



ביעף

תעופה וחלל

מהדורה אלקטרונית



- חיל האוויר בחר בסיקורסקי CH-53K קינג סטאליון
- חה"א האמריקני קולט F-15EX; ישראל מגלה עניין
- מדינות אסיאתיות מפתחות מטוסי קרב מתקדמים
- זכות ראשונים: דב סער
- חדשות התעופה והחלל בישראל • ספרים ביעף

התוכן

חדשות ביעף

3	חיל האוויר
8	תעשיות ביטחוניות
13	ישראל בחלל
17	חילות אוויר ערביים
19	טיסות בכורה
20	F-15EX איגל II לחיל האוויר האמריקני: ישראל מגלה עניין
23	דרום-קוריאה, יפן, הודו וטורקיה מפתחות מטוסי קרב מתקדמים
26	זכות ראשונים: חלוצי התיכון האווירונאוטי בישראל
26	דב סער
31	ספרים ביעף

בשער: איור של הבואינג KC-46A בסמלי חיל האוויר הישראלי מתדלק F-15IA.

דבר העורך



מבצע שומר החומות, שהסתיים בלילה שבין ה-20 ל-21 במאי אחרי 11 ימי לחימה, חזר והוכיח תובנות שנלמדו ממצעים קודמים בחזית עזה ובלבנון.

התובנה הראשונה בחשיבותה: כוח אווירי יכול להיות יעיל כפעולת עונשין, מסוגל לגרום לאויב נזק כבד ולהשמיד תשתיות חיוניות, ובמידה מוגבלת יכול להרוג בלוחמיו ומפקדיו ולצמצם את יכולתו של האויב להמשיך בלחימה. פעולת ההרס והסיכול של כוח אווירי יכולות להגביר את גורם ההרתעה, אבל כוח אווירי לבדו אינו יכול להכריע את האויב ולהשיג את הניצחון הרצוי. הכרעה וניצחון ברורים אפשר להשיג רק על-ידי כיבוש שטח האויב באמצעות כוח יבשתי של יחידות מתמרנות.

התובנה השנייה, שהוכחה בכל מבצעי העבר: לא ניתן לעצור כליל או להקטין לרמה מזערית את ירי הרקטות משטחי האויב לעבר התחום

הריבוני של המדינה על-ידי שימוש בכוח אווירי בלבד. האויב הערבי ברצועת עזה ובדרום לבנון ממקם את משגרי הרקטות בעמדות מסתור בלב אוכלוסייה אזרחית ובאתרים תת-קרקעיים. כאשר הפעלת הכוח האווירי חייבת להתחשב בדרישה הבינלאומית למנוע ככל האפשר פגיעה באוכלוסייה אזרחית בלתי מעורבת, אי אפשר לתקוף את מרבית המשגרים ולהשמידם גם אם יודעים את מיקומם המדויק. לפי הנתונים שפרסם דובר צה"ל, במהלך מבצע שומר החומות ביצעו כוחות החמאס והג'יהאד האסלאמי ברצועת עזה 4,360 ניסיונות שיגור של רקטות ופצצות מרגמה. כ-3,400 מהן חדרו לתחום מדינת ישראל, כ-680 נפלו בשטח הרצועה, וכ-280 נפלו ביס. מערכת ההגנה האווירית **כיפת ברזל** הפגינה שיעור הצלחה של כ-90% בירוט האיומים, כאשר המדיניות היא לירט אך ורק רקטות שעולות לפגוע באזורים מיושבים ולהתעלם מן הרקטות שנראה כי יפלו בשטחים פתוחים. זהו אומנם הישג מרשים בהגנה על תושבי האזורים המאוימים, אך עדיין הרקטות שמצליחות בכל זאת לחדור גורמות לאבדות בנפש ולנזק כבד לרכוש.

נציג לדוגמה את המקרה של אשקלון, שהייתה העיר המטווחת ביותר בארץ, כאשר לרבים מתושביה אין מרחבים מוגנים. דווח כי 111 מטחים נורו לעבר אשקלון, שכללו 960 רקטות. רובן אכן יורטו, אך 75 רקטות נפלו ישירות בתוך העיר וגרמו לנפגעים. בארץ כולה דווח על 176 נפילות של רקטות בשטחים בנויים, שגרמו להרג ישיר של 10 בני-אדם ולעוד שניים שנהרגו בדרכם למרחב מוגן, וכן לפצועים רבים. הנזקים לרכוש שדווחו במהלך המלחמה כללו 1,825 בתים ודירות שנפגעו ו-1,724 מכוניות. 5,245 תביעות הוגשו למס רכוש. וצריך להתייחס בחומרה גם לנזקים הנפשיים הנגרמים מאלפי האזעקות המפחידות ביום ובלילה ולשיבוש מהלכי החיים הסדירים.

מערכת **כיפת ברזל** ממשיכה להפגין ביצועים טובים, אבל חייבים לפעול להקטנת שיעור הזליגות, במיוחד אם מדובר בצורך לעבות את המערך עם סוללות נוספות ולייצר יותר טילי יירוט זמינים.

התובנה השלישית מתייחסת להרכב הסד"כ של חיל האוויר. לצורך תקיפות מן האוויר ברצועת עזה ובלבנון אין צורך במטוסי קרב חמקנים מהדור החמישי, שהפעלתם יקרה מאוד. יש להבטיח, כי גם לקראת העשור הבא יירכשו מטוסי קרב מדור 4.5, דוגמת F-15IA ו-F-16V בלוק 70, שיחליפו מטוסי ב2 וברק מתיישנים.

יהודה בורוביק

ביעף
העופה והחלל

מהדורה אלקטרונית e154

סיוון תשפ"א – מאי 2021

בחסות
האגודה למדעי התעופה
והחלל בישראל

www.aerospace.org.il

ביעף נוסד בשנת 1972.

מו"ל ועורך אחראי: יהודה בורוביק

עורכי משנה: מאיר פדר

ד"ר נעם הרטוך

דוא"ל: biaf@aerospace.org.il

מחיר המינורי: 117 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 בחלט.

BIAF – Israel Aerospace e-Magazine

Publisher & Editor: Yehuda Borovik

E-mail: biaf@aerospace.org.il

Copyright © 2021 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.

חיל האוויר בחר בסיקורסקי CH-53K קינג סטאליון



אב-הטיפוס השלישי מדגם תדלוק אווירי כשהוא נושא מטען חימוני במשקל 12.25 טון.

משרד הביטחון הודיע ב-24 בפברואר כי השר בני גנץ קיבל את המלצת הרמטכ"ל, רא"ל אביב כוכבי, ומנכ"ל משרד הביטחון, אלוף (מיל') אמיר אשל, לבחור ב-CH-53K כמסוק התובלה הכבד החדש של צה"ל, שיחליף את מסוקי היסעור. "ההחלטה התקבלה בתום עבודת מטה מקצועית שכללה טיסות בכל המסוקים המוצעים, וכן בחינת החלופות השונות בהיבטים של הנדסה, טכנולוגיה, אחזקה ועוד", נאמר בהודעת משרד הביטחון. עסקת הרכש טרם יצאה לדרך מכיוון שלא נתקבל עדיין אישור ועדת השרים להצטיידות, וזאת בגלל המשבר הפוליטי המתמשך.

המסוק מתוצרת סיקורסקי, חברה של לוקהיד מרטין, הועדף על פני ה-CH-47F שיונק של בואינג. הנימוקים המלאים לא פורסמו, אך נוכל להעריך את השיקולים העיקריים על סמך ההשוואה בין שני סוגי המסוקים שפרסמנו ב"ביעף" 143 עמ' 18-20. ההשוואה שערכנו הבליטה את יתרונותיו של ה-CH-53K מבחינת כושר נשיאה, ביצועים, ניצול טכנולוגיות חדישות ופשטות התחזוקה, ומנגד התרעה על עלות הרכישה הגבוהה.

כשרוכשים כלי-טיס חדש המיועד לשרת במשך 40 שנים ויותר, עדיף כמובן לבחור במוצר החדשני ביותר שקיים, שלא יזדקק לשדרוגים מקיפים בעתיד הקרוב והבינוני, וכאשר רוב השדרוגים יוכלו להתבצע באמצעות עדכוני תוכנה. הקינג סטאליון הוא מסוק מתכן חדש לחלוטין (למרות שהוא מסומן בסדרה הישנה CH-53), אשר מנצל את הטכנולוגיות המתקדמות ביותר דוגמת: ייצור מחומרים מרוכבים, רוטור ראשי בתצורה אווירודינמית יעילה במיוחד, מערכת ניהוג חשמלית (טוס-על-חוט) בשילוב עם מערכת בקרת טיסה אוטומטית דיגיטלית, שימוש במערכת משולבת לניטור כשירותו של המסוק ולדיווח אוטומטי לצוותי הקרקע על פעולות התחזוקה הנדרשות, מנועים חדישים בעלי תצורת דלק נמוכה יחסית ושיטת תמסורת חדשנית.

השינוק, לעומת זאת, מבוסס על תכן בן עשרות שנים. המסוק הבסיסי הושבח אומנם במהלך השנים, וכיום מסופק הדגם CH-47F שנכנס לייצור ב-2006. בואינג הציעה בשנים האחרונות לצבא ארה"ב תוכנית השבחה משמעותית לדגם משופר המסומן בלוק II והחלה בטיסות ניסוי של אב-הטיפוס, אך הפיתוח מתקדם בקצב איטי ואין ודאות כי הוא אכן יושלם בגלל שיקולים תקציביים של הצבא. ייתכן, שאם הבלוק II היה זמין בטווח הזמן הקצר, מניותיו היו עולות בתחרות.

מבחינת מחיר הרכישה, אין אנו יודעים מהו ההבדל האמיתי בין ההצעה של לוקהיד מרטין לזו של בואינג. יחד עם זאת, אפשר להניח שהעלות למחזור החיים של הקינג סטאליון עשויה להיות נמוכה יותר משל השינוק, בזכות פשטות התחזוקה עקב השימוש במערכת האוטומטית לניטור כשירות המסוק. גורם נוסף שעשוי להזיז את העלות למחזור החיים הוא הצורך הצפוי בפחות שידרוגים והאפשרות לצלל עדכוני תוכנה במקום להחליף חומרה.

שיקול נוסף שאולי השפיע בתהליך הבחירה היה הרתיעה של חיל האוויר מהפעלת מסוק

- תא נוסעים/מטען רחב יותר ב-30 ס"מ, בעל נפח גדול יותר ב-12%;
- כושר נשיאת מטען תכליתי פנימי (דלק ומטען) במשקל 18.1 טון, לעומת 8.5 טון בייסעור;
- הנפה חימונית במשקל של עד 16.3 טון על הוו המרכזי, או עד 11.4 טון על הוו הקדמי או האחורי, לעומת 9.07 טון על וו הרמה אחד בייסעור;
- מהירות שיוט של יותר מ-170 קשרים (315 ק"מ/ש'), לעומת 130 קשרים (240 ק"מ/ש') בייסעור;
- עודף כוח של שלושת המנועים שמאפשר ביצועים עדיפים בפעולה משדות גבוהים ובמזג אוויר חם;
- עומס עבודה מופחת לטייסים, כאשר מערכת בקרת הטיסה האוטומטית מאפשרת הגעה מדויקת לנקודת נחיתה מיועדת בלילה ובתנאי

בעל שני רוטורים ראשיים, לעומת התצורה המוכרת של רוטור ראשי אחד ורוטור זנב מאזן. חשש זה היה קיים גם בסוף שנות ה-60 של המאה הקודמת, כאשר חיל האוויר התלבט בין השינוק מדגם CH-47C לבין הסיקורסקי CH-53D. בהקשר זה ראוי להדגיש, כי התצורה עם שני הרוטורים הראשיים אינה מרתיעה 20 מדינות ברחבי העולם, שמפעילות מאות מסוקי שינוק בהצלחה רבה במשך עשרות שנים.

משרד הביטחון צפוי לרכוש כ-20 מסוקי CH-53K, אשר יסופקו על פני תקופה של מספר שנים (הפרטים המדויקים אינם ידועים בשלב זה).

חיל האוויר יזכה במסוק תובלה כבד בעל מאפיינים משופרים בהרבה לעומת היסעור הוותיק:

מאמן התחזוקה, שהוא דגם בקנה מידה מלא, יאפשר לצוותי הקרקע להכיר את כל רכיבי המסוק וללמוד כיצד להרכיב ולפרק חלקים ולבצע את כל הבדיקות הנדרשות.





מאמן הטיסה של הקינג סטאליון מאפשר לטייסים לתרגל את כל המשימות שהמסוק מסוגל לבצע.

ראות גרועים, ושמירה על גובה ריחוף ומצב נדרש בדיוק רב.

בשירות חיל הנחתים של ארה"ב

שלושה מסוקי CH-53K סדרתיים נמסרו בחודשים האחרונים לטייסת הניסויים המבצעיים VMX-1 של חיל הנחתים האמריקני בבסיס ניו ריוור בצפון קרוליינה. מסוק רביעי צפוי להימסר בחודש יולי הקרוב, ואז תתחיל הטייסת בסדרה מקיפה של ניסויי טיסה מבצעיים, שיימשכו יותר משנתיים. עם השלמת הבחינה הזאת, ה-CH-53K צפוי להיכנס לשירות מבצעי בחיל הנחתים בין סתיו 2023 לאביב 2024.

סיקורסקי מייצרת כיום את הקינג סטאליון בקצב נמוך של שישה מסוקים בשנה, ותעבור לייצור בקצב גבוה רק אחרי סיום מוצלח של הניסויים המבצעיים. חיל הנחתים חתם עד כה על הזמנות ל-24 מסוקים בארבע מנות, מתוך הדרישה הכוללת ל-200 מסוקי תובלה כבדים.

עסקה ראשונה לרכש שני מטוסי תדלוק KC-46A



ראש משלחת הרכש של משרד הביטחון בארה"ב, תא"ל (מיל') מישל בן-ברוך, חתם באמצע פברואר על העסקה הראשונה לרכש שני מטוסי תדלוק מסוג KC-46A מתוצרת בואינג. המתדלקים יירכשו בעסקה צבאית מול חיל האוויר האמריקני. אספקת המטוסים הראשונים צפויה באמצע העשור הנוכחי.

בשלב הבא יירכשו שני מתדלקים נוספים, מתוך צי עתידי של שמונה מטוסים. כל המתדלקים יותאמו לתצורה ישראלית ולדרישות המבצעיות של חיל האוויר, וישולבו בהם גם מערכות ישראליות.

הממשל האמריקני אישר לישראל לרכוש שמונה מטוסי KC-46A ב-3 במארס 2020. העסקה יצאה לדרך לאחר שוועדת השרים להצטיידות אישרה ב-7 בפברואר השנה את תוכנית הרכש של חיל האוויר. מטוסי ה-KC-46A פגסוס מיועדים להחליף בהדרגה את מטוסי הראם המיושנים, שיוצרו לפני 42 עד 50 שנים, אשר משרתים את חיל האוויר כמתדלקים מאז ראשית שנות ה-80.

ה-KC-46A פותח על-ידי בואינג עבור חיל האוויר האמריקני והחל להיכנס לשירות בינואר 2019. ביכולתו לשאת כמות דלק כוללת במשקל של 96.3 טון, ולתדלק מטוסים באמצעות המנור המעופף בקצב של 4,540 ליטר בדקה.

את מאפייניו ותכונותיו של ה-KC-46A תיארו בגיליונות "ביעף" e148 עמ' 17 ו-e151 עמ' 3.

בתמונה העליונה: איור של KC-46A מתדלק באוויר מטוס קרב מדגם F-15IA.

משמאל: ראם מס' 275 (סלט ירוק 5) של טייסת 120 מדגים תדלוק באוויר של F-16I סופה במטס חיל האוויר ביום העצמאות תשפ"א (צילום: זיגי).





צילום: עמית אגרונוב, חיל האוויר

מטוס הביון אורון יצטרף לטייסת הנחשון

חיל-האוויר, אגף המודיעין וחיל-הים. היחידה אוספת מודיעין אותות מהקרקע, האוויר והים, שמסייע לייצר תמונת מודיעין רחבה, על בסיסה מתקבלות החלטות ארוכות טווח, בזמן אמת, עבור חיל האוויר וצה"ל כולו.

"הבשורה הגדולה היא סך היכולות של המטוס והמשימות המגוונות שהוא יכול לבצע", הבהיר רס"ן א'. "המטוס משמעותי לא רק עבור הטייסת וחיל-האוויר, אלא עבור צה"ל כולו – הוא יבצע משימות גילוי עבור חיל-הים באמצעות מערכות ייחודיות, והכל יתבצע בשיתוף פעולה עם אגף המודיעין ויחידת מעוף רחב. זהו מטוס שמשלב בתוכו את שלוש הזרועות".

"לאורון יש יכולת לשהות זמן רב באוויר, לטוס רחוק יותר ממטוסי צילום אחרים, ולהטיס מספר רב של אנשי צוות – דבר הכרחי במטוס ביון כזה. בנוסף, המטוס יכול להטיס אנשי פיענוח מאגף המודיעין, שיפענחו בזמן אמת את תמונות המכ"ם האווירי, במקום שהדבר יתבצע על הקרקע. כך המטוס יכול לצאת למשימה כישות עצמאית ולחזור עם תוצר מוגמר", אמר רס"ן א'.

מבוסס גם הוא על הפלטפורמה של הגאלפסטרים G550. חיל האוויר רכש מטוס משומש שיוצר בשנת 2016 במחיר של כ-33 מיליון דולר (בעוד שמטוס חדש עולה 61.5 מיליון דולר). המטוס עבר שינויים מקיפים במפעלי גאלפסטרים כדי להתאימו לתצורת CAEW (התרעה מוקדמת ובקרה אווירית) – ראה "ביעף" e106 עמ' 10 ו-e109 עמ' 17. החיישנים השונים ומערכות המשימה יותקנו בחודשים הבאים במפעלי התע"א, ולאחר השלמת התהליך הארוך ייכנס האורון לשירות מבצעי בטייסת הנחשון 122. הטייסת מפעילה כיום שני מטוסי נחשון עיטם ושלושה מטוסי נחשון שביט לאיסוף מודיעין אותות.

סגן מפקד טייסת 122, רס"ן א', הסביר בריאיון לאתר חיל האוויר, כי "המטוס משלב מספר יכולות – בין אם מדובר בצילום, בקרה וגילוי אווירי, ויכולות איסוף מודיעין גם עבור חיל-הים. מרבית היכולות האלו קיימות בטייסת וביחידת מעוף רחב, אך כאן איגדנו את כלל היכולות הללו במטוס אחד". כפי שנחשף באתר חיל האוויר בשנה שעברה, יחידת מעוף רחב משלבת בין גופי המודיעין של

חיל האוויר מצטייד במטוס ביון חדש, המשלב יכולות של מטוסי העיטם והשביט, של מטוסי צילום ממערך הקרב, ושל מכ"מי אוויר-קרקע מתקדמים. המטוס, שנקרא אורון, הגיע לישראל ב-16 במארס, ונחנך בטקס חגיגי שהתקיים בבסיסה של טייסת 122 בנבטים ב-4 באפריל.

מפקד חיל-האוויר, אלוף עמיקם נורקין, אמר בטקס: "יכולותיו של המטוס מוסיפות נדבך נוסף ליכולות המבצעיות והאסטרטגיות הקיימות בחיל האוויר, אשר יבטיח את המשך שמירת עליונותנו בשמי המזרח התיכון והגנת שמי מדינת ישראל וביטחונה".

מפקדת טייסת 122, סא"ל ג', אמרה בטקס: האורון מהווה שחקן חיוזק משמעותי ליכולות חיל האוויר וצה"ל, ודורש שיתוף פעולה הדוק בין הזרועות השונות למען הצלחת המשימה. אנו כטייסת מובילים בחיל-האוויר את קליטת היכולות מקצה לקצה ואחריות רבה מונחת על כתפנו. המטוס יאפשר לחיל-האוויר ולצה"ל להעמיק את העליונות המודיעינית בכל מעגלי הפעולה".

האורון, שדומה חיצונית לנחשון עיטם,

הושלמה השבחת שמונה קרנפים



אחד משמונת מטוסי ה-C-130H שהושבחו לתצורת קרנף אוויוני. (צילום: עמית אגרונוב, חיל האוויר)

לתפעל את מגוון כשירותי הקרנף עם הטכנולוגיה התעופתית החדשה ביותר", אמר סא"ל א', מפקד טייסת 131 בטקס שנערך ב-2 במאי 2018.

בתחילת מאי 2018. "בפרויקט אמיץ פיתחנו הרקולס חדש, יכולת השמורה למעצמות. הקוקפיט, שנבנה כמו כפפה לחיל האוויר הישראלי, מאפשר

טייסת 131 אבירי הציפור הצהובה בבסיס נבטים השלימה בפברואר את קליטתם המחודשת והכנסתם לשירות של שמונה מטוסי הרקולס מדגם C-130H שהושבחו לתצורת קרנף אוויוני. לאחר השבחתם מסומנים מטוסי קרנף אלה C-130HI.

תוכנית ההשבחה יצאה לדרך בדצמבר 2012, עת הוענק לאלביט מערכות החוזה לשדרוג מערכות האוויוניקה של מטוסי ה-C-130H שנותרו בשירות, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e125 עמ' 4. בנוסף, הוענק לתע"א חוזה להשבחה מבנית של חלק ממטוסי הקרנף האלה כדי להאריך את חייהם (החלפת הכנף המרכזית), כפי שדיווחנו ב"ביעף" e126 עמ' 4. המטוס הראשון שהשבחנו הסתיימה – קרנף תדלוק 522 – חזר לטוס באוקטובר 2015 (ראה e134 עמ' 3) והחל בניסויי טיסה. מטוסי הקרנף האוויוני נכנסו רשמית לפעילות בטייסת 131



תא הטייסים של הקרנף האווירי עם צגים דיגיטליים ותצוגה עלילת. (צילום: עמית אגרונוב, חיל האוויר)

1975. **קרנף 448**, שנחת על גחונו וניזוק קשה ב-1 בדצמבר 1987, הוצא מן הסדר ב-1991. **קרנף 106** קורקע ב-2009 בגלל מצבו הגרוע. **קרנף 208** קורקע בעשור הקודם בגלל מצבו הגרוע. נותרו לפיכך שמונה **קרנפים** מדגם **H**, ואלה הושבחו כאמור לדגם **HI**.

