



מדינת ישראל



משרד התחבורה
והבטיחות בדרכים

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

דוח חקירה בטיחותית סופי

תיק תקרית מס' 22-33

תמרון חריף במעבר דרך מערבולות קצה כנף

27.10.2022	תאריך
BOMBARDIER 300	דגם כלי הטיס
YR-TRC	מספר רישום
40 מייל מערבית לנתב"ג	מקום האירוע

לצורכי בטיחות בלבד

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

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 שתרמו להתרחשותו, ומתן המלצות הנוגעות לעניין לצורך שיפור בטיחות התעופה, ככל שלדעת מנהל הרשות יש בכך צורך. (סעיף 104 לחוק).

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

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

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

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

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

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

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

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

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

תקציר האירוע

בתאריך 27.10.2022, בסביבות השעה 16:31 UTC, במהלך הנמכה בנתיב הכניסה לנמל התעופה בן גוריון (LLBG), בגובה של כ- 9,800 רגל, ככל הנראה, נכנס מטוס מנהלים BOMBARDIER CL 300 (מסוג CHALLENGER), בעל סימני לאומיות ורישום-YR-TRC (להלן: "המטוס ו/או הצ'לנג'ר") למערבולות קצה כנף של מטוס מטען מסוג בואינג 747-400 (להלן: "בואינג 747"), שנמצא לפניו במרחק של כ- 10 מייל.

ככל הנראה, בעקבות הכניסה למערבולות קצה הכנף של מטוס הבואינג 747, נכנס מטוס הצ'לנג'ר למערבולות אלה, וביצע גלגול פתאומי חריף ימינה ושמאלה תוך כדי הורדת אף. צוות המטוס (להלן: "הטייסים ו/או הטייס ו/או הדיילת") הופתע מהתמרון, ניתק את הטייס האוטומטי (להלן: "ט"א") וביצע פעולות היחלצות מ"מצב חריג" UPSET RECOVERY-

לאחר ההשתלטות על המטוס, הפסיק הצוות את תהליך ההצטרפות לנחיתה, והופנה לכניסה מחדשת לתהליך נחיתה, ונחת בשלום בנתב"ג. לאחר הגעה לעמדת הנחיה, הדיילת דיווחה לקברניט על פגיעה גופנית שבעקבותיה נשלחה לבדיקות בבית חולים. בתום הבדיקות שוחררה ללא ממצאים.

רישומי המטוס הצביעו על מעבר של מגבלות g שאירעו במהלך האירוע: 3.93 g (+) חיובי, 2.25 g (-) שלילי.

דיווח לרשות לחקירה בטיחותית בתעופה (להלן: "הרלב"ת") הגיע דרך נציג החברה, מספר ימים לאחר האירוע. האירוע הוגדר ע"י מנהל הרלב"ת כתקרית ("רגילה"), אך מנהל הרלב"ת הנחה על פתיחת חקירה בטיחותית לאור האפשרות שיעלו בחקירה ממצאים שיכולים לתרום לשיפור הבטיחות הכללית.

פרסום טיוטת הדו"ח התעכבה לצערנו עקב עיכוב בקבלת נתונים מגורמים שונים שמהם ביקשנו פרטים הנוגעים לחקירה.



תמונה 1 - המטוס נשוא התקרית

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

1. מידע עובדתי

המטוס השייך לחברת TOYO AVIATION S.R.L בעל רישום רומני, יצא ביום 27.10.2022 בסביבות שעה 06:16, לטיסה מלרנקה שבקפריסין לנתב"ג. על סיפון המטוס היו שני קברניטים (קברניט בפיקוד וקברניט נוסף) ודיילת אחת. לא היו נוסעים בטיסה זו. כ- 20 דקות לאחר ההמראה המטוס התחיל הנמכה מגובה FL330 לגובה 6,000 רגל, בהכוונת מכ"ם של הבקרה האווירית. הצוות קיבל הנחיות להנמכה והצטרפות לשדה נתב"ג בגישה STAR - AMOSIE לנחיתה על מסלול 30. המטוס השתלב ב"שיירת" מטוסים שהנמיכו לנתב"ג באותה ההצטרפות.

במהלך ההנמכה בסביבות השעה 16:31 UTC, בסביבות גובה 9,800 רגל ובמהירות של כ- 246 קשר, ככל הנראה, המטוס נכנס למערבולות קצה הכנף של מטוס בואינג 747 שהיה לפניו, ביצע פעולות היחלצות מ"מצב חריג" (Upset) הפסיק את תהליך ההצטרפות לנחיתה, הופנה לגישה נוספת לנחיתה ונחת בשלום בנתב"ג.

1.1 היסטוריה של הטיסה

המטוס המריא מלרנקה לנתב"ג כאשר על סיפון צוות הטיסה: קברניט PIC (Pilot In Command), קברניט נוסף SIC (Second In Command) ודיילת. בלג טיסה זה (מלרנקה לנתב"ג), ה PIC היה ה - PF (Pilot Flying), כלומר הטייס המטיס, והקברניט השני היה ה - PM (Pilot Monitoring) כלומר הטייס המנטר. **הערה:** הטייס ששימש PM בלג טיסה זה, הינו קברניט בוחן קו בחברה ובעל ניסיון טיסתי רב על דגם מטוס זה.

המטוס הנמיד מגובה השיוט בהנמכה רצופה, על פי הנחיות הבקר. המטוס שולב ב"שיירת" מטוסים שהצטרפו לנחיתה בהתאם לאותה הצטרפות (אותו ה - STAR). מטוס הצ'ילנג'ר שולב מאחורי מטוס מטען בואינג 747, שהיה במרחק של כ- 10 מייל לפניו.

מהירות המטוסים בשלב ההנמכה הייתה בסביבות 290 - 300 קשר.

ארגון התעופה האזרחית הבינלאומי ICAO - International Civil Aviation Organization (Doc 4444) הגדיר קטגוריות מטוסים שעל פי משקלם מייצרים מערבולות קצה כנף בעוצמות שונות ואת מרחקי הבטיחות הנדרשים להפרדה בין כלי הטיס.

טייסי מטוס הצ'ילנג'ר (קטגורית ICAO - MEDIUM) לא קיבלו מידע על מטוס הבואינג 747 בקטגוריה HEAVY (להלן: "כבד") שנמצא לפנייהם ולדבריהם לא היו מודעים לכך.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

הערה: על פי נהלי ICAO ונהלי פיקוח תל אביב ונתב"ג, לא קיימת חובת מתן אזהרה ע"י הבקר/פקח למטוס שטס אחרי מטוס מקטגוריה HEAVY.

לקראת גובה 10,000 רגל בוצעה ע"י המטוס הקטנת מהירות ל - 250 קשר (בהתאם לנהלים). בעקבות זאת, שעור ההנמכה בשלב הקטנת המהירות ירד לסביבות 300 - 500 רגל לדקה. לאחר הקטנת המהירות הטייסים הגבירו את שעור הנמכה לקצב הנדרש לשמירת פרופיל ההנמכה הרגיל, שהוא מעל ל - 1,000 רגל לדקה.

הפרש הגבהים בין המטוס הקדמי, בואינג 747 (שהיה נמוך יותר), לבין מטוס הצילנר, במהלך הקטנת המהירות, היה בין 0 ל - 1,900 רגל.

לאחר הקטנת מהירות ל - 250 קשר, במהלך הגדלת שעור ההנמכה מחדש, הנדרש לשמירה על פרופיל ההנמכה, בסביבות השעה 16:31 UTC, בגובה של כ - 9,800 רגל, כאשר הטייס היה מחובר, ביצע המטוס תמרון פתאומי חריף של גלגול ימינה כ - 11.5 מעלות ומצב אף 1 - 2 מעלות מתחת לאופק.

הצוות שהופתע, לא היה מודע לאפשרות של כניסה למערבולות קצה כנף - WAKE TURBULANCE, של מטוס בואינג 747 שלפניהם, ולדברי הצוות הוא חשד בתקלת הגאים וביצע תמרון של UPSET RECOVERY, תוך ניתוק הטייס ומעבר להטסה ידנית בהתאם לנוהל, לצורך החזרת השליטה במטוס. על פי רישומי ה-FDR, לאחר ניתוק ט"א, המטוס ביצע גלגול שמאלה עד להטיה של כ - 29 מעלות, תוך הורדת אף למצב של כ - 12.5 מעלות מתחת לאופק. הצוות ביצע פעולות היחלצות של הרמת אף וגלגול ימינה, והשתלט על המטוס.

