

# דוח חקירה בטיחותית

(דוח סופי)

תיק תקרית חמורה מס' 116-12

- הפסקת ריצת המראה עקב כשל מנוע ימין -

13.12.2012	בתאריך
B737-800	כלי הטיס
4X-EKA	סימן רישום
נתב"ג	מקום האירוע

לצורכי בטיחות בלבד

## הדין ביחס החקירה הבטיחותית ותוצריה

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

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

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

**תפקידי החוקר הראשי** - החוקר הראשי יהיה ממונה על ביצוע חקירות בטיחותיות לפי הוראות פרק זה. במילוי תפקידו יפעל החוקר הראשי בהתאם להוראות נספח 13 לאמנה, ככל שהן ישימות בישראל, למעט הוראות כאמור שלגביהן הודיע המנהל לארגון התעופה הבין-לאומי, לפי הוראות סעיף 4(ב) לחוק רשות התעופה האזרחית, כי ישראל פועלת באופן שונה. (סעיף 108 לחוק).

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

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

**המלצות החוקר הראשי** - המנהל וכל מי שהחוקר הראשי כלל לגביו המלצות בדוח הסופי יבחן את ההמלצות כאמור הנוגעות אליו, יחליט באשר ליישומן ויודיע על החלטתו המנומקת בכתב לחוקר הראשי; המנהל יעביר את החלטתו המנומקת כאמור גם לשר. (סעיף 104 לחוק).

**אי-קבילות הדוח הסופי** - הדוח הסופי לא יתקבל כראיה במשפט, למעט בערר לפי סעיף 39, בעתירה מנהלית או בערעור מנהלי על החלטות לפי חוק זה, לפי חוק בתי משפט לעניינים מנהליים, התש"ס-2000, ולא ישמש בהליך שנוקט מעביד כלפי עובדו. (סעיף 124 לחוק).

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

- "Also, discuss and analyze any issue that came to light during the investigation which was identified as a safety deficiency, although such issue may not have contributed to the accidents".
- The investigation may also reveal other hazards of deficiencies within the aviation system not directly connected with the causes of the accident".
- "When drafting the Final Report, the writer should not assume that everyone who reads the report is familiar with the technical detail".
- "The writer's responsibility is to present the reader with a word picture of the accident and the investigation. The writer should assume that the reader is intelligent but uninformed and will analyze the facts presented in order to test the conclusion of the Final Report".
- "If the Final Report must delve into complicated areas such as aerodynamics, metallurgy, and the operation of aircraft systems, the subject should be explained in a way that it is easy to understand".

(ICAO / ANNEX 13 / DOC. 9756 / PART I & IV)

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

## דוח חקירה בטיחותית (דוח סופי)

### תיק תקרית חמורה מס' 12-116

#### תקציר האירוע

ביום חמישי, 13 בדצמבר 2012, בערב, בשעה 17:35, החל מטוס בואינג 737 של חברת אל על, כשעליו 75 נוסעים ו-8 אנשי צוות, בהמראה, על מסלול 08 בנתב"ג, לטיסה LY253, למינכן. בתחילת ריצת ההמראה, תוך פתיחת המנועים לכוח המראה הורגשה רעידה וסבסוב ימינה, מלווה ברעש פיצוץ שנשמע בקבינה. הצוות הפסיק המראה, אבחן אובדן כוח של מנוע ימין ודיווח זאת למגדל. לאחר שנוכח, כי אין חיוויים או תופעות, פרט לאובדן מנוע ימין, הצוות ווידא את כיבוי המנוע, הסיע לעמדת החנייה J-8 וכיבה את המנוע השני. בבדיקה על הקרקע נראו שברי מתכת רבים בצינור הפליטה ("אגוזי"), עדות להתפרקות וגריסה של מכלול הטורבינות. הנוסעים הורדו מהמטוס והוטסו ליעדם, למחרת היום. דיווח ראשון לחוקר הראשי היה מצד מנהל הבטיחות של החברה, 40 דק' לאחר האירוע, והוא פתח מיד בחקירה, תוך ששלח חוקרים לנתב"ג.



המטוס בו אירע כשל המנוע

# 1. מידע עובדתי

## 1.1 השתלשלות האירוע

ביום חמישי, ה- 13 בדצמבר 2012, נדחף מטוס B737-800, מעמדה D-6, בטרמינל 3, לאחור, כשעליו 75 נוסעים ושמונה אנשי צוות (2 קברניטים, קצין ראשון ו- 5 דיילים). הקברניט הראשון (טייס-מפקד, PIC) והקצין הראשון (להלן: "ק/ר", טייס-מטיס PF) ישבו בתא הטייסים והקברניט השני, התיישב למנוחה, בצד הימני של מחלקת העסקים.

התנעת המנועים הייתה רגילה ולא היו איזשהם חיוויים חריגים והצוות הסייע לתחילת מסלול 08. לפני העלייה למסלול, לאחר שתאורת קו העצירה (S/B – Stop Bar) כבתה, החל הצוות להסיע, אך התאורה נדלקה שוב והצוות נאלץ לעצור שוב, לפני החצייה. הצוות המתין לכיבוי התאורה, התיישר על מסלול 08 וקיבל רשות להמריא. אותה עת, היו מצויים מספר מטוסים בתהליך הצטרפות לנחיתה – הראשון היה לקראת חציית קו חוף.

בשעה 17:35, פתח הקצין הראשון כוח ל- 40% והחל בריצת ההמראה. כשנתוני סל"ד המנועים התייצבו, לחץ הק/ר TO/GA, הבחין שהמצערת נפתחת לכוח המראה (מופחת) והוא הוציא ראש החוצה – תוך כדי "התכנסות" לציר המסלול, כשמצערת המנועים הספיקו להתייצב, הרגישו הטייסים ברעידה של המטוס ומשיכה ימינה, כאילו שגלגל ימין נתקל במשהו, תחושה שאירעו תקרים בגלגלים הימניים. הקצין הראשון הוציא את המצערות ממצב "אוטומטי" והחל לסגור את המצערות. במקביל, הקברניט צעק לקצין הראשון שהטיס, לעצור, שידר למגדל "Stopping, Stopping, Stopping" ושם את ידו על ידיו של הקצין הראשון ויחד סגרו את המצערות – המטוס נעצר כמאה מטרים מנקודת ההתיישרות. הטייסים הבחינו, כי סל"ד N1 ירד לאפס והודעת "ENG FAIL" הופיעה. פקח המגדל הפעיל פעמון, שלח סביב מטוס אחר של אל על וציוותי הכיבוי וההצלה הוזנקו. הפקח התעניין אם הכל בסדר ושאל אם "זקוקים לליווי". הצוות ענה שבינתיים אין צורך וביקש לפנות את המסלול – הפקח אישר לפנות ל- 12, כיוון שהיו מטוסים מסיעים על ה-"קילר".

הקברניט השני ששמע מהקבינה את רעש הפיצוץ, חש בסבסוב קל ימינה, הבין שמנוע ימין כשל, התיר את החגורות, ביקש להיכנס לתא הטייסים ובתוך זמן קצר הצטרף אליהם.

לאחר שהצוות נוכח, כי אין חיוויים או תופעות חריגות, פרט לאובדן מנוע ימין, הוא ווידא את כיבוי המנוע וביצע את בד"ח "ENGINE FAILURE OR SHUTDOWN".

לאחר 13 דקות מביצוע הבד"ח הנ"ל, במהלכן נועץ במנהל הצי, תוך כדי ההסעה לעמדת ה - J, ביצע גם את בד"ח "ENGINE SEVERE DAMAGE".

לאחר עזירת המטוס, הקברניט עדכן את המש"ב והנוסעים, התניע את ה - APU ועדכן בקשר הרדיו מספר גורמים, לרבות: המגדל, שליטה, וטלפונית את מנהל הצי, ובשלב מאוחר יותר, גם את צוות הכיבוי, באמצעות המגדל. הייתה אי וודאות לאיזו עמדה להסיע. תחילה נעצרו על המחבר, אח"כ הסיעו על 12 ועצרו.

הצוות הונחה ע"י המגדל להסיע לעמדה "EAST HARD STAND 1" ורגע לפני שנכנסו לעמדה, לבקשת שליטה אל על, התבקשו, להסיע לעמדה המאפשרת הרצה - J-8.

הצוות חזר והסיע דרך "רומיאו", מסלול 12, ו - "לימה" לעמדת החנייה J-8, כשהוא מלווה כל אותה העת ע"י כבאיות השדה. משך הזמן, מפינוי המסלול ועד להגעה לעמדת החנייה הסופית J-8, ארך 22 דקות.

בעמדה, הצוות השלים את ביצוע הבד"ח וכיבה את המנוע השני. הצוות הפסיק את הקלטות רשם הנתונים (DFDR) ואת הקלטת השמע בתא הטייסים (CVR).



שבירי להבי הטורבינה בצינור הפליטה

דיווח ראשון לחוקר הראשי היה מצד מנהל הצי ומנהל הבטיחות של החברה, 40 דק' לאחר האירוע – החוקר הראשי הודיע מיד, כי פתח בחקירה, ושלח חוקרים לנתב"ג. עם חניית המטוס בעמדת החנייה, נמצאו בבדיקה על הקרקע שברי מתכת רבים בצינור הפליטה ("אגוז"), עדות להתפרקות וגריסה של מכלול הטורבינות, אך לא הובחן באיזשהו נזק נוסף, הנראה לעין, כולל לא במכלול הכונס שהיה נקי לחלוטין. לנוכח ההבנה, כי מכלול הטורבינה התפרק לשברים רבים, עודכן מרכז תאום, באמצעות המגדל, כי אפשר שנפלו מהמנוע שברי מתכת. המגדל סגר את המסלול, החזיק בעמדות המתנה באוויר שבעה מטוסים וכן המתין נוספים שהסיעו על הקרקע. מאוחר יותר נבדק גם במערכת גילוי FOD שאין לה גילוי של גופים זרים על המסלול. מאוחר יותר בוצעה ביקורת מסלולים נוספת, כולל במסלול ההסעה של המטוס, בשיתוף רכבי היחידה למניעת מטרדי ציפורים וגם בה לא נתגלו גופים זרים שנפלו מהמטוס. למחרת היום, בשעות הבוקר המוקדמות, בוצעו שתי ביקורות נוספות שהסתיימו אף הן, ללא ממצאים. במהלך הלילה, באישור החוקר הראשי, פורק המנוע שכשל והוא הועבר לבית המלאכה למנועים, לאחסנה זמנית, לצורך המשך החקירה. מנוע חליפי הורכב על המטוס, משך הלילה והבוקר והמטוס שוחרר, כבר למחרת היום, להמשך טיסות. הנוסעים שהורדו מהמטוס, חזרו והוטסו ליעדם, למחרת היום, במטוס בואינג 777, אשר גם החזיר את הנוסעים שנתקעו במינכן, לילה קודם.

