

פיתוח המיגון הראקטיבי ויישומיו המבצעיים

ד"ר דן יציב¹

כתבה מספר 40 בסדרת כתבות על תולדות רפא"ל² בעריכת ד"ר ראובן אשל³

מבוא

בתגובה למכה הקשה שספגו כוחות השריון של צה"ל במלחמת יום הכיפורים, כתוצאה מפגיעת טילים נגד טנקים (נ"ט) ורקטות אר.פי.ג'י (RPG), רפא"ל פיתחה את המיגון הראקטיבי (ERA - Explosive Reactive Armor). פיתוח טכנולוגיה ייחודית זו, כמפורט להלן, הייתה פריצת דרך עולמית בהגנת רכב קרבי משוריין (רק"מ). במשך כמאה שנות פיתוחי מיגון רכב קרבי משוריין (רק"מ), לא הייתה עוד טכנולוגית מיגון יעילה, קלה וזולה יחסית ל, כמיגון הראקטיבי.

רפאל שולטת כיום בפיתוח וביישום של כל טכנולוגיות המיגון: פסיבי, ראקטיבי והגנה אקטיבית. ביישומן של שתי הטכנולוגיות האחרונות, רפאל הייתה החלוצה ונהייתה לחברה המובילה בעולם. כתבה זו, מתמקדת בפיתוח המיגון הראקטיבי וביישומו המוצלח בארץ ובעולם בשנים 1974-2020.

המיגון הראקטיבי הוא חליפת הגנה המותקנת על גבי רכב קרבי משוריין (רק"מ). חליפה זו מכילה שכבת חומר נפץ מרסק (חנ"מ) בטיחותי. היא מיועדת להגן על הרק"מ מפני ראשי קרב (רש"קים) בעלי מטען חלול (של רקטות, טילים או פגזים). החליפה בנויה מאריחים (מודולים) בסדר גודל 30 ס"מ X 30 ס"מ. כל אריח מכיל קסטות במבנה "כריך", העשוי, ביסודו, משני לוחות מתכת דקים וביניהם שכבת חנ"מ. ברגע שרש"ק מטען חלול פוגע ברק"מ, הוא מייצר סילון מתכת רב עצמה, המסוגל לחדור את דופן הפלטפורמה. בפגוע הסילון במיגון הראקטיבי המוסף, הוא מיזם את שכבת החנ"מ. הפיצוץ מאיץ את לוחות המתכת, והן מתנגשות בסילון המתקדם, משבשות אותו ומונעות את יכולת חדירתו לתוך הרק"מ. משקלו (ליחידת שטח) של המיגון הראקטיבי, נמוך בס"ג ממשקלו של מיגון פסיבי אקוויולנטי העשוי מפלדת שריון, הנוח לעצירת אותו איום.

לב ליבו של המיגון הראקטיבי הוא שכבת החנ"מ הייעודי. זהו חומר אנרגטי אדיש, דל חנ"מ, אשר פותח ע"י רפאל ונקרא LBR

(Low Burning Rate). הוא עומד בתקנים בינלאומיים מחמירים של בטיחות ותנאי סביבה. בכל תנאי, אסור שהחנ"מ יגיב (יתפוצץ או יבער) כתוצאה מתנאי הסביבה של שדה הקרב, או מפגיעת קליעים או רסיסים, ומאידך, עליו לשחרר די אנרגיה, ברגע היפגעו ע"י סילוני מטענים חלולים, כדי לשבש את יכולת חדירתם. חנ"מ ייחודי זה מיושם בכל פרויקטי המיגון הראקטיבי של רפאל.

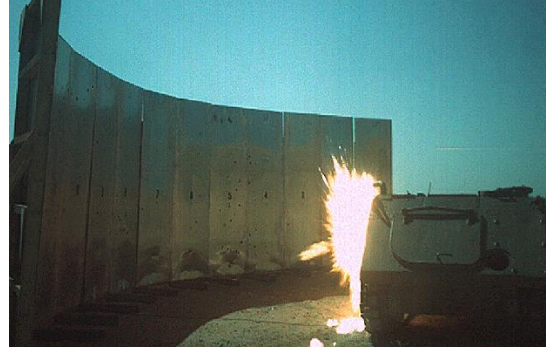
מומחיות רפאל מתבטאת בוורסטיליות של המיגון הראקטיבי וחוסנו. תכן המיגון מקנה לו את היכולות הבאות: רמת מיגון הומוגנית, על פני כל השטח הממוגן ומניעת אפקטי קצה; מניעת ייזום סימפתי בין קסטות סמוכות, או נזק לאריחי מיגון שכנים; פיצוץ כמות מינימלית של החומר הראקטיבי בכל אירוע; מודולריות של אריחי המיגון; יכולת התקנה או הסרה מהירים של אריחי המיגון המורכבים על הפלטפורמה המוגנת; צמצום הסיכון הסביבתי שהמיגון עלול לייצר בעת הפיצוץ.

