

כיצד התגברנו על איום טילי SA-3

עמוס בן-אריה
כתבה 32 בסדרת כתבות
על תולדות רפאל בעריכת
ד"ר ראובן אשל



איור 1: צוות הפרויקט ליד תורן האנטנות של מערכת SA-3 משמאל: עמוס בן-אריה - ראש הפרויקט, במרכז אותה שורה: יאיר מורשת - מהנדס המערכת, ולמעלה מימין: סרן יעקב רייזמן - קצין הפרויקט מחיל האוויר.

על רפאל, לדלדל קשות את כוח האדם המקצועי ולכן גויסו "מוחות חישוביים" בוגרי רפאל, לביחוד מהטכניון, לסייע בפעילות הפיענוח. מאחר שמדובר במערכת טילים ללא הנחיה עצמית, התרכזה העבודה בפיענוח ציוד הקרקע, ותגובות הטיל באוויר נחקרו בסימולציה. חיל האוויר הגדיר את חקירת המערכת כפרויקט חירום.

עם סיום המלחמה ושחרור אנשי המילואים, השתחרר גם המחבר משטח מכ"ם ול"א² שבחטיבת אלקטרוניקה ומונה למנהל הפרויקט. כמהנדס מערכת מונה יאיר מורשת משטח סמל"א³. יתר הצוות לוקט מיחידות שונות למורת רוחם של הממונים. בשלב הזה עסקו בפיענוח רכיבים ותת-מערכות. עד מהרה התברר שכדי לתת תשובות לדרישות חיל האוויר, יש להפעיל את המערכת בשלמותה, לבחון כנגדה את האמצעים הקיימים בחיל, לשפרם ולחקור אמצעים חדשים: תחילה באמצעות סימולציה קרקעית ובהמשך על ידי הפעלת מטוסי ח"א ונחיית יכולות הישרדותם בטיסות מבצעיות "בתנאי מלחמה".

בחינת מצאי חלקי המערכת הראה שמערך תורן

מהי מערכת SA-3?

SA-3 הוא שם קוד של נאט"ו למערכת רוסית C-125, PECHORA. זו מערכת טילי קרקע-אוויר ניחת להגנת מתחמים אסטרטגיים מפני מטוסים בטווחים של עד 80 ק"מ. נוסף לכך יכולה המערכת לטפל במטרות שטח וקיימת גם גרסה ימית. באיור 2 מתוארת פריסת מרכיבי המערכת. לאחר רכישת המטרה על ידי מכ"מי החיפוש, עוקבת המערכת אחרי המטרה, והטילים מונחים אליה אוטומטית על ידי שיגור פקודות תיקון להגאים מהקרקע כמתואר באיור 3. באיור 4 מתואר תורן האנטנות בעת הפרעות אמצעי לוחמה אלקטרונית (ל"א) ניתן לבצע עקיבת מכ"ם ידנית או עקיבה באמצעות טלוויזיה.

הסיפור שמאחורי הפיענוח

במהלך מלחמת יום הכיפורים החלו להגיע לרפאל טיפין-טיפין רכיבים שונים וחלקי מערכות שלל שנתפסו בקרבות ואוחסנו במקומות שונים בחצר בהתאם להתמחויות המקצועיות. הגיוס הכללי לצה"ל, שלא פסח

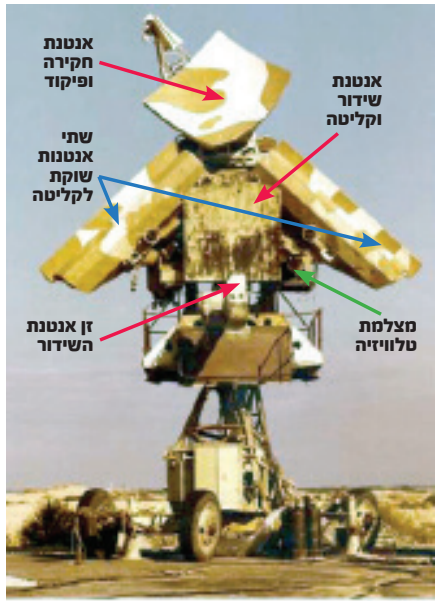
מהו האיום?

