



# ביעף

תעופה וחלל

מהדורה אלקטרונית



- טייסת שנייה של מטוסי F-35A אדיר תוקם בסוף העשור
- מטוסי ה-M-346 לביא האיטלקיים נחנכו בטקס בחצרים
- מטוסי קאפרוני במוזיאונים באיטליה
- חדשות התעופה בישראל ● ספרים ביעף

## התוכן

### חדשות ביעף:

3	חיל האוויר
6	תעשיות ביטחוניות
10	תעשיות ביטחוניות – כטב"מים
12	תעשיות ביטחוניות בעולם
14	טכניון
14	חברות תעופה ישראליות

### מוזיאונים לתעופה בעולם:

15	מוזיאון קאפרוני באיטליה
17	מוזיאון קאפרוני במוזיאון וולאנדיה באיטליה
19	ספרים ביעף

**בשער:** מטוס הקרב החמקן לוקהיד מרטין F-35A לייטנינג II, שייקרא בישראל אדיר.

## דבר העורך

משרד הביטחון מבקש לקדם עסקת רכש חדשה של מטוסי F-35A אדיר, מתוך כוונה להשלים את הכמות הכוללת ל-50 מטוסים, שיצידו שתי טייסות מלאות. כמו בעסקאות קודמות עם ארה"ב, רכש המטוסים ימומן בכספי הסיוע הצבאי האמריקני (שהיקפו יותר מ-3 מיליארד דולר בשנה), בפריסה למספר שנים. בנוסף, מתחייבת יצרנית המטוס, לוקהיד מרטין, לחתום על חוזה שיתוף פעולה משמעותיים ביותר עם תעשיות ביטחוניות ישראליות. כבר בשלב זה, העניקה לוקהיד מרטין לתעשייה האווירית לישראל חוזה לייצור יותר מ-800 מעטי כנפיים למטוסי F-35 למשך כ-15 שנים, בהיקף כספי כולל של כ-2.5 מיליארד דולר (ראה עמ' 6). עסקת רכש כה גדולה, המשעבדת חלק ניכר מכספי הסיוע הצבאי האמריקני בשנים הקרובות, מעוררת כצפוי התנגדות בקרב אחדים משרי הממשלה, הטוענים כי עדיף להפנות חלק מהכספים לצרכים דחופים יותר של כוחות היבשה בצה"ל. כך היה גם לפני החתימה על עסקת הרכש הקודמת של מטוסי אדיר בשנת 2010. ההתנגדות בממשלה הובילה לקיצוץ היקף ההזמנה הנוכחית מ-31 ל-14 מטוסים בלבד, אך סביר להניח כי הכמות החסרה תושלם בהזמנה עתידית. מדינת ישראל חייבת להצטייד בעשרות מטוסי קרב חדשים בכל עשור, כדי לשמור על גודל נדרש של סדר הכוחות (סד"כ) האווירי וכדי לקיים עליונות איכותית. תפיסת הביטחון של ישראל גורסת זה עשרות שנים, כי חיל האוויר חייב להצטייד במטוסי הקרב המתקדמים ביותר שניתן להשיג, הן כגורם הרתעתי והן כדי להיות מסוגל לבצע באופן מיטבי משימות תובעניות. אמת, כדי לתקוף ולהשמיד מטרות טרור של החמאס ברצועת עזה ושל החיזבאללה בלבנון לא חייבים מטוסי קרב סופר-מתוחכמים מהדור החמישי, כמו ה-F-35. גם כדי להבטיח את הגנת שמי המדינה ולמנוע חדירת כלי-טיס עוינים (מאוישים ובלתי מאוישים) לא חייבים להשתמש במטוס חמקן כמו האדיר. יחד עם זאת, אי אפשר לחזות בוודאות מה יהיו האיומים על מדינת ישראל בעשור הבא, וחייבים להיות מוכנים להתמודד בצורה הטובה ביותר עם התרחיש החמור ביותר. כפי שתיארת בדבר העורך ב"ביעף" e114, הסד"כ הנוכחי של מטוסי הקרב בחיל האוויר הולך ומתיישן. בשנת 2020, גילם של מטוסי ה-F-15 בזי יגיע ל-28 עד 42 שנים; מטוסי ה-F-16C/D ברק יהיו בני 27 עד 33 שנים; מטוסי ה-F-15I רעם יהיו כבר בני 22 שנים; רק מטוסי ה-F-16I סופה יהיו צעירים יחסית, בני 11 עד 16 שנים. החיל יהיה חייב להוציא משירות את המטוסים הישנים יותר, שתחזוקתם תהפוך לבלתי נסבלת וזמינותם תהיה נמוכה מאוד. בנוסף, הסד"כ הולך וקטן בעשרות מטוסים כבר במהלך העשור הנוכחי, עם הוצאתם משירות של מטוסי ה-F-16A/B נץ. קיימת אמונה האפשרות לרכוש עוד מטוסי F-16I או F-15I עם שיפורים קלים, אלא שהחיסכון הכספי לא יהיה גדול במיוחד. חילות האוויר המובילים בעולם התלבטו לא מעט, והחליטו בסופו של דבר: ה-F-35 הוא הבחירה המתאימה ביותר להפעלה מבצעית בשנות ה-20' והלאה של המאה ה-21. רשימת הלוקוחות הולכת ומתארכת בהתמדה. כבר עתה כוללת הרשימה 12 מדינות: אוסטרליה, איטליה, ארה"ב, בריטניה, דנמרק, הולנד, טורקיה, יפן, ישראל, נורווגיה, קוריאה וקנדה. מדינות נוספות לבטח יצטרפו בשנים הבאות.

יהודה בורוביק



מהדורה אלקטרונית e130  
כסלו תשע"ה – נובמבר 2014

בחסות  
האגודה למדעי התעופה  
והחלל בישראל

[www.aerospace.org.il](http://www.aerospace.org.il)

ביעף נוסד בשנת 1972.

מו"ל ועורך אחראי: יהודה בורוביק

דוא"ל: [biaf@aerospace.org.il](mailto:biaf@aerospace.org.il)

חבר מערכת: נעם הרטוך

מחיר המינוני: 118 ש"ח לשנה.

© כל הזכויות שמורות ל"ביעף".

מהדורה אלקטרונית זו מיועדת לשימוש  
הבלעדי של המנוי אליו נשלח העיתון.  
העברה, הפצה או העתקה של הקובץ  
ותוכנו אסורים בהחלט.

BIAF - Israel Aerospace e-Magazine

Publisher & Editor: Yehuda Borovik

E-mail: [biaf@aerospace.org.il](mailto:biaf@aerospace.org.il)

Copyright © 2014 BIAF.

All rights reserved.

This electronic version is  
intended for the sole use of the  
intended subscriber. Any pass-along  
distribution, repurposing, or  
duplication of this file is forbidden.

# מטוסי הלבאי האיטלקיים נחנכו בטקס חגיגי בחצרים



מפקד חיל האוויר, אלוף אמיר אשל (מימין), ומפקד בסיס חצרים, תא"ל ניר ברקן (משמאל), הדביקו את סמל טייסת הנמר המעופף על זנב מטוס הלבאי הראשון (מס' 102).

שני מטוסי ה-M-346 לביא הראשונים הגיעו לישראל כבר ב-9 ביולי (כפי שדיווחנו בגיליון הקודם), אולם מכיוון שהיה זה בעיצומו של מבצע "צוק איתן" לא ניתן היה לקיים אז אירוע קבלה חגיגי.

טקס ההשקה של מטוסי הלבאי נערך בבסיס חצרים ארבעה חודשים מאוחר יותר, ב-6 בנובמבר, עם הגעתו של המטוס החמישי מאיטליה. לטקס הגיע מנהל העסקים הראשי של חברת אלניה-אירמאקי, ג'וזפה ג'יאורדו, וכיבד את האירוע בנוכחותו שגריר איטליה בישראל, פרנצ'סקו מאריה טאלו.

"בחרנו את מטוס ההדרכה הטוב בעולם", אמר מפקד חיל האוויר, אלוף אמיר אשל, בדברי ברכתו בטקס. "המטוס הוא רק חלק מתפיסת הדרכה חדשנית, הכוללת מאמנים (סימולטורים) מתקדמים ומקושרים, ומערכות אימון אוויריות וירטואליות המדמות את ההתרחשויות בשדה הקרב ואת האתגרים שבפניהם מתייצבים. ההכשרה באמצעות מטוס הלבאי תהווה קפיצת מדרגה איכותית ביחס למציאות נוכחית, ותביא לשיפור ניכר בהכשרת הטייסים והנוטים".

אלוף אשל הדגיש עוד, כי קליטת הלבאי מהווה אבן דרך בשיתוף הפעולה האסטרטגי עם איטליה, הטומן בחובו פוטנציאל רב להמשך ולמערכת היחסים המצוינת בין שני חילות האוויר.

סגן מפקד טייסת ההקמה שתפעיל את מטוסי הלבאי אמר בתדרוך לעיתונאים כי "זהו המטוס הכי נוח להדרכה שראיתי אי פעם", כאשר "המדריך בתא השני רואה כל דבר שקורה בתא הקדמי ויכול לשלוט בכל דבר". הוא ציין לשבח גם את נוחות הטיסה בלילה ואת השילוב המובנה של תצוגת קסדה עילית (תק"ע) בכל תא. הלבאי מחובר לרשת של חיל

האוויר, וכל מטוס אחר יכול לראות אותו באוויר. מבחינת אמצעי הבטיחות המתקדמים בלבאי, הזכיר סגן מפקד הטייסת שני אמצעים חשובים במיוחד: המערכת למניעת התנגשות בקרקע, שכוללת מסד נתונים של תוואי הקרקע במדינת ישראל; והמערכת לנעילת G, שמגבילה את קצב ההגברה של ספרות העומס בתמרון, כדי שגופו של הטייס יספיק להסתגל

והוא לא יתעלף (בניגוד למה שקורה ב-F-16, כאשר ניתן להגיע מ-1g ל-8g תוך כשנייה, והדבר גרם כבר לתאונות באימון טייסים). חידוש הדרכתי חשוב מאוד בלבאי הוא היכולת לאמן את חניכי הטיס בתפעול מערכות ואמצעי חימוש שאינם נישאים בפועל במטוס. יצרנית המטוס הטמיעה בלבאי את מערכת האימון המוטסת של אלביט מערכות, המכונה Embedded Virtual Avionics. מערכת EVA

מטוס האלניה-אירמאקי M-346 לביא החמישי (מס' 110) הגיע לבסיס חצרים ב-6 בנובמבר, מוטס בידי צוות איטלקי, והסיע לעבר רחבת הטקס.





שגריר איטליה בישראל, פרנצ'סקו מאריה טאלו, בתא הטייס של הלבאי, מקבל הסברים ממפקד חיל האוויר, אלוף אמיר אשל. מימין עומד מנהל העסקים הראשי של חברת אלניה-אירמאקי, ג'יוזפה ג'יאורדו. באמצע עומד שמואל צוקר, ראש מינהל ההרכשה והייצור (מנה"ר) במשרד הביטחון.

הוסכם, כי התע"א תהיה אמונה על התחזוקה השוטפת של המטוסים, ואלביט תהיה אחראית על המערכות והמאמנים.

בסוף יולי 2013 נבחרה חברת **כנפי תחזוקה** מקבוצת **כנפיים אחזקות** לטפל בתחזוקה השוטפת של מטוסי הלבאי, כקבלנית-משנה של התע"א. **כנפי תחזוקה** נשכרה לתקופה של כ-20 שנים, בעסקה שהיקפה הכולל כ-600 מיליון ש"ח.

**כנפי תחזוקה** עסקה גם בתחזוקתם של מטוסי העיט בחיל האוויר (אותם יחליפו מטוסי הלבאי), לפי הסכם שנחתם בשנת 2005. החברה מתחזקת גם מטוסים נוספים של חיל האוויר.

\*\*\*\*\*

כתבה מקיפה על ה-M-346 בעקבות ביקורנו במפעלי אלניה-אירמאקי פרסמנו ב"ביעף" e128 עמ' 9-13. על פרטי העסקה לרכישת מטוסי ה-M-346 מאיטליה ראה "ביעף" e121 עמ' 3.

תוכנית הלימודים מבוצעת באמצעות המאמן הקרקעי, כאשר המתאמנים מבקרים במרכז האימון על בסיס יומי.

סגן מפקד הטייסת הדגיש, כי המאמנים הקרקעיים המשוכללים מאפשרים לצמצם במידה ניכרת את מספר גיחות ההדרכה הנדרשות באוויר. "אני יכול להעביר גיחות רבות למאמן הטקטי, ויכול לחסוך עשרות גיחות טיסה באוויר", הוא אמר. התוצאה תהיה טייסים ונוטים שמוכנים טוב יותר לעבור למטוסי הקרב מהדור הרביעי (F-16 ו-F-15), ואף ל-F-35 מהדור החמישי.

### תחזוקה אזרחית

במסגרת התוכנית הצטיידות במטוסי האימון החדשים נקבע כי חברת **תור**, המשותפת ל**תעשייה האווירית לישראל** ול**אלביט מערכות**, תפעיל את מערך המטוסים עבור בית הספר לטיסה של חיל האוויר.

זו הופכת את מטוס האימון למטוס קרב וירטואלי, ומאפשרת למתאמנים לצבור ניסיון חיוני בתפעול מערכות מתקדמות, כגון מכ"ם וירטואלי, חיישנים אופטיים, מערכות לוחמה אלקטרונית (ל"א), וכך מערכות נשק וירטואליות ביישומי אוויר-אוויר ואוויר-קרקע.

"מכניים את כל המשימה במחשבים על הקרקע, תוקעים את הקלטת במטוס, ועכשיו יש לך את כל המשימה מוכנה עם התרחישים השונים", אמר סגן מפקד הטייסת. המערכות מאפשרות גם אימון וירטואלי בטיסה עם מטוס מדומה אחר.

### מאמנים קרקעיים

בסוף ספטמבר נחנך בחצרים מרכז האימון הקרקעי החדש למטוס הלבאי, שיאפשר סימולציה מלאה של אימון משימתי ואימון מבצעי על מנת לדמות חווית טיסה אמיתית. מרכז האימון פותח ונבנה על ידי **אלביט מערכות**, שנבחרה כקבלנית ראשית בפרויקט, בשיתוף עם יצרנית המטוס **אלניה-אירמאקי** והחברות CAE ו-Sellex ES (מקבוצת **פינמכניקה**). **אלביט מערכות** מספקת את מרכז האימון לצד שירותים לוגיסטיים למשך 20 שנה, כאשר חיל האוויר משלם לפי שעות אימון טיסה.