תריסר **הקרנפים** הישנים יותר מדגם **C-130E**, אשר נתקבלו באוקטובר 1973 במסגרת הסיוע האמריקני החדף בעת מלחמת יום הכיפורים, ואשר סומנו במספרי זנב בסדרה 3xx, הוצאו מהשירות בין השנים 2000 ל-2016. שניים מהם (307 ו-311) נמכרו בשנת 2004 למקסיקו.

היסטוריית הקרנפים

תריסר מטוסי ה-**C-130H** נרכשו חדשים מחברת **לוקהיד** בשנות ה-70 של המאה הקודמת. השניים הראשונים (מספרי זנב 102 ו-106) הגיעו באוקטובר-נובמבר 1971; שניים נוספים (203 ו-208) הגיעו במאי-יוני 1974; השמונה האחרונים (מספרי זנב מ-420 עד 545) נתקבלו בשנת 1976. לפחות שלושה **קרנפים** אלה (436, 522 ו-545) מותאמים לתדלוק באוויר של מסוקי **יסעור וינשוף** בשיטת החדק והסל, וניתן לתדלק גם אותם באוויר ממטוס תדלוק אחר (**ראם**) בעל מנור מעופף. **קרנף 203** התרסק בסיני ב-25 בנובמבר

וכך תיאר הטייס סרן י' את יתרונותיו של **הקרנף האווירי** בריאיון לאתר חיל האוויר: "מטוס **הקרנף** הישן לא נתן מענה מספק למשימות ולאתגרים שלוחמי צוות-אוויר בשנת 2021 צריכים להתמודד עמם בטיסה. לכן, נוספו פונקציות רבות שמאפשרות לצוותי-האוויר לקיים את משימות הליבה של המטוס באופן בטוח ויעיל יותר. הקוקפיט השתנה לחלוטין והפך ל'גלאס קוקפיט' – כלומר, במקום מחוונים אנלוגיים ישנם מסכי משימה שניתן להציג עליהם נתונים הכרחיים לטיסה, דוגמת נתיבים, נתוני מנוע, מכ"ם, מזג-אוויר ועוד. כמורכך נוספה תצוגה עילית, שמאפשרת לנו לטוס בצורה בטוחה יותר, משום שאני לא צריך להסיט את העיניים מהשטח כדי להסתכל על נתוני הטיסה".

סרן י' הדגיש, כי "יש לטייס את היכולת להתאים את תצוגות הנתונים למתאר של הטיסה באופן מיטבי. בנוסף, יש לנו מערכות שמאפשרות העברת מידע בין מטוסים במבנה – אני יכול לשלוח נתיבים ואיומים למטוס שטס לצדי, והנווט שאיתי במטוס יכול לשלוח נתונים שיוצגו במסך שלי".

עוד הוסיף סרן י', כי "מכ"ם מזג האוויר מאפשר ביצוע משימות בתנאים קשים יותר, שבעבר לא יכולנו לבצע. השדרוגים מאפשרים טיסה בחושך ובגובה נמוך בצורה אפקטיבית יותר".

יתרון נוסף עליו הצביע סרן י' מתייחס להכשרת טייסים: "השבת המטוס אפשרה את קיצור מסלולי ההכשרה בטייסת וזירוז ביצוע הסמכות טיסה שונות. כלומר, טייסים צעירים מבצעים משימות שבעבר רק טייסים ותיקים היו יכולים לבצע, כיוון שהאווירונקה מפשטת את המשימה".

ראוי לציין, שחלק ממערכות האווירונקה של **הקרנף** המושבב הינן חדשות ומתקדמות יותר מאשר המערכות במטוסי ה-**C-130J** **שמשון** שמופעלים בטייסת 103 **הפילים**.

שינויים ארגוניים בטייסות הכטמ"ם בבסיס פלמחים

מהיר מאוד בקצב כניסת הטכנולוגיות ובקצב צבירת כלי-הטייס, אמר סא"ל ע', מפקד טייסת 161, בטקס שנערך ב-19 בינואר. "מהות השינוי היא ארגון מחדש של טייסות הבסיס ושיטות ההפעלה שלהן. כך ניתן יהיה לעמוד בצורה מלאה ואיכותית יותר במשימות אותן אנו מבצעים כיום, ותוך כדי כך לאפשר יכולות גידול, התפתחות והתאמה לאתגרי המחר".

שינוי נוסף נעשה בתחום התחזוקה. הוקם גף מערך קרקעי לכטמ"ם בטייסת התחזוקה בפלמחים, שמייצר זמינות ושירותים טכניים מלאים למערכי ה**זיק והכוכב**.

ה**זיק** הוא הכטמ"ם הוותיק ביותר שנמצא כיום בשימוש חיל האוויר, אך הוא מצוי בתהליכי התפתחות טכנולוגית כל הזמן: "נוספות לו מערכות טכנולוגיות חדשות, שמאפשרות לו להכפיל את כוחו ולהביא לתפוקה מבצעית טובה יותר בשיטת ההפעלה שלו", אמר סא"ל ע'.

בבסיס פלמחים פועלת זה שנים רבות גם טייסת 200, הנקראת **טייסת המל"טים הראשונה**, אשר מפעילה מאז מארס 2007 את הכטמ"ם **הרון 1** שובל מתוצרת ה**תע"א**.



הרמס 450 זיק. (צילום: עמית אגרונוב, ח"א)

בטייסת 166 לצד ה**זיק**. בתחילת השנה הופרדו שני המערכים, וטייסת 161 מפעילה את כל ה**זיקים** של חיל האוויר. "מערך הכטמ"ם חווה תהליך התעצמות

בחודש ינואר השנה נערכו שינויים ארגוניים בשתיים מטייסות הכטמ"ם (כלי-טיס מאויש מרחוק) של חיל האוויר הפועלות בבסיס פלמחים. טייסת 166 **ציפורי האש** העבירה לטייסת 161 **הנחש השחור** את כל מטוסי ה**זיק** שלה, ומפעילה מאז אך ורק מטוסי **כוכב**.

טייסת 166 נפתחה בשנת 1999 עם כטמ"מים מסוג **הרמס 450 זיק** מתוצרת **אלביט**, וכונתה **טייסת ה**זיק** הראשונה**. עם הגידול בסד"כ הכטמ"מים מסוג זה, נפתחה מחדש בשנת 2012 טייסת 161 כטייסת **זיק** שנייה. בנובמבר 2015 הוכרז **ההרמס 900 כוכב** כמבצעי, והופעל מאז

הרמס 900 כוכב של טייסת 166 **ציפורי האש** בפלמחים. (צילום: עמית אגרונוב, חיל האוויר)



מטוסי נץ מעודפי חיל האוויר נמכרו לחברת Top Aces



מטוסי הנץ מס' 220 (למעלה) ו-250 (למטה) מועמסים לתוך ה-An-124 עם כנפיים וזנב מפורקים.



מטוסי האלפא ג'ט 040 וה-A-4N סקיי הוק C-FGZH (לשעבר עיט ישראלי מס' 415) של Top Aces המופעלים בבסיס ויטמונד של חיל האוויר הגרמני.



משרד הביטחון מוכר 29 מטוסי F-16A/B נץ מעודפי חיל האוויר לחברת Top Aces הקנדית, אשר תשתמש בהם לאספקת שירותי ביום אויב לאימון טייסי חיל האוויר האמריקני. היקף העסקה נאמד בעשרות מיליוני דולרים.

על הסכם המכירה חתם בתחילת השנה הנוכחית מנכ"ל משרד הביטחון, אלוף (מיל') אמיר אשל, בתום משא-ומתן ארוך בהובלת האגף לסיוע לייצוא ביטחוני (סיב"ט) וחיל האוויר. ארבעה מטוסים ראשונים במסגרת העסקה – נץ דר-מושבי מספר 017 והנצים החד-מושביים 129, 220 ו-250 – נשלחו לארה"ב ב-27 בינואר במטוס מטען An-124 של חברת התעופה למטענים גדולי-נפח אנטונוב איירליינס.

חיל האוויר הוציא משירותו את מטוסי ה-F-16A/B נץ המיושנים בתהליך הדרגתי שהסתיים בסוף דצמבר 2016, כפי שאנו מפרטים במדור סקירת הספרים בגיליון זה.

החברה הפרטית Top Aces הוקמה בשנת 2000 על-ידי קבוצה קטנה של טייסי קרב מנוסים במטרה להעניק שירותי ביום אויב לאימון טייסים של חילות אוויר גדולים. ברשות החברה כיום שבעה מטוסי A-4N סקיי הוק (עיט) וסקיי הוק דר-מושבי אחד מדגם TA-4J שנרכשו מעודפי חיל האוויר הישראלי; יותר מ-50 מטוסי אימון סילוניים מסוג אלפא ג'ט שנרכשו מגרמניה ומבלגיה; ארבעה מטוסי לירג'ט 35A ומטוס ווסטווינד 1124 אחד.

Top Aces מעניקה שירותי אימון לחיל האוויר הגרמני ולחיל האוויר המלכותי הקנדי. בפברואר השנה הודיעה החברה על ציון דרך של ביצוע 90,000 שעות טיסה מאז 2005 ללא כל תאונה. מאוחר יותר השנה תתחיל החברה לפעול גם בארה"ב.

החל פיתוח חץ 4, שיחליף את חץ 2



איור של טיל היירוט חץ 4 שמועד להחליף את החץ 2 הוותיק.

מינהלת חומה במפא"ת שבמשרד הביטחון והסוכנות האמריקנית להגנה מפני טילים (MDA) החלו בפיתוח מיירט חץ 4 עם התעשייה האווירית לישראל – הקבלנית הראשית לפיתוח מערכת הנשק ומיירט החץ. כך הודיע משרד הביטחון ב-18 בפברואר.

חץ 4 יהיה טיל מיירט עם יכולות משודרגות, שייתן מענה למגוון רחב של איומים עתידיים, אשר מתוכנן להחליף בעשורים הבאים את מיירט חץ 2.

שר הביטחון, בני גנץ, אמר: "לצד פיתוח היכולות ההתקפיות החיוניות, מערכת הביטחון פועלת כל העת לחסום את שמי ישראל מול איומים בליסטיים, בבנייה מתמדת של מערך רב-שכבתי. פיתוח חץ 4, יחד עם שותפיו האמריקנים, יביא לקפיצת מדרגה טכנולוגית ומבצעית בשדה הקרב העתיד, אל מול איומים שמתפתחים כל העת במרחב המזרח תיכוני ומעבר לו".

ראש הסוכנות האמריקנית להגנה מפני טילים, אדמירל ג'ון היל, הבהיר כי "חץ 4 הינה תוכנית משותפת ל-MDA ולמינהלת חומה ומבטאת את מחויבותה של ארה"ב לסייע למדינת ישראל בחיזוק מערך ההגנה הלאומי נגד איום הטילים".

ראש מינהלת חומה במפא"ת, משה פתאל, אמר: "פיתוח חץ 4 מותנע בעיתוי סמלי, 30 שנים לאחר מלחמת המפרץ, שבעקבותיה הוקמה מינהלת חומה ויצאה לדרך תוכנית ההגנה מטיילים המשותפת לישראל ולארה"ב. בשלושה עשורים הקמנו את מערך ההגנה מטיילים המתקדם בעולם, המונה ארבע שכבות מבצעיות מוכחות. אנחנו ממשיכים להסתכל קדימה לעבר האיומים והיכולות הבאות. לחץ 4 יהיו יכולות טיסה ויירוט יוצאות דופן, והן יבטיחו שמדינת ישראל תמדי תהיה צעד אחד

נשק ליירוט רקטות וטילים המשוגרים לעבר מדינת ישראל מטווחים ארוכים, בינוניים וקצרים. המערך מורכב מארבע שכבות:

חץ 3: מערכת ליירוט טילי קרקע-קרקע (טק"ק) מטווח ארוך, המהווה את הנדבך העליון במערך הרב-שכבתי. המיירט הדו-שלבי, הפועל מחוץ לאטמוספירה, מבוסס על פגיעה פיזית בטיל המאיים. המערכת נמסרה ליחידת **חרב מגן** של חיל האוויר ב-18 בינואר 2017, עת הוכרזה יכולת מבצעית ראשונית. ביולי 2019 הושלמה סדרת ניסויים באלסקה שבארה"ב, שבה הדגימה המערכת בהצלחה מלאה יכולת יירוט של מטרת בגובה רב מחוץ לאטמוספירה.

חץ 2: מערכת ליירוט טק"ק מטווח בינוני וארוך, כאשר המיירט הדו-שלבי פועל בגובה רב בתוך האטמוספירה ומשמיד את המטרה באמצעות ראש קרבי מתפוצץ. המערכת נכנסה לשירות באוקטובר 2000 ושודרגה במהלך השנים.

קלע דוד (שרביט קסמים): מערכת ליירוט טק"ק מטווח בינוני וקצר, רקטות מטווח בינוני וארוך, וטילי שיוט. המיירט הדו-שלבי מצויד בשתי מערכות איכון והכוונה – מכ"ם וחיישן אלקטרו-אופטי, ופועל בשיטת הפגיעה הפיזית במטרה. המערכת הוכרזה כמבצעית ב-2 באפריל 2017, בתום תהליך פיתוח שנמשך כעשור.

כיפת ברזל: מערכת ליירוט רקטות קצרות-טווח וכלי-טיס בלתי מאוישים. טיל היירוט **טמיר** משמיד את המטרה באמצעות ראש קרבי מתפוצץ המופעל על-ידי מרעום קרבה. המערכת נכנסה לשירות בשנת 2011, כשלוש שנים וחצי מתחילת הפיתוח. היירוט המבצעי הראשון בוצע ב-7 באפריל 2011. בעשר השנים שחלפו מאז רשמה המערכת לזכותה יותר מ-2,500 יירוטים מוצלחים, והדגימה שיעור הצלחה של כ-90%. עוד מאות יירוטים מוצלחים בוצעו במהלך מבצע **שומר החומות** במאי השנה.

כל המערכות האלה תוארו בהרחבה בגיליונות קודמים של "ביעף".

לפני אויביה".

מנהל מפעל מל"מ בתע"א, יעקב גליפת, הוסיף: "מערכת הנשק חץ, שהייתה הראשונה בעולם שאיפשרה יירוט טילים בליסטיים, תקבל יכולת משמעותית נוספת מבית התעשייה האווירית, בדמות חץ 4. היכולות החדשות, שנמצאות כבר בתהליך פיתוח, יספקו מיירט שיהיה המתקדם מסוגו בעולם וייתן יכולת הגנה משמעותית נוספת למדינת ישראל ולאזרחיה".

מערך הגנה רב-שכבתי

במהלך 30 השנים האחרונות הוקם מערך הגנה אקטיבית רב-שכבתי, המורכבת ממערכות

שיגור טיל **טמיר** מסוללה של **כיפת ברזל** במבצע **שומר החומות**. (צילום: עמית אגרונוב, חיל האוויר)



הטיל ברק ER הוכיח יכולת יירוט בטווח של 150 ק"מ



טיילי ברק משלושת הסוגים ורכיביהם הפנימיים. הברק ER נבדל בתוספת מאיץ רקטי בזנבו.

למשתמש הפעלת כוח אופטימלית, תוך שימוש במספר סוללות או ספינות לטובת ניהול קרב רב-ממדי.

מנכ"ל התע"א, בועז לוי, אמר: "ברק הינה מערכת הגנה אווירית אקטיבית בשלה ומוכחת מבצעית, שמאפשרת מקסום היכולות הנדרשות אל מול האיומים השונים ומספקת פתרון לשדה הקרב הנוכחי והעתידי. למערכת גרסה ימית וגרסה יבשתית, הבנויות מאותן אבני בניין ונשענות על הידע שנרכש בתע"א בעשורים האחרונים בתחום ההגנה האווירית. התע"א מפתחת ומייצרת את כלל מרכיבי המערכת – מכ"מים, משגרים, טילים ומרכז השליטה והבקרה – יכולת העומדת לרשות מספר מועט מאוד של חברות בעולם. סדרת ניסויי היירוט הארוכה והנרחבת שעברה המערכת, וזאת בתנאים קשים בים וביבשה, מהווה הוכחה ליכולותיה בצורה מלאה. תפיסת המודולריות והמשגרים החכמים משתלבת היטב בדרישות הלקוחות לגמישות מרבית, הן בזמן ניהול הקרב והן בהצטיידות לנוכח אתגרי התקציב הקיימים."

הלקוחות השונים. טיילי היירוט מיוצרים בשיתוף פעולה בין התע"א לרפאל.

המערכת מאופיינת בגמישות מבצעית המאפשרת את בחירת המכ"ם והמיירט בהתאם לאופי האיום וסוג המשימה, תוך ראייה רחבת של סך האיומים, המשימות והמשאבים העומדים לרשות המערכת. בנוסף, מאפשרת המערכת הצטיידות הדרגתית על פי מגבלות תקציב והרחבת היכולות לאורך זמן בצורה מהירה וקלה.

ברק היא מערכת הגנה מבצעית מהמת-קדמות בעולם, המוכחת מבצעית. היא נמצאת בשימוש של מספר צבאות בעולם, בהם זרוע הים הישראלית, וזרועות היבשה, האוויר והים בהודו, כמו גם לקוחות נוספים.

מערכת ברק מקנה הגנה אזורית רחבה ונקודתית, בו-זמנית, מפני מגוון איומי תקיפה מהאוויר, מהים ומהיבשה. ניתן לשלב בה מכ"ם יבשתי מסוג MMR של אלטא מערכות או מכ"ם MFSTAR לפלטפורמות ימיות. קיימת אפשרות לשימוש במשגר אחד עם מיירטים לטווחים שונים מאותו משגר. תקשורת וקישוריות מערכתית פורצת דרך מאפשרת

התע"א סיימה באפריל סדרת ניסויים מוצלחת של מיירט ברק ER (ראשי תיבות של: Extended Range) לטווח מוגדל של 150 ק"מ והחלה באספקתו ללקוחות. במסגרת הניסויים נבחנה יכולותיה של מערכת ההגנה האווירית ברק במגוון רחב של מתארים ואיומים, ובכלל זה ביירוט מטרה בליסטית תוקפת. הטיל המיירט משוגר אנכית וכולל מנוע רקטי דו-פולסי וראש ביות מכ"מי מתקדם. הגדלת טווח היירוט מתבצעת באמצעות הוספת מאיץ רקטי והתאמת יכולות התקשורת ומכ"ם ה-MMR לטווח 150 ק"מ.

מיירט ברק ER הינו חלק ממשפחת מיירטי ההגנה האווירית במערכת ברק של התע"א, התומכת במכ"מים ומשגרים שונים לכיסוי מיטבי נגד מטוסי קרב, מסוקים, כטב"מים, טיילי שיוט, טיילי קרקע-אוויר וטיילי קרקע-קרקע. המערכת מבוססת על מרכז שליטה חכם ומוכח מבצעית, המאפשר שילוב של טילים מיירטים נוספים:

המיירט ברק MRAD מותאם לטיפול באיומים בטווח של עד 35 ק"מ, וכולל מנוע פולס אחד בלבד.

המיירט ברק LRAD מותאם לטיפול באיומים בטווח של עד 70 ק"מ, וכולל מנוע דו-פולסי.

לשלושת הטיילים רכיבים משותפים רבים, ביניהם אותו ראש ביות מכ"מי, דבר שמהווה יתרון משמעותי בכל הקשור לתחזוקה השוטפת, מערך ההדרכה והאימונים של

שיגור ניסוי של הטיל ברק ER.



משגר קרקעי של מערכת הנשק ברק MX, שמתאים גם לירי טיילי ברק ER.

התע"א מציעה לבריטניה טיל ים-ים מתקדם



איוור של טילי Sea Serpent הטסים בגובה נמוך מעל גלי הים לעבר ספינת מטרה.

בתע"א של ראש הממשלה בנימין נתניהו (ראה "ביעף" e146 עמ' 12).

ביולי 2020 הודיעה התע"א, כי היא הקימה בסינגפור יחד עם ST Engineering חברה משותפת בשם פרוטאוס מערכות מתקדמות, לשיווק ולמכירה של מערכות טילים ימיים, ובהן הדור הבא של מערכות טילי ים-ים נגד ספינות.

אך כמעט לא פורסמו עליו פרטים. הפרסומים היחידים היו:

ב-6 ביולי 2018 הודיע משרד ההגנה של פינלנד כי חיל הים הפיני ירכוש מהתע"א טילי ים-ים חדישים עבור תוכנית SSM2020, בעסקה שהיקפה 162 מיליון אירו עם אופציה לעסקת המשך בהיקף של 193 מיליון אירו. צילום ראשון של הטיל (שכונה גבריאל 5) פורסם ב-17 בדצמבר 2018, במהלך ביקורו

התע"א, בשיתוף עם חברת תאלס הבריטית, מציעות לצי המלכותי הבריטי לרכוש טילי תקיפה ימיים מסוג Sea Serpent (נחש ים), כדי להחליף את טילי ההרפון בלוק 1C בפריגטות מסוג Type 23. לפי ההודעה של התע"א מה-13 באפריל, ה-Sea Serpent הוא טיל נגד ספינות ולתקיפת מטרת יבשתיות עם טווח של כ-200 ק"מ. הטיל בעל הנחיית המכ"ם הפעילה מתאפיין במערכת מתוחכמת לניתוח נתונים ובקרה, המבצעת במדויק גילוי, הבחנה ומיון של המטרות. הטיל מסוגל להתגבר על איומים קינטיים נגדו ועל אמצעי נגד אלקטרוניים. להתמודדות עם מצבים משתנים, ניתן לעדכן את הטיל במהלך מעופו עם נתוני מודיעין המתקבלים בזמן אמת ולהפנותו למטרה אחרת.

