

# פרויקט "זוויתן" (<sup>1</sup>"DERBY")

פיתוח, ייצור, מכירה ושיווק של טיל אוויר/אוויר מונחה מכ"ם

ד"ר מיכה בועזון<sup>2</sup> וד"ר ארנון גילן<sup>3</sup>

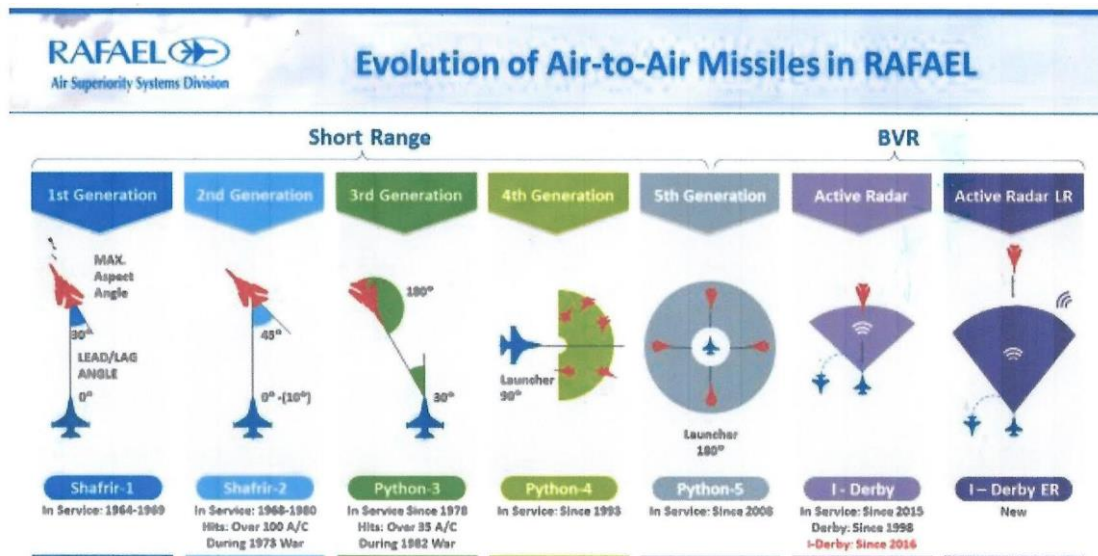
כתבה מספר 45 בסדרת כתבות על היסטוריית רפאל בעריכת דר' ראובן אשל<sup>4</sup>

## 1. מבוא והיסטוריה

בשלהי שנות ה-80 של המאה הקודמת, לקוח מסוים הזמין בתעשייה האווירית מספר לא קטן של מטוסי קרב מבוססים על תצורת מטוס ה"כפיר".

בין שאר הדרישות של הלקוח הייתה דרישה לחימוש של טילי אוויר/אוויר לטווח בינוני עם ראש ביות מכ"ם-אקטיבי (מה שמכונה טילי BEYOND VISUAL RANGE - BVR). סדר גודל הטווח של טילים אלה הוא מעל 40 ק"מ. בנמצא היו בקבוצה זו רק טילי AMRAAM אמריקאיים שמסיבות מדיניות לא היה ניתן לספקם ללקוח זה.

"בית טילי אוויר/אוויר" בישראל הינה רפאל. כאמור, הלקוח דרש שהספק יפתח ויספק טילים לטווח בינוני, עם ראש ביות מכ"מי. טילי רפאל עד אז היו "טילי חום" עם ראש ביות אינפרא-אדום (IR), ומוגבלים לטווחים עד כ 20 ק"מ.



1 Unclassified | Proprietary of Rafael - Advanced Defense Systems Ltd.

## איור 1 – התפתחות שבעה דורות של טילי אוויר-אוויר תוצרת רפאל

לתעשייה האווירית יש מפעל לפיתוח וייצור טילים בשם "מב"ת" והיא רצתה שמפעל זה יפתח את הטילים לפרויקט. רפאל טענה שהיא אחראית על פיתוח טילי אוויר-אוויר בישראל. משרד הביטחון נקבע כבורר והוא קבע שהקבלן הראשי לטילים אכן תהיה רפאל.