## 1.1 הטייסים

### הקברניט

- בן 55.
- למד והחל כטייס אזרחי בארה"ב, שימש כטייס מסחרי ומדריך.
- בעל רישיונות קבוצה B + A ובעל רישיון ALTP.
- טס בחברת התעופה קונטיננטל משך 12 שנים ושימש כקברניט.
- טס באל על 13 שנים, כקברניט B737.
- ניסיון טיסה כולל – 30,000 שעות, מהן כטייס-מפקד – 27,000.
- רישיונות בתוקף, תוקף תעודה רפואית עד 19.5.2013.

### הקצין הראשון (ק"ר, ק/ר)

- בן 47.
- טייס תובלה בחיל האוויר ובעל רישיון ALTP.
- ניסיון טיסה כולל – 8,500 שעות, מהן 3,500 על B737.
- רישיונות בתוקף, תוקף תעודה רפואית, עד 19.6.2013.

## 1.2 המטוס

- בואינג 737, דגם 800.
- סימן רישום - EKA - 4X.
- תאריך ייצור - 18.1.1999.
- תאריך הגעה לחברה - 24.2.1999.
- מספר מושבי נוסעים - 142.
- מספר שעות גוף - 50,913.
- מספר נחיתות - 15,333.
- ביקורת "C Check" אחרונה - 18.12.2011.
- ביקורת "A Check 4" אחרונה - 12.11.2012.

## 1.3 המנוע

- סוג מנוע ודגם - CFM56-7B27.
- יצרן – חברת CFM.
- שנת הייצור - 1999.
- מס' סידורי – S/N 874794.
- נרכש חדש ע"י אל על, בתאריך 21.5.1999.
- אוברול אחרון (גם הראשון) – אפריל 2009.
- המתחזק ומכון השיפוץ שביצע את האוברול – SR Technic (ציריך/שוויץ).
- פרק הזמן בין אוברולים – יצרן: "On condition".
- חברה: בסביבות 27,000 שעות פעולה.
- שעות פעולה ומחזוריים - מאז חדש: CSN: 12,952 CYC TSN: 43,086 HR  
מאוברול: CSO: 3,880 CYC TSO: 13,626 HR
- המנוע מתוחזק במסגרת תכנית "מעקב ובריאות".
- תקלות והיתרים רלוונטיים, בדגש לחצי השנה האחרונה – לא נמצאו בינתיים.

## 1.4 מזג אוויר

- מז"א - נאה.
- ראות – טובה.
- רוח – 150/5.
- טמפ' - 17 מעלות צלסיוס.

## 1.5 שלבי האירוע עפ"י הקלטת השמע בקוקפיט (יחסית לתחילת ה - CVR)

- צוות המטוס הוציא את לחיץ ה - CVR, מיד עם הגעתו לעמדת החניה.  
הערה: התמלול מקוצר והוא נועד להמחשת לוח הזמנים של שלבי האירוע.
- 00:22:01 - דחיפה לאחור.
  - 00:23:01 - התנעת מנוע 2 (ימין, המנוע שכשל בהמשך).
  - 00:24:01 - התנעת מנוע 1 (שמאל).
  - 00:25:01 - סיום ההתנעה.
  - 00:26:01 - ביצוע "BEFORE TAXI C/L".
  - 00:27:01 - בקשת הסעה (קרקע).
  - 00:30:01 - מעבר לערוץ מגדל.
  - 00:32:01 - אישור הפקח להתיישר "LINE-UP AND WAIT".
  - 00:32:15 - הידלקות תאורת "RED STOP BAR".
  - 00:34:01 - LY348 מצטרף על הקשר (לקראת חציית חוף).
  - 00:34:40 - רשות המראה למטוס התקרית.
  - 00:35:01 - לחיצת TO/GA.
  - 00:35:04 - הכרזת הקברניט בקשר: "STOPPING" X 3.
  - 00:35:20 - אל על 348, נשלח סביב ע"י פקח המגדל.
  - 00:37:20 - מתחיל דו שיח ארוך עם שליטה אל על.
  - 00:38:01 - ביצוע בד"ח "אחרי נחיתה".
  - 00:39:01 - הצוות מבצע בד"ח "ENGINE FAILURE/SHUTDOWN C/L".
  - 00:40:01 - מתחיל רב-שיח ביחס לעמדת החניה (הצוות, שליטה, מגדל).
  - 00:46:10 - שאלה מה - MCC: האם ניסיתם להניע?..
  - 00:46:20 - שאלה משליטה: אתם ניסיתם להניע?..
  - 00:46:40 - הפקח: "אל על, תעצור במקום, אל תיכנס לעמדה".
  - 00:47:01 - משליטה: "ל - J-8 אתם מאושרים".
  - 00:47:10 - משליטה: תתקשרו למנהל הצי (ננקב השם).
  - 00:48:10 - תחילת הסעה לעמדה J-8.
  - 00:48:20 - עדכון הנוסעים במצב.
  - 00:49:10 - עדכון מנהל הצי בטלפון.
  - 00:50:50 - הקברניט: "מאמין שזה SEIZURE".
  - 00:51:35 - המגדל: "כיבוי אש לא רואים משהו מיוחד".
  - 00:52:15 - ביצוע: ENGINE FIRE, SEVERE DAMAGE OR SEPARATION C/L.
  - 00:57:10 - בעמדה.

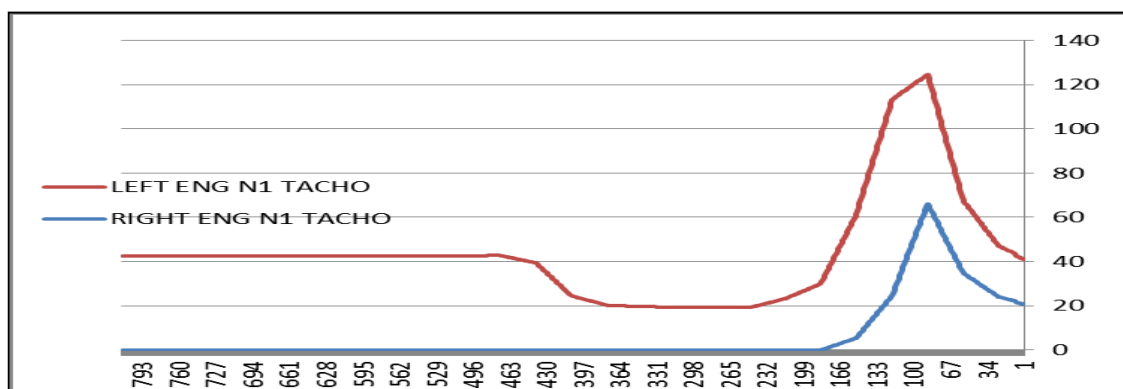


## 1.6 פענוח ראשוני של נתוני המנוע, עפ"י רשם הנתונים (DFDR)

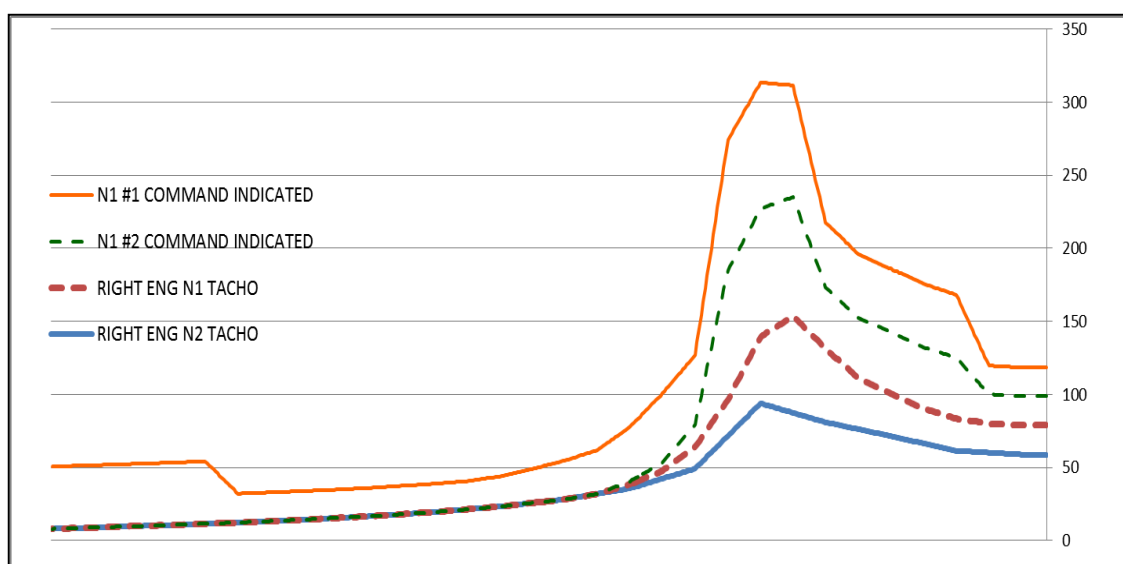
### 1.6.1 שלבים עיקריים

N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	שלב	זמן GMT	קריאה
60	20	פתיחת כוח ראשונית	15: 35: 17	155
61	22	התייצבות כוח ב - 40%	15: 35: 19	170
81	51	פתיחה לכוח מלא	15: 35: 27	235
94	47	מקסימום כוח ומיד הנפילה	15: 35: 31	266
72	25	תחילת סגירת מצערת	15: 35: 33	282
32	0	N1 = 0	15: 35: 41	344
0	0	N2 = 0	15: 36: 37	795
0	0	לחיצת CUT OFF	15: 42: 59	7665