מערכת האימון החדשה מורכבת משני מאמני משימה ומשני מאמנים מבצעיים, כאשר כל המאמנים מקושרים אחד לשני ובכך מדמים חווית טיסה הזזה כמעט לטיסה אמיתית. במאמן המבצעי לומדים החניכים כיצד להטיס את המטוס ואיך להתמודד עם תקלות שיוזם המדריך. המאמן הטקטי, המאפשר יכולת הטיסה מדומה ב-360 מעלות, מיועד ללמד את החניכים את טקטיקת הלחימה באוויר, דהיינו איך להילחם במטוסים אחרים. חניך במאמן אחד יוכל להילחם בחניך אחר הנמצא במאמן הטקטי השני, בסביבה וירטואלית.

הטייסים ומפעילי מערכות הנשק יעברו תהליך אימון שלם, החל מהיכרות בסיסית עם מערכות המטוס ועד ליכולות טיסת קרב ברמה הגבוהה ביותר. לפי הרעיון החדשני הזה, רוב

מטוס הלבאי הרביעי (מס' 108) הגיע לחצרים ב-24 באוקטובר.



# טייסת שנייה של מטוסי F-35A אדיר תוקם בסוף העשור



למעלה: ה-F-35A הראשון עבור חיל האוויר המלכותי האוסטרלי בטיסת הבכורה שלו ב-29 בספטמבר. למטה: שר הביטחון משה (בוגי) יעלון ביקר בקו הייצור של ה-F-35 בפורט וורת' טקסס לפני כשנה, ב-10 באוקטובר 2013, יחד עם נספח חיל האוויר בארה"ב, תא"ל יעקב שהרבני (משמאל). הם קיבלו הסברים מאלן נורמן (מימין), טייס הניסוי הראשי של לוקהיד מרטין אווירונאוטיקה.



בעת ביקורו בארה"ב בחודש אוקטובר הציג שר הביטחון, משה (בוגי) יעלון, בפני מזכיר ההגנה האמריקני, צ'אק הייגל, את בקשת ישראל לרכוש בשלב הנוכחי כמות כוללת של 50 מטוסי F-35A, כדי לצייד שתי טייסות מלאות של מטוסי אדיר בחיל האוויר. הכוונה הייתה להזמין עתה עוד 31 מטוסים, בנוסף ל-19 מטוסי האדיר הראשונים שנרכשו בעסקה הקודמת משנת 2010 (ראה "ביעף" e114 עמ' 3). אולם, בעקבות התנגדות בממשלה לאשר כבר עתה עסקת רכש כה גדולה של מטוסים שעדיין לא הגיעו למעמד מבצעי, החליטה לבסוף ועדת השרים להצטיידות לרכוש עכשיו רק עוד 14 מטוסי F-35A. אספקתם של אלה צפויה להתחיל בשנת 2019.

שני מטוסי ה-F-35A הראשונים עבור ישראל יכללו במנת הייצור השמינית בקצב נמוך (LRIP 8), כפי שהודיע הפנטגון ב-27 באוקטובר. מנה זו תכלול 14 מטוסים עבור מדינות זרות – איטליה (2), בריטניה (4), יפן (4), ישראל (2) ונורווגיה (2) – בנוסף ל-29 מטוסים עבור הזרועות הצבאיות בארה"ב.

החוזה לרכש מנת הייצור השמינית מבטא ירידה בשיעור של 3.5% במחירו של ה-F-35A לעומת מנת הייצור השביעית, למחיר בסיסי של כ-108 מיליון דולר.

לפי לוח הזמנים שהוכרז לפני שנה (ראה "ביעף" e126 עמ' 3), שני מטוסי ה-F-35A הראשונים של חיל האוויר הישראלי יסופקו בשנת 2016 לצורך אימונים בבסיס חיל האוויר האמריקני לוק באריזונה. שבעה מטוסים נוספים יסופקו ב-2017, והעשרה הנותרים יימסרו ב-2018. עם תחילת הגעתם לארץ בשנת 2017 הם יופעלו במסגרת טייסת נשר הזהב בבסיס נבטים.

ה-F-35C המיועד לחיל הים האמריקני נוחת לראשונה על נושאת המטוסים נימיץ ב-3 בנובמבר.



## קו ייצור למעטי כנפיים עבור ה-F-35 נחנך בתע"א



המעטה העליון של הכנף השמאלית ב-F-35 בתוך כלי הייצור שבו מבוצעים הקידוחים והחיתוכים המדויקים.

דיואר, סגן נשיא בכיר העומד בראש לוקהיד מרטין אינטרנשיונל. "מתוך השותפות הזו, התעשייה האווירית מחויבת להמשך המסורת של העשייה האיכותית ביותר בייצור הכנפיים החיצוניות עבור דור העתיד של מטוסי הקרב הישראליים – F-35 אדיר – אשר יגנו על מדינת ישראל ותושביה".

וגאים לעבוד עם הממשל האמריקאי ושותפיו מהתעשייה על מנת לספק את היכולות פורצות הדרך לדור הבא של מטוסי הקרב. "לאור העבודה המדויקת ברמה עולמית שביצעה התעשייה האווירית על ה-F-16, אין זו הפתעה שאנו רואים בה שותפה אסטרטגית אמינה עבור לוקהיד מרטין", אמר פטריק

במפעל להב של התעשייה האווירית נחנך ב-4 בנובמבר קו ייצור למעטי כנפיים עבור מטוסי הקרב החמקנים F-35 לייטנינג II של לוקהיד מרטין.

בקו הייצור האוטומטי והמתקדם מסוג ייצור בכל חודש 4 זוגות מעטי כנפיים (עליונים ותחתונים), אשר יחברו לגוף המטוס במפעלי לוקהיד מרטין בארה"ב. בסך הכול עתידה התע"א לייצר יותר מ-800 זוגות מעטי כנפיים ב-15 השנים הבאות, כאשר אספקתם ללוקהיד מרטין תחל באמצע שנת 2015. פוטנציאל המכירות מוערך בכ-2.5 מיליארד דולרים.

התע"א השקיעה עשרות מיליוני דולרים בבניית קו הייצור. המעטה העליון והתחתון של כנפי ה-F-35 עשוי מחומרים מרוכבים מיוחדים, אשר פותחו באופן ייחודי עבור מטוס הקרב החמקן. לצורך ייצור מעטי כנפיים אלה נדרשות מערכות וטכנולוגיות מתקדמות ביותר, על מנת להתאים לתכן הייחודי של המטוס. קו הייצור מאופיין ברמות דיוק גבוהות מאוד, ובהבטחת שמירה על איכות הסביבה בתהליך הייצור.

מפעל להב צבר במשך השנים ניסיון רב בייצור כנפיים עבור מטוסי ה-F-16 של לוקהיד מרטין ועבור מטוסי ה-T-38 של חיל האוויר האמריקני, וכן בייצור חלקים נוספים למטוסי קרב אחרים וללקוחות שונים.

רפי מאור, יו"ר דירקטוריון התע"א אמר: "השותפות שלנו עם לוקהיד מרטין בייצור מכלולים למטוס הקרב המתקדם ביותר בעולם הינה אסטרטגית עבור התעשייה האווירית. אנו רואים בכך הכרה והבעת אמון של לוקהיד מרטין ושל הממשל האמריקני ביכולותיה של התעשייה האווירית כמובילה עולמית בתעשייה, והנהלת החברה מחויבת באופן מלא ועמוק להצלחת הפעילות הזו. אנו נרגשים

בטקס גזירת הסרט (מימין לשמאל): ח"כ חיים כץ, יו"ר ועד העובדים בתע"א; משה (בוגי) יעלון, שר הביטחון; רפי מאור, יו"ר דירקטוריון התע"א; דניאל שפירו, שגריר ארה"ב בישראל; לוטננט-גנרל כריסטופר בוגדן, מנהל תוכנית ה-F-35; פטריק דיואר, לוקהיד מרטין אינטרנשיונל; ויעקב רוזמן, מ"מ מנהל מפעל להב בתע"א.



## מערכת ההגנה האווירית ברק 8 הוכיחה יכולת יירוט



שיגור אנכי של טיל היירוט ברק 8 בניסוי שנערך בנגב.

ניסוי יירוט מוצלח של מערכת ההגנה האווירית ברק 8 נערך ב-10 בנובמבר בשדה הניסויים שדמה בנגב. הניסוי החל עם שיגור המטרה וכניסתה למסלול. מכ"ם המערכת איתר את האיום ועקב אחריו במעופו. הנתונים הועברו אל מרכז השליטה של מערכת הנשק, אשר שיגרה את הטיל המיירט למסלולו. הטיל שוגר כנדרש וניווט את עצמו אל המטרה. במהלך מעופו קלט הטיל המיירט את המטרה בעזרת חיישני העצמיים, ביית עצמו עליה והשמידה. מערכת הנשק על כל רכיביה עמדה בהצלחה בכל היעדים שהוצבו לה.

"אנו שבעי רצון מתוצאותיו של הניסוי ורואים בהצלחתו דוגמה חשובה לשיתוף פעולה פורה בין משרד הביטחון, התעשיות הביטחוניות בישראל ולקוחותינו בארץ ובחול", אמר בועז לוי, סמנכ"ל התע"א ומנהל חטיבת מערכות טילים וחלל.

### מערכת ההגנה ימית ויבשתית

ברק 8 היא מערכת הגנה אווירית פורצת דרך, הנותנת מענה למגוון רחב של איומים הן בזירה הימית והן בזירה היבשתית. המערכת מיועדת להתמודד עם מגוון רחב של פלטפורמות וחיישנים אוויריים, כולל מטוסים, מסוקים, כלי-טיס בלתי מאוישים וטילים, ובכלל זה טילים לוחכיים.

הרכיבים העיקריים של המערכת כוללים: מכ"ם מתקדם, מערכת שליטה ובקרה, משגרים, מיירטים (המיוצרים בשיתוף פעולה בין התע"א ורפאל), תקשורת וקישוריות בין-מערכתית ורב-מערכתית. הטיל המיירט נורה בשיגור אנכי, כך שמתאפשר יירוט כלל כיווני בטווחים קצרים וארוכים. לטיל מנוע רקטי הפועל בשתי פעימות, שמקנות לו יכולת תמרון מיטבי הנדרשת מול מגוון האיומים. ראש ביות מכ"מי מתקדם מאפשר עקיבה על המטרה וביות של הטיל המיירט עליה. המערכת משלבת תקשורת דו-כיוונית מתקדמת בין מערכת הנשק לטילים, ובין המערכות לבין עצמן – עובדה המקנה למערכת יכולת עבודה אינטגרטיבית ככוח הגנה משולב. מערכת

האווירית הרב-משימתיים עם יכולת כיסוי מתקדמת בסריקה אלקטרונית של 360 מעלות. המכ"ם משלב טכנולוגיה של מערך מופע דיגיטלי (Digital Phased Array), וכך מייצר מספר רב של אלומות הסורקות בו-זמנית אזורים נבחרים. כתוצאה מכך, מספק המכ"ם

השליטה והבקרה מאפשרת גמישות תפעולית ומבצעית לצוותים המפעילים, כאשר המערכת האוטונומית מבצעת באופן עצמאי את היירוט. המכ"ם פותח בהתאמה לדרישות המערכת על-ידי אלטא מערכות, חטיבה וחברה-בת של התע"א, והוא נמנה על משפחת מכ"מי ההגנה

תחנת השליטה והבקרה והמכ"ם של מערכת ברק 8 לשימוש יבשתי הוצגו על-ידי התע"א בסלון האווירי בפאריס.



המשגר היבשתי של מערכת ברק 8.



פעולה עם ארגון המחקר והפיתוח הביטחוני בהודו (DRDO), כאשר המערכת תיכנס לשימוש בהודו במקביל לקליטתה בצה"ל. הניסוי הביא לידי מבחן את כל רכיבי מערכת הנשק, לשביעות רצונם של נציגי הלקוחות. מומחים ישראלים ואנשי מחקר הודים, יחד עם נציגי משרד הביטחון ומפא"ת, נטלו חלק בניסוי יחד עם נציגי הצבאות של שתי המדינות.

ד"ר אבינש צ'אנדר, ראש DRDO והיועץ המדעי לשר ההגנה ההודי אמר בעקבות הניסוי המוצלח: "זוהי אבן דרך משמעותית בשיתוף הפעולה בין ישראל והודו, כמו גם בפיתוחה של מערכת ההגנה האווירית המתקדמת ברק 8". אופיר שוהם, ראש מפא"ת, אמר כי "הפרויקט מבטא שיתוף פעולה הדוק בין DRDO למפא"ת ובין צבאות שתי המדינות, אשר יחדיו מקדמים תוכנית כה חשובה, מתגברים על אתגרים טכנולוגיים ומשיגים הצלחות במעלה הדרך".



נתונים מדויקים על המטרות שאותו, ובמקביל מבצע משימות של גילוי, סיווג ועקיבה אחרי מספר רב של מטרות, הנחייט נשק להגנה ותקיפה, בקרה אווירית ועוד.

מערכת הנשק מספקת הן הגנה נקודתית והן הגנה היקפית. בפעילות משולבת של מספר מערכות הגנה, מערכת הבקרה והשליטה מקבלת נתונים מהמכ"מים של המערכות השונות, ומשלבת ביניהם כדי ליצור תמונת קרב ואיומים משותפת. כאשר מתגלה איום בתוך גזרת ההגנה, המערכת מאפשרת ירי לכל אחת ממערכות ברק 8 המשתתפות בקרב, על פי יתרונותיהן בהשמדת האיום.

### שיתוף פעולה עם הודו

את פיתוח ברק 8 מובילה חטיבת מערכות טילים וחלל בתע"א, בשיתוף עם מפא"ת במשרד הביטחון, אלטא מערכות, רפאל ותעשיות נוספות. התוכנית מתנהלת בשיתוף

## מערכת טקסיבוט לגרירת מטוסים בשדות תעופה זכתה לרישוי אירופי וישראלי

עם מנועי המטוס פעילים נפלים כ-3.2 טון דו-תחמוצת הפחמן, בעוד שהטקסיבוט פולט רק כ-60 ק"ג.

מנועי הדיזל והחשמל של טקסיבוט מאפשרים יעילות תפעולית רבה יותר, מונעים זליגת נוזלים הידראוליים על מסלולי ההסעה, הם "ירוקים", קלים יותר לתחזוקה ובעלי אורך חיים רב יותר. בשימוש בטקסיבוט לא נדרשים שינויים במערכות המטוס ובתפעולו, אין תוספת למשקל המטוס ואין ירידה בנפח המטען הנישא על ידו.

