

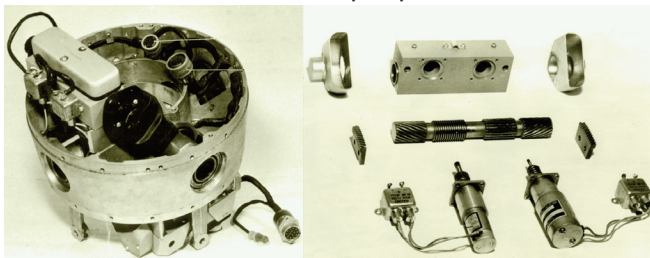
איור 1: טיל "לוד" מונח לירי ממשגר ניסיוני ומתחתיו טיל נוסף לבדיקת נזקי רישף



ה"לוד" טיל מבצעי ראשון מתוצרת רפא"ל

של גלגלי שיניים הנראית באיור 3. ב-1959 עבר התכן פישוט נוסף על-ידי ראובן אשנר (לימים אשל) לצורך איטום, הגדלת אמינות והוזלה. המערכת כולה הורכבה על בית הגאים שנראה אף הוא באיור 3. בית זה, כמו גם זרועות הבקרה, נוצרו ביציקת "קוקילה" מדויקת - טכנולוגיה חדישה באותם ימים, שהטמיעו מנהלי בית המלאכה אברהם פור ומיכאל דויטש. העבודה התנהלה כך שתחילה מוסרים לטכנאים סקיצה, הם בונים דגם, בודקים ומשכללים את הדגם, ולבסוף מוסרים אותו לשרטטים להכנת תיק ייצור. כאשר אורי פילוסוף קיבל סקיצת מכסה לשרון, לצורך בניית דגם, חזר כעבור יום עם מכסה מלוטש כמו ראי. לשאלה: "לשם מה הליטוש?", ענה: "אם לא טוב, אז לפחות יפה".

מערכת אלקטרוניקה. ב-1957 יזם יעקב זין, בניגוד להוראות הממונים, בנייה מחדש של כל מערכת האלקטרוניקה (טייס אוטומטי, תקשורת וטלמטריה) בהתבסס על טרנזיסטורים שהחלו אז להימכר בשוק העולמי. בסיוע האחים אבינועם ואורי פילוסוף הצליח לצופף את המערכת בסדר גודל, כפי שתואר בכתבה קודמת. המערכת החדשה זוודה בתיבה בצורת מקטע טבעתי, כדי להתאימה למקום הפנוי בבית ההגאים מול סרוו כיוון-איזון. ראה איור 3.



איור 3: מערכת סרוו כיוון וגלגול (מימין - מפורקת לחלקיה; משמאל - מורכבת על בית ההגאים)

ההודף הגמיש בוסס על פוליאוריתנים ואמוניום פרכלורט. פיתוח ההודף נעשה ברפא"ל במתקן חצי-חרושי (המכונה עד היום ה"פילוט"). על פיתוח זה זכו השניים בפרס ביטחון ישראל לשנת 1960. שילוב המאיץ והשייט למבנה קומפקטי



איור 2: שילוב מנוע ההאצה (מימין) עם מנוע השייט (משמאל) על ידי דוד הלמן ומשה דרימר

מתואר באיור 2. יצוין שבגלל המבנה הקומפקטי של המנוע, שקיצר את הטיל הקרקעי במטר לפחות וגם חסך משקל רב, לא נפגעו ביצועי הטיל אף-כ"י האימפולס הספציפי של הודף מוצק הוא נחות לעומת זה של דלק נוזלי. נוסף לכך, המעבר לדלק מוצק מפשט מאוד את ההכנות לירי: מכיוון שהוא בטיחותי יותר הוא מאוחסן בתוך המנוע, וכך נחסך התהליך המורכב של מילוי דלק נוזלי לקראת המשימה.

