

תחמושת IM ואתגרי סיווג נפיצים

מצגת לכנס הלאומי הראשון לבטיחות נפיצים.
סא"ל (מיל) אורן לוטן



על מה נדבר?

- תחמושת IM- רקע היסטורי, סקירת אסונות בעולם ובארץ עקב אי עמידה בדרישות הרגישות.
- מה זה בעצם תחמושת פחות רגישה (IM)?
- השלכות על פיתוח מערכות הנעה רקטית.
- הקונספציה המוטעית בנושאי סיווג 1.3 למערכות הנעה רקטית גדולות.
- סיווג על בסיס TB 700 והפערים בהתאמת התקן.
- המלצות/ רעיונות/ מחשבות....





IM- רקע היסטורי

- "תחמושת פחות רגישה" (IM ,INSENSITIVE MUNITION), הינה הגדרה כוללת למגוון סוגי תחמושות בעלי רגישות מופחתת לתרחישי קיצון (פגיעות קליעים, רסס מטענים, שריפות).
- צמצום הריאקציה לשריפה בלבד.
- צמצום נזקים במחסני תחמושת, חשיבות לכלי שייט.
- ה"טריגר" לפיתוח - בצי האמריקאי, עקב ארבע תאונות ימיות...

IM- סקירת אסונות בעולם

תאריך	פלטפורמה	תרחיש	הרוגים/פצועים	נזק חומרי
05/1941	HMS HOOD	פגיעת כדור ח"ש בתחמושת אורגנית	1,797 הרוגים	ספינה טבעה
03/1945	USS FRANKLIN	פגיעת משתי פצצות- שריפה ופיצוצי משנה	800 הרוגים	ספינה נהרסה כליל
10/1966	USS ORISKANY	רקטת תאורה פגומה אוחסנה במחסן עם תחמושת חיה. גרמה ל"בישול" התחמושת ופיצוצי משנה. הצוות הצטיין במעשי גבורה כשדחף הימה מתוך הלהבות פצצות גדולות, אשר לו התפוצצו היו גורמות לנזק אדיר.	44 הרוגים 156 פצועים	נזק אדיר לנושאת המטוסים ול- 3 מטוסים
07/1967	USS FORRESTAL	רקטה שנפלטה בטעות מפאנטום על הסיפון, פגעה במיכלי דלק של מטוס שכן, השריפה התפשטה למטוסים נוספים עמוסים תחמושת ודלק, התפשטות האש לסיפונים תחתונים של נושאת המטוסים, כולל מחסני תחמושת.	134 הרוגים 161 פצועים	נזק לספינה במאות מיליוני \$, עשרות מטוסים הרוסים



תמונה 1 (מימין לשמאל): שריפת תחמושת ע"ג נושאת המטוסים "USS Forrestal", שריפת תחמושת באזור המטוסים, הנזק לסיפון עקב פיצוץ התחמושת.

IM- סקירת אסונות בעולם

תאריך	פלטפורמה	תרחיש	הרוגים/פצועים	נזק חומרי
01/1969	USS ENTERPRISE	פליטת מנוע הדחף של מטוס בעת המראתו פגעה במטוס אחר שנשא רקטות. אלו התיזמו עקב החום, נוצרה תגובת שרשרת בין מטוסים וחימושים שונים, מיכלי הדלק הסילוני של המטוסים נפרצו והדלק הבוער עבר לסיפונים אחרים בהם אוחסנו פצצות MK 82 ודלק.	28 הרוגים 341 פצועים	נזק לספינה ב133 מליון \$, 16 מטוסים הרוסים, 17 מטוסים שניזוקו קשה



תמונה 2: הנזק המצטבר לטיסות המטוסים "USS ENTERPRISE"

IM - סקירת אסונות בעולם

תאריך	פלופורמה	תרחיש	הרוגים/ פצועים	נזק חומרי
12/1969	SS BAADGER (ספינת אספקה)	ספינה שנשאה 5,336 טון של תחמושת. תנאי ים קשים גרמו לניתוק חלק מהתחמושות שהיו מאוחסנות במכולות בספינה ונפילתם על הסיפון. בסופו של דבר אחת הפצצות מדגם MK-82 התפוצצה וגרמה לשריפה וייזום תחמושות רבות אחרות בכלי	26 הרוגים	ספינה טבעה, 5336 טון של תחמושת טבעו
04/1973	רכבת משא	שרפה שפרצה ברכבת שנשאה כמות גדולה של תחמושת מדגם Mk -81, גרמה לפיצוץ עשרות פצצות במשך 32 שעות ברצף	-	24 מיליון דולר



תמונה 3: פיצוץ רכבת המשא בכזוןיל, 28/4/1973.

IM - סקירת אסונות בעולם



תמונה 4: האסון ע"ג ה- "USS NIMITZ" 1981.



תמונה 5: האסון במחנה דוחה, כווית 1991.

