

## דוח חקירה בטיחותית

תיק תקרית חמורה מס' 14-08

- התקררות לפני הצנחה -

10.4.08	תאריך
צסנה 208B	סוג כלי הטיס
4X-CSX	סימן רישום
מעל חוף הבונים	מקום האירוע

לצורכי בטיחות בלבד

## דוח חקירה בטיחותית תיק תקרית מס' 14-08

ארעה למטוס צסנה 208 בעת יעף הצנחה,  
בתאריך 10.4.08, מעל חוף הבונים

### 1. תקציר האירוע

במסגרת ההכנות לחגיגות ה-60 למדינת ישראל, התאמנו מדריכי צניחה של צה"ל וצנחנים ותיקים, באיגוד הצניחה, לביצוע צניחה חופשית, מגובה 14,000 רגל. האימון בוצע במועדון הצניחה שליד חוף הבונים. ההמראה חלפה ללא אירועים מיוחדים. לקראת גמר הטיפוס, בגובה 13,500 רגל, לפני ביצוע יעף הצנחה, נקלע המטוס לתנאי התקרחות וגלגול כנפיים, תוך איבוד גובה. הטייס החליט לבצע ניסיון נוסף וחזר לטפס לסבב נוסף, מתוך כוונה לבצע את הצנחה. לקראת מתן ההוראה להצנחה, הפעם ב-12,000 רגל, חזרה התופעה בשנית. הטייס אישר לצנחנים לצאת מהמטוס, מעט קודם לנקודת הצנחה המתוכננת, תוך שהמטוס נמצא בהטיות חריפות ובטיסה בלתי יציבה. לא היו פגיעות בנפש. הטייס הצליח לייצב את המטוס ולנחות בשלום.



מטוס הצסנה קראון המעורב באירוע



מבנה צנחנים בצניחה חופשית

## 2. מידע עובדתי

### א. השתלשלות האירועים

במסגרת פעילות המרכז לצניחה חופשית, תוכננה טיסה להצנחה של 16 צנחנים. המטוס תודלק ב- 850 ליברות דלק (מספיק לחמישה יעפים נוספים) וההמראה חלפה ללא אירועים מיוחדים.

ההמראה בוצעו באותו יום חם ברוח מזרחית של כ- 15 קשרים. בהמראה הנדונה היו כ- 10 קשר רוח אף צפונית. שרר אובך - "יום ללא אופק".

בוצע טיפוס רגיל בתנאי VMC (נתקבל אישור "פלוטו" לטיפוס עד גובה 14,000 רגל) כאשר במהלכו הבחין הטייס באובך נוסף, בקו ההצנחה הראשון.

בגובה 12,500 רגל, פנה הטייס בפנייה שמאלית לכיוון 180 תוך המשך טיפוס לגובה ההצנחה - 13,500 רגל. כ- 3 מייל צפונית לנקודת ההצנחה המתוכננת. בגובה 12,700 רגל, הבחין הטייס שהאובך הפך להיות משמעותי יותר וכן מתחיל ערבול קל עד בינוני, שקיבל ביטוי בתנודות של המטוס.

בהמשך, הבחין הטייס כי החלה להיווצר שכבת קרח דקה על שפת ההתקפה ועל סמוכות הכנף (תופעת "התקרחות"), ועל כן הפעיל את חימום הפיטו וצופר ההזדקרות והמשיך טיפוס לגובה 13,500 רגל לכיוון נקודת ההצנחה, על-מנת לצאת מאזור הערבול והאובך. כמייל אחד לפני נקודת ההצנחה, הוריד הטייס מדפים ל- 10 מעלות והתייצב במהירות 80 קשר, תוך הפעלת האור ה"אדום".

**הערה:** המהירות באירוע הייתה 80-85 קשר וטורק (TQ) 500. התצורה הסטנדרטית, 10 מעלות מדפים הורדו לפני ה"אדום". IAT היה: 2 מעלות. במשקל שבו היה המטוס, מהירות ההזדקרות היא 64 קשר.

