© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Från strängemulsion och elektronikkapslar till skadezonstabell

Mats Olsson, Swebrec, Johan Svärd, Orica, Finn Ouchterlony, Swebrec

Bakgrund

Vid underjordsentreprenader föreskrivs krav på konturen i form av tillåten skadezon. Dessa krav kan variera mellan olika entreprenader och mellan olika håltyper i en salva. För rörladdningar finns ofta tabeller att tillgå, men de tabeller som i dag används för bedömning av skadezonen är ofullständiga. Tabellerna saknar en exakt definition av skada. De säger vidare inget om vare sig hålsättning eller tändspridning. Tabellerna har trots dessa begränsningar varit ett praktiskt verktyg för design av skonsam sprängning. Strängemulsion blir allt vanligare men tabellerna saknar information om hur olika laddningskoncentrationer påverkar berget. Den enda information som hittills funnits kommer från några enstaka prov på sprickutbredning från Södra Länken (Olsson 1999). Innan man gav tillstånd att där använda SSE-emulsion gjordes försök med en sträng på 0,35 kg/m, vilken visade sig uppfylla kravet på 0,3 m skadezon.

SveBeFo har tidigare gjort omfattande försök av sprickutbredning för olika sprängämnen under olika förhållanden. Generellt gäller att sprickutbredningen i det kvarstående berget främst påverkas av sprängämnestyp, initiering, vatten i hål, hålavstånd och kopplingsgrad (laddningsdiameter/hål-diameter). För att reducera sprickutbredning rekommenderas därför att:

- använda frikopplade laddningar
- tillse att hålen är torra
- använda simultan initiering av hålen
- inte använda för stora hålavstånd

Underlaget till dessa slutsatser kommer från ett stort antal försök i såväl pall- som tunnelsprängning och främst från olika typer av rörladdningar (Olsson & Bergqvist 1995, 1997, Olsson 2000).

Ökad infrastrukturell utbyggnad innebär ofta bergarbeten i tätort med stora krav på begränsade skador på omgivningen. Det är därför nödvändigt med en uppdaterad tabell för bestämning av skador från sprängning som ersätter dem som nu används, särskilt nu när kraven på rätt utfört arbete ökar. SveBeFo har tidigare arbetat med dessa frågeställningar och tagit fram ett grundförslag till ny formel för sprick- eller skadezonen (Ouchterlony & Olsson 2000, Olsson & Ouchterlony 2003). Några viktiga faktorer som behövde belysas mer var inverkan av strängladdning och vattenfyllda hål.

Därför initierade Swebrec 2006 projektet ”Skonsam sprängning och nya skadezonsformler. Föredraget beskriver projektet samt framtagna riktlinjer för ny skadezonstabell.

Målsättning och intressenter

Målsättningen med projektet var att bestämma sprickutbredningen från olika laddningskoncentrationer med bulkemulsion i form av strängladdning. Riktlinjer skulle också tas fram för inverkan av såväl vatten i hålen som tändspridning. Slutligen skulle ett förslag till en ny skadezonstabell tas fram. Intressenter i projektet var Orica, SBUF (genom Skanska), Banverket, SKB samt Swebrec.

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Genomförande och resultat

Försöken utfördes i Emmaboda Granits blockstensbrott i Bårarp i Halland. Geologin består här till största del av grå-röd alkalignejs med en folierad struktur. Försöken omfattade sprängning av ett antal salvor. Varje salva innebar sprängning av en försöksrad, sprängning av tätsöm bakom försöksraden, uttag av block, neddelning av block, sågning av block vinkelrätt försökshålen samt sprickkartering av de sågade ytorna med hjälp av penetranter.

