

# התורה



גיליון 387 • שבט התשס"ג • ינואר 2003



"חץ" - לעצור את התוקף כחלל • דמותו של החייל הרגלי במאה ה-21 • חקר ביצועים במפא"ת • תוכנית החלל של ישראל • המיקרואלקטרוניקה בעולם ובמערכת הביטחון בישראל



### הטכנולוגיה – ברכה וסכנה

אין צורך, כך נראה לי, להבהיר את מקומה המרכזי של הטכנולוגיה בחיינו בכלל ובצבא בפרט. אולם במספר היבטים חשובים ההתמכרות לטכנולוגיה עלולה להיות מסוכנת. בממד הגשמי, ככל שמערכת מבוססת יותר על טכנולוגיה מתקדמת, היא לרוב גם פגיעה יותר – הן לפגיעה בחומר והן לתפלול התכנים (הונאה, הסוואה, שתילת מידע שגוי, גניבת מידע וכדומה). בממד התוכני – מערכות מתקדמות, במיוחד בתחומי המידע (מודיעין, שליטה ובקרה) עלולות ליצור אשליה שהן נותנות בידי המשתמש את כל המידע בזירה. מיצג זה, שלרוב אינו נכון מטבע המערכות הכרוכות בדבר, עלול לעוות את המשתמש לגבי מגבלות המערכת, להוביל להימנעות ממאמצים להשיג מידע אחר או נוסף ולהוביל מפקדים ומפקדות לאמץ דפוסיים שגויים של פיקוד ושל קבלת החלטות.

הגיליון שלפניכם הינו בבואה של מציאות מורכבת זו. מחד גיסא, לרגל מלאת 30 שנה למפא"ת חושף ארגון זה, שלרוב פועל בצל, קשת מרהיבה ומרחיבת לב של תחומי פעילות חשובים ומרתקים. מאידך גיסא, אף שמפא"ת מייצג את הצרכן – צה"ל – ולא את התעשיות הביטחוניות, המאמרים עוסקים, כמעט ללא יוצא מן הכלל, בשבח הטכנולוגיה וממעטים לעסוק בהיבטים הבעייתיים (בתחומי התו"ל, האחזקה ועוד) הנלווים לכניסה לשירות של כל אמל"ח ושל כל מערכת לחימה. שוק התעשיות הביטחוניות בעולם הינו – במונחים כלכליים – שוק של קונים. במצב זה, שבו מיטב התעשיות מחפשות במרץ לקוחות, וכל המדינות משתדלות לקדם את עסקי התעשיות שלהן, אמצעי לחימה וטכנולוגיות מתקדמים מתגלגלים בנתיבים מפותלים ועלולים להגיע לצרכנים שהמפתחים לא התכוונו שיגיעו אליהם. חשוב על כן שנכיר את היכולות הטכנולוגיות המתפתחות בעולם, הן כבסיס לדרישות מבצעיות פורצות גבולות והן כבסיס לפיתוח תפיסות התגוננות, אם יגיעו טכנולוגיות אלה לידי אויבינו.

קריאה מועילה  
חגי גולן

4

#### חקר ביצועים במפא"ת

ד"ר משה / ראש מחלקת חקר ביצועים



כל רעיון לפיתוחו של אמצעי לחימה חדש חייב לעבור קודם כול את אנשי חקר הביצועים של מפא"ת. אלה פוסלים רעיונות נפל וממליצים על טכנולוגיות מועדפות למימוש רעיונות שמתגלים כראויים. במילים אחרות: הם חוסכים למערכת הביטחון המון כסף ותורמים תרומה של ממש להגברת כושר הלחימה של צה"ל

7

#### המיקרואלקטרוניקה בעולם ובמערכת הביטחון בישראל

סא"ל (מילי) אריה / רמ"ח מתקני תשתית במת"ט

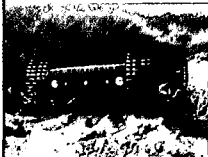


בעשור האחרון החל תהליך של יישור קו בין פיתוח היישומים הביטחוניים לבין חזית הטכנולוגיה האזרחית במאמץ לאפשר למערכות הצבאיות ליהנות מהיכולות ומהביצועים שמאפשרת הטכנולוגיה האזרחית. התהליך הזה אינו פשוט, כי הוא יוצר ניגוד בין הדינמיקה הפרועה והמתעתעת של השוק האזרחי לבין מסורת העבודה של הארגונים הביטחוניים. מערכת הביטחון בישראל משקיעה מאמץ רב להצטרף למגמה הזאת

14

#### מערכות אוטונומיות ביבשה: חזון ומציאות

אל"ם יואב / ראש מחלקת חימוש ורק"ם  
רס"ן גבי / ראש מדור במחלקת חימוש ורק"ם



קיום מערכים לא מאוישים בשילוב עם כלים מאוישים יבדיל את מגוון המשימות שאותן יכול הצבא לבצע, יקטין את שחקת המשאבים ויאפשר – אם תנובש תפיסת הפעלה מתאימה – להגיע מהר יותר להכרעה

20

#### דמותו של החייל הרגלי במאה ה-21

עייבד ועריכה: אל"ם (מילי) יעקב צור



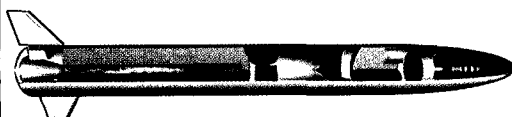
כבר היום עובדים על פיתוחים לחיילי הרגלים, שיעניקו להם יכולות שנשמעות כמדע בדיוני. הטכנולוגיה התפתחה עד כדי כך, שאפשר לשקול ברצינות להעניק לחייל הבודד יכולות שהוקנו בעבר רק למטוסים או לטנקים. מזער האלקטרוניקה בשילוב עם פיתוחים שונים של חומרים ושל בגדי מגן פותחים בפני החייל אפשרויות חדשות לגמרי. המאמר סוקר כמה מהתוכניות המרכזיות בתחום החי"ר שמתבצעות היום בעולם

30

#### טילים נגד טנקים - הדורות שהיו ושהיו

סא"ל דוד / מ"מ ראש מחלקת מעט"ר

הדור הראשון של טילים נגד טנקים נכנס לשירות בשנות ה-50, ולאחר מכן פותח בכל עשור דור חדש של טילים. כיום כבר מצוי בשירות דור ג' פלוס, המסוגל לפגוע במטרות שאין אליהן קו ראייה. ישראל מייצרת טילים מהדור המתקדם הזה, ואלה זוכים להצלחה רבה הן בצה"ל והן בעולם





## מדורים

### אין כאן שום מלכוד אלים (מילי) ניר שמואל

תגובה 68

העימות המובל אינו התנגשות בין צבאות בשדה הקרב, אלא התנגשות בין רצונות לאומיים. רצון לאומי לא ניתן לבטל באבחת מגל. לא העוצמה הצבאית היא שמכריעה את העימות, אלא תעצומות הנפש. תגובה למאמרו של אליים יודרה וגמן, "מלכוד העימות המובל", מערכות 385

### מודיעין מול ביטחון המידע: המלחמה המתמדת ד"ר ימאל שפי

סיקורים ספרים 71

ספרים רבים כבר נכתבו על מכונת ההצפנה הגרמנית "אניגמה" ועל האופן שבו פיצח המודיעין הבריטי את סודותיה. אולם ספרו של יו סיבאג-מונטפיורי, "אניגמה: סיפור הקרב על הצופן" (תל אביב, יבנה, 2002, 352 עמודים) עוסק גם בהיבטים שלא טופלו עד כה בהרחבה, כגון הכשל הגרמני בתחום אבטחת המידע - תחום שהוא אקטואלי גם כיום.

## מערכות

בית ההוצאה לאור של צה"ל נוסד 1939

גיליון 387, שבט התשס"ג, ינואר 2003

המפקד והעורך הראשי: סא"ל חגי גולן

העורך: אפי מלצר  
עורך המשנה: יואב תדמור

עיצוב ועריכה גרפית: סטודיו זאב אלדר  
מזכיר המערכת: עמית פיטובסקי

איורים: בורים דיקרמן  
תמונות: מערכות

צוות המערכת: צבי עופר, אביטל רגבי שושני

ISSN 0464-2147

המחיר: 12 ש"ח (כולל מע"מ)

דמי מנוי לשנה:

חיילים ועובדי מערכת הביטחון: 50 ש"ח, אזרחים 60 ש"ח

כתובת המערכת:

רח' אלוף מנדלר 3 ת"ד 7026, תל אביב 61070

טל' 03-5694344/5, פקס. 03-5694343

מחלקת מנויים:

משרד הביטחון - ההוצאה לאור, רח' החשמונאים 107,

תל אביב, טל' 03-5655951, פקס. 03-5655994

הודפס בדפוס "המאירי" באמצעות ההוצאה לאור של משרד הביטחון.

### קרני מוות, קרני חיים

34

רס"ן (מילי) חיים / סא"ל יוני רע"ן לוחמה אופטרונית

מערכות המבוססות על לייזר ממלאות יותר ויותר תפקידים בשדה הקרב הן ברמה הטקטית והן ברמה האסטרטגית. מאז שנות ה-60 ממלא הלייזר תפקיד בתחום בקרת האש וכינון החימוש. בשנים הקרובות נראה מערכות של לייזר רבי-עוצמה להגנה בפני טילים בליסטיים לטווחים שונים.

### "חץ" - לעצור את התוקף בחלל

40

סא"ל גור

קולם של המקטרגים על הטיל נגד טילים "חץ" הולך ודועך עם הצטרפות ההצלחות בניסויים ובהצטיינות ועם התעצמות המערכת. כיצד מועלת המערכת הזאת, והאם היא באמת תצליח בעת מבחן להגן על ישראל מפני התקפות טק"ק?



### הלוחמה האלקטרונית - היעוד והאתגר

50

אלים ד"ר ד, סא"ל מ', סא"ל ד, רס"ן א' קצינים במחלקת אלקטרוניקה ולוחמה אלקטרונית

המאמר סוקר את תחומי ה"א", את סוגי המערכות ואת הטכנולוגיות העיקריות. במקביל הוא דן באתגרים העומדים בפני מתכנניהן של מערכות אלה, שהן מורכבות מאוד. עקב קוצר הריעה, הרי שמעבר לסקירה הכללית ולמיפוי של תחומי ה"א" הוא מתמקד בתחום אחד של ל"א - הגנה על מטוסים

### תוכנית החלל של ישראל

56

היסטוריה, המצב הנוכחי והתחזית לעתיד

תא"ל (מילי) ד"ר חיים / ראש תוכנית הלוחמה אלקטרונית עמנואל / מרכז מידע בתוכנית הלוחמה אלקטרונית



מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, התואמת את היכולת המדעית והטכנולוגית שלה וכן את היכולת הכלכלית שלה, והדבר בא לידי ביטוי בכך שכל הלוחמים שהיא שייגרה - לוחמים טכנולוגיים, לוחמי תצפית ולוחמי תקשורת - הם קטנים, אך עתירי ביצועים

### פיתוח כוח האדם הטכנולוגי בצה"ל בשנים האחרונות

61

סא"ל ד"ר אבי

צה"ל זקוק למהנדסים רבים במגוון רחב של תחומים: פיתוח טכנולוגיות, מערכות ואמצעי לחימה, פיקוד על מערכות לחימה מתקדמות ותחזוקה של המערכות הטכנולוגיות. על מנת שלא ייווצר מחסור באוכלוסייה חיונית זו משקיע צה"ל משאבים רבים הן בהכשרתה והן בטיפוחה ובהשאתה בתוך המערכת



### קשרי חוץ טכנולוגיים

67

ורה זוביצקי

שיתוף פעולה בין מדינות הפך לחיוני ביותר בעולם שלאחר המלחמה הקרה, הן משום שהפתיחות בין המדינות גדלה, והן משום שקוצצו תקציבי הביטחון ברוב המדינות בעולם. במדינות המערב נברה ההבנה שהרווח משיתוף פעולה הוא גדול מאוד, בעיקר בהיבטים של נבישות לטכנולוגיות של מדינות שונות, איחוד כוחות, מיצית כפילויות וחיסכון של משאבים במשאבים

# חקר ביצועים במפא"ת

כל רעיון לפיתוחו של אמצעי לחימה חדש חייב לעבור קודם כול את אנשי חקר הביצועים של מפא"ת. אלה פוסלים רעיונות נפל וממליצים על טכנולוגיות מועדפות למימוש רעיונות שמתגלים כראויים. במילים אחרות: הם חוסכים למערכת הביטחון המון כסף ותורמים תרומה של ממש להגברת כושר הלחימה של צה"ל

## ד"ר משה / ראש מחלקת חקר ביצועים

הטכנולוגיות הנדרשות כדי לעמוד בהישגים מבצעיים רצויים.

העוסקים במלאכה באים מרקע מבצעי מגוון – החל מקצינים קריביים, שהצטרפו למחלקה מסדיר או ממילואים, ובהם קצין אג"ם של חטיבת טנקים ומפקד לשעבר של "דבור" בחיל הים, וכלה בבוגרי "תלפיות" ועתודה אקדמית, שנשלחים להשלמות אג"מיות וממלאים תפקידים בשדה במינוי חירום. כולם בעלי השכלה אקדמית ברמות שונות (כרבע מהם בעלי תואר שלישי או דוקטורנטים על סף רכישת התואר) במדעים מדויקים ובהנדסה. פיתוח אמצעי לחימה מודרניים הוא תהליך מורכב מאוד, הכולל כמה שלבים,

שבכולם מעורב חקר ביצועים. בהמשך המאמר אציג מקצת השלבים האלה ואת האופן שבו משתלב בהם חקר הביצועים ותורם להם תרומה חשובה.

### כיוונים טכנולוגיים מועדפים

לפני שניגשים לפתח אמצעי לחימה חדש, יש לפתח את הטכנולוגיה של אותו אמצעי מתוכנן. אולם במקרים רבים קיימים כמה כיוונים טכנולוגיים שעשויים לתת פתרון לאותו צורך מבצעי. לכל כיוון טכנולוגי יש, בדרך כלל, רמת ביצוע שונה, הנובעת ממגבלות שונות, וכן מאפיינים קריטיים שונים, כגון סיכוני פיתוח, משך הפיתוח ועלויות. הדילמה העומדת בפני המפתח של אמצעי הלחימה העתידי היא באיזו מן הטכנולוגיות לבחור.

חקר הביצועים עשוי לסייע בבחירה זו, ואמחיש זאת באמצעות סיפור פשטני מעט של מעשה שהיה:

מקובל להשתמש באמצעים לראיית לילה המבוססים על חישה אלקטרואופטיים (באורכי גל שונים, אך ככלל בתוך "החלונות האטמוספיריים" – אורכי גל שבהם הבליעה

### רקע

זמן מה לפני שפרצה מלחמת העולם השנייה הבין הממסד הביטחוני הבריטי שכדי לנצל ביעילות את מערכות נשק המתקדמות שברשות צבא בריטניה, המבוססות על יכולות מדעיות וטכנולוגיות חדשניות, נכון יהיה להיעזר במדענים ובאנשי טכנולוגיה, המבינים ומכירים מקרוב את היסודות המדעיים והטכנולוגיים, שעליהם מבוססות מערכות הנשק האלה. אותם מדענים ואנשי טכנולוגיה – העריכו בממסד הביטחוני הבריטי – גם יוכלו לסייע בהבנת אופן פעולתן של מערכות נשק מתקדמות של האויב ולהשתתף בפיתוח אמצעי-נגד טכניים ותו"ליים.<sup>1</sup>

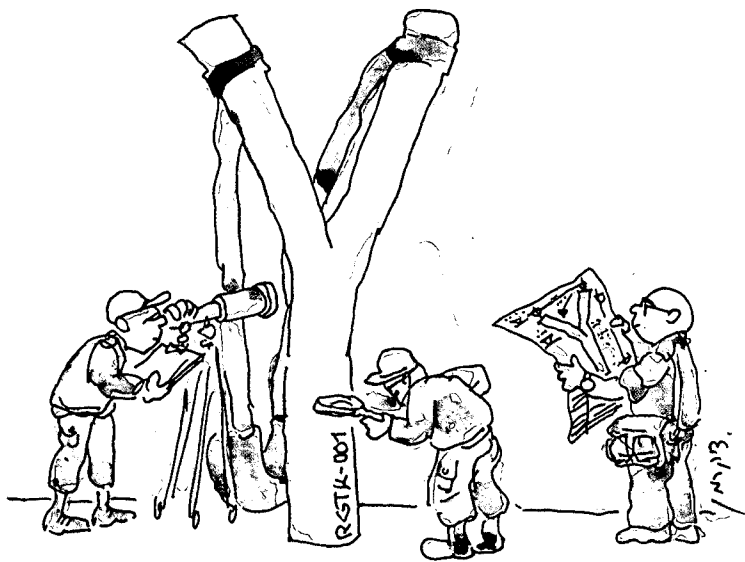
בהתאם לקו המחשבה הזה גייסו הבריטים עם פרוץ מלחמת העולם השנייה מדענים מובילים מכל תחומי המדע והמחקר – כולל חוקרים מתחומי המדעים הקלאסיים ומדעי החברה והרוח, אך בעיקר מתחומי המדעים המדויקים. קבוצות מחקר אלה נודעו בהמשך כקבוצות חקר ביצועים (Operations Research). מאז התקבלה הגישה הבריטית בצבאות רבים בעולם, וברבים מהם פועלות כיום קבוצות חקר ביצועים (חק"ב).

בצה"ל פועלות כמה קבוצות חק"ב, וכל אחת מהן עוסקת בבעיות הצבאיות המרכזיות של הזרוע שבה היא משרתת. קבוצת חקר הביצועים במפא"ת משרתת, כמובן, בעיקר את מפא"ת, ולכן היא עוסקת בראש ובראשונה בתחום המעסיק את מפא"ת, דהיינו פיתוח אמצעי לחימה לצה"ל. באורח מעשי עיקר עיסוקנו הוא בתחום שבין הטכנולוגיה לצורך המבצעי. מדובר, למעשה, ב"תרגום" הלוך ושוב בין שתי ה"שפות" – הטכנולוגיה והצורך המבצעי. "תרגום" זה כולל הן הערכה של המשמעות המבצעית שמקנות יכולות טכנולוגיות והן הצגה של היכולות

יתרון ייחודי בעולם: החוקרים, המהנדסים ושאר הגורמים הטכניים שירתו (בסדיר) ומשרתים (במילואים) בצה"ל ומכירים, מתוקף ניסיונם האישי, צרכים מבצעיים שלו. בשל הצירוף הזה של רקע צבאי וטכנולוגי ביכולתם להציע הצעות חדשות לפיתוח אמל"ח.

לאחר שמועלית הצעה כזאת למפא"ת, או שיוזם אותה גוף כלשהו בצה"ל או במפא"ת עצמה (שגם למשרתים בה יש רקע צבאי וטכנולוגי), מתחיל תהליך של בחינת ההצעה. תפקידו של חוקר הביצועים במפא"ת הוא לסייע בבחינה זו באמצעות מתן מענה לשאלות הבאות:

1. מהם הביצועים הצפויים של המערכת המוצעת?
2. מהן נקודות התורפה של המערכת וכיצד ניתן להתגבר עליהן (והאם ניתן - באופן כללי - לשפר את ההצעה)?
3. מה תהיה התרומה המבצעית של המערכת, אם תמומש ותשיג את הביצועים הצפויים?
4. האם כדאי להיכנס לפיתוח המערכת לאור היכולות הקיימות? (כלומר, מהו "הערך המוסף" של האמצעי המוצע לאור פתרונות אחרים שכבר קיימים לאותו



הצורך?

לרשות חוקר הביצועים עומדים כלים שונים בבואו להעריך את הביצועים הצפויים של המערכת. בין היתר מדובר בניסיון מבצעי המבוסס על מחקרים היסטוריים צבאיים, בתוצאות ניסויים (כאלה שבוצעו בעבר או כאלה שאנו, חוקרי הביצועים, דורשים לבצע), במודלים חישוביים (אנליטיים או ממוחשבים) ובסימולציות מחשב (החל מסימולציות "סגורות" וכלה במשחקי מלחמה ממוחשבים, משולבי אדם בחוג).

תקצר היריעה מלתת דוגמאות לכל הכלים האלה, אך

באטמוספירה נמוכה, יחסית, מה שמאפשר פעולה בטווחים ארוכים, יחסית. מדובר, למשל, ב-3<sup>5</sup> או 8<sup>12</sup> מיקרון).

את המערכת האלקטרואופטית שבלב החישן ניתן לממש בטכנולוגיות שונות - למשל בטכנולוגיה של גלאי סורק (כלומר, שורה או טור של גלאים, שאותם מצודדים הלוך ושוב באמצעות מראה או באמצעות מערכת מכנית כדי לכסות שטח גדול יחסית). לחלופין אפשר להשתמש בטכנולוגיית גלאי בוהה (כלומר, מטרצת גלאים, הדומה לטבלת שוקולד, שבה יש גלאי במקום כל ריבוע שוקולד. חישן בוהה אינו צריך סריקה מכנית, שכן הוא מכסה שטח גדול בו זמנית, ומכאן שמו, אך יש לו מגבלות ומגרעות אחרות).

מקבל ההחלטה, כלומר הגורם שצריך היה להחליט איזו טכנולוגיה צריך לקדם, התקשה להחליט, כיוון שלא עמד לרשותו קריטריון החלטה ברור.

לעזרת מקבל ההחלטה בא במקרה הזה חוקר ביצועים, שהציע תהליך שכלל מספר שלבים:

1. לקבוע - על סמך המשימות המבצעיות של צה"ל - מהן מערכות הנשק, הקיימות והעתידיות, שבהן יש לשפר את יכולת התצפית בלילה.
  2. לנתח מהי היכולת המבצעית שיקנו החישובים בטכנולוגיות השונות כשהן ייושמו בכל אחת ממערכות הנשק.
  3. לבחון מהי מידת המענה (היכולת המבצעית) שנותן כל אחד מהחישובים השונים לצורך המבצעי בשיפור יכולות התצפית.
  4. ממצאי הבחינה הזאת, כולל השיקולים שהובילו אליהם, יוצגו למקבלי ההחלטות לשם זיהויו של הכיוון הטכנולוגי המועדף.
- ההצעה נתקבלה, הניתוח נערך (על-ידי חוקר הביצועים), והבחירה נעשתה. היום, במרחק של כעשר שנים מאותה בחירה, מוסכם על כל הנוגעים בדבר שהייתה זו החלטה נכונה.

## פיתוח אמל"ח

הצעה לפיתוח אמל"ח נובעת לרוב מאחד משני מניעים:

1. יכולת טכנולוגית (קיימת או בפיתוח) בתעשייה הביטחונית. התעשייה, באורח טבעי, מחפשת ומעלה רעיונות למוצרים המבוססים על יכולותיה הטכנולוגיות. תקוותה היא שלאחר מימושם של הרעיונות האלה יהיה להם ביקוש בצה"ל ובעולם.
2. צורך מבצעי, המזוהה על-ידי גורמים מבצעיים או תומכי לחימה בצבא, ואשר מחפשים לו פתרון. לתעשייה הביטחונית הישראלית יש מהבחינה הזאת

הלחימה, הרלוונטיות לשלב מתקדם בהרבה בחיי האמל"ח (שלב היישום שלאחר גמר הפיתוח), כלל אינה מעניינה של קבוצת חקר הביצועים במפא"ח.

אולם הדברים אינם כה פשוטים. כפי שהצגתי לעיל, ההחלטה על הכניסה לפיתוח מלא של אמצעי לחימה, ולעיתים אף על הכניסה לבניית יכולת טכנולוגית, נגזרת מהערכת התרומה המבצעית הצפויה בסופו של דבר מהאמצעי. הערכה כזאת אינה מסתמכת רק על התכונות הטכניות של האמל"ח, אלא גם, ולעיתים בעיקר, על תפיסת הפעלתו המבצעית.

לפיכך – וכך גם מראה הניסיון המצטבר – חשוב מאוד לעצב לאמל"ח תפיסת הפעלה כבר בשלבים המוקדמים ביותר, כאשר מתגבשת ההכרה כי יש צורך באמצעי הזה, ומתקבלת ההחלטה להתחיל בפיתוחו. בפועל, עם התקדמותו של תהליך הפיתוח והעמקת ההבנה ביחס ליכולותיו ולמגבלותיו של האמצעי, מתפתחת תפיסת ההפעלה. לעיתים עוברת תפיסה זו שינוי גדול מאוד בעת היישום בפועל בשטח לאור הניסיון הנצבר, אך אין בכך כדי לגרום מההכרח לגבש תפיסה ראשונית סבירה כבר

**אנשי חקר הביצועים במפא"ח מלווים את תהליך הפיתוח של האמל"ח לכל אורך חייו – מהשלב של העלאת הרעיון ועד הכניסה לפיתוח מלא, ובמקרים רבים עד הכנסתו לשירות מבצעי ואף מעבר לכך**

בשלבים המוקדמים ביותר. בתור דוגמא נחזור לאותו פגז המתביית על רק"ם. קביעתו של טווח הבטיחות, כלומר של המרחק המינימלי בין כוחותינו לבין הנקודה שאליה תכוון האש, נגזר מהפיזורים הצפויים של האש. אולם הפגז המתביית יכול – מעצם תכונותיו – להתביית אל רק"ם שגילה, גם אם זה נמצא מחוץ לנקודת הפגיעה המתוכננת, כולל הפיזור הטבעי שלו. לפיכך, במקרה של פגז מתביית, טווח הבטיחות עלול להיות גדול בהרבה מאשר טווח הבטיחות הרגיל. לכך יש השלכות ניכרות על הפעלת האש.

### סיכום

אנשי חקר הביצועים במפא"ח מלווים את תהליך הפיתוח של האמל"ח לכל אורך חייו – מהשלב של העלאת הרעיון ועד הכניסה לפיתוח מלא, ובמקרים רבים עד הכנסתו לשירות מבצעי ואף מעבר לכך.

### הערות

1. תיאור מדהים של תרומה כזאת, שעל-פי עדותו של וינסטון צ'רצ'יל תרמה רבות לניצחון על גרמניה, נמצא בספרו של ו' ג'ונס **מלחמה סודית ביותר** (מערכות, 1966).

אמחיש (שוב, בצורה פשטנית ושאינה מסוגלת) את אופי הסיוע של חקר הביצועים בבחינה כזאת, וזאת באמצעות מקרה שהיה – הצעה שהועלתה לפיתוח פגז המתביית על רק"ם.

ההצעה דיברה על כך שבראש הפגז יותקן חיטון, שיכול לזהות רק"ם באורח אוטונומי, כך שהפגז יוכל לפגוע ברק"ם ולהשמידו. הרעיון נראה מושך מאוד, שכן הוא עשוי היה לשפר מאוד את יעילות האש הארטילרית נגד טנקים.

הבחינה הכמותית של ההצעה כללה מספר שלבים:

1. כדי להעריך את יכולות החיטון נערך ניסוי. תוצאותיו הוכיחו ששיעור הגילוי של הרק"ם על-ידי החיטון הוא אכן גבוה למדי, כפי שטען מצייע ההצעה. אולם באותו ניסוי גם התברר שהחיטון שנבדק "ננעל" גם על מטרות שווא טבעיות בשטח (שיחים, סלעים וכו').
2. כדי להעריך את התרומה המבצעית של הפגז בנינו סימולציית מחשב, שפרסה רק"ם, פיזרה מטרות שווא בשטח בצפיפות שנגזרה מנתוני הניסוי וחישה את תרומת פגז לפי מדדים שונים (סיכוי הפגיעה הממוצע של פגז יחיד במטרת רק"ם, מספר הפגזים הדרוש להשמדת נתח מוגדר מהרק"ם שבכוח האויב ועוד).

3. ירינו פגז רגיל (בסימולציית מחשב, לא בשטח) ובחנו את הישגיו תוך השוואתם לתוצאות ממלחמות העבר. (התוצאות האלה אגורות בבסיסי נתונים אצלנו). את הסימולציה תיקנו בהתאם לנתונים מן העבר.

4. על אותה סימולציה מתוקנת הרצנו את נתוני הפגז המתביית (כפי שנגזרו מהניסויים דלעיל), וכך יכולנו להעריך את התרומה המערכתית הצפויה מהפגז המתקדם הזה.
5. כצפוי, תרומתו המבצעית של הפגז המתקדם הייתה גבוהה מזו של הפגז הרגיל, ובכך לא היה חידוש. התועלת שבניתוח שערכנו הייתה שבאמצעותו ניתן היה, לראשונה, להעריך יתרון זה באורח כמותי.
6. בתום הבדיקות עמדה לנגד עיניו של מקבל ההחלטה תמונה ברורה יותר של התרומה המבצעית המכוממת של הפגז המוצע לעומת הפגז הקיים וכן העלות של השיפור הזה. מובן שהפגז החדש והמתוחכם יקר יותר מהפגז הפשוט, שלא לדבר על עלויות הפיתוח הנדרשות.

### תפיסת הפעלת האמל"ח

קבוצת חקר הביצועים במפא"ח עוסקת איפוא בעיקר בשאלות הקשורות לשלבים המוקדמים של פיתוח האמל"ח. מכאן נובע – לפחות לכאורה – שתפיסת ההפעלה של אמצעי



# המיקרואלקטרוניקה בעולם ובמערכת הביטחון בישראל

בעשור האחרון החל תהליך של יישור קו בין פיתוח היישומים הביטחוניים לבין חזית הטכנולוגיה האזרחית במאמץ לאפשר למערכות הצבאיות ליהנות מהיכולות ומהביצועים שמאפשרת הטכנולוגיה האזרחית. התהליך הזה אינו פשוט, כי הוא יוצר ניגוד בין הדינמיקה הפרועה והמתעתעת של השוק האזרחי לבין מסורת העבודה של הארגונים הביטחוניים. מערכת הביטחון בישראל משקיעה מאמץ רב להצטרף למגמה הזאת

סא"ל (מיל') אריה / רמ"ח מתקני תשתית ביחידה למחקר ולתשתית טכנולוגית (מת"ט)

ועל סף הופעתו של המחשב האישי. ("פט" של "קומודור" ו"מקינטוש" של "אפל" קדמו במעט למחשב האישי הידוע של IBM).

הדברים נאמרו לא על-ידי סתם אדם מהרחוב, וגם לא

על-ידי פוליטיקאי, אמן או איש דת. אמר אותם קן אולסן, נשיאה ומייסדה של חברת "דיגיטל", שהייתה בין המובילות בתחום המיני-מחשבים בשנות ה-70 (דגמי PDP ו-Vax של "דיגיטל" התחרו בדגמי 2100 של HP ובדגמי "נובה" ו"אקליפס" של "דטה ג'נרל").

מה שמפתיע בהצהרה הזאת הוא שגם ההולכים לפני המחנה – מובילי הפיתוח והשיווק של המחשבים הקטנים בסוף שנות ה-70 – לא העלו על דעתם את הפוטנציאל העצום והרחב שהיה למוצרים האלה לא רק בתחום היישומים ההנדסיים, המדעיים, הצבאיים והמסחריים, אלא

דווקא בתחום הצריכה הפרטית. ניתן לתרץ את הרציונל שהנחה את הקביעה הנחרצת הזאת בנתונים ובשיקולים הבאים:

- מחירו של מחשב "קטן" בשנות ה-70 נע בסביבות חצי מיליון דולר יחד עם הציוד ההיקפי שלו (למשל: מדפסת "טלטייפ" בגודל של שולחן וכונן דיסק קשיח בגודל של מכונת כביסה).
- הציוד הזה תפס נפח של משרד או של חדר מגורים שלם.

## מחשב פרטי בבית?

"בכל העולם יש מקום לחמישה מחשבים לכל היותר". קביעה מפתיעה זו נאמרה על-ידי תומס ווטסון, יו"ר IBM ב-1943, והיא אינה כל כך מפתיעה על רקע התקופה. צריך לזכור שבשנות ה-40, טרם המצאת הטרנזיסטור, ולפני שהפיזיקה של המוליכים למחצה נרתמה לרשות האלקטרוניקה, המחשב (שכונה אז "מוח אלקטרוני") היה בעל כוח חישוב קצת יותר חזק משל מחשבון כיס דהיום, והוא היה מבוסס על שפופרות ריק ועל ממסרים אלקטרומכניים. היה זה מתקן בגודל של סופרמרקט, שהיה כרוך בעלויות של מיליוני דולרים, וברור שרק ארגון או מדינה בסדר גודל של מעצמה עולמית יכלו להרשות לעצמם לפתח ולהחזיק מתקן בסדר גודל כזה.

אם את האמירה של יו"ר IBM ניתן אולי להבין, אז מה דעתכם על ההתבטאות הבאה:

"אין כל סיבה בעולם שלאדם פרטי יהיה מחשב בבית". הצהרה מדהימה זו לא הושמעה בימי הביניים, אלא ב-1977, לאחר שהמיקרופרוססור 8080 של "אינטל" כבש את העולם, לאחר חדירת המיני-מחשבים (דוגמת HP 1000) כמעט לכל תחומי ההנדסה, לאחר הופעת המחשב השולחני בעל היכולת לשלוט על מכשור אוטומטי באמצעות ממשק הבקרה GPIB,

גם ההולכים לפני המחנה לא העלו על דעתם את הפוטנציאל העצום והרחב שהיה למוצרי המחשב לא רק בתחום היישומים ההנדסיים, המדעיים, הצבאיים והמסחריים, אלא דווקא בתחום הצריכה הפרטית

התנאי של משפט הקיום הוא אלמנטרי. אם בכוונת המתכנן לזווד מנגנון אלקטרוני כלשהו בתוך ראש קרבי של פגז או של טיל, עליו להתכנס לממדים המוגבלים של החימוש, להשתלב בכל מערכותיו המכניות והאווירודינמיות, ונוסף על כך עליו לעמוד בתנאי סביבה חריגים (טמפרטורה והלם מכני) האופייניים לתהליך השיגור. מערכות כאלה קיימות כבר כמה שנים (למשל, מרעומי קרבה), אך תפקודן מוגבל עקב אילוצי הנפח והזיוד. כל ניסיון לבצע באמצעות אותו מנגנון אלקטרוני משימה מעט יותר מורכבת (למשל,

באופן הדוק יותר למערכת הביטחון.  
השאלה המתבקשת היא האם קדמת הטכנולוגיה הכרחית ליישומים הביטחוניים, ואם כן, האם ניתן לתת מענה ליישומים האלה על בסיס התשתית הקיימת בשוק האזרחי.  
התשובה לשאלה הראשונה היא חיובית, אף שכללי השוק של המוצרים הביטחוניים שונים בתכלית מאלה של הצריכה הפרטית. גם כאן באה הטכנולוגיה לענות על שני תנאים בסיסיים: משפט הקיום וההיתכנות הכלכלית.

## טכניקת המזעור ומגבלותיה

הגידול במספר הטרנזיסטורים על גבי שבב (על-פי חוק מור: 100% בשנה וחצי, שהם כ-58% בשנה) בנוי משני תהליכים משלימים. התהליך העיקרי הוא הקטנת ממדיו של הטרנזיסטור הבודד, והתהליך המשני הוא הגדלת השטח הכולל של השבב – הגדלה ששומרת גם היא על מגמה יציבה זה יותר מ-25 שנה (כ-13% בשנה). הפועל היוצא מהמספרים שהובאו לעיל הוא כי שטח הטרנזיסטור הבודד קטן בקצב של 29% בשנה, כלומר הוא יורד למחצית משטחו כל שנתיים. לפיכך ממד האורך של הטרנזיסטור יתנהג לפי שורש ריבועי, דהיינו הוא יירד למחצית מגודלו כל ארבע שנים. לתהליך זה יש השלכה ישירה על הממד הקריטי של הטרנזיסטור – אורך ה"שער" ("Gate"), שהוא האיזור הפעיל בו, מכיוון שממד זה משפיע על ביצועיו. (הסיבה העיקרית להקטנת הממדים קשורה לאו דווקא למזעור המוצר הסופי, אלא להגדלת מהירותו. על כך בהמשך). הדור הטכנולוגי הנוכחי של מעבדי "אינטל" המיוצרים בארץ מבוסס על שער באורך 0.18 מיקרון. מעבדי "אינטל" בחו"ל מקדימים בדור אחד (כשנתיים), והם מבוססים על שער של 0.13 מיקרון, ובמעבדות הפיתוח כבר שוקדים על הדור הבא – 0.09 מיקרון (שהם 900 אנגסטרום). אם תימשך המגמה הנוכחית של הקטנת הממד למחצית כל 4 שנים, נגיע בעוד 20 שנה לממד של 28 אנגסטרום. גודל זה, המתקרב לסדר גודל אטומי, מהווה מגבלה פיזיקלית, מכיוון שחוקי הפיזיקה הקוונטית מכתבים לאלקטרונים התנהגות שונה לחלוטין מאלה של הפיזיקה הקלאסית, כפי שהם מוכרים בעולם ה"מאקרו". ההתקן האלקטרוני כבר לא יתפקד באופן הצפוי, ולפיכך ניתן לראות בגודל הזה חסם פיזיקלי. כאן אולי המקום לענות על השאלה מדוע מתרכז המאמץ הטכנולוגי בהקטנת ממדי ה"שער" של הטרנזיסטור. ובכן, הסיבה העיקרית למאמץ הזה אינה דווקא השאיפה לצופף ולמזער את ההתקנים (אף שהמגמות האלה יוצאות נשכרות), אלא השאיפה להגדיל את מהירות הפעולה של ההתקנים.

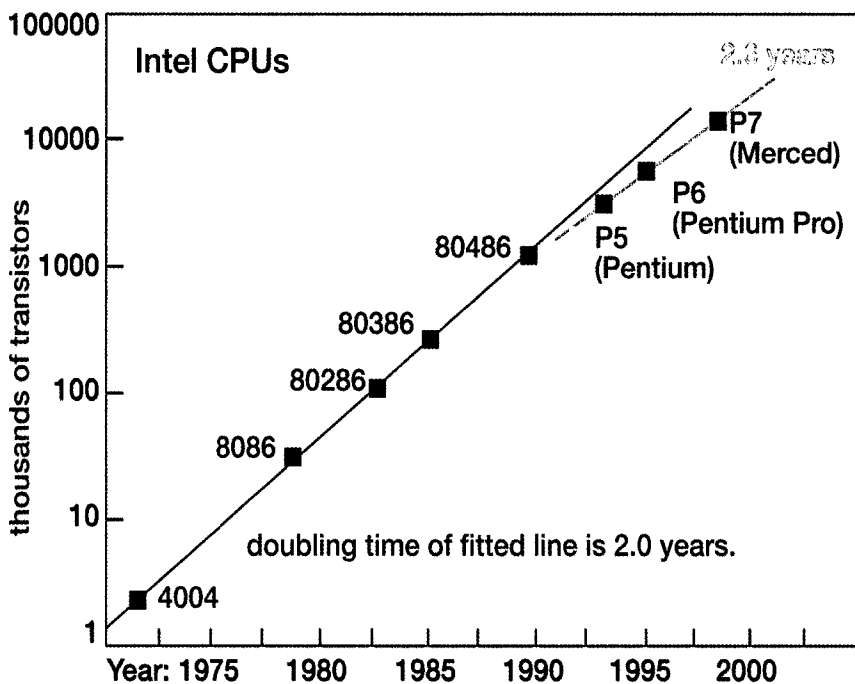
כדי שהתקן אלקטרוני הממומש על-ידי טרנזיסטור מסוג FET (בין אם זה מגבר ליניארי או יחידת חישוב ספרתית) יתפקד כהלכה, נדרש שזמן המעבר של האלקטרונים דרך האיזור הפעיל של הטרנזיסטור (שהוא ה"שער") יהיה קטן בהשוואה לזמן המחזור של הפעולה (הנקבע על-ידי תדר האות במעגל ליניארי או על-ידי תדר ה"שער" במעגל ספרתי). זמן המעבר הנ"ל מתקבל על-ידי חלוקת אורך השער במהירות התנועה של האלקטרונים. מהירות זו מוגבלת על-ידי התכונות הפיזיקליות של החומר (ובסיליקון יש לה ערך מוגדר וידוע), ולכן הדרך היחידה להקטין את זמן המעבר היא להקטין את אורך השער. מגמה זו היא המאפשרת (בין היתר) לדורות האחרונים של מעבדי "פנטיום" של "אינטל" להגיע לקצב שער של יותר מ-2 גיגהרץ.

קיימת גם אפשרות להגדיל את מהירות התנועה של האלקטרונים על-ידי החלפת הסיליקון בחומרים אחרים בעלי "ניידות אלקטרונים" גבוהה יותר – כגון סיליקון-גרמניום או גליום-ארסניד. זה האחרון, כפי שהוזכר קודם, הוא החומר השימושי ביותר כיום ליישומים בתחום המיקרוגל – מתקשורת סלולרית ועד תקשורת לוויינים – והוא מאפשר באורך שער של כ-0.1 מיקרון להגיע לתדרי הגלים המילימטריים (מעל 30 גיגהרץ). השבבים הממומשים בחומר הזה הם בעיקר של מעגלים אנלוגיים – מגברים, משדרים ומקלטים, המשמשים לתקשורת בכל הסקאלות – מתקשורת לוויינים, דרך הסלולר ועד קישור אלחוטי בין מחשב למדפסת (ולצידו היקפי אחר), שצפוי בעתיד הקרוב להחליף את ערמת הכבלים הידועה לשמצה.

ובכן, לשאלת המפתח: עד מתי יימשך המזעור? אם אכן תמשיך ההתפתחות בטכנולוגיה הנוכחית לציית לחוק מור, צפוי לה אופק של כ-20 שנה, עד שתגיע לחסם של המגבלה הפיזיקלית. ומה יהיה אחר כך? ובכן, בתור כבר ממתנינות טכנולוגיות מסוג אחר – החל ב"התקנים ביולוגיים", דרך "התקנים מולקולריים" וכלה ב"מחשבים קוונטיים". טכנולוגיות אלה (שניתן לכוונן אותן באופן כולל "נאו-טכנולוגיות", להבדיל מעולם ה"מיקרו" המאפיין את הטכנולוגיה הנוכחית) הן ללא ספק נושא למאמר נפרד, ולפיכך לא ארחיב עליהן את הדיבור כאן.



## התנהגות אופיינית על פי "חוק מור", כפי שבאה לידי ביטוי במעבדי "אינטל" לדורותיהם



בשנות ה-70 וה-80 שלטו ברמה המפרטים הצבאיים שהכתיב צבא ארה"ב. הדבר איפשר להעמיד קווי ייצור של רכיבים, שהיו אמורים לעמוד בדרישות האמינות ובתנאי הסביבה של המערכות הצבאיות, אך המחיר הכבד שולם בעלות הבלתי נסבלת של הרכיבים האלה, וגרוע מכך – סבב הפיתוח התארך ללא נשוא. התהליך לקח זמן וגרם לכך שהרכיבים, שעברו את שבעת מדורי הגיהנום עד שהגיעו לשוק הצבאי, פיגרו בכמה דורות אחרי המגמה הטכנולוגית בעולם האזרחי. במילים אחרות: המערכות הצבאיות, שבפיתוחן הושקעו תקציבי עתק, נידונו מראש להיות מיושנות מהיום הראשון של יציאתן לשדה. מצב זה היה בלתי נסבל וחייב שינוי.

בתחילת שנות ה-90 חולל משרד ההגנה האמריקני מהפך בכך שקבע כי פרויקטים צבאיים ישתמשו ברכיבים אזרחיים, וכי ההקשחה לעמידה בתנאי הסביבה תבוצע לא ברמת הרכיב הבודד, אלא ברמת המערכת. קביעה זו, יחד עם פיתוח טכנולוגיות זיווד חדשניות, איפשרה למערכות הצבאיות ליישר קו ולהתייצב בחזית הטכנולוגיה, תוך הסתמכות מרבית על ההיצע של השוק האזרחי.

ניווט וזיהוי מטרות) מחייב שימוש בטכנולוגיה של מזעור מסיבי. התוצאה: מי שאינו מסוגל או שאינו יכול להרשות לעצמו לשלב במערכות הלחימה שלו טכנולוגיות חדשניות, יישאר לעולם בפיגור של מספר דורות טכנולוגיים, והדבר יתבטא ביכולת הביצוע של מערכות לחימה אלה. תנאי ההיתכנות הכלכלית הוא מורכב יותר. גם אם ניתן

יהיה מבחינה טכנולוגית לפתח מערכת נשק מתוחכמת, שתענה על התנאי של משפט הקיום, היא לעולם לא תגיע לייצור המוני, אם מחיר המוצר יעלה בסדרי גודל על מחירו של פריט מקביל מהדורות הקודמים, והדבר נכון במיוחד לגבי פריטי חימוש מתכלים, כגון פגזים וטילים. מכאן שכמו במקרה של הטלפונים הסלולריים בשוק האזרחי, נדרשת פריצת דרך טכנולוגית, שתאפשר לא רק זיווד קומפקטי ועמיד בתנאי סביבה קשים, אלא גם תהליכי ייצור מוזלים, שיאפשרו למוצר להיות אטרקטיבי גם במחיר.

באשר לשאלת ההסתמכות על השוק האזרחי – ניתן לקבוע באופן כמעט אקסיומטי, כי ייצור מוצרים צבאיים יסתמך על הטכנולוגיה הזמינה מהשוק המסחרי בכל מקום שהדבר יתאפשר.

### התוכניות הרב-שנתיות במערכת הביטחון - תר"ש או טר"ש?

גם מערכת הביטחון בישראל קיבלה את הכלל, שלפיו ייעשה שימוש ברכיבים אזרחיים תוך הסתמכות מרבית על התשתית הטכנולוגית-המסחרית הקיימת בארץ ובחו"ל. על-פי הכלל זה כווננו להשקעות של מערכת הביטחון להקמת תשתיות רק באותם תחומים, שבהם זוהו פערים שלא היה להם מענה קיים וזמין.

בתחילת שנות ה-90 התחיל משרד הביטחון – באמצעות מפא"ת (המנהל למחקר, פיתוח אמל"ח ותשתית) – להשקיע בתוכניות רב-שנתיות (תר"שים) כדי להביא לסגירת פערים טכנולוגיים לעומת חזית הידע בעולם. התוכנית הראשונה שיצאה לדרך הייתה בתחום האלקטרואופטיקה, וליתר דיוק

מי שאינו מסוגל או שאינו יכול להרשות לעצמו לשלב במערכות הלחימה שלו טכנולוגיות חדשניות, יישאר לעולם בפיגור של מספר דורות טכנולוגיים, והדבר יתבטא ביכולת הביצוע של מערכות לחימה אלה

בסיליקון, וכן לאור העובדה שקבלת שירות ממפעלים דומים בחו"ל אינה מובטחת באופן יציב ותלויה בשיקולים מסחריים, פוליטיים וביטחוניים (מגבלות של רשיון יצוא, הצהרת משתמש סופי וכו').

המפעל הוקם בחברת "אלתא" בהשקעה ראשונית של כ-20 מיליון דולר, שהתחלקה בין "אלתא" (השקעה במבנה), משרד הביטחון (השקעה בציוד ובמכונות) ומשרד התעשייה והמסחר (השקעה בכוח אדם). בשנת 2000 הצטרפה רפא"ל כשותפה מלאה, והמפעל מוגדר היום כשותפות בשם "גלאל-ממיק".

ב-1997 הוכרה התוכנית באופן רשמי כתוכנית רב-שנתית במשרד הביטחון, ולהשקעות של מפא"ת בנושא הצטרף גם המטה לרכיבים קריטיים של מנהל הרכש (מנה"ר). כיום עומד מפעל "גלאל" בשלבי הסיום של פיתוח, הוכחה ואימות של תהליכים טכנולוגיים, שיאפשרו לייצר רכיבי MMIC על גבי פרוסות גליום ארסניד. רכיבים אלה יספקו את צורכי התעשיות הביטחוניות וכן יופנו לשווקים אזרחיים, מכיוון שיכולת הייצור הפוטנציאלית של המפעל תהיה גבוהה מהצריכה הצפויה של הלקוחות הביטחוניים.