במרחק של 2.5 מייל מנקודת ההצנחה, הטייס החליט לבצע את היעף במהירות ובכח גבוהים מהמקובל, וזאת כדי לשפר את השליטה במטוס. הטייס ייצב את המטוס במהירות 100-105 קשר וב- TORQUE 700 (במקום 500) והנמיך באופן יזום עד לגובה 11,500 רגל, לצורך הסרת קרח ולהפחתת הערבול.

במרחק של 1 מייל מנקודת ההצנחה הפעיל הטייס את האור האדום ומיד אחר כך גלגל המטוס חריף ימינה, ללא שליטה, ואח"כ שמאלה. הטייס ניסה לייצב את המטוס והחליט על הפעלת האור הירוק 0.2 מייל לפני הנקודה המתוכננת, לצורך הוצאה מהירה של הצנחנים. הצנחנים יצאו מהמטוס תוך שהמטוס מבצע טיפות חריפות וטיסה בלתי מיוצבת. לאחר שיצא אחרון הצנחנים, הטייס ייצב את המטוס, הנמיך ונחת בשלום במנחת הבונים.

רק לאחר הנחיתה, בתחקור שנעשה במועדון, הובחר לטייס כי התופעות שחווה נבעו מהתקרחות הכנפיים ואולי אף הפרופלור.

### ב. מידע על הטייס

- 1) נושא רישיון פרטי מס' 4072 עם הגדרים לקבוצות א', ב', ד' ומכשירים.
- 2) נושא רישיון הדרכה מס' 856 לחד- מנועי ולמכשירים.
- 3) ניסיון טיסה כולל בן 14,000 שעות לערך, מהן 750 על המטוס נושא האירוע.
- 4) תדירות טיסות על צסנה 208 – כחמש שעות שבועיות.
- 5) תעודה רפואית בתוקף עד 15.11.08.

### ג. מידע על המטוס

- 1) המטוס מסוג צסנה 208B, שנת ייצור 1997, מס' סידורי 208B0620, רשום בתעודה מס' 1239, על שם אייר פרדייב בע"מ, החל מ- 4.4.2005.
- 2) המטוס תוחזק במכון בדק מאושר ובתאריך 13.4.08 הוצאה לו תעודת כושר טיסה אחרונה.

### ד. מידע על מזג האוויר

- 1) ביום האירוע נשבה רוח מזרחית, בעוצמה של 15 קשרים לערך. בהמראה נשבה רוח אף צפונית בעוצמה של 10 קשרים.
- 2) הראות הייתה מוגבלת בשל אובך שהיה באוויר, כהגדרת הטייסים "יום ללא אופק".
- 3) בגובה 12,700 אובחן אובך משמעותי מלווה בערבול קל עד בינוני שקיבל ביטוי בתנודות לא רצופות של המטוס.

### 3. ניתוח

א. בשל אופייה האקלימי של הארץ, כל נושא ההתקררות במטוסים אינו מקבל תשומת לב מתאימה או מיוחדת. בהעדר הכנה מוקדמת לאפשרות של התקררות כנף/פרופלורים באוויר, תופעה שבעטיה מזדקר המטוס במהירויות גבוהות בהרבה מאלה שהטייס רגיל אליהן, תגובותיו יכולות להיות כאלו שאינן מתאימות למצב.

הכנה מוקדמת של טייסים לאפשרות של הזדקרות עקב המצאות קרח בכנפיים/פרופלורים, הייתה מצביעה על כך, שגם הסימנים טרום הזדקרות שונים מאלה שמתרחשים בהזדקרות רגילה, ובפרט לעובדה, שההזדקרות המתקבלת חריפה ומלווה בטלטולים עד לייצוב המטוס.

ב. הטייס שהיה מעורב באירוע שם לנגד עיניו לבצע את משימת ההצנחה **בכל מחיר**, וחרף העובדה שניסיונו הראשון לייצב את המטוס כשל, הוא לא בחן לעומק את הסיבה לכך והחליט לבצע גישה נוספת.

ג. לאחר המקרה בוצע תחקור ראשוני של האירוע בחברה. התחקור הועבר לרשותנו ומצאנו שהוא מיקד את טעויות הטייס אחת לאחת ועל כן לא מצאנו לנכון להרחיבו מעבר לצורך לתת ביטוי תיאורטי לתופעת ההזדקרות הקשורה בהתקררות, כפי שקבלה ביטוי בדוח זה. מסקנות האירוע שלהלן, כוללות את ממצאי תחקיר החברה.

