

עיניים טכנולוגיות

רק מעט טכנולוגיות פותחו באופן ספציפי להפקת מודיעין, אולם כמעט כל טכנולוגיה חדשה יכולה לשמש גם את המודיעין. המסקנה: מי שרוצה לחדש בתחום המודיעין צריך לעקוב ברציפות אחר חידושי הטכנולוגיה



שנים עשר המרגלים חוזרים ממישימתם בארץ כנען - איור של גוסטאב דורה | מידע על האויב - על תוכניותיו, על כוחותיו ועל שיטות הפעלתם - היה מאז ומתמיד מרכיב חשוב בארגז הכלים של המפקד ואיפשר לו לערוך את כוחותיו ולהפעילם בצורה האופטימלית

מידע על האויב - על תוכניותיו, על כוחותיו ועל שיטות הפעלתם - היה מאז ומתמיד מרכיב חשוב בארגו הכלים של המפקד ואיפשר לו לערוך את כוחותיו ולהפעילם בצורה האופטימלית. הנושא אוזכר כבר בתנ"ך - למשל 12 המרגלים ששלח משה והשניים ששלח יהושע ליריחו - וסון טסו הסיני אף כתב כי משאסף המצביא די מידע על האויב, יוכל להיות בטוח בניצחונו.

אבל לאורך אלפי שנים איסוף מידע כזה היה כרוך במשלוח אנשים - בין אם נקראו מרגלים או סיירים - אל תוך מעוזי כוחו של האויב או אל השטח שבו היה צפוי להיערך הקרב וקרוב ככל האפשר אל האויב, וראו מקרה יונתן במכמש.¹ כדי לאפשר להם לשרוד - אם התגלו - היו סיירים כאלה כמעט תמיד רכובים, ובמהלך השנים כלל תפקידם של פרשים קלים גם סיוור, כולל מעבר לקווי האויב. הפיתוח הטכנולוגי היחיד שיכול היה לסייע לכוחות הסיוור באותה התקופה היה הטלסקופ, שבמקור נכנס לשימוש בים, ובהמשך גם המשקפת הדור עינית, שאומנם הייתה מעט פחות יעילה, אך הייתה פחות מסורבלת. יש להדגיש כי איסוף המידע (או השגתו) לא הביאו תועלת, אלא משהייתה דרך מהירה ובטוחה להעבירו לתעודתו, והדבר היה תלוי באמצעי התקשורת. בתקופה הקדומה, ולפעמים אפילו היום, המידע שנאסף הובא אישית על ידי הסיירים לידיעת המצביא. התהליך הזה סבל משתי בעיות: אם מסיבה כלשהי אבדו הסיוור כולו או השליח, אבד גם המידע שיכול היה להיות חיוני. הבעיה השנייה הייתה העיכוב הכרוך בשיטה הזאת של העברת המידע.

מידע כללי מאוד על אירועים מוגדרים מראש ניתן היה להעביר באמצעות מדורות (מולד הירח, למשל, בתרבות היהודית) או באמצעות סימני עשן (אצל האינדיאנים בצפון-אמריקה). באפריקה התפתחה שיטה (שהגיעה מאוחר יותר על ידי עבדים לחצי הכדור המערבי) של העברת מידע באמצעות תופי טם-טם. השיטה הזאת יכלה להעביר מידע במהירות של כ-160 קמ"ש, אך חסרונה היה שהייתה ספציפית לשפת המפעילים, והיא אף הייתה מוגבלת בגמישותה או ביכולתה להעביר מידע שלא היה מוטמע בתרבות המפעילים. אך חוץ מאשר החריגים האלה, העברת המידע הייתה תלויה במהירות התנועה (רגלית או רכובה) של זה שנשא אותו. בכמה מדינות הקימו רשת תחנות שבהן ניתן היה להחליף סוסים כדי להשיג מהירות גבוהה בהעברת מידע אסטרטגי לתעודתו. בימינו כמובן משמשים למטרה הזאת הטלפון והאלחוט בצורותיהם השונות.

