

דוח חקירה בטיחותית

תיק תאונה קטלנית מס' 69-09

- התרסקות עקב התפרקות להב ראשי בטיסה -

24.11.09

תאריך

מסוק רובינסון R-44

סוג כלי הטיס

4X-BDM

סימן רישום

מול חוף נתניה בים

מקום האירוע

לצורכי בטיחות בלבד

דוח חקירה בטיחותית

תיק תאונה מס' 69-09

ארעה למסוק מסוג רובינסון R-44, רישומו 4X-BDM
בתאריך 24.11.09, מול חוף "סירונית" בנתניה

תקציר האירוע

ביום שלישי, ה' – 24 בנובמבר 2009, טס מסוק רובינסון, מדגם R-44, עם טייס ושלושה נוסעים, מעל הים, לאורך החוף, בכיוון כללי דרום. בשעה 14:24 לערך, בזמן שהמסוק חלף את נתניה, לנגד צופים רבים ששהו בחוף הוא התפרק באוויר וחלקיו פגעו בעוצמה במים ושקעו. מצילים מהתחנה בחוף "סירונית", יצאו מיד לנקודת ההתרסקות ומשוו שתי גופות. לאחר שהוברר שהיו במסוק ארבעה אנשים, המצילים צללו, ללא בלוני חמצן ומשוו את שתי הגופות שהיו עדיין חגורות בתוך המסוק, בעומק 9 - 8 מטרים. המסוק נמחה.



המסוק – רגע לפני הוצאתו מעל פני המים

הקדמה

בראשית דברי אציין, למי שאינו מתכוון להעמיק בנבכי החקירה, כי התאונה הקשה אירעה עקב **כשל מבני באחד משני להבי הרוטור הראשי**. הכשל אירע בחטף, בטיסה מנהלתית, מבלי שהיה סיכוי כלשהוא, למצאים במסוק, להיחלץ או להימנע מהתוצאה הקטלנית. התאונה אירעה במסוק מתוצרת חברת "רובינסון". על פי המידע המופיע באינטרנט, המסוקים המיוצרים על ידי "מובילים" ברשימת המסוקים המעורבים בתאונות.

התפלגות התאונות הקטלניות של מסוקי R-44 בשלוש השנים שקדמו לתאונה: 2007 - 12 תאונות

2008 - 13 תאונות

2009 - 8 תאונות

על-פי המידע לגבי תאונות מסוקים המופיע באתר GRIFFIN HELICOPTERS, אירעו בעשור שקדם לתאונה 287 תאונות קשות במסוקי R-44, מהן 82 קטלניות. ממועד התאונה הנחקרת ועד לפרסום הדוח אירעו, לידיעת צוות החקירה, 6 תאונות קטלניות נוספות.

מסקירת המאפיינים העיקריים של תאונות מסוקי רובינסון נמצא, כי הלהבים מהווים את "הגורם העיקרי לכשלים הטכניים במסוקים", הן בדגם R-22 והן בדגם R-44. בדגמים אלה תיכון הלהב דומה.

יצוין, כי היצרן מנסה לשפר את מבנה הלהבים, אך עדיין מתגלים, מעת לעת, כשלי תכנון שלא ניתן להם מענה הולם. כך או כך, תפיסת התכנון שהייתה ישימה בלהבים במועד התאונה, בדגש לקו הדבקה בין המעטה לבין קורת הלהב – כשלה!

מאחר שנכון למועד התאונה לא ניתן פתרון תכנוני שימזער את שיעור כשלי הלהבים בסוג מסוק זה, התרכזו רשויות התעופה, מכוני הבדק והמתפעלים בניסיונות לגלות מוקדם תהליכי כשל שהחלו להתפתח בלהבים.

לחיצוק הנאמר אציין, כבר בשלב זה, כי תאונות, כמו זו הנחקרת, התרחשו כבר קודם לכן, במקומות שונים בעולם והבעיה המהותית הייתה ידועה - דומה שהיצרן וחלק מהרשויות חיכו להוכחה חותכת, קודם ביצוע שינוי תכנוני מקיף.

עבור צוות החוקרים, היה בחקירה זו, עירוב תחומים נדיר של גופים ואמצעים, שכלל בין השאר:

- שלוש פגישות עם המשפחות השכולות, עקב מורכבות החקירה:

הראשונה – עדכון ראשוני, מספר ימים אחרי ה"שבעה".

השנייה – בגיבוש המידע העובדתי, בדגש לתחום האישי.

השלישית – לפני פרסום הדוח בקרב הציבור.

- קבלת מידע, חסוי בחלקו מרשויות חקירה זרות שנמצאו, לכאורה, בסיטואציה דומה.

- שילוב גורמי החקירה, ממדינת התכנון והייצור של המסוק (ארה"ב), כמו: NTSB, FAA ויצרן המסוק.

- חקירה ושימוש במעבדות בארץ ובארה"ב.

- הפעלת חברות ואמצעים לאיתור שברי המסוק בים, לשליית החלקים מהמים ולשינועם.

- חקירה מקיפה של ספרות טכנית ואחזקה.

כאמור, כבר בדוח הראשוני ציין צוות החקירה את מסקנתו באשר למרכיב העיקרי במנגנון הכשל שאירע. צוות החוקרים הסיק, כי כשל של אחד הלהבים הראשיים גרם לתאונה, העלה השערות לגביו ונדרש היה להוכיח אותו.

במקרה הנחקר, עיקר החקירה התמקד ביכולת להוכיח, כי הכשל שאירע הוא קטסטרופאלי, עד כי לא הייתה לטייס היכולת לזהותו במהלך הטיסה ולנקוט את פעולות החירום, שיצילו את חיי האנשים שבמסוק.

בחקירה זו, השאלות "מה קרה?" ו"איך קרה?" נענו בתוך זמן קצר. ואילו השאלה השלישית, המהותית ביותר לבטיחות, נותרה פתוחה – "מדוע זה קרה?"

בשורה התחתונה, מרבית המעורבים, כל אחד על-פי מידת מעורבותו ואחריותו, נכשלו בגילוי תהליך הכשל שהתפתח בלהב שכשל. מדובר היה בלהב שעבר בדיקת "100 שעות" שנכללו בה בדיקת להבים ממוקדת (AD), שבוצעה כ – 7 שעות טיסה טרם התאונה. המכונאים שביצעו את הבדיקות השבועיות והטייסים שביצעו את הבדיקות שלפני הטיסה במסוק, לאחר הביקורת, לא גילו את הכשל שהתפתח. יתרה מכך, ברור בדיעבד, כי **התפתחות הכשל הייתה גלויה לעין, למי שידע מה לחפש** – הבעיה, שכמעט כל מי שהיה מעורב, לא הכיר את התסמינים המתריעים ולא ידע נכוחה מה עליו לגלות – **זהו הכשל האמיתי שנחשף בחקירה**.

צוות החקירה סבור, כי במידה לא מבוטלת מנהל התעופה הפדראלי (FAA) של ארה"ב, ויצרן המסוק, היו מודעים למקרי הכשל הקטלניים שאירעו בחלק מהתאונות בעולם, אך מסיבות שונות ניתנו על ידם הסברים ואבחנות לפיהם לא קיימת בעיה קטסטרופלית, במיוחד אם נוקטים את שיטת הבדיקה שהומלצה לצורך גילוי מוקדם של תהליכי כשל שהחלו. גם הרשות החוקרת של ארה"ב (NTSB) לא נקטה באמירה חד-משמעית וברורה, כפי שנעשה בפועל אחרי שהצגנו לה את ממצאי החקירה שלנו.

מעבר לחלקם ואחריותם של הרשויות בארה"ב ושל "גורמי השטח" בארץ (טייסים, מכונאים, מכוני בדק), מתעוררת שוב שאלת האחריות של הגורמים ברשות התעופה האזרחית (רת"א).

בסוף פברואר 2004, אירעה תאונה קטלנית של מסוק R-22, בה קיפחו את חייהם, הטייס והנוסע שהיה עימו, עקב כשל מבני בשורש להב ראשי, שלא התגלה בבדיקת הלהבים, כפי שנדרש. כבר באותו דוח חקירה (מס' 06-04) המליץ החו קר הראשי: "להעביר קורס קצר..." (הרחבת הנושא בגוף החקירה).

במקרה הנחקר, בו אותר כשל מבני בלהב ראשי של מסוק R-44, נראה שלא נלמד דיו הלקח מתאונת R-22, כך שבפועל, מעבר לאזכור ההוראה התקפה, של ה – FAA (הוראה AC-43.13, סעיף 5-15), לא ניתנה הנחייה ברורה לשטח בנוגע לבדיקת נקישה ובדיקת הראיה ולא נבדק יישומן - הבעיה המהותית של אופי הבדיקות ויעילותן, לא קיבלה מענה הולם.

רת"א לא הייתה אמורה לגלות את הכשל שהתפתח בלהב. רת"א הייתה אמורה לצפות את הסתברותו ומסוכנותו של מנגנון הכשל שתואר ב – AD, ללמוד את הבעיה על סמך ניסיון מדינות אחרות ולשקול מתן הנחיות נוספות מעבר למינימום שצינו היצרן וה – FAA – נקודה זו הועלתה במספר דוחות חקירה. אחריותה של רת"א היא נגזרת של יכולתה לשמש "צינור חכם" להעברת הנחיות וליצור נורמה מקצועית מתאימה ושינוי בתרבות הנהוגה, כדי להגדיל את הסיכוי לגילוי כשלים כדוגמת זה הנחקר.

בשורה התחתונה, מדובר בתאונה שכל גורמי הרקע שלה היו בנמצא, התסמינים לגילוי מוקדם, גם אם השיטה לא הייתה יעילה דיה, צוינו בהוראות, אך בפועל גורמי השטח (מכוני הבדק, מפעילים וטייסים) פעלו באופן שגוי, מבלי שרת"א הצליחה למנוע זאת, כפי שאני סבור שהיה רצוי שיקרה.

אני מוצא לנכון לציין לחיוב את חברת רובינסון, על כך שהשכילה להבין לאחר ביקור נציגיה בארץ, כי חרף העובדה שהוצאו הוראות רבות לבדיקת הלהבים, קשה היה על פיהן למקד את אזור הבדיקה הקריטי בקטע ההדבקה שבין הקורה למעטה הלהב. לאור האמור, בסיוע ה – FAA, יצרה החברה כלי מיוחד ובאמצעותו ניתן לסמן את איזור ההדבקה באופן מדויק ובכך לכוון את מבצע בדיקת ההקשה במדויק על אזור הבדיקה. הוראה מחודשת לביצוע הבדיקה המדויקת, מלווה בסרט וידאו להדרכה, פורסמה ב – 30.4.10 על ידי החברה, ב – SB-72, ואושרה ע"י ה – FAA ב – 9.7.10.

במקביל, הוציאה יצרנית המסוק ב – 18.6.10 מכתב שירות לפיו היא ממליצה להחליף את להבי הרוטור הראשי בלהבים משופרים, כפי שנמסר לנו על דבר תכנונם, במהלך הביקור אצל היצרן.

הוצאת ה – SB 72 מהווה צעד מתקן ומבורך, הגם שהייתי ממליץ על פרסום AD חרום, בעקבותיו.

החוקר הראשי

תוכן העניינים

סעיף	נושא	עמוד
1.	מידע עובדתי	6
1.1	היסטוריה של הטיסה	6
1.2	המעורבים	7
1.3	המסוק	7
1.4	מזג האוויר	8
1.5	החברה	8
1.6	החקירה הראשונית	9
1.7	תקשורת – תמליל האירוע	13
1.8	פגיעות ונזקים	16
1.9	שחזור חלקי המסוק	17
1.10	חלקי המטוס – נזקים עיקריים	19
1.11	בדיקות מעבדה	23
1.12	הוראות לבדיקת להבים	26
1.13	אירועים דומים מהעולם	30
1.14	הרחבת החקירה – בארה"ב	33
1.15	ביקור החוקרים מחו"ל בארץ	39
2.	ניתוח	46
2.1	התרחיש הקטסטרופאלי של התאונה	47
2.2	תהליך הכשל של הלהב	64
2.3	מניעת תאונות דומות	72
2.4	פעולות מניעה לאחר התרחשות התאונה בישראל	74
2.5	מעורבות ואחריות הרשויות	76
3.	מסקנות	82
4.	המלצות	85

1. מידע עובדתי

1.1 היסטוריה של הטיסה

ביום שלישי, ה' – 24 בנובמבר 2009, בוצעה טיסה, של מסוק רובינסון (להלן: R-44) השייך לחברת "טמיר תעופה בע"מ" (להלן: חברת טמיר), שיועדה להטסת אזרח בריטי, נציג חברת השילוח PANDER, שייצגה את חברת טמיר, בשדה התעופה באי רודוס, לסיור אווירי וארוחה בצפון הארץ. עפ"י ספר המטוס ביצע הטייס טיסת צילום אוויר קצרה אותו הבוקר. טיסת התאונה לא נרשמה בספר המטוס. ההמראה הייתה משדה דב, לאורך החוף, דרך הר הכרמל, עד למושב הושעיה שליד ציפורי, שם נחת המסוק, עם הטייס ושלושת הנוסעים, לארוחת צהריים ומנוחה קצרה, במסעדה מקומית. לקראת השעה 14:00, המריא המסוק חזרה לשדה דב. בשעה 14:24 לערך, טס המסוק לאורך חוף הים של נתניה, בכיוון כללי דרום (190 לערך). בעת שחלף את חוף "סירונית", כ- 300 מטרים מהחוף, במהירות 90 קשרים ובגובה 400 רגל לערך מעל פני הים, ארעה התאונה הקטלנית. תוך כדי חליפה ולנגד צופים רבים שהיו על החוף, התפרק המסוק באוויר לשני חלקים עיקריים - גוף וזנב. גוף המסוק פגע בעוצמה במים ורוב חלקיו התפזרו ושקעו במים. שני מצילים מהתחנה בחוף "סירונית", יצאו מיד לנקודת ההתרסקות, עם אופנוע ים, משו שתי גופות שצפו על פני המים ופינו אותן אל החוף. כוחות של השיטור הימי, ביה"ס לצלילה הסמוך, סירת חיל הים ומסוק חיל האוויר, חשו למקום בתוך זמן קצר יחסית, להמשך החיפושים. לאחר שהוברר לחוקר הראשי, כי היו במסוק ארבעה אנשים, הונחו הכוחות, למצוא את השניים האחרים. המצילים חשו שוב ראשונים, צללו, ללא בלוני חמצן ומשו את שתי הגופות האחרות, שהיו עדיין חגורות בתוך המסוק, מעומק 8 – 9 מטרים.



המסוק – לפני המראתו חזרה מהושעיה

1.2 המעורבים

1.2.1 הטייס

- ☒ יליד 1960, טייס מסוקים מחיל האוויר. ניסיון טיסה של אלפי שעות (אין מידע מדויק), מתוכן כ – 1,000 שעות על דגם המסוק נשוא התאונה.
- ☒ נשא רישיון טייס תובלה בנתיבי אוויר – ALTP, עם ניסיון טיסה על דגמי מטוסים רבים.
- ☒ נשא ברישיונו הגדר על מגוון כלי טיס עם כנף קבועה וכן על ארבעה סוגים של מסוקים ובכללם, רובינסון R-44 וכן הגדר מכשירים וטייס ניסוי.
- ☒ הוסמך כקברניט בחברת אל על באפריל 2006, על מטוס 747-200 וביוני 2008 הוסב למטוסי בואינג 737 דגמים 700/800.
- ☒ שימש כמדריך טיסה. חידש את רישיון ההדרכה בתחילת שנת 2009.
- ☒ נתמנה כבוחן טיסה של רת"א בדצמבר 2006. המינוי חודש בפעם האחרונה בדצמבר 2008, בתוקף עד סוף שנת 2009.
- ☒ סיים בהצלחה קורס בטיחות, למדריכים ולבוחנים, בחברת רובינסון.
- ☒ נשא תעודה רפואית בתוקף.
- ☒ נשא אישור ביצוע מבחן רמה תקופתי למסוק.

1.2.2 הנוסעים

- ☒ האחד - טייס – קברניט ב"ארקיע".
- ☒ השני - מבעלי חברת טמיר.
- ☒ השלישי - תייר, אזרח בריטי, נציג חברת השילוח היוונית, PANDER, באי רודוס. הנוסע ישב בצד שמאל, לצד הטייס.

1.3 המסוק

- 1.3.1 המסוק מתוצרת רובינסון דגם R-44, נושא מס' סידורי 0519, שנת ייצור 1998.
- 1.3.2 המסוק נרשם ברשות התעופה האזרחית בתעודה מס' 1035 על שם: טמיר נתיבי אוויר בע"מ, בתאריך 3.5.2007.
- 1.3.3 המסוק תוחזק במכון בדק מאושר והוצאה לו תעודת כושר טיסה אחרונה בתאריך 2.5.09, בתוקף לשנה אחת.
- 1.3.4 למסוק בוצעה בקורת מחזורית אחרונה (100 שעות), בתאריך 16 בנובמבר 2009, בשעות גוף 10:1787, היינו 6.5 שעות טיסה לפני התאונה. באותה בקורת בוצעה גם הוראת כושר אווירי AD-07-26-12, הדנה בבדיקת שחיקה בלהבים הראשיים.
- 1.3.5 בבוקר יום התאונה, טס המסוק כ - 25 דקות, ללא אירועים מיוחדים.
- 1.3.6 במסוק הייתה מורכבת מערכת הגאים בודדת לטייס שישב בצד ימין.

1.4 מזג האוויר

לפי דיווחים שנתקבלו מתחנות מטאורולוגיות באזור התאונה (נתניה – חדרה) ועל פי נתונים שנאספו ממכ"מ הגשם, ביום התאונה, בין השעות 14:00 – 14:30 שררו תנאי מזג אוויר הבאים:

1.4.1 **רוח קרקע:** מזרחית עד צפונית מזרחית בעוצמה של 5 – 10 קשרים.

1.4.2 **טמפרטורה:** 16 – 17 מעלות צלסיוס.

1.4.3 **לחות יחסית:** 75% - 85%.

1.4.4 **עננות:** 7 - 8 שמיניות מגובה 6,000 רגל ועד לגובה 15,000 רגל.
יתכן שבסיס הענן ירד לגובה 5,000 רגל, עקב ירידת גשם.

1.4.5 **ראות:** 7 - 10 ק"מ, עם הגבלה מסוימת, עקב ירידת הגשם.

1.4.6 **חיתחות וגזירה רוח:** על פי נתוני המכ"מ והרדיוסונדה של בית דגן, שררה אי יציבות אטמוספרית, אך היא לא הייתה חמורה. ניתן להעריך שהיה באזור חיתחות קל עד בינוני. הרוחות בגובה 1,000 – 1,500 רגל נשבו מהגזרה המזרחית בעוצמה של 10 – 15 קשרים, כך שהן היו חזקות במעט מאלה שנשבו בגובה הקרקע, אולם ההבדל לא היה משמעותי, גם בשל העובדה שכיוון היה דומה. **ניתן להעריך, כי לא הייתה גזירת רוח באזור.**

1.5 החברה

1.5.1 נוסדה בשנת 2004 ע"י משפחת טמיר.

1.5.2 מחזיקה ברישיון מסחרי ורישיון הפעלה תקף, למוניות אוויר.

1.5.3 במועד התאונה החזיקה החברה, פרט למסוק הרובינסון 44, שני מטוסי "גיט סטרים" ו"מטוס נאווחו". בנוסף הפעילה צסנה 310 מוחכרת.

1.5.4 החברה ביצעה בעבר טיסות קו לקריית שמונה ולראש פינה.

1.5.5 החברה מבצעת כיום, שרות מוניות אוויר וצילום מהאוויר, על-פי הזמנות ספציפיות.

1.5.6 משרדי החברה ממוקמים בשדה דב והיא מעסיקה, ככל הידוע, את כל ממלאי התפקיד הנדרשים, עפ"י התקנות והרישיונות.

1.5.7 בבדיקת ספר המטוס הוברר, כי פג תוקפה של הבדיקה השבועית, כשעה לפני שיצאה טיסת הבוקר שקדמה לטיסת התאונה. עוד הוברר, כי לא נחתמה בספר המטוס הבדיקה לפני טיסה שביצע הטייס.

1.6 החקירה הראשונית

- 1.6.1 דיווח ראשון הגיע לחוקר הראשי מכתבת טלויזיה, בשעה 14:35 ולפיו התנגשו שני מסוקים ונפלו למים, מול חוף נתניה. בבירור מיידי עם חיל האוויר (חה"א), מרכז דיווח משטרה (מרד"מ) ומרכז חרום מגן דוד אדום (מד"א), הוברר שעדיין לא נתקבל מידע אודות תאונת מסוק באזור נתניה.
- 1.6.2 בתוך זמן קצר מאוד התבהרה התמונה, מתוך מידע שהתקבל ממערכת הבקרה של חיל האוויר, דיווחי אזרחים למשטרה ולמד"א, ובהמשך לחיל הים ולאחרים.
- 1.6.3 מאיסוף המידע הראשוני התברר, כי מדובר במסוק של חברת "טמיר נתיבי תעופה בע"מ", שטס משדה דב להושעיה (ליד ציפורי) וחזרה לשדה דב. בבירור נאמר, כי אמורים להימצא במסוק 4 אנשים ונמסרו שמותיהם.
- 1.6.4 החוקר הראשי הוציא מייד חוקרים לחוף נתניה ובמקביל שלח חוקר לשדה דב (משרדי החברה ובסיס היציאה), לשדה תעופה הרצליה (מכון הבדק של המסוק) ולמשטרת נתניה (לאיסוף העתקים של עדויות, פרטי עדי ראיה וכיו"ב). בנקודה זאת ראוי לציין את רוח ההתנדבות של בוגרי קורס חקירות שחשו לסייע בחקירה הראשונית - יחד עבדו בשטח בשעות הראשונות, כ - 10 חוקרים.
- 1.6.5 בסיוע יעיל של חוקרי המשטרה בשטח התרכזו אצל החוקר הראשי, תוך זמן קצר יחסית, שמות ומספרי טלפון של המצילים בחוף, מנהל ביה"ס לצלילה, עדי ראיה שהיו על החוף או במלון הסמוך וכמובן חוקרי המשטרה עצמם.
- 1.6.6 החוקרים שנשלחו, גבו עדויות, אספו מספר חלקי מסוק שצפו במים ואספו חומר כתוב מהמשטרה ומאחרים. חוקרים אחרים אספו את הניירת הטכנית של המסוק, מסמכי כלי הטיס ומסמכי ההפעלה הרלוונטית לטיסה. בנוסף, הוגשו בקשות לקבלת תמונת מכ"מ והקלטות שמע מחה"א, תוצאות זיהוי חללים, נתוני מז"א ומידע על ציפורים שהיו באזור הטיסה, בקשה רשמית לצבא למשיית חלקי המסוק ובקשה לנתיחה פתולוגית שלאחר המוות. לגיבוי, נעשו גם פניות לראש אגף לוגיסטיקה במשרד התחבורה, לרשות התעופה האזרחית (רת"א) ולרשות הספנות והנמלים (רספ"ן), בבקשה להתארגן לצורך משיית חלקי המסוק.
- הערה: בהעדר נוהל כתוב הנוגע לגוף האחראי למשיית מטוס מהים, כל תהליך ההתארגנות לשליית המטוס בוצע על ידי משרד החוקר הראשי במקביל לאיסוף הפרטים הנחוצים אודות התאונה, דבר שפגם ועיכב מאוד את החקירה הראשונית.

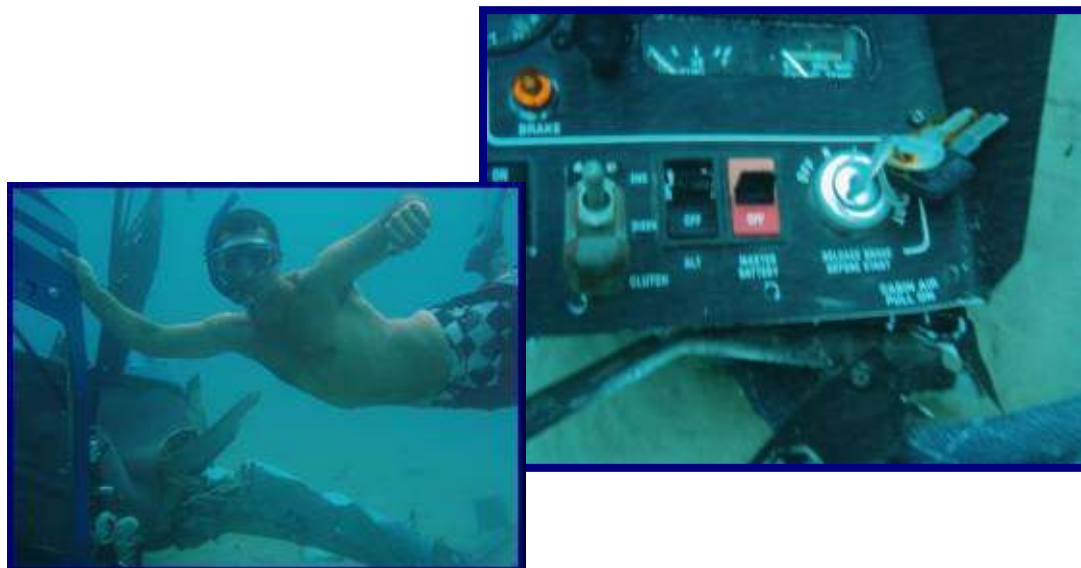
1.6.7 מיד עם קרות האירוע, רת"א פעלה לקרקוע של כל מסוקי הרובינסון הנמצאים בארץ, ללא תאום עם צוות החקירה, מבלי שהייתה איזושהי ראייה לכשל טכני ומבלי שניתנה לכך המלצה מטעם החוקר הראשי. הדבר יצר אח"כ לחץ מיותר על חוקרי התאונה, הן מצד רת"א והן מצד "השטח", למצוא את הגורם לתאונה, מוקדם ככל שניתן, כל זאת בהנחה שמדובר בכשל טכני.

1.6.8 למחרת בבוקר, יום רביעי, ה – 25 בנובמבר 2009, התברר כי הצבא לא יבצע את החיפושים ואת שליית המסוק מהים. לפיכך, החלו ברורים לאיתור חברה אזרחית שתבצע זאת. כמו כן, נשלחו צוללים לצלם ולתעד באופן מקצועי את שברי המסוק במים, באתר המרכזי, וכן נשלח מסוק לצילום שברי המסוק, שנראו מלמעלה. במקביל ביצעה המשטרה, לבקשת החוקר הראשי, סיור רכוב, לאורך החוף, לאיתור חלקי מטוס וציוד שנפלטו מהים.

1.6.9 כבר בבוקר הוצאה הודעת עדכון מטעם החוקר הראשי לארגון התעופה האזרחית הבינלאומית (ICAO), לרשויות של ארה"ב (FAA, NTSB) כמתכנתת ויצרנית המסוק וכן לאנגליה (AAIB), מאחר שאחד הנוסעים שניספו היה אזרח בריטי.