#### ד. הזדקרות מטוס כתוצאה מהתקררות

מחקר שערך נאס"א בסימולטור לטייסי חברות תעופה (פרק 12 ו- 13) עימת טייסים עם הזדקרות שנבעה מהתקררות ומצא, שפחות ממחציתם הצליחו להיחלץ ממצב זה. על פי הדו"ח, "הטייסים נטו להגיב לפי מה שאומנו למצבים מוזרים והיחלצות מהזדקרות, אך הם לא השלימו פעולות המתחייבות מהזדקרות הנובעת מהתקררות ומתגובות ניהוג בלתי נשלטות. אימוני היחלצות מהזדקרות רגילה מתמקדים בפתירת מקסימום כוח ומינימום גובה לטובת המהירות".

הרוב המוחלט של הטייסים אומנו להגיב בסימולטור לאינדיקציה הראשונה של הזדקרות באמצעות הוספת כוח מקסימאלי ושמירת מצב האף, במטרה להקטין למינימום את אובדן הגובה. בתיאוריה, המטוס יאיץ למהירות גבוהה יותר, תוך הקטנת זווית ההתקפה.

אגב - אופן היחלצות זה נגזר מתקן המבחן המעשי של ה- FAA, הדורש היחלצות שתתחיל מיד עם האינדיקציה הראשונה, תוך אובדן גובה מינימאלי.

הזדקרות שמקורה בהתקררות מלווה בסימני אזהרה מועטים וכמעט בלתי מורגשים, אם בכלל. ההשפעה הראשונה של הצטברות קרח היא בדרך כלל הפחתה בזווית ההתקפה הקריטית להזדקרות, המביאה לעליה במהירות ההזדקרות.

אם הטייס, באופן בלתי מודע, מאפשר למטוס להגיע לזווית ההתקפה המופחתת הקריטית, התוצאה הסבירה היא גלגול אלים בלתי נשלט, רעידות או "רמזים" אווירודינמיים אחרים, ללא הפעלת הסטיק "שייקר" (במטוסים שבהם הוא מותקן). החפחה בזווית ההתקפה הקריטית של הכנף, בה הכנף מזדקרת, כמו גם העלייה במהירות ההזדקרות, עלולות להיות משמעותיות. ממידע שנאסף ממטוס ATP (האח הגדול של הג'יטסטרס), שהיה מעורב באירוע הזדקרות עקב התקררות ב - 1991, עלה כי ההזדקרות החלה במהירות של 140 קשר, **בשעה שמהירות ההזדקרות הרגילה של המטוס היא 110 קשר!**

מומחי תעופה סברו בעבר, כי תופעה זו מתרחשת רק בתנאי התקררות חמורים. אלא שעם הזמן הוכח, כי מקרים של גלגול בלתי נשלט אירעו גם במצבים של הצטברות קרח **שבקושי נראה**. על פי ניסיונו של טייס ניסוי, הטס על ביצ'קראפט קינג-אייר עבור המרכז לחקר האטמוספירה, "פחות מ- 1.5 מ"מ של קרח עלול להפחית את עילוי הכנף בכ - 25%. קשה להבחין בכמות כה קטנה, אך המשמעות היא עליה של 20% במהירות ההזדקרות".

חשוב לציין כי השינוי בזווית ההתקפה הקריטית של הכנף עלול לקרות ללא אינדיקציה חזותית או כזו שבאה לידי ביטוי בביצועי המטוס. מתוך ממצאי חקירות במקרים רבים, עולה, שההזדקרות אירעה ללא מתן התרעה כלשהי לצוות. טייסי ניסוי גילו כי הרמזים להזדקרות עקב קרח עלולים להיות שונים בתכלית מהרמזים להזדקרות רגילה, כפי שמתנסים בהם בסימולטור. בהתחשב בניסיון זה, אין זה מפתיע שנגרמו תאונות בהן ההזדקרות החלה לפני כניסה לפעולה של ה"סטיק שייקר" במטוסים שצברו קרח.

