

RAPPORT

Trafikverkets handbok för ovanjordssprängning



Dokumenttitel: Spränghandboken

Skapat av: Mats Olsson, EDZ-Consulting AB, Urban Åkeson, Trafikverket och Karl-Johan Lorents

Dokumentdatum: 2014-02-05

Dokumenttyp: Rapport

Publikationsnummer: 2014:044

ISBN: 978-91-7467-566-5

Version: 1.1

Publiceringsdatum: 2014-02-10

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Urban Åkeson, urban.akeson@trafikverket.se

Uppdragsansvarig: Klas Hermelin

Distributör: Trafikverket, 781 89 Borlänge, telefon: 0771-921 921

Förord

Det finns ett begränsat antal handböcker i sprängning. Syftet med dessa är att för olika typer av bergschakt detaljerat beskriva borrhings- och sprängningsmetoder. Vägverkets tidigare handbok i sprängteknik var att betrakta som kurslitteratur. Den täckte det mesta inom sprängtekniken men fyllde inget behov inom Trafikverket där ingen köper sprängämnen, borrhmaskiner eller utför sprängning. Den kunskap som finns i den gamla handboken är trots detta värdefull, framförallt ger den en god inblick i sprängarens värld med utrustning och utförande. Denna handbok i sprängteknik är framtagen för projektörer, beställare och bygglidare i infrastruktur projekt.

Innehåll

Förord	3
1. Inledning.....	8
2. Borrning.....	8
2.1. Borrningens historia	8
2.2. Borrmaskiner	8
2.3. Håldimension	11
2.4. Hålavvikelse	11
2.5. Kontroll av kvalitet	13
2.6. Säkerhet	13
3. Sprängämnen.....	14
3.1. Sprängämnes historia	14
3.2. Svenska pionjärer inom sprängning.....	14
3.3. Bergsprängningsteori	15
3.4. Sprängämnen och egenskaper	16
3.5. Sprängämnestyper	18
3.6. Trafikverkets bestämmelser	22
3.7. Laddutrustning	23
4. Tändmedel	24
4.1. Tändmedlens historia	24
4.2. Allmänt	25
4.3. Elektriska sprängkapslar	26
4.4. Icke elektriska sprängkapslar	27
4.5. Elektroniska sprängkapslar	30
5. Pallsprängning.....	32
5.1. Allmänt	32
5.2. Nomenklatur och definitioner	33
5.3. Laddningsberäkningar för pallsprängning.....	35
5.4. Faktorer som kan påverka pallsprängning	37
6. Rörgravssprängning	41
6.1. Laddningsberäkningar.....	42
7. Plansprängning.....	43
8. Sprängning med speciella krav.....	43
8.1. Skonsam sprängning/ Kontursprängning	43
8.2. Försiktig sprängning.....	53

9. Speciella uttagsmetoder.....	60
9.1. Sten och skut.....	60
9.2. Sprängning under vatten	62
9.3. Metoder utan sprängning	62
10. Problem vid sprängning	65
10.1. Skut	65
10.2. Bakåtbrytning.....	66
10.3. Överberg.....	66
10.4. Luftstötståg	66
10.5. Vibrationer	67
10.6. Buller	67
10.7. Kast.....	67
10.8. Täckning.....	69
10.9. Gaser	69
10.10. Markföroreningar.....	69
10.11. Dolor och odetonerat sprängämne i berghögen	70
11. Miljö och kvalitet vid sprängningsarbeten	71
12. Myndigheternas föreskrifter.....	72
12.1. Riskbedömning och sprängplan	72
12.2. Personal.....	72
12.3. Laddarbete	72
12.4. Laddutrustningar för ANFO-och emulsionssprängämnen.....	72
12.5. Initiering av sprängsalvor	72
12.6. Utrustning för initiering av sprängsalvor	73
12.7. Detonerande stubin.....	73
12.8. Täckning.....	73
12.9. Utrymning, bevakning och initiering.....	73
12.10. Återvändande till sprängplats.....	73
13. Designmetoder.....	74
13.1. Handböcker.....	74
13.2. Datorprogram	74
14. Krav och Kontrollmetoder	75
14.1. Borrning	75
14.2. Hållraket och hjälpmedel.....	75
14.3. Laddning, sprängning och slutkontur.....	76
14.4. Fragmentering.....	77
14.5. Personal och utbildning	77

14.6.	Sprängplan och sprängjournal.....	78
14.7.	Sprängning intill nygjuten betong	78
15.	Myndigheternas tillstånd.....	79
15.1.	Hantering och lagring	79
16.	Sprängekonomi.....	80
17.	Utformning av bergskärningar	81
17.1.	Släntutformning utifrån storstabilitet i bergskärningar.....	81
17.2.	Släntutformning genom att utnyttja slag i berget – Naturlika bergskärningar	82
18.	Appendix 1 Beräkningsexempel.....	89
19.	Referenser.....	92

1. Inledning

Sprängningsarbeten förekommer i de flesta väg- och järnvägsarbeten i form av bl.a. tunnlar eller bergskärningar. Vägskärningar kan både vara höga och branta eller flacka och påverkar därför i hög grad linjedragningarna. Vid sprängning skall två olika moment samsas, dels skall berget fragmenteras till lämplig storlek och dels skall det kvarvarande berget förbli oskadat. Detta är inte helt okomplicerat och fordrar stor kunskap och eftertanke.

Denna handbok ger en ingående beskrivning av bergsprängning och dess ingående deltekniker.

2. Borrning

2.1. Borrningens historia

Utvecklingen av den ”moderna” bergborrningstekniken kommer främst från tunneldrivning och började 1857 då den första pneumatiska topphammarmaskinen presenterades. Tidigare hade man enbart använt handborrning där två man behövdes för arbetet, en man stod för slaget medan den andre skötte rotation och matning. Denna föråldrade teknik kom att användas ända in på 1900 talet.

Den pneumatiska bormaskinen började användas vid drivning av järnvägstunnlarna under Alperna i slutet av 1800-talet. År 1907 introducerade Atlas Copco sin första pneumatiska bormaskin Cyclop, men dessa tidiga maskiner saknade rotation. De första maskinerna för ovanjordsborrning var stora och klumpiga och stod på tre ben.

Ett av problemen med den första generationens bormaskiner var borrarstålens korta livstid. Först använde man handsmidda korta bergborrar. Sedan kom hårdmetallen som innebar ett mycket stort steg för borrarernas hållbarhet. För tunneldrivning introducerades knämataren med spännben och denna metod fick ett stort genomslag i världen och kom att kallas ”den svenska metoden”. För ovan jord kom nu olika typer av bärare för bormaskinerna..

Nästa stora tekniksprång kom då den hydrauliska bergbormaskinen introducerades. Dessa maskiner gav 25 % bättre borraravkastning vid en jämförelse med luftmaskiner. Andra förbättringar var ett bättre utnyttjande av tillförd energi, mindre buller och möjlighet att variera slagverkstryck samt slaglängd.

Under senare tid har utvecklingen gått mot allt kraftigare bergbormaskiner (i syfte att öka borraravkastningen), styvare borrarstål (för att kunna borra rakare), bättre inriktning (för säkrare positionering), automatisering (för att höja produktiviteten), miljömedvetande (reduktion av buller och damm), och allt mer datorisering.

2.2. Bormaskiner

Bormaskiner för bergborrning finns av olika fabrikat och typer. De indelas i handhållna och matarmonterade, luft- eller hydrauliskt drivna. De hydrauliskt drivna bormaskinerna har högre borrningseffekt och lägre energiförbrukning, samt ger en bättre arbetsmiljö för borrararen än de tryckluftsdrivna bergborrararna. De hydrauliska bormaskinerna kräver dock tryckluft för att blåsa bort borraraxet från borrhålen.

Handhållet

Handhållen borrhning används vid mindre arbeten och vid korta och klena hål, se Figur 1. Vid dessa arbeten används helstångsborr med ett mejselskär. Borrhåldimensionen för dessa helstångsborrar är 23-40 mm och det finns stånglängder upp till över 8 m längd men vanligtvis borrar man inte längre hål än ca 4-5 m. De handhållna maskinerna är luftdrivna och fodrar en kompressor (för korta hål finns även bensindrivna eller eldrivna maskiner).



Figur 1. Handhållen borrhning (Foto Atlas Copco)

Borraggregat

Vid borrhning av längre och grövre hål används tyngre bormaskiner som sitter monterade på en matarbalk. De vanligaste borraggregaten är larvbandsburna eller hjulburna. Bormaskinerna är numera främst hydrauliska. Figur 2 visar några typer av dessa utrustningar.



Figur 2. Borraggregat (Foto Atlas Copco, Sandvik)

Håldimensioner finns från 33-152 mm beroende på vilken borrarstång som används. Vid långa hål måste stängerna skarvas och detta kan göras manuellt eller med stängskarvningsautomatik. Vanligast förekommande håldimension vid vägsärningar är 48-76 mm. Det finns många olika borrar-kronor att välja på, skärkronor samt många olika slags stiftbollar-kronor, se Figur 3. Förstahandsvalet idag vid bergborrning är stiftbollar-kronor som jämfört med skärkronor ger en bättre livslängd och en ökad borrar-junkning. Bollar-kronans stift kan ha såväl sfäriska som ballistiska tvärsnittspröfiler. De ballistiska stiften ger en högre borrar-junkning och rakare hål. Dock anses det att skärbollar-kronan fortfarande ger de rakaste hålen.



Figur 3. Bollar-kronor (Foto Sandvik)

För att åstadkomma raka hål finns styrstänger och speciella styr- och retrackkronor. Principen för dessa verktyg är att vara tigare mot hålet samt vara styvare än vanligt bollar-stål. Bollar-aggregaten är försedda med dammsugare för uppsamling av bollar-kaxet. Bollar-hytterna i moderna aggregat är ergonomiskt utformade och hytterna vibrations- och bullerisolerade. För att reducera yttre buller finns också aggregat med skyddskåpor runt mataren och bullret kan då reduceras med ca 10 dB. Figur 4 visar exempel på hytterergonomi samt bullerisolering.

Moderna riggar är ofta utrustade med GPS navigation för att få rätt läge och riktning på bollar-hålen. Detta är viktigt för att få precision och kvalitet på bollar-ningsarbetet. Precision i bollar-ningen är grunden för kvaliteten på bergguttaget.



Figur 4. Ergonomi och bullerisolering (Foto Sandvik, Atlas Copco)

2.3. Håldimension

Borrhålets diameter avgör hur stor mängd sprängämne i kg/m borrhål som får plats i hålet. Borrhålsdiametern förutsätts vara densamma som den använda borrhålskronans ursprungliga krondiameter men det är inte alltid det verkliga värdet eftersom borrhålskronans slit. Skillnaden mellan t.ex. en ny 64 mm borrhålskrona och en borrhålskrona som slitits ner till 60 mm medför att volymen minskar med 0,4 l/m hål. Vid laddning med bulksprängämnen blir detta extra viktigt att tänka på.

2.4. Hållavvikelse

Borrningsprecisionen är mycket viktig för sprängresultatet. En dålig precision i borrhålsborrningen medför problem med t.ex. grövre styckefall, risk för fastskjutning, vibrationer och en ojämn slutkontur.

Hållavvikelsen orsakas av bl.a. utsättningsfel, inriktningsfel, påhuggsfel, hållkrökningsfel samt håldjupsfel. Dessutom tillkommer borrararens skicklighet och noggrannhet som en mycket väsentlig faktor. Borrning i blockstensbrott med klena hål visar att det är möjligt att borra mycket raka hål om det finns ett kvalitetskriterium.

Utsättningsfel

Detta är ett vanligt fel och beror helt på borrararen/utsättaren. Hålet märks ofta ut med någon form av mätsticka och man sprayar på där hålet skall vara.

GPS-navigering finns som tillval på dagens borrhuggar och innebär att då borrararen inte själv behöver mäta ut hålen manuellt.

Inriktning/uppställningsfel

Uppkommer då matarbommen är felaktigt orienterad vilket kan t.ex. ske då aggregatet inte riktas in ordentligt. Dagens borrhuggaggregat har inriktningsinstrument men de behöver kalibreras med jämna mellanrum.

Påhuggsfel

Påhuggsfel beror ofta på att borrkronan glider på bergytan så att borrstartpositionen blir felaktig. Egentligen borde man alltid göra påhugg med en större krona för att avjämna bergytan. Det är viktigt att göra mjuka påhugg dvs. att reducera matningstrycket.

Hålrökningsfel

Detta fel beror ofta på bergstrukturen men kan även bero på borrararen. Borrararen måste anpassa matningstrycket till rådande omständigheter. Figur 5 visar ett exempel på hålrökning.



Figur 5. Hålrökning

Rakare hål kan erhållas genom att använda styrstänger och speciella borrkronor, s.k. retrackronor, se Figur 6.



Figur 6. Retrac-krona (Sandvik)

Håldjupsfel

Felaktigt borrhål beror på borrararen men hålet kan också rasa igen efter borrhål vilket kan orsaka problem vid efterföljande laddning. Håldjupsmätning måste göras efter avslutad borrhål och innan laddning.

Om hålet är borrhål för djupt kan det fyllas upp med grus till önskat håldjup. Det är viktigt att laddarna känner till det exakta håldjupet och extra viktigt vid bulkemulsionsladdning.

Borrpersonal

Det är viktigt att borrararen är utbildad och har genomgått kurs för borrhkort. Rådet för Sprängteknisk Utbildning har i samverkan med Bergsprängningsentreprenörernas förening, BEF, utarbetat kursplaner och ett kompetensbevis "Borrhkortet" som överensstämmer med myndigheternas krav på dokumenterad utbildning av borrarpersonal.

2.5. Kontroll av kvalitet

I AMA ställs krav på hållrakheten, se vidare i Kapitel Krav och Kontrollmetoder. Arbetsmiljöverket ställer i AFS 2010:1 krav på att de två första raderna skall mätas in för ovanjordspallar. Detta gäller för pallar som är högre än 10 m. I och med att detta infördes har borrhningskvaliteten i täkterna blivit mycket bättre.



Figur 7. Dålig kvalitet på bergskärning

2.6. Säkerhet

I Arbetsmiljöverkets AFS 2010:1 står: "Flera olyckor och tillbud har inträffat på lutande underlag då borrhvagnar börjat glida under förflyttning eller under pågående borrhning. Under förflyttning är det därför lämpligt att borrhaggregatet manövreras med fjärrkontroll. Under pågående borrhning är det lämpligt att förankra aggregatet med dess haspel och lina i bergdubb eller någon annan fast förankringspunkt. Haspelns funktion och linans kondition bör kontrolleras regelbundet".

3. Sprängämnen

3.1. Sprängämnes historia

I början av 1600-talet introducerades svartkrut i Europas gruvor och började då ersätta tillmakning som bergbrytningsmetod. Initieringen av krutet var vanskelig och det var ett stort genombrott när William Bickford 1831 introducerade krutstubinen. Marknaden efterfrågade ett starkare sprängämne än krut och 1846 upptäckte Ascanio Sobrero nitroglycerinet. Nitroglycerin var emellertid både farligt att tillverka och att använda och det saknades något som säkert kunde initiera nitroglycerinet.

Alfred Nobel uppfann då en sprängkapsel som tillsammans med krutstubin blev ett bra tändsystem. Nitroglycerin var mycket stötkänsligt och orsakade många olyckor. Alfred Nobel upptäckte 1866 hur nitroglycerin kunde "tämjas" genom uppblandning med kiselgur och i och med detta var Dynamit uppfunnet. Senare började man blanda in nitroglykol och andra ämnen i dynamiten för att få den säkrare.

I början av 1950-talet dominerade patronerade nitroglycerinsprängämnen. För effektiv laddning användes en pneumatisk laddutrustning, se Figur 8.



Figur 8. Laddning med pneumatisk laddapparat (Olofsson)

I mitten på 1950-talet utvecklades en rörladdning med liten diameter för att användas som kontursprängämne. Detta sprängämne var Gurit (kallas numera Dynotex) och detta kom att bli ett av de mest använda sprängämnet för kontursprängning.

På 1960-talet introducerades ANFO och vattengelsprängämnen. ANFO blev snabbt ett mycket användbart sprängämne då det var lätt att tillverka och dessutom billigt. ANFO är en blandning av konstgödsel (ammoniumnitrat) och dieselolja. För att underlätta laddningen utvecklades pneumatiska laddapparater som innebar att ANFO blåstes in i borrhålen.

I mitten av 1970 introducerades ett nytt sprängämne i USA, emulsionssprängämnet. Detta sprängämne var en blandning av ammoniumnitratlösning, mineralolja och vax, se vidare Kapitel Sprängämne och egenskaper. Emulsionssprängämnen dominerar nu marknaden.

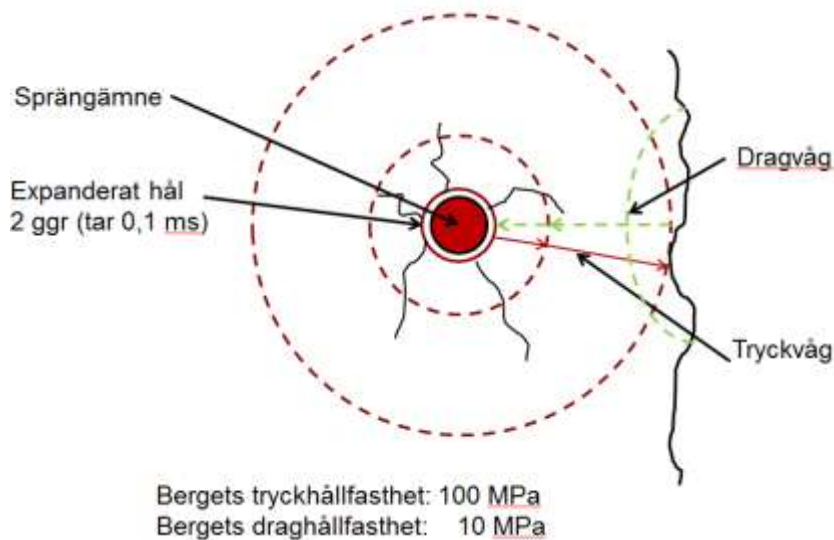
3.2. Svenska pionjärer inom sprängning

Förutom Alfred Nobel så har det i Sverige funnits ytterligare några betydelsefulla innovatörer på sprängämnesfronten. Ulf Langefors utvecklade tillsammans med Björn Kihlström den moderna sprängtekniken under 1950-talet, och deras bok Rock Blasting blev känd världen som bergsprängarnas bibel. En annan pionjär var Per Anders Persson som utvecklade NONEL-systemet.

3.3. Bergsprängningsteori

Då ett sprängämne detonerar påverkas berget i tre steg, se Figur 9.

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 in i sprickor. Sprickorna utvidgas och berget bryts loss. Gasen kastar berget framåt, se Figur 9.



Figur 9. Detonationsteori



Figur 10. Pallsprängning (Olofsson)

I Tabell 1 visas några typiska data från detonation av ett sprängämne. Den producerade gasmängden är 150-1100 l/kg och trycket i borrhålet 6-20 GPa som vida överskrider bergets hållfasthet.

Tabell 1. Sprängämnesdata

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

3.4. Sprängämnena och egenskaper

Några av de viktigaste egenskaperna hos ett sprängämne är:

- Detonationshastigheten
- Styrkan
- Densiteten
- Gasvolymen
- Detonationsstabiliteten
- Överslagsförmågan
- Initieringskänsligheten
- Vattenbeständighet
- Hanteringssäkerheten
- Miljöpåverkan
- Lagringsbeständigheten
- Klassificering

Detonationshastigheten

Detonationshastigheten är hastigheten då sprängämnet omvandlas från fast produkt till gas. Detonationshastigheten anges i m/s och varierar från 1300 m/s upp till över 7000 m/s. Ett sprängämne med hög detonationshastighet är lämpligt för hårda bergarter samt vid botten av ett hål där inspänningen är störst.

Då ett sprängämne förbränns med en lägre hastighet än ljudhastigheten kallas det deflagration. Ett exempel på ett sådant sprängämne är krut. Detonationshastigheten hos ett sprängämne varierar beroende på om det detonerar fritt eller i ett borrhål.

Sprängämneshandlarna anger ibland endast detonationshastigheten för en friliggande produkt.

Styrkan

Sprängämneshastigheten anges vanligen som energiinnehåll i MJ/kg eller som viktstyrka och volymstyrka. Normalt energivärde för ett dynamitsprängämne är ca 4,5 MJ/kg. Viktstyrkan uttrycker 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 sprängämnena då den tar hänsyn till sprängämnets densitet och anger styrkan per borrhålsvolym.

Densiteten

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

Gasvolymen

Eftersom gasen tränger in i sprickor är gasvolymen 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.

Detonationsstabiliteten

Med detta menas att detonationen går genom hela sprängämnesladdningen. Detonationsstabiliteten 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.

Överslagsförmågan

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

Initieringskänslighet

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 kapseln. Bulkemulsioner och ANFO behöver en speciell startladdning, en s.k. primer, för att få en säker upptändning.

Vattenbeständighet

Sprängämnen som är gelatinartade ex. dynamit och emulsioner har bättre beständighet 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.

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.

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 nitroäsa gaser. Koloxidgaserna är lömska då de är luktfria. En bra sprängd

salva ger ofta lägre halter av giftiga gaser. Den omgivande miljön påverkas främst av kväveläckage från sprängämnet och då framförallt från spill vid laddning.

Lagringsbeständighet

Detta är också viktigt då sprängämnen ofta lagras under en längre tid. Lagringsutrymmet bör vara torrt och svalt.

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.

3.5. Sprängämnestyper

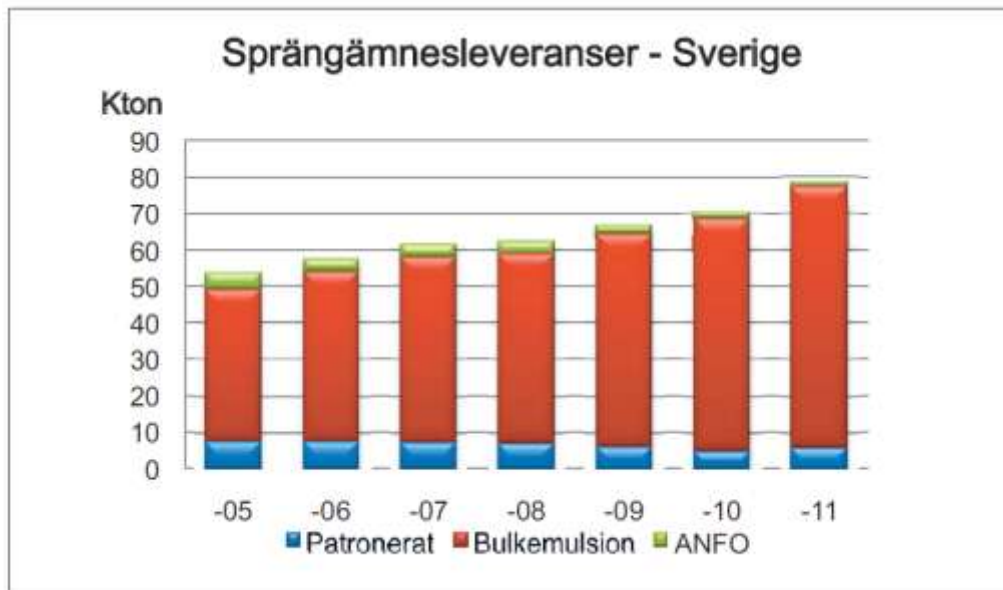
Det finns olika sätt att dela in civila sprängämnen. Man kan dela in dem i sprängkapselkänsliga resp. sprängkapselokänsliga alltså enligt deras känslighet. Ett annat sätt, som denna handbok tillämpar, är att dela in dem i patronerade sprängämnen, bulksprängämnen och specialsprängämnen. Detta kan vara en mer användbar indelning men då kan samma sprängämne finnas dels som patronerat men även som bulk. Ett exempel på detta är emulsioner. Med specialsprängämnen menas tex. detonerande stubiner samt primers. Tabell 2 visar exempel på några viktiga data för de olika sprängämnestyperna (andra dimensioner kan förekomma).

