



הפעלת חומרי נפץ בהנדסה אזרחית

לימודי הסמכה ל ממונים על פיצוצים 2020

רכז הדרכה: **אוסנת**. מנכ"ל: **אמיר לאון**. 04 - 8403408
כתב וערך: ממונה על פיצוצים הנדסאי **רומן יורם בנרם**
Romanbn@netscape.net 050 - 5528566

הנושאים :

א. ייזום חומרי נפץ
ב. מערכות הפעלה שונות

• אביזרים

• טכניקות

• כלים ומכשירים

כולל: - תכנון מערכות הפעלה, חוק ותקנות

(א) ייזום חומרי נפץ : ע"י **חום** ו/או **מכה** .
לכל חומר נפץ רגישות שונה ואופיינית ל **חום** (אש, ניצוץ, חיכוך) ול**מכה** (חבטה, נפילה) קליע, נוקר וכד'.
מטעמי בטיחות באיחסון, בהובלה ובעיקר בשימוש, המטען העיקרי צריך להיות יציב, לא רגיש ואפילו **אדיש**.

תחל (פריימר) Primer - נפץ /פתיל_רועם + מאיץ. משמש לייזום חומר הנפץ העיקרי.
הגדרה: **תחל** (פריימר) - תרמיל חומר נפץ מתאים שהוכנס אליו **נפץ** או חובר אליו **פתיל רועם**.

ב) מערכות הפעלה שונות

מערכות ההפעלה מוגדרות ע"י סוג הנפצים:
הגדרה: **נפץ** - אביזר המשמש להפעלת מטען חומר נפץ, לרבות נפץ רגיל, נפץ חשמלי, נפץ השהיה ונפץ השהיה לפתיל רועם ונפצים המופעלים באמצעים אחרים שאישר לשימוש מפקח עבודה אזורי.

סוגי הנפצים :

- **נפץ רגיל, מופעל בפתיל השהיה \ בטיחות.**
- **נפצי ריליי ופתיל רועם.**
- **נפצים חשמליים, מידיים והשהיה.**
- **נפצים לא חשמליים; לח"ש (NONEL)**
- **נפצים אלקטרוניים.**

תקנות בטיחות לשימוש בנפצים :

- 1) **חובת הפרדת נפצים באיחסון, בנשיאה ובהובלה:**
 - **איסור אחסנה מעורבת (תקנה 54) - לא יאוחסנו בתא אחד של המחסן נפצים ... עם כל חומר נפץ אחר.**
 - **הגבלה בנשיאת חומר נפץ (תקנה 70) - לא יישא אדם ולא יעביר חומר נפץ, בזמן שהוא נושא או מעביר נפצים.**
 - **הפרדת נפצים ברכב הובלה - הפרדה מכל חומר נפץ אחר. הנפצים בתא מיוחד ונפרד (תיקני ומאושר) שהותקן ברכב למטרת הובלת נפצים בלבד . (תקנה 274)**
 - **הפרדה במעלית במכרה (תקנה 291) .**
 - **הפרדה בהובלה ידנית במכרה (תקנה 298).**
- 2) **הגבלת ההחסנה של נפצים (תקנה 56)**
 - **כמות הנפצים המרבית שמותר לאחסן במחסן קבוע היא 5000. במחסן זמני או נייד היא 1000 יח' .**
 - **(מפקח עבודה אזורי רשאי לאשר הגדלה).**
 - **כמות הנפצים בשטח הפיצוץ (תקנה 75) - לא יובאו לשטח הטעינה ... נפצים בכמות העולה על הדרוש לפיצוץ באותו יום.**
- 3) **נוהל הכנת תחל והטיפול בתחל. תקנה 78 :**
 - א- הכנת התחל - במקום בטוח.
 - ב- חובה לנקב התרמיל לצורך החדרת הנפץ.
 - ג- הניקוב - במכשיר אלברזלי.
 - ד- איסור להסיר מעטפת התרמיל.
 - ה- מכינים תחלים לפי הכמות הדרושה לקדחים שעומדים לפוצץ.
 - רצוי להכין במקום השימוש ולשים מיד בקדח.

ב. מערכות הפעלה שונות

• אביזרים

• טכניקות

• כלים ומכשירים

כולל: - תכנון מערכות הפעלה, חוק ותקנות

1) נפץ רגיל ופתיל השהיה \ בטיחות

בימנו - בעיקר לשימוש צבאי.

הגדרות:

נפץ רגיל - נפץ המופעל ע"י פתיל בטיחות.

פתיל בטיחות - פתיל גמיש המשמש להפעלת נפץ רגיל שליבתו עשויה אבק שריפה שחור וכשמציתים אותו, הוא בוער* באופן רצוף ובקצב אחיד.

תקנות 117 עד 125 מפרטות הנוהל **לפתיל בטיחות**: הגבלת השימוש בפתיל בטיחות; פתיל כשיר לשימוש (חובת בדיקה!); איסור השימוש בפתיל פגום; חיבור הפתיל לנפץ; מספר הנפצים המחוברים; הגבלת מספר ההצתות (5); אורך מזערי של פתיל ($1\text{ מ' } + n \times 20\text{ ס"מ}$); הצתה באמצעים מיוחדים; ספירת קדחים והתפוצצויות.

