

# האחים רייט מודל לקצין המהנדס



מלך הגולשים - אוטו לילינטל (1848-1896) | עד להמצאת המטוס נחשבה הטיסה ליכולת על-אנושית, ורבים - ובהם לילינטל - קיפחו את חייהם בניסיון להשיגה

**סא"ל שמואל שחק**  
רע"ן פלטפורמה ומערכות  
השטה בחיל הים. בוגר  
פ"ם אפק



## האחים רייט הצליחו להמציא את המטוס למרות תנאי התחלה נחותים בכל המישורים: השכלה, ידע טכני, מועד התחלה מאוחר ותקציב נמוך. תנאים דומים קיימים - במלואם או בחלקם - במערכת ההנדסית של הצבא. עלינו לאמץ את הגישה שנקטו האחים רייט בתחום ההנדסה ולנצל את היכולות ואת המשאבים המצויים בידינו: הבנה ותכנון, פרקטיות, עבודה קשה, אמונה, תחושת שליחות ועבודת צוות

### מבוא

הטיסה נראית לנו כיום מובנת מאליה, אולם עד להמצאת המטוס היא נחשבה ליכולת על-אנושית, ורבים קיפחו את חייהם בניסיון להשיגה. את החידה פתרו דווקא האחים וילבור ואורוויל רייט (Wilbur & Orville Wright), שהשכלתם הפורמלית הייתה אומנם תיכונית בלבד, אך שניהם היו בעלי ניסיון מעשי עשיר, בעלי חוש טכני, פרקטיים, שיטתיים ובעלי אמונה ביכולתם. זהותם של שני הממציאים האלה ידועה ברחבי העולם, אולם סיפורם, שיש בו עניין לא פחות מאשר בתהילתם הרגעית (שגם אותה קצרו באיחור ובעמל רב), אינו מוכר לציבור.

מה ניתן ליישם ממנו במערכות צבאיות העוסקות בהנדסה?

גופי ההנדסה בצבא אולי מזכירים ארגון אזרחי (אכן ישנם קצינים ביחידות הטכנולוגיות הרואים בהן מקום עבודה ולא מקום שירות בשליחות ערכית - תופעה המצדיקה מאמר נפרד), אולם ישנם כמה הבדלים בסיסיים ביניהם. גופי ההנדסה בצבא מתאפיינים ברובם בתקציב מוגבל, בפערי איוש הולכים וגדלים עקב המשבר בצה"ל בכוח אדם טכנולוגי, במשימות משתנות ובלתי מתוכננות, בסביבת עבודה נוחה פחות ובמטלות "צבאיות". סיפורם של האחים רייט מזכיר מאוד חלק גדול מהמאפיינים האלה, ומהצלחתם מול מתחרים משכילים ועשירים יותר - למרות ספקנות ואף גלגול - ניתן ללמוד רבות ולהפיק לקחים מתאימים אפילו במאה ה-21, יותר מ-100 שנים לאחר המצאת המטוס. כפי שיתואר במאמר, אימוץ מודל פעולתם והתנהגותם של האחים רייט יאפשר מיקוד הנדסי וניהולי ומיצוי טוב יותר של יתרונות המערכת הצבאית. הדברים נכתבים בעבור מהנדסים במערכת הצבאית, אך רלוונטיים לכל מהנדס.

### רקע כללי

משחר ההיסטוריה צפה האדם בקנאה בציפורים. כבר במיתולוגיה היוונית מסופר על אב ובנו, דדלוס ואיקרוס, שברחו מגלותם באי כרתים באמצעות בניית כנפיים משעווה ומנצות. הטיסה הסתיימה במוות לאחר שהבן, חרף אזהרות אביו, התקרב לשמש, וזו המיסה את השעווה. לאונרדו דה-וינצ'י (1452-1519) עסק גם הוא בתעופה, אם כי לא מתועדים ניסויים שערך. במרוצת השנים תועדו כמה ניסיונות דאייה, אך כולם הסתיימו במוות לאחר הצלחות מקריות ספורות. במשך מאות שנים התרכזו הממציאים בניסיון לחקות את תנועת כנפי ציפורים מעלה-



ציור של איקרוס ודדלוס | משחר ההיסטוריה צפה האדם בקנאה בציפורים וניסה לחקותם

### הקדמה

האחים רייט ידועים בעולם בזכות היותם חלוצי התעופה. ב-1903 הם הצליחו בפעם הראשונה בהיסטוריה של המין האנושי לטוס במכונה הכבדה מהאוויר. אולם כמה אנשים מודעים לרקע האישי שלהם, לדרך שעברו עד למימוש המצאתם ולמרוץ הטכנולוגי המדהים ומלא ההשראה שהם ניהלו להגשמת מה שנראה למדענים רבים בלתי אפשרי? מהצלחתם נגד כל הסיכויים של צמד מוכרי האופניים האלה, שהיו חסרי השכלה גבוהה, אך ניחנו בשכל ישר, בעקשנות ובערכים, ניתן לקחת דוגמה להתנהלות נכונה בתחום ההנדסה. במאמר הזה אסקור את אבני הדרך בפיתוח המטוס הראשון ואצביע על תכונות ראויות שהפגינו האחים רייט - תכונות שרצוי היה שכל מהנדס יאמץ אותן בין אם הוא מהנדס אזרחי ובין אם הוא מהנדס צבאי.