נוסף על הקמתו של מפעל הרכיבים נעשתה פעילות גם בתחום של הקניית יכולת התכן (Design) באמצעות הכשרת כוח אדם ובאמצעות רכש של כלי תכן ממוחשבים. יכולת התכן של רכיבי MMIC נמצאת היום בידי מספר קבוצות, שהגדולה שבהן נמצאת ברפא"ל.

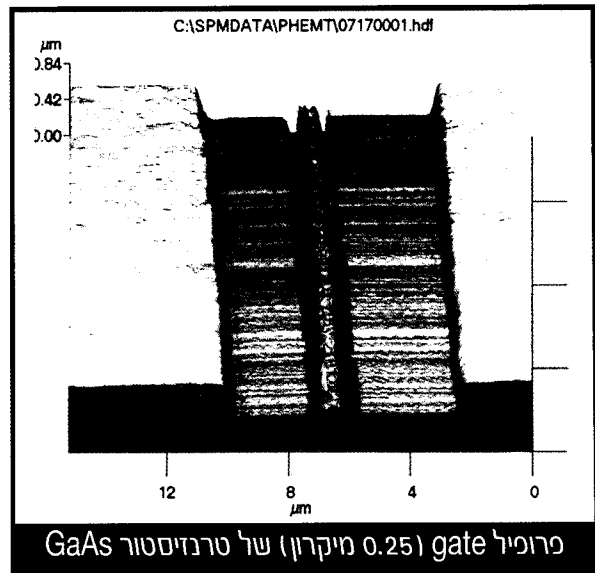
בימים אלה נמצאת התוכנית קרוב למחצית הדרך מבחינת הגשמת היעדים. קיימות יכולות מוכחות לתכן ולייצור של רכיבי MMIC ברמת השבב, והיעדים שבדרך הם:

- השגת יכולת תכן ליחידות מורכבות ברמת מודול.
- הקמת מתקן לייצור ולהרכבה של מודולים.
- השגת יכולת אינטגרציה של מודול שלם, שימש בתור מדגים טכנולוגי לתוכנית.

- השגת יכולת בדיקה בכל הרמות – מרמת ההתקן הבודד על גבי פרוסת גליום ארסניד ועד לרמת המודול המורכב. היעד שנראה היום בקצה הדרך הוא שילוב של כל היכולות שהוזכרו והטמעתן בשלבי הפיתוח של פרויקטים אמיתיים.

### זיווד זה כבר לא רק קופסאות

אחד היעדים שהוזכרו קודם להמשך התוכנית היה קשור לייצור ולהרכבה של מודולים, או במילה אחת: זיווד. הזיווד האלקטרוני הקלסי, כפי שהוא מוכר לנו משנות ה-70 (וכפי שהוא ממומש גם במכשירים מודרניים, דוגמת המחשב הביתי), מתחיל ברמת השבב, ששטחו הוא מספר



– בתחום הגלאים. במסגרת התוכנית הזאת קודמה יכולת הפיתוח של מערכות הדמיה תרמיות עבור חימוש ועבור מערכות תצפית לראיית לילה. המפעל העיקרי למימוש התוכנית הזאת הוא מפעל המ"מ (התקני מצב מוצק) – שותפות של שני הצרכנים העיקריים בתחום הזה – רפא"ל ו"אלאופ".

בד בבד עם ההשקעה בהמ"מ (אשר כוונה הן לפיתוחן של תשתיות ייצור והן לפיתוחן של אבני בניין עבור האפליקציות עצמן) מבוצעים גם מחקרים במוסדות אקדמיים (בעיקר בטכניון), ונבנות התשתיות גם לייצור חומרי המוצא (סוגים שונים של גבישי מצב מוצק), שעליהם מבוססים הגלאים.

תוכנית רב-שנתית נוספת של מערכת הביטחון היא "תר"ש מיקרואלקטרוניקה", שמטרתה היא להקנות לתעשייה הביטחונית עצמאות בתכנון ובייצור של רכיבים (שבבים ומודולים) לתדר גבוה

כתדרי מיקרוגל. הרכיבים האלה משמשים אבני בניין חיוניות עבור מערכות תקשורת, מכ"ם, לוחמה אלקטרונית וראשי ביות לפעולה בכל מזג אוויר.

ראשיתה של התוכנית ב-1993 בשיתוף פעולה בין משרד הביטחון לבין משרד התעשייה והמסחר. במסגרת תוכנית מגנ"ט (מחקרים גנריים טכנולוגיים) של משרד התמ"ס הוקם קונסורציום של תעשיות ושל מוסדות מחקר, שהמובילים בהם היו "אלתא" רפא"ל ו"אלישרא". ההשקעה העיקרית בתוכנית הייתה בהקמת מפעל לייצור שבבים לתדר גבוה בטכנולוגיית MMIC על גבי חומר מוליך למחצה מסוג גליום ארסניד (GaAs). הקמת מפעל כזה זוהתה כצורך חיוני, מכיוון שהמפעלים האחרים לייצור שבבים בארץ עוסקים רק

האנרגיה ועל-ידי כך להקטין את הגודל ואת המשקל של המוצר הסופי. התוצאה – במקרה של טלפון סלולרי – היא מערכת הכוללת מקלט, מעבד אותות שמע, מחוללי אותות, משדר, מערכת בקרה ותצוגה, והכול בגודל ובמחיר של חפיסת סיגריות. הקטנת הגודל והמשקל מקנה גם עמידות בתאוצות (מי סופר כמה פעמים נפל הטלפון הסלולרי על הרצפה ולא ניזוק?)

התפיסה שתוארה לעיל אינה קלה למימוש. היא מחייבת שימוש בחומרים מיוחדים לחיבור ולהדבקה, תכן יצירתי שיאפשר סילוק חום יעיל, וכן – במקרה של פעולה בתדר גבוה – גם תכן אלקטרומגנטי מדויק, שיביא בחשבון את השפעת האריזה על ההתנהגות האלקטרומגנטית של הרכיבים וימנע את הצורך בביצוע כיוונים וכיולים לאחר ההרכבה.

מימושה של טכנולוגיה זו כרוך בהשקעה התחלתית גדולה – בידע, בכלי התכן והסימולציה, ברכש כלים וחומרים ובהקמת קו הייצור. אולם השקעה זו מהווה במקרים רבים תנאי הכרחי להצדקת הקיום של המערכת, ובמקרה של הצטיינות בכמות גדולה – מתאפשר גם החזר של ההשקעה על-ידי הוזלת תהליכי הייצור, הגדלת האמינות ושיפור היכולת לתחזק את המוצר.

### סיכום: מנסים ליישר קו

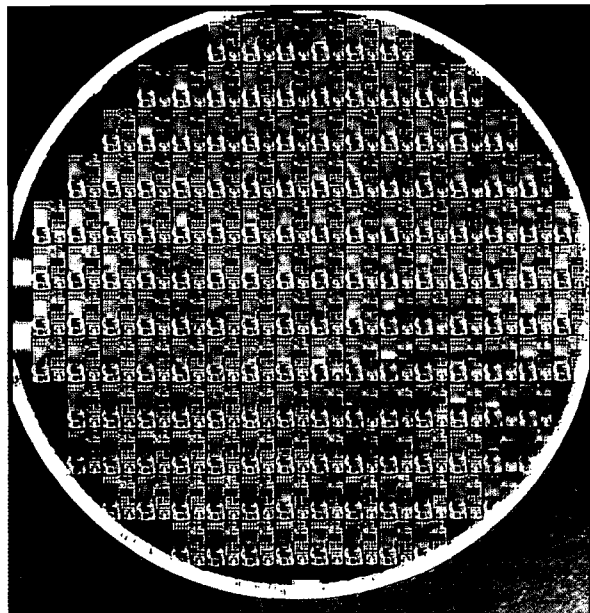
הטכנולוגיה האלקטרונית בעולם נמצאת במגמה עקבית של התפתחות לכיוון של מזעור, של הוזלה ושל העלאת תפוקת העבודה. המגמה הזאת נמשכת כבר יותר מ-30 שנה, ואם תימשך ההתפתחות החזויה על-פי עקרון מור, יש לטכנולוגיה הנוכחית אופק של כ-20 שנים נוספות. מעבר לאופק הזה כבר ממתניות תפיסות טכנולוגיות חדשות, הבנויות על עקרונות פיזיקליים אחרים.

בעשור האחרון החל תהליך של יישור קו בין פיתוח היישומים הביטחוניים לבין חזית הטכנולוגיה האזרחית במאמץ לאפשר למערכות הצבאיות ליהנות מהיכולות ומהביצועים שמאפשרת הטכנולוגיה האזרחית. התהליך הזה אינו פשוט, כי הוא יוצר ניגוד בין דינמיקה הפרועה והמתעתעת של השוק האזרחי לבין מסורת העבודה של הארגונים הביטחוניים, המבוססת על תהליכי קבלת החלטות וכן על פיתוח ורכש בקבועי זמן ארוכים.

מערכת הביטחון בישראל משקיעה מאמץ רב להצטרף למגמה הזאת, והדבר בא לידי ביטוי גם בתקציב (שהוא גדול מאוד בקנה מידה ישראלי) וגם בשינוי של דפוסי מחשבה מסורתיים ואימוץ דרכי פעולה בלתי שגרתיות, תוך ניסיון להסתגל לסביבה משתנה ודינמית, המאפיינת את עולם האלקטרוניקה העכשווי.

מילימטרים רבועים. שבר כזה, כשהוא מזווד באריזה סטנדרטית (פלסטית או קרמית) ומצויד במוליכים חשמליים, גדל בקירוב עד פי 10 משטחו המקורי. מספר רכיבים כאלה, המולחמים על גבי לוח מודפס, מגדילים שוב את השטח הנתפס פי 10.

כמה כרטיסים מודפסים כאלה נתקעים לתוך מחברים, המחויטים על גבי לוח אם, וכל הכבודה הזאת מותקנת בתוך קופסה כדי לבודד אותה ולהגן עליה מפני הסביבה. כל המבנה הזה מכיל גם התקני חיבור מכניים, מחברים חשמליים, חיווט, ספקי כוח ואמצעים לסילוק חום. משקלו ונפחו גדולים



שבבי MMIC (כ-140 במספר) ע"ג פרוסה ("WAFER") של GaAs בקוטר "3 טרם החיתוך"

בכשישה סדרי גודל ויותר לעומת הנפח והמשקל של רכיבי הסיליקון האקטיביים, שבעצם מבצעים את העבודה. אין בכך כל רע (מלבד אולי המחיר), כל עוד המוצר נועד להיות מוצב על שולחן יציב בחדר ממוזג. אך המצב שונה כאשר המוצר אמור להיות נישא בכיס (כמו טלפון סלולרי) או להיות מזווד בתוך חרטום של פגז טנק. ההבדל בין המוצר המסורבל והיקר לבין המוצר הקומפקטי והזול נעוץ כמעט כולו בזיוד. תפיסת הזיוד המתקדם מתחילה בשבבים מרובי פונקציות (Multifunction). רכיב כזה אינו יכול להיות סטנדרטי מהמדף, ונדרשת בו התאמה לאפליקציה (קונספט VLSI-ASIC ברכיבים ספרתיים או MMIC ברכיבי RF אנלוגיים). שבר זה לא יהיה בעל אריזה אינדיווידואלית. מספר שבבים כאלה, שמוצמדים למצע רב-שכבתי (שבו המוליכים הפנימיים תופסים את מקומו של החיווט), מאפשרים לממש מערכת שלמה באריזה מאוד צפופה. הקטנה של מספר הרכיבים מאפשרת גם לצמצם את מקורות

# מערכות אוטונומיות ביבשה: חזון ומציאות

קיום מערכים לא מאוישים בשילוב עם כלים מאוישים יגדיל את מגוון המשימות שאותן יכול הצבא לבצע, יקטין את שחיקת המשאבים ויאפשר - אם תגובש תפיסת הפעלה מתאימה - להגיע מהר יותר להכרעה

אל"ם יואב / ראש מחלקת חימוש ורק"ם • רס"ן גבי / ראש מדור במחלקת חימוש ורק"ם

## ממציאות לחזון

כל איש צבא, שהתנסה בפעילות קרבית ויש לו "חשיבה טכנולוגית", מצא את עצמו מעת לעת תוהה אם ניתן היה לבצע את המוטל עליו אחרת, לו פותח אמצעי זה או אחר.

דוגמא אחת מיני רבות היא הצבת מארב בפתחו של ואדי באיזור סבון, שהעבירות בו קשה. מדובר במשימה שגרתית, שבה מטרת הכוח היא למנוע מעבר בוואדי של גורמים בלתי רצויים. "המערכת" המבצעת את המארב היא קבוצת חיילים, אשר אומנה וצוידה למשימה הזאת. ביצוע המשימה מורכב מכמה שלבים: תכנון, תנועה אל האיזור, ביצוע המארב, תנועה חזרה. במקרים רבים התנועה אל האיזור קשה, מורכבת מאוד ומסוכנת יותר מביצוע המארב עצמו, אך ללא השלב

המוקדם הזה לא ניתן לבצע את המשימה עצמה. באיזור המארב צריך לבחור נקודה מיטבית, להתמקם, להסתתר, ורק אז ניתן להתחיל לבצע את "המשימה האמיתית". בשלב הזה הלוחם מפעיל את אמצעי התצפית שלו (עזרים המשפרים את יכולת הראייה, אך אינם מחליפים אותה), ואם נדרש - הוא יפעיל גם את כלי הנשק שהביא עימו.

כל מי ששכב בשלג ובבוץ, מותש אחרי הליכה ארוכה, אצבעות הידיים קופאות מבעד לכפפות עד כדי ספק אם ניתן יהיה להפעיל כהלכה את הנשק, תוך שהערפל מותיר לעיתים מטרים בודדים בלבד של תצפית מועילה, מכיר את הרגשת חוסר האונים שהיא תוצאה של ההכרה כי כל המאמץ שהושקע, הסיכון, האימון, הציוד - כל אלה אינם מניבים את התמורה הרצויה: הוואדי כלל אינו חסום. וגם אם הוא נחסם, הרי זה רק לפרק זמן מוגבל ובמחיר הגבוה בהרבה מהתמורה.

אם ננתח את המשימה הזאת בראייה "טכנולוגית", נגיע

לשלוש תובנות בסיסיות:

- ניתן לבצע את המשימה הזאת תוך שילוב של כלים טכנולוגיים אוטונומיים עם מפעילים אנושיים.
- אם נשתמש כהלכה בכלים בעלי יכולות אוטונומיות, נוכל לבצע מגוון רחב של משימות, שאותן לא ניתן היה לבצע בדרך אחרת.
- בהינתן יכולות אוטונומיות מסוימות, לא היה צורך בהטלת המשימה הזאת על לוחמים בשר ודם.

כל איש צבא, שהתנסה בפעילות קרבית ויש לו "חשיבה טכנולוגית", מצא את עצמו מעת לעת תוהה אם ניתן היה לבצע את המוטל עליו אחרת, לו פותח אמצעי זה או אחר

על שלוש התובנות האלה (ועל שתיים נוספות שינוסחו בהמשך) אנו מבססים את חזון המערכות האוטונומיות ביבשה. החזון הזה נשען על חמישה עקרונות:

- **עקרון השילוב** - יכולות ומערכות אוטונומיות יופעלו תמיד בשילוב עם מערכות מאוישות.
  - **עקרון ההגדלה** - שימוש במערכות אוטונומיות יגדיל את מגוון המשימות והיכולות של צבא היבשה.
  - **עקרון השינוי** - כניסתן של מערכות ושל יכולות אוטונומיות תשנה את האופן שבו נבנה ומופעל הכוח בכלל וביבשה בפרט.
  - **עקרון הקיום** - המערכים האוטונומיים יהיו בצבא בכלל וביבשה בפרט.
  - **עקרון הכדאיות** - השימוש ביכולות האוטונומיות יהיה כדאי מבחינה כלכלית.
- במאמר הזה לא נעסוק בעקרון הכדאיות, ורק נסתפק בקביעה כי מדובר בהנחיה ובאקסיומה, מעין תנאי הכרחי. אפשר שבעתיד נראה מכוח קיום התנאי הזה בלבד את מימושם של יתר העקרונות.
- נחזור לדוגמא שבה פתחנו כדי להמחיש את העקרונות ולמעשה את החזון כולו: ניתן לבצע את משימת המארב

## נהיגה מול הטסה

במילון המונחים של עולם כלי-הטיס הבלתי מאוישים נמצאים זה שנים מושגים כמו "שליטה מרחוק" ו"אוטונומיה". דורות רבים של מזל"טים ושל מל"טים הנשלטים מרחוק או אוטונומיים משתתפים בפעילות מבצעית שגרתית ובמבצעים נועזים. יתר על כן, המונח

### חזון לעתיד הלא רחוק: מטוסי קרב הפצצה אוטונומיים



"מטוס קרב ללא טייס" חדל להיות משוך למדע הבדיוני וחדר לתודעת העולם.

על הקרקע הדברים הם קצת שונים. רק בשנים האחרונות התבגרה היכולת הטכנולוגית לשלוט ולהפעיל מרחוק כלים והגיעה לבשלות משכנעת ברוב מרכיביה (בקרה, תצוגה, שליטה, תקשורת). נותרו עדיין מספר תחומים "אפורים", שחייבים תשומת לב, כגון שידור וידיאו לאחור שלא בקו ראייה, התמודדות עם מקורות אנרגיה והתמודדות עם מכשולים.

כלים יבשתיים אוטונומיים הם עדיין בגדר יעד לא מושג. קונצרנים ענקיים, גופי מחקר ופיתוח ביטחוניים וכן אזרחיים מרובי משאבים חושפים בשנים האחרונות - אם כי בהסננות רבה - מדגימים טכנולוגיים של פלטפורמות יבשתיות בעלות מידה זו אחרת של יכולות אוטונומיות. הפלטפורמה המובילה היום בעולם (לא מבצעית) היא DEMO III של ARL (Army Research Laboratory), והיא מסוגלת לנועה במהירות של כ-30 קמ"ש תוך ניווט עצמי והימנעות ממכשולים בזמן אמת. פלטפורמה נוספת, URBI, המפותחת במימון סוכנות המחקר והפיתוח האמריקנית (DARPA), היא זחלילית זעירה (30 ק"ג) בעלת יכולות תנועה אוטונומית, בייחוד בשטח אורבני: ביכולתה לטפס במדרגות ולעבור מכשולים.

אין ספק שהתחום האווירי מוביל בפער גדול הן בתחום האוטונומי והן בתחום השליטה מרחוק. פער מובהק זה

על-ידי שימוש במערכת חישנים, המשלבת גילוי תנועה בכל תנאי מזג אוויר עם כינון והפעלת אש. נשמור את המפעיל האנושי ("הלוחם הטכנולוגי")<sup>2</sup> למשימה של הגדרת התנאים לפתיחה באש ונאפשר לו להתערב ב"שיקולי המערכת" בכל עת. מובן שאין הלוחם הטכנולוגי או המפעיל האנושי חייבים להיות צמודים למערכת כדי לבקר את פעילותה. זהו עקרון השילוב: ניתן לממש את רוב<sup>3</sup> היכולת הזאת כבר היום ללא קושי מיוחד.

באשר לעקרון ההגדלה, ניתן להציג מספר דוגמאות, אך נסתפק בכך שנציין כי באמצעות פחות מחצי ממספר האנשים, הדרוש למיקום מארב יחיד, ניתן יהיה לבצע מספר גדול של משימות דומות בתא שטח יחיד או בכמה תאי שטח. עקרון השינוי הוא המורכב ביותר להמחשה ברמה הזאת, מאחר שמדובר בשינוי משמעותי של התפקידים ה"קלאסיים", ולא רק ביבשה.

ישתנו הדרישות מחיל המודיעין, שכן את המודיעין הדרוש לביצוע המשימה יאסוף הכוח בעצמו; חיל האוויר לא יאלץ לעסוק במשימות המורכבות של סיוע קרוב לכוחות היבשה וכו'. לעניין הדוגמא שלנו, ניתן לתאר את הנחת המארב בפתח הוואדי כסוג של הימור (מהי ההסתברות שכוח האויב יגיע דווקא בעת ובמקום שבו ממוקם המארב, ומהו הסיכוי שנגלה ונמנע זאת, אם האירוע הנדיר הזה אכן יתרחש). ניתן לגשת לבעיה המבצעית הזאת מכיוון שונה - למשל, נתמודד עם גילוי החודרים עמוק בשטחם ונתכנן תגובה שונה.

את שני העקרונות האחרונים לא נמחיש במאמר הזה. החזון הוא שתהיה חלוקת תפקידים ברורה: האדם יקבל את החלטות, ואילו הפעלת המערכות תוטל על כלים אוטונומיים.

החזון הזה מתייחס ליבשה באופן מפורש משני טעמים עיקריים: ראשית, במערכות טסות כבר נעשתה פריצת הדרך. במערכות האלה תקפים כל חמשת העקרונות שהוזכרו לעיל, והקצב שבו הן נכנסות לשירות מבצעי תלוי במגוון גורמים, שלא נידרש להם עתה.

באשר לטעם השני: עדיין קיים פער טכנולוגי בסיסי, המונע יישום נרחב של החזון. פער זה מיוחד ליבשה, שכן באוויר (ובחלל) ומידה רבה גם בים הוא למעשה פתור. מדובר ביכולת הבסיסית לנוע באופן אוטונומי לחלוטין מנקודה לנקודה. קושי טכנולוגי זה מעכב את יישום החזון הזה ביבשה בדיוק כמו שהפתרון ל"מטלה הטכנולוגית" הזאת הביא להזנקת המודעות לנושא במערך הטס והשט.

במבט ראשון זה נראה מוזר כיצד למטלה, הנתפסת יוקרתית ומורכבת ביותר - הטסת מערכת מנקודה לנקודה - נמצא פתרון טכנולוגי מלא, ואילו למטלה הנתפסת נמוכה מאוד בסולם היוקרה הצבאי - לנהוג רכב שטח ממקום למקום - אין פתרון טכנולוגי. הפרק הבא מוקדש להשוואה בין שתי המטלות האלה.

## טבלה 1

רכב קרקעי		כלי טיס בלתי מאויש	
פעולות	שלבי המשימה	פעולות	שלבי המשימה
	אין הקבלה		המראה
	נסיעה אל היעד	ניווט - התמצאות - גילוי מכשולים	שיוט אל היעד וממנו
מטעד ייעודי	ביצוע המשימה ביעד	מטעד ייעודי	ביצוע המשימה ביעד
	אין הקבלה		נחיתה

סביבת העבודה האופיינית של כלי קרקעי היא בתא שטח מרובה מכשולים מוצקים בטווח קרוב. נגדיר כמקרה חריג משימה באיזור שטוח, רחב ממדים ונטול מכשולים. לא נדון בעבודה הזאת בהיבטים הקשורים למשימות חריגות.

טבלה 2 משווה בין מספר פרמטרים מרכזיים, האופייניים לשלב השיוט/נסיעה במסגרת משימה המבוצעת בסביבה אופיינית בהתייחס לשני סוגי הפלטפורמות. מטבלה 2 אנו למדים שעל הפלטפורמה הקרקעית להתמודד עם צפיפות מכשולים גבוהה, עם תמרונים רבים ליחידת שטח ועם קצב שינויים גבוה בסביבת התנועה.

נבחן את הבעיה מנקודת מבט נוספת: נגדיר את תא השטח האופייני לפלטפורמה (אווירית או קרקעית) כמרחב מורכב משטחים עבירים (מרחב חופשי), משטחים בלתי עבירים (מכשולים) ומהפלטפורמה עצמה, האמורה לנוע מנקודה A לנקודה B ולהימצא כל הזמן במרחב החופשי (ראו שרטוט 1).

כמו כן נקבע כי המצב הרצוי עבור הפלטפורמה הוא הימצאותה כל הזמן בתוך המרחב החופשי. אם הפלטפורמה נמצאת בשטח בלתי עביר, משמעות הדבר התנגשות במכשול וכישלון בביצוע המשימה (כישלון נקודתי או גלובלי). משרטוט 1 נובע, בהנחה שמסלול התנועה הוא בעצם פרוזדור תנועה, שאוסף מסלולי התנועה הפוטנציאליים שווה וזהה לכלל המרחב החופשי.

על בסיס הפרמטרים שבטבלה מספר 2 וההגדרות הנ"ל מסיקים שלפלטפורמה קרקעית סיכוי סטטיסטי קטן יותר להימצא בתוך המרחב החופשי, בהשוואה לפלטפורמה אווירית. לכן, על מנת להגדיל סיכוי זה עד כדי הימצאות

מעסיק רבות את קהילת המחקר והפיתוח של התחום היבשתית. ננסה בפרק הזה לנתח ולהבין את הסיבות לפערים האלה, להדגיש את השוני בין שני העולמות ואולי לגבש תובנות אשר יסייעו לכלים היבשתיים האוטונומיים "להמריא".

לצורך הדיון נגדיר את המונח מערכת בשני אופנים:

- פלטפורמה נשלטת מרחוק + מפעיל שולט.
- פלטפורמה אוטונומית + מפעיל משגיח.

על-פי ההגדרות האלה המערכת היא יחידה סגורה בעלת משימות ותפקידים לביצוע.

הניתוח תקף הן להפעלת פלטפורמה בשליטה מרחוק והן להפעלה אוטונומית, היות והוא יבוצע מנקודת המבט של מטלות שעל המערכת לבצע. במקרה של שליטה מרחוק, יבוצעו המטלות האלה על-ידי המפעיל, ובמקרה של הפעלה אוטונומית, יישאו מערכות הבינה ברוב הנטל.

סכימת בלוקים עקרונית של מערכת אוטונומית מוצגת בשרטוט 2. כל בלוק בסכימה מטופל על ידי טכנולוגיות שונות. טכנולוגיות אלו, במהותן, זהות עבור פלטפורמות אוויריות וקרקעיות, אך אופן יישומן ורמת בשלותן שונה בשני המקרים.

בטבלה 1 מופיעים השלבים העיקריים של

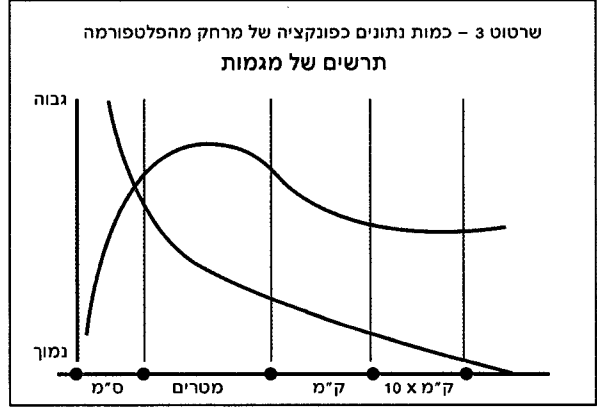
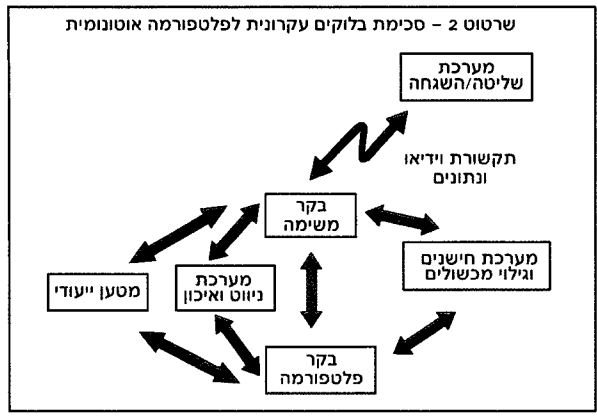
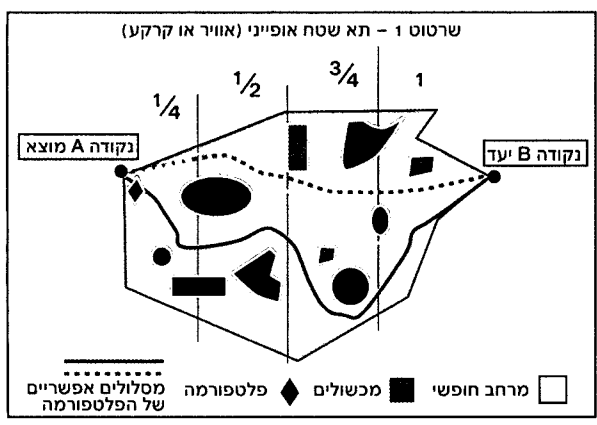
משימה סטנדרטית של כלי-טיס לא מאויש ושל רכב קרקעי. תהליך ההשוואה בין הפלטפורמה האווירית לזו היבשתית יתבסס על הטבלה הזאת. הפער העיקרי בין הפלטפורמות הוא בתחום התנועה, ולכן נתמקד בשלב השיוט, שבו ההקבלה בין שתיהן היא מרבית. נוסף על כך נציג פירוט של הפעולות האופייניות המשותפות שעל הפלטפורמות לבצע באותו שלב.

סביבת העבודה הסטנדרטית של שני סוגי הפלטפורמות שונה בתכלית, אולם הדרישות דומות: לבצע את המשימה על-פי המתוכנן, תוך עמידה בכל הפרמטרים של ההצלחה שנקבעו, באופן יעיל ובטוח לסביבה ולכלי עצמו.

משימה אופיינית של כלי-טיס לא מאויש היא לטוס מעל תא שטח (פתוח או עירוני). נגדיר כמשימה חריגה טיסה בגובה נמוך בתוך תא שטח אורבני או מעל שטח הררי תוך הימנעות ממכשולים מוצקים.

## טבלה 2

הערות	רכב קרקעי	כלי טיס בלתי מאויש	מרחב התנועה
המשמעות של הממד השלישי ביבשה שונה ממשמעותו באוויר	זר-ממדי	תלת-ממדי	1
	נייח	תנועה/טיסה	2
פלטפורמה אווירית: כ-250 קמ"ש רכב קרקעי: כ-30 קמ"ש	נמוכה	גבוהה	3
פלטפורמה אווירית: מאות/אלפי ק"מ רכב קרקעי: ק"מ בודדים	קטן	גדול	4
פלטפורמה אווירית: מאות/אלפי ק"מ רכב קרקעי: ק"מ בודדים	קטן	גדול	5
לא נדון בסביבות חריגות	גבוהה	נמוכה	6
	גבוה	נמוך	7
	קטן	גדול	8
	גבוה	נמוך	9
על הקרקע קיימות הפרעות תקשורת רבות	גבוה	נמוך	10
	גדול	קטן	11



וצריך להכניס יכולות אוטונומיות למערכה ביבשה ולעסוק בהבנה ובמימוש המתחייבים מ"עקרון השינוי".  
 בין אם נעסוק בכך ב"כוח מלא" ובין אם נתקדם עקב בצד אגודל, המהפכה הזאת תתרחש, ולו בגלל העיקרון החמישי, שיביא אותנו לאמץ פתרונות על בסיס חוסר הברירה, הנובע מניהול משק בתנאי מחסור.  
 מאחר שהעיסוק הזה נמצא בחזית המחקר, והתקציבים המושקעים בתחום בעולם גדלים משנה לשנה, יש עוד מניע חשוב לעיסוק במערכות אוטונומיות: ניצול היתרון היחסי שלנו (כפי שהיה בעולם המזל"טים) בעיקר ביכולת להגדיר ועדים טכנולוגיים המחברים למציאות מבצעית ולהוציא

מוחלטת בתוך המרחב החופשי, על פלטפורמה קרקעית אוטונומית להשקיע מאמץ גדול בהרבה - יחסית לכלי אווירי - בבחירת ציר התנועה מול האילוצים.

טכנולוגיות החישה, גילוי המכשולים, הניווט והתקשורת (במיוחד Now Line of Sight - NLOS) בשטח קרקעי הרבה יותר מורכבות ותובעניות מבחינת האלגוריתמיקה, משאבי החישוב והעיבוד (שרטוט 2). מכאן שקצב ההבשלה איטי יותר, ומסובך יותר להעמיד מערכת בעלת ביצועים מספקים. נתבונן בסביבת עבודה אופיינת של מערכת קרקעית לפי ההגדרה שקבענו קודם לכן בהסתמך על שרטוט 1. נניח שהמערכת הקרקעית יוצאת מנקודה A, ולמערכת הניווט שלה הזנוגן שלוש נקודות ביניים (Way Points) ברבע, בחצי ובשלושה רבעים מהדרך יחסית לנקודת המוצא.

תחילה על הפלטפורמה לעבור את הרבע הראשון של תא השטח, ולכן כל מאמציה בתחום של גילוי המכשולים ושל הניווט ירכוזו על מנת להגיע בשלום לנקודת הביניים הראשונה על קו הרבע. בהנחה שמערכות החישה והניווט של הפלטפורמה מפותחות במידה מספקת, תינתן תשומת לב מסוימת גם לרבע השני של תא השטח על מנת לבצע תכנון ראשוני של "הצעד הבא". חוץ מנקודות הציון הידועות מראש, סביר להניח שהפלטפורמה לא תצפה מעבר לקו החצי.

מכאן נסיק שמאמצי המערכת הקרקעית (כמות הנתונים המעובדים ומשאבי המערכת), המושקעים לצורך ניווט, גבוהים בשטח הקרוב לפלטפורמה וקטנים יותר, בהתאמה, עבור שטחים מרוחקים יותר.

אם כך, ניתן לערוך גרף איכותי של כמות הנתונים המושקעים על-ידי מערכת קרקעית כפונקציה של המרחק (שרטוט 3).

נערוך ניתוח דומה גם עבור מערכת אווירית לפי הפרמטרים שבטבלה 2. נניח גם כאן ידיעתן מראש של נקודות הביניים וחלוקה דומה של תא השטח לרבעים. במקרה של מערכת אווירית המצב קצת שונה. מצד אחד, היות וצפיפות המכשולים קטנה, ניווט ברבע הראשון של תא השטח אינו מהווה בעיה "קיומית". מצד אחר, היות וכלי אווירי נמצא תמיד בתנועה, וממד הזמן הוא קריטי ביותר, אין באפשרותו "לעצור לחשוב". עוד בהיותה ברבע הראשון, על הפלטפורמה להשקיע מאמצים לגילוי מכשולים ולקביעת נתיב ניווט ברבע השני, ולכך מושקעים מרב המשאבים. העיסוק ברבע השלישי של תא השטח קטן יותר וכך גם ברבע האחרון.

**מחזון למציאות**

ניתן להתקדם כברת דרך משמעותית ליישום של חזון המערכות האוטונומיות ביבשה גם בלי לפתור את מטלת התנועה. למעשה, אין החזון תלוי ביכולת ספציפית. צברנו עד היום נכסים טכנולוגיים רבים עד כי אין ספק שאפשר

ליישומים טקטיים ומבצעיים חזקה יותר.

## העיצוב הביולוגי

מחקרים רבים מתקיימים כיום – בעיקר באקדמיה אך גם בתעשייה – בתחום של עיצוב פלטפורמות רובוטיות בהשראת בעלי-חיים. הרעיון העומד מאחורי השיטה הזאת נטוע עמוק בחצרה של האבולוציה. הטבע עיצב את בעלי-החיים השונים בצורה מיטבית בהתאם לתביעות ההישרדות: עבירות, ניידות, זריזות, יחס מהירות/גודל אופטימלי, ממשק עם הסביבה בצורה המוצלחת ביותר. הרעיון הוא לראות כיצד ניתן להעתיק רעיונות מוכחים מהטבע וליישם באופן הנדסי. יתרונותיו העיקריים של העיצוב הביולוגי:

- 1. עבירות גבוהה.** עיצובים דמויי חרקים – להתגברות על משטחים משובשים ועל מכשולים; עיצוב בהשראת צרצרים – להשגת יכולת זינוק; עיצוב דמוי נחש – לכניסה לחללים קטנים ולא מוגדרים.
- 2. יעילות אנרגטית** – על-ידי העברת כוח יותר יעילה ושימוש בטכנולוגיה של שרירים מלאכותיים ניתן יהיה, כנראה, לשפר את הנצילות האנרגטית של המערכת (זה קריטי ברובוטים קטנים). עיקר העיסוק בתחום הזה נמצא באקדמיה, אך קיימות כמה חברות מסחריות, העוסקות בייצור שרירים מלאכותיים וקיימים לרובוטים עבור הוראה ומחקר.
- 3. חשאיות.** באמצעות הסוואה והתמזגות עם הסביבה ועם הרקע ניתן יהיה לעצב מערכת ששרידותה בפני גילוי גבוהה יותר.
- 4. נחיל רובוטים.** עיקר הרעיון הוא לייצר כמות גדולה מאוד של רובוטים קטנים זהים בעלי פונקציונליות מוגבלת, היכולים להתחבר זה לזה באופן אוטונומי וליצור יחדיו מערכת גדולה יותר, היכולה לבצע את המשימה. לרובוטים אין "מוח" מרכזי, אלא סך כל הרובוטים יוצרים מערכת בקרה קולקטיבית לרובוט הגדול שהם מהווים. בתחום הזה מתקיים בעולם מחקר ענף הן בהיבטים המכניים (עיצוב, ממשקי חיבור בין יחידות, צורת הנעה ועוד) והן בהיבטי התוכנה השונים (תקשורת, אינטליגנציה קולקטיבית, תפיסת הפעלה ועוד). לתפיסה הזאת יש כמה יתרונות בולטים: היא מאפשרת לבצע מגוון של משימות על-ידי שימוש בפלטפורמה אחידה, היא מאפשרת לתפוס תא שטח, והיא מקנה עבירות, יתירות וגמישות בפתרון בעיות על-ידי ניצול הממד של שינוי הצורה.

## מערכות אוטונומיות יבשתיות שנמצאות בפיתוח SOLEM

זוהי פלטפורמה נשלטת מרחוק של חברת Foster Miller, שנבנתה לאיסוף מודיעין בלחימה במנהרות ובמערכות ביוב.

אותם אל הפועל מהר יותר מאחרים. מי שישכיל לעשות כן, יהיה הראשון שיחולל מהפכה בתפיסת הפעלת הכוח בכלל וביבשה בפרט וייצור יכולת שהיא גם נכס כלכלי מהמדרגה הראשונה.

## פלטפורמות רובוטיות יבשתיות זעירות - מגמות עיקריות

במסגרת העיסוק הנרחב בעולם בפלטפורמות יבשתיות נשלטות מרחוק ואוטונומיות שמור מקום מכובד לפלטפורמות הקטנות, הנישאות על-ידי מפעיל. הפלטפורמות האלה אמורות לתת מענה לאתגר, המשלב בין ממדים פיזיים קטנים (משקל, מידות), לבין ביצועיים

## ציור של מטוסים ממריאים אנכית לא מאוישים (UAV) במשימת סימון מטרה בשדה הקרב באמצעות ATL (Airborn Tactical Laser)



משכנעים (עבירות, אמינות). אחד ממבחי ההוכחה השכיחים והקשים ביותר הניצבים בפני הפלטפורמות הקטנות היבשתיות הינו התמודדות עם הסביבה, קרי עבירות. נביא בהמשך סקירה עדכנית של מספר פלטפורמות וכלים זעירים על מנת להמחיש את תשומת הלב הרבה שניתנת לתחום הזה בעולם. קיימות מספר תפיסות בסיסיות ומגמות כאשר ניגשים לפתח פלטפורמה רובוטית זעירה. התפיסות והמגמות השונות הולידו עיצובים שונים למטרות מגוונות.

## העיצוב הקונוונציונלי

עיצוב קונוונציונלי משמעו פלטפורמה בעלת מערכת נסיעה זחלית או גלגלית, שבה מושם דגש על מיצוי מקסימלי של עבירות באמצעות אופטימיזציה של מערכת הזחלים, התאמת קוטר הגלגלים ושיפורים מכניים, הנועדים להשיג ביצועים מקסימליים.

כל המערכות שנתמקד בהן בעבודה הנוכחית הן בעלות עיצוב קונוונציונלי, היות והמערכות האלה בשלות יותר, וזיקתן



בחישנים שונים.

5. מקור האנרגיה מופרד לשתי תת-מערכות – אחת לצורכי תנועה ואחת לצורכי המערכות האלקטרוניות.

### URBIE

URBIE הוא רובוט סיור עירוני, המבוסס על פלטפורמה בסיסית בשם Packbot. הפרויקט ממומן ע"י DARPA, המתאם הראשי בפרויקט הוא JPL, ויצרנית הפלטפורמה היא חברת iRobot (יצרנית ה-Packbot). גם במקרה זה קיימים מספר דורות עם רמות אוטונומיות ויכולות אוטומטיביות שונות. הפלטפורמה הבסיסית השתתפה אף היא בפעולות החילוץ באסון התאומים בארה"ב. פלטפורמה זו היא, כנראה, הרובוט המתקדם ביותר במשפחת הכלים הזעירים, והיא היחידה בעלת יכולות אוטונומיות משמעותיות.

מאפייניה העיקריים:

1. משקל בסיסי ללא מודולים (כולל מעבד וחליפת חישנים בסיסית): כ-20 ק"ג.
2. ממדים: אורך – 87 ס"מ, רוחב – 50 ס"מ, גובה – 20 ס"מ כשהזרועות פרוסות קדימה.
3. עמידה בזעזועים של נפילה מגובה של 3 מטרים.
4. מהירות: 2.2 מטרים בשנייה.
5. מעבד ראשי: Pentium II 700 Mhz.
6. ניווט: מבוסס אנקודרים, DGPS, ג'ירו תלת-צירי ומדי נטייה.
7. חישנים: מצלמות סטריאוסקופיות וסורק לייזר קווי לגילוי מכשולים ומיפוי מרחבי של סביבת העבודה (חלל פנימי של בניין או של חדר) ומצלמה אומנית (360 מעלות) לצורך התמצאות וחקירה.
8. זמן פעולה: כשלוש שעות.
9. יכולת טיפוס משופרת על מדרגות: הרובוט מסוגל לזהות את תחילתן ואת סופו של גרם המדרגות וכן לשמור על תנועה באמצע המדרגות ללא סחיפה או סטייה.

### הערות

1. למערכת אוטונומית יש יכולת – גם אם מוגבלת ובסיסית מאוד – "לקבל החלטות". לעומתה מערכת אוטומטית תגיב תמיד באותה תגובה לאותו גירוי.
2. סוגיה נכבדה, שלא תידון במאמר הזה, היא זהותו של "הלוחם הטכנולוגי", אופן הכשרתו וההשפעה שתהיה לו על מבנה הצבא, על עקרונות יסוד כגון דוגמה אישית וכן על עצם הגדרת המושג "לוחם קרבי". לעניין הזה נדרש בהרחבה ראש מפא"ת הקודם, אלוף (מיל') יצחק בן ישראל.
3. הקושי העיקרי בפני הגשמת החזון ביבשה הוא פתרון לבעיית התנועה אל היעד. על כך ירחב הדיבור בהמשך.



פלטפורמה "סולם" של חברת "פוסטר מילר"

קיימים כמה דורות (דור ראשון נמסר ב-1999 לניסויים בצבא ארה"ב, ודור שני הושלם ב-2000). הדורות המאוחרים יותר כוללים שיפורים ותוספות בהתאם ללקחים שהופקו מהניסויים בדור הראשון. הפלטפורמה הזאת השתתפה בחיפושים אחר ניצולים במגדלי התאומים בניו-יורק לאחר התמוטטותם.

הפלטפורמה שוקלת כ-36 ק"ג, נישאת אדם, עמידה במים ובעלת יכולת תפקוד מלא גם כשהיא הפוכה על גבה. מאפיינים נוספים:

1. ממדים: אורך – 51 ס"מ, רוחב – 38 ס"מ, גובה – 20 ס"מ.
2. עבירות: יכולה לעבור מכשול בגובה של 20 ס"מ.
3. זמן פעולה: כשעתיים בטווח של 200 מטר.
4. מהירות: 0.5 מטרים בשנייה.
5. טווח שליטה: עד 500 מטר בקו ראייה.
6. מודולים ייעודיים: ניתן להרכיב על הפלטפורמה מספר מודולים ייעודיים, כגון מצלמות, פנסים, זרועות רובוטיות וכו'.

### URBOT

מערכת SPAWAR System Center מיועדת לבצע משימות דוגמת אלה שמבצע ה-SOLEM. פלטפורמה זו מבוססת על התצורה של ה-SOLEM, אך כוללת כמה שיפורים ותוספות, כגון הארכת השלדה על מנת להקל על טיפוס במדרגות. מאפיינים עיקריים:

1. משקל כללי של הערכה (פלטפורמה, יחידת השליטה וסוללות זררבות): 45 ק"ג.
2. ממדים: אורך – 83 ס"מ, רוחב – 38 ס"מ, גובה – 20 ס"מ.
3. זמן פעולה: כשלוש שעות בטווח של 200 מטר.
4. בנייה מודולרית: ניתן להחליף את חרטום הכלי, שבו מותקנים חישני הניהוג והחקירה, בחרטום מזווד



# דמותו של החייל הרגלי במאה ה־21

כבר היום עובדים על פיתוחים לחיילי הרגלים, שיעניקו להם יכולות שנשמעות כמדע בדיוני. הטכנולוגיה התפתחה עד כדי כך, שאפשר לשקול ברצינות להעניק לחייל הבודד יכולות שהוקנו בעבר רק למטוסים או לטנקים. מזעור האלקטרוניקה בשילוב עם פיתוחים שונים של חומרים ושל בגדי מגן פותחים בפני החייל אפשרויות חדשות לגמרי. המאמר סוקר כמה מהתוכניות המרכזיות בתחום החי"ר שמתבצעות היום בעולם

תרגום: ברוך קורות / עיבוד ועריכה: אל"ם (מיל') יעקב צור

לפעולה בשטחים סגורים, שבהם טנקים ומסוקים אינם יכולים להתערב בקלות.

כדי שהחיילים יצליחו בשדה הקרב המודרני, הם זקוקים ליותר מאשר להיבטים המסורתיים של אומץ ושל מורל גבוה (הממשיכים לתפוס מקום נכבד); הם זקוקים ליכולות משופרות במידה ניכרת. הופעתו המחודשת של שדה הקרב הפתוח יותר בשילוב עם צמצום מספרם של החיילים – פירושה שעכשיו על החייל היחיד לנוע, לתקשר ולקבל סיוע על פני שטחים גדולים יותר מאשר בעבר.

עם זאת, הקרב ימשיך לתבוע ריכוזים של כוח לחימה כדי להביס את האויב תוך ספיגת אבדות מעטות ככל האפשר.

מגוון המצבים המבצעיים שאליהם מתכוננים צבאות המערב יתבע מהחיילים ומיחידותיהם גמישות ויכולת משופרת להסתגל מיידית למצב. היציאה לפעולה, שתהיה לרוב מורכבת ובהתרעה קצרה, תיעשה בסביבה של כוחות משולבים, בין־זרועיים ואפילו של בעלות ברית שונות.

יחידות הרגלים, שיהיו המרכיב הבסיסי לכל פריסת כוחות בשעת חירום, עשויות להידרש לפעול בכל איזור בעולם, לרבות במקומות שלא יהיו מוכרים לחיילים. החיילים יאלצו להיכנס לקרבות מגע ולשלוט בשטח ובסביבה האנושית. היקף המשימות שהרגלים אמורים לבצע, בייחוד במבצעים צבאיים לא מלחמתיים, הולך וגדל בהתמדה.

