



## TUNNELDRIVNING MED PUMPEMULSION

Erfarenheter av sprängämne, utrustning  
och laddningsarbete

Mats Olsson

Bengt Niklasson

Omslagsbild:  
Figur 17. Pumpemulsionssträng (Foto EDZ-Consulting och Forcit)

# **TUNNELDRIVNING MED PUMPEMULSION**

Erfarenheter av sprängämne, utrustning  
och laddnings-arbete

## **Tunelling with pump emulsion**

Experiences of explosives, equipment and charging

Mats Olsson, EDZ-Consulting AB  
Bengt Niklasson, Geosigma AB

BeFo Rapport 115

Stockholm 2012

ISSN 1104 – 1773

ISRN BEFO-R—115—SE



## Förord

En viktig beståndsdel av infrastrukturen, främst i våra större tätorter, är tunnlar och berggrum. I och med att de största tätorterna växer så kommer undermarksbyggande att fortsättningsvis vara en viktig del i de framtida systemen. I samband med dessa arbeten är det viktigt att teknik, material och metoder som används i byggprocessen väljs med avseende på god miljö och arbetsmiljö, håller hög kvalitet samt ger god produktivitet.

Vid bergarbeten används vid sprängning idag i princip uteslutande pumpemulsion i stället för Anfo och patronerade sprängämnen. Laddningsprinciperna för pumpemulsion har inte utvecklats särskilt mycket de senaste 15 åren. I och med att laddning med pumpemulsion till stor del hanteras manuellt på byggplatsen kvävs det här god kunskap, både när sprängämnet tillverkas i laddenheten och avseende laddtekniken vid stuff. Till skillnad från tidigare, då man laddade patronerat, är det svårare att kontrollera laddningsvikter, laddningslängder och var laddningen är placerad. För att uppnå en förbättrad kvalitetskontroll behövs kunskap om de olika delarna i laddningsprocessen och hur de påverkar sprängresultatet, och här finns idag ett informationsgap.

Denna BeFo-rapport sammanfattar tidigare erfarenheter kring sprängämne, laddutrustning och laddteknik för pumpemulsion. Vidare syftar den till att ge riktlinjer för laddning med pumpemulsion avseende kontroll av kvalitet på laddningen samt ge praktiska synpunkter på utförande. Rapporten avser stödja branschens aktörer och påskynda utvecklingen av leverantörens produkter och entreprenörens utförande.

Projektet har genomförts med medel från Stiftelsen Bergteknisk Forskning, BeFo inom ramen för dess forskningsprogram. Arbetet har utförts av Mats Olsson vid EDZ-Consulting och Bengt Niklasson vid Geosigma. Den referensgrupp som bistått utredarna och bidragit med värdefullt stöd har bestått av Rolf Christiansson från SKB, Roland Ekenberg från Trafikverket, Michael Hermansson från Bergutbildarna, Henrik Ittner från SKB, Emil Pettersén från Bergkonsult och undertecknad.

Stockholm i december 2012

*Per Tengborg*



## SAMMANFATTNING

Många stora och komplicerade tunnelprojekt pågår och planeras för närvarande. En stor del av dessa arbeten innebär komplicerade tunneldrivningar i tätbebyggda områden vilket ställer stora krav på utförandetekniken för att uppnå och verifiera de högt ställda kraven på produktivitet, skadezoner, vibrationsnivåer, miljön och arbetsmiljö.

Vid laddning av tunnelsalvor är det idag nästan uteslutande pumpemulsionsteknik som används. För att uppnå kvalitet på laddningsarbetet krävs goda kunskaper om sprängämnet och hur det laddas. Dessa variabler och hur de samverkar sammanfattas i denna rapport.

Denna BeFo-rapport omfattar en genomgång av sprängämnets historia, bergsprängningsteori och sprängämnets egenskaper samt fördjupar sig i pumpemulsion och laddteknik. Idag finns det huvudsakligen tre leverantörer av pumpemulsion och tillhörande laddutrustningar. Själva laddtekniken skiljer sig inte så mycket åt från olika leverantörer dock finns några olika tekniska lösningar för utdragning av laddslangen. Det är viktigt för kvaliteten på laddsträngen att utdragningshastigheten blir jämn. Med ny teknik går det att få en hög kvalitet på laddningskoncentrationen. Det är med denna teknik möjligt att uppnå noggrannheter på 0,05 kg/m vid strängladdning.

Detonationen i pumpemulsion och speciellt strängemulsion är mycket känslig för avbrott och endast någon cm separation i laddningen leder till att detonationen avstannar. Strängemulsion kan därför vara känslig för sprickigt berg där detonationen i ett hål kan medföra att laddningen i närliggande hål klipps av och orsakar s.k. glasögon.

Ett nyligen observerat problem är vid hybridkoppling (kombination av konventionella sprängkapslar och elektroniska sprängkapslar) och strängemulsion. Här kan primern och sprängkapseln ryckas ut ur bottenladdningen vilket leder till detonationsavbrott. Rapporten ger en effektiv lösning på detta problem.

Borrplanerna gjorda för strängemulsion skiljer sig inte från borrplaner som är gjorda för Anfo trots att viktstyrkan för emulsionen är 20 % lägre än för Anfo. Många har därför hävdad att emulsionens förmåga att bryta berg är bättre än vid användning av Anfo. Praktiskt sett kan samma hålsättning användas för pumpemulsion som för Anfo vilket innebär att laddtabeller från våra vanligaste handböcker även kan användas för pumpemulsion. Kunskaperna om detonationsförloppet i en strängad emulsion är idag begränsade vilket innebär att det inte finns annat underlag för att bestämma borr- och laddplaner för strängade emulsionssalvor än de praktiska försök som utförts i svenska tunnelprojekt.

En stor fördel med emulsion är att sprängämnet inte blir sprängämne förrän laddat i hålen. Detta innebär bl.a. en annan transport- och lagringsklass. Emulsioner ger heller inte upphov till huvudvärk vid hantering som ofta är fallet vid många patronerade sprängämnen. En annan fördel är att samma sprängämne kan användas i olika delar av

salvan och att laddningen är mekaniserad. Utförs laddningen på ett bra sätt så kan dessutom spillmängderna hållas låga. Slarv med laddningen och sprängning i sprickrikt berg kan ge problem med oönskade sprängämnesrester i utlastat berg.



## SUMMARY

Presently in Sweden there are many on-going and planned tunnel constructions. Many of these projects involve complicated tunneling within urban areas. These construction works will put high demands on the excavation technique to achieve and verify the requirements on productivity, damage zones, vibration levels, environmental, health and safety.

Today nearly all charging in tunnel rounds is done with pumpable emulsion. To achieve the expected quality of the charging requires a good knowledge of the explosive and its charging technique. These variables and their interaction have not previously been updated, summarized and reported.

This BeFo report comprehends among others history of explosives, blasting theory, characteristics, pumpable explosives, charging technique, quality control, practical charging, and guiding principles for charging and environmental aspects.

The charging technique for emulsion is mainly the same despite different manufactures; however there are some different solutions of how the charging hose is extracted. The quality of the emulsion string depends highly of the regularity of the hose extraction velocity. New technology makes it possible to achieve a high quality of the charge concentration.

The detonation of pumpable emulsion is very sensitive for disruption of the emulsion in the hole and only a few cm disruptions might stop the detonation. Strings of emulsion are also sensitive to fractures in the rock which could cause a disruption of the charge in an adjacent hole leaving boot-legs.

A recently observed problem might occur when shock wave detonators are combined with electrical detonators for initiation of emulsion. This could cause primer and detonator to be pulled out from the bottom charge causing a detonation disruption. This report presents a solution to this problem.

Designing principles for pumpable emulsion can't be found in common handbooks. Because of that the same design rules as for Anfo are used, despite the fact that emulsions are believed to have a better rock breaking power. Today pumpable emulsions are frequently used though knowledge of the detonation process in string emulsion is limited.

An important advantage with pumpable emulsion is that it does not become explosive until it is charged in the hole. Another advantage is that the same explosive could be used in all holes in a round.



## Innehållsförteckning

.....	
1	BAKGRUND ..... 1
2	MÅLSÄTTNING..... 1
3	SPRÄNGÄMNINGEN (historik, teori och egenskaper) ..... 3
3.1	Sprängämnens historik..... 3
3.2	Bergsprängningsteori ..... 4
3.3	Egenskaper hos sprängämnet ..... 5
4	SPRÄNGÄMNESTYPER ..... 9
4.1	Patronerade sprängämnen ..... 10
4.2	Bulksprängämnen..... 11
5	PUMPEMULSION ..... 13
5.1	Transport av pumpemulsion ..... 16
5.2	Lagring av pumpemulsion ..... 16
6	LADDUTRUSTNING ..... 17
6.1	Behållarna för råvaror ..... 18
6.2	Matrispumpen..... 18
6.3	Gasningsmedlet..... 18
6.4	Utrustning för vattensmörjning ..... 18
6.5	Funktionsschema ..... 19
6.6	Flödet ur slangen..... 19
6.7	Utdragningshastighet på slang..... 20
6.8	Laddslangen..... 21
6.9	Laddningsdysor ..... 22
6.10	Mängd sprängämne i hålet ..... 22
6.11	Gasningsprocessen..... 22
6.12	Antal laddlinjer ..... 22
6.13	Storlek på matristank på laddbil ..... 23
6.14	Styrdator..... 23
6.15	Säkerhet ..... 23
6.16	Displayenhet..... 23

6.17	Registrering av laddningsmängder.....	25
7	LADDNINGSTEKNIK.....	27
7.1	Bottenladdning.....	29
7.2	Sprickigt berg och avbrott i detonationen .....	30
7.3	Spill .....	31
7.4	Korta salvor .....	31
7.5	Sprängämnets detonik .....	31
7.6	Skadezoner.....	32
8	TILLVERKARNAS KVALITETSKONTROLL.....	33
8.1	Sprängämnet .....	33
9	PRAKTISK LADDNING- synpunkter från entreprenörer.....	35
9.1	Kvalitet på sprängämne.....	35
9.2	Laddutrustningen och handhavande .....	35
9.3	Några exempel på problem.....	36
9.4	Praktiska anvisningar från laddarna.....	36
9.5	Laddarnas förslag till förbättringar .....	37
10	ERFARENHET, UTBILDNING OCH KRAV .....	39
10.1	Krav på utbildning och säkerhetskrav på utrustning och hantering .....	39
11	SPRÄNGNING OCH RESULTAT .....	41
12	RIKTLINJER FÖR LADDNINGSTEKNIK.....	43
12.1	Tidigare dimensioneringsprinciper .....	43
12.2	Omräkningsfaktorn mellan olika sprängämnestyper.....	44
12.3	Typiska borrh- och laddplaner.....	46
12.4	Strängade emulsionssalvor .....	46
12.5	Sammanfattning av riktlinjer för laddningsteknik.....	48
13	MILJÖ.....	49
13.1	Miljö i omgivningen.....	49
13.2	Arbetsmiljö.....	50
14	FÖR & NACKDELAR MED PUMPEMULSION.....	53
14.1	Fördelar .....	53
14.2	Nackdelar .....	54

15	REFERENSOBJEKT .....	55
15.1	Krav vid utbyggnad av Äspölaboratoriet .....	55
15.2	Laddutrustningen .....	56
15.3	Kontroll och uppnådda resultat .....	57
16	DAGENS TEKNIK OCH UTVECKLINGSPOTENTIAL .....	59
16.1	Dagens "spets" teknik .....	59
16.2	Utvecklingspotential.....	60
17	SLUTSATSER.....	61
18	ERKÄNNANDE.....	63
19	REFERENSLISTA.....	65



## 1 BAKGRUND

Många stora och komplicerade tunnelprojekt pågår och planeras för närvarande. En stor del av dessa arbeten innebär komplicerade tunneldrivningar i tätbebyggda områden vilket ställer stora krav på utförandetekniken för att uppnå och verifiera de högt ställda kraven på produktivitet, skadezoner, vibrationsnivåer, miljön och arbetsmiljö.

Tekniken för tunneldrivning utvecklas men dock inte i så stora steg. Borrriggarna ser i stor sett ut som för 20 år sedan men med allt mer automatiserad och datoriserad utrustning. Borrningen har blivit effektivare med kraftigare maskiner, precisionen har förbättrats bl.a. med hjälp av laserteknik, arbetsmiljön ha blivit mycket bättre men allt ökade tidskrav pressar operatörerna. Det anses att en del bergkunskap tappats pga. den ökade datoriseringen ombord på riggarna.

Vid laddning av tunnelsalvor har Anfo och patronerade sprängämnen tidigare dominerat marknaden. Sedan pumpemulsionstekniken introducerats har den snabbt blivit den vanligaste laddmetoden för tunnelsalvor. Laddningsprinciperna för pumpemulsion har dock inte utvecklats särskilt mycket. Förbättrade pumpar och slangutdragningsenheter har tillkommit men i stort sett ser utrustningen ut som för 15 år sedan.

En viktig del, men tyvärr alltför ofta förbisett, är kvalitetskontroll av laddningen, att veta laddningsvikter, laddningslängder och var laddningen är placerad. Tidigare kunde detta relativt enkelt kontrolleras då man laddade patronerat. Vid pumpemulsionsladdning kan det vara svårare att ha full kontroll på laddningsmängder. Att kunna kontrollera detta är en mycket väsentlig fråga för beställare som SKB och Trafikverket.

Laddning med pumpemulsion kräver goda kunskaper både i laddteknik på stuff samt goda kunskaper om hur sprängämnet tillverkas i laddenheten. För att kunna uppnå ett bra och säkert sprängresultat måste man ha förståelse för de variabler som påverkar sprängresultatet. Dessa variabler och hur de samverkar har tidigare inte funnits sammanfattade.

## 2 MÅLSÄTTNING

Målsättningen med detta projekt är att sammanfatta tidigare erfarenheter kring sprängämne, laddutrustning och laddteknik och ta fram riktlinjer för laddning med pumpemulsion avseende metoder för kontroll av kvaliteten på laddningen (laddningsvikt, laddningslängd, kalibrering), samt ge praktiska synpunkter på utförande.

Sammanställningen ska stödja beställare, konsulter och entreprenörer i planering och utförande och förhoppningsvis även påskynda utvecklingen av leverantörens produkter och entreprenörens utförande. Resultatet kan förhoppningsvis leda till att tunnlar kan drivas mer kostnadseffektivt.





## 3 SPRÄNGÄMNINGEN (historik, teori och egenskaper)

### 3.1 Sprängämningens historik

I början av 1600-talet introducerades svartkrut i Europas gruvor och kom att ersätta till-makning vid bergbrytning. Initieringen av krutet var besvärligt och därför var det ett stort genombrott när William Bickford 1831 introducerade krutstubinen. Marknaden efterfrågade ett starkare sprängämne än krut och 1846 upptäckte Ascanio Sobrero nitroglycerinet. Nitroglycerin var farligt och inte hanteringssäkert och det behövdes något som kunde initiera nitroglycerinet.

Alfred Nobel gjorde två särskilt betydelsefulla uppfinningar, dels en sprängkapsel som fungerade tillsammans med krutstubinen och dels uppfann han hur nitroglycerin kunde "tämjas" genom uppblandning med kiselgur. Det senare ledde fram till Dynamiten. Senare ersattes nitroglycerinet med nitroglykol och andra ämnen i dynamiten för att få den säkrare.

