önskemålet är att få bort merparten av den tunga transittrafiken från motorvägsnätet. Samtidigt tas kampen om passagerare och styckegods upp med flyget mellan framförallt Tyskland, Schweiz och Norditalien i och med att höghastighetståg kommer att trafikera det nya järnvägsnätet. Restiden Zürich – Milano förkortas från 3 tim 40 min till 2 tim 10 min. 1 timme p.g.a. snabbare tunnelgenomgångar samt ytterligare 30 min genom den allmänna uppgraderingen (Bahn 2000) till höghastighetstrafik.

Tågtransiteringen genom alperna har hittills skett genom Gotthard- och Lötschberg-tunnlarna. De byggdes 1872-82 (15 km) resp. 1906-13 (14,6 km) och är belägna ca 1200 m h.ö.h.
De nya Gotthard- och Lötschberg-tunnlarna placeras på ca 500 m h.ö.h., vilket medger genomfart i höga hastigheter om 200 - 250 km/tim för persontåg samt 100 – 160 km/tim för godståg.

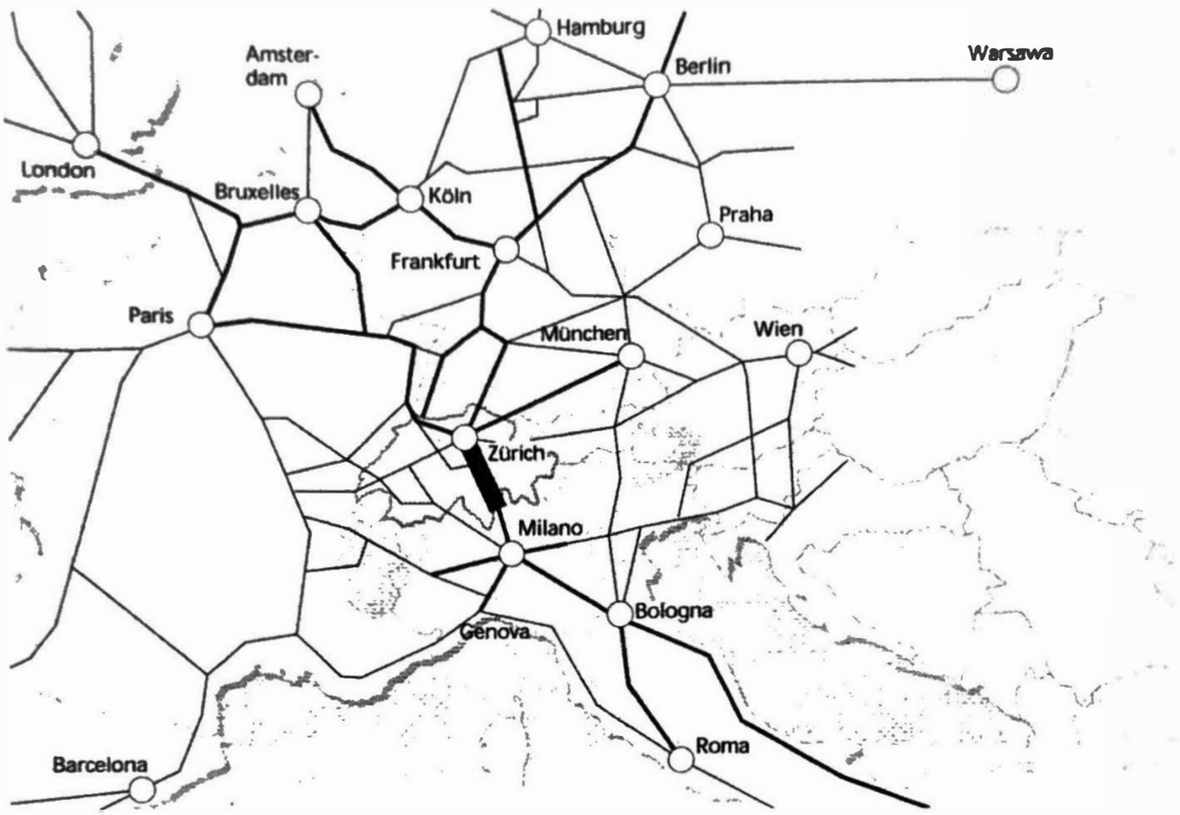
I tillägg till dessa tunnlar ingår i AlpTransit-projektet även Zimmerbergtunnlarna söder om Zürich (22 km) samt Ceneritunneln norr om Lugano (15 km). Zimmerbergtunneln, delprojekt 1, pågår emedan delprojekt 2 samt Ceneritunneln ligger något fram i tiden.

Trafikintensiteten är mycket hög redan idag med tät trafik dygnet runt. Den totala kapaciteten om ca 20 milj årston förväntas öka till ca 52 milj. Ur miljösynpunkt anses

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

detta som ytterst viktigt då under perioden 1970 – 1998 mängden tåggods ökat med endast 37% medan landsvägstrafiken påvisat 1100% ökning!

Geografiskt sträcker sig Gotthard-tunneln genom tre huvudmassiv bestående av granit, gnejs och skiffer. Dessa är bitvis genombrutna av sedimentära formationer (dolomit, grus och gips). Den förmodade "strösockerformiga" dolomiten i Pioramulde medförde att man 1993 drev en 5,5 km lång undersökningstunnel från Faido. Erfarenheterna härifrån innebär ökad kunskap om behovet av kommande dränering och injektering.



(Bild 1. Europeiska järnvägsförbindelser).