הערה: על פי רישומי ה-FDR, לאחר שהמטוס נכנס למצב "חריג" ותוך כדי פעולות ההיחלצות, הופיעה אזהרה על תקלה:

Master Caution message posting and the Yaw Damper 1 and 2 disengaged.

במהלך ההשתלטות על המטוס ביקש ה-PIC שהיה ה-PF (Pilot Flying) מה קברניט השני, שהיה בשלב זה טייס ה-PM (Pilot Monitoring) לעזור לו בנייהוג עקב תחושה של חוסר תגובה ראשונית של המטוס לפקודות ההגאים. מנתוני המכ"ם, בסביבות גובה 10,000 רגל, נראה מטוס הצילנר בתהליך הקטנת מהירות ובשיעור הנמכה כ - 500 רגל לדקה. בהמשך נראה שהמטוס עצר את ההנמכה בפתאומיות ואף ביצע טיפוס קצר למשך מספר שניות.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

נתוני ה-FDR הראו תחילת גלגול של המטוס ימינה, ביצוע תיקון על ידי הטי"א, ניתוק הטי"א, גלגול שמאלה של המטוס, תוך הורדת אף ותפעול ידני של הטייס את המאזנות והגה הגובה.

לאחר שהשתלטו על המטוס, הטייסים חיברו ט"א ודיווחו לפקח המגדל על כניסה למצב "חריג" (UPSET) ולדבריהם עודכנו לראשונה, בהימצאות מטוס בואינג 747 כ- 10 מייל לפניהם.

מניתוק הטי"א ועד לחיבורו מחדש חלפו כ- 27 שניות.
להלן מספר גרפים מתוך ה-FDR ורשימת הקיצורים:

List of Acronyms

AoA - Angle of Attack

BLCG – Buttock Line CG (y-cg)

CG – Center of Gravity

FDR - Flight Data Recorder

KIAS - Knots Indicated Airspeed

LWD – Left Wing Down

Nx - Longitudinal Acceleration

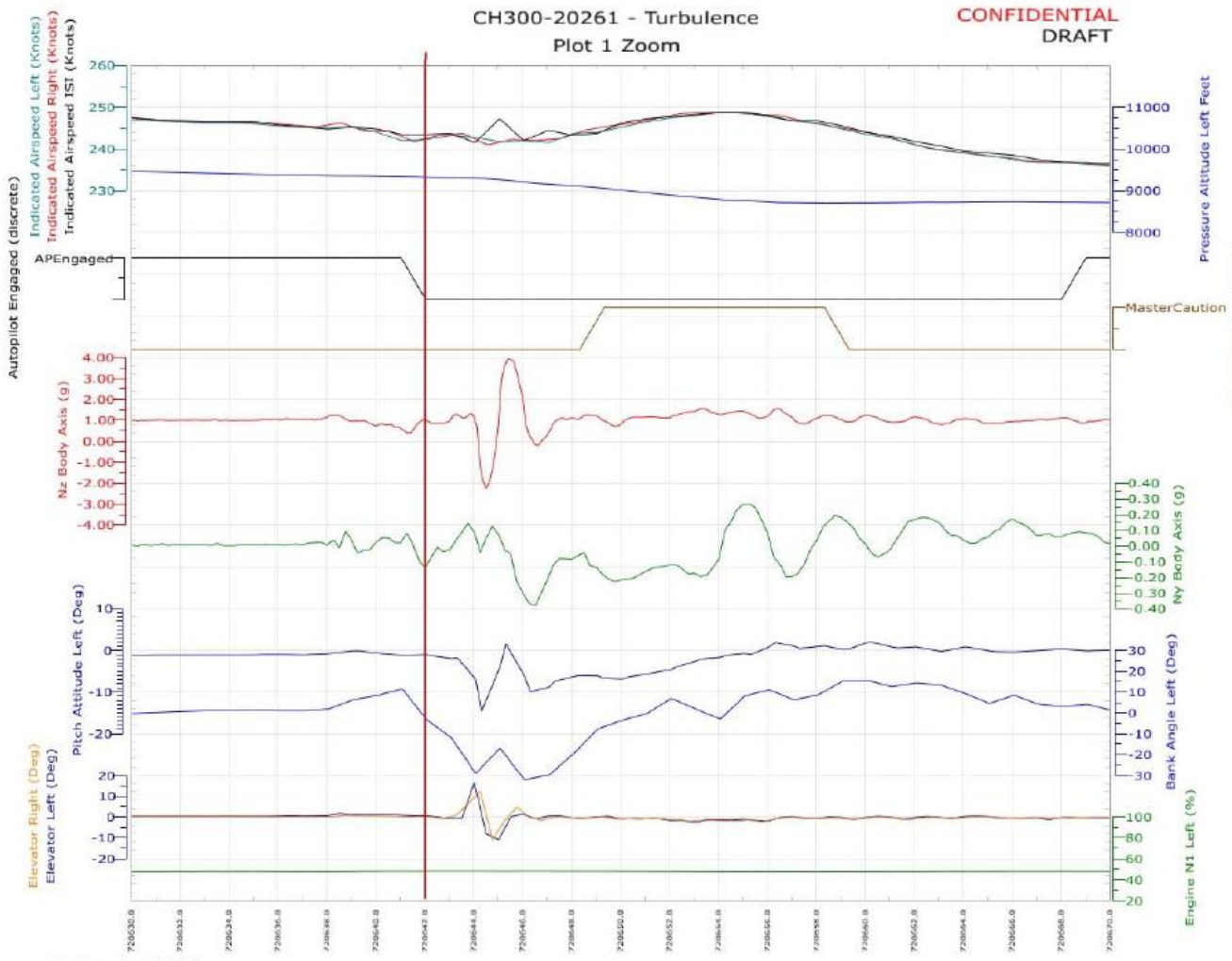
Ny – Lateral Acceleration

Nz - Vertical Acceleration

RWD – Right Wing Down

S/N - Serial Number

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה



באדיבות חברת BOMBARDIER

גרף נתוני הטיסה מתוך ה - FDR

הצוות הפסיק את תהליך ההצטרפות, הוכוון לכניסה מחודשת לתהליך הצטרפות, תוך שילובו מחדש בשורת מטוסים שנמצאה בתהליך גישה לנחיתה. המטוס שולב אחרי מטוס AIRBUS 319 ונחת בשלום. הנחיתה הסופית בנתב"ג הייתה בסביבות השעה 17:05.

על פי רישומי המטוס - המטוס ביצע במהלך האירוע 2.25 g (-) שלילי, ולאחר מכן 3.93 g (+) חיובי.

לאחר הנחיתה והחניה מסר הצוות מידע לנציג שרותי הקרקע לגבי האירוע. נציג שרותי הקרקע הזמין פרמדיק שבדק את הדיילת. בהתאם להמלצת הפרמדיק הדיילת נשלחה לבדיקות בבית חולים ושחררה ללא ממצאים רפואיים. לאחר הנחיתה הצוות יצר קשר טלפוני עם מגדל הפיקוח.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

בשיחה עם הפקחית שהייתה במשמרת, נמסר להם שהאירוע התרחש ככל הנראה במהלך החלפת ערוצים בין הפיקוח האזורי (בקרת ת"א) לבין פקח הגישה של נתב"ג. לשאלות הקברניט לחומרת האירוע, הפקחית ענתה שהיא ייחסה לאירוע סיווג קל.

הצוות רשם בספר המטוס תקלה של כניסה למערבולות קצה כנף חמורות, כניסה ל - HEAVY WAKE TURBULENCE.

1.2 פציעות של שוכני המטוס

פציעות	טייס	נוסעים	צוות קבינה
מוות			
בינוני			
קל			
ללא			הדיילת נבדקה בבית חולים ושוחררה ללא ממצאים.

1.3 נזק לכלי הטיס

בעקבות התקלה שהטייסים פתחו בספר המטוס, המטוס נבדק לאפשרות של מעבר מגבלות g. בבדיקה נמצא שהמטוס עבר את מגבלת ה - g. הבדיקה בוצעה ע"י מכונאי מוסמך בהתאם לנהלי היצרן למעבר g 3.93 חיובי ו - g 2.25 שלילי. לאחר הבדיקה, המטוס נמצא כשיר ושחרר להמשך טיסות.
הערה :

מגבלת g של המטוס כאשר המדפים מעלה הינה: g 2.6 (+) חיובי ו - g 1.0 (-) שלילי.