מטה, עד שבתחילת המאה ה-19 חישב המהנדס הבריטי ג'ורג' קיילי (George Cayley), הנחשב לאבי התעופה, את מאזן הכוחות המופעל על מטוס וקבע שאת העילוי יש להשיג באמצעות משטח נייח. לזכות קיילי נזקפת גם הדאייה המאווישת הראשונה באמצעות כלי טיס הכבד מהאוויר. איתרע מזלו של קיילי, ובתקופתו עדיין לא פותח מנוע השריפה הפנימית. מנועי הקיטור של תקופתו היו כבדים מדי ולא צלחו לתעופה. הקהילה המדעית הגדירה את המונח "טיסה" באופן הבא: "תנועה באוויר באמצעות מכונה הכבדה מהאוויר, מונעת, מאוישת, נשלטת בצורה רציפה והמשלימה את מסלולה במקודה שאינה נמוכה מנקודת ההתחלה". עד לחלקה האחרון של המאה ה-19 נערכו ניסיונות עקרים רבים בתחום התעופה, אך אלה לא היו מבוססים על חישובים הנדסיים מעמיקים אלא על הגישה עתיקת הימים המשלבת אומנות והנדסה. מדענים ואנשי רוח לא מעטים סברו שמכונות טיסה אינן מעשיות. האדם הראשון שהגיע להישגים עקביים בתחום התעופה היה הגרמני אוטו ליליינטל (Otto Lilienthal). ליליינטל דאה ממגדלים ומצוקים גבוהים באמצעות מערכת כנפיים שלבש ושהתבססה על חישובים שעשה בעצמו ואשר נודעו בשם "טבלאות העילוי של ליליינטל". על ניסיוני הסתמכו רבים לחישובי עילוי. "מלך הגולשים", כפי שכונה, התפרסם ברחבי העולם, והאנשים ראו בו אקרוטבט אמיץ. הוא ערך יותר מ-2,000 גלישות עד למוותו בהתרסקות לאחר משב רוח פתאומי ב-1896 בברלין. לאחר ההתרסקות ורגע לפני מותו אמר ליליינטל את המשפט: "חייבים להקריב קורבנות קטנים".

האחים וילבור ואורוויל רייט נולדו בשנים 1867 ו-1871 בדייטון, אוהיו, למשפחה אמריקנית טיפוסית. אבי המשפחה היה כומר. כבר בילדותם הם הפגינו חוש טכני מפותח משולב בדמיון, ביוזמה וביכולת אלתור. בגיל 17 מצא אורוויל מכונת דפוס ישנה במגרש גרוטאות, תיקן אותה, והשניים ייסדו עיתון והפיצו אותו בערים. מנהל הדפוס העירוני בדק את המכונה והפטיר: "היא עובדת, אך איני מבין איך".

ב-1892 פתחו האחים עסק לייצור אופניים, ובו עבדו בעצמם עם שוליה צעיר. התרסקותו של אוטו ליליינטל התפרסמה בעיתונות וסיקרנה מאוד את וילבור, והוא החל לעסוק בנושא בינו לבין עצמו. בסוף המאה ה-19 היו לאחים רייט כמה מתחרים מפורסמים שפעלו במקביל באירופה ובארצות הברית. הבולט שבהם היה פרופסור סמואל לנגלי (Samuel Langley), אסטרונום ידוע ומקושר

פוליטית, ששימש מנהל המכון הסמיתסוני בושינגטון - תפקיד שהקנה לו מעמד של מדען ראשי. המוסד האקדמי הזה קיים עד היום ואוצר אוספים, מחקרים ותיעוד טכני מכל רחבי העולם. מסעו של לנגלי בתחום התעופה החל כבר ב-1887. לאחר הצלחתו של דגם דאון מונע בקיטור שאותו הטיס ב-1896 מעל נהר הפוטומק בושינגטון עם חברו אלכסנדר בל, קיבל לנגלי מצבא ארה"ב תקציב עתק של 50 אלף דולר לפיתוח מכונת טיסה. בעזרת הסכום הזה הוא העסיק במכון צוות גדול של מהנדסים שהוקדש כולו לפרויקט. למכונת הטיסה שלו קרא לנגלי "אירודרום" (Aerodrome).

ב-1899 כתב וילבור רייט מכתב למכון הסמיתסוני ובו הגדיר את עצמו "חובב תעופה" וטען שהוא מאמין בכוחו לפתור את הבעיה. הוא ביקש לקבל את כל החומר הטכני שהתפרסם בתחום. בקשתו נראתה לאוצר המכון מוזרה, אולם מאחר שהמנהל לנגלי שהה באותו הזמן בסיור באירופה, אושרה הבקשה, והחומר נשלח.

## תפיסת עולמם של האחים רייט - The Wright Way

קל יחסית להתחקות אחר דרכם של האחים רייט לא רק משום שחלפו רק מעט יותר מ-100 שנה מאז שביצעו את טיסתם ההיסטורית, אלא בעיקר משום שתהליך העבודה שלהם היה מובנה, מאורגן ומתוכנן לפרטים. רבים ממאפייניו של תהליך העבודה, שיתוארו להלן, ראויים לחיקוי. בתחילת הדרך עסק וילבור לבדו בתחום התעופה, אך עם תחילת הניסויים הראשונים בשטח סייע לו אורוויל ונסחף גם הוא לנושא.

## בצד הרצינות שבה התייחסו האחים רייט לכל דבר שעשו הם הפגינו גם התלהבות ואמונה. עד מהרה דנו השניים דנו השניים בסוגיית התעופה בהתלהבות במשך רוב שעות היום, גם תוך כדי עבודתם בסדנת האופניים



בצד הרצינות שבה התייחסו לכל דבר שעשו הפגינו האחים גם התלהבות ואמונה. עד מהרה דנו השניים בסוגיית התלהבות במשך רוב שעות היום, גם תוך כדי עבודתם בסדנת האופניים. מה הייתה תפיסת עולמם של האחים רייט? מה ראוי למהנדסים במערכת צבאית ליישם ממנה - מעבר למקצוענות ולנחישות הברורים מאליהם?

