

פיצוצי מיתאר Contour Blasting

ריענון ממונים על פיצוצים

כתב וערך: ממונה על פיצוצים הנדסאי רומן יורם **בנרם**
Romanbn@netscape.net 050 - 5528566

בשביל מה פיצוצי מיתאר ?

- הצורך לשמור על קירות הסלע, לאחר עבודות פיצוצים, הביא לפיתוח שיטות פיצוץ מיוחדות.
- יישומים עיקריים: במנהרות, במיכרות וחיצוב סלע מבוקר לתשתיות, בהנדסה אזרחית.

איך מפוצצים סלע בלי לפגום בקירות הסופיים ?

תכנית הפיצוץ חייבת להיגזר על פי שלושת הגורמים שקובעים את תוצאת הפיצוץ:

1. **הסלע .**
2. **חומר הנפץ והפיצוץ .**
א- סוג חומר הנפץ
ב- טכניקת הטעינה והייזום
3. **הקידוח .**

תכנון פיצוצי סלע בלי לפגום בקירות הסופיים לפי:

- (1) מאפייני הסלע: סוג; תצורה; שיכוב וכו'.
- (2) מאפייני הפיצוץ: סוג חומר הנפץ; כמות; שיטת הטעינה; שיטת הייזום; תיזמון.
- (3) מאפייני הקידוח: קוטר; עומק; מרחק בין הקדחים ובין השורות; זווית.

בכל אחת מהטכניקות של פיצוצי המיתאר, המאפיינים הנ"ל שונים מהנדרש בפיצוץ רגיל.

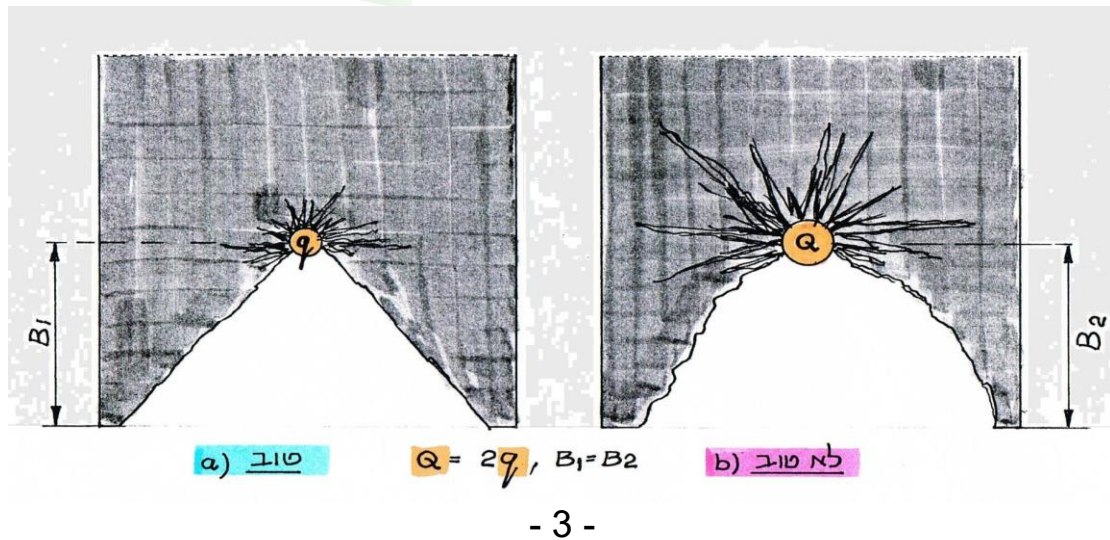
בחירת **שיטת הפיצוץ המתאימה ותיכנון הקידוח** ומאפייני **חומר הנפץ** - תמיד בהתאם למאפייני הסלע והתוצאה הנדרשת.

הבסיס המדעי לטכניקות פיצוצי מיתאר:
בסקירה הזו נבחן את השפעת הפרמטרים החשובים בשיטות פיצוצי מיתאר, לפי המחקרים של:

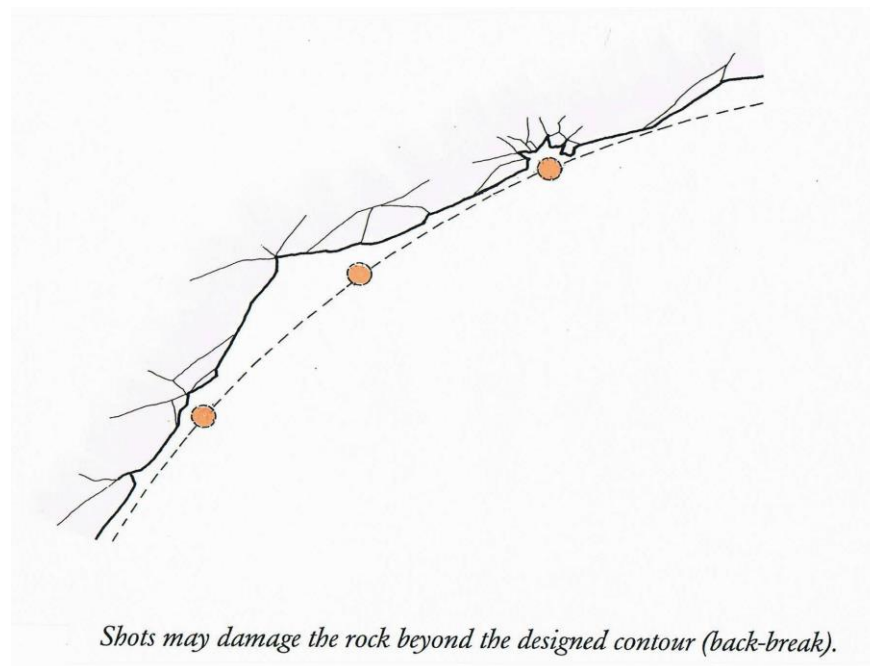
- U. Langefors & B. Kihlsrom (שבדיה)
- Holmes (ארה"ב)
- Giorgio Berta (איטליה)