Försöken inleddes med sprängning av pallar bestående av ett antal horisontella 48 mm hål. Försättningen valdes till 0,7 m, hålavståndet till 0,6 m och håldjupet till 5,0 m. Hålen laddades med strängemulsion enligt SSE-konceptet från dåvarande Dyno Nobel. Laddningskoncentrationerna för SSE var 0,35 kg/m, 0,5 kg/m samt 0,9 kg/m. Som referenssprängämne användes 17 mm Dynotex 1 (tidigare Gurit 17). Hålen initierades dels med Nonel och dels med elektroniska sprängkapslar. Några av hålen vattenfylldes innan laddning för att undersöka vattnets inverkan på sprickbildning. Tyvärr blev inte resultatet av dessa inledande försök bra. Detta berodde på att berget var betydligt sämre än förväntat med många stora slag. Vidare var det svårt att få rätt längd på bottenladdningen och spridning i intervallerna ledde till ryckare och skador på berget.

Dessa osäkerheter medförde en övergång till vertikala hål. Detta föredrag koncentreras på detta försök. För den intresserade läsaren finns en mer omfattande slutrapport av hela projektet (Olsson, Svärd & Ouchterlony 2008). Försöket med vertikala hål omfattade borrning av 23 hål. Håldimension, försättning och hålavstånd var de samma som försöken med horisontella hål. Figur 1 visar borrning av försökspallen. Pallen är ca 4 m hög och 20 m lång.

För att ladda dessa hål tillverkades hos Orica i Gyttorp rörladdningar enligt SSE-konceptet med laddningskoncentrationerna 0,35 kg/m och 0,5 kg/m. Efter laddning av rören så kontrollvägdes samtliga rör.

Figur 1. Borrning av försökspallen

För att undersöka vad som kan hända med strängemulsion i vatten laddades också ett antal vatten- fyllda plexiglasrör. Emulsionen, med en densitet på ca 900 kg/m^3, är lättare än vatten och kan flyta upp och riskerar att brytas av, vilket Figur 2 illustrerar. Detta inträffade också troligen vid våra inledande fältförsök med horisontella hål något som vi tror ledde till detonationsavbrott eftersom. emulsion har mycket kort överslagsförmåga.

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Figur 2. Avbrott i laddstäng i vattenfyllt hål

Med de färdiga rörladdningarna laddade i vertikala hål undveks dessa problem. Försökspallen i Bårarp laddades dels med dessa emulsionsladdningar och dels med Dynotex som referenssprängämne, se Tabell 1.
Samtliga hål initierades med Orica i-kon® elektroniksprängkapslar. De första 12 hålen initierades momentant, dvs. vid 0 ms och resterande hål med simulerad tändspridning, se Tabell 2.

Tabell 1: Försöksplan för etapp 3.

Hål	Laddning	Initiering med EPD
1–4	Dynotex 17 mm	Simultan
5–8	SSE 0,35	Simultan
9–12	SSE 0,5	Simultan
13–16	SSE 0,35	Simulerad tändspridning
17–20	SSE 0,5	Simulerad tändspridning
21–23	SSE 0,5 + vatten	Simulerad tändspridning

Tabell 2: Upptändningstider för hålen

Hål nr	1–12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Intervalltid, ms	0	4	8	7	6	4	1	5	6	8	9	10