### איסוף נתונים וקריאת חומר קודם

כשניגשים לתחום חדש נכון להתחיל בלימוד עבודות קודמות ולהפיק מהן לקחים. רבים מאיתנו נוטים לזלזל בשלב הזה, גם בכניסה לתפקיד חדש, ו"ממציאים את הגלגל" פעם אחר פעם מחדש. גם מטעויות אפשר ללמוד רבות. עם קבלת החומר מהמכון הסמיתסוני שקע וילבור בקריאה ופיתח כמה תובנות מעניינות. הקריאה חשפה בפניו מקורות חדשים עד שחש כי הבין את הישגים שאליהם הגיעו אחרים וכן היכן לדעתו שגו.

### התייעצות והחלפת רעיונות, איתור מוקדי ידע בתחום

שיתוף מידע הוא חיוני ומאפשר הישגים רבים בכל התחומים. לשם כך נכתבים מאמרים ונערכים כנסים. וילבור ואורוויל נהגו בוויכוחים ביניהם לייצג בכוונה את האיפכא מסתברא כדי לעודד מסקנות מאוזנות ומחושבות.

אוקטב שנוט (Octave Chanute), מהנדס אזרחי אמריקני מפורסם (1832-1910), שהיה מוקד ידע לתחום התעופה, ריכז עבודות של חוקרים מכל העולם ואף עסק בניסויי גלשנים בעצמו. האחים רייט הרבו להתייעץ איתו ולדווח לו על התקדמותם. הקשר הזה נקטע במריבה קשה לאחר ששנוט דרש שותפות בפטנט על המטוס שהגישו האחים בטענה שהדריך אותם. האחים רייט סירבו להיענות לדרישה הזאת. עם זאת אין ספק שתמיכתו המורלית של שנוט סייעה לאחים רייט ברגעי משבר.

### התוויית תוכנית ומימוש הדרגתי שלה

לפני הכל קבעו וילבור ואורוויל רייט תוכנית ובה כמה עקרונות ברזל. הראשון שבהם היה שאת ההתקדמות

תכלול התנסות אישית ואימון רב עד לרכישת המיומנות.

רביעית, וילבור הבטיח לאביו שיקפיד על בטיחות הניסויים. החוקרים האחרים, לעומתם, עברו מהר מאוד משולחן התכנון לבניית דגמים ממונעים ומאוישים. לנגלי, למשל, לא פעל בראייה מערכתית, אלא האמין בשיטת הניסוי והטעייה, שבה מתחילים בניסוי ולאחר מכן, לאט-לאט ובזהירות, משפרים את הנחוי.

### הבנת הבעיה וזיהוי גורמיה

מורים רבים בבית הספר משתמשים באמרה ש"הבנת השאלה כמוה כחצי התשובה". כולנו נוטים להציג את הפתרון לפני שבדקנו מהם הגורמים לבעיה שאותו הוא אמור לפתור. וילבור ואורוויל היו נבונים והשקיעו מחשבה מעמיקה בהבנת האתגר לפני שפתחו בצעדים מעשיים. האחים פירקו את חידת הטיסה לשלושה חלקים:

1. עילוי;

2. יכולת איזון ושליטה;

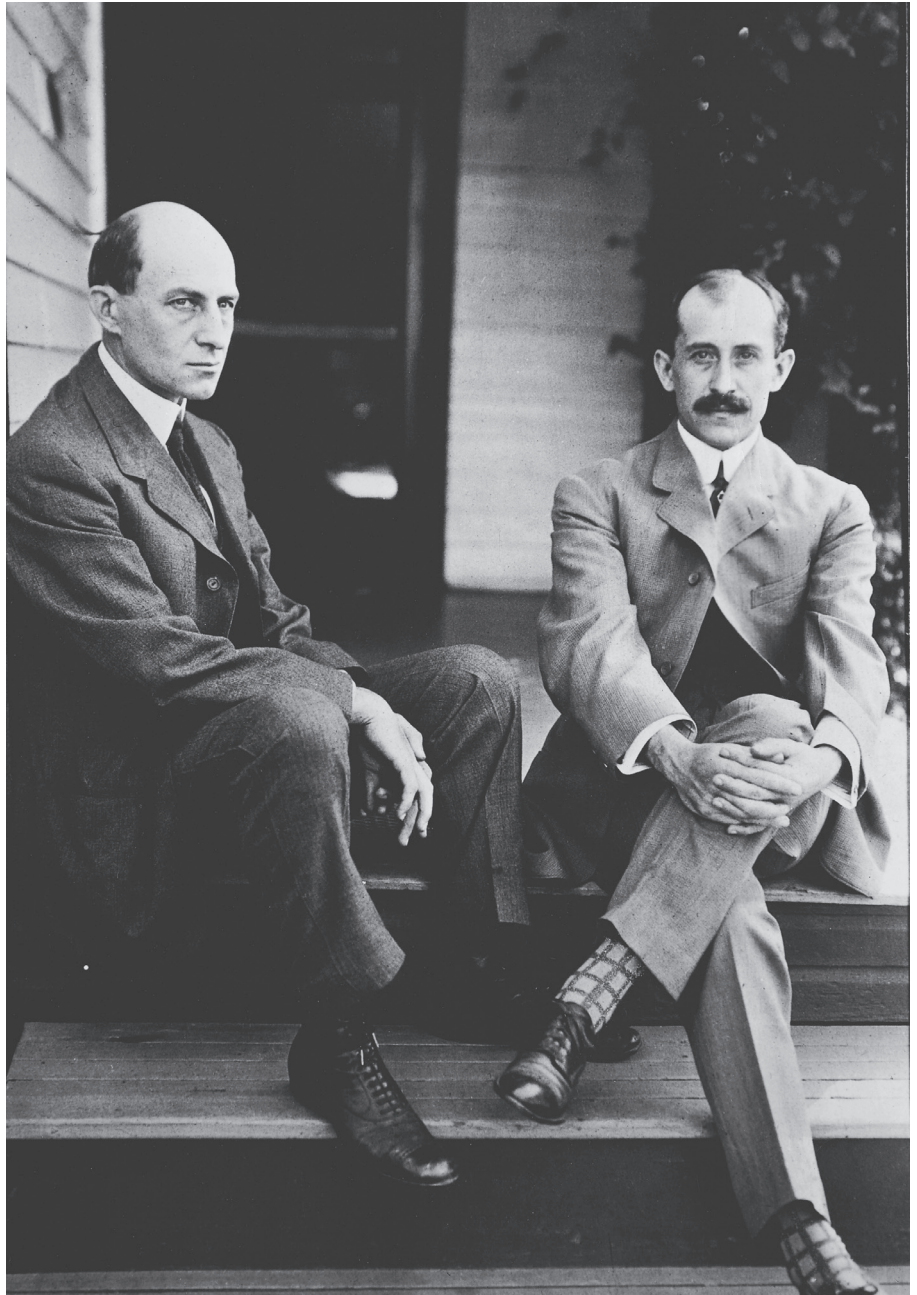
3. כוח דחף להתקדמות.