1\א. השפעת כמות חומר הנפץ

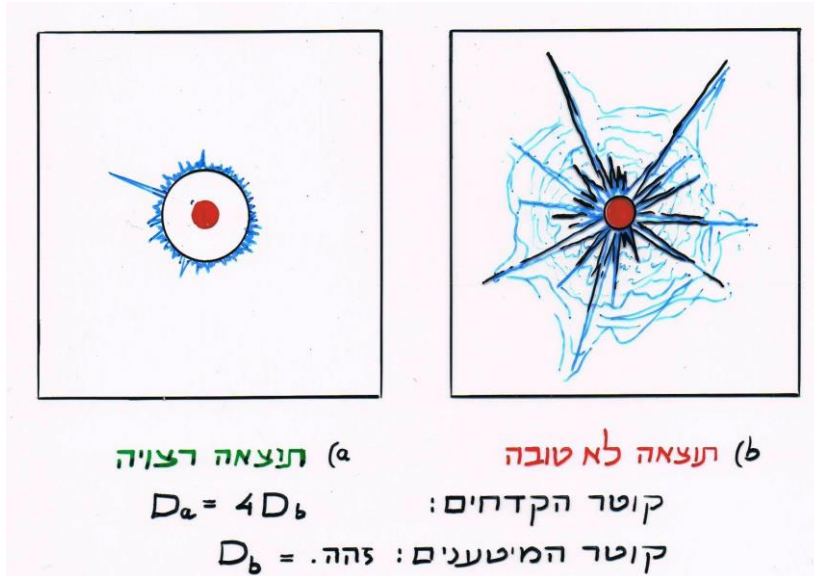
האפקט של מיטען \ קדח בודד:
הכמות האופטימלית (q) צריכה להספיק בכדי לשבור את האבן בין הקדח ל"פנים החופשיות" (B), בלי ליצור סידוק בכיוון החומר הנותר. כמות (Q) מוגזמת - גורמת סדקים וריסוק בקיר שאותו רוצים לשמור.



המשך א. השפעת כמות חומר הנפץ :
 עודף חומר נפץ ובמיוחד בקו הקדחים האחרון (קו המיתאר), עלול לגרום
 'שבירה לאחור' (Back-break).



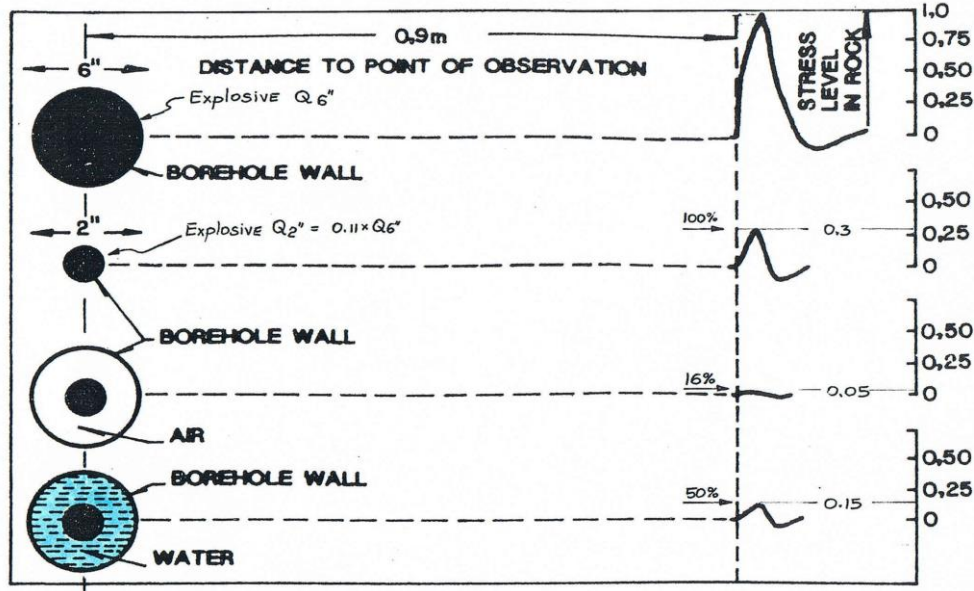
ב. השפעת היחס בין קוטר מיטען חומר הנפץ - לקוטר הקדח



מסקנות:

- צימוד טוב נותן ריסוק מירבי. (מצב b).
- מירוח בין המיטען לקדח- מונע ריסוק. (מצב a).

