



ביעף

תעופה וחלל

מהדורה אלקטרונית



- יובל שנים ל"ביעף": 2022-1972
- טכנולוג: מטוס הניסוי שהוכיח את השיפורים בכפיר
- מדוע נבחרה תצורת הקנארד לכפיר?
- חדשות התעופה והחלל בישראל • ספרים ביעף

התוכן

חדשות ביעף:

3	חיל האוויר
9	תעשיות ביטחוניות ותעופה
11	כטב"מים
13	ישראל בחלל
16	מטוסים חדשים בישראל
19	תאונות טיסה
22	חילות אוויר ערביים
25	טיסות בכורה
26	טכנולוג: מטוס הניסוי שהוכיח את השיפורים בכפיר
33	מדוע נבחרה תצורת הקנארד לכפיר?
35	ספרים ביעף

בשער: מטוס הקרב יורופייטר טייפון מספר 31+37 של חיל האוויר הגרמני, שנצבע עם דגלי ישראל וגרמניה לצורך השתתפותו בתרגיל דגל כחול שנערך באוקטובר 2021 בבסיס עובדה בנגב.
צילום: @Team_Luftwaffe

דבר העורך: יובל שנים ל"ביעף"



עם הופעתו של גיליון זה אנו מציינים יובל שנים לקיומו של כתב-העת לתעופה וחלל "ביעף". מפברואר 1972 עד פברואר 2007 הוצאתי 97 חוברות מודפסות (אחת מהן כפולה), וממאי 2007 עד היום הוצאתי 56 גיליונות אלקטרוניים בקובצי PDF. בנוסף, הפצתי למנויים אוסף של כל הכתבות והידיעות שפרסמנו בנושאי פעילות החלל בישראל, וקובץ של כל הכתבות שפרסמנו על מטוסי הערב.

הופעתו הרצופה של כתב-עת פרטי בהובלתו של אותו מוציא לאור ועורך ראשי לאורך תקופה כה ארוכה היא תופעה יוצאת דופן לא רק במציאות הישראלית, אלא גם בקנה מידה בינלאומי. מעטות מאוד הן הדוגמאות לכך בעולם. הדבר מבטא את העובדה, שהפכתי את "ביעף" למפעל חיים שחשוב לי יותר מכל.

אבל אחרי חמישים שנים מעניינות, אני נאלץ לסיים את הפרק

המפואר הזה. במציאות הנוכחית, ובמיוחד בעידן מגפת הקורונה העולמית, אין לי יותר יכולת למלא חוברת מסוגה של "ביעף" בחומר מקורי כפי שהצלחתי להשיג בעבר, ולהוציא את הגיליונות בתדירות סבירה. ומעבר לכך – בעולם התקשורת של היום, המוצף במידע חינוכי באינטרנט, אין די ביקוש לכתב-עת מסוגו של "ביעף".

ההישג החשוב ביותר של "ביעף" לאורך השנים היה תיעוד מקיף ומהימן של כל האירועים וההתפתחויות החשובות בישראל בתחומי התעופה הצבאית, התעופה המסחרית, התעופה הכללית, הפרטית והספורטיבית, תעשיות התעופה והביטחון, הפעילות בחלל והתעשיות שאפשרו אותה, מוסדות המחקר האווירונאוטי, ועוד. חקרנו וחשפנו בצורה המוסמכת ביותר את תולדות התעופה העברית בתקופת המנדט הבריטי בארץ ישראל, ותיארנו את כל המטוסים שהופעלו כאן ברישום מנדטורי. תעדנו לראשונה את קורותיהם ופעילותם של 14 מחלוצי הטיכון האווירונאוטי בישראל. תיארונו בפירוט רב כמעט את כל כלי-הטיס שהופעלו בחיל האוויר הישראלי מאז הקמתו. וסקרנו כמעט כל ספר שהופיע בארץ בחצי המאה שחלפה בנושאים הקשורים לתעופה וחלל, לצד מאות ספרים חשובים שפורסמו בחו"ל והגיעו לשולחנו באדיבות הוצאות הספרים השונות.

במישור הבינלאומי, כיסיתי בעצמי תערוכות רבות שנערכו בצרפת, בבריטניה, בגרמניה, ביוון, ברוסיה, בשוויצריה, בארה"ב, והגעתי אפילו עד סין וקוריאה. סקרנו יותר מ-35 מוזיאונים לתעופה וחלל ברחבי העולם, תוך הדגשת ייחודם והאוצרות השמורים בהם.

אני אמנם הובלתי את המפעל הזה וקבעתי את תוכנו, סגנונו וצורתו, אך לא יכולתי לעשות זאת לבד. רבים סייעו והיו שותפים למאמץ – באספקת מידע ותמונות, בכתבה ובהגהה יסודית, באיור ובעיצוב. שמותיהם של כל אלה מוזכרים בחוברות המודפסות ובגיליונות האלקטרוניים שהופיעו במשך השנים, ואני אסיר תודה להם על תרומתם המועילה.

מעתה ואילך, "ביעף" ימשיך להופיע במתכונת שונה: לא עוד גיליונות אלקטרוניים בפורמט המוכר של "חוברת" עם מגוון מדורים, אלא ידיעונים תקופתיים בתדירות לא קבועה, שיכללו מעט עמודים ופחות מדורים, בהתאם לחומר שיהיה זמין.

יהודה בורוביק

ביעף
תעופה וחלל

מהדורה אלקטרונית e156

שבת תשפ"ב – ינואר 2022

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

ד"ר צבי אביגל

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 בהחלט.

BIAF – Israel Aerospace e-Magazine

Publisher & Editor: Yehuda Borovik

E-mail: biaf@aerospace.org.il

Copyright © 2022 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.



שבעה חילות אוויר זרים השתתפו בתרגיל "בלו פלג" החמישי בעובדה

שדימו תרחישי לחימה, כשבכל מטס השתתפו יותר ממאה אנשי צוות שונים. בסיום כל מטס התכנסו כלל לוחמי צוות-האוויר וגורמים נוספים שלקחו חלק במטס לתחקור. התחקור בוצע על גבי מערכות מתקדמות מתוצרת התעשייה האווירית והובל על-ידי ענף אוויוניקה ממחלקת הנדסת מערכות בלהק ציוד, בתיאום מלא עם טייסת 115. ניתן היה לראות בו בצורה ברורה, אמינה ורציפה את כל מהלך המטס – מי הפיל את מי, מי יורט על-ידי סוללות טילי קרקע-אוויר, איזה צוות עמד במשימות וביעדים שלו, ועוד.

מדינות נוספות שלחו משקיפים כדי ללמוד על התרגיל, ביניהן פינלנד, דרום קוריאה, יפן, הולנד ואוסטרליה.

(צילום: שי פינקלמן)



התרגיל הובילה טייסת 106 יחד עם טייסת 115 – טייסת ביום האויב של החיל.

תרגיל **בלו פלג** יועד בעיקרו לאימון טייסות קרב, אבל הייתה זו גם הזדמנות עבור מערכים נוספים להשתתף, לתרום וגם ללמוד ולהתאמן בעצמם. בתרגיל השתתפה מערכת **יהלום (פטריוט)** ממערך ההגנה האווירית, שדימתה סוללות טילי קרקע-אוויר של האויב. גם מערך הבקרה האווירית נרתם לתרגיל, באמצעות אנשי בית הספר לבקרה הממוקם בעובדה. השנה הגיעו גם אנשי בקרה אווירית מחיל-האוויר הגרמני, ויצרו יחד לימוד והפריה הדדית.

במסגרת התרגיל התקיימו מטסים רבים

F-35A אדיר של טייסת 116, **אירות הדרום**.

התרגיל הבינלאומי **בלו פלג** (דגל כחול) התקיים זו הפעם החמישית בבסיס עובדה בנגב, במחצית השנייה של חודש אוקטובר 2021. היה זה התרגיל הגדול והמגוון ביותר שנערך עד כה – שמונה חילות-אוויר, כ-75 כלי-טיס מסוגים שונים, כ-1,500 משתתפים מתוכם כ-1,000 זרים, ושבועיים אינטנסיביים שכללו כ-880 גיחות ואימונים במתארים אוויריים מורכבים, ביניהם תקיפת מאות מטרות, טיסה כנגד כוח אויב ולחימה.

לבסיס עובדה הגיעו לא פחות מ-11 מפקדי חילות-אוויר מרחבי העולם למפגש רב חשיבות, לרבות מפקד חיל-האוויר של האמירויות הערביות המאוחדות בביקור ראשון והיסטורי. המשתתפים הזרים הגיעו עם המטוסים הבאים: חיל האוויר הגרמני וחיל האוויר המלכותי הבריטי עם שישה מטוסי **ירופייטר טייפון** כל אחד; חיל האוויר האמריקני עם שישה מטוסי **F-16C/D**; חיל האוויר האיטלקי עם חמישה מטוסי **F-35A** ומטוס להתראה מוקדמת ובקרה אווירית מדגם **גאלפסטרים G550 CAEW**; חיל האוויר היווני עם ארבעה מטוסי **F-16C/D**; חיל האוויר ההודי עם חמישה מטוסי **מיראז' 2000TH** בליווי מטוס תובלה **C-17**; וחיל האוויר הצרפתי עם ארבעה מטוסי **ראפאל**.

מחיל האוויר הישראלי השתתפו 12 מטוסי **F-35A** אדיר מטייסות 116 ו-140; שישה מטוסי **F-15C/D** בז מטייסת 106; תשעה מטוסי **F-16I** סופה מטייסות 107 ו-201; שישה מטוסי **F-16C** ברק מטייסת 115; ומטוס **נחשון** אחד מטייסת 122. את תכנון



בתמונה העליונה: ארבעה מטוסי דאסו מיראז' 2000TH דורמושביים של חיל האוויר ההודי.

למעלה: שלושה מטוסי יורופייטר טייפון של חיל האוויר המלכותי הבריטי.

משמאל: ארבעה מטוסי F-16CJ של חיל האוויר האמריקני.

(צילומים: חיל האוויר)



חמישה מטוסי F-35A של חיל האוויר האיטלקי.

(צילום: חיל האוויר)

יורופייטר טייפון של חיל האוויר הגרמני.

(צילום: שי פינקלמן)



דאסו ראפאל דו-מושבי של חיל האוויר הצרפתי.

(צילום: שי פינקלמן)



F-16C של חיל האוויר היווני.

(צילום: שי פינקלמן)





משמאל: F-15D בז דר-מושבי של טייסת 106, חוד החנית.

למטה: F-16I סופה של טייסת 107, אבירי הזנב הכתום.

בתמונה התחתונה: F-16C ברק של טייסת 115, הדרקון המעופף.

(צילומים: שי פינקלמן)





נחתם ההסכם לרכש תריסר מסוקי CH-53K ועוד שני מטוסי תדלוק KC-46A

לאימוץ טייסי ה-CH-53K. "הסימולטור יהיה צריך להיות מוכן עוד לפני שהמסוקים יגיעו לארץ", הבהיר שיקי שני.

שני מטוסי ה-KC-46A הראשונים עבור חיל האוויר נרכשו בעסקה שנחתמה באמצע פברואר 2021, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e154 עמ' 4. השניים הנוספים שהוזמנו עכשיו הם חלק מתוכנית כוללת להצטיידות בשמונה מתדלקים, אותם אישר הממשל האמריקני לישראל במארכס 2020.

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

"לוקהיד מרטין מחויבת וגאה להמשיך ולתמוך בחיל האוויר כחלק מהשותפות ארוכת-השנים עם מדינת ישראל. ה-CH-53K יאפשר לחיל האוויר להמשיך ולעמוד במשימותיו כמסוק התובלה הכבדה הבטוח, האמין והיעיל ביותר, וסייע לחיזוק הביטחון הלאומי של מדינת ישראל בעשורים הבאים".

בשלב ראשוני זה של העסקה מדובר במסוקים זהים לאלה של חיל הנחתים של ארה"ב. שילוב מערכות ישראליות יישקל בהמשך הדרך, ויוחלט אם לבצע את התקנתן בארה"ב או לאחר הגעת המסוקים לישראל. בנוסף, תגובש עסקה נפרדת לרכישת סימולטור

משלחת הרכש של משרד הביטחון בארה"ב, בראשותו של תא"ל (מיל') מישל בן-ברוך, חתמה ב-30 בדצמבר 2021 על הסכם עם הממשל האמריקני לרכש 12 מסוקי סיקורסקי CH-53K קינג סטאליון בכ-2 מיליארד דולר ולרכש שני מטוסי תדלוק נוספים מסוג בואינג KC-46A גוסוס בכ-1.1 מיליארד דולר. הרכש ימומן מכספי הסיוע הצבאי האמריקני.

חתימת העסקה התבצעה לאחר אישורה של ועדת השרים להצטיידות, שהתכנסה לראשונה תחת הממשלה החדשה ב-28 בנובמבר 2021.

שר הביטחון, בני גנץ, אמר על העסקה: "הסכמי הרכש הם לבנה נוספת ומשמעותית בבניין הכוח של צה"ל. אנחנו ממשיכים להתעצם, להשתנות ולהתאים את חיל האוויר לאתגרי העתיד, הקרובים, ובעיקר הרחוקים מגבולות ישראל".

משרד הביטחון הודיע כבר ב-24 בפברואר בשנה החולפת (בתקופת הממשלה הקודמת בראשות בנימין נתניהו) על ההחלטה לבחור ב-CH-53K כמסוק התובלה הכבדה החדש של צה"ל, שיחליף את מסוקי היסעור. חתימת החוזה עם האמריקנים התעכבה עד לאחרי אישור תקציב המדינה על-ידי ממשלת בנט. החוזה כולל אופציה לרכישת שישה מסוקי CH-53K נוספים במועד מאוחר יותר – כנראה אחרי 2029. אספקת המסוקים החדשים תחל בשנת 2026.

חיל האוויר העדיף את הסיקורסקי CH-53K קינג סטאליון על פני הבואינג CH-47F שינוק לאחר בדיקה יסודית של שני סוגי המסוקים, כפי שתיארנו ב"ביעף" e154 עמ' 3. כתבה קודמת שהשוותה בין הקינג סטאליון לשינוק פרסמנו ב"ביעף" e143 עמ' 18-20.

ה-CH-53K פותח ומיוצר על-ידי סיקורסקי, חברה של לוקהיד מרטין. יהושע (שיקי) שני, מנכ"ל לוקהיד מרטין ישראל, אמר:

למעלה ולמטה: איורים של ה-CH-53K קינג סטאליון בצבעי חיל האוויר הישראלי (לוקהיד מרטין).



טל שמיים: בלון תצפית ענק הוצב בצפון הארץ

והשינוי בין כמות ההליום והאוויר הוא מתרומם או יורד. את הבלון עצמו מחליפים אחת לשלוש שנים בערך, בהתאם להוראות היצרן. בעת החלפת הבלון משדרגים גם את המערכות שהוא נושא. הבלון יכול לשאת חיישנים שונים, בהתאם למגבלות המשקל. בנוסף למכ"ם, ניתן להתקין עליו חיישנים לאיסוף מודיעין אותות, זיהוי עמית-טורף, חיישן תצפית אלקטרו-אופטי/תת-אדום, ממסר תקשורת ועוד.

חברת TCOM מובילה בעולם מאז 1971 בפיתוח וייצור בלונים גדולים הקשורים בכבל לקרקע. הבלון באורך 71 מטרים מאפשר לשאת מטע"דים במשקל של עד 1,600 ק"ג. ביכולתו לפעול ברוחות של עד 70 קשרים (130 ק"מ/ש'), ולשהות עד 30 ימים ברציפות ברום של 15,000 רגל.

ולגות מטוסים מנמיכי-טוס, כטב"מים, טילי שיוט, חימושים משוטטים וכדומה. מערך הבקרה של חיל האוויר מפעיל בדרום הארץ בלון תצפית קשור לקרקע זה יותר מ-30 שנים. כפי שנחשף בביטאון חיל האוויר בפברואר 2005, ההקמה של התשתיות החלה בספטמבר 1990, והבלון הראשון נופח במארס 1991. מדובר בבלון באורך 71 מטרים, העשוי מסיבי דקרן-פוליאסטר בעלי ציפוי מיוחד, שעמיד למים, זליגות גז וקרניה על-סגולה. הבלון קשור כל הזמן לכבל המחובר למערכת עגינה מיוחדת. מלבד החזקת הבלון, מספק הכבל את האנרגיה ואת התקשורת לבלון באמצעות סיבים אופטיים. לכבל יש סיכוך, כך שגם אם ברק יפגע בכבל, הבלון לא ייפגע. הבלון מכיל בתוכו הליום ואוויר, כך שבאמצעות הגדלת נפח ההליום בתוך הבלון

בלון תצפית ענק באורך 117 מטרים הקשור לקרקע (Aerostat) הוצב באתר ייעודי בצפון הארץ לצורך גילוי והתערה של איומים אוויריים מתקדמים, כפי שהודיע משרד הביטחון ב-3 בנובמבר 2021. המערכת, שנקראת **טל שמיים**, תספק יכולת משלימה למערך הגילוי ולמערכות ההגנה האווירית של חיל האוויר ומדינת ישראל. **טל שמיים** מבוססת על בלון קשור לקרקע מתוצרת חברת TCOM האמריקנית, אשר נושא מערכת מכ"ם מתקדמת מתוצרת **אלתא מערכות**. המערכת פותחה במסגרת תוכנית משותפת של מנהלת **חומה** במינהל למחקר, פיתוח אמצעי לחימה ותשתית טכנולוגית (מפא"ת) במשרד הביטחון, בשיתוף עם חיל האוויר והתעשייה האווירית לישראל, יחד עם הסוכנות האמריקנית להגנה מפני טילים (MDA). את האתר הייעודי בצפון הארץ הקים אגף ההנדסה והבינוי במשרד הביטחון.

"המערכת תהווה מרכיב משמעותי בחיזוק ההגנה על גבולות המדינה אל מול מגוון איומים, ותתרום ליכולת בניית תמונת שמיים מדויקת ורחבה יותר", אמר מפקד חיל האוויר, אלוף עמיקם נורקין. "ברשות חיל האוויר מערכים המשלבים כוחות בהגנה ובהתקפה, המגינים על שמי מדינת ישראל וריבונותה". "זוהי עוד פריצת דרך טכנולוגית שתחזק את ההגנה על שמי ישראל ואזרחי ישראל", הדגיש שר הביטחון, בני גנץ. "הצלחת המערכת החדשה מבצרת את חומות ההגנה שבנתה ישראל למול האיומים האוויריים הרחוקים והקרובים שנבנים על ידי אויביה. באמצעות יכולות הגילוי, ומערכת ההגנה הרב-שכבתית, יישמר היתרון של ישראל באזור, ויתאפשר מרחב הפעולה המבצעי הנדרש לשמירה על ביטחונה". ראש מנהלת **חומה** במפא"ת, משה פתאל, הוסיף: "בשנה האחרונה הוכחנו רבות את יכולת ההתמודדות של כלל מערך ההגנה הרב-שכבתית של ישראל מול איומים מתקדמים, ובהם טילי שיוט. אנו ממשיכים לחזק את יכולות הגילוי של ישראל. בלון הגילוי האווירי ישיט בגובה רב, יצפה לטווחים רחוקים ויאפשר יכולת גילוי מקסימלית של איומים מתקדמים מכוונים שונים".

המכ"ם שפיתחה **אלתא מערכות** עבור בלוני תצפית מסומן **ELM-2083**. זהו מכ"ם מתקדם בטכנולוגיית סריקה אלקטרונית אקטיבית (AES), הפועל בתחום התדירויות L, עם אנטנה מסתובבת שמאפשרת כיסוי ב-360 מעלות. טווח הגילוי שלו כ-270 ק"מ מגובה ריחוף של 15,000 רגל, עם דיוק זוויתי של רבע מעלה. המערכת מבצעת עקיבה אוטומטית אחר מטווח רבות תוך כדי סריקה, וביכולתה לגלות עד 500 מטווח.

30 שנות הפעלת בלונים

הרעיון של בלון נושא מכ"ם שישלים את התמונה האווירית מוכר בעולם זה עשרות שנים. ייעודו להתגבר על מגבלות המכ"ם הקרקעיים, שצופים מלמטה למעלה ואינם מסוגלים לגלות כלי-טיס מנמיכי-טוס בטווחים ארוכים. על-ידי התקנת המכ"ם על בלון שמרחף בגובה של כ-15,000 רגל (כ-4.6 ק"מ) ניתן לצפות מלמעלה לטווחים ארוכים



הבלון מתוצרת TCOM שהוצב באתר ייעודי בצפון הארץ, עדיין ללא המכ"ם של מערכת **טל שמיים**.



התע"א סיפקה 14 מטוסי מנהלים חדשים בשנת 2021



ה-G280 מספר יצרן 2105 משמש כמטוס הדגמה של גאלפסטרים.

ראוי לציין, כי המתחרים של ה-G280 בקטגוריית מטוסי המנהלים הבינוניים-גדולים זוכים להצלחה גדולה יותר בהיקף מכירותיהם. מדובר בצ'לנג'ר 350 של בומבארדייה – המוביל במכירות בקטגוריה זו בשבע השנים האחרונות, בסייטישן לונגיטיוד של ססנה, ובפרטור 600 של אמבראר. בומבארדייה הודיעה באוקטובר 2021 על פיתוח דגם משופר של ה-350, שיסומן צ'לנג'ר 3500 ויהיה זמין מהמחצית השנייה של 2022. דגם חדש זה יתאפיין בשיפורים ניכרים הן בתא הנוסעים והן בתא הטייסים, ולבטח יהווה איום גדול יותר על ה-G280.

מתכוונת להציע בעתיד הקרוב מטוס בינוני-גדול חדש שיחליף את ה-G280, שכן היא עסוקה בפיתוח וייצור המטוסים החדשים הגדולים יותר.

גאלפסטרים הודיעה ב-12 באוקטובר על מספר שיפורים מינוריים שישולבו ב-G280. מעתה ניתן לצייד את המטוס במערכת להזרמת אוויר נקי יותר לתא הנוסעים מסוג "יינון פלזמה", המנטרלת נגיפים ואלרגנים. עבור הטייסים, ניתן לשדרג את מערכת האוויוניקה PlaneView ולהוסיף מספר מאפיינים שיקלו את עומס העבודה שלהם ויגבירו את ביטחות הטיסה.

במהלך שנת 2021 סיפקה התעשייה האווירית לישראל לגאלפסטרים רק 14 מטוסי מנהלים סילוניים מדגם G280 – שמונה פחות מאשר בשנת 2020 ו-17 פחות מאשר בשנת 2019.

המטוסים ה"ירוקים" (מספרי יצרן 2219 עד 2232) הועברו למפעלי גאלפסטרים בארה"ב להשלמת עיצוב הפנים ולצביעה חיצונית, לפי טעמו של הלקוח.

הירידה החריפה בקצב הייצור של מטוסי ה-G280 מנוגדת למגמה העולמית של התאוששות שוק מטוסי המנהלים וגידול ניכר בהזמנות למטוסים חדשים, במיוחד לאור חששם של מנהלים ואישים בכירים לטוס במטוסי הנוסעים הצפופים של חברות התעופה הסדירות בעידן מגפת הקורונה. בתשעת החודשים הראשונים של 2021 נרשם גידול בשיעור של 15.9% במספר מטוסי המנהלים החדשים שסיפקו היצרניות בעולם – 438 מטוסים מכל הסוגים, לעומת 378 מטוסים בתקופה המקבילה בשנת 2020. נתוני הרבע האחרון של 2021 עדיין לא פורסמו בעת הופעת גיליון זה של "ביעף", ומעריכים שהגידול היה בולט עוד יותר.