כדורים פורחים - חידוש מהפכני בתחום המודיעין

החידוש הטכנולוגי הראשון, שניתן להגדירו מהפכני, היה הופעת הכדור הפורח. אף כי בתחילה היו הכדורים הפורחים מעוגנים לקרקע, הרי עצם הגבהתה של נקודת התצפית לגובה של כמה מאות מטרים

רס"ן (דימ') ד"ר עזריאל לורב
מומחה לטכנולוגיה צבאית



והיכולת "לשדר" את המידע, כולל שרטוטים ומפות, באמצעות פתקים שהוטלו לקרקע היו שינוי מהותי, לפחות ברמה הטקטית. השימוש הראשון בכדור פורח (המבוסס על אוויר חם) נעשה בקרב בין כוחות המהפכה הצרפתית לבין הקואליציה האנטי-צרפתית ב-1794 והסתיים בניצחון הצרפתים שהפעילו את הכדורים הפורחים. הכדורים הפורחים שימשו עוד כמה פעמים, אך משעלה נפוליאון לשלטון, הוא פירק - מסיבות לא ברורות - את יחידת הכדורים הפורחים ב-1799. לעומת זאת תרם נפוליאון תרומה ניכרת למהירות העברת המידע באמצעות הקמת רשת של מגדלי הסמפור (שיטת איתות באמצעות מוטות). אלה ייתרו את הצורך בתנועה פיזית של המידע. חסרונה היחיד היה שלא הייתה שימושית בחשיכה.

בכדורים פורחים נעשה פעם נוספת שימוש במלחמת האזרחים האמריקנית. צבא הצפון הקים יחידת תצפית אווירית (בפיקודו של מדען) ששימשה בתחילה למיפוי השטח לטווח של כמה קילומטרים. המפות האלה היו מדויקות והכילו יותר פרטים מכל מאמץ קרקעי שנעשה למטרה הזאת. בהמשך שימשו כדורים פורחים לטיווח ארטילריה באמצעות איתות דגלים. היה זה שימוש ראשון אי פעם בירי עקיף, שבו התותחנים כלל אינם רואים את מטרתיהם. הכדורים הפורחים מולאו תחילה ב"גז פחם"² ואז הובלו לשדה הקרב, אך בתוך זמן קצר פותח גנרטור מימן נייד שאיפשר למלא את הכדור במקום שבו היה אמור להיות מופעל. גם צבא הדרום ניסה את הטכנולוגיה הזאת, אך נואש מכך מהר בגלל מחסור בחומרי גלם כתוצאה מהמצור הימי. במלחמת האזרחים האמריקנית גם נעשה לראשונה שימוש נרחב בטלגרף להעברת מידע שנאסף ולהעברת הנחיות לפעולה.

מטוסים בשירות המודיעין - החידוש של מלחמת העולם הראשונה

הכדורים פורחים לתצפית שימשו גם במלחמת העולם הראשונה, אך התפתחות המטוסים ייתרה את השימוש בהם, מה גם שהם היו מטרה שמנה ומפתה למטוסי הקרב של האויב. השימוש במטוסים שיפר את המידע המופק מהסיוור האווירי, בייחוד כאשר שודך לתחום טכנולוגי חדש שהתפתח במהירות - הצילום

איסוף המידע (או השגתו) לא הביאו תועלת, אלא משהייתה דרך מהירה ובטוחה להעבירו לתעודתו, והדבר היה תלוי באמצעי התקשורת

התרחבות השימוש באמצעים אלחוטיים להעברת מידע חשוב הביאה למאמץ ניכר לפתח אמצעים להצפנת התקשורת האלחוטית, ומנגד - למאמצים להאזין לתשדורות האלה ולפצח את הצפנים לסוגיהם

תרומה משמעותית לניצחון.⁵ עם תום מלחמת העולם השנייה והופעתו של האיום החדש, ברית המועצות, פגה במידה מסוימת חשיבותו של איסוף המידע הטקטי, ומידע אסטרטגי, ולא פחות חשוב, מידע כלכלי, תפסו את מקומו. בעקבות השימוש המתרחב באמצעים אלקטרוניים החלו קומינט וסיגינט (מודיעין תקשורת וניתוח אותות אלקטרוניים) לתפוס את