תאריך	פלטפורמה	תרחיש	הרוגים/פצועים	נזק חומרי
05/81	USS NIMITZ	מטוס שנחת על הסיפון התנגש במסוק ובשלושה מטוסים נוספים. דלק סילוני מכלי הטייס נשפך על הסיפון, וחלק מחימוש כלי הטייס התפזר על הסיפון. צוות כלי השייט ביצע מאמצים עיליים להכיל את מימדי השריפה וכאשר הצליח לבסוף לכבותה, ניתנה הוראה לגשת אל החימוש ולטפל בו. לאחר התקרבות אנשי הצוות לטילים שנפלו על הסיפון, התפוצץ לפתע אחת מהם, ורסיסיו גרמו לייזום שני טילים נוספים והתחדשות האש	14 הרוגים 39 פצועים	אובדן כלי השייט וציוד רב
07/91	מחנה דוחה, כווית	תקלה במחמם דלק של רכב נושא תחמושת ארטילרית בקוטר 155 מ"מ, גרם להצתתו. הצוות לא הצליח להשתלט על האש, ותחמושת מהרכב היתייזמה והתפזרה לכל עבר. עקב הרסס הרב, רכבים ותחמושת נוספת התייזמו בתגובת שרשרת ועשן בגובה מאות מטרים היתמר מעל לבסיס. האש בערה עד לשעות אחה"צ	3 הרוגים 52 פצועים	52 טנקי אברמס, שרופים, טונות של תחמושת שאבדו

IM - סקירת אסונות בארץ

תאריך	פלטפורמה	תרחיש	הרוגים/פצועים	נזק חומרי
10/67	אסון המשחתת "אילת"	שני טילים שנורות לעבר המשחתת מול פורט סעיד שיתקו אותה לחלוטין והאוניה החלה לנטות. טיל נוסף פגע בירכתיים וגרם להתלקחות מעל מחסני התחמושת באנייה. ארגזי התחמושת על הסיפון החלו להתפוצץ וסיכנו את 36 הניצולים בירכתיים. הוחלט לנטוש את האונייה. לאחר הנטישה התפוצצו מחסני התחמושת והאונייה טבעה. מהפיצוצים הופעלה גם פצצת עומק שגרמה לפצועים נוספים מבין הניצולים במים	14 הרוגים 91 פצועים	נזק כבד לכ"ש, נזק מוראלי כבד.
01/70	אסון הנחתת "בת שבע"	נחתת שחזרה לאילת מפורט בעיד אחרי כיבוד האי "שדואן" החלה בפריקת משאיות התחמושת. באחת המשאיות היה חמוש מוקש נ"א שהתפוצץ לפתע יחד עם 6 טון חומר נפץ	21 הרוגים עשרות פצועים	נזק משמעותי מאוד לנחתת
07/92	אסון נוף ים	פיצוץ אדיר באזור הבונקרים של מפעל התעשייה הצבאית באתר נוף ים (מצפון להרצלייה פיתוח). הפיצוץ כילה תכולת 8 בונקרים ומכולות תחמושת, סה"כ 240 טון בייזום הדדי (סימפטי) בין התחמושות	2 הרוגים מספר פצועים	בעשרות מיליוני ש"ח למבנים בשכונת נוף ים, רישפון וכפר שמריהו

IM - סקירת אסונות בארץ

תאריך	פלטפורמה	תרחיש	הרוגים/פצועים	נזק חומרי
03/2010	תקרית כיסופים	רס"ן אליהו פרץ ז"ל, סמג"ד 12 בגולני נהרג מפגיעת קליע ברימון שנשא באפודו האישי. פגיעת הקליע ברימון גרמה ליזום הרימון ופציעתו בנוסף של לוחם נוסף	1 הרוג 1 פצוע	-
07/2012	אח"י חנית	"כמעט ונפגע" - טיל מדגם C-802 פגע באוניית הדגל של חיל הים מדגם "סער 5", אח"י חנית ופרצה בספינה, המצוידת במיטב מערכות כיבוי האש הנדרשות. למרבה המזל, השריפה בספינה התפשטה לאזורים שלא אוחסנה בהם תחמושת. התפתחות השריפה לאזורים המכילים תחמושת הייתה גורמת לנזקים משמעותיים בהרבה, בנפש ובחומר.	4 הרוגים מפגיעת הטיל	נזק בעשות מליוני ש"ח לספינה ולמסוק הימי.