סימולציות ומחקרים שנערכו הראו כי כניסת טקסיבוט לשימוש פעיל תצריך שינויים קלים ביותר בנמלי התעופה. טייסים אשר בחנו את הטקסיבוט סיפקו משוב חיובי ביותר על ההפעלה האינטואיטיבית של המערכת, וצינו כי תחושת ההסעה זהה כמעט להסעת המטוס בעזרת מנועי המטוס. כחלק מתהליך הרישוי בוצע מבחן עומס-עבודה של טייסים ונמצא כי אין הבדל בין הסעה רגילה להסעה עם טקסיבוט.

אובייקטים חיצוניים ויוצרים רעש רב. השימוש בטקסיבוט מאפשר את התנעת מנועי המטוס רק סמוך לתחילת מסלול ההמראה, ובכך מצמצם באופן ניכר את זמן פעולתם על הקרקע.

טקסיבוט מספק פתרון כלכלי ויעיל לשיטות ההסעה הקיימות על-ידי שימוש במנועים היברידיים של דיזל וחשמל כדי להסיע את המטוס על הקרקע, במקום להפעיל את מנועיו ולצרוך דלק סילוני.

ניסויים דינמיים של טקסיבוט בתצורתו המיועדת למטוסים רחבי-גוף החלו בספטמבר השנה במפעלה החדש של חברת TLD בצרפת, שהוקם לצורך הייצור הסדרתי של מערכות טקסיבוט. רישוי המערכת לגרירת מטוסים רחבי-גוף צפוי להתקבל בסוף 2015.

צריכת הדלק של מטוס בואינג 747 בכ-17 דקות הסעה לפני המראה מגיע לכ-1 טון (1,250 ליטר). הסעה באמצעות טקסיבוט מפחיתה את צריכת הדלק ב-85%, כאשר הטקסיבוט עצמו צורך 25-30 ליטר דלק בלבד. בהסעה רגילה

מערכת טקסיבוט של התע"א, לגרירת מטוסי נוסעים בשדות תעופה, זכתה בתחילת נובמבר לרישוי מהרשות האירופית לבטיחות התעופה (EASA) ומרשות התעופה הישראלית (רת"א). טקסיבוט יוכנס בחודש דצמבר לשימוש ניסיוני בנמל התעופה של פרנקפורט, כאשר מטוסי בואינג 737 בטיסות מסחריות של לופטהנזה יגרונו למסלול ההמראה.

הטקסיבוט הוא רכב רובוטי למחצה, המתחבר למטוס ונשלט על-ידי טייס המטוס כדי להסיע מהשרוול בנמל התעופה למסלול ההמראה ובחזרה, ללא שימוש במנועי המטוס. התע"א מפתחת את הטקסיבוט משנת 2008, בשיתוף עם TLD הצרפתית – החברה המובילה בעולם לייצור גוררי מטוסים וציוד עזר קרקעי לתעשיית התעופה, ועם חברת השינוע הקרקעי של לופטהנזה. יצרניות המטוסים בואינג ואירבאס תומכות בפרויקט באופן פעיל, מתוך הכרה ביתרונות הכלכליים של הטקסיבוט ותרומתו הייחודית לתעשיית התעופה.

בתחילת נובמבר נתנם מזכר הבנות בין התע"א וחברת TLD לבין חברת התעופה אייר פראנס, לבחינה ולמידה של הפעלת הטקסיבוט בנמל התעופה שארל דה-גול ליד פאריס. מגעים מתקדמים נערכים עם חברות תעופה נוספות. אישור מטעם איירבאס לגרירת מטוסי צרי-הגוף ממשפחת ה-A320 באמצעות טקסיבוט צפוי להתקבל בזמן הקרוב. משפחות המטוסים מסוג בואינג 737 ואירבאס A320 מהוות כ-70% מצי המטוסים הפעיל של כלל חברות התעופה בעולם – נתון המעיד על הפוטנציאל הכלכלי העצום של טקסיבוט, המוערך במאות מיליוני דולרים. זמן החזר ההשקעה לחברות התעופה מוערך בכשנתיים.

### יתרונות הטקסיבוט

במהלך ההסעה על מסלולי שדות התעופה צורכים מנועי המטוסים המסחריים כמויות גדולות של דלק, פולטים כמות גדולה של דו-תחמוצת הפחמן, הם מועדים לנזקים של





# התע"א הסבה בואינג 767 למטוס תדלוק עם מנור מעופף



חטיבת **בדק מטוסים** הסבה מטוס נוסעים משומש מדגם **בואינג 767-300ER** למטוס תדלוק אווירי, עם מנור מעופף מתקדם המופעל בשיטת טוס-על-חוט. המטוס המוסב השלים סדרה ראשונה של טיסות ניסוי מוצלחות בחודש אוגוסט.

מטוס זה, משנת ייצור 1993, נרכש מחברת התעופה **North American Airlines**, והועבר בחודש יולי השנה לרישום ישראלי 4X-AGM.

התע"א מציעה עתה הסבה של מטוסי נוסעים מדגם **767-300ER** למטוסי תובלה ותדלוק רב-משימתיים (MMTT), המסוגלים לשאת יותר מ-90 טון דלק וכן חיילים ומטענים שונים. במסגרת ההסבה עובר המטוס שיפוץ כללי, ובהתאם לדרישות הלקוח מתקיימים בו אוויוניקה צבאית חדישה, מערכות התרעה והגנה (ל"א), השבחת התצוגות בתא הטייסים, ואם יש צורך גם החלפת מנועים.

לפני ארבע שנים הסבה התע"א עבור חיל האוויר הקולומביאני **בואינג 767-200ER** למטוס תובלה ותדלוק רב-משימתי, אלא שזה צויד במאזרי תדלוק בשיטת החדק והסל

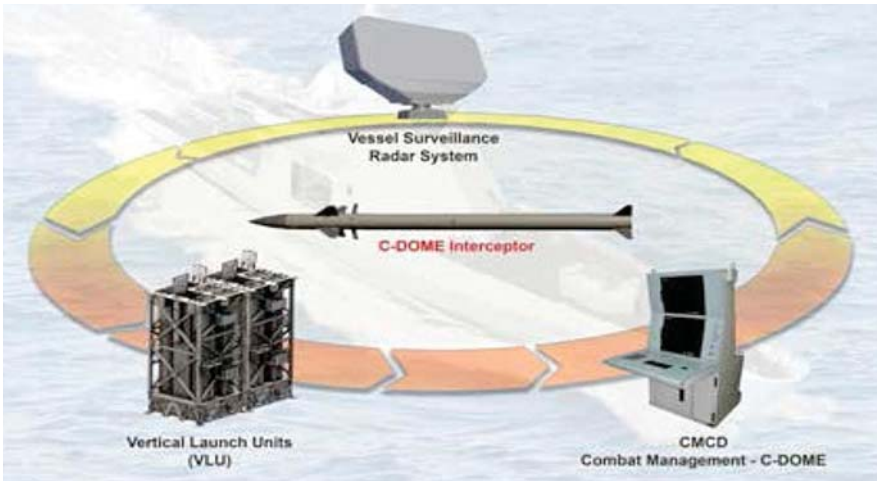
ופולין, אליהן מכוונת התע"א את מאמצי השיווק שלה.

במקביל להסבות הצבאיות, מסבה התע"א מטוסי נוסעים מדגם **767-300ER** למטוסי מטען אזרחיים. בשנה האחרונה בוצעה הסבה כזו למטוס שהופעל בעבר בשירות **אליטליה**, אשר הועבר בינואר 2013 לרישום ישראלי 4X-AGL.

התלויים מתחת לכנפיים, ולא במנור מעופף (ראה "ביעף" e114 עמ' 6).

מטוסים בעלי מנור מעופף מיועדים לתדלוק מטוסי קרב ממשפחות ה-F-15 וה-F-16, המצוידים בפתח תדלוק מתאים בחלק העליון של הגוף מאחורי תא הטייס. בין המדינות המפעילות מטוסי קרב כאלה ושמעוניינות לרכוש מטוסי תדלוק חדשים נכללות סינגפור

## רפאל מציעה גרסה ימית של כיפת ברזל



למעלה: רכיבי המערכת. למטה: ציור המדגים הפעלה מספינה. מימין: התצוגה בתערוכת Euronaval.

חברת **רפאל מערכות לחימה מתקדמות** חשפה בסוף אוקטובר בתערוכת **Euronaval** בצרפת תוכנית לפיתוח גרסה ימית של מערכת **כיפת ברזל**, לצורך הגנה על ספינות ממגוון איומים אוויריים דוגמת רקטות, טילים וכלי-טיס. המערכת הימית, המכונה **C-Dome**, תכלול מארז מודולארי עם עד עשרה זבילים לשיגור אנכי של טילי היירוט **טמיר**, אשר תותקן מתחת לסיפון הספינה. **C-Dome** תשתמש במכ"ם הגילוי ובקרת-הירי שקיים בספינה, והתוכנה הנדרשת להפעלתה תשולב במערכת ניהול הלחימה הקיימת של הספינה. השיגור האנכי יאפשר הגנה ב-360 מעלות מסביב לספינה. מערכת **C-Dome** מתאימה להתקנה בכלי-שיט דוגמת ספינות סיור חופים וקורבטות קטנות, ותוכל להגן גם על אסדות קידוח גז ונפט בים.

**רפאל** החלה בדיונים מוקדמים עם לקוחות פוטנציאליים, כולל חיל הים הישראלי, כדי להבהיר את הדרישות המבצעיות ממערכת כזאת. החברה מעריכה כי תוכל לייצר אב-טיפוס של המערכת בתוך פחות משנה.



## המיקרו-כטב"ם ArrowLite סופק לכוחות מיוחדים בארה"ב

מיקרו-כטב"מים שהופעלו עד כה על-ידי הכוחות המיוחדים מבחינת משך השהייה באוויר, חדות הצילומים והצפנת העברת הנתונים.

כדי לשפר את סיכויי החזרה לשוק האמריקני ולנצל טוב יותר הזדמנויות עסקיות, הציבה התע"א בראש השלוחה שלה בצפון אמריקה גנרל בדימוס (ארבעה כוכבים), שפרש לפני שנים ספורות מחיל האוויר האמריקני. רוברט פוגלסונג – שהיה סגן מפקד החיל, מפקד חיל האוויר האמריקני באירופה, ועוזר ליו"ר המטות המשולבים – מונה באוקטובר למנהל העסקים הראשי של IAI North America. הוא מכהן גם כיו"ר הדירקטוריון וכמנהל העסקים הראשי של סטארק איירוספייס.

הוא נושא מטע"ד במשקל 1.1 ק"ג, מיוצב בשני צירים, הכולל מצלמת וידאו ליום וללילה ומציין לייזר. צילומי הווידאו מועברים בערוץ נתונים מוצפן ליחידת בקרה קרקעית עם צג בגודל 7 אינץ', שנישאת על-ידי החיילים. הכטב"ם המונע חשמלית יכול לשהות באוויר עד שתיים ו-45 דקות, ופועל בגובה של עד 450 מטר מעל פני הקרקע ובטווחים של 5 עד 15 ק"מ.

מערכת ArrowLite אחת כוללת 3 כלי-טיס, שתי יחידות בקרה קרקעיות, 3 מטע"דים ושלושה תיקי גב גדולים חסיני-מים לנשיאה על-ידי חיילים.

ב-CTTSO מדגשים, כי ה-ArrowLite מפגין יתרונות בולטים בהשוואה למערכות

התעשייה האווירית הצליחה לאחרונה לחזור לשוק המיקרו-כטב"מים הצבאיים בארה"ב עם מוצר חדש שפותח על-ידי סטארק איירוספייס – חברת-בת של שלוחת התע"א בצפון אמריקה, הפועלת במיסיסיפי. המיקרו-כטב"ם ArrowLite תוכן, פותח ומוצר על-ידי סטארק איירוספייס בסיוע המשרד לתמיכה טכנית בלחימה בטור (CTTSO) בארה"ב, ומיועד להפעלה על-ידי כוחות מיוחדים קטנים ללוחמה בטור. האמריקנים הזמינו בשלב הראשון 13 מערכות, הכוללות 39 כלי-טיס זעירים, ציוד קרקעי נדרש לתמיכה וחלפים.

ה-ArrowLite, הניתן להרכבה בתוך כ-90 שניות, שוקל בין 2.7 ל-2.95 ק"ג בעת השיגור.

החייל המשגר את ה-ArrowLite נושא את מכשיר הבקרה ברצועה התלויה על צווארו.



ה-ArrowLite משוגר מהיד.



## הכטב"ם הבריטי Watchkeeper הופעל לראשונה באפגניסטן

מלאה של הכטב"ם תושג רק בשנת 2017, כאשר תשולב בו מערכת למניעת התקרחות והוא יוכל לפעול בכל תנאי מזג אוויר.

עם קליטת ה-Watchkeeper ופינוי הכוחות מאפגניסטן, הפסיק לאחרונה הצבא הבריטי את השימוש בכטב"מים מסוג הרמס 450, שנחרכו מאלביט מערכות מאז יולי 2007 – ראה "ביעף" e112 עמ' 5.

מיפתח סינתטי, ומספק מודיעין חזותי ברזולוציות גבוהות מהרגיל.

הצבא הבריטי הזמין 54 כטב"מים מסוג זה. ה-Watchkeeper הוכרז כשיר לפעילות צבאית בחודש מארס השנה – באיחור של יותר משלוש שנים לעומת התכנון המקורי – לאחר תהליך פיתוח ורישוי ארוך מהרגיל, בהתאם לדרישות בריטיות מחמירות. יכולת מבצעית

הפעלה מבצעית ראשונה של הכטב"ם Watchkeeper נעשתה בחודשים ספטמבר ואוקטובר השנה, כאשר הצבא הבריטי פרס מערכת אחת עם ארבעה כלי-טיס בבסיס בסטיין באפגניסטן.

הכטב"ם הוכיח יכולת מצוינת לבצע משימות תצפית ומעקב גם בתנאי סופות אבק באמצעות המכ"ם I-Master מתוצרת תאלס, הפועל באופנים של מיפתח סינתטי (SAR) וציון מטרות קרקעיות נעות. נתוני מטרות עוינות שנתגלו על-ידי המכ"ם הועברו לכטב"מים בריטיים מסוג הרמס 450 שנשלחו לאזור לבצע תצפית ממוקדת יותר (מבט ב"קשתית"), כפי שמכנים זאת בצבא), ולכטב"מים מסוג MQ-9 ריפר שתקפו אותן באמצעות החימוש שהם נושאים. בצבא הבריטי ובמשרד ההגנה של בריטניה הביעו שביעות רצון רבה מביצועי ה-Watchkeeper באפגניסטן, והגדירו את המכ"ם שלו כ"משנה כללי משחק".

