



מדינת ישראל



משרד התחבורה והבטיחות בדרכים  
רשות לחקירה בטיחותית בתעופה



## דוח חקירה בטיחותית סופי

תיק תאונה מס' 6-25

אבדן כוח ונחיתת אונס בשטח

4.4.2025	בתאריך
BRISTELL אז"מ	כלי הטיס
4X-HSL	סימן רישום
בית חנן	מקום האירוע

**לצורכי בטיחות בלבד**

## הדין ביחס החקירה הבטיחותית ותוצריה

(מחוק הטיס, התשע"א-2011 ומנספח 13 לאמנת התעופה)

**חקירה בטיחותית** - חקירה של אירוע בטיחותי לפי פרק זה היא הליך הכולל איסוף מידע וניתוחו, הסקת מסקנות, לרבות קביעת הסיבות לאירוע הבטיחותי או הגורמים שתדמו להתרחשותו, ומתן המלצות הנוגעות לעניין לצורך שיפור בטיחות התעופה, ככל שלדעת מנהל הרשות יש בכך צורך. (סעיף 104 לחוק).

**מטרת חקירה בטיחותית** - מטרתה הבלעדית של חקירה בטיחותית היא מניעת אירועים בטיחותיים, ואין תכליתה ייחוס אחריות אזרחית, פלילית או משמעטית לאירועים כאמור. (סעיף 105 לחוק).

**תפקידי מנהל הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה (להלן: "מנהל הרשות")** – מנהל הרשות יהיה ממונה על ביצוע חקירות בטיחותיות לפי הוראות פרק זה ודינים אחרים. במילוי תפקידו יפעל מנהל הרשות בהתאם להוראות נספח 13 לאמנה, ככל שהן ישימות בישראל, למעט הוראות כאמור שלגביהן הודיע המנהל לארגון התעופה הבין-לאומי, לפי הוראות סעיף 4(ב) לחוק רשות התעופה האזרחית, כי ישראל פועלת באופן שונה (סעיף 108 לחוק).

**אי-תלות** - בביצוע חקירה בטיחותית לפי פרק זה אין מרות על מנהל הרשות ועל ממלא מקומו, זולת מרותו של הדין; הוראות סעיף זה יחולו גם על חוקר שהוסמך לפי סעיף 115, בכפוף להוראות סעיף קטן (ג) של הסעיף האמור. (סעיף 109 לחוק).

**פרסום הדוח הסופי** - מנהל הרשות יפרסם את הדוח הסופי באתר האינטרנט של משרד הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה וכן יעמיד את הדוח לעיון הציבור, ללא תשלום, במשרד התחבורה והבטיחות בדרכים, ובלבד שלא יפרסם את הדוח או חלק ממנו ולא יעמידו לעיון הציבור כאמור, אם יש בכך כדי לפגוע בביטחון המדינה או ביחסי החוץ שלה (סעיף 119 לחוק).

**המלצות הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה** - המנהל וכל מי שמנהל הרשות כלל לגביו המלצות בדוח הסופי יבחן את המלצות כאמור הנוגעות אליו, יחליט באשר ליישומן ויודיע על החלטתו המנומקת בכתב למנהל הרשות; המנהל יעביר את החלטתו המנומקת כאמור גם לשר (סעיף 122 א לחוק).

**אי-קבילות הדוח הסופי** - הדוח הסופי לא יתקבל כראיה במשפט, למעט בערר לפי סעיף 39, בעתירה מנהלית או בערעור מנהלי על החלטות לפי חוק זה, לפי חוק בתי משפט לעניינים מנהליים, התש"ס-2000, ולא ישמש בהליך שנוקט מעביד כלפי עובדו, ולעניין הליך כלפי עובד טיס לפי סעיף 38 - לא ישמש אלא בהתקיים הנסיבות כאמור בסעיף 138(ב) (סעיף 124 לחוק).

**חיסיון ואי-קבילות של חומר חקירה בטיחותית** - חומר חקירה בטיחותית לא יימסר ולא יתקבל כראיה במשפט ולא ישמש בהליך משמעתי, בהליך מנהלי או בהליך שנוקט מעסיק כלפי עובדו (סעיף 123 לחוק).

**הדוח הועבר לפרסום עפ"י סעיף 119 לחוק הטיס, התשע"א - 2011.**

# דוח חקירה בטיחותית סופי

## תיק תאונה מס' 6-25

### תקציר האירוע

ביום שישי, בתאריך 4.4.2025 בשעה 08:30 בבוקר, טייס אז"מ מסוג BRISTELL המריא על מסלול 36 עם נוסע ממנחת ראשלי"צ בטיסה פרטית. כ-10 דקות לאחר המראה, החל הטייס לעבור לתצורת טיפוס וגילה שהמצערת לא מגיבה לניסיון פתיחת הכוח. תוך ניסיון תפעול טווח המצערת ירד סל"ד המנוע כמעט לסרק, המטוס החל לאבד גובה והטייס נאלץ לבצע נחיתה בשטח. בזמן הנחיתה פגע המטוס בסוללה נמוכה (שלא נראתה מכיוון הגעת המטוס), המטוס הסתובב בחדות והתהפך על צדו. הטייס והנוסע נחבלו קלות, חילצו עצמם, ופוננו לבית החולים לביצוע בדיקות. מנהל הרלב"ת קיבל דיווח על התאונה, יצא למקום עם חוקרים ולאחר בדיקת הממצאים הראשוניים, החליט לפתוח בחקירה לבדיקת נסיבותיה.



תמונה 1 - מטוס התאונה

# 1. מידע עובדתי

## 1.1 היסטוריה של הטיסה

### רקע

שבוע לפני טיסת התאונה, הטייס יצא לטיסת בוקר לש"ת רמון דרך מצדה. באותה טיסה, בשעה 08:00 לערך, בעת שיוט בגובה 3,500 רגל באזור מצדה, כשטמפרטורת הסביבה הייתה 20 מעלות צלסיוס, ארע גמגום מנוע רגעי שלוה במקביל בירידת לחץ דלק רגעית. בתוך מספר דקות, התופעה חזרה פעמיים נוספות ולאחר מכן חדלה. הטייס החליט להמשיך את הטיסה לאילת ומשם חזרה למחרת למנחת ראשון לציון. הטיסה חזרה התנהלה ללא הפרעות בפעולת המנוע.

במשך כל מהלך הטיסה, הטייס לא חש כל בעיה או תופעה חריגה בתפעול המצערת. לאחר הטיסה, הטייס דיווח על האירוע לשותפים אך לא פתח תקלה בספר המטוס, והוחלט להשאיר את המטוס במכון הבדק לבדיקה מקיפה בקשר לתופעת גמגום המנוע וגם לתיקון הבלמים שנראו לטייס חלשים.

המטוס שהה במכון הבדק מספר ימים, כשבבדיקת הקלטות מחשב המנוע לא זוהתה תקלת מנוע שתסביר את הגמגום במנוע שחוה הטייס, אך נמצא כי סנסור EGT 4 של טמפרטורת גזי הפלטה באגוז מזייף ומשכך הוחלף בחדש. כמו כן, בבדיקת הבלמים נמצא, כי הרפידות שחוקות והן הוחלפו בחדשות.

טיסת התאונה הייתה הטיסה הראשונה במטוס לאחר שחרורו ממכון הבדק.

### הטיסה

לאחר ביצוע הבד"ח כולל בדיקות מגנטו בסל"ד 4,000, הטייס התיישר על מסלול 36 במנחת ראש"צ, דחף את המצערת לכוח מלא והמריא. לאחר הפניה לצלע צולבת, הוא משך מצערת לסל"ד 4,700 והמשיך לתל יונה ומשם דרך נקודות הדיווח "שפך" ו"שורק" ל"בית עובד", כל זאת מבלי לתפעל את המצערת. בחליפת "שורק" הטייס עבר לקשר עם פלמחים ובחליפת בית עובד מזרחה בגובה 400 רגל, הטייס עבר לערוץ תל נוף. מיד בהמשך, בנס ציונה, עפ"י גבהי התיב הטייס דחף מצערת לכוח מלא לטיפוס לגובה 800 רגל ומשך במוט ההיגוי.

עם דחיפת המצערת לכוח מלא לטיפוס, הטייס חש בתחושה מוזרה של חוסר התנגדות של המצערת, לה הוא לא היה רגיל, ותיאר זאת כאילו ידית המצערת אינה מחוברת (התנתקה), כשבמקביל הסל"ד לא השתנה ונותר על 4,700 סל"ד (סל"ד מירבי של מנוע זה הוא 5,800 סל"ד לפי ה-AFM של יצרן המטוס).

בתגובה לאי קבלת הכוח (סל"ד) הנדרש, הטייס הוריד אף, ניסה לתפעל את ידית המצערת במהלך מוגבל של דחיפה ומשיכה, ומשלא הייתה תגובה בכוח המנוע, הטייס החליט לחזור לנחיתה במנחת ראש"צ. הטייס ביצע פניית 180 מעלות ודיווח לתל נוף תוך ביצוע ניסיון נוסף לתפעל את המצערת לכוח מלא, אשר כשל.

במהלך הפניה, סיבובי המנוע ירדו בהדרגה עד 2,000 סל"ד והחלה להישמע בתא הטייס התראת הזדקרות.

בשלב זה הטייס הבין שלא יצליח להגיע למנחת ראשלי"צ, ומשכך הוריד אף לגלישה ודיווח על ערוץ המנחת שהוא נוחת בשטח עקב תקלת מצערת.

הטייס כיוון לעבר שטח אדמה ירוק ללא עצים משמאל לבתי המושב בית חנן והוריד את המדפים שלב אחד. כל אותה העת, המטוס היה על סף ההזדקרות כשצפצפת ההזדקרות פעלה לסירוגין. לקראת ההגעה לשדה שבוחר, המטוס עבר נמוך מעל חממות, תוך המשך טיסה במהירות נמוכה כשצפצפת הזדקרות נשמעת פועלת קבוע. הפגיעה בקרקע התרחשה בסוללת אדמה חולית נמוכה, אותה לדבריו לא ניתן היה לראות מכיוון ההגעה, ובהטיה קלה ימינה, כך שכנף ימין וכן נסע ימין פגעו ראשוניים בסוללה. המטוס סיבסב 90 מעלות לימין ואז התגלגל על צידו השמאלי תוך שבירת שורש כנף שמאל. המטוס עצר במנח סופי כשהוא ב - 90 מעלות ימינה לכיוון הנחיתה ונח על צידו השמאלי של גוף המטוס. הטייס סגר ברז דלק ומפסק ראשי, שחרר את חגורת הבטיחות של הנוסע ושניהם יצאו אל מחוץ לקוקפיט. לאחר מכן הוא דיווח טלפונית למפעיל המנחת ולמגדל 'תל נוף'.

הטייס והנוסע נפגעו קל בארוע ופוננו לבדיקות בבית החולים. למטוס נגרם נזק כבד בכנפיים, בגוף ובכני הנסע.



תמונה 2 - מנח המטוס באתר התאונה

**1.2 פציעות של שוכני המטוס**

פציעות	הטייס	הנוסע	אחרים
מוות			
חמור			
קל/בינוני	√	√	
ללא			

**1.3 נזק לכלי הטייס** - לכלי הטייס נגרמו נזקים כבדים בכנפיים, בגוף ובכני הנסע

**1.4 נזק אחר** - לא רלוונטי

**1.5 מידע על אצ"א וגורמים מעורבים אחרים:**

**הטייס**

- גיל - 37.
- רישיון טייס פרטי - U.L.M GROUP A מתאריך 1.1.2023.
- תאריך טיסה אחרונה על מטוס התאונה - בתאריך 28.3.2025.
- מבחן רמה - בתוקף.
- תעודה רפואית - בתוקף.
- ניסיון טיסה - סה"כ כ - 120 ש"ט, מתוכן כ - 10 ש"ט על מטוס התאונה.

**1.6 מידע על כלי הטייס**

מידע כללי

- קטגוריה - אז"מ.
- יצרן - BRM AERO S.R.O.
- מדינת היצרן - צ'כיה.
- דגם המטוס - BRISTELL LSA.
- שנת יצור - 2020.
- בעלות - פרטית של מספר שותפים.
- תעודת כושר טיסה - בתוקף עד 25.2.2027.