1.4 נזק אחר – ללא.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

1.5. מידע על אצ"א וגורמים מעורבים אחרים

טייס מפקד

- גיל הטייס - 36.
- רישיון טיס ATPL משנת 2016
- תוקף התעודה הרפואית - 15.03.2023.
- תוקף מבחן רמה על דגם כלי הטיס – 31.05.2023 .
- ניסיון טיסה כולל – 6,890 שעות טיסה.
- ניסיון טיסה על דגם כלי הטיס – 143 שעות טיסה.**
- שעות מנוחה לפני הפעילות: כ - 21 שעות.

טייס המשנה

- גיל הטייס - 36.
- רישיון טיס ATPL משנת 2018.
- תוקף תעודה רפואית - 16.05.2023.
- ניסיון טיסה כולל - 4,642 שעות טיסה.
- ניסיון טיסה על דגם כלי הטיס – 3,015 שעות טיסה (1,211 כטייס מפקד,**
1,804 כטייס משנה). הטייס, קברניט ובוחן קו בחברה.
- שעות מנוחה לפני הפעילות, כ - 21 שעות.

1.6. מידע על כלי הטיס

1.6.1 מידע כללי

- יצרן המטוס: BOMBARDIER.
- מודל: CL300.
- מס' סידורי: 20261.
- סימן רישום: YR-TRC.
- שם הבעלים והמפעיל: TOYO AVIATION S.R.L.
- תוקף תעודת כושר אווירי: 17.6.2023.

1.6.2 היסטוריית המטוס

- סה"כ שעות טיסה: 8,517 שעות.
- ביקורת אחרונה: לא רלוונטי.
- מנועים ופרופלורים: לא רלוונטי.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

1.6.3 משקל ואיזון של כלי הטיס

- משקל המראה מרבי: 17,620 ק"ג.
- משקל המטוס בעת האירוע: 12,510 ק"ג.
- המשקל והאיזון של המטוס היו במגבלות במהלך כל הטיסה.

1.7 מז"א

- ראות טובה.
- ללא עננות.
- רוח צפון מערבית בעוצמה של 5-7 קשרים, CAVOK, לחץ 1017.

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

1.9 תקשורת

הטייס היה בקשר עם פיקוח נתב"ג.
תקנה 26 א לתקנות הטיס (הפעלת כלי טיס וכללי טיסה) תשמ"ב 1981 קובעת כי תקשורת רדיו-טלפון בין כלי טיס ליחידת נת"א תהיה אנגלית, ואופן השימוש בשפה האנגלית חייב להתבצע כקבוע בפרק 5, כרך II, של נספח 10 לאמנה (של ICAO).

1.10 מידע על ש"ת - לא רלוונטי.

1.11 נתוני הקלטות טיסה - FDR נשלח לפיענוח בחברת Bombardier וממנה התקבלו הנתונים.

1.12 פגיעה ושברי כלי הטיס - לא רלוונטי.

1.13 מידע רפואי ופתולוגי

הטייסים ללא פגיעה. הדיילת נבדקה ע"י פרמדיק מיד לאחר הנחיתה ונשלחה לבית חולים לבדיקות נוספות, ושחררה ללא ממצאים.

1.14 אש - לא רלוונטי.

1.15 אלמנטים של שרידות - לא רלוונטי.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים

הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

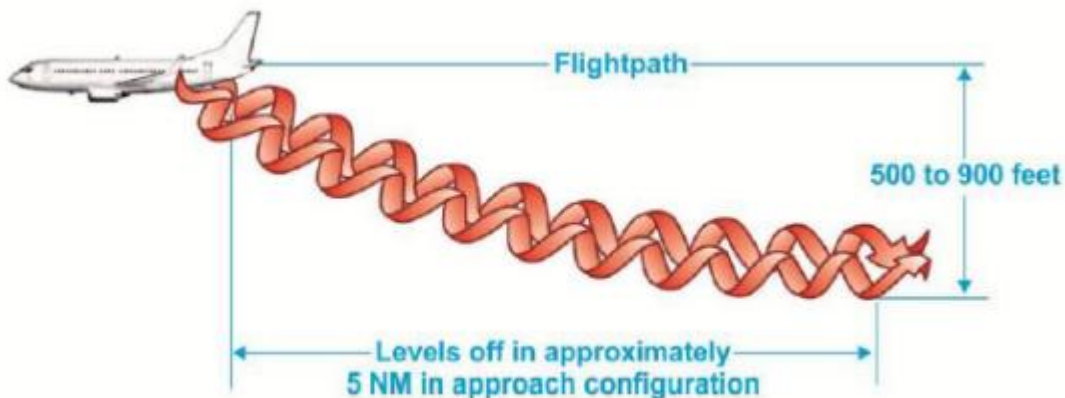
1.16. בדיקות, מחקרים וחומר עובדתי

1.16.1. מערבות קצה כנף, WAKE TURBULANCE

ICAO מכיר במערבולות קצה הכנף כגורם משמעותי המשפיע על בטיחות הטיסה, כפי שנכתב במסמך (ICAO Doc 4444 PANS- ATM) עוצמת מערבולות קצה הכנף בהם עלול להיתקל מטוס, תלויה בגורמים רבים. הגורמים העיקריים הם יציבות אטמוספירית ורוח. גורמים אלה וגורמים נוספים, משפיעים על כיוון התקדמות המערבולות, קצב השקיעה שלהן ודעיכתן (פרוט ראה נספח א').

גורם נוסף הוא נתוני הטיסה של המטוס שמייצר את המערבולות. נמצא שהמערבולות החזקות ביותר נמדדו מאחורי מטוס "כבד", הנמצא בטיסה אופקית, במהירות מינימלית וללא מדפים. מטוס "כבד" שטס במהירות מינימלית, מגדיל את זווית ההתקפה והיא זו שמהווה גורם משמעותי בייצור המערבולות. (פרוט ראה נספח א').

בעת הנמכה המשלבת הקטנת מהירות עולה ההסתברות לכניסת המטוס האחורי לתוך המערבולות שמייצר המטוס הקדמי, כי זווית ההתקפה גדלה, וכן הפרש הגבהים בין המטוסים שנמצאים בשיירה בד"כ מצטמצם.



תנועה של מערבולות קצה כנף, נטייה לשקוע ולנוע בהתאם לרוח

1.16.2. מערבולות קצה הכנף נחקרו רבות בעולם, וגם כיום מבוצעים מחקרים וניסויים לבחינת התופעה, ולדרכים להתמודד איתה.

בנספח א' מצורף קטע מתוך EUROCONTROL SKYBRARY המבוסס על ICAO, שבחן דרכים להקטנת המרווחים בין המטוסים.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

1.16.3. המטוסים המעורבים באירוע זה היו בואינג 747 המוגדר "HEAVY" ומטוס

מנהלים צ'ילנג'ר המוגדר על פי ה- ICAO "MEDIUM"

הערה: קיים הבדל בין הגדרות ה- ICAO להגדרות ה- FAA בקטגוריית המטוסים למערבולות קצה כנף. על פי FAA נמצא מטוס הצילנג'ר בקבוצת SMALL (ראה נספח א').

1.16.4. על פי הגדרות יצרן המטוס, וכן הגדרות ICAO שמתייחסות להיחלצות

ממצבי טיסה "חריגים" UPSET RECOVERY, התהליך יבוצע ע"י הטייס בעת חריגה מהפרמטרים הבאים:

✓ במישור העלרוד, מצב אף 25(+), 10 (-) מעלות.

✓ במישור הגלגול, 45 מעלות הטיה.

הערה 1:

בתפעול זה נדרש הטייס (על פי הנהלים) לנתק ט"א ולהחזיר שליטה במטוס שנמצא במצב "חריג".

הערה 2:

באירוע זה, לדברי הטייסים, הצוות **ביצע ניתוק** רצוני של ט"א, ופעל כנגד תנועת המטוס במטרה לאזן אותו על פי האבחנה שלו שהיה **מדובר במצב לא נשלט, קרי UPSET RECOVERY**, (ולא במערבולות קצה כנף WAKE TURBULANCE).