בהמשך היום התקבלו הצעות סיוע מצד ה – NTSB ו – AAIB, ככל שיתבקשו.

1.6.10 באותו היום, לבקשת החוקר הראשי, מנהל ביה"ס לצלילה, צלל וצילם את שברי המסוק על קרקעית הים. בנוסף, אסף ציוד אישי שהיה במסוק, שכלל: טלפונים ניידים, מצלמה, מפתחות ופריטים נוספים. כרטיס הזיכרון של המצלמה, שהחלו בו נזקי קורוזיה, נשלח מיידית למעבדת צילום להנצלת המידע שהיה אגור בו. בהמשך, רכש משרד החוקר הראשי מאחד מערוצי הטלוויזיה, העתק מסרט וידאו שצולם באותו היום, במהלך צלילה שביצעו באתר התאונה, שיזם אותו ערוץ.



1.6.11 באותו יום רביעי, אחה"צ, ולאחר שנבחנו מספר הצעות, הוחלט לבצע את משימת השלייה עם המכון לחקר הימים והאגמים. החוקר הראשי יחד עם נציג המכון תאמו ותכננו את פרטי המשימה, כולל לוח זמנים לביצוע מיידי. המבצע בוצע על-פי המתוכנן והוא כלל שלושה שלבים, כדלקמן:

שלב א' – יום רביעי (25.11.09)

- 22:30 - איסוף החוקרים מהמרינה של הרצלייה והעמסת הציוד.
 - 24:00 - יציאה מהמרינה של הרצלייה לכיוון אתר התאונה.
- הערה: שני חוקרים הצטרפו להפלגה.

שלב ב' – יום חמישי (26.11.09)

- 02:00 - תחילת מיפוי קרקעית הים, באמצעות סונר סורק צד.



- 06:30 - הצטרפות החוקר הראשי וסגנו, מחוף "סירונית" לאונייה.
 - 07:00 - הצטרפות שישה צוללנים מחוף "סירונית" לאונייה.
- התארגנות וביצוע תדריכים.
- 08:00 - תחילת משיית גוף המסוק וחלקים סמוכים.
- כל החלקים נשטפו במים מתוקים לצמצום נזקי השיתוך.



חלקי המסוק לאחר שלייתם

- 09:00 - הערכת מצב, על-פי החלקים שנמשו מהמים, הגדרת עדיפויות לאזורי חיפוש והתארגנות להמשך משיית החלקים.
- 10:30 - איתור החלקים החסרים (שהיו הכרחיים לחקירה) באמצעות צוללנים וציוד ניווט (GPS).
- 13:00 - השלמת המשימה העיקרית של איסוף כל החלקים שנדרשו לחקירה. "ניקוי" מרב השטח וחזרה למרינה בהרצליה.
- הערה: המשימה בוצעה בדיוקנות וללא הפרעה, בזכות התכנון לביצוע הסריקה כבר בלילה וסיוע המשטרה, על החוף, למניעת הגעתם של סקרנים, משך היום.
- 14:00 - פריקת המסוק וחלקיו למשאית פתוחה שאורגנה לשם כך.



המסוק על גבי משאית

- 16:00 - הגעת החלקים למשטח המטוסים של החוקר הראשי במתחם השרות המטאורולוגי בבית דגן.
- בחינת החלקים החשודים והעברת חלקים ראשוניים לבדיקה במעבדה המתמחה במטלורגיה ובחקירת כשלים של חומרים מרוכבים ופולימרים אחרים.

שלב ג' – יום שישי (27.11.09)

- הוצאת דוח ראשוני והמשך פעולות החקירה, בדגש לבדיקות המעבדה.
- הערה: כבר בדוח הראשוני נקבע, כי כשל טכני באחד מלהבי הרוטור הראשי היה מרכיב משמעותי בהתרחשותה של התאונה.

1.7 תקשורת - תמליל האירוע

1.7.1 רצף התמליל והבהרות מתוכו

בדקות שקדמו לאירוע, נמצאו תחת פיקוח יחידת הבקרה הצפונית, המסוק המעורב בתאונה "טמיר 804" ומטוס ארקיע "ארקיע 881". בתמליל מופיע קטע הטיסה האחרון של המסוק, הפעולות שנעשו לאיתורו, הנסיבות שהצביעו על האפשרות לתאונה ועד לאיתור אתר ההתרסקות בים, מול חוף סירונית בנתניה.

ההקלטה של תמונת המכ"מ וערוצי השמע בוצעה על-ידי חיל האוויר, והיא הועברה לידי החוקר הראשי כבר למחרת יום התאונה.

1.7.2 טיסת "טמיר 804" – קטע הטיסה האחרון עד להתרסקות

14: 17: 50	או"ק "טמיר 804" דיווח אולגה ומקבל להמשיך בגובה 400 רגל לוינגייט
14: 19: 30	או"ק "טמיר 881" קרא בשפיים 1,500 רגל ומקבל להמשיך 1,500 רגל לאולגה
14: 19: 50	בעמדת "פלוטו" זיהו קריאת גובה חריגה (1,800') מאו"ק "טמיר 804", בגלל שידור שגוי במוד C בטרנספונדר
14: 19: 55	או"ק "טמיר 804" נשאל לגובהו וענה "פסיק 4" (כלומר 400 רגל QNH) משלא קיבל מענה, שאל את הבקר "קיבלת?" גם במקרה זה לא קיבל מענה
14: 20: 00	או"ק "טמיר 804" קיבל התרעה על תנועה נגדית "ארקיע 881", דרומית אליו, 6 מייל בגובה 1,500 רגל בדרכה צפונה
14: 20: 30	או"ק "ארקיע 881" דיווח "קשר עין איתו" על תדר "פלוטו"
14: 21: 30	או"ק "ארקיע 881" ואו"ק "טמיר 804" חולפים 1,100 רגל, הפרדה אנכית וכ – 1 מייל הפרדה רוחבית (כשהמסוק מזרחי)
14: 22: 04	נשמעים רעשים חריגים שנמשכים לאורך כ – 4 שניות על תדר "פלוטו". עמדת הבקרה סיווגה אותם כפריצת קשר על הערוץ.
14: 22: 16	מכ"מ הטרנספונדר קיבל מענה אחרון מאו"ק "טמיר 804" (יש לקחת בחשבון עיכוב בין קבלת האות עד לעיבודו והקרנתו על מערכת תצוגת התמונה האווירית).

1.7.3 זיהוי התרסקות "טמיר 804"

14: 22: 37	נתיב העקיבה ("טרק") של או"ק "טמיר 804" התחיל התבדרות מהנתיב שקיבל.
14: 23: 00	הבקר המרחבי הבחין, בהתבדרות הטרק, הנחה את מפעיל מערכת התמונה להחזירו לנתיב על גבי התצוגה, ובדק עם המש"ק המתאם, האם ניתן להעבירו לשדה-דב, ונענה בחיוב.
14: 23: 16	בקר (קשר חוץ): "טמיר 804 שדה-דב 124.0, 400 לוינגייט, להישמע". אין תשובה.
14: 23: 25	בקר (קשר פנים): "לא יודע אם הוא שמע אותי..."
14: 23: 27	בקר (קשר פנים): "טמיר 804 פלוטו"
14: 23: 31	בקר (קשר פנים): "אולי הוא נפל? הוא פשוט נפסק לנו פתאום"
14: 23: 39	בקר (קשר חוץ): "טמיר 804 פלוטו, איך מקבל?"
14: 23: 47	בקר (קשר פנים): "פה הוא התחיל להתברלך (ביטוי למטוס שמתבדר מהתמונה האווירית) נכון?" הבקר בעמדה הצביע על דרום נתניה, במקום וינגייט, נקודה שבה הוקפא הטרק של "טמיר 804".
14: 23: 49	נשמע בקשר חוץ: "טמיר פלוטו קורא לך" (כנראה שידור של המטוס החקלאי "או"ק "ANR" שהיה באזור.
14: 23: 54	בקר (קשר פנים) למש"ק: "בדוק אם הוא עבר לשדה-דב", עלה חשד שהמטוס עבר ללא הודעה בקשר.
14: 24: 00	בקר (קשר חוץ) "881 (ארקיע) תוכל להקדיש 5 שניות מזמנך לקרוא לטמיר 804, מסוק באזור נתניה ולבקש ממנו שיקרא על הערוץ", ארקיע קיבל את דרישת הבקר וביצע אותה.
14: 24: 14	"ארקיע 881": "טמיר 804 שומע?"
14: 24: 19	"ארקיע 881": "תקרא ... פלוטו מבקש שתקרא לו"
14: 24: 21	בקר (קשר פנים) "אה... אוקי" הבקר הניח מהתקשורת, שנוצר קשר-עין בין "ארקיע 881" לבין "טמיר 804", ושהמסוק אינו נמצא בכיסוי הקשר של יחידת הבקרה.
14: 24: 30	בקר (קשר חוץ): "טמיר 804 פלוטו לא מקבל אותך, שידור עיוור, קרא לשדה-דב 124.0 פסיק 4 לשפיים, להישמע".
14: 24: 37	"ארקיע 881": "טמיר, קיבלת?"
14: 24: 39	"ארקיע 881": "יכול להיות שהוא עבר ערוץ כבר" (לשדה-דב)
14: 24: 41	בקר (קשר חוץ): "100% תודה".

1.7.4 בשעה 14:24:45 סבר הבקר, מבלי שקיבל תימוכין מכל מקור אפשרי, כי המסוק עבר לערוץ שדה-דב מבלי לדווח, ומבחינתו של הבקר האירוע הסתיים. את תחושותיו באשר לאירוע, ביטא הבקר בקשר פנים לעמדה, כמה שניות לאחר מכן, כמובא להלן:

בקר (קשר פנים) לעמדה: "... עכשיו עכשיו, אבל הוא באוויר, הייתה לי פה איזה דאגה, שמעת את הדבר הזה שהיה לפני זה על הקשר?" (מתייחס לפריצות על התדר מ – 14:22:04) "היה צליל לא טוב, אמרתי לעצמי – משואת התרסקות, למרות שנראה לי שהוא בסדר... לא, הוא בסדר, טוב שיש את הארקיע 881 הזה. אני כבר הייתי עם היד לקמנ"ק" (להורות על הזנקת מסוק לחילוץ).

1.7.5 במקביל לתקשורת על ערוץ הבקרה, הבחינו עדי ראייה בהתרסקות המסוק ודיווחו על כך למשטרה ולמד"א, שהעבירו את המידע לחיל האוויר. יחידת השליטה בחיל האוויר העבירה את המידע ליחידת הבקרה. לאחר שהוברר מהמגדל בשדה-דב שהמסוק לא היה עמם בקשר, הוזנק מסוק חילוץ לאזור ההתרסקות, כחמש דקות וחצי מקרות התאונה.

1.7.6 תוך כדי טיסת מסוק הכוננות לאתר ההתרסקות, ביקש הבקר את "ארקיע 881" להתבונן באזור נתניה, ולחפש רמזים לתאונת מסוק. בינתיים פקח המגדל בהרצליה ביקש את טייס מטוס "ARW" שתרגל באזור ליצור קשר עם יחידת הבקרה, כדי לסייע בזיהוי מקום ההתרסקות.

1.7.7 כדקה לאחר שהחל בחיפושים, דיווח "ARW" על שתי סירות ששטות לכיוון כתם שנמצא מול מלון "כרמל" בנתניה, במרחק כ – 300 מטר מהחוף. המידע הועבר לגורמים המתאימים שכיוונו את כוחות ההצלה למקום.

1.7.8 הקלטות המכ"מ והשמע של יחידת הבקרה הצפונית של חיל האוויר הועברו במקרה זה תוך זמן קצר ובכך אפשרו לקדם את החקירה, בשלב הקריטי הראשוני, בצורה שתרמה רבות להצלחתה.

1.8 פגיעות ונזקים

1.8.1 כל ארבעת האנשים שהיו במסוק נהרגו בפגיעה במים – שניים מהם הועפו החוצה בפגיעה ושנים נותרו חגורים במסוק.

1.8.2 המסוק התפרק באוויר לשני חלקים עיקריים:
גוף המסוק והרוטור הראשי – פגיעה חזקה בצד הקדמי שמאלי.
זנב המסוק, עם כל ציר ההנעה כשהרוטור האחורי שלם.



גוף המסוק והזנב בשלב שלייתם מהמים

1.8.3 אחד מלהבי הרוטור הראשי נמצא כמעט "ערום" לחלוטין, ללא המבנה המרוכב של הלהב ("חלת הדבש" והמעטה).
הלהב השני נותר שלם וכמעט ללא פגיעות.



1.9 שחזור חלקי המסוק

- 1.9.1 על פי עדי הראייה, זנב המסוק ניתק באוויר. עם שליית גוף המסוק מהים, נראה בבירור כי באחד מהלהבים חסר המעטה, בקטע ארוך מאוד - אז עלתה השאלה האם מדובר בסיבה או בתוצאה, או האם פגיעת הלהב בזנב היא שגרמה לקילוף המעטה מהלהב, או שמא נפרד המעטה מהלהב טרם הפגיעה.
- 1.9.2 חרף המאמצים שהושקעו בחיפוש, לא נמצא בין השברים, קטע מעטה באורך כ – 1.5 מטר מקצה הלהב לכוון השורש, בלהב שכשל. פיזור החלקים הצביע על כך, שהקטע החסר ניתק מהלהב מייד עם תחילת ההתרחשות.
- 1.9.3 שברי המסוק שנמשו מהים הועברו באותו היום למשטח אחסון המטוסים, של משרד החוקר הראשי, במתחם השרות המטאורולוגי (שמ"ט) שבבית דגן, לצורך בדיקה ראשונית וניסיון לשחזר את התהליך והמנגנון של התפרקות המסוק באוויר.



פריקת המסוק במתחם השמ"ט

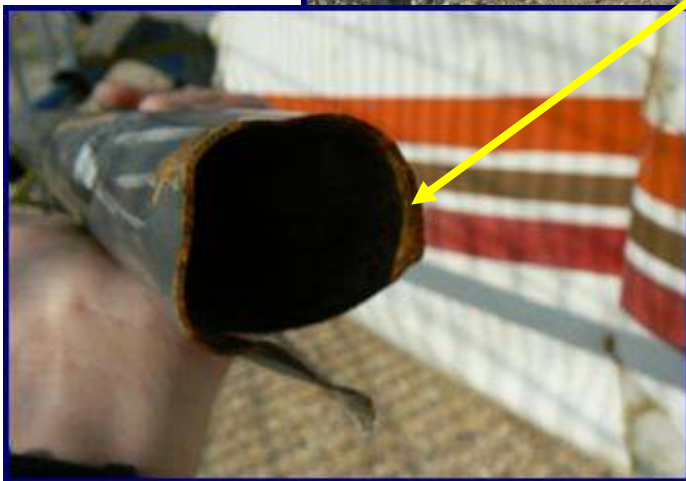
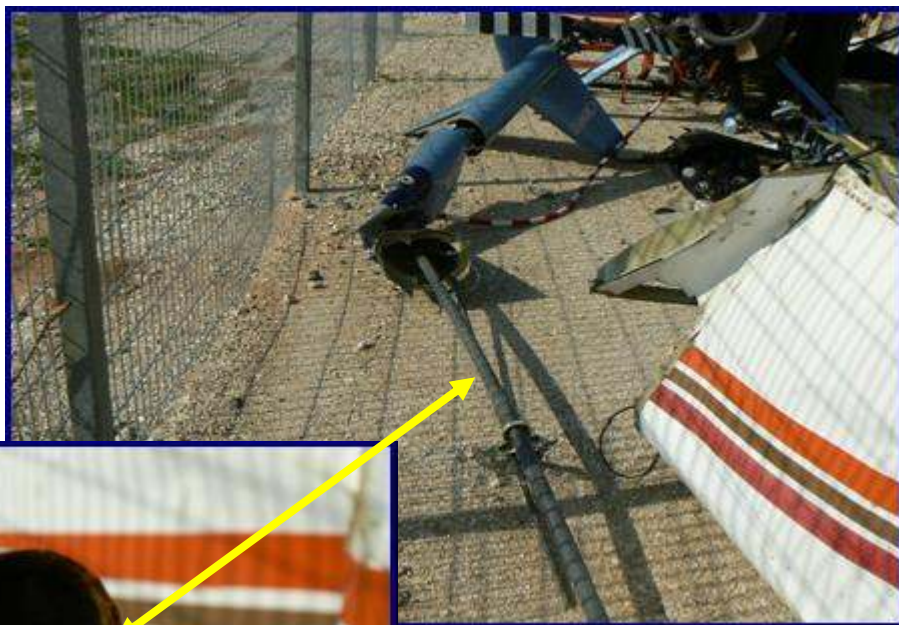
- 1.9.4 בחינת הזנב השבור של המסוק, הצביעה על מכה בודדת, עמוקה, של קורת הלהב שכשל, שחסרה את המעטה, בזווית 50 – 60 מעלות כלפי מטה. בסיועם של מספר חוקרים, שוחזר לכאורה מבנה הזנב ובמקביל הופעל כוח כלפי מטה, על הלהב השלם השני וכפיפתו, עד למצב שתאם את ההטבעה שהייתה על הזנב השבור.

מכת הנגיפה של הלהב
בזנב המסוק



1.9.5 שחזור מצב הפגיעה המחיש לחוקרים את מידת הנפנוף החריגה שנדרשה כדי להטביע חותם כזה. העדרם של "נגיסות" מתקדמות, של פגיעות נוספות, כפי שמתקבל בדרך-כלל בנפנוף להבים, יחד עם עובדת שלמותו של הלהב השני, הביא את החוקרים למסקנה, כי מדובר בנפנוף של להב אחד, באופן חריף ביותר, ביחס לנפנוף של הלהב האחר.

1.9.6 התאמת הלהב, להטבעה שאותרה בזנב, סיפקה גם את ההסבר לגורם שפרק את מכלול הזנב באוויר - הלהב שכשל פגע לא רק במעטה הפח של מכלול הזנב, אלא גם בציר ההנעה של הרוטור האחורי, עד כדי ניתוקו, באותה מכה יחידה, מהחיבור עם הממסר הראשי. בתהליך העפתו נשבר הזנב במספר מקומות, עקב הלחץ שהפעיל ציר ההנעה, תוך כדי התנתקותו, על החלקים הפנימיים של הזנב.



**ציר הנעת רוטור הזנב
נתלש עם מכלול הזנב**

**בתוך פרק זמן קצר מאוד התהוותה
קורוזיה בחתך השבר של הציר**

1.10 חלקי המטוס - נזקים עיקריים

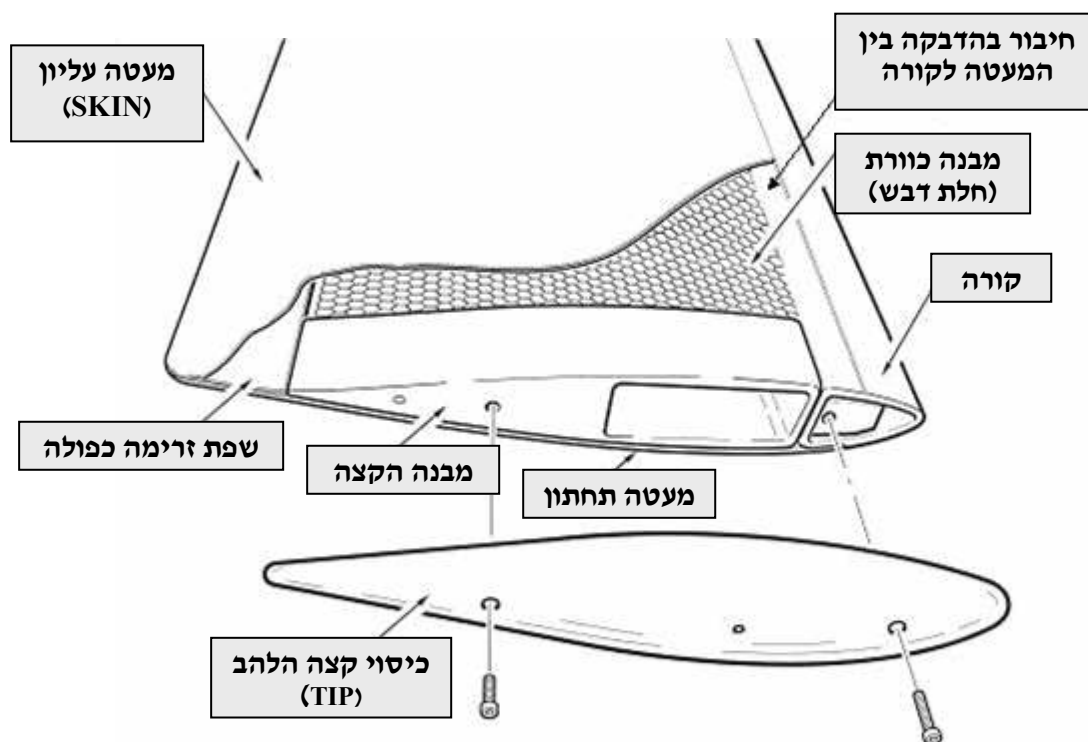
1.10.1 מידע על הרוטור הראשי

דגם הלהב: C016-2, או C016-5.

אורך הלהב הוא 198 אינץ'.

התרשים מראה חתך העובר דרך החלק החיצוני של להב הרוטור הראשי. קצה הלהב המתואר, כולל קורה בשפת ההתקפה, מעטה המכסה מבנה חלת דבש החל משפת ההתקפה ועד שפת הזרימה וכן, כיסוי קצה להב, בין הקורה לשפת הזרימה. רכיבי הלהב מודבקים זה לזה ברובם, באמצעות שכבת דבק אפוקסי, העוברת אשפרה בחוס גבוה. חברת RHC לא שינתה את תהליך ההדבקה, מאז החלה לייצר את הלהבים לראשונה. לקצה הלהב, מחובר כיסוי (TIP), באמצעות שני ברגים. קורת הלהב עשויה פלדת אל-חלד. מעטה הלהב עשוי רדיד מפלדת אל-חלד עם ליבה העשויה חלת דבש מאלומיניום.

חתך להב ראשי (רובינסון R-44)



1.10.2 פירוט הנזקים

1.10.2.1 לאחר שליית המסוק מהים, הוברר שבאחד הלהבים הראשיים חסר מעטה באורך של כ – 3.5 מטר, מקצה הלהב לכיוון השורש.



1.10.2.2 זנב המסוק נמצא הרחק מהגוף ועם משייתו מהים הוברר, שהוא כולל בתוכו את ציר ההנעה של רוטור הזנב לכל אורכו.

1.10.2.3 עפ"י מהות הנזקים, נראה שהפגיעה במים הייתה בצדו השמאלי של הגוף, שם ניכרים סימני לחיצה רבים, מהפגיעה רבת העוצמה במים (HYDRO FORMING DAMAGE), כולל במעטה המנוע, בכיסוי התורן, ובמכל הדלק.



סימני לחיצה מהותיים על מעטה התורן

1.10.2.4 בהתבוננות על ראש הרוטור נראה שאחת מהקרניים שאליה מחובר מוט שינוי זווית פסיעה, של הלהב שכשל – שבורה.



קרן הפעלת מוט שינוי זווית פסיעה, שבורה

- 1.10.2.5 המושבים הקדמיים נתלשו ממקום אחיזתם.
- 1.10.2.6 תקרת תא הטייס, מגן הרוח וארבע הדלתות, נתלשו ממקום חיבורם בגוף.
- 1.10.2.7 החלק הפנימי של הלהבים הראשיים, המתחבר לראש הרוטור, נמצא מחובר עדיין לראש הרוטור, ללא סימני כשל בחיבור.
- 1.10.2.8 נמצאה רציפות במערכת ההיגוי של הסטיק ושל הקולקטיב, מתא הטייס ועד למכלול הצלחות.
- 1.10.2.9 היגוי רוטור הזנב נמצא מנותק, בעקבות ניתוק הזנב. בתוך הקטע המנותק נמצאה רציפות תנועה של היגוי הזנב, עד ללהבים.
- 1.10.2.10 המנוע לא סובב. מניפת הקירור נותקה ממקומה, באופן חלקי, מטבורה.
- 1.10.2.11 מפעיל המצמד ניתק ממקומו, אך נראה שהוא נמצא בטווח מתיחה נורמאלי. הרצועות נמצאו מחוץ לתושבתן. בגלגלת ההובלה העליונה נמצאה שחיקה חמורה שהייתה במצב שהוא מעבר למגבלות.
- 1.10.2.12 ציר ההנעה של הממסר הראשי נמצא מחובר כיאות למנוע. הציר ותורן ראש הרוטור נמצאו מכופפים ולא ניתן היה לסובבם.
- 1.10.2.13 מכל הדלק הראשי ניזוק באופן חמור ומכל הדלק המשני נוקב במעטה הפנימי. צינור האוורור של מכל הדלק נמצא נקי וכמוהו גם מסנן האצבע של הקרבוראטור.

1.10.3 בדיקות חזותיות

- 1.10.3.1 בבחינת אורך הלהב חסר המעטה, הוברר שחסר בו קטע שאורכו כ – 1.5 מטרים מקצה הלהב פנימה.
- 1.10.3.2 על קורת שפת ההתקפה אובחנה גליות ביחס למישור העלרוד, כן הובחן שינוי הגוון לאורך שפת ההתקפה – ממצב של רציפות כיסוי בצבע, באזור השורש, ועד לחשוף מצבע בקצה הלהב. שיעור חשיפת הצבע, בגחון הקורה, משמעותי ביחס לחשיפת הצבע בעקימון העליון.
- 1.10.3.3 בחלק התחתון של קורת הלהב שכשל, במרחק 17 ס"מ מקצה הלהב, בקו החיבור של מעטה משטח הלהב עם קורת הלהב, זוהה כתם כהה (שחור/חום), באורך 44 מ"מ וברוחב 3 מ"מ. הועלה חשד שמקורו הנו תוצר של ארוזיה וחמצון שאירעו משך הזמן וגרמו להפרדת ההדבקה באותו האזור.
- 1.10.3.4 זרוע החיבור (הקרן), של מוט שינוי זווית פסיעה של הלהב שכשל, נמצאה שבורה כתוצאה מעומס חד פעמי.
- 1.10.3.5 בסקירת חתך להב תקני, באזור הסמוך לשורש, הפרופיל כולל:
- ☒ קורת שפת ההתקפה
 - ☒ מבנה חלת דבש בתוך מעטה
 - ☒ שלוש שכבות פח המשמשות כמעטה של הקורה ושל חלת הדבש.
- 1.10.3.6 בסריקת חתך הלהב, באזור בו נתלש החיפוי, הפרופיל כולל:
- ☒ קורת שפת ההתקפה
 - ☒ מבנה חלת דבש
 - ☒ שכבת פח מעטה יחידה המכסה את חלת הדבש במלואה והנצמדת לקורת שפת ההתקפה, במגרעות המצויות מעל ומתחת לקורה באמצעות שרף הדבקה.
- 1.10.3.7 ניתוק המעטה המרכזי מקורת שפת ההתקפה התרחש בממשק שבין הפח לבין הקורה. בממשק זה מובחנת רשת של מעוינים המהווה את מטריצת ההדבקה במקום. יחד עם זאת, לאורך שפת הפח מובחנים משטחים חלקים לסירוגין, המרמזים על חוסר הדבקה מקומי.