האווירי. עם זאת, התצפית האווירית הישירה, לפעמים אפילו של מפקדים בכירים, הייתה בשימוש נרחב גם במלחמת העולם השנייה. את משימות הצילום האווירי ביצעו בדרך כלל מטוסי קרב מהירים שחימושם הוסר כדי להפחית ממשקלם - מה שאיפשר להם לטוס בגובה רב ובמידת הצורך להתחמק ממטוסי יירוט.³

תוצאות הסיורים שימשו הן לתכנונים ברמה האסטרטגית והן ברמה הטקטית. ברמה הטקטית הופעלו יחידות סיור ייעודיות באופן נרחב, והן כללו בדרך כלל כלי רכב קלים, מכונות משוריינות לסוגיהן ולעיתים גם טנקים קלים. בכמה חזיתות שימשו יחידות הסיור גם במשימות פשיטה.⁴ חסרוןן של כל אלה היה בעובדה כי כדי להשיג מידע שימושי נאלצו היחידות האלה להתקרב פיזית אל האויב.

עליית המודיעין האלקטרוני

התרחבות השימוש באמצעים אלחוטיים להעברת מידע חשוב הביאה למאמץ ניכר לפתח אמצעים להצפנת התקשורת האלחוטית, ומנגד - למאמצים להאזין לתשדורות האלה ולפצח את הצפנים לסוגיהם. על חשיבות פיצוחם של צפני האניגמה ושל הצפנים היפניים אין צורך להכביר מילים, אף שההירות והעיקשות של הגרמנים (ושל היפנים) תרמו את חלקן להצלחותיהן של בעלות הברית בתחום הזה ותרמו



בלון תצפית גרמני ממריא במלחמת העולם הראשונה | הכדורים פורחים לתצפית שימשו גם במלחמת העולם הראשונה, אך התפתחות המטוסים ייתרה את השימוש בהם, מה גם שהם היו מטרה שמנה ומפתה למטוסי הקרב של האויב

מטוס הביון האמריקני U-2 | על אף כל הסיכונים התברר שההימור בפיתוח ה-U-2 השתלם, לפחות בהתחלה. כבר בטיסתיו הראשונות הביא המטוס כמויות גדולות של מידע בלתי צפוי ויקר ערך על הפעילות הסובייטית בתחומי התעופה, הטילים והחלל, כולל צילומים של שדות תעופה ושל אתרי שיגור



פיתוח מטוסי הריגול

ברית-המועצות הייתה שטח בלתי מוכר לחלוטין. לאיש במערב לא היה כמעט מושג איך נראה עומק השטח הסובייטי. הדבר הגיע לאבסורד כאשר תכנונים אמריקניים למלחמה עתידית הסתמכו על מפות גרמניות מתקופת מלחמת העולם השנייה, ואלה כיסו רק את השטח עד הרי האורל. אף כי מטוסי סיור וצילום שונים ביצעו גיחות אל תוך השטח הסובייטי, לא היו אלה חדירות עמוקות של ממש. איום מטוסי הקרב ולאחר מכן איום טילי הנ"מ לגובה רב מנעו טיסות צילום סדירות. השטח העמוק עדיין היה מחוץ לתחום ובלתי מוכר. סוכנות הביון המרכזית פנתה אל מנהל מפעל הפיתוח של לוקהיד, קלי ג'ונסון, ומפעל "הבוואשים" שבניהולו נרתם למשימה.⁶ התוצאה הייתה ה-U-2. בזמנו היה זה פלא טכנולוגי. המטוס שייט בגובה של כ-70 אלף רגל (יותר מ-21 ק"מ) - הרבה מעל לתקרת הטיסה של מטוסי הקרב