<sup>1</sup> קוד הפרויקט לצורכי יצוא

<sup>2</sup> ראש הפרויקט שסיים את הפיתוח

<sup>3</sup> ראש הפרויקט שהחל את הפיתוח

<sup>4</sup> ראש ענף היסטוריה (בדימוס)

אבל לרפאל לא היה אז הידע הדרוש לפיתוח ראש ביות מכ"מי ולכן הוחלט שמפעל מב"ת יפתח את ראש הביות בקבלנות משנה לרפאל.

נקבע גם שהשותפות בין שני המפעלים תתחלק בתקבולים: קצת יותר מחצי לרפאל, קצת פחות מחצי למב"ת. בראש הבית המכ"מי יש משדר מיוחד, שהוזמן בקבלנות משנה במפעל אל"ת"א של התעשייה האווירית. הראדום (הכיסוי האווירודינמי של חרטום הטיל) הוזמן בקבלנות משנה בחטיבת אלקטרוניקה של רפאל בשיתוף מפעל שמחו"ת<sup>5</sup> שלה, ומערכת הניווט האינרציאלית הוזמנה בקבלנות משנה במפעל תמ"מ (תעשיית מדויקות) של התעשייה האווירית. בקיצור-שרשרת מעניינת של קבלנויות ראשיות ומשניות.

חיל האוויר, שרכש טילי AMRAAM אמריקניים במסגרת כספי הסיוע, לא התכוון לרכוש בשלב זה גם את הטיל שלנו, אך ליווה את הפרויקט בשירותי ניסויים, וגם דרש שהטילים יותאמו לחימוש מטוסי F16 שלו.



## איור 2 - טיל "זוויתן" ("DERBY" לצרכי יצוא)

### 2. מהלך הפיתוח

#### המפרט הטכני והתכולה

קצרה היריעה מלפרט את המפרט הטכני המלא (שנכתב במשך כשנה ע"י ראש הפרויקט הראשון - דר' ארנון גילן).

עיקרי המפרט:

-טיל אוויר-אוויר לטווחים בינוניים, מונחה מכ"ם אקטיבי.

-משקל הטיל – כ-120 ק"ג.

-מנוע רקטי עם שתי רמות דחף - מאיץ ושייט.

-מרעום קרבה אקטיבי.

-סרוו פניאומטי.

-טווח ראש הביות המכמ"י של הטיל: 12 ק"מ לגילוי ונעילה על מטרות מטוסי קרב בכל זוויות הצידוד טרם השיגור וגם אחריו (לראשונה ברפאל).

-תצורה אווירודינמית מותאמת למהירות על-קולית ולטווח בינוני - ולכן בעל ראדום בצורת אוגיב מחודד.

-תכולת הפרויקט תכלול טילים, נושאי טילים (נט"לים), חלפים, מערכת תמיכה (ILS), צב"דים (ציודי בדיקה) בדרגים השונים ודרישה גדולה לקניית גומלין (OFFSET = OS).

<sup>5</sup> שטח מחקר חומרים ותהליכים

## פערי ידע

הפרויקט היה חלקית ברמה 4 "בסולם בונן", כלומר אין לו הוכחת היתכנות.

הנעלם הראשי היה ראש הביות: האם ניתן לזווד מכ"ם אקטיבי כדוגמת מכ"ם F16 לקוטר 160 מ"מ ובמשקל ונפח דומים לראש ביות אינפרא-אדום? רווחה אז הדעה שהדבר בלתי אפשרי, אפילו אם כן, זה ייקח שנים רבות לפתח. (דעה שהופרכה במהלך הפיתוח).

שאר חלקי הטיל היו אמורים להיות מבוססים על "פיתון 4". קוטר 160 מ"מ היה הקוטר המסורתי של טילי אוויר-אוויר של רפאל מאז "שפיר 2".

רווחה אז גם הדעה שטילים מונחי מכ"ם הם בעלי "מרחק החטאה" גדול יותר מטילי IR ולכן נדרש הקוטר המינימלי של 160 מ"מ. (בסופו של דבר הוכח שגם זה לא היה נכון). למרבה הצער מכל מכלולי הטיל רק הקוטר והסרוו להנעת ההגאים נשארו מה"פיתון-4". כל שאר המכלולים: מנוע רקטי, ראדום, מרעום קרבה, רש"ק ומשטחים אווירודינמיים, פותחו מחדש.

מפעל מב"ת עשה עבודה מעולה בפיתוח ראש הביות, כפי שנראה בהמשך בפרק המוקדש לניסויים, אם כי תוך חריגה משמעותית מלוח הזמנים.