1.11 בדיקות מעבדה

1.11.1 לאחר שליית המסוק מהים נוסר הלהב שהיה חסר את המעטה, בסמוך לשורש, והועבר למכון הכשל לבחינה.

למחרת היום, לאחר שהועבר המסוק לאתר השברים שבמתחם השרות המטאורולוגי, הגיעו אנשי מכון הכשל וניסרו מקטע של 2.5 מטרים מהלהב השני והעבירו אותו לבדיקות השוואה במעבדה.

במכון לחקר הכשל בוצעה, על שני הלהבים, סקירה חזותית, בחינה מיקרוסקופית, אפיון כימי של חלקים, חתך מטלורגיה ובדיקת קושי. בעת חקירת הלהב במעבדה, נמצא על קורת הלהב סימן הטבעה בצבע כחול, שהוברר מעבר לכל ספק, כי מקורו בזנב המסוק. הסימן הכחול גלש מהקורה אל עבר אזור ההדבקה של המעטה. זוהי הוכחה מובהקת לכך שמעטה הלהב נפרד מהלהב עוד בטרם הלהב פגע במכלול הזנב.

1.11.2 כשל בחומר ההדבקה לעומת הפרדת המעטה מחומר ההדבקה

כשההדבקה נכשלת, ניתן לראות בפני השטח, שלושה סוגי כשל:

Cohesive ☒

Adhesive ☒

שילוב ביניהם ☒

Cohesive : שבר בתוך חומר ההדבקה, קרי שאריות דבק נותרו על פני השטח של שני הגופים שהודבקו. ניסוי לסוג זה של כשל, מצביע על כך שהכשל מאופיין בהעדר חוזק של הדבק ולא בכושר האחיזה לגופים המודבקים.

Adhesive : כשל המוגדר כשבר בממשק שבין חומר ההדבקה לגופים המודבקים. כשל מסוג זה מצביע, כי הכשל התרחש לפני שבא לידי ביטוי החוזק המרבי של חומר ההדבקה.

שילוב בין שני הסוגים : בשילוב זה, ייגרם שבר באזור הדבקה, שיכלול אזורים רבים ונפרדים משני הסוגים שלעיל. כשל המכיל שילוב אקראי של שני סוגי הכשל, מצביע על כך שחוזק ההדבקה ייכשל מתחת לחוזק המרבי של חומר ההדבקה. סוג זה של שילוב, מוגדר כיחס בין שני סוגי כשל, מסוג Adhesive ומסוג Cohesive.

1.11.3 מחקר ה – NTSB לגבי חוזק מבנה להבים של מסוקי רובינסון

1.11.3.1 במידע שנאסף על ידי NTSB, לצורך ניתוח כשלים בלהבי מסוקי

רובינסון הובר, שבמהלך היצור, חברת רובינסון בודקת את חוזק ההדבקות, באמצעות מבחני "קילוף". לכל סדרת יצור של חומר ההדבקה, נלקחים להבים מדגמיים העוברים מבחנים, בכוח הגורם לכשל ההדבקה. מראה פני השטח באזור הכשל מבוטא כיחס באחוזים, של הכשלים מסוג 1) ומסוג 2). כשל של 100% בסוג 1), מצביע על ההדבקה החזקה ביותר.

1.11.3.2 מפרטי תהליך ההדבקה של רובינסון מחייבים, שפני השטח לאחר

כשל ההדבקה, יצביעו על לפחות 80% מסוג 1). במידה שדגם הבדיקה שכשל, לא עמד בערך של 80%, או בחוזק המזערי המוגדר על ידי רובינסון, סדרה זו של חומר הדבקה יחד עם הלהבים שהודבקו בחומר זה, ייפסלו. על-פי בדיקת ה – NTSB בלהבי הרוטור הראשי של מסוק שהיה מעורב בהתרסקות, נמצא שילוב של כשל מהסוגים 1) ו- 2), כשאחוז שטח ההדבקה מסוג 1), היה נמוך בצורה משמעותית מהערך המזערי הנדרש על ידי היצרן - 80%. עובדה זו מצביעה על חוזק הדבקה נמוך מהחוזק המיטבי הנדרש.

1.11.3.3 הדבקה חלשה יכולה הייתה לאפשר לשפת ההתקפה של המעטה,

להתרומם מעל פני השטח של הלהב, כך שזרימת האוויר בעת סיבוב הרוטור הראשי, תמשיך את תהליך קילוף המעטה. אם ההתקלפות היא מזערית, אזי ייגרמו ללהב רעידות לא סדירות, המנחות את הטייס לנחות מיידית. לעומת זאת, במקרה של התקלפות יותר משמעותית, חלק גדול ממעטה הלהב עלול להתנתק בפתאומיות, עם תוצאה של שבר בלהב ואובדן מוחלט של השליטה במסוק.

1.11.3.4 המקרים הרבים של חוזק הדבקה לקוי, שהתגלו בלהבי הרוטור

הראשי, מדגישים את הצורך שחברת רובינסון ורשויות התעופה המעניקות רישיונות, יבצעו מבחני חוזק עמידות ובדיקה של ההדבקות בלהבי רוטור של מסוקי רובינסון, באופן טוב יותר.

1.11.3.5 המחקר של ה – NTSB דן בין השאר בנושא עמידות המבנה של הלהבים.

עמידות של מבנה מוגדרת ככושר לשמור על חוזק וקשיחות, במשך כל חיי השירות של אותו מבנה ובתחום רחב של סביבות תפעול.

חברת רובינסון אינה מבצעת בדיקות עמידות לטווח ארוך, לשם קביעת הירידה בחוזק ההדבקה עם הזמן, כתוצאה מחשיפה לסביבות תפעול מגוונות, כגון סביבה ימית, לחות גבוהה, אובך הנגרם על ידי חלקיקי חול באוויר. מאידך גיסא, גם ה- FAA אינו דורש בדיקות מסוג זה, לצורך רישוי להבי הרוטור הראשי.

1.11.4 בדיקות אל-הרס לחיבורים מודבקים

1.11.4.1 במהלך הייצור, חברת רובינסון בודקת את החיבורים המודבקים של להבי הרוטור, בשיטת הנקישת (שיטה פשוטה של בדיקת אל-הרס לגילוי ליקויים, כגון נקבוביות, ניתוק הדבקה, ותכולת חומרים זרים). חברת רובינסון אינה מבצעת בלהבי הרוטור שיטה נוספת של בדיקות אל-הרס.

בדיקת נקישת נעשית על ידי הקשה על החיבור המודבק, בעזרת מטבע והקשבה לשינויים בצליל, האמורים לחשוף ליקויים. חברת רובינסון נוקבת בשימוש במטבע בן רבע דולר, משנת 1965 ומעלה, לביצוע בדיקת הנקישת. כמו כן מציינת החברה, כי מפעילים רבים אימצו שיטה זו, בעת האחזקה השוטפת.

1.11.4.2 החוקרים התרשמו, כי בדיקת הנקישות אינה מספקת לגילוי ליקויים באזורים קריטיים של להבי הרוטור, כגון האזורים שבין המעטה לקורה, בקצה הלהב ובין המעטה לכיסוי קצה הלהב. רמת הוודאות של בדיקה כזו אינה גבוהה בעוד שמחיר הטעות, של פסילת להב תקין, גבוה מאוד.

אמינותה של בדיקת הנקישות תלויה בניסיונו של מבצע הבדיקה ובתנאים שבה מבוצעת הבדיקה. כשלים בהדבקה בקצות המעטה, יכולים להיות צרים וקטנים מאד ולכן, שינוי בצליל לא יורגש, בגלל גודל המבנה המונח מתחת לאזור הנבדק. בנוסף, **הנקישה קשה לביצוע, במיוחד כשמדובר בבדיקת המעטה התחתון**. יתכנו גם מקרים שבהם, להבים חדשים כבר כוללים עם יצורם, אזורים של ניתוק הדבקה בשולי המעטה.

1.11.4.3 לתעשיית בדיקות האל-הרס, קיים שלל של שיטות לגילוי ליקויי הדבקה, כגון חללים וניתוקים בהדבקה, אולם, היא מתקשה למצוא שיטות עקביות לגילוי הדבקות חלשות או קיום מגע בין הרכיבים, שלא קיימת שכבת הדבקה ביניהם.

1.12 הוראות לבדיקת להבים

1.12.1 לאחר שהגיעו לידי חברת רובינסון יצרנית המסוק, דיווחים בדבר הפרדת קצות הלהבים הראשיים, פרסמה החברה לידיעת המתפעלים, בתאריך 4 בינואר 2007 מכתב התראה, המציע לבדוק את ההדבקה בקצות הלהבים. על בסיס המכתב, בתאריך 31.1.07, פורסם עלון מידע על ידי רת"א לידיעת מתפעלי מסוקי רובינסון למיניהם להתייחס לאמור במכתב ולנקוט את הפעולות הדרושות וההמלצות מתוכנו.

1.12.2 כחודש מאוחר יותר, בתאריך 9 בפברואר 2007, פרסם ה – FAA הוראת שירות מיוחד (SAIB) SPECIAL AIRWORTHINESS INFORMATION BULLTIN SW-07-16, בה צוין, שקיים מידע אודות הפרדת הדבקה בעקימון התחתון של הלהב הראשי, במקום חיבור המעטה לקורה. בעניין זה הוצאה על ידי חברת רובינסון הוראת התראה בטיחותית (אין חובת ביצוע).

1.12.3 על-פי ה – FAA, במועד כתיבת הוראת השירות, התגלתה הפרדת מעטה הלהב בארבעה מסוקי R-22 (להבים A016-4), בקצה התחתון, בנקודת ההשקה שבין המעטה לקורה. תופעה זוהי גם התגלתה בשישה להבי רובינסון R-44 (C016-2). הפרדה יכולה להיגרם כאשר צבע הלהב נשחק דיו עד שנחשף אזור החיבור של המעטה התחתון הסמוך לשפת ההתקפה. סיבה נוספת שיכולה לגרום להפרדה הינה, המצאות שיתוך בקצה הלהב (TIP). על-פי ה – FAA, בדיקה לפני טיסה של האזור האמור, אמורה לזהות מבעוד מועד אפשרות להפרדת מעטה הלהב ובכך למנוע כשל קטסטרופאלי.

1.12.4 ה – FAA המליץ בהוראתו הנ"ל, לבדוק בתשומת לב מרובה את אזור הלהב התחתון בנקודת החיבור של המעטה לקורה, במיוחד בקטע שאורכו – 12 אינץ' מקצה הלהב לכיוון השורש. אם במהלך הבדיקה יימצא אזור מעטה שאינו במישור אחד עם הקורה, הלהב פסול משימוש. בלהבים שבהם הצבע מכסה עדיין את אזור ההשקה שבין המעטה לקורה, כל איתור סדק בצבע, מרמז על אפשרות להפרדה. במקרה שכזה יש לבצע בדיקת נקישות (TAP TEST), על יד מכוואי מוסמך, לפני הטיסה הבאה. אם עולה חשש להפרדה, במהלך בדיקת הנקישות, הלהב פסול משימוש.

1.12.5 הוראת ה – FAA מסיימת בזו הלשון: "אם נשמעים רעשים לא רגילים ממערכת הרוטור, או שמתגלות רעידות בטיסה, יש לנחות מיידית ולבדוק את הלהבים הראשיים" (תרגום).

הערה: הנחת היסוד של ה – FAA הייתה, שבכל מקרה של הפרדה ייתלש רק קטע של קצה הלהב, דבר שיגרום לרעידות, אך יאפשר את נחיתת המסוק.

1.12.6 בתאריך 12 בפברואר 2007, פרסם אגף כושר אווירי ברת"א הוראה, שמספרה, 62-07-02-15, המורה (תוך התבססות על הוראות ה- FAA וחברת רובינסון) על עדכון תהליך הבדיקה היומית למסוקי R-22 ו- R-44 בפעולות הבאות:

1.12.6.1 "בדוק בדיקה ראייה קפדנית את להבי הרוטור. הקפד לבדוק בעזרת סולם את אזור עשרת האינצ'ים מקצה הלהב".

1.12.6.2 "בצע בדיקת TAP-TEST, כפי שמוגדר ב- AC-43.13 סעיף 5-105 (AC=Advisory Circular).

1.12.6.3 "אם אזור הבדיקה אינו חלק עם פני השטח, הלהב אינו כשיר לטיסה!!!"

1.12.6.4 "בלהבים צבועים – סדק בצבע עלול להצביע על הפרדה!!!"

1.12.7 בתאריך 29 במרס 2007, פרסמה חברת "רובינסון" עלון שירות לבעלים, למתפעלים ולמרכזי השירות, של מסוקי R-22 ו- R-44:

☒ למסוקי R-22 - SERVICE LETTER SB-96

☒ למסוקי R-44 - SERVICE LETTER SB-91

נושא עלון השירות: ארוזיה בלהבי הרוטור הראשי

ישימות: למסוקי R-44 ממספר 001 ועד למספר 1670, ולמסוקי R-44 II ממסוק 10001 ועד למסוק 11570.

מועד לביצוע: בתוך חמש שעות הטיסה הבאות, או עד לתאריך 30 באפריל 2007, מה שיבוא קודם.

רקע: חברת רובינסון קיבלה מידע אודות תחילת הפרדה בלהבים, בממשק החיבור שבין המעטה לקורה, בקצה הלהב, בחלק התחתון.

שיטת הביצוע: יש לבצע בדיקת ראייה באזור מוגדר (שהוצג באיור, בהוראה) לגילוי שחיקת יתר באזור החיבור של מעטה הלהב לקורה, בקצה הלהב. אם לא נחשף קטע מודבק, אזי הלהב ראוי לשימוש. אם נחשף קטע מודבק, יש לבצע בדיקת ראייה באמצעות זכוכית מגדלת, בעלת כושר הגדלה פי עֶשְׂרָה וכן לבצע בדיקת נקישות (TAP TEST) בחלק החשוף, באמצעות מטבע רבע דולר אמריקאי, משנת 1965 ואילך (הרכב המתכות שונה מהמטבעות הקודמים).

אם מתגלה סימן או חשש להפרדה, הלהב פסול לשימוש. אם לא מתגלה דבר, אזי יש לצבוע מחדש את אזור הלהב החשוף בהתאם לאמור ב- SL-32.

1.12.8 בדיקת ראייה על ידי הטייסים:

☒ בעת שפורסמו הוראות השירות השונות לבדיקת הלהבים, נקבע גם שיש לעדכן את ספר התפעול של הטייס (POH) באשר לבדיקת הלהבים, הנדרשת לפני כל טיסה.

☒ בספר הטייס, בפרק NORMAL PROCEDURES, בעמוד 2 – 4, צוינה אזהרה בזו הלשון (תרגום): "וודא שהשחיקה במעטה התחתון של הלהב אינה חושפת את קו ההדבקה שבין הקורה למעטה". בסיום ישנה הפנייה לתיאור, בפרק 7 (ההדגשה אינה במקור).

☒ בפרק 7 מתואר מבנה הרוטור הראשי ובעדכון לאותו פרק, שהוצא ב – 20 באפריל 2007, נרשם (תרגום חופשי): "מעטה הסטיינליטיל מודבק אל הקורה, בערך אינטש אחד אחרי שפת ההתקפה. הלהב חייב להימצא במישור אחד. אם הצבע נשחק עד כדי חשיפת קו ההדבקה, אזי יכול להיגרם נזק להדבקה" (ההדגשה אינה במקור).

אין כל הסבר מה יכול להיגרם למסוק בעקבות חשיפת קו ההדבקה ואין הנחייה לקרקע את המסוק במקרה שכזה.

בתאריך 5.6.07, פורסמה על ידי רת"א הוראת כושר אווירי 62-07-02-15 R1, המחייבת להתייחס להוראות SB-61, SB-96 (לשני סוגי המסוקים) ולכלול את האמור בהן, במערך האחזקה.

1.12.9 הנאמר בכל ההוראות הנ"ל רוכז ע"י ה – FAA ובתאריך 17 בדצמבר 2007, הוצא מטעמו AD שמשפרו 2007-26-12, שקיבל תוקף לביצוע החל מתאריך 18 בינואר 2008. ה – AD הנ"ל התקבל ברשות התעופה האזרחית, כלשונו ולאחר שניתן לו מספר ישראלי, הועבר לביצוע בכל מכוני הבדק הרלוונטיים. בתאריך 9 ביוני 2008 יצאה המלצה מטעם ה – NTSB, בדבר הצורך ליישם את הנאמר באותו ה – AD, גם ע"י הטייסים וגם ע"י הטכנאים.

1.12.10 בכל ההוראות שצוינו לעיל הוזכרה בדיקת נקישה TAP-TEST, שיש לבצעה על-ידי טכנאי שהוכשר לכך (QUALIFIED MECHANIC). גם ההוראה שהוצאה על-ידי כושר אווירי ציינה את הבדיקה הנ"ל, תוך הפנייה להוראת ה – AC-FAA 43.13, סעיף 5-105. עיון ב – AC הנ"ל מלמד, שהבדיקה נועדה לאתר הפרדות בין חלקים מודבקים, והיא מבוצעת בהקשה על אזור חשוד באמצעות מטבע, פטיש קל במיוחד, או כל חפץ אחר מתאים. המשוב האקוסטי המתקבל בנקישה, שונה בין אזור תקין לבין אזור שיש בו הפרדה.

בהוראה הנ"ל מצוין, שדיוק הבדיקה מותנה בהבנה הסובייקטיבית של מבצע הבדיקה באשר למשמעות של ההד שנשמע. לפיכך מודגש בהוראה, שרק אנשים שהוכשרו לכך רשאים לבצע את הבדיקה האמורה (בדומה להמלצת החוקר הראשי בדוח החקירה בדוח החקירה של תאונת R-22 מה – 29.2.04).

1.12.11 בתאריך 11.4.09, בעקבות המידע שהוצא ב – AD, לחייב גם את הטייסים לבדוק את השחיקה בלהבים, שלח מפקח רת"א אל מכון הבדק את גיליון הליקויים ששימש אותו בעת הכנת המסוק הנחקר, לחידוש רישוי שנתי (C/OF/A) ושצוין בו בזו הלשון: **"לבדוק עדכון F/M לבדיקת הלהבים ראשיים עבור טייסים"**.

אין עדות לכך שהנחייה דומה הועברה גם לבעלי מסוקים אחרים.
צוות החקירה בדק את התנהלות העניינים לאחר רישום הערת המפקח הנ"ל, ולהלן הממצאים:

✕ בגיליון הליקויים, ציין המפקח ארבעה ליקויים/הנחיות שיש לתקנם/ליישם (בהתאם) לצורך קבלת תעודת כושר טיסה ובכללם: עדכון F/M בפרטי משקל ואיזון של המטוס ובדיקת עדכון F/M באשר לבדיקת הלהבים הנדרשת לביצוע על ידי הטייסים.
גיליון הליקויים הועבר לרשות מכון הבדק.

הערה: לדעת צוות החקירה נושא בדיקת הלהבים, צריך היה לצאת כהנחיה כוללת לגבי כל ספרי הטייס של המסוקים ולא לכל מסוק בנפרד.
✕ המבקר של מכון הבדק חתם על תיקון הליקויים, בגיליון שנשלח אליו על ידי כושר אווירי. הגיליון, יחד עם תשובת מכון הבדק נשלח חזרה למפקח רת"א. בעמודה "הפעולה שננקטה" צוינה תשובת המכון לגבי כל אחד מארבעת הליקויים:

לגבי פרטי משקל ואיזון אכן צורף המידע המתאים ל – F/M.
לגבי עדכון ה – F/M באשר לבדיקת הלהבים, צוין במענה **"הבדיקה נמצאת בספר הנייד של המטוס"**.

✕ צוות החקירה לא מצא בספר הנייד של המטוס כל התייחסות לבדיקה האמורה, על אף שלדעת צוות החקירה הספר הנייד לא נועד לרישום הוראות בדיקה.

✕ הספר הנייד שהיה בשימוש, נועד למטוסי כנף קבועה ולא למסוקים, כך למשל, בדפיו הראשונים מופיעים סעיפי הביצוע של הבדיקה שלפני הטיסה, עבור מטוסי כנף קבועה.

✕ המפקח הבכיר ברת"א אישר את תשובות מכון הבדק בנוגע לליקויים, בתאריך 22 באפריל 2009, ובהתאם לכך חתם על תעודת כושר טיסה חדשה למסוק, בתאריך 2 במאי 2009.
אין עדות לכך, כי המפקח בדק את מהות המענה להנחיה שרשם.

1.13 אירועים דומים מהעולם

1.13.1 כללי

תוך כדי החקירה הראשונית יצר החוקר הראשי קשר עם חוקרי ה- ATSB של אוסטרליה ובאמצעותם התוודע לארבעה מקרים, שניים מהם קטלניים, שאירעו בשנים האחרונות במזרח הרחוק. החוקר הראשי פנה לרשויות המתאימות וקיבל מחלקן דוחות חקירה, רובם טרם התפרסמו באופן רשמי. על-פי דוחות אלו, נתגלו בחלק מהחקירות מאפיינים שבחלקם היו דומים למקרה הנחקר וחלקם לא.

יותר מאוחר התברר, כי חברת רובינסון וה- FAA, בניגוד לגישה הכללית של ה- NTSB, סברו שהתוצאות הקטלניות של אותן תאונות נבעו מאי-נקיטת פעולות חרום, כמו נחיתה מיידית בשטח, תחת ההנחה שהכשלים החלו ברעידות מסוק שלא הובילו לנחיתה מיידית.

1.13.2 תאונת קטלנית בפיג'י בתאריך 5 בדצמבר 2006

מסוק R-44 במהלך טיסה התפרק מעטה להב ראשי – הטייס ניספה.

1.13.3 תאונה קטלנית ברפובליקה הדומיניקאנית בתאריך 11 באוקטובר 2006

מסוק R-44 במהלך טיסה התפרק מעטה להב ראשי באוויר. טייס ושלושה נוסעים שהיו במסוק ניספו.

1.13.4 שתי תאונות באוסטרליה (נחיתת חירום)

התאונה הראשונה ארעה בתאריך 15 במרס 2007

מסוק R-44. במהלך טיסת הדרכה התפרק מעטה להב ראשי. המסוק נכנס לרעידות חזקות. המדריך השתלט על המסוק והנחיתו בשלום.

התאונה השנייה ארעה בתאריך 29 בדצמבר 2008

מסוק R-22. במהלך טיסה חש הטייס ברעידות חריפות של הרוטור הראשי. הטייס נחת מיידית בשטח. לאחר עצירת הרוטור הוברר שקטע ארוך ממעטה אחד הלהבים הראשיים נתלש בטיסה.

1.13.5 תאונה קטלנית בארץ

1.13.5.1 בתאריך 29 בפברואר 2004 ארעה אצלנו תאונה, למסוק רובינסון מדגם R-22, בה נספו הטייס והנוסע שהיה עמו. בחקירה נמצא שאחד מהלהבים ניתק מראש הרוטור, בעקבות סדק מוקדם שהיה בשורש הלהב. יצרנית המסוק ידעה על תופעת הסידוק והוצאו הוראות לבדיקת הלהבים, כולל TAP TEST.



1.13.5.2 צוות החקירה הצביע על הבעיה התכנונית של הלהב הראשי, בכל הקשור למועדות שבהיווצרות קורוזיה נסתרת בשורש הלהב – הצגת ממצאי החקירה בפני יצרן המסוק ובפני רשויות חקירה, כמו ה – NTSB וה – ATSB, העלתה את רמת המודעות לסוגיה זו ותרמה חלקה למתן פתרונות למזעור התופעה.

1.13.5.3 בחקירה, גם הוברר, שנדרשת מיומנות מיוחדת, לצורך ביצוע הבדיקה לאיתור מוקדם של כשלים בהתהוותם, ועל כן הומלץ בדוח החקירה הנדון (06-04), בהמלצה מספר 4, כדלקמן:
”להעביר קורס קצר לטכנאי מכוני הבדק הרלוונטיים, אודות בדיקת נקישות (TAP TEST), לאיתור הפרדות במעטה להבי הרוטור, תוך התבססות על ספר האחזקה של המטוס.
 ☒ מומלץ להשתמש לצורך הבדיקה בפטיש זעיר, כמקובל בחיל האוויר.

☒ מומלץ לפנות ליצרן ולבקש ממנו דגמי כיול של קטע להב עם הפרדה, לצורך לימוד מעשי של הצליל הבוקע מהלהב בעקבות הפרדה.”

1.13.5.4 בתאריך 24.8.04 נערך דיון ברשות התעופה האזרחית, על ההמלצות שניתנו בתיק החקירה הנ”ל. לגבי המלצה 4 נקבע:
”יבדקו ההנחיות בספרות האחזקה באשר ל – TAP TEST ובמידת הצורך יוצאו הנחיות חדשות מטעם כושר אווירי.”
 למרות ההחלטה האמורה: עד למועד התאונה לא הופצו ע”י רת”א הנחיות חדשות, ביחס לבדיקת הנקישות.

כאשר נדרשה בדיקת נקישה (TAP TEST), הנחו ההוראות שהיו בתוקף, עד לאחרונה, להתייחס לאמור בסעיף 5-105 של ההוראה הכללית של ה- FAA (AC-43.13), במקום להחיל הוראה, מעודכנת ומובנת, שאמורה הייתה לעשות שינוי בגישה לנושא, אצל כל הגורמים המעורבים.

1.13.5.5 בעקבות התאונה שארעה אצלנו והתאונות הדומות שאירעו אצל אחרים, הוחלפו הלהבים במסוקי R-22. החלפת הלהבים נתנה מענה לבעיית הקורוזיה שאותרה בשורשי הלהבים, ברם, היא לא ביטלה את הצורך לבדוק את ההפרדות במעטה הלהבים בשיטת הנקישה (TAP TEST).

הערה: הצורך בהכשרת טכנאים לביצוע בדיקות TAP TEST, כפי שהומלץ ע"י החוקר הראשי וה- FAA, לא היה ישים רק ללהבי אותו סוג מסוק, אלא כלימוד שיטה שנחשבה ליעילה ביותר לבדיקת אל-הרס של להבים. מכאן שאף אם הוחלפו הלהבים בחדשים, הצורך בהכשרת טכנאים לבדיקה האמורה נשאר בעינו.