מרכז הבמה, וכל הנוגעים בדבר השקיעו מאמצים אדירים בתחומים האלה. הצרה הייתה שללא אישוש ממקורות אחרים עלולה הייתה ההסתמכות הבלעדית על אמצעים אלקטרוניים להביא למסקנות מוטעות, ובתחום המודיעין מסקנות מוטעות הן מתכון לאסון פוטנציאלי. דוגמה בולטת למסקנה מוטעית מעין זו היה האירוע הבא: ארה"ב עקבה אחרי השידורים הסובייטיים השונים שהיו קשורים בניסויי מערכת טילים בליסטיים חדשה. משנפסקו השידורים האלה הסיק מודיעין חיל האוויר האמריקני שהניסויים הסתיימו ושהמערכת נכנסה לייצור. סוכנות הביון המרכזית התנגדה למסקנה הזאת ורק שנים מאוחר יותר התברר שצדקה: הניסויים נפסקו בגלל קשיים טכניים בפיתוח - מציאות הפוכה לחלוטין מהמסקנה שאליה הגיע חיל האוויר - מסקנה שהיו לה השלכות על הצטיידות ועל מהלכים אסטרטגיים שונים. דרוש היה משהו טוב יותר ועדיף, משהו המסתמך על מידע מסוג אחר.

שיעור הגיחות המבצעיות של המטוסים הלא מאוישים מכלל הגיחות המבצעיות הוא כיום משמעותי מאוד הן בחיל האוויר הישראלי והן בחיל האוויר האמריקני

על גבול המדע הבדיוני - "הציפור השחורה"

הלוויינים תרמו רבות לאיסוף מודיעין, אך בעייתם הייתה רום הטיסה - סדרי גודל של מאות ק"מ - ואפילו המצלמות המשוכללות שלהם לא איפשרו עדיין לראות הכול, שלא לדבר על חוסר היכולת של המצלמות באותם הימים להתגבר על מחסום העננות. נוסף על כך מסלולי הטיסה של הלוויינים היו מוגבלים ובאותה התקופה בלתי ניתנים לשינוי אחרי השיגור. והחמור מכול: בתקופה שלפני צילום הווידאו ושידורו הרציף ניתן היה לראות את החומר שצולם רק אחרי שהלוויין עצמו (או התא שהכיל את סרט הצילום) הונחת חזרה, ופירושו של דבר היה שכל ההוצאה הכספית הכרוכה בשיגור ירדה לטמיון. מהבחינה הזאת למטוסים מאוישים היה יתרון גדול: בסוף משימה של כמה שעות נחת המטוס, סרטי הצילום הוצאו ופותחו, והמידע היה מוכן לבדיקות המפענחים. במידת הצורך היה מטוס כזה מוכן למשימה חדשה בתוך כמה שעות. סוכנות הביון הייתה כמו כן ערה לכל השיקולים האלה וב-1959 יזמה תחרות בין לוקהיד לקונווייר לפיתוח מטוס הריגול העתידי שאמור היה לטוס במהירות של 3,800 קמ"ש (3.2 מאך) ובגובה של יותר מ-90 אלף רגל (יותר מ-27 ק"מ). לוקהיד זכתה במכרז ובנתה את ה-A-12 שממנו פותחה בהמשך הציפור השחורה (SR-71).

התוצאה הייתה מטוס כמעט עתידני. בגלל מהירותו (והחום שנבע מהחיכוך באוויר) נבנו המטוסים ברובם מטיטניום - מה שכשלעצמו היה מקור לאינספור בעיות טכניות בגלל חוסר הניסיון בעבודה עם המתכת הזאת. בסופו של דבר התגברו האמריקאים על הבעיות, ה-A-12 נכנס לשימוש סדיר ב-1962 ואחריו - ה-SR-71. המטוס הזה הוצא מהשירות באופן סופי ב-1998, בעת שעדיין החזיק בכל שיאי המהירות למטוסי סילון ובלי שאף אחד הופל על ידי פעילות אויב.

עליית המל"טים

"הציפור השחורה" הייתה הישג טכנולוגי ייחודי של מעצמה עשירה מאוד ומתקדמת מאוד מהבחינה הטכנולוגית. ומה יעשו מדינות עניות יותר הרוצות לצלם בעומק השטח של יריבותיהן? שיגור מטוסי קרב רגילים שהוסבו למטוסי צילום היה רעיון מקובל, אך יישומו היה כרוך בסיכונים לא מבוטלים. כך צץ הרעיון לשלוח למשימות המסוכנות האלה מטוסים ללא טייס. גם האמריקנים חשבו ללכת בכיוון הזה - עוד לפני שפיתחו את ה-A-12 ואת הציפור השחורה. ההתפתחות הניכרת באמצעי הנ"מ והלקח המר מהפלת ה-U-2 שיכנעו את האמריקנים כי בטיסות סיור מעל אזורים מוגני טילים עדיף להשתמש במטוסים בלתי מאוישים. לצורך כך הם לקחו ב-1962 מל"ט קיים ששימש מטרת ירי אווירית והסבו אותו למטוס סיור. היה זה הפיירבי (Firebee) של חברת רייאן, והוא שימש לטיסות ריגול מעל וייטנאם, קוריאה וסין. מאוחר יותר הוא נמכר לכמה מדינות - ובכלל זה לישראל ב-1971.