### 1.6.2 המחשה השוואתית של נתון N1, בין שני המנועים



### 1.6.3 פרמטרים של מנוע ימין, כולל הפעלת מצערת מנוע שמאל



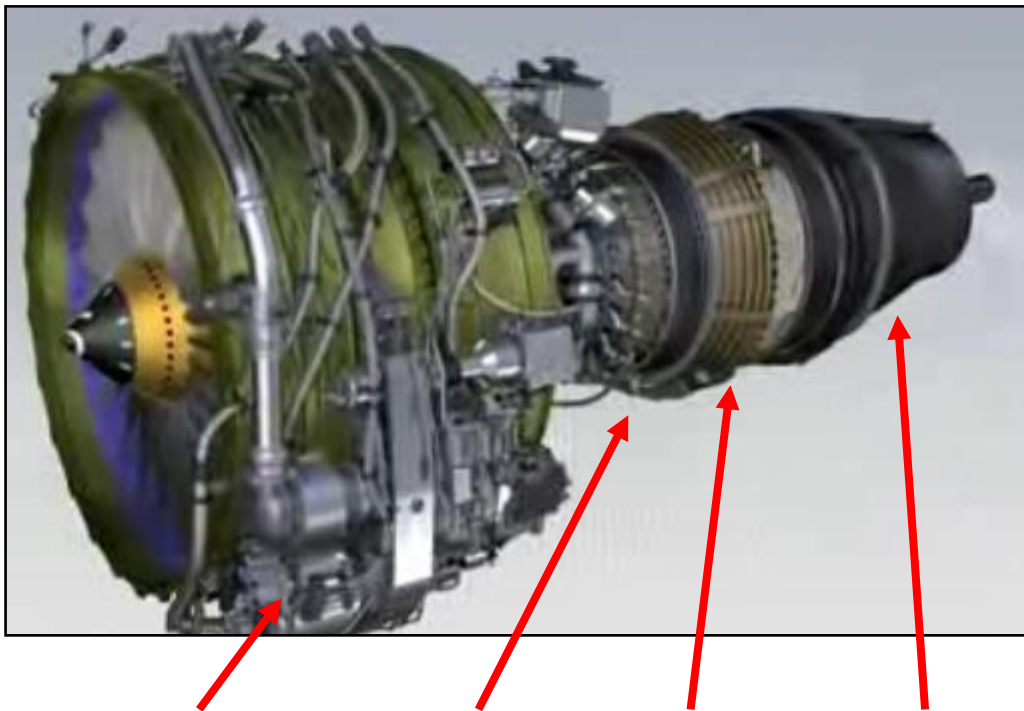
## 1.7.1 רקע כללי

משפחת מנועי CFM56-7B, נבחרה אקסקלוסיבית על ידי חברת בואינג כיחידת ההנעה עבור מטוסי ה מדגם 737-800, "הדור החדש". מנוע זה מייצר דחף מרבי של 27,300 פאונד. המנוע עבר רישוי אמריקאי, ע"י ה - FAA ורישוי מצד רשות התעופה הצרפתית - DGAC, בשנת 1996, כמנוע "שנתפר" למטוסי ה - 737 מהדגמים ה - 600/700/800 ו-900, כמו גם ל - BBJ, תוך ניצול היתרונות והניסיון הבינלאומי הרב שהצטבר אצל חברת CFM.

למנוע חידושים משמעותיים ביחס למנועי CFM מהדגמים הקודמים, כמו: ביצועים מיטביים, אמינות גבוהה יותר (אושר כ - 180 דקות ETOPS באופן כללי, הגם שבאל על אושר ל - 120 דקות), עלויות אחזקה נמוכות יותר (15% פחות) וידידותיות לסביבה. מנוע זה משולב בדור המנועים המנוהלים אלקטרונית (FADEC) ועלותו סביב 8 מיליון דולר למנוע.

עד כה יוצרו בעולם ומתופעלים מעל 6,000 מנועים מסוג זה, אשר צברו יחדיו 94 מיליון שעות טיסה. להלן קישורית להמחשה גרפית של פעולת המנוע:

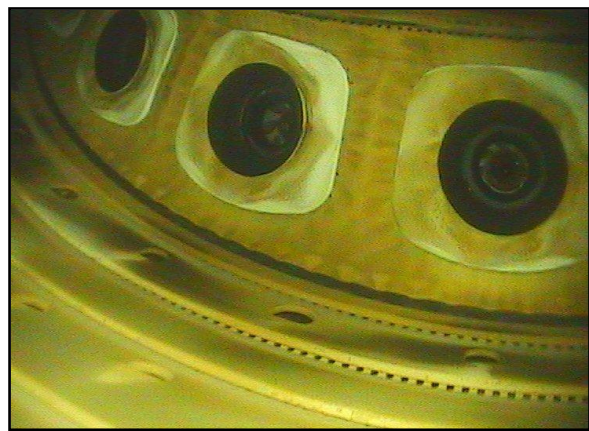
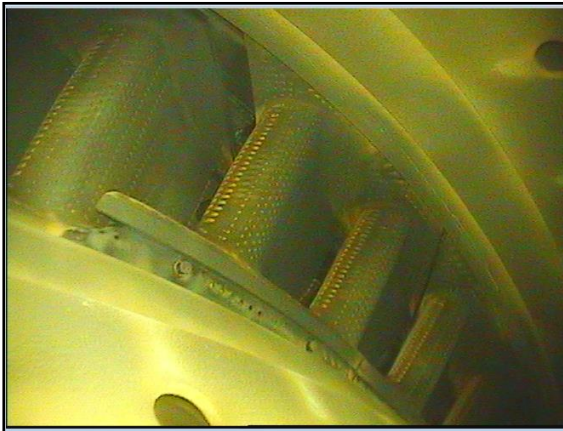
<http://www.youtube.com/watch?v=KjYw0GdRpm0>



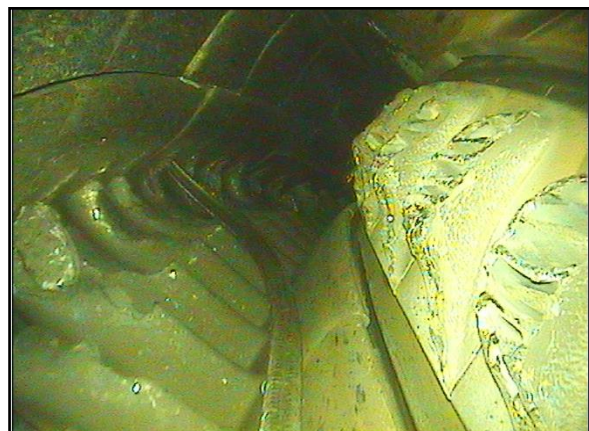
צינור הפליטה   מכלול הטורבינות   מכלול תאי השריפה   המדחס והמניפה

## 1.7.2 תמונות נזקים שהתגלו בבדיקת הבורוסקופ

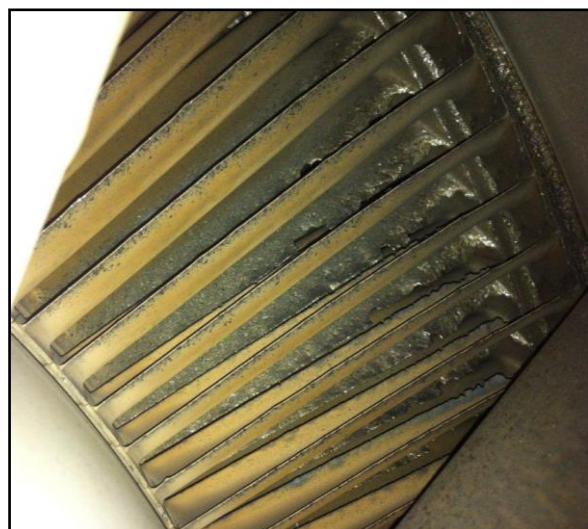
התמונות מלמדות, כי המנוע חווה SEVERE DAMAGE (נזק חמור) ולא רק Seizure (תקוע).



**תאי השריפה - נראים נקיים**



**טורבינת לחץ גבוה (HPT) - נראים רק שורשי הלהבים**



**טורבינת לחץ נמוך (LPT) - להבים פגועים**

## הדיווח

הודעה ראשונה, הייתה במסרון עדכון כללי, מטעם מרכז תאום נתב"ג, 30 דקות לאחר האירוע: "מרכז תאום מוסר על סיום מצב כוננות של טיסת אל על". לא קדם לה, ככל שנשלח לחוקר הראשי, הודעה כלשהי לגבי האירוע עצמו. עשר דקות אח"כ, האירוע דווח לראשונה, לחוקר הראשי, בטלפון, ע"י מנהל הבטיחות של החברה וע"י מנהל צי B737. מיד אח"כ התעדכן החוקר הראשי אצל גורמי תחזוקה ובטיחות של החברה, מרכז תאום וקברניט המטוס וקיבל מהם פרטים נוספים. חוזרת הסוגיה, כי למרות שחלפה כשעה מהאירוע, עדיין לא היו הגורמים השונים, הן בחברה והן מחוצה לה, מרושתים ואחידים, בידיעה נכוחה, של פרטים מהותיים באירוע – ראוי דיון.

## פעולות ראשוניות

- שיגור חוקרים לחקירה ראשונית בנתב"ג - היוו תנאי להרשאה להוריד מנוע.
- הוצאת לחיצים והורדת הקלטת רשם הנתונים והקלטת השמע בקוקפיט.
- עדכון מנהלים במת"ח, ברת"א והחברה והודעה על פתיחת החקירה.
- תיעוד המנוע, שברי מכלול הטורבינה, המדחס ואבזרים אחרים.
- מינוי צוות חקירה הכולל חוקרים-משקיפים מטעם החברה.
- בדיקת המטוס והמנוע בראייה, לנוקים אפשריים.
- תשאול אנשי הצוות, פקחי המגדל ואחרים.
- האזנה להקלטת השמע של הקוקפיט.
- פענוח נתוני רשם הנתונים (DFDR).
- בדיקת "בורוסקופ" של המנוע.

## המשך החקירה

בבדיקה ראשונית, נתגלו שברי מתכת רבים, תוצאה של הכשל המסיבי של כל דרגות הטורבינה וכן תקיעה/עצירה של המדחס. התחום הטכני, בדגש לסיבות הכשל של המנוע ומנגנון הכשל, מותנה בפענוח רשם הנתונים וכן בפירוק המנוע וחקירתו, בהובלה של חוקר ממשד החוקר הראשי, אצל מכון הבדק בציריך/שוויץ, המשפץ מנועים אלו. בהוראת החוקר הראשי, פורק המנוע חלקית, נשלח ע"י החברה למפעל המנועים, לצורך בקרת נוקים, חקירת מנגנון הכשל ושיפוצו, אם יהיה כדאי כלכלית. נסיעת החוקר לא אושרה תקציבית בשנת 2012 אף שהיוותה תנאי להשלמת החקירה ע"י החוקר הראשי, בכל הקשור לכשל הטכני של המנוע. החקירה בוצעה בפועל ע"י מכון השיפוץ של המנוע וע"י מכון השיפוץ של הלהבים והדוח הסופי מטעם המכון המשפץ הוגש בתחילת 2014.