להשגת היעדים הנ"ל, בוצעו אלפי ניסויי פיתוח, הורצו סימולציות תלת ממדיות והופעלו מודלים אנליטיים והנדסיים. דוגמה: אומדן הסיכון הסביבתי נבחן בחקר ביצועים המבוסס על עשרות ניסויי זירה, ראה איור מס' 1. המחקר הוכיח שהסיכון הסטטיסטי הנובע מהרסו שמתפתח כתוצאה מפיצוץ הרש"ק התוקף, גדול בסדר גודל מזה שמייצר המיגון הראקטיבי עצמו.

¹ שותף לפיתוח המיגון הראקטיבי בשנות השבעים של המאה הקודמת ומנהל שיווקו בעולם בשנות התשעים ועד 2021.

² השם רפא"ל (רשות פיצוח אמצעי לחימה) שימש מ-1958 עד 2001 כאשר הייתה רפא"ל ליחידת סמך של משרד הבטחון. בשנת 2002 הפכה רפא"ל לחברה ממשלתית של משרד הביטחון ושמה שונה לרפאל בע"מ, מערכות לחימה מתקדמות. לפיכך ישמש בכתבה זו השם המתאים לתקופת האירוע.

³ ראש ענף היסטוריה של רפא"ל



איור 1 - ניסויי זירה לבחינת הסיכון הסביבתי והנזק ההדדי הנגרמים כתוצאה מהפעלת מיגון ראקטיבי למעלה מימין- מתקן הירי מול המיגון, משמאל – לוחות עדות לרסיסים, למטה רגע הירי

המשימה

אחרי מלחמת יום הכיפורים, היה צה"ל זקוק, בדחיפות, למיגון נ"ט מוסף, יעיל, קל משקל ומהיר להתקנה. המשימה הייתה שדרוג משמעותי, מהיר, של רמת מיגון הטנקים, מבלי לבצע השבחות אוטומטיות. רפאל זיהתה את הצורך, והתמקדה בפיתוח מיגון ראקטיבי חנ"מי, אפקטיבי, קל משקל, שהיה הפתרון האולטימטיבי למטרה זו.

פיתוח ויישום

עד מהרה, העמידה רפאל, למשימת חירום זו, משאבים וצוותי פיתוח מיגון ראקטיבי שכינזו היה אז "בלטן" ("Blazer"). הפיתוח המואץ הושלם בתוך שנה (1974)⁴. בתום שלב הפיתוח, צה"ל ערך מבחני אישור אינטנסיביים המקיפים את כל הקטגוריות הנדרשות. המבחנים הוכתרו בהצלחה מלאה. בסופם אישר צה"ל את הייצור וההצטיידות.

האלוף מוסה פלד, שהיה אז מפקד גייסות השריון, התלהב מהטכנולוגיה החדשה והיה לכוח המניע שדרבן את יישום ה"בלטן" על גבי כל צי הטנקים של צה"ל. יש לציין שהנושא היה, אז, שנוי במחלוקת. בתוך צה"ל הייתה רתיעה, מובנת, מיישום אריחים המכילים חנ"מ, והתקנתם על גבי הטנקים. בראש המתנגדים, באותה עת, עמד האלוף ישראל טל, שהיה אז ראש מנהלת הטנקים (מנט"ק). הוויכוח הוכרע, בסופו של דבר, לטובת המצדדים, ע"י שמעון פרס שהיה אז תת-שר הביטחון וצה"ל הזמין מרפאל ערכות מיגון ראקטיבי לכל צי הטנקים.

