



בטיחות טיסה

גליון 05/2023

## מה אתה מצייץ?

מה זה טרנספונדר, מהם הקודים בהם הוא משתמש, ולמה הם משמשים? \* כל מה שרציתם לדעת על מערכת המעקב המשוכללת שהפכה להיות ציוד בטיחות חיוני וסטנדרטי, ותרומתה לבטיחות הטיסה לא תסולא בפז

קברניט אילן מנחם



יוני 2, 2023 | אין תגובות | 2:17 pm

ב-21.5.2023, עשה מטוס מדגם B773 של חברת Air France, את דרכו מפאריז לטוקיו. כאשר המטוס שיט בגובה 32,000 רגל, מעל גיאורגיה, הצוות פנה ושבו על עקבותיו, אל שדה המוצא. אין לי מושג מה הייתה התקלה, בניגוד המטוס טס 4 שעות בחזרה לשדה הבית. ניתן לשער שהיה מדובר בתקלה טכנית, שהצוות לא חפץ להמשיך איתה ליעד והעדיף לחזור.

בשלב ראשון, ככל הנראה לא היה מדובר במצב חירום, שאם לא כן הצוות בוודאי היה בוחר לנחות באחד משפע השדות המתאימים שהיו בדרך. במרבית זמן הטיסה חזור המטוס שיט בגובה 32,000 רגל והמטוס שידר, באמצעות הטרנספונדר, קודים רגילים אותם קיבל מיחידות הבקרה השונות. המטוס החל להנימך, כאשר חלף מעל האלפים ובאותו שלב הצוות כייל קוד 7700 על הטרנספונדר. ככל הנראה שבאותה עת הצוות הכריז חירום.

מה בדיק הייתה התקלה ומהות החירום, זה לא הנושא של המאמר, רק הפתיח. איך אוכלוסיית שוחרי התעופה, יודעים שמיטוס נמצא במצב "לא נורמלי", בזמן אמר? ישנם מספר אתרי אינטרנט, המבוססים על ADS-B (הסבר בהמשך) בעזרתם ניתן לעקוב אחרי תנועות של מטוסים. אחד מהם הוא Flightradar24. כאשר מטוס מכייל קוד המסמל מצב לא נורמלי, יש המקבלים על כך הודעה בזמן אמת ומתחילים במעקב. מה זה טרנספונדר, מהם הקודים ולמה הם משמשים? בכך עוסק המאמר.

הצורך לעקוב אחרי עצמים בים (לאחר מכן באוויר), התעורר כבר בתחילת המאה הקודמת. בשנת 1904 יוצר המכ"מ (ר"ת מגלה כיוון ומרחק) הראשון, שיכול היה לזהות אוניות בטווחים של מיילים בודדים. המערכת לא זכתה להצלחה מרובה. הפיזיקאי ניקולה טסלה הציע, בשנת 1917, שימוש בגלים אלקטרומגנטיים, כבדי לגלות את מיקומם ותנועתם של עצמים במרחב. עם השנים חלה התקדמות, בעיקר ביישומים צבאיים של מכ"מים ולאחר מכן ביישומים אזרחיים.

בעקרון, מכ"מ עיקוב ראשוני (Primary Surveillance Radar) כולל משדר, המשלח אותות למרחב באמצעות אנטנה. האותות הפוגעים במטרות ומוחזרים מהן, נקלטים על ידי האנטנה והמקלט, מעובדים וכך המכ"מ יודע לזהות שיש מטרה ולהציגה בתור "בליפ" על מסך. מהי המטרה, לאן פניה מועדות ונתונים נוספים לגביה, בשלב זה אין.

שימוש באפקט דופלר (Doppler) הוסיף יכולת לזהות את תנועת המטרות. באמצעות המכ"מ ידע להציג לא רק את המטרות, אלא גם את כיוון ומהירותן. וכך, במשך שנים רבות, ליחידות בקרה היו מכ"מים שהיו מסוגלים להציג, על מסך, סדרה של מטרות ולזהות את הכיוון והמהירות של אותם עצמים. ככל שהתגננה האווירית התפתחה, כבר לא היה אפשר להסתפק באותו "מכ"מ עיקוב ראשוני" והיה צורך בפתרון מתקדם יותר.