במהלך מלחמת ההתשה 1969 - 1973 נפרסו בחזיתות הצפון (סוריה) והדרום (מצרים) עשרות סוללות נגד מטוסים (נ"מ), שהיוו איום מרכזי על חיל האוויר. רפאל נרתמה כבר אז במספר פרויקטים לסייע לחיל האוויר להתמודד עם איומים אלה, כאשר חטיבת אלקטרוניקה הובילה ברפאל את תחום הלוחמה האלקטרונית. מלחמת יום הכיפורים (1973) הוכיחה את קטלניות האיומים כאשר מטוסי ח"א נפגעו קשות במהלכה. כדברי עזר ויצמן: "במלחמה זו כופף הטיל את כנף המטוס".

מיד עם פרוץ הקרבות הוטלו על רפאל מספר משימות חירום שעיקרן פיענוח מערכות שלל, זיהוי נקודות התורפה שלהן ופיתוח אמצעי-נגד. שלושה סוגים של מערכות טילי קרקע-אוויר היוו את חוט השדרה של מערך טילי הנ"מ של האויב: סוללות SA-2, שעיקרן הגנה כנגד מטוסים הטסים בגובה רב; סוללות SA-3, המטפלות בגובה בינוני ונמוך; וסוללות ניידות מסוג SA-6, שיעילותן גבוהה במיוחד בגובה נמוך. כתבה זו תיחד לסוללות SA-3. צוות הפרויקט נראה באיור 1.

תיקוני רכב שדה, שאלתרה זוג סרנים מרכב אחר, חיברו אותם לעגלה וכל הציוד הועמס והועבר צפונה.

העבודה החלה על פי תוכנית סדורה שעיקרה הפעלת תת-יחידות, בדיקתן וכולן על פי מחברות עבודה בערבית וספרי מערכת ברוסית, הפעלת יחידות שלמות ולבסוף אינטגרציה כללית. בהמשך הועברה כל המערכת למקום הניסויים המיוחד - "גבעת עוקץ" - גבעה ברפא"ל ליד חוף הים, שהיא הנקודה הגבוהה ביותר במכון דוד והמרוחקת ממבני רפא"ל שבמכון. בנקודה זו בוצעו הכיולים והאיפוסים ההכרחיים של הציר האופטי וצירי ארבע האנטנות (שהורכבו ממערכות שונות) לציר מרכזי. איפוס כזה מבוצע בדרך כלל במפעל לפני שחרור המערכת לשדה הקרב. יש לציין שהטכנולוגיה הרוסית בה נבנתה המערכת הייתה ישנה לתקופתה והתבססה על שפופרות רדיו שדרשו מעגלי יציבות רבים וגרמו לסרבול, לכיולים חוזרים לפני כל ניסוי ולריבוי יחידות בקרון הפיקוד. לעומת זאת הפתרונות המכניים לבעיות היו מבריקים וחיפיו על הנחיתות של הפתרונות האלקטרוניים. במקביל לעבודת פיענוח וחקירת נתוני המערכת, התגבשה ביחד עם ח"א תפיסת הניסויים העתידים להתבצע כדי