הערה 3:

במקרה של מערבולות קצה כנף WAKE TURBULANCE לשיקול הטייס האם להשאיר את הט"א **מחובר** ו/או **לנתק אותו**, ובכל מקרה לעקוב אחר מצב הטיסה ופעולות המטוס.

בגרף שלהלן ניתן לראות את השפעת מערבולות קצה כנף ותנועת המטוס בהתאם. משך הזמן שאירוע התרחש היה כ- 6.2 שניות. מהשנייה ה- 28 (בגרף) ועד השנייה ה- 34.2 (בגרף).

ניתן לראות התאמה בין מערבולות קצה הכנף, אליהן המטוס נכנס, לבין תנועת המטוס במישור הגלגול.

בסימולציה שבוצעה, נמצא כי פעולות הטייסים מנעה מצב של גלגול גדול יותר. כלומר, ללא התערבות הטייסים, המטוס היה מגיע לכ- 40 מעלות גלגול שמאלה. (בפועל המטוס הגיע לכ- 29 מעלות גלגול שמאלה).

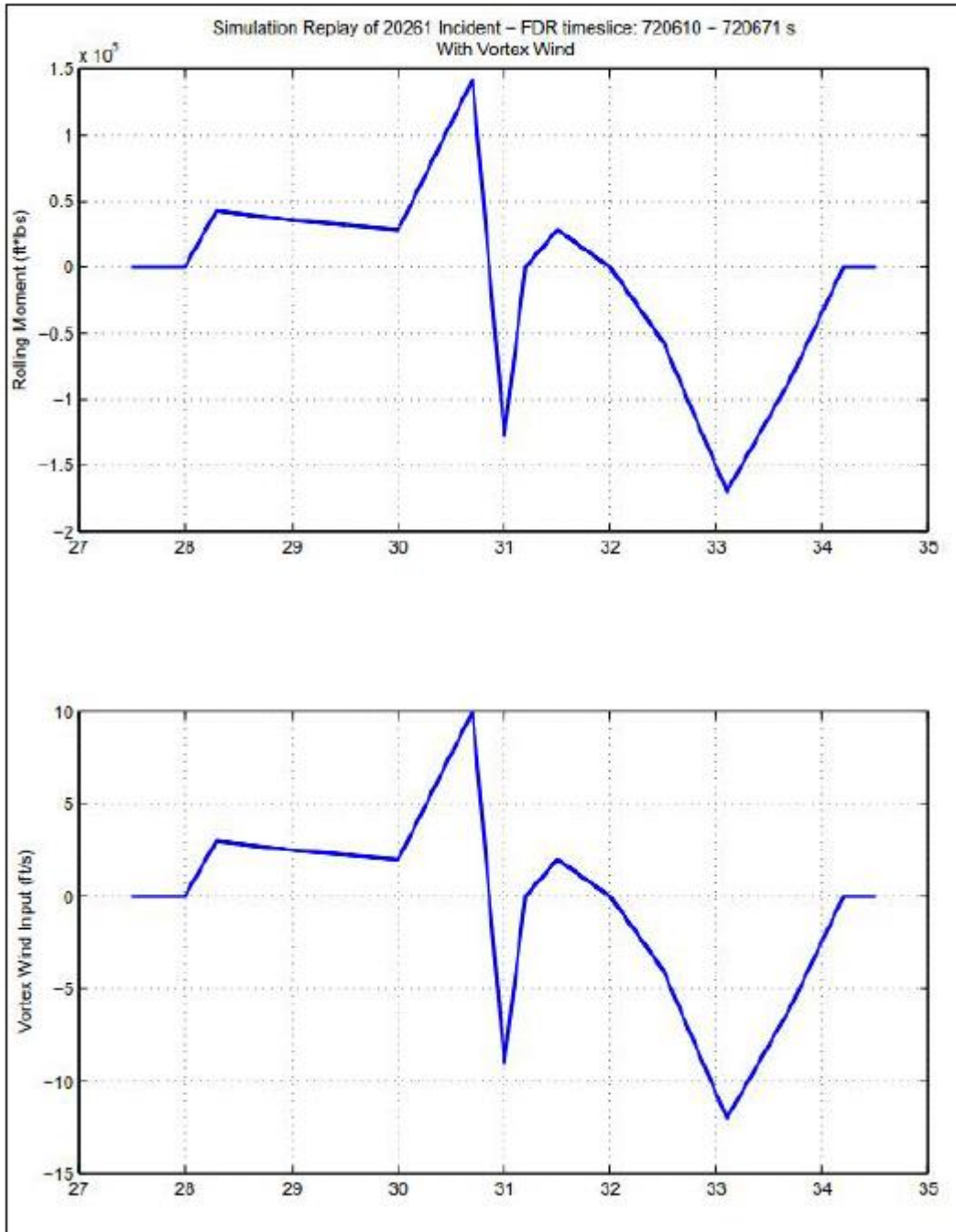
כמו כן ניתן לראות את תנועת האוויר של מערבולות

The "vortex wind" is required for a period of 6.2 seconds, with peak wind inputs of +10 ft/s and -12 ft/s with rapidly changing directions.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים

 הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

Figure 1 – Rolling Moment and Vortex Wind Input



גרף מומנט הגלגול והשפעת מערבולות קצה הכנף באדיבות חברת BOMBARDIER

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

1.16.5. מערבולות קצה כנף, מרגע היווצרותן שוקעות ודועכות. קצב השקיעה נע בסביבות 400 רגל לדקה, ובד"כ הן מתפוגגות לאחר כ- 2-3 דקות מזמן היווצרותן. רוח צולבת, הפרשי לחץ וטמפרטורה, יציבות אטמוספירית ועוד, משפיעים על מיקומן ועוצמתן של מערבולות קצה כנף, ביחס למטוס המייצר אותן (ראה נספח א').

1.16.6. בשונה מנתיבי טיסה, בהם מטוסים יכולים לבקש מראש לבצע שינוי בנתיב הטיסה, דבר שיקטין את השפעת מערבולות קצה כנף ממטוס קדמי, הרי שבתהליכי הצטרפות וגישה לנחיתה וכן בתהליכי עזיבה, בדגש על STAR ו- APPROACH מוגדרים, המטוסים נמצאים בדיוק באותו הנתיב ותחת בקרת מכ"ם. ההפרדה האורכית המוגדרת במצב זה הינה בהתייחס למרחק בין המטוסים, והטייס למעשה מסתמך על מרחקי ההפרדה שהוגדרו ע"י הפקח.

1.16.7. בספר המכ"ם של הפקח בישראל ATS-Surveillance Services Manual מוגדרת הפרדה בין המטוסים (בטיסה תחת בקרת מכ"ם), בהפרדה של טווח בין המטוסים. ההפרדה המינימלית המוגדרת בין מטוס HEAVY ל- MEDIUM היא 5 מייל. אין התייחסות להפרדות בהתייחס לזמן בין המטוסים בשלב האווירי של הטיסה (שלא על הקרקע).

1.16.8. נהלי הפיקוח

בתקנות הטיס אין הגדרה להפרדה הנדרשת לפי סוגי המטוסים. בפמ"ת פרק א – 07 - 2 סעיף 8: "מרחב מבוקר באמצעות מערכת מעקב (surveillance)" ישנה הגדרה להפרדה הנדרשת להלן:

א. הפרדת המכ"ם האופקית לטיסות לפי כללי טיסת מכשירים (IFR):

(1) במרחב "בקרה דרום", "בקרה צפון", ויחידות הבקרה האזורית

הצבאיות ("פלוטו", "חגבי") - 5 NM.

(2) במרחב נתב"ג - 3 NM.

הערה: הפרדה זו במרחב נתב"ג (3 NM) אינה מתייחסת לדרישות

המינימום של הפרדה הנדרשת ע"פ ICAO בהתייחס ל- WAKE

TURBULENCE בין סוגי המטוסים השונים.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

בספר נהלי פיקוח של מגדל נתב"ג, הגדרות שמירת המרחקים בהתייחס ל - WAKE TURBULENCE מתבססות על ICAO (ראה בהמשך) ולכן נשמרת ההפרדה הנדרשת עפ"י ICAO.

מדינת ישראל עדיין לא אימצה את הגדרות ה - ICAO "החדשות", ICAO PANS ATM- DOC 4444 (חלוקה למספר רב יותר של קטגוריות מטוסים למערבולות קצה כנף) ולהפרדת מרחקים בין מטוסים עוקבים, בהן על פי החלוקה "הישנה", מטוס הצ'ילנג'ר מוגדר MEDIUM, ועל פי החלוקה "החדשה" LIGHT (ראה נספח א').