גישתם הייתה שיש לטפל בכל חלק בנפרד, אך להקפיד על אינטגרציה מערכתית. הם הגיעו למסקנה שטכנולוגיות העילוי וכוח הדחף התקרבו לבשלות הודות לעבודותיהם של אחרים, ולכן מיקדו את מאמציהם בשאלת האיזון. הם הבינו שכישלון בטיסה פירושו סכנת חיים, ושכל פתרון חייב להביא בחשבון משבי רוח.

סמואל לנגלי, לעומתם, פעל בסדר הפוך. על פי השקפתו, כשם שאבן מקפצת על פני המים כל עוד מהירותה גבוהה, כך גם סוד הטיסה טמון בהשגת מהירות גבוהה. לכן הוא התרכז בפיתוח מנוע בעל עוצמה. נאמן לתפיסת השיפורים הקטנים בכל צעד קיווה לנגלי לצבור כך זמן אוויר והזניח את סוגיית האיזון והשליטה. לאחר שהצבא אישר את הפרויקט החל לנגלי לבנות את האירודרום בקנה מידה מלא ודחה שוב את הטיפול בבעיית התמרון.

### יצירתיות ויכולת אלתור

לפתרון בעיה אפשר לגשת באמצעות שיפורם וחיוקם של פתרונות קודמים ("מה שלא הולך בכוח הולך בעוד יותר כוח") או באמצעות "יציאה מהקופסה" וחשיבה מקורית, שנקודת המוצא שלה היא שמה שבוצע קודם לכן הוא ככל הנראה שגוי. כפי שיתואר בהמשך, האחים רייט הגו רעיונות חדשים ומקוריים וניצלו את כושרם הטכני ואת יכולת האלתור שלהם לבחינה מהירה ולהדגמה טכנולוגית של הפתרונות לפני שמומשו בקנה מידה



**האחים אורוויל (מימין) ווילבור רייט | קל יחסית להתחקות אחר דרכם של האחים רייט משום שתהליך העבודה שלהם היה מוכנה, מאורגן ומתוכנן לפרטים**

יש להשיג באופן הדרגתי בכל שלב ושלב: ממודל לקנה מידה מלא, מגלשן למטוס ממונע ומטיסה לא מאוישת לטיסה מאוישת. ברור היה לאחים שללא השלמת כל שלב לא ניתן יהיה להמשיך הלאה, בעיקר משיקולי בטיחות.

שנית, ולא פחות חשוב, לאחר שניתחו את האופי של כל מי שעסקו בתחום עד אז, נדרו וילבור ואורוויל להתייחס לבעיה כמדענים ולא כחובבים נלהבים (Scientists and not enthusiasts).

שלישית, האחים האמינו שטייס חייב להיות מאומן היטב וכי איזון המטוס, עקב אכילס של כל הניסויים עד אז, מחייב מעורבות דינמית של המטיס ממש כמו ברכיבה על אופניים. לכן הם קבעו שההתקדמות

עינינו - אילוץ שלא חל על האחים רייט בהיותם בעלי עסק פרטי. האחים רייט הקפידו על חופש פעולה באמצעות הימנעות מקבלת תמיכה כלכלית שהוצעה להם. הם לא עשו זאת בגלל חששם משותפות ברווחים עם הגשמת חזונם, אלא כדי להימנע מתכתיבים ומהתערבות חיצונית.

היכולת לפעול בצורה עצמאית היא נכס לקצינים צעירים, חיונית להתפתחותם הן בתחום המקצועי והן בתחום המנהיגות. אילוץ תקציב הביטחון מחייבים לעיתים את הצבא לפתח אמצעי לחימה בשותפות עם גורמים חיצוניים, אולם חשוב לוודא ככל האפשר שלא ייפגע מרחב התמרון הניהולי וההנדסי.