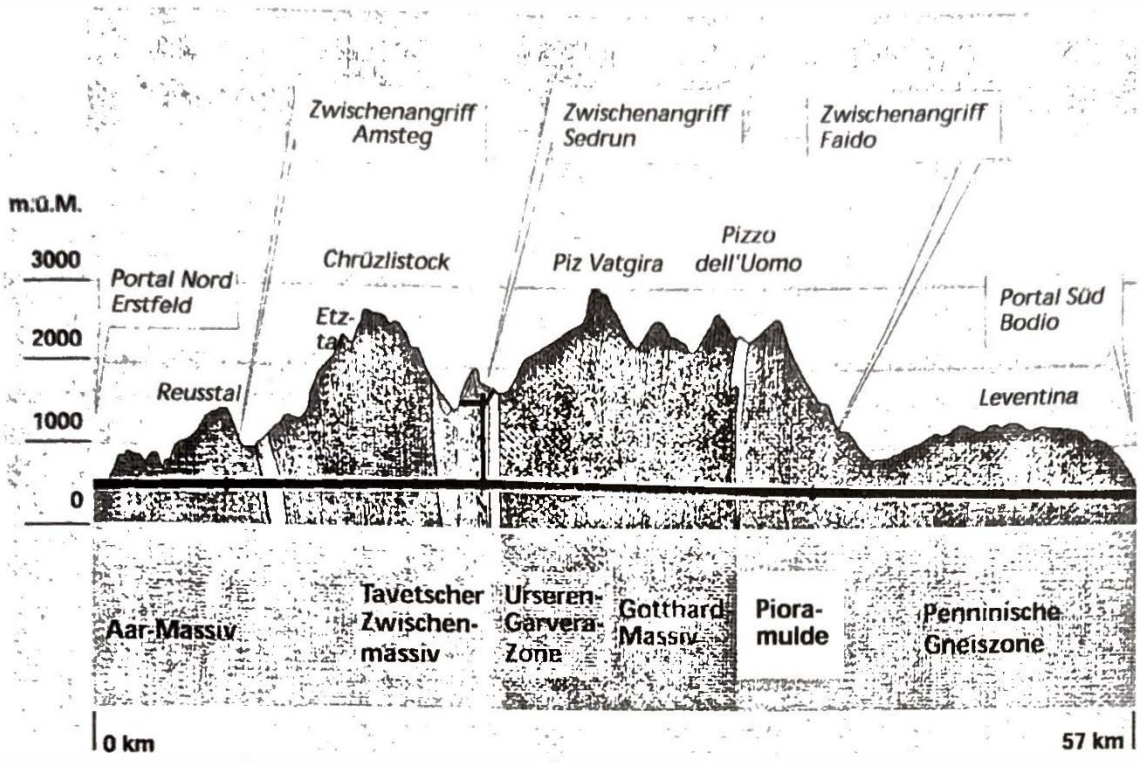
Förprojekteringen har pågått sedan ett par decennier och en folkomröstning föregick beslutet att genomföra projektet. Förutom den traditionella finansieringfrågan och marklösenproblematiken har man gång efter annan stött på en rad mer svårbemästrade problem. Till dessa hör:

- Miljöfrågor kring själva bygget samt deponeringsproblematiken. Ca 15 miljoner kubikmeter gråberg skall lång- eller korttidslagras. Viss del skall återanvändas i bl a betong- och ballastkonstruktioner både inom och utom NEAT-projektet samtidigt som stora mängder går till långtidsdeponering i bl a gamla nedlagda grustag.

- Bergkvalitéer i kombination med extrema bergtryck är andra. Det förekommer bergtäckning upp till 2300 m.

- Längden 57 km samt att temperaturen i tunneln kommer att ligga runt 45°C innebär behov att mycket kraftiga ventilations- och kylaggregat under byggtiden.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



(Bild 2. Gotthard Basis-tunneln: Geologisk längdprofil med angreppspunkter).

2 Byggkoncept

Huvudtunnlarna består av två parallella enkelspårstunnlar sammanlänkade genom två spårväxelställen i Sedrun och Faido. Vidare länkas de samman genom tvärgående räddningstunnlar var 310 m.

Såväl för Gotthard- som för Lötschbergtunneln baseras tunnelprofilen huvudsakligen på följande faktorer:

- Utrymmesbehov (tågtrafik)
- Driftsförhållanden (tågtrafik)
- Brytningsmetoder (projektering)
- Byggnormer (projektering)

Genom att förutom tunnelportalerna Erstfeld i norr och Bodio i söder även anlägga angreppspunkter genom arbetstunnlar/-schakt i Amsteg, Sedrun och Faido optimaliseras byggtiden *(Se bilderna 2 och 4)*.

