

מטוס ה-F-35 – על הדבש ועל העוקץ

יפתח ש' שפיר

מבוא

באוגוסט 2010 הודיע שר הביטחון אהוד ברק על החלטתו לקבל את המלצת צה"ל לרכוש מטוסי F-35 Lightning II (ברק)¹ כמטוס הקרב העתידי של חיל האוויר.² במהלך ביקורו בווינגטון באוקטובר 2010 חתם מנכ"ל משרד הביטחון על הסכם עקרוני בנושא. הדיונים על עסקה זו מתנהלים זה כמה שנים הן בין ישראל לבין ארצות הברית והן בתוך מערכת הביטחון בישראל. העסקה שנויה במחלוקת, ולאחרונה נמסר, שגם מבקר המדינה מתכוון לבדוק את תהליכי קבלת ההחלטות בנושא.

רכישת המטוס מעוררת ויכוחים ומחלוקות לא רק בישראל אלא גם באמצעי התקשורת ובבתי נבחרים במדינות האחרות השותפות לפרויקט. בכל המדינות שהביעו רצון לקנות את המטוס עולות שאלות של מחיר לעומת ביצועים, יכולת התמודדות עם איומים עתידיים, מערכות חלופיות אפשריות, תועלת לתעשייה המקומית ותהליכי קבלת ההחלטות.

במאמר זה יתואר מקומה של ישראל בפרויקט, ויוארו הנקודות החשובות בתהליך קבלת ההחלטה להצטייד במטוס זה. נתונים טכניים על המטוס ועל המחלוקות שעורר הפרויקט במדינות שהתחייבו לרכשו מופיעים בנספח למאמר.

פרויקט JSF – רקע כללי

הגישה העקרונית לפיתוח ה"דור החמישי" של מטוסי הקרב של חיל האוויר של ארצות הברית,³ נעוצה עוד בדור הקודם של מטוסי הקרב – מספר קטן של מטוסי עליונות אווירית, גדולים, יקרים ומצוידים במיטב הטכנולוגיה, ובצד מספר רב של מטוסי קרב רב-משימתיים, שמחד גיסא יהיו בעלי יכולת מוקטנת, ומאידך גיסא יהיו זולים יותר, ויהיה אפשר לרכשם בכמויות גדולות. בשנות השבעים הולידה גישה זו את מטוס ה-F-15 לדגמיו כמטוס הגדול, ובצדו ה-F-16 כמטוס הקטן והזול יותר.

יפתח ש' שפיר, חוקר בכיר במכון למחקרי ביטחון לאומי

בסוף שנות השמונים ובתחילת שנות התשעים, הניב הפרויקט המכונה ATF (Advanced Tactical Fighter) את מטוס הקרב F-22A – ובצדו החל פרויקט מטוס הדור החמישי שכינויו JSF (Joint Strike Fighter), והוא נועד להיות מטוס תקיפה ה"ניתן לרכישה" (affordable).

מלכתחילה היה זה פרויקט ייחודי. ראשית, המטוס נועד לשמש את שלוש הזרועות בצבא ארצות-הברית המפעילות מטוסי קרב: חיל האוויר (הטקטי), הצי, והנחתים, וזה אף-על-פי שלכל אחת מהזרועות האלה יש דרישות שונות, ובעבר הפעילו מטוסים שונים, שפותחו בנפרד ובהתאם לדרישות השונות. כדי לענות על הדרישות המבצעיות השונות, הוגדרו מלכתחילה שלוש גרסאות של המטוס: בעבור חיל האוויר, בעבור הנחתים, ובעבור הצי. המתכננים נדרשו לשמור על מידת שיתופיות גבוהה בין הגרסאות.

שנית, הפרויקט נפתח מימיו הראשונים לבעלות-הברית של ארצות-הברית. מנהלי הפרויקט הגדירו שלוש רמות השתתפות, ובהתאם לרמות ההשתתפות נדרשו המדינות המשתתפות לשאת גם בעלויות הפיתוח. בסופו של דבר הצטרפו לפרויקט שמונה מדינות: בריטניה, קנדה, דנמרק, הולנד, נורבגיה, איטליה, תורכיה, ואוסטרליה. עוד שתי מדינות קיבלו, בשלב מאוחר של הפרויקט, מעמד של משקיף: ישראל וסינגפור. השותפות (אך לא המשקיפות) יכלו להשפיע, בהתאם לרמת ההשקעה שלהן, על הגדרת הדרישה המבצעית של המטוס, וכן הבטיחו לתעשיות הביטחוניות שלהן חלקים בייצור רכיבי המטוס.

JSF וישראל

ישראל החלה את זיקתה למטוסי הדור החמישי כבר בסוף העשור הקודם. על סמך ההיסטוריה של שיתוף הפעולה הביטחוני בין ישראל לארצות-הברית היה סביר להניח שישראל תזדרז לרכוש את הדגמים המתקדמים ביותר של מטוסי הקרב מתוצרת ארצות-הברית הרבה לפני כל מדינה אחרת במזרח התיכון. בתחילת שנות ה-2000 דובר במטוס F-22, שהיה אז בשלבי פיתוח מתקדמים. ישראל הביעה את רצונה לרכשו, והנשיא קלינטון, בימים האחרונים לכהונתו, הבטיח לישראל שתוכל לרכוש את המטוס, וזה על אף החלטת הקונגרס משנת 1997, שאסרה לייצא את המטוס.

בד בבד הועלתה האפשרות שישראל תצטרף לפרויקט JSF כמדינה משתתפת.⁴ ואולם בסופו של דבר לא שותפה ישראל בשלב זה בפרויקט, הן בשל החלטתה לא להשקיע בו, והן בשל הסתייגויות של ארצות-הברית מהשתתפותה – בעיקר עקב חששות לדליפת טכנולוגיות, וגם משום אי-רצון להיענות לדרישות מיוחדות של ישראל בדגם שתרכוש. עם זאת שותפה ישראל במעמד מיוחד של משקיף, בלי רשות למעורבות ולהשפעה על תצורת המטוס. אף-על-פי-כן הביעו ראשי מערכת

הביטחון בישראל את ביטחונם, שבכל מקרה תהיה ישראל בין הראשונות שיקבלו את המטוס, לכשיושלם פיתוחו.

