© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

BORRHÅLSAVVIKELSER VID SPRÄNGNING AV SLÄNTER - ERFARENHETER FRÅN INMÄTNINGAR I SÖDERTÄLJE.

Finn Ouchterlony, SveBeFo

Inledning

Borrhålsavvikelserna är avgörande för sprängningsresultaten, både tekniskt som ekonomiskt. De räknas in i borrplanerna, Olofsson [1]. Ju större avvikelser desto mindre försättning och följaktligen desto högre kostnader för borrningen och sprängningen. Vid höga pallhöjder kan skillnaden mellan teoretisk och praktisk försättning bli avsevärd.

Vägverkets handbok i sprängteknik [2] anger t.ex. att vid vanlig borrning utan hjälpmedel har ett genomsnittligt riktningsfel på 7 cm/m uppmätts men att med lutningsmätare kan felet begränsas till ca. 1 cm/m utan att inställningstiden ökar.

Till ansättnings- och riktningsfelen kommer böjningsfelet i borrhålet som bl.a. påverkas av bergets struktur, Sinkala [3]. Vid normal pallborrning verkar böjningsfelet för Ø 89 mm borrhål vara någorlunda litet om pallhöjden understiger 12-13 m, Bakken [4]. Med klenare borrsträng eller högre pallhöjd ökar det snabbt. För Ø 76 mm borrhål uppmättes t.ex. avvikelser på upp till 2 m för 15 m långa hål.

Även Vägverkets rapport *'Borrning av raka hål'* [5] belyser böjningsfelets kraftiga ökning med ökande håldjup. Bidraget är här betydande redan vid 7 m långa hål. Man finner också att borrning med Ø 51 krona och borrsträng i allmänhet ger större borrhålsavvikelser än borrning med Ø 64-76 mm krona och sträng. Se även Backlund m.fl. [6].

Karlsson [7] visar att vid pallborrning så dominerar riktningsfelet helt över böjningsfelet för 9-14 m hål. Ett riktningsfel på ca 4-5 cm/m mättes upp på två mätplatser. Han hänför det mindre till själva påhuggsriktningen än till borrarens justering av mataren efteråt för att borrstången skall vara rak. Boman [8] anger t.ex. det större värdet 6 cm/m.

Totalfelet är oftast betydligt större än de värden som ansatts vid borrplaneberäkningen. I värsta fall blir försättningen i första raden så liten att bottenladdningen slår ut en krater med avsevärt stenkast som följd [4]. Om försättningen blir större än den maximala kan en salva skjuta fast. I undantagsfall kan hålbottnarna i närliggande rader byta plats eller grannborrhål i samma rad korsa varandra, se tex. Amundsen [9] och Eriksson [10].

Inuti en salva blir den relativa borrhålsavvikelsen mellan närliggande hål avgörande för salvans funktion. Vid skjutning mot kvarstående bergvägg, t.ex. slänten i en vägskärning, är kraven på borrningsprecisionen större och absoluta eftersom den nu också jämförs med teoretisk kontur. Vägverket [2] anger t.ex. siffran max 0,02 m/m för riktningsfelet och även absolut- eller totalfelet är av intresse. I VÄG 94 [11] anges i stället att: *'Hålavvikelsen i kanthålen får inte vara större än 0,3 m i någon del av kanthålen'*, vilket ställer större krav på inriktningen av djupa hål.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Förutom de relativa avvikelserna tillkommer i konturen ett utsättningsfel, dvs. den utsatta påhuggspunktens avvikelse från teoretisk kontur.

I MarkAMA 83 [12], kapitel B6, anges särskilda toleransklasser för borrningsprecisionen vid bergschakt. Dessa toleransklasser anges ofta som beställarkrav. I den högsta klassen, klass 1, anges t.ex. ansättning högst 0,1 m utanför teoretisk kontur, dvs. ett ensidigt utsättningsfel om högst 0,1 m. Ansättningsfelet relativt utsättningspunkten anges till högst 0,04 m och största riktningsfelet till 0,02 m/m (2 cm/m) i fem fall av sex.

Totalfelet i borrningstoleransklass 1 anges till ett största stickmått om 0,2 m vid borrhålsbotten och en största differens mellan närliggande borrhåls bottnar om högst 0,2 m i fem fall av sex.

Viktiga frågor är om kraven i borrningstoleransklass 1 kan uppfyllas utan särskild styrutrustning och hur bra normal borrning kan göras. Likaså om nya AnläggningsAMA 98 [17] ställer större krav än MarkAMA 83. Dessa frågor besvaras i korthet här och i större detalj i den rapport som detta bidrag bygger på, Ouchterlony [13].

Förutsättningar

Under 1998 genomförde SveBeFo försökssprängningar i en vägskärning vid Morabergs trafikplats på E4/E20 vid Södertälje. Försöksplatsen ställdes till förfogande av Vägverket Produktion Mitt. Försöken ingick i ett EU-projekt, BE95-1671 med titeln: *'Down-hole abrasive jet cutting operations in quarrying, mining and civil engineering'*, vilket avslutades under året, Ouchterlony m.fl. [14-16].

Södertäljeförsöken visade att den nya kontursprängningstekniken med slitsade hål fungerar bättre än befintlig teknik. Sprängskadorna i väggen minskar något och i botten blir de avsevärt mindre. Härigenom blir bergslänten mindre känslig för frostsprängning och vibrationer varför förutsättningarna för längre underhållsintervall torde finnas.

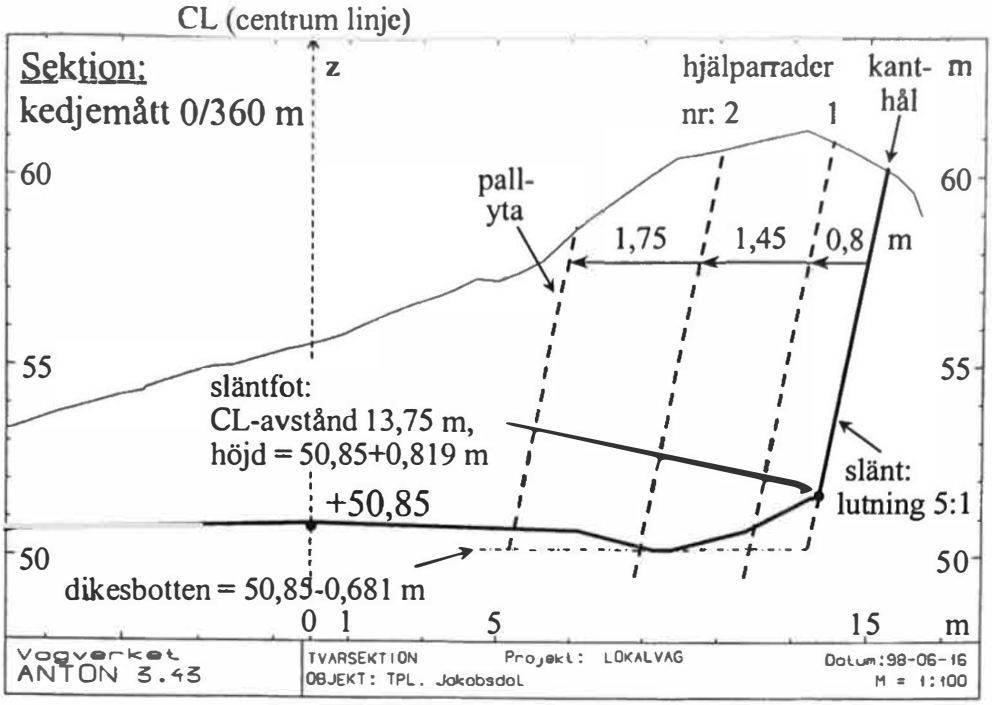
Den nya kontursprängningstekniken ställer emellertid stora krav på kvalitén hos borrnings- och slitsningsarbetena. Vi var följaktligen angelägna att ha borrhålsavvikelserna under kontroll. Samtidigt framförde S-O Båvik, Vägverket värdet av att ta reda på hur bra normal borrning kan göras. Därför gjordes omfattande utsättning och inmätningar.

För att borrningen skulle bli så bra som möjligt bestämdes att borraren inte skulle betalas per borrmeter och

- att kanthålen och hålen i hjälparrad 1 skulle sättas ut och numreras individuellt,
- att borraren skulle ha ett protokoll där önskat hålnummer och hållängd angetts,
- att alla borrhål skulle lodas under borrningen och för grunda hål göras djupare,
- att påhuggspunkternas lägen och pipornas riktning vid påhugg skulle mätas och
- att kvarstående pipor i slänten och synliga slitsar skulle mätas in.

Försöksplatsen var sydslänten i en vägskärning vid Moraberg. Berget består av en frisk grå medelkornig gnejs, ställvis biotitrik men relativt tät. Två huvudsprickriktningar observerades utöver bankningsplanen.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 1: Tvärsnitt genom vägen med kanthål och hjälparrader.

I kompletterande anvisningar till ATB angav beställaren bl.a. följande krav för bergskärningarna, hålavstånd max. 0,5 m och borrningstolerans 1, enligt MarkAMA 83 [12], kapitel B6. Efter diskussioner kunde 0,8 m hålavstånd i konturen användas.

De inre livhålen, dvs. produktionshålen i skärningen, och den norra slänten hade skjutits ut innan försöken började. Livet sköts i 6 salvor under sommaren 1998. Enligt planen skulle det stå kvar ca 4 m berg framför skärningens södra vägg. Väggen var, utom i ett par lägre partier, 5-12 m hög, längden ca 130 m och volymen uppskattas till 3300 m^3. Berget togs ut i två salvor med vardera tre rader med hål, kontur plus 2 hjälparrader.