רפאל פיתחה, דיגמה, תכננה ותעש ייצרה, את ערכות המיגון לכל אלפי הטנקים של צה"ל על סוגיהם, פרט ל"מרכבה": "שוט" (צנטוריון), "מגח" (פטון) ו"טירן" (טנקי שלל T-54/55 מוסבים).

מלחמת "שלום הגליל" (של"ג, 1982) הייתה ההתנסות הראשונה בעולם של מיגון ראקטיבי בשדה הקרב. הפרויקט היה מסווג. ללוחמי השריון, ולמרבית המפקדים, לא היה מושג מה תכולת אריחי המיגון הסודי אשר הותקנו על הטנקים שלהם. הצלחת ה"בלטן" הייתה מובהקת, הן מבחינת הגנה על צוותי הטנקים, והן מבחינת תחושת הביטחון שהוא נסח בלוחמים. גם החששות מסיכון סביבתי שהמיגון ראקטיבי עלול לגרום, הופרכו.

⁴ השלבים המוקדמים של פיתוח תשתית מיגון בכלל, והמיגון הראקטיבי בפרט, ברפאל, מסוכמים בספרו של ד"ר זאב בונן. פרקי המיגון בספר מבוססים על רשימותיו של ד"ר גדעון רוזנברג ממייסדי פיתוח המיגון.

תמונות טנקי צה"ל המצוידות במיגון "בלטן" (איור 2) עוררו סקרנות ברחבי העולם. מומחי מיגון מערביים העלו השערות באשר לתוכן האריחים. אחדים מהם שיערו שישראל אכן יישמה מיגון ראקטיבי מבצעי.



איור 2 - תמונה היסטורית של המיגון הראקטיבי ("בלטן") המותקן על טנק "מגח" במלחמת של"ג
עמוד השער של מגזין TIME (יוני 1982)

באחד הקרבות העקובים מדם, קרב סולטאן יעקוב, נפל טנק "מגח" של צה"ל, שלל לידי האויב הסורי. הטנק המצויד ב"בלטן" השתתף במצעד ראווה בחוצות דמשק, ואח"כ נמסר לברית המועצות. חתך של אריח "בלטן" מוצג במוזיאון השריון הממוקם סמוך למוסקבה. בחלוף שנתיים, השלימו הסובייטים פיתוח מיגון ראקטיבי. משלהם. לדעת מומחים בריטיים היה זה חיקוי של טכנולוגית רפאל.

במרוצת השנים, פיתחה רפאל ערכות מיגון ראקטיבי לפלטפורמות נוספות של צה"ל, לרבות ה"ברדלס" (M-113), "פרא", "נקפדון" (איור 3) וסייעה למנט"ק ביישומי מיגון על טנקי ה"מרכבה".



איור 3 - נגמ"ש הבקעה "נקפדון" מצויד במיגון ראקטיבי מוסף

בתגובה להופעת המיגון הראקטיבי של רפאל, פיתחו הסובייטים טילי נ"ט ורקטות נושאי רש"ק טורי-כפול ("טנדם"). הוא מבוססים על רש"ק קטן "מקדים" (precursor), אשר תפקידו לייזם את המיגון הראקטיבי ולפנות אותו, ובעקבותיו רש"ק "עיקרי", המופעל לאחר שיהוי מתאים. תפקידו לחדור את שריון הבסיס, באין מפריע, לאחר שהמיגון הראקטיבי התפנה. בתגובה לכך, רפאל התמקדה במציאת מענה, ופיתחה בהצלחה, מיגון ראקטיבית דו-קומתי כנגד רש"קי "טנדם". הקונספט הוא "מיגון טנדם כנגד איומי טנדם", המסוגל להתמודד עם שני הרש"קים של האיום, תוך כדי מניעת ייזום סימפטי, כלומר נזק הדדי בין שתי קומות המיגון.

יצוא

בעקבות החשיפה לאחר מלחמת של"ג של יישום המיגון הראקטיבי והרכבו, אישר משרד הביטחון לרפא"ל בשנות השמונים להציע ולשווק את המוצר לשוק הבינלאומי.

