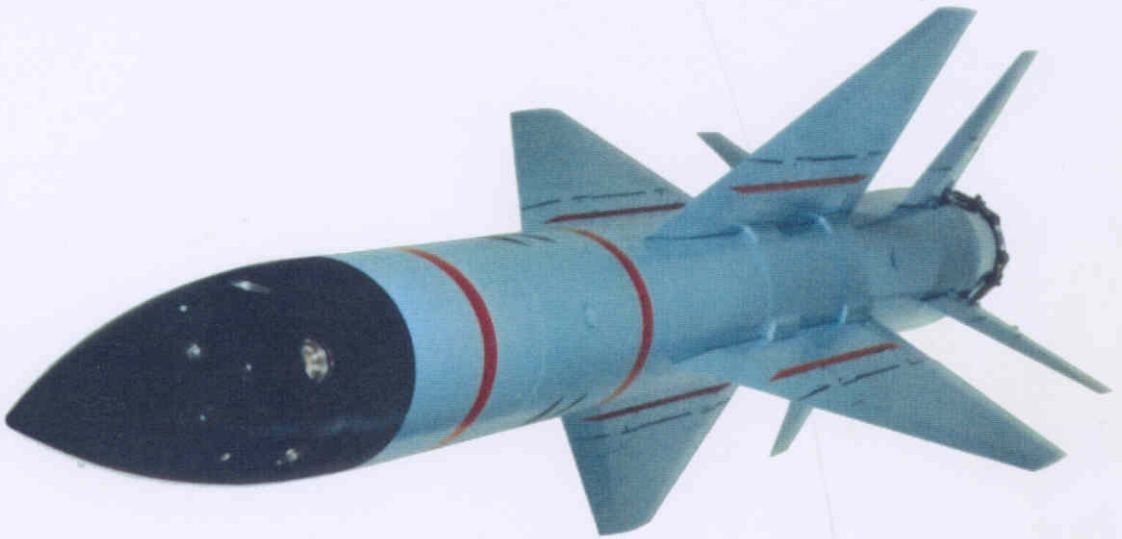


תרומת המדע לביטחון מדינת ישראל

ד"ר ראובן אשל



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה





תרומת המדע לביטחון מדינת ישראל

מאת
ד"ר ראובן אשל

אוגוסט 1998

ת ק צ י ר

סקר זה הוזמן על ידי נשיא הטכניון, פרופ' זאב תדמור, כחלק מסדרת סקירות על תרומת המדע למדינת ישראל במלאת לה חמישים שנה, שיזמה האקדמיה למדעים. עוד טרם קום המדינה השכילה הנהגת היישוב היהודי בארץ ישראל להכיר בחשיבות התרומה המדעית לביטחון בעולם בכלל ובמדינת היהודים בפרט. בדו"ח מתוארות תרומות אלה החל ממלחמת העולם הראשונה, דרך הקמת התעשייה הצבאית בשנות השלושים בסיוע מומחי הטכניון ומכון זיו ועד הקמת חיל המדע של צה"ל (חמ"ד - לימים רפא"ל), בסיועם של מומחים מהטכניון ומהאוניברסיטה העברית.

התרומות במהלך חמישים שנות המדינה מתוארות בפרוטרוט על-פי המקצועות הצבאיים השונים. האירועים מודגמים על ידי עשרות צילומים של מוצרים צבאיים ותוך ציון שמות אנשי מפתח מהאקדמיה שסייעו בפיתוחם. מסתבר כי התרומות היו גדולות בכל התקופה, אך הדגש המקצועי השתנה מעשור לעשור:

- | | |
|----------------------|---|
| בשנות הארבעים | - כימיה - פיתוח חומרי נפץ והדף. |
| בשנות החמישים | - מכניקה - פיתוח מערכות נשק ותחמושת. |
| בשנות השישים | - אווירונאוטיקה - פיתוח טילים ומטוסים. |
| בשנות השבעים | - חומרים - מיגון וחדירה של שריון ובטון. |
| בשנות השמונים | - אלקטרוניקה ותקשורת. |
| בשנות התשעים | - אלקטרואופטיקה ומחשוב. |

תרומות האקדמיה היו מגוונות:

החל מסיוע ישיר במחקר ופיתוח צבאי בו עסקו מאות חברי סגל, דרך חינוך דורות של מהנדסים ומדענים שנקלטו בצה"ל ובתעשיות הביטחוניות וכלה בשירותי מעבדה, מבדקות ופקינה.

הדו"ח מאזכר 70 מוסדות וחברות, כמאה מוצרים ו-140 אישים רלוונטיים. התרומות הרבות של המדע אכן הצעידו את תעשיות הביטחון הישראליות לרמה בין-לאומית גבוהה ובכמה שטחים ביטחוניים, כגון טילים טקטיים, מיגון ולוחמה אלקטרונית, פרצה ישראל למקומות ראשוניים בעולם, דבר שאפשר ליצוא הישראלי לשגשג.

שנות התשעים מתאפיינות בצמצום היקף התעשייה הביטחונית ומעבר אנשים וטכנולוגיות משימושים צבאיים לאזרחיים. מעבר זה יחד עם המשך שגשוג מדעי באקדמיה, הם שאפשרו לתעשיית ההיי-טק הישראלית לפרוץ לשווקים הבין-לאומיים במהירות. כדי ששגשוג זה יתמיד גם בשנות האלפיים, חייבים לטפח ביתר שאת את המו"פ התשתיתי באוניברסיטאות ולקזז על ידי כך את הירידה המתמשכת של השקעות במו"פ הביטחוני.

הבעת תודה

- בחכנת סקר זה היתה תרומה למוסדות ואנשים רבים. במיוחד יבואו על הברכה:
- נשיא הטכניון, פרופסור זאב תדמור, שיזם את הסקר והעיר הערות מועילות במהלכו.
 - אוניברסיטאות ומוסדות המחקר שסיפקו מידע רב ערך.
 - עשרות החברות ששיתפו פעולה באספקת נתונים וצילומים.
 - האישים הרבים שהסכימו להתראיין ושפכו אור על תרומות מדעיות בתחומיהם.
 - ואחרונים תביבים: גבי רחל בהר על עבודת ההדפסה הקפדנית ומר גרשון הרשקו מיחידת הדפוס על סריקת הצילומים הרבים.

תוכן העניינים

עמוד

ת ק צ י ר

1. ייצור נשק ותחמושת בארץ בתחילת המאה (1914 עד 1933) 1
2. הקמת התעשייה הצבאית (תע"ש) בשנות השלושים
וביסוסה עד קום המדינה 3
3. מהמחלקה המדעית בהגנה לחיל המדע בצה"ל
(1946 עד 1952) 6
4. הקמת כושר פיתוח וייצור אווירונאוטי
(שנות החמישים ואילך) 11
5. סיוע לצה"ל בבניית ביצורים והנדסת קרקע 36
6. מיגון וחדירת שריון 39
7. מחשוב מדעי וצבאי 48
8. אלקטרוניקה ותקשורת 55
9. אלקטרו-אופטיקה 60
10. יישום טכנולוגיות צבאיות בתחומים אזרחיים 68
11. חיזוי טכנולוגי 76
12. סיכום 78

תוכן העניינים
המשך

עמוד

79	מראי מקום
81	אינדקס שמות מוסדות וחברות
84	אינדקס שמות מוצרים
87	אינדקס שמות אישים