במסגרת זו יש לחמש את החייל העתידי במערכת של ציוד משולב ומודולרי, שישפר את יכולת התצפית והתקשורת שלו, את תוקפנותו, את הניידות שלו ואת מיגונו. מכיוון ששלבי הפעולה יהיו ממושכים, בדרך כלל, על מערכת הנשק

## מבוא

סיומה של המלחמה הקרה והתפתחות המגמה של סכסוכים מצומצמים ונמוכי עצימות הובילו לעליית חשיבותו של החייל הרגלי בצבאות המערב. חיל הרגלים, כך מתברר, ימשיך למלא תפקיד מרכזי במלחמות העתידיות ובמבצעים צבאיים שאינם מלחמה בהיקף מלא. תמיד יהיה צורך בכוחות שישתלטו פיזית על שטח ויעסיקו את האויב בקרב מגע. בצבאות אלה צופים שהחייל יפעל במסגרת טקטית

חדשה, בקווי חזית שאינם רצופים ולעיתים אף אינם מוגדרים בהירות, כשהוא מסתייע באמצעים כבדים (מטוסים, ארטילריה ורכב משוריין), המסוגלים להנחית אש ברחבי ומדויקת ("מהלומות כירורגיות"). מטוסים "חמקנים" ורובוטים מכל הסוגים ינהלו מאבקים בשדה הקרב, שיהיה מכוסה במספר מרשים של אמצעי גילוי ואיכון.

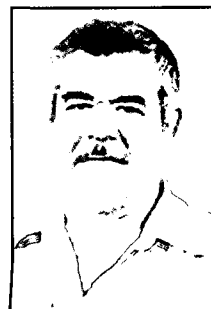
שינוי זה הוא חלק

מאסטרטגיה שלפיה יהיה השימוש בכוח מותאם לסוג ההיתקלות על מנת לבלום את האלימות ולמנוע את החמרתה וגם כדי לאכוף בכוח רצון לאומי או בין־לאומי. בכל המקרים תידרש פעילות ממושכת בשטח.

מצב חדש זה מחזיר את חיל הרגלים אל מרכז הפעילות. לאמיתו של דבר, חיילים הפועלים רגלית הם תנאי בל־יעבור לפעילות בשטח בנוי, לאיסוף מידע, לניהול מבצעים מיוחדים או

סיומה של המלחמה הקרה והתפתחות המגמה של סכסוכים מצומצמים ונמוכי עצימות הובילו לעליית חשיבותו של החייל הרגלי בצבאות המערב

יעקב צור  
משמש כיועץ  
למו"פ ביטחוני  
ותעשייתי



של כל הצוות. לפיכך הצוות והסביבה הם שני גורמים חשובים, שיש להתחשב בהם כשמשפרים את יעילות המערכות שבהן יצויד החייל.

נוסף על כך, יחסי הגומלין בין החייל היחיד לצוות ולסביבה פירושו שהחייל שיפעל רגלית יצטרך להתמודד עם שפע של מידע ולמעשה אף לתרום לו (למשל באמצעות שיגורו של מידע חזותי בזמן אמת לדרגים בכירים יותר).

במאמר הזה מובאות סקירות על מיזמי הפיתוח של ארבעת הצבאות המובילים בתחום של חייל החי"ר העתידי: ארה"ב, בריטניה, גרמניה וצרפת.

## התוכניות של צבא ארצות הברית

הסוכנויות האמריקניות השונות עוסקות עתה בכמה תוכניות של "מערכות חייל" הקשורות זו בזו, ואשר יקדמו את החייל הרגלי האמריקני מ"הכוח המסורתי" הנוכחי, דרך "הכוח המשימתי" העתידי, לעבר חזון המזכיר מדע בדיוני.

### תוכנית "הלוחם היבשתי" (Land Warrior)

התוכנית האמריקנית Land Warrior נולדה ב־1991, לאחר שקבוצת סקר של "המועצה המדעית של כוחות היבשה" המליצה שהצבא יתייחס ללוחם היחיד כאל "מערכת נשק שלמה". Land Warrior משלבת בתוכה נשק קל וציוד היי־טק, המאפשרים לכוחות הפועלים ביבשה להתפרס, ללחום ולנצח בשדות הקרב של המאה ה־21. התוכנית מעניקה את העדיפות הראשונה ליכולת הקטל ואחריה – לשרידות ולפיקוד ולשליטה.

התוכנית מתנהלת באחריותו של "המרכז למערכות החייל של כוחות היבשה האמריקניים". הקבלן התעשייתי הראשי הוא חברת Raytheon Systems. הפריסה של היחידות המבצעיות הראשונות שנבנו על־פי התוכנית החדשה אמורה להתחיל בשנת 2004 עם הגרסה הנוכחית, "בלוק ו". הגרסה שלאחר מכן, "בלוק II", תוכנס לשיירות מבצעי בשנת 2006 ותכלול כמה שיפורים בתחומים כמו הספקת כוח וקישוריות רדיו ברשת. לפי התוכנית, עד שנת 2014 יוכנסו לשיירות 34 אלף מערכות ציוד ללוחמים של תוכנית Land Warrior. מחירה של יחידה אחת יהיה 70 אלף דולר.

התוכנית משלבת טכנולוגיות מסחריות המצויות "על המדף", ואשר מביאות לידי ביטוי את החידושים הטכנולוגיים שהושגו באחרונה בתקשורת, בחישונים ובחומרים שונים, כדי ליצור מערכת שלמה לחייל. זו הפעם הראשונה שהציוד מתוכנן כאילו החייל הוא פלטפורמה של אדם אחד. התוצאה – "מערכת הלהימה המשולבת הראשונה המיועדת לחייל הרגלי הלוחם על הקרקע" – הפכה ליסוד המדרבן את פיתוחן של תוכניות שונות ל"מערכות החייל העתידי" בכל רחבי העולם.

Land Warrior מורכבת מחמש תת־מערכות: הנשק,



גרסת "בלוק ו" במערכת LAND WARRIOR

הזאת להעניק לחייל אוטונומיה מספקת. בהקשר זה יש לציין שהנדירות היחסית של חיילי הרגלים ופגיעותם מחייבות לשאוף לאופטימיזציה של ניצולם ולהעמיד לרשותם ציוד שיספר את יעילותם ואת מיגונם. ציוד זה, המיועד לשימוש של החייל היחיד בהיתקלויות בעצימות גבוהה, חייב לכלול את הפיתוחים הטכנולוגיים העדכניים ביותר. קיצורו של דבר, על מנת לעמוד בשלל הדרישות האלה, שלעיתים סותרות זו את זו, יש צורך בגישה חדשה לתכנון ציודם של החיילים ולהצטיידות בו.

צורך זה הוליד מגוון רחב של תוכניות ל"מערכות החייל העתידי" בצבאות מובילים שונים ברחבי העולם. כל התוכניות האלה, המצויות אומנם ברמות שונות מאוד זו מזו של תחום טכנולוגי, ולכן גם בלוחות זמנים שונים לפיתוח ולהצטיידות, נועדו להביא לשיפור מהותי ביעילות הלחימה של החייל הרגלי ובשרידותו וכן בממשק בינו לבין המערכות התומכות בו, כגון כלי־רכב ללוחמת חי"ר ומסוקים. בה בעת צריך החייל הרגלי להשתלב בתהליך הספרות (הדיגיטיזציה) הכללי של הכוחות הלוחמים.

הטכנולוגיה התפתחה עד כדי כך, שהיום אפשר לשקול ברצינות להעניק לחייל הבודד יכולות שהוקנו בעבר רק למטוסים או לטנקים. יתר על כן, מזעור האלקטרוניקה, בשילוב עם פיתוחים שונים של חומרים ושל בגדי מגן, פותחים בפני החייל אפשרויות חדשות לגמרי.

אחד העיקרים החשובים בתוכניות המודרניזציה של החי"ר הוא שהחייל הרגלי אינו פועל לבדו, אלא במסגרת צוות המבצע משימה מסוימת בסביבה נתונה. המשמעות היא שהיעילות המוגברת של החייל היחיד תורמת ליעילות

נגד כדורי נק"ל הנורים מטווח קצר. **תת־המערכת של המחשב־רדיו** של החייל הרגלי תורכב על המסגרת של המנשא, ותרמיל הגב עבור הציוד האישי יורכב מעליה. המעבד של המחשב מחובר למכשירי הרדיו ולמקלט GPS. ידית המחוברת לתרמיל וצמודה לחזה של החייל פועלת כעכבר של מחשב ומאפשרת לו להחליף צגים, להתחבר למכשיר הרדיו, לשנות תדרים ולשגר מידע ספרתי. אחדות מהפעולות נעשות באמצעות שני כפתורים הנמצאים מתחת לאצבע הלוחצת על ההדק, דבר המאפשר לחייל להישאר במצב ירי.

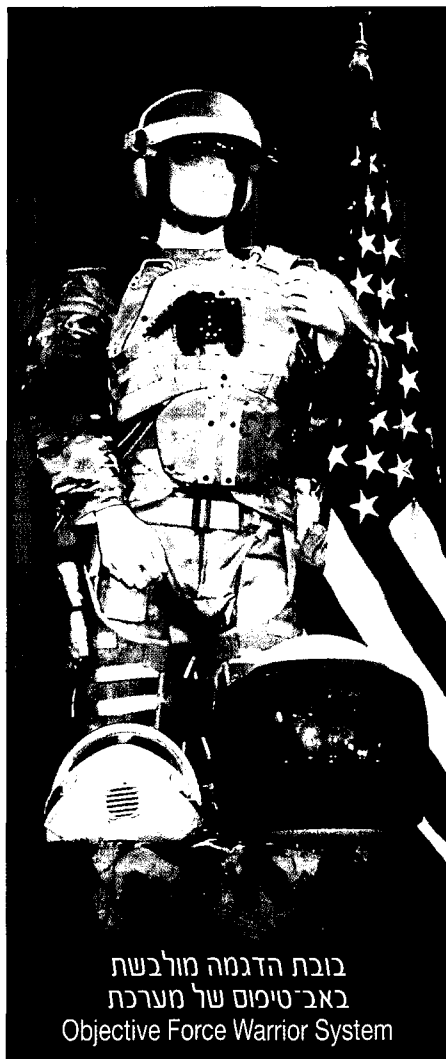
תת־המערכת מיוצרת בשני דגמים: הדגם של המפקד מכיל שני מכשירי רדיו ותצוגת לוח ומקלדת שטוחים, ואילו הדגם של הלוחמים מכיל מכשיר רדיו אחד. הציוד מאפשר לחיילים להתקשר ביניהם מיידית ולהחליף מידע עם חבריהם לחוליה או עם מפקדיהם. הם יכולים, למשל, להשתמש במצלמה שלהם, המותקנת בקסדה, כדי לשגר לאחור תמונות בזמן אמת.

מערכת המחשב־רדיו משולבת במסגרת של תרמיל הגב בשני חלקים: החלק העליון כולל את מכשירי הרדיו, ואילו החלק התחתון כולל את המודולים של המחשב ושל ה-GPS. גם האנטנות (של מכשיר הרדיו ושל ה-GPS)

מוטבעות במסגרת של המנשא.

**תת־המערכת של התוכנה** מותאמת לתפקודים (פונקציות) העיקריים של החייל בשדה הקרב, לניהול התצוגות, לציוד ולהספקה לצורכי המשימה. התוכנה כוללת מודולים טקטיים ומודולים לסיוע למשימה, מפות ומרשמים טקטיים ואת היכולת לקלוט מידע חזותי ולהציגו. המערכת כוללת גם מודול לניהול אנרגיה. הארכיטקטורה המודולרית מאפשרת הוספה או החלפה ישירה של מכלולים שזכו לשדרוג טכנולוגי.

ראוי לציין שהבעיה המשמעותית ביותר, ככל הנראה, שעליה יהיה על כוחות היבשה האמריקניים להתגבר לפני שיוכלו להכניס את Land Warrior לשירות מבצעי היא בעיית האנרגיה. בדגמים הניסיוניים הראשונים של המערכת לא החזיקו הסוללות מעמד יותר מ-150 דקות בערך, כשכל המערכות הופעלו. סוללות ליתיום נטענות חדשות, שפותחו על-ידי פיקוד התקשורת והאלקטרוניקה של כוחות היבשה, יכולות לקיים את המערכות למשך 8-6 שעות (ועד 12 שעות



בובת הדגמה מולבשת באב־טיפוס של מערכת Objective Force Warrior System

ערכת קסדה משולבת, בגד וציוד אישי ממוגנים, מחשב־רדיו ותוכנה. **תת־המערכת של הנשק** בנויה סביב הרוס"ר המודולרי M16/M4 בקוטר 5.56 מ"מ. תת־מערכת זו כוללת רכיבים אלקטרו־אופטיים עיקריים, כגון כוונת נשק תרמית, מצלמת וידאו ומד־טווח לייזר שהוא גם מצפן ספרתי. כאשר מחברים את מד־הטווח הזה לנתונים המתקבלים מהמקלט של מערכת הניווט הלווייני האישית של החייל, הוא משיג איכון מדויק של המטרה ומאפשר לחייל להנחית אש עקיפה. מערכת זו תאפשר ללוחמי חי"ר לפעול בכל סוגי מזג־אוויר ובלילה. בשילוב עם רכיבים נוספים יוכל החייל אפילו לירות מעבר לפינות בלי לחשוף את עצמו לאש האויב.

**ערכת הקסדה המשולבת** בנויה מחומרים מתקדמים במטרה לספק הגנה בליסטית במשקל נמוך יותר מהקסדה הנוכחית, והיא גם נוחה יותר לחבישה. המחשב ותצוגת החישובים המשולבים בקסדה הם הממשק של החייל עם תת־מערכות אחרות ועם שדה הקרב הספרתי. באמצעות צג הכוונת המתקן בקסדה יכול החייל לראות נתונים גרפיים, מפות ספרתיות, מידע

מודיעיני, איכוני כוחות והדמיות מעובדי מחשב מכוונת הנשק התרמית וממצלמת הווידאו שלו. יכולת חדשה זו מאפשרת לחייל לצפות מעבר לפינה, לרכוש מטרה ואחר כך לירות בנשקו בלי להיחשף. החייל יוכל גם להשתמש בכוונת הנשק התרמית לסריקת שטח מסוים בלילה ולראות מאפייני קרקע ועמדות אויב, וכן יוכל לצפות מבעד לאמצעי מיסוך. תצוגת החישוב הלילי תשלב את הכוונת המותקנת בקסדה גם עם מגבר אור כוכבים (מא"כ).

**תת־המערכת של הבגד והציוד האישי הממוגנים** כוללת מערכת מהפכנית של מסגרת מתכווננת לתרמיל גב, המבוססת על טכנולוגיה חדישה הלקוחה ממרוצי מכוניות, ואשר מתכופפת לפי התנועות הטבעיות של גוף החייל. החייוט והכבלים ישולבו במסגרת זו לפי הצורך לשם חיבור למחשב או למכשיר הרדיו של החייל.

אפוד המגן החדש, קל המשקל, מספק – בדומה לקסדה – הגנה בליסטית משופרת במשקל מופחת. אפוד המגן כולל לוחות שדרוג מודולריים כדי לספק הגנה מלפנים ומאחור



אחת הדרישות העיקריות מתוכניות המודרניזציה של המערכות לחייל, כפי שהן מודגמות כאן על-ידי Land Warrior, היא יכולתו של החייל לירות אש מדויקת בלי לחשוף את עצמו לתנובת אש של האויב

הזאת ננקטה גישה של "מערכת של מערכות" במטרה לתמוך בשינוי פניהם של כוחות היבשה לכוח שהחייל יהיה במרכז. תוכנית OFW היא אחד מעמודי התווך העיקריים שישלימו את תוכנית "מערכות הלחימה העתידיות" (FCS). התפיסות של OFW מכוונות ליצור מערכת לחימה אישית קלת משקל, קטלנית ביותר, שכל מרכיביה משולבים בה במלואם. המערכת כוללת כלי-נשק, מיגון של החייל מכף רגל ועד ראש, תקשורת ברשת, מקורות אנרגיה נישאים על-ידי החייל וביצועים אישיים משופרים. התוכנית נועדה לספק כושר קטל אישי וכיתתי, שרידות, תקשורת וכושר תגובה חסרי תקדים. OFW אינה מיועדת בהכרח להחליף במישור את Land Warrior, הנמשכת כמתוכנן, אלא להיות בסיס לשדרוגה לרמה של "בלוק III". חיילים שיצוידו ב-OFW יפעלו בעיקר עם מערכות הלחימה העתידיות FCS, ואילו חיילי Land Warrior יפעלו במסגרת היחידות הקיימות. מטרתו של OFW היא להקנות לחייל הבודד וליחידתו יכולת להשיג יתרון על פני יריביהם בכל סוג של עימות.

בדגם של סוללות לשימוש קרבי שאינן נטענות), אבל זה עדיין רחוק מאוד מדרישות המינימום המוצהרות: 30 שעות. כעת נבחנת האפשרות לייצר מנשאי סוללות אישיים ניידים, אולי עם סוללות התואמות את צורת הגוף, שלא יפריעו כל כך כאשר נושאים אותן כחלק מהחגור הקרבי של החייל. אפשרות נוספת היא לפתח מצב "תנומה", שיעביר את הציוד אוטומטית למצב "המתן" ברגע שאינו בשימוש.

המשקל הוא סוגיה חשובה נוספת בפיתוח. תוכנית Land Warrior נהגתה מלכתחילה כדי שלא יהיה צורך להעלות את המשקל הכולל שהחייל יאלץ לשאת, ואם אפשר – אפילו להפחית אותו. אולם בעוד שהמטען האישי של "בלוק I" דומה למשקל החגור והציוד הרגילים של הצבא האמריקני (35.8 ק"ג), הרי מטען הלחימה האישי, הכולל מים ותחמושת, מטפס למשקל של 41.7 ק"ג. אנשי הכוחות המיוחדים הפרוסים באפגניסטן נושאים על גבם, למעשה, 48 ק"ג. נמסר כי ראש המטה של כוחות היבשה איים לבטל את כל התוכנית אם תהיה תוספת כלשהי למשקל.

ניתן למצוא פתרון אלגנטי לבעיית המשקל – על-ידי פיתוחו של "שלד חיצוני" (Exoskeleton) הנושא את העומס. תוכנית לפיתוח "שלד חיצוני" מתנהלת כיום ב-DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) (ראו להלן). עם זאת, כל מערכת כזאת תגדיל במידה ניכרת את הדרישות להספקת אנרגיה.

## תוכנית הלוחם בכוח המשימתי (OFW - Objective Force Warrior)

התוכנית הזאת היא ספינת הדגל של כוחות היבשה האמריקניים בתחום המדע והטכנולוגיה, והיא נועדה לפתח ולהדגים יכולות מהפכניות בתחום המערכות עבור החייל של "הכוח המשימתי" העתידי (Objective Force). במסגרת



אב הטיפוס של קסדת OFW

שנוהגת זיקית. במכלול תותקן גם בקרת אקלים זעירה: האוויר ינוע דרך אריג מרווח בתוך האפוד ויספק חימום או קירור. כמו כן יהיו בו שכבות מגן מובנות נגד חומרים כימיים וביולוגיים ומשגוחים שיעקבו אחרי המצב הפיזיולוגי של החייל.

חזון מרחיק לכת נוסף של OFW קובע כי החייל הרגלי לא יישא מטען לחימה שמשקלו עולה על 22.7 ק"ג. החזון הזה מחייב לזנוח את גישת "עץ חג המולד", שלפיה מעמיסים על החייל עוד ועוד ציוד ו"צעצועים" שונים. במקום זאת ירוכזו רוב המכשירים החיוניים למשימה במערכות בסיסיות מעטות. יתר על כן, במסגרת OFW יעמדו לרשות החיילים מתקני חישה מרחוק ומערכות נלוות נוספות, שיינשאו על ידי כלי-רכב רובוטיים קטנים הנקראים "פרדות". מדובר ברכבי שטח אוטונומיים למחצה, שישאו, למשל, מערכות לשאיבה ולטיהור של מים, תחנות להטענת סוללות, עתודות תחמושת, מנות מזון וכדומה, וייתכן שיופעלו אף לנשיאת נשק. ה"פרדות" יוכלו גם לשגר מטוסים זעירים (רחפנים) ולשלוט עליהם ועל מגוון החישים שישאו. כלים רובוטיים אלה יפותחו כחלק בלתי נפרד מ"המערכת של המערכות", והכוונה היא להכניסם לשירות מבצעי ברמת הכיתה. מובן שצורכי האנרגיה של OFW אינם מבוטלים כלל ועיקר, בייחוד כשנדרשת פעילות אוטונומית במשך 72 שעות לפחות. דרישות אלה יסופקו בחלקן באמצעות השימוש הנזכר לעיל ברכבי סיוע רובוטיים ובחלקן – הודות למקורות חשמל חדשים על בסיס תאי דלק הנבדקים כעת על-ידי DARPA.

תוכנית OFW מנוהלת על-ידי "המרכז למערכות החייל" של כוחות היבשה האמריקניים. אשר לצד התעשייתית, בחודש מארס 2002 הופצה בקשה פורמלית להצעות, ובאוגוסט נחתמו חוזים לפיתוח תפיסה ולפיתוח טכנולוגי על-ידי צוותים תעשייתיים בראשות החברות "אקספוננט" ו"ג'נרל דינמיקס". חוזים אלה מוערכים ב-7.5 מיליון דולר כל אחד, ותוקפם הוא לשמונה חודשים. עם סיומו של ההסכם על השלב הזה ייבחר צוות אחד, ויוטל עליו להגיש תכנון מקדים ומפורט, לבנות דגם ולהציגו. ערכם המשוער של השלבים השני והשלישי הוא כ-140 מיליון דולר. לפי התוכניות ההתחלתיות הנוכחיות, על הדגם הראשון של OFW להיות מוכן כבר בשנת 2006. "היחידה המצוידת הראשונה" מתוכננת לשנים 2008 עד 2012, ופריסה בהיקף מלא חזויה בשנת 2018.

לעתים קרובות צוין ברמיזה כי תוכנית OFW אמורה להגדיל את היכולת הקרבית פי 20 לעומת אמות המידה המקובלות כיום.

יעדיה העיקריים של התוכנית הם כדלקמן:

#### ● **חישים ואמצעי תקשורת (C<sup>4</sup>ISR):**

**C<sup>4</sup>ISR** - Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance צוותים קטנים של OFW יפעלו ברשת, ייהנו מתקשורת פנים-צוותית משובחת, ייעזרו בחישים חדישים שיהיו מפורזים ומשולבים זה בזה ובאמצעים אורגניים לאיסוף מודיעין טקטי ויזכו בהבנת מצב משופרת, בהדרכה מובנית, ביכולת לתכנן תוך כדי תנועה ובקישוריות לגורמים אחרים בכוח.

#### ● **יכולת קטל:** תוכנית OFW תכלול משפחה של כלי-נשק

קלי משקל עם מנגנונים מתקדמים לבקרת אש, שהותאמו במיוחד ללוחמה בשטח בנוי, אשר יסייעו להנחית אש ישירה ועקיפה מסונכרנת ממערכות לחימה עתידיות.

● **שרידות:** מכלול של מיגון קרבי, בעל משקל קל ביותר, בלתי מסורבל, רב-תכליתי, יסייע לחייל הרגלי לעמוד מול קשת רחבה של איזמים.

● **אנרגיה:** לרשות כל חייל יעמוד מקור אנרגיה בטוח הניתן לטעינה מחדש לשם קיומה של פעילות רצופה ואוטונומית של הצוות במשך 72 שעות. מקור האנרגיה יהיה בנפח מועט וקל משקל.

● **ניידות, קיום הכוח וביצועי אנוש:** הלוחמים יוכלו לנוע אנכית ואופקית ללא מגבלות בזמן ביצוע המשימות. מערכת חישים פיזיולוגית-רפואית מובנית תאפשר מתן טיפול מיידי

ומשופר לנפגעים (ראו בהמשך תוכניות EHPA).

הבנה של תמונת המצב מתוך שיתוף פעולה באמצעות רשתות תקשורת זוהתה כיעד ראשון במעלה של OFW. יעד זה, שתואר כ"שינוי בנוסחת המערכות לחייל", מצריך גישה מהפכנית קיצונית, שהיא בעצם בעלת חזון הרבה יותר מרחיק לכת מזה שאומץ ב-Land Warrior.

על החזון מרחיק הלכת של OFW ניתן ללמוד, למשל, מיעדי המיגון שלה. אפוד המגן של החייל ב-OFW אמור להיות מיוצר על בסיס אריגים דמויי קורי עכביש, מעין משי, שיחליפו את האפודים הקרמיים. האריגים האלה יקנו לא רק הגנה מפני קליעים ורסיסים, אלא יהיו "טקסטיל אינטראקטיבי", המשנה את הסוואתו בהתאם לסביבה, כפי



חייל גרמני מצויד לפי תוכנית IdZ - "מערכת החייל הרגלי העתידית"

## תוכנית EHPA

תוכנית Exoskeleton for Human Performance Augmentation ("שלד חיזוני להגברת כושר הביצוע האנושי") של DARPA מכוונת לשפר את כושר הניידות של החייל הרגלי, את יכולתו לשאת מטען ואת הסבולת שלו במגוון רחב של משימות.

במונחים פשוטים ביותר ניתן לתאר "שלד חיזוני" כמערך של חישנים ושל מתקני הפעלה, שיעקבו אחרי הפקודות שנותן מוחו של החייל לשריריו ויגבירו את תגובת השרירים באמצעות פעולות מכניות. המערכת תספק סיוע מכני לתנועה (כמו, למשל, יכולת לרוץ עשרות ק"מ במהירות גבוהה) ולתפקודים הדורשים כוח רב. כתוצאה מכך תורחב קשת הפעילויות שיוכל החייל לבצע. בשלב השני יפותח מודול לתנועה אנכית, שיעניק לחייל יכולת לבצע קפיצות ארוכות מאוד וגבוהות כדי "לטוס" מעל מכשולים.

על מנת שתהיה שימושית, חייב להיות ממשק של מגע ישיר בין מערכת השלד החיזוני לבין המשתמש, כדי שיוכלו לתפקד כגוף אחד. ממשק כזה שונה מאוד - איכותית וכמותית כאחת - מהצורה שבה התנהלו אנשים בעבר עם ממשקי אדם-מכונה. ייתכן שיהיה צורך לפתח מעין חוליה מקשרת עצבית-שרירית על-ידי שימוש באיתותי שרירים כאות הפקודה העיקרי.

נוסף על הממשק אדם-מכונה הדרישות העיקריות הנוספות הן מקור אנרגיה. צורכי האנרגיה של מתקן המיועד לגפיים התחתונות מוערכים בין 200 ל-1,000 וואט.

## תוכנית FIST הבריטית

FIST היא תוכנית המודרניזציה של החייל המתנהלת בבריטניה, והיא נועדה לזהות את הציוד שיידרש לחייל הפועל רגלית במאה ה-21 ולספק אותו. התוכנית שואפת להגיע לשיפורים בחמישה תחומים עיקריים: יכולת קטל, שרידות, C<sup>4</sup>I, ניידות וקיום הכוח.

### Future Integrated Soldier

FIST - Technology היא מיזם תלת-זרועי. המטרה היא לספק מערכת לחימה משולבת לכוחות הנלחמים באויב רגלית בטווחים קצרים. להגשמת המטרה הזאת נחשב חייל החי"ר במשימות של קרב מגע

ל"מערכת נשק" - כלומר פלטפורמה. השאיפה היא להביא את תת-המערכות של FIST לאופטימיזציה כדי לשפר את היכולת ברמת הכיתה.

## מבנה התוכנית ויעדיה

תוכנית FIST מנוהלת על-פי גישה מבוססת היטב של הנדסת מערכות כדי להבטיח יסודות איתנים ולצמצם את הסיכונים בשלבי ההערכה ובשלבי הרכש שיבואו בעקבותיה. גישה זו,



תוכנית IdZ הגרמנית כוללת "סייען אלקטרוני אישי" לכל חייל

שכללה מעורבות ומשוב הדוקים יותר מצד המשתמשים, אומצה כבר מההתחלה.

העבודה על המיזם החלה ב-1994, כשמשרד ההגנה הבריטי גיבש תוכנית תלת-זרועית שתעסוק בחייל הפועל רגלית. מאפריל 1997 ועד מארס 2000 נוהלה תוכנית תלת-שנתית לגיבושה של "ערכת הדגמה של הטכנולוגיה" במימון משותף של משרדי ההגנה והתעשייה, כחלק מתוכנית המחקר היישומי של DERA (סוכנות הפיתוח הביטחוני) ובוצעה מטעם על-ידי קונסורציום תעשייתי, שבו חיל החימוש המלכותי הוא שותף עיקרי. קבוצה של יחידות חי"ר, בשיתוף עם "יחידת הניסויים והפיתוח של החי"ר" (ITDU), מילאה תפקיד נרחב בסדרת הניסויים.

הלקחים מתוכנית "הדגמת הטכנולוגיה" שימשו להגדרת הצרכים העתידיים לניהול קרבות מגע רגליים ולצמצום הסיכונים. תוכנית "הדגמת הטכנולוגיה של FIST 2000", כפי שנקראה, סיפקה למשתמשים גם אבות טיפוס התחלתיים של ציוד לניסוי תפיסות שונות כדי למנוע כשלים מובנים מאליהם בגלל גורמי אנוש וטכנולוגיה, שולוא כן היו באים

לידי ביטוי בשלבים מאוחרים יותר של התוכנית. החלקים הראויים של מצבור ידע זה הופצו גם לתעשייה כדי למנוע עבודה מיותרת וחסרת תועלת אצל הקבלנים המיועדים. יתר על כן, היום ניתן להשתמש בהתפתחויות בטכנולוגיות המחשוב, כגון "סביבה סינתטית", כדי להציג אפשרויות תיכון שונות בסביבה הידברותית באמינות גבוהה כדי להשיג משוב מוקדם, לפני ש"ניגשים לעבודה".

העבודה שנעשתה עד היום מצביעה על כך שיש להעניק

על-פי התפיסה החדשה החייל הרגלי הוא "פלטפורמה", מערכת נשק שלמה, שיש לטפל בה כראייה כוללת

של פתרונות מוקדמים, כשנוצר המצב המתאים. עקב אילוצי הציוד, הנמצא כבר בשירות, יש להניח שיכולת מבצעית ראשונית לא תענה על כל הדרישות במלואן.

● 2015-2020: יכולת מבצעית מלאה תושג בצורה מצטברת. יש לצפות שבשלב זה של המיזם יונפק ציוד FIST לכ-35 אלף איש.

## היבטים מסחריים

אחרי ההחלטה לעבור לשער ההתחלתי, שהתקבלה באמצע אוגוסט 2002, הודיע משרד ההגנה הבריטי על בחירת החברות Bae Systems ו-Thales למתחרות על שלב ההערכה, שיימשך שלוש שנים. שתי הקבלניות העיקריות האפשריות יידרשו להציע כיצד לנהל את התוכנית ולפרט כיצד הן מתכוננות לנהל פריטי ציוד חדשים ולרכוש אותם, וכיצד בכוונתן לשלב ביניהם לבין ציוד קיים – אם יהיה צורך – בתוכנית ארוכת טווח. לאחר מכן יבחר משרד ההגנה קבלן ראשי לשלב ההערכה, האמור להתחיל ב-2003. הקבלן הראשי יידרש לקיים תחרות ברמת קבלני המשנה ולהקטין את העלות הכוללת של המיזם.

תוכניות דומות מתנהלות במדינות רבות שבמסגרת נאט"ו ומחוץ לה, ובשלב ההערכה של FIST תיבחן בקפדנות האפשרות לשיתוף פעולה.

## נקודת המבט של הגרמנים

תוכנית System Infanterist der Zukunft (IdZ – מערכת החייל הרגלי העתידית) הגרמנית החלה ב-1997 על בסיס יוזמתה של נאט"ו למודרניזציה של החייל הפועל רגלית והתמקדה בעיקר בצרכים – העכשוויים והעתידיים – של כוחות החי"ר הגרמניים, וביניהם יחידות הרירות, יחידות מוטסות ויחידות משוריינות. תוכנית IdZ כנכסת עתה לשלב ההגדרה והמימוש.

תוכנית IdZ נועדה לשפר את היעילות של החייל הפועל רגלית ולהכין אותו לשדה קרב עתידי וספרתי, שיהיה רווי היי-טק. השיפור יושג על-ידי שימוש בטכנולוגיות חדשות על-פי תפיסה של מערכות מודולריות הניתנות להתאמה לדרישותיהן של משימות שונות ובעלות פוטנציאל צמיחה בכל הנוגע לצורכי המשתמש ולקליטה מהירה של התפתחויות טכנולוגיות.

בשלב ההגדרה והבחירה של הרכיבים השונים, שיאפשרו

עדיפות לשיפורים בתחומים הבאים:

- יכולת תצפית והרכשת מטרות בכל מזג אוויר (כגון דימות תרמי וחישה מרחוק).
- הספקת אנרגיה (כגון משקל הסוללה, משך חייה, הספקה מחודשת, הטענה וכד').
- אפקטים מהירים בשטח (נשק, תחמושת ומערכות בקרת אש המסוגלות לשבש את מהלכי האויב ולקטול אותו ביתר דיוק ובטווחים ארוכים יותר).
- לוגיסטיקה/קיום הכוח (משקל, קשיחות, אמינות וכד').
- מיגון, בעיקר במבצעים הגנתיים.
- הפצה נרחבת של אמצעים יעילים לתקשורת קולית ולתקשורת נתונים.

## ציוני דרך עיקריים

מימון FIST נעשה בעדיפות ראשונה. "שלב ההערכה" (הנקרא גם "שער התחלתי") אמור להיפתח ב-2003 ולהציע כיצד ניתן לספק את הדרישות בעלות/יעילות הטובות ביותר הן בטווח הקצר והן בטווח הארוך. המטרה תהיה לצמצם את הסיכונים ולזהות מהן האפשרויות שיש לקדם כרכיבים של פתרון כולל, שיהיה בהישג יד. יש להניח שתוצאת השלב הזה תהיה "מסמך דרישות מהמערכת" ופלוגה שתצויד באבות טיפוס של ציוד FIST לניסויים. לוחות הזמנים שהוצבו בפני המערכת הם כדלקמן:

- 2006: שער ראשי. אחרי ניתוח של יתרונות ומגבלות ייבחרו הפתרונות שיעברו לשלב ההדגמה, מתוך כוונה ברורה להגיע להזדמנויות לשיתוף פעולה בין-לאומי. המטרה תהיה לצמצם סיכונים לרמה מתקבלת על



ערכת הדגמה לתוכנית FELIN הצרפתית

הדעת ולהשיג ביטחון ואמון במפרטי המוצר ובתוכנית שתוכתב לייצור. כן ייעשו הקיזוזים האפשריים בין העלות ליכולת שיידרשו עדיין כדי שהמיזם לא יחרוג מהתקציב.

- 2008: ייצור. אמנם יהיה צורך להזמין חלק מהרכיבים, שזמני ההספקה שלהם ממושכים, כבר בשלבי ההדגמה, אבל ציון דרך זה מסמל את הנקודה שבה נעשית המחויבות הכספית העיקרית לייצור בהיקף מלא.
- 2009-2010: יכולת מבצעית ראשונית. הספקת פריטי הציוד העיקריים הראשונים. אין זה מונע את מציאתם



ציוד אישי, כמו, למשל, בתחום הנשק, האופטיקה וציוד ה־C<sup>4</sup>.

תת־המערכות והמודולים העיקריים להגשמת המערכת מן הדור הראשון הם:

- **מיגון והלבשה:** ערכת בגדים ללחימה עם מיגון משולב נגד אב"ך ונגד אש; אפוד מגן בליסטי מודולרי; מערכת לנשיאת מטען עם הספקת מים.
  - **ערכת ראש:** קסדה מודולרית; מיגון עיניים נגד רסיסים ונגד קרני לייזר; מיגון נגד גלי קול; מערכת ראש לתקשורת; מסכת אב"ך.
  - **נשק:** רובה סער G35 מותאם לשימוש עם מתקנים אופטרוניים נוספים; רומה רימונים 40 מ"מ; כלי־נשק חדש להגנה מקרוב, שיחליף את האקדחים ואת תת־המקלעים.
  - **אופטרוניקה של נשק:** כוונת עם מגבר אור כוכבים לשימוש לילי; כוונת נשק תרמית (אחת לכיתה בגלל שיקולי עלות); מכשיר לייזר רב־תכליתי להארת מטרות ולסימונן.
  - **תקשורת ומיקום:** מכשיר רדיו תא"ג (UHF) פנים־כיתתי לכל חייל רגלי; מכשיר רדיו תג"מ (VHF) נוסף למפקדים לקשר עם דרגי פיקוד בכירים יותר; מקלט GPS כעזר ניווט ולהספקת נתוני מיקום אישיים במקרים שבהם יש צורך בסיוע ובחילוץ; מפה ספרתית למפקדים להצגת נתונים טקטיים ולשידורם; מחשב ומקור אנרגיה.
  - **ציוד תצפית וטיווח:** מד־טיווח לייזר הנישא בכף היד עם מצפן ספרתי מגנטי וממשק לתת־המערכת של C<sup>4</sup>; כוונת נשק תרמית נישאת ביד.
- ממשקי המערכת העיקריים הם כלי־רכב ללוחמת חי"ר (IFV לחרמ"ש) וקישוריות קול ונתונים עם דרגי הפיקוד הבכירים יותר. המערכת תספק גם ממשק של "זיהוי עמית־טורף".

תת־המערכות והמודולים הנזכרים משתמשים בטכנולוגיות בסיכון נמוך וברכיבים עיקריים קיימים, כל עוד הם תואמים את הדרישות התפקודיות ואת דרישות הביצוע של המערכת ואינם פוגעים בגישה המודולרית. טכנולוגיות או תפקודים המצריכים סיכונים גבוהים יותר או מטילים מעמסה גדולה יותר על הנהלים הנוכחיים ועל התשתיות הקיימות יכללו בדורות הבאים של מערכת IdZ.

**כדי שהחיילים יצליחו בשדה הקרב המודרני, הם זקוקים ליותר מאשר להיבטים המסורתיים של אומץ ושל מורל גבוה**

**ארגון ולוח זמנים**

ה־BWB (המשרד הפדרלי לטכנולוגיה צבאית ולרכש) אחראי לתוכנית, ואילו המשתמשים מיוצגים על־ידי מינהל החי"ר בבית־הספר לחי"ר. ב־1997 פורסמה הזמנה לחברות תעשייתיות להציע

קליטה מהירה של הדור הראשון של מערכת IdZ, שיתחיל כבר ב־2004, אומצה גישה של סיכון נמוך. עם זאת התפיסה המודולרית מעניקה – כפי שצוין – פוטנציאל ניכר לשילוב יכולות חדשות בעתיד.

**יעדיה העיקריים של התוכנית**

- עדיפות גבוהה לשיפור השרידות של החייל הפועל רגלית נקבעה במסגרת המטרה הכוללת של שיפור סיכויי ההצלחה בביצוע משימות. בהתחשב בכך שרמת המיגון הבליסטי שאפשר להקנות לחייל הפועל רגלית מוגבלת בגלל אילוצי משקל ונפח וכן משיקולי ניידות וקיום הכוח, התבטא הדגש על השרידות, בהכרח, בעשיית כל מה שניתן למזעור הסבירות להיפגע.
  - במצב האידיאלי יהיו לחיילי הרגלים הגרמנים בכל זמן ובכל מקום:
  - מידע מקיף על האויב ועל איומים (להלן נרחיב על כך את הדיבור).
  - חישנים וכלי־נשק בעלי טווח ודיוק מעולים.
  - יכולת לתגובה מעולה ולפעולות מהירות ומפתיעות.
  - מובן מאליו שאין כל ערובה שכל התוצאות הנזכרות יושגו תמיד, ולכן יש צורך למזער את הסבירות שהחיילים יתגלו, יהיו במעקב, יועסקו וייפגעו. לפיכך התייחסה הגישה של IdZ למרכיבים הבאים:
  - הפחתה או אף מניעה של גילוי (באמצעות הסוואה נגד חישנים חזותיים, תת־אדומים ואולי גם מכ"מים, צמצום כל החתימות והקרינות האקוסטיות והאלקטרו־מגנטיות).
  - הפחתה או אף מניעה של מעקב ושל פגיעה.
  - מיגון בליסטי.
  - מיגון אב"ך.
  - הגנה על העיניים מפני קרינת לייזר.
- נוסף על שיפור השרידות שואפת תוכנית IdZ לשפר את המודעות למצב ואת יכולת התגובה על־ידי הספקת מידע עדכני על האויב ועל האיומים ועל־ידי מתן אותה רמה של מידע לכל החיילים בכיתה. תגובה מהירה מותנית גם בניידות ובזריזות של החייל היחיד, ולפיכך חשוב ביותר להפחית את מטען הלחימה שהוא נושא. כמו כן אמורה תוכנית IdZ לספק לגורמים בעורף מידע על מיקום החייל ועל מצב בריאותו – כדי שניתן יהיה במקרה הצורך להגיש לו עזרה ראשונה ולחלצו.

**מבנה IdZ**

תוכנית "מערכת החייל הרגלי" רואה בכיתה (עשרה חיילים) את היחידה הלוחמת הקטנה ביותר, מפני שעדיין אי־אפשר לדרוש מהחייל הרגלי היחיד להפגין את כל היכולות הדרושות. לפיכך יהיו במסגרת הכיתה תצורות שונות של

800 מערכות נוספות עד שנת 2010. אומדני העלויות המוקדמים מצביעים על תג מחיר (כולל הכול) של 400 אלף יורו בערך לכל מערכת (כלומר, כ-40 אלף יורו לחייל).

## צבא צרפת הולך על FELIN

צבא צרפת הגדיר שלוש מטרות הנמצאות בעדיפות לפיתוח עתידי בתחום הלחימה ביבשה: ספרות (דיגיטיזציה) של מרחב התמרון, שרידות הלוחם ויכולתו לנוע ולהילחם בשטחים בנויים. במסגרת זו ממלאת תפקיד מרכזי התוכנית Fantassin a Equipment et Liaisons Integres – FELIN) – לוחם חי"ר עם ציוד וקישור משולבים).

FELIN נתפסת כמערכת משולבת כוללת ומודולרית מאוד, שתנהיג שיפורים מהותיים, קוהרנטיים ומאוזנים בכל התפקודים המבצעיים של החייל הלוחם רגלית: ניידות, תוקפנות, תקשורת, תצפית, מיגון, שרידות וסיוע. FELIN נהגתה אומנם, מבחינה עיונית, לשם אופטימיזציה במבצעים בעצימות גבוהה, אך היא תאפשר ללוחם הרגלי להתאים את פעולותיו בזריזות למגוון הרחב של המצבים ושל התנאים המבצעיים הקיימים בימינו.

כשהחייל יצויד ב-FELIN, הוא יישאר המרכיב המרכזי של מערכת הנשק. האמצעים שיועמדו לרשותו ישפרו את יכולתו הודות לתכונותיהם הבאות:

- תיכון ונוחות שימוש ארגונומיים.
- גמישות ומודולריות.
- שילוב של שירותים ושל שיתוף במשאבים.
- התאמה לסביבה בנויה.
- בין-תפעוליות עם מערכות פנים-זרועיות (Interoperability).
- אמינות וביטחון.
- פוטנציאל צמיחה ומחזור חיים ארוך.

במסגרת FELIN יצויד כל לוחם רגלי במערכת לחימה שלמה, שתכלול מגוון של ציוד אלקטרוני ואופטרוני, שיקיף, למשל: כוונות יום ולילה, מקלט GPS, בקרת אש אוטומטית, מכשיר לייזר, מערכת ניווט, מערכת קשר בטכנולוגיה עילית המבטיחה שידורי קול, נתונים ותמונות, מערכת זיהוי עמית-טורף ומסוף מידע למפקד המחלקה. מזעור נרחב של ציוד זה, וכן של מקורות האנרגיה החשמלית יבטיח שהחיילים יוכלו לשמור על זריזותם ועל ניידותם. ערכות שילוב מיוחדות בכלי-רכב מסוימים (כגון רכב משוריין ללוחמת חי"ר, וכד'), יספקו את החוליה המקשרת ההכרחית בין הרגלים המוסעים ברכב לבין צורות הלחימה על הקרקע.

בעזרת FELIN יוכל כל חייל לבצע – ביום ובלילה – את הפעולות הבאות:

- לעשות שימוש יעיל בכל הציוד שלו בתוספת היתרון של אפשרות להפעיל נשק בשליטה מרחוק.
- לתקשר (בקביעות או לפי דרישה) עם מפקדיו, עם עמיתיו ועם פקודיו.

הצעות לשלב הניסיוני, ואחרי הערכה מדוקדקת נחתם חוזה עם חברת DASA-Dornier (כיום – EADS-Dornier), העומדת בראש צוות של כמה חברות גרמניות.

השלב הניסיוני נמשך עד שנת 2000, ותוצאותיו מוזגו עם ניתוחי תפיסה ועם מחקרים להערכה ולהפחתה של סיכונים, שאיפשרו להגדיר תפיסה בסיסית של המערכת (כמתואר לעיל) ואת מימושה על-ידי ערכת הדגמה, המורכבת מצוות שכלל מפקד כיתה, רובאי ובעל מקצוע. צוות ההדגמה הורכב באפריל 2002, והיום הוא מבצע ניסויים נרחבים.

הכנסת הדור הראשון של מערכת IdZ לשירות מתוכננת להתחיל בשנת 2004. כמה מהרכיבים ומתת-המערכות כבר נרכשו ויופצו לכוחות התגובה המהירה של צבא גרמניה הפרוסים בקוסובו ובמקדוניה לניסויי שדה התחלתיים נרחבים. רכיבים אלה כוללים כמה מאות אפודי מגן בליסטיים חדשים ומערכות לנשיאת מטען וכן מכשירי רדיו כיתתיים ומחשבים שמספקים לציוד שלוש כיתות חי"ר מלאות. תוצאות הניסויים האלה יתרמו תרומה חשובה לצמצום סיכונים ולהבטחת קבלתה של ההצעה על-ידי המשתמש.



מערכת מקלט כל-ספרתית לשליטה במזל"טים ובמטענים מועילים מוטסים נוספים הנישאת על גבו של חייל

התוכניות הנוכחיות עוסקות ברכש של יותר מ-1,100 מערכות (דהיינו ליותר מ-11 אלף חיילים) בעבור כוחות היבשה הגרמניים וכוחות האבטחה הקרקעיים של חיל האוויר הגרמני. בקרוב צפויה להימסר הזמנה ל-360 מערכות עבור יחידות החי"ר הקל של כוחות היבשה, וכן יסופקו כ-

- לנוע בביטחון ולמקם את עצמו בשטח בדיוקנות.
- לגלות, לזהות ולאכן את האויב תוך צמצום מרבי של האפשרות לשגות, וכך למנוע סכנה של אש על כוחותינו.
- ליהנות ממיגון משופר בכל התחומים (הבליסטיים, אב"ך, לייזר, מזג אוויר גרוע וכד').

הפעילויות המוקדמות בתוכנית FELIN מתנהלות כבר יותר מעשר שנים. שלב ההכנות, ובכלל זה מחקרי היתכנות ומחקרים מכווני עתיד, הגיע לשיאו בשנת 2000, עם ייצורה של מערכת אב-טיפוס ולאחר מכן הערכתה הטכנית והמבצעית. אב-הטיפוס הורכב מעשר מערכות נפרדות בתוספת כל הציוד הנלווה, שנועד לצייד כיתת חי"ר במלואה. בסוף שנת 2001 חתמה סוכנות הרכש של משרד ההגנה הצרפתי על חוזים לעריכת סקר הגדרות של FELIN עם חברת SAGEM ועם צוות שהורכב מאנשי THALES ו-GIAT Industries. תחומי האחריות של GIAT במסגרת הצוות שלה כוללים את ההתאמה של כלי-הנשק, את המיגון של מערכת הנשימה, את מסוף המידע ואת ערכות השילוב בכלי-הרכב. התוכנית תתנהל בשני שלבים:

- גרסה 1 מתוכננת להיכנס לשירות מבצעי החל משנת 2006. שליש מהיחידות הטקטיות הבסיסיות יצוידו במלואן עד דצמבר 2008. הגרסה בנויה על רובה הסער הנוכחי, FAMAS, כנשק אישי של הפרט.
- גרסה 2 תוכנס לשימוש אחרי 2012, והיא עשויה לכלול את הנשק החדש - ה-AIF הדרקוטר (30 מ"מ ו-5.56 מ"מ).

