



חוסם למרעום קרבה שבט א' אלי שבילי

באוקטובר 1964 פנה אלי יעקב זיו, אז ראש תחום קומוניקציה, בבקשה לחפש פתרון אפשרי לחסימת מרעום קרבה ל"שפיר-2", שאותו הציב לפיתוח עבור שבט א'. הוא ציין כי בחן את אפשרויות החסימה להצעתו והגיע למסקנה שככל הנראה חסימה אינה ניתנת לביצוע. יחד עם זאת, בשל הספק שמקנן בו, הוא מבקש ממני לחשוב על כך באופן בלתי תלוי. הרקע לפנייתו נבע מהפקת הלקחים מפיתוח ה"לוד", שבהם התגלתה הרגישות לחסימה לאחר סיום הפיתוח.

את בקשתו של יעקב קיבלתי כאתגר והתחלתי ללמוד את הנושא. הבחינה הראשונה שערכתי, בסיועו של יוסף (קארה) וייסליצר - מהנדס מחקר ותכנון מערכות בקרה במסגרת שבט א', הייתה קבועי זמן לחיפוש ולנעילה על תדר בתחום L. בשל מהירויות החליפה בין הטיל למטרה, הזמן הקצר ביותר עבור תהליך נעילת התדר היה כ-30 מילישניות. בשנת 1964 לא ניתן היה לפתח חוג בקרה הכולל מקלט שורק ומונע שיבצע נעילת תדר לצורך הפעלת חוסם בפרק זמן כזה.

התחלתי לחפש טכנולוגיות אחרות. החיפוש נמשך כחודשי ימים. בספריית הקטלוגים גיליתי רכיב חדשני לאותם ימים - Mini-TWT. להתקן זה היה רוחב סרט גדול יחסית, ממדים קטנים והספק תפוקה גבוה יחסית. מייד עלה בדעתי רעיון למימוש חוסם משיב, שאותו מיהרתי להציג באוזני יעקב זיו. תגובתו הייתה מיידית: "עכשיו תכתוב את זה". את הפתרון על מרכיביו השונים ניסחתי והדפסתי תוך ימים אחדים. הדו"ח "חוסם למרעום קרבה שבט א'", יצא לאור ב-1.12.1964. בשל המשמעות ורגישות הנושא הוא סווג כסודי ביותר והופץ שמית לארבעה אנשים בלבד (בזון, זיו, צפיר וזלק). לאחר שנערך דיון נוסף בנושא המרעום ל"שפיר-2", בהשראת הדו"ח, הוחלט לגנוז את ההצעה לפיתוח מרעום אלקטרומגנטי ולפעול לפיתוח מרעום אלקטרואופטי, שפיתוחו עלה יפה. המרעום היה בעל חסינות טבעית ועלותו הייתה נמוכה בהרבה מהעלות הפוטנציאלית של מרעום אלקטרומגנטי.

תולדות "שפיר-2"

דור שני של טילי אוויר-אוויר חיים סלעי וד"ר אורי פלד כתבה מספר 18 בסדרת כתבות על תולדות רפאל* בעריכת ד"ר ראובן אשל

הצורך המבצעי

עוד לפני סיום פיתוחו של "שפיר-1" הציב הילל בר-לב, ראש הפרויקט, את הדגם הבא - "שפיר-2". על פי חזונו היה הטיל אמור לעלות על קודמו ביכולת קליטת מטרת מכל הכיוונים, ולא רק מאחור, בזכות ראש ביות משוכלל יותר. בעל "גלאי מקורר", ובטווח ירי מרבי גדול יותר בזכות מנוע רקטי גדול יותר.