רשימת ציורים

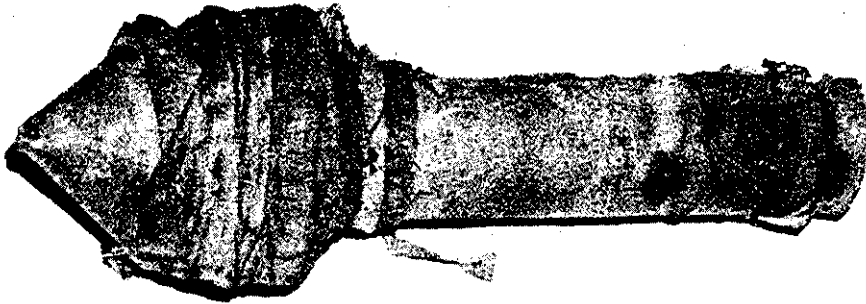
<u>מקור</u>	<u>עמוד</u>	<u>כותרת</u>	<u>ציור מספר</u>
עברון, 8	1	פצצת יד מתוצרת ההגנה, שימשה ב-1921	.1
עברון, 12	1	רימון רובה "מנחמיה"	.2
עברון, 17	3	מדוכת רימונים תוצרת תע"ש, 1935	.3
עברון, 163+55	4	תמ"ק סטן (1943) ותמ"ק עוזי (1950)	.4
עברון, 125	5	דוד ליבוביץ ליד ה"דוידקה" (1948)	.5
מרדור, 74	8	בן גוריון ורטנר ליד מרגמת "6" (1949)	.6
שרמן, 44-5	13	זגם כפיר במנהרת רוח	.7
מרדור, 240	14	דיין ליד "לוז" (1958)	.8
מרדור, 333	16	שיגור שביט 2 בנוכחות אח"מים (1961)	.9
רפא"ל	17	טיל אוויר-קרקע "פופאי" (1990)	.10
רפא"ל	18	טיל נגד טילי ים-ים - "ברק" (1996)	.11
דן רוזן	20	השוואת תמרונים של 4 דורות טילי א"א	.12
רפא"ל	21	טיל אוויר-אוויר פיתון 4 (1996)	.13
עברון, 382	22	שיפוץ מטוס דקוטה בבדק (1958)	.14
עברון, 391	23	עזר וייצמן חותם על פוגה (1960)	.15
עברון, 391	24	מפגן אווירי עם 4 פוגות מגיסטר (1965)	.16
עברון, 376	25	אב טיפוס "ערבה" (1969)	.17
תע"א	26	מטוס כפיר 2	.18
עברון, 456	27	מזל"ט תצפית סקאוט	.19
תע"א	28	מטוס לביא	.20
שרמן, 8/9	30	מנהרת קשת חשמלית	.21
דו"ח נשיא	31	לווין מחקר Tech Sat	.22
תע"א	32	לווין צילום "אופק"	.23
תע"א	33	חדר הבקרה של לווין תקשורת "עמוס" [במפעל מב"ת/תע"א]	.24

<u>מספר</u>	<u>כותרת</u>	<u>עמוד</u>	<u>מקור</u>
25.	שיגור טיל "חץ" - ליירוט טילים בליסטיים	34	תע"א
26.	מטוס סטראטוקרוזר שהוסב לתדלוק אווירי	35	עברון, 399
27.	פצצות פיצוח מסלולים (1967)	36	עברון, 194
28.	מעבדת מכונה-קרקע בטכניון	38	טכניון
29.	רובה רימון נגד טנקים (1954)	40	מרדור, 142
30.	"סופר בזוקה" (1956)	41	מרדור, 140
31.	מיקרוסקופ אלקטרוני בטכניון (19)	42	דו"ח נשיא
32.	משגר רקטות ארטילריות	43	עברון, 250
33.	רכב קרבי משוריין עם מיגון ראקטיבי	45	רפא"ל
34.	מיגון פסיבי לנושא גייסות משוריין	46	רפא"ל
35.	טנק "מרכבה"	47	עברון, 283
36.	מחשב "וייצק" שפותח במכון וייצמן (1954)	48	וייצמן
37.	מחשב אנלוגי מפיתוח רפא"ל (1956)	49	מרדור, 240
38.	סימולטור אימונים לחיל הים תוצרת "אלביט"	50	אלביט
39.	מחשב CDC במרכז חישוב ברפא"ל	51	עברון, 360
40.	מחשב ארטילרי "דוד"	52	עברון, 350
41.	סימולטור לאימון טייסים, בטכניון	53	דו"ח נשיא
42.	מערך תיב"ם בתעשייה האווירית (1980)	54	עברון, 453
43.	"כלב ים" סירת חבלה נהוגה מרחוק (1954)	55	מרדור, 214
44.	תחנת טלמטריה ברפא"ל (1956)	56	מרדור, 236
45.	מכ"ם מטוס כפיר, תוצרת אלת"א	57	עברון, 462
46.	ורסיה צבאית של מטוס "וסטווינד"	58	עברון, 435
47.	מערכת בקרת אש לטנקים	61	אלאופ
48.	ראש ביות שפריר 2 על שולחן טיס (1964)	62	מרדור, 465
49.	חדר נקי במרכז למיקרו אלקטרוניקה	63	דו"ח נשיא
50.	מצלמה תרמית לראיית לילה מספינות חיל הים	64	רפא"ל
51.	מסוק עם ציוד ראיית לילה	65	רפא"ל

<u>מקור</u>	<u>עמוד</u>	<u>כותרת</u>	<u>ציור מספר</u>
רפא"ל	67	לייטנינג - פוד נווט ובקרת אש	.52
טכניון	69	חופר גומות לשתילת עצים	.53
סייטקס	71	עיבוד תמונה בסייטקס	.54
גאוטק	73	טלפון סלולרי תוצרת גאוטק	.55
דו"ח נשיא	74	מכשיר CT של אלסינט	.56
דו"ח נשיא	75	מכשיר טיפול ורידים של ESC	.57

1. ייצור נשק ותחמושת בארץ בתחילת המאה (1914 עד 1933)

עוד בתקופת מלחמת העולם הראשונה יוצרו בגימנסיה הרצליה בתל-אביב "פצצות-יד" לפי מרשם שהכין מורה לכימיה בשם ויניק: הפצצות הוכנו מקופסאות פח שמולאו בסוכר, בסטירין ובחומצה נַפְתִית, וסביבם פסולת ברזל⁽¹⁾. "פצצות-יד" אלה שימשו בהצלחה בפיזור מהומות ה-2 בנובמבר 1921.



ציור מספר 1: "פצצת-יד" מתוצרת ההגנה ששימשה במאורעות 1921

באירועי תרפ"ט (1929) תכנן חיים סלבין, לימים מנהל תע"ש ואז מהנדס בחברת החשמל, "פצצות" עם פתילי השהיה. 500 "פצצות מושהות" כאלה יוצרו להגנת יישובי הצפון. בתל-אביב פעל אז מנחם בן-גוריון בפיתוחים שונים ובהם רימון שנורה מרובה למרחק יעיל של 300 מטר ושנודע בשם "מנחמיה".



ציור מספר 2: רימון רובה "מנחמיה"

בירושלים פעל בשנות העשרים יחזקאל (חצ'קו) ברעם לפיתוח פצצות גז מדמיע. הפיתוח הסתייע בין השאר בד"ר משה וייצמן (כימאי, אחיו של ד"ר חיים וייצמן). הפעלת הפצצה נעשתה על ידי נפץ שכלל כספית רועמת שבייצורה הסתייע בכימאים של האוניברסיטה העברית. יוצרו כאלף פצצות שחולקו לשימוש בכל הארץ.

ב-1931 הוחלט להקים בית חרושת לכדורים. חצ'קו נסע לגרמניה והתקשר עם מומחה בעל שם עולמי בתחום - פרופסור קוריין - לימים ממניחי היסוד לפקולטה להנדסת מכונות בטכניון. בית החרושת אמנם לא הוקם אז מחוסר אמצעים, אך פרופ' קוריין עלה ארצה.

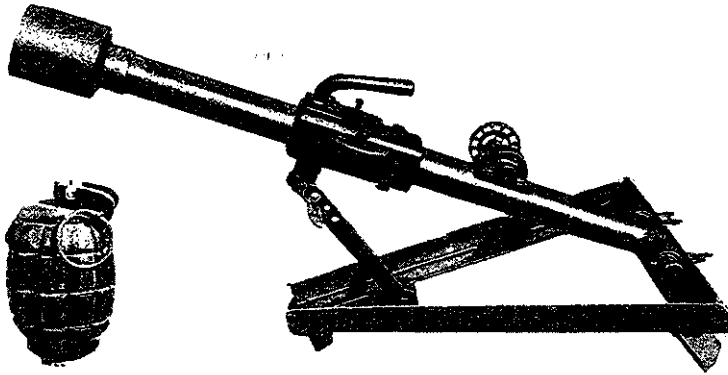
בין מקימי הפקולטה להנדסה כימית בטכניון היה פרופ' איליוף שעלה ארצה מרוסיה ב-1924 מרוסיה עם נכדו ג'נקה רטנר⁽²⁾ לימים המהנדס הראשי של החמ"ד.