התע"א מגדירה את ה-Sea Serpent כ"טיל המתקדם ביותר בעולם החופשי שמשוגר מספינות לתקיפת מטרות שטח". פיתוחו של הטיל, המכונה באתר החברה "טיל תקיפה ימי מתקדם", החל לפני מספר שנים במפעל מבת,

רפאל סיימה פיתוח גרסה של I-Derby ER לשיגור מהקרקע

בהתאם לתנאי השיגור והתנהגות המטרה. הטיל הוא בעל יכולת "שגר-ושכח", המאפשרת התמודדות עם מטרות רבות בזמן זמנית, וניתן לשגר ביום או בלילה, ובכל תנאי מזג אוויר. משקלו הקל יחסית מאפשר את התאמתו למטוסי קרב מודרניים גדולים וקטנים כאחת.

גרסתו הקרקעית של הטיל יכולה להשתלב באופן כמעט מידי בסוללות הגנה אווירית מסוג Spyder מתוצרת רפאל. טיל I-Derby ER המשוגר מהקרקע מכפיל את הטווח לעומת הטיל הקיים – מ-40 ק"מ ל-80 ק"מ.

ומטרות אוויריות חדשות. תהליך עדכון התוכנה הוא מהיר ופשוט, וניתן לבצעו גם בזמן סבב קצר ביותר הרלוונטי לתקופת לחימה.

I-Derby ER מכיל אמצעי-נגד אלקטרוניים, שנועדו להתמודד עם אתגרים של לחימה אווירית בסביבה עוינת בגמישות מבצעית יוצאת דופן, בהתאמה לדרישות התפעוליות של הקלוח. לטיל מנוע רקטי דו-פולסי, המאפשר ניהול הנעה אופטימלי בהתאם לדרישות המשימה, אשר מספק טווח מעוף מוגדל באופן משמעותי. "מוח" הטיל מורכב מאלגוריתמים מתוחכמים לייעול מסלולו,

רפאל מערכות לחימה מתקדמות השלימה בפברואר את פיתוח הגרסה הקרקעית של טיל האוויר-אוויר ארוך-הטווח **I-Derby ER**. בניסוי שנערך בשדה הניסויים שדמה שבדרום הארץ, ביצעה **רפאל** שיגור מהקרקע של הטיל לצורך סיכום יכולות השליטה והבקרה (שו"ב), הניווט ומסלול הטיסה. במהלך השיגור והמעוף התקבלו כהלכה נתוני שו"ב ותקשורת מהטיל. תקשורת הנתונים של הטיל מבוצעת תוך שימוש במערכת התקשורת הדו-כיוונית המתקדמת של **רפאל**, המספקת לו מידע מלא על המטרה שנבחרה ועל מטרות אחרות בסביבה הקרובה.

ראש חטיבת מערכות הגנה ברפאל, תא"ל (מיל) פיני יונגמן, אמר: "סיימנו סדרת ניסויי פיתוח לטיל ה-I-Derby בגרסתו החדשה ביותר (ER), אשר מאפשרת שיגור לטווח מנגד של מעל ל-100 ק"מ. מדובר באבן דרך מרכזית בפיתוח טיל בעל יכולות מתקדמות ביותר, המעניקות לו יתרונות יירוט משמעותיים בקרבות אוויר-אוויר, וכן גם בירי מהקרקע. הטיל המתקדם מעניק עליונות אווירית משמעותית לטייס הקרב או למפקד ההגנה האווירית, שיעשו בו שימוש".

האוויר **I-Derby ER** הוא נגזרת ארוכת-טווח של הטיל **I-Derby**, אשר נמצא בשימוש מבצעי בקרב מספר חילות אוויר בעולם. טיל אוויר-אוויר משופר זה נחשף לראשונה בסלון האווירי בפאריס ביוני 2015 – ראה "ביעף" e132 עמ' 24.

הטיל מצויד בראש ביות מכ"מי חדשני מתוצרת **רפאל**, הבנוי בטכנולוגיית מצב מוצק. ראש הביות מבוסס תוכנה, ומאפשר גמישות תפעולית מלאה על-ידי שליטה בכל הפרמטרים המבצעיים. יכולת זו מאפשרת לשדרג את ביצועי הטיל כנגד איומים חדשים וטקטיקות איוב, כמו איומי לוחמה אלקטרונית חדשים

משגר נייד של מערכת ההגנה האווירית Spyder LR המותאם גם לשיגור טילי I-Derby ER.



רפאל הפכה את הפצצה הגולשת SPICE-250 לטיל שיוט



דגם של טיל השיוט SPICE-250ER שהציגה רפאל בתערוכת אייר אינדיה בפברואר השנה.

רפאל מערכות לחימה מתקדמות הציגה לראשונה בתערוכת אייר אינדיה בפברואר השנה גרסה חדשה של החימוש אוויר-קרקע SPICE-250, שבה נוסף מנוע סילון מיניאטורי ומערכת דלק להזנתו בטיסת השיוט לעבר המטרה. התקנה חדשה זו הופכת את ה-SPICE-250ER מפצצה מונחית גולשת לטיל שיוט מדויק, המסוגל לתקוף מטרות קרקעיות בטווח של עד 150 ק"מ. מטוס קרב יכול לשאת ארבעה טילים כאלה על נושא הפצצות החכם שמנצל נקודת תלייה אחת מתחת לכנף, בדיוק כמו החימושים הגולשים חסרי המנוע.

טיל השיוט החדש, כמו הפצצה הגולשת, נושא ראש קרבי בן 75 ק"ג. כפי שתיארנו ב"ביעף" e148 עמ' 3, עיקרון ההפעלה הוא כדלקמן: במהלך הטיסה, הנווט במטוס הקרב בוחר את סוג המטרה שאותה צריך לתקוף ומקצה מטרה פרטנית לכל טיל. הטיילים משוגרים לכיוון אזור המטרות תוך שימוש במערכת הניווט האינרציאלית שלהם. עם ההתקרבות למטרה, הטיל משתמש ביכולת הזיהוי האוטומטי לגלות את המטרה ולהוות אותה. ההתביינות על המטרה מתבצעת באמצעות אלגוריתמים להתאמה אלקטרו-אופטית אוטונומית עם תמונות של אזור המטרה שהוזנו מראש. כל טיל מתבייט על המטרה שהוקצתה לו, בין אם אוטומטית או בהכוונה של הנווט במטוס המשגר.

התעשיות הביטחוניות הגדולות דיווחו על תוצאות עסקיות טובות לשנת 2020

אלבית מערכות

ההכנסות בשנת 2020 הסתכמו ב-4,662 מיליון דולר, לעומת 4,508 מיליון דולר בשנה הקודמת – גידול בשיעור של 3.4%. התחומים העיקריים שתרמו להכנסות החברה היו המערכות המוטסות ומערכות היבשה.

הרווח הנקי בשנת 2020 הסתכם ב-237.7 מיליון דולר (5.1% מסך ההכנסות), בהשוואה ל-227.9 מיליון דולר אשתקד.

צבר ההזמנות של החברה ליום 31 בדצמבר 2020 הסתכם ב-11,024 מיליון דולר, לעומת צבר של 10,029 מיליון דולר בסוף 2019. כ-65% מצבר ההזמנות של החברה נובע מלקוחות מחוץ לישראל. כ-65% מצבר ההזמנות מתוכנן לביצוע במהלך השנים 2021 ו-2022.

בצלאל (בוצי) מכליס, נשיא ומנכ"ל אלבית מערכות, ציין את השפעות מגפת הקורונה: "במהלך שנת 2020 עסקינו בתחום הביטחוני לא נפגעו באופן מהותי מהמגפה, למרות שבחלק מהפעילויות העסקיות שלנו אנו חווים שיבושים מסוימים בשל הוראות בטיחות ממשלתית, מגבלות הנסיעה ועיכובים בשרשרת האספקה. הירידה המהותית בתעופה האזרחית וההערכה שחזרתה לרמות של 2019 תאריך מספר שנים, הפחיתו את הביקוש למוצרים ושירותים בשוקי התעופה האזרחית. בנוסף, יצרנו מטוסים לשוק האזרחי הודיעו על תוכניות להפחתת כמויות היצור לצורך התאמתם לביקוש הנמוך יותר."

מיליון דולר, לעומת הפסד של כ-21 מיליון דולר בשנה הקודמת.

צבר ההזמנות בסוף שנת 2020 הסתכם בכ-12.6 מיליארד דולר, בהשוואה לצבר בסך של כ-13.5 מיליארד דולר בסוף 2019. 79% מהצבר מיועד למכירה ללקוחות חו"ל בפיזור גיאוגרפי רחב. הצבר מורכב ממגוון רחב של פרויקטים ומבטיח יותר משלוש שנות פעילות בהיקף הפעילות הנוכחי.

רפאל מערכות לחימה מתקדמות

רפאל דיווחה על מכירות בהיקף של 9,454 מיליון ש"ח (2,746 מיליון דולר) בשנת 2020, ירידה בשיעור של 2.6% לעומת 2019. הרווח הנקי הסתכם ב-322 מיליון ש"ח (94 מיליון דולר), ירידה של כ-19% לעומת השנה הקודמת. צבר ההזמנות עומד על 22,880 מיליון ש"ח (7,116 מיליון דולר), המהווה 2.3 שנות מכירה. ההישגים הבולטים של החברה בשנה האחרונה כללו: מסירת שתי סוללות **כיפת ברזל** ראשונות ומערכות **מעיל רוח** לצבא ארה"ב; הרחבת מעגל הלקוחות של טילי **ספייק**; ניסוי מערכת של **שריביט קסמים** ושל **כיפת ברזל**; הדגמה של יכולת יירוט רחפנים; וכן הדגמה והצגה של תפיסת הקרב החדשנית. כמו-כן חנכה **רפאל** מרכז חלל לליווינות, תוך הרחבת פעילות בשלוחות הפיתוח בירושלים ובתל-אביב, זכייה בפרויקט מודיעיני רב-זרועי חשוב ואסטרטגי עבור מערכת הביטחון, ובשני פרסי ביטחון ישראל, בפעם ה-54.

שלוש התעשיות הביטחוניות הגדולות בארץ – **התעשייה האווירית לישראל (תע"א)**, **רפאל מערכות לחימה מתקדמות (רפאל)** ו**אלבית מערכות** – הצליחו להשיג רווחים נאים בשנת 2020, למרות הבעיות שעוררה מגפת הקורונה. להלן הנתונים העיקריים של כל אחת מהן.

התעשייה האווירית לישראל

הכנסות **התע"א** בשנת 2020 הגיעו לשיא מאז הקמת החברה והסתכמו בכ-4,184 מיליון דולר, בהשוואה לכ-4,108 מיליון דולר בשנה הקודמת. הגידול נבע בעיקרו מעלייה במכירות **אלתא מערכות** ובחטיבת מערכות טילים וחלל. נתח המכירות של החטיבות הצבאיות עלה בכ-14% לכ-3,508 מיליון דולר, בהשוואה לכ-3,080 מיליון דולר בתקופה המקבילה אשתקד. נתח המכירות של חטיבת תעופה ירד בכ-18% לסך של כ-1,187 מיליון דולר, בהשוואה לכ-1,442 מיליון דולר בשנה הקודמת, לאור המשבר העולמי בשוק התעופה. נתח המכירות לייצוא בשנת 2020 היה כ-71%, והסתכם בכ-2,991 מיליון דולר – בדומה ליחס בשנה הקודמת.

הרווח הנקי צמח ב-48% והגיע לכ-133 מיליון דולר (כ-3.2% מהמכירות), בהשוואה לרווח נקי של כ-90 מיליון בשנת 2019. זהו הרווח הנקי הגבוה ביותר בתולדות **התע"א**. הרווח הנקי של החטיבות הצבאיות בשנת 2020 עלה בכ-13% לכ-248 מיליון דולר, בהשוואה לכ-219 מיליון דולר ב-2019. ההפסד הנקי של חטיבת תעופה בשנת 2020 הסתכם בכ-32



התע"א השתתפה במטס ההצדעה ביום העצמאות

תחילת 2020 ברישום A6-EBB. עבודות הסבתו וביצוע ניסויי הטיסה הדרושים להשגת רישוי אזרחי אמורים להסתיים עד סוף 2022, ולאחר מכן הוא יימסר לחברת התעופה למטענים Kalitta Air בארה"ב. קאליטה הזמינה שלושה מטוסי 777-300ERSF, כפי שהודיעה החברה המחכירה GECAS ב-27 באוקטובר 2020.



עדכון על אספקת מטוסי G280 בשנת 2020

בדיווח שלנו בגיליון הקודם של "ביעף" (עמ' 7) על 22 המטוסים החדשים שסיפקה התע"א לגאלפסטרים בשנת 2020, לא ידענו להסביר מדוע מטוס מספר 2191 נמסר באיחור של חודשים ארוכים. מסתבר, שמתוס זה שימש כפלטפורמה ניסיונית לרישוי השבחות במערכת האוויוניקה של קולנס והוספת פונקציות בטיחותיות חדשות: יכולות הצגת מזג אוויר תלת-ממדי, שיפור בטיחות בסביבת המסלולים, שיפור תחזית מגזירת רוח, והוספת יכולת ביצוע גישות LP המבוססות על GPS.

בתום ניסויי הטיסה והרישוי, בוטל רישומו 4X-WSA והוא הוטס לארה"ב ב-14 בספטמבר 2020 ברישום N291GA.

לארה"ב ב-2 במאי ברישום אמריקני N922GA, להשלמת עיצוב הפנים ולצביעה חיצונית במפעלי גאלפסטרים.

התע"א הודיעה באוקטובר 2019 על התוכנית להסבת מטוסי בואינג 777-300ER מתצורת נוסעים להסבת מטענים, בשיתוף עם חברת GECAS האמריקנית (ראה "ביעף" e149 עמ' 5). המטוס המוסב, שמכונה "Big Twin", יהיה מטוס המטען הדר-מנועי הגדול ביותר בעולם, עם כושר נשיאה של 101.6 טון לטווח מרבי של כ-8,600 ק"מ.

המטוס הראשון המיועד להסבה הגיע לתע"א ב-4 ביוני 2020. מטוס זה, שיוצר בשנת 2005, הופעל בחברת התעופה Emirates עד

לראשונה מאז 1987, התעשייה האווירית לישראל ערכה ביום העצמאות ה-73 מטס הצדעה למדינת ישראל ואזרחיה, בצמוד למטס של חיל האוויר ושל המערך האווירי של משטרת ישראל.

במטס התע"א נחשף אב-הטיפוס של הבואינג 777-300ERSF, העובר הסבה מנוסעים למטען. ליו אותו שני מטוסי מנהלים סילוניים מדגם גאלפסטרים G280 שיוצרו בחברה – אב-הטיפוס השני, שטס לראשונה במארס 2010 ומשמש כיום כמטוס הדגמה (N280GU); והמטוס ה-222 בסדרת הייצור (ברישום זמני 4X-CVF), שבנייתו הושלמה זמן קצר לפני מטס יום העצמאות. האחרון הוטס

למעלה: ה-777-300ERSF וה-G280 במטס יום העצמאות (צילומים: זיגי). למטה: ה-777-300ERSF בתהליכי הסבה מנוסעים למטען במוסך של התע"א.



לוייני אדליס-סמסון של הטכניון שוגרו בהצלחה לחלל



פרופ' פני גורפיל (ראשון משמאל) עם צוות החוקרים ממכון אשר לחקר החלל שעבדו על הפרויקט.

ומרגשת לשילוב מוצלח בין מדע לטכנולוגיה ולתרגום של רעיונות חדשניים לכדי מערכות אפקטיביות התורמות לאנושות, אמר נשיא הטכניון פרופ' אורי סיון. "פריצות דרך מדעיות וטכנולוגיות מצריכות כיום מחקר רב-תחומי ושיתוף פעולה הדוק בין האקדמיה לתעשייה, ואלה המרכיבים שהובילו את הפרויקט אל היום החשוב הזה. זהו רגע מרגש ומכונן לטכניון ולמדינת ישראל".

השיגור הנוכחי ממשך מסורת טכניונית שהחלה ב-1998 עם שיגורו המוצלח של הלויין גורוויין-טכסאט 2, שפעל בחלל יותר מ-11 שנים. מנכ"ל התעשייה האווירית לישראל, בועז לוי, אמר: "אנו רואים חשיבות רבה בשיתוף הפעולה עם הטכניון בקידום מחקר אקדמי וטכנולוגיות עתידיות בתחום החלל. התע"א, בית החלל של ישראל, מהווה את מרכז הכובד בתחום ורואה בחיבור לאקדמיה ערך מוסף ברמה העסקית וברמה הטכנולוגית, שיוכל להמשיך להחדשות וההובלה של ישראל בתחום החלל".

המערכת לעיבוד המידע על הלויין והאלגוריתמים שישמרו על טיסת המבנה הם מהראשונים מסוגם בעולם, ותומכים בהפעלה אוטונומית של כמה לויינים בעת ובעונה אחת. מערכת הניווט כוללת שני מקלטי GPS, שמשמשים לניווט אוטונומי. מערכות התקשורת שבאמצעותן מתקשרים שלושת הננו-לויינים זה עם זה ועם תחנת הקרקע מתופעלות בשלושה תדרים שונים – אתגר משמעותי שנפתר בפרויקט הנוכחי. תדר ייעודי משמש להעברת מידע לכדור-הארץ בפס רחב. מערכות הבקרה וההנעה של הלויינים גם הן בגדר חידוש טכנולוגי. כדי לחסוך דלק מסתייעים הלויינים בשני כוחות טבעיים – כבידה והתנגדות אטמוספירית – וכך מניעים את עצמם. באופן זה הם נזקקים לכמות זעומה של דלק – פחות מגרם דלק לכל לויין. הישג זה הוא תוצאה של עשר שנות מחקר שקדמו לשיגור. "פרויקט אדליס-סמסון הוא דוגמה נפלאה

שלושת הלויינים הזעירים שפותחו ונבנו בטכניון במסגרת פרויקט אדליס-סמסון שוגרו בהצלחה לחלל ב-22 במרס מקוסמודרום בייקונור בקזחסטן באמצעות משגר רוסי מדגם סיוז-2 של חברת Glavkosmos. השלב העליון Fregat של המשגר נשא 38 לויינים מ-18 מדינות, שהגדול ביותר מביניהם היה לויין התצפית הקוריאני CAS500-1 שמשקלו כ-500 ק"ג.

ארבע שעות ועשרים דקות אחרי השיגור נכנסו לוייני אדליס-סמסון למסלול, ואחרי כחצי שעה נוספת "התעוררו" והחלו בהפעלת מערכותיהם. המעקב אחר הלויינים ואיסוף הנתונים שישדרו מבוצעים בתחנת הבקרה שנחנכה במכון אשר לחקר החלל בטכניון בשנת 2018. התחנה מכילה מערך אנטנות מתוצרת אורביט הישראלית ותקיים תקשורת רציפה עם הלויינים – אתגר גדול משום הקירבה ביניהם וריחוקם מכדור-הארץ.

פרויקט אדליס-סמסון מתקיים בתמיכת קרן אדליס, קרן גולדשטיין, סוכנות החלל הישראלית במשרד המדע והטכנולוגיה והתעשייה האווירית לישראל. את הפרויקט מוביל פרופ' פני גורפיל ממכון אשר לחקר החלל, שהוא חבר סגל בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל.

"פרויקט אדליס-סמסון מדגים קונספט חדש בננו-לויינות, שיאפשר לבצע פעולות רבות שהיו שמורות עד כה ללויינים גדולים ויקרים. מדובר בקפיצת מדרגה ביכולותיהם של הטכניון ושל מדינת ישראל כולה בתחום של לויינות זעירה. היא תהפוך את הטכניון לחלוץ עולמי בתחומי האיכון והתקשורת, עם יישומים מגוונים הכוללים איתור נעדרים, חילוץ והצלה, חישה מרחוק וניטור סביבתי", אמר פרופ' גורפיל.

להק הלויינים הזעירים נע בחלל בטיסת מבנה אוטונומית בגובה 600 ק"מ מעל פני הקרקע – כלומר, הם נעים בתיאום ביניהם ללא צורך בהכוונה מהקרקע. הלהק ישמש לחישוב מיקום של מקורות קורנים על פני כדור-הארץ, טכנולוגיה שתיושם באיתור אנשים, מטוסים וספינות. כל אחד משלושת הלויינים בלהק שוקל כ-8 ק"ג. על גבי כל לויין הותקנו מכשירי מדידה, אנטנות, מערכות מחשב, מערכות בקרה, מכשירי ניווט ומערכת הנעה ייחודית וחדשנית. כל הפיתוחים הייחודיים של הלויינים הם תוצרת כחול-לבן ופותחו בשיתוף פעולה יוצא דופן בין האקדמיה לתעשייה:

מערכת הנעה מיוחדת, המבוססת על גז קריפטון, היא הראשונה מסוגה בעולם שמופעלת על לויין זעיר. המקלט הדיגיטלי לאיתור האותות מהקרקע ולאיתורם ומערכת בקרת ההכוון פותחו על-ידי התע"א בשיתוף חוקרי הטכניון.

נוסף למערכת ההנעה יצברו הלויינים אנרגיה דרך פאנלים סולריים שנפרשו לצדי כל לויין. הם משמשים ככפיים שמבקרות במידת הצורך את טיסת המבנה ללא שימוש בדלק, באמצעות התנגדות האוויר.

על גבי כל אחד מהננו-לויינים הורכב מקלט דיגיטלי, אחד המקלטים המורכבים ביותר שותכנו אי-פעם בננו-לויין.

צוות החוקרים שעבדו על הפרויקט עם אחד מלוייני אדליס-סמסון. (צילום: ניצן זוהר, דוברות הטכניון)



לוויין זעיר ראשון של אוניברסיטת תל-אביב שוגר בהצלחה לחלל

כולל ניסוי שבו יימדד ריכוז החמצן האטמוספירי האקטיבי בחלל באמצעות גלאי המבוסס על תאי שמש, שפותח בתמיכת סוכנות החלל הישראלית.