בשנת 2003 הסכימה ארצות-הברית לשדרג את מעמדה של ישראל בפרויקט למעמד של Security cooperation participant, וישראל הסכימה להשקיע בפרויקט סכום של כ-50 מיליון דולר (לשם השוואה, בריטניה השקיעה בפרויקט זה 2.7 מיליארד דולר),⁵ ושוב עלה נושא של התאמת המטוס לצרכיה הייחודיים של ישראל. הנושאים השנויים במחלוקת כבר בשלבים המוקדמים היו:

א. בדיקת אפשרות לדגם דו-מושבי. חיל האוויר של ישראל מעדיף להפעיל מטוסים דו-מושביים, ולחלק את עומס הפעלת המטוס בין טייס לבין נווט/מפעיל מערכות. מטוס F-35 תוכנן כמטוס חד-מושבי, ומתכנניו סברו שלהפעלת מערכותיו המשוכללות אין צורך באיש צוות נוסף.

ב. התקנת מערכות ישראליות על המטוס ובהן:

1. מערכות חימוש, כמו טילי פיתון-5 והדברי. מבחינה טכנית זהו דבר קל ביותר לביצוע, ודרישה שקל להיענות לה.

2. התקנת מערכות אלקטרוניקה ישראליות, ובייחוד מערכות לוחמה אלקטרונית (ל"א) מתוצרתה. מערכות אלו נחשבות בעיני ישראל למתאימות לנדרש בזירה הרבה יותר מהמערכות המקוריות של המטוס.

3. אפשרות להחלפת מכ"מ המטוס במכ"מ מתוצרת ישראל.

4. גישה לקוד המקור של תוכנת המטוס. זו הייתה דרישה קשה למתכננים, אך גישה כזאת היא הכרחית כדי להתקין במטוס מערכות ישראליות שישתלבו במערכת התוכנה של המטוס.

גם בשלבים המוקדמים התעוררו חששות מההשלכות הנובעות ממחירו הגדל והולך של המטוס, שבתחילת הדרך הוערך מחירו ב-50–60 מיליון דולר ליחידה. למרות החששות והלבטים, כבר בשנת 2007 התקבלה בישראל החלטה רשמית לרכוש את המטוס. הבקשה הרשמית הוגשה לארצות-הברית באוגוסט 2008, ובספטמבר באותה השנה הוגשה הבקשה לאישור הקונגרס. הבקשה הייתה למכירה ראשונית של 25 מטוסים מן הדגם הקונבנציונלי (CTOL – F-35A), עם אפשרות לעוד 50 מן הדגם הקונבנציונלי או מהדגם הנוחת אנכית (CTOVL – F-35B).⁶ מחירו של המטוס הוערך אז ב-78 מיליון דולר ליחידה, וערכה המשוער של העסקה – בהנחה שכל האופציות ימומשו – היה 15.5 מיליארד דולר (כלומר מחיר כולל של 206 מיליון דולר ליחידה – מחיר ששיקף את מחיר כל הרכיבים הנלווים ובכלל זה בניית תשתית, הקמת מערך תחזוקה, חלפים ועוד)

לאחר אישור הבקשה החל המשא ומתן האמיתי, וכצפוי, התגלעו המחלוקות בנוגע לדרישותיה המיוחדות של ישראל. האמריקנים סירבו לאשר התקנת ציוד מתוצרת ישראל, והתנגדו גם לאפשר לישראלים גישה לקוד התוכנה, שהוא מסווג.

במקום זה, הוצע לישראל להגיש את דרישותיה הייחודיות ליצרן. בעיות אלו לא היו ייחודיות לישראל – גם בריטניה איימה בשלב מסוים לפרוש מן הפרויקט מהסיבה של גישה לקוד המקור של התוכנה). בה בעת השפיעו על העסקה גם בעיות שהתעוררו בפיתוח המטוס. מועד היעד לתחילת ייצורו הסדרתי של המטוס הוזז בארבע שנים – מאספקה בשנת 2010 ל-2014 – וגם המחיר ליחידה עלה. באוגוסט 2010 הודיע כאמור שר הביטחון על החלטת ישראל לרכוש 20 מטוסים. פרטי העסקה טרם התבררו, ואילו מדרישותיה של ישראל נענו, ועל אילו נאלצה לוותר. בינתיים התברר שתאריך היעד למבצעים של הדגמים F-35A ו-F-35C נדחה שוב לשנת 2016, ואין ספק כי שינוי זה ישפיע גם על תאריך אספקת המטוסים לישראל.

האיומים הנשקפים והמשימות הנדרשות

מאז ומתמיד ראתה ישראל ביתרונה האיכותי רכיב חשוב ביותר בביטחונה, והדבר אף בא לידי ביטוי במחויבותה הרשמית של ארצות-הברית לביטחונה של ישראל. מטבע הדברים בא יתרון איכותי זה לידי ביטוי בחיל האוויר יותר מבכל חיל אחר, וישראל הצטיידה תמיד במטוסים החדשים ביותר הקיימים. לפיכך רכישת מטוסי F-35 נראתה מתבקשת מאליה. ובכל זאת יש טעם לבחון את ההיגיון שברכישה זו – מכמה וכמה היבטים.

איומים בשדה הקרב הנוכחי והעתיד

בחינת משימות מטוסי הקרב של חיל האוויר חייבת להיעשות באמצעות בחינת הזירה האזורית והאיומים הקיימים בה על מטוסי הקרב ותפעולם – היום, ובעתיד (שכן יש להניח שהמטוסים הנרכשים היום יצטרכו להתמודד עם איומים שיהיו בזירה בעוד 20 ואף 30 שנה).

חילות האוויר בסביבה האסטרטגית של ישראל

כמה מדינות במזרח התיכון מפעילות מטוסי קרב מתוצרת מדינות המערב, מהמתקדמים ביותר הקיימים: מצרים, ירדן ותורכיה מצוידות במספר גדול של מטוסי F-16 C/D; איחוד האמירויות – במטוסי F-16 E/F (דגם שפותח במיוחד, והוא מקביל במידה רבה לדגם F-16 I הישראלי); סעודיה רכשה את ה-Typhoon האירופי, והיא מפעילה מספר רב של מטוסי F-15 לדגמי השונים (ולאחרונה אושרה רכישה של עוד 84 מטוסי F-15 מדגם מתקדם יותר). כל המדינות הללו אינן נמנות היום עם המאיימות על ישראל, וכולן בעלות-ברית של ארצות-הברית. לירדן ולמצרים יש הסכמי שלום עם ישראל, ומדינות המפרץ ובכלל זה סעודיה נחשבות שותפות דה-פקטו למאבק הנשקף מאיראן.