ה-Watchkeeper פותח ומיוצר בשיתוף פעולה בין אלביט מערכות הישראלית לחברת תאלס הבריטית. הכטב"ם הממריא ונוחת אוטומטית נושא הן מטע"ד אלקטרו-אופטי ליום וללילה עם מציינ מטרות בלייזר והן מכ"ם



# מבחר כטב"מים הוצגו בכנס הכלים הבלתי מאוישים של i-HLS



למעלה: המיני-כטב"ם המרחף דהיינצ'י של חברת Flying Production. למטה: רוכב שמיים בלוק 10 מתוצרת אלביט מערכות, שמופעל על-ידי חיל התותחנים לשימוש גדודים לחומים בצה"ל.



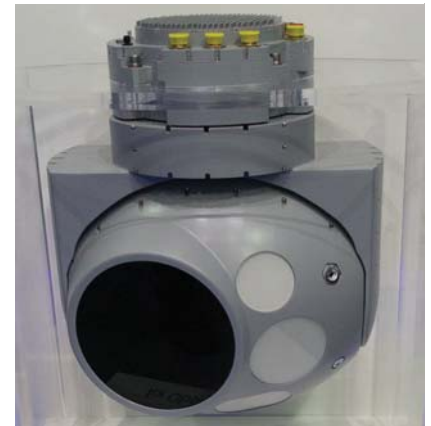
אתר האינטרנט הישראלי i-HLS קיים ב-26 בנובמבר במערב ראשון-לציון את הכנס השנתי השני למערכות בלתי מאוישות, שלוה בתערוכה מרשימה של מערכות אוויריות, יבשתיות וימיות. בגלל מזג האוויר החורפי הסוער נמנע קיומו של מפגן אווירי ויבשתי, כפי שהיה בשנה שעברה (ראה "ביעף" e126 עמ' 8-5).

אחד החידושים שנראו בתערוכה היה הרחפן דהיינצ'י, שמוצע על-ידי Flying Production – חברת הזנק מכפר-סבא בראשותו של טל שחר. המיני-כטב"ם טס ומרחף בגובה אופייני של עד 600 מטר באמצעות שלושה רוטורים קטנים. הוא מיועד לשימוש באזורים עירוניים או בים, ברדיוס של עד 10 ק"מ. ביכולתו לשאת מטע"ד במשקל של עד 3.5 ק"ג, לתצפית ביום או בלילה, או במשולב. משך שהייתו באוויר עד 90 דקות.

לדברי המנכ"ל טל שחר, מערכות דהיינצ'י נמכרו והוכנסו לשימוש אצל לקוחות בדרום-מזרח אסיה.

התעשייה האווירית הישראל הציעה מבחר כטב"מים מתוצרתה, שכללו את הסופר הרון, בירד איי 650D, מיני-ברדלס ותעתוע. בתחום המטע"דים הציגה התע"א לראשונה את ה-M-19 – מטע"ד תצפית רב-חיישני בהבחנה גבוהה (HD) לטווח ארוך. ה-M-19 הגדול יחסית, שמשקלו 75 עד 85 ק"ג, מיועד לנשיאה על-ידי כטב"מים גדולים לפעולה בגובה בינוני ורב, מטוסים קבועי-כנף ומסוקים, בלוני תצפית ופלטפורמות ימיות.

המטע"ד הגדול M-19 מתוצרת התע"א.



מערכת הבקרה הקרקעית של רוכב שמיים.



# מערכות לייזר ליירוט פצמ"רים וכטב"מים מפותחות בארה"ב ובגרמניה



אב-הטיפוס של מערכת ADAM, שמפותחת על-ידי לוקהיד מרטין, נגרר מאחורי משאית.

התעשיות הביטחוניות המובילות בארה"ב מקדישות בשנים האחרונות מאמצים ניכרים לפיתוח מערכות לייזר ניידות ליירוט רקטות, פגזי ארטילריה, פצצות מרגמה (פצמ"רים) וכטב"מים בטווחים קצרים מאוד.

**לוקהיד מרטין** מפתחת את מערכת הלייזר הקרקעית הניידת **ADAM** – ראשי תיבות של: הגנת שטח נגד חימושים. המערכת מסוגלת לעקוב בדיוק רב אחר מטרות נעות בטווח של יותר מ-5 ק"מ, והלייזר מסוג סיב אופטי בעוצמה של 10 קילו-וואט מסוגל להשמיד מטרות עד לטווח של 2 ק"מ.

המערכת של **לוקהיד מרטין** תוכנה כך שתהיה מספיק גמישה לפעול נגד רקטות ופצמ"רים באופן עצמאי, ולהעסיק כטב"מים בסיוע של מכ"ם חיצוני. הארכיטקטורה המודולרית של מערכת **ADAM** משלבת רכיבי חומרה מסחריים עם תוכנה קניינית של החברה לבקרת קרן הלייזר.

בניסויים שבוצעו במארס באפריל 2013 הדגים אב-טיפוס של מערכת **ADAM** בהצלחה יירוט של רקטות דמויות **קסאם**, כאשר שמונה רקטות הושמדו באוויר מטווח של כ-1.5 ק"מ. קודם לכן הדגימה המערכת העסקה של כטב"ם בטווח של 1.5 ק"מ.

בנוסף, הדגימה המערכת יכולת להשמיד מטרות ימיות בניסויים שנערכו מול חופי קליפורניה בתחילת מאי 2014. בתוך פחות מ-30 שניות, הלייזר רבי-העוצמה של המערכת הקרקעית הצליח לשרוף חורים דרך מספר תאים בגוף העשוי גומי של הסירות הצבאיות הקטנות ששיטו בים.

חברת **רייטיאון** זכתה בחודש אוגוסט השנה בחוזה מהמשרד לתוכניות מחקר בחיל הים האמריקני להתאמת התקנה של מערכת לייזר הנישאת על כלי-רכב צבאי, שתוכל ליירט כטב"מים מנמיכי-טוס. התוכנית מיועדת להדגמת לייזר מצב מוצק בעוצמה של 25 קילו-וואט לפחות, כאשר המערכת תותקן בתחילה על רכבי **Humvee** ותתאים לשימוש על-ידי חיל הנחתים.



למעלה: כך תיראה המערכת של **רייטיאון**, הנישאת על רכב **Humvee**. למטה: מערכת **HEL MD** של **בואינג**.

**בואינג** מפתחת עבור צבא ארה"ב מערכת לייזר בעוצמה של 10 קילו-וואט המותקנת על משאית כבדה, במסגרת תוכנית **HEL MD** (ראשי תיבות של: לייזר בעוצמה גבוהה, מדגים מתנייע).

בניסויים שנערכו בסוף 2013 בשדה הניסויים ווייט סנדס בניו-מקסיקו הצליחה המערכת להשמיד יותר מ-70 פצמ"רים וכן כטב"ם. באביב השנה בוצעה סדרת ניסויים נוספת בבסיס חיל האוויר אנג'ין בפלורידה, שבה הוכיחה המערכת יכולת לרכוש, להעסיק ולהשמיד פצמ"רים וכטב"מים בסביבה ימית תובענית.

בתחילת ספטמבר השנה הודיעה **בואינג** על השלמת סדרה נוספת של ניסויים מוצלחים בבסיס אנג'ין בתנאי מזג אוויר של רוחות, גשם וערפל. בשלב הבא בתוכנית יותקן על המשאית לייזר בעל עוצמה גבוהה יותר של 50 או 60 קילו-וואט.



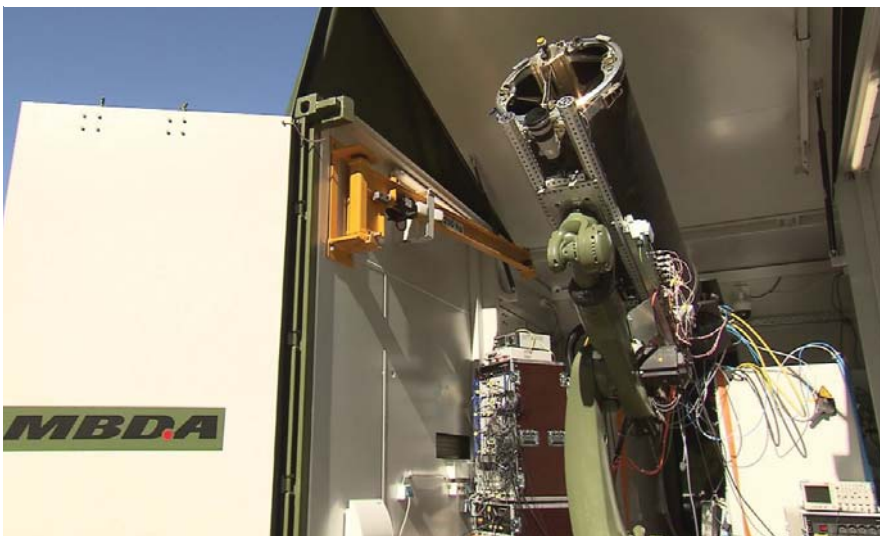


הצריח עם שלושת "תותחי" הלייזר שהדגימה חברת ריינמטאל.

מערכת לייזר מבצעית לא תוכל להסתפק בעוצמה של 10 קילו-וואט בלבד. לפיכך, מנסים לפתח כיום את הטכניקה של איחוד אלומות – צירוף מספר יחידות לייזר על צריח משותף ומיקוד האלומות שלהן על אותה מטרה כדי להבטיח את השמדתה.

החברה הגרמנית ריינמטאל הדגימה באוק-טובר 2013 יירוט פצמ"רים בקוטר 82 מ"מ וכטב"ם מטרה סילוני באמצעות מערכת לייזר בעוצמה כוללת של 30 קילו-וואט, ששולבה עם חיישני הגילוי והמעקב של מערכת ההגנה האווירית סקייגארד 3. בצריח הלייזר שולבו שלוש יחידות של 10 קילו-וואט כל אחת. בהדגמה סטטית הצליחה המערכת להשמיד חמישה פצמ"רים בחמישה ניסיונות, ובהדגמה דינמית היה שיעור ההצלחה ארבע מתוך חמש. ריינמטאל הציגה התקנות של "תותחי" הלייזר על כל-ירכב צבאיים שונים, אבל בהעדר לקוחות רציניים לא מפותחת עדיין מערכת שתוכל להיות מבצעית.

מערכות לייזר ליירוט רקטות, פגזי ארטילריה, פצמ"רים וכטב"מים יהיו פתרון מעשי עיל לטווחים שעולים על 2-3 ק"מ כאשר העוצמה שלהן תתקרב ל-100 קילו-וואט.



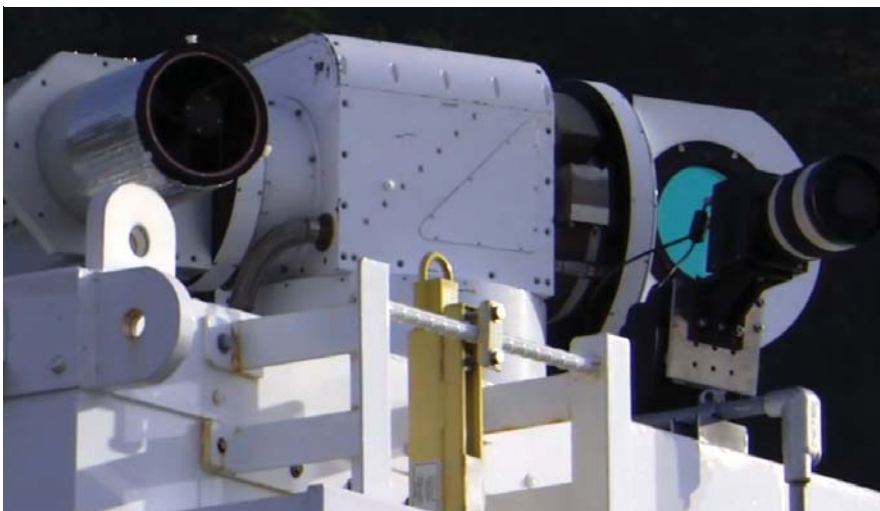
למעלה: הטלסקופ מאחד-האלומות שפיתחה MBDA בגרמניה. למטה: "תותח" הלייזר במערכת ADAM.

עבודה מתקדמת בכיוון זה מבוצעת בגרמניה בחברת MBDA, במטרה להשיג איחוד אלומות של מספר לייזרים מסוג סיב אופטי בני 10 קילו-וואט במסגרת טלסקופ אחד (ולא "תותחי" לייזר נפרדים כפי שתואר לעיל). ניסוי מוצלח עם לייזר של 40 קילו-וואט לפגיעה בפגזי ארטילריה בוצע בשנת 2012. MBDA ממשיכה בעבודות המחקר והפיתוח במימון עצמי ובתמיכה של סוכנות ההגנה האירופית (EDA) ומשרד ההגנה הגרמני.

קרן ברזל ישראלית

גם בישראל עוסקים בפיתוח מערכת לייזר ניידת להגנה מפני פגזי מרגמה, רקטות וכטב"מים בטווחים של עד 2 ק"מ. כפי שתוארנו ב"ביעף" 127e עמ' 4, חברת רפאל מפתחת את מערכת הלייזר קרן ברזל. המערכת מבוססת על איחוד אלומות של שני "תותחי" לייזר נפרדים, שעוצמתם לא פורסמה.

ניסוי מוצלח של המערכת בוצע כבר באוגוסט 2010, אבל בהעדר תקציב מתאים לא הסתיים הפיתוח. ברפאל טוענים, כי יוכלו להפוך את קרן ברזל למבצעית בתוך כשנתיים, אם יתקבלו התקציבים הנדרשים.



מערכת קרן ברזל שמפותחת על-ידי רפאל.



## צוות סטודנטים מהטכניון זכה במקום החמישי בתחרות כטב"מים אוטונומיים בארה"ב



קבוצת הסטודנטים עם המנחה, דרור ארצי (במרכז), באירוע להצגת הפרויקט שנערך בטכניון ב-12 בנובמבר. מימין: דקאן הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, פרופ' יעקב אושמן. (צילום: דוברות הטכניון)

קבוצת סטודנטים מהפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל בטכניון, בשיתוף עם קבוצת סטודנטים ממדעי המחשב, זכתה במקום החמישי (מתוך 48 נבחרות) בתחרות היוקרתית של האגודה הבינלאומית למערכות כלים בלתי מאוישים (AUVSI), שהתקיימה בחודש יוני בארה"ב.