1.14 הרחבת החקירה - בארה"ב

1.14.1 כללי

תוך כדי החקירה הראשונית יצר החוקר הראשי קשר עם הממונה על שיתוף הפעולה הבינלאומי ב – NTSB וביקש להציג בפניו את ממצאי החקירה ולהסתייע ב – NTSB במפגשים שביקש לבצע ב – FAA ובחברת רובינסון. הבקשה נענתה מיד בחיוב והחוקר הראשי הופנה לתאם את המפגשים באמצעות נציג ה – NTSB בלוס אנג'לס, היושב בסמוך למפעל רובינסון. אורגן מפגש, עם מהנדסי ה – NTSB בווישינגטון ביום שישי (4 בדצמבר 2009), ועם אנשי המעבדה ונציגי ה – FAA וביום שני (7 בדצמבר 2009) וכן מפגש כולל במפעל רובינסון, בנוכחות חוקרי ה – FAA, חוקרי ה – NTSB, חוקרי רובינסון והחוקר הראשי, מלווה בראש מחלקת ביקורת כלי טיס של רשות התעופה האזרחית של ישראל.

1.14.2 המפגש ב – NTSB

המפגש ב – NTSB נוצל לביצוען של מספר פגישות, שכללו:

☒ פגישה עם כל המהנדסים הפנויים, להעברת פרטים על התאונה.

☒ פגישה משותפת עם נציג חקירת תאונות מסוקים ב – FAA.

☒ עבודה במעבדת השמע של ה – NTSB.

במהלך הפגישות הציג החוקר הראשי בפניהם את הראיות והממצאים שהיו ידועים לצוות החקירה ואת משמעותם המתבקשת – תאונה קטלנית שארעה לפתע, תוך שניות ספורות, מבלי שהיה לטייס סיכוי כלשהוא להיחלץ מהמצב. בנוסף, השוו החוקרים, יחד, את ממצאי החקירה לממצאי חקירות אחרות, של תאונות קטלניות בעלות מאפיינים דומים, לכאורה, באותו סוג מסוק, בשנים האחרונות.

הפגישות היו מועילות ותכליתיות והן השיגו מטרותן בכך, שנציגי ה – FAA וה – NTSB שוכנעו בצורך לבחון ביתר יסודיות, עם חוקרי היצרן, את העובדות וממצאי החקירה שהוצגו בפניהם.

בסיכום המפגש הם פעלו מיידית לתגבר את מספר החוקרים, שתוכננו להשתתף להמשך הפגישות עם חוקרי חברת "רובינסון", בלוס אנג'לס, שלושה ימים מאוחר יותר,

הערה: תוצאות הבדיקה במעבדת השמע יוצגו בהמשך.

1.14.3 הפגישה במפעל (RHC) ROBINSON

1.14.3.1 דיון בממצאים

החוקר הראשי הציג את ממצאי החקירה בפני פורום החוקרים שהתכנס במשרדי החברה, שכלל את המהנדס הראשי המשמש כמשנה לנשיא החברה.

על בסיס ניתוח אירועים דומים אצל אחרים, הגיבה החברה כדלקמן:

1.14.3.1.1 החברה סבורה שארוזיה עלולה לגרום לניתוק ההדבקה, ברם, התהליך יהיה הדרגתי ובתחילתו ייתלש קטע מהמעטה וכתוצאה מכך יכנס המסוק לרעידות שאינן פוגמות בשליטה על המסוק ושניתנות להבחנה על ידי הטייס, כך שבהתרחשותו, יכול הטייס לנחות מיידית. הוראת כושר אווירי (AD) שהוצאה בעקבות האירועים הקודמים, הייתה אמורה לספק את המידע הנחוץ לבדיקה ולאפשר גילוי ארוזיה וניתוק הדבקה, בבדיקות שלפני הטיסה.

בדיקת התיעוד המצולם של התאונה בישראל, מצביעה על כך, ששיעור הארוזיה היה גדול ממה שניתן היה לצפות לאחר 7 שעות טיסה (פרק הזמן שחלף מביצוע הבדיקה על ידי מכון הבדק ועד לתאונה) וברור שהוא חייב היה להתגלות במהלך הבדיקה שלפני הטיסה.

1.14.3.1.2 נציג ה- FAA ציין במהלך הפגישה, שאין בידו עדויות לכך, שבתאונות האחרות, הארוזיה גרמה לניתוק הדבקה שבעטיו נגרם כשל קטלני ופתאומי אולם, העדות המצולמת בתאונה שארעה בישראל, מצביעה על אפשרות של כשל חמור ומיידי.

1.14.3.1.3 המשנה לנשיא חברת ROBINSON הדגיש, כי חברתו עובדת על תכנון להב חדש שיחליף את הלהב הנוכחי. בלהב החדש, מעטה פלדת האל-חלד הקיים יוחלף במעטה אלומיניום יותר עבה.

1.14.3.2 מסקנות מהפגישה

1.14.3.2.1 הנוכחים הגיעו לכלל מסקנה, שהשפה והאיורים

במסמכי ה- AD וה- SB שהוצאו לאחר איתור כשלים בלהבים, אינם מובנים כהלכה ואינם מיושמים כנדרש, על ידי המכונאים והטייסים. אם אופן הבדיקה הנדרש היה מבוצע כהלכה, במקרה הנחקר, הטיסה לא הייתה יוצאת אל הפועל. נראה, שהן המכונאים והן הטייסים, אינם מבינים כהלכה את אופן הבדיקה ואת התוצאות הגלומות באי הקפדה על ביצוע הוראות ה- AD וה- SB.

1.14.3.2.2 אם ייקבע שהארוזיה בלהב גרמה לניתוק הדבקה

ושניתוק ההדבקה גרם לכשל החמור של הלהב בתאונה זו, אזי, יהיה צורך לנקוט בצעדים מסדירים מידיים.

הדבר עשוי להוביל להוצאת מסמך AD חירום, אשר ישנה את המינוחים במסמך ה- AD הנוכחי, יבהיר באופן הברור ביותר כיצד יש לבצע את הבדיקה ו/או יחייב החלפת הלהבים הקיימים בלהבים מהתכנון החדש. הדבר ישפיע על הכשירות האווירית של כל מסוקי ROBINSON (כ- 8,500 מסוקים = 17,000 להבים).

1.14.3.3 בסיום הביקור נקבע לבצע פעולות מתקנות ובכללן:

1.14.3.3.1 יישום שינויים ב- AD וב- SB, תוך שיפור ההדרכה

בנוגע לאופן הנכון שבו יש לבצע הבדיקות, בין על ידי עדכון המינוחים, שיפור האיורים, או שילוב סרטי וידאו להדרכה, אשר יספקו גם היבט חזותי וגם הסבר שמע.

1.14.3.3.2 משרד החוקר הראשי של ישראל, ה- FAA וחברת

ROBINSON הצביעו על הצורך בביצוע בדיקת שברי המסוק, בשילוב חוקרים של ה- FAA וחוקרים של חברת ROBINSON.

1.14.3.3.3 הוצאה אפשרית של מסמך AD חירום, אם הבדיקה

תצביע על כשל מידי, כתוצאה מניתוק ההדבקה, שנגרם בגלל ארוזיה.

1.14.4 לאחר הביקור בחברת רובינסון ביצעו ב – NTSB הערכה מחודשת באשר לצורך שישתתפו בביקור המתוכנן בישראל והם הגיעו להחלטה, כי אין להם צורך כזה, מאחר שהם מאמצים את תוצאות החקירה הראשונית שהוצגו להם על-ידי החוקר הראשי.

1.14.5 בהתבסס על אירועי הכשל שהיו ידועים עד למועד התאונה, ובשילוב המידע שהעביר החוקר הראשי ל – NTSB, אודות התאונה שארעה בארץ, נוצרו "דאגות" ("CONCERNS") ב – NTSB שקיבלו ביטוי במסמך שהועבר אלינו מטעם מנהל המעבדות המטרולוגיות של ה – NTSB, כדלהלן:

1.14.5.1 דאגה ראשונה

ה – FAA ציין שאין ראיות לכך ששחיקה הובילה להפרדה (DEBONDING) בלהבים שגרמה לכשל קטסטרופאלי. מכל מקום התמונות שהוצגו באשר לתאונה שארעה בישראל מצביעות על אפשרות של כשל קטסטרופאלי – מיידי.

תגובת ה – NTSB

ממצאי חקירת התאונות שאירעו ברפובליקה הדומיניקאנית (מסוק R-44) ובאיי פיג'י (מסוק R-22) הצביעו על הפרדה קטסטרופאלית.

☒ בקו ההדבקה של הלהבים נמצאה שחיקה.

☒ ההפרדה החלה ממעטה הקורה בקצה הלהבים.

☒ כשל המבנה שבין ההדבקה לחומר המודבק (אדהזיה), היה נמוך באופן משמעותי מ – 80% מהכשל של חומר ההדבקה (קוהזיה), המוגדר כמספק לשמירת חוזק המבנה המודבק.

☒ כשל ההדבקה ניכר לכל אורך הלהבים שכשלו. בכל התאונות ארע כשל הלהב באוויר. ה – NTSB בתאום עם חברת "רובינסון", מצאו כי התאונה שארעה באוסטרליה, שבה נחת הטייס בשלום, קו ההדבקה הכיל באופן משמעותי פחות שטח מודבק מ – 80%, בדומה למקרים שאותרו ברפובליקה הדומיניקאנית ובאיי פיג'י.

בכל הלהבים שנבדקו, נתגלתה שחיקה בקו התפר, ברם ממצאי החקירה של התאונות באוסטרליה ובישראל מצביעים על שחיקה חמורה יותר, בהשוואה לשאר האירועים. מתוך הממצאים הנ"ל ה – FAA ורשויות אחרות, חייבים להניח שהתאונות שאירעו ברפובליקה הדומיניקאנית ובאיי פיג'י היו מיידיות וקטסטרופאליות.

1.14.5.2 דאגה שנייה

חברת "רובינסון" וה – FAA נוטים להאמין כי ארוזיה אכן מובילה להפרדה (DEBONDING) שבעקבותיה יכנס המסוק לרעידות. לדעתם יותר לטייס מספיק זמן על מנת לנחות בבטחה, בטרם יארע כשל קטסטרופאלי.

NTSB – תגובת ה

ה – NTSB מסכימים על כך, שמניעה של השחיקה הינה שורש הבעיה וששחיקת הצבע שבעקבותיה נחשף קו ההדבקה אינה מתרחשת בן לילה. השחיקה החריגה שאותרה בתאונות בישראל ובאוסטרליה מצביעה על כך שטייסים אינם בודקים את הלהבים לפני כל טיסה. שתי התקריות באוסטרליה מצביעות על רעידות שאירעו במסוק בגלל ההפרדה של מעטה הלהב. במצב של קיום רעידות, הטייס יוכל לבצע אוטורטציה במידה שהגובה, המהירות ותנאי השטח מאפשרים זאת, אולם המקרים בישראל, ברפובליקה הדימינקנית ובאיי פיג'י, מצביעים על תרחיש הפרדת מעטה הלהב, שקורה באופן פתאומי וללא סימנים מוקדמים שהטייס הרגיש בהם.

כמו כן חייבים להניח, שבמקרים שבהם אותרו רעידות הן לא התחילו באופן הדרגתי ולא היו תנאים מתאימים לביצוע נחיתת אונס. הופעת רעידות אינה בהכרח סימן לשחיקה. ויש להניח שכשל קטסטרופאלי יופיע, בעקבות הפרדה במעטה הלהבים.

1.14.5.3 דאגה שלישית

ה – NTSB סבור, שבדיקת הנקישה (TAP TEST) אינה מספקת על מנת לקבוע את שלמות קו ההדבקה בלהב.

1.14.5.4 דאגה רביעית

איטום מחדש (צביעה) של קו ההדבקה בין המעטה לקורת הלהב, אינו מונע אובדן החוזק, שנובע מחשיפת הדבק לגורמי הסביבה.

1.14.5.5 דאגה חמישית

מידע ראשוני שהגיע מהתאונה שארעה בישראל מצביע על כך שהלהב שכשל, צבר בסה"כ 570 שעות טיסה. זהו פרק זמן הקצר ביותר שידוע לנו על הופעת ההפרדה בלהבים (DEBONDING).

ממצא זה מחזק את הצורך בביצוע בדיקה לפני הגעת הלהבים ל – 596 כפי שצוין הדבר בהמלצת ה – A-08-27 FAA, לאחר פיתוח שיטת בדיקה יעילה, אמינה, ובלתי הרסנית.

הערה: בדיעבד הוברר שהנתון הראשוני שהועבר לא היה מדויק ובפועל להבי המסוק צברו 54: 1,130 שעות טיסה עד לכשל.

1.14.5.6 שני המקרים האחרונים של הפרדת מעטה הלהב בטיסה, במסוקי R-44 ו R-22, מדגישים את הצורך במציאת פתרונות הולמים לבעיה, כפי שהדבר קיבל ביטוי בהמלצות ה – NTSB, המלצות A-08-25 עד A-08-29.

המסמך של מנהל המעבדות המטלורגיות של ה – NTSB, בעקבות הצגת ממצאי החקירה של התאונה הנחקרת מלמד, כי המידע ביחס לאפשרות של כשל מיידי וקטסטרופאלי היה קיים, אך ספק אם הגיע לכדי הגדרת פעילות מתקנת, תכליתית ויעילה.

1.15 ביקור החוקרים מחו"ל בארץ

1.15.1 כללי

מאחר שניתוק ההדבקה (Debonded) של קצה להב קיבל ביטוי בהוראות כושר אווירי (AD) ובחמש המלצות של NTSB, שהוצאו בעקבות אירועים קודמים, החליטו ב - LAACO (LOS ANGELES AIRCRAFT CERTIFICATION OFFICE) לשלוח מהנדס לישראל, על מנת לתמוך במסקנות חקירת התאונה, שקבעה בנחישות את היקף הפרדת ההדבקה של קצה הלהב ולאסוף מידע נוסף שיעזור לשפר את הבטיחות.

ביום רביעי ה - 16 דצמבר 2009 הגיעו לארץ שני חוקרים מה - FAA וחוקר מחברת רובינסון למפגש ראשוני עם החוקר הראשי של משרד התחבורה לתקריות ולתאונות אוויר. בפגישה הוחלט לבקר למחרת במעבדה שבה בוצעה האנליזה של שברי להב, ולהקדיש את יום שישי, ה - 18 בדצמבר, לביקור במכוני בדק, על מנת להתבונן בצי המסוקים, לעמוד מקרוב על אופן תחזוקתם ולראיין טייסים ומכונאים.

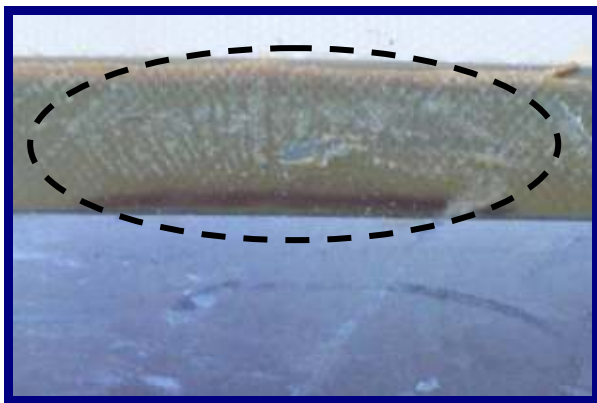
1.15.2 ביקור במעבדת הכשל

ב - 17 דצמבר 2009, נערך ביקור במעבדה של המכון לחקר הכשל, שם נבדק להב המסוק שכשל. לצוות הצטרף מנהל המכון וכן טייס ישראלי, המועסק במשרד החוקר הראשי.

1.15.2.1 מנהל המכון חזר על הממצאים שהוצגו קודם לכן בחברת רובינסון, מתוכם עלתה המסקנה, כי הימצאות סימן צבע של מכלול הזנב, באזור ההדבקה הפנימי של הלהב מוכיחה, כי **הייתה הפרדת הדבקה בלהב, לפני פגיעת הלהב במכלול הזנב.** הצוות סיים את הפגישה והתכנס במעבדה, להמשך החקירה בניסיון לגלות את מקורות הפרדת ההדבקה.

1.15.2.2 מאחר שהחלק החיצוני של מעטה הלהב היה חסר ועל בסיס העובדה שכל הכשלים שאותרו עד כה החלו מקצה הלהב, קשה היה להוכיח, כי השחיקה בשפת ההתקפה של הלהב גרמה, בוודאות להפרדת ההדבקה. מנהל המכון ציין בפני הנוכחים, כי מצא על הדבק בקורה, סמוך לקצה, סימנים בצבע חום, בקו ההדבקה, ליד שפת ההתקפה. סימנים אלה התהוו מלכלוך שחדר מהסביבה ונשאר שם. סימנים אלה מהווים עדות מוצקה, כי **המעטה נפרד במשך הזמן מההדבקה ולכן פגע הזיהום בדבק.**

1.15.2.3 בנוסף, סימני תלישת המעטה ניכרים היטב סביב הקטע החום והם בצורת קשת. הדבר יכול ללמד על כך שהפרדת מעטה הלהב החלה בנקודה זו, בניגוד לכל התיאוריות שהיו ידועות עד כה, בדבר תחילת ההפרדה בקצה הלהב. על דעת כל המשתתפים, זהו נתון חשוב לקביעה מוחלטת של סיבת ההפרדה, שחייב להיבדק בקפדנות יתרה.



הקטע בלהב ממנו החלה ההפרדה

1.15.2.4 בלהב הנגדי שהיה עדיין שלם, התגלתה שחיקה בשפת ההתקפה ובקו ההדבקה מאחור. הדבר מוכיח שמצב הלהב לא היה בהתאם לנקבע בהוראת כושר אווירי (AD). ההוראה מורה לצבוע מעל קו ההדבקה, כדי למנוע שחיקת ההדבקה, כשחדירת לחות עלולה לפגום בהדבקה. ללהב זה חדרו מים, בעת ההתרסקות, ועדיין נמצאו בתוכו מים לכודים. מכל מקום, בוצעה בקו ההדבקה בלהב בדיקת הקשה, שהוכיחה, מעבר לכל ספק, שלא הייתה הפרדת הדבקה. הקשה על המעטפת המודבקת לקורה גילתה כמה שינויי צלילים שקשה היה לקבוע אם הייתה הפרדה מוקדמת במקום, או שהנדסת הפנים של הקורה ומתחתיה גרמה לשינויים בצלילים. הוחלט לנתק את המעטפת בקצה הלהב על מנת לבדוק את מצב ההדבקה ולהשוותו ללהב ההרוס. קצה הלהב נחתך, יחד עם חלק ממבנה הכוורת והוכנס למלחציים. כאשר הוסר המעטה התגלה קו הדבקה אחיד ונקי, ללא עדות להפרדת הדבקה מוקדמת, מצב שלא התגלה בלהב שכשל. בבדיקה דומה שבוצעה בשני מקומות נוספים, שנחשדו, כי יש בהם הפרדה – לא נמצאו תוצאות פוסלות.



סימני שחיקה, כפי שהתגלו בשפת ההתקפה של הלהב הנגדי

1.15.3 בדיקת שברים במשטח המטוסים ושחזור הפגיעה

כל האורחים מחו"ל הגיעו בהמשך למתקן משרד התחבורה, הממוקם במתחם השירות המטאורולוגי, שם אוחסנו השרידים, למעט להבי הרוטור הראשי, שאוחסנו במכון לחקר הכשל. החוקר מטעם רובינסון בדק את שרידי המסוק, על-פי רשימת תיוג לחקירה ולבדיקת תאונה של מסוק שעמדה לרשותו. במהלך בדיקתו צילם מאות תמונות, בדק את מערכות השליטה, רצועות הנעה, חיבורי הרוטור ותנועתם, קווי שמן ודלק וכו'.

כאשר פורקו מצתי המנוע, נראו שבבי צבע באחד הצילינדרים. ההסבר שניתן לכך נעוץ בעובדה שצינור הפליטה נקרע מהמנוע, מה שאפשר לשבבים לזהם את המצתים לאחר ההתרסקות.

רצועות ההנעה של הממסר הוסרו, כדי לבדוק את מצבן ואת מצב הגלגלות. בגלגלת שמתחת לרצועה האחורית השנייה אותרה התבלות בלתי רגילה, כשחריץ עמוק עובר במרכז, עובדה, שלא התגלתה בבדיקת 100 שעות, שהתבצעה לאחרונה, אך אין בה כדי לגרום לתאונה כפי שהתרחשה.

הערה: החוקרים מארה"ב נשארו באתר אחסון המטוסים, ככל שמצאו לנכון, עד למיצוי מלא של שלב הבדיקה.



שחזור מבנה הזנב



כפיפת הלהב מטה



**השחזור הסופי של
אופן הפגיעה
(בהבדל – הקורה פגעה
עם חלקה התחתון)**

1.15.4 סקירת הניירת הטכנית

לאחר בדיקת השרידים, התכנסו החוקרים במשרד החוקר הראשי, במטרה לבחון את הממצאים שהתגלו בבדיקה.

1.15.4.1 החוקר מטעם החברה חזר וציין, כי החקירה לא הסתיימה ושנחוצות בדיקות מעבדה נוספות, לפני שניתן להצביע על נסיבות התאונה. הוא גם ביקש לבדוק את יכולת סיבוב ציר הנעת הרוטור הראשי לאחר שיוסרו רצועות ההנעה.

1.15.4.2 בסקירת ספר המטוס, לא היו הסברים להבדלים שנמצאו בין רישום השעות על-פי נתוני התחזוקה לבין רישום מכשיר שעות מנוע במטוס (Hobbs). ברישום השעות במטוס נרשמו 6 שעות, יותר מאשר הרישום בספר. לא ברור היה, מדוע לא רשמו המכונאים את הזמן כפי שהוא מצוין במכשיר ומהו ההסבר לכך. הערה: חשד זה חיזק את הצורך במפגש עם נציגי מכוני הבדק בהרצליה.

1.15.5 ביקור במכוני הבדק

ביום שישי, ה - 18 בדצמבר 2009, נערכו המפגשים בשני מכוני בדק ופגישות עם מכונאים וטייסים בשדה התעופה בהרצליה. בנוסף, נבדקו להבי 8 מתוך 12 מסוקי רובינסון בישראל, שהיו מצויים אותה עת בשדה התעופה.

1.15.5.1 **במכון הבדק הראשון** נמצא, כי המכונאים מאוד בקיאים באחזקת מסוקים. במהלך הסיור במכון, נבדק מצב הצבע, בקצה הלהבים, בשני מסוקי R-44. היקף השחיקה בלהבים לא היה ניתן לבדיקה, היות שקצות הלהבים היו צבועים מחדש, בהתאם להוראות כושר אווירי הישראלי. מנהל מכון הבדק טען, כי במהלך כל בדיקה יומית, מפעילים את הוראות בדיקת הנקישה עם פטישון זעיר, על מנת לבדוק את המצב הכללי של הלהבים, פעולה שהנה מעבר לנדרש בהוראות כושר אווירי בארה"ב ובישראל.

מנהל מכון הבדק התבקש להדגים בדיקת נקישה על להב - התקבל הרושם, כי המכונאים ראו בבדיקה צורך על מנת לבדוק את **המצב הכללי של הלהב** ולא כהתבוננות על אזור מסוים, בקצה הלהב, כפי שדורשת הוראת כושר אווירי (AD).

1.15.5.2 הפגישה השנייה התקיימה **במכון הבדק השני**, שם תוחזק המסוק נשוא התאונה. הצוות בחן את רישומי תחזוקת המסוק שהתרכס ודיבר עם המכונאים שתחזקו אותו. בפגישה נכחו גם טייסים וסגל נוסף מהמוסד. דיון מעמיק התנהל בשאלה - האם שעות התחזוקה מתועדות על פי רישומי הטייס, או שהן נלקחות ממכשיר קריאת שעות מנוע שבמסוק (Hobbs meter), כדי לקבוע את שעות התחזוקה. ניתנה תשובה סבירה לפיה המכונאים מתייחסים לרישומים המבוצעים על ידי הטייס. עוד הוברר כי הם מכירים את מכשיר ה- Hobbs והם משתמשים בנתוניו כדי לאמת מדי פעם שרישום השעות הושלם.

1.15.5.3 בשמונה מסוקים, המהווים 2/3 מהצי הישראלי, נבדק מצב הצבע בקצה הלהבים. בארבעה מסוקים היה צבע חדש בלהבים ולכן לא ניתן היה להחליט אם השחיקה הייתה מתחת למגבלה. בארבעה מסוקים נמצאה שחיקה, אבל לא מתחת למגבלות שצוינו בהוראת כושר אווירי (AD).

יודגש, כי לא נמצאה עדות לרישום טכני כלשהו לטיפול בלהבים שנמצאו, לכאורה, "פסולים". טייס שרואיין טען, כי בעת בדיקה שהוא מבצע למציאת שחיקה, הוא בוחן האם השחיקה הייתה כלפי הבורג הקדמי במכסה קצה הלהב.

1.15.5.4 בבדיקת מערכי העבודה שסופקו ע"י יצרן המסוק לביצוע בביקורת 100 שעות כלולה בדיקה של הלהבים. בעוד שמערכי העבודה מחייבים כפל חתימה (של המבצע ושל הבודק) לכל שלב במערך העבודה התברר, כי שלבי בדיקת הלהבים אינם מחייבים חתימות כאלה לכל שלב, אלא חתימה אחת כוללת. למצב זה עלולה להיות השלכה על מידת המחויבות שיכול מכונאי להרגיש כלפי הביצוע הפרטני של כל שלב.

1.15.5.5 מכונאים, טייסים ואנשי רשות התעופה האזרחית, ציינו, כי הם מעוניינים לקבל הוראות מוגדרות על אופן בדיקות הנקישה (TAP TEST) אם אפשר בווידיאו. עוד הוזכר הצורך בקבלת הוראות נוספות ומוגדרות, או הנחיות לטייסים כיצד לבדוק את השחיקה בקו חיבור ההדבקה.

1.15.6 פגישות מסכמות

בסיום היום נערכו פגישות במטה של רשות התעופה האזרחית הישראלית, בנמל התעופה בן גוריון ובמשרד החוקר הראשי.

1.15.6.1 פגישת הסיכום התקיימה במשרד החוקר הראשי. נציג החברה חזר וציין, כי החקירה עדיין בעיצומה ולמרות שהייתה עדות לכשל קטסטרופאלי של הלהב, בגלל הפרדת המעטה, כדאי לבחון את כל העובדות, לפני קבלת ההחלטה הפסקנית. בהתבסס על התצפיות, הרי ברור, כי הוראות כושר אווירי (AD's) הרלוונטיות חייבות לעבור הבהרה. עוד נמסר, כי להב חדש נמצא בפיתוח וכי לא יכללו בו מאפיינים דומים שיוכלו להוביל להפרדה. נקבע כי, בשבועות הקרובים תהיה החברה בקשר עם משרד החוקר הראשי בנוגע להשלמת בדיקות המעבדה.