היסטורית המטוס

- סה"כ שעות גוף - כ - 410 שעות.
- סה"כ שעות מנוע - כ - 410 שעות.

## מנוע

- יצרן - ROTAX.
- דגם - 912iS.
- הספק - 100 כ"ס.

## הערות:

- א. בתאריך 26.6.2024 - כשלמטוס 372 שעות מנוע (כ - 40 שעות קודם לאירוע הנחקר), בוצע טיפול בו הוחלף האגוזו בשלמותו, וחיישן הטמפרטורה EGT4.
- ב. בתאריך 2.4.2025 - בעקבות גמגום מנוע רגעי בטיסה ובעיית בלמים המטוס הוכנס לבדיקה מקיפה במכון הבדק. בבדיקה נמצא כי חיישן EGT4 מזויף ולכן הוא הוחלף, אך מעבר לכך לא נרשמו תקלות במנוע.
- ג. טיסת התאונה הייתה הטיסה הראשונה לאחר ביצוע בדיקה והחלפה זו.
- ד. ההסבר שהתקבל ממכון הבדק להחלפת חיישן הטמפרטורה הוא "קריאה שגויה".

## פרופלור

- יצרן - DUC.
- דגם - SWIRL INCONEL FLASH 3 BLADES.

## משקל

- משקל המראה מרבי - 600 ק"ג.
- משקל ריק - 380 ק"ג.
- משקל ואיזון המטוס בזמן התאונה - במגבלות היצרן.

## דלק

- סוג הדלק המאושר לשימוש - דלק מטוסים 100LL או דלק מכוניות 95 אוקטן.
- סוג הדלק בשימוש - דלק חורף, בנזין מכוניות 95 אוקטן.
- במטוס התאונה, שני מכלי כנפיים (כנף תחתית) בעלי קיבולת של 60 ליטר בכל כנף, סה"כ 120 ליטר.
- בעת היציאה לטיסה הייתה סה"כ כמות של כ - 90 ליטר דלק (24 גלון לפי הקלטת המכשירים).

## פגמים

- בדפים האדומים בספר המטוס - לא נמצא תיעוד.
- בתיק התחזוקה של מכון הבדק לא נמצא תיעוד על תקלות פתוחות במטוס.

### 1.7 מז"א

- ראות - טובה.
- עננות - ללא.
- רוח - מזרחית קלה - 2 מייל לשעה.
- טמפרטורה - 16 מעלות צלסיוס.
- לחות יחסית - 68%.
- טיסת יום בתנאי תאורה טובים.

### 1.8 ענ"ר (עזרי ניווט רדיו) - לא רלוונטי.

### 1.9 תקשורת

- בעת האירוע הטייס דיווח על תדר 'תל נוף' שהוא חוזר עקב "תקלת מצערת" ועובר לתדר 'מנחת ראשון'.
- באזור בית חנן, הטייס דיווח על תדר 'מנחת ראשון' שהוא נוחת בשטח עקב תקלת מצערת.
- לאחר הנחיתה, הטייס טלפן ל'מגדל תל נוף' ולמפעיל 'מנחת ראשון'.

### 1.10 מידע על אזור הנחיתה

אזור הנחיתה נמצא בין שדות, פרדסים, חממות ובתי מושב בית חנן. בסוף הפינל נמצא שדה חיטה לא קצורה ובשדה הנחיתה עצמו צמחיית בר נמוכה. בין שני השדות מתרוממת סוללת חול, גזם ואשפת בניין לגובה של כמטר וחצי. בשל הצמחייה שמכסה את הסוללה, היא אינה נראית מכיוון הנתיב הסופי לנחיתה שבוצע.



תמונה 3 - צילום מצלמת ה-GOPRO בקוקפיט של שדה נחיתת האונס לפני הנגיעה



תמונה 4 - צילום של עדת ראיה ממושב בית חנן בהנמכה הסופית לקראת הנחיתה



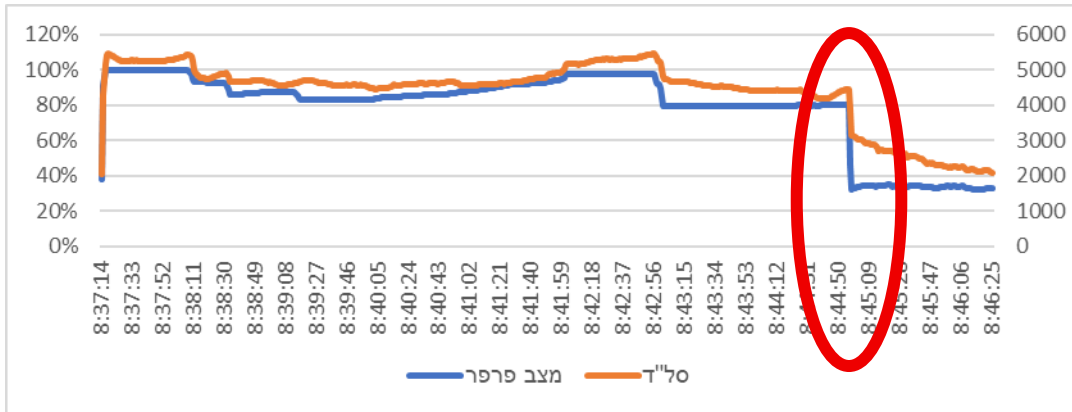
תמונה 5 - מבט לכיוון מזרח (הכיוון ממנו הגיע המטוס, שדה הנחיתה נמצא מערבית)



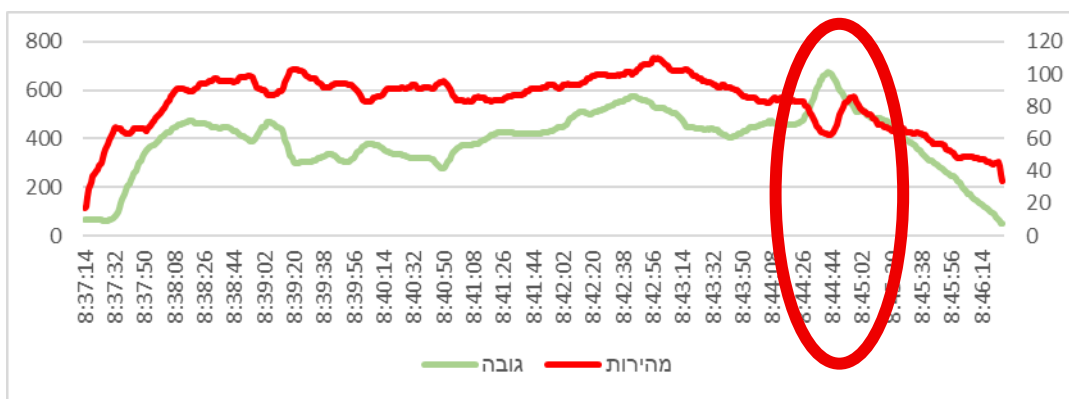
תמונה 6 - תקריב על הסוללה (המוסתרת) שבין השדות מכיוון הפינל, ונקודת הפגיעה בחלקה העליון

## 1.11 נתוני הקלטות טיסה

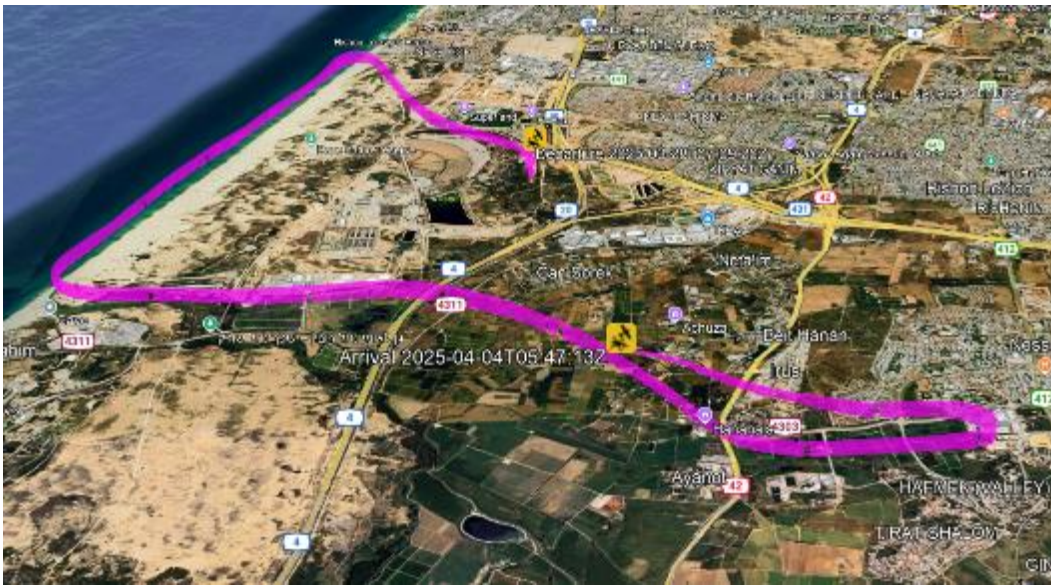
☒ **הקלטת מחשב המנוע - מנוע רוטקס 912iS מצויד במחשב ונתוניו הורדו.** נתוני המנוע המוקלטים כוללים מידע רב, בין השאר, את מצב פרפר המצערת אשר נמדד ומוקלט ע"י פוטנציומטר היושב על מכלול המצערת (Throttle position sensor) בתרשים מטה מוצגים נתוני מצב פרפר המצערת במקביל לסל"ד המנוע ומוצגת בו הלימה בין מצב פרפר המצערת לבין הסל"ד הנמדד. בעקבות שינוי במצב פרפר המצערת נראה שינוי סל"ד עוקב. בשעה 08:44, שעת תחילת האירוע, מוצגת סגירת פרפר המצערת ובעקבותיו ירידת סל"ד.



☒ **הקלטות מכשיר גרמין - המטוס מצויד בשני מסכי גרמין מסוג G3X Touch™, GDU 460.** מסכים אלה מציגים ומקליטים את כל נתוני המטוס, כולל נתוני מנוע, גובה, מהירות, מיקום, ועוד. בתרשים מטה מוצגים נתוני הגובה והמהירות במהלך הטיסה. משעה 08:44 נראה תחילת טיפוס (ירוק) מלווה באובדן מהירות (אדום). שעה זו היא שעת תחילת האירוע.



☒ **הקלטות נתיב הטיסה - נתיב הטיסה מוקלט גם הוא במסכי הגרמין ומראה את הסיבוב לאחר זיהוי התקלה ע"י הטייס ואת איבוד הגובה עד לפגיעה בקרקע.**



תמונה 7 - נתיב הטיסה מהמראה ועד לזירת התאונה

## 1.12 שברי כלי הטיס ומקום הפגיעה

### 1.12.1 המטוס ניזוק קשה

בזמן הפגיעה בסוללה ותוך הגלגול על צדו השמאלי, נפגעו:

- ☒ כנף שמאל ספגה נזק כבד ונשברה בשורש הכנף;
- ☒ כנף ימין ספגה פגיעה קשה בשפת ההתקפה ונגרם לה נזק כבד;
- ☒ כן נסע ימין נשבר לאחור ונתלש;
- ☒ גוף המטוס התעוות בעיקר באזור חיבור הכנף לגוף;
- ☒ להבי פרופלור שבורים.