כאמור, ארה"ב לא הייתה היחידה שהתעניינה במטוסים בלתי מאוישים. קבוצה של חובבי טיסנאות בישראל דחפה לאימוצו של הרעיון הזה בצה"ל. קצינים בכירים התנגדו לכך בטענה כי מל"טים ומזל"טים הם צעצועים לחובבים וכי צה"ל לא צריך לבזבז עליהם

הסובייטיים ומעל לגובה המרבי שאליו יכלו להגיע אז טילי הנ"מ מדגם SA-2. רום הטיסה הזה כשלעצמו הציב אתגר קשה למפתחי המטוס: על המנוע היה לפעול ביעילות הן על פני הקרקע וכן בגובה שבו צפיפות האוויר היא פחות מ-6% מאשר זו שעל הקרקע. הדלק למנוע היה נגזרת של תרסיס נגד חרקים והיה מסוגל לפעול כיאות כשהטמפרטורה בחוץ הייתה בסביבות מינוס 60 מעלות.

ב-U-2 התעוררה גם בעיה אווירודינמית סבוכה. כדי לפצות על צפיפות האוויר הנמוכה שייט המטוס במהירות גבוהה יחסית, וירידה במהירות עלולה הייתה לגרום להזדקרות. אך במהירות הזאת, שהייתה על סף המהירות העל-קולית, החלו להופיע אפקטים של דחיסות הנובעים מהקרבה למהירות הקול. אלה גרמו לרעידות ועלולים היו להביא להתפרקות המטוס באוויר. המרווח בין מהירות ההזדקרות למהירות הופעת הרעידות היה כ-10 קמ"ש בלבד, ועל הטייס היה לטוס במרווח הצר הזה ולהיות עירני במשך שעות ארוכות כדי לא לחרוג לכאן או לכאן.

בעיה אחרת, שהביאה בסוף לכישלון מהדהד, הייתה ההנחה האמריקאית כי המכ"מים הסובייטיים אינם משוכללים יותר מאלה האמריקאיים ואינם מסוגלים לעקוב אחרי המטוס. גם אחרי שהתברר שההנחה הזאת מוטעית, נשארה סוכנות הביון המרכזית שאננה: אנשיה הניחו - שוב בטעות - כי אפילו אם הסובייטיים יגלו את המטוס, הרי חוץ מלחרוק שיניים הם לא יוכלו לעשות הרבה.

על אף כל הסיכונים התברר שההימור השתלם, לפחות בהתחלה. כבר בטיסותיו הראשונות הביא המטוס כמויות גדולות של מידע בלתי צפוי ויקר ערך על הפעילות הסובייטית בתחומי התעופה, הטילים והחלל, כולל צילומים של שדות תעופה ושל אתרי שיגור. המידע שהביא ה-U-2 שלל למעשה את הרעיון (שנבע מההצלחות המפתיעות הראשונות של הסובייטיים בסוף שנות ה-50 בתחום הלוויינות) כי לסובייטים מאות טילים בליסטיים המכוונים אל ליבה של ארצות-הברית. זהו "פעד הטילים" האימתני שהחריד במשך שנים רבות את שלוותם של האמריקנים והכתוב היבטים רבים בפעילות הצבאית האמריקנית.