כפי שתואר בכתבה קודמת על "שפיר-1"¹, הניסויים בצרפת וניסויי הקבלה שנערכו בארץ לאחר-מכן, עם מטרה נגררת מטיפוס "דלמר", שהייתה בעלת יכולת תמרון (קטנה אמנם, אך משמעותית), הצביעו כי לטיל ביצועים סבירים רק אם יורים אותו על מטרה לא מתמרנת ומאחור. מטרה מתמרנת גרמה למרחקי החטאה גדולים מדי, שלא תאמו את ביצועי הראש הקרבי הקטן שהותקן בטיל. הסתכן כי נדרש שיפור של "שפיר-1" במה שנוגע ליכולת יירוט מטרת מתמרנת, בלי קשר לשיפור ראש הביות או הטווח המרבי.

נערכו דיונים ארוכים בנושא בין אנשי ח"א לאנשי רפאל, ובסופם החליט מח"א, עזר וייצמן, כי "שפיר-1" יוכנס לשירות למרות מגבלותיו ובמקביל יפותח "שפיר-2", שיתגבר על מגבלות "שפיר-1", אך לא יכלול "גלאי מקורר" כדי לא

להאריך את זמן הפיתוח. "באותה הזדמנות" רוענן גם מפרט הדרישות, ונדרשה יכולת יירוט מטרת המתמרנות חזק, הרבה יותר ממה שנדרש "שפיר-1" (5g לעומת 1.5g). בתחום זוויות צידוד רחב יותר (45 מעלות מזנב המטרה לעומת 15) ובטווח מרבי גדול יותר. דרישות אלה ביטאו את ההערכות העדכניות (לאותו זמן) של ח"א על הצפוי בקרבות אוויר, אך-כי עדיין לא היו טילים בשימוש מבצעי ולא היה ניסיון מבצעי בטילים.

מהלך הפיתוח²

בעקבות החלטת משרד הביטחון לייצר את "שפיר-1" בתע"ש ולא ברפאל³ פרש הילל בר-לב, ובמקומו התמנה ד"ר זאב בון לעמוד בראש צוות הפיתוח. זאב קבע את המאפיינים העיקריים של הטיל: כושר תמרון גדול יותר כדי להתגבר על מטרת מתמרנות ולאפשר ירי בזוויות הצידוד שנדרשו, ראש קרבי גדול הרבה יותר (כ-12 ק"ג לעומת 2 ק"ג של "שפיר-1"), מרעום קרבה מתקדם כדי להבטיח השמדת מטרה במרחקי ההחטאה שהוערכו על סמך אלה של "שפיר-1" וטווח קינמטי מרבי גדול יותר. מאפיינים אלה הביאו לטיל גדול יותר בקוטר (160 מ"מ לעומת 110 מ"מ של "שפיר-1") ובמשקל (כ-90 ק"ג לעומת 45 ק"ג).

בניגוד לדרך החתחתים רבת-

”שפיררים” על המסלול אורי פלד

באחד מימי מלחמת יום הכיפורים הגיעה הודעה מח”א לרפאל כי שני ”שפיררים” נפלו ממטוס בזמן הנחיתה. הטייס שדיווח על כך סיפר כי ראה לתדהמתו את הטיילים עוזבים את מטוסו, רצים” חופשית על המסלול ונתקעים בסופו של דבר באדמה בצד המסלול. האירוע עורר את הזיכרונות המרים מימי ”שפירר-1”. כזכור, נפלו טיילים כתוצאה מהלם מכני בזמן השלכת המכלים הנתיקים. אבל שדבר כזה יקרה בנחיתה, במיוחד לאחר שהופקו הלקחים מהמקרים ההם, ממש מתסכל...