תמונה 8 - שברי המטוס באתר התאונה

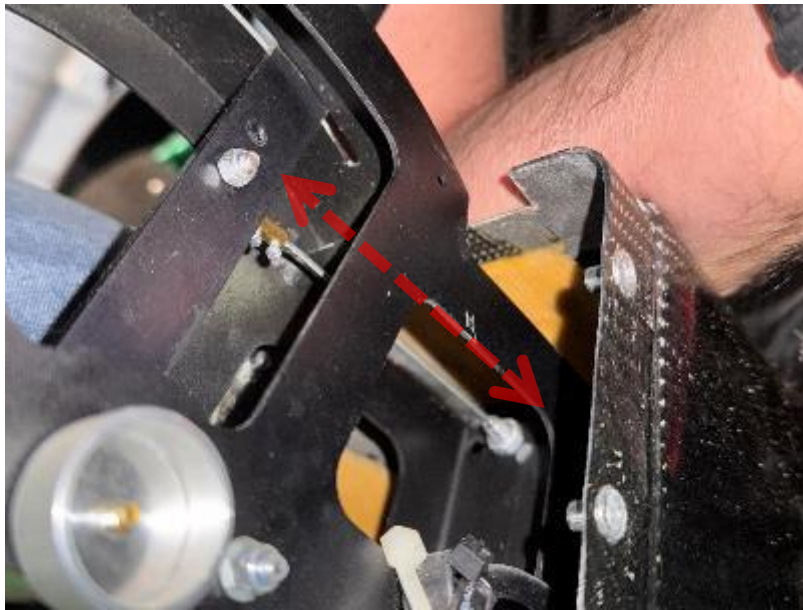
### 1.12.2 מצערת וכבל המצערת

ידית המצערת נמצאה במצב כוח מלא. כבל המצערת שבתוך בית ידית המצערת, נמצא עם כיפוף ("יבטן") וידית המצערת נעה בחופשיות, ללא חיכוך, וללא השפעה על מתיחת הכבל.

הערה: בשל מיקום הכבל בתוך חיפוי ידית המצערת, לא ניתן היה לתעד מצב זה בשטח והוא שוחזר בהמשך לאחר הורדת החיפוי ולצורך הבהרה וצילום.



תמונה 9 - מיקום המצערת בתא הטייס וכיוון צילום התמונות הבאות לאחר הורדת החיפוי



תמונה 10 - מצב רגיל בו הכבל מתוח



תמונה 11 - מודגם כיפוף בכבל המצערת

### 1.12.3 ממצאים בכבל המצערת

נמצאו שני ממצאים של פגיעות במערכת כבל המצערת ובשכבות ההגנה וההולכה של הכבל:

ממצא א' - כיפוף נקודתי של כ 15 מעלות ביציאת מוליך הכבל מקיר האש. צורת ההתקנה שנמצאה במטוס זה ושככל הנראה הגיע כך מהמפעל, גורמת להסתת הכבל ע"י צמות החשמל של המנוע וליצירת הכיפוף הנקודתי. מוליך הכבל נאלץ "לטפס" אל מעל צמות החשמל באופן חד תוך יצירת הכיפוף הנקודתי.

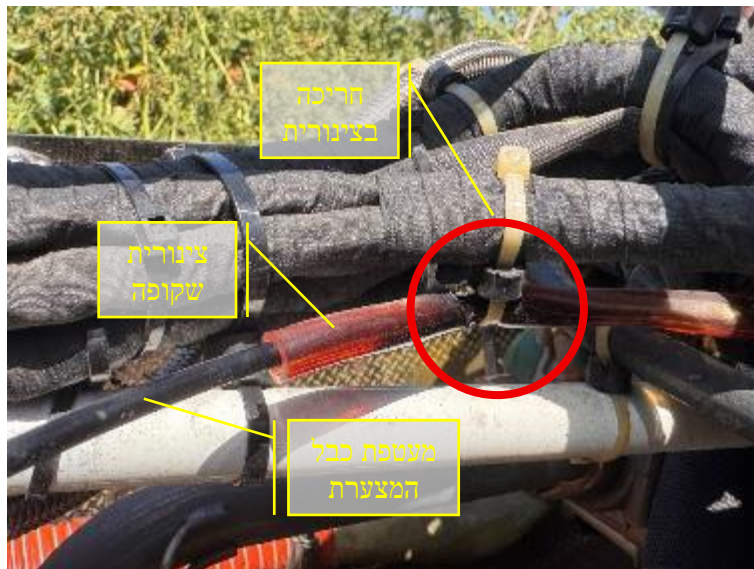


תמונה 12 - תמונות יציאת הכבל מקיר האש במטוס התאונה - מבט מלמטה



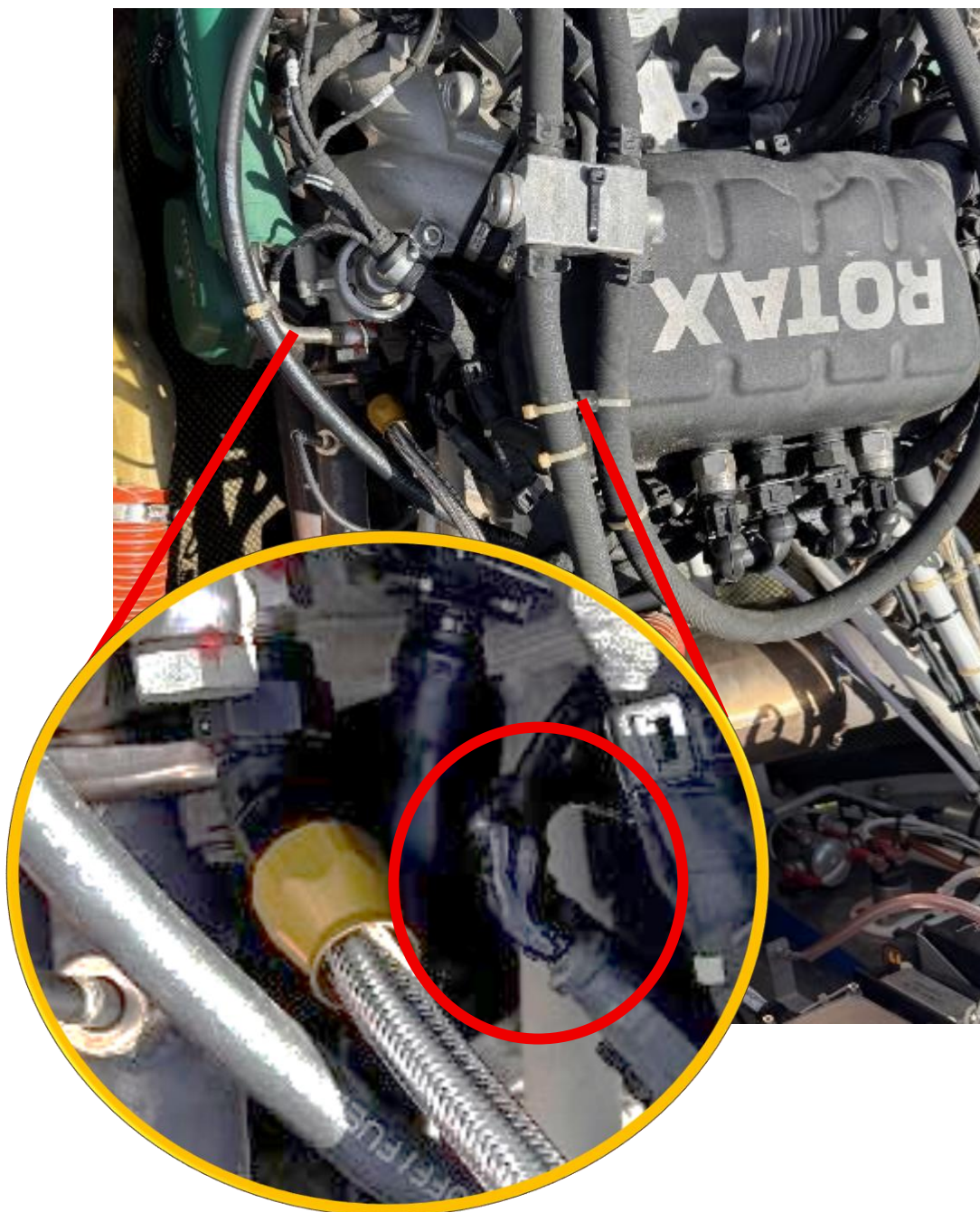
תמונה 13 - תמונות יציאת הכבל מקיר האש והסטנו ע"י צמות חשמל. מבט מלפנים

ממצא ב' – עוד באתר התאונה נמצאה חריכה והתכה של כבל המצערת וצינורית המגן השקופה, במספר נקודות. ניתן להבחין בצינורית השקופה בצבע כהה אדמדם/חום לכל אורכה. באזורים מסוימים בצבע שחור, ובנקודה אחת נמצאה חריכה. פגיעה זו נקל לזהות בתנאי תאורה שונים.



תמונה 14 - צינורית מגן כבל המצרת הפגועה

1.12.4 פגיעה בצמות חוטים - צמות החוטים של חיישני המנוע (Crank position sensor) מחוברים בסמוך לאגזוז בצדו השמאלי של המנוע וליד בוכנה 4. חוטים אלה נמצאו עם סימני חשיפה לחום המאופיינים בבועות, התכה של החומר וחשיפה של החוטים הפנימיים.



תמונה 15 - אזור הפגיעה בצדו השמאלי של המנוע בו עוברים מוליכים שונים אשר נפגעו



תמונה 16 - הגדלה של אזור הפגיעה במחברי חיישני המנוע



תמונה 17 - הגדלה של אזור הפגיעה במחברי חיישני המנוע המראה בועות והתכה

1.12.5 מחבר חיישן הטמפרטורה EGT4 שהייתה זו טיסתו הראשונה לאחר החלפתו, מחובר אל זרוע האגוז בצמוד לחיבור האגוז לבוכנה 4. נמצאו סימנים של התכת חומר בידוד בתוך המחבר והתקשות של מעטפת המגן.



תמונה 18 - התכת מחבר חיישן הטמפרטורה החדש

#### 1.12.6 סימני פיח ביציאות האגוז

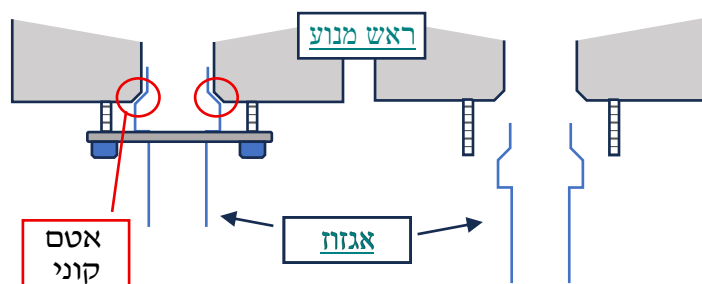
בנקודת חיבור האגוז לצילינדר 4 נמצאו סימנים שחורים מסביב לפתח. בשלש נקודות חיבור האגוז לצילינדרים האחרים נמצא צבע נקי של גוף המנוע ללא סימני פיח.



תמונה 19 - מימין צילינדר 3 נקי מפיח, משמאל צילינדר 4 עם סימני פיח

### 1.12.7 בדיקת מחברי האגוז למנוע

פורקה ונבדקה צנרת האגוז של צילינדר 3 וצילינדר 4. נמצא כי המחברים זהים בקוטרם ללא עיוותים וללא פגיעות משנות צורה. האיטום בין צנרת האגוז לבין הצילינדר מבוסס על מחבר קוני ואינו דורש אטמים או חומרי חיבור שונים. בהינתן וצורת המחבר חלקה ולא מעוותת, הידוקו ע"י הברגים מבטיח אטימה מבריחת גזים.