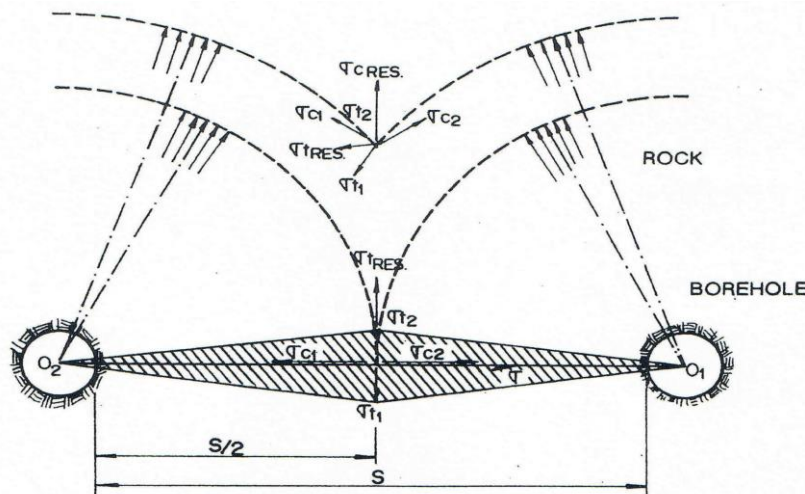
ג. השפעת קוטר מיטען חומר הנפץ ואיכות הצימוד על המאמצים הדינמיים בסלע :



Dynamic stresses in rock for various explosive loading conditions. (Day and Webster).

עצמת המאמצים הדינמיים הנוצרים בסלע מושפעת מאופן טענת חומר נפץ בקדח.

ד. השפעת פיצוץ בו זמני של קדחים סמוכים על המאמצים בסלע.



Stresses generated by the collision of the shock waves produced by the simultaneous firing of two charges.

- 5 -

Diagram illustrating the stress distribution in a plate with a hole under tension. The plate has a total width of $2\phi_c$ and a central hole of diameter ϕ_f . The distance between the vertical centerlines of the hole and the applied forces is S_c . The tensile force P_s is applied to the ends of the plate. The radial stress σ_{tr} is shown acting on the inner surface of the hole. The diagram also shows the hole diameter ϕ_f and the charge diameter ϕ_c .

ϕ_f = hole diameter
 ϕ_c = charge diameter

$$\left(\frac{\varnothing_c}{\varnothing_f}\right)^2 \cdot \frac{L_c}{L} \cdot \Delta_e \cdot P_s \cdot \frac{\varnothing_f}{S_c - \varnothing_f} = \sigma_{tr}$$

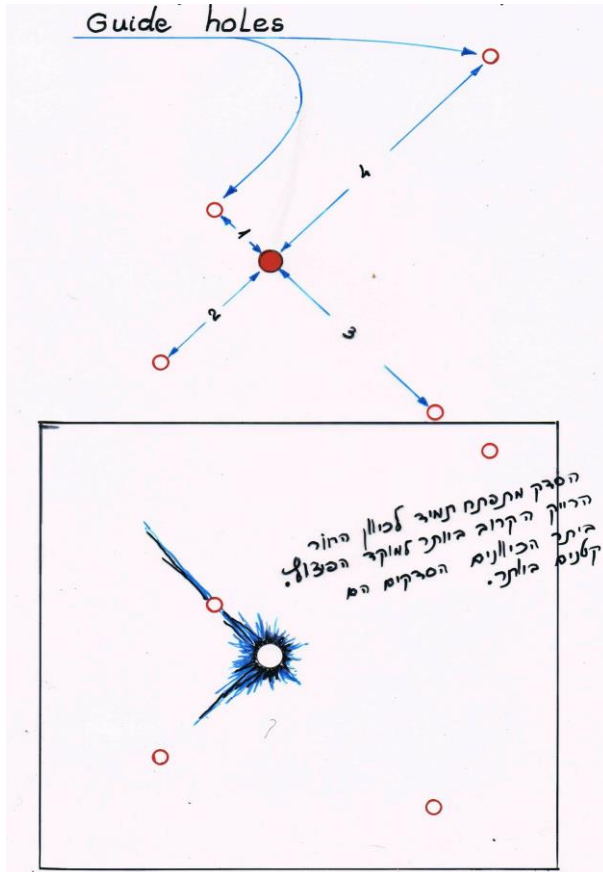
-

מסקנות מכל המחקרים עד כאן: התנאים ליצירת סידוק קווי מבוקר, לכל אורך שורת הקדחים (במינימום סידוק הקפי !) :

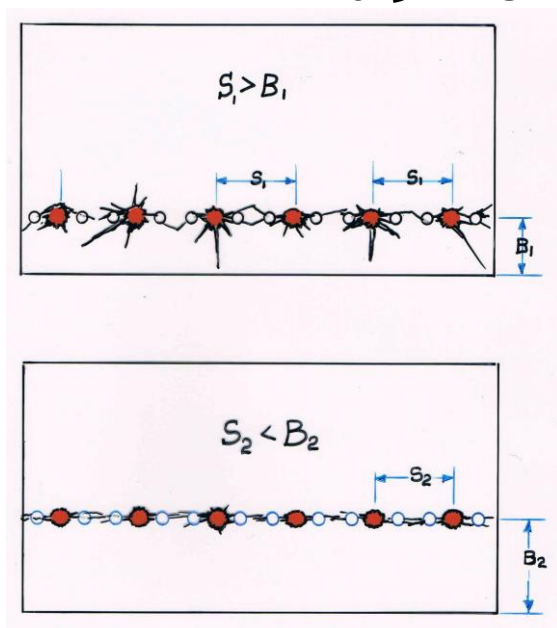
- קוטר המיטענים קטן מקוטר הקדחים.
- גודל המיטענים שווה בכל הקדחים.
- שורת הקדחים ישרה וצפופה.
- הפעלה בו זמנית בכל הקדחים.

