© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

DAGS ATT KOMPLETTERA BEFINTLIG SKADEZONSTABELL?

Finn Ouchterlony och Mats Olsson, SveBeFo

Den svenska skadezonstabellen och dess bakgrund

Sedan åtskilliga år används vid tunnelsprängning inom civilt bergbyggande i Sverige en tabell för bedömning av skadezoner. Den senaste versionen finns i en anvisning som Vägverket upprättat 1995 inför Ringen-projekten i Stockholm [1], se sid 18. Denna anvisning ingår också i JärnvägsAMA som är Banverkets komplement till AMA 83 [2]. Det förutsätts att alla konturer under jord skall utföras som skonsam konturspräng ning.

I tabellen inordnas vanligt förekommande sprängämnen som används vid sprängning av tunnelkonturer efter den laddningkoncentration i kg Dynamex-ekvivalenter som respektive laddning har. Omräkningen från det aktuella sprängämnet till Dynamex har gjorts med hjälp av vikstyrkan. Laddningskoncentrationen ligger sedan till grunden för bedömning av det skadezonsdjup in i berget som laddningen åstadkommer. Tabellen gäller för
borrhålsdiametrar inom intervallet 45-51 mm.

Beträffande begreppet skadezon säger [2]:

> *Med skonsam konturspräng ning menas att uppsprickningen i kvarstående berg, på grund av sprängning, skall begränsas till det "skadezonsdjup" som angivits för respektive kontur.*
>
> *Uppsprickningen från stross- och hjälparhålen innanför konturhålen får ej nå längre in i kvarstående berg än från laddningarna i konturhålen.*
>
> *Mikrosprickor orsakade av sprängning och som kan ha betydelse för den färdiga tunnelns täthet bildas även utanför den här angivna "skadezonen.*

Av detta kan förstås att "skadan" i skadezonen antas bestå av sprickor, nybildade eller gamla, som slagits upp av sprängningen.

Tabellen och dess föregångare har använts vid utbildning, design och i bygghandlingar men sannolikt mer fungerat som en likare, dvs. sett till att alla som arbetar med skonsam sprängning använder samma angreppssätt på problemet, än som en verklig bestämning av skadezonsdjupet. Verkliga mätningar av skadezoner för de laddningar som tabellen räknar upp har, oss veterligen, gjorts bara i enstaka fall.

Ursprunget till **Tabell 1** är en undersökning som Sjöberg m.fl. [3, 4] gjorde i slutet av 1970-talet i vägtunnlar i granit och gnejsgranit i Göteborg. Skadezonsdjupet mättes genom kartering av nytillkomna sprickor i kärnborrhål i tunneltaket. Gränsen definierades av två nytillkomna sprickor per meter hål.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tabell 1: Tabell över bedömt skadezonsdjup vid tunnelsprängning från några vanligt förekommande sprängämnen, gäller för håldiameter 45-51 mm. Efter [1].

Sprängämne typ [1]	Laddnings-diameter mm	Laddnings-koncentration kg DxM/m	Bedömt skadezonsdjup [2] m
Detonex 40		0,04 (pentyl)	0,2
Gurit A	17	0,17	0,3
Detonex 80		0,08 (pentyl)	0,3
Emulet 20	45	0,22	0,4
Gurit A	22	0,30	0,5
Kimulux 42	22	0,41	0,7 [3]
Emulet 30	45	0,37	0,7
Emulite 100	25	0,45	0,8
Emulite 150	25	0,55	1,0
Emulet 50	45	0,62	1,1
Dynamex M	25	0,67	1,1
Emulite 100	29	0,60	1,1
Emulite 150	29	0,74	1,2
Emulite 100	32	0,74	1,2
Emulite 150	32	0,91	1,3
Dynamex M	29	0,88	1,3
Dynamex M	32	1,08	1,5
Prillit A	45	1,23	1,6
Emulite 150	39	1,3	1,7
Prillit A	51	1,58	2,0
Dynamex M	39	1,60	2,0

1) Likvärdiga sprängämne får användas efter att dessa inplacerats i ovanstående tabell och godkänts av beställaren.

2) Mikrosprickor orsakade av sprängning och som kan ha betydelse för den färdiga tunnelns täthet bildas även utanför den här angivna zonen.

3) Uppskattad med avseende på laddningskoncentrationen.

Skadezonen från Ø 45 mm borrhål fulladdade med Prillit A (1,26 kg DxB/m) och från Ø 17 mm Guritrör i likadana hål (0,18 kg DxB/m) kunde bestämmas. För Guritrören låg den inom 0,1-0,7 m och för Prilliten inom 2,2-3,4 m. På denna grund bestämdes ett samband mellan skadezonsdjup R_c (m) och laddningskoncentration q (kg Dx/m) enligt

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

$R_c = 1{,}9 \cdot q$ så länge som $q < 1{,}4$ kg/m. (1)

Samtidigt upprättades en tabell [3, 4] i vilken 14 nya laddningstyper inplacerats med denna ekvation som grund, utan att motsvarande skadezonsdjup egentligen mätts. För Ø 17 mm Guritrör anger tabellen t.ex. djupet 0,3 m och för Ø 45 mm borrhål med Prillit A djupet 2,4 m.

Denna tabell förekommer ännu 1991, Carlsson [5]. Sjöberg [6] modifierade den under tiden under inflytande av växande erfarenheter samt nya teoretiska och experimentella rön som framkommit, se nedan. Tabellen antogs i sin modifierade form av arbetsgruppen som arbetade med projektanvisningarna för Ringen och Yttre Tvärleden [2].

Ett viktigt inflytande hade svängningshastighetsmätningar och därur utvecklade teorier. Under salvorna i Göteborg [3, 4] gjordes sådana mätningar i berget nära skadezonen och man fann att vid skadezonsgränsen låg den i medeltal på 680 mm/s.

Detta material kom att utgöra en del av det underlag som Holmberg och Persson [7, 8] använde i sin utvidgning av svängningshastighetsansatsen för att beräkna skadezonsdjupet vid sprängning. I korthet utgick de från ett samband mellan svängningshastighet v (mm/s), laddningsvikt W (kg) och avstånd R (m) enligt

$$v = K \cdot W^{\alpha}/R^{\beta}. \quad (2)$$

Här är K, α och β konstanter som måste bestämmas genom försök för en aktuell plats. Holmberg-Persson införde en korrektionsfaktor för laddningslängden i högerledet. Denna tar hänsyn till att en utsträckt laddning av given storlek i ett borrhål på nära håll inte kan ge upphov till en lika hög svängningshastighet som motsvarande laddning ger när den är koncentrerad i rummet.

Korrektionsfaktorn utgörs av en integral som måste beräknas numeriskt utom för enstaka kombinationer av värden på α och β. Den har en sådan form att W i princip kan ersättas av laddningskoncentrationen q.

Sambandet för v säger i korthet hur snabbt svängningshastigheten ökar med ökande laddningsvikt respektive avtar med ökande avstånd från laddningen. Till detta samband kopplas ett gränsvärde v_c som definierar skadezonsdjupet R_c;

$$R \leq R_c \text{ när } v \geq v_c. \quad (3)$$

Holmberg och Persson anger på grundval av mätningar i svenskt urberg, bl.a. i Aitik, att vanliga värden för platskonstanterna är A = 700 mm/s, $\alpha = 0{,}7$ och $\beta = 1{,}5$ samt att den kritiska svängningshastigheten v_c där skada inträffar ligger inom intervallet 700-1000 m/s. Detta sägs gälla för laddningskoncentrationer inom intervallet 0,2 - 75 kg/m.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

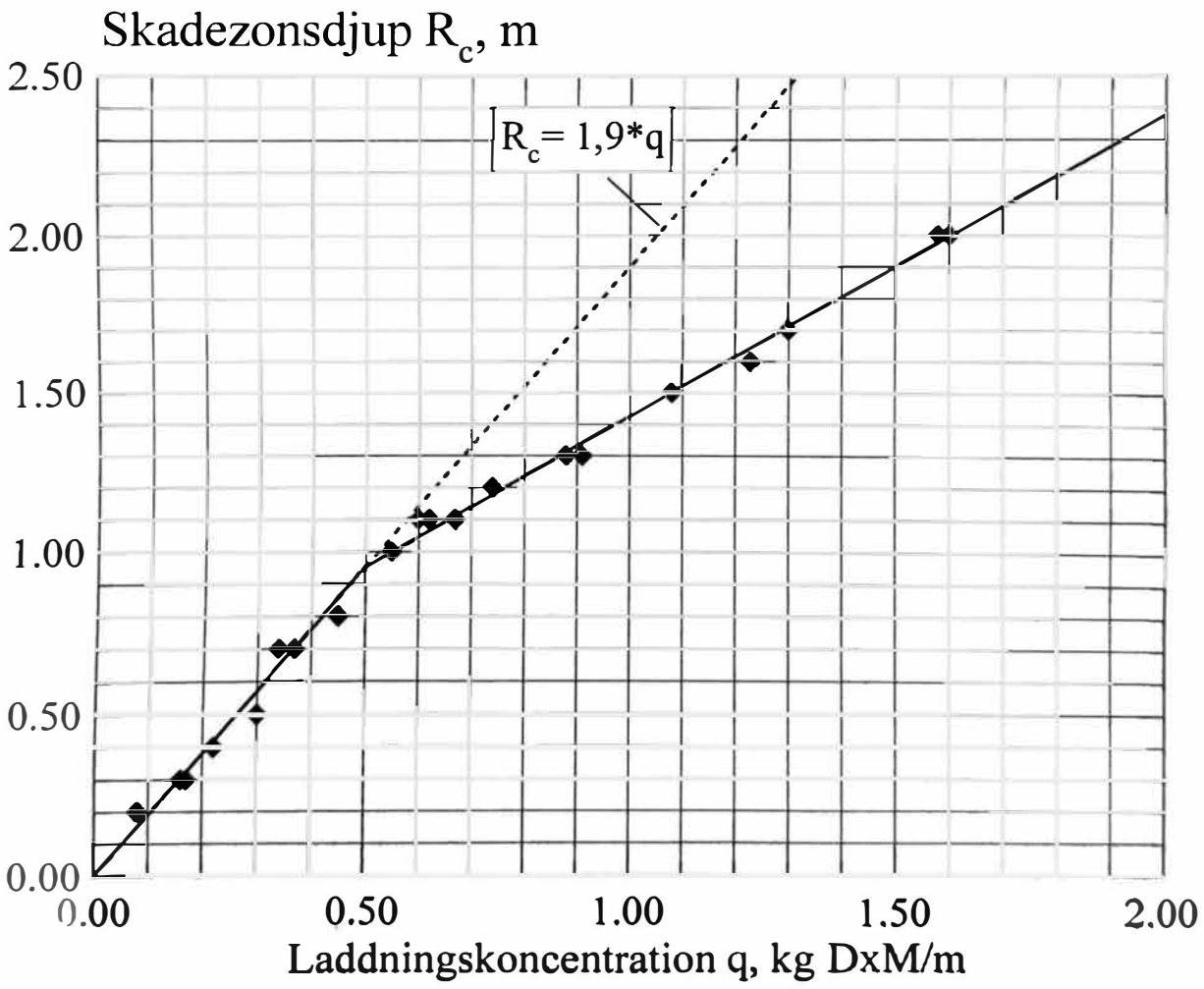
Kombinationen av ekvationerna 2, med laddningslängdskorrektionen, och 3 ger ett nytt samband mellan R_c och q med laddningslängden H eller laddningsdiametern $Ø_e$ som parameter. Sambandet är emellertid inte en rät linje som i ekvation 1 utan beskriver en serie kurvor. Holmberg-Perssons svängningshastighetsansats finns implementerad i Nitro Nobels bergsprängningsprogram Blastec [9] med standardvärdena K = 700 mm/s, $\alpha = 0{,}7$ och $\beta = 1{,}5$.