2) פתיל רועם ונפצי ריליי

הגדרה: **פתיל רועם** - פתיל גמיש שבליבתו מצוי חומר נפץ מרסק, וכשהוא מופעל, עוצמתו מספקת להפעלת חומר נפץ או נפץ שעמו הוא נמצא במגע.

- מהירות הפיצוץ של פתילים רועמים: 5000 – 7000 מ' לשניה.
- פתילים מדורגים לפי כמות חנ"פ ליח' אורך פתיל: 25, 50, 100, 150, 200 Grain\feet, 80 – 5 גר' מ.
- הפתיל הצבאי וה'רגיל': קוטרו חצי ס"מ - 50 גריין (10.6 גר' למטר פתיל).
- הפתיל פועל גם במים, כל עוד המעטפת החיצונית תקינה.

תקנות לענין פיצוץ עם פתיל רועם:

פרק ה'ד פיצוץ בפתיל רועם תקנות: 126-135

תקנה 126: יש להתייחס **לפתיל רועם כחומר נפץ** (רגיש!) בטיפול, בהעברה ובאחסנה.

תקנה 128: איסור לולאות וכיפופים

א) קווי הפתיל הרועם יהיו בלי הצטלבויות, פיתולים וכיפופים חדים
ב) חיבורים בפתיל (פתיל לפתיל והסתעפויות) - רק בכיוון גל ניפוצ
או ב'קשר משקפיים' או 'קשר שטוח'.

תקנה 129: חיבור קצוות פתילים

- רק ע"י קשר מתאים ('שטוח')
- איסור שימוש בפתיל מחובר בקדח.

תקנה 130: חיבור נפץ לפתיל רועם

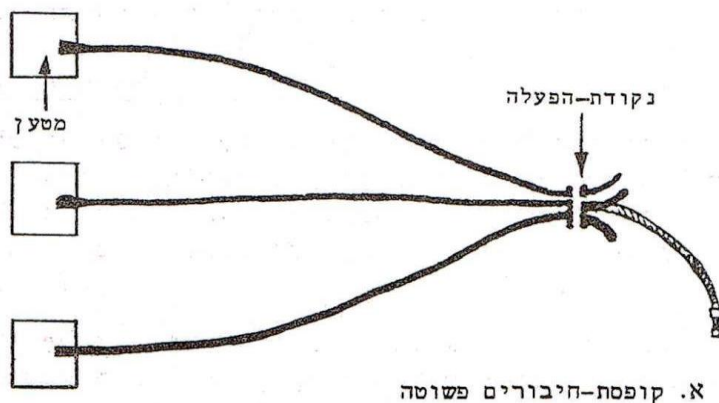
- החיבור ע"י סרט הדבקה או קשירה הדוקה.
- קצה הנפץ המכיל את חומר הנפץ – לכיוון גל הניפוצ.
- **חיתוך פתיל רועם** – רק בכלי ייעודי או בלהב חד.

פיצוץ עם פתיל רועם: מעגלים רועמים

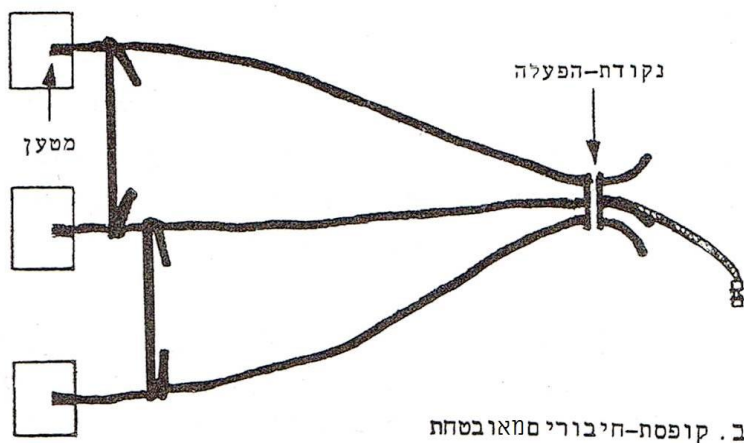
מעגלים רועמים – חיבור של כמה מיטענים \ קדחי פיצוץ, באמצעות פתיל-רועם, למערכת פיצוץ אחת שמאפשרת הפעלה ביחד.

מעגלים רועמים:

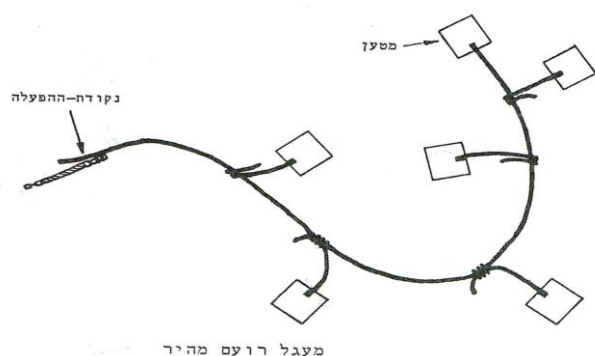
1) קופסת חיבורים פשוטה



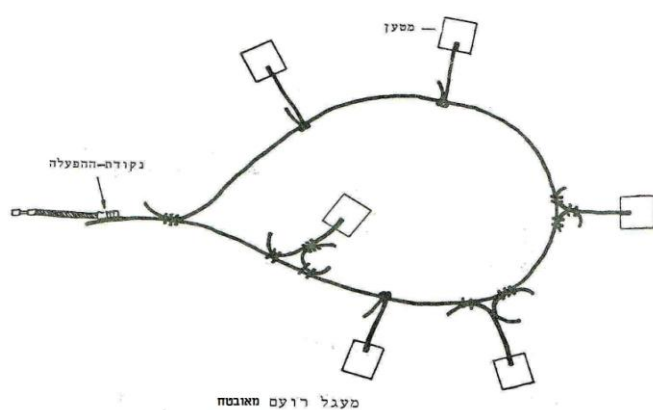
2) קופסת חיבורים מאובטחת



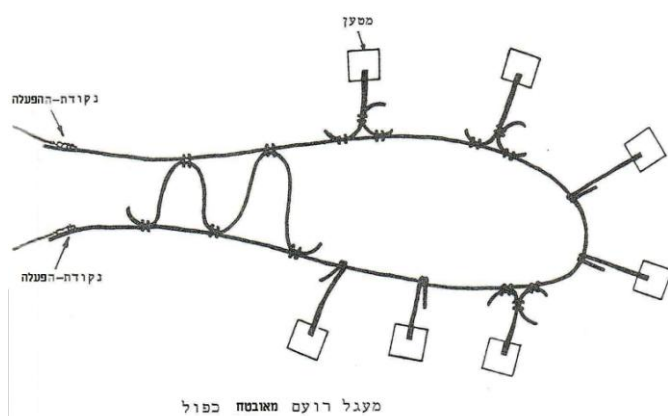
(3) מעגל רועם מהיר



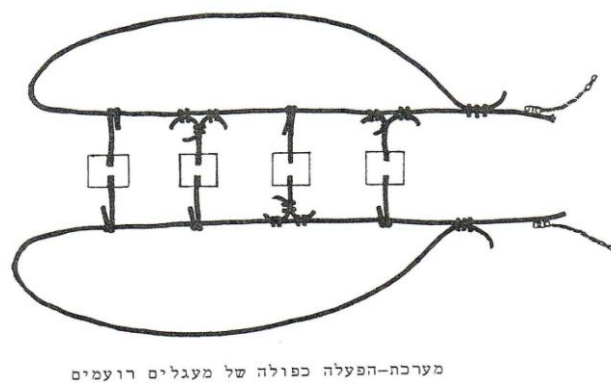
(4) מעגל רועם מאובטח



(5) מעגל רועם מאובטח כפול



(6) מערכת הפעלה כפולה של מעגלים רועמים



נפצי 'ריליי' Relay : נפצי השהיה לפתיל רועם

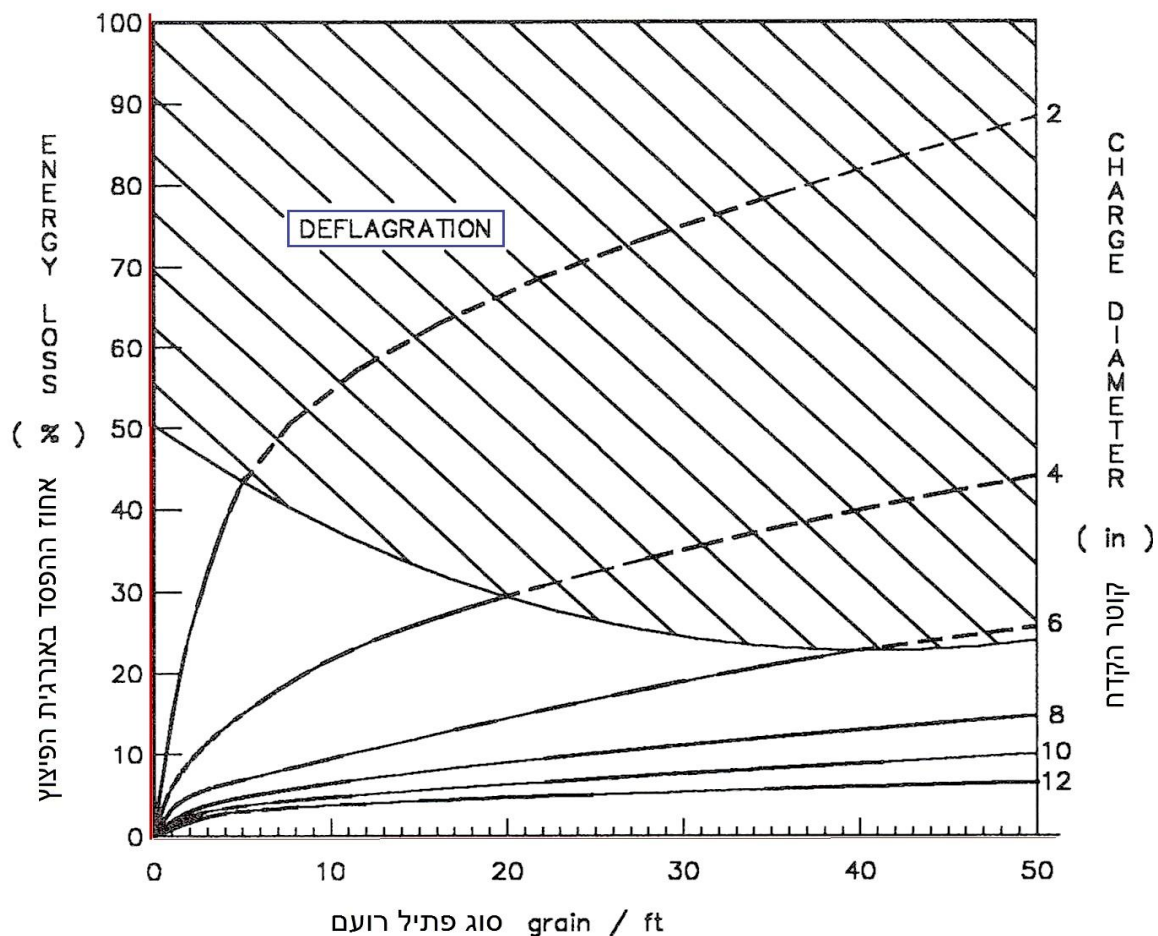
תקנה 130 - חיבור נפץ Relay לפתיל רועם :