## 2. ניתוח

- הכשל הטכני במנוע
- תפקוד המעורבים
- סוגיות שעלו בחקירה

### 2.1 בדיקות טכניות ראשוניות

#### 2.1.1 בדיקה ראשונית ובקרת נזקים בחברת אל על

##### ממצאים ויזואליים ראשוניים

- ✓ מכלול N1 (לחץ נמוך) – תפוס ולא מסתובב.
- ✓ מכלול N2 (לחץ גבוה) – מסתובב בחופשיות.

שני הממצאים מתיישבים עם הקלטת רשם הנתונים לפיה עצירת N1 התרחשה בתוך מספר שניות בודדות בעוד שעצירת N2 התמשכה למעלה מדקה.

##### ממצאים בעקבות בדיקת בורוסקופ

- ✓ נמצאו מספר פגיעות בלהבי המדחס בדרגות דחיסה שונות – ממצאים לא חריגים
- ✓ תא שריפה – ללא ממצאים חריגים
- ✓ להבי הכוונה ביציאה מתא שריפה לכיוון טורבינה לחץ גבוה, (HPNGV) – ללא ממצאים חריגים.
- ✓ טורבינה לחץ גבוה (HPT) – כול הלהבים בהיקף חסרים, מלבד שורשי הלהבים שנותרו "מושחלים" על הדיסק.
- ✓ טורבינה לחץ נמוך (LPT) – פגיעות רבות לכל ארבע (4) דרגות הדחיסה.
- ✓ גלאי שבבים מגנטיים – ללא שבבי מתכת.

#### 2.1.2 הכשל - המנוע חווה כשל מסיבי, לפחות של מכלול הטורבינה, בכל הדרגות

ללא חקירת מנגנון הכשל לא ניתן לקבוע, בוודאות מספקת, מה נחשב לגורם או לתורם ומה הוא תוצאה של הכשל. כדי שיתאפשר למצות את החקירה נדרש לרכז את מומחי המנוע ונציגי היצרן (גוף, מערכות ומנוע), יחד עם נציגי המפעיל, בהובלה של החוקר הממונה מטעם החוקר הראשי שהוא בעל הסמכות הביני"ל לביצוע החקירה.



## 2.2 חקירת המכון המשפץ (SR TECHNICS) את כשל המנוע

הבדיקה בוצעה ע"י חברת SR TECHNICS, החברה בה בוצע השיפוץ האחרון למנוע נשוא האירוע, ותוצאותיה הסופיות של החקירה פורסמו בתאריך 9.1.2014, בדוח מספר 13-0029, הוצאה 003.

### ממצאי הנזקים בבדיקת ראייה לאחר פירוק המנוע

#### LOW PRESSURE TURBINE MAJOR MODULE

- ✓ כל להבי הדרגה הראשונה נמצאו פגועים.
- ✓ שברי להבי הדרגה הראשונה נמצאו תקועים בין להבי הדרגה השנייה.
- ✓ שחיקה משמעותית נצפתה בתומך טבעת הטורבינה.
- ✓ שחיקה רדיאלית נמצאה על ציר הטורבינה מכיוון תעלת האוויר.
- ✓ נמצאו סימני שחיקה פנימית בתעלת האוויר ובתומכים.
- ✓ נזק כבד נצפה ללהבי הדרגה הרביעית.
- ✓ שבבים קטנים נמצאו בתחתית מסגרת הטורבינה.
- ✓ הרוטורים N1 ו- N2 נמצאו תקועים ללא אפשרות סיבוב.

#### CORE MAJOR MODULE (מהצד האחורי של מודול 53)

- ✓ נזק כבד לנחירים של הדרגה הראשונה.
- ✓ נזק לקצוות חריץ מניעת הסיבוב.
- ✓ סימני שחיקה על הציר האחורי של טורבינת הלחץ הגבוה.

#### FIRST STAGE OF LOW PRESSURE TURBINE NOZZLE ASSEMBLY

- ✓ כל שפות ההתקפה של הסגמנטים בנחיר נמצאו מכופפות או עם חוסר חומר.
- ✓ בכמה סגמנטים נצפתה התחלה של סדק היקפי.

#### FINDINGS INTERNALLY OF MODULE 53

- ✓ כל להבי טורבינת הלחץ הגבוה נמצאו עם מקטעים חסרים וחתך שבר מעט מעל רדיוס השורש.
- ✓ כל הסגמנטים שעל מעטה טורבינת הלחץ הגבוה נמצאו עם שחיקה מסיבית.
- ✓ מספר סגמנטים נתלשו ונעלמו.
- ✓ מעטה הנחיר של טורבינת הלחץ הגבוה נמצא סדוק ותומך המעטה נמצא סדוק בצד הנגדי.

#### FINDINGS OF MODULE 53

- ✓ לאחר הסרת המכלול, נמצאה סעפת טורבינת הלחץ הגבוה מבוקעת.
- ✓ שלושת המעטים של טורבינת הלחץ הגבוה נמצאו מכופפים רדיאלית כלפי חוץ.

## להבי טורבינת הלחץ הגבוה

- ✓ 80 להבים של טורבינת הלחץ הגבוה תוקנו בעבר ע"י חברת CHROMALLOY NEVADA, במסגרת השיפוץ האחרון שבוצע למנוע.
- ✓ חקירת כשל הלהבים בוצעה ע"י CHROMALLOY NEVADA.
- ✓ דוחות חקירה של כישלונות מנוע קודמים, הראו חתך שבר להב זהה המתאים למנגנון הכשל האופייני המתחיל בסדק בשורש שפת הזרימה של הלהב, "ROOT TRAILING EDGE CRACKING" (RTEC).
- ✓ בעקבות מספר אירועי כשל דומים, ביצע יצרן המנוע CFM שינוי בתכנון הלהב שמטרתו למנוע היווצרות סדקים בשורש שפת הזרימה של הלהב.

## חלקים שנלקחו לבדיקות מעבדה

- ✓ **HPT NOZZLE SHROUD SUPPORT** - תוקן בעבר ע"י SR TECHNICS. בבדיקה נמצאו מספר סדקים שכיוונם מהחלק הפנימי לחיצוני. ארבעה פינים למניעת הסיבוב נמצאו סדוקים ומוזזים ממקומם. עשרה פינים נוספים נמצאו חסרים.
- ✓ **HPT SHROUD HANGER** - תוקן בעבר ע"י CHROMALLOY THAILAND בבדיקה נמצאו מספר מסילות קדמיות חיצוניות עם סדקים משיקיים וכיפוף כלפי חוץ או כלפי פנים. מספר מסילות אחוריות נמצאו אף הן עם סדקים - לא סדקי התעייפות. מספר מתלים נמצאו מכופפים או סדוקים. הסדקים שנמצאו אינם סדקי התעייפות.
- ✓ **HPT SHROUD SEGMENT** - תוקן בעבר ע"י CHROMALLOY HOLLAND כל הסגמנטים נמצאו עם שחיקה מסיבית וזו ממקומם, שלושה מהם נמצאו גם עם סדקים במסילה האחורית - לא סדקי התעייפות.
- ✓ **HPT LOW STRESS SHROUD RETAINING CLIP** כל 42 הקליפסים נותרו מהודקים במקומם, 17 מהם נראו ללא דפורמציות או סדקים ו- 25 הנותרים נבדקו במעבדה. אף קליפס לא נמצא שבור לגמרי ובכמה מהם נמצאו סדקים - לא סדקי התעייפות.
- ✓ **NOZZLE SEGMENT STAGE 1** כל הסגמנטים שנבדקו נמצאו עם דפורמציה פלסטית בשפה הקדמית. שני סגמנטים נמצאו שבורים בשפה הקדמית - לא כתוצאה משבר התעייפות.

## ניתוח גורם השורש של הכשל במנוע עפ"י ממצאי החלקים שניזוקו

### HPT BLADES

- ✓ ניסיון העבר מצביע על שישה מנגנוני כשל אפשריים של להבי הטורבינה.
- ✓ חמישה מהם לא ישימים לאירוע זה כיוון שבהם מתקבל חתך שבר בעל צורה שונה.
- ✓ חתך שבר הלהבים שנמצאו אופייני למנגנון הכשל RTEC, המתחיל מסדקים בשורש שפת הזרימה של הלהב.

### HPT NOZZLE SHROUD SUPPORT

- ✓ בבדיקת מעבדה, לא זוהה שבר עייפות.
- ✓ כל השברים שנמצאו נגרמו ע"י קריעה במאמץ חד פעמי.
- ✓ חלק זה, בסבירות גבוהה, אינו גורם השורש לכשל המנוע.

### HPT SHROUD HANGER RAIL

- ✓ בבדיקת מעבדה, לא זוהה שבר עייפות.
- ✓ כל השברים שנמצאו נגרמו ע"י קריעה במאמץ חד פעמי.
- ✓ חלק זה, בסבירות גבוהה, אינו גורם השורש לכשל המנוע.

### HPT SHROUD SEGMENT AFT MOUNT RAIL

- ✓ בבדיקת מעבדה, לא זוהה שבר עייפות.
- ✓ כל השברים שנמצאו נגרמו ע"י קריעה במאמץ חד פעמי.
- ✓ חלק זה, בסבירות גבוהה, אינו גורם השורש לכשל המנוע.

### SHROUD RETAINING CLIP

- ✓ בבדיקת מעבדה, לא זוהה שבר עייפות.
- ✓ כל 42 הקליפסים נמצאו שלמים ומהודקים במקומם.

### התייחסות יצרן המנוע CFM

- במסגרת החקירה שבוצעה על ידי SRT, הופנו חלק מתוצרי החקירה ליצרן המנוע, CFM, לצורך קבל מידע על אירועים דומים מהעבר.
- בתשובת CFM, שהתקבלה בתאריך 25 במרץ 2013, נכללו הנקודות הבאות:
- ✓ להבי הטורבינה טופלו בעבר לא עפ"י ההמלצות שפורסמו ע"י CFM.
- ✓ CHROMALLOY NEVADA, שם תוקנו להבי הטורבינה, אינו מתקן מורשה ע"י CFM לסוג הלהבים המדובר.
- ✓ התהליך, 06-CNV-064-0, על פיו תוקנו הלהבים אינו מוכר ע"י CFM.
- ✓ שימוש בחלקים והליכי תיקון שלא אושרו ע"י CFM, יוצרים תצורת מנוע השונה מהמצוין ברישיון המנוע ע"י CFM שהוא ה – TCH למנוע זה.