### אמונה וביטחון עצמי

עצמאות מובילה לביטחון עצמי - תכונה הכרחית לכל בן אדם, אולם חשובה שבעתיים בעת ביצוע מחקרים שבהם רב הנסתר על הגלוי. בספטמבר 1901, בשעה שהאחים רייט היו שקועים בניסויי הטיסה שלהם, פירסם המתמטיקאי והאסטרונום האמריקני סיימון ניוקומב (Simon Newcomb) מאמר מקצועי שקבע כי "ברמת הידע הנוכחית" אין זה מעשי לפתח מכונה מעופפת. במהלך ניסוייהם אכן חוו וילבור ואורוויל לא פעם כישלונות, אך אלה לא ריפו את ידיהם. אמונה בצדקת הדרך וביטחון עצמי המגובה במקצועיות - אף שכולם סביב חשבו אחרת - היו מתכונותיהם הבולטות של האחים רייט.

### אימות ומדידה

בעידן המחשב נוטים מהנדסים להסתמך על תוצאותיו ללא ספקות ושוכחים שהתוכנה ההנדסית היא אמצעי בלבד, וכי הפלט רגיש לטעויות בקלט (עקרון ה-GIGO: "Garbage in, garbage out"). האחים רייט היו הראשונים שמדדו כוחות עליו וגרר על כנפיים בקנה מידה מלא והראשונים שהשתמשו במנורת רוח למטרות מעשיות. כך הם הגיעו למסקנות מהפכניות בנוגע למוסכמות הנדסיות קודמות. אימות תוצאותיה של אנליזה ממוחשבת באמצעות חישוב אחר הוא בגדר חובה.

### עבודת צוות

האמת ההיסטורית היא שווילבור היה הרוח החיה בפרויקט, בוודאי בתחילת הדרך. עם זאת השותפות עם אורוויל הייתה מלאה, וניתן ללמוד עליה מהתבטאויותיהם הפומביות בדיווחים הכתובים לאוקטב שנוט ובראיונותיהם לאחר הצלחתם: "התחלנו בניסויים מעשיים", "המכונה שבה השתמשנו", "מצאנו ש...". אין שום עדות על מחלוקות כלשהן בין האחים. מנהיגותם הייתה משתפת, ברורה אך שקטה, ועוריהם השונים במהלך הניסויים שערכו כיבדו אותם ונהנו מתשומת לב ומרעות. האחים איפשרו לכל אחד להביע את דעתו (אם כי בניסויים עצמם הטיסו רק הם את הדגמים). ערכים אישיים, אתיקה וכבוד הדדי היו נר לרגליהם.

### תמיכה לוגיסטית

בפרויקטים רבים מדי נדחקים ההיבטים הלוגיסטיים הצידה - בדרך כלל בשל אילוץ תקציב או מחוסר רצון לעסוק בנושא ה"אפור" הזה. בחילות רבים נשמעות בדרגי הפעלה התלהבות מביצועי המוצר לצד תלונות על מחסור בחלקי חילוף, בכלי עבודה, בספרות מקצועית וכדומה. בפיתוח מכונת הטיסה שלהם הקפידו האחים רייט לקיים שרשרת לוגיסטית - מהסדנה בדייטון ועד למחסן המסודר באתר הניסויים. תקלות של הרגע האחרון נפתרו במהירות.

### תיעוד

תיעוד הוא יותר מאמצעי לזכור את הפרטים. תיעוד טוב מאפשר למתעד - ולאחרים - לבצע שחזור מדויק גם בחלוף זמן רב. לכל אורך דרכם הקפידו האחים רייט על רישום מלא של מחשבותיהם, של התקדמותם ושל תוצאות ניסוייהם. רבים מהמסמכים שמורים במוזיאונים שונים ואף פורסמו בספרי זיכרונות. תיעוד מחייב גם מחשבה מסודרת, ראייה ברורה של האירועים שהתרחשו והסקת מסקנות ולקחים מהם בזמן אמת. את הניסויים ערכו האחים בחודשי הסתיו של השנים 1900-1903, כאשר עסקי האופניים היו בירידה. התיעוד ששמרו איפשר להם לשמור על רצף בלי לאבד זמן מיותר.

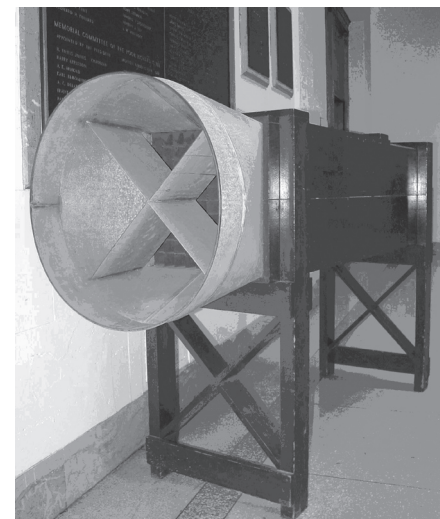
### בטיחות

למפקד בצבא יש אחריות על חיי אדם ועל רכוש, וממנה נגזרת מחויבותו לזהירות ולבטיחות. גורלם של ליליינטל ושל חלוצי תעופה אחרים לא נעלם מעיניהם של האחים רייט או מעיני אביהם הדואג. עם זאת

מלא. חשוב לציין שכורשר האלתור שהפגינו האחים רייט לא היה על פי הגישה הישראלית ש"כל תוכנית היא בסיס לשינויים", אלא באמצעות אלתור בשטח תוך כדי העבודה ולאחר מחשבה.

### ניצול זמן ויעילות

בצבא רווחת התופעה של ריבוי הפסקות לצרכים אישיים שונים. ההפוגות האלה גוזלות זמן יקר מיום העבודה, כך שמשך העבודה האפקטיבי קצר, גם אם יום העבודה מתארך מעבר למוגדר בפקודות. למוסר העבודה ולחריצות של וילבור ושל אורוויל היה חלק נכבד בהצלחתם. את הקשרים החברתיים הם שמרו לערבים, בתום יום עבודה יעיל.