דווקא המדינות העוינות יותר, אין ביכולתן לאיים על ישראל בתחום האווירי – חיל האוויר של סוריה מיושן, ומטוסיו החדשים ביותר הם מסוג מיג-29, שנרכשו לפני התמוטטות ברית-המועצות. ללבנון אין חיל אוויר ולא צפוי שיהיה לה כזה בעתיד הנראה לעין, ואילו חיל האוויר של איראן מיושן ובשל מרחקה של איראן מישראל אין הוא בבחינת איום של ממש. לטווח הרחוק יותר יש להביא בחשבון, שכל אחת מן המדינות המפעילות נשק מערבי מתקדם עשויה להפוך לעוינת לישראל.

בתחום הטכנולוגי יש אפוא להביא בחשבון, שמטוס F-35 יצטרך להתמודד עם מטוסים שהושבחו במערב, שלרבים מהם יהיו יכולות דומות לשלו, כגון מטוסי F-15 או F-16 מצוידים במכ"ם AESA. איום אחר הוא הדור החדש של מטוסי הקרב מתוצרת רוסיה. הבולט בהם הוא Su-35S, שנכנס לשירות בשנה האחרונה ברוסיה, ובנוסף, נמצאים בפיתוח שני דגמי מטוסים עתידיים, של סוחוי (T-50), ושל מיקויאן, שיהיו מטוסי קרב מדור חמישי. יצוין בהקשר זה, שמטוסים אלו פותחו כדי להתמודד מול איומים של מטוסי הקרב של ארצות-הברית מדור חמישי, כמו ה-F-22. כך למשל מצויד מטוס ה-Su-35S במכ"ם אוויר-אוויר משני בתחום VHF (תחום תדרים שבו חתימת המכ"ם של ה-F-35 ושל ה-F-22 אינה מוקטנת).

הגנה אווירית

כמו בתחום האוויר-אוויר, מערכי ההגנה האווירית של מצרים, ירדן, סעודיה ומדינות המפרץ מבוססים על מערכות שסופקו מארצות-הברית, ובעיקר על טילי הוק משופר (המיושן) ודגמים שונים של טילי פטרויט. לסוריה מערך צפוף של טילי קרקע-אוויר – אלה ברובם מיושנים ומבוססים בעיקר על ציוד מברית-המועצות. האיום בלבנון ובעזה הוא בעיקר של טילי כתף – חלקם נמנים על הדגמים הרוסיים המתקדמים ביותר.

בעתיד הרחוק צפויות להיכנס לזירה מערכות הגנה אווירית משוכללות מתוצרת רוסיה: S-400, S-300PMU-2, וכן חיקויים של מערכות כאלה מתוצרת סין דוגמת ה-HQ-9. דגמים משוכללים של מערכות אלה כבר נבנו להתמודד עם מטוסי קרב מדור חמישי ולכן יש בהם אמצעים לעקוף ולבטל את יכולות החמקנות של המטוסים (כמו שימוש במכ"מים בתחום VHF).

נשק תלול מסלול

איום חמור על כל פעילות עתידית של חיל האוויר של ישראל הוא הנשק תלול המסלול, טילים ורקטות, שכבר כיום מכסים – משטח לבנון – את רוב שטחה של מדינת ישראל. ככל שגדלה מידת הדיוק של מערכות נשק אלה, כך גדלה הסכנה שיפגעו במטרות צבאיות ואסטרטגיות. אם כיום האיום העיקרי על בסיסי חיל האוויר הוא מירי מטח טילים מפוזר על שטח הבסיס, הרי בעתיד עלול להיות

איום של ירי מדויק על מתקן בתוך הבסיס – מגדל פיקוח, צומת מסלולים או דיר מטוסים.

משימות

עליונות אווירית

המשימה הראשונה של חיל האוויר היא להגן על שמי המדינה. לשם כך נרכשו בעבר מטוסים כמו ה-F-15A/C, וזה היה ייעודם העיקרי. מטוס ה-F-35 לא נבנה למשימה הזאת. הוא נושא כמובן טילי אוויר-אוויר, וחמקנותו עשויה לתת לו יתרון בקרב אוויר שמעבר לטווח ראייה, אולם לא יהיה לו שום יתרון בקרבות אוויר צמודים (שבהם הוא נחות כנראה מה-F-16, למשל), ולא ביכולת של פטרול ממושך, ומובן שאינו מיועד למשימות ליווי התקפי של מטוסי תקיפה.

מבצעי תקיפה בשדה הקרב

חיל האוויר של ישראל עשוי במלחמה עתידית לתקוף תקיפות מדויקות בשדות קרב דינמיים ומוגנים בטיילים נגד מטוסים – דוגמת מבצעי התקיפה במהלך מלחמת לבנון השנייה או במבצע "עופרת יצוקה". יתרונו הגדול של ה-F-35 הוא בחמקנותו ובאינטגרציה של מערכות ניווט, איתור וזיהוי מטרות: מכ"ם המאפשר לקבל תמונה מדויקת של פני השטח, חסימת אמצעי הגנה של היריב, ומגוון של מערכות אלקטרואופטיות. ואולם יכולות רבות מן הסוג הזה כבר קיימות במטוסים מן הדור הקודם כתוספות או כהשכחות. כך למשל, סגולותיו של ה-F-35 בתחום איתור, הרכשה וציון מטרות קרקע (המגולמות במערכת ה-EOTS שלו) מבוססות על מערכות Sniper XR, ו-LANTIRN-ER, הקיימות במנשא חיצוני, המתאים למטוסי F-16 ו-F-15. ישראל עצמה פיתחה את הפוד (מנשא חיצוני, דמוי תרמיל אפונה – פירושה המקורי של המילה) Litening על גרסותיו המתקדמות. וכן אפשר להתקין על מטוסי F-16 מכ"מים מתקדמים מטיפוס AESA, אם מתוצרת ארצות-הברית ואם מתוצרת ישראל, ולהשיג את מרב היתרונות שיש ל-F-35 בתחום הזה. אשר ליכולת החמקנות של המטוס, זו תיתן לו בלי ספק יתרון – בייחוד בשלבים ראשונים של תקיפה באזורים מוגנים היטב. אמנם כיום מערכי ההגנה האווירית של סוריה הם כאמור מיושנים ביותר, ובלבנון מצויד החזבאללה בעיקר בטיילי כתף, אולם אין להניח שמצב זה לא ישתנה. מכל מקום, יכולת החמקנות היא "בעירבון מוגבל", שכן במצב כזה המטוס מוגבל לנשיאת חימוש בתאי פצצות פנימיים בלבד. תלית חימוש על מתלים חיצוניים תפגע בחמקנות.