Bulksprängämnen är idag helt dominerande på marknaden och stod 2011 för drygt 90 % av den totala sprängämnesmängden, se Figur 11. Förbrukningen av ANFO sprängämnen minskar medan volymen av de patronerade sprängämnen har varit ganska konstant under de senaste åren. I Sverige fanns (2012) 5-10 olika leverantörer av sprängämnen varav Forcit, Orica, och Kimit var de största.

Tabell 2 Sprängämnestyper och egenskaper

Sprängämne	Kemi	Dimension (mm)	Densitet (kg/dm ³)	VOD ¹⁾ (m/s)	Vattenbeständighet	Användning
Dynamiter	Nitroglykol, AN ²⁾	22-120	1,4–1,5	2500-6500	God	Botten- och pipladdning
Kontur-sprängämnen	Nitroglykol, AN ²⁾	17-32	1,0–1,2	1300-2400	Inte bra	Kontur
	Metylaminnitrat	17-45	Ca 1,2	7000/2800 ⁵⁾	Mycket bra	
Vattengeler	Metylaminnitrat	26-90	1,25	5000	Mycket bra	Bottenladdning
Emulsioner	AN, olja, vax, gasningsmedel mikrobällonger	17-90, Bulk	1,1–1,4	3000-6000	Mycket bra	Botten- och pipladdning
ANFO	AN	Bulk	0,85	>2400	Inte bra	Pipladdning
Detonerande stubin	PETN ³⁾	4-15	Ca 1	>6000	God ⁶⁾	Pipladdning
Primers	Mixturer ⁴⁾	15-65	>1,5	>6000	Mycket god	Bottenladdning

- 1) VOD = detonationshastighet
- 2) Ammoniumnitrat
- 3) Pentaerytritoltetranitrat
- 4) Olika blandningar men med hög VOD
- 5) Patronerat sprängämne ”korvar” på en genomgående pentylstubin, därför skillnad i VOD
- 6) Om isolerad i ändarna



Figur 11. Sprängämnesleveranser i Sverige (BK-2012)

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. De släpps ner i borrhålen och packas av sin egen tyngd eller pressas samman 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 är ofta dyrare
- Laddningsarbetet tar ofta längre tid
- Laddningsarbetet medför tunga lyft av kartonger
- En del av sprängämnena är känsliga för vatten
- Nitroglycerin och nitroglykol kan orsaka huvudvärk

Nitroglycerin/nitroglykol-baserade

Det mest kända och använda sprängämnet torde vara dynamit. Dynamitsprängämnen tillverkas inte längre i Sverige utan alla importeras under olika namn. Deras tekniska prestanda är tämligen likartade så det är andra faktorer som är avgörande för valet som t.ex. lukt, konsistens och förpackningarnas kvalitet. Det finns även specialsprängämnen inom denna grupp och exempel på detta är några kontursprängämnen av vilka Dynotex (tidigare namn Gurit) är en av de mest kända. Figur 12 visar några typer på sprängämnen från denna grupp. Sprängämnena i denna grupp har transportklass 1.1. D med UN-nummer 0081.



Figur 12. Exempel på Nitroglycerin/nitroglykolbaserade sprängämnen (Foto Forcit, Orica)

Vattengelbaserade

Vattengelsprängämnen har en geléartad konsistens. De är baserade på ammoniumnitrat samt metylaminnitrat och förekommer med och utan aluminiumtillsats. Aluminium ökar styrkan hos sprängämnet.

Sprängämnena i denna grupp har transportklass 1.1. D med UN-nummer 0241.

Emulsioner

Emulsionssprängämnen består av små droppar av ammoniumnitratlösning som är omgivna av en blandning av olja och vax. För att göra sprängämnet initierbart så tillsätts luft i form av små kulor av plast eller glas. Sprängkapseln slår vid initiering sönder dessa luftkulor och man får en massa heta punkter där temperaturen är så hög att detonationen startar och underhålls. Emulsionssprängämnen har en handkrämsliknande konsistens vilket betyder att de har mycket goda packningsegenskaper. Emulsioner är vidare mycket säkra sprängämnen och vattenresistenta.

Sprängämnena i denna grupp har transportklass 1.1. D med UN-nummer 0241.

Bulksprängämnen

Dessa sprängämnen kännetecknas av att de levereras i säckar eller kommer med tankbil och hälls eller pumpas ner i borrhålen. Det förekommer vanligtvis i två huvudtyper, ANFO och emulsioner.

Fördelar:

- Rationell och effektiv laddning
- Inget sprängämne förrän i hålet
- Laddningen går att automatisera
- Emulsioner är vattenresistenta
- Emulsionen tränger ut vattnet i hålet
- Densitet och laddningsvikter går att variera

Nackdelar:

- Fodrar speciell laddutrustning
- ANFO är inte vattenresistent
- Emulsionspill kan ligga mycket länge innan det blir förstört
- Sämre kontroll av laddningsmängder än för patronerad laddning

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 primer. Densiteten är låg varför ANFO framförallt används i pipladdningen. ANFO är emellertid känsligt för vatten och ska därför endast användas i torra håll.

Sprängämnena i denna grupp har transportklass 1.1D med UN-nummer 0082.

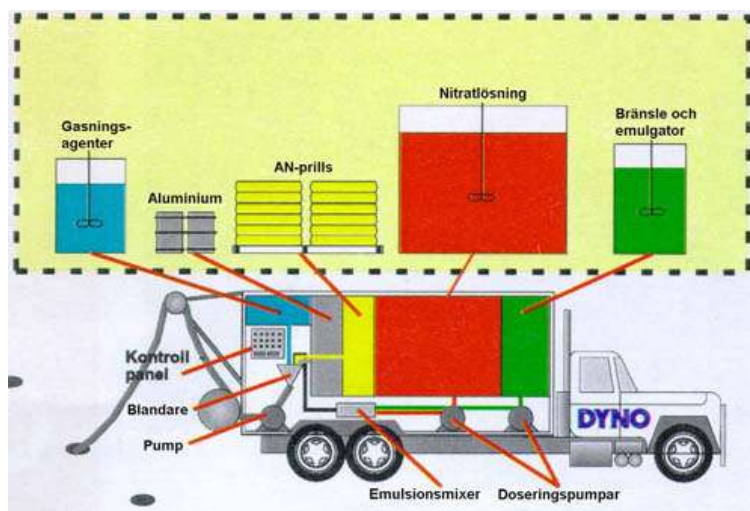
Pumpemulsioner

Pumpemulsion är det idag vanligaste sprängämnet på marknaden. Dagbrott (gruvor och mineralindustrin) och stenbrott använder nästan uteslutande bara pumpemulsion. Laddningsarbetet går mycket snabbt och är effektivt. En stor fördel är också att emulsionen inte blir ett sprängämne förrän vid laddning vilket underlättar transporterna.

Systemet är uppbyggt kring en station för råvaror och halvfabrikat som inte är explosiva. Huvuddelen av råvarorna upplöses i vatten till en nitratsaltlösning som hålls varm. Råvarorna och halvfabrikaten, emulsionsmatrisen, fylls i tankar på en lastbil för transport till arbetsplatsen. Matrisen känsliggörs till sprängämne med kemisk gasning vid själva laddningen. Figur 13 visar principen för själva laddningen.

Ofta tillsätts också ANFO vid laddningen för att öka styrkan på sprängämnet. Emulsionsmatrisen har innan laddning transportklass 5.1 med beteckning UN-S 3375.

Det finns även pumpbar emulsion som levereras färdigblandad med tillsats av olika mängder av ANFO-prills. Detta sprängämne klassas då som UN-0241.



Figur 13. Principbild för laddning med pumpemulsion (Olofsson)

Specialsprängämnen

Detonerande stubin

Detonerande stubin eller pentylstubin är en stubin byggd på en kärna av PETN och omsluten av flera lager bomullstråd som sedan isolerats med t.ex. plast. Den finns i många olika laddningsvikter från 3,2 g/m upp till 150 g/m, se Figur 14.



Figur 14. Detonerande stubin

Sprängämnet har mycket hög detonationshastighet, ca 7000 m/s, och används ofta som tändmedel för flera laddningar i en salva eller ensamt vid kontursprängning som t.ex. vid förspräckning eller blockstenssprängning. Detonerande stubin är enkelt att hantera men risk finns för att odetonerad stubin kan detonera om den utsätts för hårda stötar (grävare, kross). Detonerande stubin bör inte användas friliggande inom tätbebyggt område då den kan ge upphov till luftstöt våg. Detonerande stubin får inte ha större laddningsvikt än 20 g/m för ort- eller tunnelsprängningar.

Sprängämnena i denna grupp har transportklass 1.1D med UN-nummer 0065.

Primers/booster

Detta är samlingsnamnet på specialprodukter som kan behövas för att starta detonationen i huvudsprängämnet. Sprängämnet är mycket sprängkapselkänsligt och har ofta en hög detonationshastighet och ger då en kraftig stöt våg. Stöt vågen i primern utnyttjas för att initiera huvudsprängämnet. Sprängämnet är ofta av militär typ och kan då innehålla högexplosiv Pentyl, TNT eller någon annan mixtur.

Sprängämnena i denna grupp har transportklass 1.1D med UN-nummer 0042.

3.6. Trafikverkets bestämmelser

Samtliga tändmedel och sprängämnen måste vara godkända av Trafikverket och därmed finnas med på Trafikverkets kemikalielista.

3.7. Laddutrustning

Patronerade sprängämnen

För patronerade sprängämnen används ingen speciell laddutrustning utan man släpper bara ner laddningarna i hålen. Vid laddning med patronerade sprängämnen räknar man antalet laddningar och får då enkelt kontroll på laddningsmängden.

Bulksprängämnen

För bulksprängämnen ANFO och emulsioner finns det ett antal olika laddutrustningar på marknaden.

ANFO

ANFO levereras normalt i säckar. Sprängämnet kan därefter hällas ner i hålen eller så används pneumatisk tryckkärlsladdning, se Figur 15. Denna apparat som består av ett tryckkärl och en laddslang transporterar sprängämnet via laddslangen fram till borrhålet. Laddapparaten skall vara jordad och laddslangen skall vara speciellt utformad för att undvika risken för statisk elektricitet.



Figur 15. Exempel på laddutrustning för ANFO och säckar med ANFO.

Pumpemulsion

Sprängämnesleverantören kör ut pumpbar emulsion från fabrik till arbetsplatsen. Fordonen är utrustade med speciella tankar för de olika komponenterna i emulsionen, se Figur 16. På fordonen finns förutom tankar även styrutrustning för laddning, pumpar, ventiler, kraftpaket, slangdragare och laddslang. En laddare för ner laddslangen i hålet och begär sedan via radioförbindelse att operatören på laddbilen ska starta pumpningen (innan laddning har hålet försetts med primer och tändare). Laddaren avslutar sedan pumpningen då rätt avladdning uppnåtts. Vid laddningen tillförs ett gasningsmedel som innebär att emulsionen börjar jäsa i borrhålet. Laddpelaren stiger och laddningshöjden kontrolleras därför senare. Mängden sprängämne i hålen avläses av operatören på laddbilen. Vid laddning kontrolleras även sprängämnets densitet och temperatur.

Vid pumpemulsionsladdning blir laddningskoncentrationen i stort sett lika längs hela hålet om inte speciella åtgärder vidtas. Vid laddning med patronerade sprängämnen är laddningskoncentrationen normalt lägre längs pipan än i botten av hålet.



Figur 16. Laddbil i en bergtäkt (Foto Mats Olsson och Forcit)

4. Tändmedel

4.1. Tändmedlens historia

Långt in på 1950-talet var krutstubin fortfarande ett av de mest använda tändmedlen inom gruv- och anläggningsindustrin men den förlorade raskt mark till mer sofistikerade upptändningssystem. Idag är försäljningen av krutstubin i Sverige mycket begränsad.

De första elektriska sprängkapslarna kom till Sverige efter andra världskriget som en utveckling från militären. De elektriska sprängkapslarna var emellertid känsliga för oavsiktlig initiering och därför utvecklades den s.k. VA-kapseln, och speciella tändapparater. I början av 70-talet introducerades Nonel på marknaden. Det är ett stötvågssystem där de elektriska ledarna ersatts av en plastslang belagd på insidan med ett tunt lager reaktivt material som med hög hastighet överför stötvågen.

Själva sprängkapseln, har i princip sett ut som Alfred Nobels originalupppfinning från 1864. En sprängkapsel innehåller ett primärsprängämne och ett sekundärsprängämne. Sekundärsprängämnet är ett slagttåligt ”högrisant” sprängämne enbart ämnat att initiera sprängämnet i borrhålet. Det kan inte initieras av lågan från en krutstubin, stötvågen från en stötvågsslang eller gnistorna från tändpärlan i en elektrisk sprängkapsel. För detta behövs ett primärsprängämne, vanligtvis blyazid, som är känsligt för hetta men som också har nackdelen att vara känsligt för friktion och slag.

Under 1992 introducerades NPED-sprängkapseln, (Non Primary Explosives Detonator) den första primärsprängämnesfria sprängkapseln för civilt bruk.

Den senaste utvecklingen på tändarsidan är den elektroniska sprängkapseln där den pyrotekniska fördröjningssatsen ersatts av en ”elektronisk klocka”.

4.2. Allmänt

Tändmedel kan indelas i tre huvudgrupper, elektriska, icke elektriska (krutstubin, pentylstubin, stötvågssprängkapslar), samt elektroniska. Gemensamt för alla grupperna är att de består av en ledare samt en sprängkapsel. Ledarna förbinder på olika sätt sprängkapseln med en avfyrningsapparat och ledaren kan bestå av krut/pentylstubin, stötvågsslang eller en elektrisk ledning.

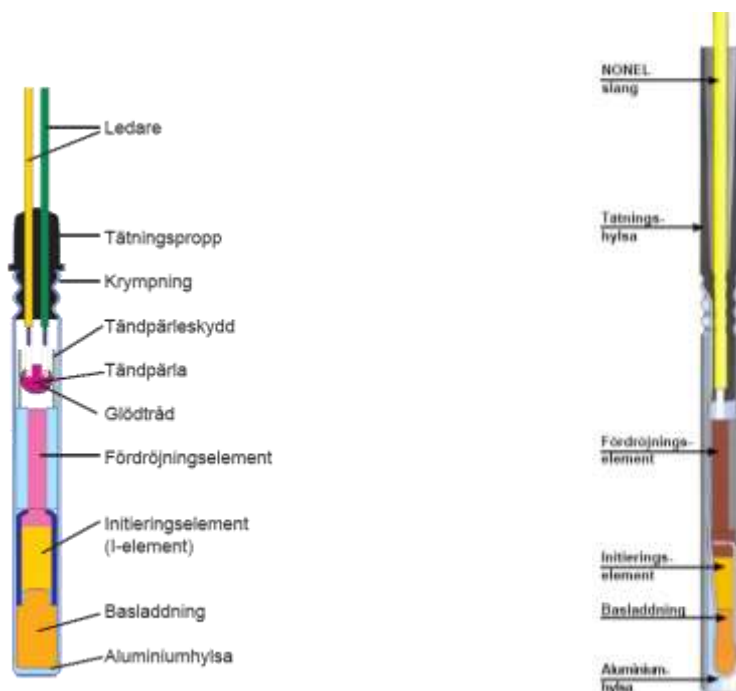
Sprängkapseln består av aluminiumhylsa som är helt tillsluten i ena änden. Beroende på typen av kapsel och ledare (krut, el, stötvåg) är kapseln konstruerad lite olika.

Gemensamt är att den består av olika typer av mycket små laddningar ($< 1\text{g}$) samt oftast dessutom av en enhet som bestämmer fördröjningstiden. I Figur 17 visas två typer av sprängkapslar, den elektriska samt en Nonelkapsel. Dessa NPED-kapslar (Non Primary Explosives Detonator) saknar primärsprängämne och är därför mindre känslig för stötar än sprängkapslar med primärsprängämne.

Krutstubinkapseln, se Figur 18, saknar fördröjningsselement och här regleras fördröjningstiden av längden på krutstubinen. Brinntiden för krutstubin är ca 2 min/m .

Pentylstubin kan också användas för upptändning och i hopkoppling av sprängsalvor. Även här finns fördröjningsenheter som kan kopplas in på olika ställen. Pentylstubin kan vara ett alternativ om t.ex. elektrisk tändning inte får användas. Nackdelen är att pentylstubin ger en kraftig luftsmäll och därför olämplig i tätbebyggt område.

Hos sprängkapslar med fördröjningsenhet (elektriska, stötvåg) regleras fördröjningstiden av en pyroteknisk sats där sammansättningen och längden bestämmer fördröjningstiden. I den elektroniska sprängkapseln är denna pyrotekniska sats ersatt med en "elektronisk klocka".



Figur 17. NPED sprängkapslar (Olofsson, Dyno Nobel)

Det är mycket viktigt att kunna fördela initieringstiderna mellan olika hål. På detta sätt kan man bygga upp stora salvor och se till att varje hål hela tiden detonerar mot en "fri" yta. Med hjälp av intervalltiden kan man styra kast, styckefall och markvibrationer. Tider från 0 ms upp till flera sekunder är vanliga men med ökade tider så minskar exaktheten för sprängkapslarna som har pyroteknisk fördröjning. Spridningen i intervalltider kan man emellertid utnyttja för att reducera den maximalt sammanlagda laddningsvikten per intervall, mer om detta i Kapitel Försiktig sprängning.



Figur 18. Krutstubin med sprängkapslar (Orica)

4.3. Elektriska sprängkapslar

Principen för en elektrisk sprängkapsel är att när en tillräckligt stark ström når kapseln så initieras tändpärlan, se Figur 17, som i sin tur initierar fördröjningselementet varefter sprängämnet i botten av kapseln detonerar. Elektriska sprängkapslar finns med olika typer av fördröjning, millisekund-fördröjning (MS) samt halvsekundfördröjning (HS). I MS-sprängkapslarna ökar fördröjningstiden med intervall på 25 ms medan intervallen är 500 ms för HS-kapslarna. HS-sprängkapslar är förbjudna ovan jord då långa fördröjningstider ökar kastrisken. MS-sprängkapslar används ovan jord vid mindre sprängarbeten och vid låga pallhöjder.

Sprängkapslarna kopplas ihop i en eller flera serier och ansluts till en tändarledning. Utseendet på tändplanen i sprängsalvan bestämmer vilken tändapparat som skall användas. Om salvan omfattar många sprängkapslar kan det bli aktuellt att parallellkoppla serierna för att varje kapsel skall få tillräckligt med tändström. Hur detta skall göras framgår av specifikationerna på tändapparaten. Då en salva är färdigladdad skall den provas. Detta måste göras med en speciell godkänd resistansmätare. Först mäts motståndet i varje serie och därefter motståndet i samtliga parallellkopplade serier inklusive tändtrådens motstånd. Om allt är Ok ansluts tändtråden till tändapparaten. Tändapparaterna är olika utformade beroende på hur många sprängkapslar de klarar av.

Figur 19 visar ett exempel på elektriska tändare samt en tändapparat som klarar av många tändare.



Figur 19. Elektrisk sprängkapsel och tändapparat (Orica)

Det finns många olika slags elektriska tändare på marknaden. De är indelade i olika grupper eller klasser, se Tabell 3. Kapslarna kräver olika minsta tändström för initiering. Kapslarnas ledare är färgkodade och bör följa internationell praxis. Tyvärr är detta inte alltid fallet.

Observera: Olika typer av sprängkapslar får inte användas i samma salva inte heller får man blanda olika tillverkares kapslar.

Tabell 3 Olika benämningar av elektriska sprängkapslar

Nordisk benämning	Äldre benämning	Europeisk benämning
Grupp 1	(Typ A/S/NT)	Klass 1
Grupp 1A	(Typ U)	Klass 2
Grupp 2	(Typ VA)	Klass 3
Grupp 3	(Typ HU/XS)	Klass 4

Vid användning av elektriska tändare finns alltid en risk för oavsiktlig tändning. Orsaker till oavsiktlig tändning kan vara åska, elsvetsning, kraftledningar, radiosändare m.m. Säkerhetsavstånden finns angivna i Arbetsmiljöverkets föreskrifter AFS, t.ex. AFS 2007:01 Sprängarbete.

Elektriska sprängkapslar har, pga. risken för oavsiktlig tändning, nästan helt ersatts av icke elektriska sprängkapslar vid större salvor. Det är emellertid vanligt att använda elektriska sprängkapslar för att tända upp icke elektriska salvor.

4.4. Icke elektriska sprängkapslar

Bland de icke elektriska sprängkapslarna finns krutstubinkapseln, pentylstubinen samt stötvågssprängkapseln. Krut-och pentylstubinen är tidigare redan beskrivna.

Stötvågssprängkapseln

Stötvågssprängkapslarna består av en plastslang där insidan är belagd med ett tunt reaktivt material som transporterar en stötvåg genom slangen med en hastighet på ca 2100 m/s. Stötvågen i slangen slår därefter igång sprängkapseln. Stötvågssprängkapslar finns för många användningsområden som t.ex. pall/rörgravssprängning, tunnelsprängning och undervattenssprängning

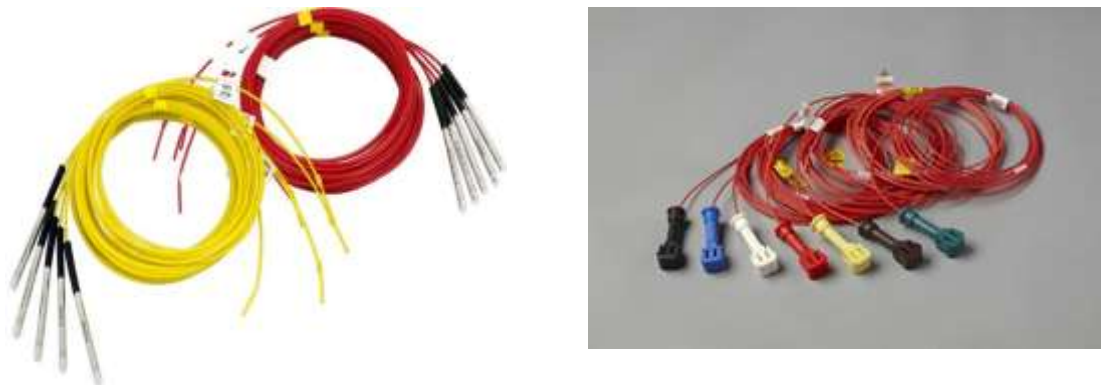
Stötvågssystemen är okänsliga för elektrisk påverkan och är därför det vanligaste sprängkapselsystemet. Figur 20 visar en genomskärning av plastslangen samt några olika produkter.