הוא שסייע להגנה באותן שנים בפיתוח בקבוקי תבערה נגד משוריינים (בקבוקי "מולוטוב").

2. הקמת התעשייה הצבאית (תע"ש) בשנות השלושים

וביסוסה עד קום המדינה

חעבודה ההתנדבותית בבתי מלאכה פרטיזניים לא יכלה לעמוד בכל דרישות ההגנה ואזי חוקם ב-1933 מפעל רשמי על פי החלטתו של דב הוז. המפעל חוקם בשכונת בורכוב במסווה של מכון מים. במקום זה ייצרו מאות רימונים מדי יום וכן מדוכות לזריקתם המבוקרת.



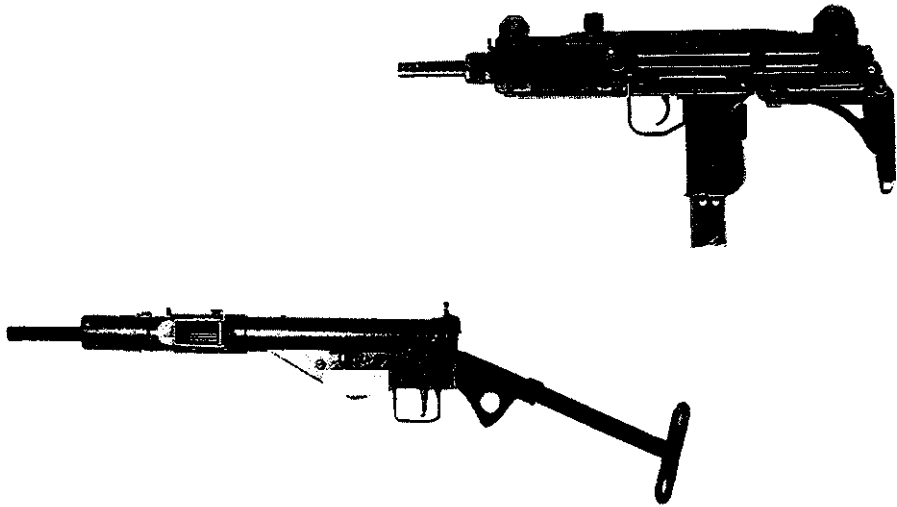
ציור מספר 3: מדוכת רימונים תוצרת תע"ש, 1935

פעילות אחרת בימי תע"ש הראשונים הייתה "הבראת" כדורים, כלומר החלפת פיקות ישנות בטריות. פעילות זו בוצעה בשלושה קמפוסים: בטכניון בחיפה, במכון זיו ברחובות ובאוניברסיטה העברית בירושלים. סך הכל הספיקו "להבריא" עד מאורעות תרצ"ו (1936) כ-10,000 כדורים תוך פחות משלושה חודשים.

ב-1934 מונה ישראל זבלודובסקי (עמיר) למנכ"ל התע"ש. והוא הקים ועדה "כימית-טכנית" שתפקידה לסייע בתכנון מוצרים חדשים ושיפור קיימים. עם חברי הוועדה נמנו: ד"ר ארנסט ברגמן וד"ר פליקס ברגמן ממכון זיו; ומחטכניון: פרופ' איליוף, ד"ר קלוגאי וד"ר חוגו היימן. בדיקות איכות נעשו על ידי ד"ר אשר שויגר (שמגר) ממכון זיו.

ב-1938 הוחלט לייצר מרגמה 3". בפיתוח השתתפו פרופ' קוריין מהטכניון ופרופ' גולדברג - מומחה למכניקה עדינה ואופטיקה מרחובות. עד 1939 יוצרו 48 מרגמות ו-5000 פגזים. על כל פגז נחרט הסימון H.Z.M.N שפירושו "הרבה צרות, מעט נחת".

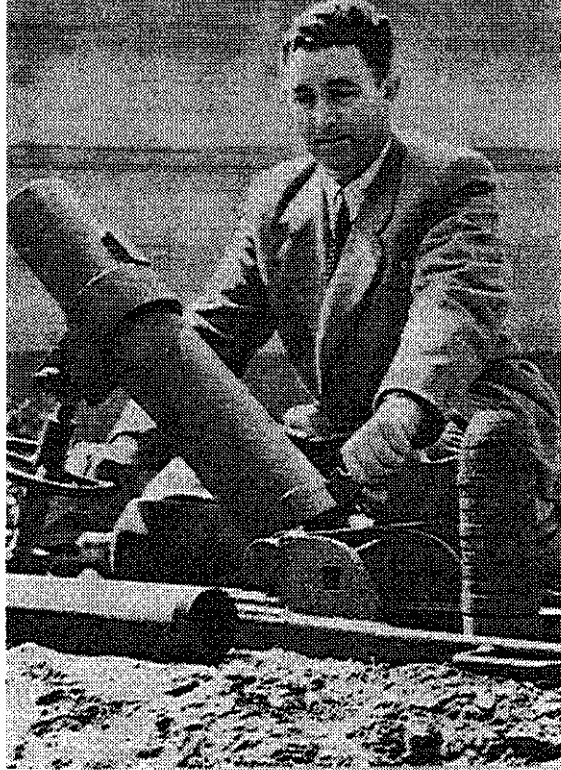
ב-1940 מונה לתע"ש מנכ"ל חדש - הלא הוא חיים סלבין שעבד קודם בחברת החשמל. בימי כהונתו התבססו קווי הייצור והארגון שלו וכן שוחזרו מרגמה 2" לפי דגם בריטי והותת-מקלע הידוע בשם "סטן", שניהם לפי דגם בריטי. לימים הוחלף הסטן בתת-מקלע עוזי מפיתוח מקורי של חיל המדע (חמ"ד) ושל רב-סרן עוזי גל מחיל החימוש.



ציור מספר 4: תת-מקלעים תוצרת תע"ש: חיקוי "סטון" ב-1943 מול "עוזי" מפיתוח

מקורי של חמ"ד וחיל חימוש ב-1950

ב-1945 מונה יוסף אבידר כמנהל התע"ש והוא הצליח לראשונה להקים גם קו ייצור כדורים. המפעל הוקם כ"סליק" תת-קרקעי בו עבדו 45 איש בתנאי אוורור קשים. למרות זאת סיפק המפעל מ-1946 ועד 1948 יותר משני מיליון כדורים. במקביל קנה תע"ש בשלהי מלחמת העולם השנייה מכונות כלים רבות במחירי מציאה. כך התרחב מאוד כושר הייצור של התע"ש לקראת מלחמת העצמאות; חיים סלבין, שעמד בראש מבצע רכש המכונות, חזר לנהל את תע"ש ב-1948. עד שלהי 1947 לא הייתה לתע"ש פעילות בירושלים. הפעילות הצטמצמה לשטח הניסיוני ובין כותלי האוניברסיטה. אליהו סוחציבר (אביו של אלוף עמוס חורב) ניהל אז את "בית המכונות" של האוניברסיטה ובכשרונו הטכני המציא אמצעי לחימה שונים ושכלל אותם. בדצמבר 1947 הוא חבר לד"ר אהרון קצילסקי וליחיאל בן-זאב להקמת תע"ש בירושלים. ההתנגדות לכך במטה ההגנה הייתה רבה, אך יגאל ידן הכריע את הכף. מבין המוצרים שיוצרו שם במהלך מלחמת הקוממיות הייתה מרגמת הדוידקה שפותחה על ידי דוד לייבוביץ מתל-אביב וסייעה רבות לכיבוש יפו, צפת וכן בקרבות בירושלים. הדוידקה נודעה לא רק בפגז הגדול שלה (37 ק"ג), אלא גם ברעש העצום שהקימה והבריחה את הערבים.



צילום מספר 5: דוד ליבוביץ לצד מרגמת ה"דווידקה" שפיתח, בסיוע אליהו סוחצ'בר מהאוניברסיטה העברית

3. מהמחלקה המדעית בהגנה לחיל המדע בצה"ל

(1946 עד 1952)

מלחמת העולם השנייה, יותר מכל מלחמה שקדמה לה, גייסה את המדע לטובת האסטרטגיה הצבאית:

בגרמניה: פיתוח צוללות, טורפדו, טנקים מתקדמים, אך בפרט פיתוח טילי שיוט (V-1)

וטילים בליסטיים (V-2) שהעתיקהם (סקאד) משמשים את אויבנו עד היום.