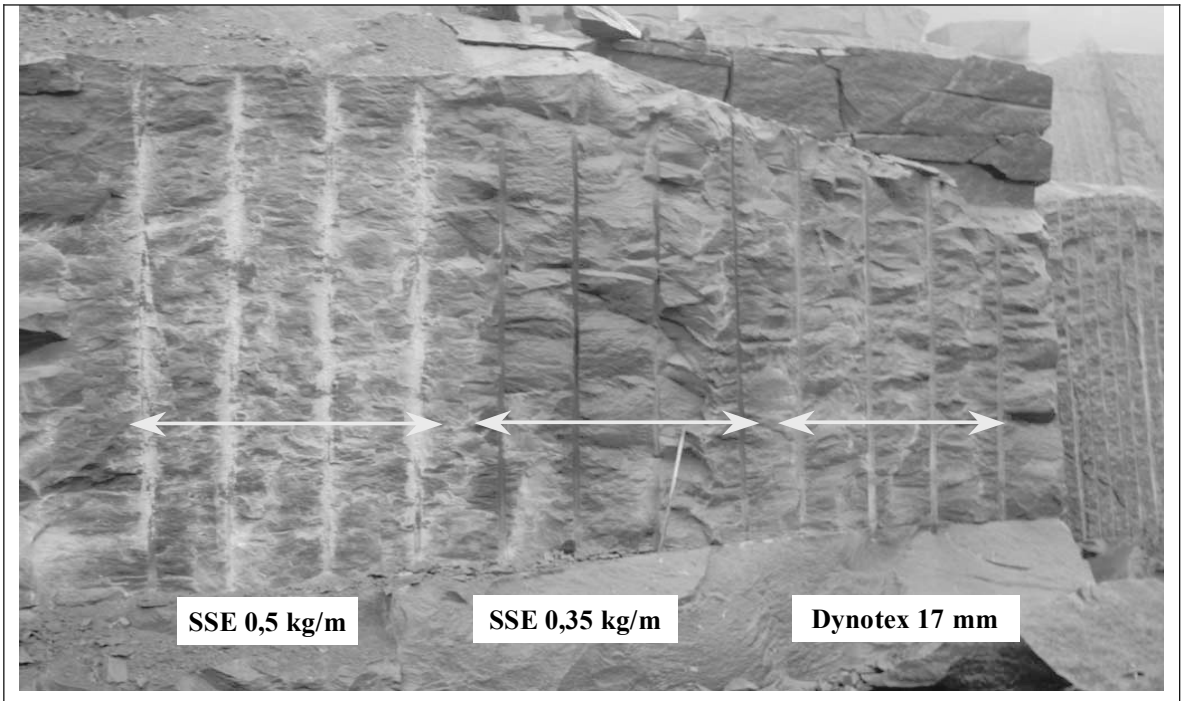
Resultatet från hålen som sprängdes momentant blev mycket bra, se Figur 3. Borrhålspiporna från Dynotex och SSE 0,35 blev allra bäst och visar vilken fin bergyta som kan fås vid simultan sprängning med frikopplade laddningar. Det framgår också tydligt av bilden att hålen som laddats kraftigare (0,5 kg/m) gav en kraftigare påverkan på berget.

Den del i salvan som inte initierades simultant, hål 13–23, gav betydligt sämre bergyta, se Figur 4–5. Här blev det utkastade laddningar och odetonerade hål. Berget närmast de hål som detonerat var betydligt mer uppsprucket och berget där de vattenfyllda hålen suttit var mest skadat.

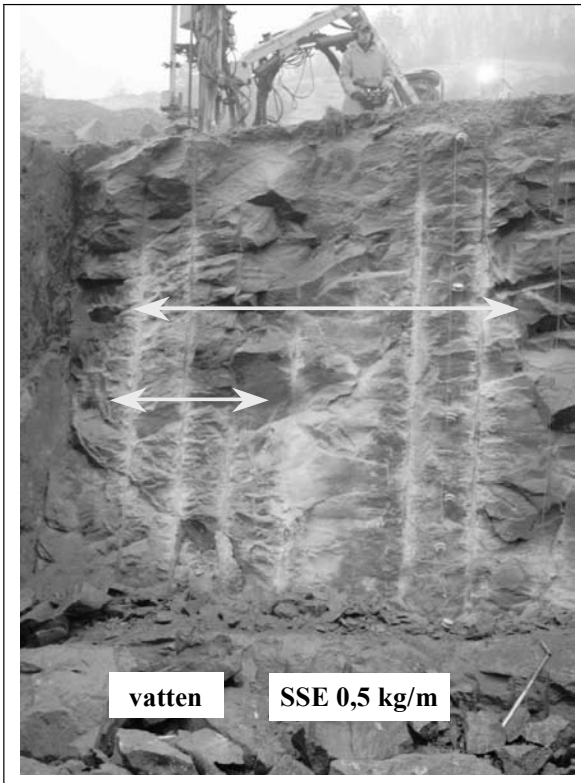
Efter sprängningen av försökshålen borrades en tätsöm bakom den sprängda raden som sedan laddades med 40 g/m detonerande stubin (Detonex), varefter tätsömmen sprängdes. Blocken delades ner och sågades därefter med linsåg vinkelrät mot hålen i den sprängda försöksraden. Sågytorna påfördes penetrantvätska och sprickorna från sprängningen kunde karteras. Figur 6–9 Figur visar några exempel på hur sprickbilden såg ut för de hål som detonerats simultant.