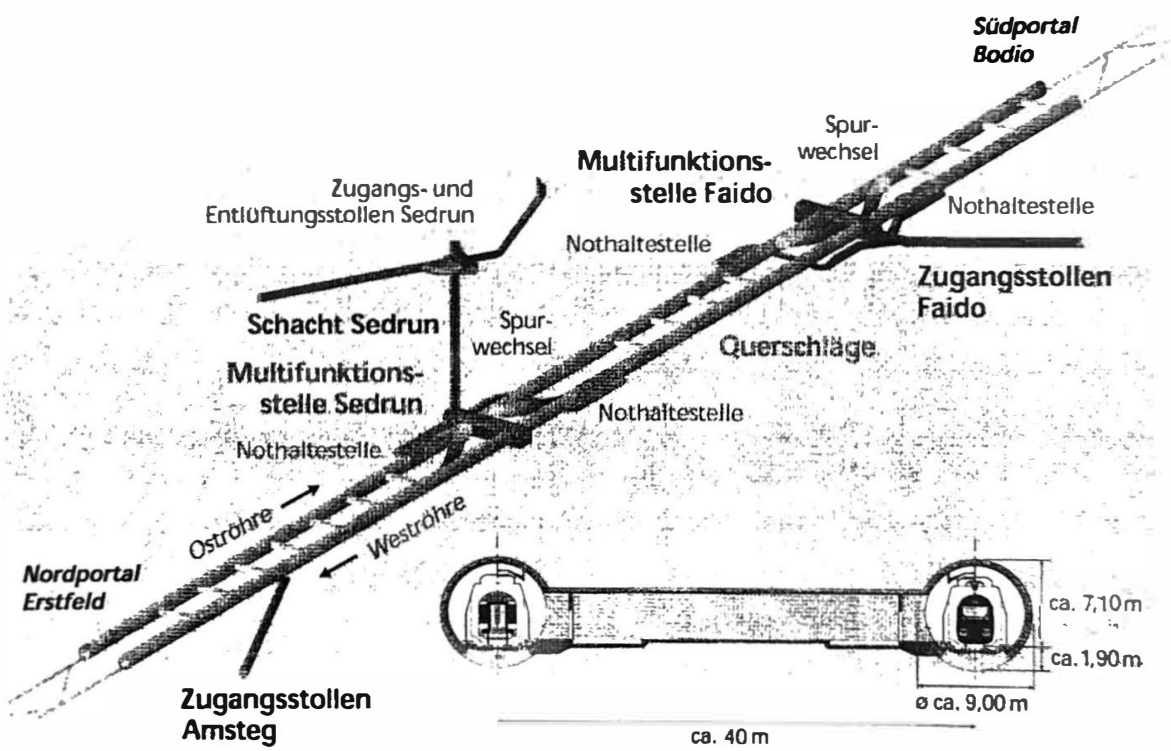
Brytningsmetoderna i huvudtunnlarna avses ske både genom konventionell sprängmetod (SPV) och via tunnelborrmaskiner (TBM). Brytningsmetoderna är föreskrivna i bygghandlingarna och noggrant övervägda bl a beroende på bergkvalitet. I vissa delar måste entreprenören offerera båda typerna av brytningsmetoder i anbudet. Det slutliga valet i dessa fall bestäms dock av beställaren på basis av pris och byggtid. De tre arbetstunnlarna bryts samtliga med konventionell sprängmetod.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

3 Projektet

3.1 Arbetstunnel Amsteg (Los 251)

Den österrikiska entreprenadfirman Ed. Ast & Co., Feldkirchen, driver detta projekt tillsammans med den schweiziska byggfirman Wüest, Lucern, sedan Januari 2000 och arbetet med den 1800 m långa tunneln slutfördes i november 2000. Den har ett tvärsnitt på 66 m^2 och löper i det närmaste horisontalt. Med ca 110 borrhål (45 mm) och 4,1 m håldjup har dagligen 4-5 salvor skjutits. F.n. pågår drivning av optionsdelen, d.v.s. delar av huvudtunnlarna samt utrymmen för uppstart av ev. TBM-utrustning drivs fram till dess huvudtunnelprojektet (Los 252) Amsteg (2x11,400 m) kommer igång någon gång under sommaren 2001. Här har den snabba drivningen möjliggjorts bl a genom användande av Dyno Nobel's SSE- och Nonel-system (pumpbart emulsionssprängämne och icke elektriskt initieringssystem). Vad gäller huvudtunnlarna så skall i anbudsgivningen både TBM och konventionell sprängmetod offereras.