באנגליה: פיתוח מכ"ם, צופנים אלקטרוניים, מערכי לחימה נגד צוללות ועוד.

בארצות הברית: פיתוח מפציצי ענק, טכנולוגיות ייצור המוני ומעל לכול מבצע "מנהטן" לפיתוח פצצות האטום.

עם תום מלחמת העולם השנייה החל ארגון ההגנה להתארגן לקראת העימות הצבאי עם הערבים, שנהיה מוחשי ובלתי נמנע ככל שקרב מועד התפנות הבריטים מהארץ⁽³⁾. בחסות ההגנה החל בארץ גם מחקר ופיתוח מדעי לצרכים צבאיים. זה נולד ביזמות מלמטה שצמחו במקביל בטכניון בחיפה, באוניברסיטה העברית בירושלים ובמכון זיו (וייצמן) ברחובות. הכול נעשה במחתרת, מחמת השלטון הבריטי, במציאות של טכנולוגיות ותשתיות תעשייתיות מפגרות ותוך מצוקת תקציה גדולה.

למרות המצוקות האלה ויחסי הכוחות לרעתנו, השרתה האמונה ב"גניוס היהודי" תחושת ביטחון ותקווה באנשי היישוב בארץ ישראל. דוד בן-גוריון, הגם שלא היה מדען בעצמו, האמין במדען היהודי אמונה מיסטית ממש. בסוף 1947 נפגש עם מי שעתידיים להיות בין מקימי החמ"ד ובהם פרופ' יוחנן רטנר מהטכניון, פרופ' רקח מהאוניברסיטה העברית, פרופ' ארנסט דוד ברגמן ממכון זיו (וייצמן) ושלמה גרוזובסקי גור, מיוזמי "חומה ומגדל" ולימים מפקד חיל המדע (חמ"ד). בן-גוריון חזר על אמונתו כי בעזרת שני דברים יצלח היישוב להתגבר על המכשולים בדרכו: מדע וחלוציות, שיביאו לידי ביטוי את היתרון האינטלקטואלי והיתרון המוסרי⁽⁴⁾. בקיץ 1947 הורה לפרופ' רטנר לגייס מדענים המסוגלים להמציא תחליפים לחומרי גלם ולסייע בייצור נשק במחתרת, שכן הצלחת המבצע עלולה להיות מכרעת⁽⁵⁾. הוא לא רק נתן הוראה, אלא לראשונה גם תקצב אלפיים לירות. לכל אורך הדרך היה מתעניין, מכוון ודוחף את המחקר והפיתוח המדעי.

גיוס המדענים נעשה במקביל באוניברסיטה העברית על ידי פרופ' אהרון קציר, בטכניון על ידי פרופ' רטנר ובמכון זיו על ידי פרופ' ברגמן. גויסו הן מרצים והן סטודנטים מצטיינים; בין אלה שגויסו בירושלים יש להזכיר את אברהם ברמן, פנחס מושקוב, הברשיים, יגאל

תלמי, עמוס דה-שליט, גדעון יקותיאלי, עמוס חורב ועוד. יש לציין שבימי טרום-מדינה בוצעו הפעולות בין כותלי האוניברסיטאות בצורה מוסווית. כמעט תמיד נעשתה ללא ידיעת שלטונות האוניברסיטה ובוודאי ללא ברכתם. בשלב מסוים משנודע לפרופי מגנס, נשיא האוניברסיטה העברית, על פעילותו של אהרון קציר בהכנת פצצות תבערה, נשקפה לאחרון סכנת פיטורין⁽⁶⁾.

בחיפה גייס פרופי יוחנן רטנר את בוגר הטכניון ג'נקה רטנר (אין קשר משפחתי) שעבד במלחמת העולם באדמירליות הבריטית וצבר שם ניסיון יקר ערך בפיתוח אמצעי לחימה. ג'נקה מונה על ידי מפקד החמ"ד, שלמה גור, כראש מחלקת הנשק והפעיל בוגרי טכניון אתרים כגון האדריכלים משה זרחי ויעקב רכטר. תוך חצי השנה שבין החלטת האו"ם לחלוקת המדינה (נובמבר 1947) להקמת המדינה (מאי 1948) הספיקו לתכנן שורה ארוכה של אמצעים ובהם: מנגנוני תבלה, מוקשים נגד אדם, מוקשים נגד רכב, להביור, פיאט (נגד טנקים), ררני"ט (רובה רמון נגד טנקים), מרגמה "6" ופצצות אוויר פרימיטיביות עם מרעומים עבורן⁽⁷⁾.



צילום מספר 6: ראש הממשלה ושר הביטחון דוד בן גוריון ופרופ' יוחנן רטנר מתבוננים במרגמת "6 בעת ביקורם בחמ"ד 1949

את הייצור של פיתוחי החמ"ד העבירו באותם ימים לתע"ש ב' (תע"ש-חוץ) שהיה ארגון ערטילאי של בתי מלאכה אזרחיים שהתגייסו למאמץ המלחמתי במלחמת העצמאות. כמויות הנשק והתחמושת שיוצרו תוך ארבעת השבועות של ההפוגה⁽⁸⁾, מרשימים:

86 מטילי פיאט עם 3715 פגזים ו-8181 מרעומים,
 17 מרגמות "6",
 103 פגזים למרגמת "דוידקה",
 2,450 פצצות אוויר עם מרעומים קדמיים ואחוריים,
 14 יורקי להבות,
 26,858 מוקשים נגד אדם,
 21,195 מוקשי נעל,
 3,685 מצתים,
 6,487 מוקשים נגד רכב,
 9,697 רימוני עשן,
 12,258 בקבוקי מולוטוב.

משתמה המלחמה פורקה תע"ש-חוץ ופעילות הייצור של נשק ותחמושת רוכזה כולה במפעלי התע"ש.

עם תום מלחמת השחרור התרחבה החמ"ד בהדרגה מכ-100 איש בתחילת 1948 לכ-800 ב-1951. נוספו מחלקות לפיזיקה ואלקטרוניקה והפעילות התמסדה. עקב כך נתמנתה מעין מועצה מדעית⁽⁹⁾ שבהרכבה בולטים אנשי אקדמיה רבים ובהם:

פרופ' ארנסט דוד ברגמן - יושב ראש.

רב אלוף יעקב דורי - אז ראש אגף המדע במשרד ראש הממשלה, ובהמשך נשיא הטכניון.
 פרופ' הוגו היימן - מהטכניון.

פרופ' שמואל סמבורסקי - יו"ר המועצה המדעית במשרד ראש הממשלה.

פרופ' אהרון קציר - ממכון וייצמן.

פרופ' יואל רקח - מהאוניברסיטה העברית.

וכן נציגי חמ"ד, תע"ש ומכון התקנים.

מבחינה ארגונית היה החמ"ד פרוש על פני כל הארץ :

- מכון 1 -** בגבעתיים הוקמה המפקדה הארצית. כאן גם הוקמה תחנת השידור הראשונה של קול ישראל דרכה שודר טקס הכרזת המדינה.
- מכון 2 -** הוקם במחנה "שנלר" בירושלים והיה קשור לאוניברסיטה העברית. שם פיתחו חומרי נפץ ("שדית" ו"טן") מחומרי גלם של ים המלח (כלורט אשלגן).
- מכון 3 -** לימים מכון דוד על שם ארנסט דוד ברגמן - הוקם במחנה "כורדני" לא רחוק מהטכניון בחיפה.
- מכון 4 -** הוקם בתוך מכון זיו ברחובות והיה מקור לא אכזב למתיחות בין פרופ' ברגמן שעמד בראשו לבין פרופ' וייצמן שדגל ב"מחקר טהור" בלבד.
- מכון 5 -** הוקם ברחובות ליד מכון זיו ועסק בראשות פרופ' ישראל דוסטובסקי בסקרים גאולוגיים (בעיקר בנגב) לחיפוש נפט, פוספטים ומתכות.