## שלב הפיתוח

הפיתוח היה אמור להימשך חמש עד שבע שנים.

בשלב הראשון פותחה תצורה אווירודינמית. בניגוד לטילי IR שיש להם חרטום כדורי, היה צורך פה בטיל מאד אווירודינמי (כלומר בעל מקדם התנגדות נמוך מאד) ולכן היה צריך ראדום (חיפוי קדמית) אווירודינמי "חד" (גם בגלל צרכי המכ"ם). בוצעו ניסויי מנהרה וגם ניסויי ירי של טילי תצורה בהן נבחנו הטווח והתמרון.

לצורך פיתוח ראש הביות בוצעו ניסויים "קשורים" רבים-תחילה עם הרכיבים שזוודו בתוך מיכל תקשורת גדול, ובהמשך בקוטר הנכון. כמו כן נעזרו רבות בסימולטור "סמל" שנבנה במכון לשם לבדיקת ואישור ראש הביות. סימולציות אלה חסכו בהמשך ניסויי ביות רבים ויקרים, ושימשו בהמשך גם פרויקטים נוספים

השלב הבא היה ניסויי טיסה. בוצעו כאמור ניסויים קשורים (מול מטרות כגון מטוס "עייט") וניסויי ביות (על מל"טי "שדמית" עליהם נפרט בהמשך).

בחוזה נדרשנו לבצע עשרה ניסויי ביות מוצלחים, כשתרשישי הניסויים היו מבוססים על מעטפת השיגור של הטיל. הניסויים בוצעו תחילה ממטוסי "כפיר" של התע"א ולאחר מכן ממטוסי F16 של חיל האוויר. שני ניסויים אחרונים בוצעו ממטוסים של הלקוח בארצו.

## 3. תקלות ובעיות במהלך הפיתוח

כמו בכל פרויקט הפיתוח היה מלווה בתקלות רבות, שנמנה כאן את העיקריות שבהן:

### א. מכ"ם המטוס

בעיה עיקרית של התע"א מול הלקוח. מסתבר שמכ"ם המטוס (שהיה של אלת"א, ומבוסס על מכ"ם ה"לביא") עמד במפרט שלו, אך תע"א לא הייתה מוכנה להתחייב על כך "בכתב". הדבר גרר משברים וויכוחים רבים עם הלקוח, עד אשר לבסוף הוסכם שאם יבוצעו ניסויים שיוכיחו שהמכ"ם עומד בביצועים הנדרשים, זה יספק גם אם לא תהיה התחייבות בכתב.

## ב. פיתוח ראש הביות (רב"ת)

פיתוח הרב"ת נמשך הרבה יותר זמן ממה שנקבע בחוזה: מפעל בגרמניה שהיה צריך לפתח את שפופרת המשדר נשרף, ומפעל אל"ת"א של התעשייה האווירית נרתם לפתח משדר במוד חרום - ופיתח בהצלחה את המשדר במשך שלוש שנים.

במהלך הפיתוח הוקמה בכספי רפאל מעבדת סימולציה "סמל" לבדיקת ביצועי ראש הביות ואנשי מב"ת "שכנו" ברפאל חודשים רבים. סימולציות אלה חסנו הרבה ניסויי ביות יקרים. ועד מהרה החזירו את כספי ההשקעה בסך 15 מליון דולר!

יש לציין שבגלל הסודיות שוכן הפרויקט במתחם סגור ומאובטח במבנה 100 במכון "לשם".

## ג. המצבר התרמי

מצבר תרמי הוא מצבר חד-פעמי שמאוחסן זמן רב ומופעל רק עם שיגור הטיל ואז מספק את המתחים הדרושים תוך כשנייה ולמשך כל זמן המעוף. לרפאל ניסיון רב בפיתוח מצברים תרמיים ואף יש לה מפעל לייצור מצברים כאלה.

הרעיון היה להשתמש בשני מצברים של "פיתון" (היה צורך בשניים כאלה כדי לספק מתחים גבוהים לראש הביות המכ"מי). הסתבר שתחילה החיבור בין המצברים לא היה נכון ובאחד הניסויים נוצר קצר פנימי שגרם לנפילת המתח ואובדן הטיל). תקלה זו גרמה לפיגור בתכנית של כמעט שנה, אך התגברנו עליה לבסוף בפתרון מאד פשוט: החלפה בין שני חוטים בחיבורים.