בקרת הגאים. בגרסה ג-26 תיכנן בועז פופר זרועות ארוכות להפעלת ההגאים בדיוק הנדרש. מויה הצליח להגיע לאותו דיוק בצורה קומפקטית (שליש האורך) בזכות תמסורת מתוחכמת

בשלהי 1956 קלט חיל האוויר מטוסים חדישים ומהירים מסוג "ווטור" ו"ארגן" שלא התאימו עוד לניהוג ידני בקו ראייה. עובדה זו הפחיתה בהדרגה את העניין שגילה חיל האוויר בטיל, מה שהותיר בתמונה את חיל הים ואת חילות היבשה. מאחר שלא ניתן עדיין אישור לרכוש מכל"ם לצורך הגרסה הימית³, ומאחר שהניסויים הראשונים בוצעו ממיילא בנגב, החליט מנהל רפא"ל, מוניה מרדור, לתת קדימות לגרסה הקרקעית⁴, אשר לה מוקדשת הכתבה הנוכחית. האישור הרשמי להחלטה זו ניתן רק שנתיים מאוחר יותר, ב-12 בנובמבר 1958.⁵

במקביל הגיע ראש הפרויקט, משה (מויה) אפשטיין, למסקנה שיש לפתח גרסה חדשה לטיל שתהיה קומפקטית יותר, זולה יותר ונוחה יותר לתפעול מבצעי. למוניה היו חששות שהדבר יפגע בלוח הזמנים ולכן התנגד תחילה. מויה, שידע כי המנהל אינו יכול להכתיב לו מה לעשות מחוץ לשעות העבודה, ישב בביתו והכין במו ידיו שרטוטי הרכבה ותרשימי פרטים של הגרסה החדשה, שקיבלה לימים את הכינוי ג-25, או "לוד". מוניה בספרו תיאר את התקרית בניסוח דיפלומטי: "מחשש לעיכובים בלוח הזמנים, נעשה רוב התכנון ... על-ידי מויה אישית (לעתים בביתו, בשעות שלאחר העבודה במכון)". התוצאה הייתה מדהימה: פרט לדמיון כללי בתצורת הטיל, הנראית באיור 1, השתנו כמעט כל המערכות:

הנעה רקטית. גרסה ג-26, שקדמה ל"לוד", כללה מנוע האצה מתנתק המבוסס על הודף קשיח יחסית, שפותח עבור הסופר בזוקה⁷ (על בסיס פוליאסטר ואמוניום פרכלורט), ומנוע שיוט נוזלי שפיתוחו תואר בכתבה קודמת⁸. במקומם תיכנן מויה מנוע משולב המבוסס כולו על הודף מוצק גמיש, שפותח על ידי דב כץ ורות קורט.



איור 6: מנהל יחידת הניסויים, סא"ל אהרונצ'יק דונגי, ומפקד חיל האוויר, אלוף עזר ויצמן, בתצפית למטרה

התעשייה האווירית שהקימה לצורך הייצור מפעל חדש ייעודי וסודי בשם מב"ת (מפעל ב').

הקמת יחידה מבצעית. בדצמבר 1962 הוקמה בחיל התותחנים של צה"ל יחידה ראשונה של טילי קרקע-קרקע "לוז"11. לימים גדלה היחידה לכדי גדוד שלם, המצויד במאה טילים, בפיקודו של סא"ל רפי שניר. היחידה התאמנה בפריסות מבצעיות והשתתפה בניסויי פיתוח משלימים, אך מייעטה לבצע שיגורי תרגול מפאת מחירם הגבוה של הטיילים. לא ידוע לנו על פיתוח תורת לחימה מיוחדת לטיילים אלה, ובכך אולי מוסברת העובדה מדוע לא שימשו את צה"ל במלחמת ששת הימים. היחידה פורקה בסוף שנות השישים. בינתיים הוטל על רפא"ל להתרכז בפיתוח טיל חדש ושונה בייצודו, ואילו משימת ההתאמה של ה"לוז" האווירית, שבמקור הוקם למטרת ייצור בלבד של ה"לוז", לחלקה של רפא"ל בפיתוח הגרסה הימית תוקדש כתבה בגיליון הבא.