גאלפסטרים מעדיפה להשקיע במטוסי המנהלים הגדולים שלה, שם הרווחים משמעותיים יותר, ובשנה החולפת הכריזה על פיתוח ה-G400 וה-G800, שנוספו למטוסים החדשים הקודמים ה-G600 וה-G700. נראה, שה-G280 הוא בן חורג במשפחת המטוסים של גאלפסטרים, שזוכה רק לשיפורים קלים, אך לא להשבחה מרשימה שתוכל להביא להגברת למכירות. ככל שידוע, גאלפסטרים לא

הצלחה שיווקית באסטוניה לטיל התקיפה הימי של התעשייה האווירית

יכולת תקיפה מעבר לאופק נגד מטרות ניידות ונייחות בים.

ה-Blue Spear (רומח כחול) הוא טיל חוף-ים המותאם לשיגור ממספר פלטפורמות יבשתיות. הטיל מצויד בראש ביות מכ"מי אקטיבי, עם יכולת ניווט המאפשרת גילוי מטרות בדיוק מרבי.

מנכ"ל התעשייה האווירית, בועז לוי, אמר על העסקה: "שיתוף הפעולה האסטרטגי והפורה של התע"א עם ST Engineering הוליד פריצת דרך משמעותית מול אסטוניה. מכירה זו מהווה המשך ישיר לסדרת ההצלחות האחרונות בקידום עסקאות משמעותיות של התע"א באירופה. הצלחה זו לא הייתה מתאפשרת בלא התמיכה והליווי המקצועי הצמוד של משרדי הביטחון האסטוני והישראלי. הסינרגיה עם ST Engineering מאפשרת שיווק מערכות לחימה מתקדמות בשוק העולמי וממקסמת את יכולות השותפים".



המרכז להשקעות ביטחוניות באסטוניה הודיע ב-6 באוקטובר 2021 כי חתם על הסכם לפיתוח יכולות הגנת חופים, במסגרתו יצטייד צבא אסטוניה בטייל התקיפה יבשה-ים מסוג Blue Spear.

פרוטאוס מערכות מתקדמות – חברה משותפת לתעשייה האווירית לישראל ול-ST Engineering הסינגפורית, שהוקמה ביולי 2020 – נבחרה לספק לצבא אסטוניה את המערכות המתקדמות, בתום הליך מכרזי. עסקה זו מהווה חלק מרכזי בהצטיידות צבא אסטוניה.

מערכת התקיפה המתקדמת Blue Spear מבוססת על הדור החמישי במשפחת טילי גבריאל. דגם ים-ים של טיל זה, המכונה Sea Serpent, הוצע בשנה שעברה לצי המלכותי הבריטי – ראה "ביעף" e154 עמ' 10. בשנת 2018 דווח על מכירת טילים כאלה לפינלנד. מדובר במערכת נשק מדויקת הפועלת בכל תנאי מזג אוויר, יום ולילה, ומאפשרת

משגר רב-קני לחימושים המשוטטים של UVision



החימוש המשוטט Hero-120.



הזנקת חימוש משוטט מהמשגר הרב-קני.



המשגר הרב-קני לחימושים המשוטטים מותקן על רכב LAV של חיל הנחתים האמריקני.

יצרנית החימושים המשוטטים UVision הציגה באוקטובר משגר רב-קני הניתן להתקנה על כלי-רכב צבאיים שונים. ממשגר זה ניתן להזניק סוגים שונים של מערכות Hero – החל מה-Hero-30 להתקפות כירווגיות קטנות, המשך ב-Hero-120 לטווח בינוני ומטרות משוריינות, ועד ל-Hero-400 לתקיפת מטרות מבוצרות בטווחים ארוכים. בכך ניתנת לכווחות המבצעיים גמישות בבחירת המערכת המתאימה ביותר ובהפעלתה, בהתאם לאופי המשימה, עד לטווח של 75 ק"מ.

ביוני 2021 זכתה החברה, יחד עם שותפתה האמריקנית Mistral, בחוזה לאספקת חימושים משוטטים מסוג Hero-120 לחיל הנחתים של ארה"ב. המשגרים הרב-קניים (עם שמונה זבילים) יותקנו על כלי-רכב צבאיים מסוג LAV, JLTV ו-LRUSV. חימושים משוטטים אלה ייוצרו בארה"ב במפעל חדש המוקם במחוז סטאפורד בוורג'יניה.

ה-Hero-120, שנושא ראש קרבי בן 4.5 ק"ג, יכול לשוטט באוויר במשך 60 דקות ולתקוף בטווח של עד 40 ק"מ. על משפחת החימושים המשוטטים של UVision ראה "ביעף" e148 עמ' 23.

בנוסף לפעילותה המוצלחת בארה"ב, מבקשת UVision לקדם את שיווק מוצריה גם באירופה. לצורך כך חתמה החברה הישראלית ב-11 באוקטובר על הסכם שיתוף פעולה אסטרטגי עם החברה הגרמנית ריינמטאל. שתי החברות יציעו לצבאות של מדינות באירופה פתרונות מקצה לקצה המבוססים על החימושים המשוטטים, כאשר ריינמטאל תוביל בהיבטים תעשייתיים, טכנולוגיים ומסחריים.

אלוף (בדימוס) אבי מזרחי, מנהל העסקים הראשי של UVision, אמר: "על-ידי הוספת שילוב החימושים המשוטטים שלנו עם סל

של צבאות מובילים, אנו יכולים עתה להציע לצבאות אירופיים ידידותיים רבים פתרונות נרחבים ומושלמים יותר לצורכי ההגנה שלהם."

המוצרים הנרחב של ריינמטאל, שכולל חימושים, ראשי קרב, פלטפורמות קרביות ומערכות לניהול לחימה שכבר נמצאים בשימוש

חברת ההזנק AIR מפתחת כלי-טיס אישי חשמלי



חברת ההזנק AIR מפרדס חנה חשפה באוקטובר 2021 פיתוח של כלי-טיס דו-מושבי לשימוש פרטי, בעל הנעה חשמלית, שימריא וינחת אנכית. ה-AIR One מצויד בכנף שמאפשרת לו מהירות (250 ק"מ/ש') וטווח טיסה (175 ק"מ) ארוכים יותר מכלי-טיס מקבילים שנמצאים בפיתוח בעולם ודומים יותר לרחפן מאויש. אמצעי ההנעה הם שמונה מנועים חשמליים המסובבים רוטורים – ארבעה בקדמת המטוס וארבעה בחלקו האחורי.

כלי-הטיס יצויד בסוללות ליתיום נטענות בקיבולת של 60 קוט"ש, באותה טכנולוגיה כמו במכוניות חשמליות. טיסות ריחוף ראשונות של אב-הטיפוס צפויות להתחיל לקראת אמצע 2022. החברה מקווה להשיג רישוי אזרחי ולהתחיל באספקות בשנת 2024 או 2025.

חברת ההזנק הוקמה ב-2017 על-ידי חן רוזן, שמשמש כמדען הראשי שלה, ומאוחר יותר הצטרפו אליו נתנאל גולדברג ורני פלאוט, המכהן כיום כמנכ"ל החברה.

גדפין חשפה תחנה קרקעית לכטב"מים החשמליים שלה



הכטב"ם החשמלי Spirit One בתערוכת UVID. למטה: הכטב"ם על תחנת העגינה הקרקעית.

לתוך הספיריט, ובכך מגבירה את הבטיחות והפריור.

- חלון מסירת חבילות, לקשר בטוח עם הנמען.
 - החלפת סוללה אוטומטית על-ידי הרובוט בתחנה.
 - תדלוק מימן אוטונומי על-ידי רובוט ממחולל מימן עצמאי הנמצא בתחנה.
- אייל רגב, מנכ"ל גדפין, הבהיר כי "המערכת המוצעת יוצרת מארג מושלם להפצת חבילות בטוחה בין מקומות מרוחקים ובתוכם. שילוב רחב היקף של הטכנולוגיה של גדפין על פני תשתית של מרלוג"א תאפשר בניית אזור שינוע גדול וייחודי אליו יתקזזו כטב"מים רבים בעתיד."



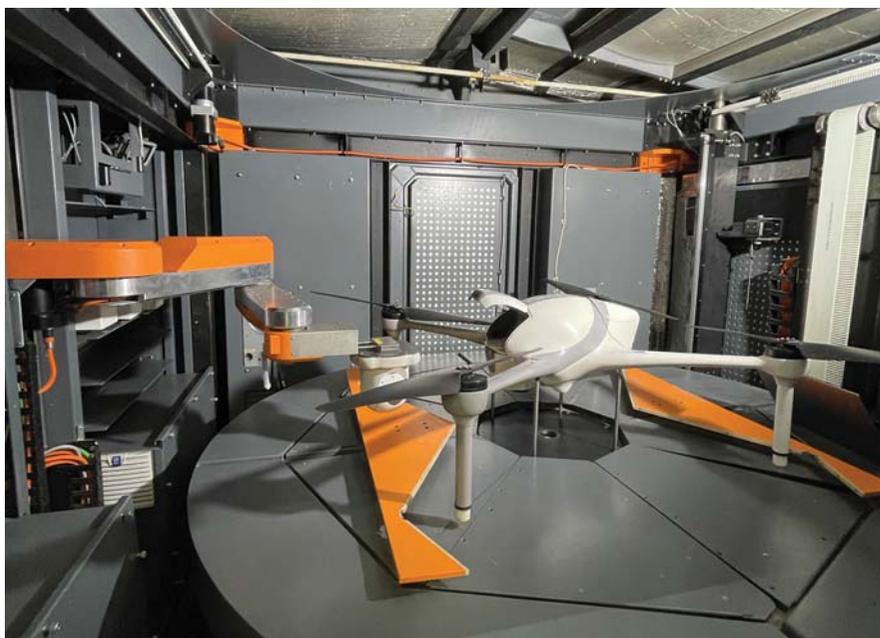
לאחר שחשפה בספטמבר 2020 את הכטב"ם המונע חשמלית Spirit One, שמויעד להובלת חבילות במשקל של עד 5 ק"ג – ראה "ביעף" e152 עמ' 15 – חשפה חברת גדפין לראשונה בתערוכת UVID בתל-אביב ב-10 בנובמבר תחנת עגינה ותחזוקה קרקעית. התחנה האוטו-מטית לחלוטין תאפשר הפעלה בלתי מאוישת מלאה של הכטב"מים מדגמי Spirit One ו-Spirit-X, כולל טיפול בחבילות וניהול מערכת החשמל, כל זאת באמצעים רובוטיים וללא מגע יד אדם.

הכטב"ם החשמלי משתמש הן בסוללות LiPo בצפיפות גבוהה והן בתאי דלק מימן עתירי אנרגיה. השילוב היעיל הזה, יחד עם מודול חלוקת הכוח של גדפין, מאפשר לכלי-הטיס לטוס רחוק יותר ולפרקי זמן ארוכים יותר.

גדפין מפתחת יכולת הארכה בלתי מוגבלת של טווח הטיסה באמצעות תחנות תחזוקה קרקעיות אוטומטיות, שיכולות לבצע הטענה אוטונומית מבוססת מימן תוך שלוש דקות בלבד ולהפעיל מחדש את הכטב"ם. מאפייני התחנה:

- ממדים קומפקטיים, המאפשרים נחיתה והמראה גם על גג של בית חולים או כל מתקן לוגיסטי.
- ניטור ובקרת סדרי העדיפויות בהפצת החבילות ואינטראקציה של פיקוד מרכזי באמצעות תקשורת סלולרית.
- תחנת הטענה מלאה גם על סיפון בלב ים.
- אין צורך בהתערבות אנושית – מערכת רובוטית טוענת ופורקת את חבילות המשלוח מהספיריט לתוך הכלי שממנו הן עוברות לנמען, או מטעינה משלוחים באופן אוטונומי

אירובוטיקס הציגה תחנת עגינה לרחפן אופטימוס



חברת אירובוטיקס מפתח-תקווה הציגה בתערוכה את תחנת העגינה שלה ובתוכה הרחפן אופטימוס. הרחפן, שמשקלו המרבי 25 ק"ג, מסוגל לטוס 40 דקות ברצף בטווח של 8 ק"מ, לחזור לתחנת העגינה, להחליף סוללה ולטוס שוב. במקרה הצורך, הרחפן מסוגל להחליף גם את החיישן – מחיישן מצלמה לחיישן שמשמש למדידות. כל זה נעשה באופן אוטונומי. בתחנת העגינה ניתן לאחסן עד עשר סוללות ועד תשע מטע"דים. את התחנות, המוגנות ומבוקרות אקלים, ניתן למקם על גגות בניינים.

האופטימוס מותאם לבצע מגוון משימות באמצעות מטע"דים מותאמים, שכוללות: מיפוי תלת-ממדי ודור-ממדי, סריקה באמצעות לייזר, וידאו תרמי, שידור חי, ומשלוח לשעת חירום והצלת חיים. את המידע שאוסף הרחפן מעלים אוטומטית לתשתית ענן מאובטחת.

אירובוטיקס הוקמה ב-2014 על ידי רן קראוס ומאיר קליינר. עד יוני 2021 שימש קראוס מנכ"ל החברה ואז הוחלף בקליינר. החברה פועלת כיום בדובאי, סינגפור, ישראל וטקסס בארה"ב.

רחפן תצפית זעיר המשוגר מקפסולה



שיגור ידני של ה-NINOX 40 הזעיר.



בטווח של עד 7 ק"מ, לטוס בגובה של עד 10,000 רגל (3 ק"מ) ולשהות באוויר עד 45 דקות.



NINOX VRS ארוז בתוך קפסולת השיגור.

לשיגור ממגוון רחב של פלטפורמות ניידות ונייחות. הרחפן במשקל 2 ק"ג יכול לשאת מטע"ד במשקל של עד 1 ק"ג. ביכולתו לפעול

חברת ההזנק Spear מתל-אביב, שהוקמה ב-2017 על-ידי אל"ם (מיל') גדי קופרמן ומנוהלת על ידו, הציגה בתערוכת UVID את מוצריה המקוריים: רחפני תצפית זעירים הארוזים בתוך קפסולה. הרחפנים ניתנים לשיגור באמצעות מטול רימונים או משגר עצמאי: הלוחם יכול להכניס את הקפסולה לתוך המטול, בדומה לטעינת רימון, ולבצע ירי לאוויר. מיד לאחר הירי, הקפסולה נפתחת והרחפן נפתח באוויר וממריא. הטסת הכלי הזעיר מתבצעת בעזרת יחידת שליטה (מעין טאבלט) המוחזקת ביד. פריסה ושיגור מהירים מאפשרים יכולת לקבל תמונת מצב מיידית. החברה מציעה שלושה סוגי מערכות:

NINOX 40 – מיקרו כטב"ם סקטי. מערכת אישית נישאת, לשימוש חייל, שוטר, כבאי ועוד. הרחפן שוקל כ-250 גרם, טווח טיסתו עד 5 ק"מ, וביכולתו לשהות באוויר עד 40 דקות.

NINOX VRS – ניתן לשיגור ממגוון רחב של פלטפורמות ניידות ומתשתיות כגון גדרות, מתקנים ומבנים. הרחפן שוקל עד 2.25 ק"ג, כשהוא יכול לשאת מטע"ד במשקל 200 גרם עד 1 ק"ג. ביכולתו לפעול בטווח של 3 עד 7 ק"מ, ולשהות באוויר 30 עד 40 דקות.

NINOX 103 – מערכת מתקדמת הניתנת



הכטב"מים של בלובירד במסגרת התע"א

הכטב"מים הטקטיים הקטנים של בלובירד WanderB-VTOL (למעלה) ו-ThunderB-VTOL (למטה), בעלי יכולת המראה ונחיתה אנכית, הוצגו בתערוכה בביתן של התע"א, לאחר שבלובירד הפכה להיות חברה-בת של התע"א.

בספטמבר 2020 רכשה התע"א 50% מאחזקות חברת בלובירד, בשל הרצון להגדיל משמעותית את פעילותה ומחזור מכירתיה בנתח שוק הכטב"מים הקטנים.

WanderB-VTOL, במשקל מראה של 14 ק"ג, יכול לשהות באוויר שעתיים וחצי ולפעול בטווח של 50 ק"מ.

ThunderB-VTOL, שמשקלו 35 ק"ג, מסוגל לשהות באוויר עד 12 שעות ברציפות ולפעול בטווח של 150 ק"מ.

שוגר לחלל ננולוויין שני של אוניברסיטת תל-אביב

מתוכנן לסוף מארס 2022. פרופ' עזיון ופרופ' עמרני הסבירו: "שילוב משימת הכספת במסגרת משימת **רקיע** יספק הזדמנות נדירה לבחון את אבני הבניין של טכנולוגיה זו בחלל. במקביל למחקר האקדמי, הפעילות ונושא המחקר ממונפים לטובת קידום תוכנית חינוכית-מדעית בתחום החלל והקרנה". יואב שמחוני הוסיף: "כיום, ציוד אלקטרוני הנשלח לחלל חייב בהתאמות ייעודיות למניעת נזק אפשרי מהקרנה בחלל. ההגנה שתספק הכספת תאפשר שימוש ברכיבים מסחריים בחלל, ובכך תפתח הדלת לשימוש ברכיבים אלקטרוניים מתקדמים תוך קיצור ניכר הן של זמני הפיתוח והן של עלויות המוצרים החלליים".

בפרויקט שותפים גם ד"ר אלכס סגל ממכללת **אפקה**, **התע"א**, וחברת **Nanoracks** המתמחה בשיגור ניסויים מדעיים לתחנת החלל הבינלאומית.

על הננולוויין הראשון של אוניברסיטת תל-אביב דיווחנו ב"ביעף" e154 עמ' 14.



הננולוויין TAU-SAT3.

הנגרמות על-ידי קרינה קוסמית. החוקרים העומדים מאחורי הניסוי טוענים, כי מדובר במגנטון בעל פוטנציאל מהפכני בתחום הלוויינות ובעל השפעה כלכלית משמעותית. הכספת היא אחת משורת ניסויים שיבוצעו בחלל במסגרת משימת **רקיע** של איתן סטיבה – ראה "ביעף" e153 עמ' 16 ו-e154 עמ' 15-16. שיגורו של סטיבה לתחנת החלל הבינלאומית

ננולוויין שני של אוניברסיטת תל-אביב, **TAU-SAT3**, שוגר בהצלחה ב-21 בדצמבר 2021 ממרכז החלל קנדי בפלורידה לתחנת החלל הבינלאומית. הננולוויין נישא בתוך חללית המטען הבלתי-מאושת **דרגון**, במשימה CRS-24 של נאס"א, אשר הוזקה לחלל באמצעות משגר **פאלקון 9** של חברת **SpaceX**. הדרגון העבירה לתחנת החלל ציוד ניסויים מדעיים ואספקה לצוות התחנה במשקל כולל של 2,950 ק"ג.

TAU-SAT3 מיועד לבצע את ניסוי הכספת – מחקר חדש בהובלת הדוקטורנט יואב שמחוני מבית הספר להנדסת חשמל באוניברסיטת תל-אביב, יחד עם ראש בית הספר לפיזיקה ולאסטרונומיה פרופ' ארז עזיון, ופרופ' עופר עמרני מהפקולטה להנדסה ע"ש איבי ואלדר פליישמן, שהוא ראש המעבדה ללוויינות זעירה.

ניסוי הכספת הינו מנגנון הגנה אקטיבי שיאפשר שימוש באלקטרוניקה מסחרית בסביבת החלל ויספק הגנה מפני תופעות הנזק

שמונה ננולוויינים שנבנו על-ידי תלמידים במסגרת תוכנית תבל שוגרו בהצלחה לחלל

שלפחות חלק מהזמן הפאה עם מחזירי האור. אך תפנה לעבר תחנת הקרקע. הניסוי של מעקב אחר הלוויינים באמצעות לייזר מהקרקע מתוכנן בשיתוף חברת הלייזרים הישראלית **סיון טכנולוגיות מתקדמות**, הפועלת בירושלים. בהמשך ייתכן ניסוי נוסף בתחנה אופטית, המוקמת בימים אלה באוניברסיטת תל-אביב. הוכחת ההיתכנות של מעקב אופטי מהקרקע אחרי לוויינים כה זעירים תהיה הישג מרשים לתעשיית החלל הישראלית.

מנכ"ל סוכנות החלל הישראלית, תא"ל (מיל') אורי אורון, אמר: "**תבל** היא תוכנית חינוכית מדעית פורצת דרך ברמה העולמית. לראשונה, תלמידי תיכון משמונה רשויות שונות בנו במקביל ושיגרו 8 לוויינים. זהו פרויקט מעורר השראה, המהווה עדות ליכולתם הטכנולוגית של תלמידי ישראל, וליכולת של החלל לחבר בין כל המגזרים – יהודי, ערבי, דתי וחילוני, מכל רחבי הארץ. בוגרי התוכנית, בני המשפחות שלהם וכלל הגופים הפדגוגיים המלווים אותם השיגו הישג מרשים ביותר. נוכחנו כולנו כי יש בחלל את הפוטנציאל לחבר, לזווג, להשיג ולהצלח. זוהי אבן דרך ראשונה בתוכנית, אך לאור הצלחתה אני יודע כי בעקבותיה תהיינה תוכניות נוספות".

תוכנית **תבל** מהווה המשך לפרויקט **דוכיפת**, שבהם נבנו ושוגרו בהצלחה לחלל שלושה לווייני תלמידים זעירים ביוזמת מרכז המדעים הרצליה ובתמיכת סוכנות החלל הישראלית. את **דוכיפת 1**, ששוגר ביוני 2014, תיארו ב"ביעף" e129 עמ' 5. על **דוכיפת 2**, ששוגר באפריל 2017, כתבנו ב"ביעף" e139 עמ' 10. דיווח על **דוכיפת 3**, ששוגר בדצמבר 2019, פרסמנו ב"ביעף" e150 עמ' 10.



לתקשורת איתו ולתפעול תחנת הקרקע. לאחר שבניית הלוויין בכל רשות הושלמה, הם הועברו לבדיקות סופיות במרכז המדעים הרצליה. הצוות בהרצליה, עם תלמידים בעלי הניסיון מפרויקט **דוכיפת**, עשה את הבדיקות הסופיות של הלוויינים לפני שילוחם לחברה האחראית על השיגור.

לווייני **תבל** שוגרו למסלול פולרי, שעובר מעל הקטבים. הקפה סביב כדור-הארץ נמשכת כשעה וחצי, והם עוברים מעל ישראל ארבע פעמים ביממה. במעברים האלה ינסו לקלוט אותם מתחנות הקרקע, שפועלות בשלב זה בהרצליה, בשער הנגב ובירוחם. ברשויות נוספות עובדים על הקמת תחנות קרקע משלהן.