Primary Surveillance Radar Antenna

לשם כך הומצא "מכ"מ העיקוב המשני" (Secondary Surveillance Radar). המכ"מ הזה עדיין משדר אותות, אולם במקום שהאותות יחזרו כהדים מגוף המטוס, הם נקלטים במכשיר ייעודי המותקן בו זה משדר בחזרה מידע. המכשיר, המותקן במטוס, נקרא "Transponder", שילוב של שתי המילים - Transmitter- Responder. בעברית "משדר משיב" (בקיצור "משמש", חידוש לשוני שהמצאתי). מכשירים אלה יוצרו בראשונה לצרכים צבאיים, וכוננו זע"ט (זיהוי עמית טורף), כאשר מטרתם הייתה להבדיל בין מטוסינו לבין צרינו, על מסך המכ"מ של הבקר הצבאי.



Secondary Surveillance Radar Antenna

כך יחידת הבקרה יכולה לעקוב אחרי הרבה "מטרות", ברמה הרבה יותר גבוהה של דיוק. מכשירי ה"משמש" משיבים, בתגובה לאות שמשודר מהאנטנה של ה-SSR מידע הכולל את הזיהוי של המטוס ואת הגובה בו הוא משייט (על פי לחץ סטנדרטי). שידור נתוני הגובה הוא MODE-C של המערכת. שילוב בין מכ"מ עיקוב ראשוני ומכ"מ עיקוב משני, היה מאפשר לדעת את מיקום המטרה, זיהוי, מהירותה וגובהה. כיום, מכשירי הטרנספונדר מסוגלים לשדר עוד נתונים רבים, מתוך תא הטייסים. לדוגמה: הטרנספונדר משדר את הגובה המכוייל על ה-MCP, כך שאם הבקר נותן מרשה למטוס לטפס לגובה שיוט מסוים והטייס מכייל גובה שני, הבקר יקבל מיד את המידע על כך ויוכל להתריע.

במהלך השנים, עם השתכללות אמצעי חישוב המיקום של המטוסים ובעיקר עם הכנסת מכשירי GPS, הפך השימוש במכ"מ העיקוב הראשוני לכמעט מיותר. כיום, המטוסים משדרים אל יחידת הבקרה, באמצעות הטרנספונדר, לא רק את הזיהוי שלהם ואת הגובה, אלא גם את מיקומם. ישנם אזורי בקרה, מהם נעלמו מכשירי המכ"מ הראשוני לחלוטין וכל הבקרה מתבססת על מכ"מ עיקוב משני. אולם, אליה וקוף בה.

ב-8.3.2014, המריא מטוס, מדגם B773 של חברת התעופה Malaysia, בטיסה MH370 מקאולה לומפור לבייג'ין. 38 דקות אחרי המראה המטוס נעלם מצגי מכ"מ ה-SSR של הבקרה המלזית. לאחר מכן אחר, למשך זמן קצר, על ידי מכ"מ PSR של צבא מלזיה, אולם גם מהצג שלו הוא נעלם, לאחר שיצא מטווח הכיסוי. כדי להיעלם ממסך של מכ"מ עיקוב ראשוני צריך או להתרחק או להיות "חמקן". כדי להיעלם מהכיסוי של מכ"מ עיקוב משני כל מה שצריך זה לכבות את ה-Transponder. כידוע, עקבותיה של טיסת Malaysia 370 נעלמו עד עצם היום הזה.

המטוס משדר מיקום, דרך הטרנספונדר, באמצעות (ADS-B) (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). אותות ADS-B אינם דורשים "חקירה" מהקרקע והם משודרים ללא הפסק. אל יחידות הבקרה. באמצעות הנתונים הללו כל חובב תעופה יכול לעקוב, אחרי כמעט כל מטוס בעולם, באופן חופשי. מכיוון שהמטוס משדר כל הזמן נתוני מיקום, ניתן באמצעותם לחשב את המהירות הקרקעית שלו. בעזרת נתוני הגובה ניתן לקבל גם שיעורי הנמכה וטיפוס. אפשר לבצע הדמיות של מה רואים מתא הטייס, השמיים הם הגבול.