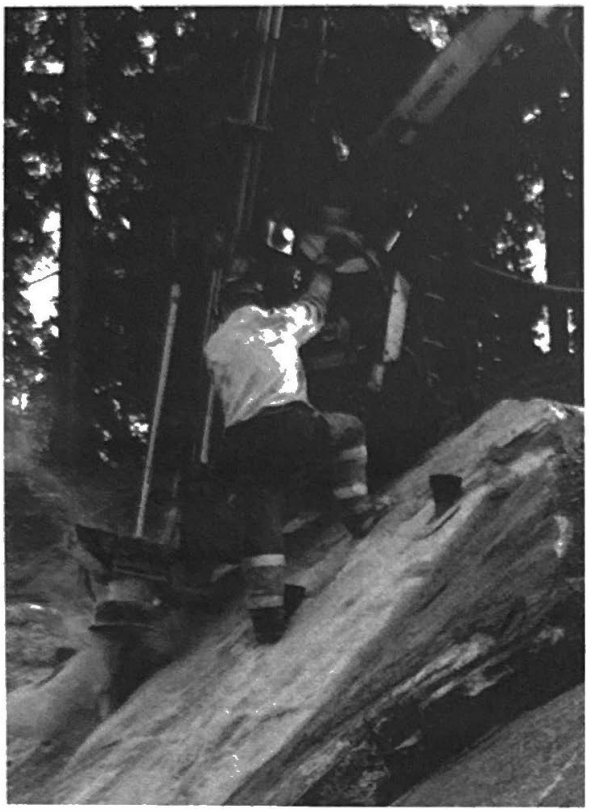
0,8 m försättning användes för alla kanthålen samt 1,45 m respektive 1,75 m försättning för hålen i de två raderna med yttre livhål (hjälparrad 1 och 2). Hålavstånden skulle i stället regleras så att lämplig specifik laddning erhölls. Kanthålens lutning längs hela skärningen bestämdes till 5:1 eller 11,31°. Ett tvärsnitt genom vägen visas i Figur 1.

Slänten delades in i 13 provsträckor med olika kombinationer av håldiameter, slitsar, hålavstånd, laddning och upptändningssätt Ouchterlony m.fl. [15]. Därför ges all statistik för håldata här sträckvis.

Hålen i konturen och första hjälparraden sattes ut individuellt med hjälp av totalstation, Leica TCA 1100 laserteodolit och prismastavar. Utsättningsfelet kan därför antas vara näst intill försumbart. Ansättnings- eller påhuggspunkterna markerades med sprayfärg.

Utsatt hålavstånd var 0,8 m i konturen, utom sträcka 12 där det var 1,2 m. I första hjälparraden var utsatt hålavstånd 1,05 m. Hålen i den andra hjälparraden sattes ut på ett avstånd på 1,05 m med tumstock längs en hjälplinje på berget.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2: Borrning längs provsträcka 3.

SKÅRNINGEN I JAKOBSDAL, 98-09-08

Sömmen, hålavstånd 0,8 m och försättning 0,8 m

Sträcka - hål nr	Längd sektion Ö/m	Borrad längd m	Önskad längd m	Sträcka - hål nr	Längd-sektion Ö/m	Önskad längd m	Verklig längd 2 m
7-13	373,8	6,16		5-08	346,4	8,46	8,32
7-12	372,8	6,36		5-07	345,6	7,91	7,85
7-11	372,0	6,43		5-06	344,8	7,77	7,74
7-10	371,2	6,66		5-05	344,0	7,53	7,45
7-09	370,4	6,96		5-04	343,2	7,36	7,40
7-08	369,6	6,90		5-03	342,4	7,21	7,31
7-07	368,8	6,73		5-02	341,6	6,63	6,60
7-06	368,0	6,97		5-01	340,8	6,37	6,90
7-05	367,2	7,39					
7-04	366,4	8,00		Borrmeter, totalt		380,0	
7-03	365,6	8,31					
7-02	364,8	8,71					
7-01	364,0	9,10					
6-15	363,2	10,19	10,0				
6-14	362,4	9,76	9,90				
6-13	361,6	9,86	9,70				
6-12	360,8	10,23	9,90				
6-11	360,0	10,65	10,42				
6-10	359,2	10,63	10,59				
6-09	358,4	10,97	10,80				
6-08	357,6	11,26	11,20				
6-07	356,8	11,47	11,62				
6-06	356,0	11,83	11,90				
6-05	355,2	11,71	11,80				
6-04	354,4	11,92	11,84				
6-03	353,6	12,02	12,12				
6-02	352,8	11,85	12,00				
6-01	352,0	11,30	11,30				
5-14	351,2	11,24	11,32				
5-13	350,4	11,07	11,07				
5-12	349,6	10,88	10,89				
5-11	348,8	9,27	9,39				
5-10	348,0	9,36	9,40				
5-09	347,2	8,51	8,55				

Figur 3: Hållängdsprotokoll.

Borrningen gjordes med en Atlas Copco ROC 612HC-01 rigg med vikbom och COP 1238 borrmaskin med T38 borrsträng och Ø 64 mm Retrac-kronor. Kanthålen i sträckorna 7-9 borrades dock med Ø 51 mm krona och annan borrsträng.

Riggen var väl använd och utrustad med ett instrument EAF 700, för inställning av matarens tippvinkel men inte med hållängdsmätare eller instrument för matarens svängvinkel. Inga styrrör användes. Pallytan var bitvis ganska kuperad och ojämn (Fig. 2).

Borraren fick ett protokoll med angiven längd för varje borrhål (Fig. 3). Längden beräknades utifrån inmätt påhuggspunkt, vägens dikesbotten, samt planerad underborrning (Fig. 1). Hållängden mättes med stålmåttband och protokollfördes (Fig. 3). Om hålen var mer än 15-20 cm för korta borrades de om. Detta skedde i enstaka fall.

Totalt borrades 2550 m hål. De 144 kanthålen hade en längd av 1010 m, varav 175 m för 26 hål med Ø 51 mm. De 113 hålen i första hjälparraden svarade för 830 m. I medel borrades 150 m per 8 timmars skift. Den specifika borrningen blev ca 0,75 bm/m^3.

Mätning av påhuggspunkt och hålriktning gjordes också med totalstation. I borrhålsmynningen placerades ett plastlock med hål i. Prismastavens spets placerades i detta före mätningen. Sedan sattes ett plaströr i hålmynningen med en borrhålsplugg som styrmuff. I rörets yttre ända sattes sedan plastlocket och läget mättes. Särskild vinkelmätutrustning användes inte då de flesta kantpiporna väntades stå kvar efter sprängning och kunna användas för att kontrollera mätresultaten. Botten och halvpipor för kanthålen mättes också in med hjälp av totalstation. I de allra flesta fall syntes bottnarna efter utlastning. Även för många av de andra hålen kunde prismastaven placeras i hålbotten.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Bilder av sprängningsresultaten ges i Figurerna 4-7. I Figurerna 5-7 har halvpipornas lägen ritats in som räta linjer mellan mätt påhuggspunkt, mätt krönpunkt efter sprängning och rensning samt lägsta mätbara punkt längs hålet. Upplösningen är tillräckligt god för att de stora hålavvikelserna ska synas.

Figur 4: Foto av bergväggen längs sträckorna 3-0 (vänster till höger) efter sprängning.

Definition av storheter

Mätdata utgör koordinater för punkter, påhugg, hålbottnar, rörändar och punkter längs halvpiporna. Koordinaterna har räknats om till ett lokalt högersystem (CL, S, z') där CL betyder punktens läge från vägens centrumlinje, S sektions- eller kedjemåttet längs vägen och z' punktens höjd.

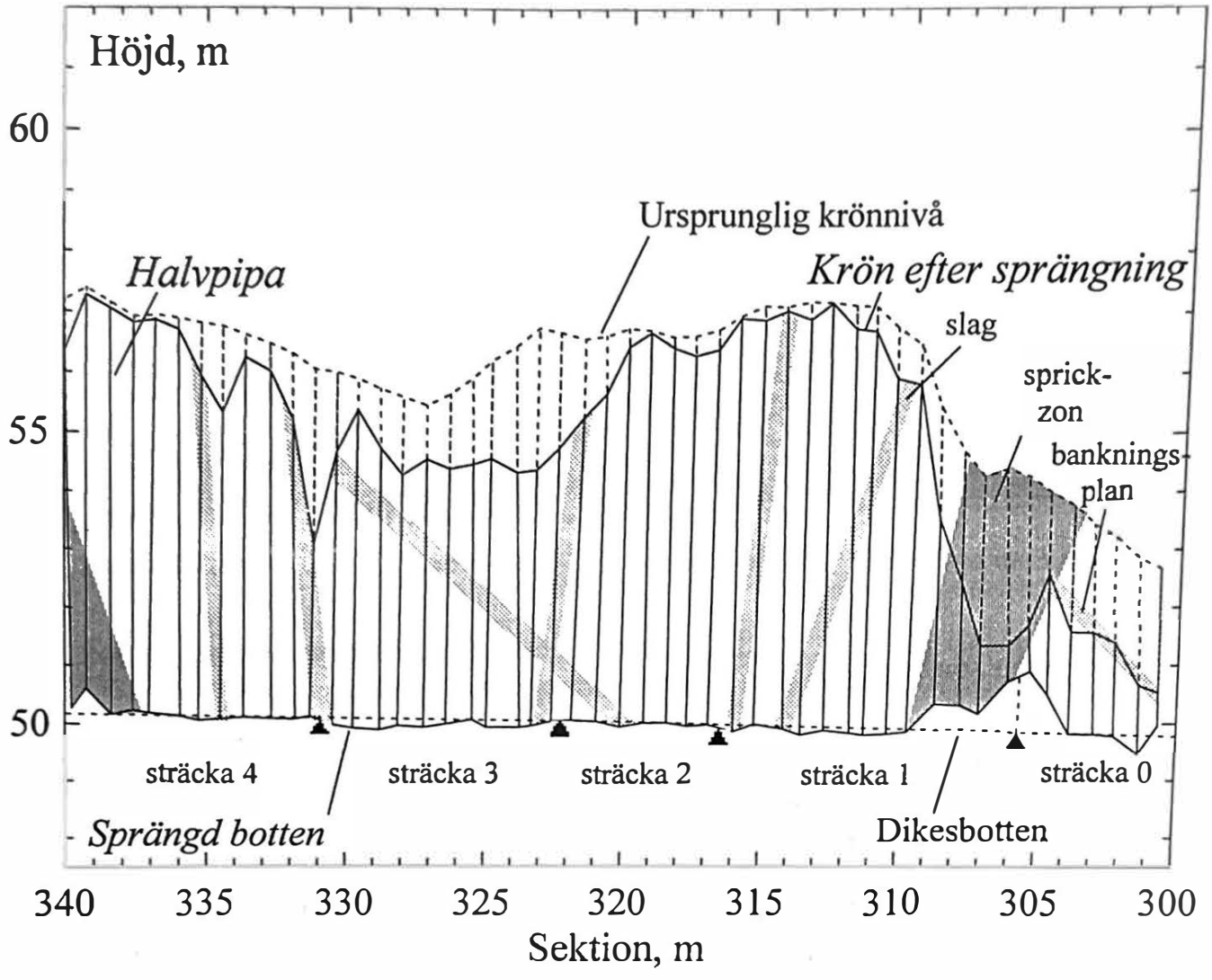
Väggens eller släntens fot i sektionen för den färdiga vägen ges relativt vägens centrumlinje av CL = 13,75 m och Δz = +0,819 m (Fig. 2). Dikesbotten, den nivå dit hålen med bottenslitsar borrades, ges på samma sätt av CL = 13,45 m och Δz = -0,681 m. Höjdskillnaden mellan släntfot och dikesbotten är 0,819+0,681 = 1,5 m.