בסוף שנות השמונים, רפא"ל התמודדה על מכרז אמריקאי אתגרי, לפיתוח מיגון ראקטיבי ויישומו על נגמ"ש הלחימה "ברדלי" (M2). זו הייתה והינה תכנית המיגון הראקטיבי הבינלאומית החשובה והיוקרתית ביותר במערב. נדרשה רמת מיגון גבוהה ביותר במגבלות נוקשות של משקל מותר. רפא"ל הצטוותה עם חברת General Dynamics (GD) האמריקאית, כאשר רפא"ל הייתה המפתחת והסמכות הטכנית וחברת GD שותפה לשיווק ולייצור. ארבעה צוותים בינלאומיים התמודדו בתחרות זו שנמשכה כחמש שנים. מעל 1,000 מבחני קווליפיקציה בוצעו ע"י הלקוח לבחינת פתרון רפא"ל. כל מבחני השרידות, הסביבה, הבטיחות והכשירות הוכתרו בהצלחה מלאה. בשנת 1993 הוכרזה הזכייה של צוות רפא"ל/GD. בעקבות זכייה חשובה זו, התקבלו בשנים 1995-2010 הזמנות ליצור ולאספקה של 2,550 ערכות מיגון ראקטיבי ל"ברדלי", בסכום כולל של כ-750,000 דולר!



איור 4 - רק"מ הלחימה האמריקאי "ברדלי" מצויד במיגון ראקטיבי מוסף של רפא"ל

זו היא תכנית המיגון הראקטיבי החשובה, האתגרית והיוקרתית ביותר במערב. 2,550 ערכות מיגון סופקו ללקוח. ביצועי המיגון הראקטיבי בקרבות זכו לדוחות מעולים של צבא ארה"ב

שיא הצלחת המיגון הראקטיבי של הברדלי היה במלחמת עיראק (בשנים 2003-2011). עם פרוץ המלחמה, חרף דרישה נחרצת של צבא ארה"ב לצייד את הכוחות במיגון הראקטיבי, היו עדיין היסוסים בפנטגון שמא יישום מיגון ראקטיבי, המכיל חנ"מ, אינו בטוח דיו בשדה קרב, עתיר רסיסים. זאת, למרות שהמיגון עמד בהצלחה בכל מבחני הבטיחות. הספק נבע מסיכון סביבתי כתוצאה מפיצוץ אריחי המיגון הראקטיבי ("collateral damage") - סיכון לכוחות ידידותיים. הצבא ערך מבחני ראויה השוואתיים. בוצע מבחן ייחוס, בו הוצב נגמ"ש "ברדלי" שעליו הותקן המיגון הראקטיבי, ערוך לקרב, בתוך זירה, מוקף בלוחות עדות לשם מדידת הרס הסביבתי שנוצר. על הנגמ"ש נורתה רקטת אר.פי.ג'י. המיגון פעל כצפוי: לא הייתה חדירה, ולא נגרם נזק לנגמ"ש. על גבי לוחות העדות נמדד רסס מזערי. אחר כך בוצע מבחן דומה, ללא מיגון ראקטיבי. דופן הנגמ"ש נחדרה, התחמושת, הטילים והדלק הוצתו או התפוצצו, צריח הנגמ"ש נעתק ממקומו, השיחים בשדה הניסויים בערו וזירת לוחות העדות "נעלמה". האישור להתקנת המיגון הראקטיבי על הנגמ"שים הלוחמים, ניתן.

ביצועי המיגון הראקטיבי בקרבות זכו לדוחות מעולים של צבא ארה"ב. רפא"ל קיבלה מכתבי תודה מרגשים מהכוחות הלוחמים. באחד האירועים, נקלע נגמ"ש "ברדלי" למארב עיראקי וספג שמונה פגיעות של רקטות אר.פי.ג'י. המיגון פעל כצפוי והצוות יצא ללא פגע.

בתקופת המלחמה, רפאל והשותף, GD, קיבלו הזמנות יצור גדולות ודחופות. הייצור התחלק בין שתי החברות שווה בשווה. קווי הייצור של רפאל פעלו ברציפות 24 שעות ביממה. כל ערכות המיגון שיצרה רפאל, הוטסו ישירות לכווית, והותקנו, תוך מספר שעות, על גבי הכלים הלוחמים.