- 6 -

ה. השפעת 'קדחים מנחים' על הסידוק. - הכוונת הסידוק בעזרת 'קדחים מנחים' Guide holes.



ו. השפעת היחס בין מרחק בין הקדחים S למעמס B :



המסקנות של Langefors מהניסויים: $S < B$. $0.8 B \geq S$ - 7 -

(2) חומרי הנפץ שמתאימים לפיצוצי מיתאר.

התכונות הנדרשות:

- כושר פיצוץ בקוטר קטן. (קוטר קריטי).
- מהירות דטונציה נמוכה.
- משקל סגולי נמוך.
- נפח גזים נמוך.

- ממש הפוך ממה שנדרש בחומר הנפץ העיקרי !

סוגי חומרי הנפץ מסחריים המתאימים לפיצוצי מיתאר

שם מסחרי של החל"פ	שם היצרן	קוטר האצבעות	משקל חל"פ למטר רץ	סוג חומר הנפץ
Explosive name	Manufacturer	Cartridge size (mm)	Linear charge concentration (kg/m)	Type of explosive
Iremite Presplit	IRECO	φ 22	0.48	Emulsion
IRESPLIT D	IRECO	φ 32	0.75	NG-based
Smoothex	AECI	φ 18	0.19	NG-based
F-pipe charge	Forcit	φ 11	0.11	NG-explosive
F-pipe charge	Forcit	φ 17	0.22	NG-explosive
Profile charge	SEI	φ 19	0.33	NG-explosive
Gurit	Nitro Nobel	φ 11	0.11	NG-explosive
Gurit	Nitro Nobel	φ 17	0.24	NG-explosive
Emuline	Austin	φ 22	0.45	Non NG high explosive + cord
Red-E-split A	Austin	φ 22	0.45	Semi-gelatin dynamite
Red-E-split B	Austin	φ 29	0.84	Ammonia dynamite
Red-E-split C	Austin	φ 22	0.34	Ammonia dynamite
Red-E-split D	Austin	φ 29	0.63	Ammonia dynamite
Power split	Atlas Powder	φ 22	0.47	Emulsion
Power split	Atlas Powder	φ 25	0.62	Emulsion
Power split	Atlas Powder	φ 51	2.45	Emulsion
Larvikit	Dyno Norway	φ 17	0.26	NG-powder
Emulite 100 Gurit	DWL	φ 17	0.25	Emulsion
Isanol 25/75	—	bulk loaded φ 45	0.34	ANFO/polystyrene
Emulet 20	Nitro Nobel	bulk loaded φ 38	0.22	Emulsion/ANFO/polystyrene
Emulet 50	Nitro Nobel	bulk loaded φ 38	0.50	Emulsion/ANFO/polystyrene

Explosives for smooth blasting and presplitting.

על סמך הניסויים והמחקרים, התגבשו מספר שיטות מובילות לפיצוצי מיתאר :

1. פיצוץ חלק. - Smooth blasting

2. סידוק מוקדם. - Presplitting
3. פיצוץ מרוסן. - Cushion blasting
4. קידוח קווי מיתאר. - Line drilling
5. שילובים מהשיטות הנ"ל.

1) פיצוץ חלק - Smooth blasting

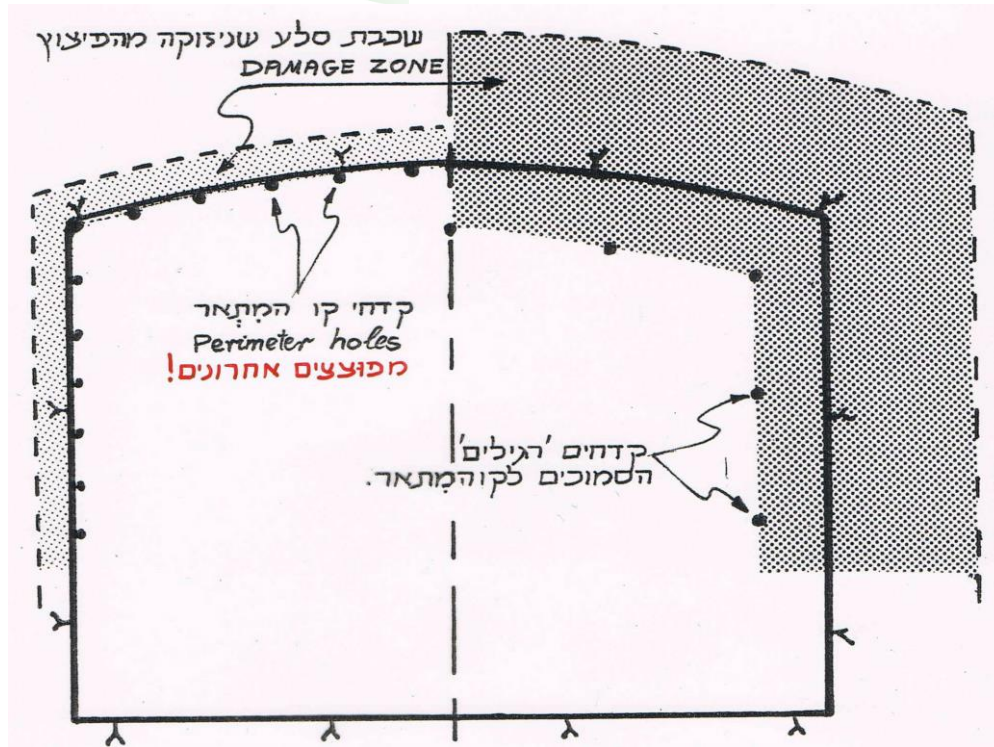
הטכניקה:

- פיצוץ עדין, לסידוק בלבד, על קו המיתאר.
- קדחי המיתאר - בהשהיה אחרונה; רצוי ביחד.
- הרווחים בין קדחי 'קו המיתאר' קטנים.
- טעינת חנ"פ בקדחי המיתאר מופחתת מאד. (30-50%).
- קוטר המיטענים קטן מהקדח; רצוי: בלי צימוד.
- טעינה מופחתת גם בקו לפני המיתאר.