"לחלקיקים שונים עשויה להיות השפעה הרסנית על אסטרונוטים ועל התקנים אלקטרוניים", הסביר ד"ר עמרני. "אנחנו עורכים את הניסויים האלה במטרה ללמוד את המרב על שטף החלקיקים, מהירותם, המסה שלהם ועוד, כדי שנדע להגן טוב יותר על האסטרונוטים ועל האלקטרוניקה שלנו בעתיד. מאחר שללוויין שלנו אין מנוע, הוא ינטר את הקרינה הקוסמית רק במשך מספר חודשים, לפני שייעדך במסלולו כתוצאה מהגרר האטמוספירי וישרף באטמוספירה בדרכו לקרקע."

בתחילת מאי ביצע הלוויין ניסוי נוסף בחלל, כאשר חומר חכם בעל זיכרון צורני (shape memory polymer) שינה את צורתו ונפרס במסלול סביב כדור-הארץ.

"מדובר באקטואטור – רכיב שאחראי להנעת חלקים ומערכות – על בסיס פולימר משנה צורה", הסביר פרופ' נעם אליעז מהמחלקה למדע והנדסה של חומרים שבפקולטה להנדסה. "האקטואטור פותח במסגרת עבודת המאסטר של דבי מרגוי ובהנחיה משותפת של ד"ר רונן ורקר מהמרכז למחקר גרעיני שורק ושלי. כשנתנו את הפקודה, האקטואטור נפרס בהצלחה בחלל. הפולימרים האלה הם חומרים חכמים שיכולים לחזור לצורתם המקורית עקב גירוי חיצוני כמו אור, חום, שדה חשמלי או שדה מגנטי."

ד"ר רונן ורקר הוסיף: "חומרים חכמים הם פתרון עתידי ויצירתי לצורך שיגור מנגוני פריסה מתכתיים כבדי משקל. חומרים חכמים מאפשרים לנו לשלוט בתהליך הפריסה ללא מגע פיזי וללא קשר עין עם מרכז הבקרה, ולחסוך דרמטית במסה ובנפח של המטען המשוגר לחלל. האקטואטור שפיתחנו נפרס בתגובה לחום. בנוסף, זווית הכיפוף של האקטואטור גם משנה את ההתנגדות החשמלית שלו, ובאמצעות מדידת ההתנגדות החשמלית אפשר לקבל סימן לכך שהוא אכן נפרס בהצלחה."

הלוויין בצאתו מבדיקות בחימום בוואקום.



המשגר Antares על כן השיגור באי וולופס.

מבוקרות כיוון, שהקמנו על גג הפקולטה להנדסה."

חלק מהניסויים המדעיים נועדו למדוד את כמות הקרינה הקוסמית בחלל הקרוב לכדור-הארץ, כמו גם את החלקיקים המגיעים מהשמש ואת החלקיקים הלכודים בחגורות ואן אלן העוטפות את כדור-הארץ. בנוסף, המטע"ד

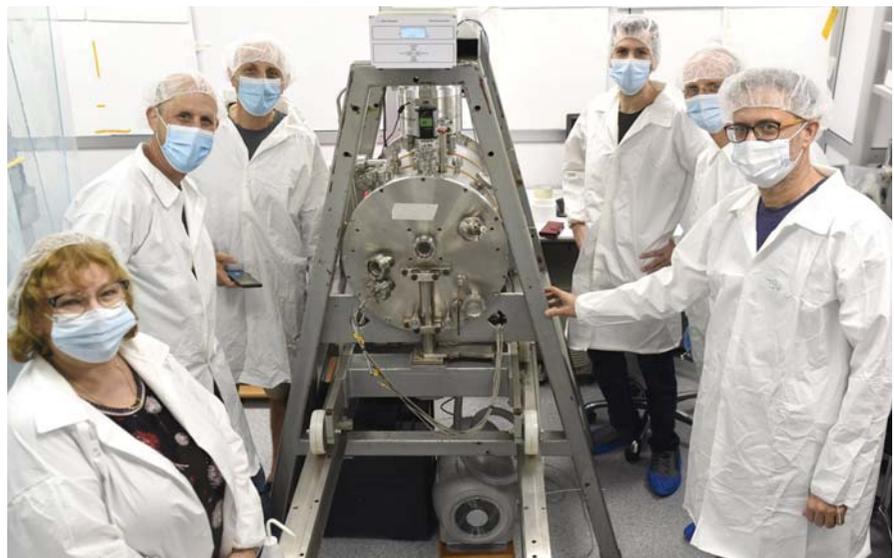
הלוויין הזעיר TAU-SAT1 של אוניברסיטת תל-אביב שוגר לתחנת החלל הבינלאומית ב-20 בפברואר, ושוחר מהתחנה למסלול נמוך סביב כדור-הארץ ב-14 במאסר. בדומה ללוויין הקובייה הזעיר של אוניברסיטת אריאל עליו דיווחנו בגיליון "ביעף" הקודם, גם הנו-לוויין של אוניברסיטת תל-אביב שוגר באמצעות חללית האספקה הבלתי מאוישת Cygnus, שהוזנקה לחלל על-ידי המשגר Antares מתוצרת נורת'רופ גרומן, מאתר שיגורים של נאס"א באי Wallops בוירג'יניה.

TAU-SAT1 פותח ונבנה בשיתוף פעולה ייחודי בין הפקולטה להנדסה ע"ש איבי ואלדר פלישמן ובית הספר פורטר לסביבה ומדעי כדור-הארץ, בפקולטה למדעים מדויקים, לבין המרכז למחקר גרעיני שורק. זהו לוויין בגודל שלוש קוביות סטנדרטיות, שמידותיו 10x10x30 ס"מ ומשקלו פחות מ-2.5 ק"ג. הוא נושא מטע"ד עם מספר ניסויים, שפותחו על-ידי מחלקת סביבת חלל במרכז למחקר גרעיני שורק. התוכנה שמנהלת את מערכות הלוויין והמשימה המדעית פותחה על ידי סטודנטים מאוניברסיטת תל-אביב.

פרויקט TAU-SAT1 יצא לדרך בעקבות פנייה לד"ר מאיר אריאל, מנהל מרכז המדעים בהרצליה, שהוביל את שיגור לוויין התלמידים דוכיפת 1, דוכיפת 2 ודוכיפת 3, מתוך כוונה לשחזר את ההישג גם באוניברסיטת תל-אביב. צוות החלל של מרכז המדעים הרצליה היווה את הגרעין להקמת המרכז הבינתחומי באוניברסיטת תל-אביב לפיתוח ננו-לוויינים.

ד"ר עופר עמרני, מנהל המעבדה לננו-לוויינים בפקולטה להנדסה, תיאר את התוכנית: "את הלוויין שלנו סיימנו בתוך כשנתיים, עם צוות מצומצם של אנשי סגל וסטודנטים. גם את הבדיקות ערכנו כאן, עם תשתית שהקמנו במעבדה, לרבות תא ואקום תרמי ומרעד. את התקשורת עם הלוויין נבצע בעזרת תחנת חובבי רדיו לתקשורת לוויינים ומערך אנטנות

חלק מחברי צוות הפרויקט בחדר הנקי באוניברסיטת תל-אביב.



נבחרו הניסויים המדעיים שיבצע איתן סטיבה בחלל במשימת רקיע



איתן סטיבה באירוע ההכרזה על הניסויים שנבחרו למשימת רקיע בתחנת החלל הבינלאומית.

"אנחנו מאמינים, שמשימת רקיע מקטינה משמעותית את החסמים העומדים בדרכם של מדענים, חוקרים ויזמים, מאיצה את תהליכי הפיתוח של התעשייה ומביאה עימה הזדמנויות חדשות ומשמעותיות. כל זאת כחלק מאסטרטגיה ארוכת טווח שמשרד המדע והטכנולוגיה מקדם, ליצירת תעשיית חלל אזרחית מקומית של כ-350 חברות, המעסיקות כ-25,000 עובדים ומגייסות למעלה מחצי מיליארד דולר בהשקעות פרטיות מדי שנה", אמרה שפיגלמן. היא הדגישה, כי "לצד ההזדמנות המדעית, משימת רקיע היא גם משימה לאומית-חינוכית ראשונה במעלה, שתחבר אליה לא רק את המדענים והמדעניות של היום, אלא גם את כל ילדי וילדות ישראל, דור העתיד של המחקר, המדע ותעשיית החלל הישראלית".

איתן סטיבה, שיהיה הישראלי השני בחלל אחרי אילן רמון ז"ל, אמר באירוע: "משימת רקיע הציתה את דמיונם של כל כך הרבה אנשים מוכשרים שיושבים כאן היום, בהם גם מדענים צעירים מבתי ספר ברחבי הארץ, שעומדים מאחורי ניסויים ופעילויות מגוונות שמתוכננות למלא את הזמן שלי בחלל. הודות לעבודה מאומצת ומקצועית של הוועדה המדעית טכנולוגית נוצר מרחב מלא של תוכן מדעי וטכנולוגי, ובקרוב נחשף גם לתוכן החינוכי והתרבותי. מה שהתחיל כחלום, קורס עור וגידים נלגד עינינו. עומקו של עולם שלם ומרתק נפתח בפני, וכל יום אני לומד משהו חדש".

ניסויים פורצי דרך

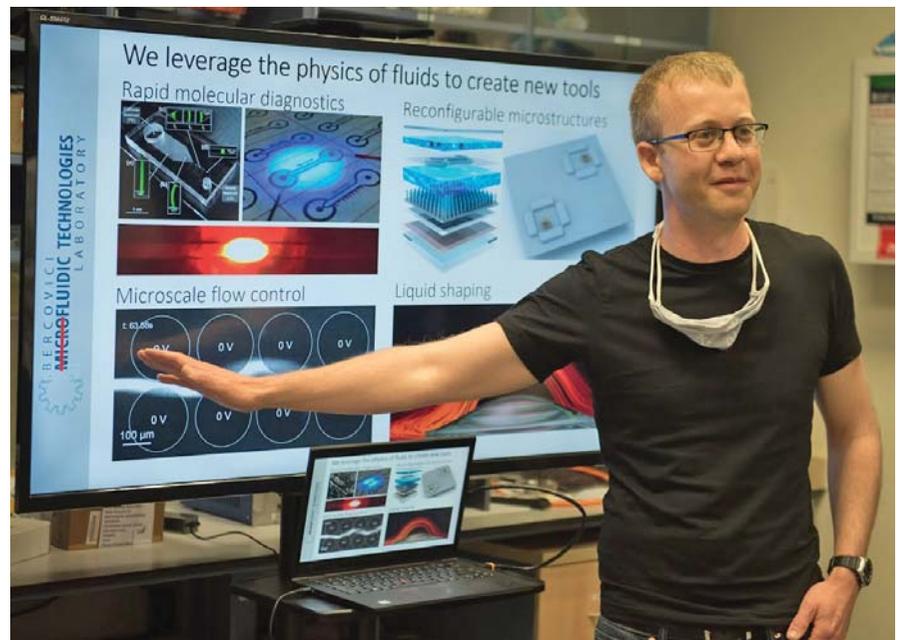
בין הניסויים הנבחרים בתחום האנרגיה ניתן למצוא ניסוי של חברת החשמל בשיתוף חברת StoreDot מהרצליה, שייבחן את הביצועים של סוללת ליתיום-יון חדשנית בתנאי מיקרו-כבידה. כיום ישנה הגבלה בשימוש במוצר באופן מסחרי, ובחלל התנאים יאפשרו שכלול של התהליך. המסקנות מהניסוי עשויות להביא לטעינה מהירה של הסוללות, שנמצאות במרבית המכשירים החשמליים והאלקטרוניים

סוכנות החלל הישראלית במשרד המדע והטכנולוגיה וקרן רמון הכריזו ב-5 במאי על הניסויים המדעיים שיבצע איתן סטיבה במסגרת טיסתו הפרטית לתחנת החלל הבינלאומית – משימה שעבורה נבחר בינואר השם רקיע. סטיבה, שמממן מכיסו את טיסתו לחלל, הסכים להפוך אותה למשימה לאומית, שעתידה לקדם את תעשיית החלל המקומית, לחזק מדע וטכנולוגיה כחול-לבן ולהעניק השראה למיליוני ישראלים. הוא יבלה כ-200 שעות בתחנת החלל, במהלך יערוך סדרה של ניסויים מדעיים שנבחרו בחודשים האחרונים. הניסויים ישוגרו בכפוף לאישור נאס"א ואקסיוס ספיס במסגרת משימת Ax-1, שצפויה להתבצע בתחילת 2022 (ראה "ביעף" e154 עמ' 16).

44 ניסויים נבחרו על-ידי ועדה מדעית טכנולוגית בראשות ענבל קרייס, בכירה בתעשיית החלל בישראל, ומנהלת החדשנות בחטיבת מערכות טילים וחלל בתע"א. תהליך בחירת הניסויים כלל סמינרי הדרכה ופגישות ייעוץ על מנת להתאים את הניסויים לתנאי החלל, וצוותי הניסויים קיבלו גישה לפלט-פורמות המדעיות והטכנולוגיות בתחנת החלל הבינלאומית. מדובר בניסויים חדשניים ופורצי דרך מעולמות תוכן מגוונים – אופטיקה, אנרגיה, אסטרופיזיקה, ביולוגיה, הנדסה, חקלאות, מכשור רפואי, נוירולוגיה, עיניים ותקשורת – שנבחרו על בסיס הפוטנציאל המחקרי שלהם והשפעתם הכלכלית הצפויה.

באירוע ההכרזה על הניסויים שנבחרו, שנערך במרכז פרס לשלום וחדשנות ביפו, אמרה ענבל קרייס: "בשנים האחרונות צמחה תעשיית החלל הישראלית, והיום אנו מציינים קפיצת מדרגה משמעותית לתחום החלל בישראל ובמיצוב המובילות הטכנולוגית

פרופ' מורן ברקוביץ' מהפקולטה להנדסת מכונות בטכניון מציג את עקרונות ניסוי FLUTE.



המשתפים פעולה עם מרכז המחקר איימס של נאס"א. בניסוי תיבחן היכולת לנצל את תנאי המיקרו-כבידה בחלל על מנת לייצר עדשות באיכות גבוהה, באמצעות עיצוב של נוזלים לצורה הרצויה והקשחתם לאחר מכן. הצלחת הניסוי בתחנת החלל תסלול את הדרך לייצור רכיבים אופטיים מתקדמים בחלל, לרבות יצירת טלסקופי חלל גדולים במיוחד, שכן השימוש בנוזלים יאפשר להתגבר על המגבלה הקיימת כיום שבה גודל הטלסקופ תלוי בגודל המשגר שבעזרתו מציבים את הטלסקופ בחלל.

לניסוי זה שיערך בכדור-הארץ, תוך ניטור השינויים בחלוקת התאים הסרטניים והביטוי הגנטי. תוצאות המחקר יכולות לתרום לפיתוח טיפולים חדשניים יעילים יותר ועם פחות תופעות לוואי.

עשרה מהניסויים הנבחרים מביאים לידי ביטוי שיתוף פעולה ישראלי עם הקהילה הבינלאומית. אחד מניסויים אלה, FLUTE – Fluidic Telescope Experiment, תוכנן ונבנה על-ידי חוקרים מהפקולטה להנדסת מכונות בטכניון בראשותו של פרופ' מורן ברקוביץ',

– שעוני יד, טלפונים ניידים, רכבים חשמליים ומתקני אגירת אנרגיה, שנמצאים בליבת העתיד של משק החשמל.

ניסוי אחר הוא פרי עבודת המערך האונקולוגי במרכז שניידר לרפואת ילדים מקבוצת כללית. מטרת המחקר היא לאפיין את תאי הלוקמיה בתנאי מיקרו-כבידה בנוכחות כימותרפיה ובהעדרה. לוקמיה לימפובלסטית חריפה שכיחה בקרב ילדים המטופלים בכימותרפיה, טיפול אשר עלול לגרום לתופעות לוואי. ממצאי המחקר שיתקיים בחלל ישוו

לוויין הניקוי של Astroscale שוגר בהצלחה לחלל

הראשון בעולם שידגים טכנולוגיות להיצמדות לזבל חללי ולסילוקו

עובדי פתרונות חלל אפקטיביים ומנוהלת על-ידי הלבנד.

אריה הלבנד לא הצליח לקדם לבדו את יוזמתו לפתח את לווייני Space Drone, המיועדים להניק שירות ייחודי להארכת חיים של לווייני תקשורת במסלול גיאוסטאציונארי (ראה "ביעף" e142 עמ' 20), וגם שיתוף הפעולה עם התע"א שהוצע ב-2018 לא התממש (e145 עמ' 6). המוצא היחיד להמשך המיזם היה מכירתו לאסטרוסקיייל, שבסיסה ממוקם ביפן עם נוכחות בארה"ב, בריטניה, סינגפור וישראל. בעת ההודעה על המיזוג, ביוני 2020, אמר הלבנד: "מרכז הפיתוח ימשיך לעבוד בישראל, צוות הפיתוח ימשיך לעסוק במה שעסק קודם לכן ואף צפוי להתרחב. אנחנו חולקים עם אסטרוסקיייל חזון ואסטרטגיה דומים לגבי האופן שבו הטכנולוגיה והפלטפורמה שלנו יכולים להפוך לפתרון לוגיסטי עבור לוויינים מסחריים וממשלתיים".

לאחר הצלחת השיגור של ELSA-d אמר הלבנד: "התקדמות משימת ניקוי הזבל החללי היא אחת המשימות הקריטיות ביותר עבור קהיליית משתמשי החלל בכללותה. אסטרוסקיייל היא החברה היחידה בעולם כיום המתמקדת בלעדית באספקת שירותים כאלה בחלל, הן במסלול לווייני נמוך והן במסלול גיאוסטאציונארי".

מנהל המשימה, לאחר השיגור. "אנו מצפים לעבור לשלבים הבאים בהדגמה הטכנולוגית". זוהי המשימה הראשונה בחלל שמטרתה להדגים את טכנולוגיות הליבה הדרושות לעגינה ולהסרת פסולת חללית. במהלך המשימה תוכח היכולת לאתר בחלל ולעגן את המערכת של Astroscale ללוויינים נטושים, לא תקינים, ולפסולת אחרת. הדגמת היכולת של ELSA-d תבצע במשימות חיפוש לקוחות, בדיקת לקוחות, מפגש איתם וגם עגינה בתנאים משתנים. בלב הפתרון של Astroscale מצוי ממשק חדש שפותח על ידי מדעני החברה, אשר יהווה בעתיד חלק הכרחי בכל לוויין שיעלה לחלל. הוא מספק תכונות ייחודיות המקלות על זיהוי, הערכה, גישה, תפיסה וניתוב מסלול של לוויין מושבת, ובכך למזער את עלויות ההסרה והניקוי העתידיות.

התרומה הישראלית

אסטרוסקיייל משתמשת בטכנולוגיות חדשניות שפותחו בחברת פתרונות חלל אפקטיביים מחקר ופיתוח (Effective Space Solutions), לאחר שרכשה בשנה שעברה את החברה הישראלית שהוקמה על-ידי אריה הלבנד. החברה היפנית הקימה בשנה שעברה את אסטרוסקיייל ישראל, שקלטה לתוכה את כל

לוויין ניקוי החלל ELSA-d (ראשי תיבות של: End-of-Life Services Astroclae demonstrator) שוגר בהצלחה ב-22 במארס והגיע ליעדו בחלל. הלוויין היפני (עם שיתוף פעולה ישראלי) שוגר באמצעות סיוע-2 מקוסמודרום בייקונור בקזחסטן – באותו שיגור בו הוזנקו לחלל שלושת לווייני אדליס-סמסון של הטכניון.

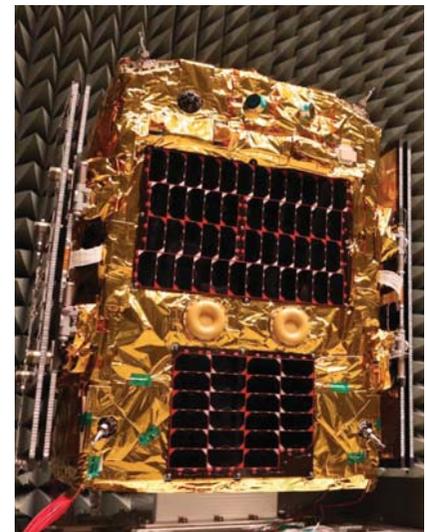
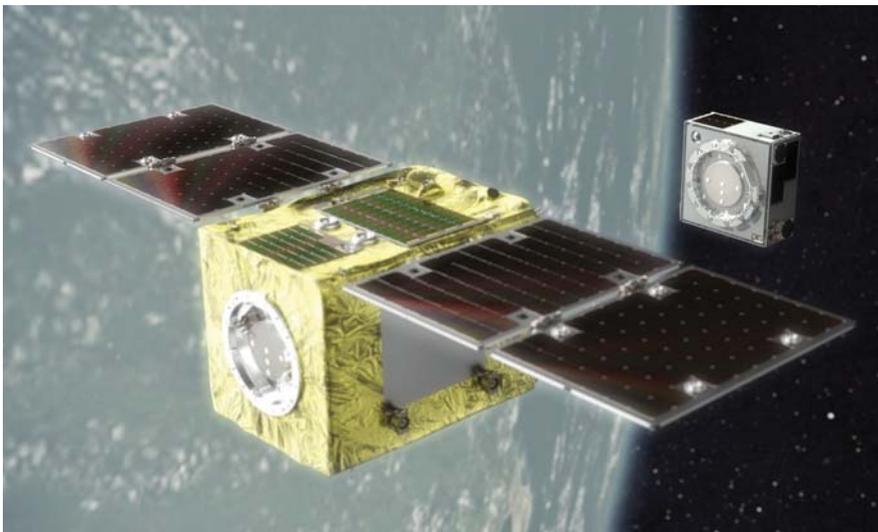
ELSA-d מורכב משני לוויינים ששוגרו צמודים יחדיו: לוויין שירות במשקל של כ-175 ק"ג, ולוויין לקוח ששוקל כ-17 ק"ג אשר מדמה פסולת חלל. לוויין השירות פותח בכדי להסיר בבטחה חלקי פסולת חלל מהמסלול, ומצויד בטכנולוגיות שמאפשרות לאתר ולהתחבר בבטחה לחפצים הנעים בחלל באמצעות מנגנון עגינה מנגטי.