1.15.6.2 זו הייתה הפעם הראשונה שהחוקרים הזרים נפגשו עם אנשי רת"א. בהתייחסותם לאירוע, ציינו החוקרים, כי החקירה נמצאת עדיין בעיצומה ושפרטיה עדיין לא גלויים לכל. על-פי סיכום החוקרים האמריקאים, התמקדה השיחה בשינוי הנדרש להבהרת אופן ביצוע בדיקות הנקישה ובדיקות הראיה. עוד הוצע לשפר את הלהבים שעליהם דנו. בפגישה שהייתה פתוחה, נשאלו האורחים, אילו פעולות על רשות התעופה הישראלית לנקוט על מנת לשמור על בטיחות צי מסוקי רובינסון. האורחים ציינו, שבהתבסס על הידע עד כה, יש לקרקע את הצי עד שיתבצעו הוראות הפיקוח של כושר אווירי (AD), שתהיינה מספקות.

1.15.6.3 בחודשים שלאחר ביקור הנציגים מחו"ל הושלמו הבדיקות של צוות החקירה כפי שסוכם בין החוקרים והתוצאות הועברו אליהם. במקביל שלח נציג החברה את ספרות המסוקים המעודכנת לצוות החקירה.

בבדיקות הנוספות לא התגלו עובדות חדשות. הבדיקות הנוספות אוששו את התוצאות שהועברו במהלך הביקור בארץ.

2. ניתוח

החוקרים ניגשו לחקירה בידיעה ראשונית, מוסכמת, כי המסוק נצפה ע"י עדי ראיה רבים שהבחינו בו במהלך חליפתו לאורך החוף כשלפתע, ללא כל סימן מקדים, הוא התפרק באוויר ובתוך שניות ספורות פגע במים.

באופן טבעי הועלו מרב התרחישים האפשריים אשר יכולים לגרום להתפרקות כזו, כמו: כשל טכני, טעות הטסה, פגיעת ציפור, נזקי גוף זר וכו'.

שברי המסוק שנמשו מהים, תוך פחות מ – 48 שעות, מיקדו, באופן מיידי, את עיקר כיווני החקירה לתחום הכשל הטכני של אחד הלהבים הראשיים, מבלי לשלול עדיין אפשרויות נוספות, שיכלו לגרום לתרחיש התאונה להראות ככשל טכני אחר.

תוך כדי החקירה, בארץ ובחו"ל, התחזקה ההערכה הראשונית שהלכה וקיבלה, יותר ויותר תימוכין, בעוד שהתרחישים האחרים נשללו בזה אחר זה.

גם הניסיונות בהמשך, של החוקרים מחו"ל, להעלות גורמים אחרים, בבחינת "גורם מתערב זר" נבחנו, נבדקו, אך נשללו בשל העדרם של רמזים, ראיות או עדויות לכך, בעוד שהתמיכה במנגנון הכשל שהועלה בראשית החקירה רק הלכה והתחזקה.

כיוון שכך, יוצג ניתוח חומר החקירה עפ"י הנושאים הבאים, תוך ציון מערך הראיות, העובדות, החישובים והניסויים שתמכו בהם.

☒ התרחיש הקטסטרופאלי של התאונה

- הסבר רקע
- תמונת המכ"מ והתקשורת
- עדויות עדי ראיה לתאונה
- קטעי הוידאו שהוקלטו מהמסוק בטיסה
- פיזור החלקים בים
- שחזור החלקים והוכחת מכת הנגיפה
- פענוח הרעש החריג שנקלט בבקרה
- שלילת תרחישים אחרים
- מנגנון התאונה – איך קרה?

☒ תהליך הכשל של הלהב

☒ מניעת תאונות דומות

☒ פעולות מניעה לאחר התרחשות התאונה בישראל

☒ מעורבות ואחריות הרשויות.

2.1 התרחיש הקטסטרופאלי של התאונה

2.1.1 הסבר רקע

על מנת להבהיר את דרך הניתוח ואת השיקולים שעמדו בבסיס הסקת המסקנות, מובא להלן הסבר קצר על הכוחות והמומנטים הפועלים על חלקי המסוק בטיסה, באופן כללי, עם התייחסות מסוימת למסוק התאונה.

2.1.1.1 מסוק הטס בטיסה מקוזזת נמצא בשיווי משקל עדין ומדויק של הכוחות והמומנטים הפועלים עליו. את המסוק "מניע" הרוטור הראשי. גם להבי הרוטור נמצאים בשיווי משקל עדין. למעשה כל להב מלהבי הרוטור הראשי נמצא בשיווי משקל שבין כוח האינרציה (התאוצה הצנטריפוגלית) המותח את הלהב ומנסה ליישר אותו, ובין כוח העילוי המנסה להרים את הלהב מעל מישור הסיבוב. שיווי המשקל מושג בזווית קוניות מתאימה. מאחר שמהירות הסיבוב של הרוטור קבועה, הרי שזווית הקוניות משתנה בהתאם למשקל המסוק ולעוצמת התמרון המבוצעת.

2.1.1.2 סיבוב הרוטור כרוך בהתגברות על כוח הגרר של להבי הרוטור, הגורם להיווצרות מומנט פיתול על ציר הרוטור. מומנט זה מנסה לסבסב את גוף המסוק בכיוון הפוך לכיוון סיבוב הרוטור (בהתאם לחוק הפעולה והתגובה של ניוטון). בדרך כלל, במבט מלמעלה, מסתובב הרוטור הראשי נגד כיוון השעון (כך גם במסוקי הרובינסון) ועל כן גוף המסוק ישאף לסבסב ימינה. מומנט זה מאוזן במסוקים אלה בעזרת רוטור הזנב, המייצר כוח לצד ימין ומאזן בכך את המסוק בציר הסבסוב. פגיעה בדחף של רוטור הזנב תגרום לסבסוב המסוק ימינה, בקצב שתלוי בעיקר במהירות המסוק, בתנאי שמייצב הכיוון לא ניתק מגוף המסוק. אם ניתק הזנב, הכולל את מייצב הכיוון ואת רוטור הזנב, יסבסב המסוק ימינה במהירות זוויתית הנגזרת מהיחס שבין מומנט האינרציה של להבי הרוטור לבין מומנט האינרציה של גוף המסוק (מה שנותר ממנו באוויר) וממהירות הסיבוב של הרוטור הראשי.

2.1.1.3 במהירות הסיבוב הקבועה של הרוטור הראשי, במסוק נשוא החקירה, שהיא כ – 408 סיבובים לדקה, יסבסב הגוף בכיוון הפוך, ימינה, מספר בודד של סיבובים לדקה, אשר יקשו מאד על תפקוד הטייס.

2.1.1.4 במהלך הטיסה, נמצאים להבי המסוק בזווית פסיעה חיובית, לצורך יצירת כוח עילוי ודחף הנדרשים להטסת המסוק. להבי המסוק בנויים כך, שזווית הפסיעה הבנויה שלהם הולכת וקטנה לקראת הקצה (washout), אך עדיין חיובית בקצה הלהב.

2.1.1.5 גם לאורך ציר האורך של הלהב, מתקיים שיווי משקל עדין. לאורך הלהב פועל מומנט המנסה לפתל את הלהב במגמה להקטין את זווית הפסיעה שלו. מומנט זה הוא המקור לכוחות הניהוג שמועברים אל מוט הקולקטיב ואל הסטיק. מומנט זה נגרם משתי סיבות כדלקמן:

☒ המומנט האווירודינמי שיוצר חתך הלהב Cmo.

☒ המומנט האינרציאלי הידוע בשם "אפקט מחבט הטניס". מומנט זה נובע מכוח המתיחה הצנטריפוגלי של הלהב הסובב. מאחר שללהב יש מידת רוחב, והכוח הצנטריפוגלי פועל ממרכז הטבור של הרוטור, החוצה, ניתן לאבחן, כי רכיבים של כוח זה יפעלו לאורך חתך הלהב במגמה ליישר את זווית הפסיעה ולאפסה.

2.1.1.6 למסוק הרובינסון רוטור ראשי דו-להבי, מטיפוס נדנדה, היינו – שני הלהבים מחוברים ביניהם ולהם ציר נפנוף משותף. כפי שצוין קודם, כל להב נמצא בשיווי משקל עצמי, ומאחר שדינאמיקת הנפנוף של שני הלהבים, הנמצאים 180 מעלות אחד כלפי השני, הינה זהה והפוכה, לא נוצרים עומסים על טבור הרוטור, פרט לעומסי כפיפה כלפי מעלה, עקב קוניות הלהבים.

2.1.1.7 באופן תיאורטי, להב אחד יכול להתנתק ועדיין הלהב השני ימשיך בתנועתו, ללא הפרעה - במציאות, חוסר האיזון שייווצר במישור הדיסקה יכול לגרום לתלישת הממסר הראשי ממקומו, כפי שארע בתאונת מסוק רובינסון שניתק ממנו להב ראשי באוויר בשנת 2004 (תיק חקירה 06-04).

2.1.1.8 בתאונה הנחקרת לא ארע ניתוק של להב ראשי, מחיבורו בראש הרוטור, אלא היפרדות של מרב המשטח (חלת הדבש), של אחד משני הלהבים הראשיים. להב "ערום" כזה יגרום למסוק להימצא בחוסר איזון דינאמי, חריף בעוצמתו, המתבטא ברעידות אנכיות חריפות, העלולות תוך זמן קצר ביותר, לגרום להתפרקות המסוק.

2.1.1.9 השילוב של להב ראשי "ערום" ברובו, עם האפקט של אובדן הזנב - יפעיל על הטייס כוחות תאוצה שימנעו ממנו, כמעט לתפקד.

2.1.2 תמונת המכ"מ והתקשורת

2.1.2.1 התאונה ארעה מול חוף סירונית בנתניה תחת הבקרה המרחבית

הצפונית "פלוטו". משך כל הטיסה דרומה, לאורך החוף, כ – 300 מטרים מהחוף ובגובה 400 רגל, הייתה עקיבת מכ"מ רצופה וטובה. על-פי תמונת המכ"מ ביצע הטייס טיסה מנהלתית, בהתאם לנהלים ולהנחיות הבקר.

2.1.2.2 בסמוך להתרחשות התאונה, טס מול המסוק, בכיוון נגדי ובגובה

1,500 רגל, מטוס ארקיע שקיבל מידע על התנועה שממולו. טייס המסוק ענה לשאלת הבקר ביחס לגובה הטיסה שלו וגם ווידא כי הבקר קיבל את תשובתו (מאחר שהבקר לא חזר על התשובה, כפי שהכללים מחייבים).

2.1.2.3 לקראת החליפה בין שני המטוסים גילה טייס ארקיע קשר-עין עם

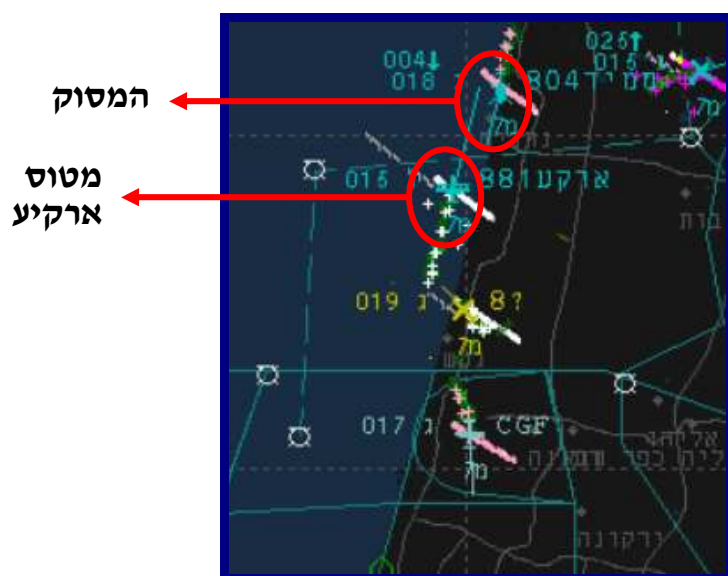
המסוק ודיווח על כך. טייס ארקיע לא הבחין בשום דבר חריג בטיסה של המסוק.

2.1.2.4 כ – 10 שניות לאחר ששני המטוסים חלפו ביניהם, נשמעו על ערוץ

הבקרה רעשים ובסופם ניתוקים קצרים, ששויכו, בזמן אמת, לפריצת קשר של מכשיר שידור כלשהו. כמה שניות אחר-כך נראה "בליפ" המכ"מ של המסוק כאילו שינה כיוון מזרחה ותוך זמן קצר אבדה עקיבת המכ"מ, שהייתה אחר המסוק.

2.1.2.5 מניתוח תמונת המכ"מ והתקשורת, שבין הבקר לבין טייסי שני

המטוסים, אפשר להגדיר את טיסת המסוק, עד החליפה לפחות, כשגרתית וללא חריגה כל שהיא. טייס המסוק נשמע ערני ותפקודו על-פי הראיות שהוצגו היה רגיל וללא כל דופי.



תמונת המכ"מ

2.1.3 עדויות עדי ראיה לתאונה

2.1.3.1 כאמור, התאונה התרחשה מול חוף ים ששהו בו מצילים, מתרחצים

רבים, שוטרים ועוד צופים אחרים. באופן טבעי, עדותם של אלו שצפו והעידו, בפני המשטרה או בפני צוות החקירה, לא היו זהות, בין השאר, כיוון שהאדם מנסה באופן לא מודע להסביר לעצמו את שראה באופן הגיוני, כפי שהוא סבור שצריך להיות.

למרות ההסתייגות, ניתן לציין מספר נקודות משותפות או כאלה שחייבו בדיקה לאימות המידע.

2.1.3.1.1 כל העדים שהתראיינו ציינו, כי המסוק התפרק באוויר

לשני חלקים עיקריים, גוף וזנב. רוב העדים סברו, כי האירוע נגרם עקב התפרקות רוטור הזנב והם ידעו לספר כאילו הזנב שניתק השיג, לכאורה, את גוף המסוק ואף פגע בו.

2.1.3.1.2 כל העדים תארו התרחשות שארכה פרק זמן קצר מאוד

ולדבריהם המסוק פגע במים בתוך שניות בודדות. חלקם תארו פגיעה באנרגיה גבוהה.

2.1.3.1.3 מרבית העדים העידו, כי לא הבחינו בשום דבר חריג ולא

שמעו שינוי ברעש, קודם ההתפרקות באוויר. חלקם ציינו, כי במהלך התפרקות/התאונה נשמע רעש מוזר וחזק.

2.1.3.1.4 אחד העדים, שצפה במסוק ממרפסת חדרו במלון "כרמל"

בו שהה, תאר להקת ציפורים שהייתה באוויר. חוקרי התאונה שראיינו את העד, במרפסת חדרו שבמלון התרשמו, כי ממקום שהייתו, לא יכול היה אותו אדם להבחין, אם הלהקה הייתה סמוכה למסוק, או שרק כך זה נראה.

2.1.3.1.5 מסיכום העדויות של עדי הראייה ניתן ללמוד, כי באופן

פתאומי, במהלך טיסה אופקית וישרה, ארעה ההתפרקות של המסוק.

2.1.3.2 העתקים מדפי העדויות שנלקחו ע"י המשטרה ניתנו לחוקר הראשי

לצורך השוואה והשלמת פרטים. צוות חוקרי משרד החוקר הראשי יצר קשר וראיין בעצמו כל עד שטען, כי ראה בעצמו את התרחשות התאונה באוויר. בנוסף, רואיינו המצילים, השוטרים ואנשים אחרים שהיו מעורבים בטיפול לאחר שהתאונה התרחשה.

2.1.4 קטעי הוידאו שהוקלטו מהמסוק בטיסה

2.1.4.1 האזרח הבריטי שעבורו אורגנה הטיסה, ישב לצד הטייס, במושב הקדמי – שמאלי. התייר החזיק במצלמה אישית באמצעותה צילם עשרות תמונות, לאורך הנתיב הלך וחזור, וכן תשעה קטעי ווידאו קצרים.

2.1.4.2 על-פי הצילומים שפותחו, ניתן להתרשם, כי לא היה באפשרות התייר להטיס את המסוק, בהעדר מערכת היגוי מלאה ונגישה, במושב. הערה: התרשמות הראשונית הייתה, כי קטע הוידאו האחרון צולם כ – 3 - 4 דקות לפני התאונה. רק חודש אחר-כך, בהתבוננות מעמיקה יותר, נמצא כי הקטע צולם זמן קצר מאוד, פחות מ - 30 שניות, לפני שהמסוק הגיע לחוף, מולו הוא התרסק. עובדה זו הועברה לצוות החוקרים מארה"ב והיא חיזקה את המסקנה באשר לפתאומיותה של התאונה, ללא כל התראה מקדימה לה.

2.1.4.3 רצף התמונות שצילם התייר איפשר לצוות החקירה לאמת את הנתיב שביצע המסוק – לא הייתה איזושהי חריגה מהמרשה. בנוסף, קטעי הווידיאו שצילם התייר, הצביעו על טיסה רגילה ביותר, ללא תמרונים או חריגות.

2.1.4.4 קטע הווידיאו האחרון שצילם היה בין חוף מכמורת לבין חוף נתניה שברקע מלפנים היה ניתן להבחין במלון "כרמל" שנמצא מול אתר התאונה.

צילום קטע הוידאו הנדיר הסתיים כ – 20 - 30 שניות לפני התאונה.

2.1.4.5 באותו קטע וידאו, קל לזהות טיסה ישרה ואופקית, המתאימה לנתונים שצוינו קודם לכן, עם ראות טובה, למרות שהיה טפטוף מסוים של גשם.

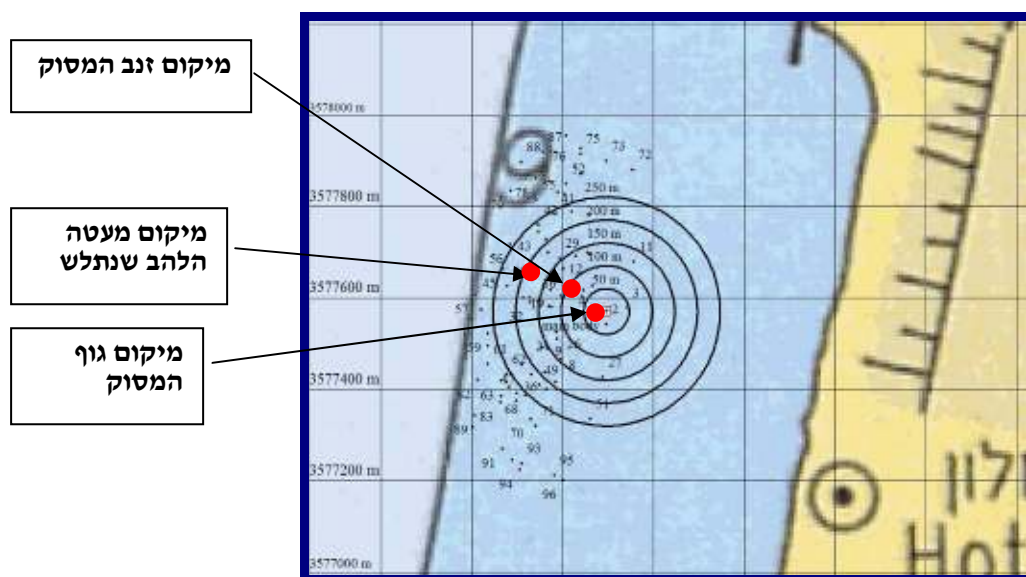
רעש המנוע של המסוק נשמע רגיל, כפי שנשמע בכל קטעי הוידאו ולא ניתן להצביע על בעיה חריגה כלשהיא או משהו דומה. רעש הרקע של הרוח, העיד על כך שיושבי המסוק טסו עם מערכות ראש ואוזניות.

2.1.4.6 כל האמור לעיל, מחזק את המסקנה, כי הכשל היה פתאומי וללא אתרעה מקדימה של רעידות או רעש חריג.

2.1.5 פיזור החלקים בים

2.1.5.1 על סמך נתוני הבקרה ביחס לגובה הטיסה (400 רגל) ולמהירות המסוק (90 – 100 קשר), יחד עם עדויות עדי הראיה, העריך צוות החקירה את גודל האזור האפשרי לפיזור החלקים באוויר ואת מיקומו, יחסית לאתר המרכזי של מקום נפילת גוף המסוק. תחום זה, עם מקדם ביטחון מספיק הוגדר לצורך הסריקה של קרקעית הים באמצעות סונאר, סורק צד.

2.1.5.2 בסריקת הסונאר אותרו 96 מטרות אפשריות שהשאירו רישומן על תמונת הסונאר. הוחלט למשות מהמים, תחילה, את גוף המסוק ולנסות להעריך, על-פי הסימנים שיאותרו, איזו מכה ספג המסוק, מאיזה כיוון ובאיזו עוצמה – על סמך התוצאות להעריך מהן המטרות הקרקעיות החשודות יותר ובהן להתמקד.



המטרות, כפי שסומנו על-ידי הסונאר

2.1.5.3 על-פי רישומי מכת הלהב הראשי, בצד שמאל של זנב המסוק, עד כדי ניתוקו בבת אחת, העריכו החוקרים, כי סביר יהיה למצוא את הזנב צפונית-מערבית לאתר שבו נמצא הגוף, ואכן כך היה.

2.1.5.4 באותה צורת חשיבה העריכו החוקרים היכן אמור להימצא מקטע "חלת הדבש" שהתנתק מהלהב שכשל - אכן חלק גדול ממנו נמצא באזור שהוגדר כחשוד.

2.1.5.5 ניתוח מיקום החלקים העיקריים של המסוק שהתפרק מלמד, כי תחילה התנתק מרביתו של מעטה הלהב שכשל (חלת הדבש), תוך תנועת הלהב, קדימה, בצד ימין של המסוק, כשזה עף מערבה ו"נעמד" באוויר.

2.1.5.6 תוך כדי התפרקות המעטה נפנף הלהב מעלה, עד למצב בו נשברה תושבת הקרן של מוט שינוי זווית הפסיעה. בהמשך נפנף הלהב מטה תוך כפיפה חזקה ובמצב זה פגע בזנב.

2.1.5.7 כתוצאה מהפגיעה בצד שמאל של הזנב, ניתק הזנב ימינה, מערבה וגוף המסוק המשיך קדימה, תוך כדי סבסוב ימינה, עקב אובדן הכוח המאזן של רוטור הזנב.

2.1.5.8 מרבית חלקי המסוק נמצאו באתר המרכזי שבו נמצא גוף המסוק ושני יושביו שנותרו בו חגורים, עד למשיית גופותיהם מהמים.

2.1.6 שחזור חלקי המסוק והוכחת מכת הנגיפה

2.1.6.1 מן הממצאים שנאספו לאחר שליית המסוק מהים עולה, כי נפתחה ההדבקה של המעטה התחתון של אחד מלהבי הרוטור הראשי, לאורך קורת שפת ההתקפה. הפתיחה הינה מקצה הלהב (blade tip) כלפי פנים בכיוון שורש הלהב, לאורך כ – 3.5 מטר.

כמו כן נמצא כי זנב המסוק ניגף וניתק מגוף המסוק עקב פגיעה של אחד מלהבי הרוטור הראשי שנפנף בצורה קיצונית כלפי מטה, כמוכח מן ההטבעה הברורה של הלהב הפוגע.

2.1.6.2 הנפנוף החזק של להב הרוטור מוכח גם מסימני ההטבעה שהתגלו על עוצרי הנפנוף (mast bumping) שנמצאים בתורן הרוטור הראשי משני צידי הלהבים. בנוסף לכך, בלהב שנפנף כלפי מטה נמצאה הקרן, אליה מתחבר אליה מוט שינוי זווית הפסיעה כשהיא שבורה.



סימני הטבעה על עוצר הנפנוף

2.1.6.3 הנזקים הרבים שאותרו בצד שמאל של גוף המסוק מצביעים על כך, שהמסוק פגע במים בצידו השמאלי, עקב סבסוב הגוף ימינה, לאחר אבדן הזנב.

2.1.6.4 מתוך הממצאים עולה, בסבירות גבוהה, כי רצף האירועים שהביא לתאונה החל מפתחת ההדבקה של המעטה התחתון של אחד מלהבי הרוטור הראשי.

פתיחת ההדבקה החלה, על פי ממצאי המעבדה שבדקה את הכשל, בנקודה הנמצאת כ - 17 ס"מ מקצה הלהב והיא התקדמה בשני כיוונים: הכיוון העיקרי לאורך הלהב פנימה לכיוון השורש, עד לשליש הפנימי המחוזק, וכיוון נוסף, אל עבר קצה הלהב.

2.1.6.5 פתיחת ההדבקה גרמה לכך שפנים הלהב (מבנה הכוורת המשמש כ"מילוי" של הלהב) נשאר מחובר לקורת שפת ההתקפה של הלהב רק ע"י המעטה העליון של הלהב. עקב המומנטים הפועלים על חתך הלהב, כמוסבר לעיל ועקב כוח שנוצר בחלקו התחתון של הלהב כתוצאה מפתחת ההדבקה, נגרמה תנועה אלסטית של שפת הזרימה של חתך הלהב, שיצרה כוח עילוי הדומה להפעלת הגה גובה. מאחר שעפ"י הממצאים, פתיחת ההדבקה התרחשה לאורך משמעותי של הלהב הראשי (מספר מטרים), כוח העילוי שנוצר עקב כך, היה בעוצמה גבוהה ביותר.

2.1.6.6 מהירות הסיבוב של הרוטור הראשי הינה 408 סיבובים לדקה (סל"ד), קרי: 6.8 סיבובים לשנייה. תגובת הנפנוף, לשינוי העילוי של הלהב, הינה בפיגור של 90 מעלות, כלומר לאחר רבע סיבוב. מאחר שמשך סיבוב אחד של הרוטור אורך 0.147 שניות, הרי שהזמן שחלף מרגע פתיחת ההדבקה, שגרם ליצירת כוח העילוי, ועד לפגיעת הלהב בזנב, יכול לנוע בין 3.5 מאיות השנייה ועד 1.5 עשיריות השנייה (רבע סיבוב עד סיבוב שלם של הלהב בו ארעה ההפרדה). אין ספק שפרק הזמן שבו נפנף הלהב, מצביע על תנועה מהירה מאוד וחזקה מאוד, שהיה בכוחה לגרום לנפנוף רב עוצמה כלפי מטה, עד כדי כפיפת הלהב, למרות כוח המתיחה הצנטריפוגלי (בחיל האוויר ארעה תאונת יסעור, עקב נחיתה כבדה מאוד וכתוצאה ממנה נפנף הלהב כלפי מטה עד כדי פגיעה בגג המסוק מעל ראשי הטייסים ובקרקע).

המסוק טס בגובה של כ – 400 רגל מעל פני הים. לאחר התפרקות והכשל בלהב, אבד למעשה עילוי המסוק והוא שקע. בהנחה שנפילתו הייתה חופשית, אזי מדובר ב – 4 עד 5 שניות שחלפו מרגע פגיעת הלהב בזנב ועד לפגיעת המסוק בים.