De storheter som beräknats med utgångspunkt från dessa data definieras här. Olika punkter och koordinatsystem definieras i Figur 8 och A1 i Appendix A där storheterna definieras i detalj. Fullständiga formler ges i [13].

I vår undersökning, där utsättningen gjordes med totalstation, så kan vi försumma utsättningsfelet varför P'_{tk} sammanfaller med P' och B'_{tk} med B'. I fortsättningen kommer P' och B' därför lite slarvigt att kallas de planerade påhuggs- och bottenpunkterna.

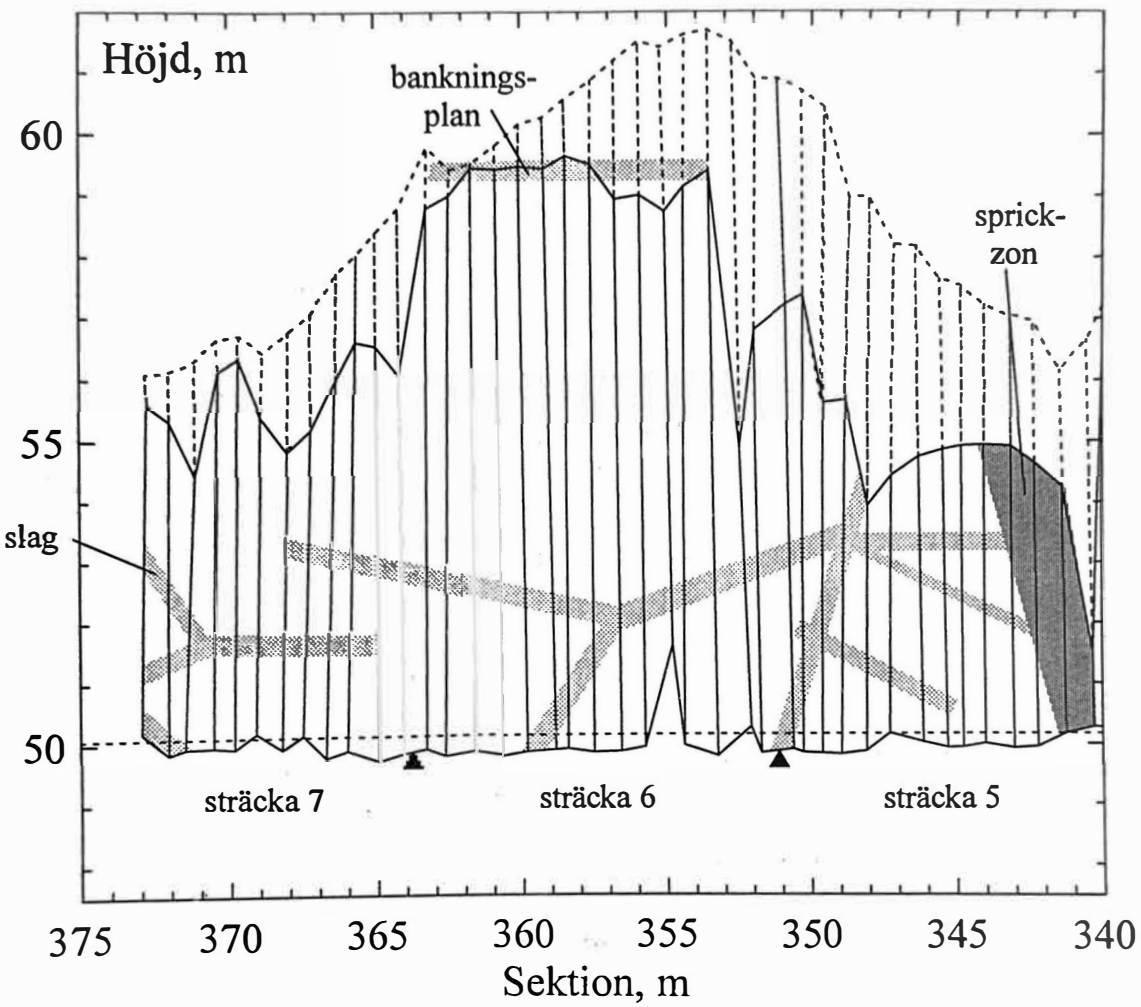
Vidare så visar analysen nedan att påhuggsvinklarna mätt med rörmetod är mycket lika vinkelvärdena beräknade ur påhuggs- och bottenpunkterna. Detta betyder att böjningsfelet är näst intill försumbart och att $B \approx B'''$.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



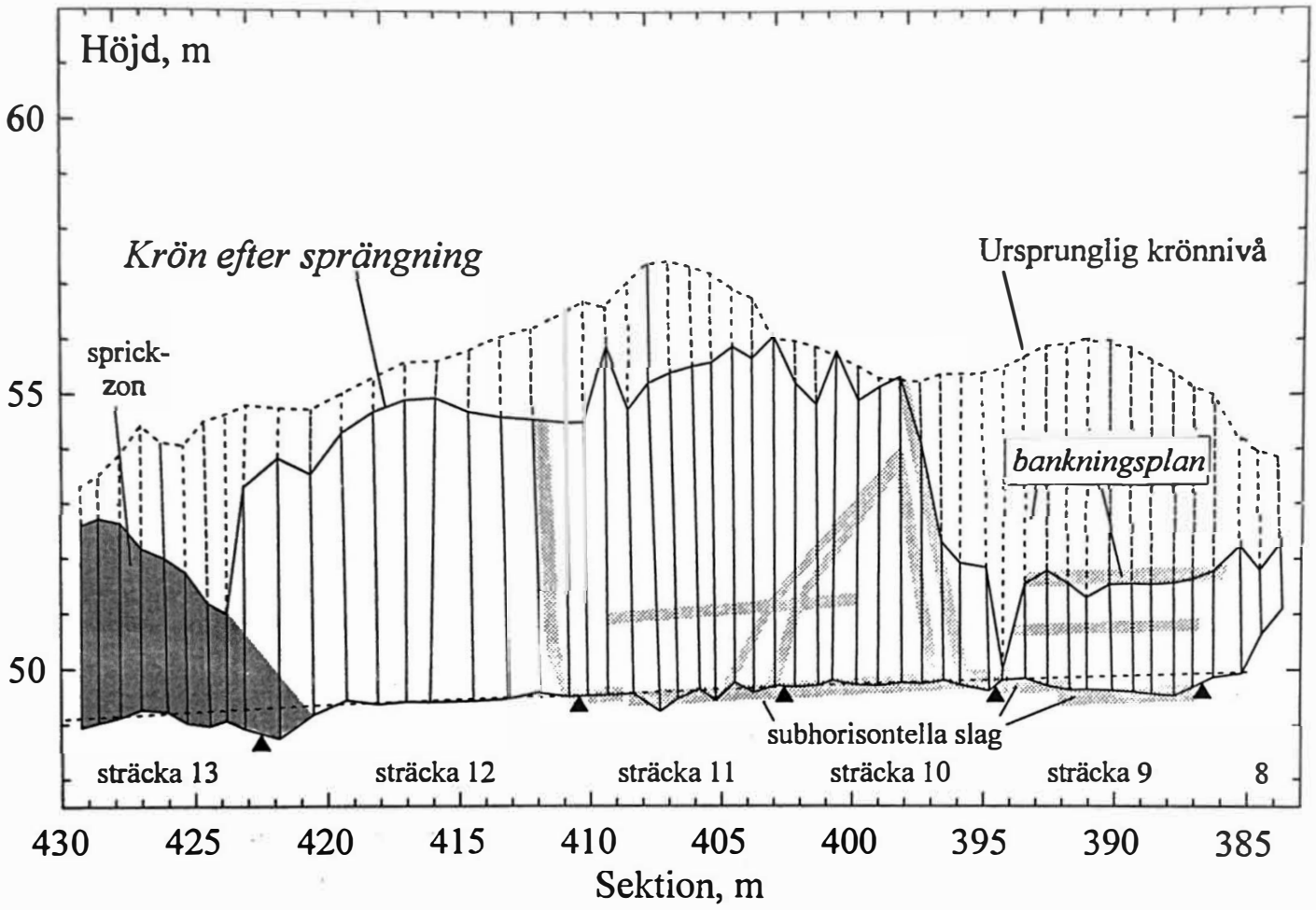
Figur 5: Bergväggen i slänten längs sträckorna 4-0 med verkliga halvpipelägen, krön- och bottennivåer samt slag etc.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