מבצעי תקיפה אסטרטגיים

במבצעי תקיפה הדורשים כניסה לעומק שטח האויב יש למטוס ה-F-35 יתרון בולט – בחמקנות – ואתו שני חסרונות גדולים – כמות החימוש המוגבלת שהוא

יכול לשאת במשימה חמקנית (שתי פצצות של טונה אחת), וטווח טיסה מוגבל. לפיכך נראה, שגם כאשר יהיה ה-F-35 בשירות חיל האוויר יהיו מטוסי ה-F-15I וה-F-16I המטוסים המועדפים למשימות כאלה.

הגנה עצמית

חיל האוויר הישראלי שם דגש מיוחד ביכולת הגנה עצמית של מטוסים, ובייחוד ביכולת אלקטרונית להתגונן מפני מכ"מים של האויב (קרקעיים או אוויריים), טילים, ואמצעי לחימה אלקטרונית של היריב. ל-F-35 כמה יתרונות ייחודיים בתחום הזה, החל במכ"מ AESA שלו, המסוגל גם לחסום מכ"מים קרקעיים תוך כדי סריקה אחר מטרות קרקע או אוויר, וכלה במערכת ההתרעה הייחודית שלו (DAS) המעניקה לטייס התרעות מפני איומים בכל גזרה אפשרית. ואולם מערכות הל"א והמערכות נגד ל"א הישראליות נחשבות עדיפות מכל מערכת מתוצרת זרה. יתרה מכך, הן מותאמות ייחודית לאיומים בזירה שלנו. מסיבה זו ניהלה ישראל משא ומתן ממושך על התקנת מערכות ל"א מתוצרתה במטוסי ה-F-35. כאמור, לא ברור אם בסופו של דבר השיגה ישראל את מבוקשה בעניין הזה.

יכולת פעולה משדות תעופה ארעיים

כאמור אחד האיומים החמורים על חיל האוויר הוא נשק תלול מסלול – טילים ורקטות. מסיבה זו הגישה ישראל בקשה לאופציה לרכוש מספר מסוים של מטוסים מן הדגם F-35B. מטוס מן הדגם הזה יכול להמריא ממסלולים קצרים ביותר, ולנחות אנכית. הוא מפותח לדרישה מבצעית של חיל הנחתים של ארצות-הברית, שיכולת זו חשובה לו במיוחד. מטוסים אלו, אם ירכשו, יאפשרו לחיל האוויר לפעול משדות מאולתרים בשעה שבסיסיו העיקריים יהיו תחת מתקפת טילים. דגם זה יקר מן הדגם הקונבנציונלי, וביצועיו האירודינמיים נחותים מאלה של המטוס הקונבנציונלי. מסיבות אלו ויתרה ישראל בינתיים על מימוש האופציה.

תפקיד התעשיות הביטחוניות של ישראל

עסקת ה-F-35 טומנת בחובה יתרון לעשייה הביטחונית של ישראל. חלק אחד של תועלת זו גלום באפשרויות התאמה והתקנת ציוד מתוצרת ישראל על המטוסים – מערכות ל"א ומערכות נשק. אפשרות זו מותנית כמובן באישור ארצות-הברית ובמתן גישה לקוד המקור של תוכנת המטוס.

החלק האחר של התועלת מן העסקה הוא במסגרת עסקאות "אופסט"⁷, המקובלות בשוק הנשק העולמי. התעשייה הביטחונית של ישראל מקווה לקבל, כחלק מעסקת הרכש, נתח בפיתוח ובייצור רכיבים למטוסי ה-F-35 בעבור השוק העולמי, כקבלני משנה ליצרניות לוקהיד-מרטין (יצרנית המטוס), נורת'רופ-גראמן

(יצרנית המכ"ם) ופראט אנד ויטני (יצרנית המנוע). היצרניות טוענות לשוק עתידי של מעל 4,000 יחידות, משמע שמדובר בסיכויים למכירות בהיקפים גדולים ביותר. נוסף על היתרון הכלכלי, הצטרפות לפרויקט תאפשר לחברות הישראליות גישה לטכנולוגיות מתקדמות ביותר (למשל טכנולוגיות של חומרים להקטנת חתימת המטוס), אך תחייב אותן גם להשקעות כבדות בתשתיות, באימון צוותים, ובקבלת רישיונות מן הרשויות האמריקניות. ברור שהשתתפות החברות הישראליות בייצור המטוסים המיועדים לישראל בלבד לא תצדיק השקעות כאלה.

לתעשייה הישראלית יש ניסיון רב ויכולת ייחודית בכמה תחומי נישה, אולם בפרויקט ה-F-35 הן יצטרכו להתמודד בתחרות קשה עם תעשיות ביטחוניות של כל המדינות השותפות בפרויקט. מדינות שהשקיעו מאות מיליוני דולרים בפרויקט משנותיו הראשונות, ידרשו לקבל את התשואה על השקעתן בצורת הזמנות של יצרניות המטוס מחברות ביטחוניות לאומיות. ישראל הצטרפה לפרויקט בשלב מאוחר ובהשקעה קטנה יחסית, והיא נמצאת אפוא בנקודת פתיחה גרועה.

המוניטין של חיל האוויר הישראלי והשיקול האמריקני

נקודה חשובה לזכות ישראל במשא ומתן לרכש המטוס היא המוניטין המיוחד שיש לצה"ל, ולחיל האוויר בפרט, בשוק הנשק המתקדם בעולם. צה"ל נחשב בעולם – גם אחרי מבצעים שנרשמו ככישלון דוגמת מלחמת לבנון השנייה – למשתמש מתוחכם ביותר במערכות נשק מתקדמות. רכישת מערכת נשק בידי צה"ל עדיין נחשבת להוכחת עליונותה על פני מערכות מתחרות. לפיכך, היצרן האמריקני (כמו גם הממסד הביטחוני האמריקני) מעוניין במכירת ה-F-35 לישראל מוקדם ככל האפשר, הואיל והפרויקט עדיין נתון בקשיים טכניים ובקשיי מימון, וכמה מן המדינות השותפות כבר רמזו שאולי לא ירכשו את המטוס, או שירכשו מספר קטן יותר של מטוסים מכפי שהתכוונו לרכוש מלכתחילה. זאת ועוד, מחירו של המטוס (מחיר ליחידה) תלוי תלות ישירה במספר המטוסים שיוזמנו.