Vår analys visar att om man plottar skadezonsvärdena i **Tabell 1** som funktion av laddningskoncentrationen så faller de allra flesta punkterna med god noggrannhet längs en bruten rät linje **(Fig.1)** som ges av sambanden

$$R_c = 1{,}9 \cdot q \text{ så länge som } q < 0{,}5 \text{ kg/m och} \qquad (4)$$

$$R_c = 0{,}95 \cdot (q+0{,}5) \text{ när } 0{,}5 \leq q \leq 1{,}6 \text{ kg/m.}$$

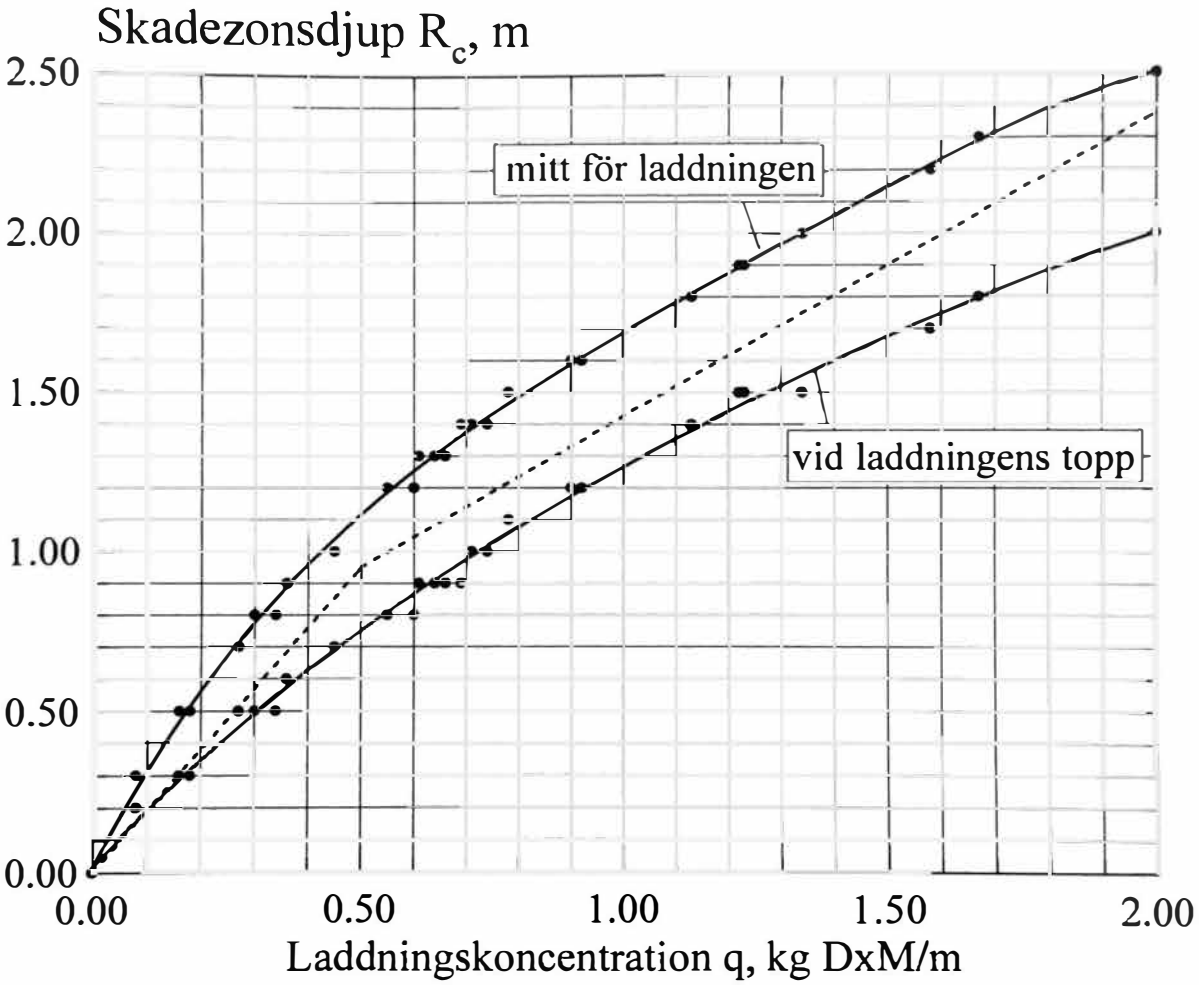
Lutningen för den första delen av linjen är identisk med lutningen i ekvation 1, lutningen för den andra delen bara hälften så stor.



Figur 1. Grafisk representation av skadezonstabellen från [1]. Värdena i ursprungstabellen [3, 4] följer den streckade räta linjen.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Om vi sätter in de riktvärden för platskonstanterna som Holmberg-Persson angivit, dvs. K = 700 mm/s, α = 0,7 och β = 1,5 samt laddningslängden H = 4 m så kan vi med deras ekvationer beräkna kurvor runt laddningen där svängningshastigheten skall vara konstant. Väljer vi kurvan för gränsvärdet v_c = 700 mm/s och tar två punkter på kurvan, en i ett plan mitt genom laddningen och en i ett plan genom laddningens ändpunkter och plottar deras avstånd till laddningen som funktion av laddningskoncentrationen erhålls **Figur 2.** Det är samma kurvor som en Blastec-beräkning skulle ge.



Figur 2. Beräkning av sambandet mellan skadezonsdjup och laddningskoncentration för Holmberg-Perssons ansats [7, 8]. Kurvan enligt ekvation 4 är streckad.

Som synes faller sambandet i ekvation 4 mitt emellan de två kurvorna. Detta bekräftar att Holmberg-Perssons ekvationer använts [5] vid konstruktionen av det samband (4) som ligger bakom **Tabell 1**. Skadezonstabellen är därför nära förknippad med svängningshastighetsansatsen.

Figur 2 visar också att sambandet (4) inte bör utsträckas till högre laddningskoncentrationer än ca. 2 kg/m. Däremot är varken Holmberg-Perssons ansats i sig eller Blastec-beräkningarna begränsade i detta avseende.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Svängningshastighetsansatsen har också utvidgats av Hustrulid m.fl. [10]. De anger ett samband för svängningshastigheten från en sprängladdning som lyder

$$v = p_h /(\rho \cdot c) \cdot (0{,}61 \cdot \varnothing_h / R) \cdot e^{-l \cdot R} \qquad (5)$$

I detta uttryck finns förutom borrhålstrycket p_h (Pa) även bergets impedans $\rho \cdot c$ (densitet·ljudhastighet, kg/(m^2·s)) och en bergdämpningskonstant I (1/m). I en tidigare version finns $\varnothing_h$ även i exponenten vilket gör I dimensionslös. Detta är sannolikt inte lika fysikaliskt korrekt. Om I skall vara en bergegenskap kan dämpningskonstanten inte bero på borrhålets storlek. Borrhålstrycket är vidare starkt beroende av sprängämnets detonationshastighet och tar hänsyn till kopplingsgraden genom en enkel gaslagsansats.

I samarbete med LKAB håller SveBeFo för närvarande på att undersöka vilket av sambanden, Holmberg-Perssons eller Hustrulids, som ger den bästa beskrivningen av svängningshastighet och sprängskador i malm och gråberg. Se Nyberg och Fjellborg [11].

Tabell 2:Skadezonsdata från Ouchterlony et al. [12] listade efter använda sprängämnen. Borrhålsdiameter Ø 48 mm i granodiorit.

Sprängämne typ	Skadezonsdjup enl. tabell 1 m	Skadezonsdjup enl. [12] m	Skadezonsdjup, mätta värden m
Gurit 17 mm	0,3	0,25-0,65	0,0-0,8 [2)]
Gurit 22 mm	0,57 [1)]	0,45-0,75	0,1-1,0
Dynamex 25 mm	1,2	0,5-1,3	0,5-1,6 [3)]
Dynamex 29 mm	1,7	1,0-1,6	0,7-1,3
Dynamex 32 mm	2,1	1,1-1,9	1,2-2,0

1) Beräknat ur tabell 1
2) Enstaka värde 1,1 m
3) Resultat från omskjutning, enstaka värde 2,7 m

