

פיתוח מרעומי צריכה מכניים ואלקטרו-מכניים בשנים 1964-1973

ד"ר רפאל כ'

כתבה מספר 20 בסדרת כתבות על תולדות רפא"ל בעריכת ד"ר ראובן אשל

שהובלט מהפצצה, לקרקע. בפיתוח המרעום נוצלו אבני בניין של מרעום הקרבה "פילון"³ דוגמת הטורבו-גנרטור, מנגנון האבטחה הדטונטרית והכרטיס האלקטרוני שהותאם למרעום הקשה. ההתאמה של המרעום לתחמושת אווירית כללה הוספת נצרה, שעברה דרך פיות כונס האוויר ומנעה סיבוב של הטורבו-גנרטור, אספקת מתחים ודריכה מכנית, עד לאחר הטלת הפצצה מהמטוס.

זכור לי שהצורך במרעומים אלו היה כה דחוף, עד כי נשלח מסוק מיוחד למכון-3 (כיום מכון דוד) לאסוף את המפתחים עם המרעומים ולהעבירם לבסיס חיל האוויר לקראת ניסוי ההטלה הראשון, שהסתיים בהצלחה מלאה!



פילר

• לפתח מרעומים יכול "כל אחד" ולכן לא בזה כדאי לרפא"ל להעמיס את משאביה.

מאידך-גיסא, בתקופות שבהן עדיין לא נעזרו בתוכנות ובאלגוריתמים, היה פיתוח מרעומים כר פורה ליצירתיות ולחדשנות בשטח המכני בכלל והדינמי בפרט, כפי שיודגם בהמשך. שיקול זה היה מכריע בשטח אלקטרומכניקה, בראשות ד"ר בעז פופר, שבו פותחו כל מרעומי הצריכה.

בכתבת כתבה זו הסתייע המחבר במאמר של דן חוגלי, אשר פורס יריעה רחבה ומרתקת על נושא פיתוח מרעומי צריכה באותן שנים. הכתבה הנוכחית מהווה המשך לכתבה על פיתוח מרעומי קרבה שהופיעה בגיליון הקודם.

"פילר" - מרעום מידי לפצצות אוויר

לקראת מלחמת ששת הימים התגלה מחסור במרעומים לפצצות אוויר. תוך זמן קצר פותח בשטח אלקטרומכניקה מרעום הקשה שמייזם את הפצצה מייד בהגיע חרטום המרעום,

מבוא

מרעום הוא ה"מוח" של ראש הקרב (רש"ק). תפקיד המרעום הוא לייזם את הרש"ק באופן מיטבי ברגע המתאים. תפקיד נוסף הוא להעביר את שרשרת הניפוף ממצב "מאובטח" (SAFE) למצב "דורך" (ARM) כאשר מולאו התנאים הנדרשים לכך (בדרך כלל שני תנאים בלתי-תלויים). כמו כן עליו להבטיח שהרש"ק לא יסכן את המטפלים בו החל משלב הייצור עד לרגע ההפעלה.

מרעום צריכה מוגדר כמרעום המשמש חימושים תקינים, כגון פגזים ופצצות. הוא חייב להיות זול ולכן הוא מיוצר בדרך כלל בכמויות גדולות מאוד (עשרות עד מאות אלפים) בשיטות של ייצור המוני. ברפא"ל בשנות השישים התלבטו בשאלה האם הרשות אמורה לעסוק בפיתוח מרעומי צריכה. ההתלבטות נבעה מכמה סיבות:

- תחמושת הינה שטח ההתמחות של תעש;
- ייצור המוני אינו מתאים לגופי הייצור הרפא"ליים ולכן יועבר באופן טבעי לתעש, אבל אז יהיה תעש זה שיגרוף את הרווחים מהמוצר שפותח ברפא"ל (באותן שנים טרם גבו תמלוגים);