במהלך הבדיקות שיבוצעו בגובה 550 ק"מ תודגם היצמדות בחלל בין שני הלוויינים כשהם מיוצבים, ולאחר מכן ישוחרר לוויין המטרה, הוא יסוחרר ויגולגל, ושוב יתבצע ניסיון להתחבר אליו. זוהי משימה קשה במיוחד שמעולם לא נוסתה בחלל, הכרוכה בתמרונים מורכבים להשוואת המהירות הזוויתית המרחבית של שני הלוויינים.

"צוות הקרקע שלנו שיושב בבריטניה כבר יצר קשר עם ELSA-d וכל הבדיקות הראשוניות משביעות רצון", אמר סייטה איזוקה,

הלוויין ELSA-d בניסוי תאימות אלקטרומנגנטית.

איור של הלוויין ELSA-d ששיגרה Astroscale לחלל להדגמת איסוף זבל חללי.



מצרים

30 מטוסי ראפאל נוספים

חברת דאסו אוויאסיון ושרת ההגנה הצרפתית פלוראנס פארלי הודיעו ב-4 במאי כי מצרים החליטה לרכוש עוד 30 מטוסי קרב מסוג **ראפאל**, בנוסף ל-24 המטוסים שכבר סופקו במסגרת עסקה שנחתמה בפברואר 2015. היקף העסקה החדשה מוערך בכ-4 מיליארד אירו, והיא תמומן בהלוואה לעשר שנים. אספקת המטוסים החדשים תתחיל שלוש שנים לאחר חתימת העסקה.

על הרכש הקודם של מטוסי **הראפאל** למצרים דיווחנו ב"ביעף" e131 עמ' 5-6 ר-133 e6.

תוספת מטוסי **הראפאל** מצרפת מבטאת את המשך המדיניות של מצרים לתגבר את כוח מטוסי הקרב שלה ולגוון את מקורות הרכש. בשנים האחרונות הצטייד חיל האוויר המצרי ב-46 מטוסי **MiG-29M/M2**, והחל לקלוט 30 מטוסי **סוחוי Su-35SE** מרוסיה.

מסוקי לאונארדו AW149

חברת **לאונארדו** האיטלקית סיפקה למצרים בחודשים האחרונים של 2020 חמישה מסוקים ראשוניים מסוג **AW149**. מצרים הזמינה 24 מסוקי **AW149** ושמונה מסוקי **AW189** בעסקה בשווי 871 מיליון אירו שנחתמה עם **לאונארדו** ב-2019, כפי שנחשף בדו"ח של משרד החוץ האיטלקי לסנאט על יצוא ביטחוני, שפורסם במאי 2020.

ה-**AW149** הוא מסוק תובלה בינוני לשימושים צבאיים, הממריא במשקל מרבי של 8,300 עד 8,600 ק"ג. ביכולתו לשאת עד 19 נוסעים, בנוסף לשני הטייסים. המצרים מייעדים אותו להפעלה הן מסיפון ספינות ה**מיסטרל** של חיל הים המצרי והן מהיבשה. נמסר, כי הם יסופקו עם שמונה מושבים בלבד לנוסעים, כדי לאפשר נשיאת ציוד משימתי צבאי. ה-**AW189** הוא דגם אזרחי של אותו מסוק.

טילי RAM בלוק 2

הסוכנות לשיטופי פעולה ביטחוניים במשרד ההגנה האמריקני הודיעה ב-16 בפברואר כי המימשל בארה"ב אישר למצרים לרכוש 168 טילי **RAM Block 2 RIM-116C** מתוצרת **רייט'און טילים והגנה**. ערכה הכולל של העסקה, יחד עם ציוד נלווה ושירותי תמיכה, מוערך ב-197 מיליון דולר.

ה-**RAM (Rolling Airframe Missile)** הוא טיל להגנה עצמית של ספינות, שהדגם הקודם שלו כבר נמצא בשימוש חיל הים המצרי. **בלוק 2** הוא דגם משופר המתאפיין במנוע רקטי גדול יותר המגדיל את טווח היירוט פי 1.5, ובמקטע בקרה משודרג עם מקלט בתדירות מכ"ם שמשוגל לגלות טוב יותר איומים קורנים. 21 טילים כאלה מאוחסנים ביחידת שיגור המותקנת על סיפון הספינה. הטיל, שאורכו 2.88 מטר ומשקלו 88 ק"ג, מגיע לטווח של יותר מ-10 ק"מ.



ה**ראפאל** הדור-מושבי השני שסופק לחיל האוויר המצרי (מספר 9252) בטיסת ניסוי בצרפת בשנת 2015.



למעלה: מסוק **AW149** עבור מצרים בטיסת ניסוי באיטליה. למטה: שיגור של טיל **RAM** מספינה.



כוויית

מסוקי AH-64E אפאצ'י גארדיין

הסוכנות לשיטופי פעולה ביטחוניים במשרד ההגנה האמריקני הודיעה ב-29 בדצמבר 2020 כי המימשל בארה"ב אישר לכוויית לרכוש 8 מסוקי **AH-64E אפאצ'י גארדיין** חדשים ולהשביח את 16 מסוקי ה-**AH-64D** הקיימים שלהם לתצורה של ה-**E**. העסקה, שתכלול את כל המערכות הנדרשות עבור מסוקי התקיפה, ציוד נלווה, אמצעי אימון וסיוע לוגיסטי, עשויה להסתכם בכ-4 מיליארד דולר. מסוקי **AH-64E** נרכשים בשנים האחרונות גם על-ידי חילות אוויר אחרים באזור המפרץ – האמירויות הערביות המאוחדות וקטאר. ערב הסעודית מפעילה מסוקי **AH-64D**.

האמירויות הערביות המאוחדות

החזרת מטוסי סאב 340AEW&C

חיל האוויר של האמירויות קיבל ב-19 בפברואר השנה את המטוס השלישי מסוג **GlobalEye**, בהמשך לאספקת שני המטוסים הראשונים באפריל ובספטמבר 2020. לאור קליטת המטוסים החדשים להתראה מוקדמת ובקרה אווירית, החזירו האמירתיים לחברת **סאב** השוודית בדצמבר 2020 את שני מטוסי ההתראה הישנים יותר מדגם **340AEW&C**, שנרכשו בנובמבר 2009. את ה-**GlobalEye** תיארונו ב"ביעף" e143 עמ' 14.

לבנון

עוד מסוקי יואי וו מארה"ב

חיל האוויר הלבנוני קיבל בסוף ינואר השנה 3 מסוקים מושבחים מדגם **UH-1H II**, המכונים **יואי II**. המסוקים החד-מנועיים הועברו מארה"ב בתוך בטנו של מטוס תובלה גדול מסוג **אנטונוב An-124**. מקורו של הרכש הזה בעסקה מלפני כשש שנים. הסוכנות לשיטופי פעולה ביטחוניים במשרד ההגנה האמריקני הודיעה ב-19 בספטמבר 2014 כי המימשל בארה"ב אישר ללבנון לרכוש 18 מסוקי **יואי II** וצויד ללווה במחיר של 180 מיליון דולר. מאז לא היה ברור כמה מן המסוקים האלה אכן סופקו ללבנון ובאילו מועדים. ב-2016 הודיעה שגרירות ארה"ב בבירות על אספקתם של שלושה מסוקי **יואי II** מהזמנה זו.

מסוקי בל 212 חוזרים לשירות

חיל האוויר הלבנוני מחזיר לשירות חמישה מסוקי **בל 212**, שקורקעו בשנת 1990 בבסיס ריאק. שיפוץ המסוקים הדו-מנועיים, שנקלטו במקורם בשנת 1980, והחזרתם לכושר טיסה מתבצע בלבנון בסיוע חברת **לאונארדו** האיטלקית. המסוק הראשון שחזר לשירות (L557) הוצג בטקס חגיגי שנערך ב-9 בינואר 2020 בבסיס החיל בבירות. שנה לאחר מכן, ב-13 בינואר 2021, הודיע משרד ההגנה הלבנוני על קליטתו של מסוק שני שהוחזר לשירות. חיל האוויר הלבנוני יוכל לחמש את המסוקים האלה במטולי רקטות **הידרה** בקוטר 70 מ"מ, במקלע בקוטר 0.50 אינץ' ובפצצות בנות 250 ק"ג – בדומה לחימושם של מסוקי **היואי II**.

אימון בהפעלת מסוקי MD 530G

יצרנית המסוקים האמריקנית **MD הליקופטרים** הודיעה ב-17 במארס כי נסתיים קורס ההדרכה הראשון, מבין שלושה, של צוותי אוויר וקרקע לבנוניים בהפעלת מסוקי **MD 530G**. בקורס, שנערך במסה שבארizon, השתתפו טייסים, אנשי תחזוקה וטכנאי חימוש. חיל האוויר הלבנוני עתיד להצטייד בקרוב בשישה מסוקי תקיפה קלים מדגם **MD 530G**, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e142 עמ' 12.

ערב הסעודית

הושלמה אספקת מטוסי F-15SA

חברת **בואינג** השלימה בנובמבר-דצמבר 2020 את אספקתם של ארבעת מטוסי הקרב האחרונים מדגם **F-15SA**, מתוך ההזמנה המקורית ל-84 מטוסים. **בואינג** סיפקה לסעודיה את המטוסים החדשים החל מדצמבר 2016. שניים מן המטוסים הראשונים בסדרת הייצור הזאת נשארו בארה"ב לצורך עבודות פיתוח נוספות וניסויי טיסה.



אימוני קפיצה לים ממסוק **הבל 212** הראשון שהוחזר לשירות חיל האוויר הלבנוני בשנה שעברה. שלושת מסוקי **היואי II** המושבחים שהגיעו ללבנון בינואר השנה. (צילום: שגרירות ארה"ב בבירות)



אנשי צוות מחיל האוויר הלבנוני מתאמנים בארה"ב בהפעלת מסוק התקיפה הקל **MD 530G**.



APG-63(V)3, בעוד שב-**F-15EX** מותקן מכ"ם חדש יותר מדגם **APG-82(V)1**. בנוסף לרכש מטוסי הקרב החדשים, החלו הסעודים בהשבת 68 מטוסי ה-**F-15S** היש-נים יותר של חיל האוויר המלכותי הסעודי, כדי להביאם לתצורה דומה לזו של ה-**F-15SA**. ההשבת מתבצעת במפעלי התעשייה האווירית הסעודית, בסיוע של חברת **בואינג**.

ה-**F-15SA** הוא דגם מתקדם ומשופר במידה ניכרת בהשוואה ל-**F-15E סטרייק איגל** הדר-מושבי, כפי שתוארו ב"ביעף" e141 עמ' 9. שולבו בו כמעט כל המערכות החדשות שמותקנות גם ב-**F-15EX** החדש של חיל האוויר האמריקני (אותו אנו מתארים בכתבה נפרדת בגיליון זה), בהבדל עקרוני אחד: המטוס הסעודי מצויד במכ"ם מסוג



הפאלקון 6X של דאסו החל בטיסות ניסוי



למעלה: טייסי הניסוי בפאלקון 6X השני. למטה: תא הנוסעים המרווח מאוד מבחינת רוחבו וגובהו.



מטוס המנהלים החדש של דאסו אוויאסיון, פאלקון 6X, המריא לטיסת בכורה ב-10 במארס משדה התעופה הצמוד למפעלי החברה במריניאק ליד בורדו. הטיסה נמשכה שעתיים וחצי ובמהלכה הגיע המטוס לרום של 40,000 רגל (12.2 ק"מ) ולמהירות של מאך 0.8.

"ה-6X טס בדיוק כפי שחזו המודלים שלנו. מנקודת מבטו של הטייס, הוא טס כמו פאלקון, כלומר עם תכונות ניהוג מדויקות ומשלמות בכל שלבי הטיסה", אמר טייס הניסוי ברונו פרי. מטוס שני מדגם 6X ביצע את טיסתו הראשונה ב-30 באפריל, והצטרף לתוכנית ניסוי הטיסה.

"אנו מרוצים מאוד מההתקדמות בתוכנית הניסויים של ה-6X ומאמינים כי נעמוד ביעד להשיג רישוי בשנת 2022", אמר אריק טראפיה, יו"ר דירקטוריון דאסו ומנהל העסקים הראשי שלה, לאחר טיסתו של מטוס הניסוי השני. בקיץ הקרוב יצטרף לתוכנית הניסויים מטוס שלישי, המצויד בעיצוב פנים מלא ובמערכות בידור וקישוריות לאינטרנט.

הפאלקון 6X מתאפיין בגוף הרחב ביותר מבין מטוסי המנהלים הייעודיים. גובה תא הנוסעים 1.98 מטר, רוחבו 2.59 מטר, אורכו 12.3 מטר ונפחו 52.2 מ"ק. שטח חתך תא הנוסעים של ה-6X גדול מזה של ה-G600 וה-G700 של גאלפסטריים, ושל הגלובל 7500 של בומבארדייה, אך אורך התא קצר משמעותית.

הפאלקון 6X מונע בשני מנועי PW812D מהדור החדש שפותח על-ידי פראט אנד ויטני, המתאפיינים בשיפור ניכר בתצרוכת הדלק ובהפחתת פליטת מזהמים. המטוס מצויד במערכת בקרת טיסה דיגיטלית חדישה, שהיא מתקדמת יותר מזו ששומתקנת במטוסי הפאלקון מדגמי 7X ו-8X. בנוסף, ה-6X הוא הפאלקון הראשון שמצויד במערכת FalconScan לאבחון מצב מערכות המטוס, אשר מנטרס 100,000 פרמטרים ומדווחת על צורכי תחזוקתם.

המטוס יוכל להגיע לטווח בין-יבשתי של עד כ-10,200 ק"מ, כך שהוא יוכל לטוס ללא חנייה בנתיבים דוגמת לונדון להונג קונג או לוס אנג'לס למוסקבה.



חיל האוויר האמריקני רכש מטוסי F-15EX איגל II

ישראל מגלה עניין בדגם החדש מדור 4.5

F-35A חדשים בשנה. קצב זה אינו יכול לפצות על הקיטון הנמשך בסד"כ בגלל הוצאתם המתחייבת משירות של מטוסים ישנים שהגיעו לסוף חייהם. נדרשים 72 מטוסי קרב חדשים בכל שנה כדי לשמור על גודלו הנוכחי של הכוח האווירי.

באמצע 2020 הפעיל חיל האוויר האמריקני 211 מטוסי **F-15C** חד-מושביים ו-23 מטוסי **F-15D** דו-מושביים. אלה סופקו משנת 1979 עד 1985 ועדיין מהווים מרכיב חשוב בכוח מטוסי הקרב, אך אורך החיים המבצעי שלהם הולך ומתקצר מפאת גילם. הפתרון הזמין והמהיר ביותר לפיצוי על קיטון סד"כ ה-**F-15C/D** הוא רכישת מטוסים חדשים מקו הייצור שעדיין פעיל. רכש כזה אינו כרוך בתהליך פיתוח ארוך ויקר ובניסויי טיסה רבים, כיוון שדגם מתקדם של המטוס הוותיק כבר פותח ונמצא כיום בייצור עבור חיל האוויר של קטאר. הכנסתם לשירות של המטוסים החדשים תהיה מהירה ופשוטה יחסית, תוך ניצול תשתיות קיימות, וגם הכשרת הטייסים לא תיצור קשיים ועיכובים כמו בקליטת מטוסי

עיכובים בלוחות הזמנים. תוכנית הדגל שהתוותה בשנות ה-90 של המאה הקודמת דיברה על רכש 750 מטוסי קרב טקטיים מתקדמים מסוג **F-22 רפטור**, אך ככל שהתקדמה תוכנית הפיתוח התברר שהעלויות הגבוהות של המטוס החדש לא יאפשרו את רכישתו במספרים כה גבוהים. בסופו של דבר נפסק הייצור בשנת 2012 אחרי שסופקו לחיל האוויר האמריקני רק 187 מטוסי **F-22** מבצעיים – בניגוד לדרישות החיל באותו מועד להצטייד ב-381 מטוסים לפחות.

בתוכנית "מטוס התקיפה המשותף" (JSF) קבע חיל האוויר האמריקני דרישה ל-1,763 מטוסי **F-35A**, שמיועדים להחליף מטוסי קרב ותקיפה מתיישנים מדגמי **F-16** ו-**A-10**. אולם תוכנית הפיתוח נתקלה בקשיים רבים ונגרמו עיכובים של שנים ארוכות בתחילת האספקה של המטוסים המבצעיים. רק באוגוסט 2016 התאפשר לחיל האוויר האמריקני להכריז על יכולת מבצעית ראשונית של מטוסי ה-**F-35A**, ואספקתם של מטוסים חדשים התקדמה בקצב נמוך מהמתוכנן. כיום קולט החיל 48 מטוסי

חיל האוויר האמריקני קיבל ב-10 במארס השנה מחברת **בואינג** את ראשון המטוסים החדשים מדגם **F-15EX**. המטוס הדו-מושבי הוצג בטקס רשמי שנערך בבסיס חיל האוויר אגלין בפלורידה ב-7 באפריל, וניתן לו השם **איגל II**. מטוס שני נמסר לאגלין ב-20 באפריל. החיל מעוניין לרכוש עד 144 מטוסים חדשים מהדגם המתקדם ביותר של מטוס הקרב הוותיק, כדי לפצות על הוצאתם ההדרגתית משירות של מטוסי **F-15C/D** מיושנים, שגילם הממוצע 37 שנים.

הדרישה לרכש מטוסי קרב חדשים מדור ארבע וחצי, שהועלתה בפברואר 2019, הייתה מפתיעה. זוהי סטייה מהמדיניות הרשמית של חיל האוויר האמריקני מאז ראשית שנות ה-2000 להצטייד אך ורק במטוסי קרב חמקניים מהדור החמישי, שיחליפו בהדרגה את מטוסי הקרב המתיישנים. המדיניות המוצהרת הייתה להגיע להרכב סד"כ של 80% מטוסי קרב מהדור החמישי עד 2040. אלא שתוכניות ההצטיידות המקוריות לא התגשמו, הן בגלל חוסר תקציבים שיכסו על הגידול בעלויות והן בשל

ה-**F-15EX** הראשון בטקס הצגתו בבסיס חיל האוויר אגלין בפלורידה ב-7 באפריל, שם ניתן לו השם **איגל II**.





תא הטייס של ה-F-15EX מתאפיין בצג מגע גדול בו ניתן לכלול מספר חלונות, ובתצוגה עילית מוקטנת.

בדלק פנימי בלבד ונשיאת אמצעי חימוש רק בשני התאים הפנימיים בגוף, מסוגל ה-F-35A החד-מנועי לשאת שני טילי אוויר-אוויר AIM-120C/D ושתי פצצות מונחות במשקל 900 ק"ג כל אחת (או מספר פצצות קטנות יותר), יחד עם התותח הפנימי בקוטר 25 מ"מ הפגזים שלו, ולפעול ברדיוס של כ-1,090 ק"מ (ללא תדלוק באוויר). במבצעי תקיפה שאינם דורשים תצורה חמקנית, יכול ה-F-35A לשאת בנוסף חימוש ומכלי דלק נתיקים על שש נקודות תלייה החיצוניות מתחת לכנפיים, כך שכושר הנשיאה הכולל מסתכם בכ-10 טון. משקל ההמראה המרבי שלו בתצורה זו הוא כ-32 טון.

ה-F-15EX הדו-מנועי הוא מטוס גדול וכבד יותר, הממריא במשקל מרבי של 36.7 טון. מבנה המטוס חזק ונוספו לו נקודות תלייה חיצוניות בהשוואה לדגם הקודם ה-F-15E סטרייק איגל II יש 23 נקודות תלייה חיצוניות – 12 על מכלי הדלק הדפונים לגוף, אחד בגחון ועשר מתחת לכנפיים. בנוסף ניתן להתקין פוד הנחיה או גילוי מטרת מתחל לכל כונס אוויר. חימושו הפנימי של המטוס כולל גם תותח בקוטר 20 מ"מ עם 500 פגזים. כושר הנשיאה הכולל של ה-F-15EX מגיע ל-13.4 טון, בכ-28% יותר מאשר ב-F-15E, וב-34% יותר מאשר ב-F-35A.

האיגל II מסוגל לפעול ברדיוס של 1,850 ק"מ ויותר, ולשהות מספיק זמן באזור המטרה כדי להשלים את משימתו ההתקפית.

עלויות רכישה ותפעול

לוקהיד מרטין הצליחה להפחית את מחירו של ה-F-35A במידה ניכרת בשנים האחרונות, בזכות הגדלת קצב הייצור וייעול התהליך כולו, וכיום משלם חיל האוויר האמריקני 77.9 מיליון דולר עבור כל מטוס חדש. אולם עלות התפעול הכוללת של המטוסים החמקנים עדיין גבוהה מאוד, ומסתכמת בכ-36,000 דולר בממוצע לשעת טיסה. היעד של **לוקהיד מרטין** הוא להפחית את עלות ההפעלה בשנים הבאות לסכום של כ-25,000 דולר לשעת טיסה.