Nitroglycerinbaserade sprängämnen dominerade länge. En pneumatisk laddutrustning togs fram och blev snabbt populär för bottenladdningar, se Figur1.



Figur1. Laddning av Dynamex med pneumatisk laddapparat (Olofsson). *Old charging method.*

I mitten av 50-talet utvecklades en rörladdning med liten diameter för att användas som kontursprängämne. Sprängämnet var Gurit som kom att bli det mest använda sprängämnet för kontursprängning.

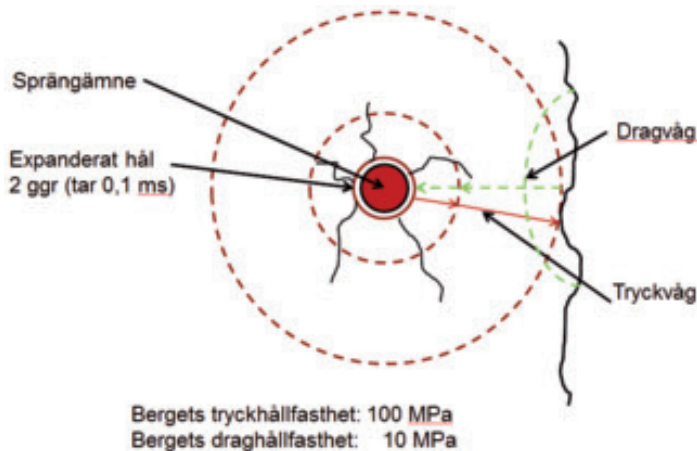
På 60-talet kom Anfo som snabbt blev ett populärt sprängämne då det var billigt och lätt att tillverka. Anfo är en blandning av ammoniumnitrat och dieselolja och för att ladda det användes pneumatiska laddapparater som blåste in Anfo i borrhålen. Nackdelen med Anfo var att det var känsligt mot vatten samt att det var svårt att reducera laddningskoncentrationen.

I mitten av 70-talet uppfanns emulsionssprängämnet i USA. Sprängämnet består av ammoniumnitratlösning som är omgiven av olja och vax. Dessa sprängämnen finns nu för många olika användningsområden och produkter och har blivit mycket populära då hanteringen är enkel och säker.

### 3.2 Bergsprängningsteori

Då ett sprängämne detonerar påverkas berget i tre steg, se Figur 2.

1. Borrhålet utvidgas pga. det höga trycket i borrhålet. Trycket i borrhålet överskrider bergets tryckhållfasthet och detta leder till att hålväggarna pulvriskas samt att korta krossprickor uppträder runt hålet.
2. Tryckvågor går ut i alla riktningar med en hastighet som är ungefär som ljudets hastighet. När dessa tryckvågor möter en fri yta, exempelvis en pallkant, reflekteras de och kommer tillbaka in i berget som en dragvåg. Berget har en lägre draghållfasthet än tryckhållfasthet och bryts därför sönder av de reflekterade dragvågorna genom att långa sprickor uppstår.
3. Spränggaserna tränger nu in i sprickor, under högt tryck, utvidgar sprickorna bryter sönder berget och kastar fram berget.



Figur 2. Sprängningsteori. *Theory of blasting*

Några typiska data från detonation av ett sprängämne, se Tabell 1. Den producerade gasmängden är 150-1100 l/kg och trycket i borrhålet 6-20 GPa.

Tabell 1. Sprängämnesdata. *Some explosive data*

Skede	Hastighet (m/s)	Varaktighet (ms)
Detonation	2000-8000	2-3
Stötvågor	4000-6000	2-3
Uppsprickning	Ca 1000	5-10
Gasflöde	100-500	20-80
Pallytans rörelse	10-20	Några sekunder

### 3.3 Egenskaper hos sprängämnet

Några av de viktigaste egenskaperna hos ett sprängämne är:

- Detonationshastigheten
- Styrkan
- Densiteten
- Gasvolymen
- Detonationsstabiliteten
- Överslagsförmågan
- Känsligheten
- Vattenbeständigheten
- Hanteringssäkerheten
- Miljöpåverkan
- Lagringsbeständigheten
- Klassificering

#### 3.3.1 Detonationshastigheten

Detonationshastigheten (VOD) är hastigheten då sprängämnet omvandlas från fast produkt till gas. VOD anges i m/s och varierar från 1300 m/s upp till över 7000 m/s. Då ett sprängämne förbränns med en lägre hastighet än ljudhastigheten kallas det deflagration. Ett exempel på ett sådant sprängämne är krut.

VOD hos ett sprängämne varierar beroende på om det detonerar fritt eller i ett borrhål. VOD anges tyvärr alltför ofta för en friliggande produkt. Ett sprängämne med hög VOD är lämpligt för hårda bergarter samt i botten av ett hål där inspänningen är störst.

#### 3.3.2 Styrkan

Sprängämnesstyrkan anges vanligen som energiinnehåll i MJ/kg eller som viktstyrka och volymstyrka. Normalt energivärde för ett dynamitsprängämne är ca 4,5 MJ/kg. Viktstyrkan är styrkan av en bestämd vikt av ett sprängämne jämfört med ett referenssprängämne (som sätts till 100 %) och som vanligtvis är Anfo. Volymstyrkan är på samma sätt en volymjämförelse. Volymstyrkan kan vara ett bättre sätt att jämföra

sprängämnen då den tar hänsyn till sprängämnets densitet och anger styrkan per borrhålsvolym.

### 3.3.3 Densiteten

Sprängämnets densitet eller den specifika vikten uttrycks i kg/l ( $\text{kg/dm}^3$ ) eller  $\text{g/cm}^3$ . Densiteten är avgörande för laddningskoncentrationen i borrhålet och därmed även för volymstyrkan. Densiteten kan variera från  $0,85 \text{ kg/dm}^3$  för Anfo upp till  $1,45 \text{ kg/dm}^3$  för dynamitsprängämnen.

### 3.3.4 Gasvolymen

Eftersom gasen tränger in i sprickor är gasvolymen är en mycket viktig faktor för sönderbrytning av berget. Gasvolymen är extra viktig vid sprängning i mjuka, skiffriga och uppspruckna bergarter. Gasvolymen anges i l/kg och ligger vanligtvis på 800-900 l/kg.

### 3.3.5 Detonationsstabiliteten

Med detta menas att detonationen går genom hela sprängämnesladdningen. Detonations-stabiliteten för ett sprängämne är oftast beroende av laddningsdiametern. Ju grövre laddningsdiameter desto säkrare detonation. Allmänt gäller att den kritiska laddningsdiametern minskar med ökad initieringskänslighet för sprängämnet.

### 3.3.6 Överslagsförmågan

Med detta menas hur känsligt sprängämnet är för luftgap mellan laddningarna. Emulsionsprängämnen är t.ex. mycket känsliga för detta och detonationen riskerar att avbrytas vid relativt små luftgap (några cm).

### 3.3.7 Känslighet

Sprängämnets känslighet är en viktig faktor för att undvika olyckor. Sprängämnen brukar indelas i sprängkapselkänsliga resp. icke sprängkapselkänsliga. Samtliga förpackade sprängämnen kan tändas upp med en sprängkapsel med 1 g sprängämne i sprängkapseln. Bulkemulsioner och Anfo behöver en speciell startladdning, en s.k. primer, för att få en säker upptändning.

### 3.3.8 Vattenbeständighet

Sprängämnen som är gelatinartade ex. dynamit och emulsioner är beständiga mot vatten. Pulverformiga sprängämnen som t.ex. Dynotex (tidigare Gurit) och Anfo riskerar att förstöras av vatten. Även ett högt vattentryck kan påverka sprängämnet och göra det okänsligt.

### 3.3.9 Hanteringssäkerhet

Det är viktigt att sprängämnet är hanteringssäkert då det skall kunna transporteras och användas utan risk. Sprängämnen måste genomgå omfattande prov innan de blir godkända av myndigheterna.

### 3.3.10 Miljöpåverkan

Nitroglycerinbaserade sprängämnen kan ge upphov till huvudvärk och hudirritationer. Allmänt gäller att sprängämnen vid sprängning ger upphov till giftiga gaser som koloxid, koldioxid samt nitrösa gaser. Koloxidgaserna är lömska då de är luktfria. En bra sprängd salva skall ge låga halter av giftiga gaser. Den omgivande miljön påverkas av kväveläckage från sprängämnet och då framförallt från spill.

### 3.3.11 Lagringsbeständighet

Detta är också viktigt då sprängämnen ofta lagras under en längre tid. Lagringsutrymmet bör vara torrt och svalt. För bulkemulsioner brukar 3-4 mån. anges som maximal lagringstid.

### 3.3.12 Klassificering

Klassificering är ett internationellt FN-system som anger det farliga godsets transportklass och UN-nummer. UN-numret är ett fyrsiffriga nummer och detta nummer identifierar farliga ämnen och produkter.



## 4 SPRÄNGÄMNESTYPER

Det finns olika sätt att dela in civila sprängämnen. Man kan dela in dem i sprängkapselkänsliga resp. sprängkapselökänsliga alltså enligt deras känslighet. Ett annat sätt, är att dela in dem i *patronerade sprängämnen* och *bulksprängämnen*. Detta kan vara en mer användbar indelning men då kan samma sprängämne finnas dels som patronerat men även som bulk. Ett exempel på detta är emulsioner. Tabell 2 visar några exempel på vanliga sprängämnestyper och några data för dessa.

Bulksprängämnen är idag helt dominerande på marknaden och stod 2010 för nära 90 % av den totala sprängämnesmängden, se Figur 3. Förbrukningen av Anfo-sprängämnen minskar allt mer medan volymen av de patronerade sprängämnena har varit ganska konstant under de senaste åren. I Sverige fanns under 2011 5-10 olika leverantörer av sprängämnen varav Orica, Forcit och Kimit är de största och de dominerar helt på underjordsmarknaden.

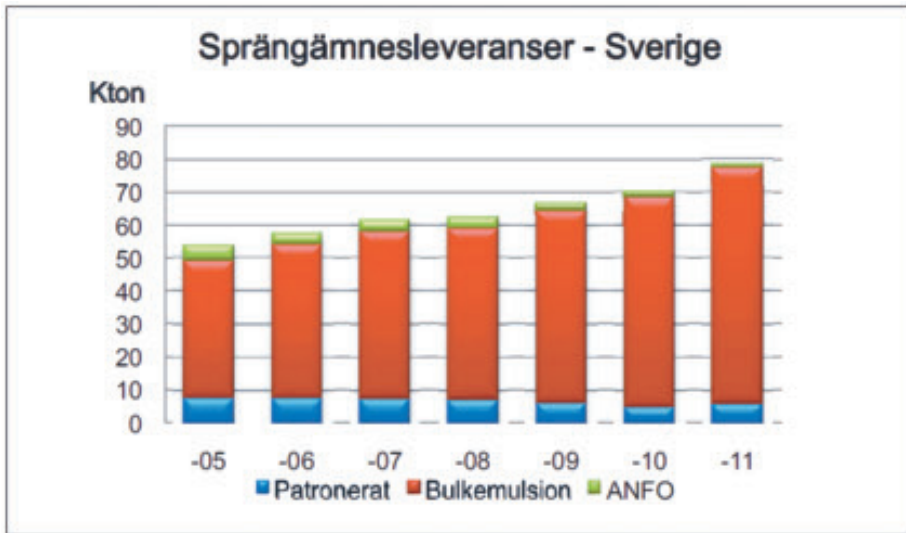
Tabell 2. Några sprängämnestyper. *Some characteristic examples for different explosives*

Sprängämne	Kemi	Dimension (mm)	Densitet (kg/dm <sup>3</sup> )	VOD <sup>1)</sup> (m/s)	Vattenbeständighet	Användning
Dynamiter	Nitroglykol, AN <sup>2)</sup>	22-120	1,4-1,5	2500-6500	God	Botten och pipladdning
Kontur-sprängämnen	Nitroglykol, AN <sup>2)</sup>	17-32	1,0-1,2	1300-2400	Ej bra	Kontur
	Metylaminnitrat	17-45	Ca 1,2	2800-7000	Mycket bra	
Emulsioner	AN, olja, vax, gasningsmedel, mikroballonger	17-90 Bulk	1,1-1,4	3000-6000	Mycket bra	Botten och pipladdning
Anfo	AN	Bulk	0,85	>2400	Ej bra	Pipladdning
Detonerande stubin	PETN <sup>3)</sup>	4-15	Ca 1	>6000	God	Pipladdning
Primers	Mixturer	15-65	>1,5	>6000	Mycket god	Bottenladdning

1) VOD = detonationshastighet

2) Ammoniumnitrat

3) Pentaerytritoltetranitrat



Figur 3. Sprängämnesleveranser i Sverige. *Explosives consumption in Sweden* (BK-12)

#### 4.1 Patronerade sprängämnen

Patronerade sprängämnen finns i många olika dimensioner (diametrar och längder) och kemiska sammansättningar och kan vara förpackade i papper, plast (som korvar) eller i rör. Vid tunneldrivning laddas de med laddkäpp eller dylikt.

Fördelar:

- Dynamiter och emulsioner är vattenresistenta
- Ingen speciell laddutrustning behövs
- Finns i många dimensioner
- Frikoppling är möjlig (laddningsdiametern < håldiametern)
- Det är lätt att kontrollera laddningsmängden

Nackdelar:

- Sprängämnet kan vara dyrt i jämförelse med Anfo och pumpemulsioner
- Laddningsarbetet kan vara tidskrävande
- En del av sprängämnena är känsliga för vatten
- Nitroglycerin och nitroglykol kan orsaka huvudvärk

Transportklassen för nitroglycerin/glykol-baserade sprängämnena är 1.1D och räknas som blandsprängämnena med UN-nummer 0081. Patronerade emulsioner har transportklass 1.1D med UN-nummer 0082.



## 4.2 Bulksprängämnen

Dessa sprängämnen kännetecknas av att de levereras i säckar eller kommer med tankbil och laddas med tryckluft eller pumpas in i borrhålen. Det förekommer vanligtvis i två huvudtyper, Anfo och emulsioner. De förekommer både för ovan- och underjordsladdning. Här behandlas endast underjordsladdning.

Fördelar:

- Rationell och effektiv laddning
- Laddningen går delvis att automatisera
- Emulsioner blir inte sprängämne förrän laddat i hålet
- Emulsioner är vattenresistenta
- Emulsionen tränger ut vattnet i hålet
- För emulsioner går densitet och laddningsvikter att variera

Nackdelar:

- Fodrar speciell laddutrustning
- Anfo är inte vattenresistent
- Emulsionspill kan ligga mycket länge innan det blir upplöst

### 4.2.1 Anfo

Anfo är ett billigt sprängämne då det endast består av en blandning av ammoniumnitrat (konstgödsel) och dieselolja. Det räknas som icke sprängkapselkänsligt och behöver initieras med en speciell laddning, en primer. Anfo är känsligt för vatten och bör därför endast användas i torra hål.

Tryckkärlsladdat Anfo var tidigare mycket vanligt för underjordsladdning men det var svårt att reducera laddningsmängden. Slev-Anfo var en speciell teknik för att reducera Anfo-mängden och tekniken påminner om den strängade emulsionen. Tekniken innebar att man med en speciell anordning på laddslangen kunde ladda en tunnare sträng i hålet. Det fanns också tidigare en teknik att blanda i polystyrenkulor i Anfo (Emulet) för att reducera laddningsmängden. Emellertid blev hålen fortfarande fulladdade med denna teknik och detta gav en alltför stor skadezon (Olsson & Bergqvist, 1995).