על פי ניסיונו של טייס הניסוי הראשי של ה - FAA למטוסים קטנים, "טייסים צריכים להטיס את המטוס באופן ידני בתנאי התקררות, כיוון שתחושת הגאים ספוגית או תנודות קטנות בהגאים עשויים לרמוז על התפתחות הזדקרות עקב קרח". כשהטייס האוטומטי משולב, אין לטייס תחושת הגאים, והטייס האוטומטי מפצה על תנודות אלה, עד מצב שהוא מגיע לקצה תחום הקיזוז. הפרעה פתאומית ומשמעותית של היגוי עלולה להפתיע את הטייס, אם הטייס האוטומטי מגיע לגבולות כוח הקיזוז שלו ומתנתק אוטומטית. הטייס עלול להיות מופתע באותה מידה כשינתק באופן מכוון את הטייס האוטומטי וימצא עצמו במצב הגאים קיצוני שלא הורגש קודם לכן.

#### **מדוע הזדקרות עקב קרח לא מספקת רמזים קודם לקרותה?**

רוב מערכות ההגנה נגד הזדקרות מכוילות למצב הנקי של המטוס, ללא קרח, וככאלה, הן לא מגיבות כאשר חלה הזדקרות עקב קרח. בסוגים מסוימים של מטוסים ישנן מערכות כפולות, המכוילות למצב נקי או למצב עם קרח, בו התראת ההזדקרות תפעל לפני הזווית המכוילת למצב היבש. המעבר בין המצבים יהיה כאשר הטייס יפעיל את מערכות חימום כונסי המנוע.

חיסרון נוסף בהתמודדות עם הזדקרות עקב קרח, נובע מהניסיון של הטייס למנוע אובדן גובה בכל מחיר. ניסיון זה עלול להחמיר את ההזדקרות ולהביא לאובדן שליטה. על פי ניסיונו של מומחה בטיחות ב - FAA, "הזדקרות עקב קרח חמורה ביותר, כי אינך יכול לשמור על גובה על ידי שמירה על מצב האף. ניסיון כזה עלול להביא לאובדן שליטה ואובדן גובה של יותר מ - 5,000 רגל במטוסי טורבו-פרופ. טייסי טורבו-פרופ צריכים להיות מודרכים לכך, שהם עשויים להידרש לוותר על גובה בתמורה למהירות כאשר ההזדקרות קורה בתנאי התקרחות".

כאילו לא די בזה, ההיחלצות מהזדקרות עקב קרח במטוסי טורבו-פרופ מושפעת לרעה בשל הצטברות קרח על הפרופלורים. להבי הפרופלור מתחילים להזדקר בזוויות לתב גדולות המקושרות למומנט פיתול גבוה, כך שנוצר סחב שהוא פחות מ - 100%. לעיתים, מקסימום הסחב בתנאים אלה מגיע ל - 85% בלבד. בנוסף, קרח על חלקי הלהב הלא מוגנים בחימום מפחית את הסחב עוד יותר. ניסויים הראו כי במצב כזה, הסחב עלול לפחות ב - 20%, גם כאשר להבי הפרופלור אינם מזדקרים. קרח על הלהבים, המשולב בהצטברות קרח על חלקי מבנה אחרים, מהווה אם כן עונש כפול למטוסי טורבו-פרופ.

חלק גדול מהזדקרויות מושרות הקרח הביא ל"גלגול אליים" של המטוס שנגרם בחלקו בשל אפקט הזרימה מהפרופלור ונטיית הכנף להתחיל את הזדקרותה בתנאים אלה מקצה הכנף. המעטפת האווירודינמית בקצה הכנף שונה מהותית מזו שבשורש הכנף - היא דקה יותר, בעלת מיתר קצר יותר, בעלת דיהדראל שונה בדרך כלל, ובעלת פיתול של 2-3 ביחס לשורש הכנף. בשל העובדה שקצה הכנף בעל שפת התקפה חדה יותר ומיתר קצר יותר, הוא נוטה לאסוף קרח מהר יותר וביעילות גבוהה יותר. הקרח המצטבר עלול להיות עבה יותר, להימשך אחורה יותר על פני המיתר האווירודינמי ולהיות בעל השפעה רבה יותר מאשר קרח בשורש הכנף. לפיכך, הזדקרות קרח מתחילה מקצה הכנף, בשונה מהזדקרות רגילה המתחילה בחלקים הפנימיים של הכנף. מטוסי טורבו-פרופ רגישים יותר להתקרחות גם בשל העובדה שהם "מבלים" זמן רב יותר מסילונים באזורי התקרחות, שכן הסילונים טסים בדרך כלל מעל לגובה זה.