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

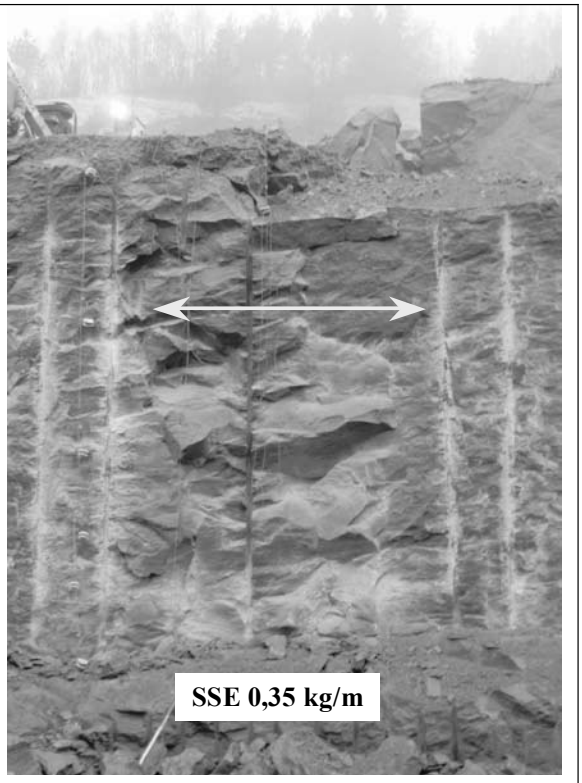
Det fanns som väntat få sprickor från Dynotex och SSE 0,35 kg/m med en simultan initiering i hål 1–8. Den maximala spricklängden var ca 15 cm för såväl Dynotex som SSE 0,35 kg/m. Sprickbilden är enkel med endast ett fåtal sprickor. För Dynotex syns tydligt att sprickorna orienterar sig i bergväxtens riktning vilket inte är lika tydligt för SSE 0,35 kg/m. Kanske beror detta på att mängden sprängämne är mindre för Dynotex samt att Dynotex har en lägre detonationshastighet som därför bör ge ett lägre borrhålstryck och en svagare spricktillväxt än SSE 0,35 kg/m.



Figur 3: Borrhålspipor från hål 1–12, simultan initiering



Figur 4: Pipor från hål 17–23, ej simultan



Figur 5: Pipor från hål 13–16, ej simultan

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Figur 6: Sprickor hål 1–3, Dynotex, simultant

Figur 7: Sprickor hål 4–6, SSE 0,35 kg/m, simultant

Sprickfrekvensen ökar med sprängämneskoncentrationen, se Figur 8–9. Hål 9–12 var laddade med SSE 0,5 kg/m och initierades simultant. Det sprickmönster som syns tydligt i Figur 9 är typiskt för sprängämnen med hög detonationshastighet och/eller med en större laddningsmängd, alltså ett stort antal fina sprickor närmast hålet. Detta behöver nödvändigtvis inte betyda så mycket för bergets slutliga stabilitet men kan kanske påverka mängden nedskrotat berg.

Figur 8: Sprickor hål 9–12, SSE 0,5 kg/m, simultan initiering

Figur 9: Sprickor hål 9 sågsnitt 4, SSE 0,5 kg/m simultan initiering

Från området där hålen detonerat med ej simulerad tändspridning (hål 13–23) kunde bara ett block tas ut, beroende på att berget här var alldeles för söndersprucket.

Hål som vid tidigare försök laddats med SSE 0,9 kg/m och initierats med Nonel gav en kraftigt uppsprickning, dels pga. av laddningskoncentrationen men även pga. icke samtidig detonation. Därför togs denna laddningskoncentration inte med vid skjutning av de vertikala hålen.