### 4.2.2 Pumpemulsioner

Pumpemulsion för under jord började användas i tunnlar i Norge 1994-1995 och fick också ett snabbt genombrott hos LKAB där emulsionen snabbt kom att ersätta Anfo. Pumpemulsion fick sitt stora genombrott bland entreprenörer i Sverige i samband med Arlandabanan och senare i Södra Länken.

Pumpemulsion är det idag vanligaste sprängämnet på marknaden. Vid sprängning ovan jord i grövre hål och framför allt i bergtäkter används mycket ofta pumpemulsion.

Vid sprängning i tunnlar och i underjordsgruvor används nästan uteslutande pumpemulsion. Anledningen till detta beror dels på sprängämnestillverkarna, som hårt lanserat produkten, men också på att laddningsarbetet är effektivt och går snabbare än laddning med andra typer av sprängämne. Samma sprängämne kan användas för laddning av en tunnelsalvas samtliga hål vilket är mycket gynnsamt för logistiken och för säkerheten. En stor fördel är dessutom också att denna emulsionsmatris inte blir ett sprängämne förrän i hålet vilket underlättar transporten av produkten. Matrisen har transportklass 5.1 (Oxiderande ämne) med UN-nummer 3375. En ytterligare fördel med emulsion är att sannolikheten för oavsiktlig detonation vid t.ex. påborring är förhållandevis låg förutsatt att det inte finns någon sprängkapsel kvar i laddningen. Emulsioner ger heller inte problem med huvudvärk vilket är en nackdel med en del nitroglycerin/ nitroglykolsprängämnen.

## 5 PUMPEMULSION

Det finns idag fyra leverantörer i Sverige av pumpemulsion och laddutrustning för tunneldrivning. Tillverkarna är Orica, Forcit, Kimit och EPC. I stort sett består sprängämnet hos tillverkarna av ungefär samma huvudprodukter och de är:

Ammoniumnitrat	60-80 vikt %
Natriumnitrat	0-15 vikt %
Vatten	15-25 vikt %
Högraffinerad mineralolja	3-8 vikt %
Emulgatorer	0,5-5,0 vikt %

Systemet är uppbyggt kring en tillverkarstation för råvaror och halvfabrikat. Figur 4 visar ett exempel på en tillverkningsplats för matris. Råvarorna i tillverkningen är inte i sig explosiva.



Figur 4. Tillverkarstation för emulsion. *Mixing plant for pump emulsion* (Foto Forcit)

Huvuddelen av råvarorna upplöses i vatten till en nitratsaltlösning som har en temperatur av ca 75-95 °. Råvarorna och halvfabrikaten, emulsionsmatrisen, fylls därefter över till en tankbil för transport till arbetsplatsen, se Figur 5. Transporten sker som en ADR-klass 5.1. Tankbilens tank skall vara av medbrinnande typ ex. aluminium så att inte en explosion kan ske vid en ev. tryckhöjning i tanken.



Figur 5. Tankbil. *Truck for emulsion* (Foto Forcitr).

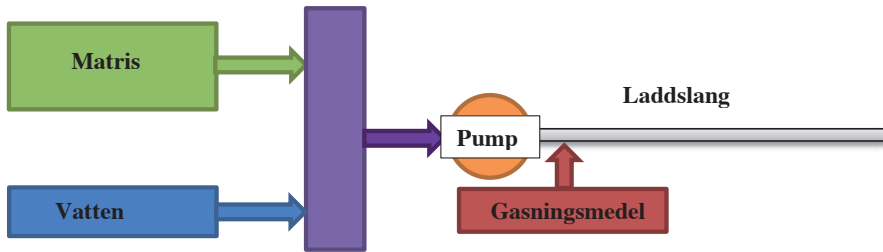
På arbetsplatsen kan de sedan pumpas över till ett annat lagringskärl. Detta lagringskärl, eller lokalen där tanken förvaras, skall vara uppvärmt, se Figur 6. Lagringskärlen kan ha storlekar på 15-35 m<sup>3</sup> och klassas också som ADR 5.1.



Figur 6. Lagringstank av matris i uppvärmd container. *Storage tank for emulsion* (Foto Forcitr och EDZ-Consulting)

Matrisen skall ha en jämn temperatur på ca 20 grader för att fungera bäst. Matrisens viskositet ökar något vid lägre temperaturer. Matrisen brukar ha ett "bäst före datum" på ca 3 månader från tillverkningsdatumet. Initieringsbarheten försämras vid en åldrad produkt och kan börja kristallisera eller hårdna.

Laddfordonet är försett med ett antal tankar för främst matrisen, gasningsmedlet och vatten. Vid laddning pumpas matrisen, med tillsats av gasningsmedlet och vatten, ut i hålet och en jäsningsprocess inleds som innebär att det bildas ett sprängämne i hålet. Figur 7 visar en schematisk bild av laddningsförfarandet.



Figur 7. Förenklad bild av pumpemulsionsladdning. *Principe of charging with pump-emulsion*

Sprängämnet pumpas in i hålen via en PVC-slang. Slangen dras ut av en slangdragare eller manuellt. Genom att variera pumpens varvtal och utdragningshastigheten av slangen kan man variera mängden sprängämne i hålen. Beroende på utrustning och inställningsmöjligheter kan mängden sprängämne normalt varieras mellan 0,35 kg/m till fulladdat (motsvarar ca 1,6 -1,8 kg/m för ett 48 mm hål). Sprängämnet lägger sig som en sträng i hålet vid de mindre laddningskoncentrationerna.

Sprängämnet har en konsistens som påminner om handkräm. Ammonium-nitratlösningen är innesluten av en olje/vaxfilm och därför blir sprängämnet vattenavstötande. Initieringshastigheten kan varieras och styrkan på sprängämnet kan varieras genom att ändra densiteten, men detta görs dock mycket sällan. Emulsions-sprängämnets detonationshastighet är hög > 4500 m/s men minskar något med reducerad dimension.

Specifikationerna på sprängämnet är rätt lika oavsett leverantör men några skillnader finns det, se Tabell 3. Här framgår t.ex. att detonationshastigheten varierar. Detta beror på dimensionen på laddsträngen och olika gasvolymmer.

Tabell 3. Specifikationer av pumpemulsion från några olika tillverkare. *Pump emulsion data from different suppliers*

Specifikationer	Sort	Leverantör		
		A	B	C
Densitet	kg/dm <sup>3</sup>	0,9	1,0	0,8-1,3
Viktstyrka rel. Anfo	%	81	78	
Volymstyrka rel. Anfo	%	91	110	
Energi	MJ/kg	3,2	2,9	3,02
VOD	m/s	3000-5000	3800-6000	~ 4300
Gas volym	l/kg	940	990	925
Lägsta laddningskonc.	g/m	350	300	300-400
Minsta borrhålsdiameter	mm	38	30	~30
Kapacitet max	kg/min	75	75	70
Kapacitet vid strängladdn.	kg/min	20-40	10-45	15-?
CO <sub>2</sub>	kg/ton	188		180

## 5.1 Transport av pumpemulsion

### 5.1.1 Emulsionsmatris

Emulsionsmatrisen har beteckningen UN-S 3375 (transportbilagan S är framtagen för Sverige). Transportklassen för emulsionsmatris är ADR 5.1 vilket innebär oxiderande ämne som transporteras i medbrinnande tank, exempelvis av aluminium eller plast. Om transporten sker i en ståltank innebär det ADR klass 1.1 dvs. transport av ett rent explosivämne. Detta sker normalt inte. Regelverket gäller fram till mottagarens område på allmän väg, därefter gäller eventuella lokala regler.

### 5.1.2 Gasningsmedel

UN-beteckningen är 3219 och ADR klassen är 5.1, oxiderande ämne.

## 5.2 Lagring av pumpemulsion

### 5.2.1 Emulsionsmatris

Om matrisen förvaras i medbrinnande tank klassas den som 5.1, oxiderande ämne men om förvaring sker i ståltank är klassen 1.1 explosivämne. För klass 5.1 finns ingen förordning vilket innebär att inga tillstånd behövs för förvaring.

Rekommendation från MSB är att vid en vikt över 1 ton lagring bör tanken ligga minst 5 m från brandfarligt ämne.

### 5.2.2 Gasningsmedel

Lagring klass 5.1 som oxiderande ämne.

## 6 LADDUTRUSTNING

Tillverkarnas laddutrustningar för emulsionsladdning skiljer sig inte så mycket utan består i stort sett, förutom fordonet, av samma huvudkomponenter, behållare för råvaror, sprängmedelpump, utrustning för vattensmörjning, laddslang, slangdragare eller slangvinda, styr och regleringsutrustning med tillhörande pumpar och proportionalventiler samt vanligen ett kraftpaket för elhydraulisk drift av pumpar och hydraulcylindrar.

Bäraren av denna utrustning är oftast en lastbil, se Figur 8. Det finns även kompakta enheter som kan lyftas på valfri bärare, se exempel i Figur 9. Vid denna typ av lösning används ofta borriggens laddkorg där slangmataren finns monterad. Då utrustningen är monterad på en lastbil är bilen också försedd med en hydraulisk arm med laddkorg.



Figur 8. Laddbil med laddkorg. *Charging truck* (Foto EDZ-Consulting)



Figur 9. MiniSSE (Foto Orica)

## 6.1 Behållarna för råvaror

Tankarna för råvarorna såsom matrislösning, gasningsmedel och vatten är av säkerhets- och klassningsskäl vanligen utförda såsom ”medbrinnande material” i aluminium. Även tankar av rosttrögt stål kan förekomma och dessa är då försedda med någon form av sprängbleck med syftet att avlasta tanken vid en eventuell tryckförhöjning.

## 6.2 Matrispumpen

Matrispumpen är vanligen placerad under matrisbehållaren och är förbunden med denna genom en grövre sugslang. På större enheter med längre distributionsavstånd kan en matningspump vara installerad. Matrispumpen, är förreglad genom sensorer som kontinuerligt avkänner tryck och temperaturer. För högt mottryck i laddslangen kan indikera att kristallisation inträtt i matrislösningen eller att vattensmörjningen inte fungerar som avsett. För lågt tryck kan vara en indikation på att matrislösningen tagit slut i ovanliggande behållare. I ett sådant läge kan produktpumpen börja suga luft vilket kan vara ödesdigert då emulsionssprängämnet då skulle kunna bildas redan i pumpen. Brytlägen för trycksensorerna ligger vanligen omkring 1-3 bar och 24-28 bar.

Vissa leverantörer har försett sina pumpar med sprängbleck eller noggrant specificerade packningar av olika utförande som brister vid ovan nämnda höga tryck. Det brukar också finnas temperaturgivare som stänger av pumpen vid alltför hög temperatur. Detta gränsläge sätts olika beroende på processutformningen. För hög temperatur kan exempelvis orsakas av alltför litet kylande matrisflöde genom pumpen. Pumparna brukar vara el- alt. hydraulmotor drivna 2- eller 4-steps excenterskrupumpar. Eftersom slitage uppstår på rotor och stator ska dessa underhållas regelbundet.

Utomlands, t.ex. i Australien, förekommer även andra pumpanordningar t.ex. kolvpumpar men då dessa arbetar med tryck upp till 50 bar eller mer har sådana pumpar inte funnit användning i Sverige, främst på grund av risken för kavitetbildning i matrislösningen, under pumpning.

## 6.3 Gasningsmedlet

Matrisen känsliggörs vid laddning med hjälp av ett gasningsmedel. Huvudingredienserna kan bestå av natriumnitrit, natriumtiocyanat och vatten. Gasningsmedlet förvaras på laddutrustningen i en separat tank. Medlet är fullständigt lösligt i vatten, har en gulaktig färg och är giftig att förtära. Gasningsmedlet tillsätts i flödet efter matrisen via ett särskilt munstycke som via tryckstegringspump placerar gasningsvätskan i mitten av matrisflödet från produktpumpen.

## 6.4 Utrustning för vattensmörjning

Denna utrustning består förutom av en vattenbehållare även av en tryckstegringspump och en speciellt utformad injektor som, i nära anslutning till produktpumpens utlopp,



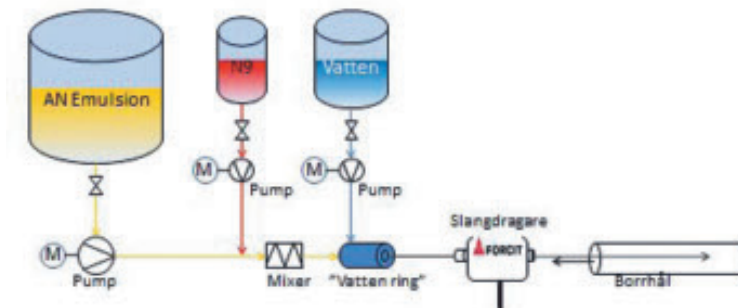
applicerar en tunn vattenring runt slangens insida. Denna vattenhinna fungerar som smörjmedel för den högviskösa matrislösningens transport genom laddslangen.

Genom skillnader i densitet och viskositet behåller de tre komponenterna vatten, matrislösning och gasningsvätska sina inbördes lägen under transporten genom laddslangen. Eftersom gasningsvätskan i sig innehåller mycket vatten så har några leverantörer helt enkelt ersatt vattenringen med gasningsvätska vilken då fungerar som smörjmedel. På sådana laddfordon används vattnet endast för att spola bort eventuella hinder (kristallisationsrester) i laddslangen samt för inre rengöring av behållare etc.

## 6.5 Funktionsschema

I Figur 10 visas ett översiktligt funktionschema över en laddenhet. Här framgår tydligt de olika komponenterna i pumpemulsion och hur de genom ett antal pumpar blandas ihop till ett sprängämne.

Vid emulsionsladdning kan ibland vissa leverantörer buffra emulsionsmatrisens pH-värde med citron eller sodium formate. Denna tillsats sker då före matrispumpen.



Figur 10. Funktionsschema för pumpemulsionsladdning. *Operation chart for pump-emulsion* (Forcit)

## 6.6 Flödet ur slangen

Flödet regleras via ett styrsystem som bestämmer varvtalet på matrispumpen. Det är ett nära nog linjärt samband mellan pumpens varvtal och sprängämnesmängd men pumpen arbetar även om det inte finns något sprängämne. Flödesmätning förekommer inte på någon laddutrustning. Tillverkarna har testat olika typer av flödesmätare men fortfarande bestäms mängden sprängämne utifrån pumpens varvtal. En leverantör uppskattar att felet med denna typ av mätning ligger på 5-10 % medan en annan anger felet till  $\pm 1$  %. Mängden sprängämne, dvs. varvtalet på pumpen, anges på laddutrustningens display. En leverantör uppger att kontroller görs varje månad.

Mängden gasningsmedel och mängd vatten regleras genom flödesmätare och troligen ligger felet på denna mätning på < 1 %.

### 6.7 Utdragningshastighet på slang

Slangens utdragningshastighet regleras av en slangmatare alternativt en slangvinda. Slangmataren består av gummihjul eller tandade aluminiumhjul som pressas mot slangens, se Figur 11. Hastigheten på dessa hjul kan varieras för olika laddningskoncentrationer. Laddslangen åker ut på sulan vid utdragning från slangmataren medan den vinschas in i en slangvinda vid denna typ av lösning. Ett styrsystem reglerar rotationshastigheten på slangvindan.