פרויקט ה-F-35 הוא אחד הפרויקטים הגדולים ביותר של מערכת הביטחון בארצות הברית, ולאחר שהופסק ייצורו של ה-F-22 הצלחתו חשובה לממשל. רכישת

המטוס בידי ישראל תעודד מדינות אחרות לרכוש את המטוס. ייתכן שההצעה (אם אכן הייתה כזאת) למסור לישראל עשרים מטוסים בלי תשלום – נבעה לא מעט משיקולים אלו.

אילו השיקול לרכישתו של מטוס ה-F-35 היה למשימות אוויריות טקטיות בלבד, המסקנה הייתה שהרכישה, במחיר הנוכחי, אינה כדאית

סיכום

שמירה על היתרון האיכותי של ישראל הייתה זה שנים רבות רכיב עיקרי בתפיסת הביטחון של ישראל. מסיבה זו בלבד היה ברור כבר בתחילת דרכו של פרויקט JSF, שבבוא היום תהיה ישראל מעוניינת לרכוש את המטוס. ואולם מאותה סיבה עצמה היה גם ברור מימיו הראשונים של פרויקט ATF, שישראל תרצה לרכוש את המטוס שיפותח במסגרתו – ה-F-22. רכישה זו נמנעה בעיקר בשל סגירת הפרויקט בשלבים מוקדמים מן המתוכנן, ועקב איסור של הקונגרס על מכירתו. דומה שלו הייתה לישראל בחירה בין השניים, היא הייתה ודאי מעדיפה לרכוש מספר קטן של מטוסי F-22 ולא מספר גדול של מטוסי F-35 (ובסופו של דבר מתברר, שמחירו של F-35, שהיה אמור להיות "זול", מתקרב למחיר ה-F-22).

הניתוח שהוצג לעיל מראה, שעל אף יתרונותיו של המטוס, אין בו "תרופת פלא" לבעיותיה של ישראל, ואת מרבית המשימות המיועדות לו אפשר לבצע במידה דומה של יעילות באמצעות מטוסים קיימים, עם ההשבחות הנדרשות. מחירו הגבוה של ה-F-35 יאפשר לרכוש מספר קטן של מטוסים אלה, מה שיחייב את חיל האוויר להשאיר ממילא מספר גדול של מטוסי F-16 לשנים רבות בעתיד. יתרה מכך, המטוס לא יוכל להיות תחליף למטוסי ה-F-15, המשמשים היום הן למשימות של "עליונות אווירית" והן למשימות תקיפה ארוכות טווח. לפיכך גם מטוסים אלו צפויים להישאר בשירות חיל האוויר עוד שנים רבות, גם הם עם השבחות שייעשו בעתיד.

עולה אפוא שאילו השיקול לרכישתו או אי רכישתו של מטוס ה-F-35 היה למשימות אוויריות-טקטיות בלבד, המסקנה הייתה שהרכישה, במחיר הנוכחי, אינה כדאית. ואולם התמונה מורכבת יותר. המטוס אינו נרכש בכספי משלם המסים הישראלי, אלא בכספי הסיוע האמריקני. החלופות אינן בין "תותחים לחמאה" אלא בין מערכות נשק מתוצרת ארצות-הברית – מטוסי קרב לעומת ספינות או טנקים ותותחים. התלות ברכש מערכות מתוצרת ארצות-הברית ומערכת היחסים האסטרטגיים עם ארצות-הברית שוללים גם בחינת חלופות אחרות, כמו רכישת מטוסים באירופה (ה-Typhoon או ה-Rafale מתוצרת צרפת) או אפילו, מה שנשמע לא ייאמן – ה-Su-35 או מחליפו העתידי מתוצרת רוסיה.

למערכת השיקולים נכנסים גם היתרונות שתיתן עסקת ה-F-35 לתעשייה הביטחונית של ישראל, ותרומתה ליחסים המורכבים של ישראל עם ארצות-הברית,

על אף יתרונותיו של המטוס, אין בו "תרופת פלא" לבעיותיה של ישראל, ואת מרבית המשימות המיועדות לו אפשר לבצע במידה דומה של יעילות באמצעות מטוסים קיימים, עם ההשבחות הנדרשות

המעוניינת, משיקוליה שלה, שישראל תרכוש את המטוס. שיקולים אלה מקנים משקל נכבד לכלל השיקולים של התומכים ברכישת המטוס.

הערות

- 1 אף שכינויו של המטוס בחיל האוויר של ארצות-הברית הוא Lightning – אין ספק שבישראל הוא לא יכונה "ברק", שכן כינוי זה כבר ניתן למטוסי ה-F-16C/D.
- 2 פפר, אנשיל: "ברק אישר את עסקת הענק לרכישת 20 מטוסי F-35", **הארץ**, 16 באוגוסט 2010.
- 3 נהוג למנות את "דורות" מטוסי הקרב הסילוניים מן התקופה שלאחר מלחמת העולם השנייה: דור ראשון – מטוסי הקרב של שנות החמישים, שהיו מטוסי הקרב המבצעיים הראשונים עם מנוע סילון. הם היו תת-קוליים, וחומשו בדרך כלל במקלעים ובתותחים. דגמים אופייניים באזורנו – מיסטר IV ומיג-15. דור שני – סוף שנות החמישים וראשית שנות השישים, מטוסים עם יכולת טיסה על-קולית, עד מאך-2, במטוסי דור זה הותקנו גרסאות ראשונות של טילי אוויר-אוויר ומכ"מים. דגמים אופייניים באזורנו – מיראז'3, מיג-21. דור שלישי – סוף שנות השישים ושנות השבעים – מטוסים רב-משימתיים, מצוידים במכ"מים משופרים, וגרסאות ראשונות של אוויוניקה אנלוגית, ביצועים אירודינמיים משופרים. טילי אוויר-אוויר מונחי חום ומכ"ם היו החימוש העיקרי, ועליהם נוספו טילי אוויר-קרקע מונחים. דגם אופייני באזורנו – פאנטום F-4. דור רביעי – סוף שנות השבעים עד שנות התשעים – מטוסים רב-משימתיים, עוד שיפור בביצועים האירודינמיים (יחסי דחף משקל 1:1 ויותר), מצוידים במכ"מים עם יכולות סריקת מטרות קרקע, מחשבי ניהול משימה ומערכות אוויוניקה דיגיטליות ויכולת הטסה מנוהלת מחשב, חימושים מונחים מדויקים מסוגים שונים, מערכות אלקטרו-אופטיות ועוד. דגמים אופייניים באזורנו – F-15, F-16. דור 4.5 – כינוי לדגמים חדישים, ובעיקר גרסאות מתקדמות של מטוסים מדור קודם, שקיבלו חלק מן היכולות של מטוסי "דור חמישי", בייחוד מכ"ם AESA, יכולות data-link, ועל כן יכולת פעולה מרושתת.
- 4 "Israel Foresees No Barriers To Early JSF Acquisition" (uncredited), *Defense Daily*, November 14, 2001.
- 5 Dror Marom "Joining JSF project will cost Israel only \$50m" *Globes Israel's Business Arena*, February 16, 2003.
- 6 Defense Security Cooperation Agency (DSCA) – "Israel – F-35 Joint strike fighter aircraft" Transmittal No 08-83, September 29 2008 – DSCA official website http://www.dsca.osd.mil/PressReleases/36-b/2008/Israel_08-83.pdf
- 7 עסקאות אופסט הן עסקאות שבהן בתמורה לחתימה על חוזה ממשלתי לרכישת נשק, מתחייב היצרן להשקיע בשוק המדינה הרוכשת. עסקאות נגד כאלה קשורות לעסקת הנשק העיקרית (כגון רכישת שירותים ומוצרים נלווים למערכת הנשק בשוק המקומי), אך אין הכרח שיהיה קשר כזה. בשווקים תחרותיים מאוד עשוי היקף עסקאות האופסט להגיע ל-100 אחוז מערך עסקת הנשק ואף ליותר.