## ד. בעיות ניהול

בעקבות הפיגורים שהצטברו בפיתוח, הלקוח "איבד סבלנות" ואיים להפסיק את הפרויקט. דיונים ממושכים ברמות בכירות (כולל ראשי חטיבות ברפאל ובתע"א) הביאו לארגון מחדש בעיקר במב"ת. בוצעו מספר חילופי מנהלים וגם נקבעה תכנית התאוששות, (על דעת הלקוח) עם שינויים שנבעו גם מזה שמטוסי הלקוח עמדו להישלח לארצו. לכן הוחלט שנבצע ניסוי ביות ממטוס הלקוח האחרון לפני עוזבו את הארץ, ושני ניסויי ביות אחרונים בארץ הלקוח.

## ה. העברת ידע של צד ג'

גם באל"ת"א וגם ברפאל היו גופים שלא הסכימו להעביר ידע שכונה על ידם "ידע צד ג'" (מב"ת על ידע של אל"ת"א, ורפאל על ידע בסיסי של ייצור המנוע הרקטי בחטיבת מנור).

הדבר גרם למשברים רבים עם הלקוח שטען שהידע מגיע לו על פי הפרק (הנכבד) בחוזה של העברת ידע. הלקוח אף איים שיתבע את המדינה על הפרת חוזה בבית הדין הבינלאומי!

אחרי הרבה מריבות, דיונים ובורריות, כולל עם מנהלים בכירים, הגענו לפשרות.

## 4. ניסויים ומטוס המטרה

### 4.1 הניסויים

תכנית הניסויים הייתה מאד מפורטת וכללה כאמור ניסויי מעבדה, ניסויים קשורים, ניסוי תצורה ובקרה, בדיקות אישור תיכון (QUALIFICATION) וגולת הכותרת - ניסויי ביות. בחוזה נקבע שיש לבצע עשרה ניסויי ביות מוצלחים בתרחישים שונים מתוך גזרת הירי של הטיל. כל הניסויים הסתיימו בהצלחה מלאה (השניים שנכשלו בגלל המצבר נקבעו כ "NO TEST").

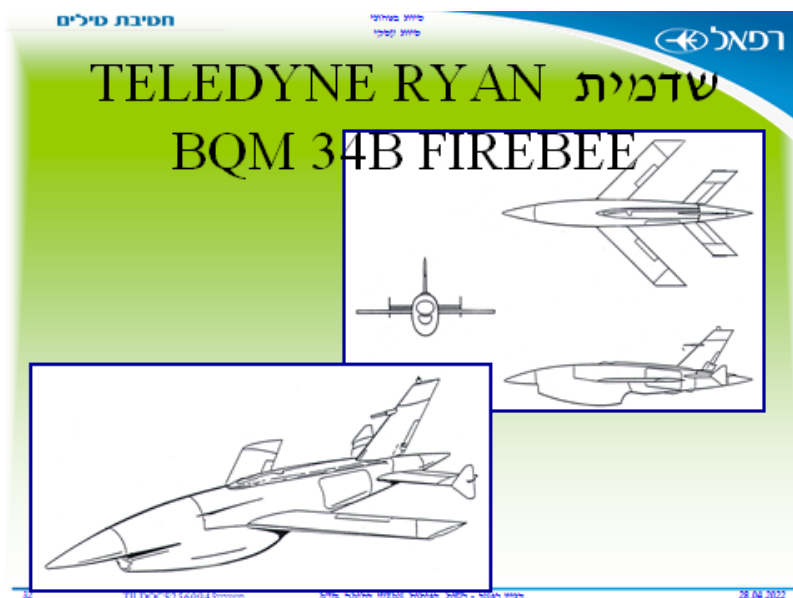
מרחק ההחטאה הממוצע היה שניים-שלושה מטרים, וחלק מהניסויים הסתיים אפילו בפגיעה ישירה במטרה. כדאי לציין שטילי אוויר-אוויר בדרך כלל אינם פוגעים ישירות במטרה, אלא חולפים על ידה. המרחק המינימלי בין הטיל והמטרה נקרא "מרחק החטאה".

מרחקי ההחטאה היו דומים לאלה של טילי חום (בניגוד ומעבר לצפוי) בזכות אלגוריתמי END GAME מתקדמים שפותחו ע"י קבוצת המערכת בסיוע חוקרים משטח סמל"א.