בואינג נאלצת לדרוש מחיר גבוה יותר עבור ה-F-15EX, שכן מדובר במטוס דו-מנועי גדול יותר, וקו הייצור יפעל בקצב נמוך יחסית של

ה-F-15 לעומת מטוסי הקרב החמקנים מהדור החמישי הוא חתך המכ"ם הגדול שלו, שמסכן אותו מאוד בפעילות מבצעית במרחבי לחימה מאתגרים שמוגנים היטב במערכות נ"מ מתקדמות. כדי לשפר את שרידותו בלחימה, תותקן **באיגל II** המערכת הפסיבית/אקטיבית להתרעה ולוחמה אלקטרונית, שפותחה במקורה עבור תוכנית ההשבחה של מטוסי ה-F-15E סטרייק איגל. זוהי מערכת דיגיטלית, שניתן לעדכנה בקלות בהתאם להתפתחות האיומים.

פרטי המערכת נשמרים כמובן בסודיות, וכך מתארת אותה היצרנית: "EPAWSS", שמספקת אפשרויות התקפיות והגנתיות גם יחד ללוחמה אלקטרונית עבור הטייס והמטוס, מציעה באופן משולב במלואו התרעה מכ"ם, מיקום גיאוגרפי, מודעות מצבית, ופתרונות להגנה עצמית כדי לגלות ולהביס איומים קרקעיים ואוויריים בסביבות מאתגרות ביותר. בהיותה מצוידת באמצעי נגד אלקטרוניים מתקדמים, היא מאפשרת חדירה עמוקה יותר נגד מערכות הגנה אווירית משולבות מודרניות, כשהיא מספקת יכולות תגובה מהירות להגנת אנשי הצוות."

תא טייס מודרני: בשני תאי הטייסים מותקן צג מגע בעל שטח גדול, שממדיו 19x10 אינץ' (48x25 ס"מ). הצג החדשני פועל כמו טאבלט, כאשר ניתן להציג בו מספר חלונות בהתאם להעדפותיו של הטייס או הנווט/מפעיל מערכות הנשק. בנוסף מותקנת תצוגה עילית קטנה יחסית ששימושיה מוגבלים, כיוון שאת עיקר הפעילות הקרבית מבצע הטייס באמצעות כוונת הקסדה שלו.

מערכות משימה בארכיטקטורה פתוחה: כל מערכות האוויוניקה והמשימה ב-F-15EX הן דיגיטליות וניתן לשנותן בקלות על-ידי עדכוני תוכנה. באופן זה אפשר להגיב במהירות על התפתחויות במרחב הלחימה ולהתאים אמצעי חימוש חדשים.

כושר נשיאה גבוה

יתרונו הבולט ביותר של ה-F-15EX בהשוואה ל-F-35A הוא כבושר הנשיאה הגבוה יותר וברדיוס הפעולה הארוך יותר. בפעילות חמקנית, שמבוססת על שימוש

הדור החמישי.

ביולי 2020 העביר חיל האוויר האמריקני ל**בואינג** הזמנה ראשונה לשמונה מטוסי F-15EX, שיסופקו עד 2023 וישמשו לניסויי ובחינה בבסיס אגלין. מנת הייצור השנייה תסופק בשנת 2024 לכנף הקרב ה-173 של המשמר הלאומי האווירי בבסיס קינגסלי באורגון, שם יאומנו צוותי האוויר. מנת הייצור השלישית תסופק בשנת 2025 לכנף הקרב ה-142 בבסיס פורטלנד באורגון, וזאת תהיה היחידה המבצעית הראשונה שתפעיל את ה-F-15EX במשימות הגנת המולדת.

מערכות חדישות

הפלטפורמה הבסיסית של ה-F-15 עונה על כל דרישות הביצועים ואינה דורשת שינויים. כדי להתאים את ה-F-15 טוב יותר ללחימה בעידן הנוכחי נדרש רק לעדכן את מערכותיו, וזאת כבר עשו **בואינג** עבור הדגמים שנמכרו לערב הסעודית (F-15SA) ולקטאר (F-15QA). ה-F-15EX שמוצרו כיום עבור חיל האוויר האמריקני כולל את השיפורים הבאים במערכותיו:

טוסי-על-חוט: להחלפת מערכת הניהוג המכנית במערכת בקרת טיסה חשמלית דיגיטלית יתרונות מבחינת אמינות, יתירות וביצועים. הותקנו שני מחשבי בקרת טיסה, שכל אחד מהם מכיל שני ערוצים, וכן ארבעה ערוצי קלט לכל משטח ניהוג. היתירות שהושגה באמצעות ארבעת הערוצים של מערכת בקרת הטיסה מספקת רמה גבוהה מאוד של אמינות. מערכת הטוסי-על-חוט הותקנה ב-F-15SA לפני שמונה שנים (עבור המטוסים שנמכרו לערב הסעודית), ובכל ניסויי הטיסה שבוצעו מאז 2013 לא נתגלתה בה תקלה כלשהי.

מכ"ם APG-82(V)1 מתוצרת ריית'און: מערכת חדישה ומתקדמת ביותר מסוג מערך מופע עם סריקה אלקטרונית אקטיבית (AESA), המהווה שיפור בולט בהשוואה למכ"ם הישנים בעלי אנטנה מכנית מסתובבת. **ריית'און** לא חשפה נתונים מפורטים על ביצועי המכ"ם הזה, אלא רק ציינה את יתרונותיו בקווים כלליים: "ה-APG-82(V)1 יכול לגלות, לזהות ולעקוב אחרי מטרת אוויריות וקרקעיות רבות בר-זמנית בטווחים ארוכים יותר מאי פעם בעבר. הטווח הארוך מנגד מקל על תצפית מתמידה על המטרה ושיתוף מידע עליה, לצורך קבלת החלטה מושכלת. המודעות המצבית המשופרת למרחב הלחימה מאפשרת יכולת מבצעית טקטית עדיפה. התוצאה היא יעילות ושרידות מוגברת במידה רבה למטוס ולצוותו."

ה-APG-82(V)1 כבר הותקן במטוסי F-15E סטרייק איגל של חיל האוויר האמריקני במסגרת תוכנית ההשבחה שלהם, והוכיח את כושרו וביצועיו בתנאי לחימה. מכ"ם זה משולב גם במטוסי ה-F-15QA, המיוצרים כיום עבור קטאר.

חישן חיפוש ועקיבה תת-אדום AAS-42 Tiger Eyes, המשולב במטוס. חישן חשוב זה מאפשר לגלות מטרת שאינן "נראות" באמצעות המכ"ם בתנאי לוחמה אלקטרונית מורכבים.

מערכת לוחמה אלקטרונית EPAWSS מתוצרת BAЕ Systems: חסרונו העיקרי של



Unmatched Weapons Payload Capacity and Diversity

The evolutionary F-15IA can carry a full array of air-to-air, air-to-ground and maritime strike weapons. The aircraft can engage a multitude of targets on any given mission. The F-15IA design architecture facilitates affordable, low-risk integration of new weapons.

M61A1 20mm Internal Cannon
AMRAAM: AIM-120
Sidewinder: AIM-9
JDAM: GBU-31/32/38
Laser JDAM: GBU-54/56
Small Diameter Bomb: GBU-39

JSOW: AGM-154C
CBU-97, CBU-105
Harpoon: AGM-84D Block II
Paveway: GBU-10/12/24/28
Enhanced Paveway III: GBU-49/50
Maverick: AGM-65D/G

HARM: AGM-88B
JDAM-ER: Mk-82, Mk-84, BLU-109
Laser JDAM-ER: Mk-82, Mk-84, BLU-109
Popeye: AGM-142/ASW-55A pod
Python
Derby

ה-F-15IA שמוצע לישראל יוכל לשאת את כל אמצעי החימוש הנמצאים בשימוש חיל האוויר.

האמריקני. ההשבה מיועדת לכלול, בין השאר, גם התקנת מכ"ם חדיש מדגם APG-82(V)1. שילוב של רכש מטוסי F-15IA חדשים והשבת מטוסי הרעם הקיימים עם מערכות משותפות לשני הדגמים יכול להוזיל את תוכנית ההשבה ולייעל את תחזוקת המטוסים, הפעלתם המבצעית ואימון אנשי הצוות.

מבססו ולשהות במשך שעה עד שתיים מעל אזור המטרה; או לשהות במשך שתיים עד שלוש שעות ברדיוס של 925 ק"מ; או שלוש עד ארבע שעות ברדיוס של 370 ק"מ. במקביל, גיבשו בישראל תוכנית להשבת מטוסי ה-F-15I רעם, בדומה להשבת מטוסי ה-F-15E סטרייק איגל בחיל האוויר

12 עד 18 מטוסים בשנה בלבד. עבור שמונת המטוסים ממנת הייצור הראשונה נדרש חיל האוויר האמריקני להקציב כ-1.2 מיליארד דולר, אבל במנות הייצור הבאות המחיר צפוי לרדת לפחות מ-100 מיליון דולר למטוס. עלות התפעול הכוללת של האיגל II מוערכת ב-27,000 דולר לשעת טיסה.

F-15IA לישראל

בחיל האוויר הישראלי עקבו בעניין רב אחרי פיתוח הדגמים המתקדמים של ה-F-15 ושאו בו עידוד מהחלטת חיל האוויר האמריקני להצטייד ב-F-15EX.

כדי לשמור על היקף סד"כ מטוסי הקרב בשנים הבאות, חיל האוויר הישראלי אינו יכול להסתמך רק על מטוסי F-35A אדיר חדשים, הנרכשים בקצב נמוך למדי של שישה מטוסים בשנה. חלק ניכר מצי מטוסי ה-F-15A/B/C/D-2 בשנת 2023, למרות תוכנית ההשבה שבוצעה, ויהיה קושי רב להמשיך להפעיל את המטוסים המזדקנים בעשור הבא (ראה "ביעף" e152 עמ' 37). לאור זאת, קברניטי החיל מבקשים להשיג את אישור הדרג המדיני בישראל לרכש טייסת חדשה של מטוסי F-15IA מתקדמים, שיהיו דומים ל-F-15EX איגל II של חיל האוויר האמריקני.

בואינג פרסמה את המאפיינים העיקריים של הדגם המוצע לישראל, שבו ישולבו גם מערכות ואמצעי חימוש מתוצרת ישראל, כפי שמפורט באיור למטה. בפרסום של בואינג מצוין עוד, כי ה-F-15IA יוכל לפעול ברדיוס של 1,850 ק"מ

F-15IA

Flight Controls

- Digital Fly-by-Wire (FBW) Flight Control System
- Disorientation Recovery Function
- Load/Roll Limiter

Avionics

- Advanced Display Core Processor II
- ITVDL Datalink
- Programmable Armament Control Set
- Israeli CNI, Recorders, Processors, Mission Planning

Crew Station

- Advanced Cockpit System (ACS)
 - Large Area Displays (LADs)
 - Low Profile HUD (LPHUD)
 - Reference Standby Display (Fwd/Aft)
 - Engine/Fuel/Hydraulic Display (EFHD)
- DJHMCS/ Dash Fwd & Aft Cockpits
 - Night Vision Cueing
 - Night Vision Lighting Int./Ext

Sensors

- APG-82(V)1 AESA Radar
- Elisra UEWS
- Sniper/Litening V EO System

Powerplant

- F110-GE-129 or F100-PW-229

Software

- Israeli Weapon System Integration Center (WSIC)

Armament

- Outboard Wing Stations 1 and 9
- Existing Legacy F-15I Weapons



דרום-קוריאה, יפן, הודו וטורקיה מפתחות מטוסי קרב מתקדמים

מסתפקת במטוס לא חמקן מדור 4.5. כל ארבעת המטוסים המוצעים דומים מאוד בתצורתם, כשהם מזכירים את ה-F-22 האמריקני. להלן תיאור המצב העכשווי של ארבע התוכניות האלה.

ארבע מדינות אסייתיות מנהלות כיום תוכניות לפיתוח מטוסי קרב עתידיים, שינצלו את הטכנולוגיות החדשות ביותר שקיימות. יפן, הודו וטורקיה מנסות לפתח מטוסים חמקנים מהדור החמישי, בעוד דרום-קוריאה

בעצמאות הביטחונית של מדינתו. דרום-קוריאה אינה זקוקה באמת למטוס קרב חדש. חיל האוויר שלה קולט מאז 2019 מטוסי F-35 חמקנים מתוך הזמנה ראשונה לארבעים מטוסים, ויש כוונה לרכוש לפחות עוד עשרים. אלה מתגברים כוח גדול של מטוסי קרב מהדור הרביעי מדגמי F-15K סלם איגל ו-KF-16C/D מבלוק 52, שיעברו תהליכי השבחה בשנים הבאות, יחד עם מטוסי תקיפה

הנץ הקוריאני

בטקס גלילה חגיגי, שנערך במפעלי התעשייה האווירית של קוריאה (KAI) בסאצ'ון ב-9 באפריל השנה, הציג נשיא הרפובליקה של קוריאה מון ג'אה-אין את אב-הטיפוס של מטוס הקרב הקוריאני העתידי KF-21 Boramae (נץ). הנשיא מון הגדיר את האירוע כתחילתו של עידן חדש

חילות אוויר מובילים בעולם מתכוונים להמשיך לבסס את הכוח האווירי שלהם על מטוסי קרב מאוישים גם בעשורים הבאים, ומעודדים את התעשיות האווירונאוטיות לפתח מטוסים חדשים, מתקדמים יותר ובעלי יכולות עדיפות על מטוסי הדור החמישי הנוכחי. המעצמות הגדולות כבר מפעילות מטוסי קרב מתקדמים מהדור החמישי: ה-F-22 רפטור וה-F-35 לייטנינג II בארה"ב, הסוחוי Su-57 ברוסיה, וה-J-20 בסין. חלק ממדינות אירופה מצטיידות במטוסי F-35 אמריקנים, אך חילות האוויר הגדולים של צרפת, גרמניה, ספרד ושוודיה מעדיפים לדלג על הדור החמישי ולשאוף למטוסים מתקדמים יותר מהדור השישי.

נשיא דרום-קוריאה מברך בטקס הגלילה. בתמונת הכותרת: איור של מטוסי KF-21 חמושים.



באירופה החלו שתי תוכניות פיתוח גדולות של מטוסי קרב עתידיים. בריטניה, שמצטיידת בהווה במטוסי F-35, מתכננת את הדור הבא בדמות הטמפסט, אותו תיארונו ב"ביעף" e144 עמ' 14-16. צרפת, גרמניה וספרד ממשיכות להתבסס על מטוסי הדור הרביעי שברשותן, ומכינות את "מערכת הלחימה האווירית העתידית", אותה תיארונו ב"ביעף" e148 עמ' 15-16.

בצד תוכניות אלה, מתנהלות יוזמות פיתוח של מטוסי קרב חדשים בדרום-קוריאה, יפן, בהודו ובטורקיה. התוכנית הקוריאנית היא הקרובה ביותר להשמה, שבה כבר נבנה אב-טיפוס ראשון.



אב-הטיפוס היפני מיצובישי X-2 שינשין, שביצע 34 טיסות ניסוי בין אפריל 2016 למאוס 2018.

שיתוף פעולה עם אינדונזיה, שלפיו היא תשלם 20% מעלויות הפיתוח ותרכוש 50 מטוסים, אך האינדונזים מתקשים לעמוד בהתחייבות הכספית שלהם. התעשייה האווירית של קוריאה מקווה כי תצליח לשווק את ה-KF-21 למדינות אחרות באסיה, בהמשך להצלחתה למכור מטוסים ממשפחת ה-T-50 לאינדונזיה, עיראק, הפיליפינים ותאילנד.

מיצובישי F-X היפני

יפן מבססת את חיל האוויר שלה על מטוסי קרב אמריקניים בשילוב עם מטוסים מפיתוח וייצור מקומי. את המטוסים האמריקניים מעדיפים היפנים להרכיב במפעליהם המקומיים, במסגרת רישיון מהיצרן המקורי. וכך, לאחר שייצרו בעבר מטוסי F-15J, מייצרים כיום במפעלי מיצובישי תעשיות כבדות מטוסי F-35A חמקנים.

בשנות ה-90 פיתחו היפנים בשותפות עם לוקהיד מרטין את מטוס הקרב מיצובישי F-2, שהיה בעיקרו דגם מוגדל של ה-F-16 האמריקני. 94 מטוסי F-2A/B חד-מושביים ודר-מושביים סופקו לחיל האוויר היפני משנת 2000 עד 2011.

כתחליף עתידי למטוס זה, השיקו היפנים תוכנית לפיתוח מטוס קרב חמקן מהדור החמישי, אשר יעלה בתכונותיו ובביצועיו על ה-F-35 ויהווה תשובה הולמת לאיום על ביטחונה של יפן הנשקף מכיוונה של סין. בשלב מוקדם זה מכונה המטוס F-X, וסביר להניח כי המטוס הסדרתי יסומן F-3.

כצפוי, המשימה הוטלה ב-30 באוקטובר 2020 על חברת מיצובישי תעשיות כבדות,

ודלק על שלוש נקודות תלייה מתחת לכל כנף ובנקודות תלייה נוספות בגחון הגוף. ארבעה טיילי אוויר-אוויר מונחי-מכ"ם מסוג מטאור של MBDA יינשאו בצורה חצי משוקעת בגחון, ובנוסף יחומש המטוס בטיילי אוויר-אוויר מונחי תת-אדום מסוג IRIS-T לטווחים קצרים. מתחת לכונסי האוויר יינשאו שני פודים – פוד EO TGP לגילוי מטרות, עקיבה אחריהן והכונת חימוש מונחה לעברן; ופוד אלקטרו-אופטי שני לעזר בניווט בגובה נמוך.

הקוריאנים מתגאים, כי 65% מרכיבי המטוס הם מייצור מקומי. חברת Hanwha Systems פיתחה מכ"ם מתקדם מסוג מערך מופע עם סריקה אלקטרונית אקטיבית (AESA), ודווח כי חברת אלטא מערכות הישראלית סיימה להם לבדוק את ביצועי בניסויים. השתתפות ישראלית אחרת בתוכנית היא של אלביט מערכות, שזכתה בפברואר 2020 בחוזה בסך 43 מיליון דולר מ-Hanwha Systems לספקת מערכת לעקיבה אחרי תוואי הקרקע ולמניעת התנגשות בקרקע בטיסה בגובה נמוך ובתנאי ראייה גרועים.

בתוכנית ניסויי הטיסה, שתחיל ברבע השני של 2022, ישתתפו שישה אבות-טיפוס, ביניהם שניים דר-מושביים. הייצור הסדרתי צפוי להתחיל ב-2026, ולפי התוכנית יסופקו 120 מטוסים עד 2032. תחילה ייוצרו מטוסים המותאמים למשימות אוויר-אוויר בלבד, ובהמשך יוכשר המטוס גם למשימות אוויר-קרקע עם מגוון חימושים מונחים. מטוסי ה-KF-21 יחליפו בחיל האוויר הקוריאני את מטוסי הפאנטום והטייגר II המיושנים. עלות תוכנית הפיתוח מוערכת בכ-7.9 מיליארד דולר. הקוריאנים חתמו על הסכם

קלים מדגם FA-50 מייצור מקומי. החיל אמנם מפעיל עדיין מטוסי קרב מיושנים מדגמי F-4E פאנטום ו-KF-5E/F טייגר II, אך כדי להחליפם אפשר היה להסתפק ברכישת מטוסים אמריקנים או אירופים קיימים. שלטונת קוריאה נחושים להמשיך לפתח את התעשייה האווירונאוטית המקומית ולהביאה לשורה הקדמית של היצרניות בעולם. כדי להגשים זאת, אין הקוריאנים מסתפקים בייצור ברישיון של מטוסים אמריקניים (דוגמת ה-KF-16), או בפיתוח המוצלח של המטוסים לאימוץ מתקדם T-50 גולדן איגל ומטוסי התקיפה הקלים ה-F-50. התעשייה האווירית של קוריאה רוצה להצטרף למשפחה היוקרתית של יצרניות מטוסי הקרב המתקדמים מפיתוח עצמי.

בצעד מחושב ונבון, הקוריאנים אינם מבקשים לקפוץ מיד ליוזמה יומרנית של פיתוח מטוס חמקן מהדור החמישי – כפי שמנסות לעשות יפן, הודו וטורקיה. זוהי משימה תובענית מדי מבחינה טכנולוגית וכלכלית, שרק מעצמות גדולות יכולות לעמוד בה או צירוף של מספר מדינות יחד. לפיכך, ה-KF-21 אמנם נראה כמו מטוס חמקן, אבל הוא לחלוטין לא כזה.

התעשייה האווירית של קוריאה בחרה לפתח מטוס מדור 4.5 – מטוס שאינו מתאפיין בחמקנות מגילוי על-ידי מכ"מים ואינו נושא את חימושו בתאים פנימיים בגוף, אבל מנצל את המערכות החדשות ביותר שקיימות כדי להשיג יעילות מבצעית עדיפה.

ה-KF-21 מצויד בשני מנועי ג'נרל אלקטריק F414-GE-400K, שכל אחד מהם מפתח דחף מרבי של 22,000 ליברות (כ-10 טון-כוח). מנועים כאלה מותקנים גם ב-F/A-18E/F סופר הורנט וב-EA-18G גראולר של בואינג, בסאב JAS 39E/F גריפן השוודי, ובמטוס הקרב הקל Tejas Mk 2 ההודי. המנועים למטוסים הסדרתיים יורכבו בקוריאה.

ה-KF-21 דומה בתצורתו החיצונית ל-F-22 רפטור של לוקהיד מרטין, אך הוא קטן ממנו בממדיו ובמשקלו. מוטת כנפיו 11.2 מטר ואורכו 16.9 מטר, לעומת מוטת של 13.6 מטר ואורך של 19 מטר ב-F-22. משקל ההמראה המרבי שלו 25.6 טון, בעוד ה-F-22 יכול להמריא במשקל של 37.9 טון.

מבחינת ביצועיו, ה-KF-21 יוכל לטוס במהירות מרבית של מאך 1.83, לעומת מאך 1.6 ב-F-35 ומאך 2 ב-F-22.

הנף הקוריאני יוכל לשאת 7.7 טון חימוש

אב-הטיפוס הראשון של ה-KF-21 במבט צד, לפני טקס גלילתו ב-9 באפריל 2021.





דגם מוקטן של החמקן ההודי AMCA בתערוכת אייר אינדיה בפברואר 2021.