היכולת של הטרנספונדר לשדר נתוני מיקום וגובה, מאפשרת למטוסים לחקשך ביניהם ומאפשרת הפעלת מערכת למניעת תאונות של התנגשות באוויר המכונות (TCAS Traffic collision avoidance system) או ACAS (Airborne Collision Avoidance System). מי זוכר מתי הייתה תאונה בה התנגשו מטוסים מסחריים באוויר?



Transponder Panel (Typic)

הפאנל המוצג (אופייני) נקרא Transponder Panel אבל הוא מכיל בתוכו גם את הטרנספונדר וגם את ה-TCAS המבוסס על הנתונים שהוא משדר. ה-TCAS אינו יכול לפעול בלא טרנספונדר. טרנספונדר יכול לפעול ללא TCAS.

מה אנתנו רואים על הפאנל של הטרנספונדר?

1. בוחר הפעלת הטרנספונדר, מצבי Auto/On
2. בוחר מערכת 1 או 2 (לצרכי יחידות יש לרוב שני מכשירים וניתן לבחור ביניהם)
3. בוחר "שכבות גובה" (במכשירים המאפשרים את זה) בהן יוצגו מטרות, על בציג המטוס
4. פאנל בחירת קודים (על משמעות הקודים בהמשך)
5. חלונות בה מוצג הקוד הנבחר ומערכת הטרנספונדר הנמצאת בשימוש
6. נורית התראה על כשל במערכת הטרנספונדר או בחלק מרכיביה
7. לחצן IDENT - גורם לצלמית של המטוס, על צג המכ"מ של הבקר, להבהב ובכך ליצר זיהוי וודאי

בוחר הפעלה של מודי ה-TCAS, ישנה אפשרות שלא לשדר כלל (STBY) לא לשדר נתוני גובה (ALT RPTG OFF), מוד XPNDR בו הטרנספונדר מופעל אבל לא משדר התראות (בשימוש לצרכי ניהול תעבורה קרקעית בשדות תעופה MODE-S), TA ONLY מוד הנותן תצוגת מטוסים והתראות אולם ללא הוראות לתמרון התחמקות ומוד TA/RA הנותן גם חצונה. גם התראות וגם הוראות לביצוע תמרון התחמקות



TCAS Display

במרבית המטוסים ה-TCAS מוצג על גבי צג הניווט (ND), לפני דור ה-Glass Cockpit זה היה מוצג על מכשיר אחר שהיה בעל צג זכוכית. בתצוגת הניווט אנו רואים את הכיוון שהמטוס מתקדם אליו וסקאלה של מספר. סקאלת טווח (במקרה זה 20 מייל). נתוני ניווט שונים, כפינות המסך. מיקום "מטרות" בקרבת המטוס. המטוסים מוצגים במיקום היחסי למטוס ועם הפרש הגובה במאות רגליים (לדוגמה -12 משמעותו 1,200 רגל מעל). מוצג גם וקטור הטיפוס או ההנמכה באמצעות חצים. לתצוגת ה-TCAS יש קודים לרמת סיכון, החל ממטרות שאינן מהוות סיכון מופיעות "לידיעה", המשך במטרות סמוכות, עם פוטנציאל לסיכון (המופיעות בצורה Traffic Advisory בתוספת התראה קולית "Traffic") וכלה במטרות סמוכות, המהוות סיכון מידי להתנגשות (Resolution Advisory). אלה יופיעו באדום, עם התראה קולית והוראות תמרון להתחמקות (במישור האנכי). ההתראות יתקבלו בשני המטוסים והוראות התמרון מתואמות בין שתי מערכות.

על הצג יש מטרות המזוהות על פי קוד החברה המפעילה ומספר הטיסה, מותנה במכשור שיש במטוסים. המטוס המציג צריך להיות בעל אפשרות קליטת נתוני ADS-B והמטרה צריכה להיות בעלת יכולת שידור נתוני ADS-B ועם רמת דיוק מיקום מוגדרת. מטרות אלו יכולות להציג גם וקטור התקדמות. מטרות בלא יכולת כזו, או במטוסים שאינם יכולים לקלוט ולהציג את המידע, יופיעו רק כצלמית, ללא זיהוי. במידה ויש ירידה באיכות חישוב המיקום (כגון במקרה של בעיות קליטת GPS) יחול שיבוש בשידור הנתונים ובהצגתם.