היו גם פרוייקטים שדרשו מאמץ ארצי. כך לדוגמה פיתוח להביור היה באחריות ששה גולדברג, לימים נשיא הטכניון, ואז ראש מחלקת התיאום בין תע"ש לחמ"ד. ששה עסק בפיתוח דומה באנגליה במהלך מלחמת העולם והטלת האחריות עליו הייתה טבעית. הוא השכיל להפעיל לא רק את המכונים, אלא גם את פרופ' ריינר בטכניון בנושאי ריאולוגיה ואת פרופ' אלכסנדר מהאוניברסיטה העברית בנושאי החצתה וההרכבים הכימיים.

שותפות אקדמית רבה במיוחד הייתה במכון 5 שם שיתף פרופ' דוסטובסקי עמיתים רבים מהאקדמיה ובהם: פרופ' בן-טור, פרופ' דני זוהרי, פרופ' יעקב באומן מהאוניברסיטה העברית ופרופ' פרומן מהטכניון⁽¹⁰⁾. לימים פורק מכון 5, פעילות הפוספטים הועברה לטיפול חברת מחצבי ישראל ואלו פעילויות אחרות פוזרו בין יחידות ביטחוניות שונות.

4. הקמת כושר פיתוח וייצור אווירונאוטי

(שנות החמישים ואילך)

הכושר האווירונאוטי של מדינת ישראל מרוכז רובו ככולו בארבעה גופים שכולם נולדו בתחילת שנות החמישים:

- הפקולטה לאווירונאוטיקה בטכניון - לימים הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל.
 - אגף מחקר ותכנון של מערכת הביטחון - לימים רפא"ל.
 - בדיק מטוסים - לימים התעשייה האווירית לישראל.
 - חיל האוויר של צה"ל.
- להלן נסקור את קשרי מדע התעופה והביטחון בכל גוף בנפרד.

4.1 הפקולטה לאווירונאוטיקה בטכניון⁽¹¹⁾

הקְזָמָה להקמת הפקולטה בתחילת שנות החמישים הייתה של ראש הממשלה ושר הביטחון, דוד בן-גוריון, על פי ייעוץ שקיבל מפרופסור דוד ברגמן, אז המדען הראשי של אגף מחקר ותכנון במערכת הביטחון - לימים רפא"ל. מנהל הטכניון דאז, רב אלוף (מיל') יעקב דורי, גייס לצורך ההקמה את פרופ' סדני גולדסטיין מארה"ב. בניין הפקולטה היה הראשון שנבנה בקמפוס החדש בנווה שאנן ונעשה על פי מודל בניין דומה באוניברסיטת פרינסטון. הבנייה נסתיימה ב-1954 ואז החלו גם הלימודים של מחזור הסטודנטים הראשון. בראש היחידה עמד פרופ' ג'רי שפר שגויס על ידי פרופ' גולדסטיין; במקביל גייס פרופ' גולדסטיין מדענים מחמ"ד ושלת אותם לדוקטורט בארה"ב. בין אלה נמנים הפרופסורים לעתיד מאיר חנין, אברהם קוגן, יוסף זינגר ודוד אביר שהיוו את גרעין היסוד של הפקולטה.

באמצע שנות החמישים הצטרף פרופ' משה ארנס, מומחה להנעה רקטית ואחרת וב-1958 פרופ' יוסף רום שחזר מפוסט-דוקטורט בארה"ב והחל בתכנון מעבדת שירות אווירודינמית. מראשית הדרך דובר שמעבדה זו תיתן שירות לכל מערכת הביטחון דהיינו לחיל האוויר, לתעשייה האווירית ולרפא"ל. הנחיה זו אושרה על ידי שמעון פרס, ששימש אז כסגן שר הביטחון.

ארבע מנהרות האוויר הראשונות (תת-קולית, עבר-קולית, על-קולית ותא-אקוסטי) נבנו כולן מתקציב הביטחון בשנים 1964 עד 1968. עד 1971 היו אלה מנהרות האוויר היחידות בארץ ושימשו את כל צורכי הביטחון מבלי שהתעשיות נזקקו עוד למנהרות בחו"ל כפי שעשו עד אמצע שנות השישים.

ב-1971 רכשה התעשייה האווירית מנהרה תלת-קולית גדולה משלה שסיפקה את רוב צרכיה וקצתו בטכניון נתווספה מנהרה שגא-קולית וב-1981 גם מנהרת קשת חשמלית לבדיקת חימום אווירודינמי. כך הכין עצמו הטכניון גם לעידן החלל של מדינת ישראל. מעבדות אחרות בפקולטה משמשות יותר למחקר, אך גם הן תורמות למערכת הביטחון. מעבדות אלה הן:

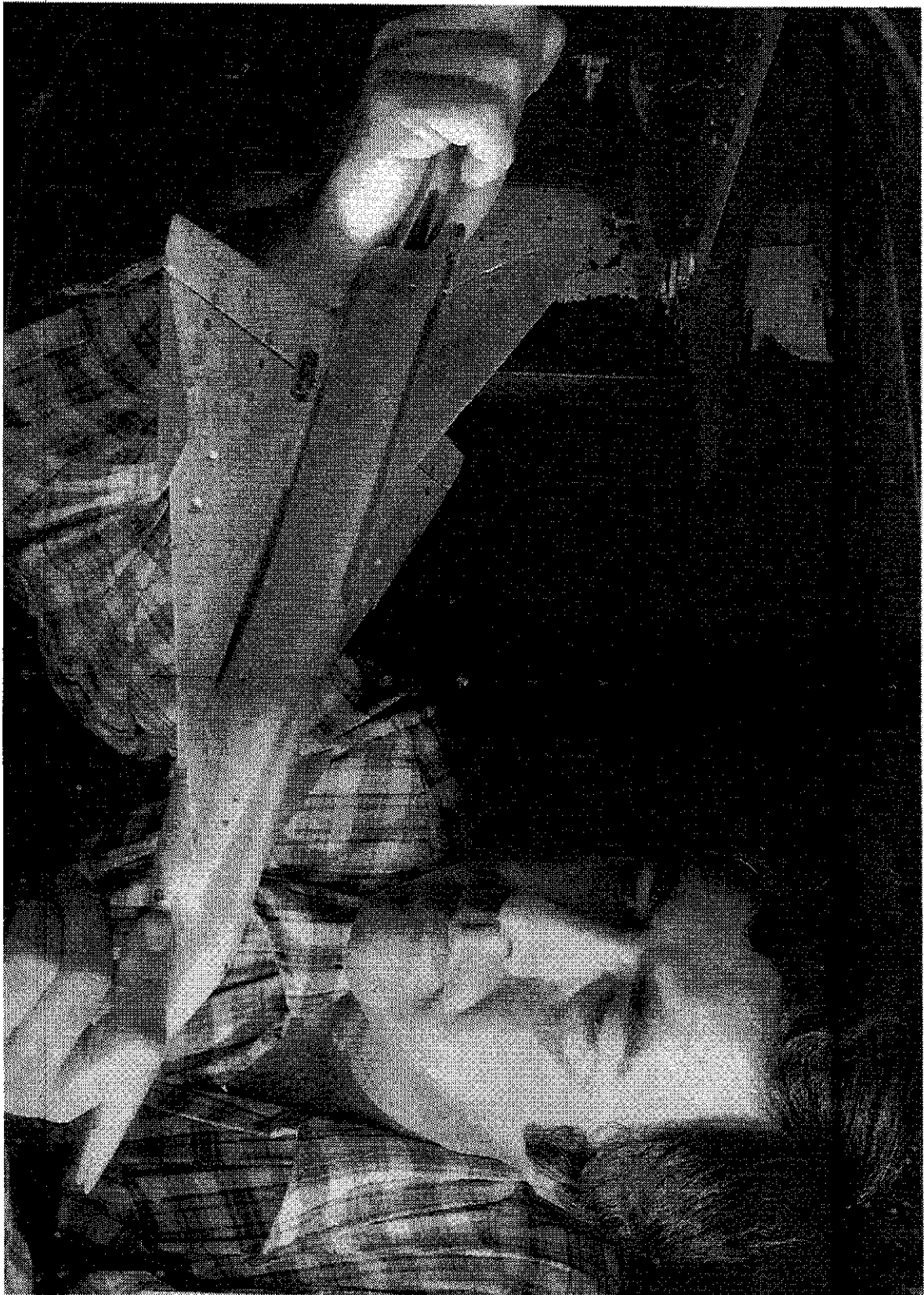
מעבדה למבנים מוטסים - שהוקמה ב-1951 על ידי פרופ' יוסף זינגר.