- ...ע"י צבת צימות, אלא אם לנפץ יש התקן חיבור מיוחד.
- משמש נפץ Relay למטרת השהיה בין הקדחים, יחבורו הנפצים הללו אל הקווים הראשיים.

Network Delays & Associated Colour Coding

17 millisecond	Connector colour 'YELLOW'
25 millisecond	Connector colour 'RED'
42 millisecond	Connector colour 'WHITE'
67 millisecond	Connector colour 'BLACK'
100 millisecond	Connector colour 'BLUE'
200 millisecond	Connector colour 'BLUE'

בייזום חנ"פ (אנפו) בקדח ע"י פתיל רועם עד תחתית הקדח יש בעיה :



הפעלה ע"י פתיל רועם (לעומת השיטה הקודמת)

ייתרונות – חסרונות

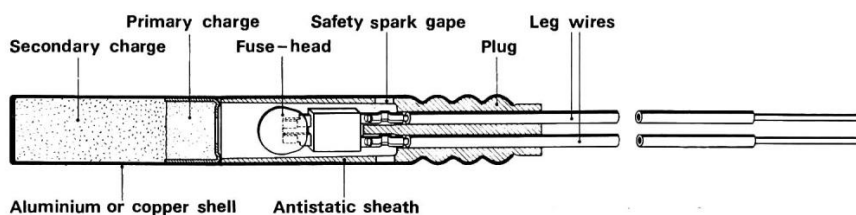
- ✓ אפשרות הפעלת מיטענים רבים מאד בייזום אחד.
- ✓ מהירות הכנה.
- ✓ אין בעיית רטיבות ומים ; חשמל סטטי ; ברקים.

חסרונות :

- רעש, הדף (תקנה 135 – חובת כיסוי ע"י חול, ב'שטח בנוי').
- בדיקת תקינות המערכת – רק בבדיקה חזותית.

(3) נפץ חשמלי

הגדרה: **נפץ חשמלי** - נפץ המופעל ע"י זרם חשמל.



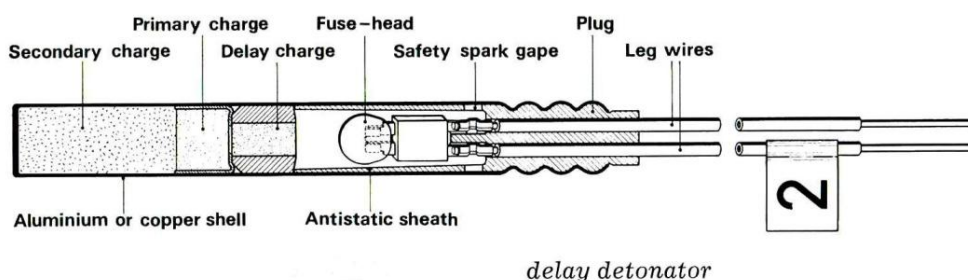
Electrical Data*

No Fire Current	0.45 amps
All Fire Current	2.00 amps
Series Ignition Current	6.00 amps
No Fire Impulse	8 mJ/ohms
All Fire Impulse	16 mJ/ohms

Electrostatic Sensitivity

Double Wire to Shell	20 kV/500 pF/100 mJ
Pin to Pin	10kV/500 pF/25mJ

הגדרה: **נפץ השהיה** - נפץ חשמלי שתוכנן לפעול זמן קצוב לאחר הפעלתו, המכיל אלמנט השהיה המותקן בין אלמנט הצתת מטען הנפץ לבין חומר הנפץ שבנפץ.