לוויינים הזעירים אין מערכת הנעה וגם אין יכולת לשלוט על הסיבוב העצמי שלהם. למרות זאת, שולבה בהם גם משימה מדעית: על אחת מהפאות של הלוויין יש ארבעה מחזירי אור פינתיים – התקנים קטנים (2.5 ס"מ) שמחזירים קרן לייזר לכיוון שממנו שוגרה. קרני לייזר שיוקרו אל הלוויינים מתחנות קרקע יאפשרו לקבוע במדויק, על פי מדידת ההחזר שלהן, את מקומו של הלוויין, את מהירותו ואת המהירות והכיוון של הסיבוב העצמי שלו, בהנחה

שמונה ננולוויינים, שתוכנו, פותחו ונבנו על-ידי תלמידים ותלמידות מרחבי הארץ, שוגרו לחלל ב-13 בינואר 2022 באמצעות טיל **פאלקון 9** של חברת **SpaceX** מקיפ קאנוורל בפלורידה. הלוויינים נכנסו למסלולם המתוכנן בחלל ופועלים כשורה.

הלוויינים שנבנו בתוכנית **תבל** (ראשי תיבות של: תלמידים בונים לוויינים) שוגרו במסגרת משימה **Transporter 3** של **הפאלקון 9**, שבה המשגר נשא 105 לוויינים זעירים וקטנים של לקוחות מ-20 מדינות.

את תוכנית **תבל** יזמה ומובילה סוכנות החלל הישראלית במשרד החשנות, המדע והטכ-נולוגיה, בשיתוף המרכז למדעים הרצליה. בפרויקט משתתפים שמונה צוותים של תלמידים ותלמידות מבתי ספר תיכוניים ברשויות: שער הנגב, אופקים, ירוחם, טייבה, נצרת, מעלה אדומים, גבעת שמואל וקריית אתא. בכל אחת מהרשויות, התלמידים הקימו תשתית מתאימה עם חדר נקי לבניית הלוויין, לפעילויות שילוב ובדיקה; וכן תחנות תקשורת שיאפשרו מעקב אחר הלוויינים, קבלת טלמטריה ונתונים מדעיים.

לווייני **תבל** הם קוביות בגודל 10x10x10 ס"מ ובמשקל של כ-850 גרם. כל אחד מהם מצויד במחשב זעיר, מערכת חשמל עם סוללות ולוחות סולריים קטנים על דפנותיו, ומערכת קשר קטנה עם אנטנות קפיציות שנפתחו אחרי הכניסה למסלול. המערכת הזאת כוללת גם משיב אנלוגי, הקולט את בתדר מסוים ומחזיר אותו בתדר אחר, לצורך תקשורת עם חובבי רדיו.

את חומרת לווייני הקובייה הסטנדרטיים רוכשים מן המדף מספקים בחו"ל. על התלמידים מוטל להרכיב את כל חלקי הלוויין, ובמיוחד לכתוב את כל התוכנה להפעלתו,

אוניברסיטת אריאל שיגרה לחלל שני ננולוויינים

2020, הושבת בגלל תקלה – ראה "ביעף" e153 עמ' 18.

שני הלוויינים מכילים מספר ניסויים מדעיים, כגון מערכת עוקב כוכבים, מערכת עקיבה אחר מטוסים, הכנה למערכת ייצוב עבור תקשורת לייזר, צילום וניתוח תמונה ועוד – שחלקם יועדו לביצוע בלוויין הראשון שנכשל.

הפעם הצליחו ליצור קשר עם לוויין אחד מבין השניים, והתברר שמצבו הארנטי תקין. הצוות מעריך שהלוויין השני תקין, אבל כנראה שהאנטנה שלו לא נפתחה. ייעשה ניסיון לתקן זאת על-ידי פקודות מהקרקע.

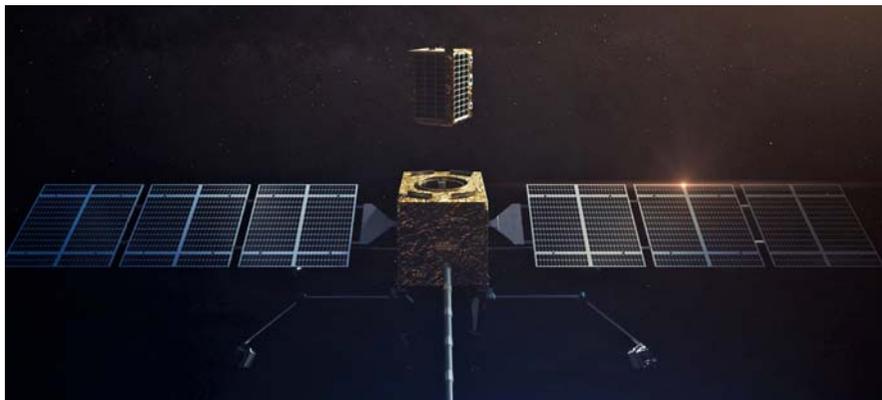


הפאלקון 9 של SpaceX הזניק לחלל ב-13 בינואר 2022 לא רק את שמונת לווייני תבל, אלא גם שני ננולוויינים שנבנו באוניברסיטת אריאל בשומרון.

הלוויינים SATLLA-2A ו-SATLLA-2B, כל אחד מהם בגודל 5x5x11.4 ס"מ ובמשקל 300 גרם, נבנו במעבדת המחקר בראשות פרופ' בועז בן משה, בהשתתפות סטודנטים וסטודנטיות ממספר מחלקות באוניברסיטה.

זהו הניסיון השני של אוניברסיטת אריאל לבצע ניסויים בחלל, לאחר שהננולוויין הראשון שלהם, SATLLA-1, שוגר באוקטובר

תחנות דלק מעופפות יתדלקו בחלל את הלוויינים של אסטרוסקייל במשימות הארכת חיים ומתן שירות במסלול ללוויינים מסחריים



לוויין LEXI של אסטרוסקייל מתקרב ל"תחנת דלק" של אורביט פאב.

אסטרוסקייל ארה"ב חתמה בינואר על הסכם מסחרי ראשון מסוגו עם החברה האמריקנית Orbit Fab, במסגרתו צי לווייני LEXI של אסטרוסקייל יוכל ליהנות משירותי תדלוק מתחנות דלק חלליות של Orbit Fab. תחנת התדלוק תספק ללווייני LEXI כ-1,000 ק"ג קסניון, ובכך יגדל משמעותית היקף הפעילות של לווייני השירות וטווח ההגעה שלהם.

LEXI (Life EXtension In-orbit) הוא הלוויין הראשון בעולם שתוכן מראש עם יכולות לתדלוק בחלל. בימים אלה עובדת אסטרוסקייל על פיתוח ממשק תדלוק חדש, ובמקביל על פיתוח יכולת ההתחברות בחלל. הלוויין LEXI, שמתוכנן להגיע למסלול גיאוסטיוני בחלל בשנת 2026, יספק שירותי הארכת חיים ללוויינים של מפעילים מסחריים, לממשלת ארה"ב ולמדינות נוספות מרחבי העולם. בין השירותים שהוא יעניק: שמירה במסלול ובקרה, תיקוני ניווט, מיקום מחדש, ופינוי לוויינים תקולים לאתרי מזבלות חלליות. ככלל, לוויינים זקוקים לדלק כדי לתקן את הסטייה מהמסלול שבו הם חגים סביב כדור-הארץ. מכיוון שכמות הדלק שלוויין יכול לשאת מוגבלת, לכן רוב הלוויינים יוצאים מכלל שימוש אחרי 15 שנה בממוצע, ואז נאלצים לשגר לוויינים חדשים כדי להחליף אותם. אפשרות לתקן את מסלול הלוויינים התקינים באמצעות לוויין שירות כמו LEXI עשויה לחסוך הרבה מאוד כסף. אלא שגם לווייני

לאסטרוסקייל ישראל – כפי שדיווחנו ב"ביעף" e154 עמ' 16. כיום, אסטרוסקייל ישראל ממשיכה לפתח לוויין שירות, שנועד לשרת לווייני תקשורת במסלול גיאוסטיוני.

לדברי אריה הלזבנד, מנכ"ל אסטרוסקייל ישראל: "הטכנולוגיה החדשנית של שירות ללוויינים במסלול תאפשר מהפכה באופן השמרני בו מנוהלים עד עתה ציי לוויינים בחלל. ההסכם מאפשר לנתק את הקשר שבין גודל הלוויין בזמן השיגור לכמות הדלק שיוכל להשתמש בו במשך חייו, כך שלוויין קטן יותר יוכל לספק הרבה יותר שירותי הארכת חיים במסלול וללוויינים כבדים יותר".

שירות שנועדו לגרום לוויינים ישנים צריכים תוספת דלק כדי להמשיך לפעול, ומכאן הצורך בתחנת התדלוק החללית. Orbit Fab מתכננת לפרוס עשרות מכלי דלק ומעבורות חלל מתדלקות תוך חמש עד עשר השנים הקרובות, הן במסלול לווייני נמוך והן במסלול גיאוסטיוני. שתי מעבורות/תחנות הדלק המעופפות הראשונות למסלול נמוך ייצאו לדרך בשנת 2023.

אסטרוסקייל החזקות, שמרכזה ביפן, רכשה ביוני 2020 את חברת ההזנק הישראלית פתרונות חלל אפקטיביים, והפכה אותה

הסכם שיתוף פעולה בתחום החלל בין ישראל לאיחוד האמירויות

אימפקט חינוכי משמעותי לילדי שתי המדינות. (על בראשית 2 ראה "ביעף" e153 עמ' 17).

● שיתוף פעולה שמצדד את האמירויות למחקר באמצעות הלוויין הישראלי-צרפתי ונוס. סוכנות החלל הישראלית יחד עם סוכנות החלל של האמירויות יפרסמו קול קורא למחקר משותף של חוקרים משתי המדינות. המחקר המשותף, שיתבסס על הנתונים של לוויין ונוס, יבדוק תופעות הקשורות למשאבי כדור-הארץ,

חלל, תוכניות חינוכיות ועוד. בנוסף להסכם מסגרת בין המדינות לשיתוף פעולה בין שתי סוכנויות החלל, נחתמו גם מסמכי הבנות ביחס לפרויקטים פרטניים שכבר מקודמים:

● שיתוף פעולה בינלאומי ראשון בפרויקט בראשית 2 – החללית בראשית 2 תהפוך לפרויקט משותף בין ישראל לאמירויות הביטני הטכנולוגיה, המדע והייצור. לפרויקט יהיה

שרת החדשנות, המדע והטכנולוגיה, אורית פרקש-הכהן, ושרת הטכנולוגיות המתקדמות של איחוד האמירויות, שרה אל אמירי, חתמו ב-20 באוקטובר בדובאי על הסכם שיתוף פעולה היסטורי ראשון בתחום החלל בין מדינת ישראל והאמירויות הערביות המאוחדות. ההסכם יוביל לפרויקטים משותפים בתחום החלל, בהם פיתוח טכנולוגיות חלל, לוויינים, מערכות לחקר חלל, תעשיית החלל, לימודי

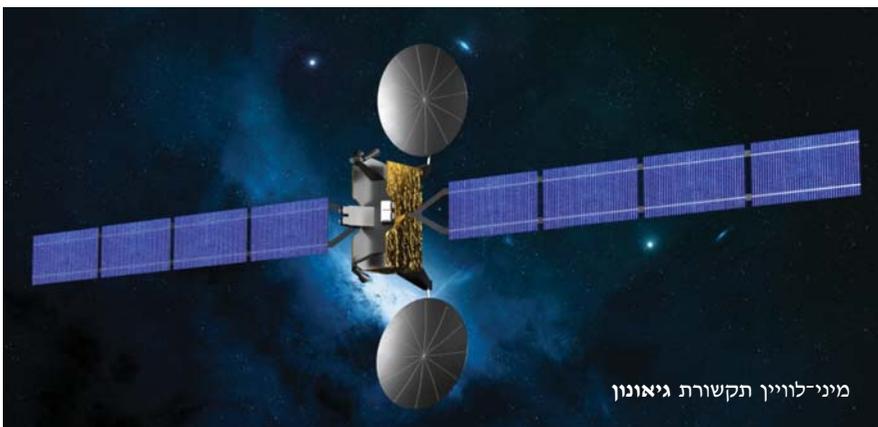


חקלאות מדייקת, מדבור, ניטור גופי מים ועוד. מדובר בנושאים הנמצאים בליבת המחקר הבינלאומי העוסק בהתמודדות עם משבר האקלים העולמי.

(הלוויין **נוס** שוגר לחלל באוגוסט 2017 – ראה "ביעף" e141 עמ' 8).

● גיבוש פרויקט **לונה-סאט**, הנוגע בקביעת עיתוי מדויק למולד הירח. הפרויקט החל כיוזמה חינוכית של מרכז החלל בנצרת ללימוד הנדסת לוויינים ואסטרונומיה עבור תלמידים ערבים ויהודים, והינו בעל פוטנציאל להשפיע על סוגיות שונות הקשורות למולד הירח. הפרויקט צפוי לחבר תלמידים ערבים ויהודים בין שתי המדינות, אשר יבנו וישגרו יחד לוויין. תא"ל (מיל') אורי אורון, אמר: "עם כניסתו לתפקיד מנהל סוכנות החלל הישראלית במשרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה, אני גאה להיות שותף לסדרת שיתופי פעולה חדשניים ובעלי ערך מדעי, טכנולוגי וחינוכי רב עם סוכנות החלל של האמירויות. ככוונתי לרתום את כל ניסיוני ההעצמת תחום החלל בכלל וסוכנות החלל בישראל בפרט כמנוף כלכלי למדינה ולחברה הישראלית כולה על כל רבדיה".

התע"א מפתחת מיני-לוויין תקשורת שייקרא גיאונון



מיני-לוויין תקשורת גיאונון

התעשייה האווירית לישראל חשפה בסוף אוקטובר בקונגרס החלל הבינלאומי שנערך בדובאי רעיון למיני-לוויין תקשורת, שייקרא **גיאונון**. הוא מבוסס על יכולות וטכנולוגיות שפותחו עבור **דרור 1** – לוויין התקשורת הלאומי של מדינת ישראל – שכוללות מטע"ד תקשורת דיגיטלי מתקדם, ויכולות "סמארטפון בחלל" המאפשרות גמישות תקשורתית לאורך כל שנות פעילותו בחלל. תוכנת השליטה בלוויין וארכיטקטורת הפיתוח מאפשרות טעינת אפליקציות מהקרקע לחלל, ובכך מתאפשרת התאמה ושינוי משימה ללוויין בהתאם לצורכי התקשורת המשתנים.

גיאונון יתאפיין במשקל של כ-650 ק"ג בעת השיגור, כולל מטע"ד תקשורת דיגיטלי מלא בן כ-200 ק"ג. בשל משקלו הנמוך יחסית ניתן יהיה לשגר אותו בשילוב לוויינים אחרים, ובכך מוזלת משמעותית עלות השיגור. המיני-לוויין, שמשך חייו צפוי להיות כ-14 שנים, נועד לספק שירותי תקשורת מתקדמים ממוקדים אזורית ללקוחות או למדינות עם צורכי תקשורת מגוונים.

מנהל מפעל חלל בתע"א, שלומי סודרי, הבהיר: "פיתוח הלוויין החדשני מביא לידי ביטוי את יכולות החלל הנרחבות של התע"א. מדובר בטכנולוגיית חלל עילית, בפתרון שפותאם תקציבית למדינות ולמפעלי תקשורת שלא זקוקים ללוויין תקשורת בגודל המקובל כיום. מערכת זו מאפשרת לתע"א להציע יכולת לוויינית מלאה במחיר תחרותי, הפותחת דרך לשווקים חדשים בתחום הלוויינות. אנו מצויים במגע עם מספר לקוחות ברחבי העולם לגבי הקונספט החדשני".

התקדמות דרור 1

יחד עם החשיפה של **הגיאונון**, התע"א דיווחה כי היא מקדמת את פיתוח לוויין

התקשורת הלאומי **דרור 1** ובנייתו בהתאם ללוחות הזמנים שנקבעו מול ממשלת ישראל, לטובת יכולות התקשורת הלוויינית החיוניות שנדרשות למדינה.

בהודעת החברה נאמר:

"בשנים האחרונות השקיעה התע"א תקציבי מחקר ופיתוח עצמיים ומאמצים רבים לשימור יכולות לוויינות התקשורת בישראל ובפיתוח לוויין התקשורת העתידי **דרור 1**, מיני-לוויין התקשורת **גיאונון** וכן מוצרים משלימים שישמרו את היכולות האסטרוטגיות הללו. לוויינות התקשורת והתצפית בתע"א מהוות את חזית הטכנולוגיה בתחום החלל ומשקפות את הידע, הניסיון והיכולות שנצברו לאורך עשרות שנים בחברה".

דרור 1 הוזמן על-ידי ממשלת ישראל מהתע"א בינואר 2020, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e150 עמ' 10.

תחנת קרקע ללוויינים בענן

התע"א חשפה פיתוח ייחודי חדש מבית מפעל חלל, שיאפשר להגדיל את זמינות המידע המתקבל מלוויינים – תחנת קרקע ללוויינים הנמצאת בענן ומאפשרת תקשורת רציפה של הלוויין ויכולת ל"שוחח" עם כדור-הארץ בכל רגע נתון. המערכת מכונה **Blue Sphere**. בניית תחנת קרקע וירטואלית בענן מאפשרת להפיק תוצרים בזמינות גבוהה יותר מהלוויין, ובכך פותחת התלות בזמן חליפת הלוויין מעל תחנת הקרקע. הלוויין יכול לשדר את המידע הנאסף באמצעותו אל ענן ובכך לאפשר לתחנת הקרקע "להעביר" או "למשוך" את המידע מידידת ללא תלות בתחנות קליטה הממוקמות באזורים שונים על גבי כדור-הארץ.

רעיון זה גובש ופותח בהליך מהיר במרכז החדשנות של התע"א בשיתוף עם האקסלרטור (מאפיץ) הבינלאומי **Starburst**, המתמחה בתחומי התעופה והחלל.



24 כלי־טיס נוספו ברישום הישראלי בשנת 2021

● חמישה מטוסים קלים

4X-DAJ: מועדון הצניחה החופשית
הצנחניה רכש מניו־זילנד מטוס שני מדגם
פאסיפיק איירוספייס P-750 XSTOL III,
 שנרשם באפריל. פרטים על המטוס הראשון
 מסוג זה (4X-DAN) ראה ב"ביעף" e150 עמ' 12.

יוצר בשנת 2014 והופעל עד אוקטובר 2020
 בחברת התעופה הדרום אפריקנית SAA.

● מטוס מנהלים סילוני אחד

4X-CRZ: ססנה 560 סייטישן V משנת
 יצור 1993, שהגיע לארץ מארה"ב ב-20 באפריל.

בשנה החולפת נוספו לרישום הישראלי 24
 כלי־טיס מסחריים, פרטיים וספורטיביים
 מסוגים שונים – אחד יותר מאשר בשנת 2020
 (ראה "ביעף" e153 עמ' 10-12). המאפיין
 הבולט ביותר הוא עצירה כמעט מוחלטת של
 הצטיידות חברות התעופה הגדולות במטוסי
 נוסעים סילוניים חדשים או נוספים (פרט
 לאחד), לאור הצמצום הדרסטי בתנועת
 הנוסעים בגלל מגפת וירוס הקורונה. לעומת
 זאת, ניכר גידול ברכישת מטוסי ספורט קלים,
 לעומת השנה הקודמת.

אנו מגישים להלן פירוט לפי סוגי כלי־הטיס,
 כפי שעשינו בשנים הקודמות, בהסתמך על
 הנתונים שקיבלנו מרשות התעופה האזרחית.

● מטוס נוסעים סילוני אחד

4X-ABT: ישראיר קלטה ב-30 ביולי מטוס
איירבאס A320 חמישי, שנחכר מחברת
פמברוק האירית לתקופה של שלוש שנים, עם
 אופציית הארכה לשנתיים נוספות. מטוס זה

ה-P-750 XSTOL III השני של הצנחניה במנחת בריהודה ליד המצדה (צילום: יונתן אלחנתי).





למעלה: הססנה 172P של סקאי בהרצליה. למטה: הססנה 172N של איה בהרצליה (צילום: מיכה סנדר).



למעלה: MD 500D של AeroPower (צילום: מיכה סנדר). למטה: R44 קדט של איורדרמס (צילום: שי גנדל).



4X-CDE: ססנה 172P סקיהוק II משנת יצור 1980, שנרכש על-ידי חברת סקאי תעופה והגיע להרצליה ב-3 במארס.

4X-CXF: פיפר PA-28-181 ארצ'ר II משנת יצור 1977, שהגיע להרצליה בפברואר ונרשם ביוני.

4X-DBM: ססנה 172N סקיהוק II משנת יצור 1979, שנרשם בדצמבר.

4X-DBV: ססנה 172N סקיהוק II משנת יצור 1979, שנרכש על-ידי חברת איה תעופה ונקרא "עין שמר". נרשם ביולי.

● מטוס אויורובטי קל אחד

4X-CXT: אקסטרה EA 300/LT, שנרכש מארה"ב ונרשם באוגוסט.

● ארבעה מסוקים

4X-BEJ: מסוק מסוג MD 500D (שסימונו המקורי יז 369D) של חברת AeroPower האוסטרלית, שהובא לארץ לצורך ביצוע עבודות עבור חברת החשמל לישראל, ונרשם במאי. מופעל יחד עם 4X-BEI, שהגיע ביוני 2019 (ראה "ביעף" e150 עמ' 14).

4X-BEQ: רובינסון R44 ריוון II חדש, שנרשם בנובמבר.

4X-BHL: רובינסון R44 ריוון II חדש, שנרשם באוגוסט.

4X-BHV: רובינסון R44 קדט. דגם דו-מושבי להדרכת טייסים, שנרכש על-ידי חברת איורדרמס מהרצליה ונרשם באוקטובר.

איורדרמס (AeroDreams) היא חברת מסוקים חדשה, שהתאגדה באפריל 2019 והחלה לפעול בהרצליה בשנת 2020. החברה מפעילה בית ספר לטיסה במסוקים ומציעה גם טיסות פרטיות במסוקים. כמרכז, היא סוכנת המכירות בישראל של יצרנית המסוקים רובינסון. הצי של איורדרמס כולל את מסוק הרובינסון R44 ריוון II שרישומו 4X-BHW (אשר הופעל בישראל באופן פרטי מאז 2007 ברישום 4X-BCT), וכלל את מסוק הרובינסון R22 ברישום 4X-BHY שהתרכס ב-7 ביוני 2021 (ראה בהמשך בדיווח על תאונת הטיסה).

● תשעה מטוסים זעירים

4X-HPA: בריסטל NG5 מתוצרת החברה הצ'כית BRM Aero, שנרשם בנובמבר.

4X-HPG: איירופראקט A22LS, שנרשם באפריל.

4X-HPR: סאוואנה S מתוצרת החברה האיטלקית L.C.P., שנרשם ביוני.

4X-HSI: איירופראקט A32, שנרשם ביולי.



רובינסון R44 רייון II חדש 4X-BHL (צילום: שי גנדל).

4X-HSL: בריסטל NG5 מתוצרת החברה הצ'כית BRM Aero, שנרשם בינואר.