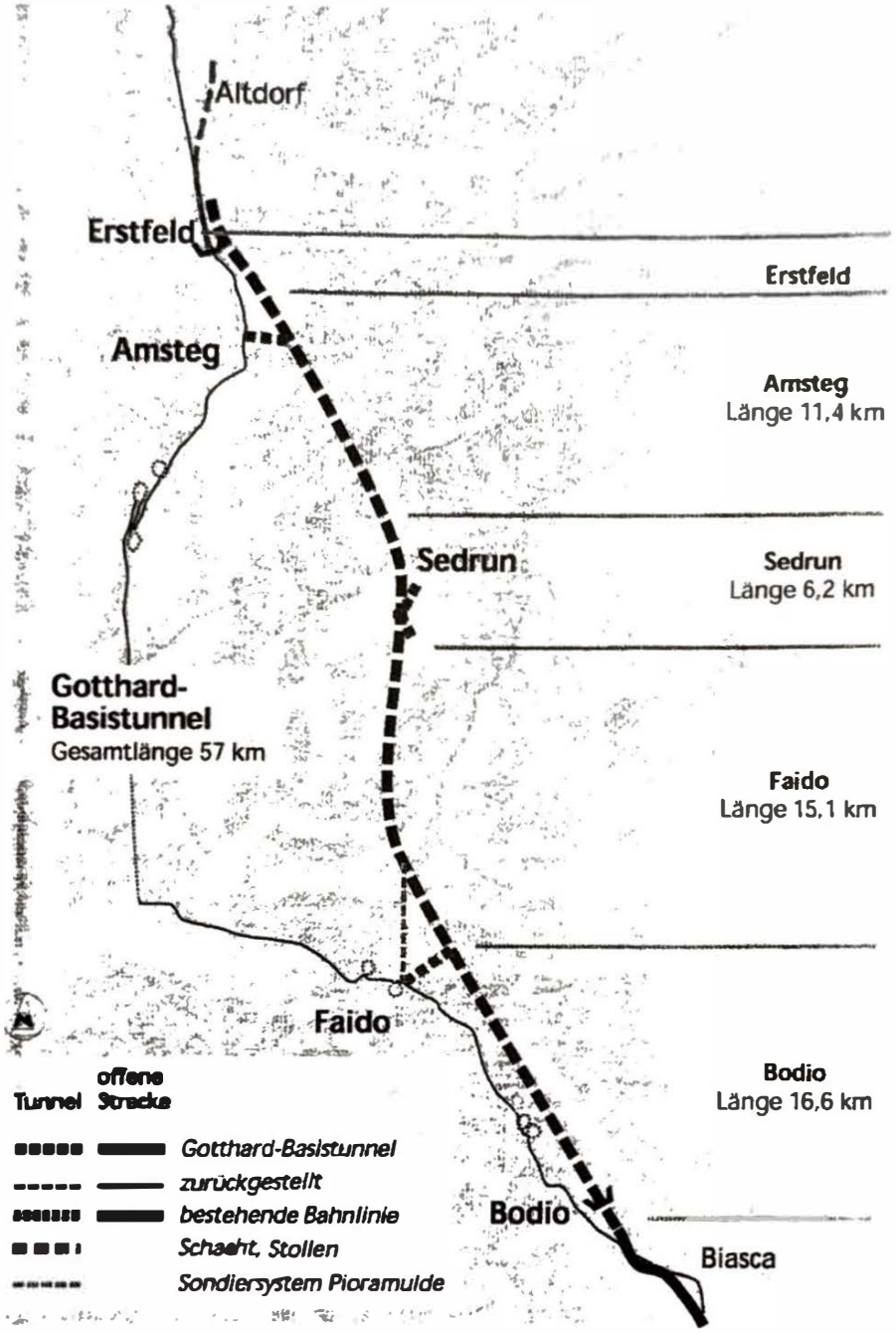
(Bild 3. Vertikalschakt Sedrun).

3.2 Vertikalschakt Sedrun

På våren 1996 startade förberedelserna för schaktdrivningen av ett 800 m djupt vertikalschakt (arbets-, ventilations- och nödutrymningsschakt) med en diameter om 7,90 m. Ett ARGE (= Arbeitsgemeinschaft) mellan Zscokke-Locher (CH), Shaft Sinkers (R.S.A.) m fl driver projektet. Schaktdrivningen slutfördes i oktober 2000, efter ca 13 månaders drivning. Ca 120 borrhål med ett borrdjup på 3,2 m har inneburit en snittförbrukning om ca 6 kg sprängämne/m^3 utsprängt berg. Här har man nu påbörjat bergarbetena för spårväxel- och huvudtunneln. Bergkvalitén är f.n. relativt dålig och

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

salvor om ca 2-2,5 m skjuts. På grund av detta och mycket begränsade utrymmen i schaktet önskar man f.n. ej påbörja "försök" med pumpbart emulsionssprängämne utan detta kommer förmodligen att ske först i samband med drivning av spårväxelsystemet samt huvudtunneln någon gång under hösten 2001 (Los 360).
Dessa arbeten är i anbudshandlingarna föreskrivna att ske genom konventionell sprängmetod.



(Bild 4. Gotthard-tunneln med delprojekt).

3.3 Arbetstunnel Faido (Los 451)

ARGE Pizzarotti/Muttoni (I/CH) driver alltsedan början av år 2000 denna 2700 m långa tunnel som faller 12% och har ett tvärsnitt på 66 m^2. Ca 110 borrhål (51 mm), 4,4 m

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

långa och 2-3 salvor per dag med patronerad dynamit ger ej önskad indrift utan man önskar påbörja prov med Dyno's pumpbara emulsionssprängämne. Efter anbudsgivning i december 2000 påbörjas någon gång under 2001 arbetena med (Los 452) det s.k. multifunktion-stället Faido, d.v.s. spårväxel samt nödutrymningsvägar och de 2x14,800 m långa huvudtunnlarna. Här föreligger ett val mellan TBM alt. konventionell sprängning

3.4 Arbetstunnel Bodio (Los 552)

Den schweiziska byggfirman Batigroup driver alltsedan augusti 2000 detta projekt som omfattar en 1300 m lång kombinerad arbets- och transporttunnel samt senare även ca 2500 m huvudtunnel. Denna tunnel drivs för att man beroende på de svåra geologiska förhållandena vid framförallt tunnelportalen skall kunna bibehålla projektets givna tidsramar. Ca 1200 m av den förstnämnda är nu driven och f.n. skjuts ca 3 salvor per dygn. Med ca 120 borrhål och 3-4 grovhål med ett borrdjup på 4,6 m laddas det med Dyno's pumpbara emulsionssprängämne och kunden har förklarat sig mycket nöjd med våra sprängmedel.

3.5 Tunnelportal Erstfeld

Arbetet med den nordliga portalen, belägen i Erstfeld, avses påbörjas under 2002. Här ingår även 2x7,400 m huvudtunnel (Los 151). Även här föreligger val mellan "ren" TBM-drivning alternativt att kombinera TBM och konventionell sprängning.

3.6 Tunnelportal Bodio

Här har förarbetet påbörjats redan i juli 2000 med det 400 m långa tunnelavsnittet i löst berg. Först när den under 3.4 ovan nämnda arbetstunneln är färdig kan detta avsnitt färdigställas.