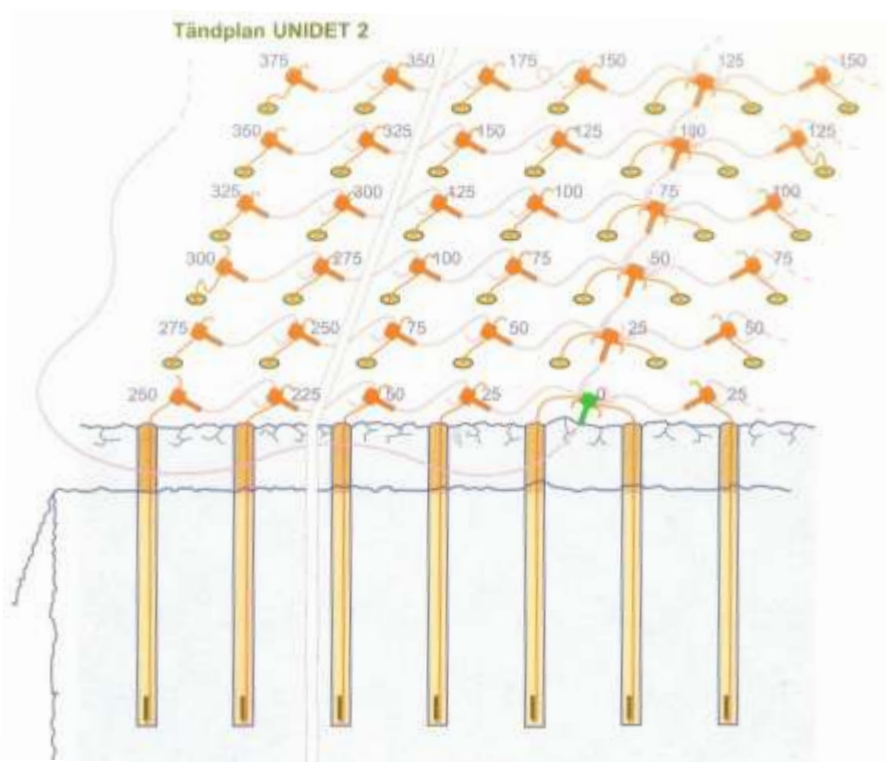
Figur 20. Stötvågssprängkapslar (Orica, EPC)

På marknaden finns olika typer och tillverkare av detta system. De vanligaste tändsystemen består av borrhålssprängkapslar, kopplingsenheter, startslangar och tändapparat. Dessutom finns ytkopplingsenheter (kopplingsblock och ytfördröjare) samt speciella kapslar med långa fördröjningstider avsett för tunnelsprängning.

Borrhålssprängkapseln funktion är att tända upp sprängämnen i borrhålet. Kopplingsenheten överför upptändningssignalen till borrhålssprängkapseln. Kopplingsenheten består av ett kopplingsblock som i sin tur innehåller en minisprängkapsel med eller utan fördröjning. Denna ytfördröjare finns vanligen med fördröjningstider 0, 17, 25, 42, 67, 109 och 176 ms. Ytfördröjarna har olika färger beroende på fördröjningstiden och tillverkare. I borrhålen finns en sprängkapsel med ett antal fasta fördröjningstider, t.ex. 400, 425, 450, 475, 500, 100 ms. Figur 21 visar några exempel på stötvågssprängkapslar. Genom olika hopkopplingar av dessa ytfördröjare och bottenkapslar kan man bygga upp mycket stora salvor med olika fördröjning mellan hål i samma rad och mellan raderna, se Figur 22.



Figur 21. Stötvågssprängkapslar (Orica, Norab)



Figur 22. Pallsprängning med stötvågssprängkapslar (Bergutbildarna, 2011)

Då salvan är hopkopplad genom kopplingsblocken kopplar man in en skarvslang från något lämpligt kopplingsblock på sprängplatsen. Skarvslangen dras sedan till avfyrningsplatsen där den kopplas till en startapparat, se Figur 23. Salvan initieras med en högintensiv gnista som sänds in i slagen och aktiverar denna. Det finns även möjlighet att fjärrutlösa salvan med en speciell tändapparat.



Figur 23. Startapparat för stötvågssprängkapsel (Orica)

En nackdel med stötvågssprängkapslarna är att det inte går att kontrollera om samtliga kapslar i salvan är hopkopplade. En annan nackdel med dessa kapslar är risken för avbrott vid framförallt tung täckning.

4.5. Elektroniska sprängkapslar

I denna sprängkapsel har det pyrotekniska fördröjningselementet ersatts med en elektronisk tidsstyrning och därmed möjligheter för verklig precision inom sprängning. Det finns många olika tillverkare av dessa sprängkapslar och de kan finnas dels med förprogrammerade fördröjningstider men också med olika typer av kapslar som användaren själv kan programmera. Med hjälp av en handdator kan man då programmera vid vilken tidpunkt sprängkapseln ska detonera. Fördröjningstider finns från 0 ms upp till 15 sek och med flera olika tidssteg. Tidsstegen kan t.ex. vara 1 ms och precisionen varierar beroende på typ av kapsel och tillverkare. Noggrannheten anges ofta som procent av nominell fördröjningstid och kan vara så god som 0,01 %.

Noggrannheten kan användas till att reducera vibrationer, styra styckefallet, reducera antalet dolor och kvarvarande sprängämne samt att få en mycket fin slutkontur då man nu kan utnyttja en absolut samtidig detonation mellan ett antal håll.

Systemen består av sprängkapseln, ledare och hopkopplingsenheter samt en test- och programmeringsenhet och tändapparat (var för sig eller integrerade), se Figur 24.

Tändapparaten förser sprängkapseln med energi och kan bestämma vilken fördröjningstid varje intervall skall ha. Signalen till sprängkapslarna sker med en unik kod som innebär att risken för oavsiktlig initiering är mindre än för konventionella el-sprängkapslar. Från tändapparaten kontrolleras också salvan och klarsignal ges för avfyrning om systemets ingående data är rätt. Tändtråden är speciell och unik för varje tillverkare. Det går inte att blanda olika tillverkares elektroniska sprängkapslar i samma salva.

Det elektroniska sprängkapselsystemet är för närvarande betydligt dyrare än konventionella sprängkapslar men fördelarna, som t.ex. reduktion av vibrationer och minskad skadezon, medför ofta att totalkostnaderna i ett berggutttag kan reduceras.



Figur 24. Några olika typer av elektroniska sprängkapslar

5. Pallsprängning

5.1. Allmänt

Sprängning är den överlägset mest kostnadseffektiva metoden att bryta hårt berg. Vid bergsprängning är det många faktorer som inverkar bl.a. geologin, bergbörningen (dimensioner, längder, hålavstånd, försättning, precisionen), sprängämnestyper, tändarter och intervalltider, förväntat styckefall, kast, vibrationer, luftstöt våg, miljö m.m., m.m. Alla dessa faktorer påverkar varandra och slutresultatet. Då många av dessa ingående parametrar är svåra att definiera och kvantifiera innebär detta att bergsprängning är en svår konst och att det fordras lång erfarenhet och kunskap för att behärska tekniken.

Kvaliteten på de ingående utrustningsdetaljerna förbättras kontinuerligt vilket leder till ökad precision i bergsprängningen. Det är mycket viktigt att all personal också är utbildade och har rätt kompetens för sina uppgifter. En kunnig och kompetent beställare får alltid en bättre slutprodukt.

Pallsprängning är den vanligaste formen av bergsprängning och definieras som sprängning av lodräta eller nästan lodräta hål mot en fri yta. Berguttaget kan bestå av sprängning av en eller flera rader. Pallsprängning kan även utföras med horisontella hål, s.k. liggarpall. Beroende på hur sprängningen utförs och vilka krav som ställs så förekommer det flera typer av pallsprängning bl.a. rörgravssprängning, plansprängning, kontursprängning och försiktig sprängning.

De geologiska förutsättningarna är mycket viktiga för slutprodukten vid allt berguttag. Berget i en salva kan bestå av ett flertal bergarter med olika sammansättningar och hårdheter, och berget kan genomtväras av sprickor, helt öppna eller med olika slags sprickfyllnad. Koncentrationen och riktningen på dessa sprickor är av mycket stor betydelse för sprängresultatet. Sprickigt berg kan vara mer svårspängt än ett homogent berg då spränggaserna tvingas ut i befintliga sprickor istället för att sönderdela berget.

Den specifika laddningen, dvs. mängd sprängämne (kg) per utsprängd volym (m^3), är ett bra mått på bergets sprängbarhet. Hur sprängämnet är fördelat i berget är mycket viktigt för sprängresultatet och vid samma specifika laddning ger en tätborrad salva med klara borrhål ett bättre styckefall än en salva borrad med grövre hål.

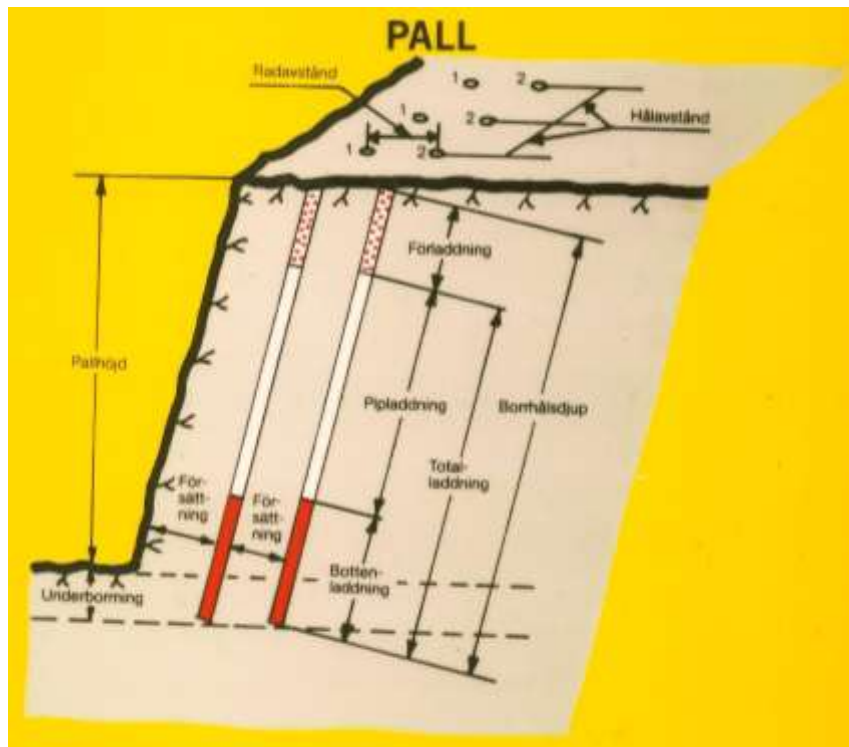
Ett borrhål behöver en högre koncentration av sprängämne i botten än i resterande del av hålet. Detta beror på att det går åt mer kraft för att bryta loss berget i botten av hålet där hålet är mer ”inspant”. Beräkningar av hur en salva skall sprängas utgår därför alltid från koncentrationen av sprängämnet i botten. Langefors och Kihlström (Langefors & Kihlström, 1972) tog fram en formel för laddningsberäkningar. Formeln, som grundade sig på många praktiska försök, innehåller borrhålsdiametern (d), sprängämnets egenskaper (p och s), bergets egenskaper (c), inspänningsgraden f (hur hårt hålet sitter fast) samt förhållandet mellan hålavstånd (E) och avståndet till den fria ytan, försättningen (V).

$$V_{\max} = \frac{d}{33} \times \sqrt{\frac{pxs}{cxfxE/V}} \quad (\text{Langefors \& Kihlström})$$

Med hjälp av denna formel kan det maximala avståndet (maximal försättning) från borrhålet till den fria ytan beräknas. Detta värde utnyttjas därefter för vidare pallsprängningsberäkningar.

5.2. Nomenklatur och definitioner

De ingående parametrarna i en pallsprängning definieras enligt Figur 25 och Tabell 4.



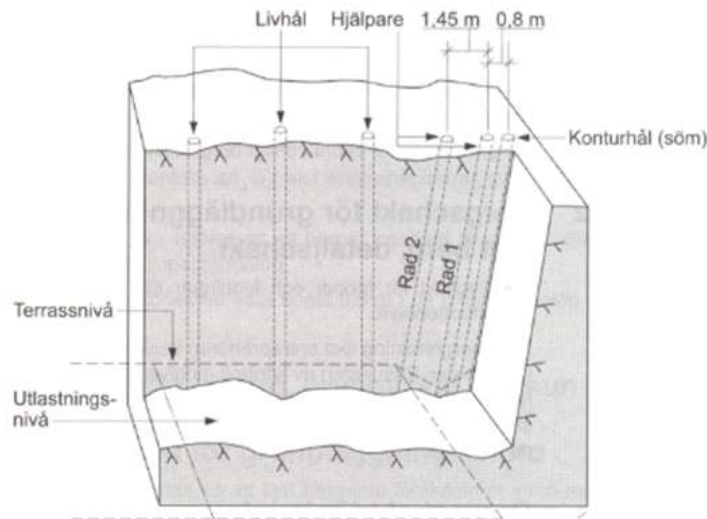
Figur 25. Några viktiga begrepp inom sprängning (Olofsson & Bergutbildarna)

Tabell 4. Definitioner av sprängtekniska parametrar

Parametrar	Definition/förklaring	Enhet
Försättning/Rad-avstånd	Avståndet mellan borrhål och fri yta eller radavståndet	m
Hålavstånd	Avståndet mellan hålen i en rad	m
Pall	Horisontell bergyta från vilken borrhållning och sprängning utförs	
Pallhöjd	Det vertikala avståndet mellan pallens nedre och övre yta	m
Pallbredd	Avståndet mellan de yttre hålen i en rad	m
Underborrning	Borrhållning under pallens nedre yta	m
Håldiameter	Borrhålets diameter	mm
Felborrning	Påhuggsfelet + avvikelsefelet (3 % av håldjupet)	m
Håldjup	Hålets totala längd. Detta beror också på hållutningen	m
Hållutning	Hålets lutning mot vertikalplanet i skjutriktningen, ex 3:1	m/m
Inspänning	Borrhål med oönskad stor försättning, vinkel eller geometri	
Avladdning	Oladdad del av ett borrhål	m
Förladdning	Oladdad del av ett borrhål som fylls av ett annat material	m
Bottenladdning	a. Laddningslängd i botten av borrhålet b. Laddningsmängd i botten av borrhålet c. Bottenladdningens koncentration	m kg kg/m
Pipladdning	a. Laddningslängd i hålet ovan bottenladdningen b. Laddningsmängd i hålet ovan bottenladdningen c. Pipladdningens koncentration	m kg kg/m
Total laddning	Bottenladdning + pippladdning	kg
Salvvolym	Pallhöjd x pallbredd x palldjup	m ³
Specifik borrhållning	Totalt antal borrhållade meter i salvan/Salvvolym	m/m ³
Specifik laddning	Total laddningsmängd i salvan/Salvvolym	kg/m ³
Frikoppling	Laddningsdiametern < borrhålsdiametern	
Packningsgrad	Kvoten mellan mängd sprängämne och hålvolum	kg/l
Svällning	Bergvolymen ökar hos det lossprängda berget	
Bergkonstant	En slags hållfasthetsegenskap hos berget	kg/m ³
Problem		
Bakåtbrytning	Berget bryts sönder bakom sista sprängda raden i salvan	
Skut	Oönskat stora stenblock som kräver särskild åtgärd	
Kast	Berg som kastas ut från sprängningen	
Dola	Laddning eller del av laddning som ej detonerat	
Luftstöt våg	Luftburen stöt våg orsakad av sprängningen	
Markvibration	Vibration som utgår från sprängplatsen och överförs i marken/berggrunden	
Spränggaser	Skadliga gaser från en sprängsalva	
Markföroreningar	Läckage av skadliga ämnen till marken	
Överberg	Berg bakom teoretisk kontur	
Underberg	Berg framför teoretisk kontur	
Skadezon	Skador i berget bakom slutlig kontur	

Bergkonstanten infördes av Langefors & Kihlström och är ett slags hållfasthetsegenskap hos berget och definieras som den minsta sprängämnemängd som åtgår för att bryta loss 1 m³ homogent berg. Bergkonstanten varierar beroende på berget mellan 0,3-0,5 kg/m³. I Tabellen finns också några problem listade som kan uppstå vid sprängningen.

Olika håltyper förekommer i bergskärningar, se AMA-10. Håltyperna där brukar kallas livhå, hjälpare och konturhå, se Figur 26. Konturhå är hålen närmast slutkonturen och är de hålen som normalt är minst laddade i salvan. Hjälpare är hålen närmast konturhålen och laddas även de svagare. Livhålen, som även brukar kallas salvhå eller strosshå, har högsta laddningskoncentrationen i salvan.



Figur 26. Håltyper enl. AMA CBC/4

5.3. Laddningsberäkningar för pallsprängning

Beroende på pallhöjden är det brukligt att skilja på pallsprängning och plansprängning. Pallsprängning definieras som sprängning där pallhöjden $\geq 2 \times$ försättningen. Om detta inte är fallet och pallhöjden är < 1 m brukar man tala om plansprängning.

Det finns olika tabellverk som visar lämplig laddning för olika håldimensioner och håldjup t.ex. Bergutbildarnas "Lilla röda" (Bergutbildarna) eller i Modern Bergsprängningsteknik (Olofsson, 2007). Konstruktionen av dessa tabellverk utgår från ett antal beräkningsformler för bergsprängning.

Vid beräkningar utgår man från ett antal geometriska faktorer som håldiameter, pallhöjd, pallbredd samt hållutning och bergkonstanten. Beräkningsarbetet inleds med att ta reda på vilken laddningskoncentration som behövs i botten av hålet för att bryta loss det inspända berget. Överslagsmässigt så kan laddningskoncentrationen för packade patroner och bulksprängämnen beräknas enligt följande formel (Olofsson, 2007).

$l_b = 7,85 \times d^2 \times P$ där d = håldiametern (dm) och P = sprängämnets packningsgrad (kg/l)

Den maximala försättningen kan därefter beräknas enligt:

$$V_{\max} = 1,45 \times \sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2 \quad \text{där } R_1 \text{ beror på hålets lutning, se Tabell 5,}$$

Tabell 5. Kompensation för hållutning

Lutning	Vertikal	10:1	5:1	3:1	2:1
R ₁	0,95	0,96	0,98	1,0	1,03

och R₂ på bergkonstanten, se Tabell 6.

Tabell 6. Kompensation för bergkonstant

Bergkonst.	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
R ₂	1,15	1,07	1,0	0,95	0,9

Den maximala försättningen är alltså beroende på hålets lutning och på bergkonstanten. Olika sprängämnens densiteter och laddningskoncentrationer fås från produktblad eller kan t.ex. hittas i Bergutbildarnas guidebok "Lilla röda" eller motsvarande informationsmaterial. Bulkprodukter utnyttjar hålvolymer till 100 % men uppnår olika packningsgrader beroende på dess densitet. Förpackade produkter fyller ut hålen olika beroende på bland annat sprängämnet och hur det är förpackat.

Beräkningarna fortsätter för bestämning av underborrning och håldjup, där det verkliga håldjupet beror av hållutningen, pallhöjden och underborrningen. En kompensation behöver göras för felborrning och då fås den s.k. praktiska försättningen (V). Det teoretiska hålavståndet (E) beräknas enligt:

$$E = 1,25 \times V \quad \text{där } V \text{ är försättningen (m) *}$$

*i engelsk litteratur betecknas försättning B (burden) och hålavstånd S (spacing)

Förhållandet E/V påverkar styckefallet och om $E/V > 1,25$ får man ett finare styckefall och om $E/V < 1,25$ blir styckefallet grövre.

Nu kan specifik borrning (totalt borrarde antal meter/salvvolum) beräknas samt höjden och vikten på bottenladdningen. Därefter beräknar man förladdningen storlek. Förladdningen brukar vara $\approx$ praktisk försättning. Om förladdningen är mindre än försättningen får man ett bättre ytstyckefall men en större kastrisk. Om förladdningen är större än försättningen kan styckefallet bli grövre samtidigt som risken för kast minskar. Bästa förladdningsmaterial är krossmaterial av storleken 4-9 mm.

Slutligen beräknas pipladdningens höjd och vikt vilket ger den totala laddningen i hålet. Då den totala vikten är känd kan den specifika laddningen (total laddningsvikt/salvvolum) beräknas. I Tabell 7 visas några exempel på data för sprängning av en pall med 64 mm borrkrona.

För alla större sprängningar är det klokt att först göra en mindre provsprängning för att bedöma bergets sprängbarhet.

Tabell 7. Pallsprängning med 64 mm borrkrona (Bergutbildarnas kursmaterial)

Pallhöjd (m)	Håldjup (m)	Försättning (m)	Hålavstånd (m)	Laddning (kg)			Specifik	
				Botten	Pipa	Totalt	Borrning (bm/m ³)	Laddning (kg/m ³)
5	6,0	2,2	2,7	12,0	-	12,0	0,20	0,4
9	10,0	2,1	2,6	12,0	8,0	20,0	0,21	0,4
11	12,5	2,1	2,6	12,0	12,5	24,5	0,21	0,4
15	16,5	2,0	2,5	12,0	20,5	32,5	0,22	0,4

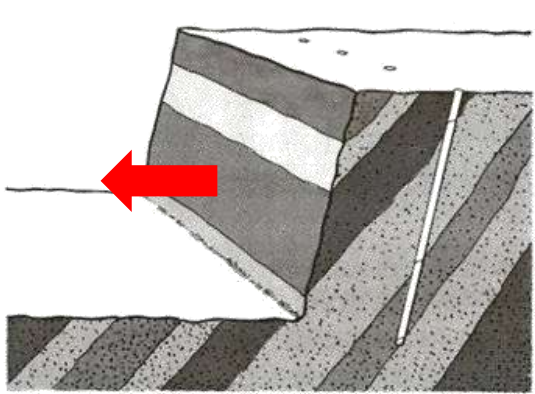
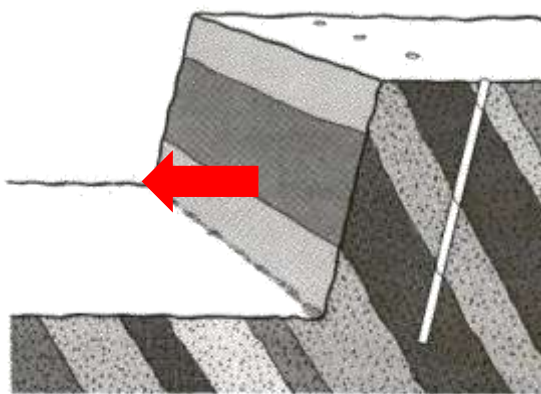
5.4. Faktorer som kan påverka pallsprängning

Geologi

De geologiska förhållandena har en stor betydelse för resultatet vid borrning och sprängning av berg. De geologiska parametrar som mest påverkar sprängningen är bergets tryckhållfasthet, draghållfasthet, densitet, utbredningshastighet och bergets struktur.