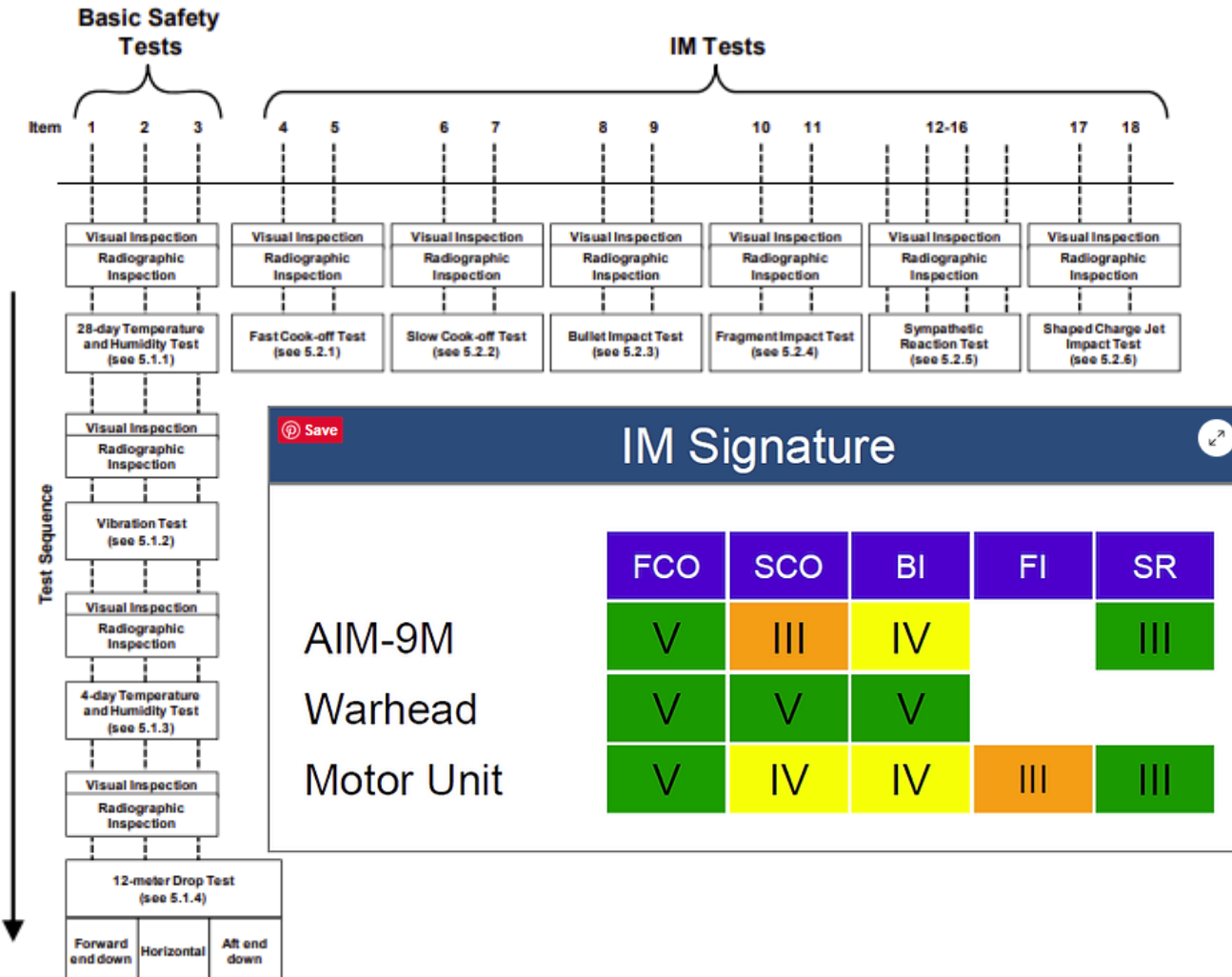
תמונה 6: נזקי פגיעת טיל C-802 באח"י חנית, מלחמת לבנון השנייה.

תחילת הדרך...

• תחילת הדרך, הצי בלבד...

• MIL-STD-2105

• כלל הזרועות



(1) פגיעת קליע (BULLET IMPACT). דרישה: TYPE V

(2) פגיעת רסיס (FRAGMENT IMPACT). דרישה: TYPE V

(3) פגיעת מטען חלול (JET SHAPE CHARGE). דרישה: TYPE III

(4) שריפה מהירה (FAST COOKOFF). דרישה: TYPE V

(5) שריפה איטית (SLOW COOKOFF). דרישה: TYPE V

(6) ייזום הדדי (SYMPATHETIC DETONATION). דרישה: TYPE III

* בהתאם ל STANAG 4439, DATED 9.2.2009

• המודל הפיזיקאלי- HOT SPOTS :

• צמצום כמות בועות האוויר בחנ"מ (מבוצע ע"י דחיסה איטית ומבוקרת של החנ"מ תוך אפשרות יציאת בועות בתהליך הייצור).

• פיתוח חנ"מים הרגילים פחות להיווצרות חוס.

• מניעת התפתחות ריכוזי מאמצים ובחנות גזירה בחנ"מ, גיש מעבר משימוש בחנ"מ מוקשח ויצוק (כדוגמת TNT) לחנ"מ המכיל מרכיב איסטי (כדוגמת משפחת החנ"מים מסוג PBX לסוגיו).

• תכנון מחודש של מעטפות התחמושת לעמידות בזנאי וסביבה המתפתחים (לדוגמא יצירת נקודות החלשה במעטפת שתאפשר "פריקת" לחץ).

• שיפור והקשחת האריזות והמיכלים של התחמושת, כך שיתנו בידוד והגנה טובה יותר.



המורכבות והסיכון במנועים גדולים

פתרונות למערכת
ההנעה

- כמות גדולה מאוד של חומר הדף (טונות).
- במקרים מסוימים- עד כדי קירבה לקוטר הקריטי.
- רגישות מיוחד לבחינת SLOW COOK OFF.
- אין באמת מודל אנליטי סגור ליזימה שאינה מסדר ראשון.
- מוצר מאוד יקר....

אז מה עושים?