Figur 11. Slangmatare. *Hose feeder* (Foto EDZ-Consulting)

Slangmataren styrs antingen av en hydraulisk motor eller av en elektrisk motor. Felet i utdragningshastighet uppskattas med hydraulisk utdragning till 5-10 %. En elektrisk utdragningsmotor, se Figur 12, ger en betydligt bättre precision och felet här ligger på < 1 %. Vid denna typ av motor styr ett programmerat styrsystem PLC en frekvensomformare vilken reglerar elmotorn.



Figur 12. Slangmatare. *Hose feeder* (Foto EDZ-Consulting)

Den andra typen av slangutdragning är en slangvinda som består av ett stort hjul där slangen lindas upp, se Figur 13. Rotationshastigheten på slangvindan bestämmer in och utmatningshastighet av slangen. Fördelen med denna matare är att slangen inte ligger på sulan. Nackdelen är att utrustningen blir något platskrävande.



Figur 13. Slangvinda. *Hose feeder* (Foto LKAB)

## 6.8 Laddslangen

Laddslangen är en styv antistatbehandlad PVC-slang med ett föreskrivet resistansvärde på 1-30 kOhm/m. Slangens dimension brukar ha en innerdimension på ca 19 mm och en ytterdimension på ca 25 mm. Samma laddslang används för tunnelsalvans samtliga hål dvs. för alla laddningsmängder.

## 6.9 Laddningsdysor

En del leverantörer använder en dysa längs fram på laddslangen för ytterligare homogenisering av matris och gasningsmedel (statisk mixer). Det finns även dysor med ett antal borrade små hål för en bättre fördelning av sprängämnet i hålet.

## 6.10 Mängd sprängämne i hålet

Mängden sprängämne i hålet beror av en kombination av flödet, utdragningshastigheten och dimensionen på laddslangen. Mängden sprängämne kan kontrolleras oftast genom att ladda i plexiglasrör med bestämd längd och därefter vägning av röret.

Det finns möjlighet till ett flertal olika laddningsmängder och detta ställs in via laddutrustningens dataskärm. Man kan även lagra flera olika typer av laddplaner, där varje laddplan kan bestå av flera olika typer av laddningsmängder för olika typer av salvhål.

## 6.11 Gasningsprocessen

Gasningsmedlet känsliggör matrisen genom att gasbubblor bildas som små "hot spots" i emulsionen. Densiteten sänks från matrisens densitet på 1,2–1,4 kg/l till det färdiga sprängämnets densitet, 0,9–1,0 kg/l. Hela processen tar ca 20 min. Fördelningen och hur snabbt dessa "hot spots" bildas är viktigt för känsliggörandet av emulsionen.

Gasblåsorna är komprimerbara och därför är det viktigt att hänsyn tas till statiskt tryck vid laddning av vertikala hål. En dålig fördelning och alltför komprimerade blåsor i emulsionen kan ge en dålig produkt och i värsta fall kan kritisk densitet i förhållande till laddningsdiametern överskridas.

Gasningsprocessen kan styras men detta görs för närvarande inte vid laddning av tunnelsalvor. Gasningsparametrarna är fasta.

## 6.12 Antal laddlinjer

Normalt finns det 2 st. laddlinjer, en manuell för marklinjen och en med slangmatare för övriga hål. Det finns också system med fler laddlinjer. Marklinjen saknar oftast slangmatning och laddaren får dra ut slangen manuellt. Denna linje kan vara utrustad med tidsstyrning, dvs. laddning i ett visst antal sekunder. Laddaren kan själv ändra tiden men också avbryta laddningen, t.ex. vid för korta hål. Den vanligaste varianten på laddning för marklinjen är helt manuell, dvs. laddaren startar och stoppar själv laddningen.

Det finns också en bärbar slangmatare för marklinjen, se Figur 14. Detta kan vara viktigt då man på detta sätt får bättre kontroll på laddningsmängder i hela salvan.



Figur 14. Bärbar slangmatare. *Portable hose feeder* (Foto EDZ-Consulting)

### 6.13 Storlek på matristank på laddbil

Storleken på tanken varierar beroende på leverantör och utrustning men matristanken brukar ligga på ca 2500 kg/laddbil.

### 6.14 Styrdator

En dator styr hela processen med hjälp av förkalibrerade pumpar och proportionalitetsventiler.

### 6.15 Säkerhet

Styrsystemen har normalt inbyggda funktioner för att bryta laddning vid för höga tryck, varvtal/flöden, gasningsmedel, temperatur, slanghastigheter etc. Säkerheten kontrolleras regelbundet vid service.

### 6.16 Displayenhet

Laddningen styrs av datorn via en display, se Figur 15. Datordisplayen sitter lättåtkomlig på laddutrustningen. Från skärmen kan inställningar göras av bl.a. håldjup och laddningsmängder för olika typer av hål. Man kan också läsa av vattenmängder, gasningsmängder, matrispumpens varvtal, tryck m.m.



Figur 15. Laddutrustningens datorskärm. *Computer screen from charging equipment* (Foto EDZ-Consulting)

Utseende och uppläggnigen av vad som visas på skärmen varierar beroende på laddningsutrustningens leverantör. Det finns oftast ett antal olika skärmsidor som är knutna till olika säkerhetsnivåer. En laddare kommer t.ex. via sin inloggning endast åt produktionssidan, preset sidan och larmlogg-sidan medan leverantörens tekniker kommer åt samtliga sidor. En leverantör anger följande detaljer för de olika sidorna på skärmen:

#### 1. Produktionssidan

Sidan visar pumptryck, slangtryck, matristemperatur, varvtal, flöden, pumpade kilon/hål, totalt pumpade kilon i salvan, valt recept

#### 2. Presetsidan

Sidan visar förvalt totala kilon i borrhål för varje recept kan ställas samt avläsas, även receptval kan göras från denna sida

#### 4. Kalibreringssidan

Alla processparametrar som pumpvarvtal, slangdragarhastighet m.m. kan ställas in och avläsas från denna sida förutom parametrar som rör säkerhet (brytande högt tryck, lågt tryck, hög temperatur matris eller el motorer)

#### 5. Alarmsidan

Alarmhistorik (högt pumptryck, elfel etc.)

#### 6. Laddloggen

Laddloggen kan endast avläsas via ett minneskort eller USB minne som överför informationen till en dator.

### **6.17 Registrering av laddningsmängder**

Laddloggen visar laddningsmängder. En leverantör anger att det är möjligt att avläsa total laddningsmängd i salvan, antal laddade hål, receptval per hål, laddningsvikt per hål samt start-och stopptid för varje hål.

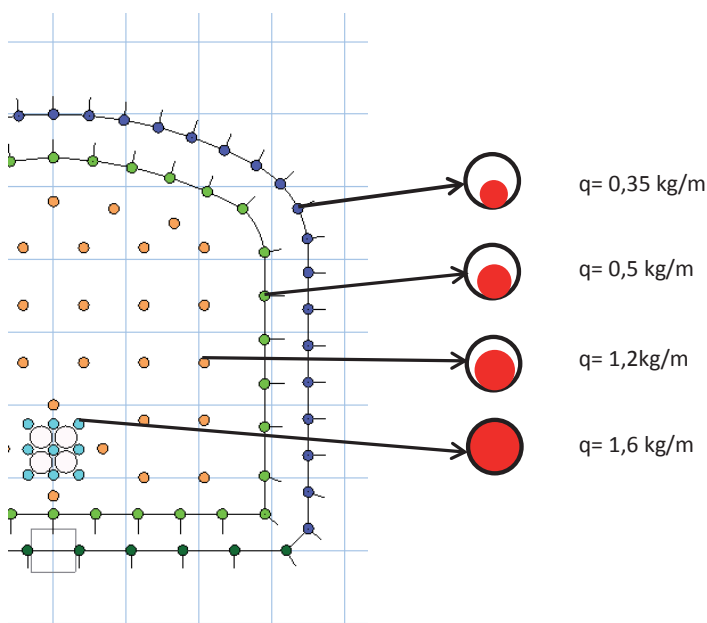




## 7 LADDNINGSTEKNIK

Vid laddningsarbete med strängemulsionsteknik kan mängden sprängämne i ett hål varieras genom att reglera utdragningshastigheten på laddslangen och flödet genom pumpen. Laddutrustningen hos sprängämnesleverantörerna medger oftast ett antal förprogrammerade inställningar på laddningsmängden. Detta innebär att laddningskoncentrationerna kan justeras mellan ca 0,35 kg/m till 1,6–1,8 kg/m för ett 48 mm hål. Ett exempel på fördelning av laddningsmängderna för olika typer av hål i salvan visas i Figur 16. Konturhålen har här laddats med 0,35 kg/m, hjälparhålen med 0,5 kg/m, strosshålen med 1,2 kg/m och öppningshålen har laddats fullt (1,6 kg/m). Inställningarna för laddningsmängder görs via skärmen på laddutrustningen.

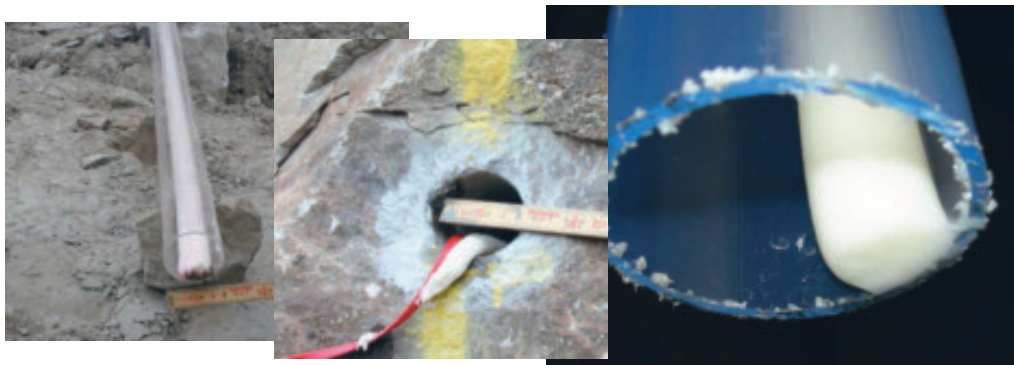
Laddningsmängden i hålet är också beroende av dimensionen på laddslangen och laddslangens dimension beror av vilken håldimension som skall laddas. För tunnelselvor brukar laddslangens innerdimension vara 19 mm med en yttre dimension på ca 25 mm.



Figur 16. Laddningsmängder. *Different charging concentrations*

En relativt snabb utmatning av laddslangen ger en laddsträng med en diameter på ca 20 mm, som efter gasning blir ca 25 mm, vilket motsvarar en laddningskoncentration på ca 0,35 kg/m. Denna laddsträng blir ofta rak och jämn, se Figur 17. Om en högre laddningskoncentration önskas kan detta regleras dels genom att slangens utdragningshastighet reduceras, men även med hjälp av justering av pumphastigheten.

Sålunda dras slangen mycket långsamt vid bottenladdningen där hålet skall fyllas. En långsam utdragning av slangen ger alltså mer sprängämne i hålet med risk att laddsträngen börjar ondulera och laddsträngen blir krokig, se Figur 18. Laddningskoncentrationen per meter är riktig men lokalt kan laddningsmängden variera stort.



Figur 17. Pumpemulsionssträng. *Strings of pump-emulsion* (Foto EDZ-Consulting och Forcfit)



Figur 18. Pumpemulsionssträng med ondulerande laddsträng. *Pump-emulsion with undulating string* (Foto EDZ-Consulting)

En nyligen framtagen teknik hos en leverantör medger att ett antal tunna strängar läggs ut runt hålets periferi, se Figur 19. Metoden medger för närvarande sex olika laddningskoncentrationer med möjlighet att dessutom variera bottenladdningen.



Figur 19. Ny strängladdningstyp. *Thin strings of pump-emulsion* (Foto Forcfit)

Detonationen i pumpemulsion och speciellt strängemulsion är mycket känslig för avbrott och endast någon cm avbrott leder till att detonationen avstannar, se Figur 20 (Nie et al, 1994).

Emulsionssträngar kan också vara känsliga för vatten i borrhålen och när densiteten  $< 1\text{kg/dm}^3$  finns det en uppenbar risk att strängen går av och flyter upp ovan vattennivån i hålet med ett troligt detonationsavbrott som följd av detta.



Figur 20. Avbrott i laddsträng. *Disruption of an emulsion string* (Foto EDZ-Consulting)

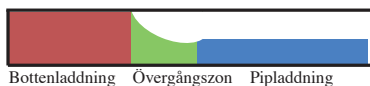
## 7.1 Bottenladdning

Det kan vara svårt att få rätt mängd bottenladdning med pumpemulsionstekniken. Detta beror bl.a. på svårigheten att styra hastigheten på slangutdragaren tillräckligt noggrant, se Figur 21. Tidigare undersökning av strängemulsionsladdning har visat på osäkerheter i såväl bottenladdningslängd som på pipladdningsmängder (Olsson et.al., 2008).



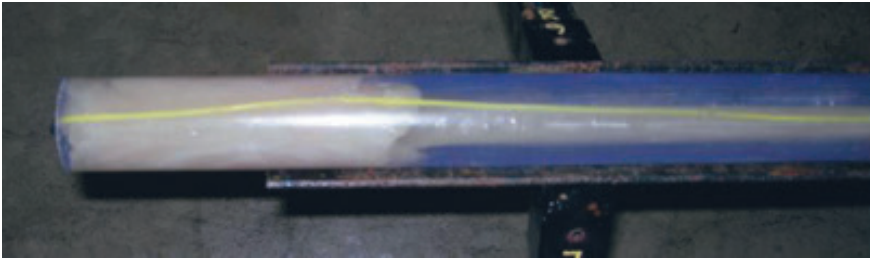
Figur 21. Bottenladdning. *Bottom charge with pump-emulsion* (Foto EDZ-Consulting)

Mellan bottenladdningen och pipladdningen bildas ofta en parabelformad övergångszon innan strängen i pipan stabiliserats till rätt laddningsmängd, se Figur 22. Längden på denna övergångszon bör vara kort annars riskeras onödigt utsträckt skadezon.



Figur 22. Övergångszon. *Transition zone*

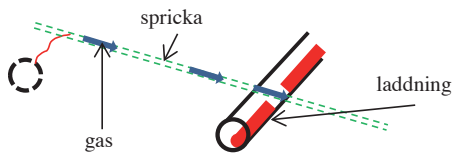
Nyare och bättre teknik på slangutdragarna har dock på senare tid förbättrat precisionen avsevärt. Figur 23 visar en distinkt bottenladdning som mycket snabbt övergår till en sträng.



Figur 23. Bottenladdning. *Bottom charge with pump-emulsion* (Foto Forcitt)

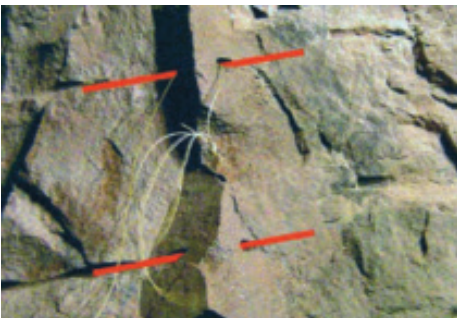
## 7.2 Sprickigt berg och avbrott i detonationen

Ett annat problem med pumpemulsion, och framförallt med strängemulsion, är att den kan vara känslig för sprickigt berg. Sprickigt berg kan medföra avbrott i detonationen. Detta beror på att sprickorna i berget "skär av laddsträngen" då gstrycket från detonationen av ett hål rusar in i sprickorna in till grannhålet, se Figur 24.