איור 7: זוג טילים מוכנים לירי ממסגר מבצעי

- 1 כתבה זו היא המשך לכתבה הקודמת, שתיארה את פיתוח טיל ג-26 נגד כלי שיט. ראה: רפאל שלנו, גיליון 12, ספטמבר 2008.
- 2 בתגובה לכתבה הקודמת העיר ד"ר נרי שניידר בדוא"ל מיום 21.10.2008: "אמנם שיטת ההנחיה הזאת קשה מאד לימושו בירי ממטוס - אבל הדבר כבר מומש במלחמת העולם השנייה: ראה למשל הפצצות המונחות אוויר-ים Fritz-X-1 293-Hs שהפעילו הגרמנים בהצלחה גדולה בים התיכון ובספרץ ביסקאיה, והפצצות המונחות אוויר-שטח האמריקאיות Azon, Razon, Tarzon שהפעילו האמריקאים (בהצלחה מועטה) במלחמת העולם השנייה ובקוריאה."
- 3 מוניה מרדור, רפאל - בנתיבי המחקר והפיתוח לביטחון ישראל, הוצאת משרד הביטחון, 1980, עמ' 227.
- 4 משה (מויה) אפשטיין, ריאיון למחבר, 7.12.2007.
- 5 מוניה מרדור, שם, עמ' 248.
- 5 מוניה מרדור, שם, עמ' 243.
- 7 ראובן אשל, "פיתוחים ראשונים של נשק אישי נגד טנקים", רפאל שלנו, גיליון 10, ספטמבר 2007.
- 8 ראובן אשל וישעיהו ירינצ'יק, "פיתוח רקטות נזליות בתקופת אמ"ת (1952-1958)", רפאל שלנו, גיליון 5, אפריל 2005.
- 9 יעקב זיו ואלי שבילי, "קליטת הטרוניטור ברפא"ל", רפאל שלנו, גיליון 3, אפריל 2004.
- 10 מוניה מרדור, שם, עמוד 251.
- 11 עודד בונה, "טיל קרקע-קרקע ראשון בחת"ם", תמיד ותותחן מס' 9, מרס 2000.

באיו 5 נראים בכירי הפרויקט בודקים את בית הנותבים לאחר ירי ניסוי.

ניסויי השדה. הניסויים תוכננו ונוהלו על ידי יונתן מס. סדרת הניסויים הראשונה, שבה נכללה גרסת ג-25, נערכה באוגוסט 1958 בנוכחות הרמטכ"ל חיים לסקוב ומפקד חיל האוויר עזר ויצמן. המטרה, בגודל 12x16 מטר, הוצבה בטווח-ביניים של 11 ק"מ מנקודת השיגור. בעת ביקורו בעמדת השיגור, התבטא עזר כי הוא מוכן לעמוד במרכז המטרה, כי הטייל ממילא לא יפגע בה. הוא אפילו התערעל על כך עם אחד מקציניו, סרן יעקב קולודני, ששימש כנווט הניסוי. לאחר שהטייל הראשון פגע "בול", מיהר עזר אל קולודני עם שטר של חמש לירות כדי לעמוד בהתחייבותו. באיו 6 נראה עזר ויצמן בעמדת התצפית. דווקא שני הטיילים הבאים, שהיו מגרסה קודמת, לא הגיעו למטרה בגלל בעיה במנוע הנוזלי.

הניסוי הבא נערך בנובמבר 1958. הפעם נורו חמישה טילים מהגרסה החדשה לטווחים שונים ובתורונים מוגדלים. ארבעה טילים שוגרו בהצלחה מלאה, ואילו הטייל החמישי הוצב בטעות טרם הגיעו למטרה. עוד שתי סדרות של ניסויי ירי עברו בהצלחה במהלך 1959, כולל ירי לטווח מרבי של 27 ק"מ באמצעות שני נווטים, שאחד מהם ישב בטווח 12 ק"מ מהמטרה וקיבל את הפיקוד על הטייל בשליש האחרון של המסלול. בכך הסתיים הפיתוח של הגרסה הקרקעית. על הובלת הפיתוח זכו מויה, יונתן מס ואנדרס ירון בפרס ביטחון ישראל לשנת 1960.

משגר ("ממריא") בלשון אותם ימים). המשגר הניסויי נראה באיו 1. ברור כי לצרכים מבצעיים נדרש משגר אחר - מתנייע, מוסווה, קל לתפעול ובעל מספר טילים מוכנים לירי. בהתאם לכך תכנן סעדיה בהט הסבה של "קומנדקר" לנשיאה ולשיגור של זוג טילים. לצורך הסוואה נעטף חלקו האחורי של הרכב בברזנט צבאי שנפתח בגלגול, כפי שרואים באיו 7. כשהגיע מועד חידושו של רישיון-הרכב במשרד הרישוי, שאל הנהג התורן מה לומר אם ישאלו אותו על ייעוד הרכב. הסתכל אחראי התחבורה על הרכב המכוסה בברזנט וענה ללא היסוס: "אוטו זבל". וכך אכן נרשם במשרד הרישוי.