4 Erfarenheter med pumpbart emulsionssprängämne

4.1 Bakgrund

I ett land av Schweiz' karaktär med mycket hög befolkningsdensitet i beboeliga områden föreligger mycket strama regler gällande lagringsmöjligheter av sprängmedel. Inte sällan ges endast möjlighet att lagra dagsbehovet. Detta innebär stora logistiska problem med bl a mycket höga transportkostnader och svårigheter med produktionsplaneringen på entreprenaden.

Traditionellt har sprängarbete i tunneldrivning i Schweiz skett med patronerade sprängämnen. Företrädesvis har drivningen även skett med förhållandevis korta salvlängder, vilket ej påskyndat någon mekanisering i laddningsarbetet. Slutligen har införandet av "markersubstans", ett spårbarhetsämne vilket medger att även efter detonation sprängämnets ursprung och ungefärliga tillverkningsperiod kan fastställas, inneburit en kostnadsökning av "i fabrik färdigställda sprängämnen". Lagen om markersubstans tillkom under en period av tilltagande terrorverksamhet i Central- och Sydeuropa. Endast Schweiz har anammat denna bestämmelse i Europa.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ovan nämnda faktorer i samband med höga lönekostnader har påverkat användandet av TBM-utrustningar i positiv riktning.

4.2 Sprängmedelsystem

För att söka återta förlorad terräng avseende sprängmedelsanvändandet har nya system för tändmedel och sprängämnen utvecklas och introducerats. Icke-elektriska tändsystem typ Nonel samt pumpbara emulsionssprängämnessystem har tillkommit bl a genom Dyno's försorg. Pumpbara "icke-explosiva komponenter" blandas direkt vid tunnelgaveln för att först i borrhålet omvandlas till sprängämne. Denna typ av sprängämnen har under de senaste 20 månaderna kommit att få allt större betydelse hos samtliga pågående byggentreprenader inom både Gotthard- och Lötschbergtunnlarna.

Dyno's båda system, SSE (Site Sensitized Emulsion explosives) och Nonel-systemet har snabbt blivit begrepp i Schweiz för modern bergsprängning. SSE-systemet har varit i kommersiell drift i bl a Sverige, Norge och Hong Kong sedan 7 år.
I Schweiz arbetar Societé Suisse Explosifs S.A. sedan något år tillbaka med ett liknande system kallat "Emulga".
I olika delprojekt inom Gotthard- och Lötschbergtunnlarna har båda systemen testats i funktionalitet och prestanda. Idag används endast Dyno's system inom dessa projekt.

Följande delprojekt använder idag Dyno's produkter:

Gotthard-tunneln (Los)	Entreprenör	Lev. Period
1/ Arb.tunnel Amsteg (251)	Ed. Ast/Wüest (A/CH)	0003-
2/ Arb. Tunnel Bodio (552)	Batigroup (CH)	0008-
Lötschberg-tunneln (Los)		
3/ Arb. Tunnel Ferden (46.22.01)	ARGE ATF (CH)	9908-
4/ Basis tunnel Nord (45.3)	ARGE SATCO (A/S/F/CH)	0010-
Förhandlingar pågår betr. uppstart av:		
1/ Arb. Tunnel Faido (451)	ARGE Pizzarotti/Muttoni (I/CH)	0011-
2/ Basis tunnel Syd, Raron (46.61.01)	MaTrans (UK/D/CH)	0103-

Från augusti 1999 till dags dato har Dyno sammanlagt levererat ut drygt 1500 ton SSE-sprängämne i Schweiz.

Vid halvårsskiftet 2001 planeras 8-9 laddenheter vara i bruk i Schweiz.

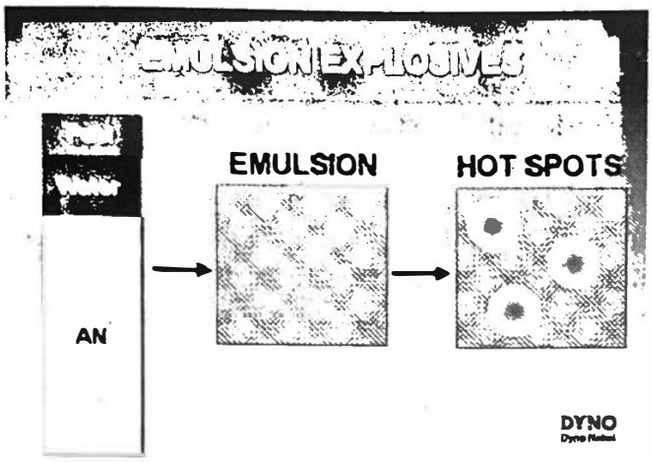
4.3 Systembeskrivning

SSE-systemet består av laddenhet, emulsionsmatriscontainer, gasreagensbehållare samt pumpar för fyllning av laddenheten.

Emulsionsmatrisen (SLE 01) och gasreagensmedlet (N 10) blandas i laddenheten direkt vid tunnelgaveln och pumpas in i borrhålen. Efter blandningen uppstår en kemisk reaktion och först efter en kort stund övergår blandningen till sprängämneskaraktär.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SLE 01 består huvudsakligen av en saltlösning och olja. I en produktionsprocess blandas dessa komponenter med hjälp av en emulgator till en s.k. "vatten i olja"-emulsion.