מעבדה לשרפה והנעה - שהוקמה ב-1969 על ידי פרופ' יעקב תמנת (יוצא רפא"ל).

מעבדה לבקרת תעופה - שהוקמה ב-1971 על ידי פרופ' שמואל מרחב (יוצא רפא"ל).

מעבדה למנועי סילון - שהוקמה ב-1982 על ידי פרופ' גל-אור.

הפרוייקטים שנהנו ממעבדות אלה יתוארו בהמשך.

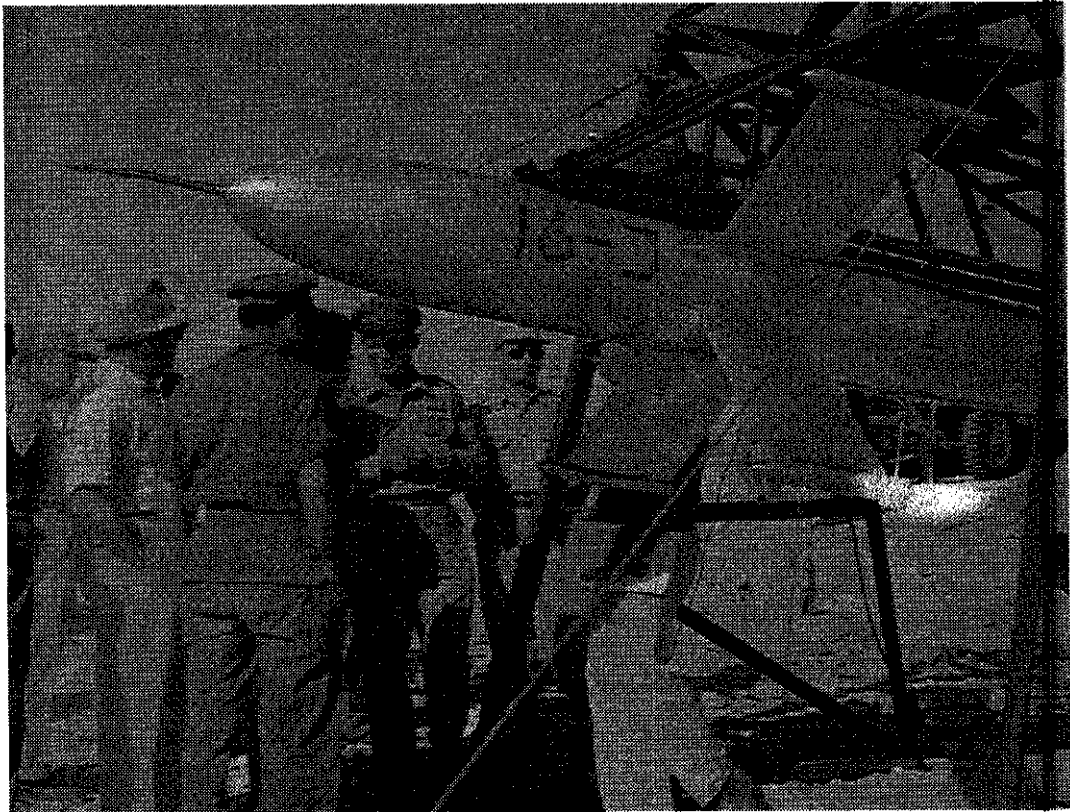


ציור מספר 7: דגם מטוס "כפיר" במנהרת הרוח העל-קולית בטכניון⁽¹²⁾

4.2 פרויקטים אוירונאוטיים ברפא"ל

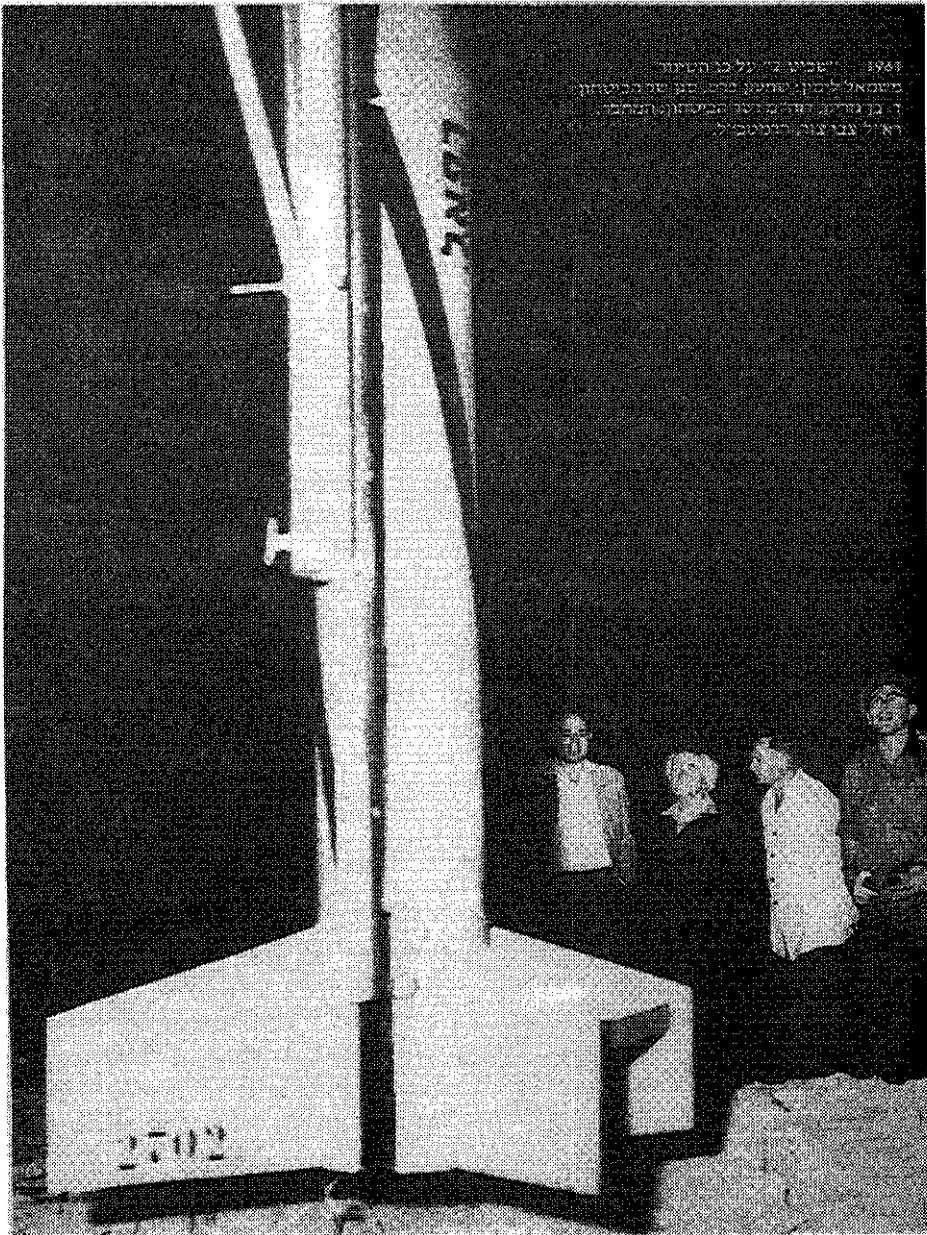
בשנת 1952 הפך החמ"ד מיחידה צבאית לאגף מחקר ותכנון (אמ"ת) במשרד הביטחון. שינוי זה לא היה ארגוני גרידה, אלא סימן תכנון והקמת תשתיות לטווח ארוך. בין היתר, הוחלט להיכנס לעידן הטילים. משהתחיל הפרוייקט הראשון להבשיל ואחרים היו בדרך, אורגן האגף מחדש ב-1958 לרשות פיתוח אמצעי לחימה (רפא"ל).