## תוכניות נוספות

נוסף על התוכניות העיקריות שתוארו לעיל מתנהלים מיזמי "מערכות לחייל" בכמה מדינות, ובהן אוסטרליה, בלגיה, קנדה, דנמרק, יוון, ישראל, איטליה, הולנד, נורווגיה, ספרד, דרום-אפריקה ושוודיה. רבות מהתוכניות האלה נמצאות בשלבים מוקדמים מאוד, ואילו אחרות מוגבלות ומצומצמות להיבטים מסוימים (רובן - להיבטים של תקשורת ושל מדי קרב ופריטי ציוד אישי נוספים). חלק מהצבאות פועלים כל אחד בנפרד, בלי תיאום או שיתוף פעולה, אולם בנאט"ו מנסים ליצור בכל זאת מידה מסוימת של התאמה הדדית, ולשם כך הוקמה בארגון קבוצת עבודה, אשר עוסקת במודרניזציה של החייל, ובייחוד בתחומי ההאחדה. מאז ספטמבר 2000 מתמקדים שם ב"בין-תפעוליות של מערכות החייל". קבוצה זו מורכבת מנציגי המשתמש ו/או המפתח מנאט"ו ומנציגים של כמה מדינות נוספות (למשל אוסטרליה), והיא קיבלה מנדט לחמש שנים כדי להבטיח שהמערכות הלאומיות השונות לחייל יוכלו לפעול זו מול זו ברמה שתוגדר. על סמך מנדט זה הוטל על הקבוצה:

- ליצור את התנאים לבין-תפעוליות של מערכות

החייל.

- לקבוע מהי הרמה שבה תיתכן בין-תפעוליות.
- להקל על חילופי מידע בנוגע לתוכניות הלאומיות השונות.
- להביא להאחדת הנהלים לבחינתן ולהערכתן של המערכות לחייל.
- להבטיח את רמת ההאחדה המומלצת באמצעות פיתוחם של הסכמי תקן מחייבים.
- לבחון את הפוטנציאל לאימוץ תת-מערכות, מודולים או רכיבים זהים במערכות הלאומיות השונות לחייל.

## סיכום:

הנה כי כן, התוכניות של הצבאות המערביים המתקדמים הן מעניינות ומבטיחות כל טוב. גם התקציבים המופנים לצורכי החי"ר העתידי גדלו מאוד בשנים האחרונות. נראה כי ההתפתחות החשובה ביותר היא התגבשות התפיסה החדשה, הרואה בחייל הרגלי "פלטפורמה", מערכת נשק שלמה, שיש לטפל בה בראייה כוללת. יתר על כן, על-פי התפיסה החדשה יש לשלב את החייל הבודד ואת המסגרות

הלוחמות הקטנות אל תוך ה"רשת" הכללית של שדה הקרב, אל תוך "העולם הספרתי", שמאפשר שותפות מלאה במרחב המידע ומיצוי היכולת הגלומה בחיילים. אף-על-פי-כן אין ספק שעדיין אנו עומדים בפני לא מעט נעלמים וסימני שאלה הן בתחום

**צריך להיות יצירתיים, אופטימיים ונחושים בדרך הזאת כדי לקדם את מערך החי"ר לייעדים של שדה הקרב העתידי**

הטכנולוגי והן בתחום של תורת ההפעלה. יש צורך להשקיע עוד הרבה משאבים וזמן בהשלמת פיתוחן של הטכנולוגיות עצמן ושל היישומים הקרביים שלהן. עוד הרבה ניסויים טכניים וניסויים מבצעיים יידרו עד שניתן יהיה להתחיל בהצטיידות של ממש. לוחות הזמנים של התוכניות, שפורטו לעיל, הם אופטימיים למדי, ולא נתפלא אם יהיה עוד צורך לתקן אותם, מפעם לפעם, ולהתאימם למציאות. יחד עם זאת אין ספק שמרבית הרעיונות הללו אכן ניתנים לביצוע, חלק מהם אפילו בקלות יחסית. לכן ייתכן מאוד שהדברים יתממשו בשלבים. הדור הראשון של המערכת לחייל הרגלי ייתן רק מענה חלקי לדרישות, מה שנקרא "יכולת מבצעית ראשונית", ואחריו יבואו דורות נוספים, שבכל אחד מהם נקבל שיפור נוסף ביכולת. צריך להיות יצירתיים, אופטימיים ונחושים בדרך הזאת כדי לקדם את מערך החי"ר לייעדים של שדה הקרב העתידי.

מקור: **Military Technology**, ספטמבר 2002, עמ' 38-47



# טילים נגד טנקים - הדורות שהיו ושהיו

הדור הראשון של טילים נגד טנקים נכנס לשירות בשנות ה-50, ולאחר מכן פותח בכל עשור דור חדש של טילים. כיום כבר מצוי בשירות דור ג' פלוס, המסוגל לפגוע במטרות שאין אליהן קו ראייה. ישראל מייצרת טילים מהדור המתקדם הזה, ואלה זוכים להצלחה רבה הן בצה"ל והן בעולם

## סא"ל דוד / מ"מ ראש מחלקת מעט"ר

יתרונות - טיל פשוט וזול.

הטיל הנפוץ בזירה מדור זה הוא ה"סאגר".

דור ב' - הנחיה חצי אוטומטית. בדור זה של טילים,



טיל דור א' מדגם "סאגר"

שפותח בשנות ה-60, נדרש הכוון לשמור את צלב הכינון על המטרה במשך כל זמן מעופו של הטיל עד הפגיעה. מיקום הטיל במרחב מחושב על-ידי המשגר על-פי קליטת הנור הממוקם בזנב הטיל. המערכת מתקנת את מסלול הטיל באמצעות השוואת מיקומו של הטיל יחסית לקו הראייה.

**חסרונות** - פגיעה באיזור הממוגן ביותר בטנק; סיכויי הפגיעה יורדים דרסטית עם הגידול בטווח; ניתן לפגוע רק במטרות הנמצאות בקו הראייה. מוגבל בטווח המרבי שלו עקב הדרישה לקו ראייה

**הטיל נגד טנקים כאמצעי פשוט וזול הוכיח את יכולתו להשפיע על סביבת העימות באזורנו**

לאורך המעוף.

**יתרונות** - השיטה מדויקת יותר ופשוטה יותר לתפעול מאשר בטיל דור א'.

## הקדמה

מלחמת יום הכיפורים עיצבה מחדש את דמותו של המזרח התיכון. המלחמה ניפצה קונספציות צבאיות קודמות הן בצד הישראלי והן בצד שמנגד. המושג "מינון בין תמרון לאש להכרעת האויב" קיבל משמעות חדשה. השימוש הנרחב שעשו המצרים בטיילים נ"ט מסוג "סאגר" פגע קשות ביכולת התמרון של צה"ל. הטיל נגד טנקים כאמצעי פשוט וזול הוכיח את יכולתו להשפיע על סביבת העימות באזורנו.

המלחמה כנקודת מפנה נתנה את האות לפיתוח מואץ ולרכש של אמצעים נ"ט. צה"ל רכש טילי "טאו" ו"דרגון", ובמקביל החלה התעשייה הישראלית לשקוד על פיתוחו של טיל נ"ט אישי. הסיבה: יכולת הנ"ט קצר הטווח נותרה נכה במידה מסוימת עקב מגבלות ה"טאו" (בתחום המשקל והממדים) ובשל חוסר אמינותו של ה"דרגון". העבודה על פיתוחו של טיל נ"ט אישי שיחליף את ה"דרגון" נמשכה עד שלהי שנות ה-90 והניבה את ה"גומד". יוצריו הם צה"ל והתעשייה הביטחונית, ובראשה רפא"ל.

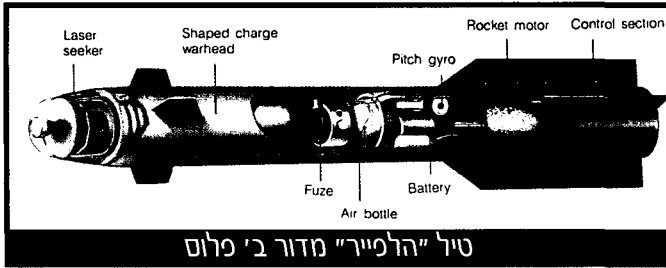
## ההתפתחויות הטכנולוגיות בטיילים נגד טנקים

הטיילים נגד טנקים מסווגים לפי דורות על-פי דרגת התפתחותם הטכנולוגית.

**דור א' - הנחיה ידנית:** מדובר בדור של

טיילים שפותחו בשנות ה-50. הטיל נותר בעת מעופו מחובר למשגר בעזרת תיל. הכוון צופה במשקפת אל המטרה ובאותה עת רואה את הטיל במעופו. הכוון מעריך את הסטייה הרגעית של הטיל מקו הראייה (כוון-מטרה) ונותן פקודות תיקון לטיל בעזרת ידית ניהוג.

**חסרונות** - טווח קצר, קשר קווי לטיל, ניהוג קשה ויכולת פגיעה במטרות גלויות בלבד.



טיל "הלפיר" מדור ב' פלוס

ומונחה אליה אוטומטית.

**יתרונות** – הטיל עצמאי מרגע השיגור, דבר המשפר את שרידות הכוון, אשר יכול לרדת למדרון אחורי מייד עם תום השיגור, ועוד לפני שהטיל פגע במטרתו.

**חסרונות** – מדובר בטייל יקר, המוגבל לטווחי ראייה בלבד, ושאינו מאפשר לקבל תמונת מודיעין בזמן מעופו. טיילי דור ג' הנפוצים ביותר הם: "ג'בלין" האמריקני ו"גיל" הישראלי.

**דור ג' פלוס** – "שגר, צפה ועדכן". מדובר בדור של טיילים שפותח בשנות ה-90. דור ג' פלוס הוא מערכת הניתנת להפעלה בשני אופני פעולה:

"שגר ושכח" (בדומה לדור ג').  
"שגר, צפה ועדכן".

במערכת מדור ג' פלוס הכוון נשאר בחוג. הכוון צופה בטייל המתקרב למטרה באמצעות המצלמה שבראש הביות ומסוגל לבצע מספר משימות: פגיעה באיזור נבחר במטרה, פגיעה במטרות הממוקמות במדרון אחורי, שאין אליהן קו ראייה בעת השיגור ואיסוף מודיעין.

התמונה של נקודת הנעילה על המטרה מתקבלת במשגר הודות לתקשורת בין הטיל למשגר. העברת התקשורת נעשית בעזרת סיב אופטי או בתקשורת רדיו. בראש הביות מותקנת מצלמה, המצלמת את המטרה. תמונת המטרה מועברת למפעיל בעזרת התקשורת ומאפשרת לו לבצע פעולות איכותיות, שהוזכרו לעיל. ככל



טיל דור ב' מדגם "טאו"

הטיילים הנפוצים ביותר מדור ב' הם "טאו" ו"מילאן".

**דור ב' פלוס** – טיל המתבית על ציון ליזר. דור זה של טיילים פותח בשנות ה-70. המטרה מוארת באמצעות מציינן לייזר, המופעל על-ידי כוח רגלי או מותקן על גבי רכב או על גבי מסוק. הטיל ננעל על החזר קרן הלייזר מהמטרה ומונחה אליה.

**חסרונות** – טווח קצר (בגלל מגבלות המציינן), סכנה לחשיפת כוחות הציון, מחייב קשר עין של המציינן עם המטרה, דיוק פגיעה בינוני (תלוי בטווח המציינן). חשוב להדגיש: טווח הטיל יכול להיות ארוך מאוד. מגבלת הטווח אינה של הטיל, אלא של המציינן בלבד.

**יתרונות** – זול יחסית.

הטיילים הנפוצים ביותר מדור ב' פלוס הם "נמרוד" (מתוצרת התעשייה האווירית), ה"הלפיר" האמריקני וה"מפץ" מתוצרת התעשייה הצבאית.

**דור ג' – הנחיה אוטומטית, "שגר ושכח"**. דור זה של טיילים פותח בשנות ה-80 וה-90. הכוון רוכש את המטרה בכוונת, נועל ומשגר את הטיל. גלאי אינפרא-אדום, הנמצא בראש הטיל, קולט את תמונת החום הנפלט מהמטרה



טיילים דור ג' מדגם "גיל"

בעקבות ניתוח של מערכת ה"גומד" הוחלט בצה"ל לפתח חלופה עם יכולות מופחתות שעיקרה: קיצור טווח ה"גומד" לכדי 2,500 מטר וביטול יכולתו של הכוון להתערב במהלך המעוף. המוצר החדש זכה לכינוי "גיל".

פרויקט ה"גיל" אושר בצה"ל, והחווה לפיתוח ולהצטיידות נחתם ב-1996 בין מערכת הביטחון לרפא"ל. במהלך הפיתוח והניסויים המבצעיים בצה"ל, ולאור הרצון להקנות ל"גיל" יכולת התמודדות בתרחישים דינמיים, הוחלט לחזור לגרסה המקורית, כלומר להחזיר את הסיב האופטי, המאפשר לצפות במעוף הטיל דרך ראש הביות ולהגדיל את הטווח.

מאחר שה"גיל" הוא טיל נ"ט אישי, ומאחר שהשאיפה הייתה שכל חייל רגלי יוכל לשאת שני טילים כאלה, הוגבלו קוטר הטיל ומשקלו. משקל הטיל נשמר בקפדנות לכל אורך תקופת הפיתוח, וכל דרישה להוספת משקל - ולו מזערית -



טילים דור ג' מדגם "ג'בלון"

**העימותים העתידיים צפויים להתרחש בעיקר בסביבה אורבנית - מה שמחייב לפתח אמצעים להתמודדות עם ביצורים ועם מכנים ולא דווקא עם טנקים**

הועברה לאישורם של גורמים בכירים בצה"ל. במערכת ה"גיל" נעשתה מהפכה נוספת - מהפכת הלילה - באמצעות הכוונת התרמית. בראשית דרכו של הפרויקט הוחלט לקפוץ דור בטכנולוגיות הגלאים ולעבור מגלאי סורק למערכת עם מטריצת גלאים. הכוונת התרמית מקנה יכולת מדהימות ברכישת מטרות ביום ובלילה.

ב-1997 החלו ניסויי הקליטה בצה"ל, ואלה נמשכו כשנה בתמיכתה של רפא"ל. במהלך אותה השנה גיבש צה"ל את התו"ל, את תפיסת ההפעלה, את הספרות ואת התחזוקה של ה"גיל" במערך השדה.

**כיצד ייראה הדור הבא?**

בפני הטיל של הדור הבא מוצבות הדרישות הבאות:



ניסוי ירי ב"גומד" - טיל נ"ט אישי קל מדור ג' פלוס

שהטיל מתקרב למטרה, תמונת המטרה גדלה ומתבהרת, דבר המאפשר למפעיל לכוון את הטיל לעבר כל נקודה במטרה בדיוק רב. לחלופין אפשר להפנות את הטיל לעבר מטרות חבויות. התמונה המתקבלת מעין הטיל מאפשרת לאמת פגיעה במטרה. כמו כן מספקת התמונה מודיעין על איזור המטרות ומאפשרת לנהל את האש בצורה טובה יותר. **חיסרון** - מחיר גבוה. דוגמא לטיל דור ג' פלוס הוא ה-Netfires האמריקני.

**התפתחותו של הטיל האישי נגד טנקים בצה"ל**

ה"גומד" פותח כטיל נ"ט אישי קל מדור ג' פלוס לטווחים עד 4,000 מטר. הטיל הוא בעל ראש ביות אלקטרואופטי וראש נפץ כפול (טאנדם). השיגור מתבצע בשיטת "שגר ושכח" או על-ידי התערבות הכוון בעת המעוף.



טיל בפיתוח מדגם CKEM

- טיל אוטונומי.
- קל משקל.
- פשוט להפעלה.
- תוקף את הטנק מלמעלה.
- עלות נמוכה.
- חסין בפני שיבוש.
- קטלני יותר.
- יעיל בכל מזג אוויר.
- בעל ספיקה גבוהה.
- יכולת לניהול אש אינטגרטיבי.

תקיפה (LAM), טיל משוטט (PAM) ורכב שיגור (CLU). הטיל יהיה מסוגל לטוס לטווח של 50 ק"מ ולשוטט במשך 45 דקות. המערכת נמצאת בשלבי פיתוח ראשוניים, וההצטיידות בה תחל ב-2009.

- CKEM - טיל שגא-קולי, שיטוס במהירות גבוהה מאוד של כשני מאך במטרה להתגבר על אמצעי המיגון המתקדמים המפותחים כיום בעולם.

### סיכום

ההתפתחות הטכנולוגית בשנים האחרונות הביאה לשיפור משמעותי ביכולות של הטילים נגד טנקים. כניסתם של



טיל בפיתוח מדגם Common Missile

ה"ג'בלין" האמריקני ושל ה"גיל" הישראלי למערך השדה בישרה את תחילתו של עידן חדש ביכולת של חיל הרגלים להתמודד באופן עצמאי עם כוחות שריון, ובכך שינו שני הטילים האלה את פניו של שדה הקרב הטקטי. יחד עם זאת יש לזכור כי העימותים העתידיים צפויים להתרחש בעיקר בסביבה אורבנית - התפתחות שצה"ל כבר נתקל בה במהלך "חומת מגן" - מה שמחייב לפתח אמצעים להתמודדות עם ביצורים ועם מבנים ולא דווקא עם טנקים.

ראוי לציין שמערכת ה"גיל" מתמודדת בהצלחה רבה בשוק העולמי. המתחרה העיקרי שלה הוא ה"ג'בלין" האמריקני, אך עד כה הצליחה רפא"ל לזכות במכרזים בכמה מדינות, ובהן הולנד.

### הערות

1. גימבלים - מערכת מכנית לייצוב ולהטיה של קו ראייה (של המצלמה או של החישן) במרחב.

## מגמות טכנולוגיות בתחום הני"ט בעולם

**הנעה.** בעתיד יילך ויגבר השימוש במנועים סילוניים זעירים. המנוע הסילוני משפר באופן משמעותי את נצילות ההנעה וכפועל יוצא מכך מגדיל את הטווח המרבי של הטיל. במנועים העתידיים ישולב אלטרנטור, המשמש כמקור אנרגיה לטיל מרגע הפעלת המנוע. כמו כן מפותחים מנועים לטילים המונעים באמצעות דלק נוזלי.

**ראשי-הנפץ.** בעתיד צפויים ראשי-נפץ רב-תכליתיים, היכולים להסב נזק למגוון מטרות ולא דווקא לשריון. התפתחות הלוחמה האורבנית מובילה לפיתוח ראשי-נפץ המאפשרים להתמודד עם ביצורים ועם מבנים.

**הנחיה.** יפותחו ראשי ביות, אשר ישלבו תמונות ממספר חישנים (IR, CCD, גמ"מ וכו') לתמונה אחת, באופן שתמיד תתקבל תמונה אופטימלית ללא התערבות המפעיל במעבר בין הערוצים. ראשי ביות העתידיים יהיו תרמיים ללא קירור ויתבססו על גלאי

בולומטרי (דהיינו גלאי לא מקורר). כמו כן יהיו ראשי הביות צמודי גוף (חסרי גימבלים),<sup>1</sup> ללא חלקים נעים וללא מכניקה עדינה ויקרה. בעתיד צפויה הוזלה של ראשי הביות - רכיב שהוא כיום נתח משמעותי בעלות הטיל.

**אלקטרומכניקה.** המשך תהליכי המזעור בתחום האלקטרומכניקה יביא למזעור רכיבי הטיל, והודות לכך יקטן משקלו באופן משמעותי.

**ניווט.** בתחום הניווט מפותחים שיפורים המבוססים על התאמת תמונות.

## פיתוחים אמריקניים בתחום של טילים נגד טנקים

- האמריקנים מפתחים שלוש מערכות עיקריות נגד טנקים: Common Missile - טיל האמור להחליף את טילי ה"טאו" וה"לפיר" לסוגיהם. המערכת מצויה בתחילת פיתוחה ואמורה להיכנס לתחילת ייצור ב-2008.
- Netfires - מערכת נשק להשמדת טנקים בספיקה גבוהה, המיועדת לכוח היבשתי העתידי. המערכת כוללת: טיל

# קרני מוות, קרני חיים

מערכות המבוססות על לייזר ממלאות יותר ויותר תפקידים בשדה הקרב הן ברמה הטקטית והן ברמה האסטרטגית. מאז שנות ה-60 ממלא הלייזר תפקיד בתחום בקרת האש וכינון החימוש. בשנים הקרובות נראה מערכות של לייזר רבי-עוצמה להגנה בפני טילים בליסטיים לטווחים שונים.

רס"ן (מיל') חיים / סא"ל יוני - רע"ן לוחמה אופטרונית

בין שידורו לקליטתו. הפולס נע, כמובן, במהירות האור, ומכך נגזר הטווח אל המטרה הנמדדת. טווח זה משמש, למשל, במערכות בקרת אש של טנקים לחישוב פתרון בליסטי לפגיעה אופטימלית. מציין לייזר משמש להארת מטרה נבחרת בכתם לייזר, ואילו חימוש מונחה לייזר – פצצה או טיל – עושים שימוש בחישון לייזר לשם התבייתות על המטרה.

בין המערכות הכוללות מדי טווח ומציינים ניתן להזכיר את מערכות בקרת האש לטנקים מסוג "גל" ו"בז", את מערכת ה-NTS למסוקי ה"קובר" ואת מטעדי הציון למזל"טים ופוד התקיפה "לייטינג" למטוסי קרב. מערכת מעניינת נוספת היא

LORD (Laser Obstacle Ranging and Detection) של "אלאופ", המיועדת להתקנה על מסוקי חיל האוויר, ושתאפשר לטייסים לגלות מכשולים שונים ולהימנע מפגיעה בהם, כמו קווי מתח גבוה, אנטנות ועוד.

פיתוחן של מערכות מתקדמות מסוגים אלה נמשך בישראל ובעולם תוך שימת דגש למעבר לפעולה באורכי גל הבטוחים לעין – בעיקר כדי למנוע תאונות אימונים.

בתחום מערכות הנשק קיים גם מכ"ם לייזר, המשמש כראש ביות לחימוש מסוגים שונים (דוגמת LOCASS האמריקני). יתרונו של ראש ביות כזה נעוץ ביכולתו להפיק תמונה משולבת של עוצמה ושל טווח ובכך לאפשר גילוי וזיהוי אוטומטיים יעילים של מטרות שונות.<sup>2</sup>

היישומים הצבאיים של  
הלייזר החלו זמן קצר לאחר  
המצאתה של הטכנולוגיה,  
כשנות ה-60

## הקדמה

הלייזר הוא מקור קרינה, העושה שימוש באפקט פיזיקלי-קוונטי להפקת אלוהמה המתאפיינת במונוכרומטיות, בקוהרנטיות גבוהה ובזווית התבדרות נמוכה. התכונות האלה מאפשרות הקרנה לטווחים ניכרים וגילוי יעיל של הקרינה הישירה או החזרים שלה. הלייזר מבוסס על חומר הנמצא בתוך מהוד אופטי, ושתיכונותו הפיזיקליות מאפשרות את קיום האפקט. ישנו מגוון רב של חומרים (מוצקים, נוזלים וגזים) המאפשרים לזירה במגוון אורכי גל – מהעל-סגול ועד התת-אדום הרחוק. היישומים הצבאיים של הלייזר החלו זמן קצר לאחר המצאתה של הטכנולוגיה,

בשנות ה-60. אלה כוללים שימושים, המוכרים היטב היום, של מדי טווח, מציינים להנחיית חימוש או מערכות הנחיה לטילים רוכבי קרן. שימושים אלה נפוצים היום ברוב הצבאות. מערכות נשק אלה ימשיכו להיות חלק משמעותי מהסדר"כ של נשק מדויק גם בשנים הבאות, אף שהמודעות אליהם רבה, ובעקבות כך גם פותחו מערכות לגילוי לזירה ומערכות-נגד. יישומים נוספים, נדירים יותר, כוללים מערכות לגילוי חל"כ ומערכות מכ"ם לייזר (למשל כמערכת התרעה בפני מכשולים למסוקים).

## מערכות לייזר בשדה הקרב הנוכחי

צה"ל הוא בין הצבאות המתקדמים בעולם ביישום מערכות לייזר בשדה הקרב. רוב המערכות האלה שבשירותו פותחו בתעשייה הישראלית. מדי טווח ומציינים של "אלאופ" משולבים במערכות נשק לטנקים, למסוקים ולמטוסים – מאוישים ובלתי מאוישים. המערכות עצמן מפותחות על-ידי "אלביט", התעשייה האווירית ורפא"ל. מרכז פיתוח נוסף לטכנולוגיית לייזר מתקדמת נמצא במרכז למחקר גרעיני בנחל שורק. יש לציין כי ישראל הייתה חלוצה ביישום של לייזר שאוב דיודות<sup>1</sup> ליישומים צבאיים.

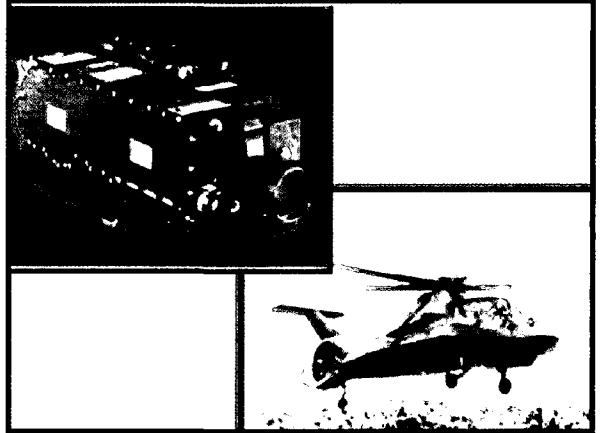
מד טווח מבוסס על הקרנת פולס של לייזר ומדידת הזמן

## קין מוות?

מייד עם המצאת הלייזר ייחסו לו את המונח "קרן המוות" בהשראתם של ספרי המדע הבדיוני, ונבחנה האפשרות ליישמו כנשק. כל הניסיונות כשלו, כיוון שהטכנולוגיה לא הייתה בשלה באותה עת להפיק את העוצמות הנדרשות. עם הזמן התקדם המחקר בתחום הלייזרים רבי העוצמה – לר"ע (HEL - High Energy Lasers), המבוססים בעיקר על טכנולוגיית הלייזר הכימי, והחלו להתגבש פתרונות



## מציין/מד טווח ישראלי המשולב במסוק ה"קומנצ"י" האמריקני



מערכתיים ליישומים שונים. תחום זה הנו חלק מתחום רחב יותר, הנקרא נשק אנרגיה ישירה (DEW - Directed Energy Weapon), והכולל גם מיקרוגל רב-עוצמה (HPM) וקרני חלקיקים.

מתקן ידוע, המשמש עד היום לניסוי ולהנבטה של מערכות, מצוי בווייט-סנדס שבניו-מקסיקו, ארה"ב. מדובר ב-MIRACL (Mid-Infra-Red Advanced Chemical Laser) המבוסס על לייזר כימי HF/DF (מימן פלואוריד/דוויטריום פלואוריד)<sup>3</sup>. בעוצמה של שני מגוואט ובאורך גל (על-פי פרסומים שונים) של 3.8 מיקרון. המתקן מצויד גם במערכת הכוונת אלומה, המאפשרת להקרין את האלומה בדיוק רב. המתקן הזה שימש לבחינת הבעיות המערכתיות השונות הכרוכות בהפעלת לייזר רב-עוצמה.

אחת מהן היא השרידות של המכלולים האופטיים של הלייזר עצמו, העומדים במאמצים רבים עקב הטמפרטורה הגבוהה שהם עלולים להגיע אליה. בעיה אחרת שנחקרה באינטנסיביות היא האינטראקציה של אלומת הלייזר רב-עוצמה עם התווך האטמוספירי. השפעת האטמוספירה על מערכות הלייזר דלות העוצמה באה לידי ביטוי באמצעות מנגנונים של הנחתה (בליעה ופיזור אטמוספיריים) וטורבולנציה. כאשר הלייזר הוא רב-עוצמה, מופיעות תופעות לא לינאריות הנובעות מחימומו ומיינונו של האוויר (Thermal Blooming). התופעות האלה גורמות להרחבת האלומה ומקשות על העברת ההספק אל המטרה באופן יעיל. כדי להתמודד עם הבעיה הזאת יש להשתמש בטכנולוגיות מתקדמות של עיצוב אלומה ושל אופטיקה מסתגלת.

נוסף על המחקרים הבסיסיים בוצעו מספר ניסויים – בהובלת הצי האמריקני – שבהם הופלו מטרות שונות שדימו טילי שיוט, מטוסים ללא טייס ועוד. מערכת ידועה שצמחה מהמחקר הזה היא ה-THEL (Tactical High Energy Laser), הנקראת גם "נאוטילוס". זהו פרויקט המשותף למשרד ההגנה האמריקני ולמשרד הביטחון הישראלי, ומטרתו לפתח

מערכת הניתנת לפריסה בגבול הצפון של ישראל, ואשר תוכל ליירט מטחי קטיושות. כבר נערכו מספר ניסויים במערכת הדגמה, שבהם יורטו קטיושות בודדות ומטחים של שתי קטיושות. למערכת זו יישומים אפשריים גם מול מטרות אוויריות אחרות. יתרונותיה הברורים הם יכולתה להגיב במהירות ולהעסיק בעת ובעונה אחת מספר רב של מטרות. המרכיבים הבסיסיים של מערכת זו (אשר מייצגים גם את המבנה המערכתי העקרוני של כל מערכת לייזר רב-עוצמה) הם כדלקמן:

- מערכת גילוי ראשונית ( בדרך כלל מבוססת על מכ"ם).
  - מערכת עקיבה אלקטרואופטית מדויקת, המשמשת גם להערכת נזק ולווידוא השמדה.
  - מערכת הכוונת אלומה.
  - מכלול הלייזר עצמו – כולל מקורות האנרגיה שלו.
- בניסויי ההדגמה המוצלחים הוכחה היכולת הטכנולוגית לעקוב אחר מטרה מהירה בדיוק רב ולייצב אלומת לייזר למשך מספר שניות – פרק זמן המספיק כדי להשמיד את הקטיושה. גרסה מוקטנת וניידת של ה-THEL (Mobile THEL) נמצאת בשלבי בדיקה.

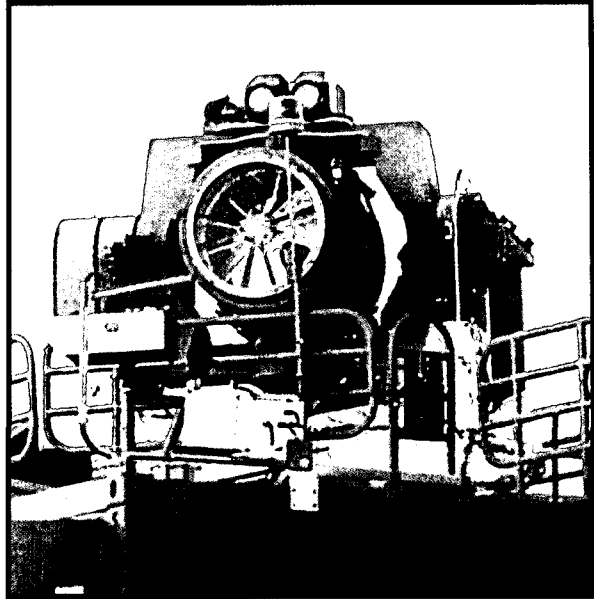
פרויקט גדול עוד יותר, אשר אומנם מוגדר עדיין כתוכנית הדגמה, אך ממומן במיליארדים רבים של דולרים הוא ה-Airborne Laser (ABL). מדובר במערכת לייזר מוטסת, המיועדת ליירט טילים בליסטיים טקטיים דוגמת ה"סקאד" מטווחים של מאות קילומטרים. המערכת היא מטוס "בואינג" 747-400 שמוסב לנשיאת מספר מערכות הכוללות:

- לייזר כימי חמצן-יוד רב-עוצמה (Chemical – COIL Oxygen Iodine Laser), המפיק הספק העולה על 3

## מייד עם המצאת הלייזר ייחסו לו את המונח "קרן המוות" בהשראתם של ספרי המדע הבדיוני, ונבחנה האפשרות ליישמו כנשק

- מגוואט באורך גל של 1.3 מיקרון. מכלול הלייזר תופס את רובו של תא המטען של המטוס.
- באפו של המטוס יותקן צריח הכולל טלסקופ מראות בקוטר של כמטר וחצי, שיאפשר לרכז יותר ממגוואט של הקרינה לאלומה בקוטר מיקרורדיאן (כ-60 חלקי מיליון של מעלה) ולהפנותה בתחום זוויתי רחב. המכלול האופטי יכיל גם אלמנטים של אופטיקה מסתגלת מתקדמת לטיפול בבעיות של טורבולנציה והרחבת אלומה.
- הכוונת האלומה תיעשה באמצעות עוקב תת-אדום בעל כושר הפרדה גבוה, שיעזר גם בלייזר הכוונה שיוחזר מטיל המטרה.
- הגילוי הראשוני של הטילים המשוגרים ייעשה באמצעות

## מערכת ההדגמה של "נאוטילוס" (מכון האלומה)



חישני תת-אדום (Infrared Search & Track – IRST), שיתנו כיסוי מלא סביב המטוס.

אב-הטיפוס הראשון נמצא בשלבי הכללה (אינטגרציה, שילוב המכלולים השונים למערכת אחת) מתקדמים לקראת ניסויי הטיסה, שיחלו בשנה הבאה. אם הניסויים יעברו בהצלחה, מתכוון חיל האוויר האמריקני לרכוש כמה מטוסים כאלה, שאותם יוכל להעביר לזירות עימות שונות בעולם.

**"נאוטילוס" הוא פרויקט המשותף למשרד ההגנה האמריקני ולמשרד הביטחון הישראלי, ומטרתו לפתח מערכת הניתנת לפריסה בגבול הצפון של ישראל, ואשר תוכל ליירט מטחי קטיושות**

כדי להגן על כוחות אמריקניים שנפרסו באיזור או על מדינות בעלות-ברית.

במהלך פרויקט ה-ABL (Air Born Laser) נבחנים ומקודמים תחומים מחקרניים רבים, שלהם משמעות לגבי פעולתו של לר"ע, כמו טורבולנציה (בעיקר בגובה רב), אופטיקה מסתגלת, מנגנוני הרג של מטרות (בעיקר טילים) ועוד. הפעלת הלייזר תיעשה, כאמור, ממרחקים של מאות ק"מ, בשעה שהמטוס משייט בגובה של כמה עשרות אלפי רגל, וטייל המטרה נמצא גבוה עוד יותר, מעל לגובה העננים. השמדת הטייל מתוכננת להתבצע כאשר הוא עדיין בשלב שבו פועל המנוע הרקטי. חימום הגוף באמצעות הלייזר אמור לגרום לקריסתו של המנוע בעיצומם של מאמצי ההאצה.

יישום נוסף להגנה בפני טילים בליסטיים נעשה ע"י לייזר שבסיסו בחלל (Space Based Laser – SBL). גם זו תוכנית הדגמה אמריקנית, שמטרתה להציב לייזר כימי במסלול בחלל ולהדגים יירוט והשמדה של טיל בליסטי. הניסוי מתוכנן לשנת 2012. החזון ארוך הטווח כולל מערך של 20 עד 40 לוויינים בעלי כיסוי גלובלי ויכולת תגובה מהירה להשמדת כל טיל בליסטי הנורה בכל מקום בעולם. יש לציין כי בכל התוכניות שצוינו עד כה מעורבת חברת TRW, המובילה בתחום טכנולוגיית הלייזרים הכימיים רבי-העוצמה.

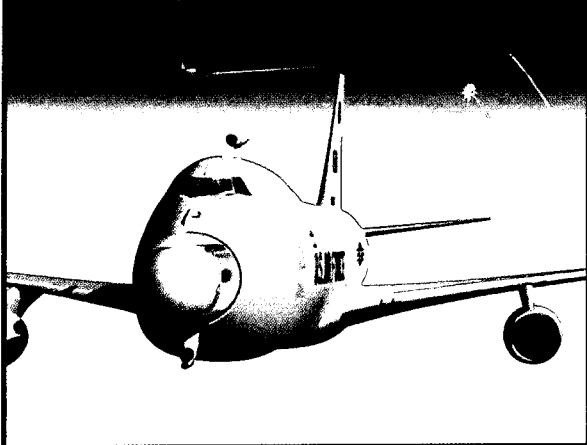
פרויקט נוסף שבו תיושם טכנולוגיית ה-COIL הינו הלייזר הטקטי המוטס (ATL – Airborne Tactical Laser). מערכת זו מבוססת על לייזר בממדים המתאימים להטסה במטוס הטיית הרוטור V-22 או במסוק ושיוכל לשמש ליירוט טילי שיוט או טילים נגד ספינות ואף לפגוע במטרות קרקעיות.

גרסאות שונות של לייזרים רבי-עוצמה נבחנות להתקנה גם על ספינות ועל כלי-רכב. אחד מערוצי המחקר מתמקד בפיתוח של לייזרים המבוססים על מצב מוצק, וזאת כדי להימנע מהבעייתיות הכרוכה בחומרי הדלק של הלייזרים ומפניו תוצרי הפעולה הרעילים שלהם. הבעיה המרכזית הכרוכה בלייזר מצב מוצק היא הצורך שלו בהספק חשמלי משמעותי לפעולתו. במסגרת המחקר הזה נבחנים לייזרי סיב בהספק כולל העולה על 100 קילוואט. בימים אלה נבחנת התקנה של מערכת טקטית המבוססת על לייזר מצב מוצק בעוצמה בינונית על רכב "האמר".

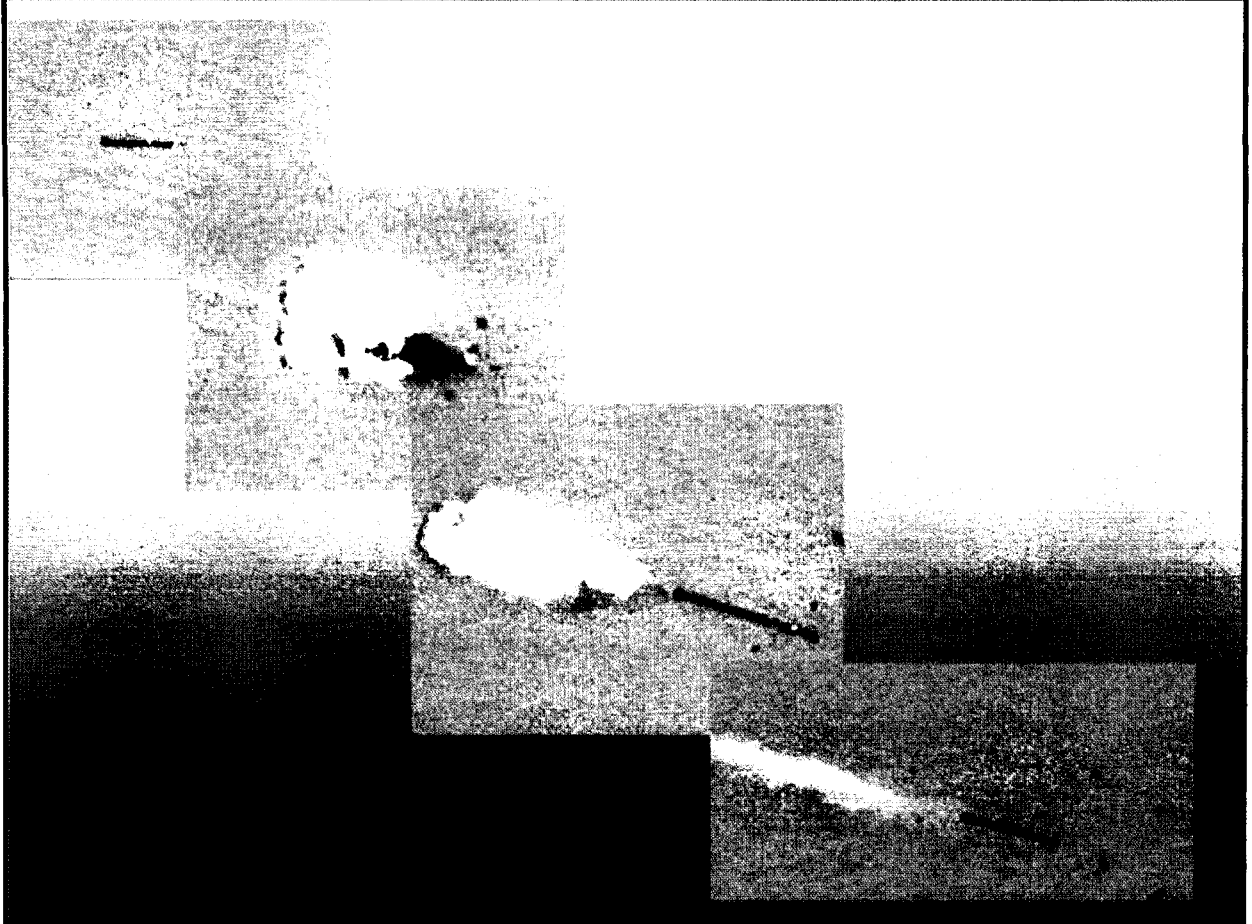
## קרני חיים

סימן השאלה בכותרת הסעיף הקודם (קרן מוות?) מובן אם בוחנים את אשר הוצג עד כה. המסקנה היא כי ברוב המקרים מתוכננים הלייזרים רבי-העוצמה כמערכות הגנתיות מובהקות ליירוט טילים מסוגים ומגדלים שונים – מקטיושות

מטוס ה-ABL (Air Born Laser)



"בואינג 747" מוסב לתוח לייזר מעופף



- מערכת גילוי, שמבוססת במקרה זה על חיישנים אלקטרואופטיים בתחום התת-אדום או העל-סגול.
  - עוקב מדויק.
  - מערכת להכוונת אלומה.
- מובן שהממדים הכוללים של מערכות ההגנה העצמית קטנים משמעותית מאלה של לר"ע, אחרת לא ניתן היה להתקינן על פלטפורמות טקטיות.

דוגמא למערכת כזאת, שהדגימה ביצועים מול טילים שונים בניסוי של ירי חי, היא חליפת ה-ATIRCM (Advanced Threats IR Countermeasures), המיועדת להתקנה על מסוקי הצבא האמריקני. מערכת זו אמורה להגן על המסוקים בעיקר מפני טילי כתף למיניהם. החליפה כוללת מערכת התרעה עם חיישנים בתחום העל-סגול, מערכת לייזר מיוחדת, (הלייזר כולל גבישים מיוחדים הקרואים גבישים אופטיים לא לינאריים, המשמשים להמרת אורך הגל לתחום הרצוי) עוקב תת-אדום ומטעד לעקיבה ולהכוונת אלומה. אורך הגל של הלייזר הוא באיזור ארבעה מיקרון, כלומר בתחום הקליטה של טילים מתקדמים. לייזרים מולטי-ספקטראליים, המפיקים קרינה במספר אורכי גל רלוונטיים,

ועד טילים בליסטיים. תחום נוסף – הגנתי גם כן – שבו תופסים הלייזרים מקום הולך וגדל הוא אמצעי-הנגד האלקטרואופטיים. כאן אין מדובר בעוצמות גבוהות המיועדות להשמיד, אלא בעוצמות נמוכות ובינוניות, המיועדות לשבש או לסנוור ראשי ביות ומערכות הנחיה של טילים.

### ברוב המקרים מתוכננים הלייזרים רבי-העוצמה כמערכות הגנתיות מובהקות לירוט טילים מסוגים ומנדלים שונים

טילים מתקדמים חסינים במידה רבה בפני נורים ושבשים קונוונציונליים בעלי עוצמה נמוכה. כדי להבטיח שיבוש חזק בהסתברות גבוהה יש לכוון אליהם אלומת לייזר, שתביא שטף קרינה גבוה אל כיפת הטיל. מערכת כזאת, הקרויה שבש כיווני (Directional Infrared Countermeasure – DIRCM) כוללת מרכיבים מערכתיים הדומים מאוד לאלה של מערכת הנשק המבוססת על מערכת לייזר רבי-עוצמה:

## סיכום

מערכות המבוססות על לייזר ממלאות יותר ויותר תפקידים בשדה הקרב הן ברמה הטקטית והן ברמה האסטרטגית. מאז שנות ה-60 ממלא הלייזר תפקיד בתחום בקרת האש וכינון החימוש (כמד טווח, כמציין או כמחולל אלומת הנחיה). בשנים הקרובות נראה מערכות של לייזר רב-עוצמה להגנה בפני טילים בליסטיים לטווחים שונים ובפני טילים טקטיים – בין היתר על-ידי שיבוש מנגנוני ההנחיה שלהם. במקביל לפיתוח טכנולוגיית הלייזר יש גם לפתח אמצעי מיגון כדי להגן על כוחותינו מפגיעתו של נשק הלייזר ברמותיו השונות.

## הערות

1. שאיבה היא הפעולה המשמשת להעלאת רמת האנרגיה בלייזר.



לייזר בחלל משמיד טיל

נמצאים בשלבים שונים של פיתוח ושל הערכה. עוצמת הלייזר היא כזו שמנגנון ההפרעה פועל באמצעות שיבוש, כלומר אפנון בתדרים מסוימים, המפריעים למנגנון העקיבה של הטיל.

מערכת אחרת היא ה"נמסיס" מפיתוחה של "נורתרופ גרומן". למערכת זו שתי גרסאות – הקטנה שבהן מיועדת להתקנה על מטוסים, והגדולה מיועדת למטוסי תובלה בינוניים. המערכת הנוכחית, שנרכשה והותקנה על-ידי הצבא הבריטי ופיקוד הכוחות המיוחדים של ארה"ב, אינה כוללת לייזר, אלא מנורות קשת (מנורות רבות עוצמה), אך לייזר כבר פותח וישולב בגרסאות הבאות.

מערכות בעלות עקרון פעולה דומה מפותחות גם למטוסי קרב ותובלה. הפרויקטים המובילים בתחום

מטוסי הקרב הם ה-TADIRCM (Tactical Aircraft DIRCM) של הצי האמריקני ו-DART (Defense Avionics Receiver) של חיל האוויר הבריטי.

עבור מטוסי התובלה שלו מפתח חיל האוויר האמריקני את ה-LAIRCIM (Large Aircraft IRCM), המיועדת למטוסים שונים ובהם ה-C-17. מערכות אלה אמורות לפעול נגד טילי כתף ונגד טילי אוויר-אוויר, ובאחרונה גם הופגנו ביצועי ה-TADIRCM בניסויים של ירי חי.



תפיסת אמן של מערכת DART הבריטית

- בעבר היא התבססה על מנורות, ואילו היום – על דיודות.
- ראש הביות הזה מבוסס על שידור רציף של פולסים של לייזר. זמן החוזר משמש להפקת הטווח, ועוצמתו של החוזר משמשת להפקת התמונה.
- בלייזר כזה מקור האנרגיה הוא תגובה כימית בין חומרים שונים.



# 30 שנים למלחמת יום הכיפורים

בכוונת "מערכות" להוציא לאור קובץ זיכרונות ממלחמת יום  
הכיפורים וכן קובץ מאמרים עיוניים.  
הקוראים שברשותם זיכרונות ומאמרים שטרם פורסמו בעברית  
והמבקשים לפרסמם מתבקשים לפנות ל"מערכות".



היקף המאמרים והזיכרונות אמור להיות עד 15,000 מילים.