## 2.3 פעולות מתקנות שביצעה החברה

להבי המנוע שכשלו נשלחו לתיקון במפעל CHROMALLOY NEVADA ע"י SRT בשוויץ, אליה אל על העבירה את המנוע לשיפוץ. מפעל CHROMALLOY NEVADA מתמחה בתיקון להבי HPT למנועי CFM.

בעולם התעופה מקובל לבצע תיקונים המוגדרים "תיקוני DER", גם במפעלים שלא הוסמכו ע"י יצרן המכלול בתנאי שאחד העובדים במפעל הוסמך ע"י ה – FAA לנושא זה והוא מוגדר כ – DESIGNATED ENGINEERING REPRESENTATIVE. לעניין זה, CHROMALLOY NEVADA מוסמך לבצע "תיקוני DER".

לאחר הוצאת דוח הביניים של החוקר הראשי נקטה חברת אל על במספר פעולות מתקנות כדלקמן:

✓ אל על הפסיקה לבצע שיפוץ להבי HPT במפעלי DER כמו CHROMALLOY ושולחת את הלהבים לשיפוץ אצל יצרן המנוע, במקרה הנוכחי, CFM. החלטה זו קשורה גם בהקשר לתקפות אחריות CFM למנוע.

✓ כמדיניות אל על מרכיבה להבים מהדגם הישן במנועים שיעברו שיפוץ ויהיה צורך בהחלפת להבים.

✓ להבים שעברו תיקון ב "מפעל DER", יוצאו מהשימוש בשיפוץ המנוע הקרוב.

✓ כל הלהבים, במחסני אל על, שעברו תיקון אצל CHROMALLOY.

הוחזרו אליו לבדיקה. לאחר שנבדקו ונמצאו תקינים, אל על החליטה למכור אותם ל – CHROMALLOY. בימים אלה מתנהל מו"מ בנדון.

✓ אל על ביצעה הדרכות נוספות לטכנאים בנושא בדיקת ה – BORESCOPE, גם בארץ וגם אצל יצרן המנוע CFM.

✓ הוראות בדיקת הסדקים באמצעות BORESCOPE הוחמרו כדלקמן:

☒ ההוראה הישנה: כל 1,600 מחזורי טיסה יש לבצע בדיקת סדקים בשפת הזרימה בלבד. רק במקרה של זיהוי סדק בשפת הזרימה, תיבדק גם שפת ההתקפה של הלהב.

☒ ההוראה החדשה: אל על אימצה את מדיניות תחזוקת הלהבים המחמירה HARSH ENVOIROMENT.

כל 800 מחזורי טיסה יש לבצע בדיקת סדקים גם בשפת הזרימה וגם בשפת ההתקפה של הלהב.

כאשר המנוע עובר 20,000 שעות טיסה ( שש בדיקות סדקים תקופתיות לערך), תבוצע בדיקת סדקים גם על שפת הזרימה וגם על שפת ההתקפה כל 150 מחזורי טיסה.

## 2.4 תובנות מחקירת ההיבט הטכני

במנועי CFM לא התגלו עדיין סדקים בבדיקות ה-BORESCOPE, אך גם לא היו מקרים נוספים של כשל להבים. במנועים אחרים כן התגלו סדקים בשורשי הלהבים בבדיקות BORESCOPE.

בהתייחס לקצב התפתחות הסדקים באירוע הנוכחי, בהשוואה לקצב הידוע על פי נתוני יצרן המנוע CFM, אפשר שסדקי העייפות, בלהבים שנשברו, החלו להתפתח זמן רב לפני הכשל במנוע ולא התגלו על ידי אל על בבדיקות ה-BORESCOPE התקופתיות.

הסיבות האפשריות לכך:

- ✓ אמינות נמוכה של בדיקות הבורוסקופ של הסדקים.
- ✓ טכניקת בדיקה, לא הייתה יעילה מספיק, עד לפני מספר שנים.
- ✓ אפשרות תאורטית של מנגנון לא לינארי של קצב התפתחות הסדקים שעלול לגרום לאי גילוי הסדקים בתדירות הבדיקות שהייתה נהוגה.

2.5.1 כללי

האזנה להקלטת קשר הרדיו, בין המטוס לבין מגדל הפיקוח והקלטת השמע של הקוקפיט (CVR), יחד עם הצלבת העדויות ונתוני רשם הנתונים שימשו בסיס לניתוח הפעולות והדיווחים של המעורבים ואופן תפקודם באירוע. עם קרות אירוע, ולאחר שצוות הטייסים סיים את פעולות החירום המידיות, בטיפול בתקלה, כולל פינוי המטוס מהמסלול וייצוב כלי הטיס בצורה המיטבית מבחינתו, החל תהליך החזרה לעמדה לצורך הערכה טכנית של התקלה וקבלת ההחלטה באשר להמשך הטיסה של הנוסעים (המתנה או החלפת מטוס וכד').

בפני הקברניט עמדו, בעקרון, שתי דרכי פעולה עיקריות:

☒ להודיע לחברה, בהקדם לאחר ההשתלטות על המצב, כי חווה כיבוי מנוע וכי הוא בדרכו חזרה לעמדת החנייה, ורק לאחר מכן, עפ"י התנאים, לדווח במפורט לגורמי החברה השונים, תוך שהוא וצוותו מתרכזים בהסעה לחנייה, בעדכון הנוסעים ובהשלמת הבר"חיים הנדרשים.

☒ לדווח בזמן מתגלגל את מירב הנתונים הנדרשים ובדיוק רב, ככל הניתן, על מנת שמנהלי התחזוקה של החברה יבינו את מהות התקלה ויתכוננו אליה, בהתאם לבקשות מאותם גורמי חברה שונים, במהלך פרק הזמן עד להגעתו לעמדת חנייה.

הקברניט נקט, למעשה, בדרך הפעולה השנייה, ללא דיון מקדים בקוקפיט אלא כסוג נגררות אחרי התנאים המשתנים ועפ"י הבקשות והדיווחים של גורמי החברה (שליטה, תחזוקה ומבצעי אוויר) וגורמי השדה (מגדל, כיבוי אש ומרכז תאום). יודגש, כי ככל ששלב ההסעה חזרה לעמדת חניה התמשך, נוצרה אצל הקברניט ההבנה כי המצב מתארך ומסתבך, ללא הצדקה מקצועית, עד שנטל את היוזמה והוביל להבנה מצד המעורבים את המצב לאשורו, כפי שאובחן בקוקפיט.

## 2.5.2 פעולות, החלטות ודיווחים

התנהלות המעורבים ואופן תפקודם באירוע המתמשך מוצג עפ"י סדר השלבים הכרונולוגי של האירועים, ההחלטות והדיווחים.

☒ הקברניט דיווח מיידית למגדל על הפסקת ההמראה, תוך כדי ביצועה, בלשון ברורה: "STOPPING, STOPPING, STOPPING, WE HAVE A PROBLEM HERE..." ומיד אח"כ, באופן תכליתי ונכון, ציין את התקלה ואת בקשתו הברורה:

"WE HAD ENGINE FAILURE AND WOULD LIKE TO TAXI BACK TO THE GATE"

☒ צוות הטייסים (2 קברניטים וק/ר) לא ניצל דיו את הזמן שהמתין, לאחר פינוי המסלול, כדי לאבחן במדויק את שארע וכדי לבנות לעצמו תמונת מצב מעשית בקוקפיט (עבור הקוקפיט). במטוס היו שלושה טייסים אשר כל אחד מהם החזיק בחלקים שונים של הפאזל השלם, אשר לו נאמרו בקול, מיד לאחר השלמת פעולות החרום הראשוניות, בעבודת צוות נכונה ומלאה, סביר להניח כי היו מביאים ליצירה מוקדמת, בקוקפיט, של תמונת מצב הקרובה מאד, למעשה, לתמונת המצב הנכונה והמלאה.

☒ בתוך פחות מדקה מהפסקת ההמראה, הקברניט עדכן את הנוסעים, כי ארעה תקלה טכנית, כי הם חוזרים לעמדה וכן שיעדכן אותם בהמשך. מיד אח"כ נתן מספר הנחיות והבהרות למש"ב.

☒ בפועל, כ – 2.5 דקות לאחר ההשתלטות ועצירת המטוס, בעקבות כיבוי המנוע, התקשר הקברניט ל"מרכז שליטה" ומסר לו דיווח ראשוני על האירוע: "מסיעים חזרה, נכבה לנו מנוע בפתיחת כוח להמראה". התגובה המיידית של תורן שליטה הייתה בקשה להמתין כדי שיוכל להתקשר לתחזוקה על מנת לברר באיזו עמדה הם רוצים את המטוס לבדיקת המנוע בערכים גבוהים יותר. מקצב הדברים והדיווחים משתמע כי תורן שליטה הוא "ששתל" אצל גורמי החברה ובעקר מתחזוקה, את הרעיון להסיע את המטוס ונוסעיו לעמדה שתאפשר הרצה ובדיקה מיידית של המנוע. בדיווח הראשוני של הקברניט היו חסרים פרטים מהותיים, כמו:

✓ המטוס היה למעשה בכוח מלא כשהמנוע כבה,

✓ המטוס היה בתחילת ריצת ההמראה ואף הגיע למהירות שמעל 40 קשר.

✓ האירוע היה מלווה בוויברציה, משיכה ימינה ובנפילה מיידית של N1 לאפס בעוד N2 המשיך להסתובב, עד שנעצר.