תמונה 20 - סכמת מחבר האגוז הקוני פתוח מימין ומהודק משמאל

### 1.12.8 תאורה מתאימה לתהליך הבדיקה

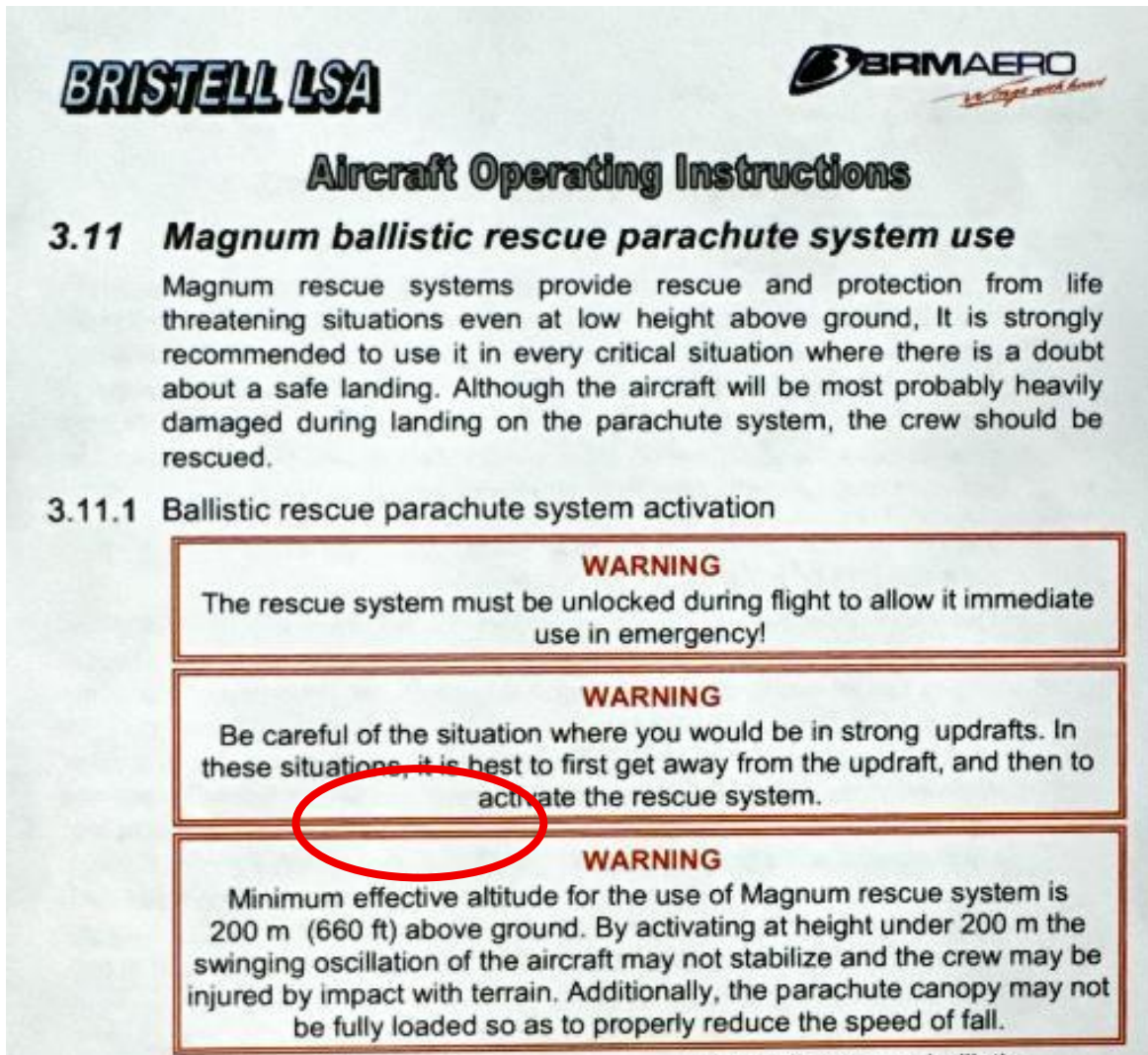
ראוי לציין כי צוות החקירה זיהה את הפגיעה בכבלי חישני המנוע וגשש טמפרטורת אגוז, רק לאחר שנחשף האזור במנוע לתאורה חזקה ע"י פנס עוצמתי וחיפוש מדוקדק. ניתן לראות פגיעות אלה גם בצילומים שבוצעו באור יום באתר התאונה (תמונות 15-18). בבדיקות ראשוניות שנעשו בתוך האנגר המטוסים של מנחת ראשון לציון, בתאורת יום רגילה החודרת דרך הדלתות הפתוחות, קשה היה לזהות את נקודות הפגיעה.

1.13 מידע רפואי ופתולוגי - לא רלוונטי.

1.14 אש - לא רלוונטי.

## 1.15 אלמנטים של שרידות

במטוס מורכב מצנח בליסטי הדורש גובה מזערי של 660 רגל מעפ"ש לפתיחה בטוחה. הערה: בנקודה הכי גבוהה בטיסה, עם הרמת האף לטיפוס, היה המטוס בגובה 650 רגל מעפ"ש שהם כ 550 רגל מעפ"ש. ומשם התחיל הטייס פניה לאחור. בשלב שבו הסל"ד ירד לסרק והתחילה ההנמכה, היה המטוס כבר בגובה 400 רגל מעפ"ש.



## 1.16 בדיקות ומחקרים

### 1.16.1 המצעות ושליטה בסל"ד המנוע

בכדי להבין את תהליך החקירה והממצאים, מוסברת להלן מערכת השליטה בסל"ד המנוע אשר בנויה משלושה מרכיבים, והם: ידית המצעות, כבל המצעות, מכלול מצעות על המנוע.

1. **ידית המצערת ובית ידית המצערת** - נמצאת בתוך תא הטייס ומאפשרת העברת פקודות הטייס למנוע.



תמונה 21 - ידית המצערת ובית ידית המצערת

2. **כבל המצערת** - מורכב מכבל נירוסטה שזור (1) העובר בתוך צינורית מוליכה. הצינורית המוליכה בעלת 3 שכבות (2-4)



- (1) כבל המצערת

**חומר:** נירוסטה רב גידית שזורה

**תפקיד:** העברת הפקודות בין ידית המצערת למנוע.

- (2) שרוול פנימי דל חיכוך

**חומר:** טפלון (PTFE) בצבע שקוף או שחור

**תפקיד:** מנחה את הכבל הפנימי ומפחיתה חיכוך, כדי להבטיח תנועה

חלקה ולמנוע שחיקה בין הכבל והשכבה המתכתית הבאה

**טמפרטורת התכה: 327 מעלות צלסיוס.**

- (3) חיזוק לולייני / שכבת שריון

**חומר:** פלדה מגולוונת או נירוסטה, בצורת סרט שטוח מסולסל סביב.

**תפקיד:** נותן לכבל קשיחות ומגן עליו מפני לחיצה תוך שמירה על

גמישות. מאפשר העברת כבל שאינה ישירה ותוך כיפוף מסוים.

(4) מעטפת חיצונית שחורה

**חומר:** פוליאתילן (PE), פיזיסי (PVC), או לפעמים ניילון.

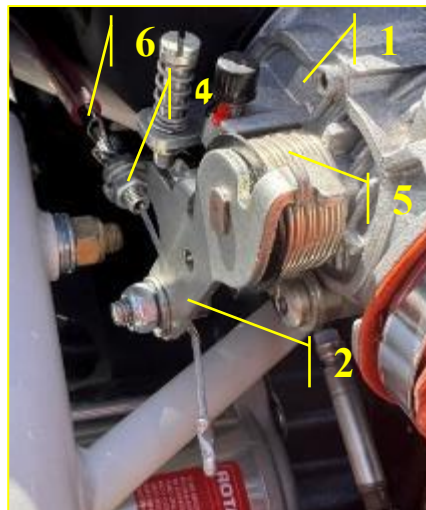
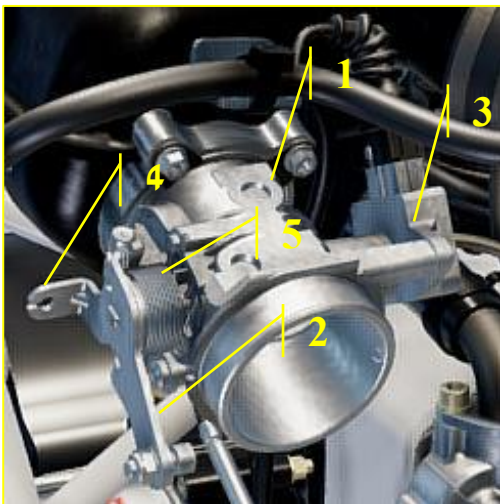
**תפקיד:** הגנה מפני שחיקה, אטימה בסיסית ללחות וזיהום מהסביבה.

**טמפרטורת התכה: 105 מעלות צלסיוס.**

במטוס התאונה, כבל המצערת מחובר בקצה אחד לידית המצערת בתוך תא הטייס, עובר דרך מרכזו של קיר האש, עולה לחלקו העליון של תא המנוע, ומתחבר בקצהו השני אל מכלול המצערת של המנוע. בדרכו הוא מחוזה ע"י חבקים במקומות שונים ובחלקו הוא מוגן ע"י צינורית שקופה.

3. **מכלול המצערת במנוע (Throttle Body Assy) - מכלול המצערת (1) נמצא**

בכניסת האוויר אל קופסת האוויר (Airbox) שמעל המנוע. כבל המצערת (6) מזיז את זרוע החיבור (2) ובכך את פרפר המצערת אשר פותח או מצמצם את מפתח זרימת האוויר אל תוך המנוע. קפיץ (5) על זרוע המצערת מושך את כבל המצערת למצב פתוח – סלייד מלא.



(1) - מכלול המצערת

(2) - זרוע חיבור כבל המצערת

(3) - פוטנציומטר מצב מצערת (Throttle Position Sensor)

(4) - נקודת חיבור מוליך כבל המצערת

(5) - קפיץ פתיחת מצערת

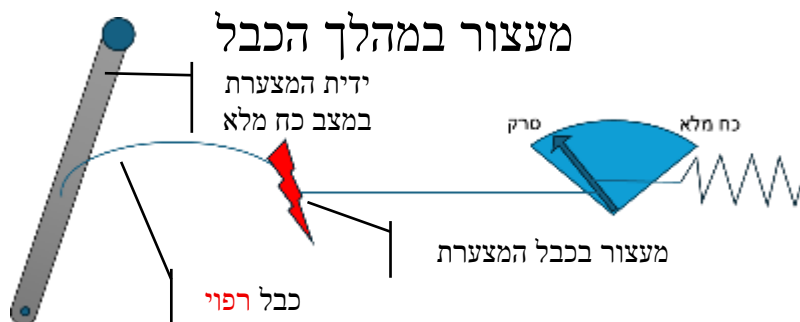
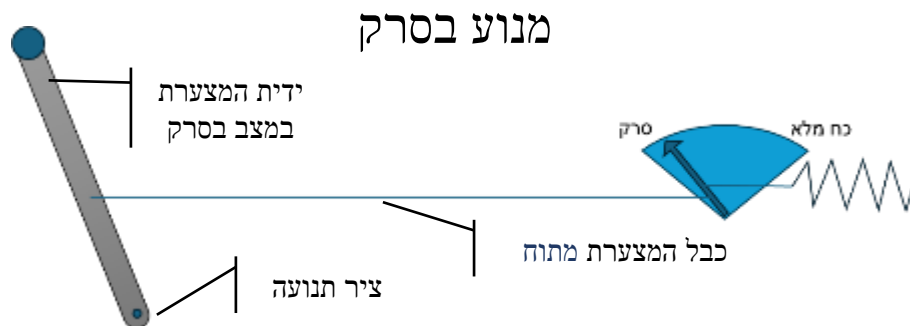
(6) - כבל המצערת

## 1.16.2 עקרון השליטה בסל"ד המנוע

עקרון השליטה בסל"ד המנוע מבוסס על הזזת ידית המצערת על ידי הטייס אשר מתורגמת למתיחת כבל המצערת במשיכה לאחור לסרק, ובהזזת המצערת לפניו, הקפיץ (5) במכלול המצערת שעל המנוע מושך בחזרה ומותח את הכבל למצב של כוח מלא.

במטוס התאונה, כבל המצערת עשוי מחומר גמיש שניתן לכופפו. במידה ונוצר קושי או מעצור כלשהו בעת מהלך הכבל ומתיחתו על ידי הקפיץ, תיווצר תחושת חופשיות עקב כיפוף בכבל במקום בו הוא אינו נמצא בתוך הצינורית המוליכה - הנמצאת בתוך מכלול המצערת שבתא הטייס.

פעולת המצערת, הכבל והקפיץ מודגמת מטה במצב כוח סרק, כוח מלא ובמצב תקלה בו כבל המצערת אינו נמשך ע"י הקפיץ



### 1.16.3 בדיקת קפיץ מחזיר במכלול המצערת

הקפיץ המחזיר שבמכלול המצערת על המנוע נמצא כמקורי של יצרן המנוע. כוח המשיכה של הקפיץ נע במדידה בין 250 גרם כוח בתחילת מהלכו ממצב מנוע בכוח מלא, ועד 600 גרם כוח בסוף מהלכו במצב כוח סרק.