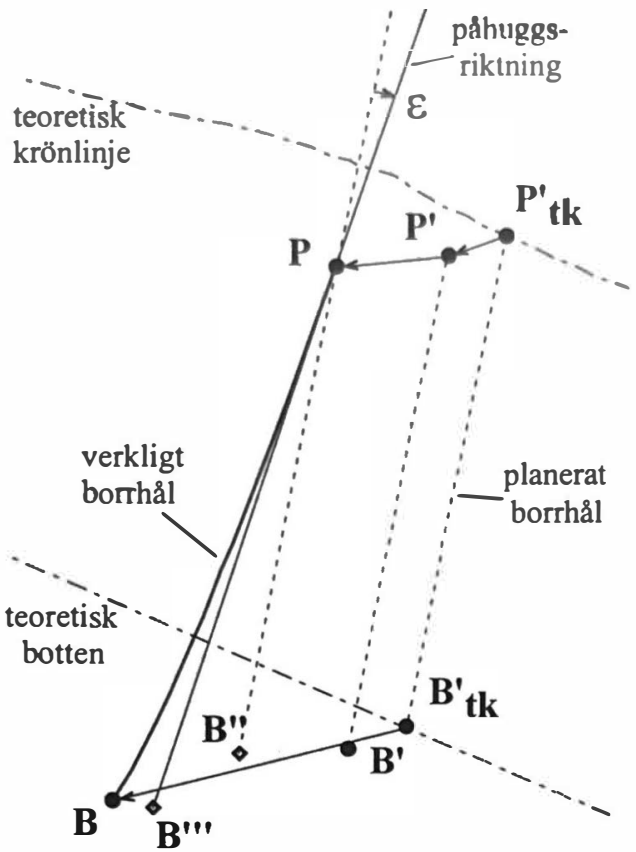
Figur 6: Bergväggen i slänten längs sträckorna 7-5 med verkliga halvpipelägen, krön- och bottennivåer samt slag etc.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 7: Bergväggen i slänten längs sträckorna 13-8 med verkliga halvpipelägen, krön- och bottennivåer samt slag etc.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



P'_{tk} = planerad påhuggspunkt

B'_{tk} = planerad bottenpunkt

P' = utsatt påhuggspunkt

B' = motsvarande bottenpunkt

P = verklig påhuggspunkt

B = verklig bottenpunkt

B'' = botten vid rak, rätt riktad borrning av rätt längd

B''' = botten vid rak, fel riktad borrning av verklig längd

$P'_{tk}P'$ = utsättningsfel

P'P = ansättningsfel

ε = riktningsfel

$B'_{tk}B$ = totalfel i botten

B'''B = böjningsfel i botten

Figur 8: Borrhålsavvikelser och definition av felkomponenter

De olika vinklarna som beräknats visas i Appendix A. Störst vikt läggs vid hålets tippvinkel α och svängvinkel δ. Värdena för dessa jämförs bl.a. med matarens tipp- och svängvinklar och några slutsatser dras. Hålets bäring γ är inte lika intressant som svängvinkeln. Däremot är inriktningsfelet ε av stort intresse. Det kan beräknas m.h.a. α och δ men är svårare att visualisera.

En sammanställning av enskilda mätdata och beräknade värden enligt ovan ges i [13]. En sträckvis sammanställning av statistik för beräknade storheter, medelvärde ± standardavvikelse, ges i Tabell 1-3. Där har även totalstatistik för sträckorna sammanställts, tillsammans med en jämförelse mellan beräknade borrhålsavvikelser och kraven enligt borrningstolerans 1. Före denna gäller att gränsvärdena måste underskridas i 5 fall av 6.

Av 147 utsatta kanthål gav som mest 144 kanthål som underlag för felborrningsstatistiken. För några hål kunde sedan de verkliga hålbottenlägena inte mätas. För värden som bygger på differensen för värdena mellan olika hål, t.ex. hålavståndet, faller ytterligare 2 värden, ett för varje salva. Om något värde inne i en salva är felaktigt försvinner 2 differenser. Antalet användbara hål för statistiken varierar från storhet till storhet. Även andra hål sorteras bort när ett stort systematiskt fel bedöms inverka, t.ex. sträcka 0. Av 114 utsatta hål i hjälparrad 1 kunde 113 borras någorlunda enligt plan. Antalet utnyttjade hål i totalstatistiken ges i tabellerna.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Analys av borrhålsavvikelserna

Ansättningsfelet och hålavståndet på ytan

Figur 9 visar ett spridningsdiagram för ansättningsfelet hos kanthålen. Den undre, skuggade delen visar berget utanför teoretisk kontur, dvs. fel i positiv CL-led vilket motsvarar överberg. De systematiska felen för hålen i sträcka 0 syns väl. Även borrningstoleransernas gränser 4 och 10 cm är inlagda i figurerna. Medelfelen i sektions- och höjdled (z-led) är båda mindre än 1 cm. I CL-led är det ca 3 cm. Därför är punkterna i Figur 9 inte exakt centrerade runt origo.

Tabell 2 och 3 visar att 96 av 134 kanthål och 74 av 103 hjälparhål faller utanför den gräns på 4 cm som borrningstolerans 1 kräver Borrningstolerans 2 anger gränsvärdet 10 cm. En analys av data visar att 36 av 237 faller utanför denna gräns. Detta utgör mindre än tillåtna 1/6 och följaktligen är borrningen godkänd enlig borrningstolerans 2.

Medelvärdet för kanthålsavstånden på ytan i försökssträckorna varierar mellan 0,78 och 0,82 m, utom för sträcka 12 där medelavståndet var 1,20 m som planerat. Se Tabell 1. De totala medelvärdet för övriga slänten är 0,80 m såsom planerat. Den totala standardavvikelsen är ±0,06 cm. Motsvarande medelvärde för hjälparhålsavstånden är 1,05 m med standardavvikelsen är ± 0,08 cm. (Tabell 3).

Riktningsfelet och dess komponenter i tipp- och svängled

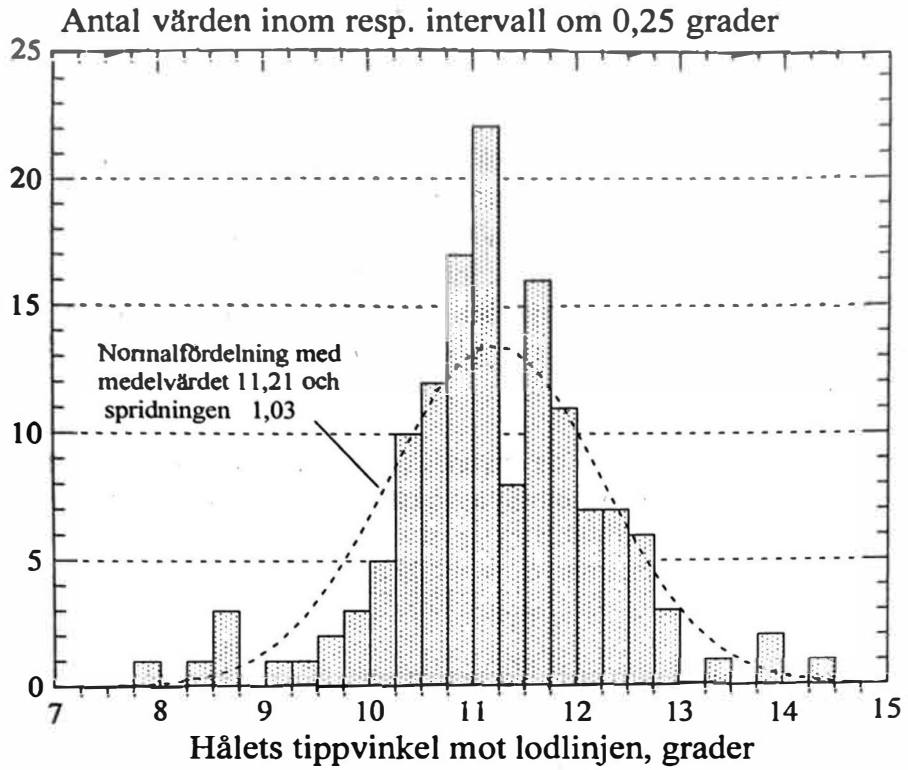
I Tabell 1 ges hålens tippvinkel och svängvinkel längs slänten under antagandet att böjningsfelet är försumbart, vilket diskuteras nedan. I Tabell 2 visas riktningsfelet. Vinkelvärdena har alltså beräknats ur mätta påhuggs- och bottenlägen (Appendix, Fig. A1).

Histogram för tippvinkeln och riktningsfelet visas i Figur 10-11. Figurerna innehåller normalfördelningar baserade på beräknade medel- och spridningsvärden. Figur 11 visar även gränsvärdena för borrningstoleranserna 1 och 2. Normalfördelningarna återger tippvinkelns variationer i Figur 10 rätt väl, liksom svängvinkelns, men knappast riktningsfelets variationer i Figur 11, åtminstone inte för felvärden nära noll.

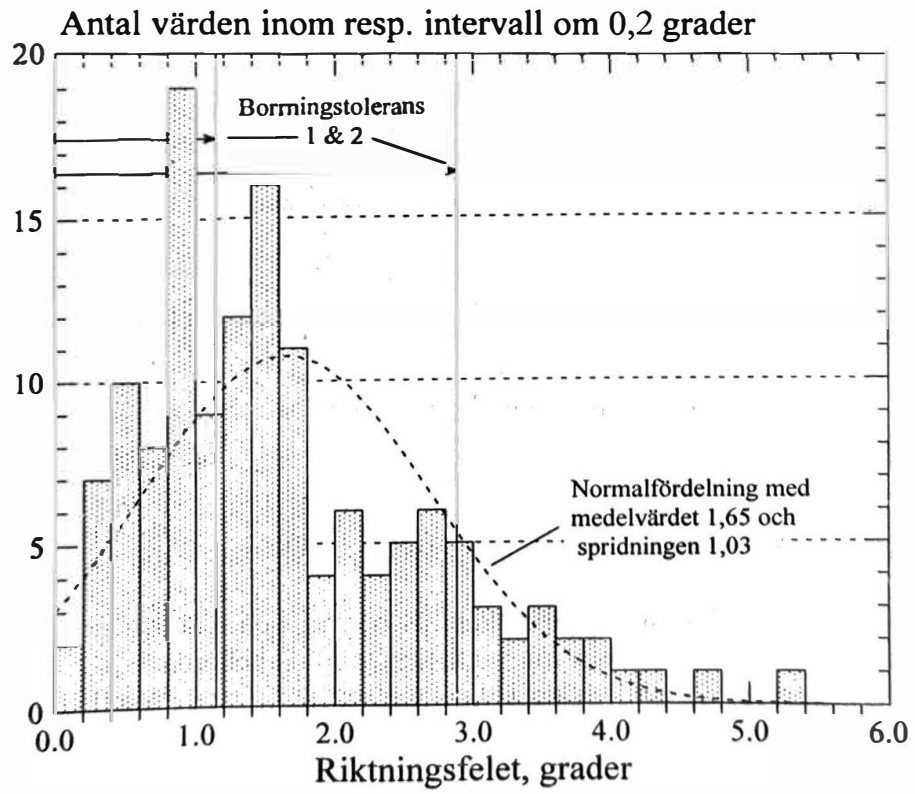
Statistiken för kanthålens tippvinkel ges av 11,21° ± 1,03°. Om några hål med systematiska fel undantas blir statistiken 11,28° ± 0,98°. Medelvärdet ligger mycket nära värdet 11,31° för lutningen 5:1. Avvikelsen från det nominella värdet blir då avrundat 0,0° ± 1,0°. Svängvinkelstatistiken ges av 0,3° ± 1,6°, se Tabell 1. Hålriktningen är alltså noggrannare i tippvinkel- än i svångvinkelled, vilket är naturligt m.h.t. riggens instrumenteringen.