קבוצת הסטודנטים, בהנחייתו של המהנדס דרור ארצי עם שני עוזרים, פיתחה בתוך תשעה חודשים מערכת כטב"ם כוללת, המדמה מערכת מבצעית אמיתית. הכטב"ם בעל יכולת הטיסה האוטונומית מונע בשני מנועים חשמליים, ומצויד במצלמה מיוצבת לזיהוי מטרת קרקעיות תוך איתור סוגן ומיקומן המדויק. בכלי-הטיס שולבו מחשב מוטס שביצע את עיבוד התמונה, ומערכת תקשורת לשליטה, בקרה והעברת תמונות. הכטב"ם הותאם לנשיאת מטען קל (ביצה), עם יכולת שחרור לפגיעה מדויקת במטרה קרקעית.

החלק הקרקעי של המערכת כלל תחנת שליטה למעקב אחרי הטיסה האוטונומית ואיסוף תמונות המטרה ועיבודן, וכן מערכת תקשורת לפיקוד, בקרה והעברת תמונות. הסטודנטים יצרו שני כטב"מים אלה, שגופם עשוי מחומרים מרוכבים ומשטחי העילוי מעץ תעופתי. בכלי-הטיס הותקנו כל המערכות, ובוצעה אינטגרציה ובדיקה לשילובן ותפקודן התקין. בנוסף בוצעו ניסויי קרקע לשני הכטב"מים, כולל ניסוי העמסה סטטית לכנפיים.

התחרות בארה"ב התבצעה במתכונת של פריסה מבצעית, כאשר בקו הטיסה ניתנו

אוטונומית, כשהכטב"ם מבצע יעף מקדים מעל המטרה ומוודע עוצמת רוח וכיוונה. משהתקיימו תנאי השיגור, המערכת שיחררה אוטומטית את הביצה, שפגעה במרחק מזערי של 14 מטר מהמטרה. אחרי 30 דקות של טיסה אוטונומית רציפה, נחת הכטב"ם בבטחה.

"הצוות הדגים בתחרות את הרמה האקדמית הגבוהה של בוגרי הטכניון לעתיד, והציג שוב את יכולותיה של ישראל בפיתוח מערכות משולבות וכלי-טיס בלתי מאוישים", אמר דרור ארצי.

לצוותים 20 דקות להכנת המערכת עם התחנה הקרקעית. אחרי תדרוך שנתן אחד הסטודנטים לצוות, מול העיניים הבוחנות של השופטים, המריא הכטב"ם לבצע את המשימות.

הכטב"ם התחיל בטיסה אוטונומית לאורך נקודות ציון, ונכנס לאזור חיפוש לצורך זיהוי מטרות ואפיון. בהמשך ביצע תצפית למטרה מחוץ לאזור החיפוש, זיהוי מטרת דמות, קבלת תשדורות ממסר קרקעי והעברתן לתחנת הפיקוד הקרקעית, ולסיכום הטלת ביצה מגובה 100 מטר למטרה. ההטלה בוצעה בצורה

## קא"ל מצטיידת בשני מטוסי מטען חדשים

לדבריו, "מדובר במטענים מגוונים הכוללים מטען חקלאי או פרמצבטי המחייבים הובלה בסביבה מבוקרת טמפרטורה ברמות משתנות של הקפדה ותחכום, בעלי חיים, מנועי מטוסים, מכוונות וציוד כבד, או במידות גדולות במיוחד". מרכז הפעילות של קא"ל הוא במסוף המטענים בנמל התעופה של ליאז' בבלגיה, הנמצא בבעלותה. בקיץ מפעילה החברה שש עד שבע טיסות שבועיות לבלגיה וחזרה, ובחורף שבע עד שמונה טיסות שבועיות. פעמיים בשבוע נוחתים מטוסי קא"ל בלרנקה שבקפריסין. בקו שבין ליאז' לניו-יורק מפעילה קא"ל שירות יומי, חלקו במטוסי החברה וחלקו תוך שיתוף פעולה עם TNT אקספרס. באפריל החלה קא"ל לבצע טיסות מליאז' לנמל התעופה מונקטון במזרח קנדה.

מטוס המטען ארוך-הטווח החדש יאפשר לקא"ל להרחיב את פעילותה ליעדים חדשים בדרום אמריקה ובמזרח הרחוק. חברת קא"ל נמצאת מאז יוני 2010 בבעלות פרטית (ראה "ביעף" e115 עמ' 10). בעל השליטה הוא עופר גלבויע, המכהן כיו"ר מועצת המנהלים. באוגוסט 2013 מונה אייל זגני למנכ"ל החברה.

אייל זגני, מנכ"ל קא"ל, הסביר בראיון למגזין הישראלי Port2Port כי "צמצום צי מטוסי המטען בעולם סייע לנו להפוך את המהלך לכדאי יותר, משום שאפשר היום לרכוש או לחכור מטוסי מטען במחירים נמוכים באופן משמעותי מאלו שנדרשו לפני שנתיים או שלוש, ואנחנו בהחלט ניצלנו מצב זה".

ההצטיידות במטוסי מטען מקוריים (ולא מוסבים) בעלי חרטום מתרומם בנוסף לדלת צד גדולה תאפשר לקא"ל להתמודד טוב יותר עם הטסת מטענים חריגים. זגני הדגיש, כי הסיסמה של החברה היא "מטען לא סטנדרטי הוא סטנדרט שלנו", כאשר כ-65% מהיקף עסקיה של החברה הוא של מטענים מסוג זה.

הבואינג 747-412F (4X-ICB) הגיע בספטמבר.



צילום: קובי ב'

חברת קווי אוויר למטען (קא"ל) החליפה את שני מטוסי המטען המיושנים שלה מדגמי בואינג 747-200C/F בשני מטוסי 747-400F חדשים יותר בעלי חרטום נפתח.

הראשון מביניהם (4X-ICB), שנכר לתקופה ארוכה, נכנס לשירות קא"ל באמצע ספטמבר השנה. זהו מטוס מדגם 747-412F משנת ייצור 1994, שהופעל עד 2010 בחברת התעופה סינגפור איירליינס, ולאחר מכן בחברת אוורגריין האמריקנית.

השני (4X-ICA), נרכש על-ידי קא"ל בחודש אוגוסט השנה וצפוי להיכנס לשירותה בדצמבר. זהו מטוס ארוך-טווח מדגם 747-4EVR(ER), שיוצא בשנת 2007, אשר הופעל עד אוקטובר 2012 על-ידי החברה הסינית Jade Cargo ולאחר מכן הועבר לאחסנה בארה"ב.

במקביל, הוציאה קא"ל משירותה את שני מטוסי המטען המיושנים שלה. 4X-ICM מדגם 747-271C, שהופעל בקא"ל מאז ינואר 2001, קורקע בנת"ג בתחילת אפריל השנה. 4X-ICO מדגם 747-230F, שהופעל בקא"ל מאז ספטמבר 2010, עזב לארה"ב לקראת סוף ספטמבר השנה ואוחסן בשדה התעופה מוהבי בקליפורניה.

## מוזיאון קאפרוני באיטליה

לקיים תעשיית מטוסים רצינית, ומשנות ה-50' ואילך פותחו רק מעט דגמים ניסיוניים. מה שיותר ממפעלי קאפרוני נמכר לחברת אגוסטה בשנת 1983. במשך השנים נשתמרו במפעלי קאפרוני מספר מטוסים היסטוריים חשובים. בשנת 1992 נפתח מוזיאון קאפרוני ליד שדה התעופה הקטן של העיר טרנטו בצפון איטליה. מוצגים בו כ-20 מטוסים של ממש, שרק כמחציתם הם מתוצרת קאפרוני והאחרים מתוצרת חברות איטלקיות אחרות. כמו-כן כולל המוזיאון דגמים מוקטנים של מטוסים שלא שרדו, ומוצגים היסטוריים שונים. ארבעה מטוסי קאפרוני נוספים מוצגים כיום במוזיאון וולאנדיה. אנו סוקרים כאן מטוסים של קאפרוני המוצגים בטרנטו ובולאנדיה.



וימיים בשנות ה-20'; מטוסים קלים לשימושים ספורטיביים, לאימון ולהפעלה צבאית; ועד למטוסי קרב משובחים, מפציצים ומטוסי סיור בתקופת מלחמת העולם השנייה. המשבר הכלכלי באיטליה אחרי המלחמה מנע מקאפרוני אפשרות

המהנדס האיטלקי הצעיר גיאני קאפרוני בנה את המטוס הראשון שלו בשנת 1910. מטוס זה, Ca.1, נשמר עד היום ומוצג במוזיאון וולאנדיה, ליד נמל התעופה מילאנו-מאלפנסה. בשנת 1911 הקים המהנדס קאפרוני המוכשר את מפעל המטוסים הראשון שלו, ופעילותו הפוריה הלכה וגברה עד מלחמת העולם השנייה. מפעלי קאפרוני והמפעלים של החברות-הבנות שנכללו בקבוצת קאפרוני פיתחו במשך כשלושים השנים האלה עשרות דגמים של מטוסים מסוגים שונים, שחלקם נותרו כאבות-טיפוס ניסיוניים ורבים אחרים נכנסו לייצור סדרתי. נכללו ביניהם מטוסי קרב, מטוסי סיור, מטוסי אימון ומפציצים בתקופת מלחמת העולם הראשונה; מטוסי נוסעים יבשתיים

מבט כללי על חלק מאולם התצוגה הראשי במוזיאון קאפרוני בטרנטו. בקדמת התמונה: קאפרוני בריסטול (ראה הסבר בעמוד הבא); המטוס התלת-מונעי הלבן מאחור: סאויה מארקטי S.M.79. כפי שהופעל בשנות ה-50' בחיל האוויר הלבנוני בסימון L-113; מעליו תלוי קאפרוני-טרנטו F.5. ברישום I-FACT; המטוס הצהוב: אוויה FL.3 ברישום I-AIAE; תלוי משמאל: מטוס האימון הדו-כנפי גאבארדיני G.51 משנת 1928; מתחתיו נראים Ca.100 ו-Ca.163 (ראה הסברים בעמוד הבא).



הטרמינל בשדה התעופה ע"ש גיאני קאפרוני בטרנטו. הכניסה למוזיאון נמצאת מימין.

המבנה הנרחב ליד מסלול שדה התעופה בטרנטו, שבו ממוקם מוזיאון קאפרוני.



## מוזיאון קאפרוני באיטליה



**קאפרוני בריסטול:** מטוס חד-כנפי שתוכן על-ידי המהנדס הצרפתי-רומני הנרי קואנדה, אשר נבנה בבריטניה בנובמבר 1912 ויובא לאיטליה. גיאני קאפרוני השיג רישיון לייצר את המטוס עבור חיל האוויר האיטלקי, עם מנוע נוס בן 80 כ"ס. זהו המטוס המקורי משנת 1912 – אחד מהמטוסים הישנים ביותר שנתרו בעולם.

מאחוריו נראה **Ca.9**, גרסה איטלקית של הבלריו **XI** עם מנוע **אנזאני** בן 35 כ"ס, שיוצר על-ידי קאפרוני ב-1911.

בקצה המרוחק נראים שני מטוסי **אנסאלדו SVA.5** דו-כנפיים של חיל האוויר האיטלקי מתקופת מלחמת העולם הראשונה.

**Ca.100** שנודע בכינוי "**קאפרונצ'ינו**": מטוס דו-כנפי קל לאימון ולשימושים ספורטיביים, שפותח בסוף שנות ה-20' בהתבסס על ה-**D.H.60 מות'** הבריטי. יוצר בכמויות גדולות במספר מפעלים באיטליה ובבולגריה.

המטוס המוצג במוזיאון, בצבעי חיל האוויר האיטלקי עם המספר הצבאי **MM56237**, הוסב לשימוש ימי על מצופים. הוא הוצא משירות בשנת 1964 בעקבות תאונה, ונמסר למוזיאון **קאפרוני** בשנת 1970.



**Ca.163:** אב-טיפוס של מטוס דו-כנפי אווירובטי, שנבנה בשנת 1938 במפעלי **קאפרוני** בטולידו, עם מנוע **וולטר מיינור** בן 110 כ"ס.

בהתבסס על אב-הטיפוס הניסיוני הזה, הוחלל בסוף 1938 בייצור סדרתי של מטוסי **Ca.164**, שנכנסו לשימוש נרחב בחיל האוויר האיטלקי ובחיל האוויר הצרפתי.







בשנת 1920 ניסה קאפרוני לפתח מטוס ימי גדול מאוד ל-100 נוסעים שיוכל לחצות את האוקיינוס. ה-Ca.60 טראנסאיירו היה בעל תצורה מוזרה של שלוש מערכות תלת-כנפיים – בקדמת הגוף, באמצע ומאחור – במוטת של 30 מטר ובשטח כולל של 750 מ"ר, עם שמונה מנועים בני 400 כ"ס כל אחד שמוקמו על הכנפיים הקדמיות והאחוריות. המטוס יועד להמריא במשקל מרבי של 26 טון כשהוא נושא מטען תכליתי בן 12 טון. ה-Ca.60 היחיד נהרס בטיסת הבכורה שלו ב-4 במרס 1921. במוזיאון מוצג דגם מוקטן.

מטוס התיור הקל Ca.193 היה האחרון שיוצר במפעלי קאפרוני בטאלידו. המטוס בעל ארבעת המושבים, שצויד בשני מנועי וולטר מיינור 6 בעלי הספק של 160 כ"ס כל אחד עם מדחפים אחוריים, טס לראשונה ב-13 במאי 1949. ה-Ca.193 היחיד הופעל במשך כשנתיים בחיל האוויר האיטלקי, ולאחר מכן הועבר למועדון התעופה בטרנטו. לאחר הוצאתו משירות בשנת 1960 נשמר במוזיאון של קאפרוני.



## מטוסי קאפרוני במוזיאון וולאנדיה



Ca.1, המטוס הראשון שבנה ג'יאני קאפרוני, המריא לטיסת בכורה ב-27 במאי 1910. המטוס הבנוי מעץ צויד במנוע מילר בעל הספק מרבי של 30 כ"ס.

ה-Ca.1 היחיד אוסן במפעלי קאפרוני. בתקופת מלחמת העולם השנייה נשמר המטוס ההיסטורי בוילה של המשפחה בוונגו סופיריירה בצפון איטליה.

בינואר 2007 הוצא המטוס מאחסון, שופץ והועבר לתצוגה מכובדת במוזיאון וולאנדיה.

מטוס התצפית הדו-מושבי Ca.18 שפותח על-ידי קאפרוני בשנת 1913 היה בעל תצורה דומה למטוסי בלריו וצויד במנוע נוס בעל הספק של 80 כ"ס.

מטוסי Ca.18 סדרתיים סופקו לצבא האיטלקי בתחילת 1914 והופעלו במסגרת הטיסת ה-6 ולאחר מכן הטיסת ה-15.