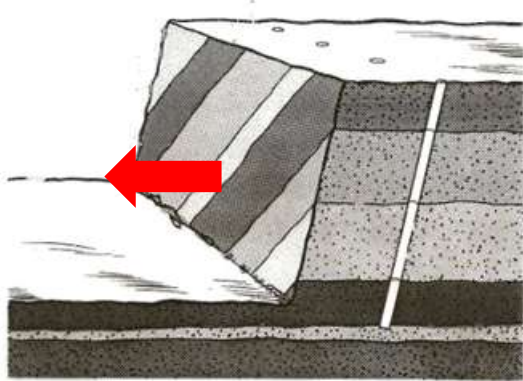
Berget har oftast en draghållfasthet som är betydligt mindre än tryckhållfastheten och därför är det dragspänningarna som utnyttjas vid bergsprängning, se Kapitel Bergsprängningsteori. Hårda bergarter sönderdelas lättast av sprängämnen med hög detonationshastighet medan mjukare bergarter och uppsprucket berg kan kräva gasrika sprängämnen som t.ex. ANFO. Ett exempel på en mjukare bergart är kalksten.

Bergets struktur är mycket viktigt och strukturen kan t.ex. bestå av sprickor och försvagningszoner. Strykning och stupning på strukturen är viktiga begrepp där strykning betecknar strukturens horisontella riktning och stupning hur strukturen lutar från den horisontella bergytan. Figur 27 visar några fördelar resp. nackdelar vid sprängning med och mot stupningsriktningen.

Med stupningsriktning	Mot stupningsriktningen
	
Fördel: Bra framkast, lättlastad Nackdel: Risk för bakåtbrytning och överberg	Fördel: Reducerad bakåtbrytning Nackdel: Sämre framkast

Figur 27. För och nackdelar vid sprängning med och mot stupningen. Pilen visar utslagsriktning (Bergutbildarnas kursmaterial).

Vid sprängning mot bergets strykning, se Figur 28, erhålls de ogynnsammaste förutsättningarna. Då riskerar man att få en ojämn botten, varierande bakåtbrytning och därmed en ojämn pallkant samt ett ojämnt styckefall.

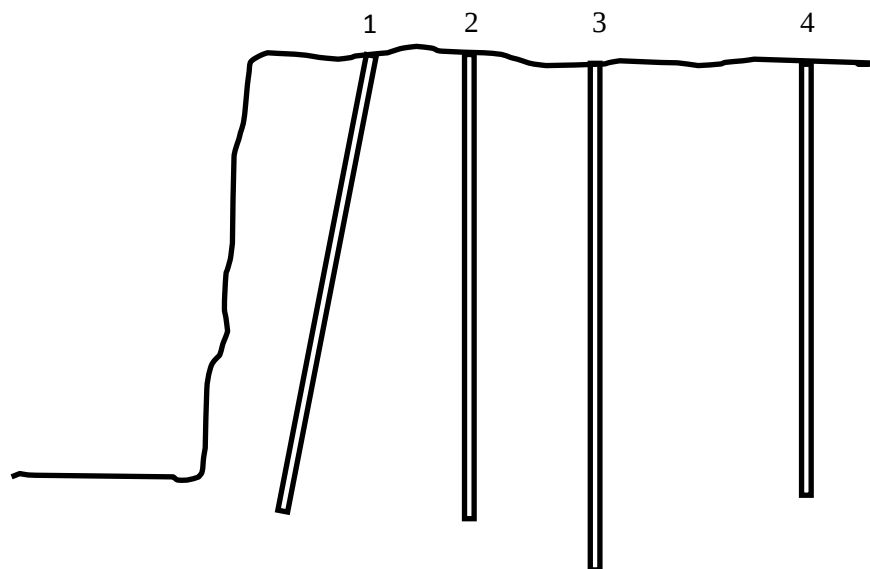


Figur 28. Sprängning mot bergets strykning. Pilen visar utslagsriktningen (Bergutbildarnas kursmaterial).

Det är viktigt att försöka anpassa bergguttaget till geologin. Att låta bergguttaget sluta mot ett naturligt slag eller spricka reducerar underhållsbehovet för bergskärningen.

Hålkvalitet

Kvaliteten på borrhningen är också en viktig parameter för kvaliteten på bergguttaget. Dålig utförd borrhning ger en dålig kvalitet på bergguttaget. Figur 29 visar några exempel på dålig borrhning och Tabell 8 visar konsekvenserna av denna borrhning.



Figur 29. Några exempel på dålig borrhkvalitet

Tabell 8. Hålkvalitet

Hål nr	Orsak	Risker
1	Olika försättningar längs hålet	Kast, vibrationer
2	Rätt borrar	
3	För djupt borrar	Vibrationer
4	Påhuggsfel -för stor försättning	Ej utslag, vibrationer

Hållutning

Vid lutande hål minskas inspänningen och då kan sprängämnets stötvågsenergi utnyttjas bättre. Lutande hål reducerar därför den specifika laddningen. Lutande hål ger också ett bättre styckefall

En flack slänt medför också en minskad rasrisk och bör speciellt rekommenderas vid sämre berg. Nackdelen med en flack slänt är att det medför att man måste ta mer mark i anspråk.

Styckefall

Styckefallet på det sprängda berget beror på ett antal faktorer men går att anpassa efter behovet. Numera finns det ofta en mobil kross på arbetsplatserna och dess intagsöppning styr ofta styckefallet från sprängningen. En erfarenhetsmässig tumregel är att de största blocken inte får vara större än 75 % av krossens kortaste sida på intagsöppningen. Styckefallet påverkas av bl.a. geologin, specifik borrar och laddning, borrarplan, tändplan, hållutning, hålavvikelse, sprängämnet och salvstorlek. Generellt gäller att styckefallet påverkas mer av den lokala geologin än av det sprängämne som används. Detta betyder att förutom bergets hållfasthetsegenskaper så är bergets struktur (sprickriktning, frekvens och sprickavstånd) mycket viktig. Det bästa sättet att få ett jämt styckefall i en bergvolym är att fördela sprängämnet på flera klenare borrhål.

Vid sprängning i täkter blir det ofta för mycket fint material. Fältförsök har visat att finandelen kan reduceras genom att använda frikopplade laddningar (laddningsdiametern < borrhålsdiametern) samt att finandelen ökar med minskad håldimension (Olsson, 2002). Ett grövre styckefall erhålls genom att glesa ut hålen dvs. $E/V < 1,25$.

Specifik laddning

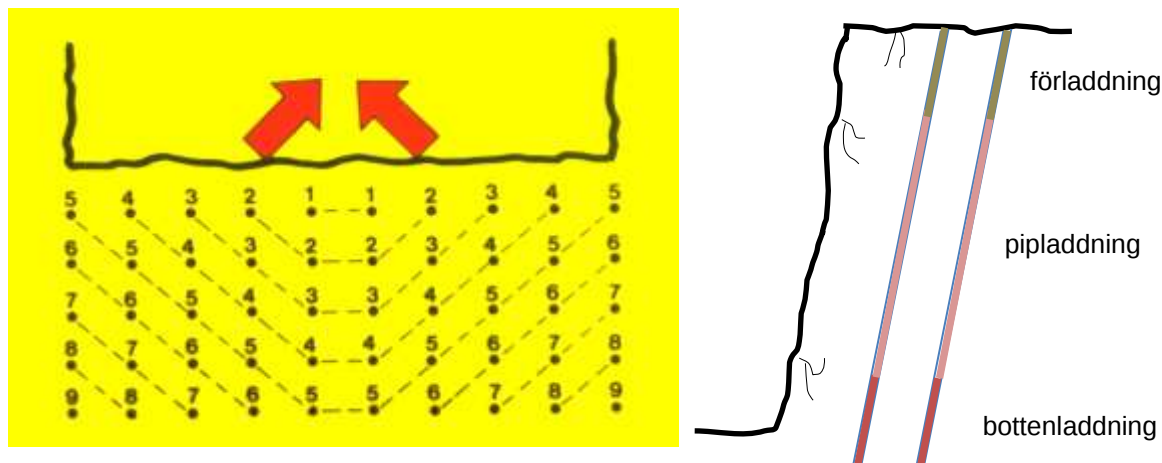
Berget sonderdelas bättre om den specifika laddningen ökas med bibehållen borrarplan. Laddningskoncentrationen är alltid störst i botten där berget är hårdast inspänt. I pipan reduceras ofta laddningskoncentrationen men vid bulkladdning är detta betydligt svårare att åstadkomma och därför är det en stor risk att denna del blir överladdad.

Den specifika laddningen vid pallsprängning brukar oftast vara mindre än $0,5 \text{ kg/m}^3$. För grova, långa bulkladdade hål blir den specifika laddningen högre.

Tändplan

Tändplanen skall konstrueras så att alla hål har fritt utslag och att fördröjningstiderna mellan hålrader är tillräckligt stort så att framförvarande rad har hunnit flytta sig. Normalt brukar man räkna med att fördröjningstiden i ett bra berg skall vara ca 15

ms/m försättning. Denna fördröjning brukar ge ett bra styckefall. Vid för kort fördröjningstid tvingas berget i de efterföljande raderna i en uppåtriktad kastbana eftersom de framförvarande raderna inte hunnit förflytta sig tillräckligt långt. Vid för långa tider mellan raderna riskerar man kast, luftstöt vågor och skut eftersom sprängningen då kan jämsställas med sprängning av en enkel rad. En principbild för en tändplan med plogformad symmetri, s.k. plogkil, visas i Figur 30. Genom att fördela tändarnumren olika, med samma borrarplan, kan många varianter på tändplanen åstadkommas. Här framgår det också att det är möjligt att reducera ”försättningen” mellan de detonerande raderna vilket ger ett bättre styckefall.



Figur 30. De detonerande radernas försättning är mindre än borrarad försättning (Bergutbildarna)

Förladdning/proppning av hål

För att hålla inne trycket en längre tid och för att minska kastrisken proppas ofta den oladdade delen av borrhålen. Proppmaterialet ska vara krossad sten för att en bra låsning ska erhållas. Storleken på proppmaterialet varierar beroende på håldiametern och för en håldimension på 64-89 mm kan det vara lämpligt med ett proppmaterial på 2-4 mm.

Svällning

Då berget sprängs loss ökar dess volym upp mot 50 %. Om det inte finns tillräckligt med utrymme framåt för berget så rör det sig istället uppåt. Vid sprängning av många rader travas berget på varandra allt eftersom raderna sprängs. Om berget inte lastas ut mellan salvorna bör den specifika laddningen ökas för att kompensera för svällningen.

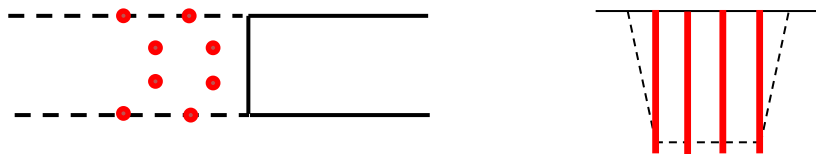
6. Rörgravssprängning

Rörgravssprängning, se Figur 31, är en metod som påminner om pallsprängning men där pallbredden är < 4 m. Denna sprängningstyp används t.ex. vid mark och bergkonstruktioner där ledningar, avlopp, kablar m.m. skall dras. Pga. de geometriska förhållandena blir berget mer inspönt än vid normal pallsprängning och därför krävs en högre specifik borrhning och laddning än vid normal pallsprängning. Hållutningen är viktig vid rörgravssprängning och hållutningen bör inte understiga 3:1. För att undvika risk för markvibrationer och kast brukar man dessutom välja att borra rörgravar med mindre håldimension jämfört med normal pallsprängning.



Figur 31. Laddning av rörgrav (Olofsson)

Vid sprängning av rörgravar placeras ofta mitthålet/mitthålen framför kanthålen, se Figur 32. Alla hål har samma laddning men pipladdningen är normalt kortare än motsvarande laddningsmängd för pallsprängning beroende på att den största laddningsmängden sitter i botten. En hög laddningskoncentration och inspända förhållanden ökar risken för markvibrationer. Hålen i en rörgrav är också relativt korta vilket innebär att förladdningslängden blir oproportionellt lång.



Figur 32. Hållayout för rörgrav

Då alla hål här är lika mycket laddade kan överbergsmängden bli stor och därför är det brukligt att i stället använda sig av skonsam sprängning. Då borrar alla hål i raden på en linje och konturhålen laddas då svagare medan mitthålet/hålen får lite starkare laddning. I och med att laddningskoncentrationen reduceras kan sidohålen laddas upp högre och förladdningen reduceras men då ökar risken för stensprut.

Vid sprängning av alltför många rader i samma salva med begränsade utslagsmöjligheter finns risk att stabiliteten i väggarna äventyras.

Rörgravssprängningar kan vara besvärliga och kan dessutom innebära svåra arbetsförhållanden. Området måste vara rensat från jord och med ett ordentligt avstånd från upplagda högar. Figur 33 visar ett avskräckande exempel på hur det inte får gå till.



Figur 33. Exempel på farlig arbetsmiljö (Bergutbildarna)

6.1. Laddningsberäkningar

För laddningsberäkningar av rörgrav kan detaljer hämtas ur olika tabellverk (Olofsson och Bergutbildarna). Här lämnas endast ett begränsat exempel på hur en tabell kan se ut för normal rörgravssprängning, se Tabell 9.

Tabell 9. Borrhålsdiameter 34-29 mm. Rörgravsbredd 2 m och 4 hål i bredd (Bergutbildarna)

Rörgravsdjup (m)	Håldjup (m)	Försättning (m)	Hålavstånd (m)	Laddningsvikt (kg)		Totalladdning (kg)
				Botten	Pipa	
1,0	1,6	0,9	0,65	0,3	0,05	0,35
2,0	2,6	1,0	0,65	0,5	0,3	0,8
3,0	3,7	0,85	0,65	0,7	0,5	1,2
4,0	4,8	0,74	0,65	0,8	0,7	1,5

7. Plansprängning

Plansprängning kallas sprängning av riktigt låga pallar, dvs. pallar med en pallhöjd < 1m. Vid plansprängning används vanligtvis klena hål (håldimension ≤ 34 mm). Vid låga pallar blir hålen för korta för att helt kunna utnyttja sprängtekniken för skivpall och rörgrav och detta innebär att hålen saknar pipladdning. Vid plansprängning med korta hål blir den specifika borrhningen hög och detta medför kastrisk vid sprängningen. Det kan därför vara klokt att om möjligt borra lite djupare och då kan hålen glesas ut vilket innebär att tänd- och sprängmedelskostnaderna minskar och risken för kast minskar. I Tabell 10 visas några exempel på data för en plansprängning med klena hål.

Tabell 10. Några data för plansprängning med 22 mm klenhål (Bergutbildarna)

Pallhöjd (m)	Håldjup (m)	Försättning (m)	Hålavstånd (m)	Laddningsvikt		Totalt (kg)	Specifik	
				Botten (kg)	Pipa (kg)		Borring (bm/m ³)	Laddning (kg/m ³)
0,3	0,5	0,3	0,5	0,01		0,01	11,0	0,2
0,4	0,6	0,4	0,5	0,02		0,02	7,5	0,2
0,5	0,7	0,45	0,6	0,03		0,03	5,2	0,2

8. Sprängning med speciella krav

Vid sprängningsarbeten där speciella krav ställs och där hänsyn skall tas till befintlig slutkontur och begränsade vibrationsnivåer måste särskilda åtgärder tillgripas. Man brukar då skilja på två huvudbegrepp:

- Skonsam sprängning
- Försiktig sprängning

Vid skonsam sprängning tas hänsyn till bergets slutkontur och vid försiktig sprängning tas hänsyn till vibrationskrav. Det handlar alltså om att spränga konturen extra skonsamt eller/och att minimera samtidigt detonerade laddningsmängd för att begränsa vibrationerna på närliggande byggnader eller konstruktioner. Utförandekostnaden för dessa åtgärder blir dyrare än för normal sprängning. Sprängning utan speciella åtgärder kan dock bli mycket dyrbart till följd av t.ex. nedrasat berg och efterföljande merarbeten som omskjutningar och avstängning av trafik eller konsekvenser av höga vibrationer.

Det skall löna sig att satsa på skonsam och försiktig sprängning. De merkostnader som dessa åtgärder medför skall gå att räkna hem till följd av t.ex. minskat underhåll på bergskärningar.

I detta avsnitt kommer utförande av skonsam sprängning och försiktig sprängning att närmare beskrivas. Andra skonsamma metoder för berguttag hittas under kapitel Speciella Uttagsmetoder.

8.1. Skonsam sprängning/ Kontursprängning

Det finns två typer av skonsam sprängning av konturen som brukar används, slätsprängning och förspräckning. Båda metodernas mål är att minska den oönskade

sprickbildningen i det kvarstående berget. Dessa skador kan vara svåra att se på bergväggen och man brukar därför bedöma resultatet av kontursprängningen genom att räkna antalet synliga kvarvarande halvpipor i bergväggen.

Skadorna kan reduceras genom en tätare hålsättning, lägre laddningskoncentration och en speciell intervallfördelning. Gemensamt för metoderna är också att hänsyn måste tas även till laddningen i raderna närmast konturen. Metoderna skiljer sig åt främst genom den tidpunkt i salvan då konturen sprängs. Vid slätsprängning sprängs konturen sist i salvan eller som en separat salva till skillnad mot förspräckning där konturen sprängs först, dvs. innan övriga delar av salvan.

Blockstensbrotten behärskar konsten att spränga skonsamt mot berget. Figur 34 visar ett exempel på kontursprängning från ett blockstensbrott i Halland.



Figur 34. Bra borrhkvalitet och skonsam sprängning

Slätsprängning

Detta är den vanligaste kontursprängningsmetoden. Metodiken utvecklades i Sverige på 50–60-talet och har sedan dess fortsatt att utvecklas, mest till följd av ny teknik (sprängämnen och tändare) samt ny kontrollteknik.

Slätsprängning, som innebär att konturen sprängs sist i salvan, tillämpas för att reducera skador på berget i slutkonturen. Skador på slutkonturen kan reduceras genom att använda en speciell borrhplan, speciella sprängämnen och se till att sprängämnets diameter är mindre än hålets diameter. Dessutom har valet av sprängkapslar och intervalltider en stor inverkan på kvalitén på slutkonturen. Figur 35 visar några bilder från ett par bergskärningar. I det vänstra fotot framgår tydligt geologins inverkan på slutresultatet. Fastän samma sprängplan har använts i bergskärningen är det stor skillnad på kvalitén på slutlig bergvägg.



Figur 35. Slätsprängning (Foto Bergutbildarna, EDZ-Consulting)

Borrplan och sprängämne

Hålsättningen för slätsprängning är alltid tätare än för normal pallsprängning och förhållandet mellan hålavstånd och försättning brukar vara ca 0,8 i stället för det normala värdet för pallsprängning 1,25. Anledningen till den tätare hålsättningen är att hålen skall samverka vid detonationen.

Vid slätsprängning används ofta sprängämnen med en lägre detonationshastighet och en lägre gasutveckling. Borrhålsttrycket vid detonationen är i hög grad beroende av detonationshastigheten och med ett lägre borrhålsttryck så reduceras sprickutbredningen i berget. Det viktigaste för att reducera borrhålsttrycket är emellertid att dimensionen på sprängämnet är betydligt mindre än borrhålets diameter.

I Tabell 11 visas några exempel på lämplig hålsättning och laddning för olika håldimensioner när slätsprängning tillämpas.

Tabell 11. Exempel på riktvärden för slätsprängning (Olofsson, Bergutbildarna)

Håldiameter (mm)	Laddningskonc. (kg DxM/m)	Hålavstånd (m)	Försättning (m)	Bottenladdning (kg)
25-32	0,1	0,25-0,35	0,3-0,5	0,1
32-51	0,2	0,4-0,7	0,7-0,9	0,2-0,6
51-64	0,3-0,4	0,8-0,9	1,0-1,1	1,0-1,2

I flera infrastrukturprojekt borrar man idag med 70 mm borrkrona och ett hålavstånd på ca 0,6-0,8 m och en försättning på ca 0,8 m. Hålen laddas med frikopplade laddningar där laddningsdiametern ofta endast är 17 mm. Denna uppläggning har gett ett bra resultat.

Förspräckning

Förspräckning skiljer från slätsprängning genom att konturraden sprängs innan övriga delar av salvan, antingen som en separat salva eller först i en salva, s.k. aktiv förspräckning. Tekniken bygger på att åstadkomma en spricka mellan konturradens hål som sedan skall avskärma slutlig kontur från inverkan av övriga hål i salvan.

För att åstadkomma detta måste konturhålen borraras tätare än vid normal slätsprängning. Hålen ska laddas med låg laddningskoncentration och hålen måste

sprängas momentant. Vid momentan sprängning kommer hålen att samverka, dragsprickor bildas mellan hålen vilket medför att en spricka bildas som sammanbinder hålen. Teorin är densamma som vid momentan slätsprängning. För att uppnå den momentana initieringen av hålen används därför oftast detonerande stubin, antingen ensamt i hålen eller för att initiera andra laddningar. Figur 36 visar några exempel på förspräckning.



Figur 36. Några exempel på förspräckning (högra bilden är aktivt förspräckt)

I Tabell 12 visas några exempel på lämpliga hålavstånd och laddningskoncentrationer för olika håldimensioner. Ett riktvärde för hålens försättning är $\frac{1}{2}$ hålavståndet för salvhålen. Vid förspräckning ska ingen förladdning användas. Bottenladdningens storlek beror på håldjupet men ett riktvärde är 0,1-0,2 kg. För initiering av hålen kan lämpligen detonerande stubin (5 g/m) användas.

Tabell 12. Exempel på hålavstånd och laddningskoncentration vid förspräckning

Håldiameter (mm)	Laddningskonc. (kg DxM/m)	Hålavstånd (m)
25-32	0,1	0,2-0,3
32-51	0,2	0,3-0,6
51-64	0,3-0,4	0,6-0,8

Förspräckning ger ofta ett mycket bra resultat. Vid förspräckning måste man vara observant på några punkter.