יישום החלוקה "החדשה" ב - ICAO DOC 4444 של קטגוריות מטוסים למערבולות קצה כנף, נתון לשיקול דעתה של המדינה. מדינת ישראל עדיין לא אימצה את הקטגוריה "החדשה". (ראה נספח א').

מטוס הצ'ילנג'ר שהוגדר MEDIUM על פי החלוקה "הישנה" מוגדר LIGHT על פי החלוקה "החדשה". המשמעות היא שנדרש מרחק הפרדה מעט גדול יותר לטיסה אחרי מטוס המוגדר "HEAVY", 6 מייל במקום 5 מייל (ראה נספח א').

קטגוריית המטוסים בהתייחס ל - WAKE TURBULENCE מוגדרת באופן מעט שונה ע"י ICAO וה - FAA (ראה נספח א').

משקל מרבי של מטוס ה - BOMBARDIER CL300 – MTW הינו 17,622 ק"ג: מוגדר על פי ICAO כ - MEDIUM, ואילו על פי ה - FAA הוא מוגדר כ - SMALL.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

ספר הנהלים (של הפקח בנתב"ג)

ספר הנהלים (להלן: "ספר המכ"ם") של הפקח בנתב"ג, מגדיר הפרדת מרחקים בהתייחס לטיסה בהכוונת מכ"ם, להלן ציטוט מתוך הספר:

20. SEPARATION MINIMA BASED ON ATS SURVEILLANCE SYSTEMS

20.1. For radar separation minima see ISRAEL AIP ENR 1.6.

Note: When deemed necessary ATC unit/ATCO may increase the separation above the prescribed minima.

20.2. The following distance-based wake turbulence separation minima shall be applied to aircraft being provided with an ATS surveillance service in the circumstances given in 20.3

Wake turbulence radar separation minima	Succeeding aircraft	Preceding aircraft
4.0 NM	HEAVY	HEAVY/B757
5.0 NM	MEDIUM/B757	HEAVY/B757
6.0 NM	LIGHT	HEAVY/B757
5.0 NM	LIGHT	MEDIUM
6.0 NM	non- A380-800 HEAVY	A380-800
Not required	A380-800	A380-800
7.0 NM	MEDIUM	A380-800
8.0 NM	LIGHT	A380-800

הפרדת המרחקים בהנמכה לנתב"ג מבוצעת בהכוונת מכ"ם ובהתאם לכך גם מוגדרים טווחי המינימום.

באירוע זה, מטוס הצילנ"ר שהוגדר MEDUM אחרי מטוס בואינג 747 שמוגדר HEAVY ההפרדה שנדרשה הייתה 5 מייל.

הערה 1: במידה ומטוס הצילנ"ר היה מוגדר LIGHT ההפרדה ממטוס בואינג 747 שמוגדר HEAVY הייתה צריכה להיות 6 מייל.

הערה 2: ההפרדה בפועל בזמן אמת בין שני המטוסים הייתה כ- 10 מייל.

1.16.9. במהלך השנים ובהמשך לצבירת ניסיון באירועי WAKE TURBULENCE

בוצעו מחקרים שהובילו להוספת קטגוריות נוספות על פי ה- ICAO. הערה: הרציונל לפירוט נוסף בקטגוריות של המטוסים הייתה בכדי לאפשר הקטנת המרווחים בין מטוסים בקטגוריות שונות (ולא הגדלת המרווחים).

1.17. מידע על הארגון וההנהלה - לא רלוונטי.

1.18. מידע נוסף

1.18.1. על פי ICAO התקנות הישראליות, וספר הנהלים של מגדל נתב"ג, צוות הטיסה נדרש לדווח על קטגוריה HEAVY בצמוד לאות הקריאה של המטוס רק בקריאה ראשונה לפקח. לפי נהלי ה - FAA בארה"ב, יש המלצה לדווח HEAVY בכל התשדורות עם הפקח וחובה על הפקח לדווח על מטוס כבד (ראה נספח ב').

1.19. טכניקת ודרכי חקירה

1.19.1. בוצעו תחקורים של המעורבים.

1.19.2. בוצע שימוש בנתוני FDR כולל אנימציה.

1.19.3. נבחנו מאמרים ונבדקו הנהלים בעולם המתייחסים ל - WAKE

.TURBULENCE

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

2. ניתוח

2.1. רקע

על פי הממצאים שכללו: מז"א בזמן האירוע, תשאול הטייסים, תמונת המכ"ם, ניתוחי הקלטות הקשר וה- FDR של מטוס הצ'לנג'ר, בסבירות גבוהה, המטוס נכנס למערבולות קצה הכנף של המטוס הקדמי (בואינג 747), בנתיב הנמכה מוגדר שהיה תחת הכוונת מכ"ם.

נבדקה ונשללה תקלת היגוי שעלולה הייתה לגרום לאירוע. על פי ICAO, וספר הנהלים של מגדל נתב"ג, לא קיימת חובת עדכון והתראת מערבולות קצה כנף למטוס הנמצא מאחורי מטוס קדמי "כבד".

באירוע זה נשמרו מרחקי ההפרדה הנדרשים על פי ICAO ועל פי הנהלים של מגדל נתב"ג. יחד עם זאת, הספרות מציינת כי גם בשמירה על מרווחי הבטיחות המוגדרים, בהחלט יתכן מצב שמטוס יכנס למערבולות קצה כנף של מטוס אחר, מכיוון שלא מדובר "במדע מדויק" ובהחלט תיתכן תופעה בה מערבולות קצה הכנף יתפוגגו במשך זמן ארוך יותר ו/או יסחפו למרחק רב יותר מהצפוי.

2.2. פעולות צוות הטיסה

המטוס היה בגישה להנמכה כאשר הוא היה מאחרי מטוס מקטגוריה מערבולות קצה כנף המוגדר HEAVY. הטיסה בוצעה עם ט"א מוצמד ומוד הטיסה היה LNAV/VNAV. הגישה שהוכנסה למחשב הניווט על פי ה-STAR הייתה זהה לכל המטוסים שהצטרפו לנחיתה באותה העת, כולל למטוס בואינג 747 שהיה בשיירה לפני מטוס הצ'לנג'ר.

צוות מטוס הצ'לנג'ר לא היה מודע לכך שהוא טס אחרי מטוס בקטגוריה HEAVY, הבחין לפתע בהטיית כנפיים חריגה בצרוף הורדת אף קלה.

הקברניט שהיה PF שם את שתי הידיים על ההגה, כאשר הוא סבור כי מדובר בתקלת היגוי. הוא ניתק את הט"א ובזמן זה המטוס גלגל שמאלה והוריד אף. הטייס הזיז את ההגה לגלגול ימינה, בכיוון הפוך לתנועת הגלגול של המטוס (שהייתה שמאלה), אבל לדבריו המטוס לא הגיב לתיקון. הקברניט ביקש מאיש הצוות השני לסייע לו, ושני הטייסים הפעילו כוח על ההגאים בכיוון הפוך לתנועת המטוס הן במישור הגלגול והן במישור העלרוד והצליחו להשתלט על המטוס, לאחר כ- 6.2 שניות. אחרי ההשתלטות הצוות שאל את הפקח אם יש לפניהם תנועה ונענו בחיוב כי ישנו מטוס **בואינג 747**, במרחק 10 מייל לפניהם.

האירוע גרם לצוות להפסיק את תהליך ההצטרפות לנחיתה. והם הופנו לכניסה מחודשת מאחורי מטוס AIRBUS 319 ונחתו בשלום בנתב"ג ללא כל אירועים דומים.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

2.3. טיסה בסביבת מערבולות קצה כנף

ככל הנראה, בסביבות גובה 10,000 רגל, בשלב הקטנת המהירות ל - 250 קשר, עלולה להיווצר סכנה לכניסה למערבולות קצה כנף WAKE TURBULENCE בהינתן שילוב של תנאים מסוימים כמפורט להלן:

- ✓ ביצוע אותו נתיב במדויק, ע"י מספר מטוסים המצטרפים לנחיתה,
- ✓ יציבות אטמוספירית,
- ✓ ללא רוח או רוח קלה,
- ✓ המערבולות נשארות במדויק על הנתיב,
- ✓ עקב תמרון הקטנת המהירות של המטוס הקדמי גדלה זווית ההתקפה על כנפיו, שגורמת להגדלת המערבולות הקיימות בעת ההנמכה,
- ✓ הקטנת המהירות מלווה בהקטנת שיעור הנמכה ובכך תורמת להישארות המערבולות בקרבת גובה הטיסה לאורך טווח גדול יחסית,
- ✓ הנמכה רדודה בשלב הקטנת המהירות משאירות מאחוריהן שובל אנכי "עבה" של מערבולות קצה כנף, תוך הגדלת ההסתברות לכניסת המטוס העוקב לתוכן.