Skadezonstabellens och svängningshastighetsansatsens begränsningar

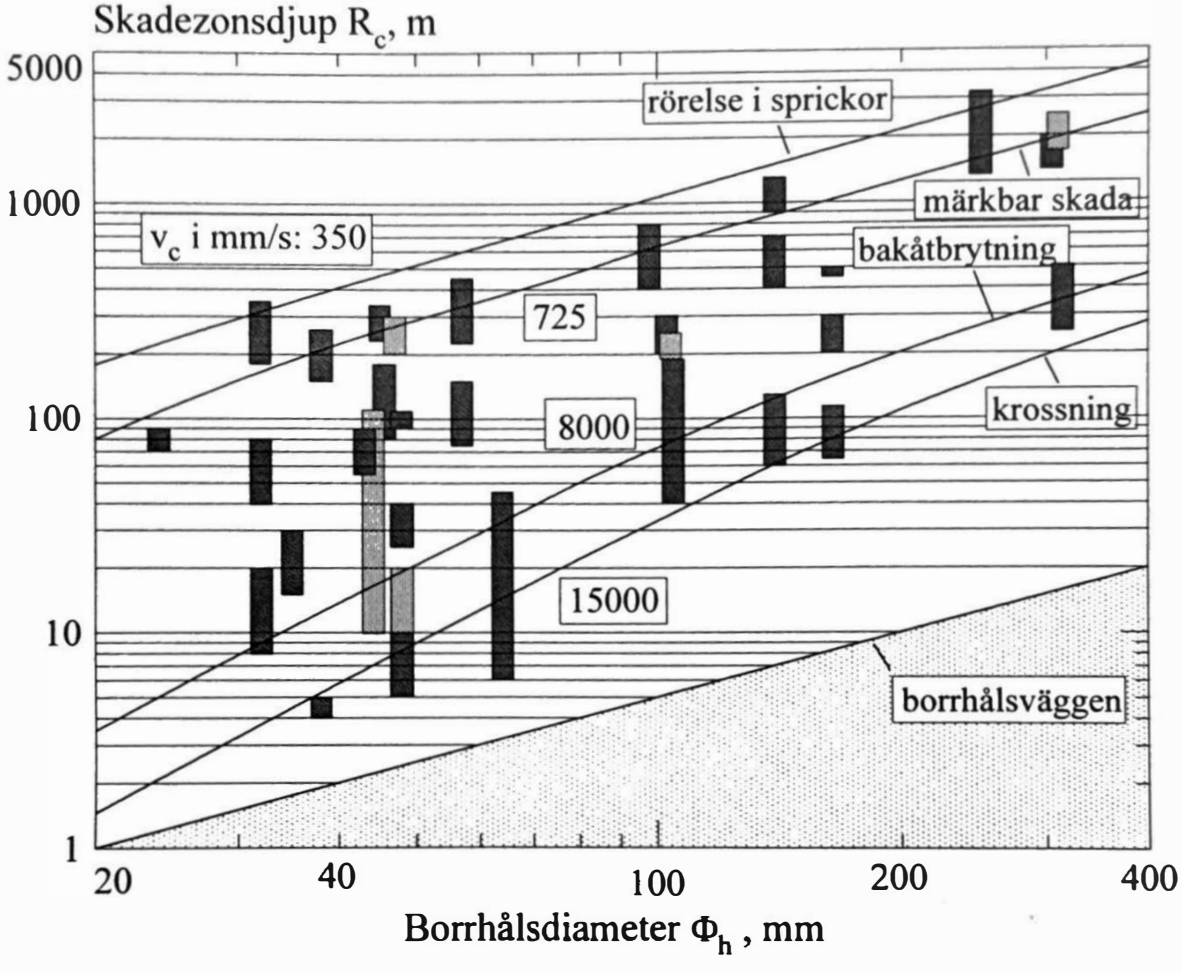
Innan vi diskuterar de begränsningar som finns hos skadezonstabellen och svängningshastighetsansatsen så konstaterar vi att tabellen och dess sidotext har varit och är ett praktiskt verktyg som med goda resultat använts för att konstruera borr- och laddplaner för skonsam sprängning. Sprängningsresultaten har oftast bedömts enbart visuellt, t.ex. genom andelen synliga halvpipor, före eller efter skrotning. Hur djupt in i berget som skadezonerna, dvs sprickorna, nått har ytterst sällan mätts.

Själva svängningshastighetsansatsen har använts med stor framgång både i Sverige och utomlands. Vid Explo'95-konferensen i Brisbane i Australien förekom t.ex. ett 10-tal

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

bidrag där den använts för att bedöma sprängskador. Ett svenskt exempel är Ouchterlony m.fl. [12] vilka visade att ansatsens prognoser för skadezonsdjup stämde väl överens med värden som mätts med geofysiska metoder, se **Tabell 2** ovan.

Ansatsens allmänna duglighet visas också av **Figur 3** som täcker många sprängningar i olika sorters berg med borrhål med diametrar från 30 till 300 mm och uppmätta skadezonsdjup från 5 cm till 30 m. Kurvorna i figuren har räknats fram ur Holmberg-Perssons samband med värdena K = 650 mm/s, α = 0,71, β = 1,42 och H = 5 m. För olika typer av skada har olika gränsvärden för svängningshastigheten använts. Kurvorna återger som synes väl den allmänna tendensen i mätvärdena.



Figur 3. Diagram över skadezonsdjup från fulladdade spränghål. Staplarna refererar till mätta skador i olika bergarter. Definitionen för skada varierar från fall till fall. De heldragna linjerna har räknats fram med Holmberg.Perssons ansats.

Mot svängningshastighetsansatsen kan man ändå rikta åtskilliga invändningar av teoretisk och praktisk natur. De sammanfattas bl.a. av Ouchterlony [13] och Blair och Minchinton [14] och går ut på att:

1. Holmberg-Perssons härledning av laddningslängdskorrektionen tar inte hänsyn till att svängningshastigheten är en vektorstorhet, dvs. vad man mäter är riktningsberoende. Det gör inte heller Hustrulids härledning av sambandet (5).

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

2. Samband av typen (2) med laddningslängdskorrektion återger inte inverkan av laddningslängd eller riktning korrekt vare sig nära laddningen eller långt ifrån den. Ansatsen ger felaktiga värden för svängningshastigheten runt en detonerande laddning

3. Det finns i ansatsen en underliggande koppling mellan svängningshastigheten och töjningen i materialet och därmed med spänningen. Som ingenjörer är vi vana att diskutera brott i termer av spänningskriterier, brott inträffar när något representativt spänningsmått överstiger hållfastheten hos materialet.

   Proportionalitet mellan svängningshastighet och töjning/spänning gäller emellertid bara under endimensionella förhållanden, t.ex. i en stav eller när en vågfront sveper in ett spänningslöst material i vila. I praktiken kan vi alltså förvänta oss att den samstämmighet mellan förloppen som finns i fronten försvinner helt efter den första toppen, något som mätningar också visar. Se t.ex. Bjarnholt och Skalare [15].

   Från teoretisk synpunkt kan man inte heller generellt förvänta sig enkel proportionalitet mellan en vektorstorhet (svängningshastigheten) och en tensorstorhet (spänning eller töjning) som i varje riktning i en punkt definieras av olika vektorer.

4. En samtidig initiering av laddningar i flera borrhål, t.ex. med elektroniska sprängkapslar, ger givetvis högre värden på svängningshastigheten men bevisligen också mindre sprängskador. Se nedan.

Att svängningshastighetsansatsen ändå fungerat ingenjörsmässigt beror kanske på att den ger ett konsistent och tillräckligt noggrant sätt att bedöma den relativa påkänningen från eller skadeeffekten av olika laddningstyper. Vidare spelar det förmodligen stor roll att svängningshastigheten är mycket enklare att mäta än t.ex. bergspänningen och att det finns en långvarig erfarenhet av att tolka resultaten från svängningshastighetsmätningar.

Vad som menas med tillräcklig noggrannhet belyses av att uppmätta toppvärden för svängningshastigheten från till synes lika förhållanden kan skilja flera hundra procent.

Vad är då begränsningarna hos **Tabell 1**? Vi kan på grundval av våra erfarenheter göra följande lista:

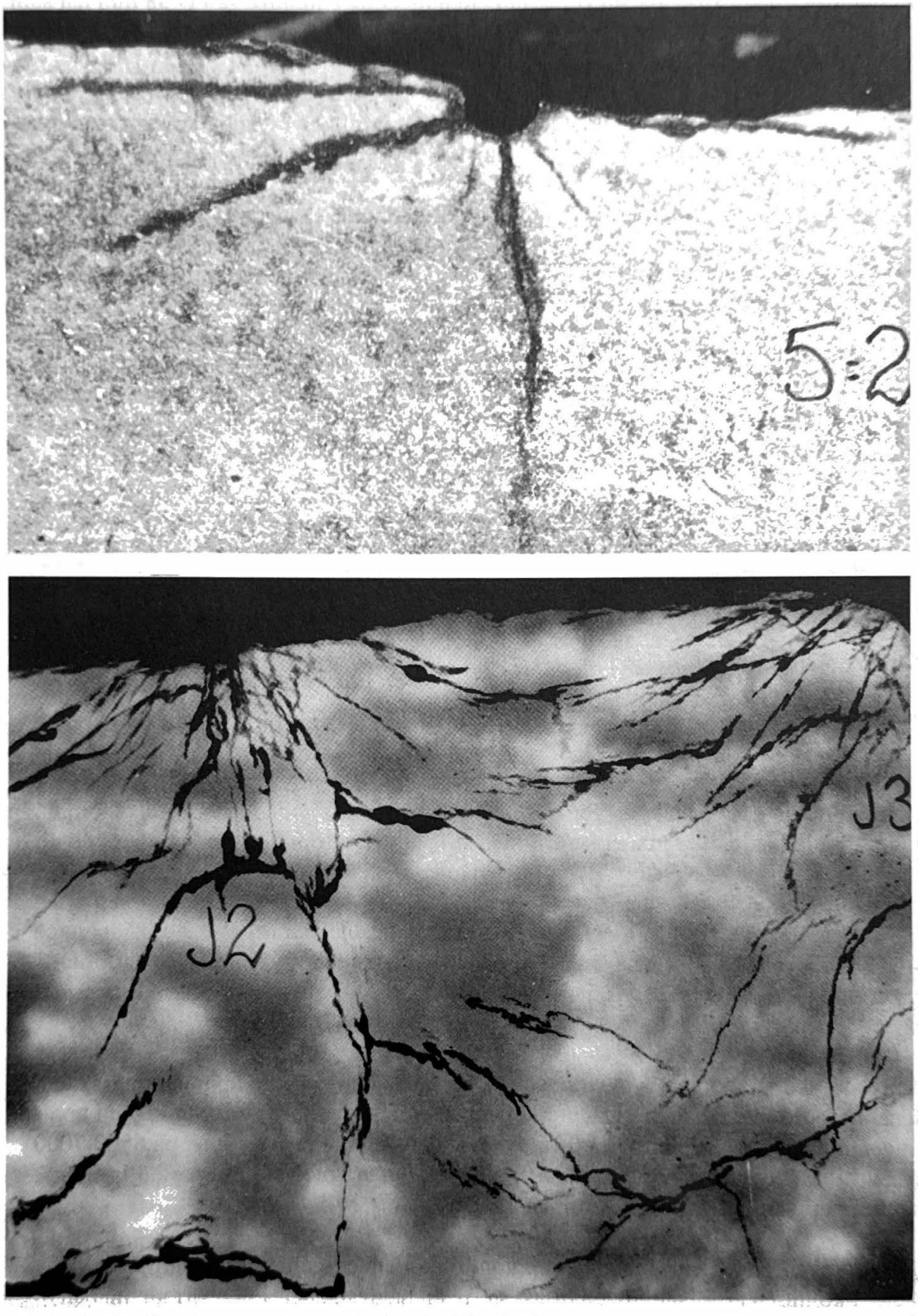
Definition av skada: En klar definition saknas. Är det 2 nya sprickor per meter borrkärna som i Göteborgsundersökningen [3, 4], är det längden på de skapade men ännu slutna radiella sprickor bakom halvpiporna som Olsson och Bergqvist [16-21] ser i sina undersökningar i Vånga? Eller skall begreppet skada relateras till de praktiska och ekonomiska konsekvenser som uppsprickningen medför, vilket Krauland hävdar [22]?