**סימני הנפנוף החריף
ניכרים על הלהב
שהמעטה ניתק ממנו**

מאחר שמהירות הטיסה של המסוק, לפני תחילת התרחיש הייתה כ – 90 קשר (כ – 45 מטר לשנייה), עצירת המסוק במים הייתה כרוכה בתאוצה חזקה. המהירות השקולה, בעת הפגיעה במים (הכוללת את הרכיב האופקי ואת הרכיב האנכי של מהירות המסוק), הייתה כ – 60 עד 65 מטר לשנייה.

התאוצה הייתה כה חזקה עד ששניים מתוך ארבעת היושבים במסוק עפו החוצה תוך כדי קריעת רצועות המושב או חיבוריהם.

2.1.6.7 כיוון שפגיעה דינאמית במים שקולה לפגיעה במשטח מוצק, ניתן לחשב את כוחות התאוצה הפועלים על גוף הטייס במהלך הפגיעה ועצירת התקדמות כלי הטיס. כוחות אלו שקולים למאות G והם מסבירים את עוצמת הנזקים שאותרו במסוק.

2.1.7 פענוח הרעש החריג שנקלט ביחידת הבקרה

2.1.7.1 טיסת המסוק תועדה בהקלטת המכ"מ של "בקרת צפון" והמסוק היה

בקשר רציף עם "פלוטו". המסוק נצפה כשהוא טס דרומה, מערבית לקו החוף, כמה מאות מטרים ובגובה 400 רגל. באותו הזמן תועד מטוס ארקיע שטס מולו בגובה 1,500 רגל. מיד לאחר שחלפו, בשעה 14:22:04 נשמעו על הערוץ הבקרה רעשים מכאניים חזקים וחריגים למשך 3.8 שניות – ההתייחסות הראשונית אליהם הייתה כאילו מדובר בפריצת קשר.

2.1.7.2 צוות החקירה העלה את האפשרות, כי מדובר ברעשים שנשמעו

ממסוק התאונה, בשלב שבין התפרקות המסוק באוויר לבין הפגיעה במים. לצורך אימות האפשרות נלקחה ההקלטה לבדיקה במעבדות השמע של ה-NTSB בווינגטון. באמצעות פריסת הקלטת השמע, בשתי אמירות קצרות של הטייס, בדקות שקדמו לתאונה: 14:19:55 "פסיק ארבע", 14:19:59 "קיבלת". הצליח צוות החקירה לבודד ולבחן את "טביעת האצבע" של סיום השידור במכשיר הרדיו של המסוק. טביעת אצבע זו לא תאמה לזו שהתקבלה בסיום השידור של הרעשים החריגים.

2.1.7.3 בהאזנה ממוקדת יותר התקבל הרושם, כי בשנייה האחרונה של שידור

הרעשים, ניתן לאבחן מספר ניתוקים קצרים. החוקר הראשי שנמצא באותה עת במעבדה, העלה את האפשרות שאולי ניתן יהיה לזהות את "טביעת האצבע" של המכשיר, באותם קטעי זמן קצרים (עשירות השנייה).

פריסת המשרעת, של קטע הניתוקים, העלתה באופן הברור והמובן ביותר, כי טביעות האצבע זהות – משמע, **הרעשים נשמעו ממכשיר הקשר של המסוק.**

2.1.7.4 חיזוק משמעותי לחשד שהועלה, הגיע באמצעות ההשוואה בין

הסימנים החיצוניים שהושארו בכף יד ימין של הטייס לבין צורת הסטיק במסוק. ניתוח סימנים אלו הצביע באופן הברור ביותר, כי הטייס אחז בסטיק שבו לחצן השידור, בזמן הפגיעה הקטלנית במים.

2.1.7.5 משהוכח, כי מקור שידור הרעשים המכאניים הוא ממסוק התאונה,

בחן הצוות את הנתונים והגיע לתובנות הבאות :

2.1.7.5.1 ניתן להעריך ברמת וודאות גבוהה, שהרעשים שהוקלטו,

מיוחסים לרעשי המנוע לאחר התנתקות הזנב – למשל:

OVER SPEED רגעי.

2.1.7.5.2 השידור החוצה, של הרעשים, היה בלתי רצוני והוא נבע

מלחיצה בלתי מודעת על לחצן השידור, במהלך ניסיונותיו

של הטייס להשתלט על המסוק, שבדיעבד איבד את הזנב.

2.1.7.5.3 העדר טביעת האצבע בסיום השידור מוסברת בכך,

שהשידור נקטע בפגיעה במים ולא הייתה הפסקה יזומה של

אצבע הטייס שלחצה על ה – PTT.

2.1.7.5.4 אם משך הנפילה החופשית של עצם, מגובה 400 רגל הוא כ

– 5 שניות, אזי השידור האמור, שארך 3.8 שניות התרחש

בתוך פרק זמן זה.

2.1.7.5.5 ניתוקי השידור, בשנייה שקדמה לפגיעה במים, ניתנים

להסבר ב"רעידות" כף היד.

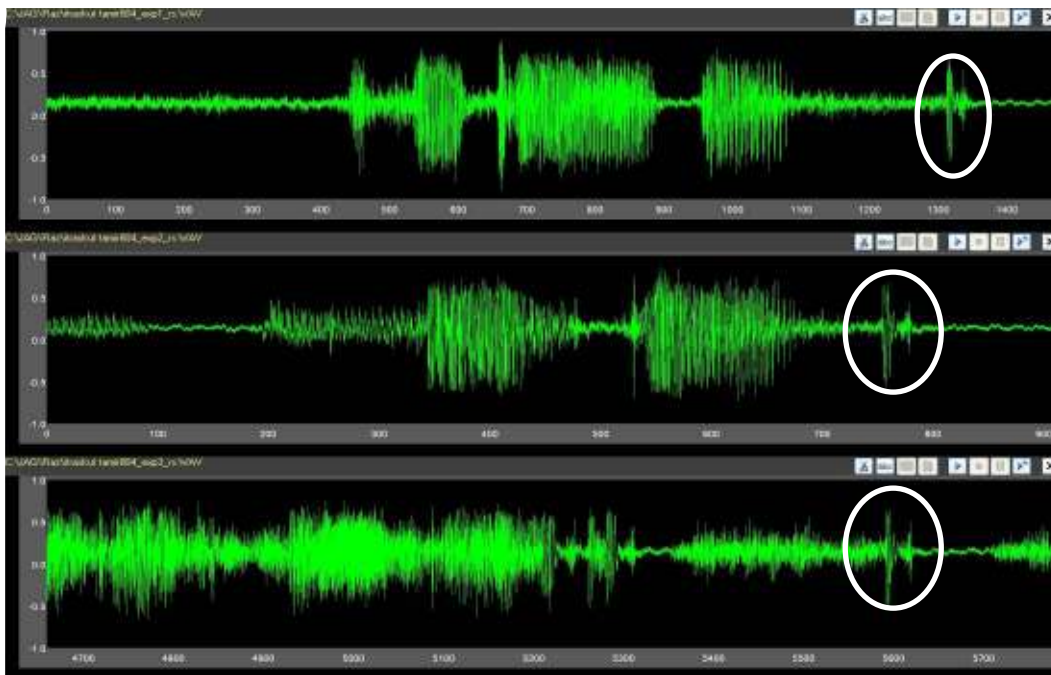
תמונות השוואת "ניתוקים" ו"טביעות האצבע" של מקטעי השידור



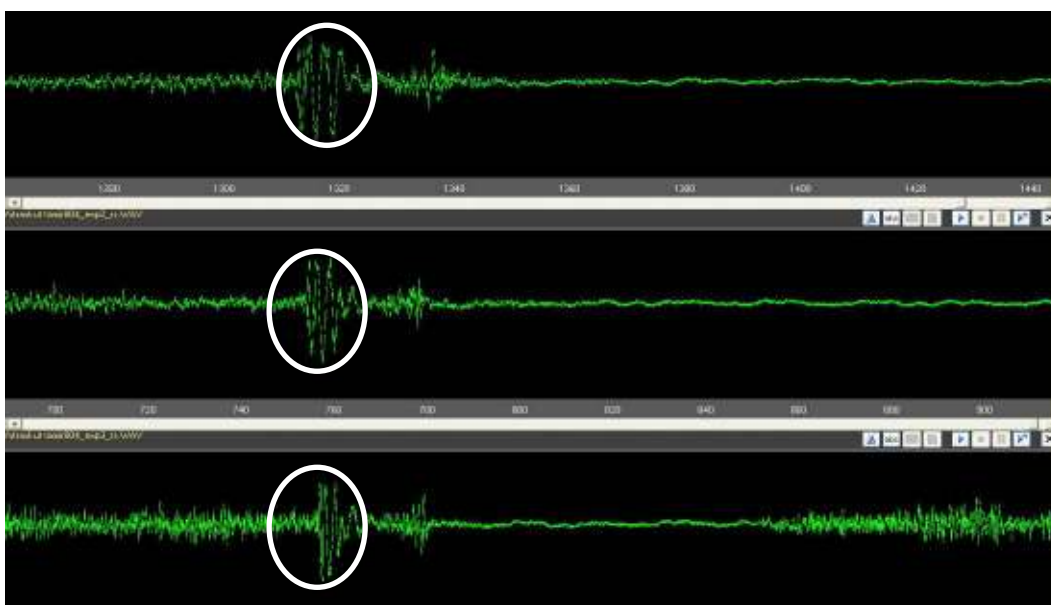
סקלה של 100 m/sec

סקלה של 100 m/sec

סקלה של 1,000 m/sec



ההוכחה, כי השידור יצא מהמסוק



הרחבת הסקלה
פי - 5



סימני הסטיק בכף היד
(התצלום בהסכמת המשפחה)

אחיזת הסטיק – בטיסה ובהתרסקות

2.1.8 שלילת תרחישים אחרים

עם שליית שברי המסוק, החשד הראשוני, הצביע על סבירות גבוהה, כי התאונה ארעה כתוצאה מכשל מבני באחד הלהבים הראשיים. למרות האמור, נדרש צוות החקירה לשלול אפשרויות נוספות שיש בהן כדי לגרום לתופעה דומה לזו שעמדה בפני החוקרים. שלושת הכיוונים העיקריים שנבחנו הם:

☒ גורם סביבה

☒ כשל טכני במערכת ההנעה

☒ תפעול חריף/חריג מצד הטייס

2.1.8.1 גורם סביבה

2.1.8.1.1 על-פי קטע הוידאו שצולם על-ידי התייר, בשניות שקדמו לתאונה, ועל-פי ניתוח תנאי מזג האוויר, נשללה האפשרות, כי תנאי מזג האוויר, כדוגמת גזירת רוח, היו הגורם לתאונה. העובדה, כי רק להב אחד נפנף באופן חריף וחריג תומכת במסקנה זו.

2.1.8.1.2 באשר לפגיעה אפשרית בגוף זר, כמו ציפור – לא נמצאו ראיות התומכות בכך. אם נניח, כי הפגיעה בגוף הזר הייתה בשפת ההתקפה של הלהב (קורת הלהב), אמורה להימצא פגיעה נקודתית, כמו כיפוף מקומי, או נזק מקומי בחלק כלשהו של הלהב. במהירות הקרובה למהירות הקול אמורה להימצא במקרה כזה פגיעה חריפה – לא נמצאה פגיעה כזו.

גם האפשרות של פגיעה במעטה הלהב נשללת, כיוון שאז הינו אמורים למצוא פגיעה באזור מסוים של "חלת הדבש" ולא היפרדות מלאה שארעה בחטף. יצוין, כי המשטרה לא מצאה פגרי עופות בסריקת החוף שבוצעה לבקשתנו בבוקר שלמחרת התאונה.

2.1.8.2 כשל טכני במערכת ההנעה

2.1.8.2.1 לא נמצאה עדות כלשהיא לכשל מנוע שיכול היה לגרום לנפנוף להבים כה חריף. יתרה מכך, צילום הוידאו שבוצע לפני התאונה יחד עם העדר שידור מצוקה כלשהו מצביעים על כך שארע כשל פתאומי.

לא נמצאה עדות ולא ממצאים טכניים, המצביעים על הפסקת פעולת המנוע לפני התאונה.

2.1.8.2.2 בניגוד לעדויות חלק מעדי הראייה, לא נמצא כשל מבני כל שהוא או כשל ברוטור הזנב או בציר ההנעה שלו. יתרה מכך, על-פי הסימנים הממוקדים, שהושארו בחלק הפנימי של מבנה הזנב, פגע ציר ההנעה בחלק הפנימי של מעטה הזנב בכיוון פגיעת הלהב הראשי, שכשל.

2.1.8.3 תפעול חריג/חריף מצד הטייס

2.1.8.3.1 האפשרות התיאורטית לפגיעת להבים בזנב עקב תפעול שגוי של הטייס קיימת. במקרה הנוכחי שלל צוות החקירה כיוון זה משתי סיבות:

האחת - צילומי הוידאו שבוצעו במהלך הטיסה, בדגש לצילום שנעשה זמן קצר לפני התאונה, יחד עם אופי טיסתו של הטייס, מלמדים, כי אין כל רמז להטסה חריגה או מגבלתית. נהפוך הוא, הטיסה הייתה בלב המעטפת של טיסה מנהלתית ובטוחה.

השנייה - לו ארע נפנוף להבים כתוצאה מתפעול או כשל כלשהו במערכת ההנעה, היה מתפתח נפנוף, של שני הלהבים יחד. העובדה, כי רק להב אחד פגע, פעם אחת בלבד ובאופן כה חריף (50 – 60 מעות מטה), מלמדת, כי לא התפתח נפנוף הקשור לתפעול הטייס.

2.1.8.3.2 תופעת הנפנוף מוכרת במסוקי רובינסון והיא מתרחשת בעיקר בשל תפעול המסוק בסל"ד רוטור נמוך, או בהעמסת הלהבים ב – G שלילי. כתוצאה מכך להבי המסוק נכנסים לנפנוף יתר עד שהם פוגעים בזנב. שתי התופעות שהוזכרו לעיל נשללו על ידי צוות החקירה כך שעובדת פגיעת הלהבים בזנב הייתה נעוצה בגורם אחר.

2.1.8.4 סיכום

לאור שלילת התרחישים האפשריים, צוות החקירה התמקד בכשל הלהב כגורם הבלעדי שהתניע את תהליך התאונה.

2.1.9 מנגנון התאונה – איך קרה?

2.1.9.1 בדיקת שברי המסוק, בדגש בלהבים הראשיים ובזנב מצביעה, כפי שיוסבר בהמשך, בשחזור מכת הנגיפה, על הממצאים הבאים:

2.1.9.1.1 הייתה פגיעה אחת בלבד בזנב, בזווית המתאימה לכפיפה של הלהב מטה, בשיעור של 50 – 60 מעלות.

2.1.9.1.2 אין בזנב כל עדות לפגיעת להב אחרת, פרט למכה שצוינה לעיל – משמע שלא הייתה התפתחות מתמשכת של נפנוף להבים.

2.1.9.1.3 מאופן ההטבעה של המכה בזנב ניתן להסיק בוודאות, כי רק קורת הלהב בשני המטרים החיצוניים שלה פגעה בזנב, דהיינו: הלהב בשלב הפגיעה היה ללא מעטה.

2.1.9.1.4 הפגיעה בזנב הייתה עם החלק התחתון של הקורה, קרי: הקורה "הסתובבה" סביב צירה, כ – 90 מעלות, כך שהחלק התחתון החשוף היה מופנה קדימה.



סימנים כחולים מצבע הזנב

2.1.9.1.5 תושבת חיבור קרן הפעלת מוט שינוי זווית הפסיעה, של הלהב שכשל, הייתה שבורה באופן המעיד על נפנוף קיצוני של אותו הלהב. העיקום של קצה מוט שינוי זווית הפסיעה יכול להצביע, הן על כפיפה כלפי מעלה של הלהב והן של משיכה ועיקום הקצה בתנועה מטה של הלהב. האפשרות הראשונה של נפנוף מעלה חריף נראית מתאימה יותר לצורת הכיפוף, למרות שאין בכך כדי לשלול את האפשרות השנייה.

2.1.9.2 מבלי להיכנס עדיין לגורמים שהביאו לכשל הלהב, ניתן לשחזר את

שלבי מנגנון התאונה, בדגש למה שארע בזמן אמת:

שלב א' - תוך כדי טיסה מנהלתית ארע כשל מבני של אחד מהלהבים הראשיים אשר התבטא בהיפרדות פתאומית ולא הדרגתית של רוב מעטה הלהב, למעט מקטע באורך מטר בערך, של שורש הלהב, שנשאר מחובר, בשל היותו מחוזק.

שלב ב' - כתוצאה מהאופן האקראי של היפרדות המעטה נוצרה "תופעה" רגעית שבה אותו מקטע שימש מעין משטח היגוי אווירודינמי, חזק מאוד בהשפעתו. בסבירות גבוהה שהלהב נפנף כתוצאה מכך, תחילה מעלה ואחר-כך מטה.

שלב ג' - בשל הנפנוף החריף של הלהב שכשל, מעבר לתחום הטווח המתוכנן, נשברה הקרן אליה היה מחובר מוט שינוי זווית הפסיעה של אותו הלהב. כתוצאה מכך, נותר הלהב עם חופש תנועה בלתי מוגבל סביב צירו האופקי.

שלב ד' - תוך כדי התנועה החריפה, מטה, של הלהב שכשל, הסתובבה הקורה "העירומה" (שפת ההתקפה של הלהב) סביב צירה, כך שחלקה התחתון היה מופנה קדימה, בתנועה אחורה, משמאל למסוק.

שלב ה' - קורת הלהב שהייתה כפופה מטה, בזווית חריגה, פגעה בעוצמה רבה בצד השמאלי של הזנב. כתוצאה מהמכה החזקה, נשברו הזנב וציר ההנעה שלו (ממקום חיבורו לממסר). "היחלצות" ציר ההנעה ממעטה הזנב גרמה לשבירתו, באזורי הממסרות בכמה חיבורים של מעטה הזנב.

2.1.9.3 מרגע שהמסוק איבד את מכלול הזנב ולהב ראשי אחד, איבד המסוק

את תכונות הטיסה האווירודינאמיות והפך לגוף, ללא יכולת שליטה או הטסה. מכאן ואילך הייתה תלויה תנועתו במרחב באקראיות הכוחות שפעלו עליו.

2.1.9.3.1 כתוצאה מההתנתקות הפתאומית של מכלול הזנב וציר

ההנעה שלו, נכנס המנוע למהירות-יתר, רגעית, שנשמעה בשידור האקראי, שנקלט ביחידת הבקרה.

2.1.9.3.2 ניתוק מכלול הזנב גרם לנטייה טבעית של גוף המסוק לסבסב בכיוון הפוך לרוטור, קרי, למגמת סיבוב ימינה. כתוצאה מכך פגע המסוק במים עם החלק הקדמי שמאלי של תא הטייסים.

2.1.9.3.3 הטייס והנוסע ישב לידו הועפו החוצה, בזמן הפגיעה במים והם היו השניים הראשונים שנמשו מהמים. שני הנוסעים האחרים נותרו ישובים וחגורים בכיסאותיהם והם שקעו, יחד עם המסוק, במים הרדודים, יחסית.

2.1.9.4 סיכום

משלב זה התמקדה החקירה בניסיון לאמת את מנגנון כשל הלהב ולשחזר את תהליך הכשילה שהוביל לתוצאה הקטסטרופאלית.

2.2 תהליך הכשל של הלהב

2.2.1 שחזור מכת הנגיפה

2.2.1.1 בחלק התחתון של קורת הלהב שכשל, במקטע המתאים לשחזור כפיפת הלהב מטה, נראו סימנים כחולים, מוטבעים על גבי שאריות חומרי ההדבקה שנותרו באותו חלק של שפת ההתקפה ועל הקורה עצמה.

סוג הצבע שהוטבע יחד עם כיווני הסימנים, מלמדים על כך שהקורה "עירומה", ללא מעטה הלהב, היא שפגעה והטביעה את חותמה הברור במכלול הזנב.

2.2.1.2 כפי שהוסבר קודם, נפנוף הלהב שכשל ארע כתוצאה מהיפרדות פתאומית של רוב מעטה הלהב מהקורה אליו היה מחובר, באופן ששימש רגעית כמשטח היגוי של הלהב. תוך כדי היתלשות מעטה הלהב, נתלש גם קצה הלהב (TIP), בעוד שהבורג המחבר אותו לקורה נותר במקומו.



כיסוי קצה הלהב (TIP) ניתק ממקומו מבלי שתלש את בורג ההידוק

2.2.1.3 צוות החקירה נדרש, אפוא, למצוא את האזור החשוד לתחילתה של ההיפרדות האמורה. במידע העובדתי ביחס ללהב שכשל צוין, כי נמצא קטע כזה (שחור/חום), במקום החיבור של המעטה (SKIN) לקורת הלהב, כ – 17 ס"מ מקצה הלהב. איזור זה אופייין בסבירות גבוהה כמוקד התהוות כשל ההדבקה של המעטה, ממנו החלה ההיפרדות הפתאומית.

2.2.1.4 העובדה, כי רק הלהב שכשל נפגע, בעוד שהלהב הנגדי נותר שלם לחלוטין, מלמדת על תופעה שארעה ללהב אחד, באופן מקרי וחריג, בעוד שהלהב האחר כמעט שלא הושפע כתוצאה מהנפנוף של הלהב שכשל.

2.2.2 בדיקת הלהב שכשל

ההצבעה על הלהב החשוד כגורם ישיר לתאונה הקטלנית, עקב התפרקותו, מחייבת מענה לשאלת המפתח: איך ולמה כשל הלהב החשוד.

יודגש, כבר בשלב זה, כי ההוכחה של כשל כזה קשה מאוד, עקב העובדה, כי מדובר בהדבקה של חומרים שרישומי הכשל הטכני אינם ניכרים ומוטבעים עליהם, ברמת ההוכחה, כפי שקיימים לגבי רכיבים מתכתיים. יחד עם זאת, הממצאים והנסיבות מצביעים על כשל כזה, בוודאות גבוהה מאוד.

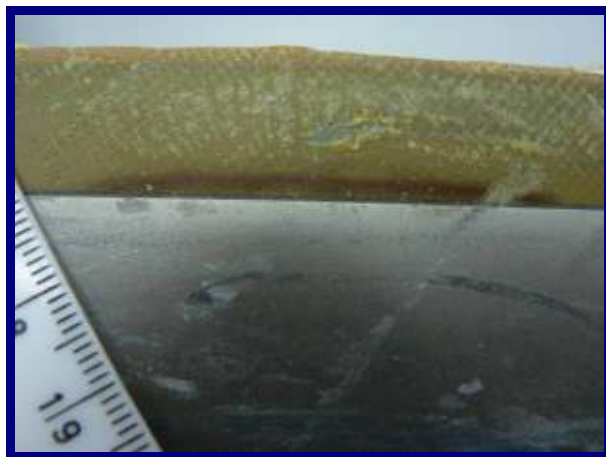
2.2.2.1 במקטע הגדול של מעטה הלהב שנמצא נפרד מהלהב עצמו, נמצאו כתמי הדבקה שונים, בצבע ובחשפוס, אשר מצביעים על הימצאותן של הפרדות מקומיות (מעין "בועות") במעטה הלהב. הפרדות כאלה, כל עוד לא הגיעו לגודל מסוים, קריטי, הן מאושרות לטיסה, בכפוף למשטר בדיקה קפדני יותר.



סימני ניתוק ההדבקה של מעטה הלהב ו"חלת הדבש"

2.2.2.2 בלהב השני השלם, נמצא איזור, המקביל במיקומו לאזור הכתם הכהה שבלהב שכשל. באותו האזור אפשר להבחין בבירור כי הצבע הצהוב של צבע החומר האטימה נשחק מזה זמן. בחומר ההדבקה, שבין המעטה לשפת ההתקפה, הובחנו חרירי ארוזיה שאפשרו חדירת אוויר וחול לתוך ההדבקה, תוך כדי השארת סימני השחרה. עובדה זו מלמדת, בסבירות גבוהה מאוד, כי גם הכתם הכהה שבלהב שכשל, נגרם כתוצאה מאותן סיבות.

2.2.2.3 על חומר ההדבקה שסביב הכתם הכהה שבלהב שכשל, נצפו סימני "הפרדה", בצורת סהר או "קרני שמש", היוצאים ממרכז הכתם החוצה. סימנים אלו מלמדים, כי הפרדת המעטה מקורת הלהב החלה מאזור הכתם. אם מקור ההפרדה היה מחוץ לאותו הכתם, היו סימני ההפרדה סביב הכתם צריכים להראות בכיוון אחיד, ככל שמקור ההפרדה רחוק יותר מהכתם.



סימני הדבקה בצורת "סהר" סביב הכתם החום

2.2.2.4 הנחת היסוד הייתה, כי הפרדה מקומית, בגודל 5 ס"מ לערך (גודל הכתם), גם אם היא נמצאת בקו החיבור של המעטה לקורה, בחלק התחתון של קצה הלהב, אינה יכולה לבדה לגרום להיפרדות מיידיית של כל מעטה הלהב. בסוגיה זו נוטה צוות החקירה לקבל את עמדת חוקרי רובינסון וה – FAA, כי ניתן היה להניח שבמקרה שכזה תהיינה רעידות של המסוק, קודם התאונה.

2.2.2.5 למרות שנטען על-ידי אותם החוקרים, כי הפרדה קטנה כזו, עלולה לגרום להיפרדות מלאה ומהירה של המעטה, סבור צוות החקירה, כי האירוע הנחקר הוחרף, כתוצאה משילוב של סיבות שגרים באופן מיידי לתופעה הפתאומית והקטלנית. השילוב החשוד הוא בין ההפרדה, בקו החיבור של המעטה עקב הארוזיה לבין הימצאותן של "בועות" הפרדה מקומיות ליד אותו הכתם. אם ההפרדה הראשונית, בקו חיבור המעטה, המשיכה מיד והתחברה עם הפרדה בועתית אחת או יותר, עלול להיגרם תהליך שרשרת המתבטא בהפרדה פתאומית ומיידיית של מרבית המעטפת (אפקט הדומה לקריעת נייר טואלט).

2.2.3 האחזקה הטכנית של הלהבים

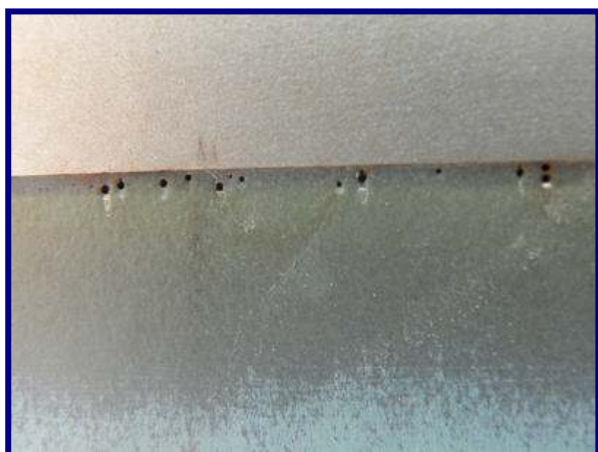
ממצאי החקירה מצביעים על תהליך כשל שהתפתח לאורך זמן בלהב שכשל, מבלי שהגורמים המעורבים (מכוני הבדק, המכונאים והטייסים) הבחינו בכך, קודם התאונה. בתחום זה מצא צוות החקירה לנכון לפרט את הנקודות הבאות:

2.2.3.1 בלהב הנגדי, לזה שכשל, החל תהליך כשל במנגנון ארוזיה באותו מקום שאובחן כאזור ההפרדות ההתחלתית, של מעטה הלהב.