Figur 24. Detonationsavbrott i sprickigt berg. *Disruption of the detonation*

Detonationsavbrottet i laddsträngen kan troligen ge upphov till glasögon, dvs. kvarvarande hålpipor, se Figur 25.



Figur 25. Glasögon. *Bootlegs* (Foto Engberg)

Glasögon orsakar produktionsstörningar då dessa glasögon ofta måste sprängas om. En uppföljning gjordes av detta fenomen i Törnskogstunneln (Engberg, 2005). Av totalt 30 studerade salvor och 211 konturhål så fanns det drygt 80 st. observerade glasögon.

### 7.3 Spill

Spillet kan vara ett problem vid pumpemulsionsladdning. Spillet uppstår oftast i samband med tömning av laddslangen och är till största delen en disciplinfråga. Spillet uppskattas till ca 10-30 kg/tunnelsalva. Mer om spill och dess miljöproblem under kapitel 13 Miljö.

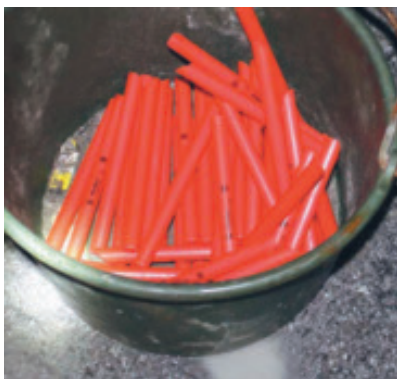
### 7.4 Korta salvor

Korta salvor kan behöva laddas patronerat. Orica anger t.ex. att salvor som är kortare än 2 m inte bör laddas med pumpemulsion. Författarna anser att en orsak till varför salvlängder < 2 m används är då höga vibrationskrav ställs. Då krävs hög noggrannhet av laddningsvikter. Detta kan vara svårt att uppnå med pumpemulsionsladdning.

### 7.5 Sprängämnets detonik

Strängemulsionens detonik är tämligen okänd och det vore mycket önskvärt att studera t.ex. hur detonationshastigheten påverkas av dimensioner på strängen och inneslutningar. De uppgifter på detonationshastigheter (VOD) som har hittats visar att VOD för en emulsionssträng med laddningskoncentrationen 0,35 kg/m ligger på ca 1800-2000 m/s. Det rekommenderas från tillverkarna att sprängämnet ska initieras med en primer med hög detonationshastighet så att detonationen startar på riktigt sätt i emulsionen. Tillverkarna rekommenderar ungefär liknande primermängd för att starta emulsionen. Ett exempel på en vanlig primer är Pentex 25F. Denna primer består av ett sprängämne med en hög detonationshastighet > 6000 m/s. Primern har dimensionen 25x150 mm och väger 25 g, se Figur 26.

Det är viktigt att pumpemulsionen omger primern för en säker initiering annars riskeras detonationsavbrott.

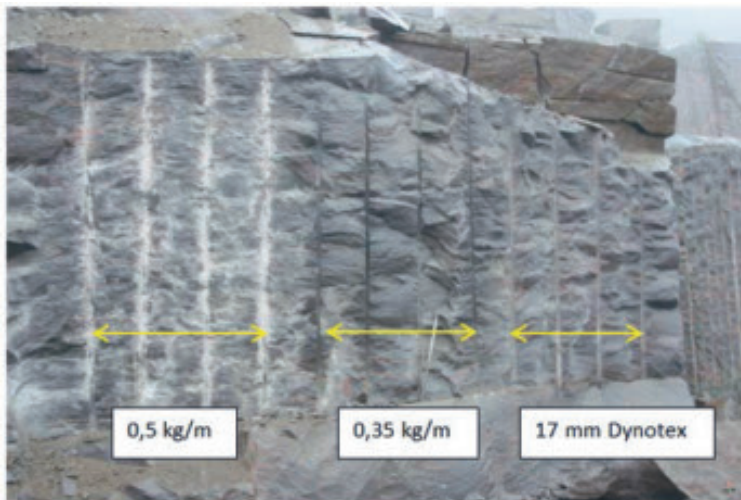


Figur 26. Exempel på primer. *Example of a primer suitable for emulsion* (Foto EDZ-Consulting)

## 7.6 Skadezoner

Skadezoner från strängemulsion har undersökts vid ett antal tillfällen. Den första gången var i samband med dess introduktion i Södra Länkenprojektet. Här togs prov från ett antal sprängda emulsionsladdade salvor och skadezonen uppmättes till ca 0,3 m från konturhål som laddats med 0,35 kg/m (Olsson, 1999).

Ett mer omfattande försök med skadezonsbestämning från strängemulsioner utfördes under 2006 i blockstensbrottet Bårarp (Olsson et.al., 2008). För att få en jämn laddnings-koncentration laddades här strängemulsion i rör. Den sprängda bergytan blev mycket fin och det var svårt att se någon skillnad på hål som sprängts med 0,35 kg/m av strängemulsion jämfört med hål som laddats med 17 mm Dynotex. Hål som laddats med strängemulsion med 0,5 kg/m gav dock en råare bergyta, se Figur 27.



Figur 27. Borrhålspipor efter sprängning. *Half casts* (Foto Mats Olsson)

Momentant initierade hål med laddningskoncentrationen 0,35 kg/m gav här en spricklängd på ca 16 cm. En ökad laddningskoncentration av 0,5 kg/m gav under samma förutsättningar en sprickutbredning på ca 0,26 m. Spricklängden ökade 1,6 ggr vid en drygt 40 % ökning av laddningskoncentrationen.

En sammanfattande analys av hittills utförda försök med strängemulsionsladdning medför följande: *Skadezonen från en strängemulsionsladdning på 0,35 kg/m är något större än från 17 mm Dynotex men mindre än 22 mm Dynotex* dvs. den hamnar i intervallet 15-20 cm, under förutsättning att hålen detoneras momentant.

## 8 TILLVERKARNAS KVALITETSKONTROLL

Tillverkarna av sprängämnen och laddutrustning utför egenkontroll av sina produkter. En del kontroller görs i fabriken och några kontroller kan göras på arbetsplatsen av tillverkarna eller entreprenören.

### 8.1 Sprängämnet

#### 8.1.1 Densitet

Pumpemulsionens densitet går att variera men brukar normalt ligga på 0,9-1,1 kg/dm<sup>3</sup>. Kontroll av sprängämnets densitet kan göras genom en s.k. kopptest, dvs. en måtkopp med känd volym fylls av sprängämnet varefter koppen med innehåll vägs, se Figur 28.



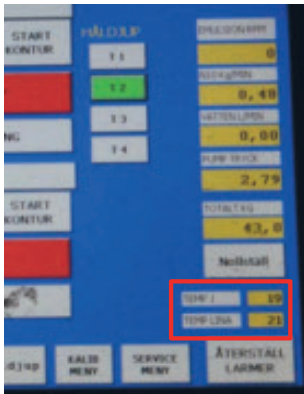
Figur 28. Kopptest. *Cup-test for density* (Foto LKAB)

Denna test kan enkelt utföras och kräver bara en våg och en måtkopp. Det är dock inte så vanligt att densiteten testas och om testen görs så görs den vanligtvis av leverantören för att säkerhetsställa att sprängämnet håller rätt kvalitet. Åtminstone en leverantör gör densitetskontroll av sprängämnet på varje batch som lämnar fabriken. Dokumentation av kontrollen sparas.

#### 8.1.2 Temperatur på matrisen

Normalt brukar matrisens temperatur vara ca 20 grader men den kan vara betydligt varmare om den kommer direkt från fabriken. Temperaturen kontrolleras normalt vid produktion och vid påfyllning av transporttank. Det brukar också finnas termometrar på lagringstankarna. Det finns även temperaturgivare på tanken i laddenheten och temperaturen kan kontrolleras via laddbilens display, se Figur 29.





Figur 29. Skärmbild från laddatorn. *Computer screen from charging equipment* (Foto EDZ-Consulting)

### 8.1.3 Utseende

Vid tillverkningen av matrisen kontrolleras även viskositeten. Utseendet på matrisen kontrolleras normalt vid varje leverans.

### 8.1.4 Färskhet

Normalt är färskheten inget problem då pumpemulsionen inte lagras någon längre tid. Receptet på matrisen avgör hur länge matrisen kan lagras och tillverkningsdatum brukar finnas på lagringsenheterna. Tankarna ute på arbetsplatsen fylls ofta, vanligtvis var eller varannan vecka. Hållbarhetstiden för matrisen är enligt leverantörerna vanligtvis ca 3 månader.

### 8.1.5 Transportkärl och lagringskärl

Kristallisation av matrisen kan förekomma och är normalt en åldringsprocess. Den kan emellertid uppstå snabbare än normalt vid t.ex. avlagringar inuti transport- och laddkärl. Då finns risk för att ventiler, slangar m.m. kan sättas igen. Det är därför viktigt att samtliga kärl rengörs regelbundet för att få bort gamla matrisrester. Journal förs då kärl och transporttankar fylls på. Transport och lagring följer bestämmelserna enligt ADR och LBE.

### 8.1.6 Detonationsegenskaper

Ett vanligt sätt att karaktärisera ett sprängämne är att mäta sprängämnets detonationshastighet. Detta görs vanligtvis genom att en koaxialkabel läggs i sprängämnet. Vid detonationen så kortslogs kabeln och detta registreras av en mätenhet. Mätenheten känner av kabellängd och tidpunkter då kabeln kortslogs och då kan detonationshastigheten hos sprängämnet beräknas. Dessa typer av mätningar görs inte regelbundet utan endast vid behov. Mätningarna kan också vara svåra att utföra i tunna emulsionssträngar då mätkabeln måste ligga inne i emulsionssträngen.



## 9 PRAKTISK LADDNING- synpunkter från entreprenörer

I detta projekt har laddare och arbetsledare från fem entreprenörer intervjuats. Intervjuer har skett hos följande tunnelentreprenörer Strabag, NCC, Zublin, Billfinger och Veidekke. Nedan redovisas några av de viktigaste punkterna.

### 9.1 Kvalitet på sprängämne

#### 9.1.1 Egna tester

Laddarna brukar observera färgen på sprängämnet för att se att sprängämnet verkar riktigt. Om sprängämnet inte gasar på rätt så märks detta på färgen på emulsionen. Densiteten kontrolleras ibland och då genom kopptest.

#### 9.1.2 Matrisen

Matrisen kommer med tankbil och fylls över till en mindre tank som hålls uppvärmd. Kristallisation av matrisen har laddarna observerat några gånger vilket medfört att tankarna har behövt rengöras. Det är viktigt att leverantören har rengjorda tankar vid påfyllning. Matrisen brukar dock vara av jämn kvalitet. Laddarna brukar notera och rapportera avvikelser på utseende och lukt av sprängämnet. Avvikelser förekommer t.ex. om tillverkarna har ändrat salter i matris och känslighetsgivare. Enligt laddarna har det också förekommit att leverantören bytt oljefabrikat vilket ibland har lett till bomsalvor. Byte av oljeleverantör kan vara en anledning till bomsalvor, men det kan även finnas andra.

Temperaturen på matrisen ligger på ca 20 grader. Sommartid kan matrisen vara varmare vilket laddarna upplever ”öka styrkan på sprängämnet”. Leverantörens förklaring till detta är snarare att temperaturen endast påverkar gasningsförloppet. Vid för hög temp. finns risk att sprängämnet gasar för snabbt med risk för stopp i slangen.

### 9.2 Laddutrustningen och handhavande

#### 9.2.1 Justering av laddutrustningen

Laddarna brukar inte själva ändra på mängden gasningsmedel. Det är sprängämnesleverantören som gör justeringar av laddutrustningen.

#### 9.2.2 Kontroll av laddningsmängd

Laddningsmängden kan kontrolleras genom laddning i plexiglasrör eller i plastpåse. Dessa kontroller görs dock sällan.

#### 9.2.3 Service av utrustningen

Service av laddutrustningen sköts av leverantörerna.

#### 9.2.4 Laddlängd och laddmängd

Vid s.k. referensborrning borrar samtliga hål i salvan till ett bestämt plan eller en bestämd sektion. Det innebär oftast att hållängden varierar mellan hålen pga. att

tunnelfronten är ojämn vid påhugg. Är hålet längre än hållängden för den laddningsvikt som förvalts innebär detta att laddningen blir för kort. Då inte referensborrning tillämpas borras alla salvans hål lika långa och samtliga hål är då anpassade efter vald laddningsvikt.

### 9.3 Några exempel på problem

Generellt har laddarna goda erfarenheter av pumpemulsionsladdning. Man upplever att laddningstekniken är enkel och att det går snabbt att ladda en salva.

#### 9.3.1 Laddning

Det är svårt att reducera laddningsmängder vid de nedre vägghålen och sulhålen eftersom det i vissa fall är svårt att komma åt dessa hål från laddkorgen där slangmataren är placerad. Vid en gynnsam placering av slangmataren på korgen kan man ibland köra ner korgen och använda utdragaren.

#### 9.3.2 Glasögon och omskjutningar

Glasögon med efterföljande omskjutningar är vanligt och speciellt i sprickrikt berg och vid korta intervalltider. Glasögon uppstår främst i anfang och tak och ofta i början av en salva och där är det inte ovanligt att det står kvar 50-60 cm. Laddarna uppskattar att omskjutningar måste göras i 70 % av samtliga salvor. Glasögon är vanligast i längre salvor. Då man tidigare använde 80 g cord i konturen hade man inte problem med glasögon.

#### 9.3.3 Allmänna synpunkter

- Svårighet att ibland få radiokontakt mellan laddkorg och laddutrustning
- Emulsionen har, upplever man, en alltför lång startsträcka innan den är uppe i full detonationshastighet och laddarna vill gärna ha en större primer
- En automatisering av laddning där man utnyttjar hålets position från riggen och överföring av information till laddutrustning vore bra för nya laddare
- Laddarna anser att den specifika laddningen i en tunnelsalva är onödigt hög

### 9.4 Praktiska anvisningar från laddarna

- Börja med att ladda öppningshålen (fulla hål) för att se att det gasar rätt
- För att undvika onödigt spill sparas ett par bottenhål till sist där slangen kan tömmas
- Inplastad borr och laddplan skyddar mot fukt och vatten
- Ladda konturhålen och sedan backa tillbaka med hjälparna.
- Blåsning av hålen är ett måste och speciellt vid strängladdning av sulhålen
- Viktigt att hjulen i slangmataren är rätt inställda. Vid för lös spänning finns det risk att det börjar slira och vid för hård spänning så sliter detta på laddslangen
- Användning av 5 g cord tillsammans med strängemulsion minskar risken för glasögon

- Ökad stickning på hjälparna kan minska risken för glasögon
- Markering med sprayfärg på stuffen för de olika salvdelarna underlättar vid laddning

### **9.5 Laddarnas förslag till förbättringar**

- Det bör finnas stödben runt om på laddfordonet
- Tåligare elektroniska komponenter för elektronik. Det händer ofta att USB-minnet inte fungerar
- Tätare serviceintervall behövs på laddutrustningen. På en borrhög görs tätare service
- Sänkt specifik laddning är möjligt
- Fjärreglage för att ta bort flagor i dysorna
- Dubbla laddkorgar är önskvärt vid stora tunnelareor
- En pump för varje linje är bäst ty annars svårt att styra laddningen
- Slangdragaren borde vara en trumma så att inte slangen hela tiden ligger på sulan
- Eliminering av konsekvensen av dubbeltryckning på ”laddknappen”



## 10 ERFARENHET, UTBILDNING OCH KRAV

Att det finns utbildade och erfarna laddare är viktigt då laddningen fortfarande är ett hantverk och där kvalitén är beroende av laddarens kompetens. Det är därför viktigt att laddarna har utbildning för sin uppgift. Som det ofta är nu så får en ny laddare hoppa in i ett lag och försöka lära sig av sina kamrater. Det kan vara bra men om kamraterna inte heller fått någon speciell utbildning så ökar risken för ett felaktigt handhavande. Det är också inte helt ovanligt att en ny laddare snabbt får rycka in och självständigt ladda. Detta kan t.ex. hända vid sjukdom hos ordinarie laddare. Då finns en uppenbar risk att laddningen inte blir tillräckligt bra.