1. Vid samtidig detonation av hål utan fritt utslag ökar risken för höga markvibrationer.
2. Förspräckning orsakar ofta en kraftig luftstöt våg beroende på att hålen inte är förladdade och att hopkoppling sker på ytan med detonerande stubin.

Dessa två faktorer medför att förspräckning sällan används inom tätbebyggda områden. Polismyndigheten brukar ha synpunkter på användningen av förspräckning. Förspräckning ställer också extra höga krav på borrhänsikten för ett lyckat resultat. I berg med hög sprickintensitet finns risk att stötvågorna inte samverkar utan reflekterar mot naturliga sprickor i stället vilket ger ett dåligt slutresultat.

Sprängskadezoner

Sedan en längre tid har det i Sverige använts ett flertal tabeller där skadezoner listas för olika sprängämnen och/eller laddningskoncentrationer. Tabellerna grundar sig på några enstaka försök med Gurit och ANFO på 60-talet (Sjöberg, 1977). En enkel formel togs fram som gav ett förhållande mellan laddningskoncentration och skadezon. Tillsammans med teoretiska beräkningar utgående från ett samband mellan svängningshastighet, laddningsvikt och avstånd (Holmberg, Persson, 1979) kunde nu skadezonen hos ett antal sprängämnen beräknas.

Tabellerna har ibland anpassats för speciella projekt och fanns även i tidigare utgåvor av AMA. I AMA-10 finns en tabell där den teoretiska skadezonen kopplats till olika bergschaktningsklasser, se Tabell 13. Mer om skadezoner och kontroll i Kapitel Krav och Kontrollmetoder.

Tabell 13. Bergschaktningstolerans och teoretisk skadezon (AMA-10, 2011)

Bergschaktningsklass	Teoretisk skadezon (m)	
	Slänt/vägg	Botten
1	0,2	0,5
2	0,3	0,7
3	0,5	1,1
4	1,1	1,7
5	Schaktad bergkontur ska ligga utanför teoretisk bergkontur	

Ett problem med tabellerna är att de saknar en entydig definition av skadezon. Ett annat problem är att svängningshastigheten inte kan korreleras till skadezon och speciellt inte om många hål detonerar momentant.

Tillåten skadezon brukar anges i handlingarna men uppnådd skadezon kontrolleras generellt inte, se vidare i Kapitel Krav och kontrollmetoder.

Forskning på SveBeFo och Swebrec har visat att spricklängder är ett betydligt bättre sätt att definiera sprängskador (Olsson & Ouchterlony, 2003). Hundratals hål har sprängts under olika förhållanden och spricklängder har mätts genom att slitsar eller skivor sågats ut bakom de sprängda hålen. De sågade ytorna har sedan sprayats med penetranter vilket synliggör sprickorna (Olsson & Bergqvist, 1995).

Resultaten av dessa försök visar tydliga samband mellan ett antal sprängtekniska faktorer och sprickutbredning. Sambanden bygger på att hålen initierats momentant.

Sprängämnet

Valet av sprängämne har en stor betydelse för sprickbildningen och en viktig parameter är sprängämnets detonationshastighet (VOD). En hög VOD medför ett högre borrhålstryck och därmed en ökad frekvens av krossprickor, se Kapitel Bergsprängningsteori. Varje sprängämnestyp har sin egen spricksignatur.

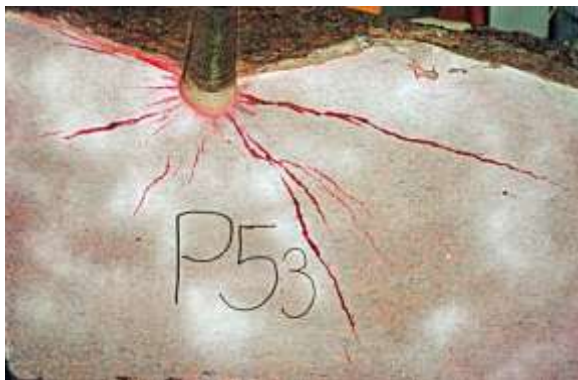
Mängden sprängämne/laddningskoncentration

Ökad sprängämnesmängd ger fler och längre sprickor.

Kopplingsgraden

Kopplingsgraden definieras som förhållandet mellan laddningens diameter och hålets diameter, dvs. $f = \frac{\varnothing_{\text{laddning}}}{\varnothing_{\text{hål}}}$. *Kopplingsgraden har en mycket stor betydelse för sprickbildningen och ju mindre kopplingsgrad desto mindre sprickutbredning.*

I Figur 37 framgår detta mycket tydligt då den vänstra bilden visar en begränsad sprickutbredning från 22 mm Gurit i ett 64 mm hål med $f = 0,34$ och uppmätt spricklängd $< 0,3$ m. Den högra bilden visar 22 mm Gurit laddat i ett 24 mm hål, $f = 0,91$ och uppmätt spricklängd $> 1,0$ m. Vid båda alternativen användes momentan initiering. Spricklängden har mer än tredubblats under samma förhållanden!



Figur 37. Frikopplingens inverkan på sprickbildning

Hålsättningen

Vid momentan initiering av hålen har hålavståndet en betydande inverkan på sprickbildningen. Försöken hos SveBeFo har visat att om hålavståndet är större än 0,8 m så kan det bildas bågformade sprickor in i berget mellan hålen, se Figur 38, trots att berget utifrån ser bra ut med fina halvpipor. Sprickbildningen i berget kan innebära uppenbara risker för bergutfall (speciellt känsligt i tunneltak).

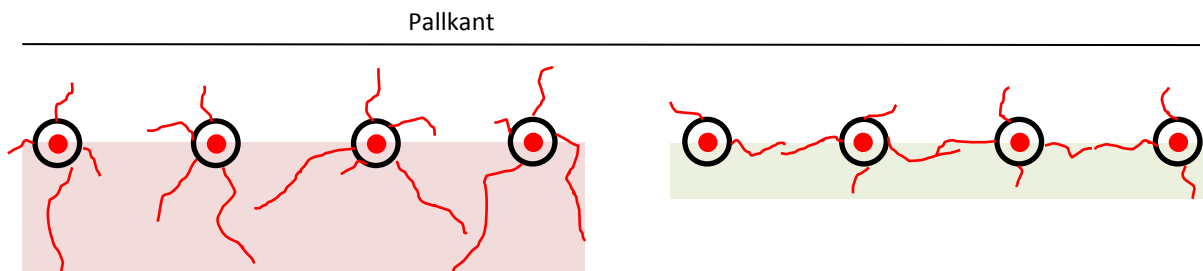


Figur 38. Sprickutbredning vid stort hålavstånd

Initieringstiden

Momentan initiering av hålen ger en minskad sprickutbredning. Vid momentan initiering samverkar nämligen sprickbildningen mellan hålen och det bildas en barriär som förhindrar att den returnerande dragvågen förlänger sprickorna in i berget, se Kapitel Bergsprängningsteori.

Figur 39 visar en schematisk bild på sprickutbredning vid initiering med tändspridning i sprängkapslarna resp. momentan initiering utan tändspridning.



Figur 39. Sprickutbredning. Tändspridning i vänster bild och momentan initiering i höger bild

Figur 40 visar skillnaden på ej momentan och momentan sprängning av en pall. Pallytan blir betydligt sämre vid tändspridning och det finns risk för utkast av odetonerade laddningar.



Figur 40. Ej momentan sprängning (vänster bild), momentan sprängning (höger bild)

För att uppnå en samtidig detonation och kortast sprickbildning bör tändspridningen skall vara liten, helst $< 0,1$ ms. Denna precision kan endast uppnås med elektroniska sprängkapslar eller möjligen genom detonerande stubin. Vanliga sprängkapslar har en tändspridning som är åtminstone ± 6 ms och vid höga tändarnummer kan tändspridningen vara mer än 10 ggr större vilket medför ökad sprickbildning och risk för ryckare och odetonerade hål.

Vatten i hålen

Vatten i borrhål riskerar förlänga sprickorna med 3-4 gånger jämfört med samma laddning och håldimension under torra förhållanden. Det är alltså viktigt att blåsa hålen rena innan laddning.

Geologin

De geologiska förhållandena, och framförallt antalet befintliga öppna sprickor, har en stor betydelse för sprickbildningen vid sprängning. Sprickorna som uppkommer vid sprängning söker sig mot naturliga sprickor, öppna eller slutna. Samtidigt kan befintliga sprickor i ytberget verka som barriärer för sprängsprickornas tillväxt. Bilden kan ofta bli komplicerad, se Figur 41. Sprängning parallellt med foliationen ger ofta längre sprickor än vid sprängning vinkelrät mot foliationen.



Figur 41. Sprängning av konturrad i vägs kärning

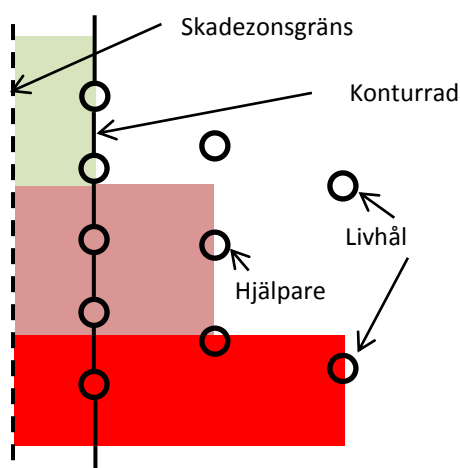
Sammanfattning

De absolut viktigaste parametrarna för att begränsa skadezonen är att se till att sprängämnet är frikopplat, inget vatten finns i hålen samt att hålen initieras momentant. Dessa tre åtgärder ger alltid en reducering av spricklängderna.

Överlappande skadezoner

Vid design av borrh- och laddplan är det viktigt att kontrollera att skadezonen från hjälparhål och livhål **inte** överskrider angiven skadezon från konturhålen, se Figur 42.

Exempel. Skadezonen från konturhålen får inte överstiga 0,3 m. Försättningsen till hjälparraden är 0,8m. Skadezonen från hjälparhålen får i detta exempel vara högst vara 1,1m.



Figur 42. Skadezonerna från hjälparhål och livhål får inte överskrida skadezonen från konturhål

Skadezon från bottenladdningen

Ofta när begränsningar i skadezonen/spricklängder anges så avses enbart skador från pipladdningen men hänsyn måste också tas till skador från bottenladdningen.

Bottenladdningen har oftast en högre laddningskoncentration och ger därför upphov till längre sprickor. Utbredningen av sprickorna under en bottenladdning är konisk, se Figur 43 (Olsson et.al., 2009). I AMA-10 anges förutom krav på pipladdning även krav på skadezoner från bottenladdningen.



Figur 43. Skadezon från bottenladdning

Bedömning av skadezonens påverkan

Det kan vara svårt att avgöra hur skadezonen och/eller enskilda sprickor påverkar stabiliteten i bergskärningen eller tunneln. Vad blir t.ex. konsekvensen för bergytans stabilitet om sprickorna förlängs med några dm eller om antalet sprickor ökar vid val av ett annat sprängämne? Hur påverkas stabiliteten vid en ökning av sprickintensiteten om vatten tränger in i sprickorna och i vintertid fryser, s.k. frostsprängning? Är ytnära sprickor "farligare" än ett antal längre sprickor? Ytterligare forskning kan behövas. Bedömningen av skador på bergguttaget måste därför bedömas från fall till fall.

Konsekvenserna av bergytans försämrade stabilitet ger upphov till ökade underhålls- och förstärkningsåtgärder och därmed till ökade kostnader för beställaren och förvaltaren. Det är viktigt att beställaren har möjlighet att verifiera uppnådd skadezon. Mer om kontroll av skadezoner i kapitlet Krav och kontrollmetoder.

Vid planering av uttag av bergschakt gäller det att hitta en balans mellan optimalt uttag och acceptabla skador på kvarstående berg. Bergschakt ska också utföras så att det framtida underhållet av bergguttaget kan minimera. Det är därför av största vikt att bergguttaget sker skonsamt så att bergskador kan minimeras. Skadorna på kvarstående berg efter sprängning beror på kvaliteten på borrh- och sprängtekniken samt naturligtvis även på de platsspecifika geologiska förhållandena.

Vid upprättande av förfrågningsunderlag hänvisas till AMA där många detaljer specificeras. Tyvärr är specifikationerna för borrhning och sprängning bristfälliga, och till ytterligare visso saknas ofta kontrollmetoder för att verifiera att de uppställda kraven har blivit uppfyllda. Detta gäller i hög grad för uppföljning av krav för bergschaktningsarbeten och bedömning av skadezon efter bergguttar i kvarstående berg.

Hos Trafikverket inleddes under 2011 ett arbete för att ta fram lämplig undersökningsmetodik för bedömning av skadezonens utbredning i kvarstående berg av olika geologisk karaktär. Två olika mätmetoder har använts, seismik och kartering av sprickor i kvarvarande berg genom sågning och penetranter. I Figur 44 och Figur 45 visas några bilder från projektet.



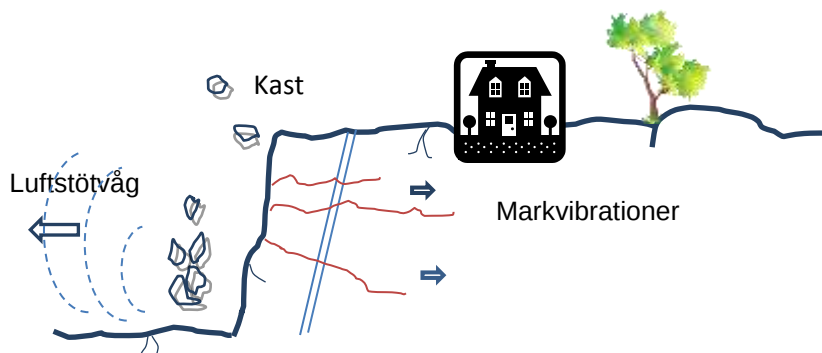
Figur 44. Seismisk mätning



Figur 45. Sprickutbredning från detonerande stubin och Dynotex

8.2. Försiktig sprängning

Dagens sprängteknik gör det fullt möjligt att spränga inne i och under tätorter. Detta arbete kräver då att säkerheten för arbetstagaren och tredje man beaktas extra noggrant. Utförandet av sprängarbetet kräver också en noggrann planering, kunskaper och erfarenhet. Myndigheter och berörda av arbetet skall informeras. Det behövs ofta speciella produkter och provsprängningar för att optimera sprängningen. Hänsyn behöver tas till faktorer som t.ex. luftstöt våg, kast och markvibrationer, se Figur 46, och inverkan av dessa faktorer måste därför reduceras.



Figur 46. Miljöpåverkande faktorer

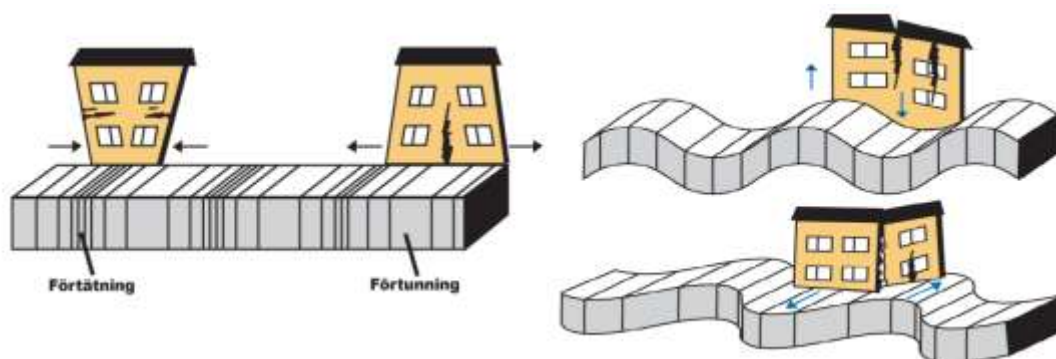
Markvibrationer

Markvibrationer är svängningsrörelser i marken och kan orsakas av sprängning, pålning m.m., men även av andra faktorer som t.ex. trafik. Dessa seismiska vågor kan orsaka skador på byggnader när de når en viss nivå. Vågorna dämpas emellertid med avståndet och vågor med den högsta frekvensen dämpas snabbast. Vibrationernas storlek beror av:

- Mängd samverkande laddning
- Inspänningsförhållanden
- Bergets egenskaper
- Avståndet till sprängplatsen
- Egenskaperna hos överlagrad jord

Genom att anpassa borrh-ladd-och tändplan kan markvibrationerna reduceras. Man brukar tala om tre olika typer av vågor, P-våg, S-våg samt R-våg. P-vågen är den snabbaste vågen och får materialet att röra sig i en fram och återgående rörelse. S-vågen är en skjuvvåg som får materialet att röra sig i en uppåt- och nedåtgående rörelse. R-vågen som är ytnära ger materialet en elliptisk rörelse.

Markvibrationer är en energitransport genom marken och skador kan uppstå på byggnader när vibrationerna uppnår en viss storlek. Figur 47 visar hur P- och S-vågen kan påverka byggnader.



Figur 47. Olika vågors effekt på byggnader, P-vågen till vänster och S-vågens till höger (Fomenko, Rudegran Asterdal, 2008)

Markvibrationernas svängningshastighet ger ett mått på skaderisken och kan beräknas genom formeln

$$v = 2 \pi f A$$

där v = vibrationshastigheten (mm/s), f = frekvensen (svängningar/sek) och A är amplituden (mm).

En översiktlig tabell visar hur några angivna vibrationshastigheter påverkar skaderisken för vanliga bostadshus vid några olika typer av grundläggning, se Tabell 14.

Tabell 14. Vibrationshastighetens inverkan på sprickbildning (Olofsson, 2007)

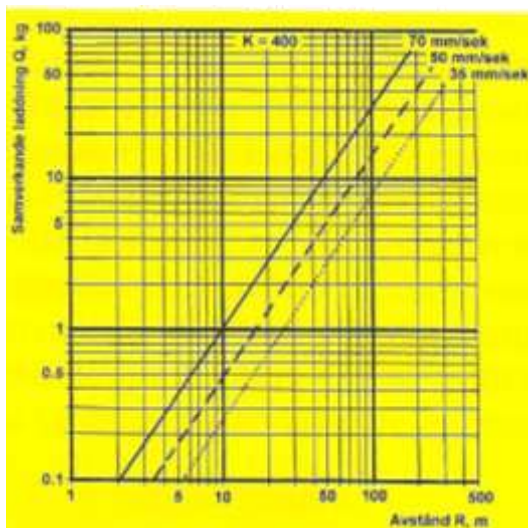
Vibrationshastighet för några typer av grundläggning (m/s)			Synligt resultat på byggnaden	Laddningsnivå $\frac{Q}{R^{3/2}}$
Sand, lera, grus	Morän, skiffer	Granit, gnejs		
9-13	18-35	35-70	Inget synbart	0,008-0,03
30	55	100	Små sprickor	0,06
40	80	150	Sprickbildning	0,12
60	115	225	Allvarlig sprickbildning	0,25

Vibrationshastigheten är också beroende på laddningens storlek och avståndet mellan laddning och mätpunkt enligt:

$$v = K \sqrt{\frac{Q}{R^{3/2}}}$$

där v = vibrationshastigheten (mm/s), K = överföringsfaktor, Q = momentant detonerande laddning (kg) och R = avståndet (m).

Överföringsfaktorn K beror på berget och brukar sättas till 400 i normal svensk granit. Det verkliga K -värdet bestäms vid provsprängning med vibrationsmätningar. Förhållandet mellan laddningsmängd, avstånd och vibrationshastighet visas i Figur 48. Observera att detta diagram gäller för $K = 400$.



Figur 48. Förhållandet laddningsmängd, avstånd och vibrationshastighet (Olofsson)

I Svensk Standard SS 460 48 66 finns en standard av riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader (SIS, 1991). Riktvärdena ska användas för bestämning av tillåtna vibrationsnivåer vid sprängningsarbeten. Dessa värden är baserade på omfattande erfarenheter av samband mellan vertikal svängningshastighet och konstaterade skador på byggnader uppförda på olika former av undergrund i Sverige. Riktvärdet på vibrationsnivån beräknas ur följande formel:

$$v = v_o \times F_k \times F_d \times F_t \quad \text{där}$$

v_o är en s.k. okorrigerad svängningshastighet i mm/s, F_k är en konstruktionsfaktor, F_d är en avståndsfaktor och F_t en verksamhetsfaktor som tar hänsyn till hur länge arbetet pågår.

Den okorrigerade svängningshastigheten är beroende på markförhållandena enligt Tabell 15.

Tabell 15. Svängningshastigheten i olika markförhållanden (SS 460 48 66)

Markförhållande	Svängningshastighet v_o (mm/s)
Lera, morän, sand	18
Morän, skiffer, mjuk kalksten	35
Granit, gnejs, kalksten	70

Vidare finns det för konstruktionsfaktorn en uppdelning i en byggnadsfaktor (F_b 0,5–1,7) och en materialfaktor (F_m 0,65–1,2) där byggnadsfaktorn varierar beroende på vilken typ av byggnad som avses och hur den är byggd anges genom materialfaktorn. Det är t.ex. stor skillnad på känsligheten om byggnaden består av trä eller av Mexitegel. Avståndsfaktorn ges av ett diagram där denna beror av avståndet och grundläggningen. Slutligen anges en verksamhetsfaktor där det normala värdet är 1. Denna faktor kan vid fasta anläggningar som bergtäkter och gruvor få ett värde på 0,75–1,0 beroende på hur ofta man spränger.

Mätning av vibrationer ska om möjligt ske där vibrationerna kommer in i byggnaden och mätenheten ska sättas fast i en bärande del av konstruktionen. Det finns olika typer av utrustning för vibrationsmätning. De flesta bygger på mätning med hjälp av geofoner som sätts fast på mätobjektet. Geofonen består i huvudsak av en fjäderupphängd vikt och en spole. När vikten rör sig i spolen alstras en elektrisk ström som är proportionell till rörelsens hastighet.

Mätvärden kan läsas av på plats i utrustningen eller överföras direkt efter sprängning via SMS och Internet till telefon och dator. Då får man, utan fördröjning, veta bergets förmåga att överföra vibrationer till känsliga omgivningar. På detta sätt får sprängaren uppdaterad information om vibrationer från senaste sprängsalva och han kan snabbt justera borrning och laddning innan nästa sprängning.



Figur 49. Exempel på en mätutrustning som monterats på en husgrund (Foto Nitro Consult)

Laddningsberäkningar

Vid försiktig sprängning måste hänsyn tas till uppkomna markvibrationer och detta görs praktiskt genom att försöka reducera den maximalt samverkande laddningsmängden. Detta kan ske genom att ändra tändplanen, reducera hålsättningen, använda delladdningar eller genom att dela salvan i ett antal mindre salvor.