נכסים נוספים שנרכשו במהלך פיתוח מרעומי הצריכה

- המרעומים יוצרו בתעש בכמויות של עשרות עד מאות אלפים. נראה כי היו אלה הפיתוחים הרפאליים שיוצרו בכמויות הגדולות ביותר והם תרמו למוניטין של רפא"ל בצה"ל בשנות השישים של המאה הקודמת;
- המגננטים שפותחו במרעומי הצריכה היוו אבני בניין למרעומים ייעודיים שפותחו לחימושים רפאליים;
- החלקים הפנימיים של המרעום יוצרו בהזרקה Noryl - חומר פלסטי עם סיבי זכוכית. הפעילות שימשה כמבטי של מחלקה להזרקה פלסטיקה הפועלת ברפא"ל גם כיום במסגרת שמחור"ת;
- לצורך ייצור פחית האינטגרציה נדרש היה להשתמש במבטלים מיוחדים שלא נמצאו בארץ אלא רק בשווייץ. בהתחלה אמנם יוצרו הפחיות בשווייץ, אולם בהמשך נרכשו המכונות על ידי תעש-ירושלים והוקם בארץ מערך של מבטלות מדויקת;
- נכתבו מספר עבודות מגיסטר הנוגעות למגננטים המרעומים^{8,7,6};
- הוגשו ואושרו מספר פטנטים הקשורים למרעומים^{11,10,9} ודורבנה במידה רבה תודעת רישום הפטנטים ברפא"ל. פטנט החיבור המהיר של החתן לגוף המרעום זכה בפרס שני בתערוכת הפטנטים 1971 PATEXPO, שנערכה בדנבה;
- הוכשר סגל מהנדסי וטכנאי פיתוח, שתרם בהמשך תרומות משמעותיות לפרויקטים רב-תחומיים של רפא"ל.

המרעום באמצעות תברג אלא בנעיצה פשוטה, כשקפיץ מיוחד (Popper Lock) מבטיח שלא ישתחרר.

בפיתוח ה"חתן" היה צריך להבטיח שלא יקרוס עקב תאוצות הירי ושלא ישנה את לחות הטווחים הקיימים של המרגמות. כיוון שבאותם ימים לא היו בארץ מנהרות רוח לתחומי המהירות העבר-קוליים, הוחלט לבצע את "ניסוי המנהרה" על ידי הטסת הפגזים שהיו תלויים על מתקן מדידה מיוחד מחוץ למטוס. המטוס הראשון ששימש לכך היה מטוס "סטירמן" ישן שרפול (רפאל איתן), שהיה בעל רשיון טיס, הסכים להטיס ללא תשלום. בשלב מאוחר יותר שימש לכך המטוס "שלום-1" של אייבי נתן שטס איתו במועד מאוחר יותר למצרים⁵.

• **אופן הפעולה בחדירה.** לצורך המעבר לתצורה זו, מסירים את ה"חתן" על ידי משיכה וסיבוב קל של המוט. שלפת המוט מבטלת את תצורת הקרבה ומפעילה את תצורת החדירה ("כלה"). כיצד הוא הופעל? לא בדרך המקובלת של הוספת השהיה פיזוטכנית קבועה בשרשרת הניפוף, משום שהשהיה קבועה אינה מאפשרת להתאים את משך ההשהיה לתנאי החדירה. הדרך שנבחרה שונה: במערכת שולב נוקר שמאחוריו קפיץ. בעת החדירה למטרה - התאוצה דורכת את הנוקר, ובעת הפסקת התאוצה - הנוקר מועף אל עבר הנפץ שמורכב מולו. בצורה זו, כשהתאוצה ארוכה - למשל בעת חדירה לשכבת חול הנמצאת מעל תקרת המטרה, ההשהיה תתארך, והפגז יוכל לנצל את מלוא האנרגיה הקינטית שלו לחדירה למטרה. לעומת זאת, במקרה של חדירת תקרה רגילה או קיר, הפגז יתפוצץ מיד בתום החדירה - לפני שיתחפר ברצפת המבנה.

• **נצרות אוטומטיות** היו קיימות לפגזים מסתחררים (תותחים) אך לא לפגזי מרגמות הנורים מקנה חלק. בפגזי תותחים "קל" יותר לאפיין תנאים ייחודיים לירי אמיתי - שילוב של תאוצה קווית עם תאוצת הסחרור. אולם כיצד משלבים נצרה אוטומטית שתדע להבחין בין התאוצות המתפתחות בקנה המרגמה לסתם חבטות שהמרעום עשוי לחוות במהלך טלטוליו בשדה הקרב? לצורך זה כללו מרעומי הפגזים באותה עת נצרות ידניות, שהחיל היה צריך להסיר לפני הירי. חסרונות הנצרה הידנית כבר נמנו לעיל. הפתרון שהומצא היה "פחית האינטגרציה": פחית שמהווה מעין אינטגרטור כפול של התאוצה. פחית נעה למלוא דרכה רק אם תאוצה, שהיא מעל סף מסוים (התאוצה המינימלית בירי עם "מטען אפס"), נמשכת זמן מספיק שמבטיח יציאה מהקנה.

• **השהיית המסלול המקובלת במרעומים נעשית באמצעות מנגנון שעון לא מיוצב (Run Away Escapement).** מנגנון כזה לא התאים לתנאי הייצור בארץ באותה עת, ובמקומו נבחרה השהיה פניאומטית של צמד בוכניות בתוך צילינדר.