העברה לייצור. בהתאם למדיניות משרד הביטחון באותם ימים, קיווה מוניה¹⁰ "כי לא ירחק היום בו יושמשו התעש והתעשייה האווירית יצרני סדרות הטיילים שפותחו ברפא"ל". לפיכך הגיע ב-1959 להסכמים עם מנהלי שתי התעשיות לתת עדיפות לביצוע הזמנות אלה וחייב את מינהלת הפרויקט ברפא"ל לשתף פעולה, על-אף שמויה ואחרים התנגדו כי חשבו שהדבר מוקדם מדי. מויה חשש גם שלא יהיה משוב מהייצור לפיתוח. התעשיות אכן התארגנו למשימה וגם הכניסו, בכסף לאישורן, לא מעט שיוניים שנועדו להקל ולהזייל את הייצור הסדרתי. הגדילה לעשות

סביבון. בגרסת ג-26 שימש סביבון חשמלי תקני מתוצרת חברת ג'אניני. כדי למנוע תלות בגורמי חוץ, ובהתחשב בעובדה שהסביבון משמש את הטייס האוטומטי רק במשך כשתי דקות של מעוף הטיל, החליט מויה על פיתוח עצמי של סביבון ייעודי קטן. למעשה פותחו שלושה דגמים, שאחד מהם מונע על ידי חוט, השני על ידי אוויר דחוס והשלישי על ידי אבק שרפה. הפיתוח בוצע על ידי שלושה הנדסאים בהנחית מויה. ניצח בתחרות סביבון החוט שפותח על ידי מאיר פריד. החוט נכרך סביב חוטור הסביבון וקצהו נקשר למשגר.



איור 4: בדיקת ראש אינרטי ומרעומים לאחר הירי (ליד הראש הקרבי כורעים לג'קה רטנר ומוניה מרדור. בין החיילים עומד בנצי מוה, לימים מנהל רפא"ל)

עם השיגור הניע החוט את הרוטור כמו במשחק הילדים "פורפרה". עקב ממדיו הקטנים של הסביבון ניתן היה לזוזו גם אותו על בית ההגאים לצד מערכת האלקטרוניקה.

ראש קרב ומרעומים. פיתוח זה נמסר בקבלנות-משנה לג'קה רטנר וחנוך פרוז, שהתמחו בתחום זה. הדגש הושם כאן על אמינות ובטיחות. לצורך אמינות נבחרו שני מרעומים משני צדי ראש הקרב: מרעום הקשה קדמי ומרעום לחיכה אחורי. לצורך הבטיחות הובטח שהמרעומים יידרכו רק כאשר הטייל התרחק כשני קילומטרים מהמשגר. תנאי הניתוק מהמשגר הושג על ידי נצרה מכנית, כמקובל במרעומים אוויריים, ואילו תנאי המרחק התקבל על ידי שימוש בגז מנוע השיט שדרכו את המרעומים לאחר שהיה פניאומטית. באיו 4 נראה ראש אינרטי לאחר ניסוי ירי בנגב.

מבנאות. זו הופקדה בידי ראש תחום מבנה, משה (מישקה) ברנע, ששימש גם כסגנו של מויה. המעבר לגרסה החדשה של הטייל היווה הזדמנות גאות להיגמל מהשריד האחרון של טכנולוגיית העץ. ואכן, הפעם מומשו גם הכנפיים וההגאים ממבנה כריך (סנדוויץ') מתכתי - טכנולוגיה



איור 5: בכירי הפרויקט בוחנים את בית הנותבים לאחר ירי (מימין לשמאל: שמואל מרחב, יונתן מס, אנדרס ירון, מישקה ברנע ומויה אפשטיין)

חדישה באותם ימים, המשלבת קשיחות מבנית עם משקל נמוך. בהזדמנות זו הוסרו הנותבים מקצות הכנפיים וזוודו ארבעתם ברכתי הטייל.