### 1.16.4 בדיקת חיכוך בכבל המצערת

בבדיקת כבל המצערת לאחר פירוקו נמצא, כי ישנם שני אזורים מובהקים בהם קיימת התנגדות גבוהה למעבר כבל המצערת בתוך מוליך הכבל. הבדיקה בוצעה ע"י הכנסת כבל המצערת אל תוך הכבל המוליך. כאשר כבל המצערת הגיע לאזור שבו היו סימני חריכה, הכבל נתקל בהתנגדות ונדרש להפעיל כוח בכדי להמשיך להוליכו בתוך המוליך. נמצאו שני אזורים שהדגימו היצרות וחיכוך עם שכבת הטפולון הפנימית ואשר פגעו בחופשיות תזוזת כבל המצערת בתוך המוליך.



תמונה 22 - כבל המצערת ונקודות החיכוך

### 1.16.5 חקר השפעת חום על התנהגות תרמית של פולימרים (פלסטיק)

1. התנהגותם של פולימרים בחשיפה לחום משתנה בהתאם למידת הטמפרטורה אליה נחשפים, משך החשיפה, ואופי החשיפה (ישירה או עקיפה).
2. בחשיפה ישירה לטמפרטורה גבוהה בציר זמן קצר, חלה עלייה חדה באנרגיה התרמית של הפולימר, דבר העלול לגרום להיווצרות בועות גז פנימיות (Gas voids) כתוצאה מדה-פלסטיזציה או שחרור של רכיבים נדיפים (Volatiles). בתנאים קיצוניים, מתרחשת התכה (Melting) ואף פירוק תרמי (Thermal decomposition) של השרשראות הפולימריות.
3. בחשיפה ממושכת לחום מתון בציר זמן ארוך, הפולימר עלול לעבור הזדקנות תרמית (Thermal aging) ודה-גרדציה (Degradation) איטית. תהליכים אלו באים לידי ביטוי בריכוך החומר (Softening), שינוי בצבע (לרוב בגוון צהבהב) עקב היווצרות קבוצות קרבונל, ובפגיעה בתכונות המכאניות.

#### 1.16.6 ניסוי חשיפת כבל מצערת לחום

בוצע ניסוי של חשיפת כבל מצערת, מוליך כבל וצינורית חיצונית שקופה לתנאי חום גבוהים בכדי לבדוק השפעה על השכבות השונות. הניסוי בוצע תוך משיכה ודחיפה של כבל המצערת, ולאחר דקות ספורות של חשיפה לחום, בכבל המצערת הודגמה עלייה ברמת החיכוך והקושי בתנועת הכבל, עד לכדי עצירה מלאה לסירוגין. נדרש כוח בכדי לשחרר את הכבל ולהמשיך להזיזו. לאחר הקירור, נשאר הכבל תפוס. מבדיקת מרכיבי הכבל (שלושת השכבות העוטפות את הכבל) לאחר החימום, הודגמה התכה של השכבה הפנימית ביותר שנועדה להורדת חיכוך בעת הולכת הכבל דרכה. התכה זו גרמה להיצרות במעבר כבל המצערת ולתפיסתו.

#### 1.16.7 חקר השפעת כיפוף כבל מוליך על חיכוך כבל המצערת

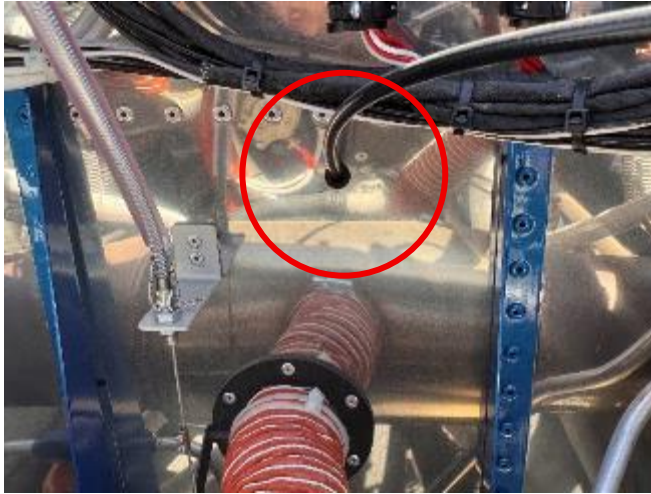
בוצע ניסוי לבדיקת השפעת כיפוף נקודתי של כבל המצערת על חיכוך הכבל הפנימי ונמצא כי ישנה תוספת של כ-150% בכוח הנדרש למשיכת כבל המצערת בתוך המוליך לעומת מוליך ללא כיפוף.

מצב מוליך הכבל	כוח המשיכה/חיכוך
מוליך ישר	4 גרם
כ-15 מעלות כיפוף	14 גרם

הערה: כבל הבדיקה באורך כחצי מטר וישר לגמרי חוץ מהכיפוף שנוצר לצורך הבדיקה.

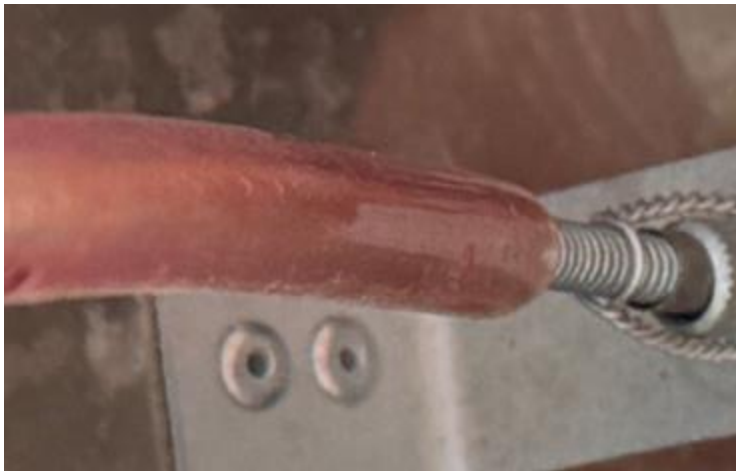
#### 1.16.8 בדיקת אופן התקנת כבל מצערת במטוס זהה אחר

נבדק אופן ההתקנה של כבל מצערת במטוס זהה אחר. נמצא כי נקודת יציאת הכבל מקיר האש זהה, אך מוליך כבל המצערת מותקן באופן שונה בכך שהוא יוצא מקיר האש בצורה ישרה, בחופשיות וללא הפרעה, כפי שמודגם בתמונות מטה. הכבל מוסט באופן הדרגתי ומעוגל.



תמונה 23 - תמונות הכבל במטוס מסוג דומה  
יציאה ישירה מקיר האש ללא כיפוף

1.16.9 צינורית מגן ורדרדה בעלת שקיפות גבוהה על כבל המצערת במטוס זהה אחר נבדקה צינורית מגן שקופה באותו מיקום בתא המנוע אך במטוס זהה אחר. הצינורית נמצאה במצבה המקורי - צבע ורוד בהיר ושקוף. על פי ספרי מטוס התאונה, לא בוצעה כל החלפה של צינוריות אלה ולכן ניתן להניח שהן הותקנו וסופקו ביחד ע"י יצרן המטוס.



תמונה 24 - מצב וצבע הצינורית במטוס אחר מאותו הדגם

1.16.10 נהלי החלפת מערכת האגוז ופעולות שבוצעו נבדקו מערכי האחזקה של המטוס והמנוע, וספרי האחזקה של המטוס בכל הנוגע להחלפת אגוז ובדיקתו.

1. בקלסר האחזקה של המטוס, לאחר שצבר 372 שעות, נמצא רישום "פעולה בלתי שגרתית" של החלפת אגוז במלואו באגוז חדש אשר התקבל מהיצרן. סיבת ההחלפה לא צוינה בספר האחזקה ולפי מכון הבדק, נדרשה ע"י היצרן בשל סדקים שנתגלו במספר מטוסים מסוג זה.



BRISTELL LSA		4X-HSL	
<b>PERIODICAL INSPECTION AFTER 50 FLIGHT HOURS</b>			
Aircraft S/N: .....		Total flight hours: .....	
Registration mark: 4X-HSL		No. of takeoffs: 392	
Page: 1 of 1			
Chpt.	Prescribed works	Made by	Checked by
10	<b>Engine and propeller</b> List of performed operations for the engine is shown in Maintenance Manual (Line Maintenance) for installed engine. List of performed operations for the propeller is shown in Technical description and in operation instructions for installed propeller. Remove and check engine cowlings for evident signs of heat damage or cracks. Inspect and check tightening and securing bolts on the engine mount and the engine brackets. Check the engine mount for occurrence of cracks. Check the exhaust system (and its attachment) for occurrence of cracks on the exhaust system and on welds (see 10.4.3). Remove and clean or replace the fuel filter insert.		
<b>Notes:</b> Check condition and attachment of the wing lips Check condition of the position lights Check condition wing-fuselage connection Autoland Visually check surface condition - loosened rivets, deformation, cracks and some other damage Check for free travel Check hinges Check for corrosive connection and securing covers Flap Visually check surface condition - loosened rivets, deformation, cracks and some other damage Check for free travel Check hinges Check condition of the control rods and ends			
Date: .....		Signature: .....	

תמונה 26 - לוג פעולות האחזקה

3. במערך האחזקה של מטוס ה- HSL אשר לפיו עובד מכון הבדק ועותק ממנו נמצא ברשות התעופה האזרחית (להלן רת"א), מפורטים תהליכי פירוק והרכבת אגוזו.
- בתיאור מכון הבדק צוין, כי פעולת החלפת האגוזו בוצעה לפי סעיף LSA-MIP-IL-1-5-7, פרק 10 מתוך ספר זה. בפרק 10 מופיע סעיף 10.3.5 המובא להלן:

## MAINTENANCE AND INSPECTION PROCEDURES

## 10.3.5 Exhaust system installation

Type of maintenance: line

Authorization to perform:

- Sport pilot or LSA mechanic

Tools needed:

- wrench size 13
- pliers
- small wire hook (spring removal/assembly jig)

see Fig. 10-10.

- Install the exhaust pipes (3) to the engine necks. Mind a proper arrangement, each pipe is designed for specific necks. Put the washers and screw the nuts on the bolts of the engine exhaust necks, do not tighten the nuts.
- Install the muffler (1) to the exhaust pipes (3) and secure the tubes by means of springs (2).
- Gradually tighten all nuts of the flanges on the engine necks.

**NOTE**

Ensure the sufficient space between the exhaust pipes and the other installed parts.

תמונה 27 - סעיף 10.3.5 - הוראות הרכבת מערכת אגוז

בסעיף 10.4.3 בפרק 10, מפורטות פעולות בדיקת האגוז אשר מזהירות מזליגות גזים ומסכנות אחרות להן הצוות עלול להיחשף - הרעלת גזים, אובדן כח מנוע, ואש. בפירוט הפעולות לביצוע, בין השאר, מצוין לבדוק ביסודיות סימנים לחימום יתר כתוצאה מזליגת גזי האגוז.

תאריך עדכון מערך האחזקה התקופתיות שבידי רת"א הוא 1.1.2021.

## MAINTENANCE AND INSPECTION PROCEDURES

## 10.4.3 Checking exhaust system

**WARNING**

Check of exhaust system very carefully. The burst or leaky exhaust can expose the crew to danger presented by carbon monoxide or can result in engine power loss, possibly fire.

Check the exhaust system for cracks. Pay special attention to the following areas:

- muffler in the area of the input and the output pipe and the collector head
- all welds and their immediate surrounding
- carefully check all areas showing local overheating caused by exhaust gases.
- remove the heat exchanger and check muffler area located under it.
- check the whole exhaust pipe between the engine and the muffler including its attachment to the engine.
- check outlet pipe from the muffler.

תמונה 28 - סעיף 10.4.3 - הוראות בדיקת מערכת האגוז

#### 4. מערך אחזקה של יצרן המנוע

באתר רוטקס, על פי המספר הסידורי של המנוע, מצויין בספר "MAINTENANCE MANUAL LINE" כי בהינתן והאגוז הוא מקורי של חברת רוטקס, אזי יש לבצע פעולות לפי ספר אחזקת המנוע, אך במידה והאגוז אינו מקורי, יש לעקוב אחר הוראות יצרן המטוס.