**מערכות**



ת"ד 7026, תל אביב, 61070

# "חץ" - לעצור את התוקף בחלל

קולם של המקטרגים על הטיל נגד טילים "חץ" הולך ודועך עם הצטברות ההצלחות בניסויים ובהצטיידות ועם התעצמות המערכת. כיצד פועלת המערכת הזאת, והאם היא באמת תצליח בעת מבחן להגן על ישראל מפני התקפות טק"ק?

סאל גור

## מבוא

2 לפנות בוקר, 18 בינואר 1991. 8 טילי "סקאד" כבר נפלו על חיפה ועל גוש דן. כ-30 נוספים עתידים ליפול בששת השבועות שלאחר מכן ברחבי המדינה. לראשונה מאז מלחמת השחרור ניצבת תל-אביב חסרת ישע מול התקפת אויב. המדינה מחולקת לאזורי ספיגה, יללות צופרים מחרידות את המדינה, ומסכות אב"ך מהודקות בכל פעם שנשמעת הסיסמא "נחש צפע".

43 שנה שלט חיל האוויר בשמי המדינה תוך שהוא נהנה מעליונות אווירית בלתי מעוררת. מעכשיו – כך נראה – נמצאה הדרך הקלה לחדור ללב המדינה דרך האוויר ללא סיכון. במערכת הביטחון נושכים שפתיים. אין עדיין ברשותה פתרון הגנתי הולם, והיכולת לתקוף אינה ממומשת משיקולים מדיניים. מהרהרים ברעיונות ובפרויקטים שהוצעו אך לא יצאו לפועל, והולכים לישון בחדר האטום...

תשע שנים אחר כך: מארס 2000. תרועות חוצצרה והלמות תופים מהדהדות בבסיס חיל האוויר. סאל חיים ואחריו חיילי היחידה צועדים על רקע המכ"ם ודגם של טיל ה"חץ".

היחידה מבצעית, הציוד פועל, ומערכת ה"חץ" נמסרת על-ידי משרד הביטחון לצה"ל. בקהל יושבים – לצד שגריר ארה"ב וראשי מערכת הביטחון – אלה שחלמו, שהגו, שתרמו, שיצרו ושהשקיעו את כל מרצם כדי להפוך חלום לרעיון ולמציאות.

כיצד נולד הפרויקט? כיצד מתמודדים מפני טילים בליסטיים? מהו סטטוס הפרויקט? מה באשר לעתיד? האם כעת אפשר לישון טוב יותר בלילה?

## מבט חטוף לעבר

1944 – בשלהי מלחמת העולם השנייה זרעו טילי "וי-2" גרמניים הרס ברחבי לונדון, האג ובריסל.

1973 – במלחמת יום הכיפורים שיגרו המצרים טילי "סקאד" ורקטות "פרוג" לעבר סיני. הסורים שיגרו טילי "פרוג" לעבר רמת-דוד.

1980-1988 – במלחמת איראן-עיראק שיגרו שתי המדינות טילי קרקע-קרקע זו לעבר עריה של זו. ההפצצות

ההדדיות, שזרעו הרס וגרמו לנפגעים אזרחיים רבים, זכו לכינוי "מלחמת הערים". בסך הכול שיגרו שני הצדדים כ-350 טילי "סקאד". 1982 – המכה הניצחת שהנחית חיל האוויר הישראלי על טילי הקרקע-אוויר של סוריה בבקעת הלבנון במהלך מלחמת "שלום הגליל" הבהירה פעם נוספת

למדינות ערב כי לחיל האוויר יש עליונות אווירית מוחצת. התחמשות בטק"ק נתפסה בעיני מדינות ערב נכונה יותר מתמיד.

1983 – ראשיתה של "יוזמת ההגנה האסטרטגית" (SDI) בארצות-הברית בעקבות נאום "מלחמת הכוכבים" של הנשיא רייגן.

1986 – בתגובה לתקיפה אמריקנית שיגרה לוב טיל "סקאד" לעבר איטליה.

1990-1991 – במהלך המלחמה באפגניסטן שוגרו מאות רבות של טילי "סקאד".

1991 – במהלך מלחמת המפרץ שיגרה עיראק כ-80 טילי "סקאד" ו"אל-חוסייין" לעבר ריכוזי אוכלוסייה בישראל ובסעודיה. אחד מטילי ה"סקאד" פגע במתקן צבאי אמריקני בסעודיה והרג 28 חיילים אמריקנים.

1994 – סין שיגרה טילים בליסטיים לעבר טייוואן.

שורשיה של מערכת ה"חץ" נעוצים ב-1983, עת נשא הנשיא רייגן את נאום "מלחמת הכוכבים", שבו שטח בפני העולם את חזונו לבנייתה של חומת מגן, שתעניק לאזרחי העולם החופשי הגנה מפני טילים בליסטיים

2001 – ארגון BMDO (האירגון האמריקני להגנה מטילים בליסטיים) הופך לסוכנות להגנה מפני טילים (MDA).

## כיצד התפתחה תוכנית החץ?

שורשיה של מערכת ה"חץ" נעוצים ב־23 במארס 1983, עת נשא הנשיא רייגן את נאום "מלחמת הכוכבים", שבו שטח בפני העולם את חזונו לבנייתה של חומת מגן, שתעניק לאזרחי העולם החופשי הגנה מפני טילים בליסטיים: "בעתיד יחיו אזרחי העולם החופשי בידיעה שביטחונם אינו מבוסס על תגובה אמריקנית מיידית למתקפה סובייטית, אלא על אפשרות ליירט ולהרוס את הטילים הבליסטיים הסובייטיים עוד בטרם יגיעו אל אדמתנו..." כך נולדה "יוזמת ההגנה האסטרטגית" (SDI), שכינויה העממי היה "מלחמת הכוכבים".

ב־1984 הוקם במשרד ההגנה האמריקני "ארגון יוזמת ההגנה האסטרטגית" (SDIO) – גוף שנועד לרכז את כל פעילות המו"פ של "מלחמת הכוכבים".

ב־1985 פנתה ארה"ב לישראל בהצעה להצטרף ליוזמת ההגנה האסטרטגית. הכללת ישראל ברשימת המדינות שנתבקשו להירתם לתוכנית – כולן מעצמות טכנולוגיות – החמיאה מאוד. הסכמת ישראל, שלרבים נראתה כהימור חסר עתיד, התבררה ברבות הימים כצעד מוצלח.

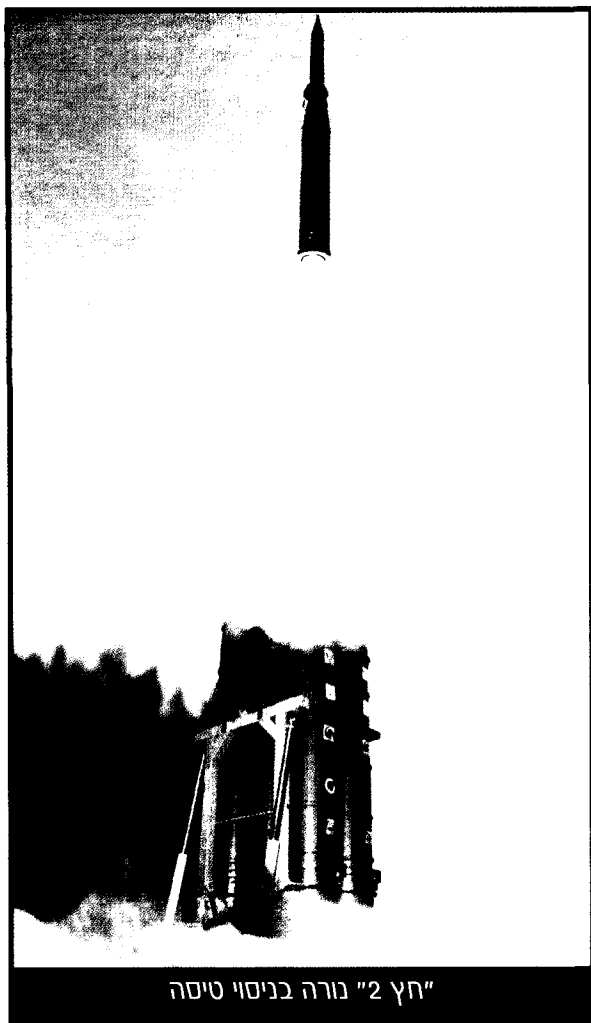
ב־1986 נחתם מזכר הבנה בין ממשלות ארה"ב וישראל שהגדיר את העקרונות של הפיתוח העתידי. לאחר שנבחנו החלופות השונות, הגיעו שני הצדדים למסקנה כי האופציה המועדפת היא שישאל תיקח על עצמה לפתח את מערכת ה"חץ", שיעודה הגנה זירתית. נקבע ש־80% מעלות הפרויקט ימומנו על־ידי האמריקנים.

ביולי 1988 נחתם מזכר ההבנה בין משרד הביטחון ל־SDIO לביצוע "הדגמת יכולת", אשר עתידה הייתה להוכיח כי הפרויקט הוא מעשי וראוי להמשיכו.

דב רביב, מנהל מפעל מל"מ באותן השנים ואבי רעיון

**רצף הצלחות כזה בניסויים כה מורכבים של טילים הינו חריג לטובה בכל קנה מידה. אין בו כדי להעיד שהמערכת חסינה מתקלות בעתיד, אך יש בו בהחלט כדי להגביר את תחושת הביטחון ביחס לאמינותה של המערכת**

ה"חץ", הוביל ביד רמה את הפיתוח תוך שהוא מפגין יצירתיות ומנהיגות ועושה שימוש בטכנולוגיות ייחודיות. הוא עיצב את תכונות המערכת ואת התפיסה המערכתית. אומנם ההתחלה לא האירה פנים, ותקלות הופיעו פעם אחר פעם, אך למרות זאת ניתן היה בתוך שנתיים בלבד – באוגוסט 1990 – להציב טיל הדגמה לניסוי שיגור ראשון.



"חץ 2" נורה בניסוי טיסה

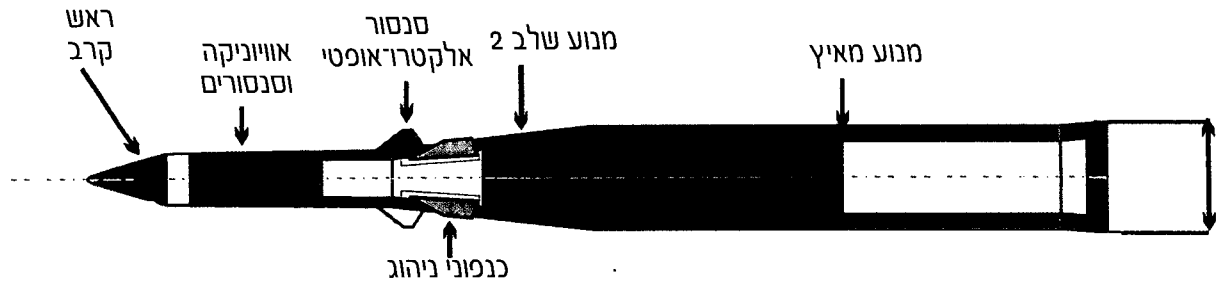
לרוע המזל הושמד הטיל בשוגג בתחילת מעופו. בכל אותה עת שררו חילוקי דעות בתוך מערכת הביטחון ומחוצה לה. היו שגרסו כי הפרויקט מיותר, בזבזני ולא יעיל. הספקות נעלמו במידה רבה ב־1991, כאשר מלחמת המפרץ הוכיחה עד כמה מוחשי הוא איום הטילים על ישראל. בשני הניסויים שלאחר מכן התגלו תקלות בתכנון ההגנה התרמית, החיונית לטילים היפר-סוניים. כשל בהגנה התרמית גורם לכשל הטיל כולו.

בספטמבר 1992 בוצע ניסוי שיגור מוצלח של טיל "חץ 1", וב־1993 בוצעו שני ניסויי יירוט נוספים בהצלחה כמעט מלאה. בקיץ 1994 תיעדו מצלמות הניסוי רגע היסטורי של פריצת דרך אמיתית: טיל "חץ 1" מיירט ומשמיד טיל "חץ" אחר המשמש לו כמטרה. בכך הוכח כי הכיוון והקונספט שנבחרו היו נכונים.

בעקבות סדרת הניסויים המוצלחים סיים טיל ה"חץ 1" את תפקידו כמוכיח טכנולוגיה וכחלוץ. לאחר מכן הוסיף לשמש כטיל מטרה בלבד.

בסדרת הניסויים שבוצעו הוכחה היכולת לפתח טיל

## "חץ 2" - תיאור כללי



ב-2003 בו נבחן הטיל בתנאי טיסה מיוחדים. המשגר נבחן בשיגור ארבעה טילים ברצף, ונבחנה המערכת בהתמודדות מול מטח טילי אויב.

רצף הצלחות כזה בניסויים כה מורכבים של טילים הינו חריג לטובה בכל קנה מידה. אין בו כדי להעיד שהמערכת חסינה מתקלות בעתיד, אך יש בו בהחלט כדי להגביר את תחושת הביטחון ביחס לאמינותה של המערכת.

בסוף 1997 הכריז חיל האוויר על מינויו של צוות להקמתה של הסוללה המבצעית הראשונה.

בכ"ט בנובמבר 1998 התקיים טקס המסירה של טיל ה"חץ" הסדרתי הראשון ממנהל מפעל מל"מ של התעשייה האווירית לשר הביטחון ולראש מנהלת "חומה" דאז, מר עוזי רובין.

בספטמבר 2000 גילה מכ"ם המערכת שיגור של טיל "סקאד" בסוריה.

ביולי 2001 גילה מכ"ם המערכת שיגור נוסף של "סקאד" בסוריה.

טקס גלילת ה"חץ" נערך במאוס 2000.

ההכרזה כי סוללת ה"חץ" הראשונה היא מבצעית נעשתה באוקטובר 2000.

בינואר 2002 חתמו התעשייה האווירית וחברת "בואינג" על הסכם לייצור משותף של טיל ה"חץ". במהלך 2002 הוקמה תשתית ראשונית לסוללת "חץ" שנייה.

### כיצד בונים חומה או: איך מתמודדים עם איום בליסטי?

#### האיום

חימוש קונוונציונלי או בלתי קונוונציונלי (דהיינו אטומי, ביולוגי או כימי) נישא על-פי רוב על גבי טיל בליסטי, שהוא טיל גדול ממדים, המואץ בכוח מנוע רקטי אל מחוץ

היפר-סוני, הוכחה נכונותו של קונספט היירוט בשולי האטמוספירה, הופעל אב-טיפוס של המכ"ם, והוכחה יכולתה המרשימה של התעשייה הישראלית. מדובר בתוצאה מקסימלית במינימום זמן.

ה"נסיך" החדש שהוכתר – טיל ה"חץ 2" – הוא דו-שלבי, בעל טווח גדול יותר, יכולת טיסה לגבהים שמחוץ לאטמוספירה, וניתן לשגר ממסגרת נייד בזמני תגובה קצרים. כמו כן הוא בעל יכולות ייחודיות נוספות שמצויות בחזית הטכנולוגיה.

בשנים 1995-2003 בוצעו עשרה ניסויי טיסה של טיל "חץ 2", שכללו: שיגור טיל (Flyout) לבדיקת מערכתיו, ניסויי יירוט נגד מטרת "חץ 1", ששוגרה מלב ים, ניסויים מערכתיים מלאים נגד טיל מטרה "אנקור שחור", אשר שוגר ממטוס ודימה מסלול של טיל "סקאד" המתקרב לחופי ישראל. תשעה מעשרת הניסויים הסתיימו בהצלחה מלאה. הניסויים האחרונים התבצעו בהשתתפות חיילי היחידה. ייחודי ומרשים במיוחד היה הניסוי האחרון אשר בוצע ב-5 בינואר



"שיהאב 3" במהלך מצעד צבאי בטהרן





מכ"ם "אורן ירוק" של מערכת ה"חץ"

לאטמוספירה לגובה של כמה מאות קילומטרים. הטיל התוקף משוגר בדרך כלל ממרחק רב מנקודת הפגיעה. המרחק הזה יכול לנוע ממאות ועד אלפי קילומטרים. טילים בליסטיים כאלה, המצויים בזירת המזרח התיכון, יכולים לשאת מטען ייעודי עד למשקל של אלף ק"ג. המטען הזה יכול להיות מסוגים שונים: נפיץ, ביולוגי, כימי או גרעיני. כששב הטיל לאטמוספירה, הוא מאיט בהדרגה ונע במסלול בליסטי לעבר מטרתו. מידת הדיוק של הטיל נעה בין קילומטרים אחדים מהמטרה ועד כמה מאות מטרים. כאשר מדובר בחימוש לא קונוונציונלי, אין לאי-הדיוק הזה שום משמעות. גם כאשר מדובר בחימוש קונוונציונלי אין לאי-הדיוק הזה משמעות רבה, אם היעד הוא עיר גדולה.

בידי מדינות ערב מצויים מאות רבות של טילים כאלה, רובם ממשפחת ה"סקאד". טיל הקרקע-קרקע המתקדם ביותר המצוי בידי יריבותיה של ישראל, ואשר נחשב לאיום המשמעותי ביותר, הוא ה"שיהאב 3" האיראני, המבוסס על הטיל הצפון-קוריאני "נרדונג".

לתקיפה באמצעות טילי קרקע-קרקע יש שני יתרונות בולטים על פני תקיפה באמצעות מטוסים: יש להם יכולת טובה יותר להגיע אל היעד (חודרות, שרידות, זמן הגעה קצר, העדר הפרת מרחבים אוויריים ואי-תלות במזג אוויר) והם זולים הרבה יותר ממטוסים הן בייצור, הן בהצטיידות, הן בתחזוקה והן בהכשרת המפעילים. לעומת זאת למטוס יש

יתרון של ממש בכושר נשיאת החימוש, ולכן פוטנציאל הנזק הטמון במטוס יחיד גדול יותר באופן משמעותי מפוטנציאל הנזק הטמון בטיל יחיד.

#### המענה

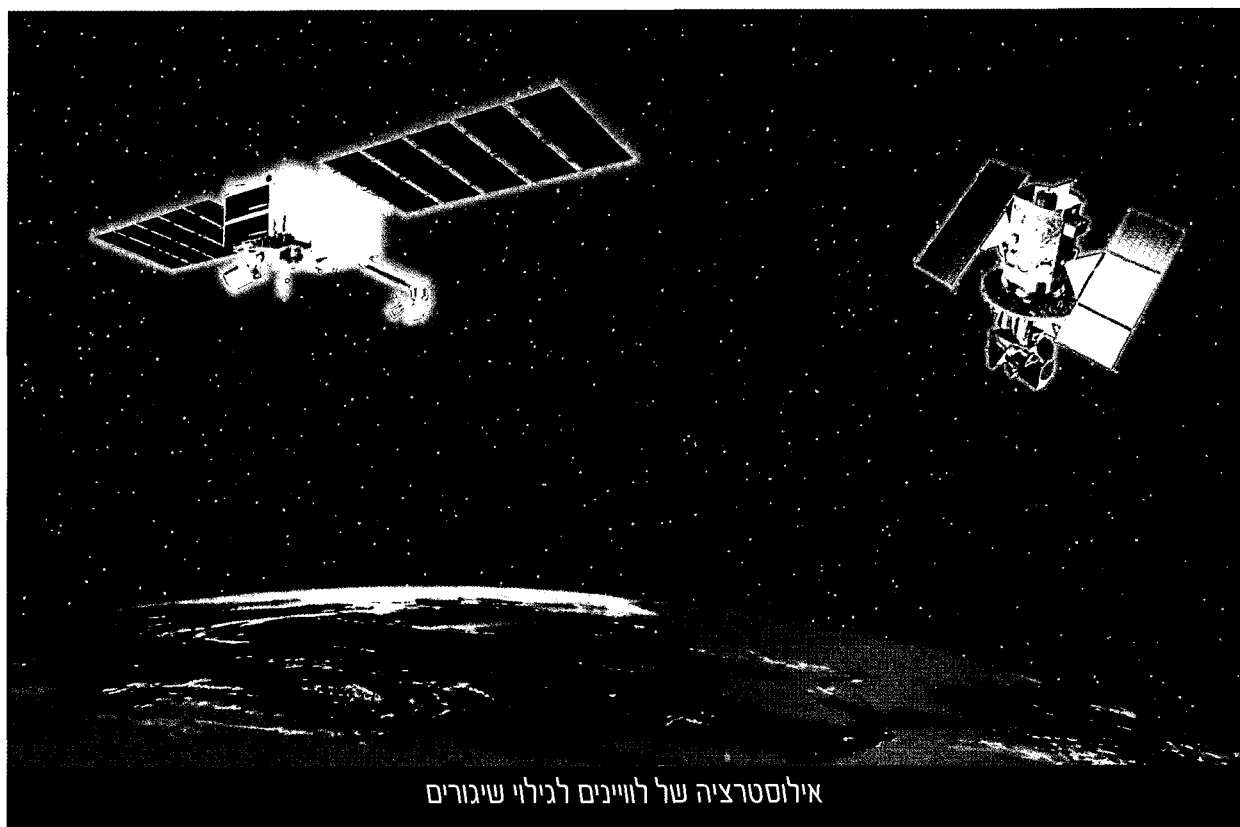
ישנן כמה דרכים להתמודד עם האיום של טילי-קרקע-קרקע: 1. הרתעה. זו מושגת כאשר ליריב ברור מעל לכל ספק שהמחיר שייגבה ממנו על התקפת טילים יהיה בלתי נסבל מבחינתו.

2. תקיפת מתקני השיגור. תקיפה כזאת יכולה להיעשות לפני התקפת הטילים (התקפת מנע) או אחריה. שיטה זו ננקטה במלחמת המפרץ על-ידי האמריקנים, אך לא זכתה להצלחה יתרה בשל מורכבותה. יתר על כן, אם משימת התקיפה מוטלת על מטוסים מאוישים או על כוחות מיוחדים, היא כרוכה בסיכון רב בשל השהות הממושכת עמוק בשטחו של האויב.

3. השמדת הטילים במעופם - הגנה אקטיבית. טיל ניתן להשמיד בכל אחד משלבי מעופו - כולל בהיותו בשיא גובהו או בעת חזרתו לאטמוספירה לקראת פגיעתו במטרתו. ניתן לבצע את המשימה הזאת באמצעות נשק מהחלל, אך נשק כזה עדיין אינו קיים. כאשר הטיל חוזר לאטמוספירה הוא מהיר מאוד - וזו מגרעת עבור מי שרוצה לירות אותו - אך מהרגע שבו כבה מנועו, והוא נע בכוח האינרציה והכבידה, קל מאוד לחשב את מסלולו ואת נקודת הנפילה שלו. זהו כמובן,



טיל המטרה "אנקור שחור", כפי שנוצפה בעין ה"חץ" רגע לפני השמדתו



אילוסטרציה של לוויינים לגילוי שיגורים

יתר על כן, מטוס נוסעים טס בגובה של כ-10 ק"מ; מטוסי קרב מגביהים עד כדי 20 ק"מ, ואילו טילי קרקע-קרקע טקטיים מגיעים בשיא מעופם לגובה של 300-400 ק"מ (כרבע מהטווח שלהם).

הטכנולוגיה שאמורה לאפשר לטיל מיירט לבצע את משימתו חייבת להיות ייחודית ועל גבול המדע הבדיוני, שכן היא צריכה לכלול את היכולות הבאות: קבלת החלטות בקבועי זמן של מאיות שנייה, ניהוג בחלל במהירויות היפרסוניות וכוונון למטרה בדיוק של מטרים אחדים (ובפגיעת גוף בגוף לעיתים גם בדיוק של פחות ממטר).

### אתגר ההוכחה

מערכת קרקעית חדשה, שפיתוחה הסתיים, נבדקת שוב ושוב בכל אופני הפעולה שלה, עד שיוצאת ההכרזה שהיא תקינה וכשירה. מטוס חדש עובר סדרות של בדיקות על הקרקע ובאוויר, המסתכמות באלפי שעות פעולה, ובמהלכן נבחנת כל מעטפת הטיסה שלו על פינותיה ונגזרותיה.

מערכת טילית, שכל ניסוי טיסה שלה מורכב מאוד ויקר, מחייבת גישה שונה:

תוכנית הניסויים מגדירה בקפידה מתארי יירוט כך שיכללו את מרב הנושאים לבדיקה. הטיל הנבדק משוגר מחוף

יתרון מבחינת המיירט. מאחר שתמיד ישנה סכנה שהטיל נושא חימוש לא קונוונציונלי, רצוי מאוד להשמידו מוקדם ככל האפשר. ישנם יתרונות רבים ליירוט הטיל על-ידי מערכת הגנה אקטיבית, ובכללם: אי-תלות במרחק שממנו שוגר הטיל התוקף; אין צורך לסכן לוחמים; היות המערכת דרוכה לקרב בעורף כל הזמן. 4. הגנה פסיבית, דהיינו בניית מקלטים וממ"דים לאוכלוסייה, חלוקת ערכות מגן, התקנת אזעקות. לטובת טיפול מיטבי בנדבך זה הוקם פיקוד העורף, המשקיע מאמצים רבים במיגון האוכלוסייה. שילוב של ארבעת הנדבכים שלעיל מהווה מענה שלם ומקיף לאיום.

**הטכנולוגיה שאמורה לאפשר לטיל מיירט לבצע את משימתו חייבת להיות ייחודית ועל גבול המדע הבדיוני**

### הממדים החדשים של המלחמה

טילי הקרקע-קרקע והניסיון ליירטם הכניסו ממדים חדשים למלחמה. למשל, בעוד שמטוס קרב יכול לנוע במהירות של 2,000 ק"מ בשעה, הרי טיל קרקע-קרקע נכנס לאטמוספירה במהירות של כ-10,000 ק"מ בשעה. כאשר טיל מיירט נע לעבר טיל הקרקע-קרקע במהירות דומה, הרי עשויים שני הטילים לחלוף זה על פני זה במהירות כפולה!



מרכז ניהול יירוטים (מנ"י)

מדינת ישראל לכיוון האפשרי היחיד (מערבה) ובמגבלות בטיחות חמורות במיוחד. במתאר של מיעוט ניסויי שיגור ויירוט מלא יש להעלות את רמת האמינות של המערכת באמצעות כלים מעבדתיים. בדיקת מערכות דוגמת ה"חץ" נשענת על בניית סימולציה ואתרי מעבדה מגוונים, אשר אמורים לבדוק את המערכת ולהוכיח את כשירותה באופנים שונים. הבולטים שבהם: "סימולציית 6 דרגות חופש", המדמה כוחות ומומנטים הפועלים על הטיל בטיסה; סימולציה משלבת חומרה, אשר משלבת דימוי טיסה עם רכיבי חומרה של טיל; מעבדת שילובים, המכילה את רוב מרכיבי המערכת נוסף על הטיל תחת קורת גג אחת.

כלים מעבדתיים אלה נועדו יחדיו לכסות את כלל המעטפת של פעולת המערכת ולבחון יכולות והמלצות לשיפור.

## איך זה עובד? מרכיבי המערכת

סוללת "חץ" מורכבת משני מערכים: מערך הגילוי והשו"ב (שליטה ובקרה) ומערך היירוט. מערך הגילוי כולל את המכ"ם "אורן ירוק" מתוצרת "אלתא" ואת מרכז השליטה והבקרה "אתרוג זהב" מתוצרת "תדיראן מערכות", שהינו "מרכז העצבים" וההפעלה של המערכת. מערך היירוט כולל את מרכז בקרת המשגרים, את המשגרים וכמובן את טיל ה"חץ" – כולם מתוצרת התעשייה האווירית – מל"מ וקבלני המשנה שלה.

## אופן הפעולה

הטיל התוקף מתחיל במעופו – תחילה במהירויות נמוכות תוך בעירת מנועים והאצה. בהמשך יהיה מסלולו בליסטי (קפליראני) וניתן לחזוי מראש. המכ"ם

"אורן ירוק" יאתר אותו בדרך כלל כבר בשלב מוקדם זה, יעקוב אחריו במשך כל מעופו – אם נדרש – וידווח למרכז השו"ב על הממצאים. "עינו הפקוחה" של ה"אורן" כבר הוכיחה את עצמה פעמיים עת גילתה בשנתיים האחרונות במסגרת פעילות שגרתית שני שיגורים ניסיוניים של טילי "סקאד" בשטח סוריה. כמו כן הוכיח את עצמו המכ"ם בכל ניסויי ה"חץ" האחרונים. במהלך פעולת המערכת משמש המכ"ם הן לגילוי מטרות חדשות והן כמכ"ם בקרת אש המתקשר עם הטיל במהלך היירוט. המכ"ם יספק בשלב מוקדם התרעה לפיקוד העורף. מרכז השו"ב, שהוא "מרכז העצבים", יבצע בשלב הזה יחד עם "אורן ירוק" הערכת איום

ויקבע – לעיתים באופן אוטומטי ולעיתים על-ידי מפעיל – מהי חומרת האיום.

ברגע שנקבע כי מדובר באיום של ממש (כלומר, שאין מדובר בחללית או במטאוריט) מכין מחשב השו"ב – הנקרא גם מרכז ניהול היירוטים (מנ"י) – תוכניות הגנה. בניית תוכנית כזאת, המבוצעת בתוך פרקי זמן קצרים מאוד, מביאה בחשבון עשרות פרמטרים כדי להביא את הטיל המגן הנכון למטרה הנכונה, דהיינו המאיימת ביותר, במסלול האופטימלי הרצוי בנקודה הנכונה במרחב ובתזמון הרצוי. בזמן המתאים יועלו המתחים במשגר, וטילי ה"חץ", המצויים בתוך זבילים מוזקפים, יופעלו אף הם לאחר שיבוצעו בדיקת תקינות ודיווח למרכז השו"ב על מוכנות לירי. מרכז השו"ב מחזיק בכל עת תמונת שמיים מלאה ויודע להבחין בין כלל המטרות וכלל המיירטים באוויר. לכל מטרה מוקצה טיל "חץ" מגן עם תוכנית משימה ברורה, הכוללת "המלצה" למסלול טיסה.

**שלוש תוכניות עיקריות  
מצויות כעת בשלבים שונים:  
תוכנית שיפורים, ייצור  
משותף ותוכנית להוזלת  
עלות מחזור החיים**

## ומה עושה טיל ה"חץ"?

הטיל יוצא לדרך ומואיץ באמצעות מנוע מתוצרת התעשייה הצבאית (תעש), מגיע למהירות גבוהה מאוד ומתכוונן לנקודת המפגש. כל עוד טס הטיל בתוך האטמוספירה, הוא יכול להשתמש בהגאיו ובמנועי ההכוונה הווקטורית שלו (TVC) להיגוי. מחוץ לאטמוספירה נדרשים אמצעי ניהוג ייחודיים. בתוך זמן קצר יוצא הטיל אל מחוץ לאטמוספירה תוך שהוא נשאר כל הזמן בעקיבה של מכ"ם ה"אורן". הניווט לנקודת היירוט מבוצע בדייקנות באמצעות מערכת ניווט מתוצרת מפעל תמ"מ של התעשייה האווירית. כשהטיל מתקרב לנקודת היירוט בגובה רב, הוא מנתק



תהליך יירוט של טיל על-ידי מערכת ה"חץ"

האוויר. במערכת הביטחון הוחלט, משיקולים אסטרטגיים, להתחיל בהצטיידות עוד בטרם הושלם הפיתוח כדי להציב מענה לאיומים עכשוויים.

מצב זה שבו החל הייצור עוד לפני שהסתיים לגמרי הפיתוח יצר לעיתים צורך לשדרג ציוד שכבר סופק. יחד עם זאת איפשרה השיטה הזאת להציב מערכת מבצעית בלו"ז קצר מאוד – בהשוואה למקובל במערכות נשק בסדר גודל כזה.

תוכנית הפיתוח – על אף שהגיעה לשלב בשלות – מוסיפה להתקיים תוך ראיית הצרכים העתידיים; הייצור הינו זה זמן רב סדרתי, כך שקצב הספקת הטיילים והמשגרים הוא קבוע ומשביע רצון, והמערכת נקלטת בחיל האוויר. תוכנית הקליטה מקיפה פעילויות רבות: הקמת יחידה מבצעית, בנייתן של תשתיות נאותות ושל "חליפה לוגיסטית" תחזוקתית" מלאה, הכוללת חלפים, ציוד בדיקה והדרכות. יחידת ה"חץ", המשתייכת לכוחות הנ"מ, הוקמה והוכרה מבצעית באוקטובר 2000, לאחר שעמדה בביקורת כשירות וכוננות בתנאים שהוגדרו על-ידי הגופים המבצעיים בצה"ל.

### עם העיניים קדימה

שלוש תוכניות עיקריות מצויות כעת בשלבים שונים: תוכנית שיפורים, ייצור משותף ותוכנית להוזלת עלות מחזור החיים. תוכנית השיפורים, הקרויה Arrow System Improvement Program (ASIP), ואשר מבוצעת בשיתוף הדוק עם האמריקנים, נועדה להמליץ על שיפורים כדי

את השלב הראשון, שסיים לבעור, מצית את מנוע שלב 2 מתוצרת רפא"ל ומגדיל את מהירותו בזמן הביות.

עד השלב הזה נע ה"חץ" עצמאית תוך עדכון מהקרע, ולקראת המפגש הוא פותח את העין האלקטרואופטית שלו (EOS) מתוצרת התע"א-תמ"מ כדי לרכוש את המטרה בעצמו ולהתביית עליה. התמונה המדויקת של המטרה מאפשרת כוונון מופתי עד כדי השגת פגיעה של גוף בגוף – יכולת שהוכחה בניסויים. מטעמי רובוסטיות וכדי להבטיח סיכויי הרג גבוהים, מכיל הטיל ראש קרבי (רש"ק) נפיץ, שפיצוץו בקרבת המטרה מאפשר להשיג השמדה גם במקרה של חליפה קרובה.

בסוללת "חץ" יש מספר משגרים. על כל משגר ניתן לשאת עד שישה טילים. המשגרים מחוברים למרכז בקרת המשגרים (מב"ס), אשר משמש להם גם כ"מנהל תחזוקתי". המערך כולו, הנקרא "חרב מגן", אמור להכיל כמה סוללות. בשלושת הניסויים האחרונים, שבהם נבחנה המערכת כולה נגד מטרת "אנקור שחור" מתוצרת רפא"ל, המדמה טיל "סקאד", פעלו כל האלמנטים והלוגיקה – שתוארו לעיל – בהרמוניה מופתית ובהצלחה.

### סטטוס הפרויקט

הפעילות בפרויקט נפרסה על פני כמה תוכניות פיתוח, שבעקבותיהן באו תוכנית ייצור ותוכנית קליטה. תוכניות הפיתוח נועדו להביא את המערכת למצב שבו תוכל לתת מענה מלא לדרישה המבצעית כפי שהוגדרה על-ידי חיל

ראשוניים – SBIRS High ו-SBIRS Low. המערכות האלה כוללות לוויינים, המצוידים בגלאי אינפרא-אדום (IR) לזיהוי של שובל החום האדיר הנפלט עם שיגור הטיל. מדובר במערכות שיכולות לעדכן מייד עם השיגור את מערכות היירוט למיניהן ובכך לשפר משמעותית את הזמן העומד לרשותן להתארגן לירי.

### ב. תפעול מהאוויר (Air Based - AB)

הפרויקט העיקרי בקטיגוריה הזאת קרוי (Airborne Laser - ABL), והוא מבוסס על הסבת מטוס "בואינג 747" לתותח לייזר מעופף, אשר ישייט בגובה רב, יאתר שיגורי טק"ק ויפגע בהם באמצעות הקרן ממרחק של כמה מאות ק"מ. המטוסים האלה צפויים להיכנס לשירות לקראת סוף העשור הנוכחי.

### ג. תפעול מהקרקע (Ground Based - GB)

בקטיגוריה הזאת יש לציין ארבעה פרויקטים מרכזיים:

1. פרויקט Theater High Altitude Area Defense (THAAD) - פרויקט זה מיועד להקנות הגנה זירתית על כוחות אמריקניים פורסים. הפרויקט כולל טיל מתוצרת חברת "לוקהיד מרטיין", האמור לירות טילים בליסטיים בגובה רב בשיטה של פגיעת גוף בגוף (Hit to Kill). רוב הניסויים בתחילת הפרויקט נכשלו מסיבות שונות. סדרת הצלחות בניסויי יירוט סבוכים חתמה פרק ראשון בפרויקט הזה, שמצוי כעת בשלב של שיפורי תכנון. הפרויקט הינו מהגדולים שבתחום ההגנה נגד טק"ק ומתוכנן להיות מבצעי לקראת סוף העשור.
2. "פטריוט" מדגם PAC-3. פרויקט זה מצוי בשלב המתקדם ביותר מבין המוזכרים - על סף הפיכתו למבצעי. במסגרת הפרויקט שופרה יכולתה של מערכת ה"פטריוט" מדגם PAC-2 להתמודד עם טילים. גרסה קודמת של דגם ה-PAC-2 הוצבה בארץ במלחמת המפרץ, אך לא הצליחה להתמודד עם טילי ה"סקאד" - בראש ובראשונה משום שלא תוכננה להיות מערכת נגד טילים אלא נגד מטוסים.
3. MEADS (Medium Extended Air Defense System). הפרויקט הזה משותף לארה"ב ולאירופה ומבוסס על טיל הפטריוט PAC-3, שהותקנה בו מערכת שו"ב המותאמת לזירה האירופית. התוכנית מצויה בשלביה הראשוניים.
4. Ground Based Midcourse - פרויקט רב היקף, אשר נועד לספק הגנה לאומית לערי ארה"ב נגד טילים תוקפים ארוכי טווח. הפרויקט מצוי בעיצומה של תוכנית הפיתוח וצבר באחרונה מספר הצלחות בניסויים.

טילי הקרקע-קרקע והניסיון לייטרם הכניסו ממדים חדשים למלחמה

### ד. תפעול מהים (Sea Based - SB)

הפרויקט העיקרי בקטיגוריה הזאת הוא AEGIS TMD, הנקרא גם Sea Based Midcourse Defense (SMD) המיועד

להתמודד עם איום עתידי, מעבר לאופק, שהוגדר למערכת הנוכחית. דגש מושם על שיפור המערכת הקיימת בלי לשנות מהותית מבנה ותצורה (אבולוציה ולא רבולוציה). במסגרת התוכנית מתוכננים ניסויי יירוט בארה"ב, וכן מוקדש מאמץ לשיפור הקישוריות (Interoperability) למערכות אמריקניות - כדי לשפר את יכולת שילובן עם ה"חץ" בשדה הקרב.

במסגרת הסכם אסטרטגי לייצור משותף נבחרה בתחילת 2002 חברת "בואינג", ובקרוב היא תתחיל לייצר במתקניה כמחצית מרכיבי הטיל על בסיס ידע שיועבר אליה. הדבר יאפשר להגדיל את קצב הייצור של הטילים. התוכנית ממומנת ברובה על-ידי האמריקנים.

התוכנית להוזיל את עלות מחזור חיים (Life Cycle Cost) נועדה להקטין את עלות אחזקתה של המערכת לאורך זמן. במסגרת התוכנית נלקח סד"כ מדגמי לבדיקות במרווחי זמן גדולים מהמוגדר בהתחלה. אם המערכת עומדת בהצלחה בבדיקות, מרווחים את פרקי הזמן בין בדיקה לבדיקה ובכך חוסכים כסף וזמן יקר. נוסף על כך נעשים ניסיונות לקצר ולייעל את הבדיקות עצמן. במקביל מבוצעת תוכנית לרחיית התיישנותם של רכיבים דוגמת מנועים רקטיים, רכיבי פירוטכניקה, אטמים ומכלי לחץ. מטרת התוכנית היא להעריך ולהאריך את משך חייהם של הרכיבים האלה ושל חיי הטיל כולו.

### פרויקטים בעולם להגנה מפני טק"ק

מדינות רבות, שאחדות מהן רואות במערב אויב שיש להשמידו, מצטיידות בטק"ק וכבר הוכיחו שאין הן בוחלות באלימות על כל גוניה ומוכנות לסכן את אזרחיהן.

התפוררותה של ברית-המועצות הפכה רבים ממדעניה למובטלים ורבים מאמצעי הלחימה שלה לנגישים ולקלים להשגה. מדינות נחשלות בעלות יכולת טכנולוגית נמוכה השיגו בחברה-המדינית בקלות בלתי נסבלת מידע ואמצעים לייצור טילים בליסטיים.

ההכרה בעולם כי האיום אכן ממשי חילחלה לאיטה, וכיום מפותחות כמה תוכניות להתגוננות מפני טק"ק. ניתן לסווגן על-פי:

1. השלב שנבחר ליירוט: האצה (Boost), טיסה בחלל (Mid Course) או חזרה לאטמוספירה.
2. האזורים שעליהם הן מופקדות: הגנה לאומית (National Missile Defense - NMD), או הגנה אזורית (Theater Missile Defense - TMD).
3. מרחב תפעולן: מהחלל, מהאוויר, מהיבשה או מהים.

### א. תפעול מהחלל (Space Based - SB)

עדיין אין מערכת ליירוט טילים מהחלל, אך ישנן שתי מערכות חדשניות לגילוי שיגורים, הנמצאות בשלבי פיתוח

הראשון ומקימה היה מר עוזי רובין. המנהלת כוללת מחלקה טכנית ומחלקה כלכלית, המורכבות מקצינים ומאזרחים. בראש קבוצת הפיתוח והייצור עומד מפעל מל"מ של התעשייה האווירית, המתפקד כקבלן ראשי של כלל המערכת. ראש הפרויקט במל"מ הוא בועז לוי. קדמו לו יוסי זק, יאיר רמתי וד"ר דני פרץ.

המשרד האחראי על פרויקט ה"חץ" בארה"ב (Arrow Project Office) כפוף לרשות להגנה מפני טילים (MDA - Missile Defense Agency) שבראשות גנרל Kadish. המשרד הזה שותף לכלל פעילויות הפיתוח והייצור ואחראי על כך שהכספים האמריקניים ינוצלו נכון ושהידע הנצבר בפרויקט יהיה גם לתועלת ארה"ב.

ראוי לציין במיוחד את תרומתו המכרעת - באמונה, בתמיכה ובהובלה - של מנכ"ל משרד הביטחון בתקופה הקריטית לפרויקט, אלוף (מיל') דוד עברי.

בצה"ל בכלל ובחיל האוויר וכוחות הנ"מ בפרט אמונים גופים שונים על הפן המבצעי, התפעולי, התחזוקתי ועל הניסויים. להם מגיע קרדיט מלא על עשייה יומיומית, אשר לא תפורט מסיבות מובנות.

### עובדות נוספות שכדאי לדעת

- מערכת ה"חץ" - בין היתר בשל היותה הגנתית טהורה - זוכה לאהדה ולהערכה גדולה בקרב כל הגופים העוסקים בהגנה מפני טק"ק (BMD) - בעולם בכלל ובארה"ב בפרט.
- התוכנית הישראלית-אמריקנית המשותפת להגנה זירתית מפני טילים (TMD) בת 14 השנים היא מהגדולות והנרחבות ביותר בתולדות שיתוף הפעולה הביטחוני בין ארה"ב לישראל.
- תוכנית הפיתוח, הייצור והקליטה, שבה מעורבים גופים רבים בישראל ובארה"ב, מבוצעת בהרמוניה ובמוטיווציה גבוהות - תופעה שהיא ייחודית בפרויקטים כל כך גדולים, סבוכים ומורכבים.
- אין במערב - חוץ מאשר בישראל - יכולת מבצעית להגנה מפני טק"ק.
- פיתוח המערכת תרם משמעותית ליכולת המו"פ והייצור במדינת ישראל.
- פיתוח הפרויקט לווה בפריצות דרך טכנולוגיות, שיש בהן יצירתיות, ייחודיות וכושר המצאה. מסיבות מובנות לא ניתן להרחיב את הדיבור על פריצות הדרך האלה.
- התוכנית יצרה אלפי מקומות עבודה בארץ לאורך שנים רבות.
- התוכנית סיפקה לאמריקנים ידע טכנולוגי רב, המשמש אותם בתוכניותיהם.
- למערכת ה"חץ" נבנית יכולת קישוריות

אף הוא להגנה זירתית על כוחות פרוסים ומנצל צי אוניות קיים, המשייט דרך קבע באוקיינוסים ובימים ומצויד באמצעי קשר ומכ"ם מתקדמים. הפרויקט מבוסס בעיקר על חימוש האוניות בטילי Standard, המיועדים ליירוט טילים בליסטיים בגובה רב.

### שאלות ותשובות

להלן תשובות לכמה מהשאלות הנפוצות ביותר שנוהגים להציג למנהליו של פרויקט ה"חץ":

#### האם מערכת ה"חץ" מספקת מענה לאיום?

המענה שנותנת המערכת לאיום הטק"ק בנקודת הזמן הנוכחית הוא טוב מאוד - ובהתאם למוגדר בדרישה המבצעית. ביכולתה של מערכת ה"חץ" להתמודד היטב עם כל איום של טק"ק הקיים היום בזירה - גבוה ורחוק מגבולות המדינה.

היירוט האופטימלי יהיה תמיד זה המתבצע קרוב ככל האפשר לנקודת השיגור של הטיל המאיים, והמצב האידיאלי ביותר הוא שלא יהיה כלל צורך ביירוט, אלא ניתן יהיה להשמיד את הטיל יחד עם משגרו עוד לפני השיגור. אולם

הן השמדה בטרם שיגור והן השמדה מייד עם השיגור מחייבות שהייה מתמדת מעל לשטח האויב ויכולות איכון משוכללות ביותר. מדובר בשתי יכולות שקשה מאוד ויקר להשיגן באמצעות הטכנולוגיות הנוכחיות.

#### האם המענה מלא ומושלם?

שום טכנולוגיה עכשווית אינה מסוגלת לספק ביטחון של 100%. עם זאת יש לזכור:

1. מערכת ה"חץ" צפויה ליירט את מרבית הטילים התוקפים.
2. ישנה חשיבות מכרעת ליכולתה (המוכחת) של המערכת לגלות טילים מאיימים כבר בתחילת שיגורם. גילוי כזה נותן לאוכלוסייה התרעה סבירה של דקות יקרות.
3. המערכת אינה לבדה במערכה. קיימים רבדים משלימים, דוגמת טילי ה"פטריוט" ואמצעים נוספים בעלי יכולת קישוריות ביניהם.

#### האם אנו ערוכים לאיומים עתידיים?

בפיתוח המערכת נלקחו בחשבון גם איומים עתידיים.

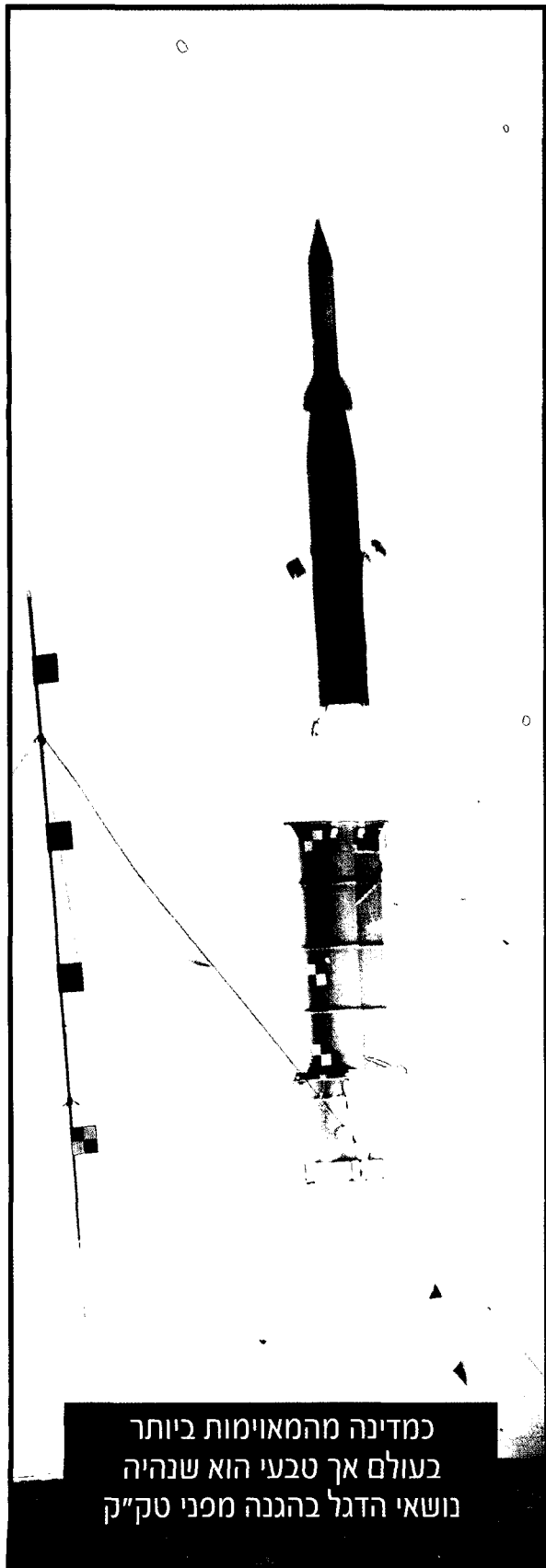
#### האם המערכת מבצעית?