תקנות בטיחות לענין שימוש בנפצים חשמליים (עם השהיה או בלי)
כללי :

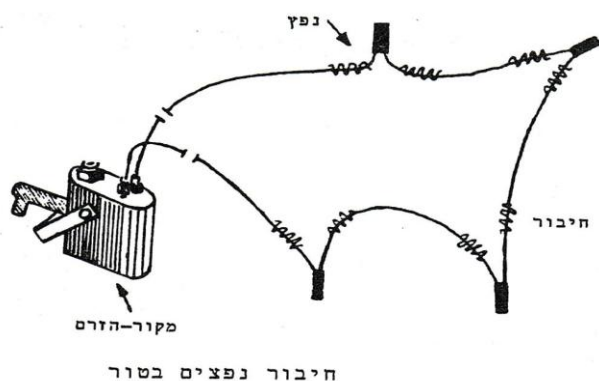
1. **שימוש בנפצים תואמים.** (תקנה 106) - בפיצוץ אחד יהיו כל הנפצים החשמליים מתוצרת אותו יצרן ומטיפוס אחד ולא יילקח לשימוש נפץ שאינו מזהה.
2. **בדיקת נפצים.** (תקנה 113 לא) - כל נפץ חשמלי ייבדק בנפרד לפני השימוש בו, לענין התנגדותו החשמלית, באמצעות אוהמטר מיוחד המיועד למטרה זו, שאושר לשימוש בידי מפקח העבודה הראשי.
3. חובה לבדוק באוממטר כל **מעגל חשמלי**, כולל תיילי ההזנה, לפני הפיצוץ. (תקנה 113 ג) - רציפות, יציבות, התנגדות®, איזון מעגלים.
4. כל חיבור בחוטי המעגל חייב להיות הדוק ומבודד; במיוחד בסביבה רטובה! (תקנה 109).
5. **מכשיר הפיצוץ** - חייב להיות: מתאים, תקין ובדוק, שמור ומאובטח, באחריות הממונה על הפיצוצים. (תקנות 111 ; 112)

מכשיר פיצוץ - הגדרה: מכשיר מיוחד המשמש כמקור זרם לפיצוץ נפץ חשמלי, המחולל חשמל או פועל בעזרת סוללות חשמל.

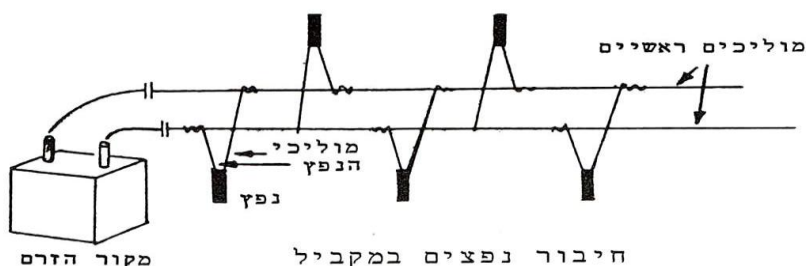
מעגלים חשמליים

פיצוץ מערכת קדחים \ מיטענים ע"י נפצים חשמליים – מבוצע ב'מעגלים חשמליים'.

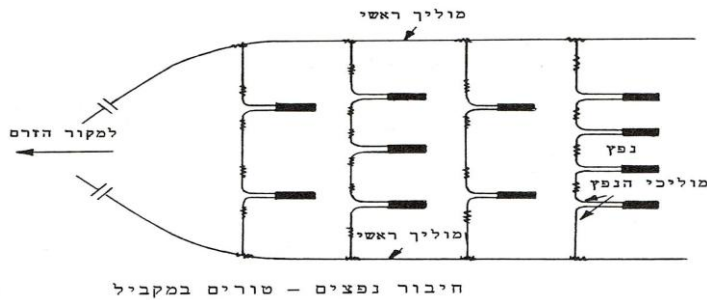
(1) חיבור בטור. פשוט ובטיחותי.



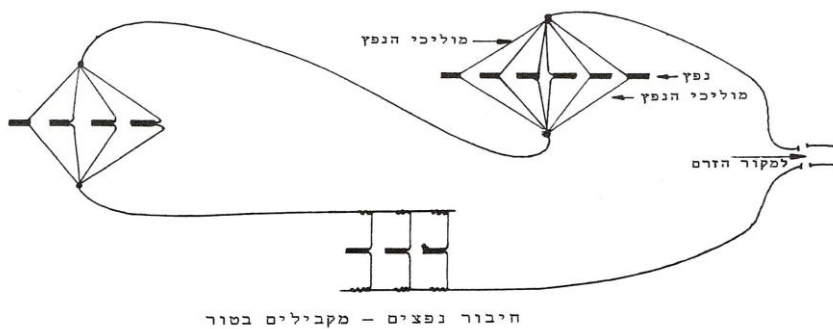
(2) חיבור במקביל.



(3) חיבור טורים במקביל.



(4) חיבור מקבילים בטור



מושגים בסיסיים בחשמל :

זרם	נמדד ביחידות: אמפר A	הסמל: I
מתח	נמדד ביחידות: וולט V	הסמל: U
התנגדות	נמדדת ביחידות: אוהם Ω	הסמל: R

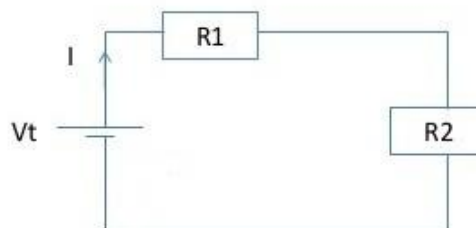
$$U = R \times I$$

הזרם הדרוש לפיצוץ נפץ יחיד : 0.6 אמפר מינימום
 הזרם הדרוש לפיצוץ עד 10 נפצים בטור: 1.0 אמפר מינימום
 הזרם הדרוש לפיצוץ יותר מ 10 נפ' בטור: 1.5 אמפר מינימום

בחיבור טורי : בכל המעגל אותו הזרם.