"המנוע מוכח כ
1.3 זהה בסדר"

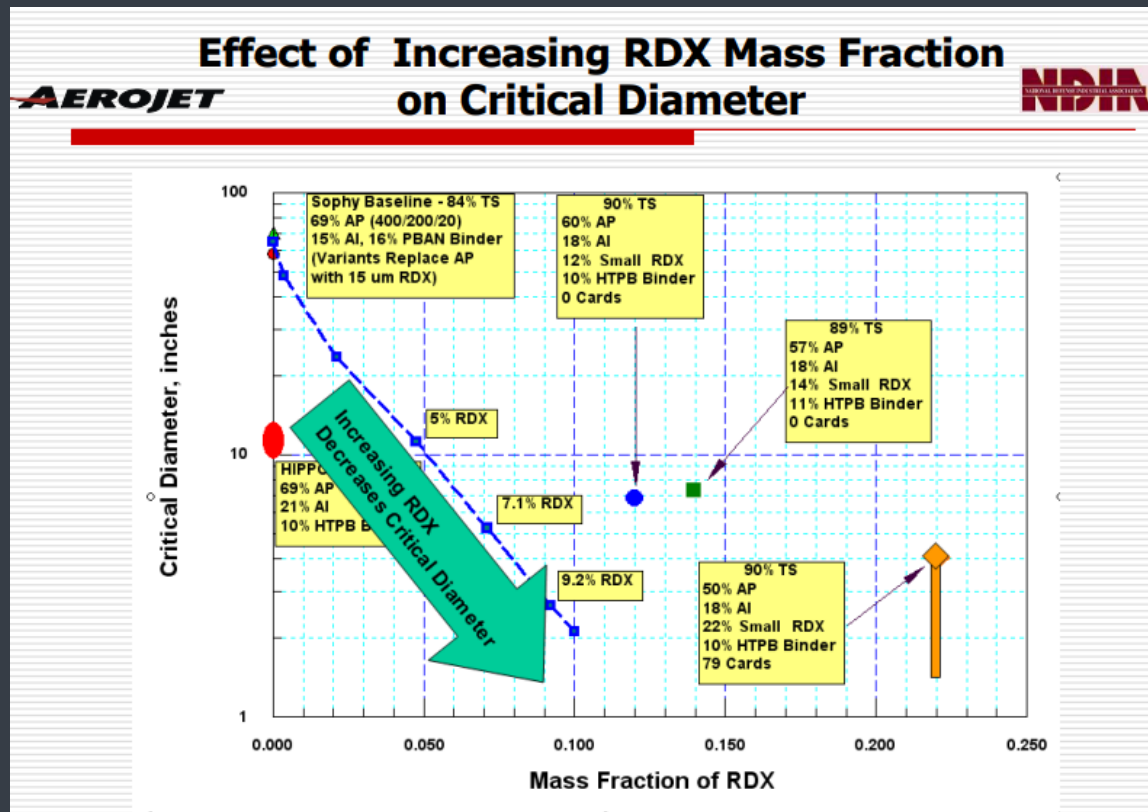
המורכבות והסיכון במנועים גדולים

- קונספציה מוטעית על בסיס דמיות כי מנוע המכיל הודף מקבוצת 1.3 אינו יכול לעבור תהליך של פיצוץ.
- "ההודף מוכח כ 1.3"
- "בדמיות למוצר A שהוא בדמיות למוצר B שהוא בדמיות למוצר C שמשא שפרש לפני 5 שנים אמר שזוכר כי עבר בהצלחה בדיקות לפני 30 שנה".
- "הקוטר מתחת לקוטר הקריטי"
- התעלמות מתוספים להודף.
- התעלמות מתכונות ההודף



הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

- האומנם???
-DYING DETONATION
- הוספת מרכיבים להודף מקטינה את הקוטר הקריטי האפקטיבי (!!).



הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

Table 5-5
HD 1.1, HD 1.2, HD 1.3, and HD 1.4 Assignment Tests

Test	Reference
Single Package ¹	Paragraph 5-5c
UN Test 6(a) ²	Reference (A.6)
Sympathetic Reaction ¹	Paragraph 5-5d
UN Test 6(b) ^{2,3}	Reference (A.6)
Liquid Fuel/External Fire ¹	Paragraph 5-5e
UN Test 6(c) ⁴	Reference (A.6)
UN Test 6(d)	Paragraph 5-5f (Reference (A.6))

NOTE: 1. Harmonized test for hazard classification and IM purposes.
2. Acceptable test for hazard classification purposes only provided means of initiation in paragraph 5-5c(2) is used.
3. Acceptable test for hazard classification purposes only provided one trial conducted unconfined for projection hazard assessment.
4. Acceptable test for hazard classification purposes only.

• מה דורש התקן (TB-700)?

• בדיקת הפעלה במארז

• בדיקת ייזום הדדי

• בדיקת שריפה בקנה מידה מלא (אירוע בפני עצמו, לא מבוצע למנועים גדולים, לא ניכנס לזה...)

• במידה ולא ניתן לבצע את בדיקות המארז והייזום הסימפטי יש לבצע בדיקות SLSGT.