Hålstorleken: Tabellen täcker inte de borrhåldimensioner som används i dag. Den omfattar Ø 45-51 mm borrhål men i dag används ibland även Ø 57 eller 64 mm borrhål i ort- och tunnelsalvor.

Kopplingsgraden: Den saknas i tabellen men spelar en mycket stor roll enligt våra erfarenheter från graniten i Vånga [18]. Där ger exempelvis en Ø 22 mm Guritladdning i ett Ø 64 mm borrhål ca 15 cm långa radiella sprickor i väggen bakom halvpiporna. Samma

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

laddning i ett Ø 24 mm borrhål ger sprickor gott och väl 1 m in i väggen! Se Figur 4. Därför bör rimligen även klenare hål än Ø 45 mm kunna ingå i tabellen.



Figur 4. Bilder från försök med Ø 22 mm Gurit i Vånga. Den övre bilden visar sprickbilden från en frikopplad laddning [16], den undre från ett fulladdat hål [19].

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Det spelar alltså stor roll om laddningen fyller ut hålet eller inte. Detta visas också av att Emulet 20 i Ø 38 mm hål med laddningskoncentrationen 0,28 kg/m (0,19 kg DxM/m) ger längre sprickor i väggen än Ø 22 mm laddningar av Kimulux 42 i Ø 38 mm hål som har laddningskoncentrationen 0,4 kg/m (0,33 kg DxM/m) [16].

Dessa resultat kan vara viktiga när det gäller att jämföra sprängskador från gasad emulsion med skador från strängemulsion. Dessutom är möjligen inverkan av borrkronornas diameterslitage inte längre helt betydelselös.

Torra eller våta hål: Tabellen säger inget om de bedömda skadezonsdjupen gäller för torra eller våta hål. I en tunnel har hålen i tak och väggar normalt en sådan lutning att vatten rinner ut. I sulan sticker hålen neråt och vattnet kan snabbt rinna till även efter renblåsning. Samma gäller i de nedåtriktade hålen i en slänt.

Försök från ett granitbrott i Svenneby har visat att spricklängderna bakom ett Ø 64 mm borrhål som laddats med Ø 22 mm Gurit blir 3-4 gånger längre om borrhålet är fyllt med vatten än om det är torrt, se Ouchterlony m.fl. [23,24]. Vatten är bevisligen ett utomordentligt kopplingsmedium för sprängverkan!

Tändspridningen: Tabellen säger ingenting om effekten av tändspridning. Försök i Vångagraniten visar att en samtidig upptändning av konturhålen ger betydligt kortare kvarstående sprickor i bergväggen. Där har s.k. elektroniksprängkapslar använts i vilka en elektronisk krets ger en samtidighet i upptändningen som kan uppskattas till 0,1 ms eller bättre. Detta styrker resultaten från tidigare tunneldrivningsförsök hos LKAB i Kiruna, Niklasson och Keisu [25].

Resultaten bekräftas även av senare undersökningar i Kiruna, Fjellborg och Olsson [26], och i Södra Länken, Olsson [27].

Den samtidiga upptändningen ger en förspräckningseffekt i och med att stötvågorna från angränsande laddningar hinner samverka. En så kort fördröjning som 1 ms ger betydligt längre sprickor eftersom stötvågssamverkan uteblir.

Därför kan vanliga, pyrotekniskt fördröjda sprängkapslar som har en tändspridning på minst 5 ms bara undantagsvis ge lika bra resultat som elektroniksprängkapslar. Intervallnumren 25-60 i tunnelserien som används i tunnelkonturer har t.ex. en tändspridning på ca. 150 ms!

Pentylstubinupptändning hamnar någonstans mellan de två andra upptändningssätten. Senare skadezonsmätningar, Ouchterlony m.fl. [28], tyder på att fördröjningen i upptändingen mellan två hål, som är ca 0,15 ms/m för en detonationshastighet på 6500-7000 m/s, är tillräckligt kort för att göra resultaten jämförbara med dem som erhölls efter samtidig upptändning med elektroniksprängkapslar.

Hålsättningen: Tabellen säger ingenting om förhållandet mellan försättning och hålavstånd. I konturen är försättningen oftast större än hålavståndet. I hjälparraderna och strossen gäller normalt det omvända. Våra försök i Vånga med samtidig upptändning

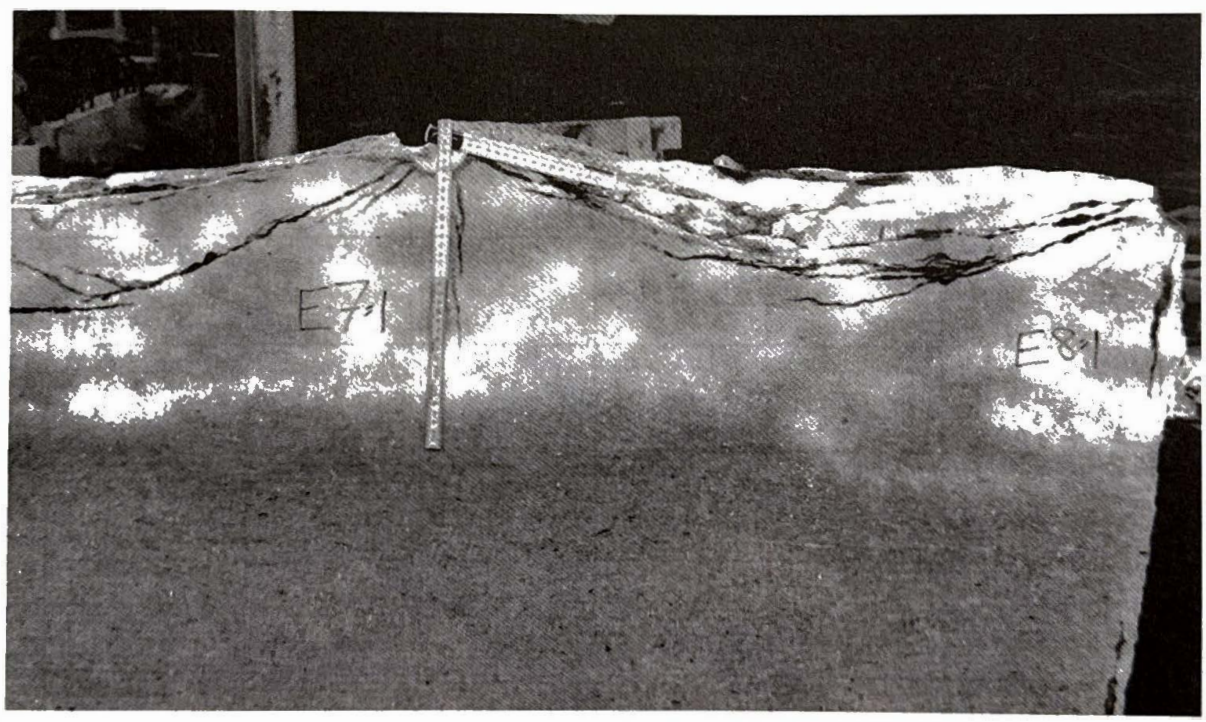
© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

visar att spricklängderna i kvarstående berg efter sprängning påverkas ganska litet av försättningens storlek.

Detta kan verka stå i motsats till vad somliga hävdar gäller för pyroteknisk upptändning, se t.ex. Hustrulid [9]. En del av förklaringen kan ligga i att Vångaförsöken utförts i sprickfritt berg utan sprängskador från t.ex. hjälpare och stross.

Vid en samtidig upptändning av spränghålen så har däremot hålavståndet en betydande inverkan på sprickorna i det kvarstående berget, Olsson [29]. Längden av de radiella sprickorna bakom halvpiporna ökar med ökande hålavstånd. För Ø 22 mm Gurit i Ø 64 mm borrhål med 0,8 m försättning ökar spricklängden från ca 20 cm vid 0,5-0,8 m hålavstånd till 40-60 cm när hålavståndet varit 1,2-2,0m.

Det är ingen skillnad på utslaget, försättningen har gått ut. Däremot ändras skadezonens utseende kraftigt när hålavståndet ökar från 0,8 m till 1,2 m. Från att ha bestått av isolerade sprickrosor runt hålen börjar långa bågformade sprickor uppträda vilka nästan möts och gör berget mellan hålen bomt, se **Figur 5**. Sprickorna är inte djupa då de går ca 10-15 cm in i väggen, men de syns knappt vid en inspektion av halvpiporna och utgör därför en risk för främst människor om konturen inte skulle skrotas.



Figur 5. Bild från försök med Ø 22 mm Gurit i Ø 64 mm borrhål i Vånga. De bågformade sprickorna uppträder oftare när hålavståndet E = 1,2 m men förekommer även när E = 0,8 m. Bilden visar ett skott när V = E = 0,8 m [19].

Till hålsättningen kan vi också räkna inspänninngen. Det finns belägg för att hörnhål i tunnelsalvor och inspända strosshål ger djupare skadezoner än lika hårt laddade hål inne i salvan, Ouchterlony m.fl. [12]. Vidare hävdar många att konturhål som sticker mycket p.g.a. felborrning också ger djupare skadezoner.

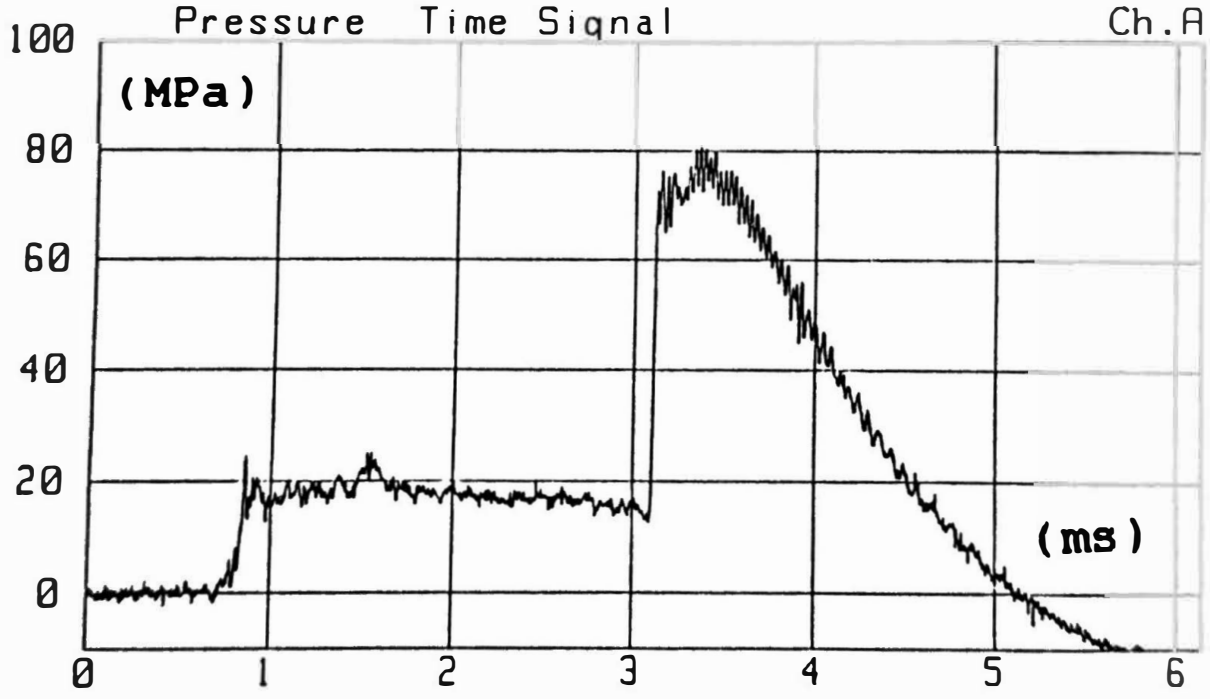
© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Effekten av laddninglängd: Holmberg-Perssons svängningshastighetsansats ligger som visats ovan delvis till grund för **Tabell 1**. Om ansatsen kan anses vara riktigt så skall det skilja en del mellan skadezonsdjupet från en kort 3 m tunnelsalva och från en 15 m hög slänt. Några experiment som styrker eller motsäger detta känner vi inte till.