מנהרת הרוח שבנו האחים רייט

### "נסה זאת בעצמך"

בהיותם מעשיים ובעלי חוש טכני מפותח הקפידו האחים רייט להתנסות בעצמם ככל האפשר. הם הדגישו שתיאוריה הינה הבסיס, אולם לתרגול בשטח אין תחליף. מעורבותם האישית - גם בפיקוח על מטלות שהאצילו על אחרים - נבעה מדרישותיהם הגבוהות, מדוגמתם האישית, ממוסר העבודה שהקרינו ומההבנה שאין חכם כבעל ניסיון. הנתק מדרגי השטח אינו בריא גם למערכת הצבאית. מאיתנו, מהמהנדסים, לא מצפים למעורבות עמוקה כל כך כפי שהפגינו האחים רייט, אך עם זאת עלינו להיות חשופים לדרגי השטח, ללוות אותם תוך כדי העבודה וללמוד מניסיונם.

### עצמאות

בצבא מוגבלת מטבע הדברים יכולתנו לפעול כראות

בלבד) שבסביבתה היו שפע של דיונות חול. כדי לאפשר עבודה מקצועית בנו האחים רייט הנגר סגור וזיודו אותו בציד טכני מלא.

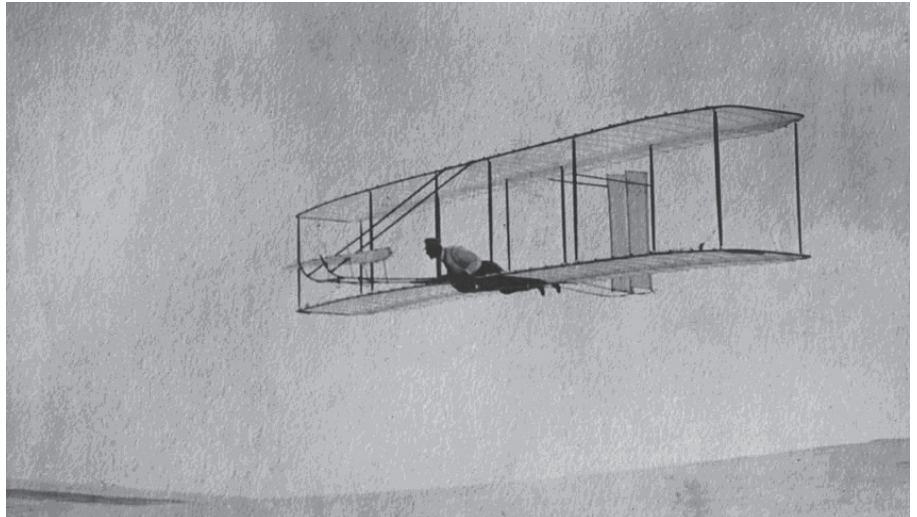
בחורף 1900 ערכו האחים ניסויים בעפיפון גדול, ואלה הוכיחו את ישימותם של המנגנון לפיתול הכנפיים ושל המנגנון לשינוי הגובה. זה האחרון הותקן בחרטום ולא בירכתיים כמקובל כיום. עם זאת העילוי שהם מדדו היה נמוך משמעותית מזה שחזו בהתאם לטבלאות העילוי של ליליינטל. כדי להגדיל את העילוי חזרו האחים בסתיו 1901 לקיטי הוק עם גלשן גדול יותר, ושוב התאכזבו מכוח העילוי שמדדו. גם במנגנון האיזון אובחנה התנהגות לא עקבית בעת רוחות משתנות.

בעקבות הכישלונות האלה התעורר חשדם של האחים רייט בנוגע לנכונותן של טבלאות העילוי של ליליינטל - מחשבה שהייתה בעיני וילבור רייט כחילול הקודש. בשלהי 1901 הרכיבו האחים מנהרת רוח ואימתו את השערותם שליליינטל - גורו התעופה שעל מחקריו התבססו כל חלוצי התעופה - טעה בחישוביו. השימוש במנהרת רוח לצרכים מעשיים היה מהפכני, וככל הנראה ראשון בארה"ב. בניסויים נבחנו צורות גיאומטריות רבות, והוגדרה התצורה האופטימלית של הכנף. בסתיו 1902 נוסה גלשן שצויד בכנף הנבחרת ובמנגנון איזון משודרג בהתאם ללקחים שהופקו בניסויי השנה שלפני כן. ביצועי הגלשן הזה עלו על כל הציפיות שהיו לאחים רייט.

לנגלי נזקק לארבע שנים יקרות כדי לפתח מנוע. במהלך תקופה הזאת הצליחו האחים רייט לפסול את תיאוריית העילוי הקיימת, לפתח תיאוריה חלופית ולפתור את סוגיית האיזון והשליטה. בתוך שבועות ספורים, בתחילת 1903, הושלמה בניית מנוע בסדנת האופניים. הספק המנוע היה 12 כוחות סוס, נמוך משמעותית מ-53.5 כוחות הסוס של לנגלי. באביב של אותה השנה פנו האחים לתחום המדחפים, וגם שם מצאו שהתיאוריות הקיימות שגויות. עד מהרה הם איפיינו ובנו זוג מדחפים העשויים מעץ.