מנהל העסקים הראשי של TAI, טמל קוטיל, סיפר בריאיון טלוויזיה ב-15 במארס השנה, כי אלף מתוך 4,000 מהנדסי החברה עוסקים בתיכון המטוס החדש. לדבריו, אב-טיפוס הראשון ייגלל ממפעל הייצור במארס 2023 וצפוי לבצע טיסת בכורה בשנת 2025. המטוסים הסדרתיים הראשונים צפויים להימסר לחיל האוויר הטורקי בשנת 2029, ומחירים יהיה כ-100 מיליון דולר. TAI תשלם בקרוב את תקמתו של מפעל חדש לייצור מטוסי ה-**TF-X** בשטח כולל של 63,000 מ"ר, שיכלול מתקני ייצור מתקדמים, מתקני ניסוי ובדיקה, ומשרדים לאלפי מהנדסים ועובדים טכניים.

סוכנות הידיעות בלומברג פרסמה ב-2 במארס השנה כי טורקיה פועלת להשגת שיתוף פעולה עם פקיסטן בתוכנית ה-**TF-X**, כדי שזו תסייע במימון התוכנית ותתחייב לרכוש את המטוסים לחיל האוויר שלה.

הקושי להגשים את הפרויקט התובעני גבר בעקבות הוצאתה של טורקיה מתוכנית הייצור הבינלאומית של מטוסי ה-**F-35** וההגבלות שהטיל הממשל האמריקני על ייצוא טכנולוגיות רגישות לטורקיה. הצעדים האמריקנים הם תגובה על החלטתה של טורקיה לרכוש מרוסיה מערכות הגנה אווירית מתקדמות מדגם **S-400**. ההגבלות האמריקניות יקשו מאוד על **TAI** להשיג מערכות חיוניות למטוס, ועשויות לעכב את לוח הזמנים.

לטורקיה אין עדיין מנוע מתאים למטוס העתידי. פיתוח מנוע חדש בשיתוף פעולה בין **רוסיה** הבריטית לקבוצת **Kale** הטורקית מתנהל באיטיות, וספק אם יהיה מוכן לטיסת בכורה בשנת 2025. □

הפיתוח ינוהל על-ידי הסוכנות לפיתוחים אווירונאוטיים בארגון הממשלתי למחקר ופיתוח ביטחוני, ואל **HAL** תצטרף חברה פרטית נוספת שטרם נבחרה. כדי להצליח במשימה התובענית, יידרש לבטח סיוע הנדסי מחברות מערביות מובילות – דוגמת **דאסו** הצרפתית, שמספקת כיום מטוסי **ראפאל** להודו.

דגם מוקטן של ה-**AMCA** הוצג בתערוכת אייר אינדיה בפברואר השנה. תצורתו דומה לזו של הנץ הקוריאני, וגם המטוס ההודי יונע בשני מנועי **F414**. אלא שלהודים יומרה גדולה נוספת, לפתח בעתיד מנוע מקורי משלהם עבור דגם שני מתקדם יותר של מטוס הקרב העתידי, עם דחף גבוה יותר מהמנוע האמריקני.

גם לוח הזמנים יורמני למדי: גלילת אב-טיפוס בשנת 2024, ביצוע טיסת בכורה ב-2025 או ב-2026, ותחילת כניסה לשירות מבצעי לפני תום העשור הנוכחי.

מפקד חיל האוויר ההודי הודיע בתערוכה כי יש לו דרישה ל-126 מטוסי **AMCA** משני הדגמים המתוכננים.

ה-**TF-X** הטורקי

התעשייה האווירית הטורקית (TAI) עוסקת זה קרוב לעשר שנים בניסיון לפתח מטוס קרב עתידי מהדור החמישי. **TAI** הציגה בסלון האווירי בפאריס ביוני 2019 דגם בקנה מידה מלא של המטוס המוצע ופירטה את תוניה, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e148 עמ' 16. הטורקים מפתחים את ה-**TF-X** בסיועה של חברת **BAE Systems** הבריטית, לפי הסכם שיתוף פעולה שנחתם בינואר 2017.

בעלת הניסיון היחידה ביפן בפיתוח וייצור מטוסי קרב. **מיצובישי** תיעזר ב**בלוקהיד מרטין** בתוכנית הפיתוח של ה-**F-X**, וכנראה גם בחברות בריטיות.

משרד ההגנה היפני הודיע ב-12 באפריל השנה על השקת רשמית של התוכנית, שעלותה הכוללת עשויה להגיע לכ-48 מיליארד דולר. יעדי לוחות הזמנים בתוכנית הגדירו את ציוני הדרך הבאים: בניית אב-טיפוס החל מ-2024; טיסת בכורה ב-2028; תחילת הייצור הסדרתי ב-2031; וכניסה לשירות מבצעי ב-2035. חיל האוויר היפני צפוי לרכוש בסביבת 90 מטוסי **F-3**.

מטוס הקרב הדו-מנועי ישלב את כל הטכנולוגיות המתקדמות שיהיו זמינות בשנים הבאות, כולל יכולת שליטה בכטב"מים מלווים נושאי חימוש – בדומה לתוכנית של ה**טמפסט** הבריטי ומטוס הקרב העתידי של צרפת, **גרמיה** ו**ספרד**.

ראוי להזכיר, כי **מיצובישי** החלה כבר בעשור הקודם בפיתוח וניסוי טכנולוגיות למטוס קרב חמקן. אב-טיפוס קטן שסומן **X-2 שינשין** ביצע 34 טיסות ניסוי בין אפריל 2016 למארס 2018 לבחינת התצורה החמקנית שדומה ל-**F-22 רפטור**.

החמקן ההודי העתידי

חברת ה**הינדוסטאן איירונאוטיקס (HAL)** צברה ניסיון רב במשך עשרות שנים בייצור ברישיון של מטוסי קרב מתיכון זר, אולם הישגיה בפיתוח עצמי של מטוסי קרב אינם מרשימים. החברה עוסקת זה יותר מעשרים שנים בפיתוח מטוס קרב קל הנקרא **Tejas**, ולא הצליחה לעמוד ביעדי לוחות הזמנים ובאתגרים הטכנולוגיים. ניסויי הטיסה של אבות-טיפוס החלו בשנת 2003, ורק בשנה שעברה החלו מטוסים סדרתיים להיקלט בטיסת מבצעית. אולם הדגם הנוכחי (**Mark 1**) עדיין לא עומד בכל הדרישות, ויעברו עוד מספר שנים עד שהחברה תוכל לספק מטוסים משופרים.

למרות היכולת הירודה שהפגינה **HAL** בפרויקט ה**טג'אס**, ממשלת הודו עומדת להעניק לחברה בחודשים הקרובים את החוזה לתחילת הפיתוח של "מטוס קרב בינוני מתקדם" (**AMCA**). הדרישה היא למטוס חמקן מהדור החמישי, שישלב בעתיד הרחוק יותר גם יכולות ממטוסי הדור השישי. מאמץ

דגם בקנה מידה מלא של ה-**TF-X** שהוצג על-ידי **התעשייה האווירית הטורקית** בסלון האווירי בפאריס ביוני 2019.





דב סער

ענפה של מטוסי מנהלים מהשורה הראשונה בעולם. סער הגיע לתפקידי ניהול בכירים בתע"א כמנהל מפעל מטוסי נוסעים ומנהל מפעל תשתיות הנדסיות, והמשיך ללוות את חזית הפיתוח האווירונאוטי בהתנדבות גם לאחר שפרש לגמלאות.

רמי סקלדמן וכן קשלס סוקרים את הקריירה העשירה והייחודית של דב סער בחיל האוויר ובתע"א, ואת תרומתו הייחודית לפיתוח מטוסים במדינת ישראל. צניעותו וענוותנותו הרחיקו אותו מאור הזרקורים, אך כל מי שעבד אתו יכול להעיד על מקצועיותו ואיכויותיו הנדירות, והיותו אחד מעמודי התווך של הפיתוח האווירונאוטי בישראל.

היו שותפים לחזון פיתוח התעופה בישראל. היה ברור להם, שהם יהיו חלוצי הקמת התעשייה האווירונאוטית, במידה וזו אכן תצליח לקרום עור וגידים בשנים הבאות. במהלך שנות לימודיו בטכניון דב ניצל את חופשות הקיץ לצבירת ניסיון מקצועי מעשי. תחילה הועסק בסרטוט תבניות ייצור בבית חרושת לגומי בחולון; בקיץ 1956 עבד בחשמלאות בבית החרושת גולדברג בתל-אביב; ובקיץ 1957 עבד בסרטוט ובעבודת חשמלאות בבתי הזיקוק בחיפה. כמו-כן עסק בעבודות שיבוץ וייצור שונות בבית המלאכה של הטכניון. בפברואר 1957, עת היה בשנת לימודיו השלישית, דב החליט לעברת את שם משפחתו מסבויטצקי לסער. החלטה זו נעשתה ברוח התקופה, לאור נחישותו של ראש הממשלה ושר הביטחון דוד בן-גוריון לשכנע את קציני הצבא ונושאי תפקידים בכירים או ייצוגיים לעברת את שם משפחתם. ההמלצה בתקופה זו הייתה לשנות את השם הלועזי לעברי בדרך התרגום, לפי הצליל, בדרך התיאור, לפי שם האב או הבן, או בכל דרך אחרת המתאימה והולמת את השם, ובלבד שיהיה לשם החדש תוכן עברי נאה וצליל עברי.

הבחירה בשם סער לא הייתה מקרית. היא מיוחסת לחיבור שחש דב לעולם התעופה הישראלית, מחד גיסא, ומיראת הכבוד שרכש לראש הממשלה בן-גוריון, מאידך גיסא. השם "סער" הוענק על-ידי בן-גוריון לאחד משני מטוסי הסילון הראשונים מדגם מטאור שהגיעו

דב סער נחשב לאחד הבולטים והמוכשרים ביותר מבין מהנדסי האווירונאוטיקה שהוכשרו בטכניון ופעלו בתעשייה הישראלית. הוא היה אחד מתריסר הבוגרים של המחזור הראשון במחלקה להנדסה אווירונאוטית בטכניון. כעתודאי, השלים חמש שנות שירות מוצלחות כמהנדס בחיל האוויר, וזכה בפרס ביטחון ישראל על התקנת מצלמות במטוס הווטור. ב-1963 הצטרף לתעשייה האווירית לישראל (תע"א), בה התקדם במהירות ועמד בראשן של שתי תוכניות פיתוח של מטוסים אזרחיים: הערבה – בכור המטוסים מתוצרת ישראלית; והאסטר – שהיווה קפיצת דרך משמעותית בפיתוח מטוס מנהלים מתקדם וסלל את הדרך לפיתוח משפחה

בארץ הייתה בחיתוליה. צעדים ראשונים בפיתוחים אווירונאוטיים נעשו במחלקת ההנדסה של חיל האוויר, באגף מחקר ותיכון (אמ"ת) במשרד הביטחון, ובמכון הממשלתי לבדק מטוסים שנפתח ב-1953 – כפי שתיארנו בכתבות קודמות בסדרה "זכות ראשונים". אין ספק, לפיכך, שתלמידי המחזור הראשון של המחלקה להנדסה אווירונאוטית, ודב ביניהם,



דב סער נולד בתל-אביב ב-8 ביוני 1936 להוריו שרה (סוניה) ודוד סבויטצקי, עולים חדשים מפולין. את השכלתו היסודית רכש בבית הספר תל-נורדאו ואת לימודיו התיכוניים המשיך במגמה הריאלית של תיכון עירוני א'. דב החל לגלות עניין בתעופה עוד בימי ילדותו, ועקב אחר ההתפתחויות בתחום זה בארץ ובעולם בקריאת ספרים ופרסומים שונים. הוא הושפע מאירועים משמעותיים בהתפתחות התעופה בארץ, וזיקתו לנושא העמיקה ככל שהתגבר. על כן, היה זה אך טבעי שייחבר לעסוק בתעופה בחייו הבוגרים.

בוגר מחזור א' באווירונאוטיקה

בשנת 1954, בעת שדב סיים את לימודיו התיכוניים, פתח הטכניון בחיפה את שעריו למחזור הסטודנטים הראשון במחלקה להנדסה אווירונאוטית (ראה בכתבה על פרופ' סידי גולדסטין ב"ביעף" e145 עמ' 11-12). דב נרשם ללימודים במסגרת מסלול העתודה האקדמית של צה"ל, ולאחר שעמד בכל דרישות הצבא אושרה קבלתו למחלקה לאווירונאוטיקה כעתודאי.

הקמת המחלקה לאווירונאוטיקה בטכניון, שלימים תהפוך לפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, הייתה צעד משמעותי ביותר עבור המדינה הצעירה, שהעיד על החזון והשאיפה לייסד תעשייה אווירונאוטית מקומית. באותה העת, העשייה האווירונאוטית

מהנדס בחיל האוויר

סער התגייס לחיל האוויר בסוף 1958 והוצב כמהנדס במחלקת ציוד. בתחילת דרכו הצבאית שירת במדור מצ"ד 2, שעסק באחזקת מטוסים, מנועים וציוד בדיקה. במסגרת זו גם עבר קורס במנועי סילון בבה"ד 2. לאחר כשנה עבר למצ"ד 4 בראשותו של סא"ל אריה הלל, שפעילותו התמקדה בתיכון הנדסי.

בתקופה זו סער עסק בפיתוחים אוויר-נאוטיים שונים, והשתלב במאמץ המתמשך לפתח יכולות צילום במטוסי הווסטור B. בהקשר זה ראוי לציין במיוחד את השתתפותו בפרויקט פיתוח יכולת צילום בלילה. כתב על כך אריה הלל בספרו **ידי אדם מתחת כנפיהם**:

"לאחר כמה ניסיונות עם מצלמות ונורים, שלא זכו להצלחה מרובה, הוחלט בשנת 1959 לנסות להתקין מצלמה מדגם K-37 שהוכנסו בה שינויים לצילום בלילה. בתא הפצצות הורכב מתקן מתאים, ודלת התא שונתה. העבודה נתקלה בקשיים רבים, והמצלמה נכנסה לשירות רק בספטמבר 1961".

בתום חמש שנות עשייה פורייה בחיל האוויר, סער הגיע למסקנה שאפשרויות הקידום המקצועי שלו בחיל מוגבלות, ולכן החליט להשתחרר מצה"ל ולשוב לבדק מטוסים, שהפכה בינתיים לתעשייה האווירית לישראל. לקראת סיום שירותו הסתובבה שמועה, שהוא לא ידע את מקורה, כי הוא עומד לעזוב את הארץ. רכילות זו הגיעה עד למפקד חיל האוויר דאז, אלוף עזר ויצמן, אשר זימן את סער ללשכתו ושאל אותו לפשר העניין. סער הפריך את השמועה והבהיר שהוא הולך לעבוד בתעשייה האווירית. ויצמן ענה לו בתשובה: "כל מי שהולך מחיל האוויר לעבוד בראפ"ל או בתע"א, שיהיה מבורך". סער השתחרר במחצית הראשונה של שנת 1963 בדרגת סרן, לאחר שקיבל את ברכת הדרך ממפקד חיל האוויר. בשנת 1965 הוענק פרס ביטחון ישראל לצוות שפיתח את מערכת הצילום הלילית למטוסי



דב סער היה אחד מתריסר הבוגרים במחזור א' של המחלקה להנדסה אווירונאוטית. (באדיבות ארכיון הטכניון)

מכתב המלצה למונהל כוח-האדם בבדק, בזו הלשון: "בהמשך לשירותנו הטלפוני, הריני שולח אליך את מר דב סער, בוגר שלנו המעוניין לעבוד אצלכם עד סוף נובמבר כשעליו להתייצב לשירות צבאי. מר סער הוא אחד התלמידים הטובים שלנו, ואני ממליץ עליו מאוד". בעקבות ההמלצה החמה, סער הצטרף לבדק ועבד במשך מספר חודשים כעוזר מהנדס חומרים.

בתקופת העסקתו הקצרה, סער הותיר רושם חיובי מאוד על מנהליו, שניסו אחר כך מספר פעמים למשוך אותו משירותו הצבאי. מכתבים רשמיים ששלחו מנהליו בבדק לבכירים בחיל האוויר בשנת 1959 הסבירו את החשיבות שייחסו להמשך העסקתו במכון.

ארצה, בטקס שנערך ב-17 ביוני 1953 בבסיס חיל האוויר ברמת דוד. אירוע זה, שנחקק בלבו של דב שהיה אז בן 17, השפיע על בחירת שם משפחתו החדש. בעקבותיו, גם הוריו ובני משפחה נוספים עברתו את שם משפחתם לסער. במהלך הלימודים בטכניון הוא נשא לאישה את אתי (אסתר) לבית סגל, ולשניים נולדו בהמשך הבת עידית והבן אמנון.

הישגיו הלימודיים של סער הרשימו את צוות המרצים במחלקה. סער התחבב במיוחד על ד"ר יוסף זינגר ומשה ארנס (שהתמנו לפרופ-סורים בשנת 1961). השניים שימשו עברו בתחילה כמדריכים אישיים, והחברות עימם עתידה הייתה להפוך בהמשך הדרך לחברות אמת שנמשכה כל ימי חייהם. חברות זו הייתה גם בעלת צביון של שותפות לדרך בכל מה שקשור בקידום ובפיתוח תחום האוויר-נאוטיקה והתעופה במדינת ישראל. ככל שהתקדמו בתפקידיהם השונים, הם הרבו לשתף פעולה במסגרות שונות – החל מפעילותם במחלקה לאווירונאוטיקה, דרך העשייה המשותפת בתע"א, וכלה בפעילויות מקצועיות שונות במסגרת האגודה למדעי התעופה והחלל בישראל, המועצה הבינלאומית למדעי האווירונאוטיקה (ICAS) ועוד. מבחינתו של סער, כמו שאר הסטודנטים במחזורים הראשונים של המחלקה לאוויר-נאוטיקה, הסיכויים להשתלב בתעשייה אווירונאוטית אמיתית לא היו ברורים, שכן כזו עוד טרם הוקמה בארץ באותה העת. העיסוק התעופתי בשירותו הצבאי אמנם היה מובטח לו, אך כמי שחלם לפתח מטוסים חדשים סער ראה רחוק יותר. המחזור הראשון, שמנה 12 בוגרים, סיים את לימודיו בקיץ 1958.

התנסות ראשונית בבדק מטוסים

עם סיום לימודיו בטכניון נותרו לו מספר חודשים פנויים עד למועד גיוסו לצה"ל. במקום לבלות כמו צעירים אחרים בגילו, סער ביקש להתקבל לעבודה הנדסית זמנית במכון הממשלתי לבדק מטוסים. ד"ר זינגר כתב



דב סער ליד אב-טיפוס הערבה בטקס הגלילה שנערך ב-21 ביולי 1969.



סם ברק ממינהל התעופה האזרחית מעניק לדב סער את תעודת הרישוי למטוס הערבה באפריל 1972.

חטיבת הנדסה אני מרגיש חובה להביע את הערכתי לתרומתך הגדולה לעבודתנו המשותפת. יותר מאשר כל אחד אחר בחטיבה אתה מסמל בשבילי את הדור החדש של המהנדס האווירונאוטי הישראלי, כפי שהייתי רוצה לראותו. הצלחתך בניהול פרויקט **ערבה**, אשר הגעת אליו צעיר ועם מעט ניסיון מקצועי, בוודאי תירשם בתולדות התפתחות התעשייה האווירונאוטית הישראלית. הדגמת יכולת מקצועית, מנהיגות אישית וכושר עבודה המשמשים דוגמה לכל צוות העובדים שלנו.

סער עמד בראש משרד פרויקט **ערבה** עד דצמבר 1979, עת התבקש לכהן כעוזרו של מנהל חטיבת הנדסה, משה "בולי" בלומקין. בסך הכול יוצרו 99 מטוסי **ערבה** מחמישה תת-דגמים. מטוסי **ערבה** הופעלו על-ידי לקוחות שונים ב-18 מדינות ברחבי העולם. חיל האוויר הישראלי גייס לשירותיו מספר מטוסי **ערבה** במהלך מלחמת יום הכיפורים ובמלחמת שלום הגליל. מאוקטובר 1983 קלט החיל לשירותיו תשעה מטוסי **ערבה**, שהופעלו עד להוצאתם משירות בסוף יוני 2004.

בלומקין הפקיד את סער כאחראי על נושאים שונים בחטיבה. ב-1981 סער התמנה לראש פרויקט מטוס המנהלים **ווסטווינד 1124** והיה אחראי על ייצור המטוס. במקביל הוא הוביל את הפיתוח הנדסי של מטוס המנהלים הבא, **ווסטווינד 1125 אסטרה**, בתהליך שבו שולבו לראשונה תוכנות תיב"ם (תיכון וייצור בעזרת מחשב), ובמסגרתו פותחה כנף סופר-קריטית מתקדמת. כישוריו המקצועיים והניסיון שצבר אפשרו לסער לחלוש הן על פרויקט ייצור סדרתי מורכב, ובמקביל לעסוק בפרויקט פיתוח של מטוס חדש ומתקדם יותר. ההחלטה בתע"א על המשך פיתוח מטוסי המנהלים עוררה ויכוחים נוקבים. סער נאלץ לנהל מאמצי שכנוע נמרצים ונאבק בכל כוחו על קבלת האישורים הנדרשים מהנהלת החברה לפיתוח המטוס החדש, אל מול סיכוני הפיתוח והסיכונים העסקיים שפרויקט מעין זה טומן בחובו. הוא האמין שפיתוח מטוס **האסטרה** יתרום גם לשאר פרויקטי הפיתוח בתע"א, כולל פיתוח כלי-טיס צבאיים.

האסטרה המריא לטיסת בכורה ב-19 במאוס 1984, והתוכנית המשיכה להתקדם

במלוא רוחב חתך הגוף. התכן האווירודינמי הוצדק בניסויי מנהרת רוח שנערכו בבריטניה ובצרפת. באפריל 1968 הוגשה תוכנית פיתוח **הערבה** לדיון ועדת השרים לענייני כלכלה בכנסת, אשר אישרה אותה ביולי.