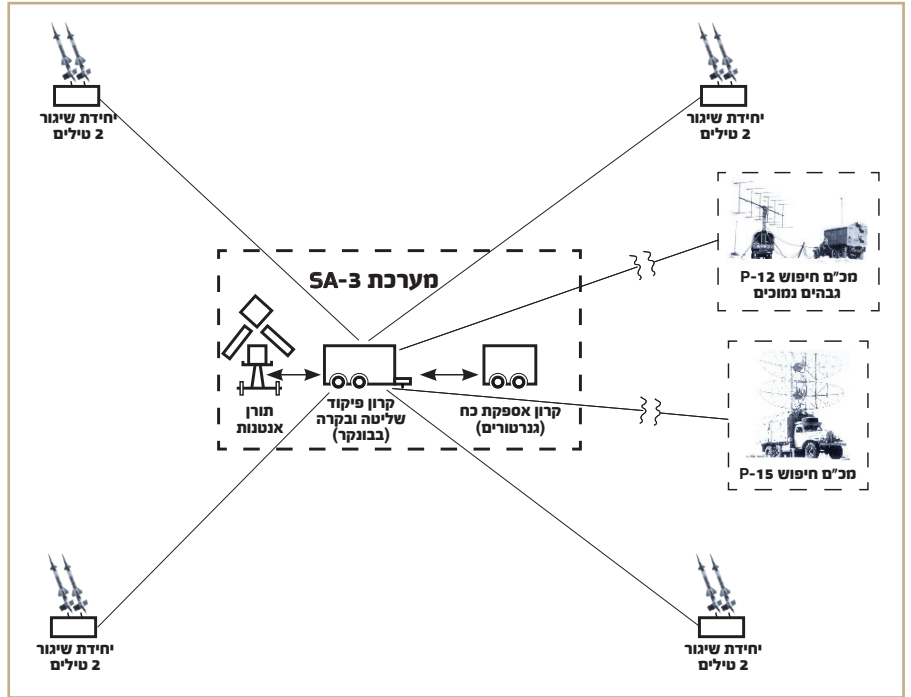


איור 4: תורן האנטנות של המערכת

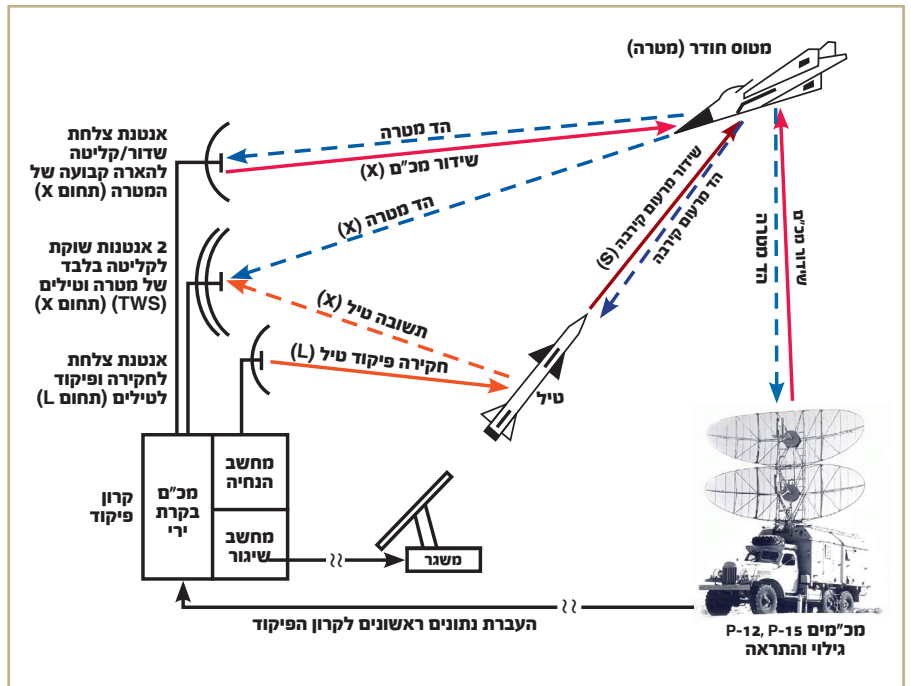
לבחון את יכולת ביצועי המערכת בתנאי קרב. הניסויים חולקו לקרקעיים ולמוטסים שתכליתם לבחון ולשפר את אמצעי-הנגד הקיימים בחיל כנגד נתוני הסוללה, וכן לשפר, לבחון ולפתח רעיונות חדשים. על מנת לבחון את "טיב" האמצעים שהופעלו, נבנה מערך סימולציה מתוחכם בסמוך למערכת הרוסית ופותח קריטריון חישוב "מרחק ההחטאה" שהתבסס על מחשבי המערכת עצמה, על מודל דינמי של הטיל ועל מחשבי "מרחק ההחטאה". ככל "שמרחק ההחטאה" גדול יותר, כך אמצעי-הנגד שהופעל יעיל יותר.