מעט-מעט נוספו פרטים שהבהירו את התמונה: התברר כי המטוס התקלקל בטיסה, חזר לנחיתה, לא הצליח לעצור בכוחות עצמו ונעצר על ידי רשת, שהייתה מונחת דרך קבע בקצה המסלול ותפקידה היה לעצור מטוסים חסרי מעצורים. מכיוון שתאונת העצירה ברשת הייתה חזקה מאוד, מנגנון הנעילה של הטייל ”פירש” את הכוח הכפעתל מנוע ושהחרר את הטיילים לדרכם. כמו במקרה של השלכת המכלים, שלא הובאו בחשבון בתכן נושא הטיילים של ”שפירר-1”, גם כאן התברר כי עצירה ברשת לא נכללה במעטפת הטיסה הכבולה של ”שפירר-2”, ומערכת הנשיאה שלו לא תוכננה לכך. התיקון היה קל ופשוט ונעשה עוד תוך כדי המלחמה: החלפת פין גזירה, שקיבע את הטייל על נושא הטיילים, בפין גזירה עבה מעט יותר...

זאת ועוד: ”שפירר-2” הוכיח את עצמו ככזה ש”פגיעתו רעה” יותר מהטיילים האחרים שהפעיל ח”א. על פי דיווחי הטייסים הייתה פגיעתו במטוס האויב מלווה בדרך כלל בפיצוץ גדול ובהשמדה מיידית. הטייסים העריכו מאוד את התכונה הזאת של ה”שפיררים” ורצו שמטוסם יחומש ב”שפיררים” ולא בטיילים האחרים. הייצור שכאמור לא היה בכמויות גדולות, פיגר אחרי הצריכה. לפיכך נוצרה תחרות סמויה בין הטייסות על העדיפות בקבלת ה”שפיררים” והופעל לחץ על רפאל לייצר עוד ועוד טיילים - דבר שמפעל הייצור שמח לעמוד בו, ובהצלחה רבה.

”שפירר-2” היה גם המוצר הראשון של חטיבת הנחיה (לימים חטיבת טיילים) שנמכר לחילות אוויר זרים, ובכך היה חלוץ בנושא. ”שפירר-2” קיבע את רפאל לייצר עוד ועוד טיילים - דבר שמפעל הראשונה וסלל את הדרך לפיתוח דורות נוספים ומוצלחים של טיילי אוויר-אוויר.

* **בכתבות ההיסטוריות אנו ממשיכים להשתמש בכתיב רפאל”ל - עם גרשיים, כדי לשמר את הטעם של פעם.”**

1. חיים סלעי, ”סיפורו של שפירר-1”, רפאל שלנו, גיליון 16, ספטמבר 2010.
2. מוניה מרדור, רפאל”ל, הוצאת משרד הביטחון, 1981, עמ’ 481 - 494.
3. זאב בונן, רפאל”ל ממעבדה למערכה, הוצאת נד”ד מדיה בע”מ, 2003, עמודים 26, 79 - 97.
4. משה ויינברג, עשור לא שקט, הוצאת חיל האוויר, 1999, פרק על ”שפירר-2”.



גבוהה, שעלתה על זו של מקבילו האמריקני AIM 90 והביאה לכך שטיילים שנוחו ברחבי העולם שנים רבות לאחר ייצורם תפקדו כחדשים! התחום גדל והיה למיט”ל - מפעל הייצור של חטיבת הטיילים, המייצר כיום את כל מוצרי החטיבה ותורם בצורה מכרעת לחוסן הכלכלי שלה ושל רפאל כולה.

ההמשך הטבעי של הפיתוח החלקי ושל ההצלחות בניסויי הפיתוח הראשונים והמתקדמים היה צריך להיות ניסוי קבלה, הצטיידות בטיילים והכנסתם לשימוש מבצעי. זה קרה אמנם, אך לא כל כך בקלות. ח”א לקח שלל מספר ניכר של טיילי אוויר-אוויר רוסיים במלחמת ששת הימים וקיבל טיילים אמריקניים אחריה. הוא החליט כי די לו בכך וכי אינו רוצה להוציא כסף על רכישת טיילים מתוצרת הארץ, ולכן אינו מעוניין בהמשך פעילות הפיתוח. משרד הביטחון לא מילא את רצון ח”א: הוא חייב את החיל להמשיך בתוכנית הפיתוח, לעשות ניסוי קבלה, לייצר טיילים בכמות קטנה יחסית, לקלוט אותם ולהשתמש בהם. אין ספק כי החלטה זו השפיעה מאוד על בניית יכולת הטיילות בארץ בכלל וברפאל”ל בפרט, ועל כך יש להעריך מאוד את מקבלי אותה החלטה.