הפרוייקט הטילי הראשון של רפא"ל שנחיה מבצעי ב-1961 היה טיל קרקע-קרקע לטווח 20 ק"מ בשם "לזו". טיל זה הועבר בשנת 1960 לייצור בתעשייה האווירית. במהלך שנות השישים הוסב לשימוש חיל הים ונקרא "גבריאל", התצורה והבקרה האווירודינמית שתוכננה על ידי הפרופסורים בטכניון חנין וקוגן תחת ניצוחו של ראש הפרוייקט ד"ר משה אפשטיין (מהנדס מכונות בוגר הטכניון) נשארה ללא שינוי והוכיחה עצמה כיציבה.

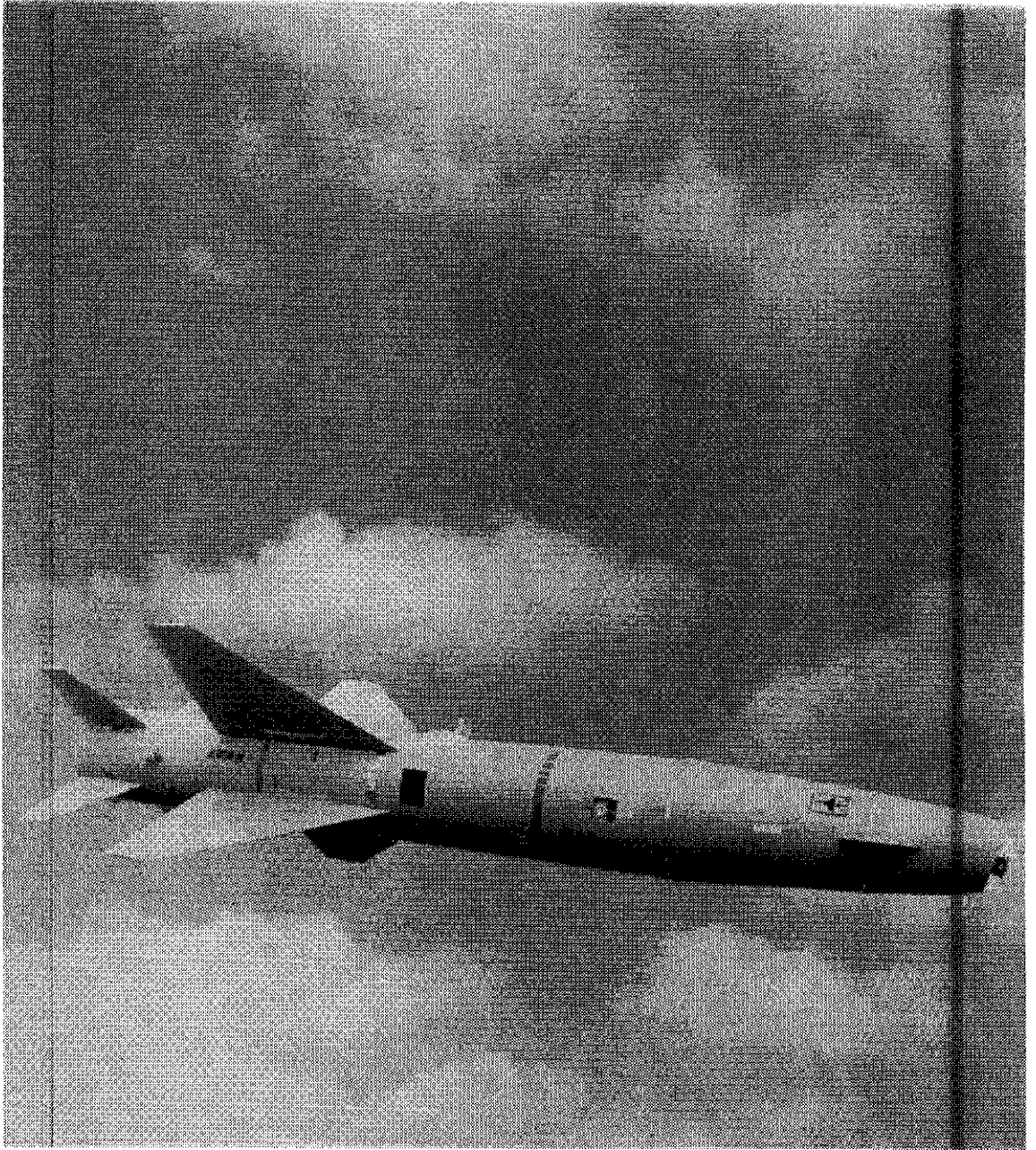


ציור מספר 8: ניסוי טיל קרקע-קרקע "לזו" ב-1958. ברקע הרמטכ"ל רב-אלוף משה דיין

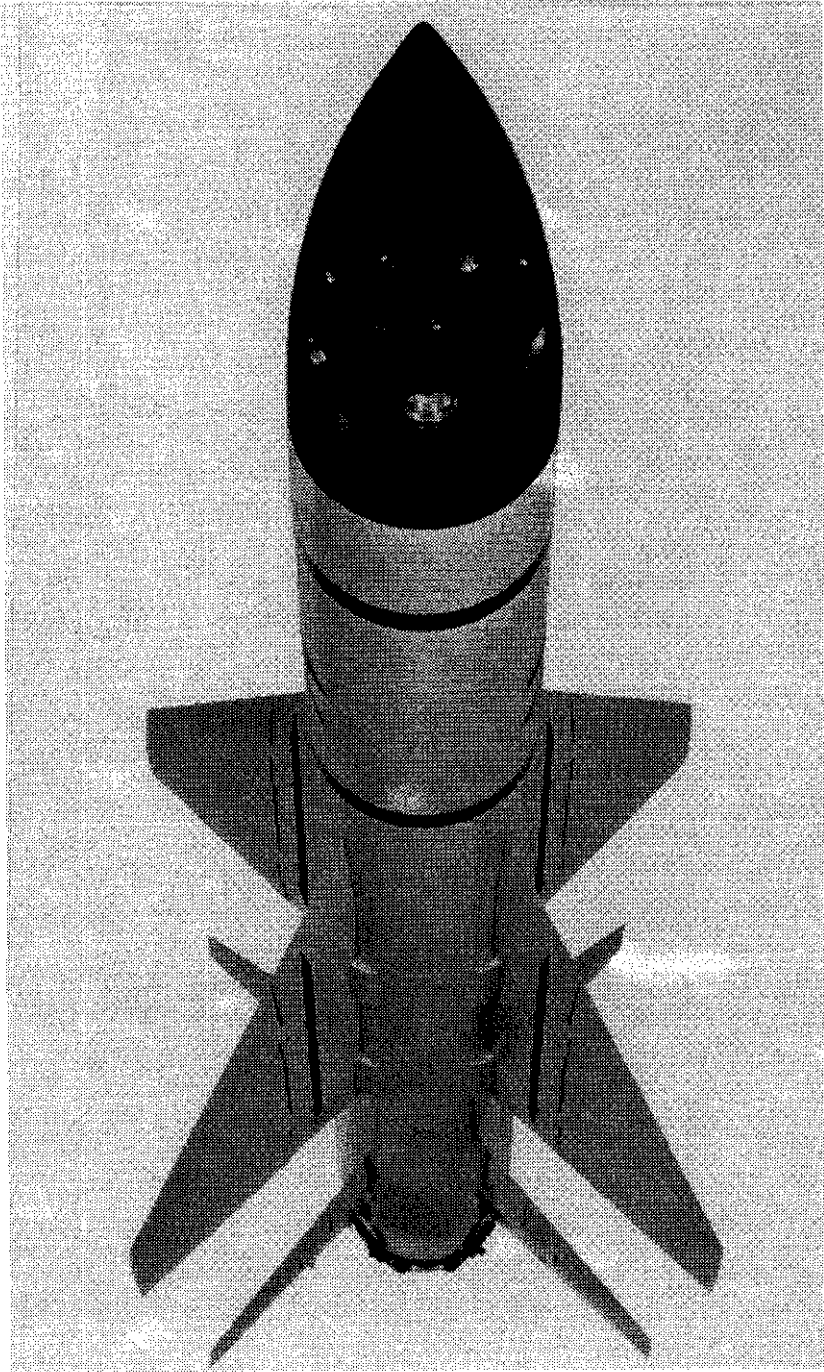
תצורת הטילים הבאים כבר פותחו בעזרת בוגרי הפקולטה לאווירונאוטיקה: בראשית הדרך יעקב מאירי, צבי מאירי, אשר סיגל, בנציון נוה ואחריהם יתר המחזורים. בין טילים אלה ניתן למנות את שביט 2 (1961) שנועד להפגין כושר בליסטי, ארבעה דורות של טילי אוויר-אוויר: שפיר 1 (1964), שפיר 2 (1968), פיתון 3 (1976) ופיתון 4 (1992), טיל אוויר-קרקע פופאי (1984) וטיל ברק נגד טילי ים-ים (1989). תצורות כל הטילים מ-1968 ואילך נבדקו במנהרות הטכניון והוכיחו עצמן בניסויי שדה; טילי שפיר 2 ופיתון 3 הספיקו להוכיח עצמם גם במלחמת יום כיפור ומלחמת לבנון.