יצרן המטוס אינו מגדיר לטייסים, בספרות ובהוראות ההפעלה, את דרך הפעולה הנדרשת שעליהם לבצע בעת כניסה למערבולות קצה כנף. אצל מפעיל המטוס נערכו דיונים בנושא והוחלט להשאיר את אופן תפעול המטוס בעת כניסה למערבולות קצה כנף, לשיקול הטייסים.

קיימות בעולם התעופה שתי גישות שונות לטיסה בסביבת מערבולות קצה כנף:

1. לאפשר לטי"א להתמודד עם ההפרעה.

2. לנתק ט"א ולהשתלט ידנית על המטוס.

בחלק מסוגי המטוסים (כתלות בתכונות הטי"א ודרך פעולתו), כאשר ההטסה מבוצעת עם ט"א מוצמד, הפעלת ההיגוי מתבצעת באופן אופטימלי גם כאשר נוצרים פיגורים ביחס למצב המטוס במרחב. במטוסים אלה, כאשר הטי"א לא מצליח להתגבר על התנועה של המטוס במרחב, הוא מתנתק מעצמו.

בהטסה ידנית (כאשר הטי"א מנותק), בדי"כ נוצר פיגור מובנה בין הפעלת ההגאים למצב המטוס. הפיגור הזה מביא לרוב לתפעול "עודף" של ההגאים ובהמשכו **תמרון חריף** שעלול להגיע עד כדי מעבר מגבולות.

במקרה הנוכחי, הצוות לא היה מודע לאפשרות של כניסה למערבולות קצה כנף, ולכן האפשרות השנייה שנותרה היא שהמטוס נכנס למצב של UPSET. בהתאם לנוהל טיפול במצב של UPSET, הטייסים ניתקו ט"א וביצעו תמרון של היחלצות.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

2.4. תפקוד הבקרים/פקחים

תקנה 26 א. לתקנות הטיס (הפעלת כלי טיס וכללי טיסה) תשמ"ב 1981 קובעת כי תקשורת רדיו-טלפון בין כלי טיס ליחידת נת"א תתבצע כקבוע בפרק 5, כרך II, של נספח 10 לאמנה (ראה סעיף 1.9).

על פי נהלי הדיבור המפורטים ב - ICAO STANDART DOC 4444, הטייס צריך בקריאה ראשונה, לדווח על קטגוריית המטוס עליו הוא טס, בצמוד לאות הקריאה (ראה נספח ב').

לדוגמה: "CAL 323 HEAVY...". כך הפקח יודע בוודאות את קטגוריית המטוס, ויודע את מרווחי הבטיחות שעליו לשמור בין המטוסים השונים.

בנהלי הפיקוח של מגדל נתב"ג, המתנייחים לטיסה בהכוונת מכ"ם, אין הגדרה שחובה לעדכן את הטייסים שטסים אחרי מטוס "כבד" כי לפנייהם נמצא מטוס "כבד", ועל האפשרות לכניסה ל - WAKE TURBULENCE של מטוס זה.

גם באירוע הנוכחי, לא נמסר מידע על ידי הפקח, לצוות מטוס הצילנר שהוא טס אחרי מטוס "כבד" (בואינג 747).

יחד עם זאת, המרחק בין המטוסים היה כ - 10 מייל, מרחק כפול ממרחק המינימום הנדרש, כך שמגבלות הבטיחות נשמרו בצורה טובה (ראה נספח א').

מניסיון טייסים ומתחקור הפקחים עולה שלעיתים הבקר/פקח מתריע ביזמתו על מטוס קדמי "כבד" תוך התראה על מערבולות אפשריות. אך כאמור לעיל, דיווח זה לא מוגדר כדיווח כחובה, ולא בוצע במקרה הנוכחי.

סיכום

הפקחים פעלו על פי הנהלים שבתוקף ואף שמרו על מרווחי בטיחות גדולים מהנדרש.

2.5. הגורם האנושי

2.5.1. כללי

הטייסים שהופתעו מהאירוע, **אבחנו אותו בתחילה כתקלת הגאים**, וביצעו פעולה תכליתית ליציאה מהמצב.

אימון הטייסים במאמן טיסה, אינו מאפשר דימוי של כניסה למערבולות קצה כנף, כך שהתגובה הראשונית של הטייס הינה לפי מה שלמד והכיר.

יתכן שאם הטייס היה מקבל דיווח על מטוס בקטגוריית HEAVY שנמצא לפניו, והיה מנתח נכון את הסיבה לגלגול והעלרוד שחווה, תגובתו הייתה יותר עדינה, ויתכן שהייתה נמנעת החריגה ממגבלות הטיסה.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

2.5.2. בחינת ה - Safety Significant Event- SSE

מתודולוגיית חקירת גורמי האנוש בתאונה, מכוונת בראשונה לזיהוי חוליות השרשרת המשמעותיות (Safety Significant Event- SSE), מתוך סה"כ החוליות שהובילו בסופו של דבר לאירוע.

בבחינת ה - SSE(s) שהיו באירוע זה, נמצאו הדברים הבאים:

✓ מניעת "הפתעות" מהטייס

באירוע זה הטייסים הופתעו מכך שהמטוס נכנס למצב UPSET. אחד העקרונות החשובים בתעופה הינו מניעת "הפתעות" מהטייס. הסטנדרטיזציה של הכללים, כתיבת הנהלים והתקנות שמאופיינת בכל תחומי התעופה, קיימים בין השאר, גם למימוש עקרון זה (מניעת "הפתעות" לטייס).

הבנת הסיטואציה ואופן תפעול המטוס ע"י הטייסים מהווה גורם בטיחותי משמעותי באופן הטיפול שלהם במצב. כמות המשתנים בסביבת העבודה של הטייסים הינה רבה, ויש לעשות כל מאמץ להקטין אותה ככל האפשר ולתת בסיס ידע מוצק לטייס, מה צפוי לו במהלך הטיסה.

טעות בתפעול, שנובעת מזיהוי שגוי של המצב, עלולה להיות קריטית ואף מסוכנת. ולכן, באבדן שליטה, חשוב מאוד שהטייס יאבחן נכון את המצב, ויפעל באופן מהיר, נכון ומדויק להחזרת המטוס לשליטה מלאה של הטייס.

במקרה הנוכחי, מידע על מטוס קדמי "כבד", היה מכין את הצוות לאפשרות שיצטרך לבצע תמרון היחלצות ממערבולות קצה כנף. יודגש כי לדברי הטייס, המחשבה הראשונה שעלתה אצלו הייתה תקלת היגוי. כאמור, **אבחנה שגויה** של המצב עלולה להיות קריטית ובמקרים מסוימים אף עלולה להוביל להחמרת האירוע.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

התייחסות ל - WAKE TURBULENCE בספרות היצרן ✓

בספרות היצרן FCOM, אין התייחסות לאופן ההתמודדות של הטייס בעת כניסה למערבולות קצה כנף של מטוס אחר. עובדה זו משפיעה ומונעת למעשה מהטייס את האפשרות להתכונן, ללמוד, ולתרגל כניסה למערבולות קצה כנף. לעומת זאת, יציאה ממצב UPSET קיימת בספרות היצרן, ואף מתורגלת במאמן טיסה. התייחסות בספרות היצרן לכניסה למערבולות קצה כנף של מטוס אחר, ככל הנראה, הייתה מאפשרת לטייס לתת מענה טוב יותר למקרים של כניסה למערבולות קצה כנף.

דיווח לטייס על מטוס "כבד" שלפניו ✓

הפקח לא נתן התראה לטייסי מטוס הצ'לנג'ר, על מטוס קדמי "כבד" שנמצא לפני המטוס שלהם. כך נוצר מצב שהטייסים לא היה מודעים לכך.