המערכת היא מבצעית. אנשי חיל האוויר הגדירו שורה של פרמטרים ותנאים להכרזה על היות המערכת מבצעית, ובכולם היא עמדה.

#### מיהם העוסקים במלאכה?

בראש הפרויקט עומד ראש מנהלת "חומה" במשרד הביטחון/מפא"ת, מר אריה הרצוג.

המנהלת אחראית על ניהול תוכנית העבודה, על התקציב ועל הסנכרון בין כל הגופים המעורבים. ראש המנהלת



כמדינה מהמאוימות ביותר בעולם אך טבעי הוא שנהיה נושאי הדגל בהגנה מפני טק"ק

(Interoperability) למערכות חיצוניות נוספות. יכולת זו משפרת ותשפר בעתיד את כושר הגילוי והיירוט של המערכת.

- פיתוח מערכת נשק בסדר גודל כזה והפיכתה למבצעית בתוך 12 שנים הינו שיא עולמי – מה עוד שלמפתחים לא היה ממי ללמוד.

### סיכום

הואיל והזאב והכבש טרם עברו לגור ביחד, והיות ויציבות, אחווה ורוגע אינם משופעים במזרח התיכון, נגזר על מדינת ישראל לחיות על חרבה עוד זמן מה.

כמדינה מהמאוימות ביותר בעולם אך טבעי הוא שנהיה נושאי הדגל בהגנה מפני טק"ק, וכך נהיינו.

קולם של מלמדי הקטיגוריה על המערכת הולך ודועך עם הצטברות ההצלחות בניסויים ובהצטיידות ועם התעצמות המערכת.

### בין השאר טענו המקטרגים:

- פגיעת טיל בטיל במהירויות כה גבוהות משולה להפלת כדור רובה בכדור רובה, ולכן מבחינה טכנולוגית זוהי משימה בלתי אפשרית (הופרך).
- עלות הפרויקט אינה מצדיקה את התועלת (ומהו המחיר הפוליטי-כלכלי של אי-הגנה?)
- עלותו של טיל ה"חץ" גבוהה מאוד ביחס ל"סקאד" הזול (ומהי עלות הנזק הישיר והעקיף של נפילת "סקאד" על ריכוז אוכלוסייה?)
- בנייתה של מערכת הגנה מעודדת התחמשות בצד האויב (אולי, אך האם בשל כך לא נבנה הגנה?) ולסיום: יש כבר עתה מענה לאיום הטק"ק – מוכן, דרוך ומוכח, הטוב ביותר האפשרי בהשוואה לקיים בעולם ובוודאי בהשוואה למה שהיה קיים במלחמת המפרץ. שיפורי המערך לא הסתיימו, והמענה לאיום העתידי לא נעלם מעינינו.

### מקורות:

1. בן-ציון נווה ועזריאל לורבר מחברת ויילס (עורכים), Theater Ballistic Missile Defense בהוצאת AIAA

מידע נוסף ניתן למצוא באתר מנהלת "חומה" באינטרנט: [www.mod.gov.il/modh1/homa](http://www.mod.gov.il/modh1/homa)



# הלוחמה האלקטרונית - הייעוד והאתגר

המאמר סוקר את תחומי ה"א", את סוגי המערכות ואת הטכנולוגיות העיקריות. במקביל הוא דן באתגרים העומדים בפני מתכנניהן של מערכות אלה, שהן מורכבות מאוד. עקב קוצר היריעה, הרי שמעבר לסקירה הכללית ולמיפוי של תחומי ה"א" הוא מתמקד בתחום אחד של ל"א - הגנה על מטוסים. זהו נושא רלוונטי במיוחד בימים אלה, לאחר ניסיון הפיגוע באמצעות ירי טילים על מטוס "ארקיע" בקניה

אל"ם ד"ר ד', סא"ל (מילי) מ', סא"ל ז', רס"ן א' / קצינים במחלקת אלקטרוניקה ולוחמה אלקטרונית

המאמר כולל סקירה כללית של תחומי ה"א", סוגי המערכות והטכנולוגיות העיקריות. במקביל הוא דן באתגרים העומדים בפני מתכנניהן של מערכות כאלה, שהן מורכבות מאוד. עקב קוצר היריעה, הרי שמעבר לסקירה הכללית ולמיפוי של תחומי ה"א" נתמקד בתחום אחד של ל"א - הגנה על מטוסים. זהו נושא רלוונטי במיוחד בימים אלה, לאחר ניסיון הפיגוע באמצעות ירי טילים על מטוס "ארקיע" בקניה.

## הגדרת תחומי הפעילות של הלוחמה האלקטרונית

רווחת התפיסה השגויה, שלפיה הלוחמה האלקטרונית באה לידי ביטוי אך ורק בהפעלה של אמצעים אלקטרוניים נגד מערכות הקליטה והשידור של האויב (הן בתחום המכ"ם, הן בתחום התקשורת והן בתחומים האלקטרואופטיים). למעשה הלוחמה האלקטרונית במובנה הרחב כוללת

בתוכה מספר רב של תחומי פעילות. איור מספר 1 מתאר את היררכיית התחומים, המפורטים להלן:

1. מודיעין אלקטרוני (SIGINT - Signal Intelligence): איסוף מידע מהאותות האלקטרוניים שפולטות מערכות הנשק של האויב. מדובר בלימוד הפרמטרים והמאפיינים של האותות האלה, לעיתים תוך איכנום (מציאת מקומם הגיאוגרפי). תחום זה נחלק לשתי קטיגוריות: האחת, אלינ"ט (ELINT - Electronic Intelligence) העוסקת בעיקר במכ"מים, והאחרת, קומיני"ט (COMINT - Communication Intelligence) העוסקת בתקשורת לסוגיה השונים (מיצוי מידע אלקטרוני הטמון באותות

## מבוא

לוחמה אלקטרונית (ל"א) (EW - Electronic Warfare) היא מרכיב מרכזי במערך המבצעי של כל חיל מודרני ומהווה "מכפיל כוח" משמעותי במאמץ להשיג עליונות אווירית, ימית ויבשתית מול הכוחות ומערכי ההגנה של האויב. חשיבותה של הלוחמה האלקטרונית ותרומתה הוכחו כבר במלחמת העולם השנייה ולאחר מכן בעימותים בין-לאומיים נוספים, ובהם מלחמות קוריאה, וייטנאם, המפרץ וקוסובו וכן במלחמות ובמבצעים של צה"ל.

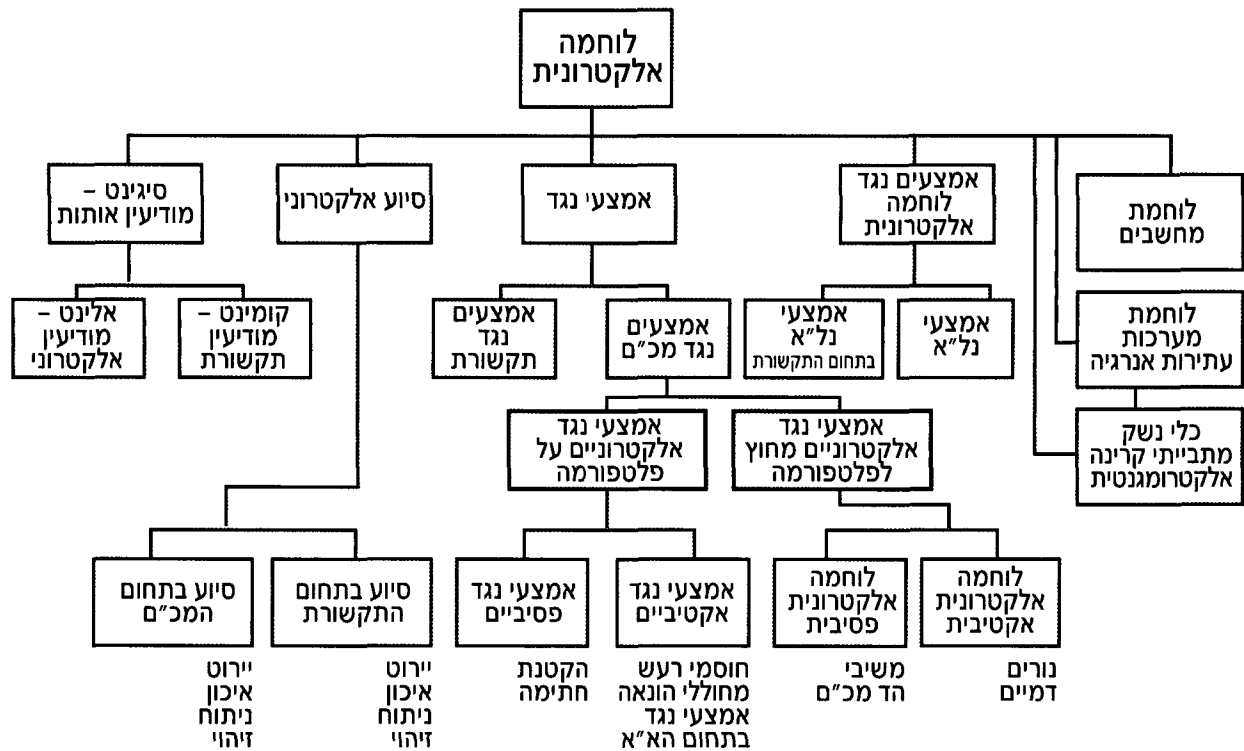
התפיסה המבצעית כיום גורסת שילוב של הלוחמה האלקטרונית כחלק אינטגרלי מהכוחות ומהאמצעים לנטרול כל מערך השליטה, הבקרה וההגנה של האויב ברמה האסטרטגית ולמתן מרחב חופשי לפעולה לכוחותינו. האיומים שבהם מטפלות מערכות ל"א הם מגוונים. להלן דוגמאות אחדות:

- מכ"מים קרקעיים לגילוי ולהתרעה מוקדמת.
- מכ"מים קרקעיים או מושטים לחיפוש ולבקרת אש (כגון המכ"ם של ה-SA-8) ומכ"מים מוטסים (כגון המכ"ם של ה"מיג-29").
- טילים (מתבייתי קרינה אלקטרומגנטית, כגון טיל נ"מ מדגם SA-5, מתבייתי חום, כגון טילי כתף נגד מטוסים מדגם "סטרה" - SA-7 - וטילי אוויר-אוויר, הקיימים במגוון רחב של דגמים).
- מערכות תקשורת מכל הסוגים.
- מחשבים ורשתות מחשבים (המטרה היא להגן על מערכותינו ובמקביל לחדור למערכות האויב).

התפיסה המבצעית כיום גורסת שילוב של הלוחמה האלקטרונית כחלק אינטגרלי מהכוחות ומהאמצעים לנטרול כל מערך השליטה, הבקרה וההגנה של האויב ברמה האסטרטגית



# איור 1: תחומי הלוחמה האלקטרונית המודרנית



מערכות אלקטרוניות באמצעות הקרנת גלים אלקטרומגנטיים בהספקים גבוהים למשכי זמן קצרים מאוד (דפקים קצרים).

7. כלי נשק מתבייתי קרינה אלקטרומגנטית כגון - **ARM Anti Radiation Missiles**: מטרת המערכות האלה היא להתביית על המערכות האלקטרוניות הקורנות של האויב (כגון מכ"ם של הגנה אווירית) ולהשמידן. לעיתים נהוג לבצע מיפוי בחתך אחר: ל"א הגנתי (Defensive EW) ול"א התקפי (Offensive EW). לפי החלוקה הזאת התחומים 4-1 שלעיל שייכים ל"א ההגנתי, התחומים 6-7 שייכים ל"א ההתקפי, ואילו התחום החמישי שייך לשניהם.

כל אחד מתחומי הפעילות האלו נחלק לתת-תחומים, כפי שמוצג באיור מספר 1, ולכל אחד תפקיד חיוני להשגת המטרה הכוללת של הלוחמה האלקטרונית. תקצר היריעה כאן מלהתעמק בכל התחומים, לכן נתמקד בהמשך המאמר בתחום של אמצעי-הנגד (ECM) תוך מתן דוגמאות ממערך הל"א האווירי.

## סוגים של מערכות ל"א במערך האווירי

הייעוד של מערכות ל"א אוויריות הוא לשבש את מערכות הנשק, הבקרה והשליטה של האויב, העלולות לפגוע בביצוע

(וכן האזנה והפקת תשדורות).

2. **סיוע אלקטרוני (ESM - Electronic Support Measures)**: איסוף מידע אלקטרוני טקטי ממוקד על פעילות האויב ועל מיקומו ברגע מסוים כדי לסייע בהפעלת מערכות נשק נגדו.
3. **אמצעי-נגד (ECM - Electronic Countermeasures)**: אלה מופעלים כדי למנוע לחלוטין, לנטרל או לשבש את הפעלתן של מערכות האויב.
4. **אמצעים נגד לוחמה אלקטרונית (Countermeasures) (ECCM - Electronic Countermeasures)**: אמצעים להתגוננות מפני מערכות הל"א של האויב.
5. **לוחמת מחשבים (CW - Computers Warfare)**, **לוחמת מידע (IW - Information Warfare)**: לוחמת מחשבים יש שני היבטים - הן הגנתי (אבטחת מידע ושמירה על ביטחונן של רשתות המחשבים על כל מרכיביהן) והן התקפי (איתור נקודות תורפה, חדירה, השגת מידע וגרימת נזק).
6. **לוחמת מערכות עתירות אנרגיה בטכנולוגיות של HPM - High Power Microwaves ושל UWB Ultra Wide Band**: מטרתן של מערכות אלה לשתק

הייעוד של מערכות ל"א אוויריות הוא לשבש את מערכות הנשק, הבקרה והשליטה של האויב

לכמה מטוסים הנמצאים בקרבה גיאוגרפית זה לזה. פעולתה של המערכת אינה דורשת תיאום או תזמון עם מערכות הגנה מלוות של קבוצות מטוסים אחרות.

## מבנה עקרוני של מערכת ל"א אווירית

מערכות ל"א כוללות שלושה מכלולים עיקריים (כל מכלול עשוי להכיל כמה קופסאות):

1. מכלול אמצעי החישה.
2. מכלול האמצעים ליצירתן של טכניקות החסימה ולהפעלתן.
3. מכלול העיבוד, הבקרה ועיבוד האות.

איור מס' 3 מציג, לדוגמא, את מערכת ה"א המורכבת על מטוס הקרב החדש של חיל האוויר

הישראלי F-16 ("סופה"), שהיא המתקדמת ביותר בעולם. ככלל, מדובר במערכות אוטומטיות (בעיקר במערכות הגנה עצמית ובמערכות הגנה מלווה) עם יכולת להתערבות מפעיל (בעיקר במערכות הגנה מלווה והגנה מנגד). הדרישה המרכזית ממערכת ל"א היא שתפעיל את שיטת החסימה המיטבית נגד איומים בזמן תגובה קצר.

## מכלול אמצעי החישה

אמצעי החישה (למשל, במערכת הגנה עצמית) מאפשרים לקלוט סוגים שונים של אותות שנפלטים ממערכות הנשק:

1. מערכות התרעה לקליטת אותות אלקטרומגנטיים (RWR - Radar Warning Receivers) נגד איומים כגון מכ"מים לסוגיהם, טילים בעלי ראשי ביות אלקטרומגנטיים וכו'.

2. מערכת לגילוי פסיבי של גופים (כגון טילים), המתקרבים לעבר המטוס, באמצעות קליטת קרינה אינפרא-אדומה (IR - Infra-Red) או אולטרא-סגולה (UV - Ultra-Violet), הנפלטת מגופים אלה. מערכות אלה (PWS - Passive Warning System) מגלות איומים כגון טילי כתף מדגם SA-7

("סטרה"), שנורו לעבר מטוס "ארקיע" בקניה, טילי אוויר-אוויר, הנורים ממטוס אחד לעבר מטוס אחר, וטילי קרקע-אוויר, הנורים מהקרקע לעבר המטוס.

3. מערכות לגילוי לייזר, המאיר את המטוס (-LWS Laser Warning System). איום הלייזר משמש לביות טילי לייזר ולמידת טווח עבור נשק אחר.

4. מערכות אקטיביות מבוססות מכ"ם לגילוי גופים (דוגמת טילים) המתקרבים לעבר הפלטפורמה. (-MWS



משימותיהם של מטוסי חיל האוויר. שיבוש פעולתן של מערכות הנשק נדרש בכל שלבי העסקתן את המטרות - חיפוש, גילוי, זיהוי, עקיבה ושיגור טילים (לא נרחיב כאן בנושא של ל"א בתקשורת).

מערכות ל"א אוויריות מתחלקות לשני סוגים עיקריים, כמתואר באיור מספר 2:

מערכות הגנה עצמית (Self Defence) - נועדו להגן על הפלטפורמה האווירית שעליה הן מותקנות. מערכות מסייעות (Support Jamming) אלה נחלקות לשלושה סוגים:

- **מערכות "הגנה מנגד" (Stand Off)**. אלה מותקנות על פלטפורמות קבועות או ניידות (אוויריות או ימיות),

הנמצאות מחוץ לאזורים המוגנים על-ידי מערכות הנשק של האויב ומפעילות לוחמה אלקטרונית היוצרת "מסדרון מיסוך" עבור הכוחות (מטוסים ואוניות) התוקפים. משימת ה"א מושגת בדרך כלל באמצעות מספר פלטפורמות לשם השגת מסדרון מיסוך רצוף לכל אורך הפעולה של הכוחות התוקפים.

- **מערכות "הגנה בתוך" (Stand In)**. מדובר במערכות ל"א, המספקות הגנה לכוחות תוקפים בדומה למערכות "ההגנה מנגד", אך מופעלות מפלטפורמות בתוך האזורים המוגנים של האויב (אזורים עתירי איומים).

- **מערכות "הגנה מלווה" (Escort Jamming)**. אלה מותקנות על פלטפורמות, הנמצאות בקרבת הכוח התוקף ומקנות לו הגנת ל"א. בדרך כלל כל מערכת מספקת הגנה

**דרישה מרכזית ממערכת ל"א היא שתפעיל שיטת חסימה מיטבית נגד איומים בזמן תגובה קצר**

אותות, האחראים לתפעולן באופן שיבטיח יעילות מקסימלית. מחשבים אלה מקושרים גם לשאר המערכות האלקטרוניות המורכבות על הפלטפורמה על מנת לקבל ולמסור את המידע הנחוץ לתפעול השוטף של המערכות האלה ושל מערכת ה"א".

## אתגרים ומאפיינים בפיתוח מערכות לוחמה אלקטרוניות מודרניות

כאמור, עקב קוצר היריעה נתמקד במערכות ל"א אוויריות, המהוות רק נדבך אחד במיפוי התחומים שבוצע קודם לכן. מאפיין מרכזי בפיתוחן של מערכות לוחמה אלקטרוניות מודרניות הינו היותן תהליך רב ממדי, הדורש ניתוח ושילוב של מרכיבים שונים ומגוונים, הבאים מעולמות תוכן שונים, לכלל מערכת אחת.

הממדים העיקריים הראויים לפירוט הם:

**תהליך פיתוח "מניעתי" ו"תגובתי" -** כתגובה למערכות נשק קיימות ועתידיות ופיתוח נוסף נגד אמצעים נגד ל"א (נל"א). פיתוחה של מערכת לוחמה אלקטרונית הינו תהליך ארוך ורצוף של "משחק מוחות", שניתן להמשילו למשחק שחמט אין-סופי. תחילה מפתחים טכניקה יעילה נגד איום מסוים (מכ"ם, טיל, מערכת תקשורת וכו') על-ידי החוקרים, המדענים והמהנדסים ומיישמים אותה במערכות ה"א שבפיתוח או משביחים את המערכות המצויות כבר בשימוש. הצד שכנגד מפתח שיטות נגד-ל"א (נל"א) במטרה להתגבר על אותן טכניקות ל"א. וכך חוזר התהליך על עצמו פעמים רבות.

**מימוש טכני מורכב** (המושגת על פיתוחים המצויים בחזית הטכנולוגיה) ברמת המערכת והתקנתה על גבי הפלטפורמה הנושאת. מערכות ל"א נדרשות לפעול בזמןית נגד מספר רב של סוגי איומים, הפרוסים על פני ספקטרום רחב מאוד של תדרים ובזירה מרחבית גדולה (קרקעית, ימית ואווירית). יש להתאים למערכת ה"א יכולות שונות הן בקליטה והן בשידור על מנת לתת מענה לאיומים שונים, שלהם יכולות שונות. עקב כמות משאבים סופית במערכות ה"א, מערכות אלה נדרשות להיות בעלות יכולת הסתגלות דינמית מהירה לזירת האיומים ובעלות יכולת לחלק באופן דינמי את משאביהן על-פי עדיפויות וחומרת האיום.

הלוחמה האלקטרונית נדרשת להתמודד עם איומים בתחומי ספקטרום שונים:

- תחום תדרי מכ"ם לקליטה ולשיבוש מכ"מים וראשי ביות אלקטרומגנטיים.
- תחום IR (אינפרא-אדום) ו-UV (אולטרא-סגול) לגילוי ולשיבוש מערכות המתביות על חום.
- תחום תדרי הלייזר לגילוי מצייני לייזר ומדי טווח לייזר. כל המערכות נדרשות לעבוד באופן מתואם להשגת

גם במקרה הזה האיומים העיקריים הם טילי כתף, טילי אוויר-אוויר וטילי קרקע-אוויר.

הדרישות המרכזיות בתכן של החישנים האלה הוא יכולת לתת התרעה בכל המרחב תוך הסתברות לגילוי מקסימלי והסתברות מינימלית להתרעות שווא.

## מכלול האמצעים ליצירת טכניקות החסימה ולהפעלתן

האמצעים המייצרים את טכניקות ה"א כוללים:

1. משדרים לתחום האלקטרומגנטי (RF-) (Radio Frequency), המותקנים על הפלטפורמה או נגררים על ידה (Towed Decoys), המשדרים קרינה אלקטרומגנטית לעבר האיום.
2. מערכות לפיזור מוץ ונורים (בתחום ה-RF וה-IR). לאחר שחרורו מהווה המוץ "ענן" של סיבים דקים, המחזירים קרינה אלקטרומגנטית בצורה טובה, ובכך הוא הופך - אם הוא תוכנן נכון - למטרה אטרקטיבית יותר מהמטוס המאויים. התוצאה: הטיל טס לעבר המוץ ולא לעבר המטוס. באופן דומה פועלים הנורים. אלה משוחררים ברגע שמזוהה שיגור טילים מתבייתי חום (קרינת IR). הנורים פולטים גם הם קרינת IR ומטעים את הטילים לעבר הנורים.
3. שבשים בתחום ה-IR. השבשים האלה משבשים טילים המתביתים על חום. הם מבוססים על טכנולוגיית מנורות מאופננות רבות עוצמה או על לייזר המשבש, מסנוור או הורס את ראש הטיל.
4. אמצעי דמה: מחזירים פינתיים, פלטפורמות דמה עם אמצעים לדימוי מטרות אמיתיות.

טכניקות ה"א, המשמשות לשיבוש מערכות הנשק של האויב, הן תורה בפני עצמה.

אלה בעצם שידורים המקודדים בצורה מיוחדת (הן שידורים אלקטרומגנטיים והן בתחום האינפרא-אדום), כך שבהגיעם למערכות הנשק הם חודרים את כל מנגנוני ההגנה שלהן (דהיינו מתגברים על אמצעים נגד ל"א - נל"א), משביתים ומשבשים את האיומים. למעשה, טכניקות ה"א הן בבחינת "וירוסים" המשודרים באוויר וחודרים באופן ממוקד לאיום.

הפעלה של טכניקות ל"א מותנית ברוב המקרים בקליטה לשם גילוי האיומים על מנת שניתן יהיה להפעילן בצורה יעילה במישור המרחב/כיוון, הזמן והתדר.

## מכלול העיבוד, הבקרה ועיבוד האות

כל תתי-המערכות הנ"ל מחוברות למחשב המערכת ולמעבדי

במידה רבה ביותר במיקומם ובאופן התקנתם על הפלטפורמה מן ההיבטים הבאים:

- הסתרות לשדה הראייה.
- החזרים מגוף הפלטפורמה וממערכות הנשק שהיא נושאת.
- בידודים בין אלמנטי קליטה לאלמנטי שידור של מערכת ה"א" עצמה ובינה לבין מערכות אלקטרוניות אחרות על הפלטפורמה.

לפיכך תכנון של מערכת ל"א צריך להיעשות תוך הקדשת תשומת לב רבה לאופן התקנתה על הפלטפורמה (התאמת "חליפה" לפלטפורמה) ולהקצאת משאבי המיקום לחישנים ולאלמנטי השידור באופן מיטבי. באותה מידה נדרשת הקצאת נפחים, חשמל וקירור למכלולי המערכת.

### מתן מענה לדרישות של "חיים

**בצוותא** ברמת הפלטפורמה עצמה יחד עם מערכות עמית ועם מפריעים רבים בספקטרום הרלוונטי.

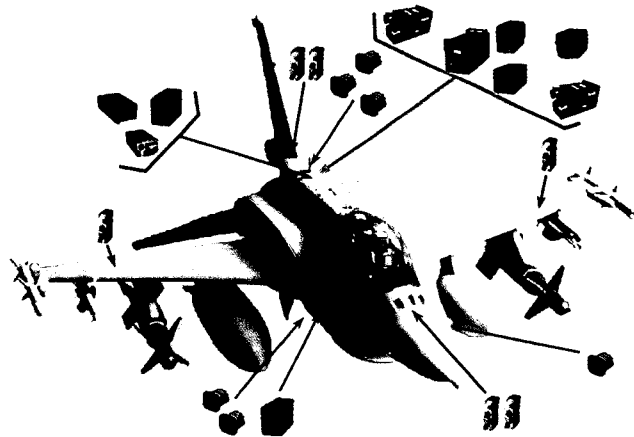
בהיותן מערכות קולטות ומשדרות על פני תחומי תדר רחבים מאוד, מערכות הלוחמה האלקטרונית הן מטבען מערכות מפריעות ומופרעות ממערכות קולטות ומשדרות בסביבתן. הדבר מודגש במערכות המותקנות על מטוסי קרב, שבהם המרחק בין האנטנות קטן, ובהתאם גם קטן הבידוד ביניהן. לכן קיים צורך לתכנן את המערכות ל"חיים בצוותא" עם יתר המערכות המורכבות על אותה פלטפורמה או בסביבתה הקרובה תוך התבססות על משטרי מערכת מתקדמים בתחום הזמן, התדר והמרחב ועל טכנולוגיות מתקדמות בעיבוד אותות.

פעולת המערכות היא בסביבה של איזמים אמיתיים, שנגדם הן נדרשות לפעול, אך באותו הזמן הן קולטות מאות אותות לא רצויים ואף מפריעים (ערוצי תקשורת אזרחיים, שידורים סלולריים, מכ"מים אזרחיים, חסימות, קרינת שמש ועוד). על המערכות להתמודד עם המפריעים האלה ולסננם כך שיעילותן נגד האיזמים האמיתיים לא תיפגע.

בחינת אמצעי ה"א היא בעייתית ומחייבת סימולציות (הדמיות) ויצירה מלאכותית של שדה הקרב העתידי. קיים קושי בבחינה ובמדידה מדויקת של יעילות תפקודן של מערכות ה"א בזמן הפעלתן המבצעית בשדה הקרב האמיתי. בתהליך הפיתוח וההערכה נדרשות סימולציות בהיקף גדול ובדיקה של המערכות במתקנים קרקעיים, מוטסים וימיים המדמים את זירת הקרב.

## איור 3: חליפת ה"א של מטוס F-16I ("סופה") של חיל האוויר הישראלי

- מערכת התרעה מפני מכ"ם
- סיוע אלקטרוני
- מערכת הגנה אקטיבית נגד טילים



יעילות מרבית.

הפעלה של מערכות ה"א לשיבוש האיומים דורשת קליטה, זיהוי והחלטה להפעלת האמצעים לשיבוש תוך יכולת הסתכלות רחבת פס וזמני תגובה קצרים ביותר.

האמצעים המופעלים על-ידי מערכות ה"א לשיבוש ולדיכוי האיומים כוללים משדרים בתחום ה-RF, מוץ ונורים, שבשים בתחום ה-IR, לייזרים ועוד. הפעלה של אחד האמצעים האלה עלולה לפגוע ביעילותו של אמצעי אחר שהופעל, ולכן נדרשת שליטה מרכזית בכלל האמצעים, והפעלתם חייבת להיעשות באופן מתואם להשגת יעילות מיטבית.

לכל מערכת נשק מודרנית, שמולה צריכות לפעול מערכות ה"א, יש מספר הולך וגדל של אופני עבודה (modes), וכל אופן מיועד לטפל באופן מיטבי במצב זירה מסוים. המעבר מאופן לאופן נעשה בצורה ידנית על-ידי מפעיל, באופן אוטומטי על-ידי המערכת, כאשר היא חשה שינוי בתנאי העבודה או באמצעות שילוב של אופן מפעיל (ידני) עם אופנים אוטומטיים. לכן מערכת ה"א נדרשת לבצע מעקב שוטף אחר שינויים באופני העבודה האלה ולהתאים את המענה בהתאם.

מערכות ה"א מותקנות בסוגים שונים של פלטפורמות: קרקעיות, מוטסות וימיות. בהיותן מערכות קולטות ומשדרות, יש להן חישני קליטה ואלמנטי שידור הפרוסים על פני הפלטפורמות על מנת לתת להן הגנה מרחבית מיטבית. הביצועים של אלמנטי החישה והשידור תלויים

- טכנולוגיות מתקדמות, שחלקן פותח במיוחד עבורן.
1. מיקרוגל: שפופרות שידור מסוג TWT, משדרי מצב מוצק, מכלולים היברידיים ממוזערים.
  2. אנטנות, ראדומים ומקטבים, מערכים סורקים (Phased Array, MBA - Multi Beam Array).
  3. דגימה ועיבוד אותות ספרתי (כגון: Digital RF - DRFM - Memory), של מיקרוגל, תקשורת, מכ"ם, ל"א, עיבוד תמונה, אלקטרואופטיקה ועוד.
  4. אלגוריתמי תוכנה מתקדמים לגילוי ולזיהוי איומים, כולל היתוך מידע מסנסורים שונים.
  5. מכניקה ומערכות פיזור חום מתקדמות (מחליפי חום מבוססים על שינוי מצב צבירה של חומר, קירור באמצעות נוזלים).
  6. גלאים ומערכים אופטיים לתחומי ה-IR, קרני לייזר ו-UV, סיבים אופטיים.
  7. מחשבים, רשתות תקשורת, תוכנה, חומרה ולוחמת מחשבים ומידע.
  8. הקטנת שטח התך מכ"ם (שח"ם) להשגת "חמקנות" והקטנת חתימת IR.
  9. מזעור ומיקרואלקטרוניקה.
  10. חקר ביצועים.

**פיתוח מערכות ל"א נחשב בעולם כולו למסובכת שבמשימות הפיתוח, ומעטים הצבאות והחברות בעולם המסוגלים לפתח כהצלחה מערכות ל"א המצויות בחזית הטכנולוגיה**

**סיכום**

הלוחמה האלקטרונית מלווה את צה"ל לאורך כל מלחמות ישראל ותרמה תרומה ממשית להכרעה בשדה הקרב. ההתפתחות הטכנולוגית של מערכות הנשק מציבה אתגרים חדשים וצורך תמידי לחידושן ולרענוןן של המערכות ושל תורת הלחימה של ה"א. מדינת ישראל השכילה לאורך השנים, בתמיכה ובהכוונה של משרד הביטחון ושל צה"ל, ובראשם מפא"ת, לטפח את הידע, את התשתיות ואת היכולות בתעשיות הישראליות המובילות. מדינת ישראל היא המובילה בעולם בפיתוח מערכות ל"א בדיסציפלינות העיקריות, הן לשימוש צה"ל והן ללקוחות בחו"ל. רפא"ל, "אלתא", "אלישרא", "תדיראן מערכות", תע"ש ו"אלביט מערכות" הן חלק מתעשיות מובילות אלה, ולהן סל מוצרים מהמתקדמים ביותר. חוקרים, מהנדסים, טכנאים ואנשי ייצור עוסקים מדי יום במלאכת ה"א. שילוב הטכנולוגיה והידע הטכני הקיים בתעשיות עם הידע המבצעי הקיים בחילות האוויר, הים והיבשה מבטיח כי המערכות המפותחות יהיו התשובה הנכונה בשעת הצורך בשדה הקרב.

- פיתוח תו"ל וכן אמצעי אימון והדרכה פרטניים לכל מערכת מחייבים:
1. הכרת האיומים.
  2. הכרת היכולות והמגבלות של המערכת המיוצרת.
  3. מתן מענה לצורך מבצעי דינמי ומשתנה.
  4. שילוב המערכת כחלק ממערכת נשק תוך מתן דגש לאי-פגיעה בביצוע המשימה וביכולות ביצוע אחרות של הפלטפורמה.
  5. הטמעת המערכת ואופן תפעולה בקרב הכוחות הלוחמים, ובפרט מתן דגש להפעלה נכונה של המערכת על מנת להגדיל את שרידות הלוחם עצמו (והפלטפורמה שבה הוא נמצא).
  6. גיבוי הכוח הלוחם במערך הדרכה תואם.

**החיבור בין הצרכן לתעשייה.** המורכבות של מערכת ה"א, מגוון הטכנולוגיות, הצורך לטפל במספר רב של איומים מודרניים, אשר איכותם הולכת ומשתפרת, שינויים בצרכים

המבצעיים עקב שינויים בזירת הלחימה ועקב פיתוח טכניקות חדשות וסימולציות ל"א יוצרים מצב שבו פרויקטים לפיתוח מערכות אלה נמשך שנים רבות. המשכיות זו של הפיתוח יוצרת מצבים מורכבים, הנובעים גם מהגורמים דלהלן:

- שינויים ועדכונים תדירים לאורך הפיתוח דורשים פעמים רבות תכן מחדש של חלקים מסוימים במערכת.
- עדכונים בתכן עקב ההתקדמות בטכנולוגיות וברכיבים עיקריים.
- עדכונים באיומים ובדרישות המבצעיות.

פיתוח מערכות ל"א נחשב בעולם כולו למסובכת שבמשימות הפיתוח, ומעטים הצבאות והחברות בעולם המסוגלים לפתח בהצלחה מערכות ל"א המצויות בחזית הטכנולוגיה. מכיוון שהמפתחים של מערכות ה"א ומפתחי טכניקות ה"א נדרשים להכיר את האיומים, להמציא שיטות וטכניקות ל"א כדי לנטרל את האיום וליישם את האמור לעיל בפיתוח מערכות ל"א, הרי שומה עליהם להיות מומחים במערכות השונות יותר מאשר אלה שפיתחו אותן, וזאת במגוון של דיסציפלינות: מכ"ם, ל"א, תקשורת, טילים, שליטה ובקרה, מחשבים ורשתות, אלקטרואופטיקה וכו'. כל זאת תוך הפגנת יכולת המצאה, יצירתיות וכשרון ב"משחק השחמט" נגד מומחי האויב.

**הטכנולוגיות העיקריות המיושמות במערכות של לוחמה אלקטרונית**

מערכות לוחמה אלקטרונית מתבססות על מגוון רחב של

# תוכנית החלל של ישראל

## היסטוריה, המצב הנוכחי והתחזית לעתיד

מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, תוך שהיא נשענת על תשתית מרשימה מאוד של טכנולוגיות חלל שפותחו באקדמיה, בתעשייה ובמערכת הביטחון. תוכנית החלל הישראלית תואמת את היכולת המדעית והטכנולוגית של המדינה וכן את היכולת הכלכלית שלה, והדבר בא לידי ביטוי בכך שכל הלוויינים שהיא שיגרה - לוויינים טכנולוגיים, לווייני תצפית ולווייני תקשורת - הם קטנים, אך עתירי ביצועים

תא"ל (מילי) ד"ר חיים / ראש תוכנית הלוויינות • עמנואל / מרכז מידע בתוכנית הלוויינות

### מבוא

תוכנית החלל של ישראל לא נולדה יש מאין ולא הוגשה לישראל על-ידי מעצמה ידידותית על מגש של כסף. התוכנית נהגתה וקודמה על-ידי קבוצת אנשים ממערכת הביטחון, מהתעשיות הביטחוניות ומתעשיות ההיי-טק. הם עשו זאת לאור צרכים בתחום המודיעין, שהם קריטיים לביטחונה הלאומי של ישראל, ושניתן לתת להם מענה באמצעות טכנולוגיות חלל.

התוכנית הישראלית גובשה בראשית שנות ה-80 לאחר לימוד מעמיק של תוכניות החלל ושל הטכנולוגיות שפותחו על-ידי שתי מעצמות העל, ארצות-הברית וברית-המועצות, החל משנות ה-60. לאחר שמעצמות העל פרצו את הדרך לחלל, הצטרפו למאמץ מדינות האיחוד האירופי

(בעיקר צרפת וגרמניה), שהקימו את סוכנות החלל האירופית ESA, ואחריהן באו גם סין, הודו ויפן. כל אלה פיתחו תעשיות חלל נרחבות ובנו משגרים ולוויינים לסוגיהם השונים - צבאיים, מדעיים ומסחריים.

בתוך תקופה קצרה הבינו גם מדינות קטנות ובינוניות שהשליטה בטכנולוגיות חלל ובמערכות חלליות אינה רק מכפיל כוח חשוב בתחום הצבאי, אלא משמשת מנוף חיוני לפיתוח תעשיות היי-טק בתחומים שונים ומגוונים ותורמת להעלאת רמת המדע והטכנולוגיה של המדינה המפתחת.

מייד עם סיום מלחמת העולם השנייה החלו שתי מעצמות העל - ברית-המועצות וארצות-הברית - במחקר ובפיתוח של טילים בליסטיים בסיועם של מדענים גרמנים. הכוונה העיקרית הייתה ליצור מאגר של טילים בליסטיים, חמושים בראשי-נפץ גרעיניים, במסגרת המאבק האסטרטגי בין שתי מעצמות העל. בדיעבד התברר שטילים בליסטיים כאלה אפשר להפוך ללא קושי למשגרי לוויינים. ואכן פריצת

הדרך הראשונה אל החלל נעשתה, כידוע, על-ידי ברית-המועצות, כששיגרה באוקטובר 1957 את הלוויין הראשון שהקיף את כדור-הארץ - הוא "ספוטניק-1". ברית-המועצות, שכל הפעילות החללית שלה בוצעה על-ידי גופים צבאיים, טענה שפעילויות החלל שלה הן לצורכי שלום בלבד. ארצות-הברית, לעומתה, הקימה ב-1958 את סוכנות החלל האזרחית שלה, הקרויה נאס"א, וזו הופקדה על פיתוחו של חקר החלל למטרות מדעיות ואזרחיות, ובידיה

הופקדה כל הפעילות שהביאה, בין השאר, לנחיתת אדם על הירח. אף שהמירוץ אל הירח נעשה במסגרת הפעילות המדעית והאזרחית של סוכנות החלל, הרי האסטרונאוטים של ארצות-הברית - כמו הקוסמונאוטים של ברית-המועצות - היו כמעט כולם אנשי צבא. לאיש לא היה ספק שההתמודדות הזאת בין שתי מעצמות העל התנהלה במסגרת המאבק האסטרטגי ביניהן.

### התפתחות נושא החלל בארצות-הברית

בפיתוח טכנולוגיות חלל לצרכים צבאיים עוסק משרד ההגנה של ארצות-הברית באמצעות הסוכנויות השונות וזרועות הצבא: חיל האוויר, חיל הים וצבא היבשה. לכל זרוע יש פיקוד חלל נפרד, ומעליהם ישנו פיקוד החלל של ארצות-הברית. ברחבי ארצות-הברית פזורים 11 מרכזים של נאס"א, וכל אחד מהם עוסק בתחומים ספציפיים של טכנולוגיות החלל וגם בהפעלת מעבורות החלל, טלסקופ החלל ולווייני המחקר ששוגרו על-ידי נאס"א. בתחום הצבאי יש לחיל האוויר האמריקני מעבדות מחקר העוסקות במחקר ובפיתוח בתחומים רבים של טכנולוגיות חלל צבאיות. בניית משגרי לוויינים ולוויינים לסוגיהם נעשית באמצעות חברות תעשייתיות גדולות, המשתתפות במכרזים שמוציאים משרד

תוכנית החלל של ישראל לא נולדה יש מאין ולא הוגשה לישראל על-ידי מעצמה ידידותית על מגש של כסף

והם המשיכו לשגר לחלל סדרה אחר סדרה של לווייני צילום: "סמוס", מידאס", "ארגון" ו"לניארד". ב-1963, למשל, לא סיפקה תוכנית "סמוס" אף לא צילום מועיל אחד מהחלל.

במסגרת תוכנית "ארגון", שנועדה לצורכי מיפוי, נבנו 14 לוויינים, שמתוכם שוגרו 11 למסלול חללי, אך רק שלושה מהם פעלו כהלכה. במסגרת תוכנית "לניארד" נבנו חמישה לוויינים, שלושה מתוכם שוגרו לחלל, אך רק אחד מהם סיפק צילומים.

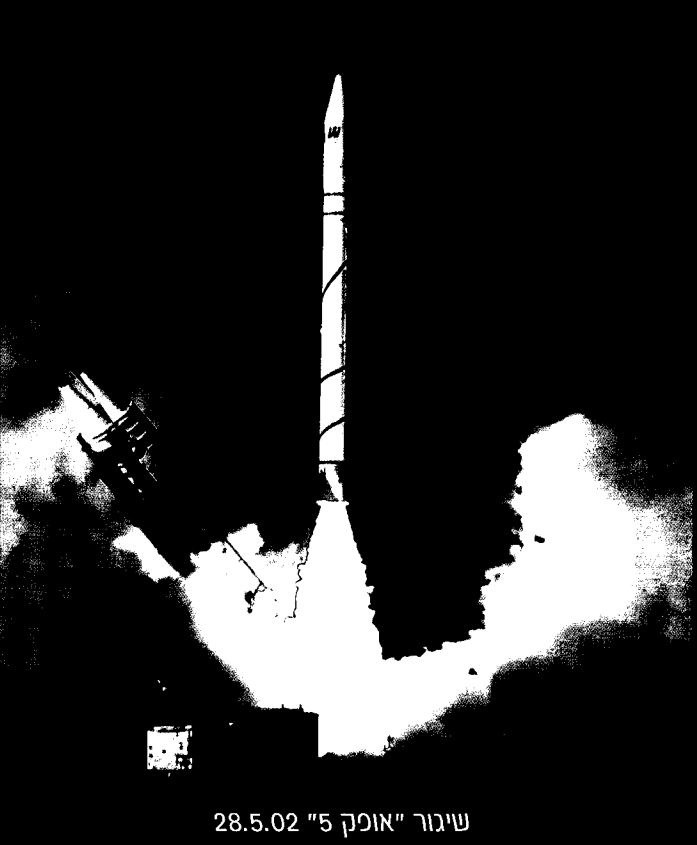
מנתונים אלה אנו למדים שהשליבים הראשונים של תוכניות החלל האמריקניות סבלו מכישלונות רבים, ונדרשו שנים רבות של פיתוח ושל ניסויים כדי להגיע לבשלות.

תוכניות הצילום החלליות של משרד ההגנה האמריקני חולקו לארבע רמות:

- רמה A – צילום שטחים גדולים, של מיליוני מייל רבועים.
- רמה B – צילום שטחים מוגבלים, ששטחם מאות אלפי מייל רבועים.
- רמה C – צילום יעדים נקודתיים, ששטחם מאות מיילים רבועים.

רמה D – צילום יעדים של מודיעין טכני, המכסים שטחים של כמה עשרות מייל רבועים ואף פחות מזה.

כל לוויין היה מותאם לרמה מסוימת. החל מתחילתה של תוכנית "קורונה", בראשית שנות ה-60, נקראו המצלמות האופטיות שהותקנו בלוויינים Key-Hole, ובקיצור KH. כל מצלמת KH קיבלה מספר סידורי עוקב שביטא את הרזולוציה של הצילומים. ב-1963 היו המצלמות בעלות



שיגור "אופק 5" 28.5.02

ההגנה ונאס"א. הצילום האווירי לצורכי מודיעין פותח כבר במלחמת העולם הראשונה והגיע להישגים ניכרים במהלך מלחמת העולם השנייה, אולם קיבל מכה אנושה ב-1960, עם הפלתו של מטוס הריגול המשוכלל של ארצות-הברית מדגם "יר-2" ונפילתו בשבי של טייסו. ארצות-הברית נאלצה להודות שהיא הפעילה מטוסי ריגול מעל ברית-המועצות, ומובן שטייסות אלה הופסקו.

ארצות-הברית לא יכלה להרשות לעצמה

להישאר ללא קבלת נתונים אמינים על מצבם של מאגר הנשק הגרעיני ושל מטרות אסטרטגיות אחרות בברית-המועצות. כך החל פיתוח קדחתי של צילום באמצעות לווייני צילום מהחלל. כדי שיישמר מאזן האימה ההדדי בין שתי מעצמות העל, נקבע שהשימוש בחלל יהיה חופשי לכול, ומעבר לוויינים מעל לשטחה של מדינה מסוימת לא יחשב להפרת ריבונותה. כבר ב-1955 החל תכנונם של לווייני הצילום הראשונים של ארצות-הברית. הכוונה הייתה שלוויין הצילום ישוגר באמצעות טיל "אטלס", יהיה מבצעי ב-1963, ושהרזולוציה של התמונות תהיה כ-6 מטרים.