ביצוע הניסויים

הניסויים הקרקעיים נועדו לבחון את אמצעי הל"א ואמצעי שיבוש והטעיה אחרים הקיימים בחיל ולבדוק את יעילותם כנגד המערכת, שינוי הפרמטרים שלהם להשגת אופטימיזציה



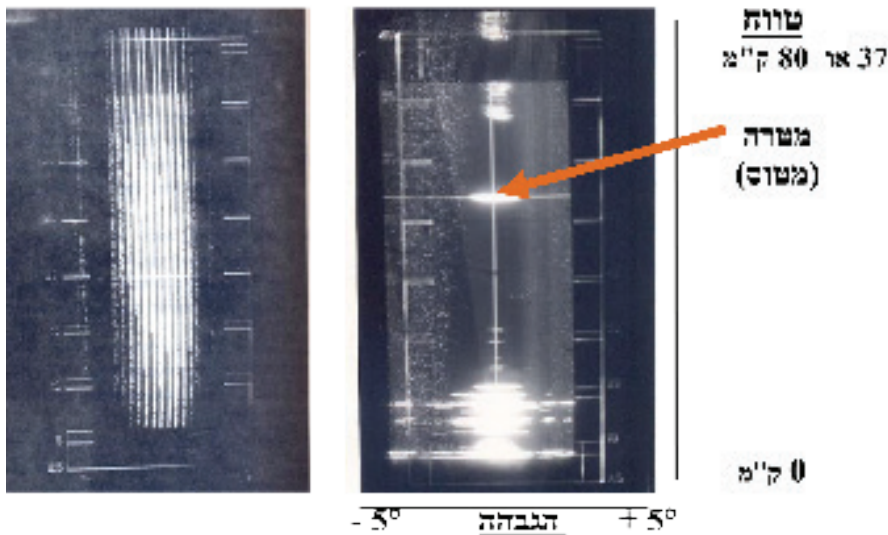
איור 2: פריסה של סוללת SA-3 בשטח



איור 3: תיאור סכמתי של תצורת פעולת מערכת SA-3 באופן עקיבה אוטומטי (TWS - SCAN WHILE TRACK)

האלוף שרון, ובאנו בזמן מאוד לא נוח כאשר ג'יפ של כוחותינו עם מפות נפל בידי המצרים וכל הפיקוד היה כמרוקחה. יחד עם זאת, קיבלנו את כל היסוד הדרוש, אך כאשר הגענו לשטח הוזהרנו מיריות של צלפים. שתי סוללות היו באזור, אחת פגועה פחות והשנייה יותר. לקראת לילה ניתנה לנו האפשרות לטפס ולבדוק את מערך תורן האנטנות של הטובה מבין השתיים והוחלט לקפלה ולהעבירה צפונה. מהסוללה הפגועה פורקו כל תת-המערכות לחלקי חילוף. כל קרונות הפיקוד והבקרה חובלו או נפגעו ונשרפו כליל. קיפול תורן האנטנות התבצע על עגלה ייעודית עם חיבורים מתאימים כך שלא ייפגע בעת ההובלה. נמצאה עגלה כזו, פגועה במקצת, אך ללא סרנים קדמיים. מצאנו סדנת

האנטנות היה פגוע ולא ניתן להשלימו כמערכת פועלת. כמו כן היו חסרים חלקי חילוף ייעודיים לצורך הפעלה שוטפת. בשיתוף פעולה עם ח"א נערכנו כדי לחפש באזורי הקרבות סוללות טילים פגועות. התברר שבחזית הסורית לא נותר דבר, אך מהחזית המצרית התקבלו ידיעות שיש סיכוי טוב למצוא חלקי סוללות במצב סביר. יחד עם נציגי ח"א ירדנו לסיני בינואר 1974 "ללקט" את שנתר. באזור שרר תוהו ובוהו. רוב הסוללות היו בארץ גושן (מהעבר המערבי של התעלה). הגענו למספר אתרי סוללות שרובן היו הרוסות לגמרי. דרך ענפי מודיעין ול"א בחיל האוויר נמסרו נקודות ציון של שתי סוללות בקו התפר בין שתי ארמיות של הצבא המצרי, שיתכן שהיפגעות נמוכה. האזור היה בשליטת