## 4.2 מטוסי מטרה

מטוס מטרה לניסויי טילי אוויר/אוויר צריך להיות כמובן מטוס ללא טייס (מל"ט) בגודל דומה למטוס קרב ועם ביצועים דומים לו.

המל"ט שהיה לחיל האוויר לטובת ניסויי הפיתוח והקבלה של טילי "פיתון" היה מסוג FIREBEE של חברת RYAN וכינויו היה "שדמית". מכיוון שאזלו ה"שדמיות" בחיל האוויר, נרכשו מכספי הפרויקט חמש "שדמיות" חדשות. ניהול ההזמנה היה על חיל אוויר. הצלחה יתרה של הניסויים (כלומר פגיעה ישירה, שמשמעותה אי הישרדות) נלקחה בחשבון בחישוב כמות ה"שדמיות" בהזמנה. השח"ם (שטח חתך מכ"מי) של ה"שדמית" היה נמוך מדי, ולכן הוספו להן שני מכלים (PODS) ובהם "עדשות לונברג" להגברת השח"ם. בזאת פיצנו על כך שה"שדמית" קטנה באופן משמעותי ממטוס קרב ממוצע.



### איור 3 - מטוס המטרה - "שדמית"

ה"שדמיות" הופעלו ע"י טייסת 200 של חיל האוויר. ה"שדמית" המריאה בבסיס פלמחים בעזרת מנוע האצה רקטי, טסה לאזור "שדמה" (שדה הניסויים של רפאל בנגב), ביצעה את התמרונים לניסוי, ואם לא הייתה פגיעה ישירה, הונצלה לאדמת שדה הניסויים בעזרת מצנח, ופונתה חזרה לבסיס פלמחים באמצעות מסוק. כאמור חלק מהניסויים נסתיימו פגיעה ישירה (ולא חייבו הנצלה...). בארץ הלקוח בוצעו הניסויים על מל"ט דומה מתוצרתו, ושהוכר לבסוף כחלק מרכש הגומלין.

מעניין היה הטיפול הלוגיסטי בהבאת הטילים, נושאי הטילים (נט"לים), האנשים והציוד לארץ הלקוח: השינוע של הציוד הגדול בוצע באחריות חברת שינוע של הלקוח (כחלק מקניות הגומלין). הציוד קטן-הממדים נארז ב-35 תיבות ונסע איתנו כמטען נלווה בטיסה מסחרית של "אל על". לא אשכח איך ספרנו וספרנו קופסאות ולא תמיד הצלחנו להגיע למספר 35!

## **OFFSET.5 (רכש גומלין)**

לפי דרישת הלקוח נקבע בחוזה (OS) OFFSET במחיר דולרי בשיעור כ-20% מערך העסקה. משמעות הדבר שהיה עלינו לקנות ממנו רכיבים, מכלולים ושירותים במסגרת OS ישיר ורכש כללי נוסף כ OS צבאי וכללי עקיף. ה OS טופל כנושא נפרד ובוצע בהצטיינות באחריות מנהל ה-OS בהנהלת רפאל על ידי **מר נפתלי מלכין**.

במסגרת ה OS הישיר נכללו:

-פיתוח וייצור הראש הקרבי (רש"ק)

-ייצור מנועים רקטיים

-ייצור מנוע הסרוו

-ייצור משטחים אווירודינמיים

-שרותי שדה הניסויים

-שינוע ושירותים נוספים.

בסופו של דבר עמדנו בכבוד גם בחלק זה של החוזה.

## **6.ניהול הפרויקט**

ברפאל נקבעה מינהלה מיוחדת, שהייתה עצמאית בהתחלה, ושולבה בהמשך לתוך מנהלת אוויר-אוויר בחטיבת הטיילים.

מינהלה מיוחדת לפרויקט הוקמה גם במב"ת.

המינהלה ברפאל כללה כעשרים איש:

מינהלת הפרויקט: ראש פרויקט, מהנדס מערכת, סגן לתפעול, סגן לתכנון ובקרה (סת"ב), ממונה כספים ומהנדסי מערכת בדיסציפלינות השונות: בקרה, ניסויים, הנעה, אלקטרוניקה, מרעום קירבה, מכניקה ועוד. העבודה ההנדסית בוצעה בשיטת המטריצה בשטחי המחקר בחטיבות השונות.