חשוב לציין שכל הרעיונות הללו היו פרי רוחו היצירתית של ראש השטח, ד"ר בועז פופר, שמעולם לא בחר בדרך השגרית והמקובלת והעדיף דרכים מקוריות שיתנו ביצועים טובים יותר ויתאימו טוב יותר לתנאי הייצור הקיימים בארץ.

אספקות ראשונות של מרעומים אלה לחיל האוויר החלו ב-1967 עוד לפני פרוץ המלחמה. לשם כך נוצל מלאי של חלקי ה"פילון" שנמצא במחסני רפא"ל. לאחר המלחמה הושלמו סימוכי הייצור והועברו במלואם לתעש. המרעום עבר להיות מרעום מבצעי (דגם מס' 665) ויוצר בכמויות של עשרות אלפים.

מרעום לחיל-אוויר לפצצות אימונים



הטורבו-גנרטור של מרעום "פילון" שימש גם כספק כוח למרעום עבור פצצות האימונים שבהן השתמש חיל האוויר כדי לאמן את טייסיו. היה זה מרעום פשוט וזול. הוא יוצר בתעש ואלפי יחידות של מרעום זה סופקו לחיל האוויר.

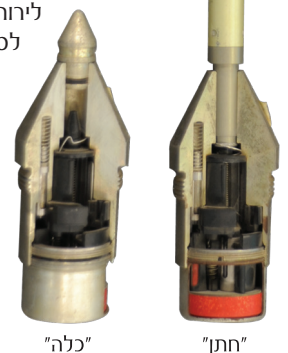
"חתן וכלה" - מרעום לפגזי מרגמות 120 ו-160 מ"מ

"חתן וכלה" הוא מרעום דו-תכליתי שפיתוחו החל בשנת 1967 ונועד לספק לצה"ל מרעום זול לפגזי מרגמה 120 ו-160 מ"מ. המרעום שילב מספר פונקציות:

- אופן "קרבה" מכני, שמביא לייזום הרש"ק מעל פני השטח, כדי להגדיל את השטח המוכה: במקום שרוב הרסיסים יתחפרו בקרקע - הם יתפזרו קרוב לפני הקרקע ויגדילו משמעותית את השטח המוכה;
- אופן חדירה "חכם", שמאפשר לייזום את הרש"ק לאחר החדירה של תקרה או קיר של המטרה הנפגעת;
- שילוב של נצרה אוטומטית במקום נצרה ידנית, שהחיל צריך לזכור להסירה לפני הירי - כדי שהרש"ק לא יהיה עקר, ולזכור להחזירה במקרה שיוחלט לא לירות את הפגז - כדי למנוע אסון;

• **השהיית מסלול**

- שתדע להבטיח שאם הפגז יפגע קרוב מדי לכוחות הירורים, הוא לא יתפוצץ - כדי שלא יסכן את כוחותיו.



איך עושים את כל זה במרעום שמצד אחד צריך להיות זול, ומצד שני עליו לשרוד בתאוצות של אלפי g? שמתפתחות בקנה המרגמה בעת ירי הפגז?

• **אופן הפעולה בקרבה** מומש באמצעות מוט ה"חתן" שחובר לחרטום המרעום. כאשר הקצה הקדמי של המוט פוגע בקרקע, עובר גל רעד במוט שמקפיץ נוקר בקצהו השני. הנוקר פוגע בפיקת הנפץ ומקבלים ייזום מידי של הרש"ק מעל פני הקרקע. המוט לא חובר לחרטום

1. דן רוגל, "פיתוח מרעומים לצריכה המונית בין השנים 1962-1972", טרם פורסם.
2. עוזי טימור, "פיתוח מרעומי קרבה ראשונים ברפא"ל", **רפאל שלנו**, גיליון 18, ספטמבר 2011, עמ' 73-74.
3. שם, עמ' 74.
4. אריה אשכנזי, דן חיון, רפאל כ', אבי לוי, אריה תמיר, "חתן וכלה - הפיתוח והמוצר", תיק הגשה לפרס רפאל, אפריל 1973.
5. שיחה עם אביגדור לוי.
6. רפאל כ', "אינדיקטור ירי ואבטחת קנה", חיבור לצורך קבלת תואר מגיסטר בטכניון, יולי 1972.
7. אריה תמיר, "מנגנון הנותן פקודת פעולה עם הפסקת התאוצה", חיבור לצורך קבלת תואר מגיסטר בטכניון, פברואר 1976.
8. דן חן, "יישומים של תורת הגלים האלמנטאריים", חיבור לצורך קבלת תואר מגיסטר בטכניון, מאי 1976.
9. J.B. Popper & R. Cohen - Device For providing an Indication of the Distance Traveled by an Object Under Conditions of Acceleration, US Patent#3744424, July 10, 1973.
10. בעז פופר, דן חן ורפאל כ', "מערכת השהיה רב שלבית", פטנט ישראלי מס' 41239.
11. בעז פופר ואריה אשכנזי, "אמצעי חיבור מכניים", פטנט ישראלי מס' 36590.