Tändplanen

Sprängkapslar med pyroteknisk fördröjning

Sprängkapslar med pyroteknisk fördröjning, alltså samtliga sprängkapslar förutom elektroniska sprängkapslar och momentana sprängkapslar, har alltid en viss spridning trots samma nominella tändarnummer. Detta beror på att fördröjningssatsen inte har exakt samma brinntid trots samma tändarnummer. Endast ett visst antal av sprängkapslar med samma nummer kommer därför att detonera samtidigt och då bidra till en samverkande laddning. Antalet samverkande kapslar inom ett intervall brukar anges i form av en s.k. reduktionsfaktor. Denna faktor beror av markvibrationens frekvens.

För några av våra vanliga sprängkapslar och för homogent berg gäller följande praktiska samband, se Tabell 16. Uppgifterna om tändspridning fås från tillverkaren.

Tabell 16. Reduktionsfaktorer för sprängkapslar och intervallnummer (Bergutbildarna)

Sprängkapseltyp	Intervallnummer	Reduktionsfaktor
SP*/ MS	1-10	1/2
	11-20	1/3
Exel (Nonel)	U 500	1/2
LP/Tunnel	0-2	1/2
	3-5	1/3
	6-12	1/4
	12-60	1/6

* Short Period

För att belysa innebörden av samverkan ges följande exempel:

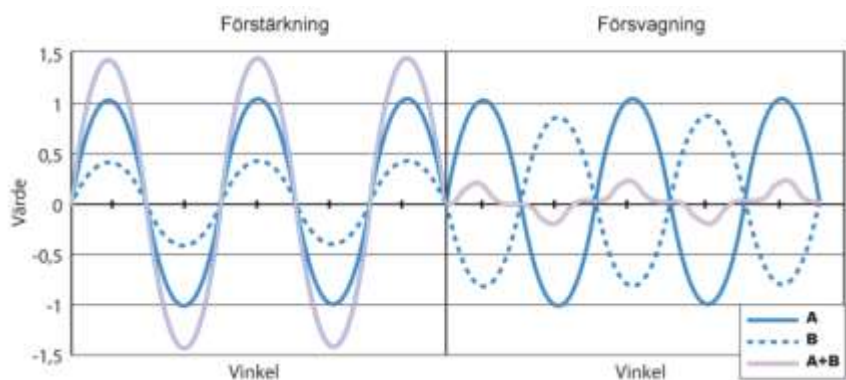
Antag att försiktig sprängning används för en pall med 4 m pallhöjd, borrhål med 38 mm, laddning/hål 3 kg med maximalt tillåten samverkande laddning på 6,5 kg. Utan hänsyn till reduktionsfaktorn är det möjligt att högst använda 2 borrhål ($2 \times 3 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$) med samma intervallnummer. Med reduktionsfaktorns inverkan kan t.ex. 4 st. MS 1-10 användas med samma intervall ty $4 \times 1/2 = 2$.

Om laddningsmängden är olika i hålen så räknar man med det mest ogynnsamma fallet, dvs. att hålen med de största laddningsmängderna samverkar. Vid sprängningsarbete mycket nära känsliga konstruktioner används inte reduktionsfaktorer utan då används verklig laddningsmängd per intervall.

Elektroniska sprängkapslar

Genom att använda elektroniska sprängkapslar kan vibrationerna reduceras. Detta beror på att dessa sprängkapslar har exakta intervalltider och därmed kan olika hål ges en specifik laddningstid vilket innebär att det är möjligt att undvika samverkande laddningar. Elektroniska sprängkapslar används därför i känsliga miljöer som t.ex. vid tunneldrivning i städer (Trafikverket, 2013).

Det är också möjligt att använda precisionen hos de elektroniska sprängkapslarna till att "släcka ut" vibrationssignalerna. Detta kan ske genom att man utnyttjar en interferens mellan vibrationsvågorna, se Figur 50.



Figur 50. Interferens med förstärkning och försvagning av vågor (Fomenko, Rudegran Asterdal, 2008)

Pallsprängning med reducerad hålsättning

Om den maximalt tillåtna samverkande laddningen blir mindre än som normalt krävs för själva sprängningen, så går det inte att minska laddningen med hjälp av tändplanen. En lösning kan då vara att minska håldimensionen och på så sätt reducera laddningsmängden, men det är oftast inte praktiskt möjligt. Ett vanligare sätt är då att göra en tätare borrhplan, men då ökar den specifika borrhningen och kostnaderna. Hur mycket man rent ekonomiskt kan öka den specifika borrhningen måste avgöras från fall till fall.

När en beräkning skall göras av en förtätad borrhplan så måste man först ta reda på den maximalt tillåtna samverkande laddningsmängden. Om avståndet och vibrationshastigheten är kända så kan den samverkande laddningen utläsas ur diagrammet som visas i Figur 48. Därefter fås den riktiga tillåtna vibrationshastigheten för aktuell grundläggning och konstruktion ur Tabell 14.

En minskning av den specifika laddningen ger en ökad risk för fastskjutningar och kan, om salvan går tungt, också ge upphov till ökade vibrationer. Det är rekommendabelt att utföra provsprängning med vibrationsmätning för att noggrannare kunna bestämma nödvändig laddningskoncentration.

Pallsprängning med delladdningar

I verkligheten är det ofta så att borrhningen redan är utförd och avslutad då hålen skall laddas. Det är då inte möjligt att använda sig av reducerad hålsättning. Vid laddning kan det då vara lämpligt att istället använda delladdningar. Delladdningarna i borrhålet avskiljs från varandra med proppar av sand eller grus, se Figur 51.

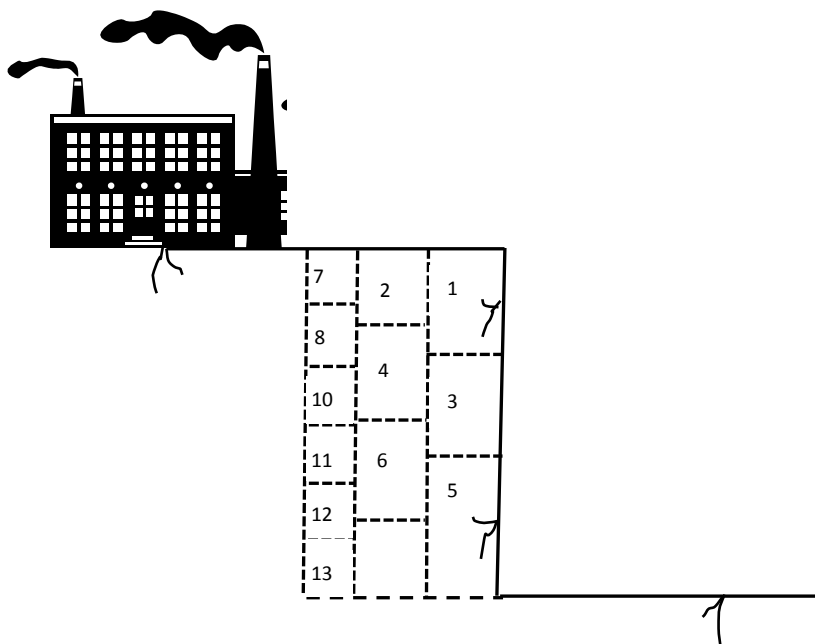


Figur 51. Uppdelning i delladdningar

Propparna skall förhindra att laddningarna, pga. s.k. överslag mellan laddningarna, detonerar samtidigt. Olika sprängämnen har olika överslagsförmåga och dess överslagsförmåga beror på proppmaterialet. Den övre delladdningen ska alltid initieras med ett lägre intervallnummer än den undre.

Pallsprängning med delade pallar

Ibland räcker det inte med att borra tätare eller använda delladdningar ty vibrationerna blir ändå för stora. Då kan det vara klokt att minska pallhöjden och ta ut volymen i ett antal delsteg/delpallar, se ett exempel i Figur 52.



Figur 52. Delpallar

Luftstötuvåg

Sprängning ger förutom markvibrationer ofta även upphov till en luftstötuvåg. Luftstötuvågen kan resultera i skador på byggnader och krossade fönsterrutor. Effekten av luftstötuvågen beror bl.a. på laddningsmängden och hur laddningen är innesluten. En fritt liggande laddning ger en kraftigare luftstötuvåg än en laddning i ett borrhål. Tryckvågen från en fritt hängande laddning beräknas ur följande formel:

$$P = K \times 700 \times \frac{Q^{1/3}}{R} \quad \text{där}$$

P är trycket i (millibar), K är en sprängämnesberoende konstant, Q är laddningsvikten (kg) och R är avståndet (m). Vid förladdning av hål så reduceras luftstötuvågen enligt:

$$T = P_{\max}(\text{förladdning}) / P_{\max}(\text{fri laddning})$$

Vid förladdning kan luftstötuvågen reduceras med upp till 85 %. Vid enbart avladdning reduceras luftstötuvågen med ca 50 %.

9. Speciella uttagsmetoder

Det finns, förutom de redan beskrivna berguttagsmetoderna, ytterligare ett antal metoder att sönderdela berg. Nedan beskrivs översiktligt sprängning av sten och skut, undervattenssprängning samt några metoder att sönderdela berg utan att spränga.

9.1. Sten och skut

Då man vill spränga sönder stenar och skut så kan det göras på två sätt. Antingen används borrar och sprängning eller så används pålaggladdningar. Båda metoderna innebär att man måste ta hänsyn till bergtyp, önskat styckefall, om stenen är friliggande eller delvis i jorden samt kastlängder och täckningsmaterial.

För mindre arbeten finns även små patronerade krutladdningar med tändare. Tyvärr har det hänt en del olyckor med de färdiga små laddningarna varför extra noggrannhet bör iakttas vid användning av dessa. För mindre arbeten finns även expanderande cement som hålls i borrhålen och som utvidgar vid härdning och krossar stenen.

Sönderdelning av stenar och skut med hjälp av en hydraulisk hammare är vanligt förekommande vid större bergarbeten.

Borrning och sprängning

Borrning och sprängning är den vanligaste metoden som används för att spränga stenar och skut. Stenstorleken och på vilket sätt stenen ligger, på marken eller delvis under marken, avgör hur stenen skall borraras och laddas. En större sten kräver oftast att många hål måste borraras.

För att spränga skut med 34 mm borrhål brukar man räkna med en specifik laddning på ca 50 g/m³ stenstorlek. Friliggande stenar brukar laddas med ca 60-100 g/m³ stenstorlek. Jordbundna stenar kräver en högre laddningskoncentration och beroende på jordtäcket så varierar laddningen mellan 100-200 g/m³ sten. För att avgöra tjockleken på den jordbundna stenen så är det klokt att borra igenom stenen och sedan fylla upp hålet till lämplig höjd innan laddning.

För sten- och skutsprängning gäller det att man inom tätbebyggt område måste täcka stenen ordentligt med mattor.

För sönderdelning av skut finns det också små patroner med en krutladdning som vid laddning förses med en speciell elektrisk sprängkapsel, se Figur 53. Efter placering i borrhålet fylls hålet med sand och därefter initieras laddningen. Speciell utbildning krävs samt tillstånd från polisen.



Figur 53. Krutpatroner för mindre sprängarbete (Foto Simplex)

Påläggsladdning

Denna metod får endast användas utanför tätbebyggt område då det finns stor risk för en besvärande luftstöt våg. Det behövs högre specifik laddning med påläggsladdning än för laddning i borrhål för att spräcka stenen. En friliggande sten kräver ca 1 kg/m³ sten. Ofta används också ett sprängämne med hög detonationshastighet. Vid användning av påläggsladdning är det mycket viktigt med täckning.

Mekanisk demolering

Sönderdelning av skut på arbetsplatsen sker nästan uteslutande med hjälp av knackning med hydraulisk hammare, se Figur 54. Skut från sprängsalvor kan på detta sätt behöva neddelas innan de kan matas till krossen.



Figur 54. Sönderdelning av skut med hydraulisk berghammare

9.2. Sprängning under vatten

Sprängning under vatten är mer komplicerat jämfört med vanlig sprängning. Både borrar och laddning innebär en lägre kapacitet och medför därför höga kostnader. De vanligaste metoderna är borrar och laddning från plattform, borrar och laddning med dykare, borrar och laddning genom fyllda bergmassor samt laddning och sprängning med riktad sprängverkan.

En vanlig metod som används vid borrar från plattform är den s.k. OD-metoden. Metoden innebär att man borrar fast ett stålrör genom jord och stenlagret och ner i berget. Den efterföljande borrarningen sker genom stålröret och när borrarningen är klar kan stålröret tas bort och ersättas av ett plaströr. Plaströret används därefter för att ladda hålet i berget.

Vid undervattenssprängning är det viktigt att få ett bra styckefall och att undvika att gaddar sticker upp ovanför den teoretiska botten. Den specifika laddningen brukar vara ca dubbelt så hög som vid normal pallsprängning dvs. här minst 1 kg/m³. Man brukar dessutom ytterligare kompensera för t.ex. vattentryck och ovanpåliggande jordmassor vilket kan innebära att den specifika laddningen blir ännu högre. Försättning och hålavstånd är emellertid ofta lika stora som vid normal sprängning.

De sprängämnen som används ska ha hög sprängstyrka och naturligtvis en god vattenbeständighet. Sprängämnet bör inte ligga under vatten alltför länge. Det är också viktigt att använda ett bra och pålitligt tändsystem och under vatten är stötvågskapslar lämpliga.

Det finns även speciella slagladdningar med riktad sprängverkan som kan användas för sprängning under vatten. Dessa laddningar bör endast användas vid större vattendjup än 2 m för att inte riskera kast och luftstötvåg.

9.3. Metoder utan sprängning

Det finns ett antal mekaniska metoder, mer eller mindre vanliga, som används för att undvika eller reducera sprängskador på slutlig kontur. Dessa metoder innebär att man på olika sätt skapar en slits som ska avskärma berget från skador som kan uppkomma vid sprängning.

Tätsöm

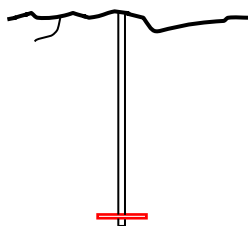
Borrar av tätsöm var tidigare en vanlig metod som innebar att hålen borrades så tätt att en slits bildades, se Figur 55. En speciell borrarutrustning behövs för detta som innebär att det borrarade hålet fungerar som styrning för nästa hål som skall borraras. Tekniken fungerar men kräver mycket borrar.



Figur 55. Tåtsöm

Slitsning

Tekniken bygger på att göra en slits antingen längs borrhålet eller/och i botten av borrhålen, se Figur 56 (Ouchterlony et.al, 2000). Slitsarna åstadkommes med hjälp av en blandning av vatten och fin sand som under högt tryck pressas ut genom ett speciellt munstycke i botten på borrsträngen. Slitsen kommer dels att styra sprickbildningen samtidigt som den medför att det behövliga borrhålstrycket kan reduceras. Tekniken fungerar men är tidskrävande.



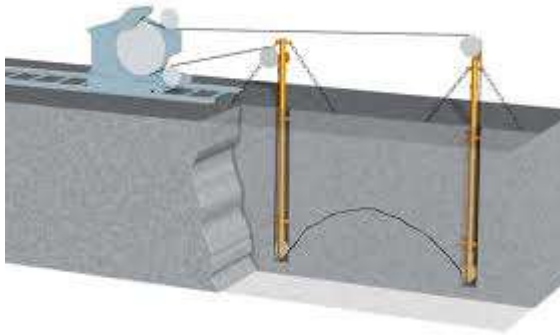
Figur 56. Bottenslits

Wiresågning

Wiresågning har blivit ett vanligt komplement till sprängning i känsliga miljöer. Tekniken innebär att en slits sågas som slutlig kontur. Berget framför den sågade slitsen kan därefter sprängas bort och kvar blir en mycket slät slutkontur.

Utrustningen består av en diamantbeklädd wire och ett motorpaket. Vid wiresågning borrar först ett antal hål som begränsar den yta som skall sågas bort. Därefter träs sågwiren genom borrhålen varefter wiren kopplas ihop till en slinga. Slingan kopplas till en motor som drar wireslingan genom berget, se Figur 57.

Metoden ger utan vibrationer en mycket slät yta och wiresågning används ofta vid höga krav på slutlig yta, vid känsliga passager och vid krav på låga vibrationer. Figur 58 visar några exempel på sågade ytor från E6 vid Liseberg i Göteborg och från Citybanan i Stockholm.



Figur 57. Wiresågning; principbild (Uppländska Berg)



Figur 58. Resultat av wiresågning (Foto DWTeknik och EDZ-Consulting)

Hydraulisk spräckning

Hydraulisk spräckning är ytterligare en metod som medför att berg kan sönderdelas utan sprängning. Metoden innebär att ett antal borrar och sedan stoppas expanderande celler ner i borrhålen. Dessa celler är anslutna till hydraulslangar som sedan kopplas till en hydraulpump. Vid pumpning expanderar cellerna och spräcker berget mellan borrhålen, se Figur 59.



Figur 59. Hydraulisk spräckning (Foto Emstone)

10. Problem vid sprängning

Bergsprängning är en effektiv metod att sönderdela berg men kan innebära en del problem på sprängplatsen och för närmaste omgivning. Några av de problem som kan uppstå finns listade i Tabell 4 och belyses nedan.

10.1. Skut

Med skut menas de större oönskade stenblock som kan uppstå vid sprängning och som är för stora för att passa efterföljande arbetsmoment. Skuten kommer oftast från den övre oladdade/förladdade delen av salvan. Skut kan också uppstå vid dålig borrhprecision då hålen hamnat för långt från varandra eller vid ogynnsam geologi. Skut kan också bildas vid bakåtbrytning. Figur 60 visar ett exempel på många stora skut från en bergtäkt.



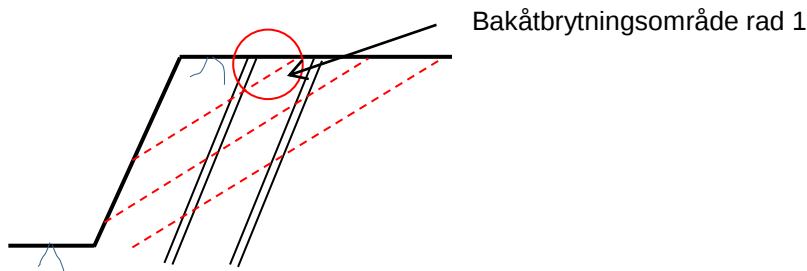
Figur 60. Exempel på skut från sprängning

Skuten ställer ofta till problem då de kräver extra åtgärder. Skuten kan sönderdelas genom att borra ett eller flera hål i stenblocken och därefter ladda och spränga stenblocken. Vid skutsprängning är det viktigt med täckning.

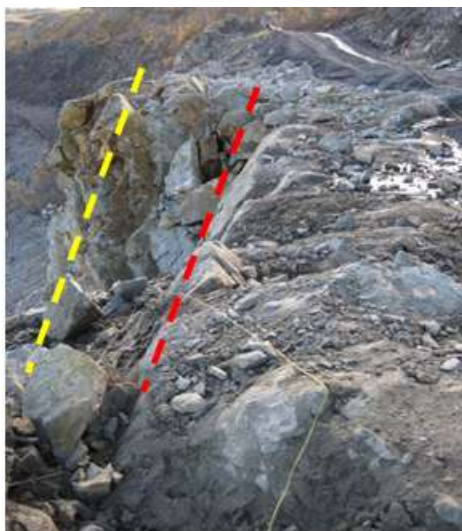
Det vanligaste sättet att sönderdela skuten är med hjälp av skutknackare. Skutbehandling är kostsam och därför är det viktigt att se till att skutmängden från sprängning kan minimeras.

10.2. Bakåtbrytning

Bakåtbrytning beror oftast på en ogynnsam geologi, dvs. påverkan av spricksystem bakom den sprängda raden, se Figur 61. Bakåtbrytning kan också uppstå till följd av en felaktig fördelning av sprängämnet i hålen eller vid en ogynnsam intervallfördelning, t.ex. för kort tid mellan raderna. Bakåtbrytning leder till överberg och skador på bakomvarande rad och bör därför i möjligaste mån undvikas. Figur 62 visar en kraftig bakåtbrytning orsakad av ogynnsam geologi.



Figur 61. Geologisk orsak till bakåtbrytning



Figur 62. Bakåtbrytning (planerad pallfront gulstreckad och verklig rödstreckad)

10.3. Överberg

Den bergmassa som är utanför teoretisk kontur men bryts loss i samband med sprängning brukar benämnas överberg. I ogynnsamma fall kan volymerna överberg bli stora och påverka projektets ekonomi till följd av hantering av bergmassor, förstärkningsåtgärder och ev. inlösen av mer mark.

10.4. Luftstöt våg

Inverkan av luftstöt vågen har tidigare beskrivits. De vanligaste orsakerna till luftstöt vågor är att hålen inte har avladdats eller att förladdningen är för kort eller av fel material. Detonerande stubin ger ofta upphov till luftstöt våg dels från hålen men också till följd av att den ligger fritt mellan hålen. Upptändning med detonerande stubin bör därför undvikas inom tätt bebyggda områden. Påläggsladdningar ska heller inte

användas inom bebyggt område. Inverkan av luftstöt vågen beror också på rådande vindar och lufttryck.

Luftstöt vågor brukar uppfattas som mycket störande och därför är det mycket viktigt att i god tid informera berörda om sprängningsarbetet.

10.5. Vibrationer

Se avsnitt Försiktig sprängning.

10.6. Buller

Människan uppfattar ett mycket stort ljudomfång och ljudtrycket vid smärtgränsen är ca 10 miljoner gånger starkare än det svagaste ljudet som vi kan uppfatta. Därför används en logaritmisk skala för ljudtrycket. Måtenheten för ljud är decibel (dB).

Vid beräkningar av buller är det viktigt att veta vilken frekvens ljudet har, hur ofta det förekommer och vilken varaktighet det är på ljudet. Utbredningen av ljudet påverkas dessutom också av vind och temperatur.

För att kunna bedöma buller är resultaten anpassade efter hur vi upplever ljud och detta kallas A-vägning och mäts i dB. Ljudnivåerna kan både beräknas och mätas. Nackdelen med mätningar är att värdet kan vara helt irrelevant beroende på när de görs och vindförhållandena vid mättillfället. Bullret från arbetsplatser kan t.ex. vara borrar, sprängning, skutknackning och transporter. Naturvårdsverket har upprättat en tabell för buller från byggarbetsplatser och Tabell 17 visar ett utdrag från denna tabell.

Tabell 17. Utdrag från Naturvårdsverkets ”Riktvärden för buller från byggarbetsplatser”(dBA)

Område	Helgfri mån-fred		Lör., sön-helgdagar		Samtliga dagar	
	07-19	19-22	07-19	19-22	22-07	22-07 Max ljudnivå
<i>Bostäder för permanent boende och fritidshus</i>						
Utomhus	60	50	50	45	45	70
Inomhus	45	35	35	30	30	45
<i>Arbetslokaler för tyst verksamhet</i>						
Utomhus	70	-	-	-	-	
Inomhus	45	-	-	-	-	

Som vanligt är det viktigt att informera kringboende. En bra information ger goda förutsättningar för en större tolerans mot störningar.