אב-טיפוס **הערבה** נגלל בטקס חגיגי שנערך ב-21 ביולי 1969, וטיסת הבכורה בוצעה ב-27 בנובמבר אותה שנה. ניסויי הטיסה התנהלו בהצלחה עד לטיסה מספר 92, שנערכה ב-19 בנובמבר 1970, אשר במהלכה התפרק המטוס באוויר בעקבות התפתחות תופעת פרפור בסמוכות הכנף. שלושה מבין ארבעת אנשי הצוות נהרגו בתאונה, וזו הייתה מכה קשה לפרויקט בכלל ולסער בפרט. הסיבות לתאונה נחקרו ביסודיות, והמסקנות הנדסיות יושמו באבות-הטיפוס הבאים. סער ליווה את המשפחות השכולות באופן אישי מאז האסון, והקדיש מאמצים רבים לאורך השנים בארגון הרצאת הדגל בשנתית של האגודה למדעי התעופה והחיל הישראלי, שהוקדשה לזכרם של אברהם הכהן, אהרון עוזרי ואיתן שפיגל ז"ל.

בשנת 1971 פרש פרופ' משה ארנס מתפקידו כראש חטיבת הנדסה בתע"א. במכתב הפרידה ששלח לסער נכתב: "יסיימי את תפקידי כמנהל

הווסטרו: סרן אברהם כפלאוי, סרן אבינעם ירון, סרן צבי אבר-חן, סרן דב סער (שהשתחרר מצה"ל) והמהנדס יוסף מיוחס.

מהנדס בתעשייה האווירית

סער החל לעבוד בתע"א ביולי 1963 כמהנדס באגף ההנדסה. בשנתו הראשונה בחברה השתלב בפרויקט הסבת מטוסי **הסטרטוקרוזר (ענק)** ממטוס נוסעים אזרחי למטוס תובלה צבאי. זה היה פרויקט הפיתוח הנדסי הגדול ביותר של התע"א באותה העת, וסער מילא בו תפקיד חשוב.

בשנת 1964 סער הצטרף למחלקת תיכון מוקדם, בגלגולה הראשון בחברה. הייתה זו תקופה קריטית לעיצוב דמותה ודרכה של התע"א – ממוסד תיקונים ומכון בדק לחברה בעלת כושר פיתוח עצמאי של כלי-טיס חדשים. סער היה מעורב בבחינת ההצעות שהועלו, אשר כללו בדיקות היתכנות לפיתוח מטוס תובלה ל-20 נוסעים בעל כושר המראה ונחיתה קצרים ממסלולים בלתי-מוכשרים בשם **Bush STOL**, וניסיון בוסרי ראשון לפתח מטוס קרב חדש שנקרא **אביר**. כמו-כן נבחנו פרויקטים כדי לספק מענה לצורכי חיל האוויר – דוגמת פיתוח יכולת המראה נקודתית עבור מטוסי **המיראז' III C שחק**, מהחשש שהמסלולים בבסיסי החיל יותקפו מהאוויר ולא יתאפשר להזניק מטוסי יירוט.

מבין כל ההצעות שהועלו, סער התחבר במיוחד לפרויקט **Bush STOL**, שסומן בראשי התיבות **B.S.** ביולי 1966 הוקם באגף הנדסה משרד לניהול פרויקט **B.S.**, וסער בן ה-30 התמנה למנהל הפרויקט. בסוף אותה השנה נבחר שם עברי למטוס: **ערבה**.

תכן מטוס **הערבה** התבסס על שילוב בין האפשרות להטסת נוסעים לאפשרות לנשיאת מטענים שיוכנסו מבעד לדלת רחבה. הוחלט לבסס את התצורה על כנף עילית נתמכת וזנבות אנכיים כפולים שמוקמו על מנורים מאחורי המנועים, כך שיבטיחו יציבות רוחבית טובה גם כאשר מנוע אחד כושל. בתחילה דובר על חתך גוף ריבועי, אך בהמשך נבחר חתך עגול מתוך כוונה לדחס את תא הנוסעים בעתיד. תצורת שני המנורים נבחרה במיוחד כדי לאפשר את פתיחת דלת ההטענה האחורית

בטקס הגלילה של **האסטרה** ב-1 בספטמבר 1983. מימין לשמאל: משה בלומקין, פרופ' יוסף זינגר ודב סער.



התגייס למאמץ השכנוע של חברי הכנסת והשרים בדבר חשיבות קיומה של תעשייה אווירונאוטית ותרומתה לחוסן המדיני, הצבאי, המדעי והכלכלי של ישראל. במאמץ משותף של כל הגורמים הוכן מסמך ממצה על חשיבות ה**תע"א** ובטוולו הגזרות שהשית כונס הנכסים. ביולי 1993 סער החליט לפרוש מתפקידו בתע"א, בגיל 57. בבסיסה של החלטה זו עמדה מסירתו האינסופית למשפחתו. הוא ביקש לסייע לבתו, שנפצעה קשה בתאונת דרכים בעת שירותה הצבאי, וללוות אותה מקרוב בתהליך שיקומה הארוך. סער העביר את ניהול תש"ן, שעתידי היה לשנות את שמו תוך זמן קצר למרכז הנדסה, לסגנו צביקה ארזי.

המשך עשייה בגמלאות

פרישתו המוקדמת מה**תע"א** לא סימנה את סיום תרומתו לחברה. סער התנדב כיועץ לפיתוח כלי-טיס, והשתתף באופן פעיל בפרויקטי הפיתוח הבאים של ה**תע"א**, בדגש על הדור הבא של מטוסי המנהלים. הוא ליווה אישית את אילן פייגנבוים, מנהל תוכנית ה-**G150**, ואת רמי סקלדמן, מנהל תוכנית ה-**G250** (שהפך מאוחר יותר ל-**G280**), לאורך כל שלבי הפיתוח, בהכנות לסקרים ההנדסיים ובסקרים ובמפגשים עם השותפים מחברת **גאלפסטריים** האמריקנית. סער תרם מניסיונו בתחום העסקי-מסחרי ושיתף ידע רב בצורה נעימה ותומכת מול מנהל התוכנית וכלל צוות מנהלת הפרויקט. בתפקידו ההתנדבותי סער העניק מהידע העשיר שצבר לאורך השנים למהנדסי מינהל פיתוח ותיכון מתקדם בכלל ומחלקת תיכון מוקדם בפרט. החיבור לצוות המהנדסים הצעירים היה מפרה, תודות לגישתו המעודדת לדורות הצעירים. הוא הגיע למינהל מספר



דב סער מחבק את אילן פייגנבוים בטקס קבלת הרישוי ל-**G150** בשנת 2006.

לבדק מטוסים בפרויקט הסבת ה**בוואינג 747** לתצורת מטען. בתקופה זו הושם דגש על הכנסה והטמעה של כלי פיתוח חדשים, לצד טיפוח ההון האנושי. כמנהל תש"ן, סער הוביל מאמץ מרוכז להשגת יעדיו העסקיים של המפעל והפנה את מאמציו השיווק ללקוחות בארץ ובחור"ל. מאמצים אלו נשאו פרי, והמפעל זכה בפרס משווק מצטיין של ה**תע"א** לשנת 1990. מדובר בהישג יוצא דופן למפעל שליבת עיסוקו היא במתן תמיכה הנדסית לכלל הגופים בחברה. סער השכיל לשלב בין הפעילות ההנדסית לבין השגת יעדים עסקיים לטובת כלל היחידות העסקיות של ה**תע"א**. בתחילת שנות ה-90 עמדה ה**תע"א** על סף מינוי כונס נכסים על-ידי משרד האוצר. סער

בקצב גבוה בניהולו של סער. שני אבות-הטיפוס השלימו בהצלחה את תוכנית ניסויי הטיסה בתוך כשנה וחצי, וב-29 באוגוסט 1985 העניקה רשות התעופה הפדרלית של ארה"ב את הרישוי האזרחי ל**אסטרה**. לאחר כ-22 שנות ייצור סדרתי, המטוס ה-158 והאחרון יצא ממוסכי החברה בינואר 2006 (שמו של המטוס שונה בשנת 2001 ל**גאלפסטריים G100**).

תפקידי ניהול בכירים

ב-1 במארס 1986 סער קודם לסגן מנהל חטיבת הנדסה. בתפקידו החדש הוא השתלב בתוכנית הפיתוח של מטוס ה**לביא**, כאחראי על מחלקות הנדסה שפיתחו מערכות מכניות למטוס הקרב המתקדם. לבקשת המנכ"ל משה קרת, סער היה גם אחראי לארגון טקס הגליה של אב-טיפוס ה**לביא**, שנערך ב-21 ביולי 1986. מטוס ה**לביא** המריא לראשונה ב-31 בדצמבר 1986 והחל בסדרת טיסות ניסוי מוצלחות. כזכור, פרויקט ה**לביא** בוצע בצל ויכוח נוקב שהתנהל במישור הפוליטי ובתקשורת. גורל הפרויקט הוכרע לבסוף בישיבת ממשלה שנערכה ב-30 באוגוסט 1987, שבה הוחלט על הפסקתו. החלטה דרמטית זו הכניסה את ה**תע"א** למשבר חריף, במהלכו פוטרו אלפי עובדים ובוצעו שינויים ארגוניים מקיפים במבנה החברה. אחרי ביטול חטיבת ה**לביא**, חטיבת הנדסה צומצמה בתחילת 1988 באופן דרמטי לממדי מפעל, שנטמע בתוך חטיבת כלי-טיס אזרחיים. סער התמנה ב-1 בפברואר 1988 למנהל מפעל מטוסי הנוסעים בחטיבה, שבו יוצרו מטוסי המנהלים. הגרעין הנדסי שנותר מחטיבת הנדסה התגבש למפעל תשתיות הנדסיות (תש"ן) בראשותו של שארל אטאלי. כעבור פחות משנתיים, סער נקרא להחליף את אטאלי, וב-1 בספטמבר 1989 התמנה למנהל תש"ן. סער ניהל את מפעל תש"ן בשנות השפל הקשות שחוותה ה**תע"א** בעקבות הפסקת פרויקט ה**לביא**, אך הוא הצליח בכל זאת להוביל את המפעל לעשייה מחודשת. הפעילות ההנדסית התמקדה בפיתוח של מטוס מנהלים חדש שנקרא **גלקסי** (אשר הפך לימים ל**גאלפסטריים G200**), פיתוח כלי-טיס בלתי מאוישים לטווחים קצרים, ומתן סיוע הנדסי

משה קרת מעניק לדב סער את פרס המנכ"ל בשנת 2004.





צבי ארזי (עומד) מברך את דב סער באירוע הפרישה מעבודתו בתע"א ביולי 1993.



חברי ועד האגודה ליד מיצג היובל לאגודה בפברואר 2001. עומדים (מימין לשמאל): ד"ר צבי אביגל, יהודה בורוביץ, מאיר פדר, ישראל זיירמן, עמנואל בלאס ורמי סקלדמן. יושבים: פרופ' יוסף זינגר ודב סער.

עמנואל בלאס מעניק לדב סער תעודת חברות כבוד באגודה בדצמבר 2014.



ימים בשבוע, וישב בדיונים או באופן פרטי עם מהנדסים ומהנדסות צעירים, שנשבו בקסמו וספגו ידע שלא יסולא בפז.

בשנת 2004 הוענק לו פרס מנכ"ל התע"א על תרומתו הרבה לחברה במסגרת התנדבותו. במעמד קבלת הפרס אמר סער: "התרומה במקום העבודה; במרכז ההנדסה של החברה, הינה דו-כיוונית; לו הייתי עשיר מספיק, הייתי משלם לתע"א על כך שהיא מעסיקה אותי. אני שמח לראות שהתע"א קולטת עובדים צעירים, ורבים מהם המובחרים שבמובחרים".

בנוסף לעשייתו המקצועית הענפה בחיל האוויר ובתע"א, סער היה פעיל גם בקידום תחום התעופה בארץ. הוא היה חבר באגודה למדעי התעופה והחלל בישראל במשך יותר מיובל שנים, כיהן שנים רבות בוועד האגודה, ושימש כיו"ר הוועד מ-1995 עד 2007. הוא יזם הרצאות מקצועיות לחברי האגודה שניתנו על-ידי טובי העוסקים בתחום, ופעל לגיוס חברים חדשים מקרב דור המהנדסים הצעיר. כנציג האגודה היה חבר בוועדה המארגנת של הכנס השנתי למדעי התעופה והחלל, וכן תרם למאמצים להבאת כנסים בינלאומיים לישראל.

אחרית דבר

דב סער זכה להכרה והערכה רבה בארץ ובעולם בזכות הישגיו המקצועיים. ב-10 במאי 1987 העניק לו משרד התחבורה את אות התעופה האזרחית, בטקס שנערך בבנייני האומה בירושלים במעמד שר התחבורה חיים קורפו וראש הממשלה יצחק שמיר. הפרס הוענק לו על פעילותו בתחומי מחקר ופיתוח תשתית תיכון וניהול, בעודו מכהן כסגן מנהל חטיבת הנדסה בתע"א.

ב-10 בדצמבר 2014 הוענק לו תואר חבר כבוד באגודה למדעי התעופה והחלל בישראל. ועד האגודה החליט להעניק לדב סער את המעמד המכובד של חבר כבוד לציון פעילותו במשך יותר מיובל שנים לפיתוח וקידום תיכון ויצור מטוסים אזרחיים במדינת ישראל, ולציון פעילותו המסורה במשך עשרות שנים לקידום האגודה ומטרותיה, בתפקידיו כחבר ועד האגודה ויו"ר הוועד.

סער הספיק לחגוג את יום הולדתו ה-80 בקרב משפחתו וחברים רבים בתע"א בעודו מלא מרץ ונכון להמשך עשייה. חודשים מספר לאחר מכן בריאותו התרופפה והוא נאלץ לחדול מלהגיע לתע"א, אך הקפיד לשמור על קשר מביתו. הוא נפטר ב-21 במרס 2017, בהתקרבו לגיל 81, בהותירו את רעייתו אתי, ילדיו אמנון ועידית ונכדיו ענבל ואורי.

ב-30 ביולי 2017 התקיים טקס צנוע, במעמד בני משפחתו ומנכ"ל התע"א לשעבר משה קרת, לקריאת חדר הישיבות של הנהלת מרכז הנדסה על שמו של סער. בהמשך נקרא על שמו גם חדר הדיונים במחלקת תיכון מוקדם.

האגודה למדעי התעופה והחלל בישראל העלתה את זכרו של דב סער ב-27 בדצמבר 2018, בדברי הפתיחה להרצאת הזיכרון השנתית לחללי אסון הערבה. רמי סקלדמן נשא דברים לזכרו וסקר את דרכו המקצועית של סער. □

המחברים מודים למשה גרידי מארכיון התע"א על הסיוע באיחזור החומרים והתמונות לכתבה.



האמריקניים שמציין דור בספרו, משלוח זה כלל שני מטוסים ישנים מאוד מסדרת הייצור הראשונה בשנת 1978 (בלוק 1), 11 מטוסים מבלוק 5 ו-37 מטוסים מבלוק 10. (דור מצוין בטעות בטבלה שלו כי כולם היו מבלוק 5).

במשך השנים הופעלו מטוסי הנץ בשמונה טייסות של חיל האוויר. אנו יכולים עתה לעדכן את כתבת הסיכום שפרסמנו ב"ביעף" e134 עמ' 4-5 ולציין במדויק את תקופות ההפעלה בכל אחת מהטייסות:

טייסת הסילון הראשונה, 117: הפעילה מטוסי נץ במשך קצת יותר ממש שנים – מה-2 ביולי 1980 עד ל-27 בנובמבר 1986.

טייסת אבירי הצמון, 110: במשך קרוב לשבע שנים – מה-5 בספטמבר 1980 עד ל-17 ביולי 1987.

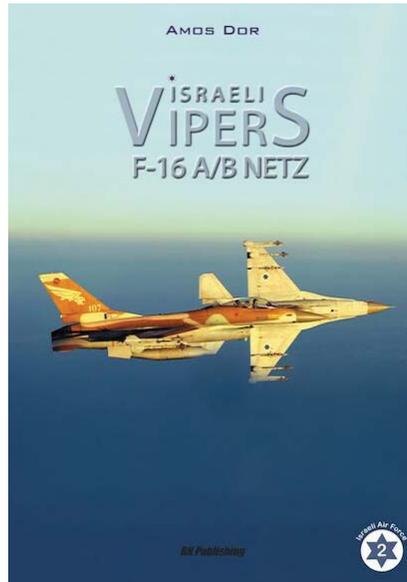
טייסת הנגב, 253: במשך כ-21 שנים וחצי – מה-10 באוגוסט 1981 עד 31 במאס 2003.

טייסת נשר הזהב, 140: במשך קרוב ל-27 שנים – מה-27 בנובמבר 1986 עד אוגוסט 2013.

טייסת עוף החול, 144: החלה לקלוט מטוסי נץ ב-9 באוגוסט 1994, והפעילה אותם במשך יותר מ-11 שנים, עד שנסגרה ב-10 באוקטובר 2005.

טייסת מגיני הדרום, 116: במשך תריסר שנים – מה-31 במאס 2003 עד ה-4 ביוני 2015.

טייסת הדרקון המעופף, 115: במשך כ-11 שנים וחצי – מה-29 ביוני 2005 כ"טייסת אדומה" לאימון מתקדם, עד ל-26 בדצמבר 2016. **טייסת מרכז ניסויי טיסה (מנ"ט), 5601:** הפעילה את מטוס הנץ 1 מספר 299 שהותאם לניסויי טיסה במשך כשלושים שנים, מ-1982 עד 2012. במחצית השנייה של שנות ה-90 הפעילה טייסת מנ"ט גם את נץ 2 מספר 993 הדר-מושבי כמטוס ליווי, עד שהוחזר לטייסת 144 בסוף שנת 2000.



36 שנות שירות בחיל האוויר

מטוסי הנץ הופעלו בחיל האוויר מיולי 1980 עד דצמבר 2016. תחילה נקלטו מטוסי נץ 1 חדשים שיצאו מקו הייצור של ג'נרל דיינמיקס בפורט וורת' שבטקסס, אשר כללו 67 מטוסי F-16A חד-מושביים ושמונה מטוסי F-16B דו-מושביים. ארבעת הראשונים נחתו בארץ ב-2 ביולי 1980, והאחרונים הגיעו ב-23 באוקטובר 1981. בין אוגוסט לנובמבר 1994 סיפקה ארה"ב לישראל 50 מטוסים מעודפי חיל האוויר האמריקני, שכללו 36 מטוסי F-16A ו-14 מטוסי F-16B, שכונו נץ 2. לפי מספרי הזיהוי

Israeli Vipers: F-16A/B Netz

מאת עמוס דור
RN Publishing, Italy, 2021
240 עמודים. המחיר (כולל משלוח): 63 אירו.

אחרי הספר על מטוסי ה-F-15 בן חיל האוויר (אותו סקרנו ב"ביעף" e152 עמ' 37), הוציא עמוס דור בפברואר השנה ספר חדש על מטוסי ה-F-16A/B נץ בחיל האוויר. הפורמט זהה: תיאור מילולי קצר על המטוס ופעילותו בטייסות השונות בחיל האוויר, ובעיקר – כ-500 תמונות, רובן צבעוניות, של מטוסי נץ שונים. בנוסף, נכללים 20 ציורי פרופיל צבעוניים שהכין המחבר. בניגוד לספרו הקודם של דור, הפעם ניכר שיפור משמעותי ברמת הכיתוב באנגלית, אם כי התוצאה עדיין אינה מושלמת.

פרק נפרד בן שמונה עמודים, שכתב צחי בן-עמי, מתאר את מבצע **אופרה** להשמדת הכור הגרעיני בעיראק ביוני 1981.

דור כלל בספר טבלאות עם זיהוי מלא של כל מטוסי הנץ שהגיעו לישראל, עם תאריכי כניסתם לשירות בחיל האוויר – הישג ראוי לציון, במיוחד לגבי מטוסי הנץ 2 שנתקבלו מעודפי חיל האוויר האמריקני, שלגביהם לא פורסם מידע רשמי על ההתאמה בין המספר האמריקני המקורי למספר הזנב הישראלי. נראה שהמידע מדויק ברובו, אך אין לנו אפשרות לאמת את כל הנתונים.

מעניין למצוא בספר גם טבלה המפרטת 53 הפלות של מטוסי ומסוקי אויב בקרבות אוויריים, רובם במלחמת לבנון הראשונה בשנת 1982, כולל הפלת כטב"ם סורי ביוני 1985.

ניתן לרכוש את הספר באתר של עמוס דור: <http://www.iafe.net/>

הפלות של כלי-טיס סוריים: **מיג-23** שהפיל זאב רז ב-21 באפריל 1982; שני מטוסי **מיג-23** שהפיל אליעזר שקדי במלחמת לבנון הראשונה ב-9 ביוני 1982 (אחד מהם נזקף לאכזתו של שקדי יחד עם איתן סטיבה, ולכן חצי עיגול); וארבעה כלי-טיס שהפיל איתן סטיבה ב-11 ביוני 1982 – שני מטוסי **סוחוי 22**, **מיג-23** אחד ומסוק **גאזל** אחד. נץ 107 סיים את שירותו בסוף 2014 והועבר לתצוגה במוזיאון חיל האוויר בחצרים.

בתמונה למטה: **נץ 1** מספר 107 בפברואר 2005, בעת שהופעל בטייסת 116 (צילום: עופר צידון).

זהו ה-F-16A בעל מספר הפלות הגבוה ביותר, מתקופת שירותו בטייסת 117. המטוס השתתף במבצע **אופרה** לתקיפת הכור הגרעיני בעיראק ב-7 ביוני 1981, כשהוא מוטס על-ידי עמוס ידליון, ולציון פעילותו זו נצבע על חרטומו הסימון המשולש. עוד מופיעים על חרטומו שישה וחצי סימני