בכל מרשה ליציאה לטיסה ולעיתים במעבר בין אזוירי בקרה, המטוס מקבל Squawk Code. הקוד מאפשר ליחידות הבקרה לזהות את המטוס. טווח הקודים הוא בין 0000 ל-7777. בסך הכול 4096 קומבינציות. הקוד המוקצה למטוס מכויל על הטרנספונדר ומאותו רגע הוא מוצג על מסכי המכ"מ, בצמוד לצלמית המייצגת את המטוס.

ישנם 3 קודים אוניברסליים, אותם הצוות יכול לכייל, על פי הצורך, המייצגים מצבים "לא נורמליים".

- קוד 7500 מייצג "חטיפה" או Unlawful Interference. כך הטייס יכול לשרד מה מצבו, בלי להשתמש במכשירי הקשר.
- קוד 7600 מייצג אבדן קשר רדיו. ישנם מצבים בהם המטוס יכול לשמוע את הבקר ואינו יכול לשרד, ישנם מצבים בהם הוא יכול לשרד אולם לא לשמוע וישנם מצבים בהם אין לו קשר רדיו בכלל. במקרה הראשון, הבקר יכול לשרד והוראות למטוס ולקבל ממנו תגובה באמצעות לחיצה על IDENT (Squawk Ident).
- קוד 7700 מייצג מצב חירום. ישנם מצבים בהם טייס יכיל מוד קוד 7700 כדי לסמן לבקרה שהוא במצב חירום וישנם מצבים בהם הבקר ינחה את הטייס לכייל את הקוד הנ"ל, כדי להבליט ולהבדילו מתנועות אחרות.

מכשירי הטרנספונדר הפכו להיות ציוד בטיחות חיוני וסטנדרטי. תרומתם לבטיחות הטיסה לא תסולא בפז. עם זאת, יש מספר חסרונות ונקודות תורפה, המתגלות מעת לעת. חלק הולך וגדל מהיכולת לבקר את התנועה האווירית ולשמוע על בטיחותה, מבוסס על הטרנספונדר ועל נתוני ADS-B המשודרים דרכו. כפי שכבר הוכח, הפסקה יזומה של הטרנספונדר "תעלים" את המטוס מהמסכים.

התעופה העולמית מתבססת יותר ויותר על ניווט באמצעים פנימיים של המטוס (PBN), אולם האמצעים הללו תלויים ב"איפוס" שהם מקבלים מלוויני GPS. שיבושים בקליטת GPS גורמים להופעה של נורית FAIL על צג הטרנספונדר, מה שעלול לפגוע באמון של הצוותים במערכות וליצור הרגל לטוס עם נורית תקלה. הם גם עלולים להציג את המטוס בנקודה גיאוגרפית שאינה מדויקת. רשויות התעופה תרות אחרי פתרונות לסוגיות הללו. אנחנו, צוותי האוויר, נקבל במרשה את הקוד, נכייל אותו, נפעיל את הטרנספונדר על פי המודים הנדרשים ונשתמש, במקביל, במודעות המצבית שלנו.



להורדת המגזין המלא

להורדת הכתבה

## כתיבת תגובה

Logged in as ifrachmiri1@gmail.com. Edit your profile. Log out

התגובה שלך \*

להגיב

היה הראשון לקבל את המהדורה האחרונה למייל האישי. התעדכן בחדשות ומאמרים של בטאון איגוד הטייסים בישראל.

מהדורת נובמבר 2020  
מהדורת פברואר 2020  
מהדורת אוגוסט 2019

יוצא לאור על ידי איגוד הטייסים הישראלי  
יו"ר: מידן בר  
אתר: <https://www.isralpa.org.il>  
מייל: [Editor@iviation.news](mailto:Editor@iviation.news)  
ערך: אהרון לפידות

בטיחות  
מאמרים  
חדשות  
תאונות איריות  
עידוכי תעופה  
סיפורי טיסה

מערכת: גבעון מנדלסון, עופר קוטלש, רן גפני (צלם המערכת), טירי יפרח (מעצבת)

להרשמה



כל הזכויות שמורות לבטאון איגוד הטייסים בישראל