סימני ארוזיה חריפים בלהב הנגדי

2.2.3.2 בבדיקה מטעם צוות החקירה, לאחר התאונה, נמצאו כאמור להבים נוספים, במסוקים אחרים שבהם אובחנה שחיקה של צבע האיטום, מעבר למגבלות המותרות ותוך כדי חשיפת קו החיבור של המעטה לקורת הלהב. מאחר שמשמעות נסיגת הצבע, לכיוון קו החיבור, לא הייתה ידועה בעת שבוצעה הבדיקה, לא תועדה שייכות אותם הלהבים למסוקים.



הלהב של מסוק אחר, לפני הוראת הבדיקה של רת"א

2.2.3.3 כאמור, צוות החקירה מצא בבדיקה מדגמית, לאחר התאונה, כי בשני להבים נוספים, קיימת ארוזיה בדומה ללהב שכשל בתאונה. מאחר שבסיוור בשדה הרצליה, עם החוקרים האמריקאים, הם לא הצביעו על איזשהו מסוק שנמצאה בו ארוזיה ומאחר שבחלק מהמסוקים נצבעו קצות הלהבים מחדש, התברר בדיעבד, כי ישנה אפשרות שהאזורים, בהם החל תהליך הארוזיה, נצבעו ולא טופלו קודם, כנדרש בהוראה הטכנית המתאימה.

יודגש, כי גם לאחר ביצוע הפעולה המתקנת שניתנה על-ידי רת"א, נמצאו עדיין להבים "מגבלתיים".

2.2.3.4 מערכי העבודה לביצוע ביקורת להבים נמצאו לקויים, הן באשר לאיורים שבהם, הן באשר להעדר חובת חתימה, לצד כל שלב בבדיקה והן באשר לניסוח ההנחיות, שהשאיר מקום לאי הבנה ברורה של הנדרש מהמכונאי.

2.2.3.5 צוות החקירה, יחד עם החוקרים של ה- FAA וחברת רובינסון, התרשם בעת ביקור בשני מכוני הבדק, כי מטרת בדיקת הנקשה (TAP TEST), באזור הנדרש לבדיקה, אופן הבדיקה וגווי הצליל אותם אמורים היו לאבחן, אינם ברורים מספיק למכונאים ואינם מיושמים כהלכה.

2.2.3.6 תוך כדי הדגמת הבדיקה הנדרשת, לאיתור הפרדות בהדבקה של מעטה הלהב לחלת הדבש, נעשו ניסיונות לאמת הימצאותן של הפרדות במקומות שנחשדו על-ידי החוקרים מה ה- FAA ומחברת רובינסון. בכל אותם ניסיונות שנעשו, **לא אומתה הפרדה כזו**, למרות "הביטחון" שמדובר בצליל שונה, היכול להצביע על הפרדה אפשרית. התוצאה המדגמית הנ"ל עוררה ספק לגיטימי באשר ליעילות המעשית של בדיקת הנקשה לאיתור מוקדם של תהליכי כשל בהדבקת המעטה לקורת הלהב.

יודגש, כי חרף העובדה כי שיטת הבדיקה בנקשה נקבעה על ידי היצרן כטובה ביותר בנסיבות העניין, לא הוצג מידע מבוסס כלשהוא, המצביע על כך כי בדיקה כזו, טובה ככל שתהיה, מבטיחה את איתורם של תהליכי כשל, ושתשמש ערובה לתקינות ושמישות הלהבים לטיסה.

2.2.3.7 האחזקה הטכנית של הלהבים הראשים, הנדרשת על-פי מסמכי ה – AD וה – SB הרלוונטיים, אינה תואמת באופן מלא את ההנחיות המוגדרות ואינה נעשית, בפועל, בסטנדרט הנדרש על-פי הנחיות אלה. מצב הלהבים כפי שאותר בשאר המסוקים מלמד על כך שתהליכי כשל מבני החלו גם בלהבים אחרים, מבלי שהייתה קיימת מודעות מספיקה לתופעה, בקרב כל הגורמים המעורבים. מצב זה יש בו כדי להסביר את תנאי הרקע לכשל הלהב בטיסת התאונה.

2.2.4 תהליכי כשל דומים בעולם

לאור המידע שנאסף בכל האירועים שבהם נמצא, כי מעטה הלהב הופרד במהלך טיסה, הביע המהנדס הראשי של מעבדות הכשל של ה – NTSB דאגה שנובעת מהתובנות הבאות:

- ☒ הוכח, כי הפרדת הלהבים יכולה להתקיים בבת אחת באופן קטסטרופאלי בלי סימנים מקדימים, ולא כפי שסברו תחילה - בהדרגתיות, שמאפשרת לבצע נחיתה בשטח.
- ☒ המקרה שארע אצלנו אינו ייחודי, קדמו לו שתי תאונות, כמעט זהות לחלוטין, האחת באיי פיג'י והשנייה ברפובליקה הדומיניקית.
- ☒ בלהבים שכשלו נמצא במחקר, כי שטח ההדבקה קטן בהרבה מאשר התחום המינימאלי שקבע היצרן – 80%.
- ☒ שיטות הבדיקה שהוצעו, לאיתור נזקים במבנה הלהבים, אינן מבטיחות את תקינות הלהבים.
- ☒ בדיקת נקישה (TAP TEST) אינה מספקת על מנת לבדוק שלמות של קו ההדבקה.

2.2.5 תהליך הכשל שהתרחש

2.2.5.1 צוות החקירה הסיק מכלל הראיות והממצאים, כי הגורם הישיר שהתחיל את הכשל באוויר, במהלך הטיסה חזרה מהושעיה, היה ההתפרקות המיידית והפתאומית של אחד משני הלהבים הראשיים.

2.2.5.2 עוד קבע הצוות, כי תהליך הכשל החל זמן רב, יחסית, לפני טיסת התאונה ועוד לפני בקורת "100 שעות" שבוצעה במסוק כ – 7 שעות טיסה לפני טיסת התאונה.

2.2.5.3 בסבירות גבוהה, התפתח הכשל בשני מנגנונים נפרדים שהתלכדו כנראה במהלך הטיסה שהסתיימה בתאונה.

הראשון - בועות הפרדה אקראיות במשטח הלהב, בין המעטה החיצוני של הלהב לבין "חלת הדבש", אשר לא אותרו במהלך בדיקות הנקישה שבוצעו, לפחות בביקורת האחרונה שנערכה ללהבים.

השני - הפרדה מקומית של מעטה הלהב, מקורת הלהב, בחלק התחתון של שפת ההתקפה, בקו החיבור של המעטה עם הקורה, כ – 17 ס"מ מקצה הלהב. מקום זה אותר **כמועד** על-ידי היצרן והוא מצוי במרכזם של 25 הס"מ החיצוניים של הלהב שבהם הארוזיה היא הרבה ביותר, עקב מהירות הסיבוב.

2.2.5.4 סיכום

2.2.5.4.1 הכשל שהלך והתפתח בלהב שכשל, לא אותר במהלך הבדיקות שנעשו בביקורת וגם לא בבדיקות לפני הטיסות האחרונות. צוות החקירה התרשם באופן נחרץ, כי כל המערכת, החל מרת"א, דרך מכוני הבדק וכלה במכונאים ובטייסים, לא הייתה מודעת, מספקת דיה, באשר למהות בדיקת הלהבים, לאופן הבדיקה, ולמשמעות הבדיקות שכל אחד היה אמור לבצע.

2.2.5.4.2 גם לאחר התאונה, ולאחר ביצוע הבדיקות שרת"א הורתה לבצע, עדיין לא הכירו המעורבים ולא הפנימו את המשמעויות של תהליך הבדיקה שהוגדר ב – AD וב – SB.

2.2.5.4.3 צוות החקירה העריך, כי תהליכי כשל, כפי שתוארו לעיל, התפתחו במקביל במספר להבים של מערך מסוקי הרובינסון (R-44).

הלהב שכשל במסוק התאונה הוא פרט סטטיסטי שארע במקרה ללהב זה, שלא היה יוצא דופן, באופן מהותי, מלהבים אחרים. אפשר שבו היה מנגנון הכשל במצב המפותח ביותר - חיזוק למסקנה זו ניתן לקבל ממצבו של הלהב הנגדי.

2.2.5.4.4 התלכדות שני תהליכי הכשל, הארוזיה בחלק התחתון של קצה הלהב שגרמה לתחילת ההפרדות של המעטה, יחד עם מיקום ההפרדות שהחישו את "התקלפות" המעטה, באופן פתאומי וחריף, היא שגרמה להיווצרותה של תאונה קטלנית, מבלי שהיו לטייס את הזמן והסיכוי לנסות ולהיחלץ מהמצב.

2.2.5.4.5 בהוראות שחויבו בביצוע על ידי ה- FAA ועל ידי יצרנית המסוק, עד למועד התרחשות התאונה אצלנו, נכללו שתי בדיקות עיקריות:

☒ בדיקת הפרדת ההדבקה במעטה הלהב, בדגש לקצה הלהב.

☒ בדיקת איטום והעדר ארוזיה באזור ההדבקה שבין הקורה למעטה הלהב, בחלק התחתון של קצות הלהבים.

כאמור בדוח, הכשל הקטסטרופאלי אירע משילוב של ארוזיה יחד עם קיום הפרדות במעטה הלהב.

ההוראה לבדוק את היחשפות הצבע בחלק התחתון של קצה הלהב הינה פשוטה ויעילה, בכל הקשר לגילוי חשד לארוזיה. לו הייתה מתבצעת הבדיקה כפי שהתכוונו לה ה- FAA ויצרנית המסוק, היה הלהב נפסל זמן רב לפני התרחשות התאונה.

אין באמור לעיל כדי להעיד על יעילותה של בדיקת הנקישה (TAP TEST), לצורך איתור הפרדות בהדבקה מעטה הלהב. כפי שהוסבר בדוח – זו בדיקה שאמורה לגלות הפרדות באופן הסתברותי, אך לא באופן מוחלט.

2.2.5.4.6 באופן תיאורטי, ניתן ליחס סיבתיות גם לתנאי הסביבה בהם פעל המסוק, באופן כללי ובזמן טיסת התאונה באופן ספציפי, אך טענה זו, אין בה להסביר את התאונה, אלא יותר את מקורות מועד התרחשותה.

2.3 מניעת תאונות דומות

2.3.1 מניעת תאונות דומות, מותנית ביכולת לזהות במדויק את הסיבות השורשיות להתפתחותם של תהליכי כשל וביכולת לתת מענה, יעיל, אמין ותכליתי, שימנע את היווצרות תהליכים, לפני שיגיעו לכדי מימוש.

בתאונה זו, המשימה קשה שבעתיים, מכמה סיבות:

2.3.1.1 למרות שכשלים דומים אותרו במספר תאונות שאירעו ברחבי העולם, לא יכלו החוקרים להצביע במדויק על הגורם להתחלת תהליכי הכשל, אלא, התבססו על הערכות ועל נתונים סטטיסטיים. החוקרים קבעו, כי מסיבות שונות התחילה הפרדה של המעטה החיצוני עקב הפרדות שהן תוצר הייצור ושלא אותרו, ו/או הפרדות שהחלו מאוחר יותר, תוך כדי הפעלת המסוק בסביבת עבודה שתרמה לכך.

2.3.1.2 בהעדר יכולת מעשית למנוע את תחילת היווצרותם של תהליכי כשל מהסוג שארע (לנו), מבוססת בטיחות האחזקה על מתן הנחיות למכונאים ולטייסים לביצוע בדיקות ראייה ובדיקות הקשה לפני כל טיסה. הנחת היסוד החבויה בהנחיות אלו, כי לא ניתן כמעט להימנע מהתפתחותם של תהליכי כשל כאלה, אלא רק לנסות ולאתרם מבעוד מועד.

2.3.2 צוות החקירה התרשם, כי כל הרשויות המעורבות, במדינת התכנון והייצור של המסוק (FAA, NTSB ורובינסון) ערים, זה זמן רב, ל"רגישותם" של להבי אותם מסוקים, להתפתחות תהליכי כשל מבניים. מקורם של כשלים אלו נעוץ בשילוב של מבנה עדין ורגיש של הלהבים, יחד עם תנאי הסביבה בהם פועלים אותם מסוקים. אפשר שהשילוב של סוג הלהבים עם ההפעלה התכופה בטיסות במשקל הקרוב למרבי, בתנאי חום ואבק, מהווה גורם מאיץ להתפתחותם של הכשלים האמורים.

2.3.3 ההבנה והמודעות לתהליכי כשל אלו, יחד עם העדרם של פתרונות זמינים וממוקדים, לשיפור הלהבים, מקשים על מתן המלצות ישימות לשיפור ולתיקון הלהבים הקיימים. בפגישה עם המשנה לנשיא החברה, דווח לנו, כי "רובינסון" אמורה בתקופה הקרובה "לצאת" עם להבים משופרים, שהמעטה שלהם עשוי אלומיניום, בעובי הגדול פי 3 – 4 מעובי מעטה פלדת אל חלד שקיים היום, ובנוסף, תהליך ההדבקה שיישם יהיה מדויק יותר.

2.3.4 במהלך החקירה התוודע צוות החקירה ל – STC אוסטרלי, הדן בהדבקה של סרט מיוחד על שפת ההתקפה של הלהבים הראשיים, המשמש הן לאיטום ובידוד קורת הלהב והן כאמצעי לספיגת נזקי הארוזיה (שיטה זו מקובלת במרבית מסוקי חיל האוויר).

למרות המלצת מהנדסי ה – NTSB על פתרון זה, נציגי רובינסון אינם ממליצים על השימוש בסרט ההדבקה, מטעמים שונים, ובכללם: אובדן מסוים של יעילות הרוטור הראשי, המחיר הגבוה של סרט הבידוד, הצורך להחליף את סרט הבידוד כל ביקורת והחשש להתפתחות נסתר של קורוזיה מתחת לסרט.

2.3.5 בסיכומו של דבר, סבור צוות החקירה, כי לאור הממצאים שהוצגו בדוח זה, חובה לבצע הערכה מחודשת, על מנת לנסות ולהגדיר פתרון, יעיל לנושא הלהבים ובעלות סבירה. צוות החקירה מודע לעובדה, כי ברכישת מסוק פשוט, נוח וזול, כדוגמת R-44, ישנה מידה מסוימת של נטילת סיכון מרצון והתפשרות טכנית מסוימת, הנובעת מההחלטה של "שני הצדדים" שלא לייקר משמעותית את מחיר המסוק – ספק אם הסבר זה יש בו, כדי להצדיק את המצב האמור.

2.3.6 מאחר שלא ניתן עדיין פתרון טכני-הנדסי מקיף למניעת מנגנוני הכשל בלהבי המסוק חובה לייעל בצורה משמעותית את הבדיקות לגילוי מוקדם של תהליכי כשל שהחלו להיווצר.

התחום הראשון – גילוי הפרדות של מעטה הלהב. הבדיקה בנקישה, טובה ככל שתהייה היא בפועל מדגמית והסיכוי לגלות הפרדות קטנות היא הסתברותית. אין זו בדיקה של גילוי ב – 100%.

התחום השני – גילוי ארוזיה בקו חיבור ההדבקה והפרדות בפס ההדבקה. בדיקה זו פשוטה יותר ויעילה יותר, אלא שלא הובנה כהלכה ע"י המשתמשים, לפחות כאן בישראל.

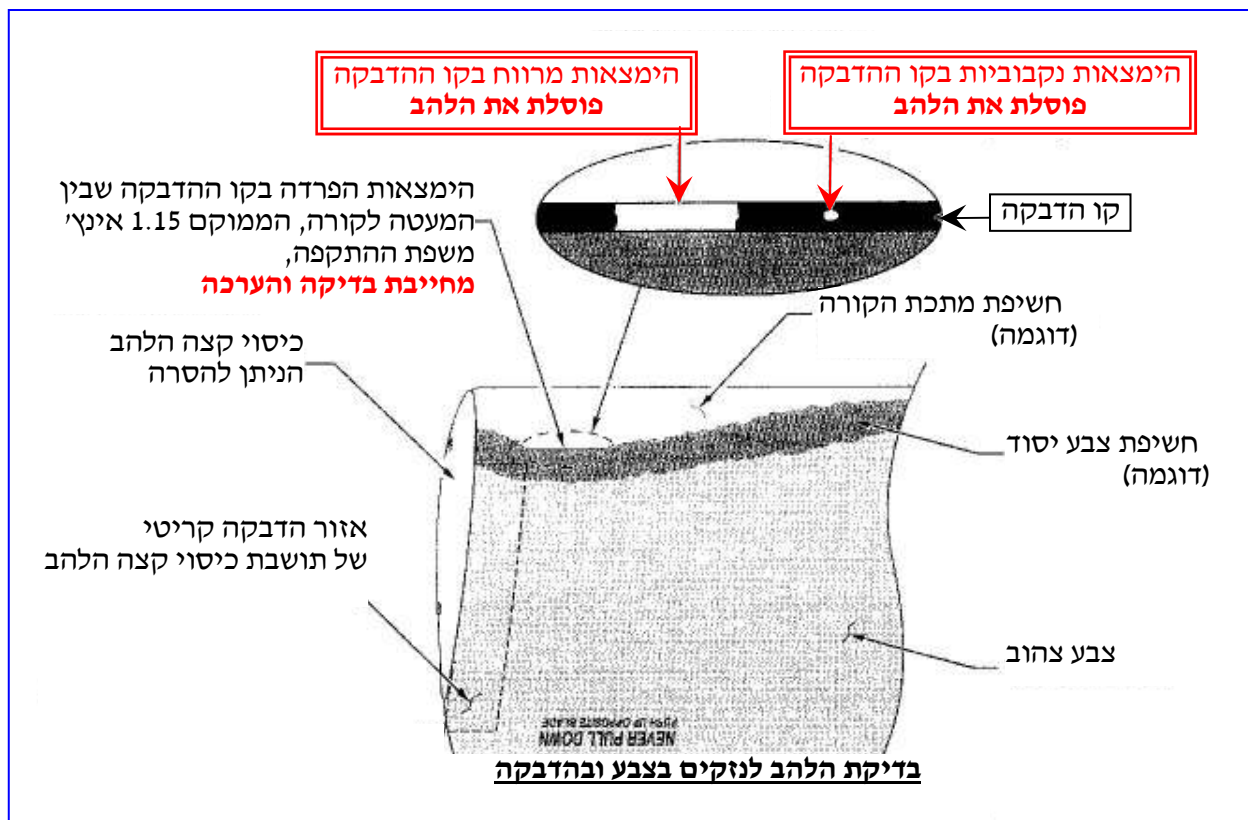
ביצוע קפדני של הבדיקות העיקריות יש בו כדי לשפר משמעותית את הגילוי המוקדם של תהליכי כשל.

2.3.7 למרות כל האמור, חובה להמשיך בתכנון להבים משופרים, עמידים יותר בפני ארוזיה והפרדות. ככל הידוע לנו ישנה כוונה להתאים את תכנון הלהבים של R-66 ללהבי R-22 ו R-44. פתרון מקביל של להבים משופרים עם מערכי בדיקה וגילוי מוקדם עשוי לשפר משמעותית את בטיחות המסוק.

2.4 פעולות מניעה לאחר התרחשות התאונה בישראל

- 2.4.1 לאחר ביקור החוקרים מחו"ל ונציגי היצרן בארץ, נתגבשה התובנה, כי חרף ההוראות הרבות שפורסמו בנוגע לבדיקת הלהבים, לא היה בהן מיקוד חד משמעי באשר לאזורי הבדיקה הקריטיים בלהב, ומשכך, הגיעו למסקנה, כי יש לפרסם הוראה מתקנת, המבוססת על הוראות העבר, תוך מתן ההדגשות הנדרשות ותוך קביעה חד משמעית באשר לליקויים הפוסלים את הלהבים.
- 2.4.2 בתאריך 30 באפריל 2010, פורסם על ידי היצרן SERVICE LETTER (SL56) למסוקי R-22 ו- SL32 (למסוקי R-44) בנוגע לתחזוקת ההדבקה של הלהבים, וכן SB-72 למסוקי R-44 ו- SB-103 למסוקי R-22, בנושא בדיקת הדבקה של הלהבים.
- 2.4.3 בתאריך 9 ביולי 2010, אושרו הוראות השרות הנ"ל על ידי ה- FAA.
- 2.4.4 על-פי המצוין בהוראות השרות הנ"ל, יש להשלים ביצוען בביקורת המחזורית 100 הקרובה, בביקורת השנתית, או עד לתאריך 31 ביולי 2010, מה שבא קודם. וכן להכליל את סעיפי הביצוע בכל ביקורת 100 ובביקורת השנתית.
- 2.4.5 מבדיקה ראשונית במכוני הבדק, לא נראה כי מיושמות ההוראות שניתנו בעלוני השירות שהוזכרו לעיל, וכמו כן, לא נראה שבוצעה פעילות כל שהיא ברת"א על רקע הוצאת ההוראות החדשות.
- 2.4.6 הוראות השרות האחרונות שהופצו ב- 30.4.10 ושאושרו ע"י ה- FAA, נתנו מענה למספר סוגיות שהתעוררו במהלך החקירה של האירוע אצלנו:
- 2.4.6.1 התקבלה התובנה, כי ההנחיות שפורסמו קודם לכן, מבטאות משפטית את כוונת יצרנית המסוק וה- FAA באשר לבדיקה הנדרשת, אך בפועל המשתמשים בשטח אינם "מבינים" אותן, בהכרח, באופן הנדרש. עקב כך התווספו איורים וסרט וידאו להדגמה.
- 2.4.6.2 פס ההדבקה צבוע ומשום כך קשה להבחין בו, כל שכן לאמוד את רוחבו של פס ההדבקה. כתוצאה מכך פיתחה החברה ערכה זולה ביותר ופשוטה לסימון גבולות פס ההדבקה.
- 2.4.6.3 בתאונה, כשל הלהב לאורך כ- 3 מטרים חיצוניים, ורק 1.5 מטרים משורש הלהב והחוצה נשארו מחוברים בשל היותם מחוזקים. כתוצאה מהתאונה שארעה אצלנו, הורחבה בדיקת פס ההדבקה של חלק הלהב התחתון מהקצה לכוון השורש, מ- 12 אינטש שנדרשו בעבר ל- 135 אינטש.
- 2.4.7 בתאריך 18.6.10 פרסמה חברת רובינסון מכתב שירות, SL-37, ובו ציינה, כי מוצע לבעלי מסוקי רובינסון 44 להחליף את הלהבים הראשיים הקיימים בלהבים חדשים, הכוללים מעטה אלומיניום חזק יותר ו הדבקה טובה יותר (P/N C 016-7) בכך יישמה החברה את אמירתה בדבר להבים חדשים, בעת הביקור אצלנו.

להלן שני האיורים (מתורגמים), שצורפו להוראת השרות SB72.



2.5 מעורבות ואחריות הרשויות

2.5.1 האירוע הנחקר, כמו רבים מסוגו ברחבי העולם, מעורר את השאלה ביחס לאחריות הרשויות התעופתיות העיקריות, בכל הקשור לכושר האווירי של כלי הטיס, בתווך שבין היצרנים לבין מכוני הבדק, המפעילים ושאר המשתמשים. הדיון בסוגיה זו מתרכז בעיקר במעמדם ובתפקידם של הרגולאטורים של רשויות החקירה התעופתית, של כל מדינה, מערכת היחסים בינם לבין עצמם ובינם לבין רשויות מקבילות בעולם.

2.5.2 בהתעלם מהבעיות הקיימות במדינות הנוקטות בחקירה בטיחותית באוריינטציה משפטית – פלילית, במרבית המדינות החברות ב – ICAO אומצה הגישה של נספח 13 לאמנת התעופה (שיקגו) ברמה זו או אחרת. המסלול הטבעי, בד"כ, של היחס בין הרגולאטור לבין הרשות החוקרת, בכל מדינה, הוא, שבתחילה הרשות החוקרת היא חלק מהרגולאטור ואח"כ מבוצעת הפרדה והם ניצבים זה לצד זה באותו משרד ממשלתי, או במשרדים נפרדים. הפרדה זו נועדה ליתן עצמאות מלאה לרשות החקירה הבטיחותית ולהבטיח, כי היא אינה כבולה למדיניות ולתפישות של הרגולאטור, אלא לתובנות המקצועיות שיש לה מהאירועים הנחקרים על ידה ועל בסיס הניסיון שנצבר אצלה ובמדינות אחרות.

יתרונה של הגישה הבטיחותית היא בחשיבה המקצועית והעצמאית, אשר מאפשרת בחינה של גישות ועמדות שונות. אין הדבר סותר או פוגע בסמכותו של הרגולאטור לנהוג ולהנהיג על-פי תפישתו ומדיניותו.

2.5.3 מידת המעורבות הנדרשת או המצופה מרגולאטור, ביחס להנחיות שהועברו על ידי רשויות תעופה זרות, היא נגזרת של מספר מרכיבים, כמו: המדיניות של אותו רגולאטור בנושא כושר אווירי, הרמה המקצועית של ממלאי התפקיד בתחום האמור, החשיפה והחתירה לקבלת מידע מחו"ל. מרכיבים אלו ואחרים קובעים את היכולת והמחויבות של הרגולאטור ליישם לקחי כשלים שאירעו בארצו ובמדינות אחרות, לכדי פעילות בטיחות מונעת באותם התחומים.

2.5.4 מניסיונו ארוך השנים, אנו למדים על מספר תובנות שהן פרי חקירתם של אירועי כשל רבים, בכל הקשור לתפקידה של רשות מנהלית.

2.5.4.1 תרבות הדיווח והחובה לדווח על תקלות משמשות אבן יסוד בתעופה. מכאן עולה שאלה, מהן הפעולות הננקטות על ידי הרגולאטור לאור המידע המצטבר שהועבר אליו והאם עליו לשמש כצינור מידע או להתעמק במידע ואף לגבש המלצות שונות מאלו שנכללו במקור המידע.

2.5.4.2 בפסק דין של בית המשפט העליון, מיום 23 ביוני 2010, בתיק בג"ץ 708/09, בעניין אחר, עלתה הסוגיה של שקול הדעת המוקנה לגוף מנהלי בארץ ביחס "להחלטות" הניתנות מעבר לים, על-ידי גופים מוסמכים לאותו העניין.

כבוד בית המשפט קבע, כי האישור שניתן בחו"ל אינו מחייב את הגוף המנהלי בארץ. בכך קבע בית המשפט, כי על-פי עקרונות המשפט המנהלי צריכה רשות מנהלית לקבל בעצמה את החלטותיה ולבססן על תשתית עובדתית מתאימה. החלטתה צריכה להיות תוצאה של בדיקה עניינית הוגנת ושיטתית.