איור 5: מסך מכ"ם האויב
מימין: מסך מכ"ם העקיבה ללא חסימת ל"א - המטרה נראית בבירור
משמאל: בעת חסימה - המטרה נבלעת ברעש

ופיתוח טכניקות ל"א ושיבוש חדשות. הניסויים המוטסים נועדו לבחון את יכולת מטוסי החיל השונים להתמודד עם ביצועי המערכת עם ובלי הפעלת אמצעי-נגד, החל מרמת המטוס הבודד וכלה במערכי תקיפה שלמים של טייסות.

ח"א הקצה לנושא זה קצין פרויקט מטעמו - סרן יעקב רייזמן, טייס בעצמו, שתיאם את מהלך הניסויים עם הגופים הרלוונטיים בחיל. כמו כן הקצה ח"א צוות הפעלה מיומן מתוך מערך הני"מ של החיל, אשר למד והפעיל במהלך הניסויים את המערכת הרוסית, בזמני תגובה הקרובים ככל האפשר לתגובת מפעילים מיומנים שהפעילו את הסוללה במלחמה. בצרף אחר בגבעה נבנה מרכז שליטה ובקרה לניהול הניסויים, שכלל מערך טלוויזיה במעגל סגור, רשתות תקשורת של ח"א עם יחידת בקרה אווירית - יב"א 506 לבקרת הטיסה של המטוס, צוות הפעלת הסוללה בקרון, צוות ניהול הפרויקט ושני מכ"מי חיפוש P-15 ו-P-12 של המערך התומך המקורי של הסוללה. זה היה מרכז הבקרה הראשון בישראל לניסוי ל"א קרקעיים ומוטסים.

הפעלת הסוללה עם צוות ח"א

במהלך הניסויים, קרקעיים ומוטסים, הופעלו אמצעים שונים, אמצעי לוחמה אלקטרונית ECM- מגוונים וכן שיטות תקיפה מבצעיות של ח"א. כמו כן נבדקו שיטות שיבוש קיימות וחדשות ובוצעה אופטימיזציה. נבדקה יעילות המערכת עם ובלי הפעלת אמצעים נגד לוחמה אלקטרונית (נל"א - ECCM) כנגד תמרונים מבצעיים, ופותחו בהצלחה פתרונות יצירתיים. נוסף לכך נבחנה חשיבותו הקריטית של מערך ההתרעה והגילוי המוקדם של מכ"מי החיפוש.

זו הפעם הראשונה שבוצעו ניסויי טיסה כנגד סוללת טילים פעילה. היקף הניסויים המוטסים שבוצעו ברפאל על ידי ח"א בגבעה היו מהגדולים שבוצעו עד אז: כ-130 גיחות מוטסות וכ-1300 יעפים. כנגד הסוללה נבדקו סוגי מטוסים שונים והשתתפו בהם טייסות ומפקדי טייסות במה שמכונה "מי קרב", בהם בוצעו מטסים מרובי מטוסים עם אמצעי-נגד משולבים ונבדקו דוקטרינות לחימה וטקטיקות תקיפה.

ואף על פי כן נוע תנוע...

היה זה פרויקט חירום ארוך יחסית שנמשך כשנתיים וחצי, בו הושקעו כ-100 שנות-אדם ואשר הסתיים בפברואר 1976 תוך התערבות גורמי חוץ.

הניסויים בוצעו בתנאי לחץ קשים ובעיות לא חסרות:

■ ח"א לחץ לקיים מספר רב של ניסויים ולאמן מספר גדול ככל שניתן של טייסים.

■ אמצעי זול ופשוט שנבדק בניסויים הפעיל מבלי משים את כל מערך ההתרעה הסורי, דבר שגרם למורת רוח במודיעין ח"א ובעקפיין דווח להנהלת רפאל.

■ במהלך הניסויים הגיעו תלונות על פיצוץ אקראי של נפצים רגישים בבונקר של שטח חנ"ם במרחק של קילומטר מגבעת ה"עוקץ".