10.7. Kast

Det finns två typer av kast dels framkast av sprängsalvan men också önskat stenkast från sprängningen. Salvans framkast utgör sällan någon risk i sprängarbetet men kan naturligtvis orsaka problem om den misslyckas. Önskat stenkast från sprängningen kan vara mycket farligt och kasta iväg stenar mycket långt, se Figur 63.



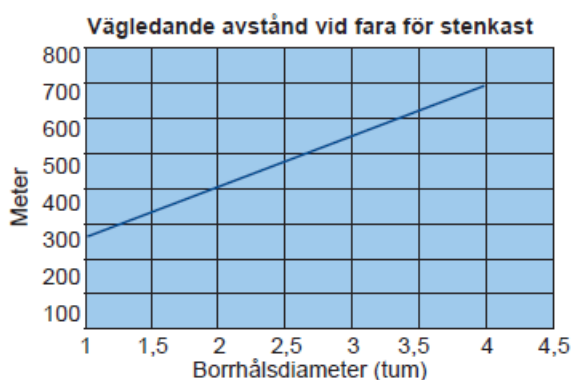
Figur 63. Kast från sprängning (Olofsson)

Kastrisken måste minimeras! Den första förutsättningen för att undvika kast är att borra hålen i rätt position och för detta behövs noggrannhet vid såväl påhugg som inriktning. Följande punkter är viktiga för att undvika kast:

- Rensa bergytan från lösa stenar
- Anpassa laddningen till de geologiska förutsättningarna
- Välj rätt laddningsmängd och intervallfördelning
- Förladdning av hål minskar kastrisken-använd ett bra förladdningsmaterial
- Var extra försiktig vid laddning av första raden
- Lämna en del sprängt berg framför stuffen ($1/3$ av pallhöjden)
- Täckning av salvan

Förutom att undvika ovan nämnda faktorer kan det också vara lämpligt att lämna en berghög framför salvan samt att täcka salvan

Kastlängden är beroende av borrhålsdimensionen enligt Figur 64.



Figur 64. Kastlängden som funktion av håldimensionen (Orica)

10.8. Täckning

Täckningen av en normal pallsalva går i första hand ut på att förhindra stenkast och då bör både tyngtäckning och splitterskyddande täckning användas. Tyngdtäckningen består oftast av sammanfogade tunga mattor av gummidäck hopvävda av wire. Tyngdtäckningen placeras närmast bergytan. Den splitterskyddande täckningen, som kan vara industrifilt, presenning el. dyl., läggs sedan ovanpå tyngdtäckningen.

Det är viktigt att sprängmattorna är helt rena från stenar innan de läggs på plats. Hanteringen av sprängmattor görs ofta med hjälp av en grävmaskin. Arbetet är förenat med risker som t.ex. halka och klämskador.

10.9. Gaser

När ett sprängämne detonerar bildas ca 1000 liter gasformiga produkter per kg och av detta utgör miljöskadliga ämnen ca 5-10 %. Av de toxiska spränggaserna stannar mindre än 10 % kvar i det lossprängda berget. Genom att vattenbegjuta det lossprängda berget kan den bildade gasen lösas i vattnet och därmed reducera gasmängden.

Spränggasernas sammansättning beror på typen av sprängämne men de vanligaste gaserna som bildas vid sprängning är koloxid, koldioxid och kväveoxider.

Kolmonoxid, CO, är en mycket giftig gas som är både smak- och luktlös. Giftigheten beror på att gasen har en betydligt starkare bindning till blodets hemoglobin än syre, vilket blockerar syretransporten till kroppens vävnader och syrebrist uppstår i cellerna. Symtom vid lindrig påverkan är yrsel, huvudvärk och illamående.

Koldioxid, CO₂, är en luktfri gas som är tyngre än luft och därför samlas i lågpunkter. Gasen är kvävande vid inandning då den undantränger luftens syre. Gasen orsakar även i låga halter en snabb cirkulationssvikt.

Kväveoxid, NO, är en giftig gas som bildas vid förbränning och lätt oxiderar till kvävedioxid, NO₂, som är en giftig gas med starkt stickande lukt. Kvävedioxid verkar irriterande på luft-vägarna och gasen kan orsaka skador på lungorna. Vid mycket höga halter är gasen direkt dödlig.

Vid sprängning under jord måste området ventileras ordentligt innan arbetet kan fortsätta.

10.10. Markföroreningar

Kväverester från sprängning kan uppkomma dels vid själva laddningen som spill, se Figur 65, och dels vid själva sprängningen om inte alla hålen detonerar. Spill från emulsionssprängämnen kan ligga kvar mycket länge och läcka kväve pga. att detta sprängämne inte löses upp av vatten.

De flesta sprängämnen består av ammoniumnitrater och därför är kväveföreningar det vanligaste utsläppet vid sprängning. Det mesta av kvävet som produceras vid sprängning avgår som kvävgas N₂ till atmosfären. Kväveutsläpp till vatten sker främst som nitrat-eller ammoniumjoner samt som ammoniak och följer med sprängstensmassorna vid utlastning. De utlastade bergmassorna deponeras därefter någonstans och berghögarna kan ligga och läcka kväve till recipienten under en längre tid. Man uppskattar att utsläppen från sprängningsarbeten årligen är ca 800 ton/år i Sverige

vilket emellertid endast är ca 1 % av det totala kväveutsläppet. Jordbruket står för den största delen av kväveutsläppen (Tilly et.al, 2006 samt Moulodi & Thorsell, 2010).



Figur 65. Spill från strängemulsionsladdning av tunnelsalva

10.11. Dolor och odetonerat sprängämne i berghögen

Ett odetonerat sprängämne i borrhål eller i det lössprängda berget brukar kallas för dola. Det är tyvärr ett inte ovanligt problem vid bergsprängning. Anledningen till dolor kan vara många. Exempelvis kan sprängämnet skadats av fukt, sprängkapseln kan ha skiljts från sprängämnet under laddarbetet, sprängämnet kan vara känsligt för avbrott vilket leder till att detonationen stannar. En annan vanlig orsak till dolor är tändspridningen hos sprängkapslarna. Tändspridningen kan också orsaka att laddningen i grannhålet förskjuts eller rycks ut ur hålet, s.k. ryckare.

Dolor ligger ofta dolda i bergmassorna efter sprängningen. Flera allvarliga explosioner har inträffat när grävarens skopa slagit emot odetonerat sprängämne. Påborrning av kvarglömd dola har orsakat många allvarliga olyckor. Dolor utgör alltid en fara för oavsiktlig detonation under det efterföljande arbetet med lastning, rensning (med maskin) och borrrning. Alla ojämnheter i sulan och andra kvarvarande partier efter sprängning bör undersökas. Upptäcks en dola är det viktigt att man är försiktig och kontaktar ansvarig personal. Dolan skall märkas ut på platsen och oskadliggöras av behörig person. Vid varje sprängningsarbete bör hantering av dolor inkluderas i instruktioner och rutiner.

Det är mycket viktigt att alla som arbetar där sprängning utförs får utbildning och information om sprängämnena och olycksrisker.

Vid byggandet av Botniabanan detonerade 60 dolor under två år i samband med utlastning, sönderknackning av sprängt berg med hydraulhammare eller under krossning (Byggnadsarbetaren, 2006). Två tredjedelar av dolorna orsakades av detonerande stubin, så kallad pentylstubin, enligt arbetsmiljöverket. Olyckor och tillbud skall rapporteras in till Arbetsmiljöverket.

11. Miljö och kvalitet vid sprängningsarbeten

Det är många viktiga miljö- och kvalitetsaspekter att ta hänsyn till vid ett sprängarbete. En noggrann planering av arbetet krävs. Det är också viktigt att informera berörda i närområdet om projektet, arbetstider och sprängtider. Genom en god information undviks mycket besvär.

Det är viktigt att:

- hålla överenskomna tider för bullrande verksamhet
- använda miljövänliga produkter (Miljöbalken)
- hålla arbetsplatsen städad
- ljuddämpa borrhjulen i känsliga miljöer
- göra en noggrann avtäckning av berget (myndighetskrav)
- ta bort lösa stenar på berget innan sprängning
- blåsa hålen innan laddning
- föra sprängjournal
- skaka ur sprängmattorna innan de läggs på
- undvika spill vid laddning med bulksprängämnen
- lägga på splitterduk vid känsliga miljöer
- samla ihop tomma förpackningar och ledningsmaterial

12. Myndigheternas föreskrifter

Innehållet i detta kapitel beskriver kortfattat några viktiga punkter från Arbetsmiljöverkets föreskrifter om sprängarbete (AFS 2007:1).

12.1. Riskbedömning och sprängplan

3§ Sprängarbete skall riskbedömmas, planeras och utföras så att arbetsskada på grund av sprängningen förebyggs. En plan över hur sprängarbetet skall utföras (sprängplan) skall upprättas för varje sprängobjekt innan sprängarbetet utförs

12.2. Personal

4§ Vid allt sprängarbete skall en sprängbas utses.

7§ Arbetsgivaren skall förvissa sig om att sprängbasen har och vidmakthåller den kunskap och erfarenhet som behövs för att utföra arbetet på ett säkert sätt.

12.3. Laddarbete

9§ Sprängarbetsplats skall när arbetet så kräver ha tillräcklig och lämplig ordnad belysning.

10§ Laddarbetet skall utföras så att risken för oavsiktlig initiering minimeras.

11§ Laddarbete i närheten av pågående borrning skall undvikas.

13§ Oavsiktlig initiering av elsprängkapsel genom överledning, induktion, eller högfrekvent icke-joniserande strålning skall förebyggas.

16§ Blåsrör och andra rensverktyg som används i borrhål innehållande sprängmedel skall vara utförda så att oavsiktlig tändning genom gnistbildning inte uppstår.

17§ Förladdningar och avskiljande propp mellan laddningar i borrhål skall bestå av sådant material och vara utförda så att sprängmedlen vid behov kan bli åtkomliga.

18§ Laddarbete skall utföras på sådant sätt att risken för dolor minimeras.

12.4. Laddutrustningar för ANFO-och emulsionssprängämnen

19§ Laddapparat och anordning för beredning av ANFO-sprängämne vid förbrukningsställe får användas eller avlämnas för att tas i bruk endast om de är typkontrollerade.

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

12.5. Initiering av sprängsalvor

22§ Vid initiering skall sådan metod användas så att laddningen detonerar omedelbart eller snarast efter initiering. Annan tändmetod får dock användas om man kan säkerhetsställa att ingen kommer in i det farliga området i tidsintervallet mellan initiering och detonation.

12.6. Utrustning för initiering av sprängsalvor

29§ Tändapparaten kapacitet skall vara anpassad till sprängsalvens tändströms-och energibehov. Elsprängkapslar i samma salva skall ha samma elektriska tändkänslighet, dvs. samma värde på tändpuls, tändström och serietändström.

12.7. Detonerande stubin

33§ Detonerande stubin får vid ort-eller tunnelsprängning inte ha större laddningsvikt än 20 gram sprängämne per meter stubin.

12.8. Täckning

36§ Om stenkastning kan medföra skada skall sprängobjektet täckas. Täckningen skall ha tillräcklig utbredning och vikt. Den skall placeras med hänsyn till bergkontur, bergets sprickighet och till salvans planerade utslagsriktning.

12.9. Utrymning, bevakning och initiering

37§ På en sprängplats skall det finnas regler för utrymning, bevakning och initiering av sprängsalvan. Varning om förestående sprängning skall ges till alla som kan komma att beröras av sprängningen.

Sprängning ovan jord bör planeras så att skottlossning sker vid dagsljus och att siktförhållandena medger betryggande kontroll av farligt område. Ett vanligt sätt att kontrollera farligt område är att ha bevakare runt området. Bevakare, försedd med röd flagga, har till uppgift att:

- varna den som närmar sig området för att gå in i detta samt*
- hindra att laddning tänds när någon kommit in på området efter att varningssignal avgivits*
- upprepa av sprängarbaser avgivna varningsrop*

12.10. Återvändande till sprängplats

39§ Sprängplats får sedan sprängsalvan initierats inte beträdas så länge det finns risk för personskada genom försenad detonation, farliga gaser eller stenfall.

13. Designmetoder

Det finns huvudsakligen två sorters ”hjälpmedel” som används för att designa borrh- och laddplaner. Det vanligaste hjälpmedlet är att ta hjälp av handböcker, men det finns även olika typer av datorprogram för bergsprängning.

13.1. Handböcker

I handböcker av t.ex. Stig Olofsson (Olofsson, 2007), Rune Gustafsson (Gustafsson, 1973) och (Langefors & Kihlström, 1973) beskrivs olika beräkningsformler för bergsprängning. Langefors & Kihlström var pionjärer och de lyckades överföra tillämpad, men inte väl dokumenterad bergsprängning, till en vetenskaplig syn på bergsprängning. Deras arbeten banade sedan väg för användbara praktiska regler inom bergsprängning. Några exempel på hur dessa regler används hittas bl.a. i kapitel Pallsprängning samt i Appendix 1. Beräkningarna brukar utgå från några geometriska faktorer som håldiameter, pallhöjd, pallbredd samt hållutning och bergkonstanten. Från detta kan sedan försättning och hålavstånd beräknas och därefter andra nödvändiga faktorer som bottenladdning, pipladdning, specifik borrhning och specifik laddning.

Ett annat sätt att tillgodogöra sig beräkningsgångar ges vid olika kurser t.ex. hos Bergutbildarna och hos Orica. Materialet i kurserna följer i stort vad som beskrivs i handböcker men kan vara uppbyggda på ett mer överskådligt sätt.

13.2. Datorprogram

Det finns på marknaden ett antal mer eller mindre avancerade datorprogram för bergsprängning. De flesta av dessa program är inte på svenska. Det enklaste programmen kan mest betraktas som ”räknesnurror”, dvs. man har använt t.ex. Excel och här lagt in de kända formelnerna för beräkning av pallsprängning. Detta ger en snabb uträkning för att kunna jämföra hur olika variabler påverkar t.ex. den specifika laddningen.

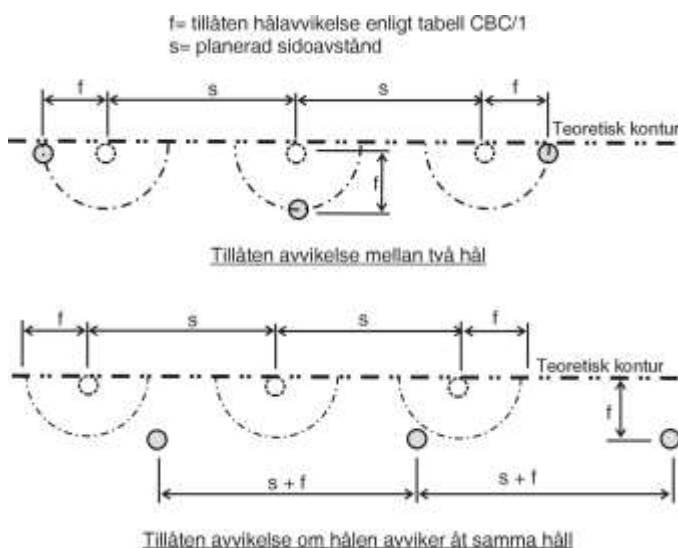
Idag finns det online program där alla aktörer på ett enkelt sätt kan planlägga och dokumentera ett sprängarbete. Online programmen kan t.ex. innehålla sprängplaner, beräkningar för vibrationsnivåer, lagerstatus, ekonomiska rapporter etc.

14. Krav och Kontrollmetoder

I AMA och Trafikverkets egen TRV-AMA finns material- och arbetsbeskrivningar för anläggningsarbeten. Det finns t.ex. beskrivet hur pålning skall utföras och hur resultatet av arbetet skall kontrolleras. För bergguttar finns det också beskrivet hur arbetet skall utföras men däremot saknas det oftast beskrivning på hur arbetet skall kontrolleras.

14.1. Borring

I AMA-10 står: "Konturhåls avvikelse får i hålbotten vara högst 0,3 m". Det finns vidare angivet hur borrhålsavvikelse definieras, se Figur 66, och krav på teoretisk bergkonturs utbredning för öppen sprängning, se Tabell 18.



Figur 66. Definition på borrhålsavvikelse (AMA-10 Figur CBC/1)

Tabell 18. Bergschaktningsklass och teoretisk bergkonturs utbredning för öppen sprängning

Bergschaktningsklass	Största tillåtna mått för schaktad bergkontur i förhållande till teoretisk bergkontur	
	Släntvägg	Botten
1	0,1 m	0,3 m
2	0,3 m	0,4 m
3	0,6 m	0,7 m
4	0,8 m	1,0 m
5	Schaktad bergkontur ska ligga utanför teoretisk bergkontur	

14.2. Hålrakhet och hjälpmedel

En modern borrarutrustning är ofta utrustad med avancerade hjälpmedel för inställning av startposition och riktning. Borrarutrustningen på moderna riggar är ofta försedd med GPS för navigering. En avläsning av riktningen på borrarstålet görs efter borrarningen påbörjats och utrustningen extrapolerar därefter fram slutläget för hålet.

Startpositionen kan även kontrolleras genom inmätning med t.ex. totalstation. Arbetsmiljöverket ställer sedan 2003-09-01 krav på inmätning av salvhålen i de två första raderna vid ovanjordspallar över 10m.

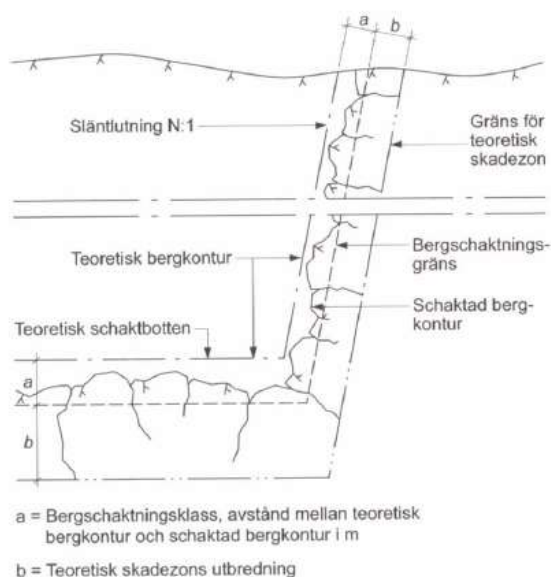
Det finns ett flertal metoder och tillverkare som levererar utrustning för att mäta hålets krökning. Det finns enkla metoder allt från en lampa som sänks ner i hålet till mer avancerade som t.ex. gyron där den sistnämnda metoden har en mycket hög precision.

14.3. Laddning, sprängning och slutkontur

Kraven på slutkontur och den teoretiska skadezonen för bergschaktningsklasserna finns angivet i AMA-10, se Tabell 19 och Figur 67.

Tabell 19. Bergschaktningsklasser och teoretisk skadezons utbredning (AMA-10 Tabell CBC/2)

Bergschaktningsklass	Största tillåtna mått för schaktad bergkontur i förhållande till teoretisk bergkontur enligt figur CBC/2	
	Slänt/vägg	Botten
1	0,2 m	0,5 m
2	0,3 m	0,7 m
3	0,5 m	1,1 m
4	1,0 m	1,7 m
5	Schaktad bergkontur ska ligga utanför teoretisk bergkontur	



Figur 67. Definition av några begrepp (AMA-10 Figur CBC/2)

Det är viktigt att såväl krav som kontroll av kraven är noggrant definierade. Avsaknad av entydig definition på skadezon gör inte bilden enklare. Tabeller som CBC/2 kan vara svåra för både beställare entreprenörer. Tabeller som visar maximal laddningskoncentration, är inte bra då de inte tar hänsyn till frikopplingens stora effekt, se kapitel Skadezoner.

I AMA 10 CBC.111 står: *"Konturhål ska sprängas med lågbrisant sprängämne med detonationshastighet högst 4000 m/s. Laddningsmängd i konturhål ska vara högst 0,45 kg/m² släntyta i 51 mm borrhål och högst 0,50 kg/m² släntyta i 64 mm borrhål."* **Detta är felaktigt då det för det första exkluderar sprängämnena med VOD > 4000 m/s (t.ex. detonerande stubin och emulsioner) och för det andra definierar maximal laddningsmängd i kg/m² (tar inte hänsyn till frikoppling).**

Krav på skadezoner i berget finns men **det saknas f.n. kontrollplaner för skador i bergkonturen**. Att enbart räkna antalet synliga halvpipor som kvalitetsbevis på sprängresultatet är inte tillräckligt.

Vidare ska utförda mätningar av vibrationer, luftstöt vågor, buller och damm fortlöpande redovisas för beställaren. Vid överskridande av gränsvärden ska beställaren omgående informeras. Kontroll av att samtliga hål detonerar går att göra men kan vara komplicerat. Det finns dock inget krav på detta.

14.4. Fragmentering

Kontroll av styckefallet går att göra t.ex. genom utnyttjande av bildanalys. Det finns dock inget krav på styckefall i AMA.

14.5. Personal och utbildning

Det finns inte så många krav beskrivna vad gäller personal och personals utbildning för bergarbeten.

I AFS Berg och Gruvarbete 2010:1 står i 5§ *"Berg-och gruvarbete ska vid projektering och utförande tidsplaneras så att allt sådant arbete kan utföras på ett omsorgsfullt och säkert sätt."* Vidare står det: *"...arbetstempot har ofta visat sig vara alltför högt uppdrivet på grund av snäva byggtider och organisatoriska brister. Detta medför ökat risktagande och ökad psykosocial ohälsa"*.

I AFS 6§ står vidare: *"De som arbetar skall ha tillräckliga kunskaper om utrymning, farligt område, lokala regler och andra förhållanden på arbetsstället för att kunna undvika ohälsa och olycksfall"*.

Arbetsmiljöverket ställer krav på att det ska finnas en sprängarbete som ska se till att arbetet utförs yrkesmässigt. Sprängarbete ska ha dokumenterad teoretisk kunskap om sprängning samt minst ett års praktik från sprängarbete.

Det ställs också speciella krav på t.ex. sprängämnesföreståndare och för att självständigt kunna utföra arbeten.

Det är önskvärt att beställaren ställer krav på borrh- och laddkompetent personal. Utbildning som ger borrh- och ladd/sprängkort finns hos ackrediterade utbildningsföretag.

14.6. Sprängplan och sprängjournal

I AMA-10 CBC står följande om sprängplan:

”Entreprenören ska lämna sprängplan före sprängningsarbete. Sprängplan ska innehålla uppgift om:

- *håldimension*
- *hålsättning*
- *håldjup*
- *sprängämnessorter och dimensioner*
- *laddningskoncentrationer*
- *laddningsmängd per hål*
- *beräknad största samverkande laddning*
- *tändartyp*
- *tändplan och intervallnummer*
- *stickmått där så erfordras*

Justering av sprängplan ska, sedan erfarenhet vunnits beträffande schaktningsresultat, vid behov göras efter samråd med beställaren”.