בנוסף, מחקר של נאס"א הראה שתנאי התקרחות קלים לסילונים, עלולים להיות בינוניים עד חמורים לטורבו-פרופים, כיוון שהם נוטים לאסוף קרח יותר מסילונים, גם בשל מבנה הכנף הישר, לעומת זה המשוך לאחור של הסילונים, וגם בשל הפרופלורים. על פי ה - FAA, היחלצות מיידית מהזדקרות עקב קרח תהיה היעילה ביותר, כאשר:

■ עם גילוי הסימן הראשון להזדקרות, הטייס דוחף את האף מטה ומיישר כנפיים, תוך הגברת מהירות הפרופלורים (speeds high) והוספת כוח, עד לעליה מספקת במהירות. ברוב המקרים, האף ייפול ממילא, עקב ההזדקרות, אך הדבר יקרה ללא הפחתה מספקת בזווית ההתקפה, שתחייב שינוי אף-מטה נוסף.

אם אין אפשרות להוריד את האף, יש להוריד מדפים שלב אחד ואז להוריד האף כדי לצבור מחירות. לאחר ההיחלצות, יש להרים מדפים.

החשיבות של הורדת האף להקטנת זווית ההתקפה היא מרכיב חיוני ביותר בהיחלצות מהזדקרות עקב קרח, כפי שהוכיח מקרה של מטוס ברזיליה ב - 1998. במהלך ההזדקרות, המטוס נטה 65 מעלות ימינה, ואח"כ 45 מעלות שמאלה. הטייס לא הצליח להיחלץ על ידי הוספת כוח ל - 100% ושמירה על מצב האף. למעשה, העלאת הכוח ל - 100% מומנט הביאה לעליה רגעית עד 150% מומנט(!), אך גם היא לא הביאה להעלאת המהירות למצב המאפשר היחלצות. רק הורדת שלב מדפים למצב הגישה, שהעלתה את מקדם העילוי, והורדת האף, אפשרו להקטין את זווית ההתקפה והטייס הצליח להשתלט על המטוס.

### עפ"י נאס"א, אלה הכללים להתמודדות עם הזדקרות מושרית קרח:

- 1) לנסות להימנע מכניסה לתנאי התקררות ידועים, גם כאשר המטוס מצויד בציוד המתאים. מעטפת אווירודינמית נקייה היא עדיין הביטוח הטוב ביותר כנגד התקררות חמורה.
- 2) להקטין למינימום את צבירת הקרח על ידי הפעלה נכונה ובזמן של הציוד נגד התקררות. הפעלה כזו היא קריטית לשמירה על המטוס.
- 3) להיות תמיד קשובים להתנהגות המטוס, יציבותו ושליטתו. לאור זאת, מומלץ תמיד לחטיס ידנית בכניסה לתנאי התקררות, כיוון שהטייס האוטומטי "מסתיר" את התיקונים הנדרשים לשינוי ההתנהגות עקב הצטברות קרח. יש להיות רגישים לשנויים בתגובות ההיגוי, הן במישור העלרוד והן במישור הגלגול, ובכל מצב של שינוי תצורה.
- 4) אם המטוס משנה התנהגותו בעת שינוי תצורה, יש לחזור לתצורה הקודמת.
- 5) אם הטייס חווה גלגול אלים בלתי נשלט, עליו לזכור שהדבר החשוב ביותר הוא הקטנת זווית ההתקפה על ידי הורדת האף, יישור הכנפיים והוספת מקסימום כוח. זווית ההתקפה חייבת לרדת מתחת לזווית ההזדקרות - יש להוריד את האף ולהחזיק מצב זה עד להיחלצות.



