

מערכת לוחמה אלקטרונית

'מונולוג' כנגד מכ"מי יבשה

אריה פיק

כתבה מספר 41 בסדרת כתבות על היסטוריית רפא"ל בעריכת ד"ר ראובן אשל¹

מערכות הלוחמה האלקטרונית (ל"א) הידועות, התמקדו בעבר בעיקר בחילות האוויר והים. עיקר האיומים באוויר על מטוסים היו ונשארו מערכות טילי קרקע-אוויר (טק"א) ומכ"מי אוויר-אוויר כאשר בים, האיומים העיקריים היו טילי ים-ים הנורים מהחוף ומספינות אויב כנגד הספינות. בלוחמת היבשה, המושג ל"א התמקד בעיקר בל"א תקשורת שנועד לגלות רשתות תקשורת אויב, לגלות מה רואים מכ"מי האויב², לאכן כוחות קרקע ולשבש מערכות אלה.

בשנות השבעים והשמונים של המאה הקודמת נוספו לזירה היבשתית מערכות מכ"מ שמשימתם הייתה גילוי כוחות קרקע, רגליים וממונעים, וכן איכון ירי ארטילרי ע"י גילוי ועקיבה של הפגזים ושיפור יכולת הפגיעה במטרות. המכ"מים שנוספו לזירה לצורך גילוי המטרות והעקיבה אחריהן יצרה איום על התגלות כוחותינו ויכולת פגיעה בהם באמצעות ירי ארטילרי מדויק מבוקר מכ"מ.

האיום

כפי שצוין לעיל, בזירה הופיעו שני סוגים עיקריים של מכ"מים יבשתיים – מכ"מים לגילוי אדם ורכב, ומכ"מי טיווח ארטילרי. יש לציין שלחלק ממכ"מי טיווח ארטילרי הייתה יכולת גם בגילוי אדם ורכב לאור הרגישות הגבוהה שלהם. דוגמא ליכולות הבסיסיות של מכ"מי היבשה RASIT ו-RATAC :

יכולות גילוי:

- חיילי רגלים: 8 עד 10 ק"מ (עד 25 ק"מ לדגם חדש)
- כלי רכב: 11 עד 18 ק"מ (עד 40 ק"מ לדגם חדש)
- מסוקים קלים: 7 עד 13 ק"מ (עד 25 ק"מ לדגם חדש)
- גילוי פגזים: 4 עד 10 ק"מ
- דיוק מיקום: 10 עד 20 מ' בטווח, 2 עד 10 אלפיות בכיוון

להלן מספר דוגמאות של מכ"מים זרים שבחלקם בעלי יכולת גילוי אדם ורכב (AN/PPS-5, RASIT) ולחלקם יכולת טיווח ארטילרי, או רק יכולת טיווח ארטילרי ואף גילוי מטרות אוויר (RATAC-S, AN/TPQ-36). קיימים גם מכ"מים נוספים בתחומי תדר אחרים וגם לשימושים יבשתיים נוספים. מכ"מים אלה לא טופלו במסגרת פרויקט הל"א בשנות השמונים של המאה העשרים.

¹ ראש ענף היסטוריה (בדימוס)

² ד"ר יואל צפיר – כתבה מספר 36 על פרויקט 'רקפת'



מכ"מ AN/PPS-5



מכ"מ RASIT



RATAC-S



AN/TPQ-36

מערכת ה"א "מונולוג" – RAJ-101

לאור המידע המודיעיני על איום מכ"מי היבשה בזירתנו, בוצעה בדיקת היתכנות של חיל הקשר שהיה אמון על ה"א היבשתי. בבדיקה זו שולבה רפ"ל בהיבטי יכולות קליטה, טווחים ודיוקים, יכולות זיהוי המכ"מים שהיו בחלקם בעלי יכולות דילוג תדרים, וכן הספק החסימה והטכניקות הנדרשות לשיבוש פעילות המכ"מים.

לצורך קליטה, זיהוי וחסימה של האיום, פותחה בתחילת שנות ה-80 מערכת ל"א בשם "מונולוג" או RAJ-101, המותקנת על נושא גייסות משוריין. פערי הידע העיקריים שהיו בפרויקט התמקדו ביכולות להלן:

- יכולת מדידת כיוון מדויקת לצורך הצבת אלומת חסימה צרה בהספק גבוה (Effective Radiated Power – ERP). שיטות הכיוון שנבחנו היו מדידת פאזה ע"י אינטרפרומטר, שיטה שהייתה יקרה עם מגבלות רוחב סרט מידי צר מהנדרש, ושיטת מונו-פולס אמפליטודה (השוואת עוצמות מדויקת בין אנטנות). שיטת מונופולס אמפליטודה נבחרה ופותח מערך אנטנות בעל ביצועים גבוהים. כיולי ערוצים אפשרו קבלת כיוון מדידה מדויק מאד.
- משדרי חסימה בהספק גבוה וברוחב סרט רחב. באותה תקופה לא היו משדרים הספק רחבי סרט של כל התחום הנדרש (X-Ku), ובעלי ההספק הנדרש. הוחלט על פיתוח בארה"ב של משדרי שפופרות (TWT (Travelling Wave Tube), תהליך שגרם לעיכוב בלוח הזמנים אך בסופו של דבר ענה לדרישות.
- מערכת קירור אוויר עוצמתית לקירור המשדרים דרשה יכולת עמידה בתנאי אבק קשים. תכנון מסננים מיוחדים ושילובם על הרכב איפשרו את קבלת עוצמת הקירור הנדרשת.