ה-Ca.18 המסומן במספר הסדרתי 231 נשתמר מאז במצב טוב. הוא הוצג בשנים 1970-1986 במפעלי החברה בוויולה טיצ'ינו, ועתה מוצג במוזיאון וולאנדיה.



## מוזיאון קאפרוני באיטליה



המטוס הדו-כנפי האווירובטי **Ca.113**, שצויד במנוע **פיאג'ו P.VII** בן 370 כ"ס, נכנס לייצור בשנת 1931. הוא זכה להצלחה רבה בתחרויות אווירובטיקה בעולם בתחילת שנות ה-30.

מטוסי **Ca.113** סופקו על-ידי **קאפרוני** לחיל האוויר האיטלקי, נמכרו לגרמניה ופורטוגל, ויוצרו ברישיון בבולגריה תחת הסימון **KB-2**. אחד המטוסים הודגם גם בסין.

ה-**Ca.113** היחיד שנותר נמצא אחרי מלחמת העולם השנייה, שוקם לכושר טיסה והופעל ברישום **I-MARY**. הוא הוצג אז במפגני טיסה רבים, ובסיום הקריירה שלו שימש כגורר דאונים.

לאחר הוצאתו משירות הועבר לבעלות מוזיאון **קאפרוני**, ומוצג כיום בוולאנדיה.

מטוס האימונים הסילוני **C-22J** היה כלי-הטיס האחרון שנשא את השם **קאפרוני**. שלושה אבות-טיפוס יוצרו במפעלי החברה בוויולה טיצ'ינו, שהראשון מביניהם ביצע טיסת בכורה ב-21 ביולי 1980. ה-**C-22J** צויד בזוג מנועי **מיקרוטורבו TRS.18**, בעלי דחף של 148 ק"ג-כוח כל אחד, והגיע למהירות מרבית של 556 ק"מ/ש'. המטוס השיג רישוי איטלקי ועמד לקבל רישוי אמריקני, אך התוכנית בוטלה בשנת 1988. ה-**C-22J** השלישי, שנבנה ב-1985, מוצג במוזיאון וולאנדיה.



חברת **אגוסטה**, יצרנית המסוקים הנודעת באיטליה (כיום חלק מתאגיד **פינמכניקה**), רכשה את חברת **קאפרוני-ויולה** ואת המפעלים בוויולה טיצ'ינו בשנת 1983. במוזיאון **אגוסטה** ליד נמל התעופה מילאנו-מאלפנסה מוקדשת פינה להיסטוריה של חברת **קאפרוני**.





## כיפת ברזל

מאת אילן כפיר ודני דור  
הוצאת כנרת, זמורה ביתן, דביר, 2014  
224 עמודי טקסט ועוד 20 עמודי תמונות,  
בכריכה רכה. המחיר: 69 ש"ח.

**כיפת ברזל**, מערכת ההגנה הישראלית מפני רקטות קצרות-טווח, הצליחה לייצר יותר מ-1,000 רקטות ששוגרו לעבר מרכזי אוכלוסייה בדרום מדינת ישראל ובמרכזה, מאז הפעלתה המבצעית הראשונה באפריל 2011. המערכת הפגינה ביצועים מצוינים במבצע "צוק איתן" ביולי-אוגוסט 2014, כאשר השיגה כ-90 אחוזי הצלחה.

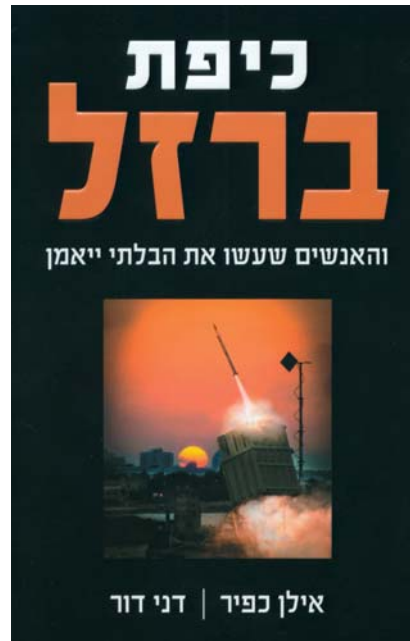
פיתוחה של המערכת פורצת הדרך החל באוגוסט 2005, כאשר ראש מחקר ופיתוח (מו"פ) במינהל פיתוח אמצעי לחימה ותשתית טכנולוגית (מפא"ת) במשרד הביטחון, תא"ל ד"ר דני גולד, החליט לקדם תוכנית שתכלול מחקר מערכת והדגמה ובהמשך פיתוח בהיקף מלא והצטיידות. כבר מן ההתחלה נקבע כי חברת **רפאל** תהיה הקבלנית הראשית של המערכת, ו**אלתא מערכות** של התע"א נקבעה כקבלנית משנה שתפתח את המכ"ם.

עבור שנה (בתום מלחמת לבנון השנייה), הביע שר הביטחון דאז, עמיר פרץ, את תמיכתו הבלתי מסויגת בתוכנית וסיכם כי "**כיפת ברזל** הוא הפרויקט החשוב ביותר כרגע ועל כן יש לשקול להגדיר את תוכנית הפיתוח כ'תוכנית חירום' ולרזזה ככל האפשר".

בנובמבר 2006 הנחה מפא"ת את **רפאל** להתחיל בפיתוח בהיקף מלא של פרויקט **כיפת ברזל**. בפברואר 2007 אושרו מסקנות ועדת נגל לבחור **בכיפת ברזל** כפתרון המועדף על פני כל שאר ההצעות שהוצגו, ובאפריל אותה שנה חתם משרד הביטחון על הסכם עם **רפאל** לפיתוח ולהצטיידות **בכיפת ברזל**. ביולי אישר גם שר הביטחון החדש, אהוד ברק, את המשך ביצוע התוכנית. בדצמבר אישרה הממשלה תקציב של 811 מיליון ש"ח לפיתוח המערכת ולייצור שתי סוללות ראשונות.

**רפאל** התחייבה להשלים את פיתוח המערכת בתוך כשלוש שנים, ובמאמץ כביר של כל הצוותים שעסקו במלאכה עמדה בהבטחה. מערך ההגנה האווירית של חיל האוויר קיבל את סוללת **כיפת ברזל** הראשונה בינואר 2011. ב-27 במארכ נפרסה הסוללה הראשונה באזור באר-שבע, במסגרת שלב הניסוי המבצע, וימים ספורים לאחר מכן הוצבה הסוללה השנייה באזור אשקלון. **כיפת ברזל** הראשון התבצע ב-7 באפריל, כאשר **כיפת ברזל** הצליחה להשמיד רקטת **גראד** שנוחתה מרצועת עזה לעבר אשקלון. במבצע "צוק איתן" ביולי-אוגוסט 2014 הופעלו כבר מבצעית תשע סוללות **כיפת ברזל**.

ראוי לחזור ולהדגיש, כפי שעשינו בהזדמנויות קודמות (ראה דבר העורך ב"ביעף" e122 עמ' 2), כי הצלחת הפיתוח המזורז של **כיפת ברזל** טמונה בניצול מושכל של טכנולוגיות קיימות ומוכחות, בניגוד לגישה המפתה של אימוץ חידושים מהפכניים וניסיון ליישם טכנולוגיות בלתי בשלות – דוגמת יירוט בקרני לייזר. בפרויקט **כיפת ברזל** המהנדסים



לא המציאו טכנולוגיות חדשות, אלא ביצעו בעיקר עבודה הנדסית בשילוב מערכות. הטיל המיירט **טמיר** מתבסס על טכנולוגיות שפותחו ב**רפאל** לטילים קודמים; המכ"ם **MMR** הוא נגזרת של מכ"ם ר"ז (רב-זרועי) שפותח ב**אלתא** עבור חיל התותחנים; ומערכת השליטה והבקרה התבססה על מערכת קיימת של חברת **אמפרט** שפותחה בשנים קודמות לצרכים אחרים.

צמד המחברים אילן כפיר ודני דור הצליחו לפרסם את ספרם על **כיפת ברזל** בתזמון מושלם – פחות מחודש אחרי סיומו של מבצע "צוק איתן". הספר מביא את הסיפור המופלא והדרמטי של הולדת מערכת ההגנה מפני רקטות ושל האנשים שמאחורי ההצלחה הגדולה – מהיום הראשון בשנת 2004 שבו יצא קול קורא לתעשיות הביטחוניות להגיש הצעות להתמודדות עם איום הרקטות, ועד ל-26 באוגוסט 2014, היום שבו יורטה הרקטה ה-735 במבצע "צוק איתן".

הספר אכן מקיף את רוב ההיבטים החשובים של תולדות פיתוח מערכת **כיפת ברזל** ומזכיר את כל האנשים החשובים שהיו מעורבים (חלקם בשמם הפרטי בלבד, או רק באות הראשונה של שמם, מסיבות ביטחוניות). בהיותו מיועד לקהל הרחב, הספר אינו כולל הסברים טכניים על פעולת המערכת ורכיביה, כפי שאנו נוהגים להביא ב"ביעף".

אולם כפי שמקובל אצל צמד הכותבים הזה ואצל מחברים אחרים שבים מתחום העיתונות, הסגנון הוא יותר מדי סנסציוני ודרמטי, לטעמנו. כפיר ודור עוסקים יותר מדי בחסידי יירוט הרקטות באמצעות קרני לייזר, ומתייחסים יותר מדי ברצינות למדענים, למהנדסים ולעיתונאים שפרסמו טיעונים תלושים מהמציאות בזכות מערכות **נאוטילוס** ו**סיקייגארד** וכנגד מערכת **כיפת ברזל**. אנו היינו מגדירים חלק מן החסידים האלה (ובמיוחד

את שני העיתונאים הקולניים שמוזכרים בספר) כ"הזויים".

בעוד שהסגנון הסנסציוני והדרמטי אולי יקסום לרוב הקוראים, הרי השגיאות העובדתיות הרבות שמופיעות בספר הן בלתי נסבלות. לצערנו הרב, אנו נתקלים שוב ושוב בספרים עבריים שלא עברו עריכה נאותה, בגלל נוהג של הוצאות הספרים לחסוך בהוצאות, ולכן התוצאה הסופית אינה ראויה. כפי שהתרענו לא פעם, מחברי הספר אינם חייבים להיות מומחים מהשורה הראשונה הבקיאם בכל הדקויות הטכניות וההיסטוריות של הנושאים עליהם הם כותבים, אבל ההוצאה חייבת לדאוג לעריכה יסודית ולביקורת מקצועית של מומחה כדי לנפות את אי-הדיוקים והשגיאות. הדבר לא נעשה במקרה זה, וחבל.

מקורן של רוב השגיאות שצרמו לנו נובע מאי-היכרות של המחברים עם תוכניות, פרויקטים, מוצרים ומבנה ארגוני של שתי התעשיות הגדולות המככבות בספר – **רפאל** ו**התעשייה האווירית**. להלן מספר דוגמאות:

- **מל"מ** איננה חטיבת מערכות טילים וחלל בתע"א. זהו המפעל למערכות בבאר-יעקב, יצרן טילי החץ ומשגרי השביט, הפועל במסגרת החטיבה למערכות טילים וחלל (עמ' 19 בספר).
- **שביט 2** לא היה "הלוויין הישראלי הראשון בשנות ה-60", כי אם רקטה מטאורולוגית פשוטה ששוגרה בשנת 1961 כדי למנוע מהמצרים הישג פוליטי, פסיכולוגי ומוראלי בשיגור טילים לחלל (עמ' 26).
- **פופאיי** אינו טיל אוויר-אוויר, כי אם טיל אוויר-קררקע (עמ' 53).
- **ספיידר** אינו טיל קרקע-אוויר, כי אם מערכת הגנה מפני איומים אוויריים, העושה שימוש בגרסאות קרקע-אוויר של טילי האוויר-אוויר **פיתון דרבי** (עמ' 118).
- טייס חיל האוויר רן פקר הפיל ביולי 1967 מטוס **מיג-21** מצרי באמצעות טיל **שפריר 2**, ולא באמצעות טיל **פיתון**, שעדיין לא היה קיים בתקופתו (עמ' 127).
- פרויקט **החץ** לא פותח מלכתחילה בשיתוף עם **בואינג**, כפי שמופיע במספר מקומות בספר; חברת **בואינג** הצטרפה לתוכנית רק בסוף 2008 ומייצרת רכיבים של הטילים.
- עובדיה הרי ז"ל לא היה מנכ"ל **התעשייה האווירית**; תפקידו האחרון בחברה היה משנה למנכ"ל. פרס ביטחון ישראל הוענק לו בפעם השנייה בשנת 1975 על חלקו בפרויקט **הכפיר**, ואין זה נכון כי "הצנזורה לא התירה לפרסם את נימוקי ה'הצנזורה'" (עמ' 201).
- מערכת **כיפת ברזל** לא אמורה להשיג בעתיד שיעור הצלחה של 100%, כפי שמצוטט בספר (עמ' 121-122). שום מערכת איננה מסוגלת להצליח תמיד ובכל מקרה, הן מסיבות טכניות והן מסיבות של טעויות אנוש בהפעלה. השאיפה כיום היא להגדיל את שיעורי ההצלחה מ-90 ל-95 אחוזים.
- וצריך לדעת גם קצת חשבון. אם טוענים כי **כיפת ברזל** הצליחה לייצר בהצלחה 735 רקטות במבצע "צוק איתן" והפגינה שיעור הצלחה של 90%, המשמעות היא כי מתוך 817 ניסיונות יורטו בהצלחה 735 רקטות, בעוד 82

והערה נוספת על עריכה לקויה: יש בספר חזרות רבות, פעם אחר פעם, על אותן עובדות ממש, לפעמים אפילו באותו עמוד. זה מצביע על חוסר התייחסות רצינית לעריכה מצד הרו-צאה. ראוי היה שבספר כה חשוב יקפידו יותר.

\* \* \*

כתבות על **כיפת ברזל** פרסמנו בגיליונות "ביעף": e104, e109, e111, e112, e117, e121, e122, e129.

**M-75**, ולא **גראד** כפי שכתבים המחברים בעמ' 163.  
 • מבצע "עמוד ענן" לא היה באביב 2011 (כפי שמופיע בעמ' 207), אלא בנובמבר 2012, כפי שמצוין נכון במקומות אחרים בספר.  
 • הדמות המופיעה בתמונה הצבעונית ליד הטיל (בעמודי התמונות באמצע הספר) היא של מנכ"ל התע"א הקודם יצחק ניסן, ולא מנכ"ל **אלתא** ניסן הדס, כפי שמופיע בכיתוב.