נספח

פרויקט JSF ומטוס ה-F-35¹

תכונות המטוס

ה-F-35 Lightning II הוא מטוס קרב חד-מושבי וחד-מנועי. למטוס שלוש גרסאות: F-35A – גרסת CTOL–Conventional take-off and landing – מטוס הממריא ונוחת קונבנציונלית משדות תעופה בנויים, לדרישת חיל האוויר של ארצות-הברית. F-35B – גרסת STOVL–Short take off, vertical landing – מטוס המסוגל להמריא ממסלולים קצרים ביותר, ולנחות אנכית, בעבור הנחתים (והצי הבריטי). F-35C, המכונה גם גרסת CV – המיועד לנחיתה ולהמראה מנושאות מטוסים, בעבור הצי של ארצות-הברית.

למטוס, על כל דגמיו כמה תכונות ייחודיות, שהופכות אותו למטוס "דור חמישי" אמיתי.

- **צפיית נמוכה** (Low observability) זו התכונה המכונה בדרך כלל "חמקנות". שילוב של עיצוב מוקפד של מבנה הגוף, ובעיקר של חלקים המחזירים הד מכ"מ חזק, והכנסת החימוש לתאי פצצות פנימיים – כל אלו תרמו להקטנה ניכרת בהחזרת הד המכ"ם של המטוס.²
- **מנוע:** ה-F-35 הוא מטוס חד-מנועי (דוגמת ה-F-16). למטוס פותח מנוע חדש של Pratt & Whitney –F-135, המספק דחף מרבי של כ-40,000 פאונד (עם מבער. המספר מקורב, והנתון המדויק לא פורסם).
- **מכ"מ רב-משימתי:** לב מערכת ה-F-35 הוא מכ"מ המטוס, AN/APG-81, מתוצרת Northrop Grumman. זהו מכ"ם מטיפוס AESA.³ הוא נשען בפיתוחו על המכ"מ AN/APG-77 של ה-F-22 (לשני המכ"מים משותפים רכיבי חומרה ותוכנה רבים), אך בהתאם לייעודו, הוא קטן יותר, ויכולותיו בתחום האוויר-קרקע בולטות יותר. יכולותיו המדויקות לא פורסמו, אולם ידוע שהוא מסוגל לעקוב אחר מספר גדול של מטרות תוך כדי המשך סריקת השמים וחיפוש אחר מטרות נוספות. הוא מסוגל גם לסרוק את פני הקרקע ולספק תמונת פני קרקע ברזולוציה גבוהה ביום, בלילה ובכול מזג אוויר. הוא מסוגל לאתר מטרות על הקרקע באופן אוטומטי, ותוכנת זיהוי חכמה מאפשרת להתמקד במטרות יבשה או ים ולזהות אותן. נוסף על כך מסוגל המכ"ם לבצע משימות חסימה אלקטרונית של מכ"מים עוינים, באוויר ועל הקרקע.
- **EOTS:**⁴ המטוס מצויד במערכת אלקטרו-אופטית פנימית לסריקת פני הקרקע, הן באור נראה והן בתחום האינפרא-אדום, לצורכי ניווט, מציאת מטרות והארתן בקרן לייזר. המערכת נשענת על מערכות Sniper-X ו-LANTIRN-ER

- הקיימות במטוסי הדור הנוכחי, אולם לדברי היצרן ביצועיה משופרים: הן בטווח הגילוי שלה והן ברזולוציה ובדיוק שלה.
- **DAS⁵:** מערכת זו להגנה עצמית של המטוס היא מערך של שישה חיישני חוץ אינפרא-אדום המותקנים בנקודות שונות על גוף המטוס ומספקים כיסוי של מעטפת כדור שלמה, לזיהוי אלקטרו-אופטי פסיבי של איומים אוויריים. בזכות מערכת זו יקבל הטייס התרעה על מטוסים או טילים מאיימים, ויקבל יכולת ראיית יום ולילה לכל כיוון אפשרי.
- **תא הטייס:** מערכת התצוגה בתא הטייס מכילה צג רב-פונקציונלי בגודל של 20X50 ס"מ, עם יכולות הקרנה בכל סוג תאורה, ביום ובלילה, ויכולות עיבוד תמונה וזיכרון מן הטובות בעולם. הטייס יוכל לתפעל את הצגים הן בהשתמשו בסמן, הן בנגיעה בצגים והן בפקודות קוליות. כן יצויד הטייס בתצוגת קסדה – תצוגת נתונים שיוקרנו ישירות על משקף הקסדה שלו, וייראו לעיניו בצורה הנכונה בכל כיוון שיסיט את ראשו.
- **אינטגרציית מערכות נשק:** המטוס יותאם להשתמש בכל מגוון סוגי הנשק – אוויר-אוויר או אוויר-קרקע, שבידי ארצות-הברית והמדינות העמיתות. הוא מתוכנן לשאת נשק – הן טילי אוויר-אוויר והן פצצות או נשק אוויר-קרקע – בתאי פצצות פנימיים. יש לו גם שבע תחנות תלייה חיצוניות, שיאפשרו לתלות עליהן מגוון סוגי חימוש (כמובן ששימוש בנקודות אלו יפגע ביכולת החמקנות של המטוס).
- **אוויוניקה, תקשורת, תוכנה:** מאמץ גדול במיוחד הושקע בפיתוח התוכנה. הרעיון המרכזי בארכיטקטורת התוכנה הוא "היתוך מידע" מכלל החיישנים למערכת מידע אחודה. כך הופכים החיישנים השונים ל"טיפשים" יותר, וה"חכמה" מתרכזת במערכת אחת. למטוס יש גם חליפת תקשורת מתקדמת, המכילה תקשורת לוויינים לתקשורת מעבר לקו הראייה. יש בו ממסרי נתונים מתוחכמים שיאפשרו חלוקת מידע בין מטוסים במבנה, וכן החלפת מידע עם מטוסים אחרים ועם תחנות קרקע, ניידות או נייחות.
- **לוגיסטיקה:** בפרויקט ה-F-35 מושקע מאמץ גדול גם בפיתוח יכולת התחזוקה של המטוס עם רמות של אמינות תפעולית ותחזוקתית גבוהות, וכן מערך תחזוקה וסיוע עם יכולת תגובה מהירה: המערך הממוחשב ישלב נתונים מבצעיים של מטוסים עם פרמטרים של קונפיגורציה ספציפית למטוס, היסטוריה של רכיבים, השבחות מתוכננות ופרוגנוסטיקה.