ההצלחות של טיסות הסיור האלה לא הביאו את האמריקנים לנוח על זרי הדפנה, ואחרי הכישלונות ההתחלתיים והמביכים של תוכנית הלוויינים שלהם אל מול ההצלחות של הסובייטיים הם הצליחו לעלות על דרך המלך והחלו בניסויים ראשונים של איסוף מודיעין באמצעות לוויינים מהחלל.⁷ הביטחון של האמריקנים בסיכויי ההצלחה של הטכנולוגיה הזאת היה כה גבוה, עד כי הנשיא אייזנהאואר הורה להפסיק את טיסות ה-U-2 מפני שתמיד הייתה קיימת האפשרות של יירוט מוצלח או של תקלה שתוצאתם תהיה שערורייה בין-לאומית. סוכנות הביון לחצה לקיים עוד שתי טיסות באפריל 1960, ולרוע המזל הפעם זה קרה! הטיסה השנייה נדחתה בכמה ימים, וב-1 במאי 1960 יירטו הסובייטיים את אחד המטוסים האלה. הטייס נשבה, ופרצה שערורייה עולמית שהביכה את ארה"ב. בין היתר פוצצו הסובייטיים פגישת פסגה מתוכננת בין נשיא ברית-המועצות ליאנויד בראז'נייב לנשיא ארה"ב דווייט אייזנהאואר. למרות זאת המשיכו האמריקנים בטיסות הסיור האלה במקומות אחרים (כולל מעל ישראל). בין היתר גילו טיסות ה-U-2 את הצבת הטילים הבליסטיים הסובייטיים בקובה - מה שגרם למשבר הטילים בנובמבר 1962 והביא את העולם אל סף מלחמה גרעינית (אחד ממטוסי ה-U-2 הופל בעת ביצוע הגיחות האלה).

סקירת ההתפתחויות הטכנולוגיות שהשפיעו על המודיעין מראה כי לבד מהמטוסים מגביהי הטוס והמל"טים כל הטכנולוגיות שתרמו ועדיין תורמות לשיפור מאמצי האיסוף והעיבוד לא פותחו ספציפית בעבור המודיעין על שלוחותיו, וכולן הן נגזרות או התאמות, ברמות שונות, של טכנולוגיות שפותחו במקור לשימושים אחרים

אובייקט התצפית אינו יודע שמסתכלים עליו, ואם ברצונו להימנע מגילוי, הוא חייב לנקוט כל הזמן אמצעים מורכבים כדי להקטין את חתימת התת־אדום שלו.

אמצעי נוסף לאיסוף מודיעין הוא המכ"ם. זה משמש, כמובן, בצורה נרחבת לגילוי מטרות כמו מטוסים, ספינות ואפילו אנשים בתנועה, אך כבר במלחמת העולם השנייה התברר כי באמצעות אורכי גל מתאימים ניתן למפות את הקרקע ממטוסים. כיום משמשים מכ"מים המותקנים במטוסים ובלוויינים לתצפית ולמיפוי באמצעות טכנולוגיה הקרויה SAR (ראשי תיבות של Synthetic Aperture Radar - מפתח סינתטי) הנעזרת בתנועת המטוס (או המל"ט) ומאפשרת תמונה כמעט תלת־ממדית של המטרה.

מהפכת המחשוב

הכניסה הנרחבת של המחשבים לכל תחומי החיים לא פסחה, כמובן, על המודיעין לסוגיו. נוסף על השימושים המקובלים במחשוב לתיק ולעיבוד מסמכים איפשרו המחשבים הצלבה והשוואה מהירה בין נתונים ממקורות שונים - מה שהקטין במידה ניכרת את הסיכון לטעויות אנוש, בעיקר כאשר מדובר בכמויות גדולות של מידע. נגזרת אחרת של הפעילות הזאת היא ניהול ההאזנות לתקשורת וסימון שיחות המכילות מילות מפתח. לאור הגידול העצום בתקשורת, כולל בטלפונים סלולריים, לא ניתן היה לבצע מעקב יעיל אחרי שיחות כאלה ללא מחשבים. שימוש אחר במחשבים, לא פחות קריטי, הוא להצפנת תקשורת וגם לפענוח תשדורות מוצפנות של האויב (ולעיתים גם של ידידים שרוצים לחטט בענייניהם...)

סיכום: לאן כל זה מוביל?