במטוס זה מותקנת מערכת אגוז שאינה מקורית של רוטקס אלא נבנתה והותאמה על ידי היצרן לסוג מטוס זה. עם זאת, חשוב לציין - שכאמור יצרן כלי הטיס מציין כי הוא מחויב בספרות התחזוקה שלו - Maintenance and Inspection Procedures לתחזוקת המטוס עפ"י רשימת ספרות בה נכללת גם ספרות התחזוקה של יצרן המנוע Rotax. עוד ראוי לציין, כי ככלל, מערכת האגוז משויכת למנוע ולא לכלי הטיס ומכאן החיבור של ספרות זו לכלל הספרויות המצוינות בהצהרת יצרן המטוס, אשר ביצוע על פיהן מבטיחות את כשירותו האווירית של כלי הטיס.

למרות האמור, רצוי לציין כי בסעיף הבדיקות התקופתיות, בביקורת ה- 100 שעות, יש לבדוק את האגוז ולחפש "כתמים" שנוצרים מבריחת גזים - זליגות. העדכון האחרון של הספר מתאריך 1 מאי 2023.

**BRP-Rotax**  
MAINTENANCE MANUAL LINE

Points of Inspection	Interval Operating hours							Chapter Reference	Signature
	25*	50	100	200	400	600	1000		
* no periodic maintenance requirement after the first 25 hours of operation									
Inspect all oil lines for damage, leakage, hardening from heat, porosity, security of connections and attachments. Verify routing is free of kinks and restrictions.	X		X					12-20-00 Leakage check	
Inspect all fuel lines for damage, leakage, hardening from heat, porosity, security connections and attachments. Verify routing is free of kinks and restrictions. Check steel fuel lines for any cracks and/or scuffing marks.	X		X					12-20-00 Checking the fuel lines	
Inspect the wiring (wiring harness) and its connections for secure fit, damage and signs of wear.	X			X				12-20-00 Check of wiring	
Inspect engine suspension and fasteners (GENUINE ROTAX®) for secure fit, including damage from heat, deformation, cracks.	X		X					12-20-00 Checking the engine suspension	
Check the airbox (GENUINE ROTAX®) incl. air flap actuation. Inspect sensors for tight fit, damage from heat, damage and signs of wear.	X		X						
Inspection of the GENUINE ROTAX® exhaust system included in the standard delivery. Inspect the exhaust system for crack formation and uncharacteristic exhaust stains (leaks).	X		X						

**NOTE**

*If there is no GENUINE ROTAX® exhaust system in use, the specifications of the manufacturer must be observed.*

**05-20-00**

Page 12  
May 01/2023

Effectivity: 912 I Series  
Edition 2/Rev. 2

בסעיף הטיפולים הלא שגרתיים בספר האחזקה של רוטקס, נמצא סעיף המורה על ביצוע חיזוק נוסף של ברגי האגוז לאחר שעתיים ראשונות של עבודת המנוע. פירוט הבדיקה מצביע על סכנה אפשרית של זליגות גזים.

**BRP-Rotax  
MAINTENANCE MANUAL LINE**

**UNSCHEDULED MAINTENANCE CHECKS**

**Operating limits exceeded**

An inspection of the engine must be performed if the operating limits of the engine have been exceeded (e.g. overspeed, excessive temperature etc.), or if unusual operating conditions have occurred during operation (e.g. lightning strike). In such cases the engine must be inspected in accordance with the applicable unscheduled maintenance checks.

**Recommends inspections**

The manufacturer also recommends the following inspections whenever maintenance is carried out (where not already prescribed by the airframe manufacturer), as possible malfunctions could have negative effects on engine operation.

part	inspection	possible danger
Engine cowling	• For discoloring and warping	Danger of overheating
Exhaust fixation	• Re-tighten the exhaust fixation on the cylinder head after the first 2 hr. of operation	Leakage
Exhaust	• Of the exhaust unit (where necessary, replaced application of LOCTITE Anti-Seize)	Risk of fracture, wear. Smooth engine running.

תמונה 29 - הוראות יצרן המנוע לביצוע פעולות אחזקה לא שגרתיות

1.17 מידע על הארגון והרגולטור - לא רלוונטי.

1.18 מידע רלוונטי נוסף

1.18.1 נתונים מספר היצרן POH - נתוני המטוס והוראות המצנח הבליסטי נלקחו

מתוך ספר המטוס שנמצא במטוס התאונה.

1.18.2 מטוס Bristell LSA תוכנן, רושיין ומתוחזק עפ"י 3 תקנים :

☒ CS-LVA - התקן האירופי EASA הנוגע לדרישות לתחזוקה.

☒ ASTM LSA - האמריקאי/בינלאומי דרישות לתחזוקה - Consensus Standards.

☒ UL-2 - התקן הצי"י.

בנוסף, בספר האחזקה והבדיקה המאושר למטוס הנ"ל מצויין כי האחזקה תבוצע גם בכפוף לספרות האחזקה של יצרן המנוע והפרופלור.

**BRISTELL LSA**

**BRMAERO**

**MAINTENANCE AND INSPECTION PROCEDURES**

**1.1 Introduction**

BRM Aero, Ltd., the manufacturer of BRISTELL LSA airplanes, provides in accordance with the CS-VLA, ASTM LSA, and UL – 2 airworthiness requirements, information necessary to maintain airworthiness of BRISTELL LSA airplanes. Information are also contained in the following manuals issued by the airplane manufacturer and by manufacturers of equipment installed in individual airplane:

- BRISTELL LSA Aircraft Operating Instructions
- BRISTELL Spare Parts Catalog
- Operator's Manual for ROTAX 912 series engine
- Maintenance Manual for ROTAX 912 series engine
- DUC Hélices Instruction Manual – FLASH propeller range

This Maintenance Manual contains technical description of the airplane, information on operation, maintenance, and repairs, description of airplane particular systems and their functions.

ארגון ה- ASTM נוסד בשנת 1898 כחברה אמריקאית לבדיקות וחומרים. משנת 2001 ארגון בינלאומי זה מייצג 135 מדינות, הכולל 30,000 חברים ומפתח ומפרסם מעל 12,000 תקנים טכניים בנושאים שונים.

### תקן ה- ASTM שמספרו F2483 -

Standard Practice for Maintenance and for development of maintenance manuals "for LSA" תקן זה מספק מסגרת כללית המבוססת על STANDARD PRACTICE אשר מנחה את יצרן מטוס בקטגוריית LSA כיצד להכין את ספרות התחזוקה באופן שיכלול את כל הבדיקות הנדרשות אשר יבטיחו עמידה בדרישות התקן. משכך, פירוט הוראות התחזוקה של המטוס אמורות להימצא ולהיכלל בספרות התחזוקה שהכין יצרן המטוס עפ"י דרישות תקן ה- ASTM. לפיכך, גם שלבי התחזוקה והבדיקה של מערכת האגוז במטוס זה, הינם בהתאם לספר הוראות התחזוקה של יצרן המטוס שאמור להתאים לדרישות תקן ה- ASTM.

**הבדיקות העיקריות של מערכת האגוז על בסיס ה- STANDARD PRACTICE אמורות לכלול:**

☒ בדיקות בראיה:

- ✓ בדיקה לסדקים בעיקר באזורי הריתוכים וחיבורי האגוז לראשי המנוע.
- ✓ בדיקה לקורוזיה.
- ✓ בדיקה לדליפות גזי הפליטה עפ"י שינוי צבע עקב חום או סימני פח.
- ✓ בדיקת דליפות גזי פליטה באמצעות הכנסת לחץ למערכת האגוז ושימוש בבועות סבון כאינדיקציה לדליפה.
- ✓ בדיקת חיבורי האגוז.

### מתוך ה- ASTM - דרישות בבדיקת מערכת האגוז בבדיקות עיתיות (ש"ט):

2. **Visual Inspection:** This is the most crucial step. The technician visually inspects every component for signs of wear or damage.
  - **Cracks:** Look for hairline cracks, especially at welds, bends, and mounting points. These are high-stress areas prone to fatigue.
  - **Soot:** Black, sooty streaks or stains on the outside of the pipes or muffler are a definitive sign of an exhaust gas leak.
  - **Corrosion:** Inspect for rust or pitting, which can weaken the metal.
  - **Mounts:** Check the security and condition of all clamps, springs, and mounting brackets that secure the system. Loose mounts can lead to excessive vibration and premature failure.
  - **Heat Exchanger:** If the system includes a cabin heat exchanger, inspect it for any signs of leaks, as this poses a severe carbon monoxide risk to the cockpit.
3. **Leak Test:** A pressure test is the most effective way to find leaks that aren't visible. The technician will typically:
  - Seal the exhaust tailpipe.
  - Gently pressurize the system with low-pressure air.
  - Spray a soapy water solution on all welds and joints. Any bubbles indicate a leak.

## מתוך ה - ASTM לבדיקות מערכת האגוז שאינן עיתיות עקב בעיה/חשד לבעיה:

### Inspections After Unscheduled Maintenance

An unscheduled maintenance event, such as a hard landing, a prop strike, or even a rough engine run, can put stress on the exhaust system. The inspection procedure after such an event is a "for cause" inspection, meaning the focus is on a specific potential issue.

1. **Immediate Visual Inspection:** After the incident, the mechanic performs a thorough visual inspection of the entire exhaust system, paying close attention to welds, joints, and mounts. They are looking for signs of new damage, such as cracks or bends, that could have been caused by the stress of the event.
2. **Security Check:** All clamps, springs, and mounts are re-checked for proper tension and security, as they may have become loose from vibration or impact.
3. **Leak Test:** A pressure test (soap bubble test) is performed to confirm there are no new leaks, especially in areas that may have been subjected to impact or vibration.
4. **Engine Run-Up:** A post-maintenance engine run-up is conducted to test the system under normal operating conditions. The mechanic listens for any unusual noises and checks for signs of leaks.

### ספרות האחזקה של יצרן המטוס:

- כל רשימת בדיקות תקופתיות כוללת בסעיף "המנוע והפרופלור" בדיקה (לא מפורטת בשלמות) של מערכת האגוז שבסופה מפנה היצרן לסעיף בדיקת האגוז המפורטת 10.4.3. (ראה דוגמה תמונה 28)
- הבדיקה המפורטת בסעיף 10.4.3 (תמונה 28) של מערכת האגוז כוללת אזהרה המתייחסת לחשיבות בדיקת המערכת לדליפות גזי פליטה ואחת הבדיקות הנדרשות בהמשך היא בדיקת ראיה של כל המקומות בסביבת האגוז בהם נראים סימנים של חימום יתר שנגרמו ע"י גזים שמקורם בדליפה ממערכת האגוז. יש לציין שבדיקות מערכת האגוז מתייחסות לכל אגוז המותקן במנוע ללא קשר למקורו (רוטקס או יצרן חליפי).

### 1.19 טכניקה ודרכי חקירה - החקירה התבססה על:

- ממצאים בשטח וממטוס התאונה.
- ממצאים בשטח וממטוס התאונה.
- נתוני הקלטת המנוע.
- הקלטות מכשירי הגרמין.
- סרט וידאו של התאונה.
- תשאולים שונים.

## 2. ניתוח

### 2.1 הגורם הטכני

בניתוח הגורם הטכני לתאונה, נבדקו הנקודות הבאות:

- תקינות המנוע;
- סימני פגיעות חום, מקורם והשפעתם;
- קשר בין חופשיות המצערת, בטן בכבל המצערת (תמונה 11), ועבודת המנוע.