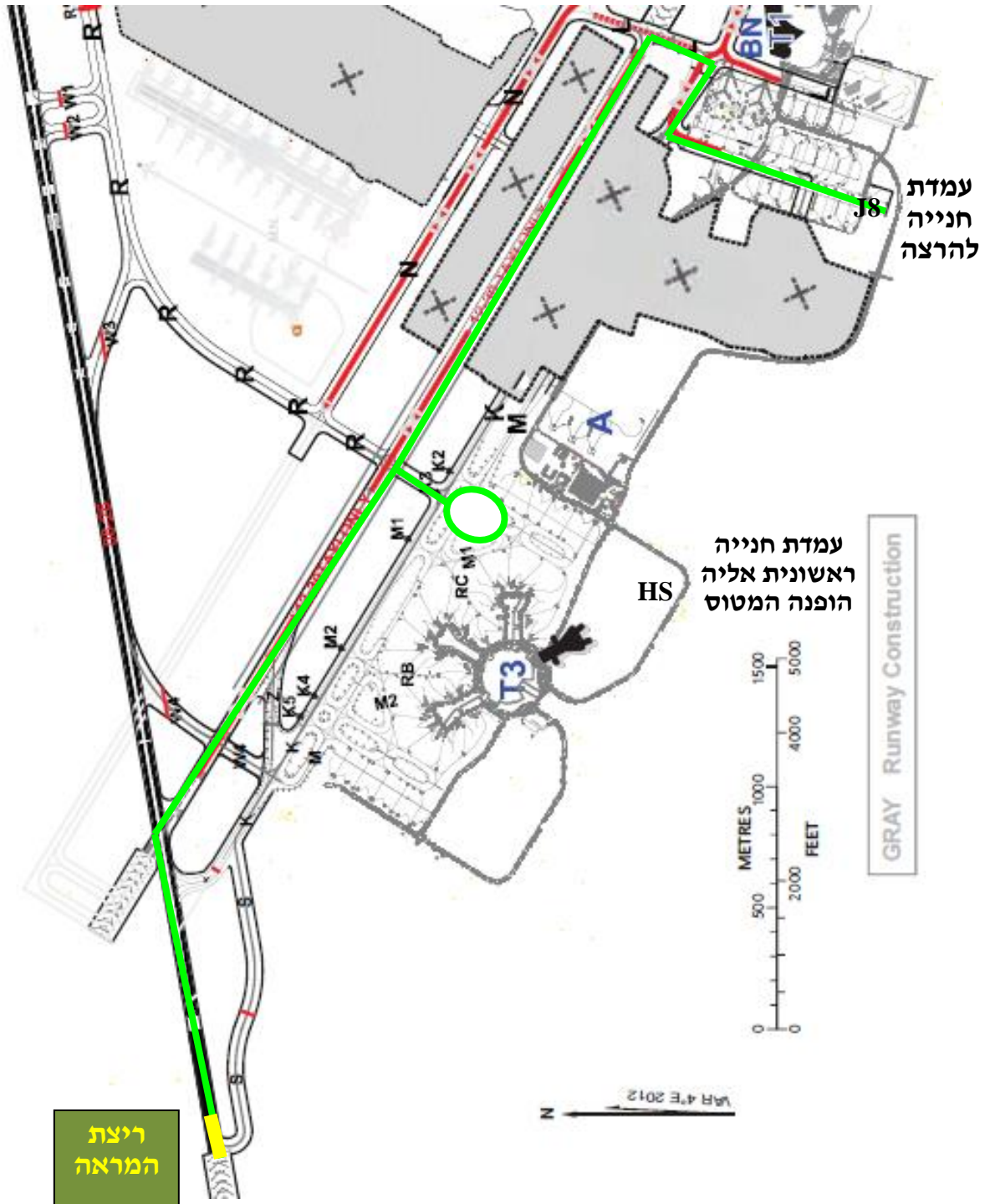
בדיעבד, סביר להניח, לו הקברניט בדיווח הראשוני היה מוסר לגורמי החברה כי המנוע כבה במהלך ריצת ההמראה, עם כוח מלא, לא היו נעשים ניסיונות לבדיקת האפשרות על ידי הצוות הטכני "לפתור" מידית את התקלה.

☒ בהמשך, עולים על הקשר, בזה אחר זה, גורמי החברה (שליטה, תחזוקה ומבצעי אוויר), כמו גם גורמי השדה. מאחר שהקברניט לא הוסיף, עדיין, פרטים מהותיים נוספים, מתפתח מרוץ בין גורמי החברה לבין גורמי השדה, להשגת עמדת חניה המתאימה להרצה מידית של המנוע. בולטת לשלילה העובדה, כי הגורמים השונים ניזונו, באותו השלב, מדיווחים חלקיים ושונים. רק לאחר כ – 10 דקות, ולאחר דיווחים הן למגדל הפיקוח והן ל"מרכז שליטה" בזמן שהצוות מבצע בד"ח "כיבוי מנוע", נשמע הטייס המטיס מתאר לצוות על רעידות שהרגיש וכן שהמטוס סטה לצד, אך לא מעבר לכך.

☒ ההתרשמות החזקה מההאזנה להקלטות, כי לא הייתה חלוקה ברורה של עשייה בתוך הצוות לגבי ביצוע הבד"חים הנדרשים, דיווחי הקשר והטלפון, למגדל הפיקוח ולגורמי החברה השונים ולא בוצעה הערכת מצב פנימית, מוקדם מספיק, בין שלושת אנשי הצוות, כדי להבין את המצב לאשורו. מתברר, כי ביצוע הבד"חים השונים נמשך לסירוגין, כשהדיווחים התכופים, במקביל, למספר גורמים בחברה עיכבו, למעשה, את השלמת הביצוע של פעולות הטייסים. בפועל, רק בהגעה לעמדה J8 הושלמו הפעולות.

☒ בניית התמונה בקוקפיט נמשכה, כאמור, זמן ארוך יחסית ורק לאחר כ – 15 דקות הטייס המטיס ענה לשאלת הקברניט כי ראה שה-N1 ירד מיד לאפס. רק אז הבין הקברניט, למעשה, כי מדובר ב – Seizure של המנוע, וכי עליהם לבצע בד"ח "Engine severe damage". מיד אח"כ, כ – 22 דקות מהפסקת ההמראה, הקברניט עדכן את שליטה והביע את דעתו הנחרצת, אשר קטעה, למעשה, את הכוונה להריץ את המנוע כדי לבצע בדיקות למנוע התקול, במילים: "...על המנוע הזה זה לא ילך ותמשיכו מכאן בצורה אסרטיבית". בכך הפגין הקברניט, גם אם מעט מאוחר מהמצופה, את הערכתו, כי למנוע נגרם נזק חמור שאינו מאפשר למעשה את תיקון התקלה או את המשך הטיסה. ראוי לציין שדווקא המגדל עודכן, למעשה, בהמשך לשאלה מפורשת, כי האירוע ארע תוך כדי ריצת ההמראה – נתון זה לא הועבר כאמור, לחברה.

תרשים התנהלות המטוס על הקרקע מרגע ניסיון ההמראה



### 2.5.3 סיכום

הקברניט מרגע השתלטותו על המטוס ועד להגעתו לעמדת החנייה, לאחר כ – 22 דקות, ניהל תקשורת רבה אשר מחד גרמה לו לעיכוב בביצוע פעולות חיוניות ומתחייבות מהתקלה שבפניה עמד, ומאידך התנהלה שיחה שבדיעבד התגלתה כלא רלוונטית כלל ועיקר למהות האירוע. אופי האירוע הושפע בעיקר, מהדיווח הרב והלא מדויק, בפרק זמן יקר שלדעת צוות החקירה, נחוץ וחיוני לצוות המטוס. במצב שנוצר, מצופה שהצוות יתרכז בהסעת המטוס התקול לעמדה (בין עם עמדה סופית או זמנית), בעדכון הנוסעים ובבירור והסדרה של המשך הטיסה.

עודף תקשורת, על ידי מספר רב של גורמים בחברה, לא דרך "צינור" אחד אשר מרכז עבור כולם את המידע הקיים, הוביל לכך שמידע שונה וחלקי נמצא אצל כל אחד מהמעורבים. השיחות התנהלו מול ארבעה גורמים שונים בחברה, (בנוסף למגדל), תוך יצירת כפילות מידע בזמנים שונים שמוביל למיידעים שונים, בהתאם לזמנים. כך הצוות הטכני היה משוכנע ועשה הכול על מנת להוציא את המטוס לטיסה בהקדם האפשרי, מאחר ולא קיבל הודעה מפורשת או עדכון מצוות המטוס, כי המנוע תקול בצורה ברורה וקשה.

### 2.6 סוגיות שעלו במהלך החקירה

במהלך החקירה הוצפו מספר סוגיות שעלו גם בעבר, בדוחות החקירה, בצורה זו או אחרת, בכל הקשור להתנהלות הקרקעית המידית, לאחר אירוע בטיחותי חמור. סוגיות אלו, מעבר להיבטים בטיחותיים יש גם היבטים מבצעיים וניהוליים.

#### 2.6.1 הערכת מצב ראשונית בקוקפיט

☒ במקרה הנחקר, הקברניט הודיע מידית למגדל, תוך הצמדות נכונה לנדב"ר (נהלי דיבור רדיו), כי הוא מפסיק המראה – בכך אפשר לפקח המגדל לשלוח סביב את המטוס שהיה בגישה לנחיתה. כעבור מספר שניות דיווח, כי ארע כשל מנוע וביקש להסיע ל"גייט". הקברניט קיבל מיד אישור לפנות בקושרת הסמוכה לו והמטוס פינה את המסלול. פעולה ראשונית לאחר הפינוי הייתה עדכון של הנוסעים – עד כאן בוצעו פעולות חירום נכונות.

⊗ לאחר שפינה את המסלול, נשאל הקברניט, פעמיים, אם הוא זקוק לליווי מצד כוחות כיבוי האש והוא מוותר על כך. למרות זאת השאיר המגדל את הכבאיות בסמוך למטוס. בנקודת זמן זו המתח בתא הטייסים ירד, הקברניט השני כבר הצטרף לתא ולכאורה היה לצוות את "כל הזמן שבעולם" לדון בחיוויים ובתסמינים ולבנות, בעבודת צוות בסיסית, תמונה נכונה לגבי מה שארע. מהאזנה להקלטות השמע, של המגדל ושל תא הטייסים, מתברר, כי עד לסוף האירוע וההגעה לעמדת החנייה, לא נמסר מגורמים שמחוץ לתא הטייסים, כל מידע חדש. ללמדך, כי לתובנה של מה שארע, כפי שהגיע אליו הצוות בסופו של התהליך, ניתן היה להגיע כבר בתחילתו, אם הצוות היה מתפנה לכך.

⊗ הערכת המצב הראשונית בקוקפיט היא משימתו של כל הצוות ואמורה להתבצע באחריותו ובהובלתו של הקברניט המפקד (PIC). הערכה זו נחוצה לא רק לצוות אלא גם לכוחות השדה והחברה שנכנסים לכוננות על מנת לסייע לצוות המטוס לטפל בכלי הטיס והנוסעים. על כן, יש חשיבות גדולה, כי מיד לאחר ההשתלטות על מצב החירום ביצוע הפעולות למניעת הפרעה למטוסים אחרים, כי הצוות יתפנה להערכת מצב פנימית, עד כמה שאפשר ללא הפרעה חיצונית, גם אם נדרש להעיר על כך.