(Bild 5. Emulsionsprocessen stegvis)

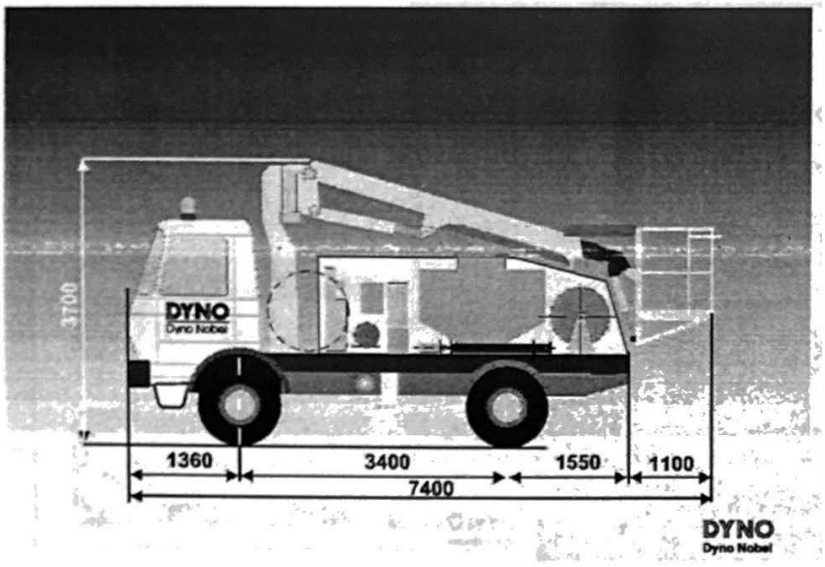
Den oreagerade emulsionmatrisen (SLE 01) har en densitet om 1,4 kg/l och är i Sverige klassificerad enl. ADR/RID som oxiderande ämne klass 5.1, UN Nr. 1479. Detta innebär att SLE 01 skall transporteras och lagras enligt given klassificering (= samma som ammoniumnitrat). Detta innebär stora besparingar då den ej klassas som sprängämne. En lagringstemperatur kring 10-15°C rekommenderas för att säkerställa en god reaktionsprocess. Under laddprocessen tillsätts en mindre mängd gasreagensmedel (N 10), varvid SLE 01 och N 10 reagerar samman. Under reaktionen bildas massor med små luftbubblor och densiteten sänks därmed. Vid densiteten ca 1,30 kg/l övergår produkten till sprängämneskaraktär och bildar sprängämnet SL 700. Densiteten kan påverkas något av både kemiska och fysiska faktorer. Dyno's SL 700 håller en densitet mellan 0,8 – 1,2 kg/l.

Emulsionssprängämnen utmärker sig genom en mycket hög vattenbeständighet samt att de i jämförelse med andra traditionella sprängämnen vid detonation avger kraftigt minskade mängder giftiga spränggaser.

4.4 Laddenhet

För laddningsarbetet finns tre olika typer av utrustningar. Dessa kan väljas allt efter kundens behov.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



(Bild 6. Laddenhet Typ 1)

Typ 1 är utrustad med laddkorg (ca 100 m^2 arb.yta) och två parallella laddningslinjer med egna pumpsystem. Dessa har en kapacitet om max. 70 kg/min. Tankkapaciteten för emulsionsmatris SLE 01 är 2,3 ton. Denna typ används normalt där borriggen arbetar mot flera fronter.

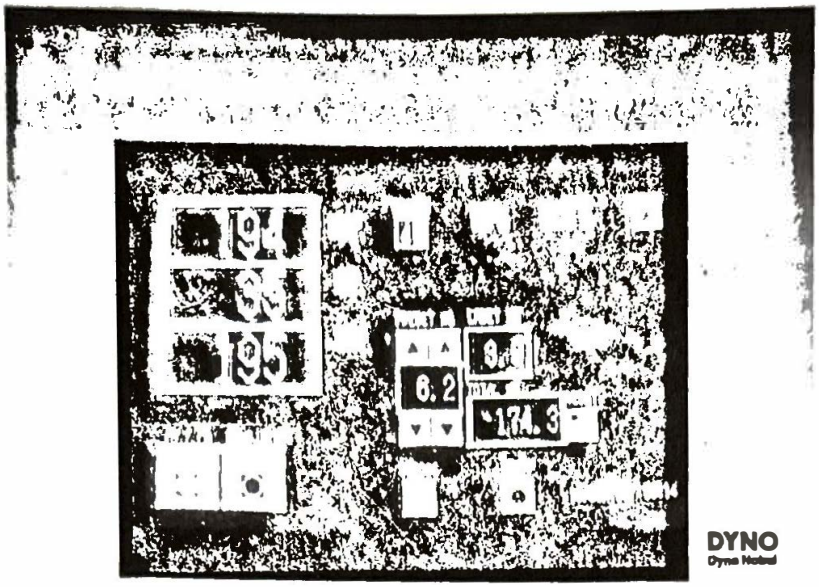
Typ 2 saknar laddkorg samt har en tankkapacitet om 3 ton. I övrigt samma prestanda som typ 1. Denna typ används företrädesvis på arbetsplatser där borriggen normalt arbetar mot endast en front, varvid borriggens egen laddkorg kan användas vid laddningsarbetet. Laddenheten hos både Typ 1 och 2 drivs genom en hydraulmotor, normalt via elektricitet, men kan alternativt drivas via lastbilens dieselmotor.