4X-HSY: טקסן טופ קלאס 2 מתוצרת פליי סינתזיס האיטלקית, שנרשם ביוני.

4X-ORG: ננדו גרופו G70 מתוצרת איטליה, שנרשם ביולי.

4X-OSN: ג'ירופלן (אוטוג'ירו) דור-מושבי מדגם Brakogyro GT מתוצרת החברה האיטלקית Carpenterie Pagotto, שנרשם בינואר.

4X-OTL: קאברקאפטריס CC11-160 קארבון קאב FX2, שנרשם באוקטובר.

• דאון אחד

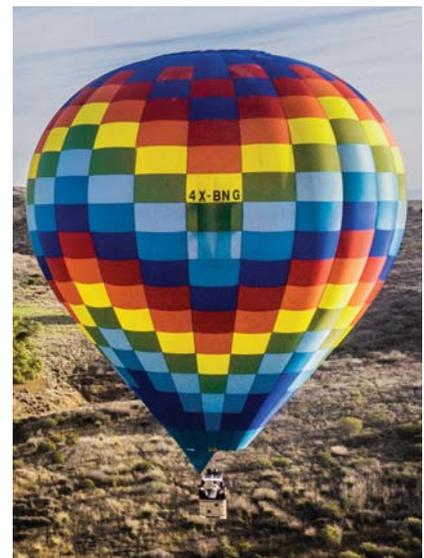
4X-GYP: שליכר ASW-28 שנרכש מבריטניה ונרשם בספטמבר.

• שני כדורים פורחים

4X-BNA: קוביצ'ק BB100Z מתוצרת צ'כיה, הנושא 16-18 נוסעים, שנרשם ביולי. נרכש על-ידי סקיי טרק בעקבות רכש כדור פורח דומה בשנה הקודמת (4X-BNO).

4X-BNG: אולטראמג'יק M-145, שנרשם באוגוסט. מופעל על-ידי Over Israel בשמורת הטבע בתרונות ליד קיבוץ רוחמה בנגב המערבי.

הכדור הפורח אולטראמג'יק M-145 בשמורת הטבע בתרונות ליד רוחמה (צילום: גיא שמואלי).



הסאוואנה S במגידו (צילום: מיכה סנדר).



למעלה: בריסטל במנחת בריהודה (צילום: יונתן אלחנתי). למטה: טקסן טופ קלאס 2 במגידו (צילום: זיגי).



שבעה כלי-טיס נגרעו מהרישום הישראלי בשנת 2021

ססנה 421C גולדן איגל שהופעל בישראל מאז מאי 2008 נמכר לארה"ב ורישומו בוטל ב-8 במארס.

4X-CMJ/L: שני מטוסי המנהלים הסילוניים מדגם **ססנה 525B סייטישן CJ3**, שהותאמו למשימות סיור ימי על-ידי חברת **בירד מערכות אוויריות**, סופקו לניגריה – כפי שדיווחנו ב"ביעף" e155 עמ' 12. רישומו של CML בוטל ב-23 במאי, ושל CMJ ב-1 ביולי.

BK 117 A-4. ראה "ביעף" e103 עמ' 5-6 ו-e119 עמ' 10.

4X-BIS: מסוק **הבל 429** שהופעל בארץ מאז ינואר 2014 נמכר לארה"ב ורישומו בוטל ב-17 ביוני.

4X-CWY: מטוס **הססנה T206H סטיישן-אייר TC** שהופעל בארץ ממארס 2009 נמכר לארה"ב ורישומו בוטל ב-4 באוקטובר.

4X-CZZ: המטוס הדור-מונעי הקל מדגם

מסוק אחד, שני מטוסים קלים ושני מטוסי מנהלים סילוניים נמכרו לחו"ל בשנת 2021, ושני מסוקים פורקו לחלקים, ורישומם הישראלי בוטל.

4X-BJJ/Z: שני מסוקי ה-**BO 105 CBS-4** האחרונים שנותרו ברשות **להק תעופה** פורקו לחלקים ורישומם הישראלי בוטל ב-24 במארס. הם שימשו בעבר כאמבולנסים מעופפים – BJZ החל מאוקטובר 2007 ו-BJJ מאוגוסט 2008 – עד שהוחלפו בהדרגה החל מ-2013 במסוקי האמבולנס הגדולים יותר מדגם

ארבעה הרוגים בשתי תאונות קטלניות בשנת 2021;

שבעה מטוסים ומסוקים נוספים ניזוקו קשה או נמחו בתאונות



למעלה: יעקב דוד ז"ל ליד מסוק ה-R44 שלו. למטה: הססנה R182 של חיים גרון ז"ל שהתרסק בים.



בשנת 2021 אירעו שתי תאונות קטלניות, בהן נהרגו ארבעה בני-אדם בהתרסקות מסוק **רובינסון R44 רייון II** ומטוס קל מדגם **ססנה R182 סקייליין**.

במועד הופעת גיליון זה של "ביעף" ידוע לנו על שבעה כלי-טיס שניזוקו באופן חמור בתאונות, כאשר רובם נמחו כליל.

4X-BHK: מסוק **רובינסון R44 רייון II** התרסק ב-13 בפברואר 2021 בשדה חקלאי סמוך לכפר יחזקאל, עלה באש ונמחה. טייס המסוק יעקב דוד, יחד עם עמוס גבעול שטס איתו, נספו בתאונה.

מדובר במסוק חדש, שיוצר בארה"ב בפברואר 2020 ונרשם בישראל באוקטובר אותה שנה. המסוק היה שייך לחברה בעלתו של איש העסקים יעקב דוד, והוחכר לחברת **עדן תעופה** לביצוע טיסות מסחריות. סא"ל (מיל') עמוס גבעול היה בעברו טייס מסוקי סער וקרב בחיל האוויר, ולאחר שחרורו עבד כטייס מסוקים בעדן תעופה. ביום התאונה יצאו שני הטייסים מהמנחת של **עדן תעופה** באשון לציון לטיסה פרטית לצפון המדינה.

דו"ח חקירת התאונה קובע כי המסוק התרסק "עקב טיסה נמוכה ופגיעה בכבל משיכה דק [של קו חשמל בהקמה], שקשה מאוד היה לראותו. בעקבות הפגיעה בכבל נתלש מכלול הזנב, וכתוצאה מכך המסוק החל להסתחרר והפיל אף, דבר שהוביל לאובדן שליטה ולהתרסקות". מעבר המסוק בין עמודי החשמל, ולא מעל העמודים, תרם לתוצאה הטראגית, קובע החוקר הראשי.

4X-CHZ: מטוס **ססנה R182 סקייליין RG** (בעל כנ"סע מתקפל), שיצא בטיסה מחיפה, התרסק ב-13 בספטמבר בים ליד האי היווני סאמוס. הטייס חיים גרון ואשתו אסתי נהרגו בתאונה. גרון, שהיה בעבר סמנכ"ל הנדסה ורישוי במשרד התקשורת, הוציא רישיון טיס פרטי לפני כעשר שנים ורכש את המטוס הקל יחד עם שותף. סיבת התאונה היא כנראה תקלה במנוע, אך עדיין לא פורסם דו"ח חקירה רשמי.



ה-MD 500E של כיס-ניר במשימת ניקוי קווי חשמל (צילום: אודי בריל). המסוק התרסק ב-31 באוגוסט 2021.



הטורבינרתאש המרוסק של תלם אחרי התאונה ב-3 במרס 2021.

הנסיבות שנבעו משלב הטיסה שבו היה הוא קיבל החלטה לביצוע נחיתה מיידי, וזאת כאשר לא היה זמן בידו לבצע ניתוח של כלל הנתונים ולאבחן כי יש למסוק כוח חלקי. למעשה, ככל הנראה, הטייס נחת נחיתה אונס, עם מסוק אשר מנועו עדיין פועל אך עם כוח מופחת".

החוקר המליץ להנחות בהוראה טכנית מיוחדת את כל בעלי מסוקי רובינסון R44 בישראל לוודא כי חיווט המגנטו מחובר לגוף המגנטו כראוי ומוצמד לצמה מתאימה.

4X-BJK: מסוק מדגם MD 500E (במקורו יז 369E) של כיס-ניר התרסק ב-31 באוגוסט בשטח פתוח במועצה האזורית מנשה, בעת שעסק בעבודות ניקוי כבלי חשמל ומבודדים. הטייס ומפעיל זרנוק הניקוי נפצעו באורח בינוני. למסוק נגרם נזק קשה. לא פורסם עדיין דו"ח חקירה.

4X-BED/N97KC: מסוק רובינסון R44 רייון II בבעלות פרטית (שעבר לרישום אמריקני במרס 2020) התרסק ב-13 במרס 2021 לאחר המראה משדה התעופה ראש פינה וניזוק באופן קשה. הטייס ושלושה נוסעים נחלצו בשלום.

לפי תיאור האירוע בדו"ח חקירת התאונה: במהלך ההמראה, בגובה משוער של 100-150 רגל מעל פני השטח ובמהירות משוערת של 40-50 קשרים, חש הטייס בנפילת סיבובי רוטור ראשי ומנוע מלווים בצפצפת אזהרת סל"ד. הטייס נכנס מיד לנחיתה חירום ונגע בקרקע נגיעה עדינה, תוך התקדמות איטית קדימה. המסוק החליק על פני הקרקע מרחק קצר, פגע בסלע והתהפך על צידו השמאלי. חוקר התאונות הראשי הגיע למסקנה, כי "הטייס אבחן, ככל הנראה בשוגג, את כשל מגנטו ימין [במנוע] כאובדן כוח מלא, ועקב

4X-AFD: מטוס ריסוס מדגם איירס S2R-T45 טורבו-תראש של תלם תעופה התרסק ב-3 במרס ונמחה, לאחר שנתקל בכבלי חשמל בעת ביצוע עבודת ריסוס בחלקת גידול תפוחי אדמה דרומית למושב גילת ומערבית לעיירה אופקים בנגב.

לפי תיאור האירוע בדו"ח חקירת התאונה: בסבב שלישי שלו באותו הבורק, במהלך סיום הפס הראשון שביצע בחלקת השדה, בעת שמשך מעלה לצורך מעבר מעל מערך כבלי חשמל המוצבים במקום, הטייס הבחין שמטוסו קרוב מידי אליהם והבין שלא יוכל להשלים מעבר מעליהם כפי שתכנן. לכן, הטייס דחף מטה את אף המטוס בניסיון לעבור מתחת לכבלים. המטוס פגע בחלקם הנמוך של מערך כבלי החשמל. מדחף המטוס פגע בכבל ראשון וקרע אותו ומיד אחר כך פגע בכבל שני, תוך שהכבל התלפף סביבו ונקרע. הטייס איבד שליטה על המטוס, פגע בגשר הממוקם מעל פסי רכבת ולבסוף התרסק אל האדמה, במרחק כ-100 מטרים מן הגשר, כשכבל החשמל כרוך על המדחף, נשרף וחוצה את המסילה. רכבת שחלפה חתכה את הכבל שהיה מונח על המסילה, ללא פגיעות ברכבת. הטייס, שנפגע קלות בשתי ידיו, חילץ עצמו מן השברים והוטס במסוק לבית החולים סורוקה בבאר-שבע להמשך טיפול ובדיקות.

חוקר התאונות הראשי קבע כי הגורם העיקרי לתאונה הוא "הכנה לא מספקת של הטייס לביצוע ריסוס החלקה, לרבות אי בדיקה מקדמית של חלקת הריסוס והמכשולים הקיימים לפני תחילת הריסוס בפועל, שלא על פי הנהלים.

"ההחלטה המאוחרת לעבור מתחת לכבלי החשמל נגרמה ונוצרה עקב הסחת דעת רגעית בה מיקוד הטייס היה על שמירת גובה מתאים מהקרקע, ביחד עם חוסר מודעות מצבית ביחס למכשולים שבקו הטיסה שלפניו – וכול זאת בשילוב של עומס עבודה המאופיין בביצוע פעולות רבות על פני ציר זמן קצר ביותר במהלך ריסוס הפס, נושא אופייני הנוגע גם לטייסים בגיל מתקדם".



למעלה: ה-R44 ברישום N97KC שהתרסק ב-13 במא.ס. למטה: נזקי ההתנגשות בהרצליה ב-24 באוקטובר.



מדפים – כול אחד מגורמים אלו, קל וחומר שילובם יחדיו, אפשר שהיווה גורם תורם להזדקרות המטוס כשכפיו אינן מאוזנות במהלך הפנייה עצמה, ובסבירות גבוהה הוביל להתרסקות.

"טכניקת ההטסה במהלך הטיפוס (טיפוס עם מדפים מטה במהירות נמוכה), הפנייה וההזדקרות עצמה, נבעו ככל הנראה משילוב של ניסיון טיסתי מועט על כלי-טיס מסוג מטוס התאונה בשנתיים שקדמו לתאונה. זאת, בשילוב עם אפשרות לתחושת ביטחון מופרזת של הטייס, עקב ניסיונו הרב בעבר על כלי-טיס מסוגים שונים, וניסיונו בכלי-טיס אחרים הטיסים במהירויות נמוכות ובמתארי תצורת הטסה דומה".

בתאונה קטלנית זו נהרג בעליו של המטוס, שי בן-יצחק, ובנו הצעיר נפצע.

החוקר הראשי:

"בסבירות גבוהה, במהלך פנייה בגובה נמוך, כלי-הטיס נכנס להזדקרות חלקית תחילה, אשר התפתחה להזדקרות מלאה, תוך ביצוע ניסיון פעולות היחלצות לא תכליתיות, העשויות להיגרם ממימונות נמוכה בכלי-הטיס.

"תצורת הטסת המטוס בטיפוס, שקדם לפנייה בה הזדקרו, לא בוצעה בדרך מיטבית, באופן בו הטיפוס התבצע עם מדפים מטה ובמהירות איטית. תצורת מטוס זו היוותה בסבירות גבוהה את נתוני הפתיחה שהביאו להתרסקות.

"במהלך הפנייה לכיוון מזרח, שילוב של מהירותו האווירית של המטוס שהואטה אף יותר כתוצאה מהפנייה עצמה, מעבר מרוח אף חלקית לרוח גב, ביצוע טיפוס שנבע מהרמת האף והגובה הנמוך בו היה המטוס וכן קיפול

4X-BHY: מסוק רובינסון R22 של חברת אירודרימס מהרצליה התרסק ב-7 ביוני ב"בועת השרון" בעת טיסת הדרכה וניזוק באופן קשה.

מסקנת חוקר התאונות הראשי היא, כי "התאונה התרחשה עקב פגיעה בלתי נשלטת של המסוק בקרקע, ככל הנראה כתוצאה מהתפתחות הסעה שמאלה וקדימה בגובה נמוך, שהתהוותה לכדי גלגול דינמי".

החוקר המשיך ותיאר: "במהלך ההסעה שמאלה וקדימה, שהתפתחה בעת ההנמכה לנחיתה, פגע קצה מגלש שמאל בקרקע, ובשל היות המסוק בהטיה מספיק חריפה ובמצב אף נמוך, פגע להב ראשי אחד בקרקע. פגיעת הלהב בקרקע, בשילוב עם ניסיון תיקון של החניך, קרי הרמת קולקטיב ומשיכת סטיק ימינה, גרמה לגלגול הדינמי של המסוק. פגיעת הלהב בקרקע גרמה לשלוש תופעות, בזמן קצר מאוד: התנתקות להב מראש הרוטור, גלגול המסוק על גבו וכיבוי המנוע".

4X-CHL/4X-DAF: מטוס ססנה 172P

ת'אנדר הוק של חברת הורייזון נאלץ להפסיק המראה משדה התעופה הרצליה ב-24 באוקטובר בגלל הגאים תקועים, ותוך כדי כך התנגש במטוס סכנאם P2010 של חברת פ. נ. תעופה (FNA) שחנה בשדה. הכנף השמאלית של ה-P2010 נשברה בהתנגשות; ל-172 נגרם נזק חמור בשפת ההתקפה של הכנף הימנית. לא פורסם עדיין דו"ח חקירה.

4X-BDX: מסוק בל 206B ג'ט רנ'ר III

של חברת תל-אביב אקזוטיב הליקופטרס התהפך על הקרקע בניסיון המראה ליד יקום ב-19 בדצמבר, כאשר אחד ממגלשי הנחיתה נתקע בבוץ. התאונה אירעה בטיסת הסולו השנייה של חניך הטיס פרופ' אמנון שעשוע, שנחבל קלות. לא ידועה מידת הנזק למסוק. טרם פורסם דו"ח חקירה.

עדכון לגבי התאונות ב-2020

דו"ח החקירה של התרסקות מטוס הלוקווד איירקאם 4X-OIR ב-2 במאי 2020 (עליה דיווחנו בקצרה ב"ביעף" e153 עמ' 13) פורסם בפברואר 2021. להלן עיקרי המסקנות של

תנועת הנוסעים בנתב"ג בשנת 2021: רבע מהתנועה ב-2019

הסדירות הגדולות היו טורקיש, יונייטד, לופטהנזה, אוקראין ודלתה.

הפעילות הפנים-ארצית בין נתב"ג לרמון הסתכמה ב-629,887 נוסעים, לעומת 350,854 בשנת 2020 – בהשוואה ל-775,386 בשנת 2019. בנוסף טסו עוד 1,882 נוסעים ליעדים פנים-ארציים אחרים. ארקיע הובילה עם 367,277 נוסעים, ישראייר עם 263,248 נוסעים, וחברות קטנות אחרות עם 1,244 נוסעים.

היקף שינוע המטענים גדל ב-17.2% לעומת 2020, והסתכם ב-375,675 טונות. מתוך זה, 273,603 טונות הוטסו במטוסי מטען ייעודיים, ו-102,072 טונות במטוסי נוסעים.

המפעילות המובילות של מטוסי מטען היו קא"ל, אל-על (במטוסים חכורים), טורקיש, European Air Transport ו-MNG Cargo.

ירידה גדולה לעומת 158,965 מטוסים בשנת 2019.

חברות התעופה הישראליות הטיסו במהלך השנה 1,990,121 נוסעים, המהווים 32.7% מכלל הנוסעים שעברו בנתב"ג. החלוקה בין החברות היא כדלקמן: 1,401,014 באל-על, 363,653 בישראייר, 219,745 בארקיע, ו-5,709 בחברות קטנות אחרות.

מרבית חברות התעופה הזרות שהפסיקו לטוס בשנת 2020 חזרו לפעול בנתב"ג בשנת 2021, אך בהיקף מצומצם למדי ובתפוסה נמוכה יחסית. בין המפעילים הזרים בראש הרשימה בלטו חברות החסך ריינאייר – שהגדילה את חלקה ל-8.4% מתנועת הנוסעים הבינלאומית, עם 512,396 נוסעים, וויזאייר, פגסוס ואיזיג'ט. המובילות מבין החברות

המשך מגפת וירוס הקורונה והתפרצות התחלואה בכל מדינות העולם השפיעו באופן בלתי נמנע על ההיקף המצומצם של תנועת הנוסעים בנמל התעופה בן-גוריון בשנת 2021.

דו"ח הסיכום השנתי של רשות שדות התעופה מציג תמונה טובה יותר מאשר בשנת 2020, לאור ההתאוששות החל מחודש מאי, אך הגידול המתמיד מאז בתנועת הנוסעים והמטוסים התמתן בתחילתו של הגל החמישי בדצמבר.

בפעילות הבינלאומית, עברו בנתב"ג 6,088,107 נוסעים יוצאים ונכנסים, לעומת 4,457,439 בשנת 2020, אך זוהי רק רבע מהכמות בשנת 2019 (שהסתכמה ב-24,035,670 נוסעים). בנמל עברו 66,938 מטוסים נכנסים ויוצאים, לעומת 49,223 בשנת 2020, אך זוהי

האמירויות הערביות המאוחדות

80 מטוסי ראפאל

האמירויות הערביות המאוחדות חתמו ב-3 בדצמבר על חוזה עם חברת דאסו אוויואסיון לרכישת 80 מטוסי קרב חדישים מדגם ראפאל. החוזה, שהיקפו כ-17 מיליארד אירו, נחתם בנוכחות נשיא צרפת, עמנואל מאקרון, בעת ביקורו הרשמי בדובאי, ובנוכחות נסיך הכתר שייח' מוחמד בן זאיד אל נהיאן.

האמירויות יקבלו את תת-הדגם המתקדם ביותר של הראפאל, F4, כאשר אספקת המטוסים תחל בשנת 2027.

"מכירת 80 מטוסי ראפאל לאיחוד האמירויות היא סיפור הצלחה צרפתי, ואני גאה ושמח מאוד מהתוצאה", אמר אריק טראפייה, יו"ר דירקטוריון דאסו אוויואסיון ומנהל העסקים הראשי שלה. "אחרי המיראז' 5 והמיראז' 2000, חוזה ראפאל זה מגבש את היחסים האסטרטגיים אשר קושרים בין שתי מדינותינו ומבטא את שביעות הרצון של חיל האוויר האמירוטי".

מטוסי הראפאל המתקדמים יתגברו את עוצמתו ההתקפית וההגנתית של חיל האוויר האמירוטי, המתבסס כיום על 77 מטוסי קרב מדגמי F-16E/F בלוק 60 ו-59 מטוסי מיראז' 9-2000 חד-מושביים ודו-מושביים. לפי פרסומים באתרי אינטרנט ערביים, האמירויות עשויות להעביר את מטוסי המיראז' 9-2000 לחילות האוויר של מצרים ומרוקו לאחר קליטת מטוסי הראפאל.

האמירויות מבקשים להצטייד גם ב-50 מטוסי F-35A מתוצרת לוקהיד מרטין, אך הממשל האמריקני מערים קשיים על סיכום העסקה, ואין ודאות אם היא אכן תצא לפועל.

12 מסוקי H225M

יחד עם עסקת הראפאל, חתמו האמירויות על עסקה נוספת עם צרפת לרכישת תריסר מסוקי תובלה בינוניים-גדולים מדגם H225M קאראקל (חתול בר), מתוצרת איירבאס הלי-קופטרים. מסוקים כאלה נרכשו בשנת 2016 גם על-ידי כוויית – ראה "ביעף" e137 עמ' 11.

עוד שני מתדלקים

חיל האוויר של האמירויות הזמין בחודש נובמבר עוד שני מטוסי תדלוק מסוג איירבאס

A330 MRTT, אשר יסופקו בשנת 2024. אלה יתווספו לשלושה מטוסים דומים, שנכנסו לשירות החל מ-2013. במקביל לאספקת המטוסים החדשים, מטוסי התדלוק הנוכחיים יושבחו לדגם המשופר של ה-A330 MRTT. חמשת מטוסי התדלוק של האמירויות יצוידו במערכת J-MUSIC להגנה בפני טילי כתף ובמערכת לוחמה אלקטרונית מתוצרת אלביט מערכות, כפי שהודיעה החברה הישראלית ב-3 בינואר 2022. החוזה, שערכו כ-53 מיליון דולר, יבוצע לאורך תקופה של חמש שנים.

קאלידוס B-350 נחשף בדובאי

חברת קאלידוס האמירונית חשפה בסלון האווירי בדובאי בנובמבר 2021 דגם בקנה מידה מלא של מטוס סויר ותקיפה גדול יחסית, המסומן B-350. המטוס החדש דומה בתצורתו

ל-B-250 שהוצג בתערוכות קודמות (ראה "ביעף" e150 עמ' 20), אלא שהוא גדול ממנו בכ-50%.