### "הצלחה בטיסה, דווח לעיתונות!"

פרופסור לנגלי והאחים רייט הגיעו לישורת האחרונה במרוץ בחורף 1903. האחים ידעו על מאמציו של הפרופסור הנודע מפרסומים בעיתונות. ניתוח של התוצאות שהשיגו בניסויים במנהרת הרוח הבהיר לאחים מעל לכל ספק שלאירודרום של לנגלי אין די עילוי. לנגלי עקב אחרי ההתקדמות של מוכרי האופניים באמצעות עדכונים שקיבל מאוקטב שנוט. בכמה הזדמנויות ניסה לנגלי להיפגש עם האחים כדי ללמוד על



**ניסויים בגלשן, 1901 | האחים רייט ידעו שאת ההתקדמות יש להשיג באופן הדרגתי: ממודל לקנה מידה מלא, מגלשן למטוס ממונע ומטיסה לא מאוישת לטיסה מאוישת**

אין להרשות מצב שבו דרישות הבטיחות משתקות את הפעילות ולא מאפשרות את מימוש הייעוד. וילבור השווה את בטיחות הטיסה לרכיבה על סוס פרא: התבוננות בהתנהגות הסוס תוך כדי ישיבה על הגדר לעולם לא תספיק; בשלב כלשהו אין ברירה אלא לעלות על הסוס. אפשר לנקוט פעולות שיצמצמו מאוד את הסיכון הכרוך בכך, אך תמיד ייוותר סיכון כלשהו.

### ניסויים ואתגרים

אוטו ליליינטל השתמש בגופו כדי לאזן את כלי הטיס ולתמרן. בטכניקה הזאת משנים את מיקומו של מרכז הכובד באמצעות הזזת הגוף וכך מטים את כלי הטיס לכיוון הרצוי. בשיטה הזאת משתמשים עד היום גולשי רוח. מותו בתאונה של ליליינטל ומעט חישובים הבהירו לאחים רייט שבשיטה הזאת לא ניתן יהיה

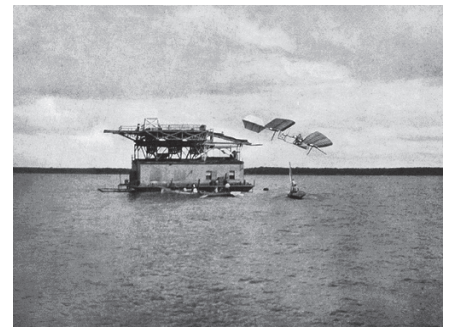
**בהיותם מעשיים ובעלי חוש טכני מפותח הקפידו האחים רייט להתנסות בעצמם ככל האפשר. הם הדגישו שתיאוריה הינה הבסיס, אולם לתרגול בשטח אין תחליף**



לתמרן מכונת טיסה גדולת ממדים. במקום זאת הגו האחים פתרון אחר: פיתול קצות הכנפיים בכיוונים מנוגדים, כפי שראו בתצפיות על יונים. בצד אחד - כך הם חישובו - יתקבל עילוי גבוה יותר, וכתוצאה מכך תתקבל הטיה לכיוון הרצוי. אם תישאל השאלה מהו הצעד המכריע ביותר בדרך להצלחתם של האחים רייט, הרי אין ספק שמדובר בהמצאתו של מנגנון השליטה הזה שנקרא Wing warping (פיתול כנף). כאמור, לנגלי התעלם מבעיית התמרון והשליטה במשך זמן רב, ואילו שנוט והאחרים לא הצליחו ליצור מנגנון תמרון יעיל דוגמת זה שהמציאו האחים רייט.

הניסויים הראשונים נערכו באזור דייטון, אולם וילבור חיפש אתר מבודד שמתאיין בדיונות חול נטולות צמחייה ושוב נושבות רוחות קבועות - מה שיאפשר המראות קלות ונחיתות בנוק מיינמלי למכונת הטיסה. לאחר בירור עם מרכז החיזוי נבחרה העיירה קיטי הוק (Kitty Hawk) השוכנת על חוף האוקיינוס האטלנטי במדינת צפון-קרוליינה. באותם הימים הייתה זו עיירה קטנטנת (התגוררו בה 60 תושבים

הישגיהם, אולם הזמנתו נדחו בתואנות שונות. העיכובים בהשלמת האירודורם של לנגלי פרצו את מסגרת התקציב שלו. הלחץ מראשי הצבא הלך וגבר, ולנגלי החליט לדלג על שלבים חיוניים ולבצע ניסוי. בדגם שהכין לטיסה לא נוסו לא אמצעי איון ולא שליטה על התמרון. מאחר שברור היה לנגלי שבסוף טיסתו ייחבט המטוס, הוא החליט לבצע את הניסוי מעל נהר, ולשם כך נבנה מתקן שיגור על אסדה צפה. שני ניסויים שהוא ערך לעיני עיתונאים רבים נכשלו, והאירודורם יחד עם טייסו צללו ישירות למי הנהר. הניסוי האחרון מבין השניים נערך ב־8 בדצמבר 1903. תגובת העיתונות הייתה שפע של מאמרי ביקורת וקריקטורות על בזוז



**התרסקות המטוס של פרופסור לנגלי**



**הטיסה הראשונה בהיסטוריה של אורוויל רייט**

כספי הציבור. לנגלי המשיך לטעון שתקלה טכנית זניחה כלשהי גרמה לצלילת האירודורם במימי הנהר, ואף היה נועז דיו לבקש מהצבא במרס 1904 תוספת תקציב לחידוש הניסויים. אולם באווירה הציבורית שנוצרה לא היה שום סיכוי שיימצא מימון נוסף לפרויקט. האחים רייט עקבו אחר תוצאות הניסוי בושינגטון באמצעות העיתונות, ובמקביל התכוננו לתורם. התגלו לא מעט בעיות של הרגע האחרון, למשל ספקות בנוגע לכשירות המנוע, כשל בציר המנוע או סדק באחד מצירי המדחפים. מזג האוויר הקשה

בחלק מהימים לא איפשר שום פעילות. ב־14 בדצמבר, שישה ימים לאחר התרסקות האירודורם, זכה וילבור לטוס ראשון לאחר הטלת מטבע ג'נטלמנית עם אחיו. בשל חוסר ניסיון כוון הגה הגובה בזווית לא נכונה, והמטוס הזדקר ונחבט בקרקע - מה שגרם נזק לכמה מכלולים. אך למרות הכול לא היה לו וילבור ספק שלולא השיגאה הזאת הייתה המכונה טסה.