כאמור, על פי נהלי המגדל/בקרה המבוססים על הגדרות ICAO אין חובה במתן התראה כזו.

אפשרות נוספת "ליידוע" הטייסים שטסים בקרבת מטוס "כבד", יכולה להיות באימוץ הנחיות ה FAA

(נספח ב - Aeronautical Information Manual 7-4-8 c FAA) על פיהן חובה על הפקח/בקר להוסיף את המילה HEAVY לאות הקריאה של מטוס מקטגוריית מערבולות קצה כנף בהתאמה, והמלצה לטייס מטוס כזה להוסיף את המילה כאמור.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

2.6. הרגולטור

חוק הטיס והתקנות בישראל, עונים בד"כ על הדרישות והסטנדרטים שמפורסמים ע"י ICAO. הרגולטור עדיין לא בחר לאמץ את ההגדרות "החדשות" לקטגוריות מטוסים למערבולות קצה כנף של ICAO שבמקרים מסוימים מגדילות את מרחקי ההפרדה בין קבוצות השונות של המטוסים (ראה נספח א').

בסמכות כל מדינה לפרט ולהוסיף הנחיות חוקים, נהלים ותקנות בעיקר כאשר התרומה המתקבלת הינה העלאת רמת הבטיחות הטיסה. מתן אפשרות לטייס לדעת כי לפניו נמצא מטוס "כבד" יכולה לתרום לבטיחות הטיסה. מידע זה יכול להתקבל באחת משתי דרכים:

1. ע"י הפקח.
2. ע"י דיווח של הטייס במטוס "הכבד" (בכל דיווח), שהוא מטיס מטוס "כבד", ובכך לאפשר לשאר הטייסים שבסביבתו לבנות "תמונה אווירית", שלפניהם או בקרבתם נמצא מטוס "כבד".

כאמור, הרגולטור פועל במדויק לפי הגדרות ICAO כלומר הטייס מדווח בקריאה ראשונה את אות הקריאה בצירוף המילה HEAVY.

3. ממצאים ומסקנות

3.1. ממצאים

- 3.1.1. הצוות החזיק ברישיונות תקפים והיה כשיר לביצוע הטיסה.
- 3.1.2. המטוס היה שמיש, וכשיר לטיסה.
- 3.1.3. משקל המטוס ומרכז הכובד היו במגבלות.
- 3.1.4. מטוס הצ'לנג'ר, הנמצא בהגדרות מערבולות קצה כנף בתחתית קבוצת ה"בינוני" לפי ICAO ובראש קבוצת ה"קטן" לפי ה-FAA, הנמך ישירות מאחורי מטוס בואינג 747 המוגדר כ"כבד". שני המטוסים ביצעו נתיב זהה ובעת התרחשות האירוע, הטווח בין שני כלי הטיס עמד על כ-10 מיילים.
- 3.1.5. טייסי מטוס הצ'לנג'ר, לא היו מודעים למטוס "כבד" לפנייהם.
- 3.1.6. בסבירות גבוהה מאד המטוס האירוע לא נבע מתקלת היגוי. בהגעה למהירות 250 קשר נכנס מטוס הצ'לנג'ר למערבולות קצה הכנף של מטוס בואינג 747 (הקדמי), תוך הטיה פתאומית חריפה שמאלה והורדת אף.
- 3.1.7. ככלל, שלב הקטנת המהירות המתרחש בדרך כלל בסביבות גובה 10,000 רגל, עלול להוות אזור סכנה לכניסה ל- WAKE TURBULENCE, במיוחד בנתיבי ההצטרפות והגישה לנחיתה (ראה סעיף 2.3).
- 3.1.8. התקרית אירעה עקב שילוב מספר גורמים, כמוזכר לעיל, למרות שכולם התקיימו ללא חריגה ובהתאם לנהלי פיקוח הטיסה המבוקרת מכ"ם.
- 3.1.9. היצרן, חברת Bombardier, לא מגדיר בספרות הנחיות לטייס לתפעול המטוס בעת כניסה למערבולות קצה כנף, לעומת מצב של UPSET שבו מוגדר לטייס דרך הטיפול הנדרשת.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

3.2. מסקנות

3.2.1. הטייסים של מטוס הצילנר הופתעו מהתמרון הפתאומי של מטוסם וביצעו תמרון היחלצות ממצב שאבחנו כחריג (UPSET) תוך כדי ההיחלצות, המטוס ביצע 3.93 g חיובי ו- 2.25 g שלילי.

3.2.2. המרחק בין המטוסים היה כמעט כפול מטווח המינימום המוגדר, מה שהוסיף להפתעת הטייסים ולביצוע תמרון היחלצות כאמור.

3.2.3. מודעות הטייסים של מטוס הצילנר לכך שהם נמצאים אחרי מטוס "כבד" הייתה יכולה לתרום לאבחנה יותר מהירה ומדויקת של המצב.


3.2.4. למרות האמור לעיל, מדובר בתקרית בודדת על פני תקופה של יותר מעשר שנים. במצב כזה צוות החקירה לא מצא לנכון להמליץ על שינוי נהלי הפיקוח והתעבורה.

3.2.5. הגדרת היצרן להנחיות לטייס לדרך תפעול המטוס בעת כניסה למערבולות קצה כנף, יכולה לתרום לתפעול נכון ומהיר יותר של הטייס.

4. המלצות

- 4.1 להגדיר בספר היצרן FCOM נהלי היחלצות ממערבולות קצה כנף.
באחריות: היצרן BOMBARDIER מועד ביצוע מומלץ: 31.8.2024

ב ב ר כ ה ,



מנהל הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

תאריך: 14.2.2024 סימוכין: 4000-0098-2024-0000119

החזרת חפצים שנתפסו במהלך חקירה בטיחותית

בהתאם לסעיף 114(ב)(5) – (7) לחוק הטיס, התשע"א – 2011, מנהל הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה 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 חשבוננו. בקשה להשבתם יש להגיש לרשות לחקירה בטיחותית בתעופה, 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.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

נספח א'

קטגוריות מטוסים מערבולות קצה כנף מתוך Eurocontrol SKYBRARY Foundation

All aircraft generate vortices at the wing tips as a consequence of producing lift. The heavier the aircraft and the slower it is flying, the stronger the vortex. Among other factors, the size of the vortex is proportional to the span of the aircraft which generates it.

At low altitudes, vortices generally persist for as long as 80 seconds, but in very light or calm wind conditions, they can last for up to two and a half minutes. Once formed, vortices continue to descend until they decay (or reach the ground). Decay is usually rapid and occurs more quickly in windy conditions. Cross-winds can carry a vortex away from the flight path of the aircraft.

Wake vortices are also a hazard at en-route altitudes:

Encountering the sudden uncommanded roll which can be induced when an aircraft encounters [wake turbulence](#) from an aircraft on a similar track ahead, can lead to [loss of control](#). Prescribed separation for aircraft, receiving an [air traffic control \(ATC\) service](#), do not necessarily provide sufficient separation to remove the risk of loss of control.

Under a system promulgated by the [International Civil Aviation Organisation \(ICAO\)](#), minimum separation between fixed wing aircraft on approach to land, or on take off into initial climb, are defined by the use of aircraft categories based on aircraft maximum take-off mass (MTOM) (see [ICAO Wake Turbulence Category](#)). This is judged to be a suitable proxy for the strength of the turbulence which may be created, behind large jet aircraft at relatively slow speeds, by the generation of wing tip wake vortices. The careful observance of these separation minima has prevented loss of control, as a consequence of wake turbulence encounters in the flight phases where they apply, but when they have been ignored, fatal accidents have followed sudden and rapid uncommanded rolls.