חקירת האירועים ובחינה מדוקדקת של הסוגיה העלתה שהאנרגיה האלקטרו-מגנטית הגבוהה, ששודרה ממכ"מי החיפוש, נקלטת בהדקי הנפצים שהיו מקוצרים לצורכי הגנה. מעגל הקצר שימש דווקא כאנטנה שקלטת את האנרגיה וגרמה לפיצוץ.

■ יום אחד זומן למילואים לרמת הגולן עוזי יגור, טכנאי בכיר שהיה אחראי על מכ"ם העקיבה. שמישות המערכת נפגעה וניסויים נדחו. כאשר כל הניסיונות לשחרור בדרכים המקובלות עלו בתוהו, לבש ראש הפרויקט את מדי הרס"ן שלו וקבע פגישה עם מפקד הגזרה ברמת הגולן, תא"ל אברהם שמחוני. במקרה הסתובב שם גם רפאל איתן - רפול (אז אלוף פיקוד הצפון) והשניים, שהיו מודעים היטב לבעיית ח"א הקשה במלחמה, שמעו הסבר קצר על חשיבות הנושא, והבחור שוחרר מיד.

■ בעת בחינת אמצעים שונים בניסויים משולבים נגרמה הפסקת חשמל כללית למשך כמה שעות בחלק גדול של אזור הצפון והגיעו תלונות להנהלת רפאל על נזקים.

בעקבות אירועים אלה, שהפריעו למהלך העבודה ברפאל, התאגדו מספר ראשי החטיבות ודרשו ממנהל רפאל דאז, ד"ר זאב בון, להעביר את המערכת ואת מערך הניסויים שהוקם ל"שדמה" שבנגב. בדיון שהתקיים אצלו הובהר שעם המעבר דרומה, המערכת לא תשוקם שנית. ממילא היא עבדה על כרעי תרנגולת. ראוי לציון שזאב החליט, גם בלחץ ח"א, לא להזיז את המערכת עד תום הניסויים.

לפעמים יצא מתוק מעץ

חלק מהקשיים שנתקלנו בהם הניבו באופן בלתי צפוי תוצאות טובות:

מפעילי המערכת בעת הניסויים היו מפעילי מכ"ם מח"א. בחלק מהניסויים נבדקה יכולת הטייסים להתמודד עם ביצועי המערכת

ללא אמצעי-נגד. טובי טייסי החיל "נכשלו" במשימתם. זאת גם עקב מיומנותם הגבוהה של המפעילים. כישלונות אלה הביאו לסיעור מוחות בח"א וברפאל ולפתרונות יצירתיים מוצלחים.

תרומות עיקריות של הפרויקט

לפרויקט היו תרומות רבות וחשובות, ונציין אחדות מהן:

- הכרה בחשיבות שילוב אמצעי-נגד ונטרולו של מערך הגילוי התומך בהשרדות המוטסים התוקפים.

- בחינת טקטיקות תקיפה ודוקטרינות לחימה של ח"א במסות בשילוב אמצעי-נגד.

- הפקת לקחים בח"א שישומו במלחמת לבנון הראשונה (שלום הגליל) ובאו לידי ביטוי במבצע "עראב 19" ביוני 1982. במבצע הושמד מערך הטילים הסורי בלבנון, והופלו 80 מטוסי קרב סוריים, ללא אבדות לכוחותינו.

- פיתוח מערכת ל"א מבצעית שנמסרה לח"א בהמשך שנות השבעים.

- הנחת יסודות לשדה ניסויי ל"א של רפאל ב"שדמה".

על כל אלה הוענק לצוות הפרויקט פרס רפאל לשנת תשל"ו-1976.

1. מרדכי שהני, "איסוף שלל", גשרים - עלון רפאל"ל מספר 2, נובמבר 1973.
2. ד"ר יואל צפיר, "פיתוח מערכות לחימה אלקטרוניות ברפאל", רפאל שלנו, גיליון 26, יולי 2014.
3. ד"ר חיים ש', "ארבעים שנה למתקן הסימולטורים של סמל"א", רפאל שלנו, גיליון 30, מאי 2016.