- משטר מערכת ויכולת עבודה משולבת בקליטת האיומים ובחסימתם, תוך שילוב טכניקות החסימה, הייתה בעיה מורכבת באותם ימים (כפי שקימת בכל מערכות ה"א גם היום), וע"י השקעה מרובה ע"י צוות הנדסת המערכת ושטח מחשבים הביאה לפיתוח אלגוריתמים בניהול המשאבים שענה לתפעול המלא של המערכת.

פיתוח המערכת נמשך כשלוש שנים כאשר לא היו מערכות מקבילות בעולם לשימושים קרקעיים. הפרויקט בוצע במקביל לפיתוח מערכת ל"א אחרת (לשימוש אחר) שמצד אחד גרם להיזון הדדי בין הפרויקטים ומצד שני סבל ממחסור בכוח-אדם.

יש לציין שהפרויקט היה ראשון מסוגו שבוצע בצה"ל לכוחות היבשה, וצוות חיל הקשר נרתם באופן מלא בעזרה בהנדסת המערכת בפרויקט, בבדיקת חקר הביצועים ובהשתתפות בניסויי השדה וארגון. הניסויים בדרום הארץ כנגד מספר מכ"מים נמשכו זמן לא קצר, תוך ניסיונות המכ"מים לשבש את יכולת המערכת בגילוי (התערבות ידנית בשינוי תדרים וכדומה). יש לציין שהעייפות נתנה את אותותיה ובדרך חזרה צפונה, סטה הרכב עם הצוות ממסלולו והתהפך על גגו. למזלנו כל הצוות יצא בשלום ולא היו נפגעים.

דגם ראשוני פותח ברפא"ל לצורך הוכחת ההיתכנות, תוך שילוב של מכלולי חסימה שפותחו ויוצרו ברפא"ל למערכות ל"א אוויריות. עם סיום שלב ראשון של ניסויי שדה במערכת, הוכן ע"י חיל הקשר מפרט ביצועים. המפרט אפשר להגדיר את מבנה המערכת, תכולתה וביצועיה.

המערכת שתוכננה להתקנה על נושא גייסות משוריין (נגמ"ש) כללה את המרכיבים הבאים:

- מערכת קליטה
- מחשב זיהוי איומים
- מחשב עם ותצוגה של הזירה
- מערכת חסימה

לצורך השגת הספק חסימה גבוה, נדרשים משדרי הספק בכל תחום התדר הנדרש וכן אנטנות שידור בהגבר גבוה. הגבר האנטנות נקבע לפי רוחבי האלומה באזימוט ובהגבהה וככל שהאלומה צרה יותר כך ההגבר גבוה יותר. לכן יש צורך במדידה מדויקת של כיווני המכ"מים כדי לכוון את אלומת השידור הצרה לעבר מכ"מ האויב. מדידת הכיוון המדויקת בוצעה באמצעות מערך אנטנות היקפי המשלב מקלט כיוון בעיבוד מדויק ומכיל. בנוסף, נתוני המכ"מים כמו – תדר מיידי ומדויק ופרמטרי האות נדרשו לצורך הפקת טכניקות חסימה יעילות יותר.

מחשב הזיהוי במערכת משתמש באלגוריתמים ייחודיים המאפשרים הפרדה של אותות המכ"מים הספציפיים מתוך רעשים ואותות שונים בזירה. לאחר הפרדת האותות הרלוונטיים מרעשי הסביבה, מבוצעת השוואה של הפרמטרים הנמדדים לטבלת קורנים ששולבה במערכת והמשמשת לזיהוי איומים ידועים.

צוות ה"א ברפא"ל בעבר ובהווה המפתח מערכות ל"א אוויריות, ימיות ויבשתיות, רואה את התמונה המלאה של צרכי הצבאות ואת אבני הבניין המשמשות ליבה למערכות אלה בקומונליות ככל שניתן. צוות זה בשילוב הנדסת המערכת והשטחים הטכניים והטכנולוגיים ברפא"ל, מציג פתרונות בחזית הידע והטכנולוגיה המיושמים בכל מערכת ל"א.

מערכת החסימה RAJ-101/מונולוג כוללת שלושה חוסמים המאפשרים חסימה של שלושה מכ"מים בכיוונים שונים. לצורך כך, הותקנו על הנגמ"ש שלושה מערכי שידור עם אנטנות כיווניות מצטודדות לכיוון המכ"מ הנחסם.

תמונת המערכת המותקנת מוצגת להלן:



מערכת RAJ-101 נבדקה בניסויים וענתה על דרישות הלקוח. בעקבות ניסויי שדה מוצלחים הזמין חיל הקשר שלוש מערכות של קדם סדרה שצה"ל כינה "מונולוג". לאור שינוי עדיפויות בצה"ל והתחלפות גורמים בכירים, הוחלט על עצירת הפרויקט באמצע שנות ה-80. ככל שידוע, חיל האוויר התחייב בפני המטכ"ל שהטיפול באיום המכ"מים היבשתיים יבוצע על ידו.