Motsvarande statistik för riktningsfelet är 1,6° ± 1,0° enligt Tabell 2. Borrningstolerans 1 kräver att 5 hål av 6 har ett riktningsfel som är mindre än 2 cm/m eller 1,15° då vår konturspräng̃ning inte är en förspräckning. Tabell 2 visar att 79 av 130 hål faller utanför denna gräns. För tolerans 2 är gränsvärdet 5 cm/m eller 2,86° och 16 kanthål faller utanför gränsen. Alltså klarar riktningsfelet inte borrningstolerans 1 men väl tolerans 2.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 10: Histogram över kanthålens tippvinkel.



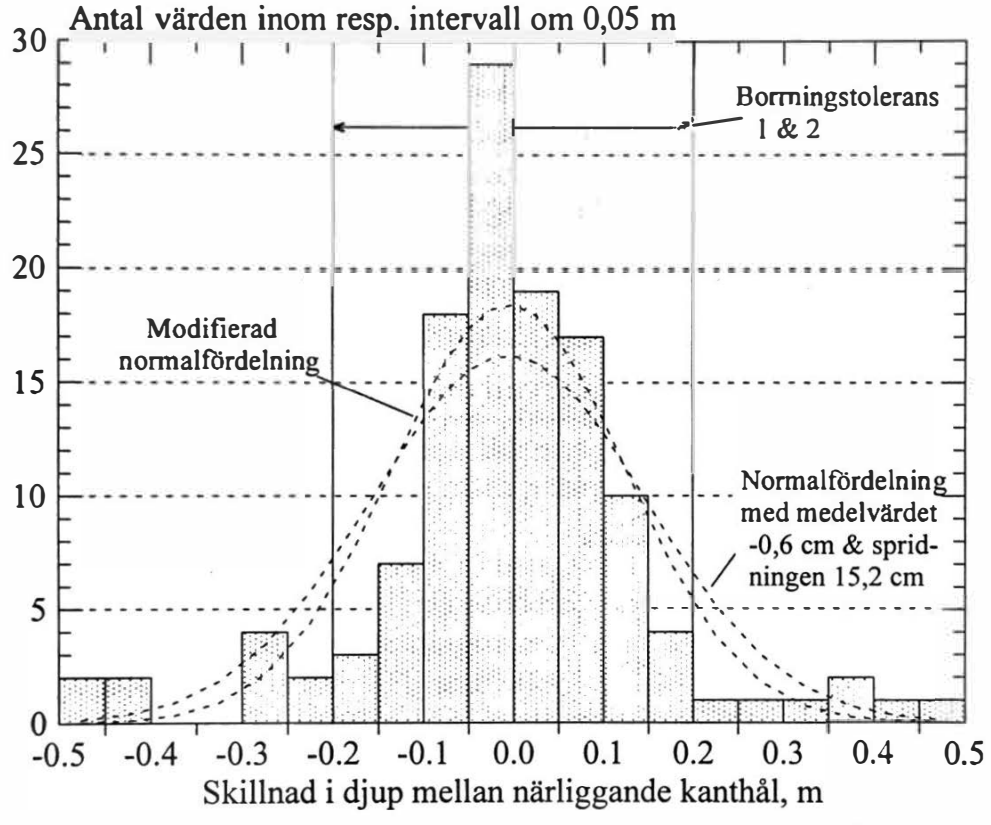
Figur 11: Histogram över kanthålens riktningsfel.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I [13] har också beräknats riktningsfel och tippvinkelvärden för kanthålen m.h.a. rör (metod A), avståndet mellan påhuggspunkt och krön (metod B) och avståndet mellan de två första mätpunkterna i halvpipan (metod C). Tabell 3 ger rörvärden för hjälparhålen.

Meddelvärdena för kant- och hjälparhålens tippvinklar mätta med metod A ligger lika nära det nominella värdet 11,31° som förut men spridningen är mycket större. Då de värden som beräknats ur påhuggs- och bottenpunkterna innehåller en böjningsfelskomponent borde det vara tvärtom. När så inte är fallet följer att rörmetoden att mäta riktningsfelet inte ger tillräckligt noggranna värden för en bedömning av om borrningen klarar någon av borrningstoleranserna. Likaså stöder statistiken antagandet att böjningsfelet är försumbart.

Analysen [13] visar att ingen av de använda metoderna att mäta riktningsfelet hade tillräcklig noggrannhet för våra behov. Synpunkter på erforderlig noggrannhet ges nedan.



Figur 12: Histogram över skillnaden i djup mellan närliggande kanthål.

Skillnaden i djup mellan närliggande hålbottnar och hållängdsfelet

Skillnaden i djup mellan närliggande kanthålsbottnar och hållängdsfelen är de som är enklast att utvärdera. Statistiken för kanthålen ges i Tabellerna 1-2, för hjälparhålen i Tabell 3. Histogram för skillnaden i djup mellan närliggande kanthålsbottnar visas i Figur 12.

Totalstatistiken för djupskillnaden mellan kanthålen är –0,6 ± 15,2 cm om några hål i ändan av salvorna, där bergförhållandena var mycket besvärliga, undantas. Båda borrningstoleranserna kräver att djupskillnaden är mindre än 20 cm i 5 fall av 6. Figur 12

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

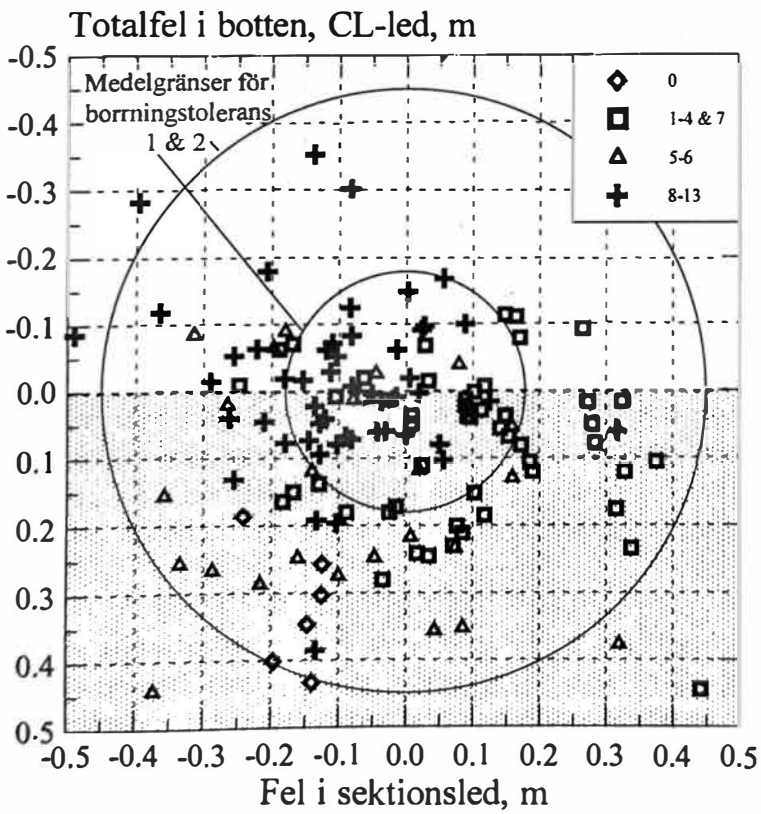
och Tabell 2 visar att endast 17 hål av 124 har djupskillnader som överskrider 20 cm. Alltså klarar kanthållsborrningen borrningstolerans 1 och 2 detta avseende.

Skillnaden i kanthålsdjup och hållängdsfelet i Tabell 1-2 är relativt lika men analysen [13] visar att man inte kan använda längdfelet, som enkelt kan mätas från ytan, för att avgöra om djupskillnaden uppfyller kraven i borrningstolerans 1 och 2. Ett genomsnittligt längdfel på -1,6 cm på hål som i genomsnitt är 7 m långa, dvs. ca 0,2 % grundare, är mycket lågt. Boman [8] anger tex. att han mätt 0,7 % djupare för borriggar med hållängdslaser och ca 3 % djupare när man använt fluktmetoden.

Totalfelet i botten och böjningsfelet

Tabell 2 visar att medelvärdet för totalfelet i kanthålens bottnar är 26 cm och 24 cm för böjningsfelet. Beräkningen av böjningsfelet bygger på hålriktningsdata från rörmätningarna (metod A). Felanalysen i [13] visar att böjningsfelsvärdena inte är tillförlitlig medan totalfelsvärdena är det då de bygger på mätning av hålbottenlägen.