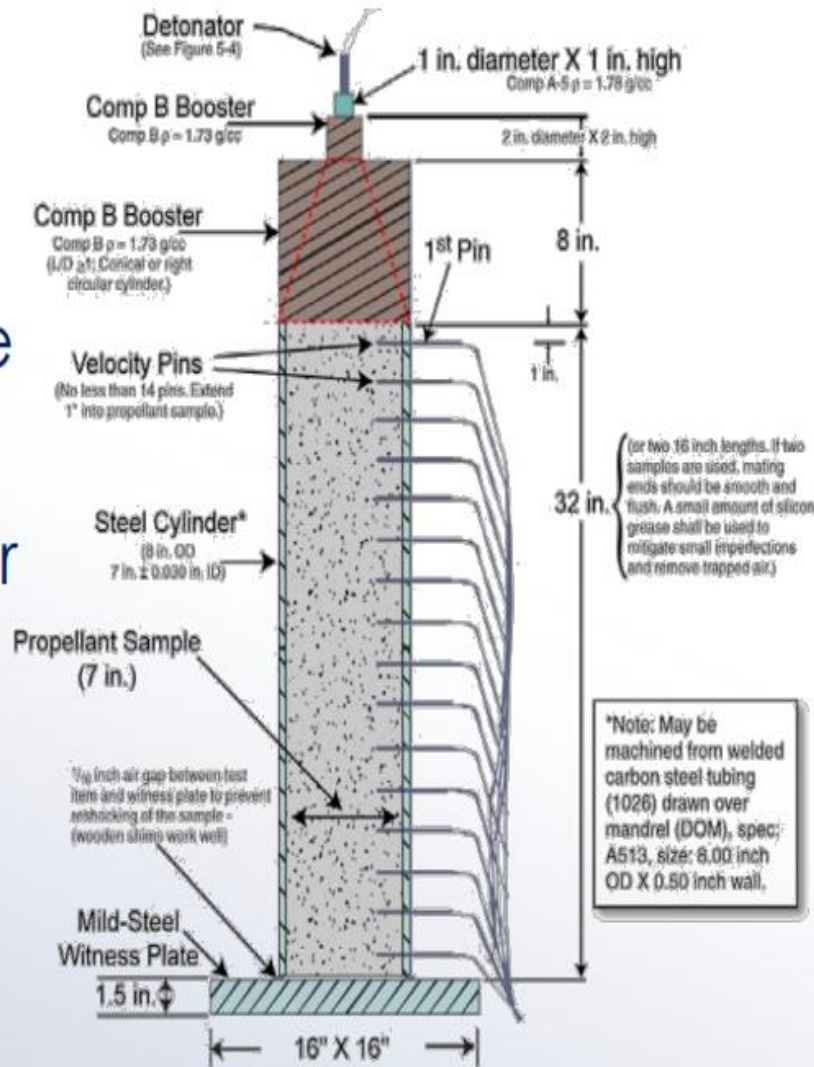
Table 5-9
Alternate Solid Propellant Rocket Motor Tests for Single Package and SR Tests

Option #	Name of Test	Reference
1	Super Large Scale Gap	Paragraph 5-8b(1)
2	Unconfined Critical Diameter	Paragraph 5-8c(1)
	70 kbar Gap	Paragraph 5-8c(2)
3	70 kbar Gap	Paragraph 5-8d(1)

אבל... משאיר פתוח לחלוטין את נושא תצורת המבחן

הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

- Refined version of SLSGT
- 32-inch-long sample
- 14 velocity pins
- Either a right circular cylinder or conical booster
- No PMMA attenuator