En ny och ovan laddare kan ha det svårt att identifiera rätt hål. En erfaren laddare har, även vid stora tunnelareor, normalt inget problem med detta. En ovan laddare har också svårt att lägga ut en jämn sträng vid manuell laddning.

Leverantörerna av laddutrustning håller korta kurser när en ny utrustning skall tas i bruk. Laddarna blir då certifierade för utrustningen. Det vore dock önskvärt med en förbättrad utbildning för laddare och övrig berörd personal.

### 10.1 Krav på utbildning och säkerhetskrav på utrustning och hantering

I AFS 2007:01(AFS, 2007) står följande:

”§ 20 Enbart operatörer som utbildas av tillverkaren, eller dennes representant, får hantera laddutrustningar avsedda för pumpbara emulsionssprängämnen”

och för utrustningen:

”§21 Laddutrustningar för emulsionssprängämnen får användas eller avlämnas för att tas i bruk

- endast om de är typkontrollerade av ett kontrollorgan typ A, eller av ett certifieringsorgan som är ackrediterat för sådan kontroll och certifiering enligt lagen (992:9) om teknisk kontroll och därvid har visat sig uppfylla kraven i andra stycket”

Vid typkontrollen skall laddutrustningen ha granskats av kontrollorganet eller certifieringsorganet och visat sig vara utformat så att tryck och temperaturgivare automatiskt stoppar processen om avvikelser från förhandsinställda värden uppstår.

Med andra ord framgår det klart att operatören måste vara utbildad för att få hantera laddutrustningen och att utrustningen måste vara typgodkänd.

Fram till och med 2009-12-28 gällde bestämmelsen att varje laddutrustning skulle typgodkännas. Eftersom inget företag sökt ackreditering för sådan verksamhet kom typgodkännandet att utföras av Arbetsmiljöverket. I de typgodkännanden, som under åren 1991 – 2009 utfärdades, inemot 70-80 stycken fanns som krav att ingen fick använda utrustningen utan att ha gått igenom en utbildning innefattande funktion, körsätt, dagligt underhåll, hygien och risker med den aktuella utrustningen. Vidare ställdes krav på ägaren att i egen regi skulle sköta det långsiktiga underhållsarbetet. Efter 2009-12-28 ändrades det formella typgodkännandet till att tillverkaren ska utfärda en deklARATION om överensstämmelse med grundläggande hälso- och miljökrav såsom stipulerats i tillämpliga harmoniserade standarder (CE-märkning).

MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, definierar en laddutrustning för emulsion som MEMU (Mobile Explosive Manufacturing Unit), dvs. en rullande sprängämnesfabrik. Tillverkningen är tillståndspliktig ur LBE-perspektiv (lagen om brandfarliga och explosiva varor) eftersom det inte går att utesluta att de i tillverkningsprocessen kan uppstå förutsättningar som kan medföra explosion. MSB utfärdar tillstånd för tillverkning men inte för sprängning. Tillståndet kan innehas av entreprenören som är ansvarig för laddningen. Det skall också alltid finnas en föreståndare vid sprängämneshantering. För närvarande pågår ett regelarbete inom EU med avsikt att se över sprängämneshanteringen. Det kan inte uteslutas att de blir ändringar och omklassificeringar av oxiderande ämnen och sprängämnen.

Det finns inte några krav på att utrustningen måste vara låst då den inte används. Sprängämnen skall normalt förvaras inlåsta men för en mobil sprängämnesfabrik finns inga restriktioner! Efter rengöring av utrustningen vid avslutad laddning ska normalt inte sprängämnesrester finnas kvar.

## 11 SPRÄNGNING OCH RESULTAT

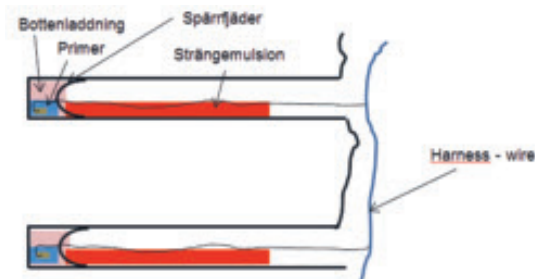
Det finns inget som tyder på att resultatet av sprängningen blir annorlunda vid emulsion jämfört med andra sprängämnen. Vid laddning kan dock emulsionen behöva initieras av ett sprängämne med hög detonationshastighet för att emulsionen skall fungera optimalt. Emulsionsladdade salvor behöver oftast inte intervallfördelas på något avvikande sätt i jämförelse med andra salvor.

Emulsionen kan ge upphov till spill vid laddning och även ge spill efter sprängningen om inte detonationen fungerar optimalt.

Styckefallet och vibrationsnivåerna avviker inte heller vid användning av emulsion jämfört med andra sprängämnen. Enligt författarnas erfarenheter styrs styckefallet och vibrationsnivåerna främst av den specifika laddningsvikten och maximalt samverkande laddningen än av sprängämnestypen.

En erfarenhet som dragits på många håll är problemet med hybridupptändning med konventionella sprängkapslar och elektroniska sprängkapslar i kombination. I dessa projekt har antingen enbart konturhål eller konturhål och hjälpare initierats med elektroniska sprängkapslar och övriga hål i salvan med Nonel. Hålen som initierats med elektroniska kapslar har kopplats ihop med en s.k. "Harness wire", en kopparkabel i en slinga. Sprängkapslarna har initierat en liten primer i hålen som sedan initierat emulsionssprängämnet.

Vid sprängningen har hålen som initierats med elektroniska sprängkapslar inte tänt upp ordentligt utan sprängämnet har helt eller delvis varit kvar i hålen. Detta gäller speciellt i raden närmast hålen med Nonel. Detta kan bero på att tändarna och primern rycks ut från bottenladdningen och kan då inte initiera sprängämnessträngen i hålet. Då hålen med de konventionella sprängkapslarna detonerar så rycker "Harness-wiren", som ligger mot stuffen, med sig kapslarna och orsakar detonationsavbrott. "Harness-wiren" är stark och seg. Försök som gjorts visar att en 5 g cord inte orkar spränga av wiren. Lösningen på detta problem är att låsa fast primern med en spärrfjäder, se Figur 30.



Figur 30. Spärrfjäder. *Technique to lock the charge*

Spärrfjäders hindrar primern att ryckas ut ur bottenladdningen och ger en riktig upptändning av strängemulsionen. En ytterligare förbättrande åtgärd är att även byta ut primern mot t.ex. en 20 cm 29 mm Dynamitpatron. Denna är betydligt svårare att dra ut än en liten primer. Dessa åtgärder har varit framgångsrika hos entreprenörer för att lösa ett besvärligt problem med kvarstående hål.



## 12 RIKTLINJER FÖR LADDNINGSTEKNIK

### 12.1 Tidigare dimensioneringsprinciper

Grunderna för de laddningsberäkningar som idag görs vid planeringen av sprängningsarbeten ovan och under jord härrör från de empiriska samband som Ulf Langefors och Björn Kihlström arbetade fram under 50-talet. Genom praktiska försök togs en modell fram där den kritiska försättningen kunde beräknas utifrån ett antal parametrar kring borrhningen och det sprängämne som skulle användas. Utgångspunkten för detta arbete var troligen de praktiska erfarenheterna från sprängningsarbeten som växt fram sedan slutet av 1800-talet då dynamiten togs fram av Alfred Nobel. Langefors och Kihlström samlade erfarenheterna till den användbara modellen (Langefors & Kihlström, 1963):

$$B_{\max} = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{p \times s}{c \times f \times \frac{s}{b}}}$$

där

$B_{\max}$  = maximal försättning (m)

d = borrhålsdiameter (mm)

p = laddningskoncentration (kg/m)

s = sprängämnets viktstyrka

c = bergkonstant

f = hålets lutning

s/b = förhållandet mellan hålavstånd och försättning

Denna modell anger den största försättning en viss laddning kan bryta loss. För att sedan ta fram en mer praktisk användbar försättning gjordes att antal korrekitioner. Grundmodellen kunde med framgång tillämpas vid ovanjordssprängning. Vid tunneldrivning gjorde den mer begränsade geometrin att tillämpningen blev begränsad till i första hand strosshål. För öppningen av salvan togs separata tumregler och diagram fram. Diagram för parallellhåls-öppning och plogkil finns redovisade även av Stig O. Olofsson (Olofsson, 2007).

Uppdateringar och anpassningar av sprängtekniken utifrån Langefors och Kihlström arbeten har gjorts i flera omgångar. Brännfors och Kallin gav 1964 ut boken Bergsprängningsteknik som var den tidens sammanfattning av teknikläget (Kallin & Brännfors, 1964). I början av 1970-talet kom Rune Gustavsson ut med en spränghandbok (Gustavsson, 1973).

Stig O. Olofsson uppdaterade i slutet av 80-talet och 90-talet Langefors och Kihlströms arbeten och då främst med avseende på den teknikutveckling som skedde under 80- och 90-talet inom borrhsteknik och sprängämnesteknologin.

Den hydrauliska bormaskinen innebar att borrhålsdiametern vid salvboring ökade till 45 – 51 mm. Grovhålsöppningen kunde borrar effektivt och den allt kraftfullare utrustningen innebar att hålantalet i en salva inte alltid behövde minimeras.

Inom sprängämnestekniken kom nya sprängämnen som kunde laddas med pneumatisk laddutrustning eller pumpas med mekaniska pumpar. Anfo var fortfarande under 80-talet det mest dominerande bulksprängämnet men ersattes successivt under 90-talet av emulsionssprängämnen. Laddning med bulksprängämnen innebar i praktiken då fulladdade borrhål och i det läget började man att kraftigt avvika från de tidigare framarbetade tumreglerna som Langefors och Kihlström tagit fram. En fulladdad grovhålsöppning var synnerligen överladdad. Fauske, 2002 redovisar försök med olika öppningar för att bl.a. jämföra specifik laddning. Hållayouten och laddningskoncentrationen beror bl.a. av borrhålsdiameter, grovhålsdiameter, salvlängd, sprängämnets viktstyrka och bergets sprängbarhet. Fauske redovisar att laddningskoncentrationen för patronerad laddning i 48 mm hål skulle bli 0,85 kg/m, för Anfo 1,6 kg/m och för SSE 1,8 kg/m. Det skulle alltså vara tillräckligt med 0,85 kg/m. Försök gjordes och det visade sig att det räckte med 0,9 kg/m med emulsionsladdning (Fauske, 2002). Detta stämmer bra med beräkningar som redovisas av Langefors&Kihlström i Rock Blasting.

Priset på bulksprängämnet var i jämförelse med patronerade sprängämnen lågt och den nya laddtekniken förkortade laddtiden varför det i slutändan ändå lönade sig att överladda vissa delar av salvan. Det fanns även positiva arbetsmiljöaspekter med i bilden vid övergången till bulksprängämnen. Hudkontakt med dynamitsprängämnen kunde nästan helt undvikas.

Skälen till att vi i dagens tunneldrivning har frångått de äldre tumreglerna kan alltså sägas vara en kombination av förändringar i hur vi borrar och laddar. Sprängämnens egenskaper har förändrats, kraven på produktivitet har ökat och utvecklingen med den tekniska utrustningen har gått framåt.

Resultatet har generellt sett blivit en höjning av såväl specifik laddning som specifik boring men det har också resulterat i en rationellare drivning.

## **12.2 Omräkningsfaktorn mellan olika sprängämnestyper**

Vid en jämförelse av verkan i borrhål mellan olika typer av sprängämnen har begreppet vikt- eller volymstyrka ofta använts. Vid viktstyrka jämförs samma vikt av två olika sprängämnen och vid volymstyrka har sprängämnenas densitetsskillnad räknats med i jämförelsen. I fallet med två fulladdade borrhål som laddats med olika sprängämnen är det alltså enklare att jämföra viktstyrkan. Till saken hör även att olika leverantörer beräknar viktstyrkan på olika sätt vilket kan försvåra jämförelsen.

Det viktstyrkebegrepp som använts i Sverige har sitt ursprung i Langefors/Kihlströms arbete. Den viktstyrka som räknas fram är i förhållande till ett referenssprängämne som ursprungligen var Dynamit. Senare blev det vanligare att jämföra med Anfo. Viktstyrkan anges vanligtvis som procent av referenssprängämnet.

$$\text{Viktstyrkan} = \frac{5}{6} * \frac{Espr}{Er} + \frac{1}{6} * \frac{Vspr}{Vr}$$

Espr = beräknad energi (reaktionsvärmets) för sprängämnet, MJ/kg

Er = beräknad energi (reaktionsvärmets) för referenssprängämnet, MJ/kg

Vspr = beräknad gasvolym för sprängämnet, l/kg

Vr = beräknad gasvolym för referenssprängämnet, l/kg

Som framgår av formeln ansåg Langefors att reaktionsvärmets var den viktigaste faktorn för sprängämnets förmåga att bryta loss berget, ca 80 % och gasvolymens inverkan endast ca 20 %.

Då pumpemulsionen kom ut på marknaden ovan jord i Sverige utlovade leverantörerna att hålmönstret vid ovanjordsbruk kunde glesas ut i jämförelse med om Anfo användes. Uppmaningen var inte lika tydlig för tunnelanvändning men det fanns en tro att emulsionssprängämnet hade en bättre verkan i berg än Anfo.

Vid en jämförelse av viktstyrkan mellan en pumpemulsion och Anfo, båda med en ungefärlig densitet av 900 kg/m<sup>3</sup>, anges viktstyrkan för emulsionen vara ca 80 % av Anfo. Ökas densiteten på emulsionen stiger viktstyrkan för att vid en densitet på ca 1,2 ligga lika med eller högre än för Anfo. Laddningens diameter, densitet men även storleken och fördelningen av mikrosfärer alternativt gasbubblor i den gasade emulsionen påverkar detonationshastigheten, varför en ökad diameter även höjer detonationshastigheten.

Viktstyrkan för en pumpemulsion relativt en Dynamit brukar anges till ca 70 %.