ניסוי הקבלה של ”שפירר-2”, שנערך בסוף 1968 - תחילת 1969, היה מוצלח מאוד. לניסוי הוכנו 30 טיילים, מתוכם נורו 19, שרובם פגעו ובכך איפשרו לח”א לסיים את הניסוי ולהכריז שהטייל עבר את המבחן והוא כשיר להיכנס לשירות מבצעי.

שימוש מבצעי⁴

הטיילים שנתרו מהניסוי הוסבו לטיילים מבצעיים ונשלחו לטייסות. אחד מהם הפיל מטוס אויב כבר בטיסה המבצעית הראשונה בקיץ 1969, והפלות נוספות באו בעקבותיה. בשבוע הראשון לשירותו המבצעי הופלו באמצעותו ארבעה מטוסי מיג, דבר שצוין לשבח על ידי מח”א דאז, מוטי הוד.

ההפלה הראשונה - סיפור אישי חיים סלעי

ב-1 ביולי 1969 סופקו ששת הטיילים המבצעיים הראשונים לטייסת ברמת דוד. למחרת, ב-2 ביולי 1969, ביקר ברפאל”ל קצין הפרויקט מטעם ח”א, סא”ל יוסף שנער, לימים פרופסור בפקולטה לאווירונאוטיקה בטכניון, ושאל אותי היכן הטיילים שעל רפאל”ל לספק. עניתו לו שכבר שלחתי אותם לכנף. הוא התרגז וטען כי ”היצרן אינו מוסמך להחליט לאיזו טייסת לשלוח את הטיילים וכי על רפאל”ל היה לחכות להנחיה ממפקדת ח”א”. בכעס נכנס לטנדר הסוסייטא שלו ונסע לטייסת. מיד עם הגיעו שאל מה עם הטיילים והתבקש על המטוסים, הייתה הזנקה ושוגר טייל אחד, שפגע והפיל מטוס מיג-21 מצרי! הכעס התחלף באחת ל”כל הכבוד”, שהדהד עד רפאל”ל...

לעיקר תהילתו זכה ”שפירר-2” במלחמת יום הכיפורים. כ-90 מטוסים הופלו באמצעותו מתוך כ-180 טיילים שנוחו. בכך היה הטייל בעל שיעור ההצלחה הגבוה מבין כל הטיילים שהפעיל ח”א במלחמה. במשך כל שירותו המבצעי בח”א הפיל ”שפירר-2” 106 מטוסי אויב.

התקלות שבה אופייין פיתוח ”שפירר-1”, היה פיתוח ”שפירר-2” כמעט נקי מתקלות, למעט תקלות מזעריות שלא השפיעו משמעותית על מהלך הפיתוח ולא עיכבו אותו, בעיקר בזכות הבנת הנושאים הטכניים והניהול המוצלח של זאב בונן. זאב לא עבר לסדר היום על כל חשד לתקלה וכך לא נתן לתקלות לגדול ולהפגיע. מסכת הבדיקות היסודית, המסודרת והרהוטה בהכנות לניסויים ובאישור התיכון הביאה לכך שהמכלולים פותחו היטב ופעלו כהלכה. תורת ניהול הפרויקט שיישם זאב ותורת הניסויים היו בבחינת פריצת דרך בניהול ובפיתוח ואומצו על ידי רבים ברפאל”ל. אם ”חופרים” קצת לעומק אפשר למצוא גם בתוכניות הפיתוח של היום את עיקרי תורתן.