סקירת ההתפתחויות הטכנולוגיות שהשפיעו על המודיעין מראה כי לבד מהמטוסים מגביהי הטוס והמל"טים כל הטכנולוגיות שתרמו ועדיין תורמות לשיפור מאמצי האיסוף והעיבוד לא פותחו ספציפית בעבור המודיעין על שלוחותיו, וכולן הן נגזרות או התאמות, ברמות שונות, של טכנולוגיות שפותחו במקור לשימושים אחרים. זה כמובן מוביל למסקנה שכמעט כל טכנולוגיה חדשנית, או גילוי של התפתחות כזאת אצל האויב, יכולים לשמש לאיסוף מודיעין ולעיבודו. לכן סקירת התפתחויות טכנולוגיות חדשניות עשויה בהחלט לתרום לחדשנות בלתי צפויה בתחום של איסוף מידע מודיעיני ועיבודו. לחלופין היא עשויה למנוע זליגת מידע מועיל לאויב.

הערות למאמר הזה מתפרסמות בסוף הגיליון.

זמן וכסף, אך כמה גיחות צילום מוצלחות (אף שנעשו באמצעים פרימיטיביים) מעבר לתעלה היטו את הכף. בסופו של דבר נכנסה תעשיית התעופה בארץ לנושא, וכיום יש בישראל כמה חברות שמייצרות מל"טים ומזל"טים. שיעור הגיחות המבצעיות של המטוסים הלא מאוישים מכלל הגיחות המבצעיות הוא כיום משמעותי מאוד הן בחיל האוויר הישראלי והן בחיל האוויר האמריקני.

גם בתחום המל"טים והמזל"טים אומצו טכנולוגיות מתקדמות שונות שתרמו רבות לשיפור המוצר הסופי. לדוגמה, במטוסים בכלל ובמסוקים בפרט קיים רעד תמידי שכמעט אינו מורגש על ידי בני אדם או שאינו מפריע לתפקודם, אך הוא עלול לחבל באיכות התמונה שמצלמת המצלמה שנמצאת בתוך כלי הטיס. תחילה פותחו מערכות שיכון המבוססות על חומרים גמישים או על ריסון הידראולי, אך מערכות ייצוב המבוססות על ג'ירוסקופים (סביבונים), שבמקור פותחו למטרות אחרות, תפסו עד מהרה את מקומן. הודות למערכות הייצוב המבוססות על ג'ירוסקופים הושגו תמונות חדות מהאוויר שלא נפלו באיכותן מהתמונות המצולמות מהקרקע. ההבדל היחיד בין מערכות הצילום היבשתיות והאוויריות היה במחיר המערכות.

העיניים האלקטרוניות נכנסות לפעולה

התפתחות אחרת, כמעט מקבילה למל"טים, הייתה התרחבות השימוש באמצעי תצפית שנעזרו באלקטרוניקה, בעיקר לשימוש לילי. אלה כללו מגברי אור כוכבים, שבהם הוגברה תאורה נמוכה מדי לרמה שאיפשרה תצפית נוחה, וכן מעבר מסיבי לשימוש בתחום התת־אדום, שהוא מחוץ לתחום הפעולה של העין האנושית. השימוש באור תת־אדום החל כבר במלחמת העולם השנייה, ויתרונו העיקרי היה טמון בעובדה שלא אמצעים מתאימים לא מקבל אובייקט התצפית שום התרעה על כך שצופים בו. אמצעי כזה היה ה"דגן", שבסוף שנות ה־60 של המאה הקודמת עזר לחסום את מעבר המסתננים מירדן לישראל דרך הבקעה. אמצעי תצפית המבוססים על אור תת־אדום מנצלים את העובדה שכל גוף שהטמפרטורה שלו היא מעל האפס המוחלט (מינוס 273 מעלות צלזיוס) פולט קרינה בתחום התת־אדום. עוצמתה של זו עולה ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר. הבעיה הטכנולוגית הייתה לזהות את הפרשי הטמפרטורה בין הגוף הנצפה - למשל חיילים או רק"ם - לבין הסביבה. לשם כך פותחו גלאים מתאימים, אף כי היה צורך לקררם מאוד (לטמפרטורות שמתחת למינוס 150 מעלות צלזיוס). היום יש כבר גלאי תת־אדום הפועלים ב"טמפרטורת החדר". כפי שכבר הודגש, יתרונם הגדול של גלאי התת־אדום הוא היותם פסיביים, כלומר