Sammanfattning av fältförsöken

Totalt karterades 34 st sågsnitt i detta projekt. Det var här ingen större skillnad på spricklängden mellan de simultant initierade 17 mm Dynotex 1 och SSE 0,35 kg/m, däremot fördubblades spricklängden med SSE 0,5 kg/m. Simultan initiering ger bästa resultat, dvs. jämnare väggar och kortare sprickor. Förekomsten av vatten

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

i hål med SSE 0,5 kg/m uppskattas ge nära 1 m spricklängd. Foliationen har en mycket stor betydelse för spricklängden, men inte nödvändigtvis deras inträngningsdjup. Spricklängden fördubblas vid sprängning snett mot eller parallellt foliationsriktningen.

I grunden har alltså SSE strängladdning här visat sig kunna ge sprick- eller skadezoner av samma djup som de klenaste rörladdningar som normalt används vid skonsam kontursprängning. Lägg till att tekniken är rationell och enkel och därför används alltmer, vilket kommer entreprenörer och beställare av tunnelarbeten till godo.

I våra försök användes äldre utrustning vilket gav problem med bottenladdningens längd. Med den modernare utrustning som nu finns är enligt Orica detta problem under kontroll. Effekten av den ojämna laddsträngen vid laddningskoncentrationen 0,5 kg/m märks sannolikt inte vid normalt tunnelarbete eftersom även andra omständigheter varierar betydligt.

Förslag till ny skadezonstabell

Bakgrunden till tidigare skadezonstabeller för skonsam sprängning har sitt ursprung i arbeten i Göteborg på 1970-talet (Sjöberg 1979). Den svenska skadezonsmodellen (Holmberg & Persson 1979) kom sen att starkt påverka utformningen av använda skadezonstabeller för skonsam sprängning (Vägverket 1995, JärnvägsAMA 96, AnläggningsAMA 98) och Ouchterlony & Olsson (2000).

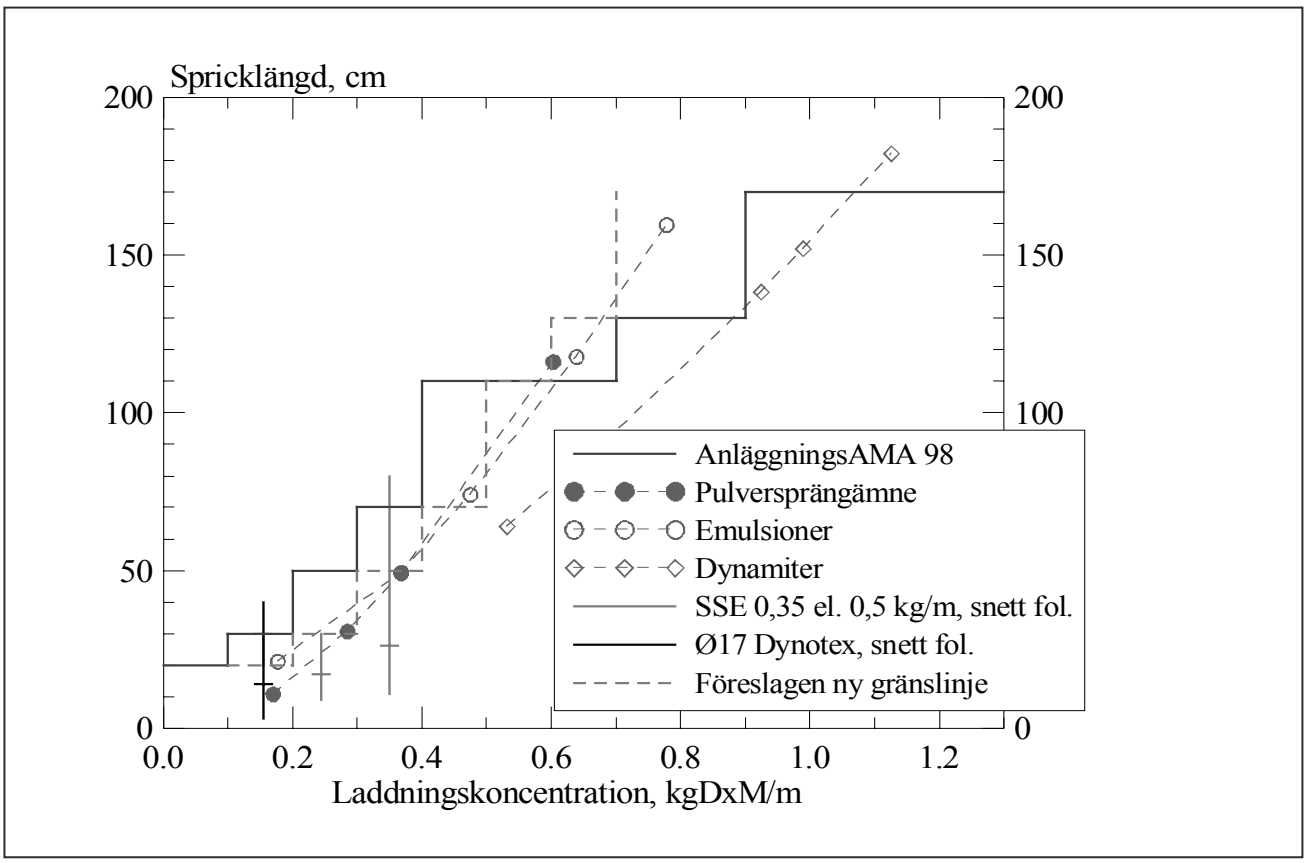
Skadetabellerna baseras på produkter, tillhörande laddningsdiameter och motsvarande laddningskoncentration q(ekvivalent kg DynamexM/m). Detta ger bedömt sprick- eller skadezonsdjup R_c(m) vilket sen får jämföras med de krav som ställs för utförandet av skonsam sprängning i aktuellt objekt.