⊗ במקרה הנחקר, השתבשות ההסעה ובעיות חוסר התיאום והבלבול היו ככל הנראה נפתרות, לו הצוות היה מגובש בתוכו לגבי מה שארע ולגבי המשמעויות וההשלכות שיש לכך. בדיעבד, רק לאחר שהצוות השלים בתוכו את התמונה הוא הצליח להבין, כי גורמי החברה "במקום אחר".

## 2.6.2 תמונת מצב בחירום

⊗ תמונת המצב שנבנית בחירום מוזנת ממספר רב של מקורות- החל מדיווחי המטוס והמגדל, דרך דיווחי הכוחות הקרקעיים ועדי ראיה וכלה בניתוח הנתונים של המערכות הטכניות הממוכנות, הטלפונים ועוד אינספור מקורות אפשריים.

⊗ הדיווח של צוות הטייסים, כמי שחווים את האירוע באופן בלתי אמצעי, הוא בד"כ החשוב ביותר, כל עוד הצוות שולט במה שקורה עם המטוס ובמטוס. שאר הגורמים מתבססים על דיווח הצוות ומשלימים את התמונה, לעצמם ועבור צוות הטייסים, מכל שאר המקורות. כיוון שכך, חשוב שמוקדם ככל שניתן, יעביר הצוות תמונה מלאה ועדכנית, כולל חוות דעתו המקצועית, עפ"י מיטב שיקול הדעת שלו.



☒ אחת הבעיות העיקריות, בבניית תמונת המצב, אצל גורמי הדיווח והשליטה, בחברה ובשדה, היא העדרה של פונקציה מקצועית אחת שתרכז, כמה שיותר מוקדם, את התקשורת מול צוות הטייסים ומול שאר הגורמים. בשלבים הראשוניים של ביצוע פעולות החירום המידיות וההשתלטות על המצב, הקברניט מפקד ממלא באופן טבעי את הפונקציה הזו. אלא שבהעדרה של פונקציה חיצונית, שתיטול ממנו את "המשימה", נותר הקברניט לשמש בתפקיד, בשלבים שנכון כבר שיהיה פטור מכך, ע"מ שיתמקד במשימות שיש לצוות, בתוך המטוס ומתוכו. עדות לכך, ניתן לראות בקטע ההסעה בין HS ל – J, במהלכו הקברניט מדבר בטלפון עם מנהל הצי (למרות שיש קברניט נוסף בקוקפיט בכיסא המשקיף), כאשר הקצין הראשון מסיע את המטוס ומנהל את קשר החוץ לבדו. מדובר בתפעול חריג, מנוגד לכללי קוקפיט סטרילי בקטע קריטי, שעלול בנסיבות להתפתח לאירוע בטיחות בהסעה, לאחר שאירוע המנוע למעשה הסתיים.

☒ במקרה הנחקר העביר הקברניט, כאמור, תמונת מצב חלקית שלא כללה מרכיבים מהותיים שהיו ידועים לאנשי הצוות, גם אם לא כל אחד מהם ידע הכול. מאחר שמספר גורמי ניהול ושליטה של החברה פנו ישירות אל הטייסים, נוצרו בתוך זמן קצר פערי ידע, באשר למצב ולנסיבות. הקברניט מצדו נעתר כמעט לכל בקשה לקבלת מידע עדכני, אך למעשה לא היה לאל ידו להקפיד, כי כולם יקבלו את אותו המידע, באופן שוטף. מעבר למעמסה שנפלה על הצוות, נוצר מצב שהצוות לא מצא את הזמן הפנוי עבור הדיון הפנימי הנדרש בתוך תא הטייסים.

☒ ההיסטוריה התעופתית מלאה בדוגמאות של טייסים שהחמירו את מצבם, עד כדי גרימת תאונות קטלניות, רק מתוך הרצון "לרצות" את גורמי ההנהלה. בתחום זה נדרש, כי הטייס מפקד יפגין ביטחון, אסרטיביות ונחישות, ככל שמתבקש מהמצב, על מנת שיהיה בידי לנתב את התהליך לטיפול מקצועי ואחראי במטוס ובנוסעים. גורמי החברה צריכים להקפיד על מינוי הפונקציה שתעבוד מול הצוות והיא שתעדכן את גורמי החברה והשדה ואצלה גם תתרכז האחריות לבנות תמונה.

### 2.6.3 מושגים מוסכמים לתיאור מצב חירום

☒ הדיווח הראשוני של הקברניט למגדל ויותר מאוחר לשליטה הכיל את שני מרכיבי הדיווח הבאים:

✓ "WE HAD ENGINE FAILURE".

✓ "נכבה לנו מנוע בפתיחת כוח להמראה".

למעשה, משך למעלה מ- 15 דקות ניזונו כל הגורמים בחברה וברש"ת משני דיווחים קצרים אלו. שני הדיווחים היו נכונים לכשעצמם, אך בהעדר פירוט של נסיבות וחיוויים, מתברר, כי לגורמים שקבלו דיווחים אלו הייתה פרשנות שונה ובלתי אחידה.

☒ המושג "ENGINE FAILURE" בו השתמש הצוות ביטא את הודעת האזהרה שנדלקה לצוות. הודעת "ENG FAIL" מופיעה בכתום במחווך EGT של המנוע והמשמעות הטכנית היא בעיקרה נפילת סיבובים. מאחר שהמשמעות אינה אחידה ומפורשת טבעי שהמשמעות האמתית לא תובן. באותה צורה אפשר להבין את הדיווח השני "נכבה לנו מנוע בפתיחת כוח להמראה". הדיווח לא ביטא את הכוח בפועל, לא את הסל"ד וגם לא את העובדה שהמטוס החל לרוץ על המסלול, תוך שהספיק לעבור מאה מטרים, לערך. כל הגורמים שקבלו את שני הדיווחים הבינו למעשה, כי מיד בתחילת הפתיחה של הכוח, המנוע כבה. חלקם סברו, כי מדובר בתקלה פשוטה, ברת תיקון מידי, כאילו מדובר בבעיית ויסות שולית, יחסית. חלק מהגורמים הטכניים ואפילו מהבכירים, נשארו תחת הרושם שהמטוס עדיין לא החל בריצה וכי האירוע התרחש בסל"ד עדיין נמוך. רק בשיחה הטלפונית, עם מנהל הצי ואח"כ לשאלת ההתעניינות של המגדל, הוסיפו הטייסים כמה נתונים, הגם ש-"האסימון לא נפל", מיד.

☒ בבדיקה קצרה נמצא, כי משנת 1976 עד 2010 מנתה המועצה הלאומית לבטיחות התחבורה, של ארה"ב (NTSB), לפחות 20 תאונות רבתי, שבין הסיבות הראשיות להן, מנתה הרשות החוקרת, את זו שמכונה בשפת הבטיחות: "Miscommunication". דוגמאות:

**ב - 1977**, בשדה Tenrife, נהרגו 583 איש כאשר שלושה אנשי מקצוע השתמשו רק בשפה האנגלית. האחד ספרדי, השני הולנדי, והשלישי היה אמריקאי. מתברר, כי כל אחד מהם הבין את הדיווח אחרת, מה שהיוו את אחד הגורמים העיקריים לאירוע.

**ב - 1992**, התרסק מטוס מטען של אל על באמסטרדם כשטייסו לא ידעו, עד להתרסקות, כי שני המנועים הימניים ניתקו מהכנף ונפלו אל הקרקע. הטייסים הודיעו למגדל הפיקוח, כי הם איבדו שני מנועים. המושג שהשתמשו בו, "lost", היה ועדיין מושג מקובל ושגור שבמובנו הרגיל מבטא אובדן כוח, בד"כ מלא, של המנוע. כך גם הבינו הפקחים במגדל.

בחקירה הוברר, כי טייס הולנדי שעסק אותה עת, על ספינתו, בדיג, באגם ליד השדה ראה את המנועים בנפילתם והוא צלצל למגדל סכיפול (אמסטרדם) ואמר לפקחים, כי ראה מטוס שאיבד את מנועיו לאגם ... (בהולנדית). על כך ענה המגדל "תודה אנחנו יודעים... " – נשאלת השאלה, האם אפשר היה שטיסה זו הייתה נגמרת אחרת אם היה קברניט הטיסה מקבל נתון, כי איבד פיזית את שני מנועיו ? - אולי כן.

☒ הרבה מאד תאונות ותקריות מתחילות או מסתיימות בכי רע, עקב השימוש בשפה האנגלית התעופתית, בצורה הנובעת ממערכות תרבותיות שונות ומחוסר הקפדה על משמעות הפרטים המועברים בדיווח של מצבים שעלולים להתפתח לכדי חירום חמור. בכל שפה, הכוונה הראשית היא ליצור הבנה משותפת ואחידה בין הדוברים. כדי לקצר במילים, כמו בנדב"ר התעופתי, שפת הדיווח בכל שפה מכילה סמלים ופירושיהם. למעשה בכל שפה, אם היא אנגלית, מתמטיקה, ++C, או אפילו הצרצורים של לוויתנים - נדרשת "הסכמה" מראש על הסמלים ופרשנותם. השפה האנגלית היא אחת השפות, עם הכי הרבה מילים המביעות "כמעט" את אותו הדבר. זאת ועוד, האם ידיעת אנגלית מושלמת, אבל "אוסטרלית", מביעה בהכרח את אותה המשמעות כמו האנגלית המדוברת באלבמה – מומחי תעופה חוזרים ומציינים... שלא.

☒ מבחני "English Proficiency", למעשה, תורמים לכן מעט מדי לפתרון הבעיה. לעיתים הבעיות צצות כשצוות מטוס, צוות מגדל פיקוח, כיבוי אש, או מערכות תחזוקה ומבצעים, משתמשים בשתי שפות יחד. לעיתים, צוות מטוס מנסה להסביר לגופים שונים, במושגים שונים, בעיה או מצב, אך הגורמים המדווחים, עם כל רצונם להבין ולסייע, מבינים אחרת. נושאים, כמו: משפטים לא גמורים, טעויות זיהוי מטוס, החלפת קודים, החלפת הדובר תוך כדי שיחה, הגדרת חרומים, צורת מבטא או כינוי, רעש רקע, ביטוי נכון של אותיות ומספרים, מיקום מיקרופון לדובר, טעויות אישור, הם רק מספר מועט של דוגמאות להמחשה.