Borrningstoleranserna har inga krav på totalfelet men Figur B6/1 i MarkAMA 83 [12] visar en stympad kon runt den planerade påhuggspunkten som gränsen för tillåtet område. För medelhållet erhålls konens radie vid planerat djup som 4 cm + 2 cm/m · 7m = 18 cm för borrningstolerans 1 och 45 cm för tolerans 2. Figur 13 visar ett spridningsdiagram för totalfelets horisontalkomponenter i botten av kanthålen med gränserna inlagda. Den visar rätt väl att borrningen inte klarar borrningstolerans 1 men väl tolerans 2.



Figur 13: Spridningsdiagram över kanthålens totalfel i botten, horisontalsektion.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

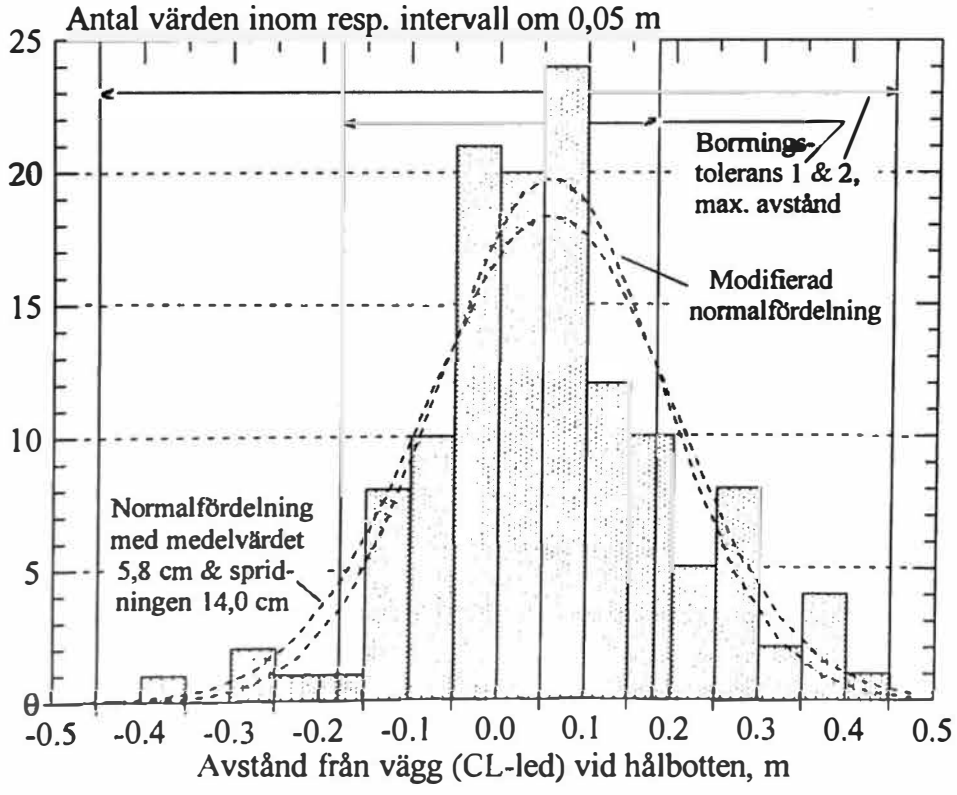
Det framgår mycket tydligt (Fig. 13) att kravet från VÄG 94 [11] på att avvikelserna skall hålla sig inom gränsvärdet 0,3 m inte är uppfyllt. Många bottnar ligger utanför en cirkel med radien 0,3 m. Totalfelet är större än 0,3 m i 49 fall av 140 kanthål. Om hål där berget gjorde borrningen svår undantas så överskrider ändå 34 hål av 120 gränsvärdet. Längs vissa lägre sträckor, 6-8 m höga ligger alla hål inom gränsvärdet. Längs andra, 8-12 m höga, ligger häften av hålen utanför.

Avståndet från vägg och inbördes hålavstånd i botten.

Hålbottens avstånd från vägg definieras som positivt när hålbotten ligger utanför den planerade väggen som utgör den teoretiska konturen. Detta avstånd är naturligtvis främst relaterat till hålets vinkel mot lodlinjen.

För kanthålen har hålbotten i medel hamnat ca 6 cm utanför den planerade väggen enligt Tabell 1. Sambandet med hålets tippvinkel framgår av värdena för sträcka 6. Medelvärdet för vinkeln är här 10,3°, dvs. ca. 1° brantare än det planerade värdet. På en hålmedellängd av 11,0 m ger detta ett bidrag av $11 \cdot [0{,}2 - \tan(10{,}3°)] \approx 0{,}20$ m. Detta förklarar det mesta av medelavståndet från vägg i sträcka 6 som är 22,7 cm.

Att bottnarna för hålen i sträcka 5-6 hamnat långt utanför tänkt position syns också i Figur 13. Hålbottens avstånd till väggen kan emellertid inte utläsas exakt ur figuren eftersom väggen lutar. Avståndsvärdena tar hänsyn till detta. Ett histogram för avståndet från väggen visas i Figur 14 med såväl ursprungliga och modifierade normalfördelningar. Skillnaden mellan fördelningarna är inte stor.



Figur 14: Histogram över kanthålsbottens avstånd till teoretisk kontur.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Avståndet från vägg innebär ett stickmått. I borrningstolerans 1 och 2 anges att avsett eller planerat konturhålsmönster inte får ange borrhålsbottnar som sticker ut mer än 20 cm utanför påhuggspunkterna. Tillämpas, något oegentligt, detta gränsvärde på det mätta avståndet från vägg visar det att 22 av 132 bottnar för kanthålen, dvs. exakt 1/6 av hålen, ligger mer än 20 cm från väggen. Sträcka 6 med sina 15 hål svarar för 9 av dessa.

Totalstatistiken för kanthålens inbördes avstånd i botten jämförs avslutningsvis med motsvarande påhuggsvärden (Tabell 1), 0,80 ± 0,20 m jämfört med 0,80 ± 0,06 m. Effekten av riktnings-, böjnings- och längdfelsbidragen till totalfelet har alltså blivit en ökning av standardavvikelsen från ca 6 cm till 20 cm. Denna ökning åskådliggörs av att 15 av 130 eller drygt 10 % av hålparen har hålavstånd som ligger utanför intervallet 0,5-1,1 m medan på ytan ligger ca 10 % av hålavstånden utanför intervallet 0,7-0,9 m. Skillnaden är alltså avsevärd. Extremvärdena syns tydligt i Figurerna 5-7.

Borrnoggrannheten i tipp- & svängled jämfört med riggens instrumentering

Borriggen var försedd med ett instrument, EAS 700, för inställning av bommens bäring och matarens tippvinkel. Matarens svängvinkel fick borraren ställa in manuellt. Enligt instruktionsbladen för EAS 700 definieras båda matarvinklarna relativt lodlinjen, dvs. projektionen av vinkeln α i planet för α_{nom} i stället för α och projektionen av δ i ett vertikalplan i stället för δ (Fig. A1). Korrektioner för detta ryms inom de avrundade kanthålsvärdena, 0,0°± 1,0° för tippvinkel och 0,3°±1,6° för svängvinkeln [13].

I specifikationen för EAS 700 anges totalnoggrannheten till ±0,5° för vinkelmätningen. Detta värde skall jämföras med mätta tippvinkelvärden hos borrhålen. Den systematiska avvikelsen är helt försumbar medan standardavvikelsen är nästan dubbelt så stor.

Skillnaden kan hänföras till glapp i utrustningen, borrkronans slitfas och borrarens pådrag av matningskraften under påhugget. Riggen var inte ny och borrkronorna nya men inte nyslipade vid varje påhugg. Däremot hade borraren fått instruktioner att borra så bra som möjligt. Kanske är en standardavvikelse om 2 ggr instrumentnoggrannheten, dvs. vinkelfelet 0,0°±1,0° hos borrhålet, så bra som låter sig göra rent praktiskt.

Bommens bäring och matarens svängvinkel samverkar. Båda är behäftade med fel, kanske mest bäringsinställningen med siktskiva. Att uppnå ett fel i matarsvängled om 0,3°±1,6° utan bättre instrument tyder på en noggrann uppställning av borrvagn och matare inför borrningen och ett försiktigt påhugg. Som redan visats räckte det emellertid inte till för att borrningen skulle klara borrningstolerans 1.

Om borrvagnen haft ett instrument även för inställning av matarens svängvinkel och bättre siktutrustning så är det rimligt att svängvinkelfelet hade kunnat göras lika litet som i tippled, dvs. 0,0°±1,0°. Man finner emellertid, under antagande om normalfördelade vinkelvärden, att det inte hjälper hur noggranna instrumenten för bommens tipp- och svängvinkelinställning än är. Om inte bidraget från övriga fel kan minskas så verkar borrningstolerans 1 inte kunna uppnås [13].

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Synpunkter på erforderlig mätnoggrannhet vid inmätning av hålriktning

Ju längre ett hål är, desto strängare är ett stickmått som anges som ett absolutvärde för riktningsfelet och desto noggrannare måste instrumenten som mäter in hålriktningen vara. I dag finns instrument för nedåtriktade hål i prisklassen 60-70000 kr som mäter riktningsvinklarna med en noggrannhet av ± 1°. Med instrument i prisklassen 150000 kr kan man mäta med noggrannheten ± 0,1°.

En viktig fråga blir, hur stor måste noggrannheten hos mätinstrumentet $\pm\varphi°$ vara för att man skall vara säker på att mätvärdena uppfyller en given borrningstolerans $\pm\Phi°$? Det sanna värdet bakom ett mätvärde som ligger precis på toleransgränsen ligger ju med minst 50 % sannolikhet utanför gränsen. Med vissa antaganden [13] blir resultatet en skattning att $\varphi \leq 0{,}5 \cdot \Phi$, dvs. instrumentnoggrannheten måste vara bättre än 1,15°/2 = 0,57° för borrningstolerans 1, och denna skattning är sannolikt en övre gräns.

Detta betyder troligen att ett vinkelmätningsinstrument med noggrannheten ± 1° inte är tillräckligt för att avgöra om uppmätta värden uppfyller borrningstolerans 1 men att ett instrument med noggrannheten ± 0,5° är det. Om kontursprängningen skulle utföras som en förspräckning så är kraven på riktningsfelet i borrningstolerans 1 dubbelt så höga, 10 mm/m. Kraven på instrumentnoggrannheten blir då också dubbelt så höga.