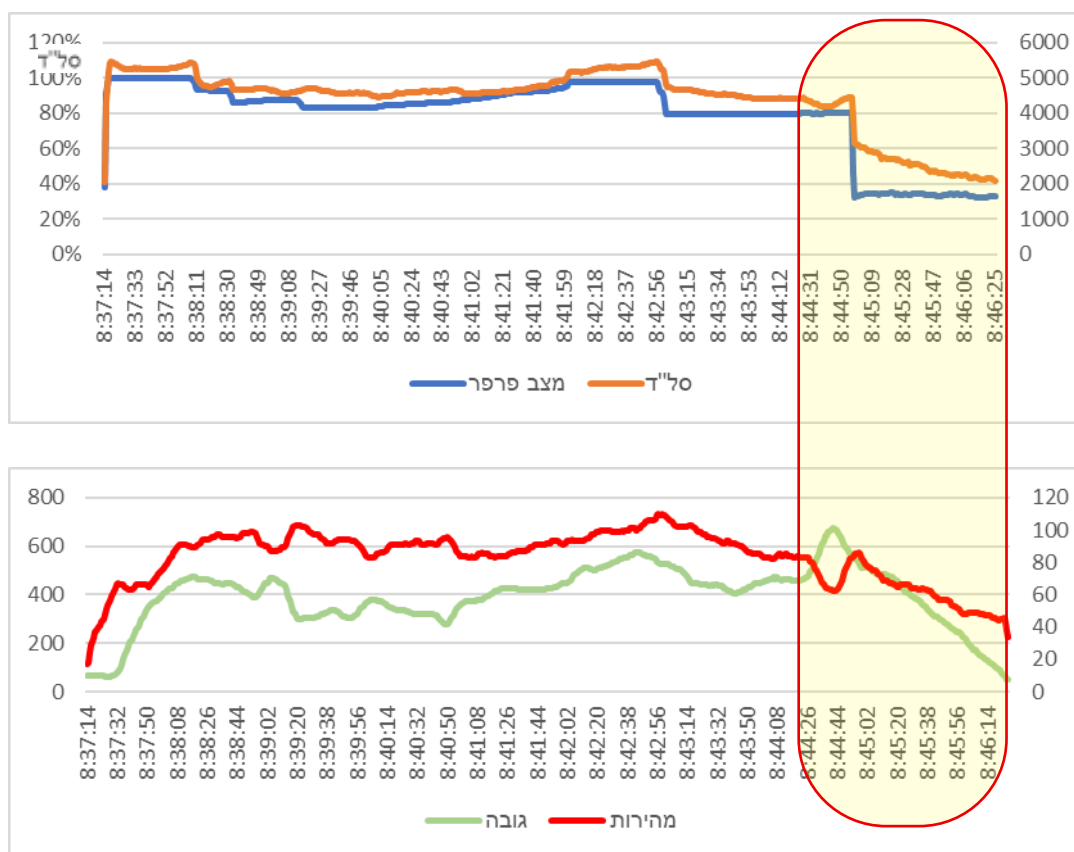
#### 2.1.1 תקינות המנוע - הצלבת נתוני מחשב המנוע והקלטות הגרמין

נתוני הטיסה המוקלטים נאספו ונבדקו תוך ניסיון להבין האם ירידת הסל"ד וחוסר הכוח נבעו מתקלת מנוע או מבעיית העברת פקודה בין המצערת לבין המנוע.

בתהליך הניתוח, הוצלבו הנתונים ממחשב המנוע וממכשירי הגרמין, ונבדקה הלימה בין מצב פרפר המצערת, סל"ד נמדד, מהירות טיסה, וגובה הטיסה. מהניתוח הובהר, כי יש הלימה מלאה בין מצב פרפר המצערת והסל"ד אשר מצביעה על עבודה תקינה של המנוע בהתאם לסל"ד שנדרש ממנו (תמונה 30). נראתה גם השפעה צפויה של מהירות הטיסה על סל"ד המנוע כך שעם הירידה במהירות, הסל"ד המשיך לרדת.

בהצלבת הנתונים שמוצגת באזור המודגש באיור מטה, ניתן לראות את הנקודה בה החל הטיפוס לגובה במקביל לירידת מהירות, ובאותו הזמן, ככל הנראה עם ניסיונות הטייס לפתיחת המצערת ו"משחק" עם ידית המצערת, מוצגת סגירת פרפר המצערת במנוע וירידת הסל"ד.

פרפר המצערת נמדד עד הגיעו למצב סרק וממצב זה לא היה שינוי.



תמונה 30 - הצלבת נתוני הקלטת המנוע והגרמין מרגע ההמראה ועד לתאונה

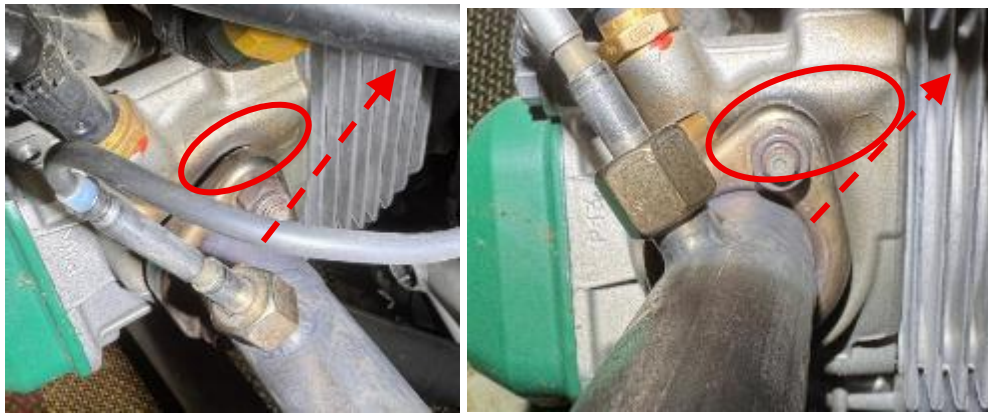
מודגם אם כך תפקוד מנוע ללא תקלה, ועבודה בסל"ד שתואם למצב מכלול המצערת, לכל אורך הטיסה, ועד לעצירת המנוע עם הפגיעה בקרקע. הובהר גם שבתחילת הארוע נסגר פרפר המצערת לסרק, סל"ד המנוע ירד, ומנקודה זו לא נצפה שינוי בפקודת הסרק שהגיעה למנוע, על אף ניסיונות הטייס לתפעל את ידית המצערת בתחילת האירוע.

### 2.1.2 סימני פגיעות חום - מקור והשפעה

בנקודות שונות בתא המנוע נמצאו עדויות לחשיפה לחום גבוה, כדוגמת:

- בריחת גזים חמים בנקודת חיבור האגוז לצילינדר מספר 4.
- פגיעה בצמות חשמל;
- פגיעה במוליך כבל המצערת;

סימני הפיח שנמצאו בנקודת חיבור האגוז לצילינדר מספר 4 (שמאלי אחורי), לא נמצאו בשלשת הצילינדרים האחרים. כלומר, רק בצילינדר זה קיימת עדות לדליפת גזים משמעותית מנקודת חיבור האגוז. סימני פיח אלה נראים כאשר האגוז מחובר למקומו (תמונה 31) אך ברובם מוסתרים ע"י מחבר האגוז, וברורים עוד יותר כאשר המחבר מפורק (תמונה 32).



תמונה 31 - כיוון יציאת הגזים מחיבור האגוז לציילנדר 4



תמונה 32 - סימני הפיח מרוכזים בצידו העליון ימני של פתח חיבור האגוז 4

הימצאות סימני הפיח וחתימתם הרחבה מצביעה על בריחה של גזי הפליטה לאורך זמן.

ריכוז סימני הפיח בחלקו העליון וימינה (כיוון מרכז תא המנוע) של פתח חיבור האגוז מצביע על יציאת גזים בכיוון מעלה ולמרכז תא המנוע - בכיוון זה נמצאו צמות החשמל שהראו סימני פגיעת חום, ובהמשך כיוון זה, במרחק מעט גדול יותר, עובר כבל המצערת שעליו גם כן נמצאו סימני פגיעת חום.



תמונה 33 - כיוון התקדמות הגזים החמים מצילינדר 4 ועד הפגיעה בכבל המצערת

על חוטי חיישני המנוע נמצאו סימני חוסם המתבטאים בבועות והתכה עד לחשיפה של החוטים הפנימיים. הימצאות בועות אלה והתכת החומר שחשפה את ליבת החוטים מצביעה על חשיפה לחום בטמפרטורה גבוהה מאד. מיקום חוטים אלה קרוב מאד לפתח בריחת הגזים מהאגוז, כלומר הגזים עדיין בטמפרטורה גבוהה ובפיזור נמוך.



תמונה 34 - פגיעה במחברי חיישני המנוע המצביעה על חשיפה לחום גבוה

#### הפגיעה בחיישן הטמפרטורה החדש - EGT 4

לפי רישומי האחזקה, חיישן טמפרטורת האגוז 4 הוחלף מספר פעמים. האחרונה שבהם בוצעה בטיפול לפני טיסת התאונה, כשטיסה זו הייתה הטיסה הראשונה לאחר ההחלפה.

גם על חיישן זה נמצאו סימני התקשות של מעטפת המגן והתכת חומר הבידוד מתחתיו (תמונה 18). פגיעה זו מצביעה על כך שבריחת הגזים ארעה גם בטיסת התאונה. החום הגבוה גרם בזמן הקצר מסיום הטיפול לפני הטיסה, הרצת המנוע ו- 10 דקות הטיסה לפגיעת חום במוליכי החיישן החדש.

למרות הקרבה הפיזית לנקודת בריחת גזי הפליטה, אופי הפגיעה מצביע על חשיפה לחום מתון. עובדה זו מצביעה על כך שהחיישן לא נחשף לחום ישיר ומוסברת בכך שמיקומו מוסט במעט מכיוון בריחת הגזים.

החלפת החיישן בוצעה לדברי מכון הבדק בשל קריאות לא נכונות. לא מן הנמנע, כי יתכן שקריאת הטמפרטורה נפגמה בשל פגיעת החום במוליך ובחיבור שלו למנוע.

**הערה:** לא מן הנמנע שכבלים נוספים שנמצאים בדרך יציאת הגזים ועטופים בחומר מבודד נפגעו גם כן אך פגיעה זו לא נראית בשל הכיסוי שלהם בחומר עמיד לחום.

### **פגיעה בכבל המצרת ובצינורית המגן**

במקור, או כפי שנמצא במטוס זהה אחר, צינורית המגן השקופה (השכבה החיצונית מבין השכבות העוטפות את כבל המצרת) בה מובל כבל המצרת, היא בצבע ורוד שקוף. במטוס התאונה היא נמצאה בצבע חום כהה לכל אורכה ובנקודות מסוימות בצבע חום כהה עד שחור. (ראה תמונה 24 המדגימה צינורית לא פגועה לעומת תמונה 35)

באזור בו היה חבק שהפעיל לחץ על הצינורית השקופה, היא גם התרככה, שינתה צורתה ונצרבה.

על פי סימני הצריבה ושינוי הצבע של הצינורית השקופה נראה כי הצינורית וכבל המצרת שבתוכה, נחשפו לחום מתון תלוי זמן.



תמונה 35 - סימני הצריבה על הצינורית השקופה

### עדות מוקדמת להשפעת טמפרטורות החום

לידי צוות החקירה הגיעו תמונות של המנוע (תמונה 36) שצולמו שבועיים לפני האירוע, בתאריך 22.3.2025, כשנצברו 403 שעות טיסה למטוס שהן 9 שעות טיסה לפני קרות האירוע. צינורית המגן על כבל המצערת נראית בצילום כאשר היא כהה לעומת צינורית זהה באזור אחר בבית המנוע. על פי צילומים אלה ניתן לאושש את סברת צוות החקירה לכך שהחשיפה לחום של כבל המצערת החלה עוד לפני טיסת התאונה.



תמונה 36 - בתמונה נראים סימני חום על גבי הצינורית השקופה של כבל המצערת.

### פגיעת חום בצינורית הורדת החיכוך בתוך מוליך כבל המצערת

כפי שהודגם בניסוי החשיפה לחום (0), גזי הפליטה והחום שהגיע אל כבל המצערת גרמו לחריכת הצינורית השקופה החיצונית, להתפשטות ולהתכה של הליבה הפנימית (2) של מוליך כבל המצערת, ובסופו של דבר ל"תקיעת" כבל המצערת (1) באופן שבו קפיץ המשיכה במכלול המצערת לא הצליח למשוך את הכבל בעת הזזת ידית המצערת ע"י הטייס להגדלת הסל"ד.