ה-B-350 יצויד במנוע טורבו-מדחף מדגם פראט אנד ויטני קנדה PW127 בעל הספק מרבי של 2,750 כ"ס-ציירי בהמראה – אותו מנוע שמתקן ב-ATR-72 ובאיירבאס C295M. משקלו המרבי בהמראה יהיה בסביבות 9 טון – כך שמדובר במטוס הרבה יותר גדול מהאמבראר A-29 סופר טוקאנו, המזכיר את הדאגלס A-1 סקייריידר מתקופת מלחמת וייטנאם.

הדגם בתערוכה הוצג עם מגוון מרשים של חימושים על 12 נקודות תלייה חיצוניות. יחד עם זאת, מנכ"ל קאלידוס, מוסטפה שקירי, ציין בתערוכה כי ה-B-350 יפותח בעיקר כדי לענות על דרישה של חיל האוויר האמירוטי למטוס סויר שיוכל לפעול ברום של עד 30,000



למעלה: קאלידוס B-250 בסלון האווירי בדובאי בנובמבר 2021. למטה: הדגם בקנה מידה מלא של ה-B-350 עם מגוון חימושים. (צילומים: תמיר אשל, שביקר בתערוכה).



אחד משלושת מטוסי התדלוק האווירי מסוג איירבאס A330 MRTT של חיל האוויר האמירוטי. שני מטוסים נוספים יסופקו בשנת 2024.





למעלה: מסוק H225M קאראקל של חיל האוויר הכווייתי. למטה: ה-NH90 TTH הראשון של קטאר.



ללוחמה בצוללות וללוחמה בספינות שטח, כשהם חמושים בשני טילי אקזוסה.

בחרין

מסוק התקיפה הראשון מדגם AH-1Z וייפר המיועד לחיל האוויר המלכותי של בחרין הוצג ב-22 באוקטובר במפעלי **בל טקסטרון** באמארילו שבטקסס. בחרין הזמינה תריסר מסוקי וייפר בשנת 2018 (ראה פרטים ב"ביעף" e144 עמ' 10), אשר יסופקו לה החל מ-2022.

במארס 2017, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e143 עמ' 15. אספקת המסוקים תימשך עד שנת 2025. חברת **לאונארדו** היא הקבלנית הראשית בתוכנית זו, שתספק גם סימולטורים ועזרי אימון אחרים, וכן שירותי תחזוקה ותמיכה ושירותי אימון לצוותי אוויר וטכנאי תחזוקה.

מסוקי סיקינג לפקיסטן

עשרה מסוקי ווסטלנד קומנדו/סיקינג של חיל הים הקטארי נמכרו לפקיסטן, והועברו ליעדם החל מיולי 2021. מסוקים אלה נרכשו על-ידי קטאר בין 1975 ל-1982. חלקם שימשו

רגל (9.1 ק"מ) ולשאת מטענים כבדים יחסית כמו המטע"ד האלקטרו-אופטי/דימות תת-אדום L3Harris MX-25 יחד עם המכ"ם בעל הסריקה האקטיבית **לאונארדו אוספרי 30** לכיסוי נרחב, ומארזי חיישנים נוספים. בהתייחס ל-B-250, שהוצג גם הוא בתערוכה בדובאי – המנכ"ל שקירי גילה כי חיל האוויר האמירוני הקטין את הזמנתו מ-24 ל-12 מטוסים בלבד, עם אופציה לרכישת 12 מטוסים נוספים בעתיד.

קטאר

טיסת אימון בבריטניה

שר ההגנה הבריטי, בן וואלאס, ושר ההגנה הקטארי, ד"ר חליד בן מוחמד אל אטייה, חנכו רשמית בבריטניה ב-25 בנובמבר טייסת אימון משותפת במטוסי הוק בבסיס חיל האוויר המלכותי לימינג. ארבעה טייסים כווייתים החלו את אימוניהם שם באוקטובר. טייסת 11 (קטאר) מתוכננת לאמן שמונה טייסים כווייתים בשנה, אליהם יצטרפו בשנת 2022 גם חניכי טיסה בריטים.

קטאר רוכשת בבריטניה תשעה מטוסי הוק **Mk 167**. השניים הראשונים הועברו לבסיס לימינג ב-1 בספטמבר 2021.

טייסי הקרב הכווייתים שמיועדים להפעיל את מטוסי הירופייטר **טיפון** מתאמנים מאז יוני 2020 בטיסת 12 של חיל האוויר המלכותי הבריטי בבסיס קונינגסב.

סופקו מסוקי NH90 ראשונים

שני מסוקי ה-NH90 הראשונים של חיל האוויר הקטארי הוצגו בפומבי ביום הלאומי של קטאר, שנחגג ב-18 בדצמבר. המסוק הראשון מדגם התובלה היבשתי **NH90 TTH** סופק לקטאר ב-11 בדצמבר ממפעלי **אירבאס** במאריניאן שבצרפת, והמסוק הימי מדגם **NH90 NFH** סופק ממפעל ונציה סטרה של **לאונארדו** באיטליה. קטאר הזמינה 16 מסוקי **NH90 TTH** ותריסר מסוקי **NH90 NFH** לפי חוזה שנחתם

מסוק התקיפה הראשון מדגם **בל AH-1Z** וייפר עבור חיל האוויר המלכותי של בחרין.





מטוסי יורופייטר טייפון בטיסת העברה לכוויית.

כוויית

חברת **לאונארדו** האיטלקית סיפקה לחיל האוויר הכווייתי את שני מטוסי הקרב הראשונים מדגם **יורופייטר טייפון**, מתוך הזמנה כוללת ל-28 מטוסים שנחתמה באפריל 2016 (ראה "ביעף" e137 עמ' 11). שני המטוסים הגיעו לכוויית בטיסה מאיטליה ב-14 בדצמבר, כשהם מתודלקים באוויר ממטוסי **KC-767** של חיל האוויר האיטלקי.

"מטוסי ה**יורופייטר טייפון** שפיתחנו וייצרנו עבור חיל האוויר הכווייתי הם המתקדמים ביותר בכל ההיסטוריה של התוכנית האירופית", אמר אלסנדרו פרופימו, מנהל העסקים הראשי של **לאונארדו**. "אנו נספק למדינה יכולת הגנה אווירית מרשימה. בשיתוף פעולה עם חיל האוויר האיטלקי אימנו את הטייסים שלהם במרכזי האימון שלנו באיטליה, ובנינו תשתיות חדשות כדי לתמוך ב-28 המטוסים ולתחזק אותם".

מטוסי ה**טייפון** הכווייתיים מצוידים במכ"ם החדש **Captor-E** (המכונה גם **ECRS Mk 0**), שפועל בטכנולוגיית סריקה אלקטרונית אקטיבית. בניגוד למכ"מים המוטסים האחרים מסוג **AESA**, האנטנה הזו אינה קבועה במקומה אלא יכולה לנוע סביב שני צירים, כך שהמכ"ם יעיל בתחום הרבה יותר רחב ואינו סובל מהפסדי הספק כמו המכ"מים עם אנטנה קבועה.

שלושה חילות אוויר נוספים במזרח התיכון

ירדן

רכשו מטוסי **טייפון**: ערב הסעודית (72), עומאן (12) וקטאר (24). מטוסי ה**טייפון** יסופקו לקטאר מבריטניה החל משנת 2022 ויצוידו גם הם במכ"ם החדש (ראה "ביעף" e142 עמ' 12).

חיל האוויר האמריקני העניק לחיל האוויר המלכותי הירדני שלושה מטוסי **C-130H הרקולס** משומשים. שני ה**רקולסים** נמסרו בטקס שנערך ב-9 בדצמבר 2021, והשלישי יימסר בינואר 2022. מטוסים אלה מתווספים לחמישה **C-130H** שמופעלים זה מכבר בטיסת התובלה מספר 3 בחיל האוויר המלכותי הירדני.

לבנון

חיל האוויר הלבנוני קיבל ב-6 באוקטובר 2021 שישה מסוקי סיור ותקיפה קלים מסוג **MD 530**, אשר הגיעו מארה"ב בתוך בטנו של מטוס מטען מסוג **747-400BCF**. מסוקים אלה הובטחו ללבנון בדצמבר 2017 כחלק מסיוע צבאי אמריקני (ראה "ביעף" e142 עמ' 12). בזמנו דובר על הדגם החדש ביותר **530G**, אך בעת אספקתם הם סומנו דגם **530F+**. צוותי אוויר וקרקע לבנוניים התאמנו בחודשים הקודמים בהפעלת המסוקים במפעלי **MD הליקופטרים** במסה שבאריזונה, כפי שדיווחנו ב"ביעף" e154 עמ' 18.

ששת מסוקי ה-**MD 530F+** שהגיעו מארה"ב ללבנון ב-6 באוקטובר 2021.





אב-הטיפוס של הבואינג 737-10 ביצע טיסת בכורה בת שעתיים וחצי ב-18 ביוני 2021. זהו הדגם הרביעי במשפחת מטוסי ה-MAX, מהדור החדש של ה-737, שעל פיתוחו הודיעה בואינג בסלון האווירי בפאריס ביוני 2017 – ראה "ביעף" e140 עמ' 16.

גופו של ה-737-10 הוארך ב-164 ס"מ בהשוואה ל-737-9. הארכה זו של הגוף דרשה את הגבהת כני-הנסע, כדי שהזנב לא יפגע במסלול בעת הרמת האף בהמראה. המטוס החדש יוכל להכיל 188 עד 204 מושבים בשתי מחלקות, או עד 230 מושבים בסידור פנימי צפוף. הטווח המרבי יהיה 6,100 ק"מ. במטוס זה יושמו כל הלקחים מהתאונות של מטוסי ה-MAX8 ב-2018 וב-2019, שגרמו לקרקוע המטוסים ולעיכוב ארוך באספקת מטוסים חדשים ללקוחות. השגת רישוי אזרחי ל-737-10 צפויה בשנת 2023.

מטוס המרוץ הקל נמיס NXT שהוסב להנעה חשמלית על-ידי רולס-רויס ביצע טיסת בכורה בת 15 דקות בבריטניה ב-15 בספטמבר. ההסבה בוצעה במסגרת תוכנית ACCEL (ראשי תיבות של: האצת החשמול של התעופה), שנתמכת בחלקה על-ידי הממשלה הבריטית, בהשתתפות המומחית לאחסון אנרגיה Electroflight וספקית המנוע החשמלי YASA.

ב-Spirit of Innovation (רוח החדשנות) הותקנה מערכת הנעה חשמלית בהספק של 400 קילו-וואט עם חבילת מצברים בעלי צפיפות אנרגיה גדולה במיוחד.

ב-16 בנובמבר הוכיח רוח החדשנות את היותו המטוס החשמלי המהיר ביותר בעולם, כאשר הציב שיא מהירות של 555.9 ק"מ/ש' לאורך 3 ק"מ – ב-213 ק"מ/ש' יותר מהשיא הקודם שהושג בשנת 2017 במטוס האווירובטי הקל אקסטרה 330LE עם מנוע חשמלי מתוצרת סימנס. בטיסות נוספות הפגין המטוס מהירות ממוצעת של 532.1 ק"מ/ש' לאורך 15 ק"מ – ב-292.8 ק"מ/ש' מהר יותר מהשיא הקודם, ושבר את שיא מהירות הנסיקה לגובה של 3,000 מטר בזמן של 202 שניות – ב-60 שניות פחות מהשיא הקודם. המטוס הגיע למהירות מרבית רגעית של 623 ק"מ/ש'.



אב-הטיפוס הראשון של הביצ'י-קראפט דנאלי מתוצרת טקסטרון אוויאיישן ביצע טיסת בכורה בת שעתיים ו-50 דקות ב-23 בנובמבר. הדנאלי הוא מטוס ל-8 עד 11 נוסעים (כולל הטייס), שיכול לשמש גם לתובלת מטענים. הוא מצויד במנוע הטורבו-מדהף החדש ג'נרל אלקטריק קטליסט, שמפתח הספק של 1,300 כ"ס צירי. המטוס תוכן לשייט במהירות של 285 קשרים (530 ק"מ/ש') עם מטען תכליתי בן 500 ק"ג ודלק מלא, ויגיע לטווח של 2,960 ק"מ עם טייס אחד וארבעה נוסעים. בתא הטייס שלו מותקנת מערכת האוויוניקה גארמין G3000. בתוכנית ניסויי הטיסה ישתתפו שלושה אבות-טיפוס, לקראת השגת רישוי אזרחי בשנת 2023.

הטכנולוג: מטוס הניסוי שהוכיח את השיפורים בכפיר

תהליך פיתוח מטוס הקרב כפיר בתעשייה האווירית לישראל (תע"א), על בסיס המיראז' 5 של דאסו, היה כרוך בתיכונים הנדסיים מורכבים עם סיכוני פיתוח ניכרים. ראשית, היה צריך להתאים את גוף המיראז' 5 לקליטת מנוע ג'נרל אלקטריק J79, במקום מנוע האטאר 9C המקורי, תוך התייחסות להיבטי גאומטריה, בידוד חום וקירור, כניסת אוויר ועוד. בהמשך, שיפרו את ביצועי המטוס באמצעות שינויים אווירודינמיים בתצורה החיצונית, שכללו משטחי קנארד לפני הכנף ומעליה, שיני מסור בכנפיים וגדרות חרטום. את כל השינויים וההתקנות האלה נדרש לבדוק ולהוכיח בניסויי טיסה מקיפים, ולצורך כך היו צריכים להקצות אב-טיפוס ייעודי.

מובילי תוכנית רעם במשרד הביטחון ובתע"א בחרו במיראז' IIIBJ כטרם אב-טיפוס מתאים, וכינו אותו

בן קשלב מתאר בפירוט את תפקידו וקורותיו של מטוס הניסוי **טכנולוג** לאורך כל תהליך פיתוח הכפיר בתע"א. השלבים העיקריים בניסויי הטיסה של הטכנולוג היו כדלקמן: בחינת התקנת מנוע J79 וטיסות להכנת בסיס נתוני ייחוס – מספטמבר 1970 עד דצמבר 1973; ניסויים בתצורת קנארד – מיוני 1974 עד ספטמבר 1976; מטוס ניסוי ששימש בנוסף לליוויי והדגמות – מנובמבר 1977 עד יולי 1978; ניסויים עם כנפוני שפת התקפה בכנף – מאפריל 1979; ליווי ניסויי כפיר סחרור – מאפריל 1981 עד סוף 1983. בינואר 1984 הועבר הטכנולוג למוזיאון חיל האוויר בחצרים, שם הוא מוצג גם כיום.

ממיראז' לכפיר

הכפיר קנארד – המהווה שילוב של תצורת המיראז' הקלאסית עם מנוע אמריקני ושיפורים אווירודינמיים ישראלים – הוא התוצר הסופי והמתקדם ביותר של תוכנית לייצור מטוסי קרב על-קוליים בתע"א, שנולדה במחצית השנייה של שנות ה-60 במאה הקודמת. התוכנית נוהלה על-ידי מינהלת פרויקט מטוס (מנפ"ם) במשרד הביטחון, שהוקמה באוקטובר 1967 בראשותו של אל"ם בר-עמי גוב.

התוכנית התבצעה בשני ערוצים מקבילים. הערוץ הראשון התמקד בהרכבה ברישיון של מטוסי מיראז' 5, במסגרת הסכם עם חברת אוויון מארסל דאסו, תוך יישום שורת שיפורים והתאמות קלות לצורכי חיל האוויר, תחת שם הקוד רעם א'. ערוץ זה נועד לספק מענה מהיר לצורכי ההצטיידות הדחופים של חיל האוויר.

בערוץ השני החלו בפעילות מאומצת ומואצת לתכנן והוכחת ישימות של החלפת מנוע האטאר 9C הצרפתי במנוע ג'נרל אלקטריק J79 אמריקני בגוף המיראז' 5. על פי התוכנית, לאחר הוכחת החלפת המנוע, יתבצע מעבר מסדרת הייצור הראשונה של הרעם א' (שנקרא בהמשך נשר) לסדרת ייצור שנייה שמבוססת על המנוע האמריקני ותיקרא רעם ב' (שהפך בהמשך לכפיר). כל עבודות הפיתוח ההנדסיות שנדרשו לשיפורי רעם א' ולהחלפת המנוע ברעם ב' הופקדו בידי חטיבת ההנדסה בתע"א.

מטוס ניסוי ייעודי

עקב המורכבות ההנדסית של פרויקט החלפת המנוע והסיכונים שכרוכים בו, הוחלט להוכיח את הפתרון על מטוס אב-טיפוס מיוחד שיוקצה לכך. הבחירה נפלה על מיראז' IIIBJ דו-מושבי, כפי שהעיד ראש מנפ"ם במשרד

הביטחון, בר-עמי גוב: "לא עמד לרשותנו מטוס מיראז' 5 זמין לביצוע ההסבה. בדקנו את המיראז' III (שחק חד-מושבי) וגם את המיראז' IIIB (שחק דו-מושבי) שהיו בשירות חיל האוויר ולהם כונסי אוויר זהים למיראז' 5. לבסוף בחרנו בשחק דו-מושבי, שבו ניתן להתקין את המכשור הנדרש לעריכת ניסויי הטיסה בתא הטייס האחורי".

באפריל 1969 העביר חיל האוויר לתע"א את שחק דו-מושבי מספר 88, כדי שישמש אב-טיפוס לפיתוח רעם ב'. מטוס זה נקלט במקורו בחיל האוויר באפריל 1966 והופעל בטייסת 117 ברמת-דוד להסבת טייסים למטוסי שחק וללחימה. בהגיעו לתע"א קיבל שחק 88 את הכינוי **טכנולוג**. על מנת שלא למשוך תשומת לב מיוחדת לפרויקט הסודי ביותר, המטוס נותר בגווניו המקוריים, כפי שהתקבל מחיל האוויר.

הטכנולוג בתע"א בשנת 1979, עם כנפוני שפת התקפה בכנף. ניתן להבחין בגדרות החרטום ובמשטחי הקנארד.



הסבה למנוע J79



הרצה קרקעית של מנוע ה-J79 בשעות הלילה, לפני טיסת הבכורה.

צוות תיכון הסבה בחטיבת הנדסה של התע"א, בראשותו של המהנדס יעקב בן-בסט, נדרש להתמודד עם מספר אתגרים הנדסיים רציניים בפרויקט התקנת המנוע J79 בטכנולוג. בראש ובראשונה, היה צורך להתאים את כונסי האוויר של המיראז' לספיקה המוגדלת הדרושה למנוע האמריקני בתחום רחב של זוויות התקפה. לפתרון בעיה זו נעשתה עבודה תאורטית מעמיקה בשילוב עם ניסויי נקבת-רוח, שנערכו בטכניון על דגם מתכתי מוקטן, וכן בוצעה סדרת ניסויים על דגם כונס מוקטן במתקני התע"א. בנוסף, היו צריכים להתאים את מערכת הנעת הגופים הקוניים בכונסי האוויר ("עכברים") לפעול בהתאמה עם המנוע החדש. הזאת עכברי הכונסים לפניו ולאחור אפשרה להסיט את גלי ההלם בטיסה על-קולית, למניעת חדירתם לכונסי האוויר.

אתגר תיכון נוסף נבע מהבדלי גישות התכן בין הצרפתים לאמריקנים. בעוד שבמטוסים הצרפתיים המנועים צוידו בשמיכות בידוד תרמיות שעטפו את האזורים החמים במנוע, הרי שמנועי המטוסים האמריקניים היו נטולי שמיכות בידוד, ומבנה המטוס הותאם לעמידה בטמפרטורות הגבוהות שיצרו המנועים. הסתבר, שמבנה האלומיניום של המיראז' לא יכול היה לעמוד בטמפרטורות הגבוהות שהקרין סביבו ה-J79. בעקבות בדיקה תאורטית מקיפה לבחינת פתרונות אפשריים לבעיה, הוחלט להרכיב מגן חום מטיטניום על המנוע ולהזרים אוויר לקירור משני צדדיו. לשם אספקת כמויות אוויר הקירור הדרושות בכל תנאי הטיסה וחלוקתם המתאימה, הותקנו לוכדי אוויר קטנים (סקופים) על גוף המטוס.

ה-J79 האמריקני קצר ב-64 ס"מ מהאטאר 9C הצרפתי. לאור זאת, נדרש לבחון מהו מיקום ההתקנה המיטבי של המנוע האמריקני תחת אילוצי המבנה הקיימים. מגוון שיקולים הנדסיים, שנשמכו בין היתר על תאימות מבנית לעומסי הדחף המוגדל, שיקולי איזון המטוס והצורך בהתאמת תעלת הכונס, הכריעו לבסוף

J79, לא היה מנוס מביצוע מספר התאמות ושינויים הכרחיים במנוע, כדי לאפשר את התקנתו בגוף המיראז'. המנוע שנבחר להתקנה בטכנולוג וברעם ב' היה מדגם J79-GE-17, שהותקן במטוסי הפאנטום שנמכרו לישראל. דגם זה התאפיין בתיבת אביזרים בולטת בתחתיתו, שלא התאימה לאומטריית המיראז'. מבחינת דגמי-משנה נוספים של המנוע, נמצא שתיבת האביזרים השטוחה בדגם J79-GE-19 התאימה בממדיה להתקנה במיראז'. לפיכך התבקשה ג'נרל אלקטריק להתאים התקנה של תיבת האביזרים השטוחה במנוע שיועד לטכנולוג ולרעם ב', לבצע מספר שינויים בנייתו צנרת בהיקף המנוע, ולהוסיף מערכות לשיפור הביטחון. המנוע המותאם להתקנה בגוף המיראז' קיבל את סימונו הייחודי J79-J1E.

במהלך ינואר ופברואר 1970 סופקו ארבעה מנועים ראשונים מג'נרל אלקטריק. שניים מהם שימשו למדידות והתאמות, אחד שימש לניסויי הרצה קרקעית, והרביעי הותקן בטכנולוג לביצוע ניסויי הטיסה.

ערך הנדסי חשוב נוסף שליווה את הפרויקט היה פיתוחו ושילובה של מערכת טלמטריה ורישום נתוני טיסה במטוס, כדי לאפשר את ליווי ניסויי הטיסה בזמן אמת ואיסוף המידע הנדסי הנדרש מהניסויים השונים. מלכתחילה התברר, שמערכת רישום נתוני ניסויי הטיסה המקובלת בתע"א ובחיל האוויר, שהתבססה על רשמי נייר, לא תספק מענה נדרש לפרויקט בהיקף כה רחב. כל שכן, בהיעדר ידע נדרש לעריכת ניסויי טיסה למטוסי קרב בתע"א, הסתמן צורך לעבור למערכת מדידה משוכללת יותר שתירכש מחברה חיצונית שמתמחה במכשור ניסויי טיסה למטוסי קרב. צוות ייעודי של התע"א שהופקד על הקמת תשתית ניסויי הטיסה לתוכנית הרעם ובחן מספר חלופות בחר לבסוף במכשור המתקדם שהציעה חברת מקדונל דאגלס.