פיתוח ”שפירר-2” החל ב-1964, עת נכנס ”שפירר-1” לשימוש מבצעי, והסתיים ב-1969. במהלך תקופה זו נעשה שימוש מבצעי ב”שפירר-1”, גם בקרבות האוויר שקדמו למלחמת ששת הימים וגם במלחמה עצמה, אך לא בהצלחה, אם להתבטא בעדינות. מתחקור וניתוח השיגורים התברר כי הגורם העיקרי לכישלונות היה השלכת המכלים בכניסה לקרב - תנאי טיסה שלא הוגדר במפרט הפיתוח. ההשלכה גרמה להלם מכני על הטייל ולנוק עד כדי נפילה. גם אם לא נפל, היה הטייל מקולקל כאשר הגיע לירי. הגורם השני בחשיבותו היה שינויים שנעשו בתע”ש, מקום ייצור הטייל, ברכיבי הטייל ובתהליכי הייצור ולא עברו אישור תיכון נאות. שינויים אלה גרמו לתקלות בפעולת הטייל. בעיות אלה נפתרו לאחר מלחמת ששת הימים, ו”שפירר-1” עוד הספיק להשתתף במלחמת ההתשה. מספר טיילים מאלה שנורו אז הפילו מטוסים. אחת ההפלות אף מועדת בספר ”שעה שש כרגיל - סיפורים של טייס מיראז’”, שכתב הטייס המפיל, איתמר נוינר, שנים מאוחר יותר.

התקלות שאירעו בשימוש המבצעי של ”שפירר-1” השפיעו מאוד על פיתוח ”שפירר-2”: תנאי הסביבה שעבורם תוכננו הטייל ונושא הטייל (נט”ל) עודכנו במהלך הפיתוח כך שכללו הלם מכני; מתכני המכניקה שינו ועדכנו את התכן כך שהושגה עמידה בהלמים.

ייצור והצטיידות

זאב טען, כהייל קודמו, שהייצור צריך להיות באחריות המפתח, רפאל”ל, ולא באחריות יצרן חיצוני, והפעם התקבלה טענתו במשרד הביטחון, מה שלא קרה להילל. להחלטה להפקיד את הייצור בידי רפאל”ל תרמו בעיות ייצור ”שפירר-1” בתע”ש, מצד אחד, וכושר השכנוע של זאב, שנתמך בהצלחות המוכחות שלו בניסויי הפיתוח, מצד שני. אבל בעיקר תרמה לכך העובדה שזאב וצוותו הכינו סימוני ייצור מפורטים ומסודרים, במגמה להבטיח את תקינות הייצור, ותע”ש לא הצליח ”לעכל” אותם, להתארגן ולהכין את הנדרש בזמן.

להחלטה על ייצור ”שפירר-2” ברפאל”ל הייתה השפעה גדולה מאוד על רפאל”ל. תחילה הוקם תחום יישום פיתוח (יפ”ת), שייצר וסיפק את הטיילים. במשך רוב זמן ייצורם של ה”שפיררים” עמד בראש התחום יוסף (יוסקה) פלג, אשר לו ולעובדי התחום הייתה תרומה רבה בשימור אמינות ”שפירר-2” לטווח ארוך על-ידי שיפורים והתאמות שהוכנסו בסדרות הייצור של הטייל. פעילות מבורכת זו התבטאה באמינות מבצעית

הילל בר-לב ז"ל אבי ה"שפירר"

במהלך הכנת הכתבה על תולדות פיתוח "שפירר" התבררנו על פטירתו של הילל בר-לב, שהיה ראש הפרויקט והאיש אשר יזם והוביל את הפיתוח של טיל אוויר-אוויר הראשון בישראל. פועלו של הילל מתואר בהרחבה בכתבה "סיפורו של שפירר-1" ("רפאל שלנו", גיליון 16, ספטמבר 2010).