המבנה ושיטת הניהול של הפרויקט שמשו בסיס לכתיבת "המדריך לניהול פרויקטי פיתוח ברפאל", שנכתב ביוזמת המחבר הראשון ע"י צוות בניהול, בחסות הסמנכ"ל למו"פ דאז - **דר' דני לשם**, ומשמש עדיין, יחד עם המדריך להנדסת מערכת ברפאל, שנכתב בערך באותו הזמן, כנר לרגלי ראשי פרויקטים ברפאל ומקומות אחרים.

על הפרויקט עצמו עבדו ברפאל כ-100-150 איש בשנה (ומספר דומה במב"ת), במשך כ-20 שנים (1990 עד 2002). יש לציין שנציגי הלקוח ליוו את הפרויקט בארץ בצורה צמודה ע"י צוות של כעשרים איש שעבדו בשלושה מוקדים: ברפאל, במב"ת ובמשרד טכני שלהם בנתניה. הטיל שנמסר ללקוח עמד במלוא המפרט, ולפעמים גם מעבר לו.

צוות הפרויקט זכה בפרס רפאל על מילוי משימה למופת, והפרויקט זכה במקום שני כפרויקט פיתוח מצטיין על ידי הלקוח. קוריוז בעניין זה: הפרס הזוכה ע"י הלקוח הוכרז רק בטקס החלוקה (כדוגמת האוסקר) והפרס הוענק למערכת מקומית אחרת, כי המערכת שלנו לא פותחה ע"י מדעני הלקוח, אלא על ידי "זרים". ראשי הפרויקט הרפאלי היו חלק מהצוות שהיה מועמד לפרס.

## 7. שיווק

עם המעבר לשלב השיווק הוחלט ביחידת הביטחון לשנות את שם הפרויקט ל"DERBY" שגם נשמע יותר קליט לאוזניים זרות מ"זוויתן".

הלקוח ציפה שיוכל לייצר ולשווק את הטיל בעולם. לכן בחוזה הוא דרש וקיבל את כל דוחות הפיתוח וסימוכי הייצור של הידע שפותח עבורו ברפאל ובמב"ת (אבל, כאמור, לא מה שפותח אצל קבלני המשנה).

בחוזה סוכם בין רפאל והלקוח על "חלוקת העולם" למדינות שיווק של רפאל ומדינות שיווק של הלקוח, וכן מדינות אסורות על שני הצדדים משיקולי ביטחון. כל זה נעשה במעורבות ובפיקח של אפי" - אגף פיקוח על היצוא הביטחוני במשהב"ט (לשעבר סיב"ט).

כטיל אוויר-אוויר "נטו" הפרויקט שווק למספר מדינות "מסורתיות". לא ידוע לנו שהלקוח מצידו הצליח לשווק אותו.

## 8 . SPIN OFF (פרויקטי נגזרת)

עם ירידת הביקוש לטילי אוויר/אוויר בעולם, רפאל פיתחה מערכת קרקעית נגד מטוסים (נ"מ) בשם SPYDER בה היו משולבים טילי "דרבי" ו"פיתון". מערכת זאת הייתה מאד מוצלחת ונמכרה למדינות רבות, שחלקן אף השתמשו בהן בהצלחה מבצעית. פותחו גם דורות המשך. בעקבות זאת רפאל לא רצתה להיות תלויה יותר במב"ת ופיתחה ראש ביות מכ"מי משלה מבוסס על אלקטרוניקת מצב מוצק משלה. כמו כן פותחו דגמי טיל לטווחים ארוכים יותר ע"י הוספת מאיץ רקטי נוסף כ BOOSTER.



איור 4 - מערכת SPYDER משגרת טיל "דרבי"

## 9. סיכום

פרויקט "זוויתן" הוא אחד מפרויקטי הפיתוח הגדולים והמוצלחים ברפאל. הפרויקט עמד בחוזה מבחינת הביצועים וההוצאות ואף שמר על רווחיות יפה. הפיגור בזמן הפיתוח נסגר חלקית בזמן האספקות ונחשב כסביר לפרויקט מסובך מסדר גודל זה. כאמור הפרויקט זכה בפרס רפאל על עמידה במשימה (מאחר שלא סופק גם לצה"ל, לא זכה לפרס ביטחון) כמו כן זכה במקום שני לפיתוח מצטיין בארץ הלקוח.

כיום הפרויקט ומוצריו ממשיכים להיות חלק נכבד ממוצרי רפאל המשווקים ללקוחות בעולם.