Typ 3, kallad Mini SSE, är en mindre och mer kompakt version. Denna kan utrustas med tankkapacitet (0,5 – 1,5 ton) beroende på arbetsplatsens karaktär. Mini SSE har två laddningslinjer och ett pumpsystem, varvid en elektronisk brytare skiftar betjäning mellan de båda laddningslinjerna. Mini SSE-modellen kan levereras med eller utan bärare och kraftenhet (hydraulpump/luftkompressor). Här ges möjlighet för kunden att själv utrusta enheten med lämplig bärare och kraftkälla t.ex. borriggen.

4.5 Kontrollerad och dokumenterad laddning

Underjordsbyggandet i tätbefolkade områden har under senare år tilltagit kraftigt. Sprängämnestransporter och lagring har blivit alltmer komplicerade. Parallellt har en allmänt ökad automatisering och effektivisering av maskiner och utrustningar för borrning, utlastnig, bergförstärkning, etc. skett. För att söka följa med och förstärka denna utveckling har Dyno utvecklat bl a SSE-systemet. Detta för att kunna erbjuda ett spräng- och laddtekniskt alternativ som möter önskemål och krav avseende effektivitet, kontroll / dokumentering av sprängarbeten och ökade miljöhänsyn. En kontrollerad laddning erbjuds genom systemets datorisering. Inställningar av laddningsmängder sker "on screen" genom dess LCD-bildskärm.

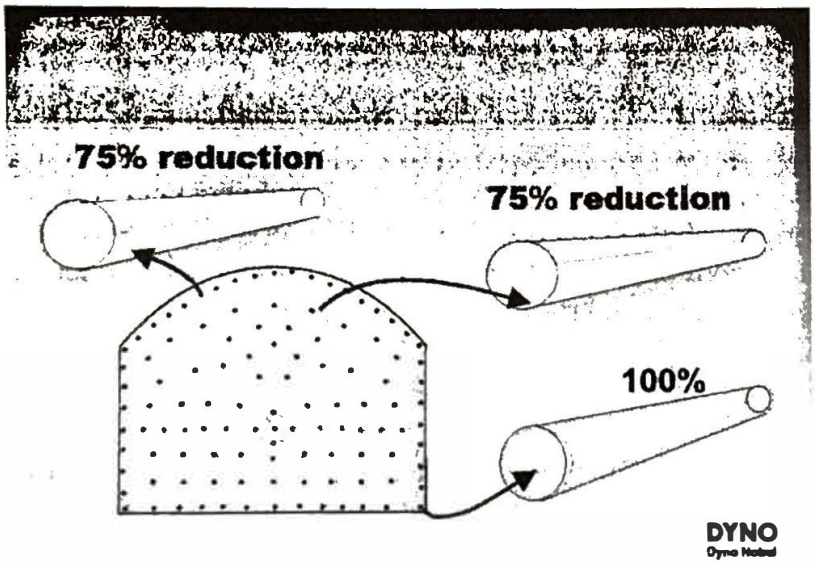
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



(Bild 7. LCD-bildskärm)

Här kan önskade laddningsmängder förinställas för kil-, stross-, konturhål. Vidare kan all information lagras genom ett diskettminne där alla hål, salva för salva, minneslagras. Detta kan sedan användas för att optimera borr- och laddplaner i t.ex. PC.

Den av Dyno utvecklade och patenterade "slangutdragningsutrustningen" möjliggör reducering av laddningsmängderna från 100% till ca 20% i hålet (normalt laddas 350 g/m vid konturladdning). Förutom en förinställd mängd bottenladdning fördelas den reducerade laddningsmängden jämnt över hålets fulla längd.

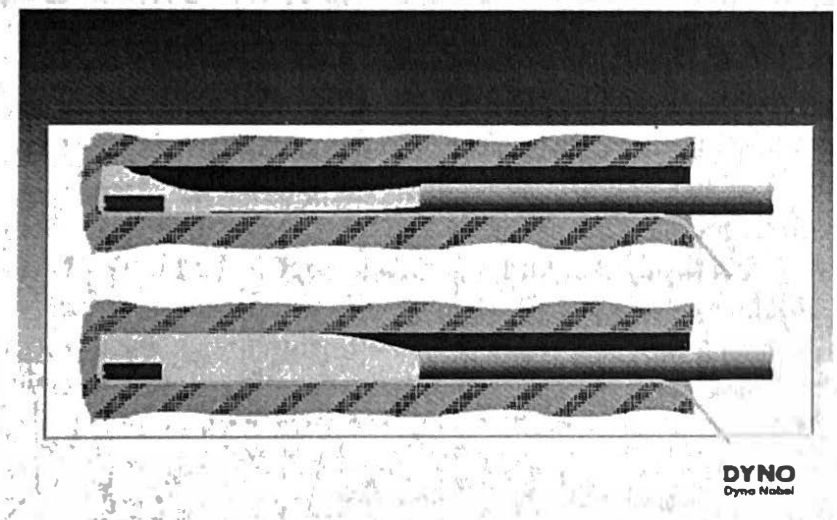


(Bild 8. Reducerad laddning)

En snabb och säker placering av sprängkapsel och primer sker genom att den för systemet utvecklade Nobel Prime, apterad med Nonel-sprängkapsel instucken i laddslangen, förs in i botten på borrhålet. Då emulsionspumpningen påbörjas lämnas primer med sprängkapsel automatiskt kvar i botten av hålet. Vid automatiserad

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

reducerad laddning lämnas även en förstärkt bottenladdning innan slangutdragning sker. Vid manuell laddning trycks slangen av den pumpade emulsionen automatiskt ut.