En jämförelse av kraven i MarkAMA 83 och AnläggningsAMA 98

I AnläggningsAMA 98 [17] finns inte längre några detaljspecifikationer för borrningen likt borrningstoleransklasserna i MarkAMA 83 [12]. I avsnitt CBC i tabell och figur CBC/1 talas i stället om bergschaktningstoleranser. Generellt anges att: *'Borrhål skall ansättas utanför teoretisk sektion, i regelbundet mönster och med konstanta avstånd'*. Kompletterande råd och anvisningar finns i RA 98 Anläggning [18].

Bergschaktningstoleransen anger största tillåtna mått för schaktad bergkontur i förhållande till teoretisk bergkontur, dvs. bergytans största tillåtna avstånd utanför denna kontur. Schaktad bergkontur innebär att effekten av borrning, sprängning och rensning läggs ihop. För bergschakt för vägar finns samma krav på underborrning under teoretisk schaktbotten, dvs. som i MarkAMA 83minst 0,2 m och högst 0,3·försättningen.

För skonsam sprängning tillämpas bergschaktningstolerans 1 som anger de största tillåtna avstånden till 0,1 m i slänt/vägg och 0,3 m i botten. Anvisningarna i RA 98 gäller bland annat

- ev. krav på borrning m.a.p. riktningsavvikelser i mm/m utefter hålets längd
- om riktinstrument skall användas vid borrning
- om restriktioner för borrning av de ytor som utförs som slätsprängning och förspräckning; dvs. håldimension, styrkronor, hållängd, hålavstånd och försättning osv.

Borrhålen kan uppenbarligen inte ligga utanför det största tillåtna avståndet 0,1 m. Om specifikationerna i AnläggningsAMA 98 tolkas som att borrhålen måste hållas inom intervallet 0 till 10 cm från vägg i CL-led så ger Figur 13-14 en möjlighet att bedöma

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

vilken av toleranserna som ställer störst krav på borrningen i vårt fall, borrningstolerans 1 enligt MarkAMA 83 eller bergschaktningstolerans 1 enligt AnläggningsAMA 98.

I Figur 13 visar den inre cirkeln med radien 18 cm medelgränsen för borrningstolerans 1. Av 130 kanthål faller botten hos 62 st. innanför gränsen. Innanför gränserna 0-0,1 m i CL-led i Figur 14 finns bara 44 st. hålbottnar. Bergschaktningstolerans 1 ställer alltså i vårt fall väsentligt större krav på borrningen än borrningstolerans 1. Man är med största sannolikhet tvungen att tillgripa alla tillgängliga åtgärder som riktningsinstrument, krav på riktningsavvikelser och borrningsrestriktioner enligt RA 98 för att klara en tillräckligt noggrann borrning. Jfr. kapitel 12 hos Backlund m.fl. [6].

Tillåtet intervall för bergschaktningstolerans 2 är 0-0,3 m i slänt/vägg. Figur 14 visar att bara 79 hål av 130 st. hamnar innanför.

Till dessa krav kommer kraven på bergytan mellan hålen. Varken AnläggningsAMA 98 eller RA 98 specificerar hur eventuell mätning och redovisning av bergschaktningsresultat skall gå till. RA 98 nämner bara angivelse av
- typ av mätning / redovisning samt om mätning skall utföras i närvaro av beställaren
- när mätresultat skall redovisas av beställaren.

Några olika mätningar är tänkbara, t.ex. den inmätning av kanthålens påhugg och halvpipor som gjorts i Södertälje. En annan är den inmätning av släntytan i ett rutmönster om 0,2·0,2 m som gjorts men inte redovisas här. Sådana mätningarna är tidskrävande i dag och utvärderingsrutiner finns ännu inte tillgängliga i vanliga utsättningsprogram.

Vidare måste frågan om gränsen i bergschaktningstolerans 1 är absolut eller inte diskuteras. Om den är absolut räcker det med ett enstaka utfall vid ett slag för att toleransgränsen skall överskridas lokalt. Då är bergschaktningstolerans 1 sannolikt omöjlig att klara i praktiken, annat än för mycket små specialobjekt i särskilt bra berg.

Om gränsen i bergschaktningstolerans 1 inte är absolut;
- Skall en eventuell ytandel underskrida ett gränsvärde?
- Hur stor skall gränsandelen i så fall vara, 5/6?
- Ställs krav på upplösningen i mätningen?

I våra mätningar var upplösningen 0,2·0,2 m. Denna siffra måste ställas i relation till bl.a. sprickavståndet i bergmassan och till kanthålavståndet. Det senare är ofta 0,5 m. I vårt fall var hålavståndet 0,8 m utom i sträcka 12 där det var 1,2 m. Upplösningen bör vara betydligt bättre än detta. Annars kommer ytmätningen inte att kunna återge släntytans variationer mellan borrhålen.

Kraven på utförandet av borrning av kanthål och mätningarna för att verifiera om kraven möts verkar inte ha blivit mindre i och med att AnläggningsAMA 98 kommit. Om något har de blivit större.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Slutsatser

Vid försöken vid Morabergs trafikplats vid Södertälje lades särskild vikt vid att göra borrningen så 'bra som möjligt' men utan att särskilda hjälpmedel användes. Borriggen, en väl använd ROC 612 HC-01, var utrustad med ett instrument EAS 700 för inställning av bommens bäring och matarens tippvinkel men inställningen av svängvinkeln gjordes manuellt. Samtidigt gjordes omfattande mätningar av borrhålsavvikelserna.

Alla upptänkliga åtgärder för en bra borrning vidtogs
- individuell utsättning av påhuggspunkterna
- borraren betaldes inte per borrmeter
- han fick protokoll med önskade hållängder och hålen lodades
- inmätning av hålens påhugg och riktning vid påhugg
- inmätning av kanthålens bottnar och halvpipor efter sprängning samt av släntens yta.

Arbetets syfte var bl.a. att visa hur bra normal borrning utan särskild utrustning kan göras och borrningskvalitén i våra försök har sannolikt varit betydligt bättre än normalt..

Analysen visar att många felkomponenter återges rätt väl av normalfördelningar. Likaså verkligt hålavstånd på pallytan och i botten, liksom skillnaden i håldjup. Däremot finns alltid några utliggare i fördelningarna även sedan onormala mätdata rensats ut.

Borrningen uppfyller inte kraven i borrningstolerans 1, varken dem för ansättningsfelet eller riktningsfelet. Kravet på skillnad i djup mellan närliggande hål uppfylls däremot i huvudsak. Kraven i borrningstolerans 2 uppfylls i allmänhet för alla tre storheterna.

Tre enkla metoder användes för att beräkna riktningsfelet. Ingen av dessa var tillräcklig noggrann för att man skall kunna bedöma om riktningsfelet ligger inom borrningstoleransens gränser. För bedömningen av riktningsfelet används i bidraget kanthålens inmätta påhuggs- och bottenlägen då böjningsfelet bedömts som litet.

Matarens tippvinkel kunde ställas in med en total noggrannhet av ± 0,5°. Felet i kanthålens tippvinkel är avrundat 0,0° ± 1,0°, dvs. inget systematiskt fel och en spridning, om 1,0° som är dubbelt så stor som noggrannheten hos inställningen av mataren. Skillnaden beror sannolikt på glapp i utrustning, borrkroneslitage och påhuggets utförande.

Matarens svängvinkel ställdes in manuellt. Motsvarande fel i kanthålens svängvinkel är avrundat 0,3° ± 1,6° relativt skjutriktningen. Detta tyder på noggrant arbete av borraren men med ett instrument så kunde han troligen åstadkomma felet 0,0° ± 1,0° även för svängvinkeln. Inte ens detta bedöms vara nog för att klara kraven i borrningstolerans 1.

För att göra detta behöver borraren ha tillgång till ytterligare hjälpmedel, t.ex. hållängdsmätare med laser och automatstopp men det är inte ens säkert att detta räcker. När pallhöjden ökar så ökar också behovet att välja borrsträng med t.ex. styrrör som ger minsta möjliga bidrag till totalfelet. Detta är dyra åtgärder.

Därför bör frågan också ställas om och när man kan begränsa kraven på borrningsprecision utan att det äventyrar släntens funktion. Alltså bör man undersöka vilka följder det haft för underhållet att beställaren godkänt en borrning av kanthålen som inte klarar

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

gränserna i borrningstolerans 1, trots kraven i handlingarna. Utan sådan kunskap skulle många rent av fråga sig om det någonsin är motiverat att kräva så noggrann borrning.

Mätning av framförallt hålriktning ställer rätt stora krav på instrumenten. Sannolikt bör noggrannheten vara bättre än ± 0,5° för att kunna bedöma om borrningstolerans 1 uppfylls av borrningen till en slätsprängning och bättre än ± 0,25° för en förspräckning.

Sättet att spränga kan vara avgörande för slänten i en vägskärning. Om sprängningen är dåligt planerad hjälper det inte hur bra borrningsprecisionen än är. Därför måste kraven på sprängningens utförande och uppföljningen av detta beaktas samtidigt. En rätt konstruerad sprängplan som följs och en kompetent beställare som kan bedöma effekten av nödvändiga ändringar i planerna är viktiga komponenter.

I AnläggningsAMA 98 ställs inte några detaljkrav på själva borrningen utan effekten av borrning, sprängning och rensning läggs ihop i ett krav på schaktad bergkontur. Bergschaktningstolerans 1, som är tillämplig för skonsam sprängning, kräver att den schaktade bergkonturen har ett största avstånd utanför teoretisk kontur om 0,1 m.

Analysen av våra kanthålsdata visar att bergschaktningstolerans 1 ställer väsentligt större krav på kanthålsborrningen än borrningstolerans 1 enligt MarkAMA 83. Sömborrningen i Moraberg klarar inte ens bergschaktningstolerans 2.

Dessutom finns oklarheter i AnläggningsAMA 98 om vad som skall mätas, om hur stor upplösningen skall vara samt om kraven är absoluta eller innefattar en given gränsandel, likt de 5/6 i borrningstolerans 1. Om kraven är absoluta blir bergschaktningstolerans 1 sannolikt omöjlig att klara i praktiken.