En hel del arbete utfördes under slutet av 80-talet och början av 90-talet med att försöka beskriva emulsionens styrka i jämförelse med andra sprängämnen där det ofta hävdades att trots emulsionens lägre viktstyrka så hade den förmåga att bryta och fragmentera berg bättre än Anfo. Lars Granlund vid Dyno Nobel var en av de som sökte förklara detta fenomen (Granlund, 2006).

Detonationshastigheten får en direkt påverkan på strängladdad emulsion där ladddiametern är mindre än borrhålets diameter. Förutom att laddningskoncentrationen blir lägre blir även sprängämnet svagare i och med en lägre detonationshastighet. För de klenare strängladdningarna som främst används i kontur- och hjälparhål är dessutom detonationsförloppet ganska utforskat. Arbeten av bl.a. Miguel Araros, som tidigare arbetade inom sprängämnesindustrin i Australien, har konstaterat detonationshastigheter i friliggande emulsionsladdningar med en diameter av 20 mm på 2000 m/s, förutsatt att densiteten är under ca 1,05 kg/l. Om densiteten stiger upp mot 1,1 kg/l riskerar detonationen att avstanna. Detta tyder på att de strängladdningar som används i konturen i tunnelsalvor går till full detonation förutsatt en kontrollerad densitet som ligger under 1,05 kg/l.

### 12.3 Typiska borrh- och laddplaner

I de flesta fall där vibrationsrestriktioner inte begränsar den planerade salvlängden laddas öppnings- och strosshål fullt. Kraven på skonsam sprängning med begränsning av skadezonens utbredning innebär att kontur- och hjälparhål strängladdas.

Typiska borrhplaner med emulsionsprängämne skiljer sig inte nämnvärt från borrhplaner gjorda för Anfo. Försättningarna varierar från ca 0,9 till 1,1 m beroende på hålens placering i salvan. Eftersom viktstyrkan för emulsionsprängämnet vid samma densitet är 20 % lägre än för Anfo borde försättningen minska med motsvarande men detta är alltså inte fallet. Viktstyrkan är sålunda inte direkt användbar som jämförelsetal.

Om Olofssons tabell för Anfo används även för pumpemulsion innebär det ungefär de försättningar som visas i Tabell 4.

Tabell 4. Praktisk försättning vid tunneldrivning vid olika laddningskoncentrationer för Anfo enligt Olofsson (Olofsson, 2007). Tabellen kan alltså anses gälla även för pumpemulsion. *Suitable burden for different Anfo-charging concentrations*

Håldim. (mm)	Laddn.konc. (kg/m)	Försättning (m)
51	1,7	1,1
48	1,5	1,0
45	1,4	0,95
41	1,1	0,90
38	1,0	0,85

I anslutning till tabellen finns även korrekationer beroende på var i salvan hålen är placerade. Variationerna för hålsättningen är små och det är främst hålavstånden som kan ökas för de strosshål som ligger ovanför öppningen.

I tabellen ovan är fyllnadsgraden i hålen 100 %, dvs. i samtliga fall är hålen fulladdade. Vid en jämförelse med emulsionsladdningar där de lägre laddningskoncentrationerna motsvarar strängladdade laddningar är sprängämnet till stor del frikopplad från borrhålsväggen vilket då borde innebära en ytterligare försämrad arbetsförmåga av laddningen.

### 12.4 Strängade emulsionssalvor

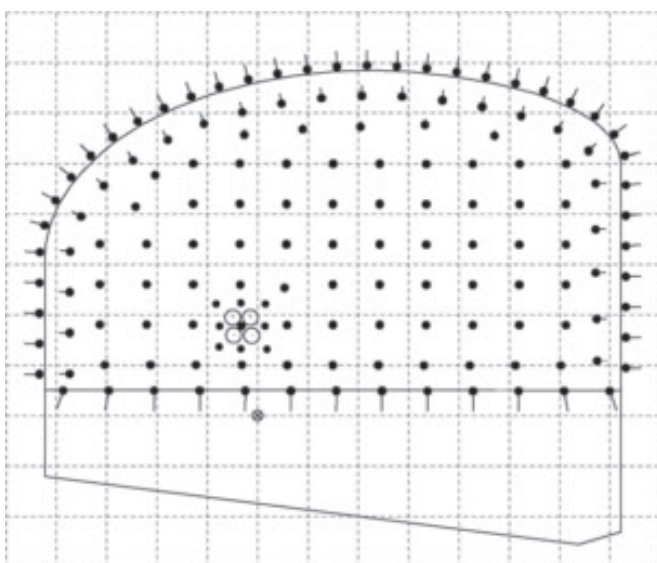
Emulsionssalvor där samtliga hål strängas behövs dels för att reducera skadezonen men även pga. kraven på låga vibrationsvärden. Detta krav innebär att den samverkande laddningen måste hållas låg. För att undvika avkortning av salvan kan laddningskoncentrationen i samtliga hål stället reduceras genom strängad laddning.

Normalt innebär detta att hålsättningen förtätas något för att korrigera för den lägre laddningskoncentrationen. Denna korrigerigering kan för en 10 m bred tunnel innebära något enstaka hål mer per horisontell rad i salvan vilket totalt kan göra att hålantalet ökar med 5 – 7 hål i salvan. Fördelen med att kunna driva ett par meter längre salva överväger naturligtvis arbetet med att borra ett antal extra hål.

Detta innebär att i praktiken kan försättningen minskas med någon decimeter i jämförelse med Tabell 4. Exempel på borr- och laddplan för en strängladdad emulsionssalva som borrats 5,2 m visas i Figur 31 samt i Tabell 5 och Tabell 6.

Tabell 5. Erfarenhetsvärden för hålsättning och laddningskoncentration där hela salvan strängladdats. *Empirical values for string emulsion*

Håltyp	Laddningskonc. kg/m	Försättning m
Öppningshål	1,1 – 1,4	Normal
Strosshål	1,1 – 1,2	0,9
Hjälparhål	0,9	0,8
Konturhål	0,3 – 0,4	0,6 – 0,7



Figur 31. Exempel på en borrplan där hela salvan strängladdats med pumpemulsion. Salvlängden är 5,2 m. *Example of a round charged with string emulsion*

Tabell 6. Laddplan för borrplanen i Figur 31. *Charging plan for the figure above*

Håltyp	Laddn.konc. kg/m	Bottenladdning kg	Avladdning m
Kontur	0,35	0,3	0
2:a kontur	0,35	0,8	0
Bottenhål	1,1	1,6	0,5
Öppningshål	1,1	1,6	0,5
Strosshål övre	0,9	2	1
Strosshål nedre	1,1	2,4	0,5

## 12.5 Sammanfattning av riktlinjer för laddningsteknik

- Användningen av viktstyrka för att jämföra pumpemulsion med andra typer av sprängämnen är inte klarlagd
- Då viktstyrkan används har pumpemulsionen ca 20 % lägre viktstyrka än Anfo och ca 30 % lägre viktstyrka än en ett dynamitsprängämne
- För strängad emulsion är många av detonikens grundparametrar delvis oklara
- Praktiskt sett kan samma hålsättning användas för pumpemulsion som för Anfo vilket innebär att laddtabeller från våra vanligaste handböcker även kan användas för pumpemulsion
- Vanligtvis kan samtliga hål i salvan strängladdas, även öppningshålen som normalt är mycket överladdade
- Försättningen vid strängladdad salva kan för strosshålen minskas med ca 0,1 m
- Lokala bergförhållandena kan påverka hålsättningen mer än om en salva strängladdas jämfört med en salva med fulla strosshål
- Kunskapen om detonationsförloppet i en strängad emulsion är idag begränsade vilket innebär att det inte finns annat underlag för att bestämma borrh- och laddplaner för strängade emulsionsalvor än de praktiska försök som utförts i tunnelprojekt

## 13 MILJÖ

### 13.1 Miljö i omgivningen

Sprängämnen är kvävebaserade. Kväve är också ett av de vanligaste grundämnena i naturen och förekommer där i många former. Läckage av kväve brukar definieras som en obalans i näringshushållningen av kväve och uppkommer då det naturliga systemet inte kan ta emot mer kväve. Kväveföreningar har en hög löslighet i vatten och läckage av kväve hamnar därför så småningom i grundvattnet (Sjölund, 1977).

Det mesta av kväveutsläppen kommer från jordbruket och en uppskattning är att jordbruket släpper ut 10-20 kg kväve per ha och år medan utsläppet från bergtäkter uppskattas till 1-10 kg/år (Karlsson, 2011). Totala utsläppet kväve från sprängarbeten uppskattas till ca 800 ton/år vilket motsvarar ungefär 1 % av det totala årliga kväveutsläppet i Sverige (Moulodi&Thorsell, 2010).

Från sprängning kommer kväveutsläppen i form av  $\text{NO}_3$  och  $\text{NH}_4^+$  men den största andelen avgår dock i form av kvävgas  $\text{N}_2$  till atmosfären (Tilly et.al., 2006).

Kväveutsläppen från sprängningsarbeten kommer främst från odetonerade laddningar och spill. Bulksprängämnen ger den största mängden spill och är samtidigt mer känsliga för sprickor i berget som kan leda till detonationsavbrott och därmed odetonerat sprängämne.

Spillet i samband med laddningsarbetet uppkommer av tre anledningar:

1. Spill vid uppstart av laddning

Spillet uppkommer vid uppstart av laddningen då vatten pumpas ut ur laddslangen innan emulsionsflödet har blivit riktigt.

2. Spill under laddning

Spill uppkommer då hålen laddas för mycket, dvs. vid för kort avladdning, se Figur 32

3. Spill efter laddning

Spill uppkommer efter laddning då vatten spolar rent i laddslangen.

Spillet innan och efter laddning kan reduceras genom att laddarna väljer att pumpa denna mängd i t.ex. ett bottenhål. Spillet skulle helt kunna undvikas genom att tömma laddslangen i ett separat kärl. Spillet under laddning kan reduceras genom en bättre kontroll av borrar längd och planerade laddlängder samt av disciplin hos laddarna.



Figur 32. Spill från pumpemulsionsladdning och exempel på uppsamlingskärl. *Spillage from pump emulsion and spillage containers* (Foto EDZ-Consulting)

Uppgifter från kontakterna med laddare uppskattar spillet mellan 10-30 kg/tunnelsalva. Spillet hamnar i bergmassorna och följer med berget till olika deponiplatser där kväve kan läcka ut under en längre tid. Spillet kan också lösas upp av vattnet i tunneln.

LKAB redovisade 1999 att 20 % av kvävet från sprängämnet följde med malmen och gruvvattnet till ytan. Idag uppskattar man att kvävehalten är 12-13 %. Zinkgruvan rapporterade vid liknande mätningar 2006 en kvävehalt på ca 20 % i snitt. Garpenbergsgruvan rapporterade 2011 att kvävehalten var ca 10 %. Mer finns om dessa mätningar i SveMins rapport (Kväveutsläpp från gruvindustrin, 2012).

Hur hanteringen av spill skall utföras är idag inte klarlagt men det förekommer att sprängämnesleverantörerna återtar sprängämnesresterna för senare destruktion.

### 13.2 Arbetsmiljö

En stor fördel med emulsion är att sprängämnet inte ger upphov till huvudvärk vid hantering som ofta är fallet vid många patronerade sprängämnen. En annan fördel är att samma sprängämne kan användas i olika delar av salvan och att laddningen är mekaniserad. Detta reducerar tunga lyft för laddarna och borde ge en bättre arbetsmiljö. Patronerad laddning medför att en mängd emballage måste tas om hand efter laddning. Dessa papperkartonger lämnas ofta vid stuffen och försvinner in i berghögen vid sprängning vilket inte är bra miljömässigt.

Laddning med pumpemulsion medför dock några nackdelar. Emulsionen är kladdig och detta fastnar i arbetskläderna vilket medför att laddarna ofta måste byta arbetskläder.



Vanliga arbetskläder av tyg suger lätt in emulsionen. Spill vid för mycket laddning i hålen kan droppa ner på den som laddar de nedre hålen.

I något fall har laddpersonal påtalat problem med hudirritation till följd av sprängämnesrester på kläderna. Gasningsmedlet i emulsionen kan, om det torkar in i kläder, bli lättantändlig enligt säkerhetsdatablad från leverantören.



## 14 FÖR & NACKDELAR MED PUMPEMULSION

Systemet med pumpemulsion har övervägande bra egenskaper. Det finns dock några mindre bra sidor även med detta sprängämne och laddningsmetod.

En viktig fördel med emulsionsmatrisen är att den inte klassas som sprängämne i samband med transport och lagring samt att den känsliggjord medger en rationell och effektiv laddning samt att kostnaden för sprängämnet är relativt låg. En påtaglig nackdel är sprängämnets känslighet mot detonationsavbrott, vilket kan leda fram till problem med glasögon (kvarstående borripipor).

### 14.1 Fördelar

- Enklare transportklass  
Matrisen räknas inte som sprängämne och får därför en enklare transportklass än den för sprängämnen
- Enkelt att lagra  
Matrisen kräver inget speciellt förråd utan lagras på plats i tank
- Sprängämne först i hålet  
Pumpemulsionen blir sprängämne efter den känsliggjorts (gasning) i hålet
- Svårt att oavsiktligt initiera  
Pumpemulsion kräver hög aktiveringsenergi för att detonera
- Pumpbar  
Emulsionen är pumpbar, lätt och rationell att ladda
- Vattenresistent  
Emulsionen är vattenbaserad och därmed inte känslig för fukt
- Endast ett sprängämne i tunnelsalvan  
Samma sprängämne kan användas för tunnelsalvans samtliga hål
- Olika laddningskoncentrationer  
Strängladdning medför att laddningsmängderna enkelt kan varieras och anpassas för salvans samtliga hål
- Rationell och effektiv laddning  
Laddningsarbetet blir effektivt och rationellt genom pumpning

- Automatisering  
Genom slangmatning blir laddningsarbetet delvis automatiserat
- Förbättrad arbetsmiljö  
Inga tunga lyft och ingen risk för ”dynamitskalle”

## 14.2 Nackdelar

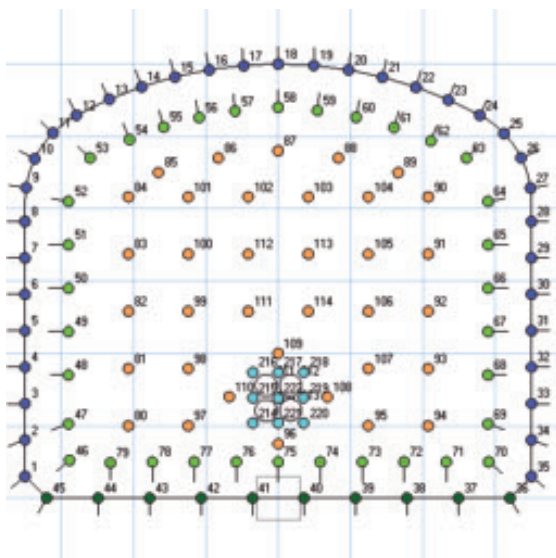
- Känslig för avbrott  
Pumpemulsion, och speciellt tunna strängar av emulsionen, är känsliga för avbrott dvs. sprängämnet har en låg överslagsförmåga
- Känslig för sprickigt berg  
Pumpemulsion riskerar att okänsliggöras pga. inläkande gas från närliggande hål eller avskjuvade borrhål
- Speciell laddutrustning  
Pumpemulsion fodrar en speciell laddutrustning som idag måste hyras av leverantören. Utrustningen kräver en regelbunden och kvalificerad service
- Samma leverantör  
Pumpemulsion kräver ett långsiktigt samarbete med samma leverantör, vilket även kan vara en fördel
- Konsistensen  
Pumpemulsion är kladdig och svår att få bort från kläder och verktyg

## 15 REFERENSOBJEKT

Som referensobjekt i detta projekt valdes att närmare studera utbyggnaden av SKB:s Äspö-laboratorium. Totalt skall här drivas ca 300 m. I detta kapitel kommer främst laddningsarbetet att beskrivas.