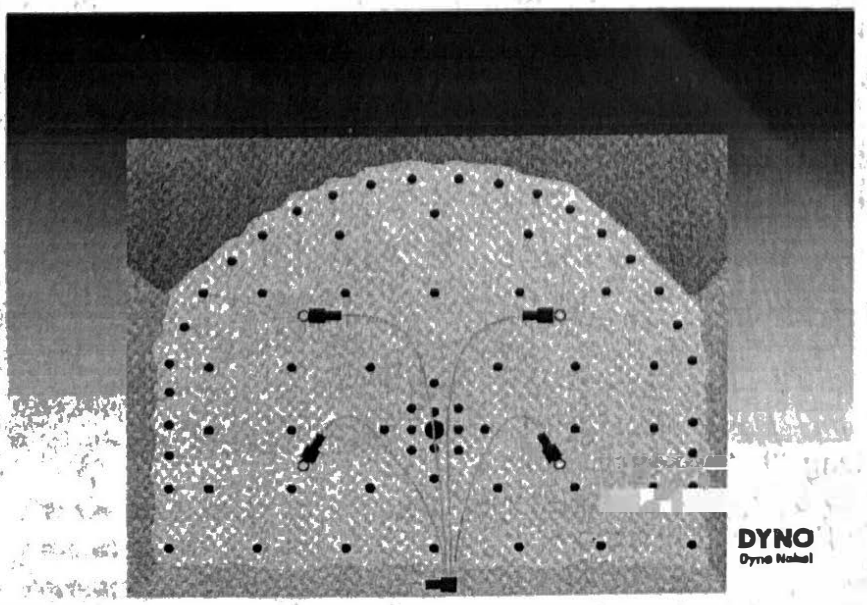


(Bild 9. Primer- och bottenladdning)

Detta innebär att med Dyno's SSE-system behöver endast ett sprängämne användas för hela salvan och bl.a. tidigare tidsödande arbete med pentylstubin eller andra specialsprängämnen i konturhålen har eliminerats. Reducerade sprickzoner i berget har noterats tack vare att reducerad laddning (vanligtvis 50%) även utföres i hjälparraden. Detta innebär besparingar i form av minskat förstärkningsarbete.

4.6 Upptändning

Snabb, säker och ur tändföljd optimal upptändning sker med det icke-elektriska systemet Nonel LP. Detta system erbjuder för tunnelsprängning speciellt anpassade intervallnummer 0-60 (25-6000 ms). Sammankoppling sker snabbt och enkelt med Nonel buntupptändare.



(Bild 10. Uppkoppling med buntupptändare)

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Slutlig initiering av salvan sker lämpligtvis med en elsprängkapsel alt. med något av Dyno's för ändamålet utvecklade produkter ex.vis Dyno Start eller Dyno REM, vilket kan anpassas alltefter kundens behov.

5 Sammanfattning

I Gotthard och Lötschberg har alla arbetstunnlar påbörjats likväl som ett par segment av huvudtunnlarna. De nyutvecklade metoderna inom området borrteknik med halv- och helautomatiska borriggar har visat sig konkurrenskraftiga och lönsamma. Med pumpbara system för emulsionssprängämnen har ännu ett steg i miljö-, automatiserings- och effektiviseringsprocessen tagits. Förbättringar har även genomförts vad gäller utlastnings- och bergsäkringsutrustningar. Tillsammans har dessa satta i system kunnat öka effektiviseringsgraden och därmed skapat nya och förbättrade möjligheter för tunneldrivning genom sprängning.

Det teoretiska energiinnehållet för ng-sprängämnen ligger omkring 4.5 MJ/kg och för emulsioner ligger det omkring 3.2 m^3/kg. Verkningsgraden är dock betydligt bättre för emulsioner p.g.a. att de uppvisar ett idealare detonationsförlopp, som möjliggör att merparten av energin frigörs under bergets sönderbrytningsskede. På grund av hålets fyllnadsgrad och bulkemulsionens lägre densitet ökar mängden förbrukat sprängämne något jämfört med när patronerade ng-produkter används vid samma hålsättning. Detta kan användas till att glesa ut borrhålen vid introduktion av bulkemulsion.

Förutom positiva miljöeffekter finns besparingar i minskad borrning (ca 20%) samt snabbare laddning med mindre personal. Detta ger en avsevärt snabbare arbetscykel och därmed möjlighet till kortare projekteringstid. Erfarenheter från Schweiz har påvisat en ökad indrivningshastighet om 20-30%, i enstaka fall ännu högre.

Vidare erhålls en väsentligt förbättrad arbetsmiljö utan "dynamitskalle", och förbättrade värden gällande CO och NOx har inneburit väsentligt reducerad tid för utvädring av spränggaserna.

Vi får dock inte glömma den mänskliga faktorn, d.v.s. att utan en gedigen fortbildning av involverad personal kan inga förändringar ske. Det gamla ordspråket gäller fortfarande "ingen kedja är starkare än dess svagaste länk". Om så sker har ett nytt verktyg tillkommit i "verktygslådan" för modem bergsprängningsteknik.

LITTERATUR:

- *"Die neue Gotthardbahn – Das Project"*:AlpTransit, VSS-Hauptversammlung 29. April 1999.
- *"Lötschberg INFO"*: BLS AlpTransit, April 1999.
- *"Schweizer Baublatt"*: Heft Nr. 37/77/2000.
- *"Tunnel"*: Heft 4/2000.
- *"Felsbau"*: Heft 3/2000.