מצב הפרויקט והביקורת עליו

תכנית ה-JSF סבלה, בדומה להרבה תוכניות פיתוח מערכות נשק מורכבות, מחריגות ניכרות הן בעלויות והן בלוחות הזמנים. בין שנת 2002 ל-2009 חרגה

התכנית בכ-100 מיליארד דולר מתקציבה המתוכנן ומדחייה של שנה שלמה בשלב פיתוח המערכות.

הפרויקט הוא אחד הגדולים של מערכת הביטחון האמריקנית וההוצאה המתוכננת עליו היא בסך 238.6 מיליארד דולר. כדי להאיץ את הפיתוח החליטו ראשי התוכנית להיכנס לשלב ייצור ראשוני בקצב איטי (LRIP low rate initial – production) לפני שהסתיימו כל שלבי הפיתוח, והרכשת המטוסים החלה כבר בשנת התקציב 2007.⁶

ואולם יש לזכור, שתהליך טיסות הניסוי עדיין מצוי בשלבי הראשונים. טיסות ראשונות של המטוסים מדגם A החלו אמנם בראשית שנת 2007, אך רק ביולי 2010 טס מכ"מ ה-AN/APG-81 את טיסתו הראשונה על מטוס F-35.⁷ בראשית שנת 2010 הודיעו ראשי הפרויקט, כי שלב המבצעות הראשונה של דגמי חיל האוויר והצי נדחו לשנת 2016.

הביקורות על המטוס, בהיבטים הטכנולוגיים שלו עסקו בנושאים שונים. להלן עיקרי הטענות.

- **חמקנות:** א. המטוס תוכנן לחתימה נמוכה למכ"מים בתחומי X-band וכן בתחומי Ka/K/Ku-band – תחומי תדרים המתאימים לרוב האיומים הקיימים כיום. חתימה נמוכה זו אפקטיבית בעיקר בגזרה קדמית, ופחות מכך בגזרות אחרות. מידת החמקנות שלו נמוכה הרבה יותר כנגד מערכות מכ"ם בתחומי תדר נמוכים יותר (וכבר היום מפתחים הרוסים מערכות בתחומים אלה). ב. יכולת החמקנות מותנית בנשיאת חימוש בתאים פנימיים, שקיבולם מוגבל. תליית חימוש חיצוני אפשרית, אך בכך תיפגע החמקנות. ג. ה-F-35 הוא המטוס החמקן הראשון המוצע למכירה ללקוחות מחוץ לארצות-הברית. בכמה מן המדינות המשתתפות בפרויקט הועלו חששות, שהמטוס יימכר להן ברמת חמקנות נמוכה מהמרבית.
- **תוכנה וחומרת מחשב:** תוכנת המטוס היא תוכנה אינטגרטיבית, המעבירה את ה"שכל" מן החיישנים ומערכות המשנה אל מערכות מחשוב מרכזיות. התוכנה מורכבת ביותר, ומורכבות זו מעוררת קשיים כבר בשלבי הפיתוח. המבקרים חוששים שבעיות קשות עשויות להתגלות באיחור, כשמספר רב של מטוסים כבר יהיו בשירות מבצעי.⁸
- **מבנה והנעה:** משלביה הראשונים נתקלה התוכנית של מבנה המטוס בבעיות של עודף משקל. מאחר שיחס דחף/משקל הוא הרכיב החשוב ביותר בביצועיו של מטוס קרב, ומאחר שהמטוס הוא חד-מנועי, נאלצו המתכננים לעשות מאמצים גדולים להקטין את משקלו, וזה גם על חשבון יכולת תמרון (יכולת לעמוד במספרי G גבוהים), אורך חיי המבנה וכמות דלק פנימית. מבקרים מחוץ לארצות-הברית הדגישו, שהקטנת הביצועים קריטית פחות ללקוחות

האמריקנים (בהנחה שחלק ממשימות הקרב יוקצה למטוסי F-22), הדבר יהיה קריטי יותר למדינות שבהן יהיה ה-F-35 המטוס המתקדם ביותר במערך. חששות נוספים הועלו בנוגע למנועי ה-F-135. אלו מתוכננים לפעול בטמפרטורות גבוהות יותר מכל מנוע קיים אחר, והמבקרים העלו חששות שלאורך זמן יתעוררו בעיות בשל כך.

- **שילוב מערכות נשק:** מטוס ה-F-35 תוכנן מלכתחילה להיות מסוגל לשאת כמעט את כל סוגי הנשק – אוויר-אוויר ואוויר-קרקע – שבמצאי של צבא ארצות-הברית. ואולם מתברר שאצוות הייצור המוקדמות של המטוס מוגבלות מאוד במספר סוגי מערכות הנשק שיוכלו לשאת. בשל העיכובים בפיתוח נדחתה אינטגרציה של מערכות נשק רבות לאצוות הייצור המאוחרות יותר, ולאחר שתחל אספקת המטוסים הראשונים ללקוחות.