AnläggningsAMA98 utgör en förenkling i och med att produktnamn och laddningsdiameter försvunnit. I stället utgår tabell CBC/2 från ett antal klasser med teoretiskt skadezonsdjup med motsvarande högsta tillåtna laddningskoncentration q(kgDxM/m). Skadezonsdjupet är kopplat till en tidigare tabell CBC/1 med bergschaktningstoleranser med nästan samma värden för det teoretiska skadezonsdjupet. I CBC/1 sägs det att: ”Laddningskoncentrationen skall vara högst enligt tabell CBC/2 för angiven teoretisk skadezon”. Vidare sägs det att ”*Vid bedömning av teoretiskt skadezonsdjup skall hänsyn tas till: -frikoppling, vatten i hål, bergets egenskaper, typ av upptändning, laddningslängd och verklig krondiameter*”. Texten syftar på resultatet av arbeten vid SveBeFo (Olsson & Bergqvist 1995, 1997; Olsson 2000).

Tabellernas omfattande användning i praktiken visar också deras rimlighet. Tidigare tabeller baseras på initiering med vanliga sprängkapslar, typ Nonelkapslar. Dessa kapslar har pyroteknisk fördröjning och initieringstiden sprider mycket för de höga nummer som normalt används i konturen. Med intervalltider på 5000 ms så är spridningen ca 150 ms. Detta omöjliggör i de flesta fall någon form av brytningssamverkan mellan hålen, hålen skjuts i praktiken individuellt.

Simultan upptändning med elektroniksprängkapslar ger vid skonsam sprängning betydligt grundare skadezon, dvs. kortare spricklängder vid samma laddningskoncentration, vilket fältförsöken i Bårarp också visat. Tidigare försök i bl.a. Vånga har gett ett stort underlag av verifierade spricklängder under olika förhållanden. Med hjälp av de formler som Ouchterlony & Olsson (2003) tidigare tagit fram kan spricklängder beräknas även för andra laddnings -och håldiametrar. Figur 10 visar en jämförelse mellan dessa värden för simultan initiering med den gränskurva för Nonel initiering som finns i CBC/2 i AnläggningsAMA98.