רקטות זלגו. ולא: "זה אומר שמתוך 735 רקטות שיירטנו במבצע, היו יותר מ-60 שנפלו בשטחים בנויים", כפי שמופיע בעמ' 121.  
 ונתרו בספר גם כמה גיאות הגהה מביכות, כמו:  
 • היירוט המוצלח הראשון של **כיפת ברזל** היה ב-7 באפריל 2011, ולא ב-2001 כפי שכתוב בטעות בעמ' 155 בספר.  
 • הרקטות שהגיעו לאזור תל-אביב היו מסוג



**The Israeli Air Force – An inside look at IAF structure and operations**

מאת עפר צידון  
 בהוצאה משותפת של מכון פשר למחקר אסטרטגי אוויר וחלל וישראל דיפנס, 2014.  
 200 עמודים. המחיר: 150 ש"ח.

האחרון בסדרת השנתונים על חיל האוויר שהכין עפר צידון הופיע בסוף 2011 (ראה "ביעף" e119 עמ' 25-26). עכשיו החליט צידון להרחיב את היריעה ולהפיק אלבום המתאר בצורה מקיפה את מבנהו הארגוני של חיל האוויר על כל טייסותיו ויחידותיו, ואת פעילויותיו בשנים האחרונות. את ההקדמה לספר כתב תא"ל (מיל") אסף אגמון, ראש מכון פשר.

האלבום סוקר את כלי-הטיס המאושים והבלתי מאוישים מכל הסוגים שמופעלים בחיל, את מערכות ההגנה האווירית ואת אמצעי החימוש של המטוסים והמסוקים. בנוסף מוארות יחידות שלא מרבים לפרסמן, דוגמת יחידת הקומנדו **שלדג**, יחידת החילוץ והפינוי בהיטס 669, יחידת הנחתה קדמית (יה"ק) למטוסי **הרקולס**, פקחי ההעמסה, יחידות הבקרה, מערך התחזוקה, מרכז ניסויי טיסה (מנ"ט), מאמני טיסה (סימולטורים) ועוד. מבחינת פעילויות אימונים בשנים האחרונות, מתעד הספר תרגילים משותפים עם חילות אוויר זרים, שערכו הן בארץ והן במדינות זרות. בעיקרו זהו אלבום תמונות, המגיש מבחר עשיר ביותר של צילומים באיכות מצוינת. לעומת השבחים שראוי להרעיק על ההיבט הצילומי, התאכזבנו מאוד מהתמליל בספר, הן מבחינת תוכנו והן מבחינת איכות הכתיבה באנגלית. הספר כתוב באנגלית ברמה נמוכה, ולא נעשתה עריכה לשונית ראויה.

מצאנו בתמליל לא מעט טעויות עובדתיות, חלקן מעוטות חשיבות כמו הסימון המדויק של דגם כלי-הטיס שבו מדובר, אך חלקן האחר מהותיות ביותר. את עיקר הביקורת שלנו נפנה לפרק על מערך ההגנה האווירית. צידון טועה במידה רבה בתיאור מערכת ההגנה האקטיבית הרב-שכבתית שמוקמת כדי להגן על מדינת ישראל מפני טילים בליסטיים ורקטות (ראה תיאור מדויק ב"ביעף" e109 עמ' 8-11). נכון שמדובר בשלוש שכבות הגנה, אבל לא כפי שמתואר בספר.

צידון מייחס בטעות את כל מערכות **החץ** לשכבת ההגנה העליונה, ומגדיר את **החץ 3** כ"גרסה האחרונה של המערכת... המציעה טווח ודיוק משופרים". זהו אינו המצב לאמתו. הטיל **חץ 3**, הנמצא כיום בשלבי פיתוח מתקדמים, יהווה את אמצעי היירוט בשכבה העליונה – מחוץ לאטמוספירה, בחלל. אין מדובר בגרסה משופרת של **החץ 2**, אלא במערכת חדשה לחלוטין בעלת יכולות מהפכניות.

מההישג המרשים של מפתחי **כיפת ברזל**, קפץ לעיינינו בעמוד 120 בספר. אין זה נכון כי **כיפת ברזל** "פותחה ב-8 השנים האחרונות", כפי שכותב צידון. לפרטים נכונים על לוח הזמנים הקצר להפליא של פיתוח המערכת ראה בסקירת הספר הקודם במדור זה.

ואינו יכולים להתעלם ממשפט שותני אחר שמופיע בעמוד 38 בספר: "בעוד שה-**F-35** הוא גרסה מודרנית של ה-**F-16**... המיועד להחליף תחילה את מטוסי ה-**F-16A/B** נץ הישנים". אנו בטוחים שצידון מבין ויודע כי ה-**F-35** הוא מטוס קרב מהפכני מהדור החמישי, שיקנה לחיל האוויר יכולות חסרות תקדים בלוחמה אווירית בזכות מגוון תכונותיו הייחודיות. מטוסי ה-**F-35** **אדיר** שייכנסו לשירות חיל האוויר החל משנת 2017 יהוו את חוד החנית, ולא תחליף ומילוי מקום למטוסי הקרב המיושנים ביותר. משפט כזה בספר היה צריך להישמט בעריכה.

טעות רגישה נוספת מופיעה בעמ' 78, בהתייחס לתאונה של מסוק **צפע** ב-18 במארס 1987. סא"ל ציון בראור אכן נהרג בתאונה, אך איש הצוות השני יובל וגנר נותר בחיים.

לסיכום, למרות ביקורתנו על התמליל בספר, אלבום זה ראוי לשכון במקום של כבוד בספרייתו של כל מי שמתעניין בחיל האוויר הישראלי, בעיקר בזכות הצילומים המרהיבים.

לרכישת האלבום יש לפנות למזכירות מכון פשר בטלפון 099510260.

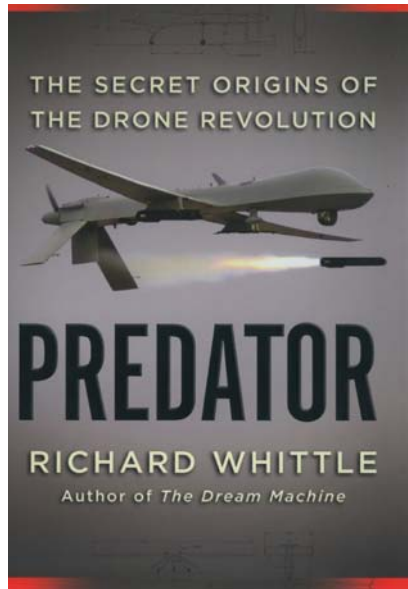
שכבת הביניים במערכת ההגנה הרב-שכבתית היא מערכת הנשק **חץ 2**, הנמצאת בשירות מאז שנת 2000.

מערכות **הפטריוט (יהלום)** ו**שרביט קסמים** אינן שייכות לשכבת הביניים, כפי שטועה לחשוב צידון, אלא לשכבה התחתונה – יחד עם מערכת **כיפת ברזל**.

מדינת ישראל לא רכשה טילי **פטריוט PAC-3** המסוגלים ליירט טילים בליסטיים, כפי שמצוין צידון בטעות בשני מקומות בספר (עמ' 25 ו-118). מערך ההגנה האווירית של חיל האוויר מפעיל זה שנים רבות טילי **פטריוט PAC-2**, המיועדים ליירט כלי-טיס בלבד, אך אינם מותאמים להתמודד עם טילים בליסטיים. (לאחרונה הפגינה מערכת **יהלום** הצלחות ביירוט מטוס **סוחוי Su-24** של חיל האוויר הסורי ברמת הגולן ב-23 בספטמבר, וכטב"ם סורי ב-31 באוגוסט).

על אחת כמה וכמה, לגרסה הקודמת של טילי **הפטריוט** שהייתה בשימוש בתקופת מלחמת המפרץ הראשונה ב-1991 לא היה כל סיכוי בהתמודדות עם טילי ה**אל-חוסין** העיראקיים (**סקאד** משופר) שנורו לעבר ישראל. לכתוב כי לטילי **הפטריוט** הייתה אז "הצלחה מתונה" ביירוט טילי **הסקאד** (עמ' 118 בספר) זהו עיוות מוחלט של המציאות. האמת היא, כי לא רק שטילי **פטריוט** לא הצליחו ליירט אפילו **סקאד** אחד, אלא שטילי **הפטריוט** שהחטיאו גרמו בעצמם לנזקים גדולים כשנפלו על בתים באזור המרכז. משפט מרגיז מאוד, הממעית שלא בצדק

ונט) והדגים את כישוריהם בטיסה, אך בכוחותיהם הדלים לא הצליח לשווק את מוצריו לזרועות הצבאיות בארה"ב. כרם, שבגלל אופיו המתבדל והעצמאי לא הסכים לפעול במסגרת חברה גדולה ומבוססת, הגיע לפשיטת רגל. הוא נאלץ למכור את חברת **Leading Systems** שלו ואת כל הזכויות על פיתוחי לחברת **ג'נרל אטומיקס** של האחים ניל ולינדן בלו, ורק במסגרת החברה המבוססת הזאת הושלם פיתוח הכטב"ם **פרדטור** והוא הוכנס לשירות מבצעי. עיקרו של הספר מוקדש לתיאור מפורט ביותר של פיתוח **הפרדטור** מהמחצית הראשונה של שנות ה-90 ועד להפעלתו המבצעית באפגניסטן בסוף 2001. בשפה עשירה ובסגנון מרתק מתאר וויטל את פעילותם של כל הדמויות שהיו מעורבות בתוכנית המורכבת – מהתעשייה, מהזרועות הצבאיות, מסוכנויות הביון, מהפנטגון ומהממשל האמריקני. הקורא נחשף מצד אחד לקורותיהם של מבחר דמויות יוצאות דופן שפעלו במסירות אי-קץ להגשמת הרעיון של כטב"ם התקפי חמוש, ומהצד השני לחוליי הפוליטיקה והביורוקרטיה האמריקנית שמעכבת את הקדמה הטכנולוגית וגורמת לבזבזי כספים אדירים. וויטל מתאר כיצד בתהליך ארוך ורצוף קשים הצליח **ג'נרל אטומיקס** להביא למעמד מבצעי את הכטב"ם **פרדטור**, הנשלט ממרחק של אלפי קילומטרים באמצעות תקשורת לוויינית והמסוגל לבצע סיכולים ממוקדים באמצעות טילי **הלפיר**. אבי הרעיון, אברהם (אייב) כרם, נדחק מקדמת הבימה ולא זכה בתהילה שנלוותה להצלחת **הפרדטור**. גם ניסיונותיו המאוחרים יותר – לפתח כטב"ם רוטורי להעברת אספקה (ה-**A160** שמכר בסופו של דבר ל**בואינג**), מטוס הנוסעים **AeroTrain** הממריא ונוחת אנכית, והמסוק המתקדם שהציע לתוכנית **JMR-TD** לא צלחו. ספרו המרתק של ריצ'רד וויטל מומלץ ביותר.



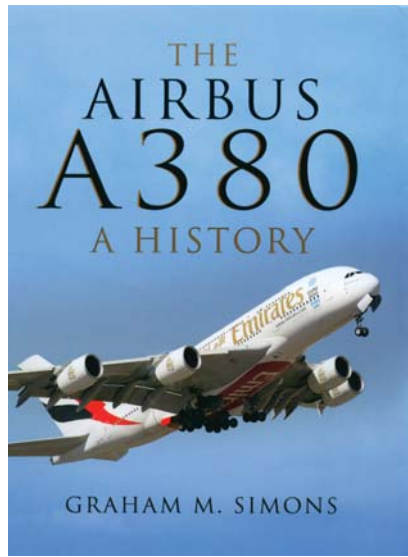
המגבלות שבמסגרתן נאלץ לפעול והוויכוחים עם מנהל חטיבת הנדסה ועם מנכ"ל **התע"א**, והוא פרש מהחברה ב-1974. כרם הקים חברה פרטית בשם **מטוס** במשרדים צנועים בעיר לוד, והתכוון להציע למערכת הביטחון פרויקטים חדשניים. אלא שבמציאות הישראלית דאז לא היה לו כל סיכוי להתחרות עם **התע"א** בעלת העוצמה האדירה, שעשתה הכול כדי להכשילו. בשנת 1977 ירד כרם לארה"ב, בנה מחדש את חייו בחוף המערבי והחל במאמציו לפיתוח כטב"מים. השליש הראשון בספרו של ריצ'רד וויטל מוקדש לאברהם (אייב) כרם ולפעילותו ההנדסית בארה"ב. כפי שמתאר וויטל, גם בארה"ב לא ליקק כרם דש. הוא פיתח אבות-טיפוס של כטב"מים פורצי דרך (דוגמת **אמבר**

**Predator - The secret origins of the drone revolution**  
By Richard Whittle  
Henry Holt and Company, U.S.A., 2014  
עמודים: המחיר: 30 דולר.

ארה"ב פיגרה שנים רבות בפיתוח כטב"מים, מפני שהנושא לא זכה לעדיפות הולמת, נעשו טעויות קשות בהגדרת הדרישות בפרויקטים הראשונים, ולא ניתן היה לצלוח את המכשולים הפוליטיים והביורוקראטיים שאופייניים למציאות האמריקנית. לעומת זאת, מערכת הביטחון הישראלית התנהלה בחוכמה רבה יותר כאשר התברר הצורך החיוני בכטב"מים לאחר מלחמת יום הכיפורים, וכבר בסוף שנות ה-70 הצטייד צה"ל בכטב"מים מבצעיים מוצלחים לאיסוף מודיעין חזותי. את מאמץ הפיתוח ההנדסי הובילה מחלקת תיכון מוקדם בחטיבת הנדסה של **התעשייה האווירית לישראל**. ראשית שנות ה-70 עמד בראש המחלקה אברהם כרם – מהנדס אווירונאוטיקה מבריק, בוגר הטכניון, שהצטרף ל**תע"א** לאחר שירות מרשים במחלקת ציוד של חיל האוויר (ראה "ביעף" e112 עמ' 11-13). לסגנו מונה מהנדס מבריק לא פחות, עובדיה הררי ז"ל. הכרתי את כרם מקרוב באותם ימים, כאשר עבדתי במחלקת אווירודינמיקה, ששכנה בחדרים סמוכים למחלקת תיכון מוקדם. עבדנו אז בשיתוף פעולה הדוק עם מהנדסי תיכון מוקדם בפיתוח מטוס הקרב **כפיר קנארד**. כרם היה ללא ספק אחד ממהנדסי האווירונאוטיקה המצטיינים ביותר שהוכשרו במדינת ישראל, גאון של ממש, ששפע רעיונות מקוריים. אלא שאנשים חכמים ומהירי-מחשבה כאלה הם לרוב חסרי סבלנות למנהלים בסביבתם, ומתקשים לקבל את המרות של הממונים עליהם בהנהלת החברה. כעבור שנים ספורות נמאסו על כרם

מתוצרת **אירבאס**, ואת הפעלתו מאוקטובר 2007 עד היום. הוא מקדים בסקירה היסטורית על מטוסי נוסעים גדולים מאוד מאז שנות ה-20 של המאה הקודמת, ועובר למטוסי הסילון רחבי-הגוף שהופיעו משנות ה-60 ואילך. בפרק השלישי מתאר סימונס את קורותיה של חברת **אירבאס** הרב-לאומית, וממשיך בתיאור ההצלחות שונות שהועלו לפיתוח סופר-ג'אמבו. פיתוח ה-**A380** החל רשמית בדצמבר 2000. סימונס מתאר את תהליכי הייצור של חלקי המטוס במקומות שונים באירופה והעברת המכללים לאתר ההרכבה הסופית בטולוז, את מבנה המטוס ומנועיו, ואת ניסויי הטיסה עד להשגת הרישוי האזרחי. הפרקים האחרונים מוקדשים להפעלת ה-**A380** בחברות התעופה הראשונות שקלטו אותו – **סינגפור איירליינס**, **בריטיש איירווייס**, **אמירייטס**, **קוונטאס** ו**לופטהאזה**, ולסיום מפורטות כל חברות התעופה שהזמינו מטוסי **A380**. הספר כולל עשרות רבות של תמונות צבעוניות, המתעדות את המטוסים מבחוץ ומבפנים, את האנשים המרכזיים שהיו מעורבים בתוכנית, את אתרי הייצור ועוד. סימונס עשה עבודה יסודית בכתבי-ההיסטוריה של ה-**A380** ומכסה את הנושא היטב.