פיצוץ חלק היא שיטה עיקרית בפיצוצים עבור:

- קו המיתאר במינהרות.
- חיצוב קצה בחללים תת קרקעי.
- חיצוב קירות תוואי לכבישים.
- חיצוב קו מיתאר בתעלות.
- חציבה להפקת בלוקים.
- חיתוך קירות ושיפועים בחיצוב לבניה.

טעינה רגילה בקדחים הסמוכים לקדחי המיתאר, עלולה לגרום סידוק ונזק !

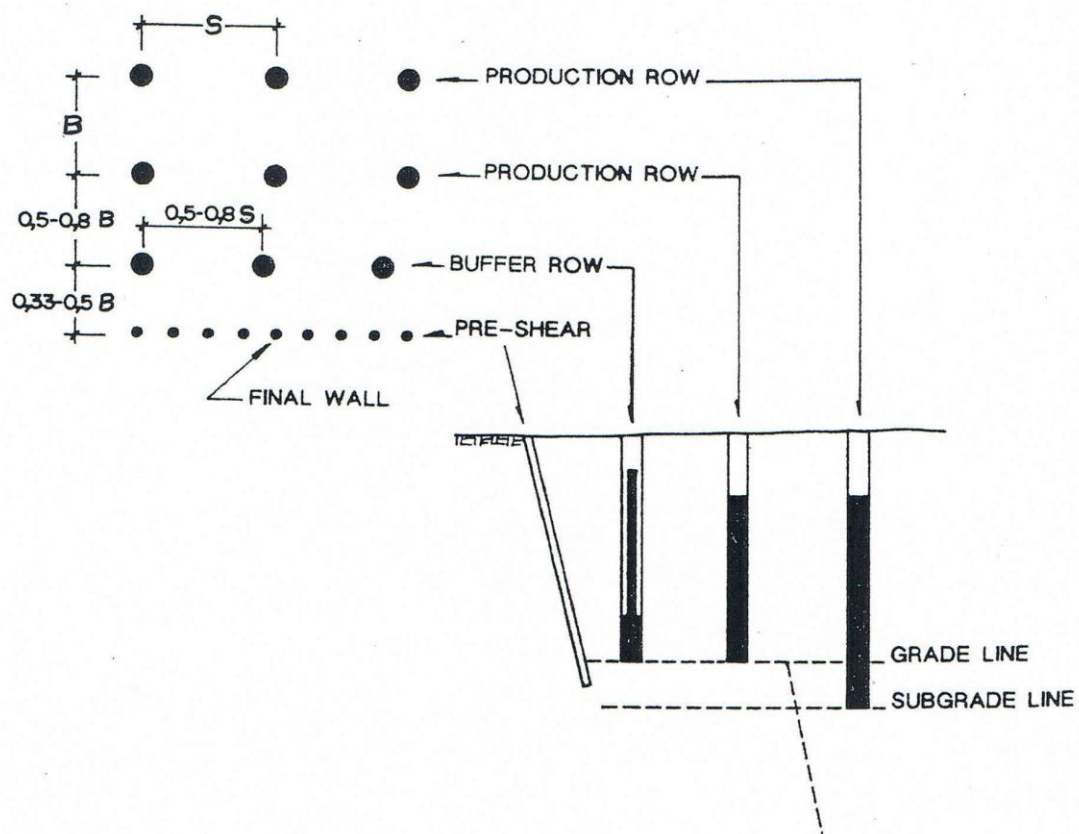


(2) סידוק מוקדם - Presplitting

הטכניקה:

- יצירת סדק על קו המיתאר, לפני הפיצוץ לחציבה.
- הרווחים בין קדחי המיתאר קטנים מ'פיצוץ חלק'!
- טעינת חומר נפץ, דומה ל'פיצוץ חלק'.
- פיצוץ קדחי המיתאר: ראשון, בלי השהיות, בזמני.
- טעינה בקו הסמוך לקדחי המיתאר, בד"כ רגילה.
- אם יש צורך לרסן את הפיצוץ בשורה שסמוכה לקו המיתאר ע"י טעינת חנ"פ במינן נמוך. במקרה כזה מומלץ:

- רווחי הקדחים: $0.5 - 0.8 S$
- ה'עומס' לשורה רגילה: $0.5 - 0.8 B$

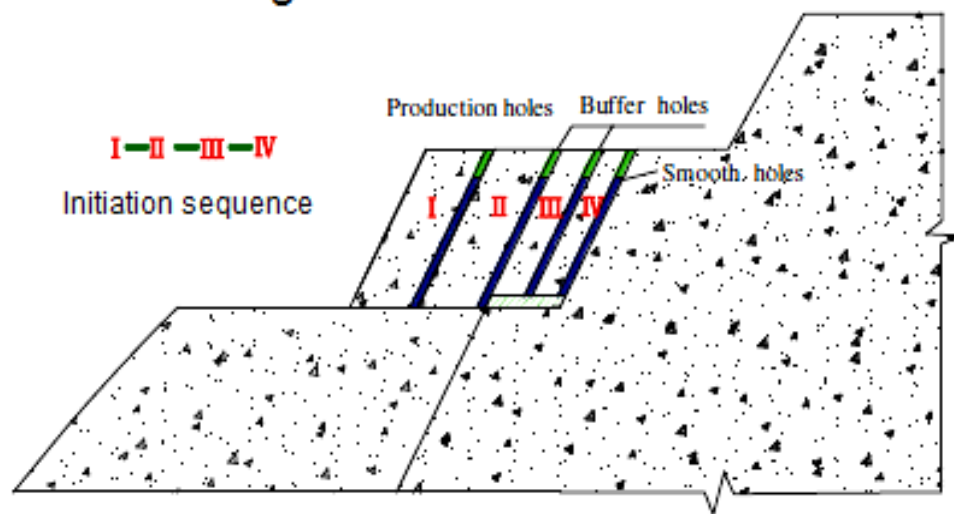


Design for slope blasting near the pre-split line.

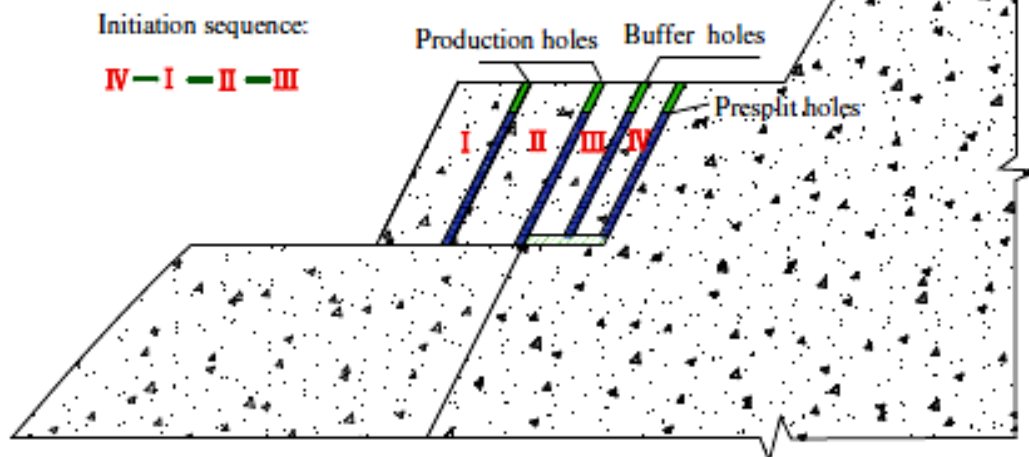
השוואת סדר ההשהיות בשתי השיטות העיקריות לפיצוץ מיתאר:

1. פיצוץ חלק. - Smooth blasting
2. סידוק מוקדם. - Presplitting

a) Smooth Blasting



b) Presplitting





נתוני קידוח וחומר נפץ לפיצוצי מיתאר :

טבלה לפי אולופסון S.O. Olofsson

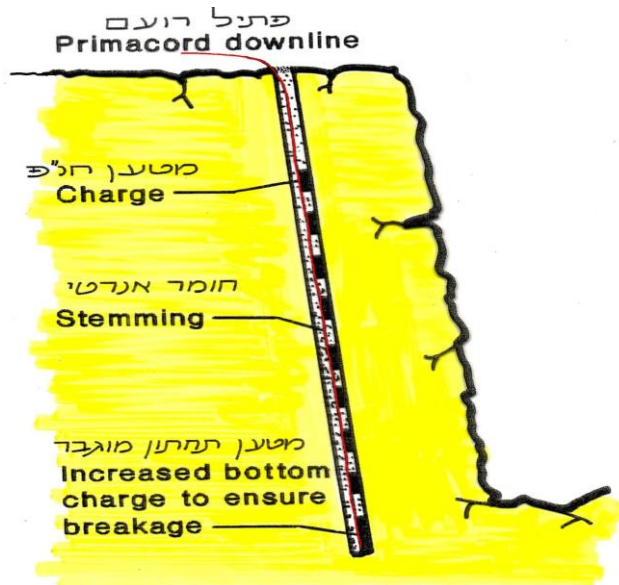
סידוק מוקדם Presplitting	פיצוץ חלק		חנ"פ	קוטר הקידוח d
Hole spacing m	Spacing (m)	Burden (m)	גר"מ'	מילימטר
0.2-0.3	0.25-0.35	0.3-0.5	100	25-32
0.4-0.6	0.5-0.7	0.7-0.9	230	32-41
0.5-0.7	0.7-0.8	1.0-1.1	420	41-51
0.7-0.8	0.8-0.9	1.1-1.2	450	51-64

טבלה לפי Långefors

סידוק מוקדם Presplitting	פיצוץ חלק Smooth Blasting		חנ"פ	קוטר הקידוח d	
רווח בין קדחים מ'	רווח בין קדחים מ' S	עומס מ' B	גר"מ'	מילימטר	אינטש'
0.25 - 0.3	0.5	0.7	100	30	1 1/4
0.3 - 0.5	0.6	0.9	120	37	1 1/2
0.3 - 0.5	0.6	0.9	170	44	1 3/4
0.45 - 0.7	0.8	1.1	250	50	2
0.55 - 0.8	1.0	1.3	350	62	2 1/2
0.6 - 0.9	1.2	1.6	500	75	3
0.7 - 1.0	1.4	1.9	700	87	3 1/2
0.8 - 1.2	1.6	2.1	900	100	4
1.0 - 1.5	2.0	2.7	1400	125	5
1.2 - 1.8	2.4	3.2	2000	150	6
1.5 - 2.1	3.0	4.0	3000	200	8