The distance between two aircraft on arrival or departure is used where radar separation of traffic is being applied and the time between the successive passage of two aircraft at a point is used where procedural separation applies. Since relatively few airports routinely use radar separation for take off and initial climb, the practical effect of this distinction on IFR traffic is that wake turbulence separations between arriving aircraft are based upon distance and those between departing aircraft are by time interval - at rotation, since this is where wake vortices begin.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

The potential for hazardous wake vortex turbulence is greatest where aircraft follow the same tracks - i.e are 'in trail' and closely spaced. This situation is mostly encountered close to the ground in the vicinity of airports where aircraft are on approach to or departure from particular runways at high frequencies. Sudden uncommanded roll moments may occur which, in extreme cases, can be beyond the absolute power of the flying controls or the prevailing response of the flight crew to counteract. The high rate of roll may cause uncommanded disconnection of the Autopilot and transient or terminal loss of control can result in terrain impact in rare cases. En route in-trail uncommanded roll can be similarly caused to smaller aircraft by the effect of larger ones, which may be ahead at a higher level. Note that if the generating aircraft is climbing or descending rapidly (greater than 1000 fpm) then a significant wake vortex may persist across several flight levels. If the generator aircraft is descending, this means that a WVE can occur above the position of the generator aircraft at the time of the encounter. The greater longevity of vortices at higher cruise altitudes can lead to encounters at much greater in track separation than ATC separation minima if the prevailing wind speeds are low.

Separation Criteria

Under standard ICAO criteria, wake turbulence separation, for arrival or departure, can be charted as follows:

Preceding Aircraft	Following Aircraft	Minimum Separation
HEAVY	HEAVY	4.0 NM
HEAVY	MEDIUM	5.0 NM
HEAVY	LIGHT	6.0 NM
MEDIUM	LIGHT	5.0 NM

Note: The separation minima described in this article are based on the aircraft categorization into 4 categories (Super, Heavy, Medium and Light). Additional minima are defined by ICAO in case wake turbulence groups A to G are used. The use of these groups is subject to the approval by the appropriate ATS authority.

**משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה**

RECAT-EU is also integrated in the recently published ICAO enhanced wake separation minima based on wake turbulence group (Amendment 9 to Doc 4444 PANS-ATM edition from Nov. 2020).

All aircraft types certificated prior to 01 January 2013 have been assigned to one of the new categories, with examples provided in the table below:

Super Heavy	Upper Heavy	Lower Heavy	Upper Medium	Lower Medium	Light
CAT-A	CAT-B	CAT-C	CAT-D	CAT-E	CAT-F
AIRBUS A-380-800	AIRBUS A-330-200	AIRBUS A-300-600	AIRBUS A-318	ATR ATR-42-300/320	DASSAULT Falcon 10

An Empty Field Indicates Minimum Radar Separation

Leader/Follower	CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E	CAT F
CAT A	3 NM	4 NM	5 NM	5 NM	6 NM	8 NM
CAT B		3 NM	4 NM	4 NM	5 NM	7 NM
CAT C			3 NM	3 NM	4 NM	6 NM
CAT D						5 NM
CAT E						4 NM
CAT F						3 NM

להלן ציטוט מתוך ICAO PANS ATM- DOC 4444 (בהתייחס לחלוקה "החדשה")

RECAT- Re-categorisation

4.9.1 Wake turbulence categories and groups of aircraft

4.9.1.2 **When approved** by the appropriate **ATS authority**, wake turbulence separation minima may be applied utilizing wake turbulence groups and shall be based on wake generation and resistance characteristics of the aircraft. These depend primarily on maximum certificated take-off mass, wing characteristics and speeds. The group designators are described as follows:

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

הערה: מדינת ישראל לא אימצה עדיין את החלוקה "החדשה" של קטגוריות המטוסים למערבולות קצה כנף (כפי שמופיעות להלן):

GROUP A - aircraft types of 136,000 kg or more, and a wing span less than or equal to 80 m but greater than 74.68 m;

GROUP B - aircraft types of 136,000 kg or more, and a wing span less than or equal to 74.68 m but greater than 53.34 m;

הערה: על פי החלוקה "החדשה", מטוס ה - **בואינג 747-400** משויך לקבוצה **B**.

GROUP C - aircraft types of 136,000 kg or more, and a wing span less than or equal to 53.34 m but greater than 38.1 m;

GROUP D - aircraft types less than 136,000 kg but more than 18 600 kg, and a wing span greater than 32 m;

GROUP E - aircraft types less than 136 000 kg but more than 18 600 kg, and a wing span less than or equal to 32 m but greater than 27.43 m;

GROUP F - aircraft types less than 136 000 kg but more than 18 600 kg, and a wing span less than or equal to 27.43 m;

GROUP G - aircraft types of 18 600 kg or less (without wing span criterion).

הערה: על פי החלוקה "החדשה", מטוס ה - **CHALLENGER 300** משויך לקבוצה **G**.

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

- Aircraft new categories examples:

CAT A	 A124	 A380
CAT B	 A332	 B744
CAT C	 MD11	 B763
CAT D	 B738	 A320
CAT E	 E190	 AT45
CAT F	 SF34	 LJ35

דוגמאות של סוגי מטוסים לפי קטגוריית מערבולות קצה כנף "החדשה"

על פי ה FAA קיימת חלוקה שונה לקטגוריות מטוסים למערבולות קצה כנף
להלן טבלת השוואה בין הגדרות ה – FAA ל – ICAO, של טווחי המינימום המוגדרים
בשתי הקבוצות בין מטוס קדמי המוגדר HEAVY למטוס עוקב המוגדר M או S + זהים.
עם זאת מיקום הצילנר בתחתית קבוצת ה – Medium (ICAO) על פי משקלו שקרוב
יותר לתחום הנמוך של הקבוצה, מצביעה על רגישות גבוהה יותר להשפעות
.Wake Turbulence

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

FAA Aircraft Weight Class			ICAO WTC		
Code	Class	MTOW	Code	WTC	MTOM
J	Super	A380-800 and An 225	H	Heavy	≥ 136,000 kg
H	Heavy	≥ 300,000 lb (136,000 kg)			
L	Large	< 300,000 lb (136,000 kg), > 41,000 lb (18,600 kg)	M	Medium	< 136,000 kg, > 7,000 kg
S	Small+	≤ 41,000 lb (18,600 kg), > 12,500 lb (5,670 kg)			
	Small	< 12,500 lb (5,670 kg)	L	Light	≤ 7,000 kg

מגבלות מרחקי הפרדה בשלב הגישה או העזיבה (FAA)

8.7.3.4 When using wake turbulence categories contained in Chapter 4, 4.9.1.1, the following distance-based wake turbulence separation minima shall be applied to aircraft being provided with an ATS surveillance service in the approach and departure phases of flight in the circumstances given in 8.7.3.6.

Aircraft category		Distance-based wake turbulence separation minima
Preceding aircraft	Succeeding aircraft	
SUPER	HEAVY	9.3 km (5.0 NM)
	MEDIUM	13.0 km (7.0 NM)
	LIGHT	14.9 km (8.0 NM)
HEAVY	HEAVY	7.4 km (4.0 NM)
	MEDIUM	9.3 km (5.0 NM)
	LIGHT	11.1 km (6.0 NM)
MEDIUM	LIGHT	9.3 km (5.0 NM)

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
הרשות לחקירה בטיחותית בתעופה

נספח ב'

תקשורת בין טייס המטוס HEAVY לבין הפקח בקטגוריה, על פי ה- ICAO
להלן תקשורת מתוך ICAO STANDART DOC 4444

4.9.2 Indication of super or heavy wake turbulence category

For aircraft in the SUPER or HEAVY wake turbulence categories, the word "super" or "heavy" shall be included, as appropriate, immediately after the aircraft call sign in the initial radiotelephony contact between such aircraft and ATS units.

4.11.3 Radiotelephony procedures for air-ground voice communication channel changeover

When so prescribed by the appropriate ATS authority, the initial call to an ATC unit after a change of air-ground voice communication channel shall contain the following elements:

- a) designation of the station being called;
- b) call sign and, for aircraft in the SUPER and HEAVY wake turbulence categories, the word "super" or "heavy" respectively;

להלן הנחיות ה- FAA בדבר אחריות דיווח בהתייחס למטוס HEAVY בהתאם לסעיף
7-4-8 ב- AERONAUTICAL INFORMATION MANUAL :

c. For operations conducted behind **super** or **heavy** aircraft, ATC will specify the word "super" or "heavy" as appropriate, when this information is known. Pilots of **super** or **heavy** aircraft should always use the word "super" or "heavy" in radio communications.

סיכום :

על פי ה- ICAO הטייס נדרש לציין "HEAVY" רק בקריאה הראשונה לפקח. אין הנחיות דיווח החלות על הפקח.
על פי ה- FAA על הטייס מומלץ לציין "HEAVY" בכל תקשורת עם הפקח ועל הפקח חובה להוסיף את המילה HEAVY לאות הקריאה כאמור בכל קריאה.