Bottenladdningens inverkan: I tillämpningen av **Tabell 1** glöms ofta den betydligt kraftigare bottenladdningen bort vid beräkning av skadezonsdjupet. Man tittar enbart på inverkan pipladdningen. Ändå anses det t.ex. att gavelskrotningen vid ort- och tunneldrivning tar avsevärt längre tid än skrotningen av resten av salvan, se t.ex. Fjellborg och Olsson [26]. Detta är en klar indikation på att sprängskadorna är större i botten än längre upp längs piporna.

På senare tid har man också begränsat bottenladdningens storlek vid fastställande av skonsamhetsgrader för tunnelsprängning, t.ex. för Ringen (Niklasson m.fl. [30]) och för Lundbytunneln (Eriksson och Söderberg [31]). Ändå saknas det eventuella tillskott till sprängskadorna i pipdelen av spränghålen som bottenladdningen kan ge.

SveDeFo-arbeten från mitten på 1980-talet [32] visar att bottenladdningen har en stor inverkan på borrhålstrycket. Detta mättes vid sprängning med olika kombinationer av botten- och pipladdning i Ø 89 mm borrhål i gnejs. För t.ex. Ø 22 mm Gurit ovanpå en 0,55 m lång 1,3 kg bottenladdning av Ø 50 mm Emulite 150 så mättes under förladdningen först ett tryck av ca 20 MPa från pipladdningen och sedan kom ca 2 ms senare en trycktopp om ca 70 MPa från bottenladdningen, se **Figur 6**.



Figur 6. Borrhålstryck uppmätt under förladdningen i ett Ø 89 mm borrhål laddat med Ø 22 mm Gurit ovanpå en Ø 50 mm bottenladdning av Emulite 150 [32].

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Denna typ av samverkan finns inte medtagen i **Tabell 1**. Däremot är det klart att Holmberg-Perssons samband innehåller en sådan samverkan. Vi känner inte heller här till några skadezonsmätningar som styrker eller motsäger denna samverkan.

Berget: Tabellen säger inget uttryckligt om vilket berg som den gäller för. I svängningshastighetsansatsen talas om svenskt urberg, dvs. främst granit och gnejs. Våra försök i gnejsgraniten i Jakobsdal [28] visar att utöver de radiella sprickor och eventuella bågformade sprickor som förekommer i ren granit så tillkommer i gnejsen uppsprickning av svaghetsplanen i bergets foliationsriktning. Huruvida de två sprickfamiljerna samverkar beror på bl.a. på hur foliationen är orienterad i förhållande till bergväggen.

Det är också klart att skadezonen ser annorlunda ut i en mjukare bergart som magnetitmalm. Sågning i orter hos LKAB, Nyberg m.fl. [33], visar att radiella sprickor bakom halvpiporna oftast saknas. Skadorna verkar i stället bestå av ett finmaskigt spindelnät av sprickor på kornstorleksnivå. Andra mjukare bergarter som kalksten och sandsten kan förväntas reagera likadant.

Till detta kommer vittring eller uppsprickning hos bergmassan. Försök visar att befintliga öppna sprickor och slag kan dra till sig de radiella sprickorna och förlänga dem med upp till 100% [23, 24]. Samtidigt verkar befintliga sprickor i ytberg som barriärer för de sprängsprickornas tillväxt. Bara ca 1/3 av dem orkar korsa befintliga sprickor.

Om däremot en befintlig spricka skulle vara så hårt trycksatt att den är sluten utgör den inget hinder för sprängsprickor. Dessutom visar sprängsprickor i spänningsfält en stor benägenhet att växa vinkelrätt mot den minsta huvudspänningen.

Precisionen i bedömda skadezonsdjup: Tabellen anger för varje laddning ett bedömt skadezonsdjup på 0,1 m när. Man skulle t.ex. kunna förledas att tro att skadezonen från Ø 17 mm Gurit (0,17 kg DxM/m ger 0,3 m) alltid är grundare än den från Ø 22 mm Gurit (0,30 kg DxM/m ger 0,5 m). Diskussionen ovan visar emellertid att så inte är fallet eftersom man t.ex. mätt djup mellan 0,2-0,7 m för Ø 17 mm Gurit i Göteborgsundersökningen [3, 4].

Vidare inverkar alla faktorer som nämnts ovan till att göra bedömningen osäker. Så förväntar vi oss t.ex. att skadezonen från Ø 17 mm Gurit i vattenfyllda Ø 64 mm borrhål nästan alltid är grundare än den från Ø 22 mm Gurit i torra hål. Vi har vidare effekten av bergart osv. Det är knappast meningsfullt att ange ett enstaka värde för bedömt skadezonsdjup om inte förhållandena specificeras bättre än vad som görs i anslutning till **Tabell 1**.

Laddningskoncentrationen: Här finns flera invändningar. Den första är att klassningen av sprängämnena som görs i tabellen inte är konsistent. Detonex 80 g/m har t.ex. satts in med q = 0,08 kg DxM/m men ansetts likvärdigt med 0,17 kg DxM/m ur skadezonssynpunkt och Detonex 40 har satts in med 0,04 kg DxM/m medan verkan anses motsvara 0,11 kg DxM/m. Pentylstubinen bedöms alltså ge djupare skadezoner än vad laddningskoncentrationen anger. Dessutom har det någon gång föreslagits att andra sprängämnen skulle få "skadezonsrabatt".

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Detta innebär att man insett att laddningskoncentrationen inte kan vara den enda grunden för bedömningen av sprängskador.

För det andra sägs det i texten efter Tabell 1 att:

Likvärdiga sprängämnen får användas efter att dessa placerats in i ovanstående tabell och godkänts av beställaren.

Däremot sägs ingenting om grunden för inplaceringen. När får man t.ex. avvika från laddningskoncentrationen som bestämmande faktor? Skulle det inte var bättre med ett experimentellt förfarande likt det i Vånga där det verkliga skadezonsdjupet mäts?

Den tredje invändningen gäller hur laddningskoncentrationen beräknas. Som redan nämnts uttrycks den i kg Dynamexekvivalenter per meter, dvs den verkliga laddningskoncentrationen för ett aktuellt sprängämne måste räknas om i motsvarande mängd Dynamex M. Omräkningen sker med en faktor som kallas viktstyrkan för sprängämnet, ett begrepp som är svenskt och sannolikt används bara i Norden.

Viktstyrkan relativt ANFO definieras enligt Persson m.fl. [34] ekvation 4.55 av

$$s_{ANFO} = 1/0{,}84 \cdot (5e/6 + v_g/6), \qquad (6)$$

uttryckt i kg ANFO ekvivalenter per kg sprängämne. Här är

$$e = Q/Q_0, \text{ sprängämnets relativa explosionsenergi och}$$

$$v_g = V_g/V_{g0}, \text{ sprängämnets relativa gasvolym.} \qquad (7)$$

Referensvärdena $Q_0 = 5{,}00$ MJ/kg och $V_{g0} = 0{,}85$ m^3/kg vid STP gäller för LFB dynamit som var vanligt i Sverige i början på 1950-talet. För att använda Dynamex som jämförelsegrund i stället för ANFO så måste s_{ANFO} multipliceras med ANFO:s viktstyrka relativt Dynamex som är ungefär 0,91.

Sprängämnestillverkarens bestämning av Q bygger emellertid på beräkningar som inte är standardiserade och har ändrats genom åren. Beräkningen av V_g är betydligt säkrare. Viktstyrkebegreppet togs fram när nitroglycerinsprängämnen var de vanligaste. Persson m.fl. [34] anger att viktstyrkan underskattar sprängstyrkan hos ANFO och de emulsionssprängämnen vilka dominerar marknaden i dag.

Nya sprängämnen: På senare tid har användningen av ANFO under jord minskat kraftigt och ersatts av bulkemulsionsprängämnen. Till LKAB levererar t.ex. Kimit numera nästan uteslutande emulsion till både ortdrivning och brytning. Dyno Nobels SSE koncept med känsliggörning av emulsionsmatrisen på plats genom gasning har prövats både i tunnlarna under Arlanda och nu i Södra Länken med goda resultat.

Tabell 1 saknar egentligen underlag för bedömning av skadezonsdjupet för borrhål laddade med bulkemulsion. Tag exempelvis en emulsion med densiteten 1100-1200 kg/m^3 och viktstyrkan 70 % relativt Dynamex. I ett Ø 51 mm borrhål blir laddningskoncentrationen 1,57-1,72 kg DxM/m och faller precis på gränsen för det område som Tabell 1

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

täcker. För grövre hål ger tabellen inga data. Till detta kommer den osäkerhet i viktstyrkebegreppet för emulsion som nämns ovan.

Två sätt att reducera sprängstyrkan hos bulkemulsioner används, gasning till lägre densitet och s.k. strängemulsion. Strängemulsion innebär laddning med en sträng med sprängämne som inte fyller ut hålet. Sprängämnet ligger på botten av de horisontella borrhålen. Enligt tidigare resonemang torde vid lika laddningskoncentration strängemulsion ge en grundare skadezon än gasad emulsion men detta borde verifieras med försök.

Olsson [27, 35] har mätt skadezonsdjupet bakom borrhål laddade med strängemulsion. I Vångagraniten [35] laddades 8 st horisontella Ø 48 mm borrhål med strängemulsion med laddningskoncentrationen 0,35 kg/m (ca. 0,25 kg DxM/m) och tändes upp samtidigt med Dyno Nobels elektroniksprängkapslar. Skadezonen, dvs. spricklängderna, blev som mest 30 cm. Enligt **Tabell 1** skulle skadezonsdjupet ha blivit 40-50 cm.