- 12 -

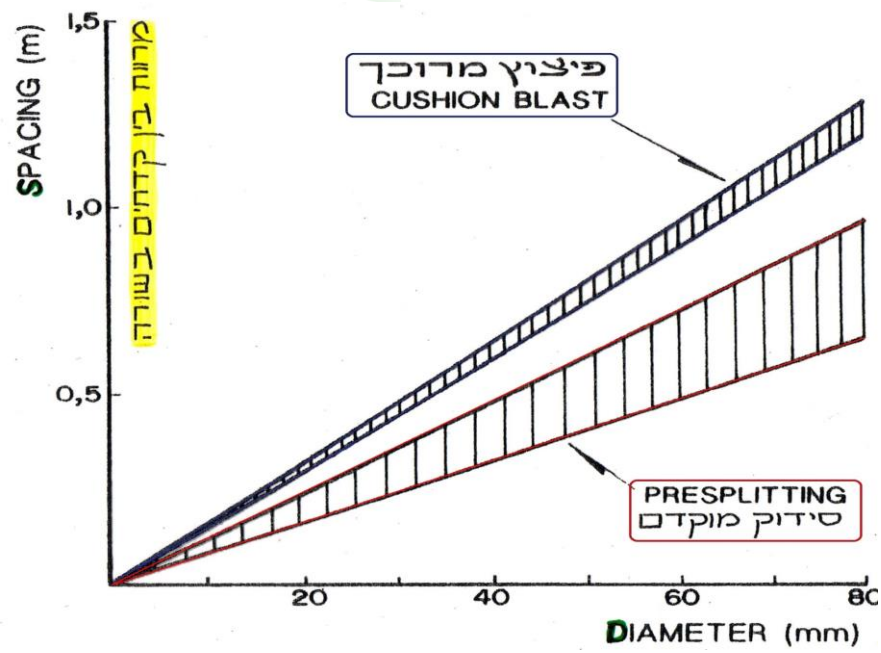
Cushion blasting (3) פיצוץ מרוסן



Operating parameters for cushion blasting shots.

Hole diameter $\varnothing_f$ (mm)	loading density q_c (kg/m)	spacing S_c (m)	burden B_c (m)
51 – 64	0.12 – 0.38	0.90	1.20
76 – 89	0.20 – 0.75	1.20	1.50
102 – 115	0.38 – 1.12	1.50	1.80
128 – 140	1.12 – 1.50	1.80	2.10
153 – 166	1.50 – 2.25	2.10	2.70

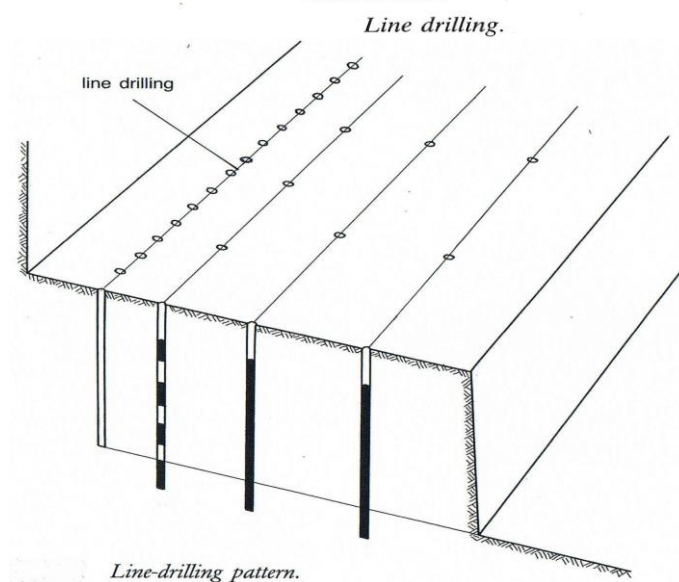
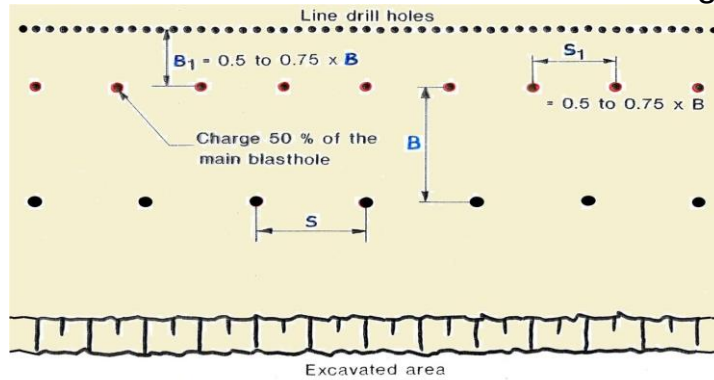
השוואת הקוטר והרווחים בקידוחי מיתאר :



- 13 -

Line drilling -

(4) קידוח קווי מיתאר



שילוב 'קדחים מנחים'