פסק דין זה, אף שנושאו רחוק מהנושא הנדון בחקירה, מבטא יפה את הגישה, כי חובת גוף מנהלי לבחון את העובדות, לבדוק ולקבל באופן עצמאי את החלטותיו, הגם שנדונו בגוף מקביל אחר, לכאורה.

2.5.4.3 כך למשל פועלים בחיל האוויר בתחום התחזוקה. כל מסמך שטמונה בו בטיחות טיסה מנותח על ידי צוות מקצועי, שמסיק מתוכו אילו בדיקות יש לבצע בעקבות המידע. **חיל האוויר אינו ממתין להוראות יצרן או להוראות של אחרים על מנת להחליט לבצע פעולת מניעה שמצא בה צורך.** זאת ועוד, בכל הוראת ביצוע שכזאת, קצין מקצועי מהמטה נוכח בעת ביצועה הראשון על מנת לבחון אם קיימים קשיים ביישומה.

2.5.5 איתור ראשוני של כשל כלשהו אינו מביא בהכרח לתגובה של היצרן לנקוט פעולה למניעת אותו כשל. ה"היגיון" הטמון בכך ברור לכל: אפשר שמדובר בכשל יחיד שאינו נחלת כל צי המטוסים הדומים ומכאן שאין לגזור על המשתמשים חובת ביצוע פעולה למניעת כשל, שלא הוכחה הישנותו אצל כמה משתמשים.

2.5.6 היה ואירוע הכשל מתרחש פעמים נוספות, רק אז נכנס היצרן לתמונה ומשתף לפעמים גם גורמים אחרים על פי שיקול דעתו. לאחר שנבחן היקף הבעיה וסיכויי הסתברות הכשל אצל אחרים, עומדות בפני היצרן כמה אפשרויות פעולה: להגיב מידית באמצעות הוראות ביצוע מחייבת (בדרך כלל בשיתוף פעולה עם רשויות תעופה) או להוציא הוראת שירות, שבהגדרה אינה מחייבת, כמו: "תשומת לב המשתמש בדבר כשל שאותר, כמו - לצאת לידי חובה".

2.5.7 הניסיון המצטבר בחקירת תאונות כלי טיס מלמד על כך, שבדרך כלל שיקולים כלכליים מעורבים בהחלטות, היינו: הוצאת הוראת תפעול מחייבת, מתגבשת רק לאחר שכלו כל הקיצין, אפילו שמדובר בכשלים שגבו קורבנות בנפש.

עד להוצאת הוראת ביצוע מחייבת (AD) ניתן למצוא לעיתים עד עשרה פרסומים של מידע בטיחותי והוראות מידע אודות כשלים דומים אצל מתפעלים שונים, אך למרות זאת, לא ננקט הליך ביצוע מחייב.

2.5.8 עיתוי הביצוע של הוראה כל שהיא, אף הוא נגזרת של "חשיבה כלכלית", כך שלפעמים פריסת הביצוע על פני תקופת זמן ארוכה מאוד, מעלה שאלות לא קלות באשר לסיכונים שנלקחו בהתבסס על המחיר ששולם (גם בחיי אדם) עד לקביעת הצורך בבדיקה האמורה.

2.5.9 **בחקירת תאונת רובינסון 22 שארעה בתאריך 29.2.2004**, בה נספו הטייס והנוסע שהיה עימו, נתלש אחד מלהבי המסוק באוויר. במהלך איסוף הנתונים לצרכי החקירה, מצאנו, בכוחות עצמנו, כי אירעו לפחות שמונה תאונות דומות ברחבי העולם.

בעקבות התאונות שאירעו בחו"ל הוצאו הוראות שרות מגוונות (SB) וכן מכתבי שרות (SL) על ידי היצרן ועל ידי רשות התעופה הפדראלית (FAA) של ארה"ב. בניתוח הפרסומים הנ"ל על פני רצף כרונולוגי, נראה בעליל, כי הן היצרן והן רשות התעופה הפדראלית של ארה"ב, לא ידעו כיצד להתמודד עם בעיית הסידוק של שורש הלהב והעדכונים השונים להוראות שהוצאו רק סיבכו את התמונה עוד יותר.

הבעיה היא, ש"הכתובת הייתה על הקיר" באותיות קידוש לבנה, כך שמרביתה הוצגה במסמכים שאינם מחייבים לכאורה – SB, שבהם צוין במפורש: "לידיעה בלבד - ההמלצות אינן מחייבות".

2.5.10 **במקרה דנן, לדעת צוות החקירה, צריכה להידרש מקצוענות מטעם הרגולאטור.** ובמה דברים אמורים: ריבוי העדכונים על דבר בדיקה מסוים - משמעותו פשוטה: ישנה בעיה שלא קיבלה עדיין את המיקוד הנדרש, ומכאן ראוי היה שהרגולאטור יכנס לעובי הקורה על מנת ללמוד ולמקד את דרישות הבדיקה, ולא לעמוד מנגד עד לקבלת הוראה מאחרים, בדבר ביצוע מחייב. על רקע האמור לעיל, הצענו למת"א (רת"א כיום) להעסיק גורם חיצוני, שייסקור את כל הוראות השירות (שאינן מחייבות, לכאורה) שהועברו אליה עם השנים ולבחון אם טמונה בהן בעיה המחייבת התערבות באמצעות פרסום הוראות מתקנות או הוספת בדיקות למערכות שונות, על פי הצורך. הרעיון התקבל ואף הוחל בלימוד הנושא על ידי חברה חיצונית, ליצירת PILOT. מטעמים שאינם ברורים הופסקה עבודת החברה.

בהתפרסם הוראה מחייבת כל שהיא מצוין בה מועד הביצוע, למשל: "לפני הטיסה הבאה", "בעת הביקורת התקופתית", בכל כך וכך שעות פעולה, או בתוך פרק זמן מוגדר.

קביעת סדר המטוסים לביצוע ההוראה האמורה, נתון בעיקר לשיקוליו המסחריים של המפעיל. האם זו הדרך הנאותה או שיש מקום גם לרגולאטור להתערב בקביעת הסדר?

על מנת לתת מענה לשאלה הבאה, **ניקח לדוגמה את תאונת מטוס אל על באמסטרדם שארעה בארבעה באוקטובר 1992**, עקב כשל של פני מתלה מנוע מס' 3.

בעיית כשל הפינים הייתה ידועה וה – AD הראשון בנושא פורסם על ידי ה – FAA באוקטובר 1986, מאז ועד לתאונה, **עודכנו הוראות הבדיקה 8 פעמים**. ארבעה ימים לאחר התאונה, ב-8 באוקטובר 1992 פרסם ה- FAA הוראת חירום בתוקף מיידי המפרטת את אופן הבדיקות של הפינים השונים.

קדמו לתאונת מטוס אל-על **שלוש תאונות, שאירעו בתוך פרק זמן של תשעה חודשים**, בהן כשלו פני המתלים של המנועים – **כולם במנוע מס' 3:**

2.5.11.1 בדצמבר 91 התרסק מטוס מטען 747-200 של חברת התעופה הטייוונית, לאחר שאיבד פיזית את שני מנועיו הימניים. ליצרן המטוס לקח זמן רב להבין, כי מנוע מס' 3 בהתנתקותו "לקח עימו" גם את מנוע מס' 4 ומשטחי היגוי שונים, וכי התיאוריה שהייתה מקובלת, כי המנוע בהתנתקותו יעבור מעל הכנף – הופרכה.

2.5.11.2 במרץ 1992 נפל מנוע מס' 3 של בואינג C 707-321 בעת נסיקה בגובה 32,000. בנפילתו פגע במנוע מס' 4 ותלש גם אותו מהכנף. צוות הטיסה הצליח להנחית את המטוס בשלום.

2.5.11.3 בספטמבר 1992, חודש לפני תאונת מטוס אל-על, אובחן במטוס 747-200 נוסף, בעת חנייתו, כי מנוע מס' 3 נוטה מעט פנימה. בבדיקה נמצא שפין החיבור החיצוני של מתלה המנוע שבור. עד למועד האירוע צבר המטוס 42,106 שעות ב – 9,176 תנועות.

עובדת העדכון התדיר של הוראת הבדיקה, יחד עם עובדת פרסום שלוש התאונות שהוזכרו לעיל, **תוך ציון שעות טיסה שחלפו עד לכשל, באירוע השלישי**, הייתה אמורה לדעתנו ליצור מעורבות של הרגולאטור בארץ (מת"א), לפחות בקביעת סדר המטוסים באל-על שתוכננו להחלפת הפינים. כאן המקום לציין, כי עד לקרות התאונה, **צבר מטוס אל על 3,000 שעות יותר מאשר המטוס הארגנטיני וביצע כאלף נחיתות יותר**, מה עוד שמדובר במטוס מטען טהור, המתופעל במשקלים גבוהים יותר, משל מטוס דומה המיועד להובלת נוסעים.

הערה: בבדיקה שנעשתה לאחר תאונת מטוס אל-על הובר, כי בחברות "לופטהנזה" ו"בריטיש" החליפו את הפינים, ראשית למטוסים שצברו את מרב השעות והנחיתות וכן לאלה שטסו במשקלים גבוהים.

2.5.12 נכון שגם למפעיל וגם ליצרן אינטרס מובהק, להמשיך ולהפעיל את המטוסים כל עוד לא נשקפת סכנה לבריחות. השאלה שנשאלת היא, האם תפקידו של הרגולאטור לשמש צינור להעברת דרישות היצרן או של ה-FAA, כפי שהן אל המפעילים, או שיש מקום להתערבותו בשינוי הדרישות או העדיפויות על פי ניתוח מידע שאמור להתבצע על ידו.

להבהרת הנקודה הזו, הציג צוות החקירה שתי דוגמאות: אחת מן העבר הרחוק והשנייה עומדת על ספנו בימים אלו:

2.5.12.1 בדוגמה מן העבר, מדובר בתאונת **מסוק בל 206** שהתרסק ונספו הטייס וארבעה הנוסעים שהיו במסוק. בחקירה הובר כי היה כשל במנוע עקב אי הבנת הוראות היצרן לבדיקת סטטור המדחס. עד למועד התאונה נקבעה על ידי היצרן תדירות של 400 שעות לבדיקת הסטטור, בעקבות התאונה הומלץ על ידי צוות החקירה להפחית את התדירות ל-200 שעות, תוך מעקב אחר תוצאות הבדיקות לכלל המסוקים, בפרק זמן מוגדר. ההמלצה נתקבלה על ידי מת"א ובתום ניתוח ממצאי הבדיקות לאורך שנתיים ימים, הושבה על כנה תדירות הבדיקה שנקבעה על ידי היצרן – לטעמנו זאת עבודת רגולאטור נכונה, הנכנסת לעובי הקורה ומתאימה את דרישות היצרן למציאות בשטח לאחר ביצוע ניתוח מעמיק.

2.5.12.2 הדוגמה השנייה קשורה **במנועי לייקומינג**. בתוך פרק זמן של כמה חודשים אותרו שלושה מקרים של היתפסות שסתומי פליטה במנועי לייקומינג, שכתוצאה מכך, בשני מיקרים, נאלצו המטוסים לנחות נחיתת חרום.

על מנת למנוע היתפסות השסתום, הוציא יצרן המנוע SB, המורה לבדוק את מובילי השסתומים (למרווח נכון ואולי להמצאות פית) בכל 1,000 שעות טיסה, ובמנועי מסוקים כל 400 שעות טיסה. ההוראה תקפה מזה עשרות שנים (בשנים עברו היו מותקנים מובילים מסוג ישן ועל כן תדירות הבדיקה הייתה כל 400 שעות טיסה. עם המעבר למובילים החדשים עודכנה התדירות ל-1,000).

במקרים שתוארו לעיל ארעה תפיסת השסתומים לאחר 150 – 300 שעות טיסה וכאן עלתה השאלה: האם להשאיר על כנה את דרישת היצרן לביצוע הבדיקה כל 1,000 שעות, או שנכון יהיה כי הרגולאטור יכנס לעובי הקורה ויפעל מול היצרן בנושא ויעביר הנחיות מטעמו.

הניסיון שנצבר במדינות רבות ומתקדמות מלמד כי רשויות התעופה למינהן בכל מדינה יחד עם המנהלים של גופי התעופה בשטח חולקים יחד את האחריות לבטיחות בתעופה - כל אחד ותפקידו.

מהבחינה הממלכתית נלמד, כי ראוי לקדם את בטיחות התעופה במדינה כלשהי, על-ידי הפרדת הרשות החוקרת מרשות התעופה של אותה מדינה. רשות התעופה אמורה לקדם ולפתח את התעופה תוך הסדרתה בכללי בטיחות נאותים והרשות החוקרת אמורה לחקור כשלים ותהליכים שליליים, על מנת להמליץ על פעולות וצעדים למניעת תאונות.

על מנת שתושג מטרה זו חובה לקיים רשויות נפרדות, עצמאיות ובלתי תלויות או מוגבלות האחת בשנייה. הרשות החוקרת אינה כבולה למדיניות ולתפישה של רשות התעופה ולעיתים, אף נדרש שהיא תשמש סמן מקצועי ובטיחותי אשר חוקר, בודק ומתריע מפני מגמות שליליות בתחום הבטיחות. במדינות רבות, שם לא מתקיים האיזון הנ"ל, ניתן למצוא כי רמת הבטיחות נמוכה יותר ושיעור התאונות גדול בהרבה, יחסית למדינות מקבילות.

בדוח חקירה 06-04 של התאונה הקטלנית במסוק R-22 הצביע צוות החקירה על הבעייתיות של מיקומו של הרגולאטור בתהליך שבין רשויות אחרות ויצרני כלי הטיס, לבין המשתמשים בשטח לסוגיהם.

משרד החוקר הראשי סבור, כי באגף כושר אווירי של רשות התעופה האזרחית, חובה שימצא גוף מקצועי מייעץ, במיקור חוץ או כחלק אינטגרלי של האגף. תפקידו של גוף זה יהיה לאסוף את החומר הרב המתקבל מהתעשייה (רשויות תעופה ויצרני כלי טיס) ולבחון את מידת ואופן ישימותו הרצויים, אצל המפעלים בארץ. פעילות בכיוון זה החלה בעבר, אך טרם מוסד מעמדו.

3. מסקנות

- 3.1 **התאונה מסווגת כשילוב מערכתי של מספר גורמים**, שהעיקרים בהם: **תכנון לקוי של הלהבים הראשיים במסוק, מערך בעייתי לבדיקה ולזיהוי מוקדם של תהליכי כשל בלהבים, בהיווצרותם, יחד עם יישום לקוי של מדיניות אחזקה, מצד הגורמים המעורבים בארץ: רשות התעופה האזרחית, מכוני הבדק, המכונאים והטייסים.**
- 3.2 **החוליה האחרונה בשרשרת הגורמים הסיבתיים שהובילה לתאונה נעוצה בכשל טכני מבני של אחד הלהבים הראשיים, במהלך טיסה, אשר התבטא באובדן מיידי של תכונות הטיסה ויכולת ההטסה, עד כדי התרסקות קטלנית ומיידית.**
- 3.3 **תהליך הכשל הטכני של הלהב ותסמיניו החיצוניים, החל זמן רב יחסית קודם התאונה. מכון הבדק שתחזק את המסוק, המכונאים שטיפלו בו והטייסים שטסו בו, כשלו ולא הצליחו לגלותו מבעוד מועד.**
- 3.4 **העיתוי של הכשל הסופי, בטיסה שהסתיימה בתאונה, היה מקרי ועלול היה לקרות בכל טיסה אחרת. למרות האמור, לגבי אחריותם של כל הגורמים המעורבים, בדיקת הלהבים, כנדרש על-פי הנחיות "הבדיקות לפני טיסה", אמורה הייתה לפסול אותם משימוש ובכך לבטל את הטיסה שתוכננה.**
- 3.5 **אין עדות לקיומו של "גורם זר מתערב" (כמו: FOD, פגיעת ציפור), שאפשר שגרם לכשל הלהב במהלך הטיסה.**
- 3.6 **האפשרות להיווצרות כשל טכני בלהבים הראשיים במסוק R-44, בעלת סיכון גבוה שהיכולת למזעורו – מוגבלת.**
- כיוון שכך, מרוכזים המאמצים, בגילוי מוקדם של תהליכי כשל שהחלו, מעקב אחר "התפתחותם" ומתן הנחיות באשר לתנאי הסף לפסילתם משימוש, מבעוד מועד.
- 3.7 **הכשל הטכני שארע בחטף בטיסת התאונה נגרם משילוב של ארוזיה באזור החיבור של המעטה לקורת הלהב, לקראת קצהו, יחד עם הפרדות בהדבקה של המעטה ל"חלת הדבש" של הלהב – שילוב זה גרם להיפרדות פתאומית ומיידית של מרבית שטח הלהב והתנתקותו מהקורה הראשית.**
- 3.8 **אקראיות אופן ההיפרדות של מעטה הלהב מהקורה הראשית גרמה להיווצרות עילוי (חיובי/שלילי) פתאומי וחרף, באותו הלהב – כתוצאה מכך, "נפנף" הלהב. במשרעת עצומה, שגרמה לשבירת קרן, חיבור מוט שינוי זווית פסיעה, וכפיפת הלהב מטה, במידה חריגה מאד (בזווית 50 – 60 מעלות), שגרמה לפגיעה, במכלול הזנב, עד כדי שבירתו וניתוקו מהגוף.**

- 3.9 **ההתפרקות הפתאומית של המסוק באוויר, הותירה את האנשים שנמצאו בו חסרי אונים וללא סיכוי להישרד.** הרעש החזק והחריג שנקלט במערכות הבקרה, מקורו, בסבירות גבוהה, בשידור אקראי ולא רצוני של הטייס אשר אחז במוט ההיגוי וניסה, לשווא, להחזיר את השליטה במסוק.
- 3.10 **העובדה, כי צוות החקירה מצא לאחר התאונה להבים של מסוקים אחרים שניכר כי תהליך הכשל האמור החל גם בהם, מלמדת על כך, שהכשל לא היה ממוקד במסוק התאונה בלבד.** ספק אם הבדיקה המיוחדת שבוצעה בכל המסוקים, בעקבות התאונה, פתרה את הבעיה באופן מלא.
- 3.11 **קיימת הפרדה, מהותית ומשמעותית, בין אחריותם של הגורמים המעורבים במדינת התכנון/הייצור של המסוק (יצרן המסוק, FAA), שאצלם התרכזה התמונה הכוללת על בעיית הלהבים, במקומות שונים בעולם, ובין אחריותם של הגורמים המעורבים במדינת הרישום והמפעיל של מסוק התאונה (רת"א, מכון הבדק, המכונאים והטייסים) שכשלו ביכולתם לגלות בזמן הכשל שהתפתח.**
- 3.12 **מסוק הרובינסון פופולארי מאוד לשימוש, בכל העולם, שיתרונותיו, בין השאר, נובעים מפשטות הטסתו וממחירו הנמוך, יחסית. משום כך, "נאלץ" המתכנן להתפשר ולוותר, במידה מסוימת, על תוספת כוח הנעה ועל תכנון טוב יותר של הלהבים הראשיים.**
- 3.13 **קיימת סבירות ממשית, כי חלק מהתאונות הדומות שאירעו בשנים האחרונות, במקומות אחרים בעולם ואשר פרטיהן הועברו אלינו במהלך החקירה, נגרם, מתהליכי כשל במנגנון דומה.**
- 3.14 **למרות המידע שעמד לנגד עיניהם, יצרנית המסוק וה - FAA, נקטו במידה מסוימת של "הדחקה" לגבי הסתברות הכשל הטכני בלהבים הראשיים והערכה שגויה של מידת המסוכנות, אם הכשל מתרחש תוך כדי טיסה. כתוצאה מכך, הועברו ההנחיות לאחזקה הטכנית ולגילוי מוקדם של כשלים, באופן שלא עורר אצל המפעילים והמתחזקים, את המודעות ואת ההבנה המספקת, באשר לתסמיני הכשל, למהות הבדיקות לגילוי מוקדם וליעילותן בפועל.**
- 3.15 **הוראת השרות שהופצה ע"י יצרנית המסוק בתאריך 30.4.2010, באישור ה - FAA, כשהיא מלווה באיורים וסרט וידאו להדגמה והמחשה, מהווה צעד חשוב וחיוני להסברת אופן הבדיקה הנדרש לגילוי מוקדם של ארוזיה והפרדת ההדבקה בלהבים הראשיים – נדרש לשקול את חיוב ביצוע הבדיקות שהומלצו ובמועדים שהומלצו. באופן דומה, ההמלצה להחלפת הלהבים הראשיים במסוק, לפי מכתב שירות 37, שהופץ ב - 18.6.10, היא צעד חשוב להפחתת שיעור הכשלים בלהבי המסוקים.**

- 3.16 למרות זמינותו, כביכול, של המידע התעופתי בעולם, **חסר מנגנון בינלאומי שאוסף מידע בטיחותי הנלמד מתאונות, ממרב המדינות, ומתריע על תהליכי כשל מסתמנים, בתחום הטכני-הנדסי, בתחום המבצעי ובכל תחום רלוונטי אחר.**
- 3.17 **דוח חקירה שלנו 06-04, שפורסם בעקבות כשל טכני מסוג אחר, בלהב ראשי של מסוק R-22 שגרם לתאונה קטלנית, תרם את חלקו למודעות בעולם התעופה הרלוונטי ולהכרה ביחס לרגישותם של הלהבים, לכשל טכני מבני. ההמלצה לרת"א, שניתנה בדוח הנ"ל, באשר לצורך ללמד, להסביר ולהדגים את "בדיקת הנקישה" המומלצת, לאיתור מוקדם של כשלים, בוצעה באופן חלקי ביותר, מבלי שהדבר הוביל לשינוי הנדרש בשטח (למכוני בדיק, למכונאים ולטייסים).**
- 3.18 **אחריותם של הגורמים המעורבים בארץ, להתרחשותה של התאונה הנחקרת, מתבטאת בהעדר חתירה, מקצועית ויזומה, להבנת המידע שהועבר לגבי הכשלים בלהבים הראשיים, אשר גרר מתן מענה חלקי ובלתי ממוקד, לאיתור כשלים מבניים מבעוד מועד ולחוסר ידע ומודעות, באשר לכל מרכיבי האחזקה והטיפול המונע בלהבים אלו.**
- 3.19 **הירתמותם של גורמים אקראיים, באתר התאונה, לחלץ, לסייע ולשתף פעולה הייתה גדולה, יעילה ומכובדת. הקשר בהמשך, עם המשפחות של נפגעי האסון, היה חשוב ומעורר כבוד.**
- 3.20 **המוכנות של רשויות חקירה בחו"ל (כמו: NTSB, ATSB) לסייע באופן מיידי בחקירת התאונה הייתה מרשימה והיא תרמה להבנה כוללת של מרכיבי התאונה.**
- 3.21 **השתתפותם של הגורמים המעורבים ממדינת התכנון והייצור, למרות השונות באינטרסים, הייתה עניינית, תורמת ויעילה. התחושה, היא כי תרמנו את חלקנו להבנה טובה יותר של מורכבות הבעיה ולמתן פתרונות יעילים יותר, בעתיד הקרוב, לצמצום התרחשויות.**

4. המלצות

החקירה הצביעה על ליקויים מבניים הקשורים בתכנון ובייצור להבי המסוק, רגישותם של הלהבים לסביבת העבודה וכן על מגבלות במדיניות "האחזקה הכוללת" לגילוי תהליכי כשל הנובעים מארוזיה ומהפרדות במעטה הלהבים.

מטבע הדברים, פעולות הקשורות לפעילות במדינת התכנון והייצור, צריכות להיות מתואמות עם הרשויות הרלוונטיות שם, כך שעיקר המטלות שונות אצלנו, הינן בתחום אותה "אחזקה כוללת", המורכבת מאחזקה מונעת ומגילוי מוקדם של תהליכי כשל בתחילת היווצרותם, כמובא להלן:

הערה: פרסום SB-72, שנעשה לאחרונה, ייתר כמה מההמלצות שניתנו במקור.

4.1 להכין רשימת תיוג מפורטת וייעודית לבדיקת להבים בביקורות המחזוריות השונות במסוקי "רובינסון" ולחייב את המכונאים לחתום על כל שלב בבדיקה שבוצעה.

אחריות: מנהל רת"א **מועד ביצוע:** 1.12.10

4.2 לשקול ביצוע הוראות השרות S/B 72 ו S/B 103 למסוקי הרובינסון (44 ו 22) כהוראה מחייבת, אם בהפיכתן ל AD או בהוספתן כסעיף מחייב במערך האחזקה.

אחריות: מנהל רת"א **מועד ביצוע:** 1.9.10

4.3 לבחון יישום ה STC – האוסטרלי (SR02491CH), ביחס להדבקת סרט איטום ובידוד על שפות ההתקפה של הלהבים הראשיים, במסוקי רובינסון, בפרט באלו שמרבים לטוס בסביבת אבק וחול, כמו בדרום הארץ.

אחריות: מנהל רת"א **מועד ביצוע:** 1.10.10

4.4 לבחון המדיניות הנקוטה כיום ביחס למידע בטיחותי המגיע לרת"א ולשקול הקמתו של "גוף מייעץ" מקרב אנשי כושר אווירי, במגמה לדלות מתוך המידע הרב המפורסם על-ידי רשויות תעופה ועל-ידי יצרני כלי טיס, פעולות לביצוע, בהתאם לצורך.

הערה: ההמלצה חוזרת - ניתנה לראשונה בדוח חקירה 04-06.

אחריות: מנהל רת"א **מועד ביצוע:** במהלך השנה

4.5 לדון בסוגיית האחריות להפעלת הגורמים האזרחיים, במשימת חיפוש והצלה אחר כלי טיס נעדרים, ולשקול העברת האחריות למשרד החוקר הראשי (המלצה חוזרת).

אחריות: מנכ"ל המשרד **מועד ביצוע:** בהקדם

4.6 לפנות לגורמים בינלאומיים, כמו ICAO, ISASI ולעניין אותם ברעיון להקים גוף תעופתי בינלאומי שירכז מידע בטיחותי, הנלמד מתוך תאונות.

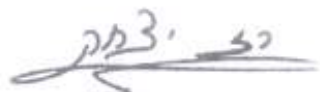
אחריות: החוקר הראשי **מועד ביצוע:** סוף השנה

4.7 לפנות ל – FAA וליצרן המסוק ולהמליץ בפניהם להפוך את SB-72 (בדיקת להבים) ואת SL-37 (החלפת הלהבים) להוראות ביצוע מחייבות (AD).

אחריות: החוקר הראשי **מועד ביצוע:** בוצע

5. דוח החקירה אושר לפרסום.

ב ב ר כ ה,



עו"ד רז יצחק (רזצ'יק)
החוקר הראשי

סימוכין : 12826810

תאריך : 9 באוגוסט 2010