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors



Figur 10. Spricklängder för olika laddningskoncentrationer

De streckade kurvorna för sprick- eller skadezonsdjupen för simultan initiering av emulsions- och pulversprängämnen ligger som synes betydligt under gränskurvan i AMA 98 för Nonel så länge som laddningskoncentrationen är lägre än 0,6 kg/m. För större värden ligger den över gränskurvan.

Den skadedämpande effekten vid simultan upptändning har utnyttjats för att föreslå en utökad skadezonstabell, se Tabell 3. Notera att teoretiskt skadezonsdjup i denna och andra refererade undersökningar motsvarar uppmätta spricklängder. Tabellunderlaget består alltså av spricklängds-mätningar varför begreppet skadezonsdjup innehåller någon form av bedömning av om dessa sprickor är skadliga för konstruktionen. Beställaren och konstruktören bör ta ställning till detta i varje enskilt fall. För att det varit brukligt används ändå termen skadezon här, men i betydelsen spricklängd.

Tabell 3: Förslag till utökad skadezonstabell (figur CBC/1 hänvisar till AnläggningsAMA 98)

Teoretiskt skadezonsdjup i m	**Laddningskoncentration i kg DxM/m, högst**	
enligt figur CBC/1, högst	**Nonel**	**simultan**
0,2	0,1	0,2
0,3	0,2	0,3
0,5	0,3	0,4
0,7	0,4	0,5
1,1	0,7	0,6
1,3	0,9	(0,7)
1,7	1,3	-
2,0	1,6	-

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Förutsättningen för att tabellen skall gälla innebär att utöver kraven på laddningskoncentration (q < 0,6 kgDxM/m), normal håldiameter (48-54 mm) och normalt hålavstånd (S/B < 1) så krävs att upptändningen görs väl inom 1 ms och att hålen är bevisat torra för att den skadedämpande effekten skall uppstå.

Referenser

AnläggningsAMA 98 (1999). Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten, avsnitt CBC: Bergschakt, sid. 41-53. Svensk Byggtjänst.

Holmberg, R & P-A Persson (1979). Design of tunnel perimeter blasthole pattern to prevent rock damage. I Tunneling'79, *Proc 2nd Intnl Symp on Tunnelling* 280-283, Inst Mining & Metallurgy, London.

JärnvägsAMA 96 (1996). Banverkets komplement till AMA 83, Berg. Tekniskt meddelande TM 95-060, Banverket, Borlänge, 1996-09-01.

Olsson, M (1999). Skadezon från strängemulsionsladdade hål, Nitro Nobel´s Underjordsseminarium, 1999, Nitro Nobel.

Olsson, M (2000). Sprickutbredning i kvarstående berg - Arbetsrapport från försöksperioden 1997-99, SveBeFo Rapport K11, Stockholm.

Olsson, M & I Bergqvist (1995). Sprickutbredning vid flerhålssprängning, SveBeFo Rapport 18, Stockholm.

Olsson, M & I Bergqvist (1997). Sprickutbredning vid flerhålssprängning – sammanfattande rapport av försöksperioden 1993-96, SveBeFo Rapport 32, Stockholm.

Olsson, M & F Ouchterlony (2003) Ny skadezonsformel för skonsam sprängning, SveBeFo Rapport 65, Stockholm.

Ouchterlony, F & M Olsson (2000). Dags att komplettera befintlig skadezonstabell? *Bergsprängningskommittén Diskussionsmöte BK 2000*, 155-178, Stockholm.

Sjöberg, C (1979). Sprickutbredningszoner kring smala borrhålsladdningar. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-79*, 53-98.

Vägverket (1995). Skonsam sprängning, försiktig sprängning samt bergrensning, bergtekniska anvisningar för projektering av Ringen & Yttre Tvärleden, Projekteringsanvisning ANV 0003:1 Rev. 1. Vägverket Region Stockholm, 1995-09-15. Sid. 18.