חיכוכים עם השותפות

שמונה המדינות השותפות בפרויקט חלוקות ביניהן על נושאים של חלוקת עבודה ועל נושאי בעלות על טכנולוגיה. כולן הביעו אי-שביעות רצון מסוג העבודות ומהיקף העבודות שהוקצו להן, ואיימו להקטין את השתתפותן או לבטל את הזמנת המטוסים. ממשלות איטליה ובריטניה ניהלו לובי למען הקמת מתקני הרכבה בשטחן. חשש אחר של המדינות המשתתפות הוא, שארצות-הברית תהיה זהירה בהעברת טכנולוגיות אליהן, ואכן בנובמבר 2009 נמסר, שמשרד ההגנה החליט לא לשתף את השותפה הבכירה, בריטניה, בכמה טכנולוגיות רגישות. להחלטה זו יש כמובן השלכות על שותפות זוטרות יותר.

כמה מטוסים יירכשו?

מחירו של ה-F-35 ללקוחות תלוי במידה רבה במספר המטוסים שייוצרו. על-פי התוכנית שאישר הקונגרס של ארצות-הברית, ירכשו הזרועות השונות של הצבא 2,456 מטוסים בסך הכול.

מהו אפוא מחיר המטוס? על-פי נתוני הקונגרס יש שני מחירים: עלות יחידה בתוכנית כולה (PAUC program acquisition unit cost) – עלות התוכנית כולה, מחולקת במספר המטוסים – עומדת כיום על 133.6 מיליון דולר. המחיר השני הוא עלות הרכשה ממוצעת (Average Procurement Unit Cost – APUC), שהוא עלות הרכישות בלבד, מחולקות במספר המטוסים. מחיר זה עומד כיום על 113.6 מיליון דולר.

בשלב זה עדיין לא ברור כמה מטוסים יירכשו בידי לקוחות חוץ. בהנהלת התוכנית מעריכים, שמכירות החוץ של המטוס יהיו 2,000 עד 3,000 מטוסים,

ומובן שרכישות אלו יורידו את מחיר המטוס בשיעור ניכר. מכאן גם ברור העניין של ארצות-הברית במכירת המטוס לישראל.

המבקרים חוששים שמספר המטוסים שימכרו יהיה קטן בהרבה, ועל כן המחיר ליחידה יהיה גבוה בהרבה. בדוח מומחים שהוכן לבקשת הפרלמנט של הולנד העריכו, שיימכרו לא יותר מ-2,500 מטוסים. החוקרים העריכו כי שלוש הזרועות של צבא ארצות-הברית ירכשו בסופו של דבר 1,170 – 1,440 מטוסים.⁹

מספר נמוך זה ישפיע הן על מחיר היחידה והן על עלייה חדה בעלויות השבחות בעתיד, וכך גם האפשרויות לרווחים לתעשיות הביטחוניות המקומיות קטנים בהרבה מן המחושב כיום. בסיכום, מעריך מחבר הדוח, כי עלות מחזור החיים השלם של המטוס תהיה כפולה מזו המוערכת כיום.

הערות

- 1 המקורות העיקריים לנספח זה הם:
א. אתר www.globalsecurity.org
ב. F. C. Spinney Jr., "The JSF: One More Card In The House", *Proceedings Magazine*, August 2000, Vol. 126.
ג. Jeremiah Gertler, "F-35 Joint strike fighter program – Background and issues for Congress," *CRS report RL30563*, April 2, 2010.
ד. Carlo Kopp "Assessing the Joint Strike Fighter", באתר <http://www.ausairpower.net>. אתר זה עוד שפע מידע מכיוון שהוא מוקדש בין היתר למאבק בתוכנית של חיל האוויר של אוסטרליה לרכוש את ה-F-35.
ה. Carlo Kopp, "F-35 – JSF program – collapse is 'when' question, not an if question" באתר www.ausairpower.net
- 2 שטח חתך מכ"מי – שח"מ – נקבע על-פי השוואת הד המכ"מ המוחזר מן המטוס להד שהיה מוחזר ממשטח שטוח, הנמצא בדיוק בניצב למקור המכ"מ. על-פי נתונים שפורסמו – השח"מ של ה-F-22 הוא בין 0.0001–0.0002 מ"ר – כמו של גולת משחק. ל-F-35 שח"מ קדמי של 0.0015 מ"ר – כלומר פי 10–15 מזה של ה-F-22 אבל בגודל של כדור גולף. להשוואה – שח"מ של מיג-29 הוא כ-5 מ"ר.
- 3 AESA – Active Electronically Scanned Array מכ"מ מסוג זה בנוי ממערך של יחידות שידור וקליטה עצמאיות. מכ"מ של מערך מופע המרכז את אלומת המכ"מ על-ידי הבדלי מופע בין היחידות השונות, ועל כן מכיר בשינוי דפוס ההתאבכות בין שידורי היחידות. כך אפשר להסיט את אלומת המכ"מ מידית (תוך נאגו-שניות) לכל כיוון אפשרי, וכל זה בלי חלקים נעים (לעומת מכ"מים מדור קודם, שבהם הנעת האנטנה היא מכאנית). כן הוא מסוגל להפיק כמה אלומות של קרינת מכ"ם לכיוונים שונים ובתדרים שונים, למשימות שונות – כל זה בו בזמן. למכ"ם AN/APG-81 יש 1,200 יחידות שידור וקליטה עצמאיות.
- 4 Electro-Optical Targeting System – EOTS
- 5 Distributed Aperture System – DAS
- 6 לשנת 2010 תוקצבו עשרה מטוסים מדגם F-35A לחיל האוויר, 16 מדגם F-35B בעבור הנחתים, ושבעה מדגם F-35C בעבור הצי.
- 7 המכ"ם צבר שעות טיסה רבות מאז שנת 2005 – תחילה על גבי מעבדה מוטסת

- (שהותקנה על מטוס BAC-111), ואחר-כך על מעבדה מוטסת של חברת Lockheed-Martin (על מטוס בואינג 737). כך גם מערכות אוויוניקה אחרות. 8
- דוגמה חריפה לבעיות שעלולות להתעורר במערכות מורכבות כאלה הייתה האירוע, בפברואר 2007, כאשר התוכנה במבנה של מטוסי F-22 קרסה במהלך טיסתו הראשונה של המטוס מחוץ לגבולות יבשת אמריקה.
- “Squadron shot down by the international date line,” *Defense Industry daily*, March 1, 2007 – <http://www.defenseindustrydaily.com/f22-squadron-shot-down-by-the-international-date-line-03087>
- Johann Boeder: Market analysis for the JSF, *CEOworld.biz*, October 20, 2009. 9