#### 4. מסקנות

- א. **התקריט מאופיינת כאישית צוות אוויר של הטייס**, נבעה עקב הכרות מוגבלת עם תופעת ההתקררות, אי זיהוי הגורם שבעטיו גלגל המטוס באופן חריף ימינה, בקו ההצנחה הראשון, והתעקשות הטייס לבצע יעף נוסף למרות האירועים שחוזה והתנהגות המטוס ביעף הראשון. **לגורמי הניהול המקצועיים במועדון הצניחה תרומה מסויימת לאופן ההתייחסות לתופעה בקרב הטייסים.**
- ב. **תכנון משקל ההמראה**, קרוב למרבי, לא הביא בחשבון טיסה בתנאי התקררות, למרות שהנתונים היו ידועים.
- ג. **המטוס תופעל בתנאי סביבה מגבלתיים**, בשילוב עם ביצועי מטוס מגבלתיים, ללא מודעות של הטייס לשילוב הנייל, לתופעה ולהשפעותיה.
- ד. **חرف העובדה שטיסות הצנחה מבוצעות בגבהים בהם קיימת תופעת התקררות**, לא הושם דגש בחברה על זיהוי התופעה ועל ההחלטות שצריכות להתקבל, אם וכאשר מוברר כי המטוס נמצא בהתקררות.
- ה. **חתך הטיסה האופייני בטיסות ההצנחה כולל תמיד שהייה בגבהים בהם גם בישראל קיימת סבירות מספקת כדי להביא לכך שיהיה בחברת הטיסה הנדונה נוהל שעל-פיו יש להפעיל תמיד ולפני כל המראה את כל האמצעים הקיימים, במטוס זה, להתמודדות עם תופעת ההתקררות**, מה גם שמלכתחילה אינם נותנים מענה לכל מצבי ההתקררות בהם הוא מתופעל.
- ו. **המטוס גלגל בחריפות כתוצאה מהצטברות קרח על הכנפיים וכנראה גם על הפרופלור.**

## 5. המלצות

### המלצה 1

להכין תדריך מסודר בנושא התקרחות, שישולב בספר העזר המבצעי של החברה. התדריך יכלול מידע תיאורטי על התופעה ועל מגבלות התפעול בהתרחשותה.

מועד ביצוע: 1.11.08

אחריות: מנהל רת"א

### המלצה 2

להכין תדריך משקל ואיוון ולשלב בספר העזר למבצעים. התדריך יכלול התייחסות לכל שלבי הטיסה ובכלל זה: המראה, טיפוס, הצנחה וגם מצב של נחיתה עם צנחנים.

מועד ביצוע: 30.11.08

אחריות: מנהל רת"א

### המלצה 3

לקבוע נהלים ברורים שיסייעו בקבלת החלטות בדבר ביצוע מתוכנן של משימת ההצנחה או שינוייה/ביטולה, בהתבסס על תנאי סביבה/מזג-אוויר, המתפתחים קרוב לנקודת ההצנחה.

מועד ביצוע: 30.11.08

אחריות: מנהל רת"א

### המלצה 4

למסד תדריך מסודר בנושא טיסה בתנאי התקרחות ולשלב בספר העזר למבצעים של חברות התעופה הפועלות לפי הפרק ה- 12.

מועד ביצוע: 30.11.08

אחריות: מנהל רת"א

### המלצה 5

מאחר שאופי טיסות ההצנחה בישראל כולל תמיד שהייה בגבהים בהם קיימת סבירות גבוהה להתקרחות, מומלץ להכין נוהל שעל-פיו יש להפעיל תמיד ולפני כל המראה את כל האמצעים הקיימים במטוס המיועד להצנחות, על מנת להתמודד עם תופעת ההתקרחות.

מועד ביצוע: 30.11.08

אחריות: מנהל רת"א

6. האירוע נחקר ע"י רפאל לובן, עמרי טלמון ואברהם קימחי (בוגרי קורס חקירות) והתבסס בעיקרו על תחקיר החברה. הדו"ח סוכם ע"י החוקר אורי דין, תוך שילוב מידע אודות תופעת ההתקרחות במטוסים והתחקיר הפנימי שנעשה במועדון הצניחה. דוח התאונה נבדק ואושר לפרסום על-ידי החוקר הראשי.

בברכה,

עו"ד רוז יצחק (רוזצ'יק)  
החוקר הראשי

סימוכין: 04341408

תאריך: 6 אוגוסט 2008