כאמור, הלוויין הרוסי "ספוטניק-1" שוגר באוקטובר 1957 (משקלו היה כ-90 ק"ג), ומייד אחריו, בנובמבר, שוגר "ספוטניק-2" (משקלו היה כ-500 ק"ג). ההישג המפתיע הזה של הרוסים יצר בארצות-הברית כורח דחוף להחיש את פיתוח הלוויינים. תאגיד המחקר "ראנד" פיתח קונספט לבניית לוויין צילום, שניתן להחזיר מהחלל לכדור-הארץ את מטען הצילום הייעודי שלו. האחריות להפעלתם

**כדי שיישמר מאזן האימה ההדדי בין שתי מעצמות העל, נקבע שהשימוש בחלל יהיה חופשי לכול, ומעבר לוויינים מעל לשטחה של מדינה מסוימת לא יחשב להפרת ריבונותה**

של לווייני הצילום ניתנה לסוכנות הביון המרכזית ("סי-איי-אי"), שהפעילה גם את מטוסי ה"יר-2". לתוכנית הפיתוח של לווייני הצילום ניתן השם "קורונה". הלוויינים שנשאו את המטעדים של "קורונה" כונו "דיסקוורר". 18 לווייני "דיסקוורר" שוגרו עד 7 בדצמבר 1960. רובם נכשלו בשל תקלות במשגרים, בלוויינים עצמם ובמטעדי הצילום ואבדו – בעיקר באוקיינוס. הכישלונות לא ריפו את ידי האמריקנים,

רזולוציה של כשלושה מטרים. התוכנית נמשכה בשנים 1964-1965, תוך שהרזולוציה של המצלמות הולכת ומשתפרת ומגיעה לחצי מטר. התוכנית של לווייני "קורונה" ו"גמביט" נמשכה עד יוני 1967. 36 מתוך 38 הלוויינים שיוצרו במסגרת התוכנית האלה שוגרו בהצלחה, אולם אורך חייהם הממוצע היה 5.5 ימים בלבד. חלפו עוד עשר שנים. בדצמבר 1975 שוגר במסגרת

פריגיאה? של כ-107 מייל, הייתה הפריגיאה שלו לא פחות מ-164 מייל. היה זה הניסוי הראשון של לוויין שכונה KH-11 בשל המערכת האלקטרואופטית שלו. החלק המהפכני שבו הייתה מצלמת CCD (Charge Couple Device), שאיפשרה לשדר את צילומי המטרות כמעט בזמן אמיתי אל תחנת הקרקע. מערכת התקשורת של לוויין כזה משדרת את נתוני הצילומים ללווייני תקשורת שחגים בגובה רב, וכל אחד מהם יכול לשדר את הנתונים לתחנות קרקע הנמצאות בארצות הברית. השיטה האלקטרונית לשידור תמונות אל הקרקע מאפשרת ללווייני הצילום החדשים לשהות במסלול מספר שנים, וזאת בהתאם לכמות הדלק שהם מכילים לצורך תיקוני המסלול ולשינויים בגובהו. מאז ועד עתה השתכללה שיטה זו עד מאוד, וכך פועלים היום כל לווייני הצילום שחגים סביב כדור הארץ.

## התפתחות הלוויינים בישראל

אנשי מערכת הביטחון ואנשי התעשיות הביטחוניות בישראל, שעסקו בנושא החלל בשנות ה-80 וה-90, למדו מהניסיון שהצטבר בעולם, וכך יכלו להתמקד בתכנון לווייני צילום שיהיו בחזית הטכנולוגיה. בשל הפער בין קני המידה שלפיהם תיכננה ארצות הברית את מערכות הלוויינים

הצבאיים שלה, לעומת קני המידה שלפיהם צריכה הייתה ישראל לפעול, ברור מאליו שכל השוואה בין השתיים היא בלתי אפשרית.

ישראל תיכננה את מערכות השיגור החלליות ואת לווייני הצילום שלה לפי נתוני הזירה שבה היא נדרשת לפעול. המפתחים לקחו בחשבון את סוגי המטרות האסטרטגיות והטקטיות, את רמת הפירוט הדרושה לגבי סוגי המטרות, את רציפות הכיסוי הדרושה והתחשבו במהות המכשולים הטבעיים והמלאכותיים שבפניהם יעמדו הלוויינים בעת ביצוע משימותיהם. במערך השיקולים הזה כלולים גם אילוצים בטיחותיים, גיאוגרפיים ופוליטיים ביחס למיקום השיגור ולכיוונו.

כידוע, שיגרה עד עתה ישראל שני לוויינים ראשונים להוכחת הקונספט,

ואחריהם שוגרו שלושה לווייני צילום, שאחד מהם הוא לוויין צילום מסחרי. שיגור אחד נכשל במהלך התוכנית בשל תקלה במשגר. ישראל ממשיכה לשפר ולשדרג את מערך השיגור



לוויין מדעי בבדיקה

תוכנית Key-Hole לוויין צילום, שצויד במצלמת KH-9. במועד זה מלאו 15 שנה להפעלת התוכניות השונות לשיגור לווייני צילום, ובמהלכן שוגרו 200 לוויינים, כולל הלוויין ששוגר בדצמבר 1975. באותה עת כבר היה אורך חייהם של לוויינים לצילום מקרוב (מגובה נמוך) 50 ימים, ואילו לווייני הצילום של שטחים גדולים פעלו במשך חמישה חודשים.

גם איכות הצילומים שופרה, והרזולוציה של מצלמות KH-9 לצילום מגובה רב הייתה כמעט זהה לרזולוציה של מצלמת KH-7, ששימשה לצילומים מגובה נמוך. הצילומים היו כל כך מפורטים, עד כי נראה היה כאילו צולמו מגובה של 100 מטר מעל למטרות, כשלמעשה הם צולמו מגובה של מאות קילומטרים.

באותו שלב הצליחו מפתחי הלוויינים להביא לקפיצת מדרגה ביכולת ניצולם:

בדצמבר 1976 שוגר באמצעות משגר "טייטן" לוויין צילום למסלול קוטבי, אולם נתוני המסלול שלו היו שונים מאלה של הלוויינים הקודמים שנשאו מצלמות KH-9. במקום

**מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, תוך שהיא נשענת על תשתית מרשימה מאוד של טכנולוגיות חלל שפותחו באקדמיה, בתעשייה ובמערכת הביטחון**





מצלמה עם מיפתח רחב

באמצעות מכ"ם מסוג SAR, ואשר מצוידים באנטנות בעלות מפתח סינתטי, שיכולים לצלם בכל שעות היממה ובכל מזג אוויר, גם דרך כיסוי עננים.

### לווייני מודיעין אלקטרוני

כבר במלחמת העולם השנייה הפעילו המעצמות הגדולות מטוסי קומינט לקליטת שידורי תקשורת רדיו וטלפניה וכן מטוסי אלינט לקליטת אותות ממערכי מכ"ם, שנועדו להגנה נגד מטוסים. אולם המערכות נגד מטוסים המשופרות של מדינות רבות מהוות סיכון גדול למטוסים כאלה. לכן המדינות שיש להן יכולת מפעילות בחלל לווייני סיגינט (המשמשים הן לקליטת קומינט והן לקליטת אלינט).

את המטרות האסטרטגיות והטקטיות עצמן יש לצלם ברזולוציה הגבוהה ביותר האפשרית

### לווייני צילום היפר-ספקטריים

בשנים האחרונות מופעלים לווייני צילום ניסיוניים לצילום היפר-ספקטרי (ביצוע במקביל של צילום אופטי ושל הדמיות על-ידי חישנים בטכנולוגיות שונות). ייחודן של מערכות צילום היפר-ספקטרליות הוא בכך שהן מאפשרות לקבוע את הרכב החומרים שמהם עשויות המטרות

שלה וכן את לווייני הצילום עצמם. אנשי המקצוע חושבים כיצד לפתח ולבנות לווייני צילום, שיוכלו לצלם 24 שעות ביממה.

עם הקמתו של משרד המדע ב-1982, בראשותו של פרופסור יובל נאמן, נוצרה גם במה אזרחית עם זיקה לחלל. בתיאום עם מערכת הביטחון הוקמה ב-1983 סוכנות החלל הישראלית (סל"ה), המטפלת בעיקר בהיבטים האזרחיים והמדעיים של תחום החלל. כיום סובבים בחלל גם שני לוויינים אזרחיים ישראלים: לוויין התקשורת "עמוס", ששוגר מגיניאה הצרפתית ב-1995, ולוויין מדעי "טכסאט", ששוגר מהבסיס הרוסי בקזחסטן ב-2000.

### הנתונים האופייניים הזירה

המדינות שעלולות להיות יריבות פוטנציאליות ולשמש בסיסים לפעולות עוינות מקיפות את ישראל מכל הכיוונים. אין הכרח שהלוויינים הישראליים יצלמו שטחים גדולים של המדינות האלה, כיוון שניתן לרכוש צילומי שטחים גדולים בשוק הלוויינים המסחריים, כגון "לנדסאט" האמריקני ו"ספוט" הצרפתי ואפילו מלוויינים מסחריים רוסיים. אבל את המטרות האסטרטגיות והטקטיות עצמן יש לצלם ברזולוציה הגבוהה ביותר האפשרית.

### התדירות והרציפות של הצילומים

כדי לוודא כיסוי רציף ותדירות גבוהה בצילום חוזר של מטרות ספציפיות יש צורך בלוויין צילום נוסף, שישוגר למסלול מסונכרן עם השמש ושיעבור באופן תקופתי מעל למטרות מוגדרות לעדכון נתונין. ניתן לעשות זאת גם באמצעות לווייני צילום מסחריים, המשמשים הן לצרכים צבאיים והן לקוחות אזרחיים (לוויינים דרשימושיים).

### שידור נתוני הצילום לעיבוד ולהפצה

כדי לאפשר את קבלת נתוני הצילום קרוב מאוד לזמן אמיתי בתחנת קרקע, שתעסוק בעיבוד הנתונים ובהפצתם, וכדי לא להפסיד זמן במהלך הקפתו של הלוויין צריך יהיה לשדר את הנתונים מלוויין הצילום אל לוויין תקשורת, שמסלולו יהיה גיאורביטרוני, והוא ישדר את הנתונים אל תחנת הקרקע ישירות, בלי להפסיד את זמן ההקפה.

### פיתוחים עתידיים בעולם

#### לווייני צילום במכ"ם מסוג SAR

כידוע, לווייני צילום רגילים יכולים לצלם רק בשעות האור וכשאין כיסוי עננים מעל המטרות. בעשר השנים האחרונות פותחו לוויינים המצלמים

בארצות-הברית מתנהל ויכוח בין מפקדי הצבא לבין המדינאים על הצורך להגן על נכסי החלל. מפקדי הצבא דורשים לפתח אמצעי הגנה אקטיביים, כלומר מערכות חלליות וקרקעיות, שיאפשרו להשמיד כל מערכת חללית של מדינה עוינת, שמטרתה להפריע להפעלתם הסדירה של נכסי החלל של ארצות-הברית. מובן שלצד אמצעי ההגנה האקטיביים יש צורך גם באמצעים פסיביים להגנה על לוויינים בחלל, בין היתר באמצעות הקשחת מערכות אלקטרוניות רגישות בפני אמצעי תקיפה.



מרכז שליטה קרקעי ללוויין "עמוס"

### כיוונים בתוכניות חלל עתידיות

תוכניות החלל אמורות לעסוק בקידום טכנולוגיות של לוויינים קטנים – כאלה שיאפשרו ביצועים גבוהים ככל האפשר ביחס לעלות, ויחד עם זה יהיו בעלי משקל נמוך ככל האפשר ביחס לביצועים. בתחום המיוחד הזה יש לישראל יתרון יחסי.

### סיכום

מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, תוך שהיא נשענת על תשתית מרשימה מאוד של טכנולוגיות חלל שפותחו באקדמיה, בתעשייה ובמערכת הביטחון. תוכנית החלל הישראלית תואמת את היכולת המדעית והטכנולוגית של המדינה וכן את היכולת הכלכלית שלה, והדבר בא לידי ביטוי בכך שכל הלוויינים שהיא שיגרה – לוויינים מדעיים, לווייני תצפית, לווייני תקשורת וגם לוויין שפותח על-ידי הסטודנטים בטכניון – הם קטנים, אך עתירי ביצועים.

שימורה וטיפוחה של היכולת בחלל, שפירותיה הם גם בתחום ההרתעה, מחייבים את המשך ההשקעה הלאומית באפיק הזה.

### הערות

1. מטעד – המטען המועיל של הלוויין, כגון מצלמות.
2. פריגיאה – הנקודה שבה הלוויין נמצא בקרבה הגדולה ביותר לכדור-הארץ.

המצולמות. במילים אחרות, המערכות האלה מאפשרות להבחין בין מטרות אמיתיות למטרות דמה.

### הסיכונים הכרוכים בהפעלת מערכות בחלל

במהלך המלחמה הקרה בין שתי מעצמות העל, ארצות-הברית וברית-המועצות, התרחבה ההתמודדות בין שתי המעצמות גם לתחום החלל. במסגרת ההתמודדות הזאת פיתחו שתי המעצמות מערכות לחימה נגד לוויינים, שמטרתן הייתה לפגוע בלוויינים במסלוליהם בחלל לצורך ניטרולם או השמדתם. מערכות נגד לוויינים גם נוסו בפועל: ארצות-

**ישראל תיכננה את מערכות השיגור החלליות  
ואת לווייני הצילום שלה לפי נתוני הזירה  
שבה היא נדרשת לפעול**

הברית הצליחה לפגוע בלוויין ישן שלה באמצעות טיל. זה פגע בלוויין בעת שחג במסלולו.

כיום, לאחר תום המלחמה הקרה, שוב אין התמודדות בין שתי מעצמות-על, אלא ישנה התמודדות רב-צדדית בין מדינות לא דמוקרטיות, כגון עיראק, צפון-קוריאה, סוריה ואיראן, הנוקטות אמצעי טרור, לבין מדינות דמוקרטיות – ובמיוחד ארצות-הברית וישראל. למדינות הטרור אין כיום אמצעים טכנולוגיים מתקדמים לפגיעה במטרות בחלל, אולם הן יכולות לתקוף תחנות קרקע, הקולטות נתונים מלוויינים או תחנות בקרה ושליטה. כמו כן הן יכולות להפריע למערכות המחשוב המותקנות בלוויינים ועל-ידי כך לגרום לתקלות בבקרה ובשליטה עליהם.



# פיתוח כוח־האדם הטכנולוגי בצה"ל בשנים האחרונות

צה"ל זקוק למהנדסים רבים במגוון רחב של תחומים: פיתוח טכנולוגיות, מערכות ואמצעי לחימה, פיקוד על מערכות לחימה מתקדמות ותחזוקה של המערכות הטכנולוגיות. על מנת שלא ייווצר מחסור באוכלוסייה חיונית זו משקיע צה"ל משאבים רבים הן בהכשרתה והן בטיפוחה ובהשארתה בתוך המערכת. מאמר זה סוקר את התפתחות הטיפול בתחום חשוב זה בשנים האחרונות

## סא"ל ד"ר אבי

### רקע

בשנים האחרונות התעצמו מאוד מרכזיותה והשפעתה של הטכנולוגיה בתחומי החיים השונים, ובכלל זה בצבא. כיום לא ניתן כלל להעלות על הדעת שדה קרב ללא תקשורת, ניהול מידע, שליטה ובקרה ומערכות טכנולוגיות מתקדמות בתחומים נוספים. תנופת הפיתוח וההתעצמות של צה"ל מבוססת בראש ובראשונה על הטכנולוגיה המתקדמת ועל יישומיה במערכות הלחימה.

מדינת ישראל ניצבת בפני איומים ביטחוניים ברמות

שונות. עליה לשמור על יכולות גבוהות הן בהתמודדות מול אירועים ועימותים הקורים בהווה והן מול תרחישים הצפויים להיות רלוונטיים בשנים הבאות. האירועים האלימים הפוקדים את המדינה החל מספטמבר 2000 מוכיחים עד כמה המציאות הביטחונית באזורנו רגישה לשינויים

מהירים: תקופה שקטה, יחסית, המלווה בתחזית אופטימית להסדרי שלום, יכולה להפוך בתוך זמן קצר ביותר לעימות דמים מתמשך.

היתרון היחסי של מדינת ישראל בתחום הטכנולוגי ניתן להגדרה בשלושה רבדים: מדע וטכנולוגיה, אמצעי לחימה מתוחכמים וכוח־אדם איכותי. עיקרון מוביל בצה"ל הוא כי עליונות טכנולוגית בשדה הקרב תסייע להאצת ההכרעה מחד גיסא ולצמצום האבדות בקרב מאידך גיסא (בן־ישראל, העובדה שמדינת ישראל ניצבת בתחומים רבים בחזית המחקר – הן התיאורטי והן היישומי – מאפשרת לפתח מוקדי התמחות ובולטות בתחומים טכנולוגיים

חשובים ולפתח אמצעי לחימה ומערכות שהן בחזית הידע והטכנולוגיה.

העליונות הזאת נשענת בראש ובראשונה על האנשים: הן המחקר הבסיסי, הן הפיתוח היישומי והן תפעול המערכות המתוחכמות, תוך מיצוי יכולותיהן הטכניות, מתאפשרים רק הודות לכוח־אדם איכותי – כוח־אדם המתאפיין ברמה מקצועית ללא פשרות, במיומנויות ביצוע, ביכולת חשיבה, ביצירתיות וביוזמה, לצד יכולות אישיות ותפקודיות גבוהות (פולג, 2000).

### אפיון מצב כוח־האדם הטכנולוגי בצה"ל בשנים האחרונות

המרכיב הדומיננטי במערך הטכנולוגי הוא המהנדסים ובוגרי המדעים המדויקים<sup>1</sup>. בצה"ל משרתים אלפי מהנדסים (במונח הזה אכלול מעתה גם את בוגרי המדעים המדויקים), שהם קרוב ל-25% מהקצונה בצה"ל (אגף כוח־אדם, 2001). למהנדסים בצה"ל יש תפקידים מגוונים; העיקריים שבהם הינם:

- מחקר ופיתוח – הדומה לזה שנעשה במוסדות מחקר ובתעשייה.
- ליווי פיתוח – ניהול, מעקב ובקרה של תהליכי פיתוח המבוצעים עבור צה"ל ועבור מערכת הביטחון על־ידי התעשיות הביטחוניות והפרטיות. תפקידי הליווי מוטלים על קציני פרויקטים (קפ"טים), הממלאים תפקיד מרכזי במערכי הפיתוח בצה"ל.
- הטמעה ואחזקה – ליווי המערכות הטכנולוגיות בעת

### העליונות הטכנולוגית של צה"ל בשדה הקרב נשענת בראש ובראשונה על האנשים

לאומית ומוטיווציה. מערכות ערכים אלה אינן דומות – מה שהקשה עוד יותר על האתגר שברתימת כוח־האדם הטכנולוגי האיכותי לעיסוק הביטחוני.

במקביל לכך חל בתקופה הנ"ל פחות ניכר במעמדה של העתודה האקדמית. תהליך זה קרה כתוצאה מגורמים שונים, ובהם אי־שביעות רצונם של בוגרי העתודה האקדמית בכלל והמהנדסים בפרט משירותם לאחר תום הלימודים. מספרם של המצטרפים לשורות העתודה האקדמית ירד בהתמדה והיה רחוק מלמלא את הצרכים, כפי שהוצג לעיל.

הצרכים הטכנולוגיים

הגוברים מחד גיסא והירידה במשאבי כוח־האדם האיכותי מאידך גיסא הביאו לכך שהתחום של כוח־האדם הטכנולוגי זכה לקשב הולך וגובר לקראת סוף שנות ה־90. מינהל מפא"ת (מחקר ופיתוח אמצעי לחימה ותשתית טכנולוגית), בהיותו הגוף הטכנולוגי המרכזי של צה"ל, נטל על עצמו תפקיד מרכזי בהובלת המאמצים לשיפור הטיפול בכוח האדם הטכנולוגי בצה"ל – בשילוב עם אגף כוח־אדם, אגף התכנון, היחידות והחילות הטכנולוגיים. במסגרת מאמצים אלה הוקם ב־1998 "פורום ההיגוי לכוח־אדם טכנולוגי". זהו פורום בכיר, שבראשו עמד ראש מפא"ת, והשתתפו בו מפקדי החילות

הטכנולוגיים וראשי היחידות הטכנולוגיות העיקריות וכן ראש חטיבת הסגל באגף כוח־אדם, נציגי אגף התכנון והיועץ הכספי לרמטכ"ל. פורום זה התכנס אחת לכמה שבועות ודן בנושאים שונים הקשורים בטיפול כוח־האדם הטכנולוגי בצה"ל. ייחודו של הפורום הוא בדרג הבכיר של משתתפיו ובעובדה שהופגשו בו הצרכנים עם גופי המטה הרלוונטיים. בגוף התקבלו החלטות אופרטיביות, אשר הועברו ליישום מיידית. אחדות מהן יצוינו להלן, כשיפורטו תחומי הפעילות והשינויים

שבוצעו במהלך השנים האחרונות.

במקביל הוקמו צוותי חשיבה וביצוע נוספים, דוגמת "דסק המהנדסים" בראשות ראש חטיבת הסגל באגף כוח־אדם. צוות זה הורכב ממספר תת־ועדות, שעסקו בתחומים ספציפיים, כגון איתור וגיוס מועמדים לעתודה, תנאי הלימודים, תנאי השירות ואפיון תפקידיהם של המהנדסים



## קיבלנו זימון לעתודה האקדמית ...

השימוש בהן (אמצעי לחימה, מערכות תומכות וכדומה); החדרת השימוש במערכות ומיצוי היכולות שלהן, טיפול שוטף בתקלות, ביצוע שינויים ושיפורים.

- ניסויים – תכנון וביצוע של ניסויים טכניים לבחינת מערכות טכנולוגיות ולהערכת ביצועיהן.
- רכש – ניהול וביצוע של תהליכי רכש: אפיון הדרישות ובחינת מערכות טכנולוגיות חלופיות.

זה שנים לא מעטות שאיוש תפקידי המהנדסים במקצועות רבים הוא חסר: מספר המהנדסים המשרתים בצה"ל נמוך מזה הנחוץ על מנת למלא את המכסות. לצורך

המחשה: בשנת 2001 אוישו בצה"ל כ־88% מתפקידיהם של המהנדסי החשמל ורק כ־70% מהתפקידים בתחום הנדסת התעשייה והניהול (מדד, 2000).<sup>2</sup>

מצב זה נובע ממספר גורמים שחברו יחדיו. ראשית, ההתפתחות המואצת של שוק ההיי־טק בארץ בשנות ה־90 של המאה הקודמת הביאה לעלייה דרמטית בביקוש למהנדסים בשוק האזרחי ולשיפור ניכר בתנאים החומריים ובתנאי ההעסקה הנלווים. הפיתוי לקצינים המשרתים בצה"ל, אשר צברו ניסיון

מקצועי רב ועמדו בפני תום התחייבותם לשירות, היה גדול במילים אחרות, הסביבה שבה פעל צה"ל בהקשר זה הייתה תחרותית ביותר – מול שוק ההיי־טק האזרחי. עולם ההיי־טק בנוי על מחויבות לקריירה, להגשמה עצמית, לאתגר מקצועי ולהתפתחות כלכלית, בעוד שהערכים המרכזיים בצבא הם – בין היתר – נאמנות לארגון, תחושת שליחות

**הצרכים הטכנולוגיים הגוברים מחד גיסא והירידה במשאבי כוח־האדם האיכותי מאידך גיסא הביאו לכך שהתחום של כוח־האדם הטכנולוגי זכה לקשב הולך וגובר לקראת סוף שנות ה־90**

לאחר תום הלימודים.

חשיבותו של מערך המהנדסים בצה"ל הוכרה אף על-ידי הרמטכ"ל (מופז, 1999). שיאה של ההכרה הזאת היה הצהרת הרמטכ"ל כי אנשי המערך הטכנולוגי בצה"ל הם חלק מליבת כוח-האדם בצה"ל, לצד המערך הלוחם. את ההצהרה הזאת השמיע הרמטכ"ל בעת שהכריז על פתיחת השנה הטכנולוגית בצה"ל ביום העצמאות תש"ס (מופז, 2000).

## תחומי הפעילות

קיימים גורמים משפיעים שונים, אשר יוצרים ומחזקים מוטיווציה ונכונות לשירות בצה"ל בכלל ובמערכים הטכנולוגיים שלו בפרט. המרכזיים שבהם:

- העיסוק המקצועי.
- סביבת העבודה.
- אווירת העבודה.
- התנאים הכלכליים.

צה"ל החל לטפל בכל אחד מהמישורים האלה.

## העיסוק המקצועי

צה"ל מציע לקצינים המשתלבים במערכים הטכנולוגיים אתגרים נכבדים, שהם במקרים רבים גדולים יותר מאשר בחברות או בארגונים אזרחיים. קצין צעיר מקבל עד מהרה אחריות רבה על פרויקטים ועל מערכות בסדר גודל לאומי,

ברמות מורכבות גבוהות ובהיקפים תקציביים נכבדים. הקצין קונה ראייה מערכתית רחבה ולומד להכיר ולעבוד במסגרת מערכת מגוונת. הוא רוכש ניסיון מקיף ויכולות עבודה רבות, כגון ניהול וליווי תהליכי פיתוח, רכש ואחזקה, הטמעת טכנולוגיות, ניהול צוות עובדים וביצוע ניסויים. את הניסיון העשיר הזה רוכש הקצין בנושאים שרמת העניין בהם

גבוהה, ואשר תורמים תרומה של ממש לביטחונה של מדינת ישראל.

כל קצין המשתלב במערך הטכנולוגי מבצע כמה תפקידים שונים, שבהם הוא רוכש ניסיון עשיר ובונה את התפתחותו המקצועית.

מאמצים לא מבוטלים הוקדשו ומוקדשים לחידודם ולמיקודם של תפקידי המהנדסים. צוותים בהרכבים שונים ניתחו ברמה פרטנית כל אחד ואחד מתפקידי המהנדסים בחילות הטכנולוגיים על מנת לאבחן את מאפייני התפקיד, את רמת המקצועיות הנדרשת בו ואת מידת החיוניות שבאיושו על-ידי מהנדס. זאת במטרה למצות טוב יותר את המשאב שבחוסר ולהפנות קשב לתחושת חוסר שביעות הרצון של חלק מהקצינים, אשר טענו שאינם משרתים במקצועם. בתום התהליך הוגדרו בכל חיל 5%-10% מתפקידי המהנדסים שאינם מחייבים הצבת מהנדס. ראשי החילות

קיבלו על עצמם לדאוג לכך שתופסק הצבתם של מהנדסים בתפקידים אלה. במקביל לכך הוגדרו 10%-30% מתפקידי המהנדסים כתפקידים המחייבים הצבת מהנדס, אולם תכולת המשימות ההנדסיות בהם נמוכה יחסית. כדי לפתור בעיה זו הוחלט לצקת לתפקידים אלה תכנים נוספים. כמו כן הוחלט לקצר את משך השירות בתפקיד כזה ולהגדיר טוב יותר את הקשר בינו לבין העיסוק המקצועי הכולל בחיל.

במקביל לתהליכים אלה נעשה מאמץ לבנות ולשפר את מסלולי השירות ואת תפקידי המהנדסים במהלך שירותם. דוגמה למסלול ייחודי כזה שנבנה עבור מהנדסים בצה"ל הוא "מוקדי הידע", אשר יצא לדרך ב-1999. במסגרת זו הוגדרו בשלב הראשון 100 תפקידים, וזמן לא רב לאחר מכן כ-50 תפקידים נוספים, אשר דורשים התמחות מדעית או טכנולוגית ארוכת שנים, והם ייחודיים בתרומתם ובחשיבותם לארגון. המצטרפים למסלול הזה – החל מדרגת סרן – זוכים לתנאים מועדפים, והם יכולים להתקדם עד לדרגת סגן-אלוף באותו התפקיד בלי לעבור לתפקידים ניהוליים. המנגנון הזה מאפשר לרתום לשירות קצינים מוכשרים, אשר מתאימים יותר לעיסוק הטכנולוגי הטהור, ותרומתם במסגרתו היא חשובה ובלוטת. לאור הצלחת המסלול הורה בקיץ האחרון הרמטכ"ל הקודם להרחיבו, וכעת מנוהלת עבודת מטה להגדרתם של כמה עשרות תפקידים נוספים כמוקדי ידע.

**צה"ל מציע לקצינים  
המשתלבים במערכים  
הטכנולוגיים אתגרים  
נכבדים, שהם במקרים רבים  
גדולים יותר מאשר בחברות  
או בארגונים אזרחיים**

## סביבת העבודה

אחד המאפיינים החזקים של חברות ההיי-טק הוא סביבת העבודה המתקדמת. מונח זה, במשמעותו הרחבה, כולל את התנאים הפיזיים במשרדים (ריהוט, ציוד וכו') ואת התנאים הנלווים (כגון חניה וארוחות). המודעות להיבט הזה גברה, וגם בצה"ל החלו להקדיש לו מאמצים ומשאבים.

## אווירת העבודה

תחושת שביעות הרצון של הקצין תלויה במידה רבה באווירה השוררת ביחידתו וכן בהערכה ובמשוּב שהוא מקבל ממפקדיו ומעמיתיו. יחס נאות מצד המפקדים ויחסים של חברות ושל שיתוף פעולה בין העמיתים הם המפתח לאווירה חיובית, שהיא אחד הגורמים המשפיעים ביותר על רצונו של הקצין להמשיך ולהתפתח ביחידה מסוימת או לחפש את דרכו במקומות אחרים. בשנים האחרונות עוסקים גם בהעמקת המודעות לחשיבותם של הגורמים האלה.

## התנאים הכלכליים

צה"ל התקשה להתמודד עם רמות השכר ועם התנאים החומריים הנלווים שהיו נהוגים – ובחלק מהמקומות עדיין נהוגים – בחברות ההיי-טק, במיוחד במקצועות הנדרשים

גדל מאז הוחל בביצוע הצעדים השונים בעשרות אחוזים.<sup>3</sup> מספר העתודאים, שהחלו את לימודיהם בתחומי ההנדסה והמדעים המדויקים בשנת תשס"ג (שנפתחה לפני כמה חודשים) הוא בהתאם לצורכי צה"ל בתחומים אלה. הודות להיצע הגדול של כוח אדם איכותי הונהג החל מהשנה הנוכחית – לראשונה לאחר הפסקה של שנים רבות – תהליך מיון אישיותי למועמדים לעתודה האקדמית (במקביל לדרישה לעמידה ברמת סף אקדמית).

### תוכניות ייחודיות

**"עתידיים"**. פרויקט "עתידיים" נועד לעודד צעירים מוכשרים מעיירות הפיתוח להתגייס לעתודה האקדמית במקצועות ההנדסה. עד לשנים האחרונות היה חלקן של אוכלוסיות אלה בקרב העתודאים נמוך ביותר הן עקב העדר מידע לגבי האפשרויות והתנאים במסלול והן עקב קשיים כלכליים. הפרויקט החדש נועד לתת מענה לשני המכשולים האלה. קצינים בכירים מהמערכים הטכנולוגיים בצה"ל החלו לקיים מפגשים ישירים עם מנהלים, עם מורים, עם הורים ועם תלמידים בעיירות הפיתוח כדי להביא למודעותם את המסלול ולעודדם לפנות אליו. לכל המצטרפים, אשר עומדים בדרישות הקבלה של צה"ל ושל האוניברסיטאות, ניתנות מלגות סיוע מוגדלות בהתאם למצבם הכלכלי. המועמדים והלומדים בתוכנית זוכים ליחס אישי, לסיוע בכל תחום, לחניכה ולפעילויות העשרה.

ניהולו של פרויקט "עתידיים" נמסר לידי מנהלת ייעודית בחיל המודיעין, וזו מסתייעת באגף כוח־אדם וכן בקרנות ובגופים אזרחיים.

בני המחזור הראשון של תוכנית זו – קרוב ל-100 צעירות וצעירים – החלו את לימודיהם באוקטובר 2000. מאז גדלה

מאוד המודעות למסלול, ועימה נרשם גידול במספר המבקשים להתקבל ובמספר המצטרפים בפועל. בשנת הלימודים שהחלה באחרונה הצטרפו לעתודה האקדמית במסגרת תוכנית זו יותר מ־300 עתודאים – רובם בתחומי ההנדסה.

**"תלפיות"**. זוהי תוכנית הדגל של צה"ל בתחום של הכשרת כוח־אדם טכנולוגי איכותי. מטרותיה הן להכשיר קציני מחקר ופיתוח ולטפח עתודה של מנהיגות טכנולוגית בצה"ל ובמערכת הביטחון. במסגרת התוכנית מגויסים צעירות וצעירים מוכשרים, לאחר שעברו סינון קפדני באמצעות מבחנים מקצועיים ואישיותיים. תוכנית ההכשרה מבוססת על שני נדבכים עיקריים:

● לימודים אקדמיים לקראת תואר בפיזיקה ובמתמטיקה מטעם האוניברסיטה העברית בתוספת העשרות בתחומים מגוונים (טכנולוגיה, לימודים צבאיים, מדעי החברה והרוח).

(בראש ובראשונה אלקטרוניקה ומחשבים). יחד עם זאת צריך הקצין המהנדס ליהנות מתנאים נאותים ולחוש שהוא מקבל תמורה הולמת למאמץ המושקע על־ידו. לכן גובשו כמה תוכניות תמריצים, שהמרכזית שבהן היא תוכנית "פסגה", אשר מרכיביה העיקריים הם מתן תמריץ כספי ו/או רכב – בהתאם למשך החתימה. הסמכויות לסכם את התוכניות עם הקצינים המהנדסים הועברו למפקדי היחידות הטכנולוגיות – מה שאיפשר להם גמישות רבה: כיום יש ביכולתם של המפקדים "לתפור" לכל קצין "חבילת תנאים" בהתאם לצרכיו ולרצונותיו, בלי שיהיה עליהם לבקש אישורים נוספים.

הפעולות שתוארו לעיל נועדו בעיקר כדי לשכנע קצינים מוכשרים מהמערך הטכנולוגי לקשור את המשך דרכם והתפתחותם המקצועית בשירות ארוך בצה"ל. אולם בכך אין די. חשוב לא פחות לשכנע צעירים מוכשרים להתגייס למערך הטכנולוגי של צה"ל ושל מערכת הביטחון. לדרך שבה נעשה הדבר מוקדש המשך המאמר.

### עידוד העתודה האקדמית במקצועות ההנדסה והמדעים המדויקים

מסלול העתודה האקדמית עבר בשנים האחרונות שינויים ושיפורים רבים: צה"ל החל להבטיח לפני כארבע שנים שיבוץ במקצוע לכל בוגר עתודה במקצועות הטכנולוגיים, הוחלט להעניק מלגה בגובה שכר הלימוד לכל לומד, תנאי השירות והשכר שופרו, ולעתודאים ניתנת כיום האפשרות להמשיך ללימודים גבוהים תוך כדי שירותם הצבאי.

במקביל לשיפור בתנאי המסלול הוחלט להשקיע מאמץ רב יותר בפרסומו, תוך הדגשת השינויים שעבר והעלאת המודעות ליתרונותיו הן למועמד והן לצה"ל. לצורך כך גובשו לפני יותר משלוש שנים צוות שכלל כ־50 סגני־אלופים מהמערך הטכנולוגי, וכל אחד מהם הופנה לשניים־שלושה בתי־ספר, אשר הוגדרו כבעלי פוטנציאל לגיוס צעירים מוכשרים מבין בוגריהם אל שורות העתודה האקדמית. הקצינים יצרו קשר עם בתי־הספר, יזמו פגישות עם ההנהלה, עם צוותי ההוראה, עם התלמידים ועם הוריהם. באופן זה הועברו מסרים בדרך בלתי אמצעית על־ידי קצינים מנוסים, המייצגים את התחום הטכנולוגי. קצינים אלה אף סייעו בהמשך הדרך לתלמידים מתלבטים ועזרו בפתרון בעיות ובקיצור תהליכים. דרך זו הוכיחה את עצמה, והצוות הורחב במשך הזמן, עד כי כיום הוא כולל יותר מ־100 קצינים.

פעילות ההסברה הזאת, השיפורים במסלול העתודה האקדמית, שהוזכרו לעיל, התוכניות החדשות במסגרת העתודה האקדמית ("עתידיים", "פסגות"), אשר יפורטו בהמשך – כל אלה נושאים פרי שיעור ההתנדבות למסלול



לאור הצלחת התוכנית ועקב הביקוש הרב לכוח-האדם האיכותי שהיא מכשירה, הנחה הרמטכ"ל בשנת 2000 לפעול להגדלה משמעותית של היקף ההכשרה. ביצועה של הנחיה זו החל בקיץ 2001, עת גויסו כ-50 חניכים לתוכנית - גידול של כ-50% ביחס למכסת המתקבלים עד אז.

"פסגות". בשנים 1998-1999 גובשה תוכנית חדשה לעתודאים מצטיינים - "פסגות" - במטרה להכשיר קציני מחקר ופיתוח, שיוכלו לתת מענה לביקוש הרב לאוכלוסייה זו. התוכנית נבנתה כך שתהיה שונה מ"תלפיות" במספר תחומים משמעותיים, על מנת ששתי התוכניות לא יפנו לפלח אוכלוסייה זהה.

- "פסגות" היא בעיקרה בעלת אופי אזרחי (מתכונת הלימודים דומה לזו של העתודאים הרגילים).
- הלימודים ב"פסגות" הם לתואר כפול הנדסי-מדעי (בעוד שב"תלפיות" התואר הוא מדעי טהור).
- מי שמתקבלים ל"פסגות" לומדים בטכניון בחיפה או באוניברסיטת תל-אביב (בעוד שהלימודים במסגרת "תלפיות" הם באוניברסיטה העברית בירושלים).

מכאן שצעירים לפני גיוס יכולים לבחור בין שתי תוכניות - בהתאם לציפיותיהם ולנטיותיהם. צעירים מעיירות פיתוח אף יכולים לבחור בין שלוש תוכניות. כל התוכניות האלה, יש להדגיש, הן התנדבותיות.

גם המועמדים ל"פסגות" עוברים סדרה של מבחני מיון בתחומים מגוונים.

התוכנית כוללת לימודים לשני תארים במקביל - בפיזיקה ובהנדסת אלקטרוניקה, בטכניון או באוניברסיטת תל-אביב; הכשרות ייעודיות בתקופות שבין הלימודים ופעילויות העשרה במהלך שנות הלימודים. בסיומה מובטח לבוגרים שיובן בתפקידי מחקר ופיתוח. היקף התוכנית: 30-40 חניכים

● הכשרות צבאיות מרובות, שמטרתן להביא לכך שהחניכים יכירו את העשייה הצבאית - ובמיוחד את ההיבטים הטכנולוגיים שלה - ויהיו מעורבים בה. במסגרת הכשרות אלה מגיעים החניכים לכל אחד מהחילות העיקריים ומבצעים סדרה ייעודית בת כמה שבועות, הכוללת אימונים ולימודים. במסגרת הכשרתם נשלחים החניכים גם לקורס קצינים.

חניכי התוכנית עוברים את כל ההכשרה כחיילים בשירות חובה (כולל פרקי הלימודים, אשר נעשים בתנאי פנימייה בבסיס סגור). לצורך כך מוארך שירות החובה שלהם בכמחצית השנה. בוגרי התוכנית מתחייבים לשרת בצבא הקבע במשך חמש שנים וחצי ומשולבים בתפקידים מרכזיים במערכי המחקר והפיתוח של צה"ל ושל מערכת הביטחון. צה"ל מעוניין שבוגרי "תלפיות" - לפחות בחלקם - יאריכו את שירות הקבע שלהם מעבר להתחייבותם הראשונית, יתפתחו ויאיישו עמדות בכירות במערכים הטכנולוגיים. האחריות הכוללת על תוכנית תלפיות היא של מפא"ת בסיוע חיל האוויר. (הבסיס שבו מנוהלת התוכנית הוא המכון להכשרת הקצין של חיל האוויר בירושלים).

תוכנית "תלפיות" פועלת מאז 1979. היא העמידה עד כה מאות בוגרים, אשר השתלבו בכל תחומי העשייה המרכזיים במערכי המחקר והפיתוח הביטחוניים. בוגרים רבים יצרו סביבם מוקדי מקצועיות איכותיים במיוחד ותרמו באופן ניכר לקידום הנושאים שתחת אחריותם. יותר מ-10% מהבוגרים זכו בפרסי הצטיינות חשובים, כגון פרס ביטחון ישראל, פרס ראש מפא"ת, פרס מפקד חיל האוויר, פרס ראש אמ"ן ועוד. יש ביקוש רב לבוגרי תלפיות, ואין ספק באשר לתרומתם הגדולה של התוכנית ושל בוגריה לעשייה הטכנולוגית הביטחונית.

המינהל לכוח-אדם טכנולוגי החל לפעול לפני כשנה וחצי במסגרת חטיבת הסגל באגף כוח-אדם. (לאחר כמה חודשים הוכפף לחטיבת התכנון, עת הורד מעמדה של חטיבת הסגל לרמת מחלקה).

כיום מרכז הגוף עשייה רבה ומגוונת בתחומים השונים אשר תוארו לעיל ובתחומים רבים נוספים.

### סיכום

חוסנה ועוצמתה של מדינת ישראל מושתתים לא במעט על היותה מובילה בתחומים מדעיים וטכנולוגיים שונים – הן בתחומי החיים האזרחיים והן בתחומים הביטחוניים. מאחורי ההצלחות בתחומים האלה עומדים אנשי מקצוע איכותיים, ערכיים ובעלי מוטיוציה גבוהה.

האתגרים שמציע צה"ל למהנדסים הם ללא תחרות במגוון רחב של תחומים: פיתוח טכנולוגיות, מערכות ואמצעי לחימה, פיקוד על מערכות לחימה מתקדמות ותחזוקה של המערך הגדול והיקר ביותר במדינה.

כדי שניתן יהיה לתת מענה לצרכים הרבים ולשמור על העליונות הטכנולוגית, חייב צה"ל להכשיר, לטפח ולשמר אוכלוסייה מקצועית לאורך שנים, אשר אנשיה יצברו ניסיון והתמחות ויוכלו להמשיך ולהציע את המערכים הטכנולוגיים אל קדמת הידע והיכולת. לפיכך מקדיש צה"ל מאמצים ומשאבים רבים לפיתוח כוח-אדם טכנולוגי איכותי.

### הערות

1. מרכיב אחר של המערך הטכנולוגי הוא אוכלוסיית המהנדסים והטכנאים. חשיבותה אינה מבוטלת, אך מאפייניה ודרכי הטיפול בה שונים. נושא זה לא יידון במאמר הנוכחי.
2. ראוי לשים לב כי האיוש בשנה מסוימת הינו תוצאתי: המהנדסים הצעירים ביותר בצה"ל כיום הם אלה אשר הצטרפו לעתודה האקדמית והחלו את לימודיהם בשנת 1998.
3. סביר להניח כי גם למשבר בשוק ההייטק ישנה תרומה מסוימת לעלייה במידת ההצטרפות למסלול העתודה האקדמית, שכן ללומד במסגרת זו מובטחת תעסוקה מקצועית למספר שנים לאחר תום לימודיו במסגרת צה"ל, ללא תלות במצב השוק האזרחי. אולם ההחלטה להירשם לעתודה האקדמית נובעת בראש ובראשונה משיקולים ארוכי טווח של המתגייס, והוא מודע לכך שמצב השוק בעת קבלת ההחלטה על הצטרפות לעתודה האקדמית אינו בהכרח המצב שישרור עם תום הלימודים. יתר על כן, מגמת השיפור בהרשמה לעתודה החלה כבר בשנת הלימודים תש"ס, אשר נפתחה באוקטובר 1999 – לפני שפרץ המשבר בשוק ההייטק.

### מקורות

1. אגף כוח-אדם, 2001, נתונים מספריים של קצינים וקצינים מהנדסים בצה"ל, קובץ ועובד מחטיבת הסגל/ ענף תכנון ובקרה
2. בן-ישראל י', 1997, "תורת הביטחון והלוגיקה של בניין הכוח", מערכות 354, עמ' 33-43
3. מדר, י', 2000, תוכנית לפריסת שיאי אקדמאים בצה"ל שנ"ע 2000-2001, אגף התכנון/ מחלקת תכנון/ ענף תכנון כוח-אדם, מסמך מתאריך 1.2.2000
4. מופז ש', 1999, "צה"ל בשנות ה-2000", מערכות 363, עמ' 2-9
5. מופז ש', 2000, "דבר הרמטכ"ל", דברים מתוך הרצאה שנשא בטקס פתיחת השנה הטכנולוגית בצה"ל, ערב יום-העצמאות התש"ס, 7 במאי 2000 (בכתובים בידי המחבר)
6. פולג א', 2000, "פיתוח כוח-אדם טכנולוגי בצה"ל", מתוך מקצועות עתידיים נדרשים (הכנס המדעי השלישי: חוברת מאמרים לקראת הכנס), אופק 2000

במחזור. חניכי התוכנית מקבלים מלגות מוגדלות וזוכים לתנאים משופרים במשך כל שנות ההכשרה. לתוכנית אחראית מפא"ת יחד עם אגף כוח-אדם.

חניכי המחזור הראשון של התוכנית החלו את לימודיהם בסוף 1999 ונמצאים בימים אלה בעיצומה של שנת הלימודים האחרונה שלהם. מספר המבקשים להצטרף לתוכנית הוא גדול מאוד ומאפשר סינון קפדני ואיכותי. אולם מעבר לחשיבות התוכנית כשלעצמה היא גם הגבירה את המודעות ליתרונותיה של העתודה האקדמית, וכתוצאה מכך הביאה להרחבתו של מעגל הפונים לעתודה על כל מסלוליה – העתודה האקדמית הרגילה, "עתידים" ו"פסגות".

"ברקים". תוכנית חדשה זו מציעה לעתודאים מצטיינים לימודים בתחום הנדסת המכונות בטכניון. המצטרפים ילמדו לתואר ראשון ואת מקצועות החובה של התואר השני בארבע שנים ולאחר מכן יבצעו עבודת מחקר (תיזה) במהלך שירות החובה. הבוגרים ישובו בתפקידי מחקר ופיתוח. המחזור הראשון של העתודאים במסגרת תוכנית זו מצוי כעת בשנת הלימודים הראשונה.

נוסף על הצעדים שפורטו לעיל נעזר צה"ל גם בגופים חיצוניים – דוגמת משרד החינוך, רשתות החינוך המובילות ומוסדות אקדמיים – כדי לשכנע את בני הנוער לפנות ללימודי המדעים כבר בבתי-הספר התיכוניים ולאחר מכן במוסדות להשכלה גבוהה.

### הקמת מינהל לכוח אדם טכנולוגי

כפי שכבר צוין, קרוב ל-25% מהקצינים בצה"ל הם מהנדסים המאיישים תפקידים מגוונים בכל החילות והיחידות בצבא. מדובר באוכלוסייה בעלת מאפיינים ייחודיים רבים, גם אם חברה משרתים בסביבות שונות. בשל כך גובש הרעיון להקים גוף ייעודי, אשר התמחותו תהיה טיפול באוכלוסייה זו. העקרונות המנחים בייזום הקמתו של הגוף החדש היו:

- איחוד הטיפול באוכלוסייה לאורך כל השלבים: החל מעידודם של בני נוער לפנות למקצועות הריאליים, דרך הגיוס לעתודה האקדמית במקצועות ההנדסה, תקופת הלימודים וכלה בשירות הצבאי – בחובה ובקבע. מדובר איפוא בגוף חוצה תקופות.

- מתן ראייה רוחבית כלל-צה"לית בטיפול באוכלוסייה הזאת. מהבחינה הזאת מדובר בגוף שהוא גם חוצה חילות.

- שילוב קצינים מהמערך הטכני עם אנשי כוח-אדם בסגל של הגוף החדש.

עבודת המטה לקראת קבלת האישור להקמת הגוף נוהלה בשנים 1999-2000, ובסיומה אישר הרמטכ"ל להקים מינהל לכוח-אדם טכנולוגי. לצורך הקמת גוף זה הוגדרו סמכויות ותחומי אחריות חדשים, וכן הועברו אליו סמכויות קיימות מגופי מטה אחרים. בראשו – כך הוחלט – יעמוד מהנדס בדרגת אלוף-משנה.



# קשרי חוץ טכנולוגיים

שיתוף פעולה בין מדינות הפך לחיוני ביותר בעולם שלאחר המלחמה הקרה, הן משום שהפתיחות בין המדינות גדלה, והן משום שקוצצו תקציבי הביטחון ברוב המדינות בעולם. במדינות המערב גברה ההבנה שהרווח משיתוף פעולה הוא גדול מאוד, בעיקר בהיבטים של נגישות לטכנולוגיות של מדינות שונות, איחוד כוחות, מניעת כפילויות וחסכון של ממש במשאבים

## ורה דוביצקי / קש"ט, היחידה לקשרי חוץ ולשיתוף פעולה טכנולוגי

OCCAR D'armement – גוף זה, שהמדינות המובילות בו הן צרפת, גרמניה, בריטניה ואיטליה, מקדם שיתוף פעולה בתחום החימוש באמצעות דיונים משותפים בצרכים העתידיים המשותפים ובאמצעות בנייתו של בסיס טכנולוגי משותף למדינות החברות.