המכשור המוטס והקרקעי שנרכש לביצוע ניסויי הטיסה בטכנולוג היווה פריצת דרך טכנולוגית בתע"א בכל הקשור להקפי דגימת הנתונים ושידורם לקרקע, וכן במעבר מעידן רשמי הנייר לעידן מדיה מגנטית ועזרי פיענוח מהירים. המכשור המוטס לאיסוף הנתונים, שידורם והקלטתם הותקן על גבי מרכב ייעודי שמוקם בתא הטייס האחורי של השחק הדור-מושבי, במקומו של מושב המפלט שהוסר.

להתקין את המנוע האמריקני כך ששפתו הקדמית תחפוף למיקום שפתו הקדמית של האטאר המקורי. התקנה זו חייבה את קיצור חלקו האחורי של גוף המטוס בכ-70 ס"מ. בעקבות זאת בוצע תכן חדש למקטע הגוף האחורי, שהכוון להקטנת הגרר על-ידי מניעת ניתוקי זרימה. המקטע התאפיין ב"מצחייה" עילית, שהגנה על בית מצנח העצירה מסילון גזי הפליטה החמים של המנוע.

המעבר ממנוע צרפתי לאמריקני הכתיב גם את הצורך בהתאמת מערכות המטוס בעלות ממשק משותף עם המנוע. כך לדוגמה, הותאמה מערכת הדלק לסטנדרטים אמריקניים. מערך תא הטייס, המצער, הגנרטור ומערכת הנעת עכברי הכונסים הותאמו לדרישות המנוע החדש. גם במערכות ההידראוליקה, מיוזג האוויר והדיחוס עודכנו ממשקי המנוע. לאחר מכן נערכו בדיקות הוכחת המערכות החדשות, הן במעבדה והן בבדיקות קרקעיות על המטוס עצמו. יישום סדרת שינויי המבנה והמערכות במטוס הטכנולוג החלו במאי 1969 ונערכו במקביל להתקדמות תהליך התכנן. מלבד התאמת המטוס להתקנת מנוע ה-

הכנסת מנוע ה-J79 עם מגן החום מסביבו לתוך גוף הטכנולוג.





הטכנולוג באחת מטיסות הניסוי הראשונות עם מנוע ה-J79 ב-11 באוקטובר 1970. על הגוף האחורי החדש הודבקו חוטים קצרים כדי לראות את אופי הזרימה.

בשלב זה נצבע הטכנולוג בצבעי הסוואה, בדומה לשאר מטוסי השחק של חיל האוויר. סדרות הניסוי הבאות הוקדשו לניסוי מעבר חום, פתיחת מעטפת מנוע ובחינת תאימות כונס-מנוע (הוכחת חוקי הנעת עכברי הכונס). במסגרת ניסויים אלו נמדדו טמפרטורות גבוהות באזור בית המנוע, בנחיר הפליטה ובמקטע הגוף האחורי – על סף מגבלת עמידות מבנה המטוס. לאור זאת שונה תכן הגוף האחורי באופן שהקל על קירורו וקירור הנחיר, וכן הוגדלה ספיקת האוויר סביב מעטפת המנוע על-ידי הגדלת לוכדי האוויר. סדרות ניסוי נוספות הוקדשו לבחינת השפעות ירי תותחים עם סתרשפים מקוריים וסתרשפים משופרים על פעולת המנוע, מחשש לחדירת גזי הפליטה של התותחים לכונסי האוויר – דבר שעלול לפגוע בפעולת המנוע.

טיסות הניסוי שבוצעו עד ספטמבר 1971 הוכיחו את נכונות הפתרונות ההנדסיים שנבחרו, וביצועי המטוס שנמדדו במהלך הניסויים תאמו לחישובים המוקדמים. במשימות תקיפה, רדיוס הפעולה של הטכנולוג גדל ב-10% לעומת המיראז' 5, ובמשימות יירוט הוכח שזמני ההאצה לטיסה על-קולית של הטכנולוג קטנים בכ-50% לעומת המיראז' 5. על בסיס הישגים אלו הוענק פרס ביטחון ישראל לשנת 1971 לצוות התע"א שתיכן את השתלת מנוע ה-J79 בטכנולוג ולראש מנפ"ם שהוביל את התוכנית במסדר הביטחון.

במסגרת סדרות הניסוי התשיעית והעשירית, שהתקיימו בין מארס למאי 1973, נערכו טיסות הערכה לבדיקת ביצועי המטוס בתרגילי קרבות אוויר מבוקרים מול מטוסי שחק, פאנטום (קורנס) וסקיייהוק (עיט) של חיל האוויר, שהוטסו על-ידי בכירי טייסי החיל. את הטכנולוג הטיסו בטיסות אלו אסף בר-נון מהתע"א ורס"ן אורי יערי מחיל האוויר, שהוכשר להטיס את מטוס הניסוי היחודי. הטכנולוג הפגין ביצועים מרשימים בהשוואה למטוסים שמוles הוא נבחן. כך לדוגמה, בנסיקה במבער מלא מגובה פני הים, הטכנולוג נסק לגובה 40,000 רגל בפרק זמן שמטוס פאנטום דו-מנועי נסק ל-28,000 רגל בלבד. זמן ההאצה בטכנולוג בגובה 40,000 רגל ממאך 0.9 למאך 2 ארך 3 דקות ו-17 שניות, בעוד שלפאנטום נדרשו 4 דקות ו-24 שניות. במהלך טיסות אלו הובהר, כי כושר התמרון המרבי של

בבטחה. פעולתו התקינה של המטוס, למעט נורית האזהרה, ודיווחים שהתקבלו מהמטוס המלווה ומתחנת הקרקע שקיבלה את תשדורות הטלמטריה, גרמו לשפירא להבין שהמטוס נשלט באופן תקין ושכלל הנראה החיווי התקבל כתוצאה מקצר חשמלי – דבר שהתברר בדיעבד כנכון.

למרות תקלת נורית אזהרה אש במנוע, וקיצור הטיסה הראשונה, היה זה הישג מהמעלה הראשונה. למחרת היום, מנכ"ל משרד הביטחון, אל"ם (מיל') משה קשתי, זימן אליו את ראש חטיבת ההנדסה בתע"א, משה ארנס, וברך אותו על ההישג המרשים. קשתי, שהאמין שניתן לפתח בישראל מטוסי קרב מתקדמים, שאל את ארנס מה נחוץ לו כדי לפתח יכולת מלאה לתיכון מטוס קרב. ארנס השיב לו, שיש צורך בבניית ניקבת-רוח לבדיקת דגמי ניסוי של תצורות שונות למטוס קרב עתידי, וכן נדרש מימון להקמת מחלקה לתיכון ראשוני שתחל במחקר על תצורות אפשריות למטוס הקרב. קשתי נענה לדרישותיו של ארנס, ובחטיבת ההנדסה נסללה הדרך להקמת מערך ניקבות-רוח ולייסודה של מחלקת תיכון מוקדם, שלימים תשקנה תפקידי מפתח בהמשך פיתוח הרעם ב' ומטוס הלבאי.

מספטמבר 1970 עד למאי 1973, הטכנולוג ביצע 139 טיסות ניסוי להוכחת התקנת מנוע ה-J79 בגוף מטוס מיראז'. בנוסף, המטוס ביצע עוד 32 טיסות הערכה מבצעית על-ידי טייסי בכירים מחיל האוויר, בין מארס למאי 1973. טיסות הניסוי חולקו ל-13 סדרות, שנוהלו באופן אינטנסיבי תחת לחץ זמנים למעבר מיצור רעם א' לרעם ב'.

במסגרת סדרת הטיסות הראשונה שנמשכה עד אוקטובר 1970 בוצעו שבע טיסות "ניעור" ופתיחת מעטפת טיסה עד למאך 1.1 וגובה 45,000 רגל. המטוס חצה לראשונה את מהירות הקול בטיסת הניסוי השישית, שנערכה ב-8 באוקטובר 1970. בסדרת הטיסות השנייה, שנערכה בין דצמבר 1970 למארס 1971, בוצעו 8 טיסות לפתיחת תרום הטיסה עד למאך 2 וגובה 60,000 רגל. מאך 2 נחצה לראשונה בטיסת הניסוי ה-16, שנערכה ב-22 במארס 1971. בסדרה זו נערכו גם ניסויים לאימות מעטפת ההתנעה של המנוע באוויר. בסה"כ בוצעו 8 כיבוי מנוע והתנעתו מחדש בשתי טיסות ניסוי ייעודיות.

חופת התא האחורי נצבעה בלבן כדי להגן על הציוד הרגיש מהשמש הקופחת, למעט מקטע מסוים שהושאר שקוף במטרה לאפשר צפייה בפעולתו התקינה של רשם הנתונים על סרט מגנטי. הטלמטריה המתקדמת אפשרה מעקב בזמן אמת מחדר בקרה קרקעי אחר פרמטרי הטיסה החשובים, ובכך הגבירה את בטיחות הטיסה ואפשרה ביצוע מספר רב של תרגילים בכל טיסה תחת עיניהם המשגיחות של מהנדסי הניסוי.

באפריל 1970 הושלמו העבודות לשינוי מבנה המטוס, והחל שלב התקנת המערכות. באוגוסט הסתיימו הבדיקות הקרקעיות שנערכו למערכות במטוס, וב-24 באותו חודש התקיימה הרצת המנוע הראשונה בטכנולוג. ניסויי הרצת המנוע התקיימו ברובם בשעות החשיכה, מפאת חשיות הפרויקט, ותוצאותיהם היו משיביות רצון. לאחר מכן הוחל בניסויי הסעה על המסלול. את ריצת המסלול הראשונה ב-4 בספטמבר ביצע טייס הניסוי דני שפירא, שהושאל מחיל האוויר לשמש כטייס הניסוי של פרויקט הטכנולוג והרעם. שפירא הכיר היטב את מטוסי המיראז', והוא גם זה שביצע את טיסת ההעברה של שחק 88 מצרפת לישראל כארבע שנים לפני הסבת המטוס לתצורת הטכנולוג.

טיסות ניסוי עם J79

טיסת הבכורה של הטכנולוג עם המנוע החדש נקבעה ל-21 בספטמבר 1970. קצינים בכירים, טייסי חיל האוויר ונכבדים נוספים הוזמנו לצפות באירוע ההיסטורי. את טיסת הניסוי ליווה הטייס אסף בר-נון במטוס שחק דו-מושבי אחר של חיל האוויר, שהמריא דקות אחדות לפני הטכנולוג.

שפירא המריא לראשונה והתרשם מהאנרגיות של המטוס בהשוואה למטוסי השחק שאותם הכיר היטב. בגובה 500 מטר בלבד, לאחר שסיים אתה פעולת המבער האחורי, נדלקה נורית אזהרה על אש במנוע. שפירא הפנה את החרטום לאזור פתוח, מתוך מחשבה שייאלץ לנטוש את המטוס. ברגעים כאלה נבחנים קור הרוח ושקול הדעת הנדרשים מטייס ניסוי מיומן. שפירא החל בביצוע סדרת פעולות להערכה מחדש של המצב, שהובילה להצלת המטוס ולהשלמת טיסת הניסוי

שינויים פשוטים יחסית במקרה הצורך, בהתאם לתוצאות המבקלות בניסויים. כך לדוגמה, התקנת שן המסור בכנף נעשתה באמצעות הוספת צלעות פח לא מבניות, וביניהן חומרי מילוי, שנעטפו במעטי פיברגלאס. על אף שיטות הבנייה הזולות, **הטכנולוג** אושר לטוס בתצורה זו עד מאך 2. משטחי הקנארד כורסמו מגוש מתכת, ובקצותיהם הותקנו מטענים פירו-טכניים ששימשו ליצירת עירור עצמי יזום לצורך בחינת תכונות הפרפור.

העבודות להסבת **הטכנולוג** הסתיימו בקיץ 1974, וב-11 ביולי בוצעה הסעה ראשונה על המסלול. טיסת הניסוי הראשונה בתצורה זו בוצעה ב-16 ביולי, כשהטכנולוג מוטס על-ידי אסף בר-נון, שהתמנה לטייס הניסוי הראשי של פרויקט **הכפיר**. אב-טיפוס **כפיר 002** שהוסב לתצורת קנארד המריא לראשונה שמונה חודשים מאוחר יותר, ב-23 במרס 1975.

טיסות ניסוי קנארד

סדרת הניסויים הראשונה של **הטכנולוג** בתצורת קנארד התמקדה בפתיחת תחומי הטיסה, כולל תחום זוויות התקפה גבוהות בגישה שמרנית, שהתירה הגעה למגבלה הגבוהה בכ-3 מעלות מגובלת אובדן הציבות ב**טכנולוג** הבסיסי. בדיעבד הסתבר, שבתצורת הקנארד אובדן הציבות מגיע בפתאומיות, ללא רעידות מקדימות (buffet) שמתרעות על אובדן יציבות קרוב, כפי שהורגשו ב**שחק**, בנשר ובתצורה הבסיסית של **הכפיר**. תופעה זו גרמה לאובדן אב-טיפוס **כפיר 002** בתצורת קנארד ב-25 במאי 1975, לאחר שהמטוס איבד יציבות והפך לבלתי נשלט. טייסו נטש בשלום בגובה נמוך מעל לים. בהמשך נערכו ב**טכנולוג** ניסויים לפתיחת מעטפת פרפור, שהיוו התנסות ראשונית לאנשי **התע"א** בעריכת ניסויים כאלה במטוסי קרב.

בסדרת טיסות נוספת נבחן כושר התמרון של **הטכנולוג** בתצורת קנארד בתרגולי קרבות אוויר, שנערכו לצורכי השוואה כנגד מטוסי **שחק** ומטוסי **פאנטום** ללא כנפוני שפת התקפה. במסעות אלו התברר, של**טכנולוג** היה יתרון ברור בשני התחומים העיקריים של קרב האוויר: כושר תמרון ועודף דחף. נערכו גם מספר טיסות השוואה מול אב-טיפוס **כפיר 002** ללא קנארד (בטרם אבד), במטרה לעמוד על ההבדל בכושר התמרון בין המטוסים. התרשמות טייסי הניסוי ופיענוח תוצאות המדידה באוויר הצביעו על שיפור משמעותי בכושר התמרון האנכי של **הטכנולוג** בתצורת קנארד, המתבטא באפשרות נוחה וקלה לבצע הרמות אף ללא הפסדי גובה במהירויות נמוכות ובגובה רב, תודות להפחתת הגרר של המטוס בתמרון והגדלת יעילות האלוונים בכ-10% בקירוב. התקנת הקנארד אפשרה לתפעל את המטוס בצורה חריפה במהירויות נמוכות ולהגיע לזוויות התקפה של עד 30 מעלות מבלי לחוות אובדן יציבות.

סדרה נוספת של טיסות ניסוי הוקדשה לבחינת מגבלות מרכז כובד אחורי לתצורת הקנארד, על-ידי הטענת סידורים שונים של מגוון מטענים חיצוניים במרכזי כובד אחוריים. בנוסף נערכו ניסויי ירי טילי **ברקן**, שהותקנו בתחנות 8 ו-9 על גבי מתאמים מיוחדים שנועדו להרחיק את הטילים משפת הכונס כלפי מטה. בנוסף שולבה במנוע מערכת לדילול השפעות

תצורת הקנארד עד ל-1 באפריל 1973. תצורת הקנארד בשילוב שיני מסור בכנפיים וגדרות חרטום הוקפאה לבסוף ב-22 במאי 1973. בזאת בא לסיימו תהליך פיתוח התצורה האווירודינמית, שארך כשנה וחצי. התהליך כלל כ-1,200 ניסויים אווירודינמיים, שנערכו על תשעה דגמי ניסוי במנהרות התת-קולית, העבר-קולית והעל-קולית בטכניון.

להוכחת התצורה ובחינתה בטיסה הוחלט על בניית שני אבות-טיפוס: אב-טיפוס הראשון נקבע **הטכנולוג**, שבאותה עת עמד לקראת גמר סדרת טיסות הניסוי להוכחת התקנת מנוע **J79**, מטוס הניסוי השני היה אב-טיפוס 002 של **הכפיר**, כאשר כשהים כבר היו ממוכשרים לביצוע ניסויי טיסה. בה בעת ניתן אור ירוק לתיכון כלל ההתקנות להסבת אבות-טיפוס האלה לתצורת קנארד.

הכנות לניסוי קנארד

לפני הסבתו של **הטכנולוג** לתצורת הקנארד, נערכה ביוני 1973 סדרה בת 21 טיסות ניסוי מקדימות כדי לבנות בסיס נתוני ייחוס להשוואת כושר התמרון של המטוס לפני התקנת הקנארד. במסגרת זו הוגדר גבול הציבות בטיסות בזווית התקפה גבוהה. בין אוגוסט לנובמבר 1973 נערכו סדרות ניסויים נוספות לבחינת השפעתן של גדרות החרטום על הציבות הרחבית בזוויות התקפה גבוהות, ולבחינת התקנת יורי טילי אוויר-אוויר מונחי חום בנקודות התלייה 8 ו-9, שהוספו מתחת לכונסי האוויר. תוצאות ניסויי הירי לא היו משיעיות רצון, לאחר ששיגורי הטילים גרמו להזדקרויות מדחס, ותצורת חימוש זו לא אושרה.

תוך כדי ביצוע טיסות אלו פרצה מלחמת יום הכיפורים, ששיבשה את לוחות הזמנים. במהלך המלחמה נצבעו על מטוסי **השחק והנשר** של חיל האוויר משולשי זיהוי צהובים מתוחמים במסגרת שחורה – שנצבעו גם על **הטכנולוג בתע"א**.

בדצמבר 1973 נערכו 12 טיסות לבחינת שיפורים אפשריים בתאימות כונס-מנוע. במסגרת זו נבחנה התקנת עכברי כונס עם קונוס כפול וחורי יניקת שכבת גבול. **הטכנולוג** הוטס בתצורה זו במאך 2.15 ובגובה 40,000 רגל. בתחילת 1974 **הטכנולוג** קורקע, לאחר שהשלים 222 טיסות ניסוי. המטוס הוכנס להאנגר אב-טיפוס **בתע"א** לצורך הסבתו לתצורת קנארד על-ידי צוות משימה משולב מחטיבת הנדסה ואגף להב. הסבת המטוס נעשתה בשיטות בנייה מהירות וזולות שמתאמות לאבות-טיפוס, שניתן לבצע בהן

הטכנולוג נופל במידה מסוימת מאז של **השחק**. חיסרון זה הוליד את פתרון הקנארד. בהתמודדות של **הטכנולוג** מול **השחק**, התקבל הרושם שניתן לתפעל את **הטכנולוג** בבטחה בזוויות התקפה גבוהות ממגבלת היצרן, עד לגבול אובדן הציבות הרחבית של המטוס. לאור זאת הוחלט לבצע סדרת טיסות ניסוי להגדרת גבול הציבות של **הטכנולוג**. גבול אובדן הציבות הרחבית בטיסה במהירות נמוכה ממאך 0.7 היה גבוה בין 5 ל-10 מעלות ממגבלת היצרן, ובכ-3 מעלות מגבול אובדן הציבות הרחבית של **השחק**. בכל איבודי הציבות, המטוס נחלץ מיידית עם שחרור מוט ההיגוי, מבלי שהתפתחו תופעות post stall gyration או שחרור.

פיתוח תצורת הקנארד

כדי לנסות לשפר את כושר התמרון של **הכפיר** בקרבות אוויר, העלו מהנדסים במחלקות תיכון מוקדם ואווירודינמיקה בחטיבת הנדסה **בתע"א** את הרעיון לשלב בתצורה האווירודינמית המקורית של **המיראז'** משטחי קנארד. את ההשראה לכך הם קיבלו ממטוס **הוויגן**, שפותח על-ידי חברת **סאאב** השוודית. (תיאור מפורט של יתרונות תצורת הקנארד אנו מביאים בכתבה נפרדת בגיליון זה).

בדצמבר 1971 החלו מהנדסי **התע"א** בביצוע סדרת ניסויים על דגמים מפורטים במנהרות הרוח בטכניון. **בתע"א** עדיין לא הייתה אז ניקבת-רוח, ומסיבות ביטחוניות לא ניתן היה לערוך את הניסויים בחו"ל, שכן הפיתוח נעשה תחת מעטה חשאיות. לצורך הבנת התופעות האווירודינמיות בוצעו ניסויי צבע לבדיקת מטטר הזרימה מעל הכנף והגוף, ופתחו מאזניים מינאטוריות למדידת כוחות האוויר על משטחי הקנארד.

במאי 1972 החלו ניסויי מנהרה על חמישה דגמי **שחק** זהים בקנה מידה 1:25 שנבנו מייצקות פיברגלאס (בניגוד לדגמי מנהרה מתכתיים, שהיו מקובלים בשעתו וגם כיום). השימוש בדגמים זהים אפשר עריכת ניסויים במקביל, תוך ביצוע שינויי תצורה בין מודל אחד לשני. הניסויים התבצעו בהיקף נרחב לצורך קביעת התצורה האווירודינמית המיטבית, בהתחשב בעובדה שהתקנת משטחי הקנארד תיעשה על מטוס קיים, והשאיפה למינימום שינויים בהתאמת המטוס להתקנתם. בנובמבר 1972 הציגו מהנדסי **התע"א** לנציגי חיל האוויר ומשרד הביטחון את ממצאי הבחינות המוקדמות להתקנת קנארד במטוסי **רעם ב'**. בגישה זו ניתן אור ירוק לתיכון מוקדם של

הטכנולוג בתצורת קנארד, צבוע בצבעי הסוואה בדומה למטוסי **השחק והנשר**, אחרי מלחמת יום הכיפורים.





צילום מלפנים בו רואים היטב את כנפוני שפות ההתקפה בכנף, בנוסף לגדרות החרטום ולמשטחי הקנארד.

מוקדם למטוס קרב חדש שנקרא **אריה**. מבחינה אווירודינמית, **האריה** התבסס על כנף דלתא בשילוב משטחי קנארד, בדומה לתצורת **הכפיר**. יחד עם זאת, הוחלט ליישם בכנף הדלתא מדפי שפת התקפה שנפתחים לפנים (Slats), אשר מגדילים את עילוי הכנף במהירויות נמוכות ומשפרים את כושר הפנייה בקרבות אוויר – בדומה למה שעשתה חברת **דאסו במיראז' 2000**.

גם לאחר שהתברר כי חיל האוויר אינו מעוניין ב**אריה**, המשיכה **התע"א** לבחון תצורות אפשריות למטוס קרב חדש. במסגרת חקר התצורות האווירודינמיות על בסיס כנף דלתא, הוחלט לבחון התקנת כנפוני שפת התקפה ב**טכנולוג**. לשם כך בוצע תכן מוגבל להתקנת כנפונים קבועים לכל אורכה של הכנף, בהטיה בת 25 מעלות. השינוי בכנף בוצע מקו הקורה הקדמית כלפי שפת ההתקפה, בדומה לעיקרון יישום שן המסור. יחד עם זאת, שן המסור בוטלה, מכיוון שלא הייתה רלוונטית לתצורת הכנפונים. בניגוד לכנפונים במיראז' 2000 שחולקו לשני משטחים נפרדים, ב**טכנולוג** הותקן משטח אחיד לאורכה של כל שפת ההתקפה. לצורך הניסוי הותקנו בכנפונים אמצעים למדידות העומסים האווירודינמיים שהתפתחו עליהם בתנאי הטיסה השונים.