מטוסים קטנים יותר בתדירות גבוהה, ואינן רואות צורך במטוס כה גדול. גרהם סימונס הבריטי מתאר בפירוט רב את היסטוריית הפיתוח של מטוס הנוסעים הענקי



**The Airbus A380 - A History**  
By Graham M. Simons  
Pen & Sword Books, U.K., 2014  
עמודים: המחיר: 25 לירות שטרלינג.

**האירבאס A380** הדו-קומתי הוא מטוס הנוסעים הגדול ביותר בעולם מבחינת כושר הנשיאה שלו. בתצורה אופיינית מותאם ה-**A380** להטיס כ-525 נוסעים בשלוש מחלקות, אך ביכולתו לשאת עד 800 נוסעים בסידור מושבים צפוף. כשהחלה בפיתוח המטוס הענקי האמינה חברת **אירבאס** כי ה-**A380** יהיה להיט שיווקי, אך הנשיאות הכלכלית טפחה על פניה. עד כה צברה החברה רק 318 הזמנות החלטיות מ-19 לקוחות ברחבי העולם, כאשר 143 מטוסי **A380** נמסרו וכנסו לשירות עד סוף חודש ספטמבר השנה. רשימת ההזמנות כוללת 160 מטוסים לשלוש חברות התעופה הגדולות של נסיכויות המפרץ הפרסי (**אמירייטס**, **קטאר** ו**אתיחאד**), ורק 158 מטוסים לחברות תעופה אחרות בעולם. שום חברת תעופה אמריקנית לא רכשה את ה-**A380**. **אירבאס** צופה כיום פוטנציאל כולל למכירת 1,700 מטוסי **A380**, אך ספק אם תגיע אי-פעם לעד זה. מתברר, שרוב חברות התעופה מעדיפות להפעיל

הוא בספר): "פרויקט הלבניא לא הופסק עקב שיקולי עלות, אלא משום שצה"ל העדיף לקבל מטוסים מארה"ב. כך גם ניתן היה להעביר כספים שהוקצו לפרויקט לזרועות אחרות בצה"ל".

**כיפת ברזל – פיתוח תחת אש**

בנושא **כיפת ברזל** ראינו מחברי הספר את מהנדס המערכות הראשי של מערך הפיתוח המרכזי, שכלל את המיירטים, המשגרים והמארזים, אשר מזוהה רק בראשי התיבות א"א.

מסיכום הראיון איתו מתברר, כי הצלחתה של **כיפת ברזל** "נבעה מתלכיד אנושי של מנהלי הפרויקט ומהנדסי המערכות שלו. תלכיד שהשכיל להפעיל שיטות מקוריות של הנדסת מערכות לצד יצירה של סביבת עבודה מאתגרת ומחויבות גבוהה של מי שלקחו חלק בתהליך. הצלחה תרמה גם העובדה שלמפתחיה התאפשר לבחון את תפקודה במהלך 'החיים האמיתיים', משום שצה"ל עשה בה שימוש עוד לפני שאושרה לכשירות מבצעית מלאה".

**סיכום:** זהו ספר מעניין מאוד, כתוב וערוך היטב, שעשוי לרתק כל מהנדס.

יש לנו רק הערה אחת, המתייחסת לחוסר ההקפדה על ההבדל בין "תכנון" (planning) לבין "תיכון" או "תכן" (design) – שגיאה המופיעה בפרסומים רבים בעברית. המינוח הנכון מופיע בספר בחלק מהראיונות עם המהנדסים, אבל לא בקטעים שנוסחו על-ידי המתברים. זוננשטיין ושטאובר, ואף העורכת הלשונית, אינם ערים להבדל בין המינוחים האלה.

**כיצד הוחלט על סגירת פרויקט הלבניא?**

עובדה ידועה היא, כי ההחלטה על סגירת פרויקט הלבניא נתקבלה בממשלה ב-30 באוגוסט 1987 על חודו של קול – ברוב של 12 נגד 11. האשימו אז את השרה שושנה ארבל-אלמוזנינו ממפלגת העבודה, שנכנעה ללחץ הכבד שהופעל עליה במפלגתה לסגת מתמיכתה בפרויקט והכריעה בהצבעה. גרסה חדשה על קביעת יחסי הכוחות בממשלה באותה הצבעה גורלית פורסמה ב-13 בנובמבר השנה במוסף **כלכליסט**, בראיון שקיים משה גורלי עם פרופ' שמואל קניאל – מתמטיקאי המגדיר את עצמו כ"רודף צדק", שהקדיש ארבעה עשורים מחייו למאבקים למען הציבור. קניאל זוקף לזכותו את יירוטו של מטוס הלבניא, וכך סיפר בראיון: "החלטתי שאני נגד, ופרסמתי בעיתון מאמר מנומק שטען שעלינו להשתמש בכסף לדברים שאנחנו באמת טובים בהם. רבין שמח וארגן לי פגישה עם ראש הממשלה שמיר, אבל זה לא השפיע עליו. בדקתי את מי אני יכול להעביר צד. מצאתי שלשר יוסק'ה שפירא מהמפד"ל לא הייתה דעה נחרצת, ואחרי שהסברתי לו הוא שינה את דעתו". שפירא נמנע בהצבעה, וכך הושג הרוב לסגירת הפרויקט.

התחום, של האתגרים העומדים לפניו, של תרומותיו עד היום, של יתרונותיו וגם של האתגר שהוא מציב בפני אלה המנסים להטמיע אותו בפנפי תעשייה ובארגונים.

בספר מסוכמים ראיונות עם 22 מומחים מישראל ומהעולם, המייצגים קשת רחבה של תחומי עיסוק וניסיון מגוונים בתעשייה ובאקדמיה. בין 12 הישראלים נכללים מהנדסי מערכות ומנהלים בכירים מ**רפאל**, **התעשייה האווירית**, **אלביט מערכות**, חברות הייטק והאקדמיה. בין הזרים בולט נורמן אוגוסטין, המנהל האגדי לשעבר של **לוקהיד מרטין**. מעניינים במיוחד הפרקים הנוגעים לפרויקט מטוס הלבניא ולפרויקט **כיפת ברזל**.

**פרויקט הלבניא – החלום ושברו**

מחברי הספר הספיקו לראיין את עובדיה הררי ז"ל, לפני מותו ביולי 2012. הררי ניהל את פרויקט פיתוח מטוס הקרב **לבניא בתע"א**, החל מבדיקת ההיתכנות בסוף שנות ה-70 ועד לסגירת הפרויקט ב-1987. הוא דיבר בגילוי לב בלתי רגיל לא רק על ההישגים הידועים, אלא גם על הלקחים המתבקשים מהטעויות שעשה. הררי סיפר בכנות רבה על הדרך שבה ניהל את צוותו ועל הלקחים שהפיק: "אני הייתי ריכוזי. לא שיתפתי אותם מספיק. ובכל זאת היו ביניהם כאלה שלא נתנו לעשות את מה שאני רוצה. בראייה בדיעבד פעלתי באופן לקוי... התפיסה אז הייתה שמנהל הוא מצאצ'ו, שעל פיו יישק דבר. מנהלים חשבו שהם יודעים הכול". על המבנה של מנהלת הפרויקט, כאשר הררי שימש הן כמנהל הפרויקט והן כמהנדס המערכות הראשי שלו, הוא אמר: "העובדה שמילאתי את שני התפקידים פגעה בפרויקט. חשבתי שאני יודע הכול ומסוגל לעבוד 18 שעות ביממה. הלקח שלי הוא, שבפרויקט בהיקף של 10-15 מיליון דולר ומעלה (שמספר אנשי הצוות שלו עולה על 10 או 15) צריך לפצל בין תפקיד מנהל הפרויקט ובין תפקיד מהנדס מערכות ראשי. בפרויקט בגודל כזה צריך מי שיתעסק בעיקר בניהול – המשימות הניהוליות לוקחות את מרבית זמנו של מנהל הפרויקט. אם הוא נושא בשני התפקידים ומטפל גם בסוגיות טכניות, כמהנדס מערכות ראשי, זה מעכב תהליכים או מוביל אותם לבינוניות. הוא נאלץ לקבל החלטות מהר ולא בוחן את כל ההיבטים באופן מספיק מעמיק. או לחילופין, החלטות נדחות וזה עולה יותר כסף".

הררי הודה גם שלא יחס מספיק חשיבות למגבלות התקציביות: "בפרויקט הלבניא הסתכלנו על הכסף, הוא היה ברקע, אבל לא נתנו לו חשיבות רבה מדי, אף שידעתי כי לעלות יש השפעה על המשכיות הפרויקט. כבר אז היה ברור לי שזו הייתה טעות מהותית, כי לכסף יש חשיבות מרכזית. את הלחץ הזה יישמתי כבר בפרויקט הבא שניהלתי".

הסיבות שהביאו לסגירתו של פרויקט הלבניא, לפי ניתוחו של הררי, היו: שיקולים תקציביים (שחלק מהם הושפע מהעבודה בשטות עלות פלוס, שיצרה בור תקציבי), לצד שיקולים פוליטיים פנימיים (שיקולי בחירות ומאבקי כוח בין משרד הביטחון, צה"ל וחיל האוויר), ושיקולים חיצוניים (יחסי גומלין עם הממשל האמריקני).

לפי דעתו של **הלבניא** מנחם שמול, טייס הניסוי הראשי של הלבניא ואותה עת (המצוטט גם

**מהקונקורד לכיפת ברזל – ניהול מערכות טכנולוגיות במאה ה-21**

מאת אביגדור זוננשטיין ושוקי שטאובר  
היושע שטאובר – ספרי ניהול ועסקים, 2014  
288 עמודים בכריכה רכה. המחיר: 98 ש"ח.



ב מ צ י א ו ת  
הטכנולוגית של זמננו, תוכניות פיתוח של פרויקטים הנדסיים מורכבים דורשות כישורי ניהול רב-תחומיים. מנהל פרויקט אינו צריך לפעול רק על פי שיקולים הנדסיים טהורים, אלא עליו להביא בחשבון גם

אילוצים מערכתיים נוספים – כלכליים, גורמי אנוש, ושיקולים מסחריים ושיוקיים. לכן, ניהול פרויקטים הנדסיים גדולים מופקד כיום ברוב המקרים בידי מהנדס מערכות.

בטכניון פועל מאז סוף שנות ה-90 **מרכז ברנד מ. גורדון להנדסת מערכות**, שבראשו עומד פרופ' אביב רוזן מהפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל. הפנייה להקמת המרכז להנדסת מערכות, שבאה אליו בתקופה בה כיהן כדיקן הפקולטה, לא הייתה מקרית, שכן הפעילות בהנדסת מערכות בעולם התחילה בדרך כלל בתעשיות האווירונאוטיקה והחלל ובתעשיות הביטחון.

על זיקתה של הנדסת מערכות לאוויר-נאוטיקה הסביר פרופ' רוזן: "מהנדס אווירונאוטיקה מתחנך במידה רבה כמהנדס מערכות. עוד בשנות ה-60, בתקופה שבה הייתי סטודנט בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה בטכניון, היה ויכוח בין הצורך בהתמקצעות במקצועות האווירונאוטיקה השונים ובין הכשרה של 'מהנדס מאוזן', המקבל רקע רחב בכל התחומים. בטכניון היו וישנן פקולטות שבהן הסטודנט בוחר את מסלול ההתפתחות המקצועי שלו בתוך הפקולטה. לעומת זאת, באווירונאוטיקה נטען שייחודו של התחום בכך שהוא רב-תחומי, משום שהמטוס הוא כלי בין-תחומי ורב-תחומי. מהנדס אווירונאוטיקה הוא מהנדס טוב יותר אם הוא רואה את התמונה הכוללת, ולא רק את האווירודינמיקה, המבנה או הברקרה".

התוכנית להכשרת מהנדסי מערכות שגובשה בטכניון ופועלת בו נועדה להכשיר אנשים מהתעשייה שהתנסו בעבודה הנדסית, ומתקבלים אליה מהנדסים שרכשו ניסיון של לפחות שלוש שנים בעבודה מעשית. התוכנית, המתפרשת על פני כשנתיים וחצי (ביום לימודים שבועי מרוכז) כוללת כ-500 שעות לימוד בכיתה ושעות רבות של עבודה מחוץ לכיתה. במסגרתה ניתן משקל רב לפרויקטים מעשיים הנערכים בצוותים. המחזור הראשון של תוכנית ההכשרה של הטכניון סיים את לימודיו בשנת 2001, ועד כה הוכשרו במסגרתה יותר מ-900 מהנדסי מערכות.

ספרם של זוננשטיין ושטאובר, שהוכן ביוזמת **מוסד הטכניון למחקר ופיתוח ומרכז ברנד מ. גורדון להנדסת מערכות**, מיועד להגביר את המודעות ליכולות הטמונות בהנדסת מערכות. הספר, המבוסס על ראיונות עם מומחים בהנדסת מערכות, מציג תמונה רחבה של