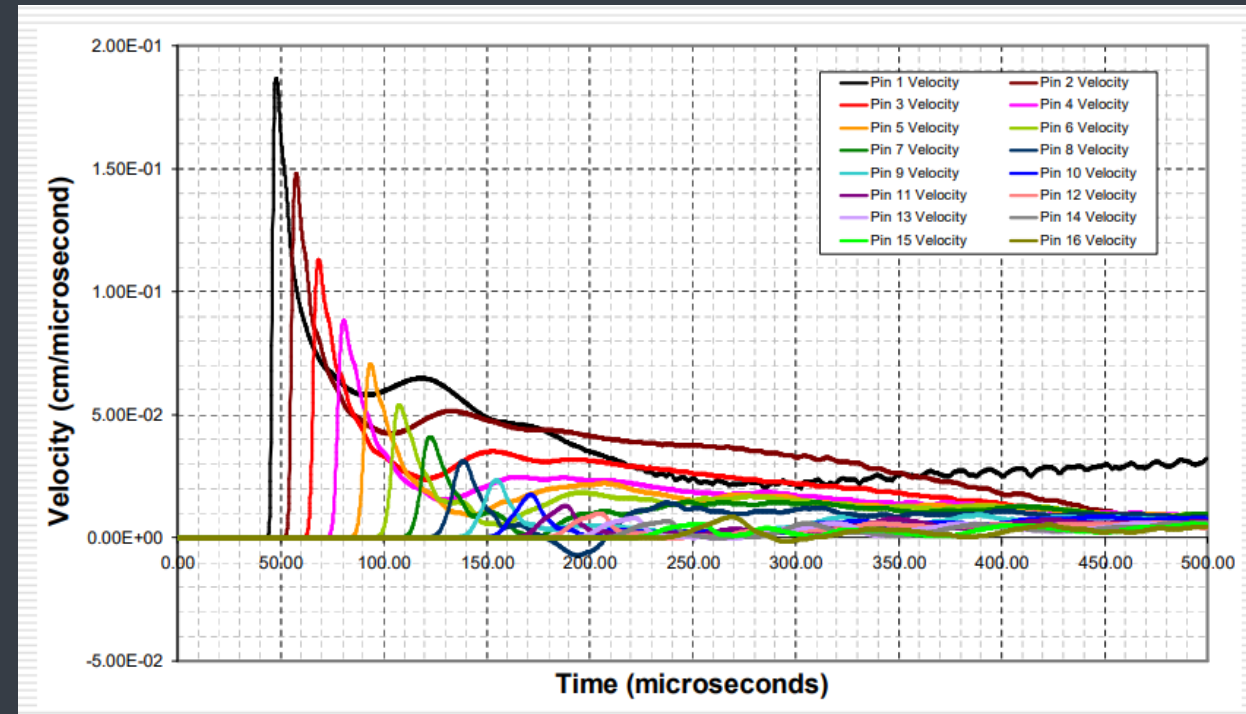
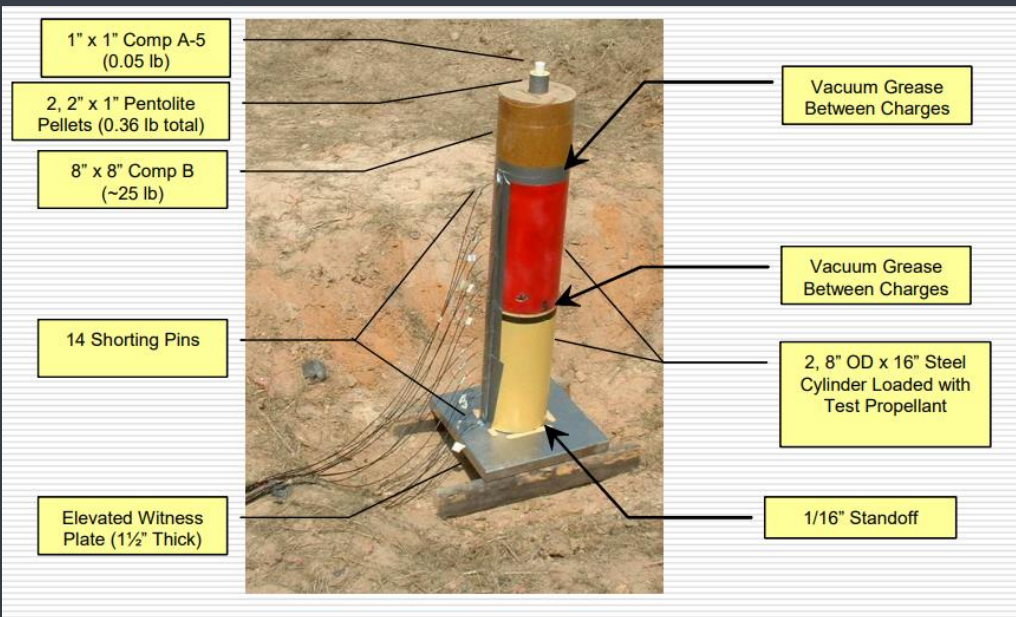


• SLSGT - אופציה מס' 1

- יתרונות:
 - זול באופן יחסי
- חסרונות:
 - קוטר מתקן נמוך באופן משמעותי
 - מקוטר מתקנים גדולים והקוטר הקריטי
 - מטען מכניס להם לא מציאותי של 280 קילו באר.
 - הגבר עקב דפנות מתכתיות. לא רלוונטי למנועים מתכתיים.
 - אינו מתייחס למדידת לחצים סביבתיים כקריטריון.

הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

• SLSGT - אופציה מס' 1



הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

- אבל...מצד שני מתקבלות תוצאות מוזרות:

Lindfors, et al. AP/Al/HTPB Propellant

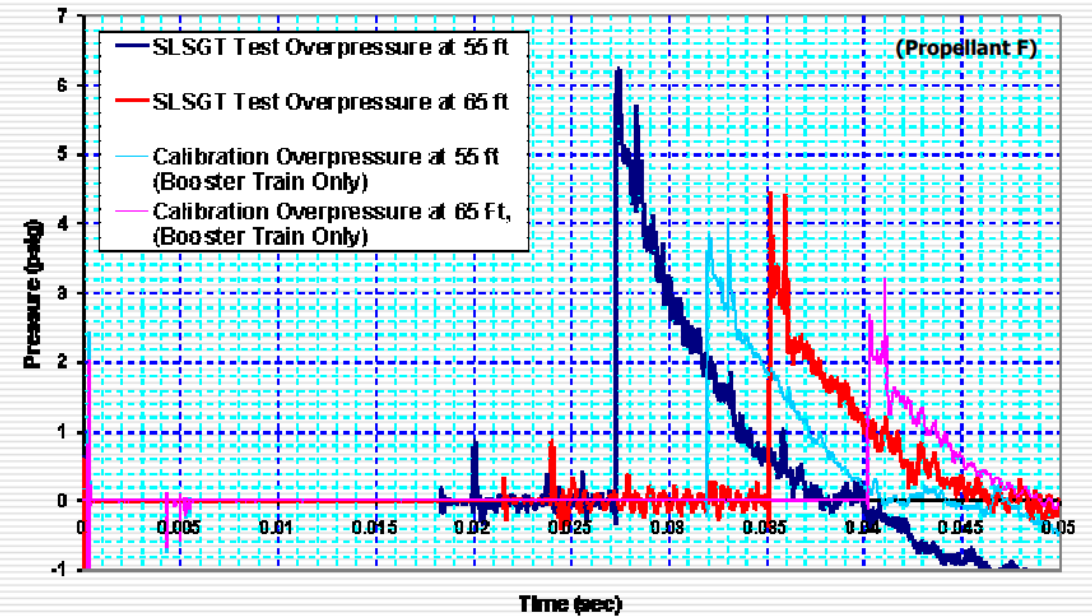
Time/ Case (μ s)	Unconfined Propellant ($\rho = 1.850$)	12.75" x 0.5" Steel Case Rho = 7.90	Schedule 40 PVC Rho = 1.376	Schedule 80 PVC Rho = 1.376	12.75" x 0.375" Aluminum Rho = 2.703	12.75" x 0.687" Aluminum Rho = 2.703
100	103.2	103.4	98.5	99.4	99.3	100.1
125	111.2	139.4	109.2	109.32	110.3	119.0
150	118.1	186.8	115.0	115.4	124.6	141.3
175	137.4	312.2	133.4	132.4	162.9	194.5

- 1/2-inch steel case
 - Highest confinement
 - Highest pressure
 - Pressure at 175 μ sec = 312.2 kbar
 - Original shock wave pressure = 280 kbar

There is Blast Yield from Propellants that Pass SLSGT

AEROJET

NDIA

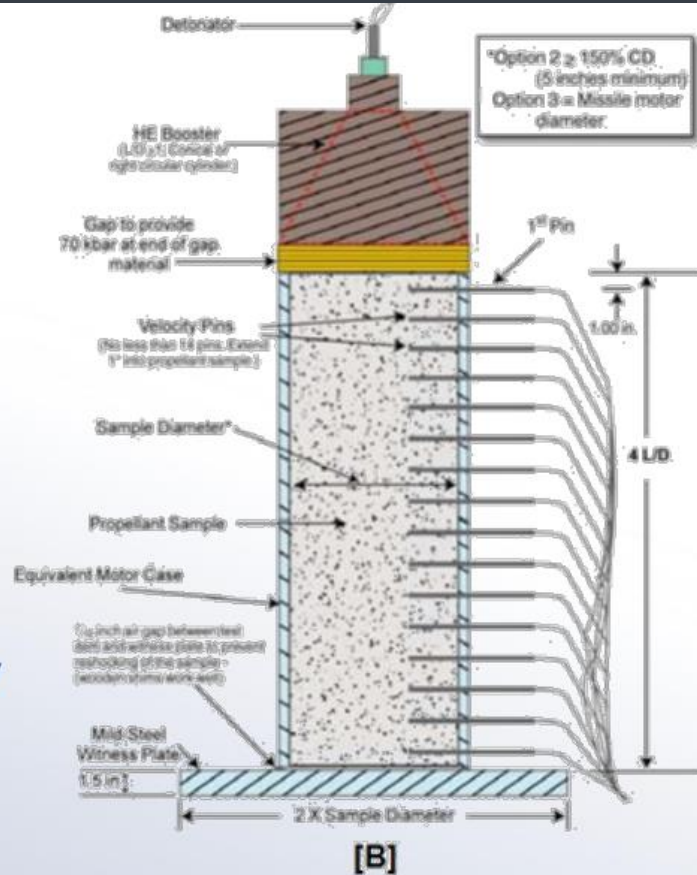


- להכניס תוצאות סימולציה

הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

• SLSGT - אופציה מס' 2

- Minimum sample diameter [B]
 - 5-inches
 - 150 percent of unconfined critical diameter
- 14 velocity pins minimum
- Attenuation to allow 70-kbar shock



• יתרונות:

• שיטה מחקרית, מספר רב של ניסויים עד לקביעת הקוטר הקריטי האמיתי של המנוע

• כליאות נכונה

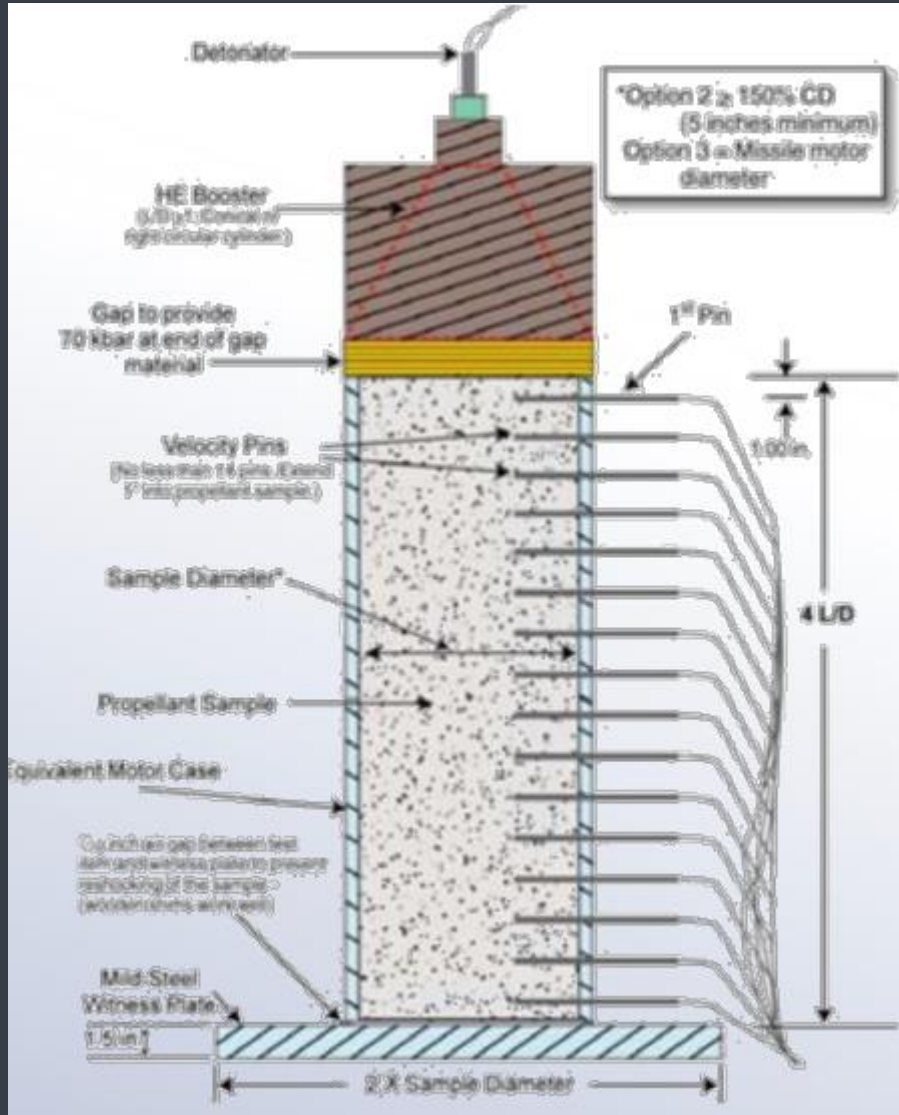
• הלם 70 קילו באר "בלבד"

• חסרונות:

• יקר מאוד.

• אינו מתייחס למדידת לחצים סביבתיים כקריטריון.

הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3



- Similar to Option 2
- Confinement = motor case
- Sample diameter = missile diameter
- Closely recreate original environment an item would be used in

• SLSGT - אופציה מס' 3

• יתרונות:

- כליאות נכונה
- הלם 70 קילו באר "בלבד"
- ניסוי בודד
- הכי COST EFFECTIVE, למרות שאינו זול

• חסרונות:

- אינו מתייחס למדידת לחצים סביבתיים כקריטריון.

הוכחת מנועים גדולים לקבוצת 1.3

- פתרון אפשרי ("קול קורא לשת"פ..."):
- הגדרת קריטריון הטרחה "סביר", בהתאם לניתוח אורחות החיים של המוצר.
- הגדרת מודל לייזום הודף (LEE TARVER?)
- ביצוע בדיקת SLSGT על פי שיטה 1, ללא מעטפת מתכתית ש"מכניסה רעשים"
- כיוול סימולציה על פי תכונות החומר (אתגר: קוטר קריטי קטן מקוטר הניפוף, לכן יש להתייחס לשיא הלחץ, אימפולס, קצב עיבור, מהירות התגובה בחומר)
- ביצוע סימולציה על פי שיטה 3.

מורכב, מסובך... אבל חשוב.

- תחמושת פחות רגישה- אתגר אולם אתגר מחייב. להבנתי נדרש כתקינה מחייבת רוחבית , במיוחד בתחמושת שמאוחסנת בכלי שייט.
- השקעה בפיתוח אולם כזו שתמנע את האסון הבא:
 - בלחימה
 - שיפור שרידות מערכות לחימה ופלטפורמות
 - הקטנת שיעור האבדות ואמינות המשימה
 - צמצום שיעור אובדן תחמושת
 - ברגיעה:
 - צמצום נפחי ושטחי אחסנה הנדרשים לאחסנת כמות נתונה של תחמושת
 - הקלה לוגיסטית בהיבט עלות תחמושת המאושרת לנשיאה במשאיות
 - עמידה בתקנים בינלאומיים המחייבים חלק מצבאות נאט"ו, בדגש על הצי האמריקאי- פתיחת שווקים חדשים
 - צמצום שיעור האבדות בנפש ובציוד עקב טעויות אנוש.
- מנועים רקטיים, בפרט ה"גדולים"- אתגר בפני עצמו. מחייב חשיבה מחוץ לקופסא על מנת לעמוד בדרישות התקנים להוכחה כ 1.3.
 - נחיצות בדיקות השריפה
 - ביצוע נכון של בדיקת SLSGT, ולא רק כדי לסמן V.