På arbetsplats SL 03 i Södra Länken [27] jämfördes skadeverkan av Ø 17 mm Gurit med skadeverkan av strängemulsion laddad till ca. 0,35 kg/m, båda i Ø 48 mm borrhål, i 10 st 5 m djupa salvor. Laddningskoncentrationen i hjälparhålen, som låg ca. 0,8-1,2 m från konturen, hade med gasningen fått laddningskoncentrationen reducerad till ca. 0,9 kg/m för att de inte skulle ge djupare skador i konturen än själva konturhålen.

Av salvorna utvaldes 3 salvor, strängemulsion med Nonel- eller samtidig upptändning i konturen samt Gurit med samtidig upptändning, för sågning och inmätning av spricklängder med penetrantvätska.

Andelen synliga halvpipor i väggarna blev genomgående betydligt högre vid samtidig upptändning än vid Nonelupptändning, 70-75 % mot ca 15 %. De längsta uppmätta spricklängderna var i medel 10 cm för Guriten och 18 cm för strängemulsionen, båda vid samtidig upptändning, samt 30 cm för strängemulsionen med Nonelupptändning.

Det senare värdet uppfyller Vägverkets krav att skadezonen i vägg skall vara grundare än 30 cm. Dessutom visade försöken alltså åter att den samtidiga upptändningen av konturhålen med elektroniksprängkapslar ger betydligt mindre skadezonsdjup än upptändning med normal tändspridning.

Sammantaget visar detta att frågan om hur djupa skadezoner som emulsionssprängämnen åstadkommer behöver utredas.

Vad skall vi ha i stället?

Vår lista med svagheter hos **Tabell 1** och den svängningshastighetsansats som delvis ligger bakom tabellen är som synes mycket lång. Dessutom finns erfarenheterna av hur användningen av tabellen fungerat i praktiken. Den första frågan är om detta är skäl nog att omarbeta **Tabell 1**. Svaret på denna fråga är uppenbarligen ja eftersom den nya upplagan av AMA, AnläggningsAMA 98, innehåller en omarbetning, tabell CBC/2 [36] eller **Tabell 3 nedan.**

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tabell 3:Högsta tillåtna laddningskoncentration vid öppen sprängning och sprängning i tunnel, bergrum o.d. i förhållande till teoretisk skadezon. Tabell CBC/2 i [36].

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

1) Mikrosprickor orsakade av sprängning och som kan ha bildas även utanför den här angivna "skadezonen".

Vid bedömning av teoretiskt skadezonsdjup skall hänsyn tas till:

- *frikoppling, vatten i hål, bergets egenskaper, typ av upptändning, laddningslängd och verklig krondiameter.*

I AMA är **Tabell 3** kopplad till en tabell för bergschaktningstoleranser, tabell CBC/1 [36] med nästan samma värden för det teoretiska skadezonsdjupet. I denna sägs att:

*Laddningskoncentrationen skall vara högst enligt tabell CBC/2 (**Tabell 3**) för angiven teoretisk skadezon.*

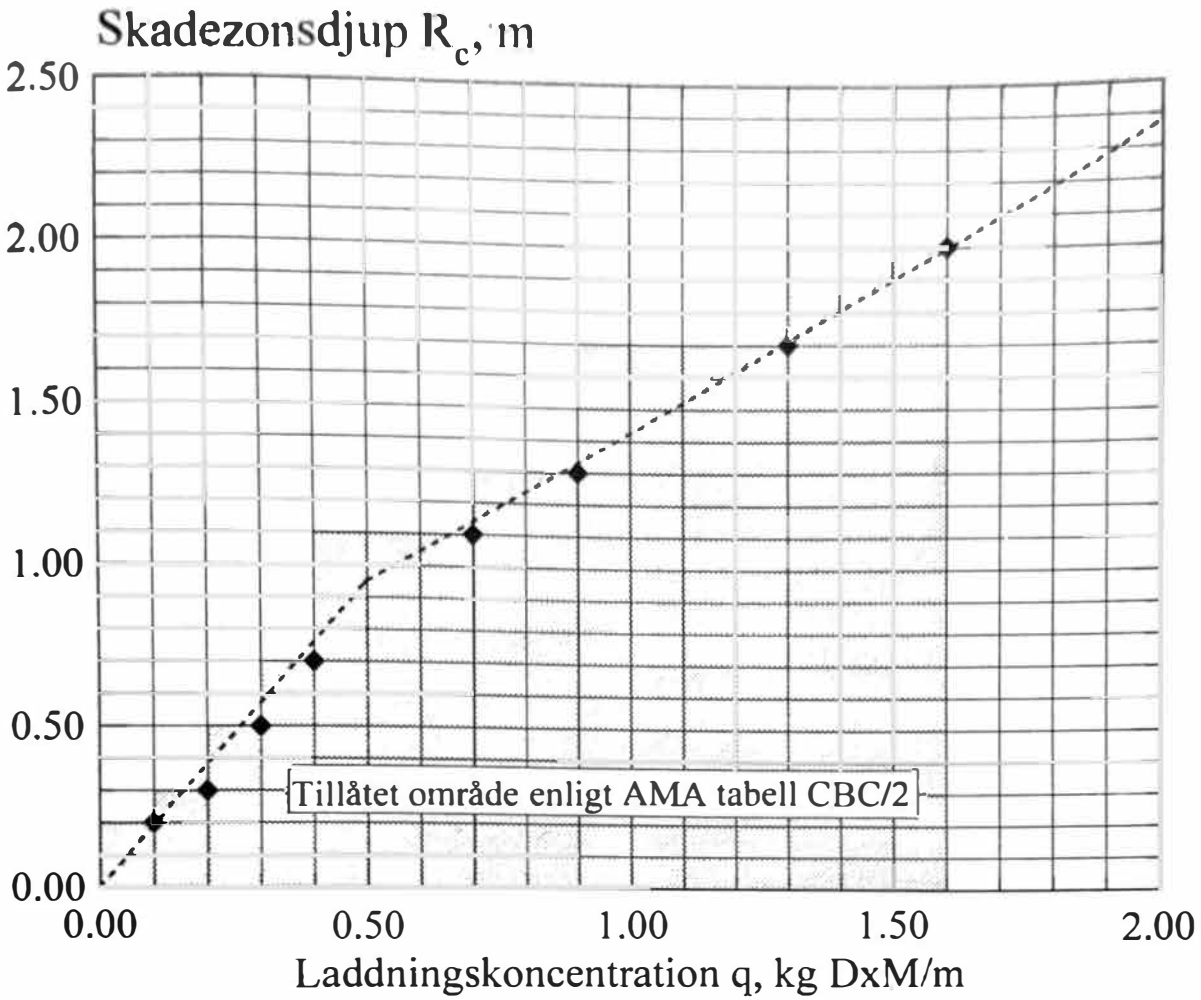
Således styr angiven bergschaktningstolerans tillåten laddningskoncentration. I stället för den brutna räta linjen i den tidigare tabellen motsvarar AMA-tabellerna tillsammans ett tillåtet laddningskoncentrationsintervall för varje givet skadezonsvärde i en given klass (**Fig. 7**).

För t.ex. klass 2, skadezon i slänt/vägg 0,3 m och i botten 0,7 m, får pipladdningskoncentrationen vara högst 0,2 kg DxM/m i slänt/vägg och 0,4 kg DxM/m i bottenhålen. Sedan kan, liksom i Ringenanvisningarna [1] behöva anges begränsningar av bottenladdningen.

Det förenklade utförandet av **Tabell 3** jämfört med **Tabell 1** torde ha sin främsta grund i att göra den mera produktionsmässig. Terminologiändringen från bedömd till teoretisk skadezon torde syfta på att tabellen är starkt kopplad till Holmberg-Perssons svängningshastighetsansats. Efter Tabell 3 sägs vidare att:

Vid bedömning av teoretiskt skadezonsdjup skall hänsyn tas till: frikoppling, vatten i hål, bergets egenskaper, typ av upptändning, laddningslängd och verklig krondiameter.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 7. Grafisk representation av skadezonstabellen i [36], Tabell 3 ovan.

Detta kan ses som varningsflaggor som ställer krav på att entreprenören måste vara kunnig, skärpt och ta egna initiativ. Det är ingen slump att flaggorna till stor del överensstämmer med de punkter där vi pekat på begränsningar i **Tabell 3**. Däremot saknas ännu någon form av systematiska anvisningar hur hänsyn skall tas till dem.

Det finns flera sätt att angripa detta problem. Ett är att bygga upp en systematisk formel likt den i den svenska normen för riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader, SS 460 48 66 [37]. Där utgår man från en okorrigerad svängningshastighet v_o, som visserligen beror av markförhållandena, och multiplicerar sedan med olika korrektionsfaktorer för konstruktionstyp (= byggnadstyp·byggnadsmaterial), avstånd och verksamhetstyp. Riktvärdet blir då

$$v = v_o \cdot F_k \cdot F_d \cdot F_t \quad \text{där} \quad F_k = F_b \cdot F_m \tag{8}$$

och det finns tabeller eller kurvor som definierar korrektionsfaktorerna F.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

På samma skulle vi kunna utgå från ett okorrigerat skadezonsdjup R_{co} och multiplicera med nödvändiga korrektionsfaktorer för punkterna i AMA 98 för att erhålla teoretiska eller bedömda skadezonsdjup. R_{co} skulle då t.ex. kunna utgöras av ekvation 4.