Tillkännagivanden

Många personer förtjänar tack för att mätningarna vid Morabergs trafikplats i Södertälje blev av och gjordes bra. Främst är det S-O Båvik på Vägverket som hela tiden stöttat arbetet och liksom Gunnar Nord manat på. Sedan är det platschef Alireza Arami som gav oss tillgång till arbetsplatsen och mätteknikerna P-O Norman och Stefan Sävenstrand som gjorde utsättningsarbetet efter ordinarie arbetstid. Anders Thörn hjälpte min arbetskamrat Mats Olsson och mig med alla övriga inmätningar mitt i vintern.

Jag har tyvärr inte hunnit analysera alla mätdata, men de finns tillgängliga för den som så önskar. Johan Severinsson tog sig an en del i sitt examensarbete. För analysen har jag diskuterat med Eric Boman, Henrik Ronquist och Lars Erik Karlsson på Atlas Copco samt med Mats Birkeståhl på Transtronic men jag är själv ansvarig för analysen och eventuella felräkningar och konstiga slutsatser.

Referenser

1. Olofsson, Stig. *Modern bergsprängningsteknik*. Applex, Ärla, 1999.

2. Vägverket. *Handbok i sprängteknik ovan jord*. Vägverket, Borlänge, 1991.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

3. Sinkala, Thomson. *Drill hole deviations governed by the rock structure, How – why – what to Do*. Rapport BeFo-projekt 141:1/88, 1988.

4. Bakken, Ragnar. *Produksjonssprängning i dagbrudd*. Sprängtekniskt seminarium, Lanzarote 10-17 januari, flik 10, 8 sidor plus bilder. Nitro Nobel, Gyttorp, 1994.

5. Vägverket. *Borrning av raka hål*. Avdelning DDa-rapport 1985-02-27. Vägverket, 1984..

6. Backlund, Leif, Johan Severinsson och Stefan Wennerström. *Praktiska försök med pallsprängning*. Examensarbete 2000:5, institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göterborg, 2000.

7. Karlsson, Fredrik. *Bättre borrningskvalitet i bergtäkter*. Examensarbete 1997:105 CIV, inst. för väg- och vattenbyggnad, Luleå Tekniska Universitet, Luleå, 1997.

8. Boman, Eric. *Hålkvalitet*. Sprängtekniskt seminarium, Lanzarote 10-17 januari, flik 4, 3 sidor plus bilder. Nitro Nobel, Gyttorp, 1994.

9. Amundsen, Johan. *Retningskontroll av borehull*. Sprängtekniskt seminarium, Lanzarote 10-17 januari, flik 2, 5 sidor plus bilder. Nitro Nobel, Gyttorp, 1994.

10. Eriksson, Catrin. *Bergmekanisk tillståndsbedömning av bergslänter för olika sprängningsmetoder*. Examensarbete 1999:303 CIV, inst. för väg- och vattenbyggnad, Luleå Tekniska Universitet, Luleå, 1999.

11. VÄG 94. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner*. Publikation 1994:2, Vägverket, Borlänge, 1994.

12. MarkAMA 83. *Allmän material och arbetsbeskrivning för markarbeten*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1983.

13. Ouchterlony, Finn. Borrhålsavvikelser vid sprängning av slänter, erfarenheter från inmätningar vid Södertälje. SveBeFo rapport xx, Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning, Stockholm, 2000.

14. 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.

15. 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.

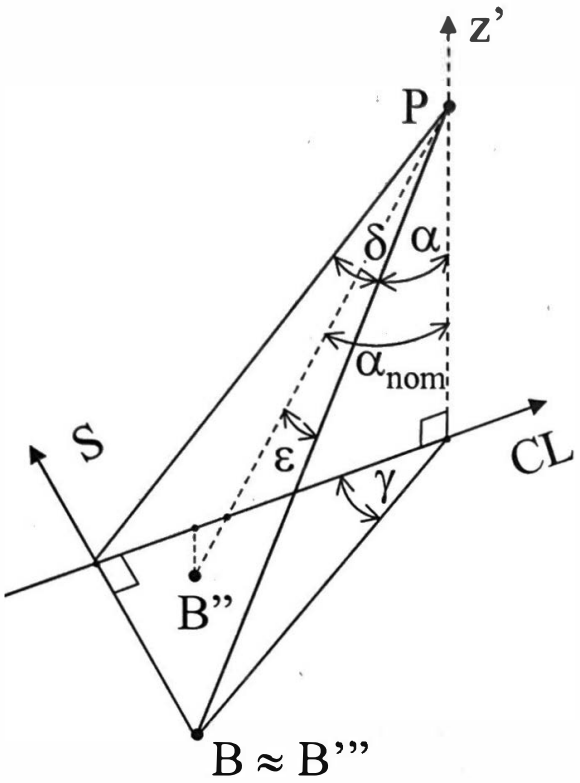
16. Ouchterlony, Finn, Mats Olsson och S-O Båvik. *Perimeter blasting in a 130 m road cut in gneiss with holes with radial bottom slots*. i Proc. 1st World Conference on Explosives & Blasting Technique, sid. 225-234, Roger Holmberg redaktör, Balkema, Rotterdam, 2000.

17. AnläggningsAMA 98. *Allmän material och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1999.

18. RA 98 Anläggning. *Råd och anvisningar till AnläggningsAMA 98*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1999.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Appendix A: Detaljerade definitioner av borrhålsavvikelser och felkomponenter



Koordinater:

CL = avstånd från vägens centrumlinje

S = sektionsmått, avstånd längs vägen

z' = avstånd i höjdled

Punkter (jfr. Figur 8):

P = verklig påhuggspunkt

B = verklig bottenpunkt

B" = botten vid rak, rätt riktad borrning av rätt längd

B'''= botten vid rak, fel riktad borrning av verklig längd

ε = riktningsfel

B"B = totalfel i botten

B'''B = böjningsfel i botten ≈ 0

Figur A1: Vinkeldefinitioner

Hålavståndet på pallen E; definieras som skillnaden i sektionsvärde för två grannhåls påhuggspunkter på pallens yta. E beräknas direkt ur mätdata för både kant- och hjälparhål.

Hålavståndet vid botten E_b; definieras som skillnaden i sektionsvärde för två grannhål. För kanthålen beräknas E_b ur mätdata.

Hålbottens avstånd från väggen ΔV; definieras som skillnaden i CL-värde mellan hålbotten och en linje längs den planerade väggen.

Håldjupet H; definieras som skillnaden i z'-värde mellan de mätta påhuggs- och bottenpunkterna.

Skillnad i djup mellan närliggande hål ΔH; definieras som skillnad i z'-värde mellan bottnarna hos två grannhål.

Planerad hållängd L'; definieras som avståndet mellan planerade påhuggs- och bottenpunkter för hålet.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Verklig hållängd L; definieras som kortaste avståndet mellan påhuggs- och bottenpunkterna för hålet.

Hållängdsfelet ΔL; definieras följdriktigt som $\Delta L = L - L'$.

Ansättningsfelet ΔA; definieras i denna rapport som avståndet i horisontalplanet mellan mätt och planerad påhuggspunkt. Bidraget från skillnaden i punkternas höjd z' är i de flesta fall försumbart eftersom pallytan oftast var relativt plan.

Totalfelet i botten ΔT; definieras som avståndet mellan mätta och planerade lägen för hålbottnarna, B respektive B' (Fig. 8). För en uppdelning av totalfelet i sina komponenter, ansättningsfelet, ett vinkelfelbidrag som ges av inriktningsfelet och hållängden L och böjningsfelet behöver några vinkelkomponenter definieras.

Hålets tippvinkel eller vinkel mot lodlinjen i påhuggspunkten α; definieras i ett plan som bildas av lodlinjen genom påhuggspunkten och sträckan PB (Fig. A1). α svarar mot matarens tippvinkel. Värdet på α kan emellertid inte användas för att beräkna inriktningsfelet genom att subtrahera det planerade värdet för lutningen 5:1, dvs. α_{nom} = 11,31°. Skälet är att α och α_{nom} ligger i olika plan. Den senare ligger i ett plan som är vinkelrätt mot släntens riktning, dvs. i CL-z' planet.

Den andra vinkelkomponenten som beskriver hålets inriktning kan definieras på flera sätt (Fig. A1). Man kan välja hålets vridningsvinkel runt en lodlinje genom påhuggspunkten och relativt skjutriktningen. Denna pekar tvärs slänten in mot livet, dvs. i negativ CL-led. Vridningsvinkeln eller bäringen svarar mot bommens vridning.

Hålets bäring relativt skjutriktningen γ; definieras i ett horisontalplan och ges av vinkeln mellan planet för α och planet för α_{nom} med positiv riktning moturs (Fig. A1). För korrekt borrning så är $\gamma_{nom} = 0$. Fördelningen kommer att bero starkt på släntens lutning. Beroende på vad som styrs och mäts på borrvagnen, kan en väl så intressant storhet vara borrhålets vridnings- eller svängvinkel längs slänten runt en linje genom påhuggspunkten. Denna svarar mot en svängvinkel eller snedställning hos mataren.

Hålets svängvinkel längs slänten δ; definieras i ett plan som innehåller sträckan PB och stryker längs slänten (Fig. A1). För korrekt borrning så är $\delta_{nom} = 0$. Fördelningen för δ kommer inte på samma sätt att vara beroende på släntens lutning. Ingen av dessa storheter leder emellertid direkt till inriktningsfelet.

Riktningsfelet ε; definieras som vinkeln mellan mätt påhuggsriktning och den planerade hålriktningen (Fig. A1) För en fullständig definition av riktningsfelet behöver man också beräkna i vilket plan som vinkeln ε ligger. Det görs inte i denna rapport men bifogade data ger en möjlighet att göra den beräkningen.

Böjningsfelet i hålet $\Delta R_{böj}$; definieras som avståndet mellan mätt hålbottenläge och läget på den punkt som en rät linje med längden L, den verkliga hållängden, i mätt hålriktning genererar. Denna sträcka ges av BB''' i Figur 8.