בחצר - מיגון מוסף לטנק זנגם"ש



מרגמה י"ט לטווח 3 ק"מ (1948)



שחזור מרגמה "6" שפותחה בשנת 1948

מה חדש במוזיאון רפאל?

מוזיאון רפאל ממשיך להתפתח. בשנה החולפת התווספו פריטים מגוונים הן באולמות המוזיאון והן בחצרו, ונערכו בו שיפורים לנוחות המבקרים

מאיר יגר וד"ר ראובן אשל

פריטים שנחספו בחצר המוזיאון (מדרום לצפון):

- נגמ"ש אמריקני מסוג M-113 ("זלדה"), שעבור פותחה ערכה חדשה של מיגון משולב פסיבי וריאקטיבי (הנגמ"ש הועבר למוזיאון מאתר "מיני לטרון" באדיבות חטיבת חימוש);
- טנק רוסי מסוג T-54 עם ערכת מיגון ריאקטיבי ומיגון מוטות פסיבי לשיבוש מטענים חלולים חוזרי שריון (הטנק הועבר למוזיאון מאתר "מיני לטרון");
- השלמת החימוש התלוי על מטוס ה"פנטום" על ידי תליית טילי קרקע-אוויר מסוג "פופאי" ו"ברד פלדה". כל החימושים שעל המטוס מוצגים בנפרד גם באולמות עם הסברים מפורטים;
- דגם צוללת בקנה מידה 1:2.5 עם מערכת להשתקת רעשים מסוג "קוריס-5". הדגם חמוש בטיל תת-ימי "טורבאסטר" להתבייתות אקוסטית על טורפדו, שני טילי טורפדו וכן אמצעי לחמה אקוסטיים "סקאטר" ו"סבסקאט". כל החימושים הם בקנה מידה 1:1 (דגם הצוללת הועבר למוזיאון מאתר "מיני לטרון");
- "פרוטקטור" - כלי שיט בלתי מאויש, שופץ ועודכן באדיבות מינהל הגנה;
- המעבר שבין הביתנים עבר שיפוץ הכולל קירוי, צמחייה וספסלים לנוחות המבקרים.

ציבור העובדים מוזמן לבקר במוזיאון.

ביקורים יש לתאם מראש.

עובדי רפאל יתאמו את הביקור עם ברכה ונידורפר, טלפונים 4123 או 4684.

גמלאי רפאל ועובדי מערכת הביטחון יתאמו את הביקור ישירות עם צוות מתנדבי המוזיאון בטלפונים 04-8792405, 04-8792157 או בפקס' 04-8792444 או בדוא"ל museumr3@gmail.com

פריטים שנחספו באולמות המוזיאון (לפי סדר הסיור):

- סרט חדש ומרתק באורך 11 דקות שהופק במיוחד למוזיאון בזכות תרומה של גורם חוץ ואשר מוצג במרכז המבקרים כהקדמה לסיור;
- דגם משוחזר של מרגמה "6" שתוכננה בחמ"ד ב-1947/8. חמישים כמוה השתתפו בקרבות על ירושלים ובכיבוש משטרת עיראק-סואידין בנגב;
- דגם שקוף של המכ"ם המשמש את מערכת המיגון האקטיבית "מעיל-רוח", שעברה במארכס 2011 בהצלחה טבילת אש מבצעית בגבול רצועת עזה;
- "עפיפון" - אמצעי לחמה אלקטרוני פסיבי חדש (דור חמישי), בעל יעילות מוגברת להגנת ספינות חיל הים;
- דגם מוקטן של צוללת עם אמצעי הטעיה אקוסטית המחוברים לאורך גופה או משוגרים ממנה;
- דגם מוקטן של גררטור למתח גבוה המזין סימולטור דופק אלקטרו-מגנטי (דוא"ם) לבדיקת עמידות מערכות נשק בשדות חשמליים כגון ברקים;
- טיל נגד טנקים מסוג NLOS (Non Line Of Sight), המסוגל לפגוע בדיוק נקודתי גם במטרות רחוקות שאינן על קו ראייה מהמשגר;
- "כיפת ברזל" - טיל הגנה מפני רקטות לטווח קצר, שפותח בנהל חירום ועבר באפריל 2011 בהצלחה את טבילת האש המבצעית הראשונה שלו;
- "אנקור כחול" - טיל מטרה להדמיית טילים בליסטיים של האויב, לצורך בדיקת יעילות השמדתם על-ידי טילי "חץ".



כיפת ברזל



דגם צוללת עם חימוש רפאלי