Om man ska vara noggrann så finns för R_{co} en prognosformel för spricklängder bakom halvpiporna efter skonsam sprängning med samtidig upptändning av laddningarna som tagits fram av Ouchterlony [13] på grundval av data från Vångaförsöken [16-21]

$$R_{co} = 0{,}5 \cdot Ø_h \cdot (p_h / p_{h,crack})^{2/[3(D/c)^{0,25}-1]}, \qquad (9a)$$

där $p_{h,crack}$ är det borrhålstryck som krävs för att sprickor ska bildas. Det ges av

$$p_{h,crack} = 3{,}30 \cdot K_{Ic} / \sqrt{Ø_h}, \qquad (9b)$$

och borrhålstrycket p_h av

$$p_h = \gamma^{\gamma}/(\gamma+1)^{(\gamma+1)} \cdot \rho_e \cdot D^2 \cdot (Ø_e/Ø_h)^{2,2}, \qquad (9c)$$

och γ, den dimensionslösa expansionsexponenten i spränggasernas expansionsadiabat uppskattas slutligen med hjälp av

$$\gamma = \sqrt{(1 + D^2/Q)}. \qquad (9d)$$

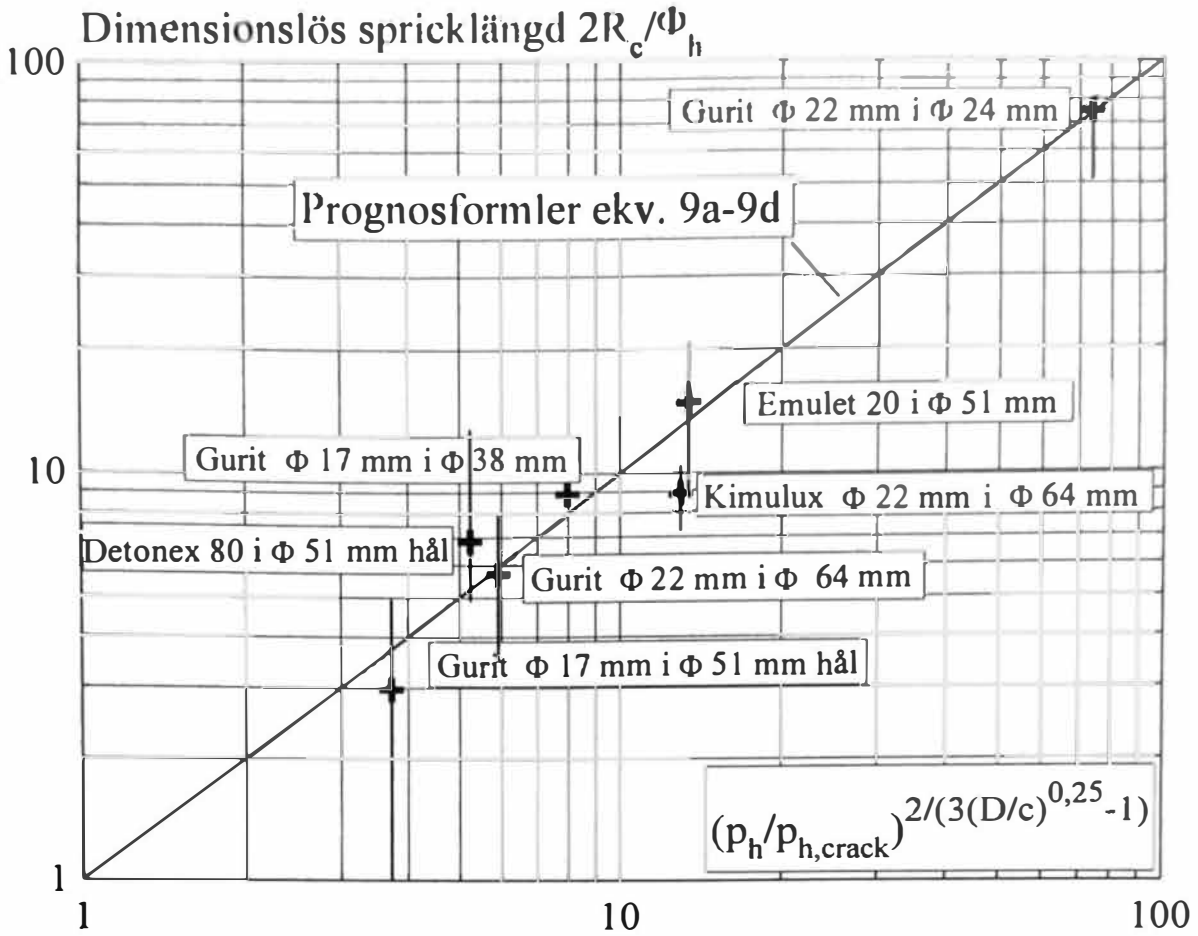
I dessa samband finns redan ett antal parametrar medtagna som beskriver egenskaperna hos sprängämnet, bergarten och geometrin

ρ_e = sprängämnets densitet (kg/m^3)
D = sprängämnets detonationshastighet (m/s)
Q = sprängämnets reaktionsvärme, dvs ungefär dess explosionsenergi (J/kg)
$Ø_e$ = laddningens diameter (m)
$Ø_h$ = borrhålets diameter (m)
f = $Ø_e/Ø_h$, kopplingsgraden, som är 1 för ett fulladdat hål
c = P-vågens utbredningshastighet i berget (m/s)
K_{Ic} = bergets brottseghet, dvs. dess motståndskraft mot sprickutbredningen (Pa$\sqrt{m}$).

Här finns redan korrektioner för frikopplingen, bergartens egenskaper och håldiametern inräknade. För sprängämen används tre egenskaper, densiteten, detonationshastigheten och explosionsenergin vilka ersätter både den energibaserade viktstyrkan och laddningskoncentrationen.

Sambandens 9a-9d relativt goda förmåga att återge Vångaresultaten syns i **Figur 8**. Överensstämmelsen med fristående finska data var också god [13]. Därmed är sambanden ett sätt att undanröja några av de begränsningar i skadezonstabellen som visat på.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 8. Sambanden 9a-9d ger den räta linjen. Medelvärden för uppmätta sprickl ängder för kombinationer av sprängämne och borrhål som använts i Vånga ges av korsen, värdenas variationsbredd ges av de vertikala linjerna genom korsen.

Utvärderingen av R_{co} enligt 9a-9d är mer komplicerad än tabellen, men sambanden kan programmeras på en miniräknare. För att få en visuell bild av hur ingående faktorer påverkar resultatet föreslogs i [13] att presentera sambanden i nomogramform (**Figur 9**). Inringade nummer syftar på den beskrivning av beräkningsgången som finns i [13]. Några mellanled som den effektiva densiteten ①, det relativa borrhålsövertrycket ④ och exponenten ⑥ måste räknas ut för hand.

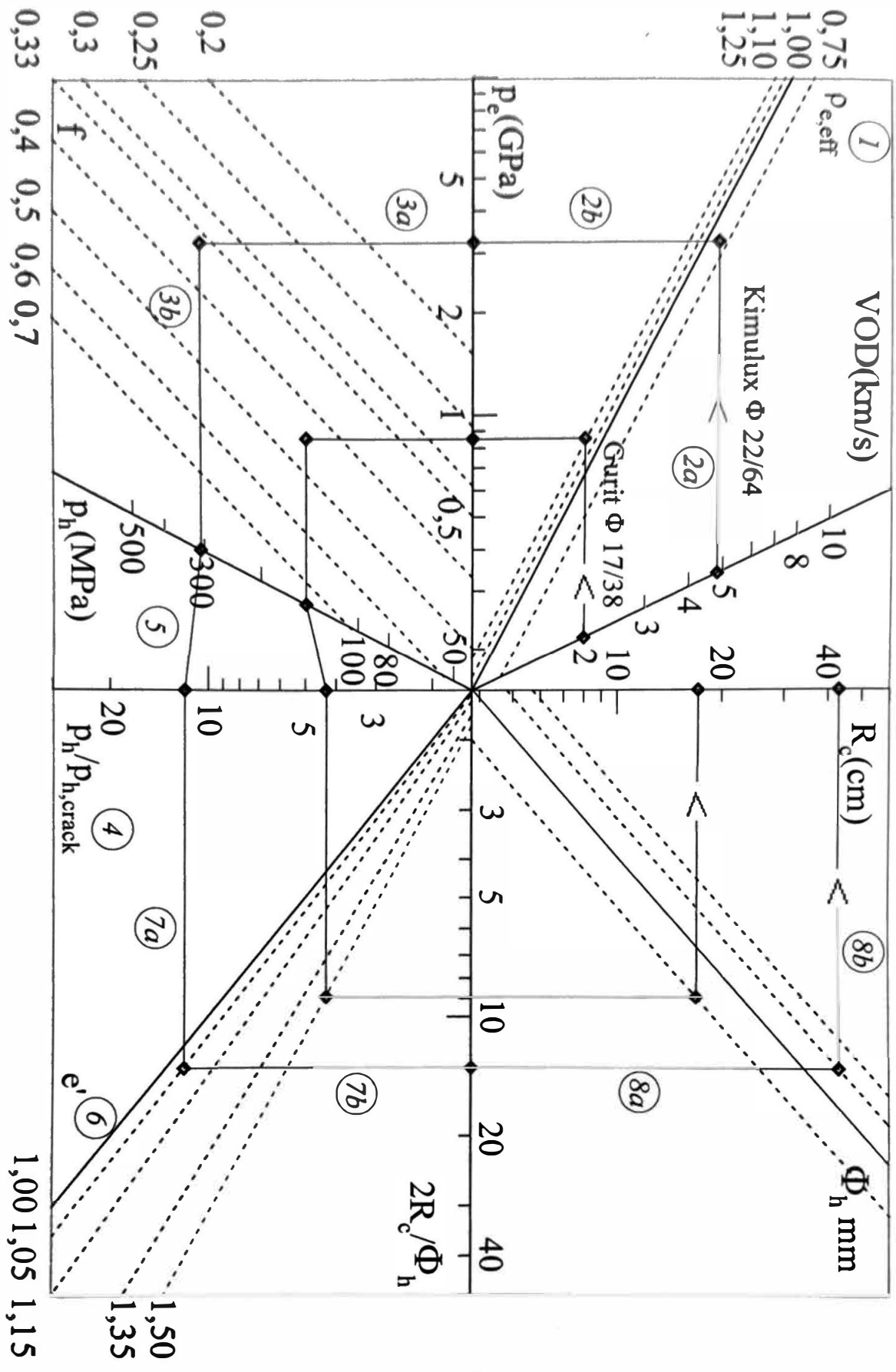
Sambanden kan också läggas i en Excelrutin. **Figur 10** visar en utskrift av en sådan. Om de egenskaper som där är angivna med fetstil ändras så ändras sprickdjupsintervallen. Likaså om hål- eller laddningsdiametervärdena ändras. Intervallgränserna utgör av sambandsvärden ± 20 %, angivet i steg om 5 cm.

De skuggade sprickdjupen motsvarar mätta värden, övriga utgör den generalisering som finns inbyggda i sambanden.

En sådan Excelrutin kan enkelt kompletteras med olika ingenjörsmässiga korrektionsfaktorer för

- vatten i borrhålet

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 9. Nomogram för bestämning av spricklängden bakom halvpiporna i kvarstående berg enligt sambanden 9a-9d. De två exemplen visar hur nomogrammet används och inringade nummer hänvisar till bruksanvisningen [13].

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

- upptändningssätt
- hålsättning
- bergart mm.

När det gäller vatten i borrhålet kan vi t.ex. tänka oss ett värsta-fall-scenario. I slänter och tunnelbotttnar skulle man då räkna med våta hål om man inte kan visa att frikopplade laddningar haft en luftspalt. Detta skulle antingen kräva bevis för att hålen varit torra eller att laddningar med inbyggd luftspalt använts. En någorlunda enkel korrektionsfaktor kan sannolikt tas fram.