☒ לפני מסי שנים, הפסיק צוות B737 את ריצת ההמראה על מסלול 26 בנתב"ג, מחשש לאש והטייס דיווח למגדל על כוונתו לפנות את המטוס. הפקח הבין שהצוות מפנה את המסלול בקושרת שבהמשך, בעוד שהצוות פתח מגלשות חירום והנחה את הנוסעים לנטוש מיידית את המטוס.

### 3. מסקנות

- 3.1 התקרית הבטיחותית החמורה מסווגת ככשל טכני פתאומי שארע בתחילת ריצת ההמראה, ללא תסמינים מוקדמים שיכלו לספק התרעה מוקדמת לצוות הטייסים.
- 3.2 מנוע ימין כשל תוך כדי הגעתו לכוח המראה, במנגנון שגרם להרס מסיבי ולגריסה במכלול הטורבינות (LPT+HPT). יחד עם זאת, כול הכשל התמצה במנוע בלבד והוא לא פרץ מחוצה לו וגם לא נדרשו פעולות כיבוי אש בגינו.
- 3.3 בחקירה הטכנית של כשל המנוע, על ידי SRT, נמצאו סימנים של סדקים בשורש שפת הזרימה של ארבעה להבים, שתוקנו במהלך השיפוץ האחרון. הסדקים בלהבים, שנוצרו במנגנון RTEC, הם הסיבה הסבירה ביותר לכשל המנוע. התפתחות הסדק שנמדדה משורש שפת הזרימה של הלהב הייתה לפחות לאורך 20.04 מ"מ בצד הלחץ ו- 15.34 מ"מ בצד היניקה.
- 3.4 בדיקת ראיה תקופתית עם BORESCOPE נדרשת על ידי בואינג בכל 1,600 מחזורי טיסה. בדיקת ה- BORESCOPE האחרונה במנוע בוצעה 722 שעות לפני אירוע הכשל, מבלי שזוהו סדקים בלהבים. בהתאם לכך, קצב התקדמות הסדק בפועל היה 36 מחזורי טיסה למילימטר. ערך זה אינו תואם את ניסיון העבר של CFM שהצביע על קצב התקדמות של 275 – 1,000 מחזורי טיסה למילימטר.
- 3.5 כשל המנוע, שהתבטא בכבייה מידית שלו, ארע בתחילת ריצת ההמראה. יחד עם זאת, המטוס מאפשר, גם בשלב הניתוק, מבחינת מעטפת ביצועיו, להשלים בבטחה את ההמראה עם מנוע אחד – מצב זה מתורגל, תדיר, במבחני הסימולטור.
- 3.6 מפענוח הקלטת רשם הנתונים ומתיאורי הטייסים עולה, כי לא הופיעו לצוות, חיונים או נתונים, חריגים, טרם הכשל הסופי שארע בתחילת ההמראה.
- 3.7 תפקוד צוות הטיסה בביצוע פעולות החירום המיידיות, הדיווח הראשוני ופינוי המסלול, היה נכון, יעיל ובהתאם לדרישות הבסיסיות מצוות טייסים.
- 3.8 דיווח הצוות את התופעה שחוהה היה חלקי וחסר נתונים מהותיים, שהיו קרוב לוודאי נמסרים אילו קיים הצוות הערכת מצב, עפ"י העקרונות המוכחים של עבודת צוות נכונה ומדויקת. בהעדרו של דיווח כזה החלו להתפתח פערי ידע מהותיים בין הגורמים, בחברה ובשדה.
- 3.9 ניהול התעבורה, של מטוס התקרית והמטוסים שהומתנו, באוויר ועל הקרקע, מצד פקחי מגדל נתב"ג, בסוכה ובחדר המכ"ם, היה תכליתי, נכון ומתואם.
- 3.10 תמונת המצב של גורמי השליטה, התחזוקה, מבצעי האוויר והדיווח, בחברה ומחוצה לה, לא הייתה אחידה ומרושתת מספיק וגם לא התרכזה אצל גורם מרכזי אחד – כתוצאה מכך גם ניתנו הנחיות מבלבלות שהאריכו את משך ההסעה חזרה.

- 3.11. **ביקורות המסלולים**, מהחשש לנזק אפשרי מ"גופים זרים", **בוצעו בהחלטה נכונה לחומרה, תוך שילוב אמצעים ושיטות**, מס' פעמים, בליל האירוע ובבוקר שלמחרת.
- 3.12. **חלק מהמושגים המקובלים לשימוש, באנגלית ובעברית, לתיאור מצבי חירום, אינם מדויקים וחד-משמעיים דיים** והם עלולים לבלבל וליצור תקשורת לקויה, בפרט כשאלו ניתנים ללא פירוט מתאים.
- 3.13. **הדיווח הממוכן הראשוני של מרכז הדיווח של השדה היה רק בסיומו של האירוע ולא בקרותו**. יצוין, כי הדיווח לחוקר הראשי, מצד גורמי החברה, היה מעט מאוחר, אך עדיין סביר, בנתוני משך הזמן הארוך של ההסעה, עד לעמדת החנייה.
- 3.14. **חקירה אפקטיבית של הכשל הטכני במנוע, שמהווה גורם השורש לתקרית החמורה ולסיכון כלי הטיס ונוסעיו, מחייבת התעמקות מקצועית ואובייקטיבית, במכון המשפץ, בהובלה של חוקר חיצוני, או נציגו**. בפועל, החקירה הטכנית נעשתה באופן עצמי על ידי מפעל המנועים SRT, ששיפץ את המנוע, ועל ידי CHROMALLOY, משפץ הלהבים.
- 3.15. **יצרן המנועים, CFM, אינו מכיר בחברת CHROMALLY כמשפץ מורשה ללהבים הרלוונטיים**. תהליכי שיפוץ להבים שאינם מאושרים על ידי CFM, ומסתמכם על נהלי חברה שאינה מאושרת על ידה, יכולים להוביל לתצורת מנוע שונה מזו שמוגדרת על ידי היצרן יחד עם זאת, תהליך התיקון שבוצע בחברת CHROMALLOY הוא תהליך מאושר ע"י ה- FAA.
- 3.16. **התיקון האחרון של הלהבים במפעל CHROMALLOY NEVADA כלל הסרת הציפוי הקיים יישום ציפוי חדש לאחר תיקון הלהבים**. בדיקת המעבדה של חתך שבר הלהב לא הציגה סימנים של ציפוי, מה שמצביע על כך שלאחר תיקון הלהבים לא היו בהם סדקים (אם היו סדקים היה הציפוי חודר לחתך הסדק). משכך, אין אינדיקציה גלויה וברורה, אם לתהליך תיקון הלהבים הייתה השפעה על תפקודם בהתייחס לאירוע הנוכחי.
- הערה: תהליכי התיקון והציפוי שעברו הלהבים, עלולים לגרום להיווצרות סדקים, אם לא מדייקים בכל הפרמטרים המוגדרים ב- ROUTE CARD המפרט את שלבי העבודה. בהיעדר נתונים ספציפיים אלה ללהבים שנכשלו, לא ניתן להסיק לגבי תרומה אפשרית של תהליך התיקון שבוצע במפעל CHROMALLOY לכשל.

#### 4. המלצות

לאחר האירוע ודוח הביניים של החוקר הראשי, נקטה חברת אל על בשורה של פעולות מתקנות, המתייחסות לכשל במנוע, שעיקרן שינוי תדירות בדיקות הסדקים בלהבים, הוצאה משימוש של הלהבים מהדגם הישן שנכשלו, העברת תיקון הלהבים ממפעל DER ליצרן המנוע CFM וביצוע הדרכות לטכנאים בארץ ובחול.

**4.1.** לדון בחברה בממצאים של האירוע הנחקר, בכל הקשור לניהול תמונת מצב משברית, או אחרת, על ידי גורם מקצועי שאצלו יתרכזו הדיווחים, מהמקורות השונים והוא שייעדכן את הגורמים הרלוונטיים. הפתרון צריך לתת מענה לצרכי שליטה, מבצעים, תחזוקה ומשאבי אנוש, כמו גם לגורמי נתב"ג (מגדל ומרכז תיאום).

**אחריות:** מנכ"ל אל על **מועד ביצוע מומלץ:** 1.10.2015

**4.2.** ליזום ולקיים מפגש של נציגי מרכזי הדיווח והשליטה בנתב"ג, מתוך כוונה לדון בפתרונות לסוגיה, שחוזרת לעיתים, בכל הקשור לתיאום ובנייה של תמונת המצב המעודכנת, באירועי בטיחות חמורים או משבריים, כבר במסגרת המשך החקירה.


**אחריות:** החוקר הראשי (בתיאום עם רש"ת) **מועד ביצוע מומלץ:** 1.10.2015

**4.3.** להשלים את חקירת המנוע שכשל, במפעל המרכזי, בשוויץ, אשר שיפץ את המנוע בעבר, מתוך כוונה להגיע בחקר הכשל, לסיבות השורשיות של הכשל הטכני. על בסיס תוצאות החקירה להמליץ, הן ביחס לגורם הכשל והן ביחס למערכות מעקב "הבריאות" של המנועים.

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

**4.4.** להציף בפני הפורומים הבינלאומיים, של חוקרי תאונות התעופה, את בעייתיות התקשורת שעלולה להיווצר במצבי חירום, עקב השימוש במושגים מקובלים, אך בעלי משמעות בלתי אחידה ומדויקת, עד כדי בלבול והחרפת מצב החירום.

**אחריות:** החוקר הראשי **מועד ביצוע מומלץ:** 1.12.2015

ב ב ר כ ה  
  
עו"ד רוז יצחק (רוזצ'יק)  
החוקר הראשי

סימוכין : 23449212

תאריך : 2.8.2015

#### החזרת חפצים שנתפסו במהלך חקירה בטיחותית

בהתאם לסעיף 114(ב)5 – (7) לחוק הטיס, התשע"א – 2011, החוקר הראשי יחזיר חפצים שנתפסו, למעט שברי כלי טיס, תוך 45 ימים ממועד פרסום דו"ח החקירה הסופי. החפצים יוחזרו לידי מי שמידיו נתפסו החפצים, או לידי בעליהם. שברי כלי טיס לא יוחזרו אלא לבקשת בעליו של כלי הטיס ועל חשבונו. בקשה להשבתם יש להגיש לחוקר הראשי, לא יאוחר מ- 45 ימים ממועד פרסום הדוח. אדם המעוניין, כי חפצים שנתפסו לא יוחזרו לידי בעליהם, רשאי להגיש בקשה מתאימה לבית משפט השלום, שבתחום שיפוטו נתפס החפץ.