European Cooperation for the Long Term (EUCLID) in Defense – משימתו של גוף זה היא לעודד מדינות אירופיות לשתף פעולה בפיתוח מערכות חימוש החל מהשלבים הראשוניים ביותר. הנושאים המטופלים במסגרתו הם: טכנולוגיית מכ"ם, מיקרו-

אלקטרוניקה, לוויינים וכו'.

THALES – תוכנית לשיתוף פעולה בין

המעבדות הלאומיות של האיחוד האירופי.

מדינת ישראל הפכה להיות יעד

אטרקטיבי לשיתוף פעולה בתחום המו"פ

הצבאי בשל היותה מדינה טכנולוגית

מתקדמת ובשל היותה "מעבדה" לניסוי

אמצעי לחימה בשדות קרב אמיתיים. יחד

עם זאת, בשל התהליכים הגלובליים

שהוזכרו לעיל גברה הסכנה שישראל תמצא את עצמה מחוץ

ל"מגרש" העולמי – מה שמחייב אותה למאמץ הולך וגובר

בתחום השת"פ הבינלאומי.

לשיתוף פעולה בין מדינות יש כמה רמות – החל מחילופי

מידע בנושאי טכנולוגיה ומחקר, דרך חילופי מידע על

מערכות של אמצעי לחימה, החלפת ציוד להערכה וחילופי

מדענים וכלה בפסגה של שיתוף הפעולה, שהיא פיתוח

משותף של אמצעי לחימה.

למדינת ישראל קשרי שת"פ ענפים בתחום המחקר

והפיתוח עם הגדולה שבידידותיה – ארה"ב – וכן עם רבות

ממדינות אירופה ובעיקר עם אלה מביניהן המובילות בתחום

הטכנולוגיה.

קש"ט, היחידה לקשרי חוץ ולשיתוף פעולה טכנולוגי, אחראית לחשיפת מפא"ת לסביבת הטכנולוגיה הביטחונית בעולם כדי לסייע לקידום המו"פ הביטחוני הישראלי.

שיתוף פעולה בין מדינות הפך לחיוני ביותר בעולם שלאחר המלחמה הקרה, הן משום שהפתיחות בין המדינות גדלה, והן משום שקוצצו תקציבי הביטחון ברוב המדינות בעולם. במדינות המערב גברה ההבנה שהרווח משיתוף פעולה הוא גדול מאוד, בעיקר בהיבטים של נגישות לטכנולוגיות של מדינות שונות, איחוד כוחות, מניעת כפילויות וחסכון של ממש במשאבים.

דו-שיח או רב-שיח בין-לאומיים בתחום של טכנולוגיות צבאיות מאפשרים לחזות כיווני פיתוח ולקבל החלטות האם לרכוש או לפתח מערכות חימוש כאלה ואחרות.

מהפכת ההיי-טק מביאה לפיתוחן של מערכות נשק יותר ויותר מתוחכמות, אך גם יותר ויותר יקרות. העלויות הן לעיתים כה גבוהות, עד כי לעיתים קרובות לא ניתן להעלות על הדעת מימושם של

רעיונות מבטיחים ללא שיתוף פעולה עם מדינות אחרות וחלוקת הנטל התקציבי ביניהן. זאת הסיבה לכך שהולכת וגוברת הנטייה הן בארה"ב והן באירופה לשיתוף פעולה

בתחום המו"פ הביטחוני. הדבר בא לידי ביטוי – בין היתר – בבניית תשתית מדעית-טכנולוגית משותפת ובמיזוג חברות על בסיס לאומי או רב-לאומי. בארה"ב כמו קונצרנים

ביטחוניים ענקיים, שהם תולדה של מיזוג חברות. באירופה אנו עדים לניסיונות ליצור מסגרות אירופיות למו"פ ביטחוני. הכוללות שבהן:

WEAG) Western European Armament Group – גוף זה הציב לעצמו מטרה להגביר את היעילות בתהליכי מו"פ באמצעות שיתופי פעולה, האחדת הדרישות, חיזוק תשתיות טכנולוגיות אירופיות ופתיחה של שווקים לאומיים לתחרות חוצת גבולות.

Organisme Conjoint De Cooperation En Matiere

לשיתוף פעולה בין מדינות יש כמה רמות – החל מחילופי מידע בנושאי טכנולוגיה ומחקר וכלה בפסגה של שיתוף הפעולה, שהיא פיתוח משותף של אמצעי לחימה





# אין כאן שום מלכוד

העימות המוגבל אינו התנגשות בין צבאות בשדה הקרב, אלא התנגשות בין רצונות לאומיים. רצון לאומי לא ניתן לבטל באכזריות מגל. לא העוצמה הצבאית היא שמכריעה את העימות, אלא תעצומות הנפש. תגובתו של מחבר החוברת "העימות המוגבל" למאמרו של אל"ם יהודה וגמן, "מלכוד העימות המוגבל", מערכות 385

## אל"ם (מיל') ניר שמואל

מי שתכליתו הפוליטית היא להביא לכיליון היישות הציונית בארץ-ישראל, יכול להשיג זאת באמצעות העימות המוגבל למרות האסימטרייה הבוטה. ואכן, הטרור אינו איום קיומי. הטרור, כמו הגרילה, הוא שיטת פעולה, אמצעי. אולם אם הטרור מופעל נגד חברה רפה באמונתה, בצדקת דרכה וביכולתה, הוא יכול להביא להכרעה ממש כמו תבוסה במלחמה. הוא משיג זאת באמצעות הפגיעות הפיזיות והנפשיות, הפגיעה הכלכלית ואי-הוודאות בכל תחומי החיים.

הפרסום "העימות המוגבל" אינו עוסק - באופן מודע ומכוון - בשיטות לחימה (גרילה וטרור), אלא מקפיד לעסוק בעימות. עימות - כמושג המגדיר תופעה או מצב בתחום הביטחון הלאומי - הוא סכסוך אלים או אלים בפוטנציה, הכרוך בשימוש בנשק או באיום לעשות שימוש בנשק להשגת מטרות פוליטיות ואחרות. אני מניח כי העיסוק בעימות ולא בשיטות לחימה הנקוטות בו יסכלו הערכת חסר לעימות.

### סגנון לחימה לאומי

אינני יודע לתאר את סגנון הלחימה

היריב, ומכיוון שסגנון הכתיבה אינו צבאי, ייתכן שנוצר קושי למי שמחונכים לעשייה ושמבחנו הוא המעשה. לעיתים נדרשת קריאה שנייה ולעיתים

**הטרור, כמו הגרילה, הוא שיטת פעולה. אם הוא מופעל נגד חברה רפה באמונתה, בצדקת דרכה וביכולתה הוא יכול להביא להכרעה ממש כמו תבוסה במלחמה**

נדרש פירוש. אולי כאן טמונה הסיבה שהדברים כתובים, אך לא נראים ועל כך יש אולי מקום להתנצל.

### "הטרור אינו איום קיומי"

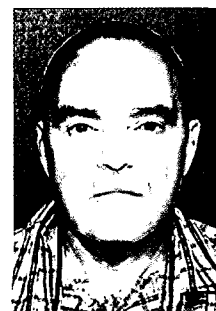
הכותב מסביר כי "ראשיתה של הטעות בניהול הלחימה בטרור הייתה בכך שמקבלי ההחלטה על פתיחת התהליך המדיני עם אש"ף אימצו קו הטווען ש"הטרור אינו איום קיומי". את הטעות הזאת בהבנת משמעותו של העימות המוגבל מתקן הפרסום "העימות המוגבל" ומסביר: "העימות המוגבל הוא בעל תכלית פוליטית. הכרעתו מושגת באמצעות שינוי תודעתי בחברה, על-די הוגעה (התשה)". במילים אחרות,

מאמר זה נכתב בתגובה למאמרו של אל"ם יהודה וגמן, "מלכוד העימות המוגבל", שפורסם בגיליון 385 של "מערכות", ושבו הוא מצביע על תפיסות שגויות הכלולות - לדעתו - בחוברת של צה"ל, המוקדשת לחימה במסגרת העימות המוגבל.

בפתח התייחסותי אני מבקש להבהיר: הפרסום "העימות המוגבל" אינו הנחיה תורתית. הוא מנסה להסביר רעיון ולא בא לתאר סכסוך או זירת מבצעים קונקרטיים. "העימות המוגבל" נועד רק להניח את חומר הגלם, שממנו תעוצב התורה. בטרם נכתוב את התורה עלינו בראש וראשונה להבין את טבע העימות הן מהיותו עימות אסימטרי והן מנקודת מבטו של

הצד האחר, היריב. ב ח ו ב ר ת "העימות המוגבל" נעשה ניסיון לכתוב את ההלכה טרם גיבושה של התורה. מכיוון שהחוברת "העימות המוגבל" מבטאת רעיון ושמה דגש על נקודת המבט של

קצין מודיעין



הלאומי שלנו, אבל אני יכול לומר את הדברים הבאים:

במציאות של מעטים מול רבים – רבים שלהם תקווה לעקור אותנו ממולדתנו – היה על האבות המייסדים להבטיח את הישרדותנו הפיזית. הכלי העיקרי המאפשר את הקיום הפיזי הוא הכוח הצבאי. "העוצמה הצבאית של ישראל, על-פי תורת הביטחון, היא להרתיע את הערבים מלצאת נגדה למלחמה ולהכריעם במלחמות שיפרצו כאשר ההרתעה תתגלה כבלתי מספקת".

תורת הביטחון, שגובשה לאור המציאות הביטחונית של מעטים מול רבים, נשענת על שלושה מושגי יסוד: הרתעה והכרעה כביטוי לעוצמה וההרתעה שנועדה להצביע מוקדם ככל האפשר על התמוססותה של ההרתעה. הדימוי ההרתעתי שלנו אמור לשכנע את המדינות העוינות אותנו כי מלחמה רבתי נגדנו אינה עומדת במבחן הכדאיות, ותוצאותיה הצבאיות ידועות מראש.

חלקו של הצבא בהבטחת קיומנו הוא חד-משמעי ומכריע מול איום קיומי. מי שמנסה לכולתנו בכוח הזרוע, הצבא נועד למנוע זאת ממנו, אם בכוח ההרתעה ואם בכוחה של יכולת ההכרעה.

תורת הביטחון, אשר מתורגמת לעוצמה צבאית, ממומשת באמצעות אסטרטגיה של הכרעה – שיתוק יכולתו ושבירת רצון הלחימה של האויב, הגורמים לו לחדול מלפעול ביעילות. ההכרעה צריכה להתבצע בזמן קצר ככל האפשר ובשטחו של האויב.

אולם כעת אנו ניצבים בפני עימות מוגבל, שיודע להתחכם לעוצמה ולהרתעה הנובעת ממנה, והאסטרטגיה שלו – ההוגעה – היא הפוכה מאסטרטגיית ההכרעה. הצד הבוחר לפתוח בעימות מוגבל, ובכלל זה באסטרטגיה של הוגעת היריב, עושה זאת מתוך אילוש, ואילו מבחינתנו מדובר בבחירה. כלומר, נתונה לנו היכולת לבחור באסטרטגיה התואמת

את סגנון הלחימה הלאומי שלנו. הבחירה אם ללכת בדרך של מלחמה או בדרך העימות המוגבל, אם לנקוט אסטרטגיה של הכרעה צבאית או של הוגעה, היא בראש ובראשונה פועל יוצא של ההערכה מה מכל אלה יקל עלינו להשיג את התכלית המדינית שלנו. יש להניח כי בעימות בינינו לבין הפלסטינים משרתת אותנו אסטרטגיית ההוגעה בצורה טובה יותר בשל תנאי המיוחדים של העימות ובשל התמורות המתחוללות בעולם בכל הנוגע לגיטימציה שניתנת להפעלת כוח.

## אובדן האמונה ביכולת להכריע

אינני יודע מהיכן לקוחה המסקנה כי "קו אופי בולט בדור שגדל בקרבנו הוא אובדן האמונה ביכולת להכריע". ההכרעה במובנה המקובל היא שבירת רצון הלחימה של האויב ושיתוק יכולתו לפעול ביעילות. אבל ייתכן שההגדרה הנכונה להכרעה בעימות מוגבל היא שבירת רצון הלחימה של החברה ושל לוחמיה ושכנועם כי אפסו סיכוייהם להשיג את מבוקשם – ולו באורח זמני.

**כעת אנו ניצבים בפני עימות מוגבל, שיודע להתחכם לעוצמה ולהרתעה הנובעת ממנה**

העימות המוגבל אינו התנגשות בין צבאות בשדה הקרב, אלא התנגשות בין רצונות לאומיים. רצון לאומי לא ניתן לבטל באבחת מגל. לא העוצמה הצבאית היא שמכריעה את העימות, אלא תעצומות הנפש. במציאות של אסימטריה בוטה בינינו לבין הפלסטינים, אובדן האמונה ביכולת להכריע אינו נובע ממחסור ביכולות או במשאבים, אלא מהיווצרותו של ספק באשר לחיוניותה של המטרה.

אני מבקש להזכיר לכותב שמבצע "חומת מגן" היה אות ומופת להקרבה

"למען ערך ששווה לסכן עבורו את החיים". אובדן האמונה ביכולת להכריע משקלו מועט, ואולי אף אפסי, כאשר העימות הוא "למען ערך ששווה לסכן עבורו את החיים".

חלקו של הצבא בעימות המוגבל אינו נגרע, והוא יודע כי הצלחתו בלחימה תקבע במידה מכרעת את משך העימות, את מחירו ואף תשפיע על תוצאותיו המדיניות. אף שהצבא במלחמה מכריע, ואילו בעימות המוגבל הוא רק משפיע באופן מכריע, הרי דבקו של דור הלוחמים הנוכחי להשיג את משימותיו ולהכריע בקרב אינה נפגמת. זה מוכח שוב ושוב.

## הזירה והמטרה

וגמן כותב כי "ההשוואות שעושים אצלנו בין מה שמתרחש בזירת הלחימה כאן לבין ניסיון של מדינות אחרות בתחום הזה מעלות תהיות על מידת הרצינות של המשוים ומעוררות את החשד שההשוואות האלה משרתות לא יותר מאשר צרכים פוליטיים ואישיים". למען הגילוי הנאות ראוי היה כי הכותב ינקוב בשם של אלה שמתעורר חשד כי ההשוואות משרתות לא יותר מאשר את צורכיהם הפוליטיים והאישיים.

ההשוואות המובאות בפרסום "העימות המוגבל", ואשר לקוחות ממלחמת וייטנאם, נבחרו מכיוון שמדובר בדוגמאות לאסימטריה בוטה בין שני צדדים, שאחד מהם הוא מעצמה, שהיא לנו מודל לחיקוי. אף שמלחמת וייטנאם התנהלה בין שתי ישויות מדיניות, והופעלו בה מסגרות צבאיות סדירות של שני הצדדים, היא ממחישה היטב את קשייה של מדינה חזקה להסתגל לאתגר שמציב בפניה גורם חלש הרבה יותר, שאינו פועל על-פי הגיונה.

המרחק בין וייטנאם לבין פריז או בין וייטנאם לוושינגטון וההגדרה השונה של המטרות אינם משפיעים על האופן שבו ינהג צד נחות במהלך מאבק נגד אויב החזק ממנו עשרות מונים. מצב היסוד של אסימטריה בוטה הוא

שמעצב את טבע העימות. הדבר בא לידי ביטוי החל מהאסטרטגיה שנקטת, דרך המערכה על התודעה, האפקטים המשרתים אותה וכלה בשיטות הפעולה.

הבחירה באסטרטגיה של הכרעה צבאית או של הוגעה היא פועל יוצא של שקלול הרכיבים הבאים: הערכה של מידת חיוניותה של המטרה לכל אחת מהחברות, יכולתנו למצות את כוחנו מול הניסיון להעתיק את הלחימה למחוזות שאין בהם יתרון לגודל ומידת ההתאמה לנסיבות הפנימיות והחיצוניות: באיזו מהאסטרטגיות נשיג במחיר נמוך יותר את התכלית המדינית שלנו.

## העימות המוגבל במבחנה של תורת הביטחון

תורת הביטחון הישראלית – שיסודותיה הם הרתעה, התרעה והכרעה – מתאימה לעימותים עם מדינות, אך לא לעימותים מוגבלים בעלי אופי אסימטרי. הסיבה המרכזית לכך היא שהאויב הנחות, שלרוב אינו מדינה, אלא ארגון או קובץ של ארגונים, מוצא תשובות לעוצמה הניצבת מולו ולתורת הביטחון שעומדת מאחוריה.

**התשובה להרתעה.** בבסיסו של רעיון ההרתעה עומדת הנחת היסוד כי המרתיע והמורתע פועלים על-פי אותו היגיון, כלומר מבחן הכדאיות זהה בעיקרו לשני היריבים. אך זו אינה המציאות בעימות המוגבל. האסימטרייה הבוטה בין היריבים כמוה כשתי שפות שונות וכשני הגיונות שונים. אם היריב הנחות ידבר בשפת מדינה, והגיונו יהיה זהה לזה של מדינה, הוא נידון לכליה. הקו המנחה אותו הוא לפעול מחוץ לתחום המודעות של יריבו, מחוץ לקווי המתאר של הגיונו. מכאן שהנחת היסוד לקיומה של הרתעה בזכות ההגיונות הזהים של היריבים אינה רלוונטית לעימות המוגבל. ההרתעה שנועדה למנוע מלחמה אינה תופסת, ולראיה – עצם התרחשותו של העימות.

**התשובה להתרעה.** היריב הנחות פועל באופן המקשה מאוד על השגתה של התרעה. היכולת להשיג התרעה מבוססת על הכרת השגרה של הצד האחר ועל היכולת לזהות מתי הוא יוצא ממצב של שגרה. אולם הצד החלש בעימות המוגבל מקפיד בדרך כלל להיוותר סמוי, דהיינו למנוע מידע מהצד האחר. בהעדר מידע קשה להכיר את השגרה של היריב האסימטרי וגם את יציאתו מאותה שגרה.

**התשובה להכרעה.** היריב הנחות מכיר בעוצמה העדיפה שיש ליריבו החזק יותר, ובהיותו נחות בכוחו הוא בוחר להכריע את המערכה שלא בשדה הקרב, אלא על-ידי שינוי תודעתה של החברה היריבה.

**עלינו להתגבר על תפיסות ועל מושגים שעליהם חונכנו, דוגמת תפיסת הביטחון הרגילה, המבוססת על המשולש הרתעה, התרעה והכרעה**

במילים אחרות: הצד הנחות בעימות המוגבל יודע להערים על יסודותיה של תורת הביטחון של הצד החזק יותר. יחד עם זאת חשוב להדגיש: העימות המוגבל, שיודע להערים על יסודותיה של תורת הביטחון, אינו מבטל את תקפותה של התורה הזאת, שהרי מדינת ישראל עדיין מוקפת במדינות הרוצות להשמדה, ואשר פועלות לפי היגיון מדינתי. המסקנה היא איפוא שיש לצרף את תורת העימות המוגבל לצד תורת הביטחון הרגילה.

המציאות הביטחונית כיום שונה מזו ששררה בעת שגובשה תורת הביטחון של ישראל. השונות הזאת באה לידי ביטוי בעיקר בהתרחבותה של קשת האיומים. תורת העימות המוגבל אינה בן חורג לתורת הביטחון ואינה סותרת אותה, אלא יונקת מהמציאות, והיא חלק ממנה.

## סיכום

קשת האיומים שמולם ניצבת מדינת ישראל התרחבה ללא הכר מאז קמה, וכך גם השתנו פניה של החברה הישראלית. המשולש הרתעה-התרעה-הכרעה, שהיה כמו אנטיביוטקה המנצחת כל מחלה, נתקל בחיידקים שפיתחו בפניו עמידות. התרופה שלה אנו נזקקים בעימות הנוכחי הוא כושר הסתגלות.

תהליך ההסתגלות אינו קל כלל ועיקר. ההסתגלות קשה יותר בעימות המוגבל, שכן זהו עימות בין יריבים אסימטריים, אשר מבוסס על עולם תוכן אחר מזה המוכר לנו במלחמה בין ישויות מדיניות. ככל שעולם התוכן, שעליו מבוסס העימות, הוא מופשט יותר וקשה יותר לכימות, תהליך ההסתגלות מורכב יותר לנו.

הצד הנחות חייב להתחדש כל העת, ליצור שוב ושוב שפה חדשה. על מנת שנוכל להבין את השפה המשתנה כל הזמן, עלינו להתגבר על תפיסות ועל מושגים שעליהם חונכנו, דוגמת תפיסת הביטחון הרגילה, המבוססת על המשולש הרתעה, התרעה והכרעה, ולהיפתח למובנים אחרים של המושגים האלה ושל מושגים אחרים. בלי זאת לא נוכל ליצור נגישות מנטלית לשפת היריב הזרה לנו.

היחלצות מכבלי המוסכמות ולימוד מעמיק של טבע העימות וטבע היריב הם התשתית הכרחית לקיומו של תהליך הסתגלות רלוונטי במציאות משתנה ומורכבת דוגמת זו שבה אנו מצויים.

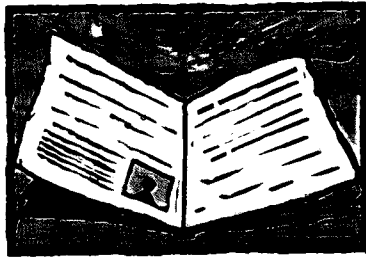
לסיום, הדיון צריך להימשך ולהעמיד תחת שבט הביקורת את הפרסום "העימות המוגבל". בן היתר עלינו לברר האם הפרסום "העימות המוגבל" מניח תשתית רעיונית נכונה ומספקת לכתיבתה של תורת לחימה רלוונטית.

## הערות

1. ישראל טל, **ביטחון לאומי**, עמ' 61



ספרים



סיקורת

# מודיעין מול ביטחון המידע: המלחמה המתמדת

ספרים רבים כבר נכתבו על מכונת ההצפנה הגרמנית "אניגמה" ועל האופן שבו פיצח המודיעין הבריטי את סודותיה. אולם ספרו של יו סיבאג-מונטפיורי, "אניגמה: סיפור הקרב על הצופן" (תל-אביב, יבנה, 2002, 352 עמודים) עוסק גם בהיבטים שלא טופלו עד כה בהרחבה, כגון הכשל הגרמני בתחום אבטחת המידע - תחום שהוא אקטואלי גם כיום

סא"ל (מילי) ד"ר יגאל שפי

כתוצאה משילוב שבין הצלחת הצד האחד לבין מחדלי הצד האחר. להצלחה תרמו מודיעין אנושי, שיתוף פעולה מודיעיני, גאונות מתימטית, עליונות טכנולוגית -

תעשייתית, חשיבה מקורית, תעוזה ויוזמה מבצעית בקרב בעלות הברית. המחדל התאפשר מחמת ליקוי מאורות מתמשך, שמנע מהגרמנים לזהות ולהתגבר על הפרצות הביטחוניות. זהו סיפור היסטורי שיש בו לקחים אקטואליים לא רק בתחום המודיעין ושימושי, אלא גם

בתחומים של ניהול מערכות מידע ושל אבטחת תקשורת ומחשבים. הסיפור מתחיל בשנות ה-30 של

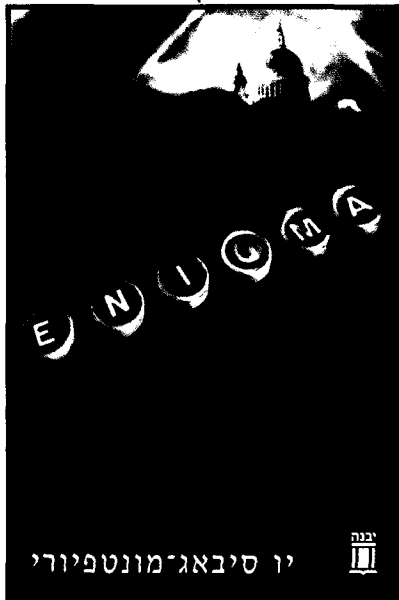
שעשו שוברי הצפנים בבלצ'לי פארק (Bletchley Park), האחוזה מצפון ללונדון שבה הם התמקמו במהלך המלחמה. להפך, בהתרכזו בהיבט הימי של פרשת

"אניגמה", הוא פורש בפני הקורא עלילה מופלאה אפילו יותר מהמיתוס. בפסעו על קרקע מוכרת מפרסומים קודמים, הוא מתאר כיצד פוענחו שדרי חיל הים הגרמני, בעיקר זרוע הצוללות שלו, וכיצד תוכנם נוצל בידי האדמירליות והצי הבריטיים. אלא שלעבודת

השבירה והפענוח הוא מוסיף ממדים מוכרים פחות. הללו מראים כיצד מערכת הצפנה משוכללת ומוגנת נפרצה

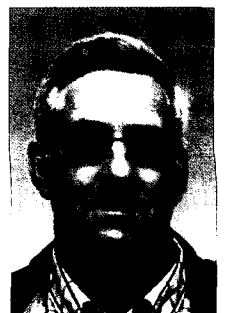
כל איש מודיעין מכיר את הסיפור כיצד כמה גאוני מתימטיקה ופותרי תשבצים פולנים ובריטים חדרו לקרביה של מכונת ההצפנה הגרמנית "אניגמה", ובחושפם את סודות הרייך השלישי, תרמו תרומה משמעותית לניצחון של בעלות הברית במלחמת העולם השנייה. הסיפור, כמובן, מורכב יותר, ונדבך נוסף שלו מסופר בספרו של יו סיבאג-מונטפיורי, "אניגמה: סיפור הקרב על הצופן", שראה אור בבריטניה לפני כשנתיים ותורגם באחרונה לעברית.

המחבר, עיתונאי בריטי מצאצאי הנדבן היודי הידוע משה מונטיפיורי, אינו ממעיט מערכה העבודה המופלאה



יו סיבאג-מונטפיורי

מרצה בתוכנית ללימודי ביטחון באוניברסיטת תל-אביב



מודיעין מול ביטחון המידע: המלחמה המתמדת

387

מגזר הכפרות

כדי לפשוט עליהן בהפתעה וללכוד את תכולתן התקשורתית. צוותים מיוחדים הוכנו באוניות כדי להשתלט על צוללות גרמניות שנפגעו בטרם יהיה סיפק בידי צוותיהן להשמדן. כזה היה, למשל, סיפור הדוקרב בין המשחתת "פטארד" לצוללת U-599 בדרך בין פורט-סעיד לחיפה. המשחתת אילצה את הצוללת לצוף לאחר שפגעה בה בפצצות עומק, וצוותה נטש אותה. קצין ושני מלחים בריטים נכנסו לתוכה כדי להציל את מכשיר ה"אניגמה" ומסמכים נלווים. הם הספיקו להעביר לחבריהם חלק מהשלל, כשלתע שקעה הצוללת ולקחה עימה שניים מהם למצולות. שוברי הצפנים, שבמשך חודשים עמדו חסרי אונים מול צופן הצוללות, חזרו בעקבות המסמכים שקיבלו ושוב לקרוא אותן.

סיפור דומה חזר על עצמו בפרשת הצוללת U-110, אלא שהפעם שרדה הצוללת על כל שלל ספרי הקוד ומפתחות ה"אניגמה". הבריטים השקיעו מאמץ כביר ותחבולות מתוחכמות כדי להבטיח שהגרמנים לא יגלו שהצוללת נתפסה בשלמותה ויסכנו את סוד "אולטרה" (שם הקוד שנתנו בעלות הברית לתוצרים המודיעיניים שהופקו מפענוח ה"אניגמה").

כדי להשיג מידע עדכני הציע קצין מודיעין ימי בריטי בשם איאן פלמינג להטיס מפציץ גרמני שנתפס שלם חזרה לשדה תעופה בצרפת, כשליד ההגאים יושבים טייסים בריטים מתחזים, בתקווה שהללו יקבלו לידיהם מפתחות "אניגמה" עדכניים. התוכנית אומנם לא יצאה לפועל, אבל דמיונו של פלמינג הביאו לאחר שנים ליצור את דמותו של סוכן הביון האגדי ג'יימס בונד.

כידוע, המודיעין הטוב ביותר יהפוך לחסר ערך, אם לא ניתן לנצלו כיאות, וההתרעה הבהירה ביותר תאבד את ערכה, אם לא תגיע בזמן. לכן הבעיה שניצבה בפני אנשי בלצ'לי פארק הייתה לא רק כיצד לשבור את

שנים, ותיאורם בספר הוא בבחינת ניתוח אירוע קלסי בהפעלת סוכנים. באותה העת עשו מתימטיקאים צעירים בשירות המודיעין הפולני את הצעדים הראשונים והמוצלחים בהתמודדות עם מכונת ההצפנה. הם הצליחו לשחזר את מכונת ההצפנה ולפתח כלים לפענוח שדריה, וכאשר הרגישו כי יחסי פולין-גרמניה נמצאים על סף תבערה גדולה, הם מסרו את המידע ודגמים של המכונה המשוחררת לנציגים של שירותי המודיעין הצרפתי והבריטי. לאחר שצבא גרמניה פלש לפולין, הם הספיקו לצאת את המדינה ברגע האחרון, וגם כאשר אחדים מהם נתפסו, עדיין נצרו את סודם.

לאחר נפילת צרפת תפסו הבריטים את המקום הראשון במאבק נגד צפונות "אניגמה". נוסף על הכיוון הקריפטולוגי (תורת ההצפנה) שבו פסעו, הם התאמצו מאוד גם להניח את ידיהם על מכונות הצפנה, על הוראות הפעלה, על מפתחות ועל ספרי צופן. הספר מפרט בהרחבה את הפעילות היוזמה של הצי המלכותי ואת הפעילות של יחידות הקומנדו הבריטיות שנועדו לתפוס ציוד ומסמכים מספינות ומצוללות גרמניות. זאת כדי לסייע בידי שוברי הצפנים להתגבר על הגרסה הימית של "אניגמה", שחוזקה הקריפטוגרפי היה רב יותר מחוזקן של

**לעבודת השבירה והפענוח  
תרמו מודיעין אנושי, שיתוף  
פעולה מודיעיני, גאונות  
מתימטית, עליונות  
טכנולוגית-תעשייתית,  
חשיבה מקורית, תעוזה  
ויוזמה מבצעית בקרב  
בעלות הברית**

הגרסאות שהיו בשימוש הוורמאכט והלופטוואפה.

מידע על ספינות בודדות, ששלחו הגרמנים לאיזור הארקטי כדי שתמשנה תחנות מטאורולוגיה, נוצל



האנס תילו שמידט, "מרגל  
האניגמה", בתמונה שצולמה  
בשנות ה-30, לאחר שהעביר  
את ספרי ה"אניגמה" וכיוונויה  
לשירות החשאי בצרפת

המאה ה-20, שעה שהצבא הגרמני התחיל להכניס מכונות "אניגמה" לשירותו. פקיד הצפנה גרמני, האנס תילו שמידט, מכר למודיעין הצרפתי מסמכים יקרים מפז על מבנה המכונה ועל אופן הפעלתה. סיבאג-מונטפיורי ארג את סיפור הנסיבות, שהביאו איש משפחה רגיל, לכאורה, להתנדב לבגוד במולדתו. שמידט, שנכשל בעסקיו בעקבות המשבר הכלכלי בגרמניה בשנות ה-20, ושנהג לפתות את עוזרות הבית בביתו, נמצא תדיר בחסרון כיס. כשנשכר לבסוף כפקיד הצפנה במשרד המלחמה, הבין את ערך המידע שעובר תחת ידיו והציע את מרכולתו לשגרירות הצרפתית בברלין תמורת בצע כסף. לאחר שנעצר בעקבות הלשנה של מפעילו הצרפתי, התאבד האיש באמצעות גולת רעל. יחסיו המורכבים של שמידט עם מפעיליו נמשכו כתשע



מריאן קיינוסקי (עם רעייתו, בשנות ה-30). ב־1932 הצליח לגלות את המבנה הפנימי של ה"אניגמה". בין 1933 ל־1938 עבד עם שניים מעמיתיו על כיצוח הצופן של ה"אניגמה"

הצופן, אלא גם איך לפענח את התשדורות, לתרגמן ולהעביר את תוכנן לצרכנים בזמן יעיל. במישור הימי הוביל המידע שנחשף בתשדורות להסטת שיירות של אוניות באוקיינוס האטלנטי, בים הצפוני ובים התיכון לנתיבים שהרחיקו אותן ממארבי הצוללות. בכך הוא סייע בהכשלת הכוונה הגרמנית לחסום את נתיבי ההספקה הקיומיים לבריטניה ולברית המועצות. תוצאה ישירה של ההצלחה הקריפטולוגית הייתה גם הטבעה מסיבית של אוניות משא ומכליות שהובילו את מטעני בים התיכון לצבאו של גנרל ארווין רומל בצפון אפריקה (ובכך החלישוהו מאוד בהתמודדות היבשתית) וסדרה של התקפות פתע ימיות, אוויריות ותת־ימיות על אוניות הצי הגרמני שיצאו מבסיסהן לים הפתוח. התיאור הדרמטי בספר כיצד טובעה סירת המערכה הגרמנית "שרנהורסט" (Scharnhorst), שתשדורות "אניגמה" חשפו את מסלול הפלגתה, הוא רק דוגמא אחת.

אלא שבצד ההצלחות נרשמו גם כישלונות מבצעים צורבים למרות התרעות שניתנו. בין הכישלונות הבולטים הייתה הטבעתן של 25 מתוך 36 אוניות הסוחר בשירה בריטית, שעשתה את דרכה מאיסלנד לרוסיה ב־1942, ועליה מטענים חיוניים למאמץ המלחמה הסובייטי, או הטבעתן של

**הבעיה שניצבה בפני אנשי בלצ'לי פארק הייתה לא רק כיצד לשבור את הצופן, אלא גם איך לפענח את התשדורות, לתרגמן ולהעביר את תוכנן לצרכנים בזמן יעיל**

נושאת מטוסים ושל שתי משחתות בריטיות במארב ימי. המחדלים האלה התרחשו כתוצאה מדיווחים שגויים או מאוחרים של מידע שמקורו ב"אניגמה"

בידי בני־אדם, שמטבעם נוטים לשגות, ללא קשר למיומנותם. פרצה בלתי נמנעת זו הייתה בעוכריו של ביטחון הקשר הגרמני. זו תופעה שאינה זרה לכל מי שעוסק באבטחת מידע ובהגנה מפני פורצי המחשבים של תחילת המאה ה־21.

הטעויות שעשו הגרמנים היו משלושה סוגים:

1. שגיאות מבצעיות, כגון התקנת מצפנות "אניגמה" באוניות לא לוחמות ופגיעות, דוגמת ספינות לחיזוי מזג אוויר וצידון בסדרות מלאות של ספרי צופן, ששימשו גם חלקים אחרים של הצי. נפילתה של סדרה אחת סיכנה את ביטחונן של האחרות. גם סדרי ההשמדה של חומר מסווג בשעת חירום היו לקויים ובלתי נהירים לימאים.

2. שגיאות תקשורתיות, כגון שידור מברקים זהים בצפנים שונים, חלקם ידניים וחלשים יותר מזה של "אניגמה", שכבר נשברו בידי הבריטים.

3. שגיאות קריפטולוגיות, כגון חזרה על מסגרות תוכן קבועות במשך תקופות ארוכות (למשל: דו"ח מזג אוויר או דו"ח מצב), תחיליות דומות של מברקים והיצמדות לכיוונונים נשנים של מנגנון ההצפנה.

השגיאה החמורה מכולן והמוכרת כל כך לקורא הישראלי הייתה הביטחון העצמי המופרז שהוביל ליוהרה ולזלזול ביריב. האדמירליות והמפקדים הבריטים היו לפרקים בלתי זהירים עד להחריד בשימוש המבצעי שעשו במידע הרגיש שהופק מ"אולטרה". למשל, הם שלחו כוח ימי לחוף אפריקני נידח כדי לפגוע בצוללות שעמדו להיפגש שם עם אוניית האספקה שלהן. הופעת האוניות הבריטיות במקום שהיה רחוק מכל נתיב שיט בדיוק בשעה הייעודה עוררה את חשדם של הגרמנים, ובעיקר את חשדו של מפקד כוח הצוללות, אדמירל קרל דניץ, שביטחון התקשורת הופר. לרוע מזלם של הימאים הגרמנים, מומחי הקשר וביטחון הקשר שלהם היו משוכנעים לחלוטין כי המכונה חסינה. הם דבקו באמונתם בכל פעם שעלה

ובמודיעין תקשורת אחר, מנתקי דיווח בין המערכות של מודיעין התקשורת ושל מודיעין הצי לבין אוניות המלחמה בלב ים ומהתעלמות מפקדים מהמודיעין התקשורת האמין שהוגש להם. במשך המלחמה תוקנו הליקויים, ו"אולטרה" הייתה לאחד הכלים החשובים ביותר להשגת ניצחונן של בעלות הברית במלחמה על השליטה הימית באוקיינוס האטלנטי. יחד עם זאת אין ספק שעקומת הלמידה של האדמירלים עברה כברת דרך ארוכה ומרובת קורבנות עד שהגיעה לשיאה. סיבאג־מונטפיורי מספר גם את סיפורו של הצד האחר בהתמודדות: כיצד משתמשי הצופן ומפעילי ה"אניגמה" כשלו באבטחתה. התהליך הטכני של ההצפנה ב"אניגמה" בוצע בידי מכונה, אולם תוכן התשדורות, כמו ההחלטות לגבי אופן ההצפנה, נקבעו



אדוורד טראוויס, שהתמנה לאחר דניסטון למנהל בלצ'לי פארק (1942) ועמד בראש חבורת המפענחים בתור הזהב שלה, כאשר פוצח לבסוף סוד ה"אניגמה"

ושל התהליכים הטכניים הקשורים בפענוח הצופן. יחד עם זאת התרגום והעריכה רחוקים מלשמור על המינוח המדויק שבו משתמש המחבר בתחומי הצבא, הימייה והמודיעין ועל הקפדתו הלשונית. הנוסח העברי רשלני ורצוף שגיאות ואי-עקביות. להלן כמה דוגמאות: ההבחנה המשמעותית בין הסוגים השונים של אוניות המלחמה (סירת משמר, משחתת, סיירת, סירת מערכה, אוניית מערכה של כיס, אוניית מערכה) נבלעה בדרך כלל בתרגום

**מארג קשרי הגומלין שהתפתח במהלך המלחמה בין המערכים האיסופיים, קשורים לפענוח "אניגמה", שיפר מהותית את הכוונת האיסוף, את השגת המידע, את מיצויו ואת השימוש בו**

שאיחד את כולן תחת המונח הבלתי מקובל "ספינת קרב", ובכך עומעם הערך הטמון בטקסט המקורי המדויק והושם מכשול בפני הבנת הקורא. יתר

של ארה"ב בתחום של פענוח צפנים. בלעדיהם היו בעלות הברית מתעכבות עוד זמן ניכר בפתרון של מסתורי ה"אניגמה". על רקע חיוניותו של שיתוף פעולה מודיעיני בין-לאומי במלחמה הנוכחית בטרור מקבל לקח זה נופך אקטואלי עוד יותר.

סיבאג-מונטפיורי הוציא תחת ידיו ספר כתוב היטב וקריא, מלא צבע ותובנה, שגם אם אינו מחדש משמעותית בגילוייו ההיסטוריים והמקצועיים מול שפע הספרים העדכניים שהתפרסמו בשנים האחרונות על הפרשה, עדיין תורם הרבה בשני היבטים: הראשון – במיפוי כרונולוגי ותימטי של היסטוריית "אניגמה" וההתמודדות הרב-לאומית עימה; השני – בקירוב פניה האנושיים של הפרשה לקורא באמצעות סיפוריהם האישיים של אחדים ממשתתפיה משני הצדדים, בדרך כלל מהדרגים הנמוכים. מאחר שהספר מיועד לקהל הרחב ולא למספר מצומצם של מתימטיקאים, מהנדסים ואנשי תוכנה, נראה שהוא מקדיש מקום רב מדי לתיאור מפורט של היבטים הטכניים-מתימטיים בתהליך השבירה והפענוח. הללו מעניינים פחות את הקורא הממוצע, גם אם הוא איש מודיעין. טוב שחלקו הגדול של המידע הזה רוכז בנספחים המובאים בסוף הספר. לטעמי, קהל היעד היה יוצא נשכר לו היה המחבר מרחיב דווקא בתיאור התהליך שבו הופך הטקסט המפוענח לידיעה מודיעינית מתורגמת ומבוארת אשר מדווחת לצרכנים.

כתיבה קולחת בספר מקצועי אינה משימה פשוטה, והמחבר עמד בה בכבוד. לדאבוני, השבחים האלה אינם מנת חלקו של התרגום העברי. לזכותו ייאמר כי המהדורה העברית נקראת בשטף, והשפה מהוקצעת ונעימה. גם ההיעזרות בבר-סמכה לבירור מושגי קשר, בדמותו של היסטוריון חיל הקשר והאלקטרוניקה בצה"ל – מהלך נדיר ומבורך במקומותינו – סייעה לבהירות תיאורם של נוהלי השימוש ב"אניגמה"

החדש מחדש, או שנמצאו עדויות ברורות שהצביעו על הזליגה. הם אף סיפקו הסברים טכניים ששיכנעו כי פרצה קריפטולוגית כזאת אינה אפשרית. לפנינו לקח בל ימחה כי גם מערכת הנראית לכאורה מאובטחת וחסונה ביותר עלולה להיפרץ מחמת נוהלי הפעלה גרועים ודעות מקובעות. לקח נוסף הוא בתחום האיסוף המודיעיני. מארג קשרי הגומלין שהתפתח במהלך המלחמה בין המערכים האיסופיים, המחקריים והמבצעיים, שהיו קשורים לפענוח "אניגמה", שיפר מהותית את הכוונת האיסוף, את השגת המידע, את מיצויו ואת השימוש בו. בכך הומחש עד כמה ההצלחה בתחום מודיעיני אחד, במקרה זה התחום של מודיעין התקשורת, תלויה באיחוד מאמצים מושכל ורב-תחומי. חשיבות מיוחדת הייתה לשיתוף הפעולה המודיעיני ולחילופי המידע שהתקיימו עוד קודם למלחמה בין שירותי המודיעין של פולין, של צרפת ושל בריטניה ומאוחר יותר גם עם אלה



אליסטייר דניסטון, שעמד בראש הצוות של בלצ'לי פארק 1942





פראנק ברקי, שעמד בראש מפענחי ה"אניגמה" של הצי בבלצ'ילי פארק

על כן, בחלק מהמקרים, שבהם נצמד התרגום למונח שהופיע במקור האנגלי, הוא נמצא שגוי, לפעמים אפילו ללא עקביות. כך, המונח "ספינת סיוור" משמש בערבוביה לתרגום המושגים השונים כל כך סירת (cruiser) מזה וספינת משמר (patrol boat) מזה. סירת-מערכה (battle-cruiser) הייתה ל"ספינת קרב משחתת" (עמ' 152), ותרגום המושג "אוניית מערכה של כיס" (pocket battleship) כ"ספינת קרב

**שבירתה של מכונת ההצפנה הגרמנית וניצולה המודיעיני סייעו לקצר את מלחמת העולם בשנתיים**

זעירה" הפך על פניו את משמעות כוחן הכביר של האוניות האלה, שנבנו בגרמניה כדי לעקוף את מגבלותיו של חוזה ורסאי. "צי הבית" (Home Fleet) הבריטי, דהיינו הכוח שריכז את עוצמתו העיקרית של הצי המלכותי, הונמך בתרגום לרמת "צי החופים" או "שייטת החופים" (ומפקדו העליון לדרגת "מפקד שייטת"), וכך נעשה גם לצי האיטלקי בים התיכון, שהורד לדרגת "שייטת".

שגיאות דומות שזורות במינוח המודיעיני: תעבורה תקשורתית של שיחות ושל מברקים (traffic) הפכה לתנועות, בינה רשתית (traffic analysis) לניתוח תנועות, שדרי רדיו (signals) לאיתותים, מגלה כיוון (direction finding) לשירות ציתות ואיתור, איכון (D/F fix) לתדריך כיוון, וספר קוד (code book) לספר איתות. ההבחנה בין קוד (code) לכתב סתר (כ"ס - cipher) היטשטשה. שירות המודיעין של הפיקוד העליון הגרמני הוגדר לפעמים כמחלקת ריגול ולפעמים כריגול נגדי, ושמו, "אבווהר", שבמקור סייע בהבנת הנקרא, הושמט כליל מהתרגום. בדומה לכך, גוף פענוח הצפנים של הצי הגרמני, B-Dienst המפורסם, זכה פעם לכינוי התמוה "שירותי מעקב" (עמ' 88) ופעם תורגם כ"שירותי הריגול הנגדי" (עמ' 96). אדמירל דאדלי פאוונד לא היה הלורד הראשון של האדמירליות (First Lord of the Admiralty), שהוא שר הימיה בממשלת בריטניה, (עמ' 172), אלא הלורד הימי הראשון (First Sea Lord), תוארו של מפקד הצי המלכותי, כמתורגם נכונה בפעמים אחרות. גם מרשל אוויר ראשי, סר יו דאודינג, שהמחבר הגדירו נכונה כמפקד פיקוד המפציצים, הפך במהלך התרגום למפקד חיל האוויר הבריטי (עמ' 90). הגיית שמו של שובר הצפנים המיתולוגי Alan Turing היא טורינג ולא טיורינג, והרשימה עוד ארוכה.

הרשלנות בעריכה תרמה לכך שספינת מכמורת גרמנית הפכה לצוללת (עמ' 78), שהצוללת U-13 הפכה לצוללת U-33 (עמ' 86), והמקלע הקל "לואיס" הוגדר ברוב הפעמים כרובה. הספר מלווה ביותר מ-50 תמונות של אנשי מפתח, של כלי-שיט ושל מכונות הצפנה ופענוח וכן בהערות ובמראי מקום, בלוח אירועים כרונולוגי ובשישה נספחים טכניים-קריפטולוגיים. חבל שעורכי המהדורה העברית מצאו לנחוץ להשמיט דווקא את נספח המקורות הערכי ואת מפתח

העניינים המפורט והמועיל, שמקל על ההתמצאות במהדורה המקורית. כל הליקויים האלה פוגמים באיכותה של המהדורה העברית, אך אין בהם כדי להמעיט מערך הספר, שהוא מהבודדים בשפתנו שמטפלים בפרשת "אניגמה" והיחיד שמוקדש כולו לנושא הזה. אכן, הספר מעשיר את הידע ואת



מכשיר ה"אניגמה" של הצי, הדומה לאלה שסופקו לצוללות הגרמניות ששייטו באוקיינוס האטלנטי ובים התיכון

התובנה של הקורא הישראלי בפרק חשוב בהיסטוריה הצבאית והמודיעינית של המאה ה-20. הסיפור המפורט שפורש סיבאג-מונטיפיורי סביב "אניגמה" והמלחמה בים עולה בקנה אחד עם מסקנותיהם הקודמות של ההיסטוריונים בדבר תרומתה הכבירה של "אולטרה" לניצחונן של בעלות הברית ועם המסקנה החשובה ביותר, ששבירתה של מכונת ההצפנה הגרמנית וניצולה המודיעיני סייעו לקצר את מלחמת העולם בשנתיים.

מודיעין מול ביטחון המידע: המלחמה המתמדת

387

מִתְבַּרְבְּרֵת



עזר גת

התפתחות  
המחשבה  
הצינאית  
במאה  
העשרים

ספר חדש מבית "מערכות"



ISSN 0464-2147