הטכנולוג המריא לראשונה עם כנפוני שפת ההתקפה בכנף באפריל 1979, והחל בביצוע סדרת טיסות ניסוי במעטפת טיסה מצומצמת עד למהירות של 450 קשרים (מאך 0.9). ניסויים אלו הוכיחו שיפור של כ-20% במקדם העילוי המרבי, ושיפור של כ-10% בביצועי פנייה מיוצבת. מגבלת זווית התקפה שתחמה את תחום היציבות הרוחבית הורחבה ב-8 מעלות. בסדרה זו בוצעו 45 טיסות ניסוי, שבהן הפגין **הטכנולוג** עליונות בתמרונים קרבות אוויר מול מטוס **כפיר קנארד**. בתום סדרת הניסויים המטוס הוחזר לתצורת שן מסור, ללא הכנפונים.

מלווה כפיר סחרור

השלב האחרון בפיתוח **הכפיר קנארד** הוקדש לבחינת תכונות הסחרור של המטוס. תוכנית ניסויי הסחרור החלה בסדרת ניסויים

טיסה והאחריות ההנדסית על ביצוע ההסבה הוטלה על אנשי האנגר אב-טיפוס. במסגרת ההסבה הוחלף גם מנוע המטוס בגרסה משופרת, ומכל הדלק בבסיס סנפיר הגחון מאחור הוחלף במכל שתוכן עבור **הכפיר**, בעל קיבולת גדולה יותר בכ-400 ליטר. בגמר עבודות ההסבה **הטכנולוג** נצבע בגווני כחול כהה ולבן, ועל חרטומו הוטבע הלוגו **Kfir TC**. **הטכנולוג** ביצע שתי טיסות בתצורה דו-מושבת בנובמבר 1977, ולאחר מכן הוחזר לתצורת ניסוי לצורך ביצוע סדרת ניסויים לפתיחת מעטפת טיסה לנמוע המשופר. ניסויים אלו בוצעו בין דצמבר 1977 למאי 1978, במהלכן ביצע **הטכנולוג** 39 טיסות.

בין מאי ליולי 1978 נערכו 17 טיסות ניסוי לאישור מעטפת ירי טילים לתצורת **הכפיר** – טיילי **פיתוח 3** ו**דקר** מתחנות קצה כנף (1 ו-7) וירי טיילי **דקר** מהתחנות הסמוכות להן (2 ו-6).

כנפוני שפת התקפה

הניסיון שצברו מהנדסי חטיבת הנדסה בתוכניות **הטכנולוג** ו**הכפיר** נטע ביטחון בקרב אנשי **התע"א** ביכולתם לפתח מטוס קרב חדש לחלוטין, שיוכל לשמש כחוד החנית של חיל האוויר הישראלי. עם זאת, עלויות הפיתוח הגבוהות חייבו את הצורך בגיוס שותף זר לפרויקט. לאחר שנמצא שותף זר למימון הפיתוח, הושק בשנת 1975 תהליך תיכון

ירי הטיילים, ששינתה את כיוון להבי ההכוונה במדחס של המנוע למניעת כניסת גזי הפליטה של הטיילים. למרות זאת, שינויי הברקנים מתחנות אלו גרמו להזדקרויות מדחס, ותצורה זו לא אושרה.

באותה עת הוחלט, שלאור מגבלות לוחות הזמנים לאספקת מטוסי **הכפיר** לחיל האוויר תיוצר מנת הייצור השנייה בתצורת בניים שתתאים להסבה לתצורת הקנארד לכשזו תאושר. תצורה זו כללה מבנה מחוזק של אזור כונסי האוויר ומעבר מדורג לכנף עם שן מסור ולגדרות חרטום. לאור זאת נדרש **הטכנולוג** לבצע סדרת טיסות ניסוי מקדימות לבחינת תצורת שן מסור בשילוב עם גדרות החרטום. לשם כך הוסרו מהמטוס משטחי הקנארד באופן זמני. באוקטובר 1975 ביצע **הטכנולוג** 29 טיסות ניסוי לבחינת תצורת שן מסור וגדרות חרטום, ללא קנארד. תוצאות ניסויי הטיסה הכתיבו את הצורך לערוך ניסויים דומים גם במטוס **כפיר** סדרתי (מספר 740), שהוקצה לצורך זה ומותקן בהתאם.

ניסויי הטיסה של **הטכנולוג** בתצורת קנארד נמשכו עד לספטמבר 1976, ובמהלכם ביצע המטוס 189 טיסות. בתקופה זו הכשירה **התע"א** מספר מטוסי **כפיר** נוספים כאבות-טיפוס לעריכת ניסויי טיסה שונים. טיסות הניסוי שנערכו לתצורת הקנארד ב**טכנולוג** וב**כפיר** הצביעו על התאמה טובה לתוצאות ניסויי המנהרה ולחישובים המוקדמים, והוכח שתצורה זו שיפרה בצורה משמעותית את ביצועי **הטכנולוג** ו**הכפיר** בקרבות אוויר.

חזרה לתצורה דו-מושבת

בשנת 1977 החליטה מנהלת הפרויקט להסב את **הטכנולוג** לתצורה דו-מושבת, כדי שישמש הן כמטוס הדגמה ל**כפיר קנארד** שבו יטוסו טייסים אורחים, והן כמטוס ליווי לטיסות הניסוי שנערכו באותה העת על-ידי אבות-הטיפוס של **הכפיר**. יחד עם זאת, המינהלת ביקשה לשמור על האפשרות לשוב ולהשתמש ב**טכנולוג** כמטוס ניסוי. הרעיון המרכזי היה להחליף את מסד מכשור ניסויי הטיסה ששימש בניסויים הקודמים במסד חדש שיתאים להתקנה חלופית במקומו של מושב המפלט. בכך תהיה אפשרות להתקין בתא האחורי לסירוגין מושב מפלט לאיש צוות שני או מסד מכשור ניסויי טיסה, כאשר המעבר בין התצורות יארך כיומיים-שלושה. תצורה זו של **הטכנולוג** סומנה **TC**.

תיכון מסד המכשור החדש, שכונה "מושב מכשור", בוצע על-ידי צוותי מחלקת ניסויי

הטכנולוג בתצורה דו-מושבת, עם שני טייסים בתוכו. למספר המטוס נוספה הקידומת 9.





טייס הניסוי דני שפירא עומד בתא הקדמי של הטכנולוג. מחוץ לתא האחורי בסרבל הכתום יושב הטייס רוני שפירא, בנו של דני.

הטיסה; הכנפיים הוחזרו לתצורת כנפוני שפת ההתקפה, והמטוס נצבע מחדש לצורך תצוגה סטאטית. בינואר 1984 הועמס הטכנולוג על מוביל טנקים והוסע אחר כבוד לחצרים. מאז פתיחת מוזיאון חיל האוויר לקהל הרחב, ביוני 1991, הטכנולוג תופס מקום של כבוד בשורת מטוסי הדלתא של חיל האוויר כחולייה המקשרת בין השחק למטוסי הנשר והכפיר. □

המחבר מודה למשה גרידי מארכיון התע"א, מנחם שמול, זאב מדרר ובן-עמי גוב, על סיועם בהכנת הכתבה. התמונות מארכיון התע"א ומאוסף רענן וייס.

למוזיאון חיל האוויר

הטכנולוג קורקע בתום סדרת ניסויי הכפיר שחרור, לאחר שהשלים בהצלחה 730 טיסות ניסוי במשך כ-13 שנים, שבמסגרתן הוכחו פריצות הדרך העיקריות בתוכנית פיתוח הכפיר. טיסתו האחרונה של הטכנולוג בוצעה ב-5 בדצמבר 1983, כשבספר המטוס רשומות 700 שעות טיסה ו-1,267 נחיתות בסך הכול.

כדי לשמר את המטוס רב-החשיבות, הוחלט להעבירו לאוסף המטוסים ההיסטוריים בבסיס חיל האוויר חצרים, שהיווה את הגרעין למוזיאון החיל. בדצמבר 1983 נערכו עבודות הכנה לקראת העברת המטוס, שכללו את הסרת המנוע, מושבי המפלט וציוד ניסויי

שבוצעה על גגם של מטוס כפיר C2 במנהרת שחרור אנכית בארה"ב. בשלב הבא נדרש לבצע בפועל ניסויי שחרור למטוס כפיר ייעודי שיותאם לניסויים אלו, שכונה "כפיר שחרור". אחד מאבות-הטיפוס של הכפיר (מספר 814) הוסב לתצורת ניסויי שחרור, שכללה בין היתר התקנת מצנח להיחלצות מסחרור בהתקן מיוחד שהורכב בזנב המטוס.

ביצוע ניסויי השחרור המורכבים הכתיבו צורך במטוס ליווי, שסייע לטייס במטוס הניסויי המסתחרר. הטכנולוג, שסיים את סדרת הניסויים שיועדו לו, היה זמין למשימה זו. מעצם היותו מטוס דר-מושבי, ניתן היה לשלב בטיסות הליווי עוד זוג עיניים משגיחות. טיסות הליווי לכפיר שחרור החלו באפריל 1981 והסתיימו בשנת 1983.

העברת הטכנולוג ממתקני התע"א בנתב"ג לבסיס חצרים בינואר 1984.





שחק דו-מושבי מספר 88 בתצורתו המקורית, עם מנוע אטאר 9B, בעת שירותו בטייסת 117 של חיל האוויר ב-1967.



הטכנולוג בתצורת הניסוי הראשונה לאחר השתלת מנוע ה-179J, בסוף 1970. במטוס מותקנים הגרסאות הראשונות של מקטע הגוף האחורי ולוכדי האוויר לקירור המנוע. מסד ציוד ניסויי הטיסה חוסה תחת החופה האטומה של תא הטייס האחורי.



הטכנולוג בתצורת קנארד בשנת 1975. מקטע הגוף האחורי ולוכדי האוויר לקירור המנוע עודכנו. התקנת מסד ניסויי הטיסה נראית בתא האחורי. למספר הזנב נוספה הקידומת 9.



הטכנולוג בתצורת כנפוני שפת התקפה ב-1979. בתא האחורי הותקן "מושב מכשור", שניתן היה להחליפו במושב מפלט לאיש צוות שני.



מדוע נבחרה תצורת הקנארד לכפיר ?

האפשרות ניתן להגדיל את כוח העילוי הכולל במידה משמעותית ביותר. בנוסף לכך, גדל גם כוח העילוי הכולל בזווית התקפה קבועה, הודות לעילוי הנוסף הנתרם על-ידי הכנפיים הקדמיות שפועלות כמשטחים יוצרי עילוי.

הגאים בכנף דלתא

ניהוגו של מטוס בעל כנף דלתא, שאינו מצויד בזנב אופקי, במישור העלרוד מתבצע על-ידי המשטחים הנעים בשפת הזרימה של כנף הדלתא. אלה משמשים הן כהגאי גובה (elevators) כשהם מוטים בצורה סימטרית, והן כמאזנות (aileron) כשהם מוטים בצורה א-סימטרית. בגלל תפקודם הכפול מכונים הגאים כאלה בשם אלוונים (elevons).

תפקידם של ההגאים ליצור מומנט עלרוד, חיובי או שלילי, סביב מרכז הכובד של המטוס ועל-ידי כך לגרום להרמת אף או הורדת אף של המטוס. ערכו של מומנט זה נקבע על-ידי מכפלת כוח העילוי המקומי באזור ההגאים במרחקו ממרכז הכובד של המטוס.

מומנט העלרוד הנוצר על-ידי ההגאים צריך להיות גדול ממומנט העלרוד הבסיסי של המטוס (שנקבע על-ידי מכפלת כוח העילוי הבסיסי של המטוס, בזווית התקפה נתונה, במרחק פעולתו ממרכז הכובד), כדי שישנה את מצב המטוס. כדי להשיג טיסת שווי משקל יש להטות את ההגאים בזווית כזאת, שמומנט העלרוד שהם יוצרים יהיה שווה בערכו ומנוגד בכיוונו למומנט העלרוד הבסיסי של המטוס.

במטוס יציב כוח העילוי פועל במרכז האווירודינמי הנמצא מאחורי מרכז הכובד, ולכן יוצר מומנט עלרוד בסיסי השואף להוריד את האף. לפיכך, ההגאים חייבים ליצור מומנט עלרוד המרים את האף, וזאת על-ידי הטייתם כלפי מעלה. הטיה כזאת של האלוונים יוצרת כוח עילוי מקומי כלפי מטה, המקטין את העילוי המקווא של המטוס.

המרחק בין המרכז האווירודינמי לבין מרכז הכובד מכונה "מרווח היציבות" – ככל שמרחק זה גדול יותר, המטוס יותר יציב, אך דרושה הטיה בזווית יותר גדולה של האלוונים (כלפי מעלה) כדי לאזן ולנהג את המטוס. הטיה גדולה כזאת של האלוונים מקטינה במידה ניכרת את העילוי המקווא של המטוס.

במטוס קיים אי אפשר לשנות במידה ניכרת

ההתקפה, וכתוצאה מכך גדל כוח העילוי. ברם, לא ניתן להגדיל את זווית ההתקפה מעבר לערך קריטי מסוים בו מאבדות המערבולות את יציבותן ומתפזרות. התופעה מתחילה במרחק מסוים במורד הזרם (אחורה משפת הזרימה) ונעה קדימה, בד-בבד עם הגדלת זווית ההתקפה. התפזרות המערבולות גורמת להפסד עילוי ואיבוד יציבות המטוס. הניתוקים מתחילים בקצות הכנף ומתפשטים פנימה לעבר שורש הכנף.

תופעה אווירודינמית זאת מגבילה את זווית ההתקפה המרבית שמשוגל לפתח מטוס קרב בעל כנף דלתא, ובשל כך מוגבל גם העילוי המרבי של המטוס בקרבות אוויר. אחד האמצעים הפשוטים יחסית להגדלת העילוי בשלבי ההמראה והנחיתה וכן בתמרון בקרבות אוויר הוא התקנת כנפיים קטנות לפני ומעל הכנף הראשית, שתורמות לשיפור שדה הזרימה מעל לכנף. תצורה זו, שישמה במטוס הקרב השוודי **סאב 37** ויגן במחצית השנייה של שנות ה-60, נקראת קנארד – לאור הדמיון לצורתו של הברווז, שנקרא בצרפתית Canard. מהנדסי חטיבת הנדסה בתע"א שאבו השראה מהפיתוח האווירודינמי המוצלח של השוודים, ופעלו להתאמת תצורת הקנארד בכפיר.

יתרונות תצורת הקנארד

תצורת הקנארד מבוססת על השפעת גומלין חיובית בין שדה הזרימה של כנפיים הקדמיות הקטנות לשדה הזרימה של הכנף הראשית. הכנפיים הקדמיות הקטנות, שמותקנות במרחק קטן לפני הכנף הראשית ובגובה מועט מעליה, משוכות גם הן בזווית גדולה לאחור ושדה הזרימה שלהן דומה לזה של הכנף הראשית: זוג מערבולות נוצר בשפות הזרימה ונמשך אחורנית מעל לכנף הראשית. מערבולות אלה זורמות באזור הלחץ הנמוך השורר מעל לכנף הראשית ומחזקות את מערבולות הכנף הראשית. השפעת הגומלין החיובית בין שתי מערכות המערבולות תורמת להגברת עוצמתן ויציבותן ולדחיית תופעת פיזור המערבולות לאווית התקפה גבוהה בהרבה מאשר בכנף דלתא רגילה.

כידוע, כוח העילוי גדל ככל שגדלה זווית ההתקפה – כל זמן שהזרימה על הכנף יציבה. על-ידי הגדלת זווית ההתקפה המרבית

בפיתוח הכפיר הציבה לעצמה התע"א כמטרה לשפר את ביצועי המיראז' 5 (נשר) במידה המרבית האפשרית, במסגרת הידע שהיה קיים בראשית שנות ה-70 והטכנולוגיות שהיו זמינות אז.

הצעד הראשון היה החלפת המנוע הצרפתי במנוע אמריקני חזק ואמין יותר. התקנת מנוע המפתח דחף גדול יותר משפרת את ביצועי המטוס בהאצה, נסיקה ותמרון מיוצב (ללא איבוד מהירות וגובה), אולם כדי לשפר עוד יותר את כושר התמרון של המטוס יש צורך להגדיל את העילוי – דבר הדורש שינויים משמעותיים בתצורה האווירודינמית החיצונית של המטוס.

מטוסי המיראז' שפיתחה חברת דאסו הצרפתית התאפיינו בכנף דלתא בעלת מנת ממדים (היחס בין ריבוע מוטת הכנף לבין שטח הכנף) קטנה ושפת התקפה המשוכה בזווית גדולה לאחור (60 מעלות). כנף כזאת עונה ביעילות רבה על דרישות הטיסה בתחום העבר-קולי והעל-קולי, הן מבחינת הביצועים והן מבחינת יציבות המטוס. אלא שהעילוי שיוצרת כנף כזאת בתחום התת-קולי והעבר-קולי נמוך במידה ניכרת מזה של כנפיים טרפזיות, דוגמת זו של ה-F-16.

אופי זרימת האוויר על כנף דלתא הוא מיוחד במינו: בזווית התקפה קטנות (עד 8 מעלות בערך), זרימת האוויר צמודה למשטח הכנף. עם הגדלת זווית ההתקפה ניתקת הזרימה מן הכנף ונוצר זוג מערבולות הנסחף משפת ההתקפה לכיוון שורש הכנף. בניגוד לכנפיים בלתי משוכות לאחור או משוכות בזווית קטנה, שבהן ניתוק הזרימה על פני הכנף גורם להזדקרות ואיבוד עילוי, זוג המערבולות הנוצרות על כנף הדלתא תורמות במידה ניכרת להגדלת העילוי על-ידי יניקה חזקה בצד העליון של הכנף. מערבולות אלה מתחזקות ככל שגדלה זווית

כתבה זו היא תקציר של מאמר שכתב יהודה בורוביק בשנת 1976. בעת ההיא הוא עבד כמהנדס אווירונאוטיקה (M.Sc.) במחלקת אווירודינמיקה בחטיבת הנדסה של התעשייה האווירית לישראל, והשתתף מאז 1970 בתוכניות הפיתוח של הטכנולוג, הכפיר והכפיר קנארד. לפני כן הוא השתלם בחברת Avions Marcel Dassault בצרפת.

"גדרות חרטום". משטחים ארוכים וצרים אלה, המותקנים אופקית משני צדי החרטום, מגדילים במידה ניכרת את יציבות הכיוון באוויות התקפה גבוהות, עד 31 או 32 מעלות. מהנדסי חטיבת הנדסה בתע"א הוכיחו בניסויי מנהרה ובניסויי טיסה כי התצורה הכוללת של כנף דלתא עם שן מסור, משטחי קנארד וגדרות חרטום – מהווה את הצירוף המתאים שמבטיח כושר טיסה באוויות התקפה גבוהות יותר מאשר במייראז' תוך שמירה על יציבותו האורכית (בעלרוד) והרוחבית (בסיבסוב ובגלגול) של הכפיר קנארד.

ביצועי הכפיר קנארד

כושר התמרון של הכפיר בתצורת קנארד עולה על זה של הכפיר הבסיסי הן בתמרון מיוצב (פנייה ברדיוס הקטן ביותר תוך שמירה על מהירות וגובה טיסה) והן בתמרון רגעי מקסימלי (פנייה ברדיוס הקטן ביותר תוך ניצול כל כוח העילוי אותו ניתן להשיג, ללא התחשבות בדחף המנוע. בתמרון כזה המטוס מפסיד גובה ומהירותו קטנה).

שיפור ניכר זה בביצועים מושג בזכות הגורמים הבאים: הגדלת העילוי הבסיסי באוויות התקפה קבועה; הגדלת זווית ההתקפה המרבית בה יכול המטוס לטוס (מכ-21 מעלות בכפיר בסיסי לכ-31 מעלות בכפיר עם קנארד); הקטנת מרווח היציבות; והקטנת הגרר המושרה באוויות התקפה גבוהות.

הגדלת העילוי הבסיסי תורמת גם לשיפור ביצועי ההמראה והנחיתה: ניתן להמריא במהירות ניתוק נמוכה יותר ולקצר על-ידי כך את מרחק ריצת ההמראה, ובאופן דומה ניתן גם להקטין את מרחק ריצת הנחיתה. □

מסור" בכנף, שהיא בליטה קדימה היוצרת מדרגה בשפת ההתקפה. תפקידה של שן המסור ליצור מערבולת היונקת את שכבת הגבול בחלק העליון של הכנף ודוחה את הניתוק בקצוות. בניסויים במנהרות רוח הוכח כי התצורה הכוללת של כנף דלתא עם שן מסור ומשטחי קנארד מבטיחה טיסה יציבה באוויות התקפה גבוהות ביותר, ללא ניתוקים בקצות הכנף.

בעיות יציבות רוחבית

תכונה ידועה של רוב מטוסי הקרב בעולם היא הקטנת יציבות הכיוון (יציבות המטוס במישורי הסיבסוב והגלגול, הנקראת גם יציבות רוחבית) ככל שמגדילים את זווית ההתקפה. הקטנת יציבות הכיוון גורמת לרעידות שמפריעות לטייס בעקבה מדויקת אחרי מטרת בקרבות אוויר, ואילו איבוד מוחלט של יציבות הכיוון עלול להכניס את המטוס לסחרור. מכיוון שטיסה באוויות התקפה גבוהות היא חיונית לשיפור כושר התמרון של מטוס הקרב, הכרחי לפתח אמצעים לשמירת יציבות הכיוון של המטוס.