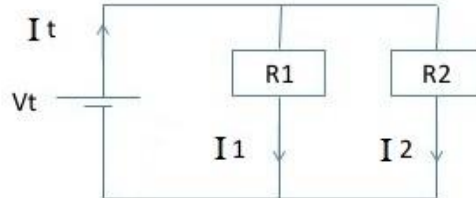
התנגדות שקולה במעגל טורי היא סכום ההתנגדויות.

- $R_t = R_1 + R_2$
- $I = V_t / R_t$
- $V_{R1} = I \times R_1$
- $V_{R2} = I \times R_2$
- $V_t = V_{R1} + V_{R2}$ (חוק כירכהוף 1)



בחיבור במקביל : הזרם הכללי הוא סכום הזרמים בכל ענף

- $I_t = I_1 + I_2$ (חוק כירכהוף 2)
- $I_1 = V_t / R_1$
- $I_2 = V_t / R_2$
- $I_t = V_t [1/R_1 + 1/R_2]$
- $1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2$
- $R_t = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2)$



התנגדות של מערכת נפצים מחוברים במקביל :

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

('מוליכות' - $1/R$ Mho . המוליכות הכללית היא סכום המוליכויות של כל הענפים)

דוגמא מעשית לחישוב :

- יש לי מכשיר פיצוץ 'בטהובן' שנותן V_{1200} וזרם עד A_7 .
- בפיצוץ יש 480 נפצים (של 10 מ' חוט) לפיצוץ. סגרתי מעגל בטור.
- (התנגדות כל נפץ היא 1.8 אוהם ושל הכבל הראשי- 25 אוהם)
האם המכשיר יפעיל ?

פיצוץ ע"י נפצים חשמליים

ייתרונות - חסרונות מול השיטות הקודמות :

- ✓ אפשרות לבדוק את המערכת לפני ההפעלה, בבטיחות.
- ✓ הפעלה בתזמון מדויק ובשליטה טובה.
- ✓ הפעלה מרחוק - מחוץ לשטח הסכנה.
- ✓ אפשרות להפעיל מיטענים רבים יחד . (לפי יכולת הפצץ!)

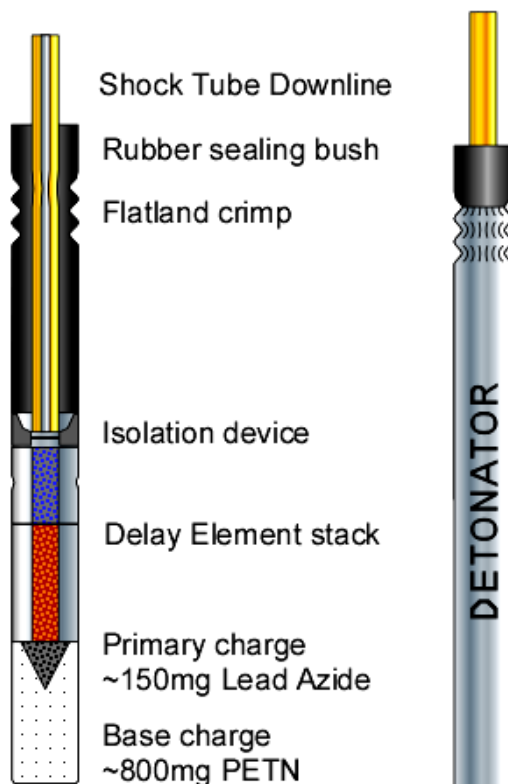
חסרונות :

רגישות ל: ברקים, רטיבות, זרמי חשמל תועים או מושרים.

נפצי נונאל NONEL

ייזום הנפץ: ע"י **צינורית רשף** (Shock tube).
הנפץ עצמו, דומה לנפץ החשמלי או הרגיל.

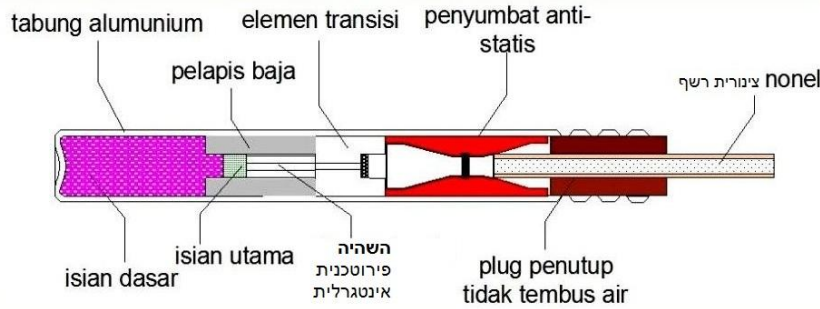
TYPICAL NON-ELECTRIC
DETONATOR CONSTRUCTION