SPRÄNGÄMNE GURIT:

Egenskaper:

VOD	**2000** m/s
densitet	**1050** kg/m3
energi	**3,50** MJ/kg
gamma	*1,254*
förfaktor	*0,213*
fulltryck	*893* MPa
P-våg	**5500** m/s
exponent	*1,50*
brottseghet	**2,00** MN/m1,5
sprickfaktor	*1,00*

Laddningsdiameter / Sprickdjup

Hål	17 mm	22 mm	29 mm
38 mm	15 - 20 cm	35 - 50 cm	85 - 130 cm
41 mm	10 - 20 cm	30 - 45 cm	75 - 115 cm
45 mm	10 - 15 cm	25 - 40 cm	65 - 100 cm
51 mm	10 - 15 cm	20 - 30 cm	55 - 80 cm
57 mm	5 - 10 cm	15 - 25 cm	45 - 70 cm
64 mm	5 - 10 cm	15 - 25 cm	35 - 55 cm

Figur 10. Utskrift av Excelrutin som utvärderar sambanden 9a-9d. Utskriften visar hur rutinen kan anpassas till förekommande hål- och laddningsdiametrar.

En korrektionsfaktor för upptändningssätt skulle ge ett incitament att använda elektroniksprängkapslar, åtminstone i tunnelkonturer där det är olämpligt att använda pentylstubinupptändning. För utformningen av faktorn skulle man kanske kunna använda skillnaderna mellan bedömda värden från **Tabell 1** och Holmberg-Perssons ansats å ena sidan och sambanden 9a-9d å andra sidan.

Beträffande hålsättning är det troligt att vid samtidig upptändning så går korrektionsfaktorn för ökande hålavstånd mot värdet för korrektionsfaktorn för upptändningssätt eftersom båda fallen svarar mot effekten av icke samverkande hål, dvs enstaka hål.

Korrektionsfaktorn för berget är inte lika enkel att utforma. Här torde praktisk erfarenhet av berg var mycket värdefull. Utformningen av de systematiska anvisningar som behövs som komplement till AnläggningsAMA 98 [36] måste vara sådan att de kan tillämpas någorlunda lätt.

Urspungstabellens (**Tabell 1**) begränsningar och svagheter är sådana att ett komplement är nödvändigt. Vi har givit ett förslag till hur detta skulle kunna utformas. Vi hoppas att många läsare tar tillfället att ge sina synpunkter på vårt förslag. Väl underbyggd och konstruktiv kritik är särskilt välkommen!

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Sammanfattning

I Vägverkets projekteringsanvisningar för Ringen / Yttre Tvärleden i Stockholm [1] förekommer en tabell (**Tabell 1**) där den skadezon som olika sprängämnen åstadkommer bedöms med utgångspunkt från laddningskoncentrationen (kg DxM/m). En tidigare variant av tabellen [3-5] har i nästan 15 år använts som undervisningsmaterial, för design och i bygghandlingar för skonsam sprängning av främst tunnlar

Underlaget för tabellen i form av verkliga skadezonsmätningar är emellertid magert. Tabellen tar vidare inte hänsyn till faktorer som frikopplingen, vatten i hålet mm. Den täcker inte nya tekniska omständigheter som håldiametrar större 51 mm, bulkemulsionssprängämnen och samtidig upptändning med elektroniksprängkapslar.

Vårt bidrag visar vilka begränsningar tabellen och den underliggande svängningshastighetsansatsen har. Det ger referenser till relevanta undersökningar, främst skadezonsmätningar, och diskuterar avvikelserna. En slutsats blir att det är dags att komplettera den befintliga skadezonstabellen.

Eftersom en enklare version av tabellen (**Tabell 3**) nyligen publicerats i Anläggnings-AMA [36] så blir vårt nuvarande förslag i stället ett komplement till denna. Det förslag vi ger är uppbyggt som vibrationsnormerna, dvs. med ett okorrigerat skadezonsdjup plus ett antal korrektionsfaktorer. Underlaget för dessa faktorer finns delvis i det erfarenhetsunderlag vi redovisar. Det okorrigerade skadezonsdjupet bygger på delar av det underlag vi redovisat [13]. Vi är inte låsta till hur komplementet utformas och vill inbjuda alla intresserade bergtekniker till att komma med synpunkter på hur det skall utformas.

Referenser

1. 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. Se även

   Niklasson, Bengt. Projekteringsanvisningar för skonsam sprängning i tunnlar inom Ringen och Yttre Tvärleden. *Sprängnytt*, nr 1 sid. 14-20, 1994.

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

3. Sjöberg, Conny, Bernt Larsson, Marianne Lindström och Kai Palmqvist. Sprängningsmetod för kontrollerad sprickutbredning och säkerhet under jord. ASF projekt 77/224. Nitro Consult, 1977.

4. Sjöberg, Conny. Sprickutbredningszoner kring smala borrhålsladdningar. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-79*, sid. 53-98. BK, 1979.

5. Carlsson, Ragnar.Minskat överberg med skonsam kontursprängning. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-91*, sid. 97-107. BK, 1991.

6. Sjöberg, Conny. Muntlig kommunikation, januari 2000.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

7. Holmberg, Roger. Laddningsberäkning för slätsprängning. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-78*, sid. 327-333. BK, 1978.

8. Holmberg, Roger och Per-Anders Persson. Design of tunnel perimeter blasthole pattern to prevent rock damage. I Tunneling'79, Proc *2nd Intnl Symp on Tunnelling* sid. 280-283, Inst Mining & Metallurgy, London, 1979.

9. Bergqvist, Ingvar. Datoriserade hjälpmedel för planering av sprängningsarbeten. *Spräng-nytt*, nr 2 sid. 14-15, 1993.

10. Hustrulid, William. The practical blast damage zone in drift driving at the Kiruna mine. I *Skadezon vid tunneldrivning*, Appendix 3, SveBeFo rapport nr 8, sid. 75-125. SveBeFo, 1994.

11. Nyberg, Ulf och Stig Fjellborg. Ortdrivning och skadezonsbedömning i LKAB:s Kirunagruva. Föredrag vid *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-2000*. BK 2000.

12. Ouchterlony, Finn, Conny Sjöberg, Sven-Erik Johansson och Ulf Nyberg. Blasting damage investigation in access ramp 0/526-0/565 m rapport nr 3, Damage zone assessment by vibration measurements. SKB progress report 25-91-14. SKB, 1991.

13. Ouchterlony, Finn. Prediction of crack lengths in rock after cautious blating with zero inter-hole delay. SveBeFo rapport 31, SveBeFo, 1997.

14. Blair, Dane och Alan Minchinton. On the damage zoen surrounding a single baslthole. Fragblast, Intnl J for Blasting and Fragmentation vol 1 sid 41-58. 1997.

15. Bjarnholt, Gert och Hans Skalare. Instrumenterad bergsprängning. Inledande försök i betongblock. SveDeFo rapport DS 1981:16. Stiftelsen Svensk Detonikforskning, 1981.

16. Olsson, Mats och Ingvar Bergqvist. Sprickutbredning i berg vid skonsam sprängning. SveBeFo rapport 3, SveBeFo, 1993.

17. Olsson, Mats och Ingvar Bergqvist. Verklig sprickbildning vid sprängning med olika sprängmedel. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-93*, sid. 225-232. BK, 1993.

18. Olsson, Mats och Ingvar Bergqvist. Sprickbildning vid skonsam sprängning. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-94*, sid. 107-114. BK, 1994.

19. Olsson, Mats och Ingvar Bergqvist. Sprickutbredning vid flerhålssprängning, Delrapport. SveBeFo rapport 18. SveBeFo, 1995.

20. Olsson, Mats och Ingvar Bergqvist. Skonsam sprängning - oönskad sprickbildning. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-96*, sid. 157-163. BK, 1996.

21. Olsson, Mats och Ingvar Bergqvist. Sprickutbredning vid flerhålssprängning, Sammanfattande rapport av försöksperioden 1993-96. SveBeFo rapport 32. SveBeFo, 1997.

22. Krauland, Norbert. Erfarenheter av skadezonen i gruvbranschen. I *Skadezon vid tunneldrivning*, SveBeFo rapport nr 8, sid. 19-24. SveBeFo, 1994.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

23. Ouchterlony, Finn och Mats Olsson. Skonsam sprängning med slits runt hålbotten i stället för bottenladdning, delresultat från ett EU-projekt. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-98*, sid. 153-184. BK, 1998.

24. Ouchterlony, Finn, Mats Olsson och S-O Båvik. Bench blasting in granite with holes with axial notches and radial bottom slots. I *Proc 6th Intnl Symp for Rock Fragmentation and Blasting* sid 229-239. South African Institute of Mining and Metallurgy symposium serie S21, Johannesburg 1999.

25. Niklasson, Bengt och Mats Keisu. Sofia-projektet - sammanfattning av genomförande och resultat. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-92*, sid169-190. BK, 1992.

26. Fjellborg, Stig och Mats Olsson. Grovhål i centrum, ortdrivning med grovt öppningshål i LKAB. SveBeFo rapport 27. SveBeFo, 1996.

27. Olsson, Mats. Sprickutbredning från sprängning i tunnelväggar, Södra Länken. SveBeFo uppdragsrapport. SveBeFo, 2000-01-03.

28. Ouchterlony, Finn, Mats Olsson och S-O Båvik. Skonsam sprängning med slits runt hålbotten i stället för bottenladdning, resultat från 130 m vägskärning vid Södertälje. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-99*, sid. 137-169. BK, 1999.

29. Olsson, Mats. Pågående rapportering från projektarbete 1996-99. SveBeFo, 2000.

30. Niklasson, Bengt, Conny Sjöberg, Gunnat Tenlén och Lars Nilsson. Projekteringsanvisningar för skonsam sprängning inom Ringen och Yttre Tvärleden. *Sprängteknisk konferens 8-10 februari 1994*, bidrag nr 14. Nitro Nobel, 1994.

31. Eriksson, Stig och Carl Johan Söderberg. Summering av Lundbytunneln. *Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte BK-97*, sid. 27-45. BK, 1997.

32. Bjarnholt, Gert, David C Holloway, William Wilson och Kenneth Mäki. Smooth wall blastingusing notched boreholes - a field study. SveDeFo rapport DS 1988:3. Stiftelsen Svensk Detonikforskning, 1988.

33. Nyberg, Ulf, Stig Fjellborg, Mats Olsson och Finn Ouchterlony. Bedömning av sprängskador i ortkontur. Vibrationsmätning, skadeprognoser och sprickkartering i magnetitmalm. SveBeFo rapport K10, SveBeFo, 1999.

34. Persson, Per-Anders, Roger Holmberg och Jaimin Lee. Rock blasting and explosives enginering. CRC Press, Boca Raton FL, 1994.

35. Olsson, Mats. Skadezon från strängemulsionsladdade hål. Underjordsseminarium 22-23 oktober 1998, bidrag nr 12. Nitro Nobel, 1998.

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

37. Vibrationer och stöt - Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader. Svensk Standard SS 460 48 66. SIS, Stockholm 1989 och 1991.