הילל בר-לב נולד בניו-יורק בשנת 1927, כארנולד מרלין. עבר קורס טיס בצי האמריקני, ואחרי שהשלים תואר בהנדסת אלקטרוניקה באוניברסיטת באפאלו, עלה לישראל ב-1949 ונקלט בקיבוץ בית השיטה. אולם הוא לא התערה בחיי הקיבוץ וחזר לארצות הברית. שם עבד בתעשיות האוויריות של "יוד" בקליפורניה וגם השלים תואר שני. ב-1956, במהלך מלחמת סיני, התעורר בו לראשונה הרעיון של טיל אוויר-אוויר: "אילו היה בידי אחד הצדדים הלוחמים טיל אוויר-אוויר, שמתבית היטב, הוא היה הופך את הקערה על פיה", אמר הילל. עם הרעיון הזה חזר ב-1957 לארץ, התיישב בטבעון והחל לעבוד במכון 3 של האגף למחקר ותיכון (לימים רפאל). במקביל גם לימד בטכניון. יום אחד, בעת ניסוי של הטיל "לזו" בנגב, הוא שמע מישהו לידו אומר בהתרסה: "על מה מבזבזים כסף... טיל אוויר-אוויר אנחנו צריכים!" זה היה רס"ן בני פלד, לימים מפקד חיל האוויר. בר-לב קפץ על ההזדמנות, ועד מהרה הזמין אותו פלד אל עזר ויצמן, שעמד להתמנות למפקד החיל, כדי שיציג בפניו את רעיונותיו. שם נולד ה"שפירר", טיל האוויר-אוויר הישראלי הראשון. מצויד בהסכמה לא-רשמית של חיל האוויר, השיג הילל מהנהלת רפאל תקציב קטן וצוות מצומצם: יוסף סיני, מהנדס מכונות שעבד על ניהוג הטיל; יעקב מאיר, מהנדס אווירונאוטי שפיתח את ההיגוי; אברהם אנושי, מהנדס אלקטרוניקה שהיה בעל ניסיון בטרנזיסטורים ובמעגלים מודפסים; ואריה פרץ, שפיתח את המנוע.

בכתבה "סיפורו של שפירר-1", אשר צוינה לעיל, סיפר חיים סלעי, שעבד בפרויקט "שפירר" מראשיתו, כי הדימויים הממושכים על עתידו של הפרויקט מרטו את עצביו של הילל. כששאל בן-גוריון את הילל כמה זמן יידרש לישראל "לשגר ספוטניק לחלל", השיב הילל: "21 שנים". "הכיבד?" תהה בן-גוריון. "20 שנה ייקח לכם להחליט", ענה הילל, "ושנה אחת ייקח לנו לבצע".

במהלך פיתוח הטיל באו לידי ביטוי הראש הפורה של הילל והמנהיגות הטכנית שלו, שסחפו אליו ואחריו את צוות הפיתוח בשלבים הקריטיים של הפיכת הרעיון למוצר. סגנו של הילל, יוסף סיני, אמר כי היה "חלוץ ומנהיג, שידע לשכנע". גיורא שלגי, לשעבר מנכ"ל רפאל ואיש הפרויקט, אמר כי היה "סטארטאפיסט מבריק", ומשה ארנס, לשעבר שר הביטחון, אמר שיש לו "מניית יסוד בכך שחטיבת הטילים של רפאל היא היום המובילה בעולם".

ב-1963 הוענק להילל פרס ביטחון ישראל על פיתוח ה"שפירר". ב-1969 עזב הילל את רפאל ועבר לירושלים. הוא המשיך לפתח פרויקטים כגון סימולטור תנועה, מכונה לאריזה אוטומטית של תפוזים, מכשיר קריאה לעיוורים ועוד. בשנים האחרונות הוא סבל ממחלת הפרקינסון, וכשהידרדר מצבו עבר ל"בית אשל", בית סיעודי בקיבוץ גבת, שם נפטר ב-13 במרס 2011.

יהי זכרו ברוך.