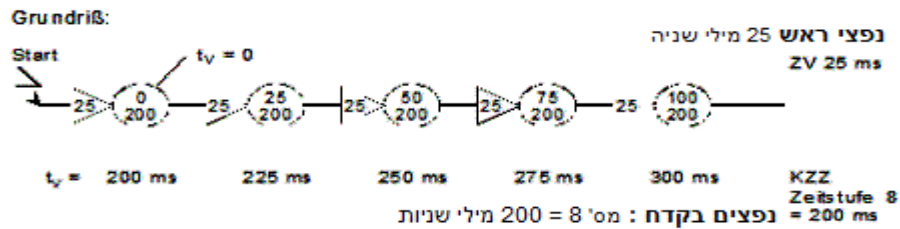
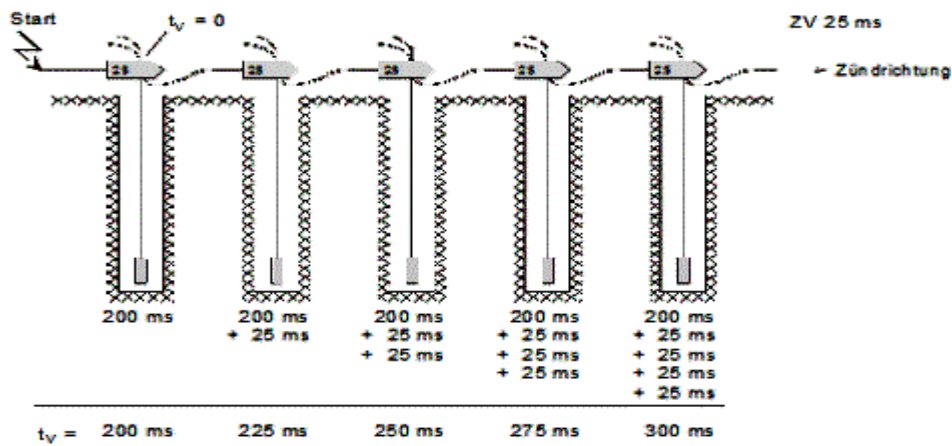
שתי שיטות השהיה (פירוטכנית) בנפצי נונאל:

1. השהיה קצובה (אינטגרלית).
 2. מערכת השהיה נצברת. הפעלת נפץ אחרי נפץ ע"י **נפצי ראש**.
- מערכת השהיה ע"י שימוש ב'נפצי ראש'. Surface delay detonators
 - מערכת השהיה ע"י נפצים דו_צדדים -
Surface delay + In_hole delay detonator

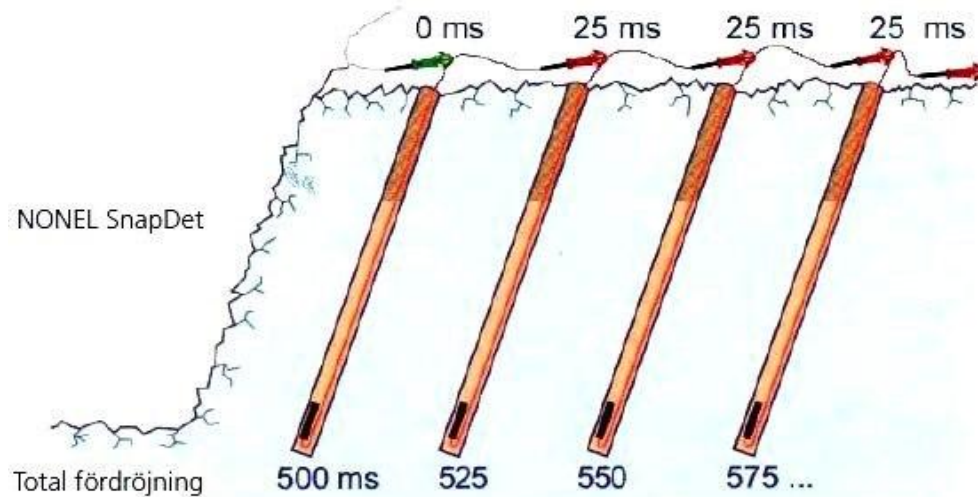
1. השהיה קצובה (אינטגרלית).



2.א - מערכת השהיה נצברת. הפעלת נפץ אחרי נפץ ע"י נפצי ראש .



2.ב - מערכת השהיה נצברת. הפעלת נפץ אחרי נפץ ע"י נפץ דו צדדי :



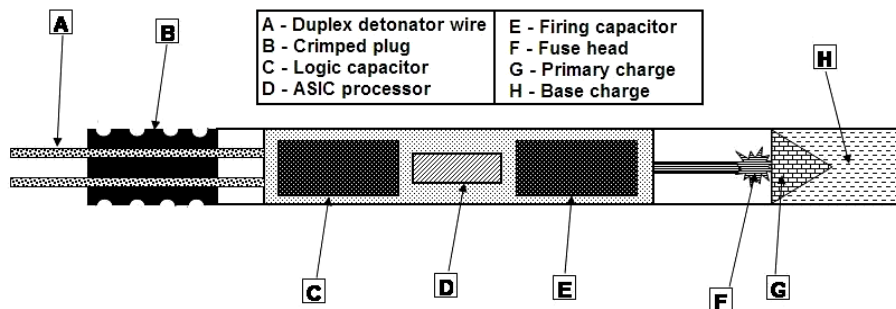
פיצוץ בנפצי נונאל :

ייתרונות - חסרונות מול השיטות הקודמות :

בטיחות בסביבת זרמי חשמל תועים או מושרים, חשמל מברקים ובסביבה רטובה.
מספר ההשהיות רב מאד.
פעולת שרשרת. הייזום באנרגיה קטנה. מתאים לאלחוטי.
חסרונות :

- אין אפשרות לבדוק את רציפות ותקינות המערכת לפני הפיצוץ, למעט בדיקת ראייה.
- פעולת שרשרת. פריט או חיבור לקוי עלול לנתק המערכת.
- ריבוי פריטים ונפח גדול באיחסון והובלה.
- דיוק ההשהיות לא מושלם.