### 15.1 Krav vid utbyggnad av Äspölaboratoriet

Det ställdes höga krav på såväl entreprenören som sprängämnesleverantören vid uppstarten av utbyggnaden. Profiler, borrh- och laddplaner bestämdes av SKB och vidare att laddning skulle ske med pumpemulsion och att elektroniska sprängkapslar skulle användas i hjälp- och konturrader. Ett exempel på en borrh-laddplan visas i Figur 33.



Figur 33. Exempel på en borrhplan i Äspö. *Example of a drilling plan from Äspö*

SKB:s krav på borrhingsnoggrannheten var:

- verklig kontur skulle aldrig inkräkta på teoretisk volym
- överberget < 30 volym% av teoretisk volym
- stickningen < 25 cm

SKB:s krav på borrhingsnoggrannheten var vid:

- påhugget  $\pm 7$  cm
- hålbotten  $\pm 20$  cm

Hålen skulle borraras med 48 mm diameter. I Tabell 7 visas exempel på försättningar och hålavstånd för en av tunnarna. I tabellen framgår också kraven på laddningskoncentrationerna. Det ställdes också krav på att hålen skulle vara torra.

Tabell 7. Hållayout och krav på laddning i Äspö. *Hole layout, charge concentrations and demands in the Äspö project*

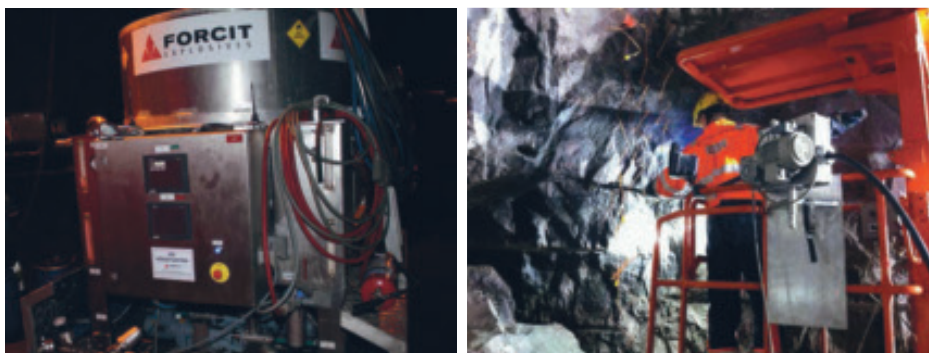
Håltyp	Hålavstånd (m)	Försättning (m)	Laddning (kg/m)	Laddningskrav (kg/m)
Kontur	0,5	0,6	0,35	± 0,05
Hjälpare	0,6	0,8	0,50	± 0,05
Stross	0,8	0,8	0,80	± 0,10
Botten	0,7	0,5	1,80	± 0,05
Kil			1,80	± 0,10

Kraven på bergschakten i övrigt var att entreprenören skulle göra egenkontroll av utförandet. SKB upprättade speciella kontrollplaner för kontroll av borrhning, laddning, sprängning och injektering.

## 15.2 Laddutrustningen

Laddutrustningen för pumpemulsion var av typen miniutrustning och bars fram till laddplatsen med hjullastare. Utrustningen kopplades till borrhigen och borrhigen var utrustad med laddkorg, se Figur 34. Hålen hade en bottenladdning på ca 2 dm med en 25 g primer.

Sulhålen laddades i plaströr för att undvika vatten i hålen.



Figur 34. Laddutrustning i Äspö. *Charging equipment at Äspö* (Foto EDZ-Consulting)

### 15.3 Kontroll och uppnådda resultat

Innan projektet startade genomförde sprängämnesleverantören egna tester för att verifiera att ställda krav på laddningen kunde uppnås. Resultatet av dessa tester blev mycket bra och noggrannheten var bättre än uppställda krav.

Kvalitetstester gjordes varje månad genom att ladda i några ihopsatta plexiglasrör och sedan väga rören. Figur 35 visar laddslangen i plexiglasröret innan laddning och Figur 36 visar en färdigladdad sträng. Strängen som figuren visar med laddningskoncentrationen 0,35 kg/m var av jämn kvalitet och uppfyllde SKB:s krav.

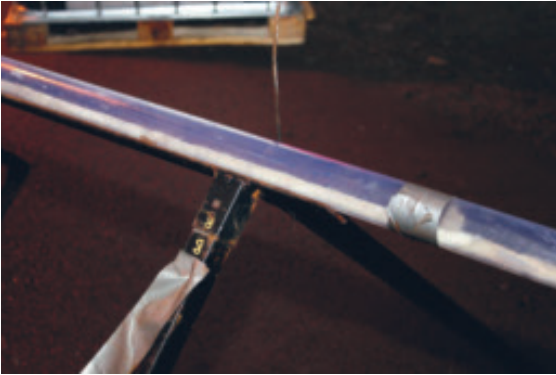
Efter sprängning mättes och utvärderades bl.a. antal synliga halvpipor, utsprängd area, geologi, borrhoggrannhet, laddningsmängder i hålen m.m. Figur 37 visar ett exempel på halvpipor i en salva. SKB:s utbyggnadsprojekt har fortsatt efter denna rapport's färdigställande. Mer data och resultat kommer att publiceras av SKB.

Tunneldrivningen har hittills gått bra och visat att det är möjligt att uppnå hög kvalitet då höga krav ställs på såväl borrhoggrannhet som laddning. Detta projekt med högt ställda krav och många kontroller tar dock längre tid att utföra än ett "normalt" tunnelprojekt. Projektet har också haft en relativt lång intrimningsprocess vilket reducerat framdriften.

Det är särskilt intressant att notera att laddning med pumpemulsion gått mycket bra trots de höga kraven som ställts. Slutkonturen blev bra och spillet från laddningen kunde begränsas. Ett problem som uppkom var kombinationen hybridupptändning och pumpemulsionsladdning, se vidare Kapitel 11 Sprängning och resultat. Problemet i Åspö löstes med tekniken som beskrivs i Kapitel 11.



Figur 35. Laddslangen i plexiglasröret innan laddning. *Charging-hose in a PVC-pipe*  
(Foto EDZ-Consulting)



Figur 36. Laddad sträng med 0,35 kg/m. *Charging 0,35 kg/m* (Foto EDZ-Consulting)



Figur 37. Tunnelkontur i utbyggnaden av Äspölaboratoriet. *Tunnel contour blasted with string emulsion at Äspö* (Foto EDZ-Consulting)



## 16 DAGENS TEKNIK OCH UTVECKLINGSPOTENTIAL

Pumpemulsion är idag det vanligaste sprängämnet för tunneldrivning. Tekniken är enkel och rationell. Principerna för sprängämnet och laddningstekniken är i stort sett densamma som då sprängämnet introducerades för drygt 15 år sedan. Konkurrens bland tillverkarna har på senare tid påskyndat utveckling av laddmetodik. Här redovisas ett urval av några intressanta tekniska förbättringar i laddningstekniken.

### 16.1 Dagens ”spets” teknik

- Inställning av laddningskoncentrationer  
Dagens laddutrustning medger 4-5 olika laddningskoncentrationer
- Fördelning av strängladdningen  
En enkel sträng är vanligast förekommande men genom med hjälp av ett speciellt munstycke kan många tunna strängar läggas ut runt hålväggen
- Slangmatare  
Utveckling av slangmatare med elektrisk motor ger betydligt bättre kontroll på laddningsmängder och laddningslängder
- Laddning av sulhål  
En lätt bärbar separat slangmatarenhet för laddning av sulhål och nedre kontur och hjälparhål
- Åtgärd för stopp i matrisflöde  
Nya ventiler för rensning av stopp i matrisflödet
- Datorsystem och överföring  
Det finns möjlighet att överföra data från laddutrustningens dator till egen dator och det finns också trådlös uppkoppling on-line

Laddtekniken kommer att utvecklas ytterligare både vad gäller precision och automatisering. Nedan redovisas några exempel på möjlig utveckling.

## 16.2 Utvecklingspotential

- Borrhålsposition  
Överföring av borrhålsposition från borrhlogg till laddenhet
- Automatiserad laddning  
Automatisk positionering av laddslang samt senare automatisk laddning
- Datorskärm på laddkorg  
Datorskärm på laddkorg för presentation av ladd och tändplan
- Dataöverföring  
Överföring av laddningsdata till och från laddenhet och kontoret
- Laddning av sulhål  
System för laddning av blöta sulhål
- Minimering av spill  
System som eliminerar spill vid laddning
- Uppsamling av spill  
Tank för uppsamling av spill vid uppstart och avslut samt system för hantering, transport och okadliggörande av spill
- Rengöring av laddslang  
Automatisk rengöring av laddslang och slangmatare
- Sabotage/Säkerhet  
Personlig kod och bricka för att köra laddutrustningen

## 17 SLUTSATSER

- Pumpemulsion är idag det mest använda sprängämnet för tunneldrivning
- I dag finns fyra leverantörer av pumpemulsion för tunneldrivning i Sverige
- Fördelarna med pumpemulsion är bl.a. enklare transportklass, sprängämne först i hålet, rationell, enkel och mekaniserad laddning, möjlighet att variera laddningskoncentrationer
- Nackdelarna med pumpemulsion är främst att den är känslig för avbrott och kan därför vara känslig för uppsprucket berg
- Kvalitén på sprängämnet är beroende på kvalitén på råvarorna
- Jämnheten på slangens utdragningshastighet är mycket viktig för laddsträngens kvalitet
- Borrplanen skiljer sig inte från borrplaner som är gjorda för Anfo trots att pumpemulsion har en lägre viktstyrka (20 % < än Anfo)
- Många hävdar att pumpemulsion bryter berg bättre än Anfo
- Generellt har laddarna goda erfarenheter av pumpemulsionsladdning. Man upplever att laddningstekniken är enkel och att det går snabbt att ladda en salva
- En mer omfattande utbildning för laddpersonal liknande den som fanns före 2009 vore önskvärd
- Generellt överladdas tunnelsalvor
- Kväveutsläppen från sprängningsarbeten kommer främst från odetonerade laddningar och spill. Spillet under laddning kan reduceras genom en bättre kontroll av borrad längd och planerade laddlängder samt av disciplin hos laddarna. Kväveutsläppet hos de svenska gruvorna varierar mellan 10-20 %
- Vid utbyggnaden av SKB:s Äspölaboratorium ställdes hårda krav på bl.a. laddningsmängder. Tunnelarbetet har visast att det är möjligt att uppnå laddningsmängder på  $\pm 0,05$  kg/m i konturen
- Överföring av borrhålsposition från borrlogg till laddenhet samt automatisk positionering av laddslang och automatisk laddning är några exempel på utvecklingspotential för laddtekniken



## 18 ERKÄNNANDE

Författarna vill rikta ett varmt tack till följande personer som bidragit till denna rapport

Anders Östberg	Atlas Copco
Jiri Englén	Strabag
Joakim Rehnberg	Strabag
Tony Lennartssons	Strabag
Erik Hamnqvist	Strabag
Ludvig Wassdahl	Veidekke
Johan Hillman	Zublin
Maros Buchla	Zublin
Kurt Gössler	Zublin
Tommy Håkansson	NCC
Klas Levinson	NCC
Lars Åman	NCC
Linus Nyberg	Billfinger
Hans Ronge	Billfinger
Stig Adolfsson	f.d. Arbetsmiljöverket
Shulin Nie	MSB
Anders Nordqvist	LKAB

Speciellt tack också till deltagarna i referensgruppen som bidragit med värdefulla synpunkter.

Roland Ekenberg, Trafikverket  
 Per Tengborg, BeFo  
 Rolf Christiansson, SKB  
 Henrik Ittner, SKB  
 Michael Hermansson, Bergutbildarna  
 Emil Pettersén, Bergkonsult

Ytterligare ett tack till sprängämnesleverantörerna som har bidragit med underlag till och synpunkter på denna rapport.



## 19 REFERENSLISTA

- Ekenberg R, Larsson C-E, Jonsson P. Slutförvar- Projektering. Analys av sprängämnessystem SSE med tillämpning vid byggande av slutförvar. SKB Arbetsrapport PP-06-06, 2006.
- Olofsson, S. Modern bergsprängningsteknik. Ärla 2007.
- Gustafsson R. Swedish Blasting Technique. Nora Boktryckeri AB, 1973.
- Hermansson M. Bergutbildarna. Undervisningsmaterial
- Olsson M, Bergqvist I. Sprickutbredning vid flerhållsprängning. SveBeFo Rapport 18, 1995.
- Olsson M. Skadezon från strängemulsionsladdade hål. Nitro Nobel's Underjordsseminarium, 1998.
- Olsson M, Svärd J, Ouchterlony F. Sprängskador från strängemulsion, fältförsök och förslag till skadezonstabell som innehåller samtidig upptändning. SveBeFo Rapport 2008:1.
- Sjölund, G. Kväveläckage från sprängstensmassor. Examensarbete LTU, 1997:332 CIV, 1977.
- Karlsson, O. GeoPro AB, 2011.
- Tilly L, Ekvall J, Borg Ch, Ouchterlony F. Vattenburna kväveutsläpp från sprängning och sprängstensmassor. SveBeFo Rapport 71, 2006.
- Moulodi S, Thorsell J. Diffusa kväveläckage från sprängstensmassor i samband med tunneldrivning och mellanlagring. KTH, LWR-KAND-EX-2010:08, 2010.
- Engberg T. Uppföljning av laddning i konturhål, Törnskogstunneln Norrortsleden. Examensarbete i Bergteknik, nt E3228, Filipstad, 2005.
- Sandström, H. "Henry Sandströms historia om bergsprängning"
- AFS 2007:01 Sprängarbete. Arbetsmiljöverkets författningssamling, 2007.
- Fauske, A. Praktiske erfaringer og muligheter med SSE strengladdningssystem. BK 2002.
- Adolfsson, S. Personlig kommunikation
- Ittner, H, Johansson, E. Material från utbyggnad av Äspölaboratoriet, Seminarium Äspö maj 2012.

Langefors U, Kihlström B. The Modern Technique of Rock Blasting. Almqvist & Wiksell, 1963, 1978.

Kallin Å, Brännfors S. Bergsprängningsteknik. Solna: Esselte studium, 1982

Granlund L. Viktstyrka, energi, gasvolym och VOD-passé?! SprängNytt, Dyno Nobel Nr 1, 2006.

MSBFS 2010:4. Föreskrifter om explosiva varor

SweMin. Kväveutsläpp från gruvindustrin, 2012

Araros, M. Personlig kontakt

Nie S, Deng J, Nyberg U, Persson A. Determination of the Initiation Pressure of an Emulsion Explosive with the Gap Test. SveBeFo Report no 12, 1994.







Box 5501  
SE-114 85 Stockholm

info@befonline.org • www.befonline.org  
Visiting address: Storgatan 19

ISSN 1104-1773