Vidare står följande om sprängjournal:

”Underlag för sprängjournal ska vara nedtecknad innan salva avlossas. Sprängjournal ska innehålla:

- *salvnummer med tidpunkt för sprängning*
- *antal hål och hålrader i salvan*
- *största och minsta håldjup*
- *total samverkande laddningsmängd*
- *salvans läge*
- *kortaste avstånd mellan salva och mätpunkt*
- *mätvärden från vibrationsmätare*
- *avvikelser från borrh- och laddplan”*

14.7. Sprängning intill nygjuten betong

I AMA CBC står:

”Sprängning intill nyuppförd betongkonstruktion (yngre än 28 dygn) ska utföras med beaktande av betongens hållfasthetstillväxt och avståndet med riktvärden för maximal svängningshastighet beräknade enligt SS 4604866 och betongens härdning”.

15. Myndigheternas tillstånd

15.1. Hantering och lagring

Alla explosiva varor ska godkännas, vissa inom EU genom CE-märkning och övriga inom Sverige, genom beslut av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB. I föreskriften MSBFS 2010:4 anges vilka brandfarliga och explosiva varor som omfattas av lagstiftningen.

Tillstånd

All hantering kräver tillstånd, i vissa fall av kommunen, i andra fall av MSB. Från och med 1 sep 2010 är det kommunerna och inte polisen som ska ge tillstånd till förvärv, förvaring, handel och överföring inom Sverige av explosiva varor. Vissa kommuner har överlåtit detta till brandkåren inom kommunen.

Förvärv och innehav

1. Vid köp av explosiv vara och förbrukning direkt behövs inget tillstånd till förvaring
2. Vid köp av varor och förvaring i förråd för framtida användning behövs ett tillstånd till förvaring

Förvaring

Tillstånd behövs för eget förråd att lagra egen eller annans explosiva varor.

Enligt kraven skall ”*Explosiva varor ska vara skyddade mot tillgrepp och mot omedelbar brandpåverkan utifrån. Dessa två skydd är skalskydd men varorna behöver inte vara skyddade i gemensamt skal. Man får skydda de explosiva varorna mot dessa faror i skal innanför varandra om man vill. Ett skåp som uppfyller tillgreppsskyddet får t.ex. ställas i ett rum som uppfyller brandskyddet. Förrådet omfattar då de explosiva varorna, skåpet och det brandskyddande rummet*”.

Överföring

Ett överföringstillstånd krävs för vissa typer av explosiva varor och överföring av varorna från säljare till förråd eller direkt till arbetsplats.

Godkännande av föreståndare

Föreståndare för explosiva varor ska utses av tillståndshavaren och godkännas av kommunen.

Transport

Transporter regleras genom s.k. undantagen mängd och värdeberäknad mängd. Regler för detta kan hittas i ADR föreskrifter om transport av farligt gods.

Tillstånd för sprängning och stenspräckning

Polisen utfärdar tillstånd för sprängning och stenspräckning. Ansökan för detta finns hos polisen.

16. Sprängekonomi

Vid ett bergprojekt är det många faktorer som påverkar den totala ekonomin. Ofta stirrar man sig blind på enbart borrhnings- och sprängningskostnaden och försöker minimera dessa kostnader. Då är risken stor att det i stället blir kostnadsökningar någonstans i de efterföljande leden.

Styckefallet är en av de viktigaste faktorerna som påverkar de efterföljande momenten i bergprojektet. Om styckefallet blir bra så reduceras kostnaden för lastning, transport och krossning. En grövre håldimension ger minskade borrhnings och sprängningskostnader men kan ge mer svårlastade berghögar och en högre skutandel. Å andra sidan väljs ofta en grövre håldimension för att kunna borra längre och rakare hål. Vid höga pallar bör en kompensation göras för hålavvikelse i form av en något tätare borrhplan vilket ökar borrhnings- och sprängningskostnaden.

Det är mycket viktigt att få ett bra flöde i hela processen och oftast är det krossningen som är flaskhalsen. Mobilkrossarna blir allt effektivare men är fortfarande känsliga för skut.

Kvalitet på berguttaget betalar sig! Skonsam sprängning av slutkontur är dyrare än normal sprängning till följd av en tätare hålsättning, dyrare sprängämne och dyrare sprängkapslar (elektroniska sprängkapslar) men betalar sig då förstärkningskostnaden och underhållskostnaden kraftigt reduceras.

Det är viktigt att ta hänsyn till de geologiska förhållandena vid bergsprängning. Att göra slänterna flackare eller att utnyttja befintliga slag och strukturer medför en breddning av uttagsområdet och ökade kostnader för markinlösen men reducerade kostnader för långsiktigt underhåll av vägskärningarna.

17. Utformning av bergskärningar

Den sprängda bergskärningen är ett permanent inslag i vägutrymmet som är svår att förändra med enkla medel, se Figur 68. Det är mycket viktigt att man ingående beskriver och planerar hur bergschakten skall gå till för att få en stabil, trafiksäker och estetiskt tilltalande slänt. Vilken typ av bergart, dess struktur samt sprickornas frekvens och orientering är de viktigaste parametrarna som skall vägas in för val av släntlutning och bergschaktningsmetod. Vad som är en estetisk tilltalande slänt är mycket subjektivt och är beroende av vem man frågar, men att slänten i största möjliga mån skall anpassas till landskapet är nog de flesta överens om. I detta kapitel skall vi försöka beskriva effekterna av olika i bergschaktningsmetoder och genom bilder visa på goda och dåliga exempel från svenska infrastrukturprojekt samt ge förslag på utformning av skärningar beroende på de geologiska förutsättningarna.



Figur 68. Denna skärning hade omfattande storstabilitetsproblem som man inte tog hänsyn till i byggskedet. Denna åtgärdades efter trafiköppnande på grund av att man fick ett ras i skärningen, och då utnyttjades de branta befintliga slagen istället, vilket resulterat i en stabil slänt. Att göra sådant i efterhand är dock mycket kostsamt och skall i största möjliga mån undvikas.

17.1. Släntutformning utifrån storstabilitet i bergskärningar

Valet av släntlutning tas oftast i vägplaneskedet för att kunna fastställa vägområdet. Därför är det viktigt att de berggrundsgeologiska undersökningarna sker tidigt i projektet så man kan ta ett korrekt beslut. Ur kostnads- och trafiksäkerhetssynpunkt är orienteringen av bergets storskaliga strukturer det som påverkar släntutformningen mest. Har berget storskaliga strukturer som lutar mer än 25-35 grader ut mot den tänkta vägen kommer kostnaden för bergförstärkningsåtgärder öka dramatiskt ju brantare

skärningen ställs. Om omständigheterna är sådana att skärningen måste ställas brant måste kostnaderna för bergförstärkningen beskrivas i handlingarna så att detta inte kommer som ändrings- och tilläggsarbeten i entreprenadskedet. Dessa kostnader är tyvärr sådant som oftast missas när projektbudgeten sätts i tidiga skeden. I Figur 69 visas ett exempel på detta.



Figur 69. Denna skärning projekterades 5:1. Bilden visar att naturliga slagen i berget stupar ca 1:1. Konsekvensen att välja 5:1 slänt blev en dyr bergförstärkning med förspända stag som inte fanns upptaget i handlingarna.

17.2. Släntutformning genom att utnyttja slag i berget – Naturlika bergskärningar

Genom att utnyttja de befintliga spricksystemen i berget kan man skapa stabila och estetisk tilltalande bergskärningar. Naturlika bergskärningar är ett uttryck som oftast används i projekteringen. För att skapa en naturlig skärning måste de geologiska förutsättningarna finnas i form av rätt bergart och lämpliga sprickriktningar. Generellt har graniter bäst förutsättningar att skapa naturlika skärningar, då dessa lokalt uppvisar ett relativt kontinuerligt sprickmönster. I gnejser, som är den andra mest förekommande bergarten i Sverige, kan dessa lämpa sig mycket bra om förskiffringsplanen stupar brant mot den tänkta väglinjen, se Figur 70. Vad som är viktigt att tänka på är att om en dubbelsidig skärning skall projekteras och byggas måste den skärningen som blir mot förskiffringen kontursprängas annars blir resultatet en taggig söndersprängd slänt, se Figur 71.



Figur 70. Här har den befintliga förskiffringen i berget utnyttjats på ett mycket bra sätt. Ett visst bultbehov kan dock finnas här för att säkra upp mindre block.



Figur 71. Så här kan resultatet bli om man utför en dubbelsidig bergskärning i en gnejs med tydlig förskiffring.

I bygghandlingen måste berggrunden beskrivas på ett mer ingående sätt och dessutom måste en utförandebeskrivning för entreprenören finnas om hur bergschaktningsarbetena skall gå till så att han kan beräkna kostnaderna för arbetet. För att resultatet skall bli bra är det trots allt viktigast att det finns en bra dialog mellan beställare och sprängentreprenör. En annan viktig parameter att ha med sig är ett tillräckligt stort vägområde så det finns utrymme för variation i släntkrönens placering. När man ska utföra naturlika bergskärningar är det också viktigt att ha ett tillräckligt avstånd mellan släntfot och belagd kant så att risken för att nedfallande block som kan komma ut på vägen omöjliggörs. Det är beklagligt om en naturlig skärning skulle

behövas säkras med bergnät för att klara trafiksäkerheten. Här nedan följer några exempel från E6 i Bohuslän där man i handlingen hade beskrivit hur bergschaktningsarbetena skulle utföras.

Utdrag ur teknisk beskrivning för etappen Tanumshede - Knäm:

BERGTEKNIK

Berggrunden utefter aktuell etapp domineras helt av en massformig granit som huvudsakligen spricker upp utefter horisontella/flacka och vertikala/brant stående sprickor. Med denna typ av uppsprickning har berggrunden en god storstabilitet.

Bergskärningarnas släntlutning kan ställas brant. Lösa block och skivor rensas/sprängs bort eller stabiliseras med selektiv bultning.

Naturlika slänter

Enligt projektets gestaltungsprogram skall exponerade bergskärningar i möjligaste mån utföras naturligt. I de naturligt utformade skärningarna eftersträvas att bergets naturliga spricksystem utnyttjas vid bergutfallet och att märken från borripipor i släntväggar undviks.

Planerad bergskärning, höger sida, vid Prässe-Säm ca km 3/650-3/880 har bedömts lämpligt att tas ut på ett "naturligt" sätt.

Släntkonturen tas fram genom att bergmaterialet mellan närmsta kanthålsrad och slutlig släntkontur i huvudsak på mekanisk väg tas loss utefter de naturliga slag/sprickplan som finns i berget. På detta sätt kan en stabil slänt skapas med ett släntutseende som skall påminna om de naturliga bergsbranterna i det omgivande landskapet

Efter avtäckning skall entreprenören i god tid innan sprängning kalla beställarens bergsakkunnige och landskapsarkitekt för besiktning och kartering av den avtäckta bergytan. Lämpliga sprickor märks upp och tillsammans med entreprenören tas beslut om utförandet av "naturlik släntyta" är möjlig. I detta skede avgörs också på vilket avstånd från teoretisk släntkontur som närmsta kanthålsraden skall borras.

Efter att närmsta kanthålsraden är sprängd kallar entreprenören beställarens bergsakkunnige och landskapsarkitekt till ny besiktning och kartering av vilka sprickplan som är lämpliga att ta ut berget efter.

Resultatet, som kan ses i Figur 72 och Figur 73, blev mycket lyckat då förutsättningarna var optimala. I en annan slänt på samma etapp blev utfallet helt annorlunda, se Figur 74, beroende på att det inte fanns kontinuerliga vertikala sprickplan att följa.



Figur 72. Översiktsbild av den färdiga slänten i Sämbacken, E6, etappen Tanumshede-Knäml.



Figur 73. Södra delen av skärningen i Sämbacken.



Figur 74. På denna del av sträckan fanns inga kontinuerliga vertikala sprickplan att följa, vilket resulterade i en mer orolig slänt. För att undvika att framtida nedfallande block kan komma ut på vägen finns en horisontell hylla vid släntfot som omöjliggör detta.

Bilderna visar ett mycket lyckat resultat som beror på rätta geologiska förutsättningar och ett bra samarbete mellan beställare och entreprenör. Om samarbetet är dåligt och det i handlingarna inte står beskrivet hur den naturlika slänten skall tas fram kan resultatet bli som i nedanstående fall, se Figur 75 och Figur 76. Här har man skjutit med endast livhållssprängning vilket resulterat i en kraftig bakåtbrytning genom eventuella befintliga slag i berget. Resultatet har blivit en söndersprängd slänt med ett stort underhållproblem.



Figur 75. En "naturlik" bergskärning med mindre lyckat resultat.



Figur 76. För att undvika att blocken trillar ut på vägen har man grävt ett dike i släntfoten. Hur länge dröjer det innan diket är fullt?

I detta fall var varken geologin eller utförandet på sprängarbetena optimala. I en liknande bergmassa på en angränsande väg utfördes traditionell kontursprängning med väldigt lyckat resultat, se Figur 77.



Figur 77. Kontursprängning i motsvarande bergart som i Figur 75-76, med ett bättre resultat.

18. Appendix 1 Beräkningsexempel

Förutsättningar

En vägsränning ska sprängas. Berget är en homogen granit. Beräkningsexemplet avser en delsträcka på vägsränningen med följande data:

Pallhöjd: 15 m

Pallbredd: 100 m

Hållutning är 3:1

Bergkonstant: 0,4 (homogen granit)

Beräkningar

Beräkningarna följer de regler som angavs i kapitlet Laddningsberäkningar för pallsprängning. Beräkningarna avser sprängning av livhålen enligt Figur 26.

1. Val av håldimension

Här väljs 70 mm håldimension

2. Val av bottenladdning

Vi väljer 60 mm Dynamit som bottenladdning. Laddningskoncentrationen l_b är ca 4,2 kg/m för detta sprängämne med löst staplade laddningar.

3. Beräkning av försättning

Försättningen från formeln $V_{\max} = 1,45 \times \sqrt{l_b}$. Försättningen $V_{\max}$ blir $1,45 \times \sqrt{4,2} = 2,97 \sim 3,0$ m. I detta fall behövs ingen kompensation göras för hållutning eller för bergkonstant.

4. Beräkning av underborrning och håldjup och felborrning

Underborrning behövs för att undvika uppstickade gaddar i botten.

Underborrningen U är $= 0,3 \times V_{\max} = 0,3 \times 3,0 \sim 0,9$ m.

Håldjupet beror främst av pallhöjd och underborrning men påverkas också av hållutningen. Håldjupet beräknas enligt $H = L \times (K + U)$, där K är pallhöjden, U är underborrningen och L är en lutningsfaktor som är:

- 1,05 vid lutningen 3:1
- 1,03 vid lutningen 5:1
- 1,01 vid lutningen 10:1

Håldjupet H blir då $1,05(15 + 0,9) \sim 16,7$ m

Felborrningen (F) består av ett påhuggsfel (P) och ett avvikelsefel (A) enligt $F = P + A$. Påhuggsfelet beräknas inte alltid på samma sätt i handböckerna men lutningsfelet brukar anges till 3 % av håldjupet. Felborrningen beror naturligtvis på både utrustningen och borrarrens skicklighet och med grövre hål kan man borrar rakare då borrarstängerna blir styvare.

Påhuggsfelet brukar antas variera med borrhålsdiametern enligt följande (Bergutbildarna):

Håldim. (mm)	34-38	45-51	64	76	89
P (m)	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3

I vårt exempel var håldimensionen 70 mm och om vi gafflar in oss mellan $P = 0,2$ (för 64 mm) och $P = 0,25$ (för 76 mm) så bli vårt påhuggsfel ca 0,23 m.

Avvikelsefelet beror av håldjupet enligt $A = 0,03 \times H$.

Således blir i detta exempel felborrningen $F = 0,23 + 0,03 \times 16,7 \sim 0,7$ m

5. Beräkning av praktisk försättning

Praktisk försättning tar hänsyn till felborrningen enligt $V_1 = V_{\max} - F$. Detta betyder i vårt exempel att den praktiska försättningen blir $3 - 0,7 = 2,3$ m. Den praktiska försättningen innebär alltså att hålet flyttas närmare utslagsytan.

6. Beräkning av teoretiskt hålavstånd, praktiskt hålavstånd, antal hål/rad och utsprängd volym

Det teoretiska hålavståndet (E) fås genom att multiplicera praktisk försättning med 1,25. I vårt exempel innebär detta $E = 1,25 \times 2,3 \sim 2,9$ m.

Antal hål/rad (n) fås genom sambandet $n = \text{pallbredd} / \text{teoretiskt hålavstånd}$ vilket här blir $n = 100 / 2,9 \sim 34,5$. Man avrundar detta uppåt till heltal vilket blir 35. Antal hål/rad är $n+1$ alltså här 36 st.

Det praktiska hålavståndet beräknas enligt $E_1 = B/n$ heltal. För vårt exempel blir således även det praktiska hålavståndet 2,9 m.

Utsprängd volym är pallbredd x pallhöjd x praktisk försättning vilket här blir; $\text{volym} = 100 \times 15 \times 2,3 = 3450 \text{ m}^3$.

7. Beräkning av specifik borrning

Den specifika borrningen är den borrning som behövs för att spränga 1 m^3 berg.

Den beräknas enligt specifik borrning $= \frac{n \times H}{\text{volym}} = 36 \times 16,7 / 3450 = 0,17 \text{ bm/m}^3$

8. Beräkning av bottenladdningens höjd och vikt

Det krävs mer kraft för att bryta loss berget i botten av hålet än längre upp längs hålet. Höjden på bottenladdningen fås genom $h_b = 1,3 \times V_{\max} = 1,3 \times 3,0 = 3,9$ m.

Bottenladdningens vikt blir $Q_b = h_b \times l_b = 3,9 \times 4,2 \sim 16,4 \text{ kg}$

9. Beräkning av förladdning och pipladdning

För att reducera inverka av kast brukar man förladda hålet. Förladdningens längd brukar sättas lika med praktisk försättning. Förladdningslängden h_o blir alltså här 2,3 m.

Pipladdningens koncentration l_p brukar sättas till ungefär hälften av koncentrationen för bottenladdningen l_b . Pipladdningens koncentration blir här $l_p = \frac{1}{2} \times 4,2 = 2,4$ kg. Välj något lämpligt sprängämne med denna laddningskoncentration t.ex. 50 mm patronerad emulsion. Kontrollera detta sprängämnets verkliga laddningsvikt l_p .

Pipladdningens höjd, h_p , fås genom $h_p = H - h_b - h_o = 16,7 - 3,9 - 2,3 = 10,5$ m

Pipladdningens vikt, Q_p = $h_p \times l_p = 10,5 \times 2,4 = 25,2$ kg

10. Total laddningsvikt och specifik laddning

Den totala laddningen per håll fås genom att summera bottenladdningen och pipladdningens vikt. Den blir $Q_{tot} = Q_b + Q_p = 16,4 + 25,2 = 41,6$ kg/håll.

Den specifika laddningen blir $q = \frac{n \times Q_{tot}}{volym} = 36 \times 41,6 / 3450 = 0,43$ kg/m³

19. Referenser

AMA-10 Anläggning. Svensk Byggtjänst, 2011

Atlas Copco informationsmaterial

AFS Arbetsmiljöverkets föreskrifter om Berg-och gruvarbete, AFS 2010:1

AFS Arbetsmiljöverkets föreskrifter om Sprängarbete, AFS 2007:1

Ahlm Anna Karin. Utvärdering av LKAB:s säkerhetsarbete. Examensarbete 2007:180 CIV LTU, 2007

Bergsprängningskommitténs Diskussionsmöte, 2012

Bergqvist, I. Technical report. Nitro Nobel AB, 1986

Bergutbildarna. Undervisningsmaterial

Blast Manager. www.blastmanager.se

Citybanan i Stockholm. Information från Trafikverket, 2013

Dyno Nobel informationsmaterial

Emstone informationsmaterial

EPC informationsmaterial

Fomenko O, Rudegran Asterdal E. Prognostisering av spränginducerade vibrationer i urban miljö. Examensarbete LTU, 2008:030

Forcit informationsmaterial

Forsberg Håkan, Åkerlund Håkan. Kväve och sprängstensrester i LKAB:s malm-, gråbergs- och produktionsflöden. Examensarbete LTU 1999:258, 1999

Gustafsson R. Swedish Blasting Technique. Nora Boktryckeri, 1973

Hallqvist D. Hur borrar man raka kvalitetshål. LTU 2010:235

Handbok i Sprängteknik. Vägverket, 1991

Holmberg R, Persson P-A. Design of tunnel perimeter blasthole pattern to prevent rock damage. Proc. 2nd Int. Symp. On Tunneling, Inst Mining&Metallurgy, London, 1979

Langefors U, Kihlström B. The Modern Technique of Rock Blasting. Almqvist&Wiksell, 1973

Moulodi Shler, Thorsell Jessica. Diffusa kvävelakage från sprängstensmassor i samband med tunneldrivning och mellanlagring. KTH, 2010

Naturvårdsverket. Buller, www.naturvardsverket.se

Nitro Consult. Info om Buller

Norab informationsmaterial

Nord G. Historiskt kvarter-Från handborrning till datarigg, Bergborrning under 100 års utveckling. Fjellsprängningsteknikk, bergmekanikk/geoteknikk, Oslo 2001

Olofsson S. Modern bergsprängningsteknik. Ärla 2007

Olsson M, Bergqvist I. Fragmentering i bergtäkter. BK 2002

Olsson M, Bergqvist I. Sprickutbredning vid flerhållsprängning. SveBeFo Rapport 18, 1995

Olsson M, Markström I, Pettersson A, Sträng M. Examination of the Excavation Damaged Zone in the TASS tunnel, Äspö HRL. SKB Report R-09-39, 2009

Olsson M, Ouchterlony F. Ny skadezonsformel för skonsam sprängning. SveBeFo Rapport 65, 2003

Orica informationsmaterial

Ouchterlony F, Olsson M, Båvik S.O. Perimeter blasting in a 130 m road cut in gneiss with holes with radial bottom slots. Proceedings of Explosives & Blasting Technique, Munich, 200

Sandvik informationsmaterial

SIS-Byggestandardiseringen- Svensk Standard SS 02 52 10

SIS-Standardiseringskommissionen I Sverige- Svensk Standard SS 460 48 66, 1991

Sjöberg C, Larsson B, Lindström M, Palmqvist K. Sprängmetod för kontrollerad sprickutbredning och säkerhet under jord. AFS projekt 77/224. Nitro Consult, 1977

Sprängmedel livsfarliga i bergmassor. Byggnadsarbetaren 2006

Tilly Lena, Ekvall Johan, Borg Gunnar, Ouchterlony Finn. Vattenburna kväveutsläpp från sprängning och sprängstensmassor. SveBeFo Rapport 72, 2006



TRAFIKVERKET

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Rödavägen1.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 0243- 750 90

www.trafikverket.se