דוגמת שימוש : (א) לסיום קו סידוק בחיצוב 'בלוקים' :

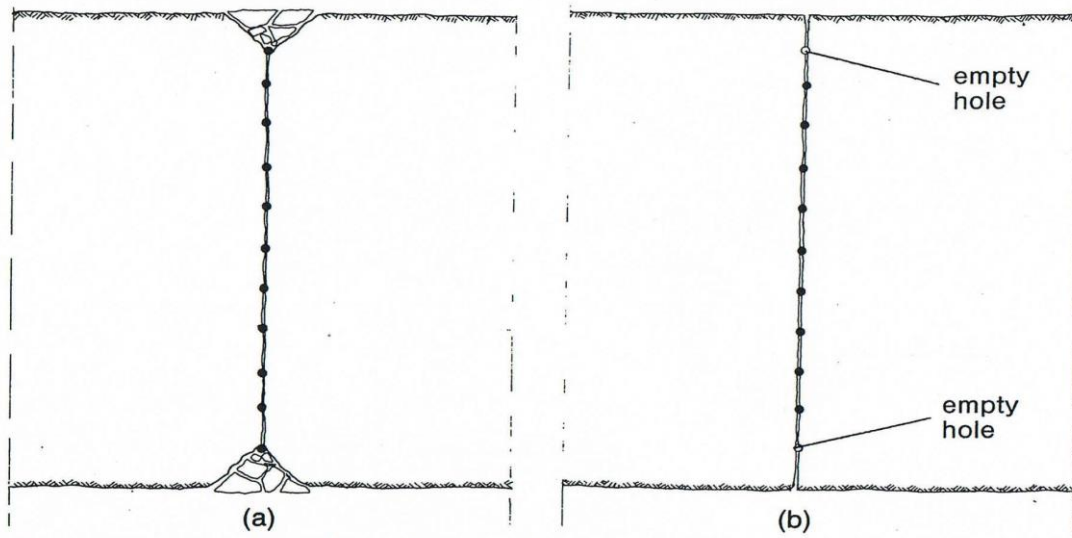
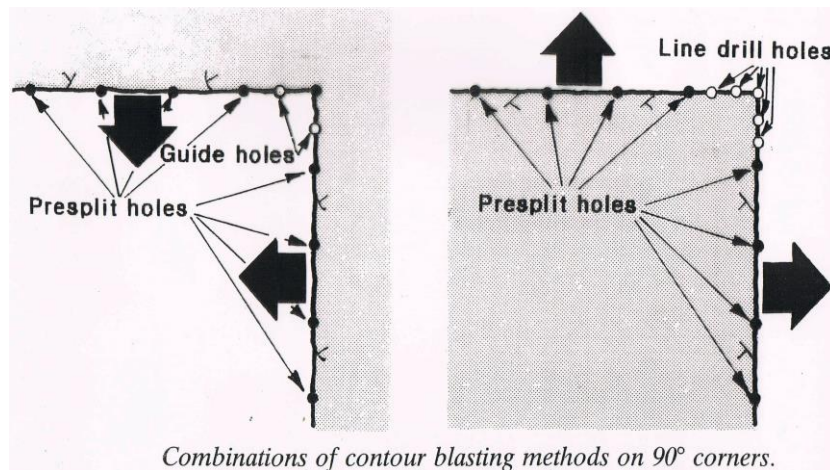
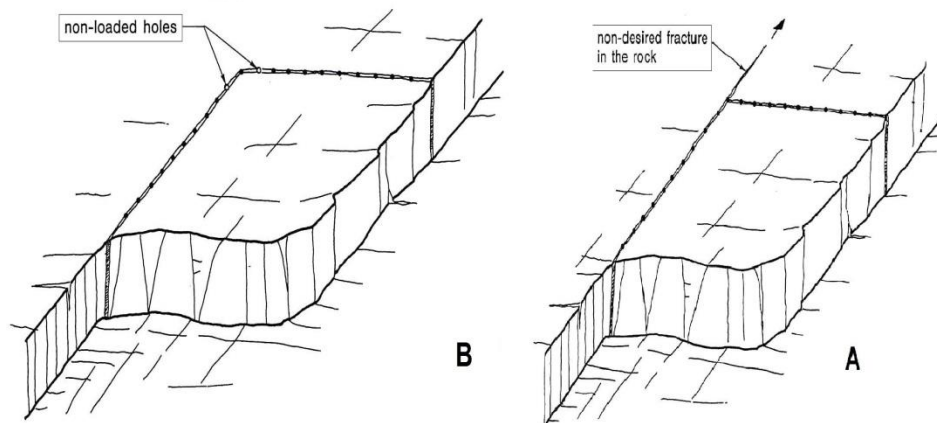


Fig. III.18 Possible end breakage resulting from a shot when cutting a block (a) and way to avoid it (b).

המשך שילוב קדחים בלי חנ"פ. דוגמת שימוש ב) לחיתוך 'נקי' של פינות :



ג) קדחים מנחים (בלי חנ"פ) למניעת סידוק בלתי רצוי בפינות :



סיכום

קירות סופיים שאנו חוצבים צריכים לעמוד שנים רבות (- בטיחות וגם אסטטיקה) ומעידים על המיקצועיות שלנו. ממונה שעושה שימוש נכון בטכניקות שסקרנו, יהיה גאה בתוצאות עבודתו.

בהצלחה !



ממונה על פיצוצים \ הנדסאי רומן יורם בנרם
Romanbn@netscape.net 050 - 5528566