התקנת משטח נוסף לפני הכנף ומעליה, בתצורת קנארד, גורמת להקטנה נוספת ביציבות הרוחבית של המטוס, כפי שגילו מהנדסי סאאב בתיכון הווינגן כבר בשלבי הניסויים הראשונים: המערבולות היוצאות מן הקנארד ופוגעות בזנב האנכי (מייצב הכיוון) מקטינות את יעילותו של המייצב בטיסה באוויות החלקה, ובנוסף לכך נוצרים מומנטי גלגול גדולים. ניתן לשפר את יציבותו הרוחבית של המטוס על-ידי הגדלת גובהו של מייצב הכיוון ועל-ידי התקנת מייצבים נוספים קטנים בגחון הזנב, אולם הפתרון שהוכח כיעיל ביותר הוא התקנת

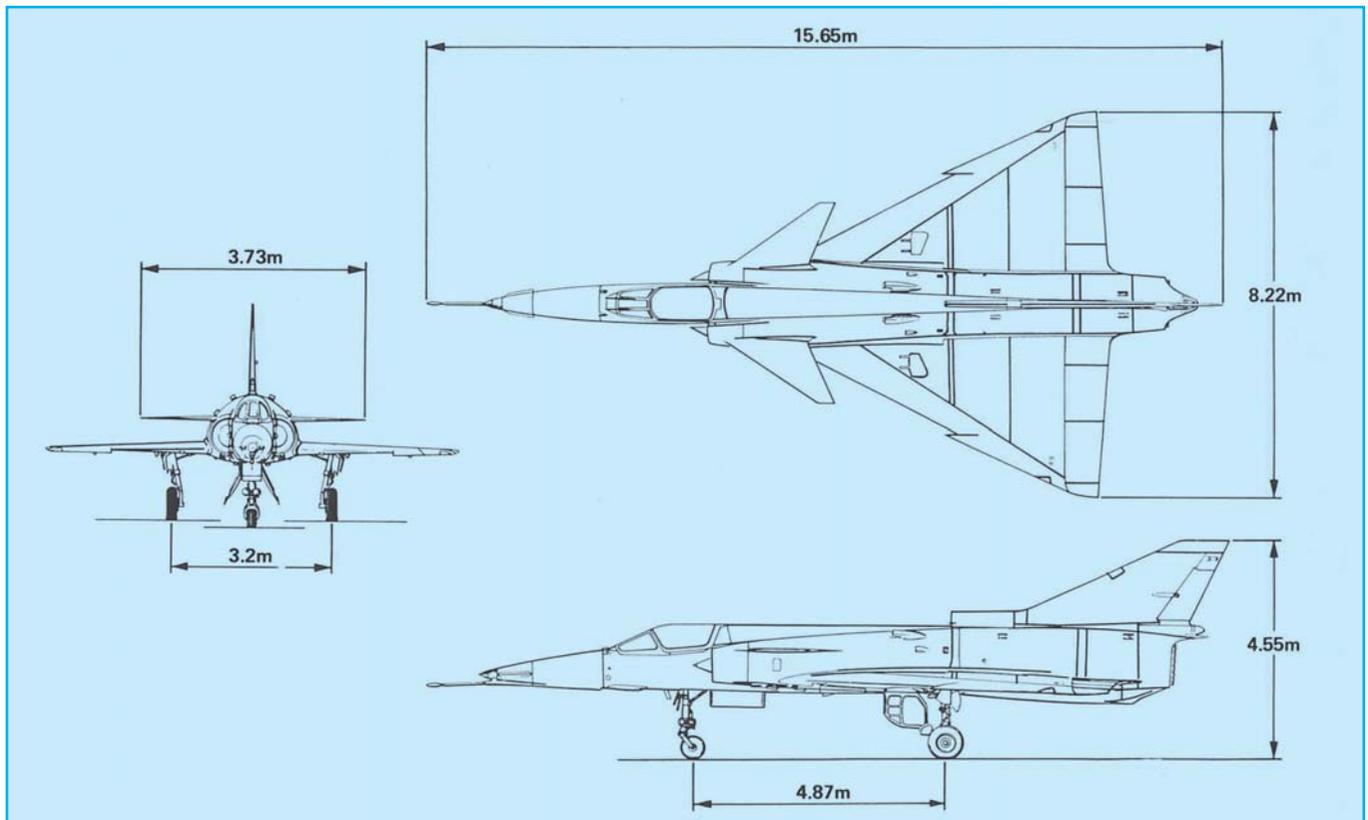
את מיקום מרכז הכובד. לפיכך, ניתן להקטין את מרווח היציבות רק על-ידי שינוי מקום המרכז האווירודינמי. מכיוון שכנפי הקנארד מורכבות לפני הכנף, הרי שהן מזיזות את המרכז האווירודינמי קדימה ובאופן זה מצמצמות את המרחק בין מרכז הכובד (הקבוע, פחות או יותר) למרכז האווירודינמי.

להקטנת מרווח היציבות השפעה כפולה על שיפור כושר התמרון של מטוס הקרב: מחד גיסא, נדרשת במצב זה הטיה קטנה יותר של האלוונים כלפי מעלה (בכדי לאזן את המטוס או בכדי להרים את האף), ועל-ידי כך משיגים כוח עילוי מקוּזָז גדול יותר מאשר עם מרווח יציבות גדול; מאידך גיסא, הקטנת מרווח היציבות הופכת את המטוס להיות "רזיז" יותר, והתגובה להטיית ההגאים הינה מהירה הרבה יותר מאשר במטוס בעל "עודף יציבות".

אולם התופעה הזאת של הקטנת מרווח היציבות מציבה מנגלה חמורה על גודלו של משטח הקנארד אותו ניתן להתקין על מטוס מסוים, שכן יש להבטיח כי המטוס יישאר יציב, כלומר: שהמרכז האווירודינמי לא יעבור קדימה ממרכז הכובד. משטחי הקנארד שהורכבו על הכפיר (שטחם כ-8% משטח הכנף) הם בגודל המרבי שעדיין מבטיח את שמירת יציבותו של המטוס.

שן מסור בכנף

תופעת הניתוק של המערבולות על הכנף, שהוזכרה לעיל, מתחילה בקצות הכנפיים. כדי למנוע ניתוק מוקדם מדי של המערבולות, התקינו מהנדסי דאסו חריץ קטן בשפת ההתקפה של כנף המייראז' המקורי. פתרון יעיל יותר מן החריץ הוא התקנת "שן





כמו שרה", הוא כותב. "גדולתה התגלתה ביתר שאת אחרי התאונה בדרך קבלתה אותי, אדם אחר, נכה, מוגבל". המזל השני היה הישארותו בחיים אחרי התאונה, בזכות עץ האקליפטוס הגדול: "האם יכול מישהו לשנות את דעתי שהופעת העץ בשנייה המדויקת ובמקום המתאים אינה אלא משחקו של המזל?!" אבל בצד השבחים על הספר, יש לנו ביקורת בכמה היבטים שצורמים לנו. מבחינת העריכה, מוזר מאוד שלא טרחו לכלול בספר תוכן עניינים. כמו-כן, בניגוד למקובל כמעט בכל הספרים האוטוביוגרפיים, אין בספר אפילו תמונה אחת של המחבר, של בני משפחתו ושל המסוקים אותם הטיס. מבחינת הפירוט בסיפורים, בראל מזכיר רבים מחבריו, עמיתיו, ושותפיו לפעילות, אבל ברוב המקרים רק ברמז או בשם הפרטי, מבלי לזהות אותם כהלכה בשם המלא. הוא אפילו לא טורח להזכיר את סוג המסוק שבו התרסק ונפצע, שלא לדבר על זיהוי מלא של המסוק (כפי שאנו מפרטים בסקירה זו).



אני לוקח, מאת יורם רומם
הוצאת כנרת, זמורה, דביר, 2021
המחיר לספר מודפס בן 415 עמודים: 98 ש"ח.
ספר דיגיטלי ביישומון עברית: 44 ש"ח.

יורם רומם (במקורו: הבר) התגייס לצה"ל באוגוסט 1968 ונשלח לקורס טיס בחצרים. הוא סיים את הקורס בהצלחה במאוס 1970 כנווט קרב, ונשלח לטייסת 69 ברמת דוד לקורס הסבה ל**פאנטום**. לאחר מכן הוצב בטייסת 201 בחצור, בה שירת עד אוגוסט 1974. רומם השתתף בגיחות מבצעיות רבות במלחמת ההתשה ובמלחמת יום הכיפורים. באחת הגיחות הראשונות שלו לתקיפה במצרים, ב-3 באוגוסט 1970, נפגע **הפאנטום** שלו מטיל SA-3. הטייס רען נאמן נפצע בכף ידו השמאלית, ולא יכול היה להטיס את המטוס בכוחות עצמו. "אף על פי שהדבר חרג

בלבד. על פעילותו זו זכה בציון לשבח ממפקד חיל האוויר, אלוף מוטי הוד. חודשים מעטים לאחר המלחמה הוסמך בראל לקברניט S-58. ב-1969 עבר לטייסת 123 בחצרים, שהפעילה אז מסוקי **בל 205**. הוא נשלח לקורס מדריכים, ובהמשך מונה למפקד קורס מתקדם מסוקים. ב-1972 קודם בראל לראש מדור מסוקים במחלקת הדרכה במטה חיל האוויר. במלחמת יום הכיפורים ביצע טיסות מבצעיות רבות, וביניהן חילוץ טייס שנשט בשטח מצרים.

בשנת 1974, כשהוא בן 27.5 ובדרגת רב-סרן, מונה בראל למפקד טייסת 125 בשדה דב, שהפעילה את המסוקים הקלים, ופיקד על הטייסת במשך שנתיים. בתום התקופה הוצע לו התפקיד של סגן מפקד המנהלת לתכנון מוצב הפיקוד (הבור) של חיל האוויר. בראל לא נהנה מתפקידי מטה, מכיוון שרצה להמשיך לטוס במשרה מלאה. לפיכך, החליט להשתחרר מצה"ל, וסיים ב-30 ביולי 1976 שירות בן עשר שנים. יום אחד לאחר שחרורו החל לעבוד כטייס בחברת **כימאוויר**. הוא התמיד לעבוד בחברה ובגלגוליה השונים (**כיס-ניר**) במשך כ-26 שנים, עד שתאונה קטעה את הפרק הטיסתי בחייו. ב-24 במאי 2002 יצא בראל למשימת צילום סרט תדמית על מפעלי **נשר ברמלה** במסוק **בל 206B ג'ט רנג'ר III (4X-BJH)**, יחד עם הצלם דוד בר-ייתח ובמאי הסרט. בטיסה מעל ארובות המפעל לייצור מלט (שאמורות היו להיות כבדות, אך בכל זאת פלטו גזים) כבה מנוע המסוק, והוא נפל לקרקע. בראל השכיל לשכך במעט את הנפילה כשהפנה את המסוק הנופל לכיוון עץ אקליפטוס גדול, וכך תיאר: "עם הפגיעה בעץ נשמע רעש נורא והיו זעזועים חזקים. הלהבים פגעו בענפים שנשברו בקול קריעה אדיר, והמסוק נפל והידרדר בין ענפיו הגדולים עד שפגע בקרקע, חרטומו תקוע באדמה וזנבו מורם אל על".

תוצאות התאונה היו חמורות ליושבי המסוק: הבמאי שישב ליד הטייס יצא אמנם כמעט ללא פגע, אך יוסי בראל ודוד בר-ייתח נפצעו קשה. בראל נותר נכה ב-100% עם פגיעה חמורה בעמוד השדרה, ולבר-ייתח נקבעו 50 אחוזי נכות. קורות החיים של יוסי בראל מעניינים, והוא מתאר אותם בכתיבה שוטפת ומרתקת (בזכות עריכה לשונית נאותה של ההוצאה). החלק הראשון בספר מוקדש לתקופת התבגרותו והגיוס לצה"ל. בחלק השני הוא מתאר את תקופת שירותו בחיל האוויר. החלק השלישי עוסק בשנות פעילותו כטייס מסוקים אזרחי, כשהוא מבצע משימות ריסוס, צילום ותובלה, ועוסק גם בתחביב של שיפוץ מכוניות עתיקות. בחלק הרביעי מתאר בראל את התאונה והשלכותיה, כאשר הוא חוזר לחיים אחרים אחרי תהליך שיקום וקימום ארוך. בחלק החמישי הוא מתאר את חייו החדשים, אותם הוא מגדיר: "נולדתי מחדש".

ולמה הכוונה בשם הספר **המזל שיחק פעמיים**? בראל מסביר בפרק "סוף הדבר" כי המזל הראשון שלו היה הפגישה עם שרה בתקופת קורס הטיס, אותה נשא לאישה ביוני 1968 ומאז הם לא נפרדו. "אין בעולם אישה

לרשימה הארוכה של ותיקי חיל האוויר שפרסמו ספרים אוטוביוגרפיים על קורותיהם ופעילותם התוספו בשנה החולפת טייס המסוקים רס"ן (בדימוס) יוסי בראל ונווט הקרב אל"ם (בדימוס) יורם רומם. להלן סקירת הספרים שלהם.



המזל שיחק פעמיים, מאת יוסי בראל
הוצאת מדיה 10, 2021
290 עמודים בכריכה רכה. המחיר: 79 ש"ח

יוסף בראל (במקורו: ברנשטיין) ביקש להמשיך בקריירה מוזיקלית כנגן חצוצרה ולשרת בתזמורת צה"ל, אך בלשכת הגיוס החליטו לשלוח אותו לקורס טיס, לאור הצלחתו במבחנים המוקדמים. הוא התחיל את הקורס בבסיס תל-נוף באוגוסט 1964 וסיים בהצלחה כעבור שנתיים. לאחר סיום קורס הטיס האחד (כמקובל אז), עבר הסבה למסוקים והתאמן על **הבל 47** הקטן, ובסיום הכשרתו הוצב בטייסת 124 זטייס-משנה ב**סיקורסקי S-58**. במלחמת ששת הימים השתתף בראל במשימות תובלת סער, ביניהן הטסת והנחתת גדוד הצנחנים באום כתף בסיני, והטסת כוח מהאוגדה של האלוף אלעד פלד לרמת הגולן. ביום השלישי של המלחמה הוזנק יחד עם טייס צעיר אחר (שניהם טייסי-משנה לא מנוסים, בעלי ותק של פחות משנה בטייסת) למשימת חילוץ של טייס קרב שנשט בסיני. הטייס הנוטש לא אותר במיקום הקרוב שאליו נשלח המסוק, והתברר כי הוא נמצא בעומק שטח מצרים, לא רחוק מתעלת סואץ. בראל החליט להמשיך בכל זאת במשימה הלא מתוכננת, "טסים אל הלא-נודע". הם הצליחו לאתר את הטייס הנוטש על פסגת הר ליד אזור המתלה וחילצו אותו. בגלל מחסור בדלק, נאלצו לנחות בדרכם חזרה ליד כוח של צה"ל שהתקדם מערבה, כשבמכלי המסוק כ-20 ליטר דלק

טכנולוגיים בכירים בתחומי התוכנה, ותפקידו האחרון בחיל האוויר היה מפקד יחידת מערכות המידע 180 בדרגת אלוף-משנה. רומם השתחרר מצה"ל בקיץ 1991 ופנה לנהל חברות תוכנה ומחשוב: **סאפינס טכנולוגיות** (Expert Solutions International) ESI. באוגוסט 2003 עבר רומם אירוע מוחי שפגע בתפקודו, אך הוא הצליח להשתקם. רומם השלים לימודי דוקטורט בפילוסופיה של המדע באוניברסיטת בר-אילן, וחזר לעסוק בהייטק כ"סטארט-אפסט".

רק 125 מתוך 415 עמודי הספר עוסקים בנושאי טיסה צבאית, המעניינים אותנו. כל השאר מתרכז בנושאי הייטק, יזמות וניהול, שמעניינים פחות את חובבי התעופה.

פצצות נפלם שהטילו מטוסי ה-B-29 מגובה 5,000 רגל, שבה נספו כ-100,000 יפנים. אחרי התקיפה הנוראית הזאת, המשיכו קרטיס לה-מיי ופיקוד המפציצים מס' 21 שלו להתרוצץ ברחבי יפן כמו חיות פרא, והעלו באש 67 ערים פניויות. גם התקיפות האלה לא הכניעו את האויב היפני היעקש, והניצחון הושג באמצעות שתי פצצות אטום.

גלדוול מעלה בספרו את הבעיות המוסריות הקשות שעלו במלחמת העולם השנייה. אנשי "כנופיית המפציצים" ניסו לשים סייגים, באומרים: "אנחנו לא חייבים לטבוח בחפים מפשע ולשרוף אותם לבלי היכר, רק כדי להשיג את היעדים הצבאיים שלנו. אנחנו יכולים להשתפר". אבל חוסר יכולתם להציג הישגים של ממש חייב את המנהיגים לאשר נקיטה בדרכים קטלניות ואכזריות הרבה יותר, כולל הטלת פצצות אטום על יפן.

הטכנולוגיות שמאפשרות הפצצה מדויקת פותחו שנים רבות לאחר מכן. ולאור זאת, גלדוול מסיים את הספר במשפט: "קרטיס לה-מיי ניצח בקרב. הייוד הנסל ניצח במלחמה".

תרגום משובש

בספרים העוסקים בנושאים תעופתיים אנו מגלים בכל פעם טעויות צורמות בתרגום, מכיוון שהמתרגמים אינם מתמצאים בנושאי התעופה המורכבים ואינם מכירים את המונחים המקצועיים המקובלים. בספר זה מצאנו מעט טעויות טעויות תרגום כאלה. הטעות הצורמת ביותר היא לגבי כינויו של איש הצוות במטוס ההפצצה שמופקד על הטלת הפצצות. התרגום הנכון למונח האנגלי bombardier הוא "מטיילן", ולא "מפציץ" כפי שכותב גיא הרלינג.

ה landing gear זה "כך-נסע", ולא "ציוד נחיתה". ה pressurized fuselage זה "גוף מדוחס", ולא "מרכב עם מערכת ויסות לחץ". מטוסי הקרב במלחמת העולם הראשונה היו חמושים ב"מקלעים", ולא ב"רובים". ה reconnaissance זה "סיוור וצילום", ולא "גישוש".

בנוסף, גיא הרלינג מאוד לא מדייק בהמרת יחידות מידה בריטיות ואמריקניות ליחידות מטטריות, בהתייחס למשקלים ומרחקים.

לסיכום: כנופיית המפציצים הוא ספר מומלץ לחובבי היסטוריה תעופתית. קראנו אותו בהנאה ובעניין רב תוך יום אחד.

אבל לא מזכיר אפילו במילה אחת את הביקורת על התנהלות חיל האוויר במלחמה (נושא בו עסקנו בהרחבה בגיליון הקודם, בסקירת הספר **מלחמה משלו**). רומם מעלה ביקורת רק בנושא אחד: "הקלות הבלתי נסבלת של הלוחם האווירי בקבלת ההחלטה להפסיק להילחם". בכך הוא מתייחס לכמה מקרים של טייסים שהחליטו לקרקע את עצמם בעקבות בעיות בריאות לא חמורות במיוחד או חרדה מוגזמת, אך הוא נמנע מלזהות אותם.

רומם לא התמיד בקריירה טיסתית, פרט להצבות חירום בטייסת, אלא בחר בדרך מקצועית בתחום הטכנולוגי. הוא סיים לימודי מדעי המחשב בטכניון על חשבון הצבא, ולאחר מכן חזר לשירות ביחידת ממד"ס (מערכות מבצעיות הנדסיות). הוא מילא תפקידים

גלדוול מתאר ומנתח בצורה ברורה ומרתקת את הוויכוח הנוקב בין חסידי שתי דוקטרינות הפצצה שונות של בעלות הברית בשנים האחרונות של מלחמת העולם השנייה, ואת אופיים והתנהלותם של הגנרלים שהובילו כל אחת מהשיטות.

מצד אחד, קברניטי חיל האוויר המלכותי הבריטי, ובראשם מרשל ארתור האריס (שכונה "האריס המפציץ"), דגלו בהפצצות לילות מאסיביות על ערים גרמניות שלמות (הפצצות אזוריות), מבלי לנסות להתמקד במטרות פרטניות. הרעיון היה להרוס תשתיות של האויב, להרוג באזרחיו ללא רחם, ולפגוע נואשות במוראל התושבים הסובלים, עד להכנעה. שיטה זו לא הביאה לתוצאות המקוות, הן "בלץ" הגרמני על לונדון והן בהרס הערים הגרמניות על-ידי המפציצים הבריטיים.

מנגד, כמה בארה"ב קבוצת קצינים בגיש התעופה של הצבא ("כנופיית המפציצים"), שגיבשה תיאוריה של הפצצות מדויקות בשעות היום על מטרות פרטניות, שהוגדרו כ"נקודת החנק הקריטית של התשתית הצבאית הגרמנית". כדי לאפשר פגיעה מדויקת במטרה על-ידי מפציץ שטס בגובה רב, פותחה בארה"ב כוונת נורדן, שהיוותה את פסגת הטכנולוגיה באותה תקופה, ומפציצי ה-B-17 צוידו בה. חברי "כנופיית המפציצים" האמינו כי בעזרת כוונת נורדן "נוכל להטיל פצצה לתוך חבית מלפפונים חמוצים מגובה של 30 אלף רגל".

גלדוול מתאר בהרחבה את מבצע שוויינפורט-רגנסבורג, שנועד להוכיח את ישימות הרעיון של הפצצה מדויקת על נקודת חנק קריטית (במקרה זה, להשמדת מפעל חיוני לייצור מסבים כדוריים). אולם המבצע נכשל.

חלקו השני של הספר מוקדש להתפתחויות בחזית האוקיינוס השקט, במלחמה הקשה להכנעת יפן באמצעות הפצצות עם מטוסי ה-B-29. גלדוול מתאר בצורה מרתקת את המאבק האידיאולוגי בין גנרל הייוד הנסל שדגל בשיטות ההפצצה המדויקות של "כנופיית המפציצים" – שהן מוסריות יותר וגורמות לפחות הרג של אזרחים, לבין הגנרל קרטיס לה-מיי, שהיה מוכן לנקוט בשיטות האכזריות ביותר כדי להכניע את האויב. הנסל נכשל בניסיונותיו, ולה-מיי החליף אותו והצליח.

ה"לילה הקטלני ביותר במלחמת העולם השנייה" שמוזכר בכותרת הספר הוא הפצצת האש על טוקיו ב-9 במרס 1945 באמצעות

מתחום הכשרתו וידיעותיו, נטל סגן משנה יורם רומם על עצמו להטיס את המטוס, לפי הנחיותיו של הטייס, והביאו לבסיס [רפידים], שם סייע לטייס בנחיתה, על ידי תפעול המצטרות". שם הספר מתייחס לפרשייה זו, כאשר רומם הודיע לטייס הפצוע שלו: "אני לוקח".

לרומם הוענק ביוני 1973 ציון לשבח (צל"ש) מהרמטכ"ל דוד אלעזר, "על תושייה, קור רוח ודבקות במשימה". הטייס רענן נאמן, שאיבד שלוש אצבעות, קיבל את עיטור המופת.

את מלחמת יום הכיפורים שרד רומם בשלום, בעוד רבים מחבריו נפצעו, נהרגו או נפלו בשבי, כאשר מטוסי **פאנטום** נפגעו מטילי קרקע-אוויר בתקיפת מטרות במצרים ובסוריה. הוא מתאר את הגיחות המסוכנות בהן השתתף,



כנופיית המפציצים – הכוונות הטובות בדרך ללילה הקטלני ביותר במלחמת העולם השנייה

מאת מלקולם גלדוול. תרגום: גיא הרלינג. הוצאת כנרת, זמורה, דביר (הקיפוד והשועל). המחיר לספר מודפס בן 205 עמודים: 98 ש"ח. ספר דיגיטלי ביישומון עברית: 46 ש"ח.

במשך עשרות שנים – ככל הנראה מאז המחצית הראשונה של שנות ה-80 – לא הופיעו בעברית ספרים מתורגמים על המבצעים האוויריים במלחמת העולם השנייה. לקראת סוף 2021 זכינו בתרגום לעברית של הספר המעניין מאוד **The Bomber Mafia**, שפורסם במקורו בארה"ב בתחילת השנה החולפת. הסיבה לפרסומו בישראל אינה קשורה כנראה לתגלית מפתיעה כי נולד בארץ קהל קוראים משמעותי המתעניין בהיסטוריה תעופתית (אין כזה!), אלא פשוט בזכות העובדה שלהוצאת **כנרת, זמורה, דביר** יש את הזכויות לתרגום כל ספריו של מלקולם גלדוול. חמשת ספריו הקודמים שתורגמו לעברית לא עסקו כלל בנושאי צבא או תעופה. **כנופיית המפציצים** הוא ספרו הראשון בתחום זה.