בשנים האחרונות של המלחמה, גבר איום מטעני הצד אשר גבה מחיר כבד בקרב הכוחות האמריקאים. צבא ארה"ב הזמין ברפאל פרויקט חירום לפיתוח מיגון ראקטיבי לאזור ה"חצאית" (צד תחתון). המיגון, באזור זה, נדרש להגן על הפלטרומה גם נגד מטעני צד. מטעני הצד מסוג EFP אינם מייצרים סילונים, אלא קליעים (slugs) רובוסטיים אשר עצירתם דרשה פיתוח מיגון ראקטיבי המכיל חנ"מ ייעודי. הפיתוח הושלם תוך מספר חודשים, נבחן ע"י הלקוח ואושר להצטיידות. רפאל ייצרה מעל 700 ערכות מיגון חצאית וסיפקה אותם ללקוח.

כאות הוקרה לתרומת מיגון רפאל למאמץ המלחמתי, ממשלת ארה"ב העניקה לרפאל תעודות הוקרה ומדליות. רפאל זכתה להכרה בינלאומית כחברה מובילה בעולם ביישומי טכנולוגיה של מיגון ראקטיבי.



“...As a result of delivering a quality battle proven product, the lives of many US Soldiers and Marines were saved”

שתי דוגמאות לתעודות הוקרה ממשלת ארה"ב שהוקדשה לתרומת רפאל למאמץ המלחמתי בעיראק. רפאל זכתה להכרה בינלאומית כחברה מובילה בעולם, ביישומי טכנולוגיות מיגון ראקטיבי

במרוצת השנים, רפאל זכתה במכרזים בינלאומיים נוספים למיגון ראקטיבי מוסף, וקיבלה הזמנות גדולות לפיתוח, יישום וייצור של מיגון ראקטיבי לארה"ב (שני פרויקטים), בריטניה (שלושה פרויקטים), הולנד, גרמניה, סלובניה ומדינות נוספות. הזמנות אלו, כוללות פיתוח ואספקת מיגון ראקטיבי לפלטפורמות הלחימה המובילות במערב. האחרון שבהם היה יישום מיגון ראקטיבי ל"פומה" הגרמני, לאחר שבמשך עשרות שנים דחה משרד הביטחון הגרמני יישומי מיגון ראקטיבי משיקולי סיכון סביבתי. במשך שנתיים הוא ביצע מבחני קווליפיקציה אינטנסיביים של מיגון רפאל. המבחנים הוכתרו בהצלחה ואושרו להצטיידות והתקנה על גבי ה"פומה" שנחשב לנגמ"ש הלחימה המודרני והמתקדם ביותר במערב.

הכנסות רפאל ממכירת ערכות המיגון הראקטיבי אשר סיפקה לפרויקטי יצוא, מסתכם בקרוב למיליארד דולר אמריקאי!

יש לציין שהספקית הגדולה ביותר בעולם למיגון ראקטיבי היא רוסיה. בתקופת ברית המועצות, היא פיתחה וסיפקה אלפי ערכות מיגון ראקטיבי לציי הטנקים של כל צבאות הגוש המזרחי. כיום, אחדות ממדינות אלו, מעדיפות את המיגון הראקטיבי של רפאל, בזכות רמת אבטחת האיכות והבטיחות של טכנולוגית רפאל.

פיתוחים חדשים

רפאל ממשיכה, בהתמדה, לפתח טכנולוגיות ויכולות מתקדמות ואתגריות של מיגון ראקטיבי ובהן: הגדלת רמת המיגון ויעילותו, תוך הקטנת משקלו. פיתוח מיגון ראקטיבי חדשני המסוגל לנטרל טילי נ"ט מתקדמים, המגיעים בכל זווית תקיפה ובכל נקודת פגיעה, תוך עמידה במגבלות נוקשות של משקל. מיגון כזה הוא רב שכבתי, הכולל חפיפות בין קסטות, במטרה למנוע אפקטי קצה כתוצאה מפגיעה בשולי הקסטות. מיגון ראקטיבי כנגד מטעני צד גדולים מטיפוס "קלע" (EFP); מיגון כנגד פגזי טנקים מודרניים וחודרנים תמירים; ומיגון גג להגנה כנגד איזמים עיליים (טילים, רקטות, פצצונות).

לצד ההובלה העולמית של רפאל בפיתוח "מעיל רוח" - הגנה אקטיבית (Active Protection System) ויישומה, רפאל מפתחת "מיגון ראקטיבי משלים" לטכנולוגיה זו. השילוב של ההגנה האקטיבית עם המיגון המשלים מציע מיגון שלם ומיוביי להגנת רק"מ כנגד איזמי טילים ורקטות המתקדמים ביותר.