### ניסיונות הטייס להעלות סל"ד

כאשר הטייס פתח מצערת לכוח מלא, הכבל לא נמשך אל תוך המוליך ולכן נוצר כיפוף בכבל בתוך בית המצערת שבתא הטייס (תמונה 11), ופקודת פתיחת המנוע מהמצערת לא הגיע אל מכלול המצערת במנוע. תופעה זו גם מסבירה את עדות הטייס לפיה ידית המצערת זזה בחופשיות וללא חיכוך. בניסיון פתיחת המצערת של הטייס ולאחר שלא הייתה תגובה, ניסה הטייס ל"שחק" עם המצערת ע"י סגירה ופתיחה חוזרת. הכוח שהופעל ע"י הטייס לסגירת המצערת הספיק כדי למשוך את הכבל בתוך המוליך ולהוריד סל"ד, אך עם הזאת ידית המצערת קדימה ע"י הטייס, כוח הקפיץ במכלול המצערת לא הספיק כדי למשוך את הכבל חזרה ולהעלות סל"ד (ראה סעיף 0). כתוצאה מניסיונות אלה, כבל המצערת נמשך בלבד והסל"ד הלך וירד במקביל עד לערך של 2,000 סל"ד בקרוב, למצב בו כוח המנוע לא הספיק לשמירת גובה ובהמשך לאובדן גובה בלתי הפיך.

### 2.1.3 השפעת הכיפוף בכבל המצערת

כיפוף נקודתי בכבל המצערת כפי שנמצא במטוס התאונה, עלול לגרום לחיכוך פנימי מוגבר בין מוליך כבל המצערת לכבל המצערת עצמו באופן המקשה על תזוזת הכבל (ראה סעיף 1.16.7). המספרים הנמדדים בבדיקת כוח המשיכה הנדרש כאשר יש כיפוף בכבל לעומת כבל ישר נמצאו נמוכים מהכוח אותו קפיץ מכלול המצערת מפעיל. אין זה מעצור מלא של כבל המצערת וכנראה שבתפעול הרגיל שבוצע עד לקרות האירוע, המצערת תפקדה ללא בעיה, אך בשילוב הגורמים הנוספים להגדלת החיכוך המשמעותית שהתבררו בחקירה, עלול להיות שתוספת חיכוך זו מהווה גורם תורם לתאונה (ראה סעיף 1.16.7, 0).

### 2.1.4 לוח זמנים

להבנת השתלשלות האירועים אשר קדמו והובילו לתאונה, נבנה לוח הזמנים הכרונולוגי, כדלקמן:

תאריך	שעות מנוע	זמן מהחלפת אגזוז (שעות)	מהות האירוע
26.6.24	372	0	החלפת אגזוז מלאה. החלפת EGT 4 ראשונה. ביקורת 100 שעות.
29.8.24	378	6	עבודות לפי דרישת לקוח - החלפת פילטרי דלק, פלאגים, בדיקת קומפרסיה וניקוי פילטר אוויר
22.3.25	401	29	תמונות מנוע המדגימות שינוי צבע בכבל המצערת
27.3.25	408	36	טיסה לרמון - גמגום מנוע רגעי
2.4.25	410	38	בדיקת מנוע ונתוני המחשב, (כולל החלפת רפידות בלמים) החלפת EGT 4 פעם נוספת
4.4.25	410	38	טיסת התאונה

ב"ספר אחזקת המנוע", פרט מכון הבדק, כי ביצע את העבודות על פי ההוראות המוגדרות במערך האחזקה של המטוס.

בטופס הבדיקה (ראה תמונה 26) בה לכאורה מצוין רק בהקשר למערכת האגוז - ביצוע של בדיקת סדקים.

עם זאת, במערך האחזקה הנ"ל (של יצרן המטוס), באותו הסעיף, מפנה את הבודק באותה הפעולה שבטופס (האמור מעלה) להנחייה – "see 10.4.3" אשר מהווה את אופן/הדגשים בבדיקה של מערכת האגוז, בדיוק על פי הסטנדרטים הכתובים ב ASTM אליה מחוייב יצרן המטוס לרבות כול גורם שמתחזק את כלי הטיס. בהוראות אלה מצוין במפורש במספר תתי סעיפים של נוהל 10.4.3 תחת הכותר: "Checking exhaust system", כי יש לבדוק בין יתר המוזכר, גם הימצאות סימני זליגות גזים חמים מהאגוז ומחיבורי האגוז, תוך ציון הסכנות בזליגה שכזו (ראה תמונה 28).

בהוראות יצרן המנוע, נמצא פירוט מלא של פעולות הרכבת אגוז הכוללות בין השאר, את עוצמת חיזוק הברגים. עוד צוין בהוראות האחזקה של יצרן המנוע (Line maintenance) כי מומלץ לבצע חיזוק של ברגי האגוז לאחר שעתיים של עבודת המנוע אך בלוג האחזקה של המטוס לא נמצא תיעוד לביצוע בפועל של פעולה זו.

לאחר החלפת האגוז וטיפול ה - 100 שעות, הגיע המטוס פעמיים למכון הבדק לטיפולים נוספים. האחד 6 שעות לאחר החלפת האגוז ופעם נוספת, 38 שעות מהחלפת האגוז (ראה טבלה בסעיף 2.1.4) בטיפולים אלה, הייתה גם הזדמנות לזהות את פגעי החום אך לא נמצא תיעוד לכך. מיד לאחר הטיפול האחרון התרחש האירוע הנ"ל.

## 2.2 פעולות הטייס

2.2.1 ראו לציון קור הרוח אותו הפגין הטייס במהלך האירוע לאחר שהבין את מהות התקלה. הטייס דיווח בקשר כנדרש ובחר שדה נחיתה מתאים תוך ניסיונות לפתרון התקלה. לאחר האירוע הטייס תיחקר עצמית ונתן עדות מדויקת גם לצוות החקירה. לאחר ירידת הסל"ד, הטייס שמר על מהירות מתאימה לגלישה, של 65-70 קשר לאורך רוב הגלישה.

2.2.2 במשך 33 השניות האחרונות של הגלישה, היה המטוס עם אף גבוה, שמר על מהירות נמוכה יותר וצפצפת ההזדקרות פעלה כמעט ברציפות עד לפגיעה בקרקע. יש לשים לב כי על פי הבד"ח, היה על הטייס לשמור על מהירות של 67 קשר לגלישה מיטבית.

3.2.2 Engine failure enroute or during take-off  
1. Speed - gliding at 67 KIAS

2.2.3 לדברי הטייס, לאחר זיהוי התקלה, כאשר הבין שהוא הולך לנחיתה בשטח, היה זה גובה נמוך מדי מכדי לפתוח את המצנח הבליסטי בבטחה ולכן החלטתו הייתה שלא להשתמש באופציה זו. מנתוני הקלטת מכשיר הגרמין, נמצא כי גובה הטיסה המרבי היה 550 רגל מעפ"ש ובשלב בו הסל"ד ירד והטייס הבין שיש תקלה, כבר היה הגובה 400 מעפ"ש, כך שבכל מקרה היה המטוס מתחת לגובה בטיחותי לפתיחת המצנח לאורך כל הטיסה והאירוע.

### 3. מסקנות

- 3.1** בסבירות גבוהה התאונה נגרמה עקב בריחת גזי פליטה מחיבור אגזוז מספר 4 אשר פגעו בטמפרטורה גבוהה בכבל המצערת, גרמו להתכת ליבת מוליך כבל המצערת, להגברת החיכוך, ולתפיסת הכבל עד למצב בו כוח משיכת הקפיץ המחזיר על גבי המנוע לא הספיק בכדי למשוך את הכבל בכיוון של הגדלת הסל"ד. "משחקיי" הטייס במצערת לא הצליחו להעלות סל"ד ואף גרמו לירידתו עד ל - 2,000 סל"ד. הפגיעה בחיווט המנוע במיקום שקרוב יותר לנקודת בריחת גזי הפליטה, גרמה להתכה וחשיפה של חלק מהצמות, אך המנוע עדיין המשיך לעבוד ללא תקלה.
- 3.2** צוות החקירה מצא ממצאים מוקדמים לחשיפה לחום הגבוה, 9 שעות טיסה לפני קרות התאונה (סעיף 2.1.4, לפי תאריך הצילום). לוח הזמנים וממצא מוקדם זה לחשיפה לחום מצביעים שבסבירות גבוהה, נקודת הזמן הראשונה בה החלה התקלה של בריחת גזי הפליטה והפגיעה בכבלים, התפתחה לכדי התאונה, היא לאחר החלפת האגזוז שבוצעה 38 שעות טיסה לפני קרות התאונה. עם זאת, לא ניתן לקבוע במדויק מתי החלה זליגת הגזים המשמעותית מחיבורי האגזוז.
- 3.3** בהתייחס לממצאים המעידים על נזקי חום בתא המנוע כבר מתאריך 22.3.2025 (401 שעות מטוס), לא נמצא תיעוד לנזקי חום בגיליונות העבודה בטיפול שבוצע במטוס בתאריך 2.4.2025, לפני התאונה, או בטיפול שקדם לממצאים אלה בתאריך 29.8.2024. מצופה היה, כי במהלך פעולות אחזקה אלה, יבחינו המכונאים בפגיעה בצמות החוטים ואף בכבל המצערת וצינורית המגן שהראתה סימני חום.
- 3.4** לפני כל טיסה על הטייס לבצע בדיקות לפני טיסה, אשר בין השאר, כוללות את בדיקת תא המנוע. בדיקה זו נכון שתבוצע באור יום או בשימוש בפנס מתאים, ומטרתה לזהות חריגים ותקלות שונות. בבדיקה זו אמור הטייס לזהות בנקל, את הפגיעה בכבל המצערת ובצינורית המגן, ואף את הפגיעה בצמות החיווט עם הצריבה והחוטטים החשופים.
- מספר טייסים טסו במטוס במהלך 38 שעות הטיסה מאז החלפת האגזוז. היה מצופה שמי מהם יזהה בעיה ולכן גם לטייסי המטוס ישנה אחריות תורמת לקרות התאונה.
- 3.5** בעת ביצוע טיפולים לכלי טיס מחויב מכון הבדק לבדיקה של כל תא המנוע לנזקים שונים (מכאניים או טרמיים) קל וחומר כשהסיבה לביצוע הבדיקה הייתה תלונה של הטייסים על חשד לתקלת מנוע וכן להודיע על ממצאים לבעל המטוס.
- 3.6** צוות החקירה סבור כי בהינתן שפעולות אלה היו מבוצעות, אפשר והאירוע היה נמנע.

#### 4. המלצות

4.1 להדגיש בפני הטייסים שבדיקת הראייה היומית של המטוסים ובפרט של המנוע לאחר הסרת הקאולינג, חייבת להתבצע בתנאי תאורה נאותים (ברחבה מחוץ להנגר בתאורת יום טובה ו/או תוך שימוש בפנס).

באחריות: האיגוד לתעופה ספורטיבית מועד לביצוע מומלץ: מידי

4.2 להגביר את הפיקוח על מכוני הבדק בנושא תכולת הבדיקות הנדרשות, עפ"י הוראות האחזקה של היצרן, הן לאחר ביצוע החלפת רכיבים והן במהלך הביקורת התקופתית.

באחריות: מנהל רשות התעופה האזרחית מועד לביצוע מומלץ: מידי

4.3 להנחות את מכוני הבדק לבצע בדיקת ניתוב ופעולה תקינה של כבל מצערת מסוג דומה בכלי הטיס בהם הוא בשימוש.

באחריות: מנהל רשות התעופה האזרחית מועד לביצוע מומלץ: מידי

ב ב ר כ ה,



בו ע ז ג ר ו ס מ נ

מ"מ מנהל הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

תאריך: 9.11.2025 סימוכין: 4000-0098-2025-0000233

#### החזרת חפצים שנתפסו במהלך חקירה בטיחותית

בהתאם לסעיף 114(ב)7 - לחוק הטיס, התשע"א-2011, החוקר הראשי יחזיר חפצים שנתפסו, למעט שברי כלי טיס, תוך 45 ימים ממועד פרסום דו"ח החקירה הסופי. החפצים יוחזרו לידי מי שמידיו נתפסו החפצים, או לידי בעליהם. שברי כלי טיס לא יוחזרו אלא לבקשת בעליו של כלי הטיס ועל חשבונו. בקשה להשבתם יש להגיש לחוקר הראשי, לא יאוחר מ-45 ימים ממועד פרסום הדוח. אדם המעוניין, כי חפצים שנתפסו לא יוחזרו לידי בעליהם, רשאי להגיש בקשה מתאימה לבית משפט השלום, שבתחום שיפוטו נתפס החפץ.