התיקונים ארכו כיום וחצי, והמטוס נוסה שנית בבוקר 17 בדצמבר 1903. הפעם היה זה תורו של אורוויל לטוס. המטוס המריא וטס במשך 12 שניות למרחק של כ־120 רגל (36 מטר). בטיסה שלאחר מכן המריא וילבור וטס למרחק של 170 רגל (52 מטר), ובטיסה השלישית הגיע אורוויל למרחק ארוך מעט יותר. בטיסה האחרונה המריא וילבור ושהה באוויר 59 שניות וטס למרחק כולל של כ־850 רגל (260 מטר). בשעות אחרי הצהריים התחזקה הרוח ושרבה את המטוס בעודו על הקרקע. האחים מיהרו לצאת חזרה לביתם ובדרך שלחו מברק לאביהם: "ארבע טיסות מוצלחות... דווח לעיתונות. נחזור לחג המולד".

### סיכום - מה ניתן ללמוד מהאחים רייט?

דייטון, עירם של האחים רייט, התפתחה בתקופת ילדותם במהירות לעיר תעשייה. בסוף המאה ה־19 היה מספר הבקשות לפטנטים לנפש (Patent applications per capita) בדייטון הגבוה ביותר בארה"ב. הנתון הזה מלמד על החינוך הטכנולוגי המצויין שקיבלו ילדי העיר - תחום שהולך ונעלם במדינת ישראל. תפיסת העולם שלאורה פעלו וילבור ואורוויל רייט היא מודל למנהיגות הנדסית ולניהול פרויקט. האחים רייט הצליחו להמציא את המטוס למרות תנאי התחלה נחותים בכל המישורים: השכלה, ידע טכני, מועד התחלה מאוחר ותקציב נמוך. תנאים דומים קיימים - במלואם או בחלקם - במערכת ההנדסית של הצבא. עלינו לאמץ את הגישה שנקטו האחים רייט בתחום ההנדסה ולנצל את היכולות ואת המשאבים המצויים בידינו: הבנה ותכנון, פרקטיות, עבודה קשה, אמונה, תחושת שליחות ועבודת צוות. וילבור ואורוויל רייט הפגינו גם ערכים אישיים ראויים לחיקוי: צניעות, רצינות, דוגמה אישית, משמעת פנימית, אמינות, חברות, כבוד לזולת ועוד. בעידן הנוכחי של אנשים שכובס דורך בין לילה וכבה למחרת,

## בסוף המאה ה־19 היה מספר הבקשות לפטנטים לנפש בדייטון, עירם של האחים רייט, הגבוה ביותר בארה"ב. הנתון הזה מלמד על החינוך הטכנולוגי המצויין שקיבלו ילדי העיר - תחום שהולך ונעלם במדינת ישראל



נעים להיזכר באלטרנטיבה של עבודה קשה ויסודית ללא יחסי ציבור וקשרים פוליטיים, שהיא הדרך היחידה להצלחה אמיתית וארוכת טווח.

בעידן המחסור בכוח אדם טכנולוגי עלינו לזכור שהגורם האנושי הוא היתרון המרכזי של המערך ההנדסי בצבא. בסקרים התגלה כי אתגר מקצועי והזדהות עם הארגון הצבאי ועם ערכיו - ולא דווקא תנאים כלכליים - הם שמשאירים בשירות את כוח האדם האיכותי. סיפור האחים רייט מוכיח שאתגר מקצועי וערכים גבוהים גם סוללים את הדרך להצלחות מרשימות.

תעלומות ארוכות ימים שאיתן התמודדה האנושות במשך דורות רבים נפתרו בכל המקרים באמצעות מומחים לדבר לאחר עיסוק ממושך - או באקראי. המצאת המטוס יוצאת מהכלל הזה. במבט לאחור קשה להבין כיצד הצליחו וילבור ואורוויל רייט להשיג בזמן קצר כל כך את מה שרבים אחרים נכשלו להשיג במשך פרקי זמן ארוכים הרבה יותר. יתר על כן, התקציב הכולל של פרויקט האירודורם של פרופסור סמואל לנגלי עד גניזתו היה כ־70 אלף דולר. השקעת האחים רייט בפיתוח המטוס הראשון הסתכמה בפחות מ־1,000 דולר. אז מה הביא להישג? למנהיגות מקצועית ראויה, להתנהלות הנדסית מובנית, לערכים אישיים - כפי שנותחו במאמר הזה - אין תחליף גם מול תאגידים גדולים. בכל אתגר כדאי לזכור תמיד את סיפור המצאת המטוס, לקבל השראה ולפעול ברוח האחים רייט.

**המאמר נכתב במסגרת פו"ם אפק.**

**תודות לד"ר אורנה קזמירסקי על הדרכתה ועל תמיכתה בכתיבת המאמר הזה.**

---

ציור שצויר בהשראת הצילום של הטיסה ההיסטורית כ־17 בדצמבר 1903.  
את המטוס מטיס אורוויל, ואילו אחיו מלווה אותו בריצה | האחים רייט הוכיחו  
שאין תחליף למנהיגות מקצועית ראויה, להתנהלות הנדסית מובנית  
ולערכים אישיים