נפצים אלקטרוניים



הכנת מערכת נפצים אלקטרוניים לפיצוץ:

- (1) כל הנפצים במערכת מגיעים 'נקיים', בלי זמן השהיה .
- (2) כל נפץ נושא סימון ברקוד, 'אישי'.
- (3) כל נפץ ניסרק ומזוהה במיקומו ב'מעגל'.
- (4) מכשיר הפיצוץ מזהה כל נפץ במיקומו, וטוען לו את זמן ההשהיה המתוכנן.
- (5) טעינת כל קבלי הפיצוץ בנפצים.
- (6) לאחר בדיקה, הוראת פיצוץ, ע"י פריקת כל הקבלים, כל אחד בזמנו.

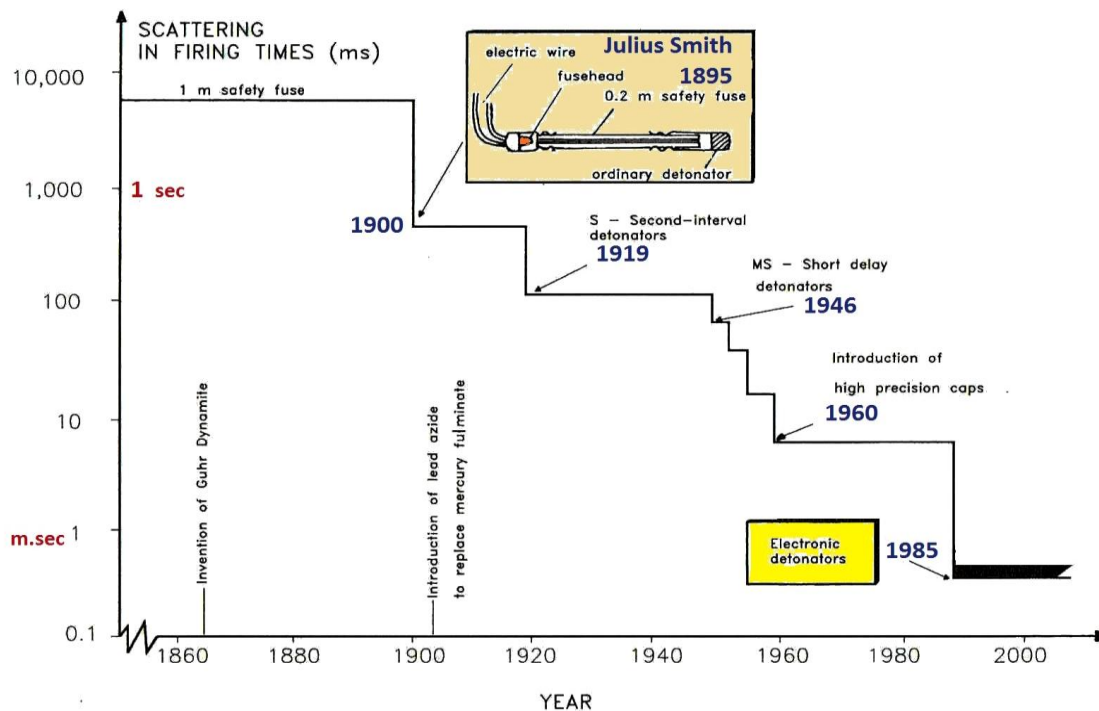
ייתרונות - חסרונות מול השיטות הקודמות :

- דיוק ההשהיות מושלם !!
- בטיחות בסביבת זרמי חשמל תועים או מושרים, ברקים ובסביבה רטובה.
- מספר ההשהיות רב מאד.
- בדיקה מלאה של רציפות ותקינות המערכת לפני הפיצוץ.
- ניהול מלאי פשוט. נפח קטן - באיחסון והובלה.

חסרונות :

- באגים .
- מחיר. הנפצים ומערכת התיכנות וההפעלה.
- הכשרה טכנולוגית.

שיפור דיוק ההשהיות, לאורך השנים



חשיבות התזמון המדויק

- במקצוע שלנו חייב להיות בשליטה ובתיכנון.
- בלחיצת כפתור אנחנו משחררים כוחות אדירים .
- הטכנולוגיה של ימינו נותנת לנו את כל הכלים והידע שנחוצים על מנת לעבוד מדויק, בבטיחות וביעילות.
- תוצאות שליליות מתיזמון לקוי בהפעלת חנ"פ : יעילות נמוכה, סכנת מוחטאות, סכנת רגמות, סכנה לכישלון מוחלט (למשל, בהקסת מבנה) ועד פגיעה ברכוש ואנשים.
- ידע, תכנון טוב, הקפדה ודיוק – מבטיחים הצלחה !

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