ציור מספר 9: 1961 - שיגור שביט 2 בנוכחות הרמטכ"ל צבי צור, מנהל רפא"ל מוניה מרדור, ראש הממשלה ושר הביטחון דוד בן-גוריון וסגן ראש הממשלה שמעון פרס



ציור מספר 10: טיל אוויר-קרקע "פופאי" מתוצרת רפא"ל



ציור מספר 11: טיל "ברק" נגד טילי ים-ים תוצרת רפא"ל

יש לציין את ההתקדמות הגדולה שחלה בכושר התמרון האווירודינמי של טילי אוויר-אוויר במעבר מדור לדור (ראה ציור 12):

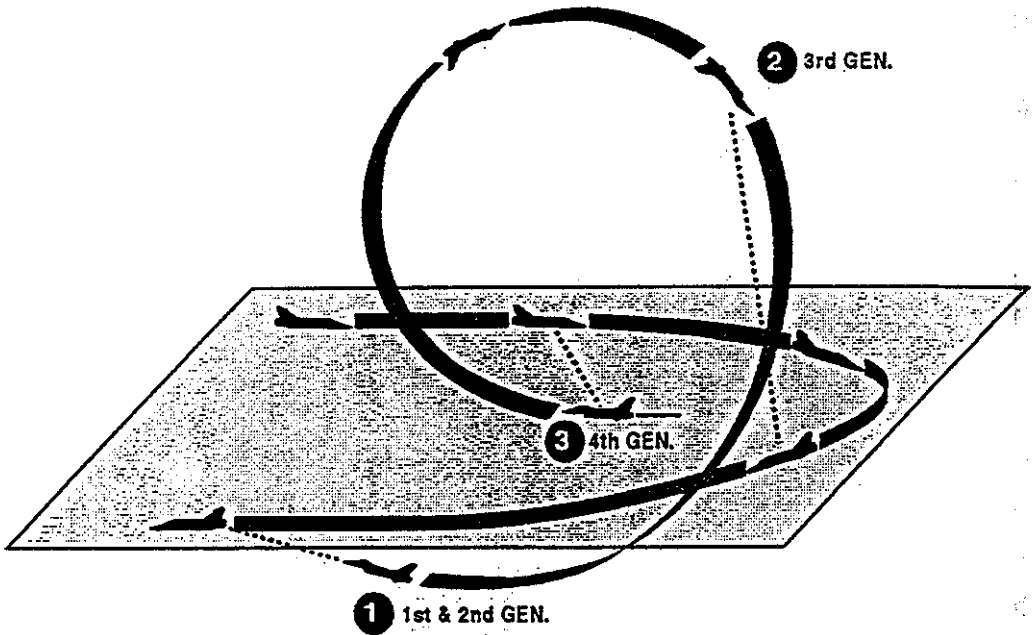
ספריד 1 נועד לרדיפת כלב במשך כשבע דקות ופגיעה ישירה. סופק לחיל האוויר כ-15 לאחר המקביל לו בארה"ב (Side Winder B) והשתתף במלחמת ששת הימים.

ספריד 2 קיצר תמרון לחמש דקות, שיפר אמינות וגם כלל מרעום קרבה. למרות שעדין פיגר כשש שנים אחרי Side Winder D האמריקני, הצליח להפיל יותר ממאה מטוסי אויב במלחמת יום כיפור.

פיתוח 3 הנו טיל המסוגל לתקוף מכל כיוון (All Aspect) תוך קיצור תמרון לשלוש דקות. סופק בו-זמנית עם ה-Side Winder-L ואף השיג שיעור הפלות דומה במלחמת של"ג.

פיתוח 4 הנו טיל מהפכני המקצר משך קרב לחצי דקה ולכן נחשב למתקדם בעולם. הוא זכה בפרס התיכון המצטיין בסלון פריז 1996 ומקדים את המקביל לו בארה"ב (Side Winder X) כבעשר שנים.

מובן שההתקדמות הרבה בביצועים איננה רק בגלל האווירודינמיקה, אלא גם בזכות מערכות ההנעה הרקטית אשר גם הן ינקו ידע מהטכניון (פרופסורים משה ארנס, דב כץ ז"ל, יעקב תמנת ואלון גני). תרומות מדעיות נוספות של הטכניון היו בתחום חוקי בקרה והנחיה (תרומות של פרופסורים יוסף שנער, משה גלמן ושואל גוטמן) ומערכות גלאים ואלקטרוניקה עליהן יפורט בפרקים הבאים.



LAUNCH CONDITION

1. SHAFRIR - REAR ASPECT 90° ASPECT ANGLE, 15°
2. PYTHON-3 - OFF BORESIGHT 135° ASPECT ANGLE,
3. PYTHON-4 - 60° OFF BORSIGHT

DOGFIGHT DURATION

- | | |
|-------|---------|
| 5 - 7 | MINUTES |
| 3 | MINUTES |
| 30 | SECONDS |

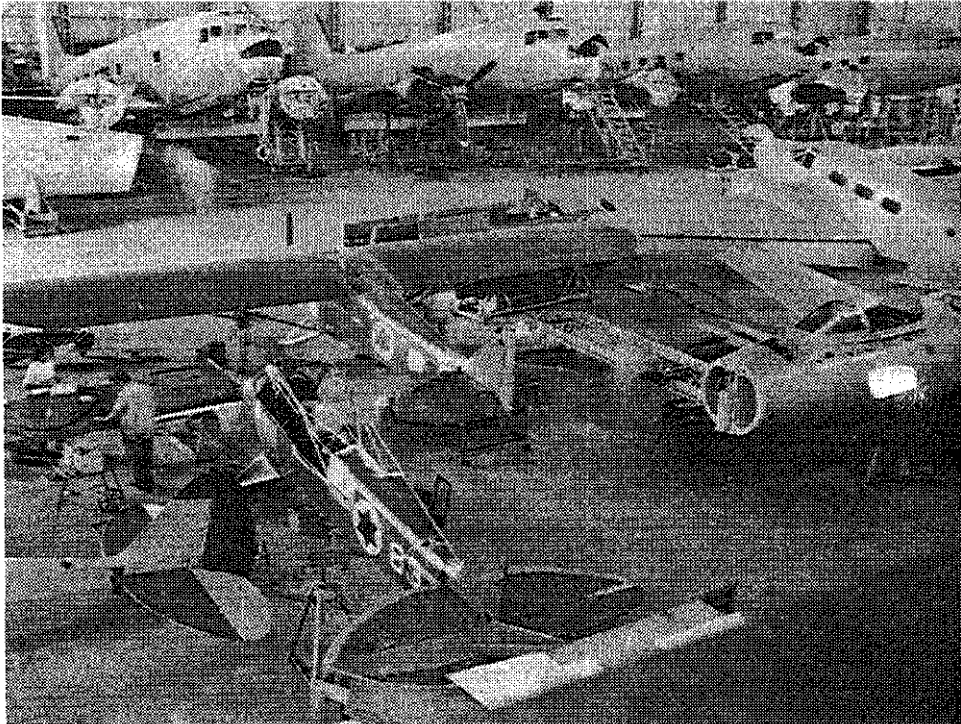
ציור מספר 12: השוואת תמרונים של ארבעה דורות טילי אוויר-אוויר⁽¹³⁾ תוצרת רפא"ל



ציור מספר 13: טילי אוויר-אוויר "פיתון 4", המתקדמים בעולם, על מטוס F-15

4.3 פרויקטים אווירונאוטיים בתעשייה האווירית

תחילתה של התעשייה האווירית בהקמת מכון "בדק" לשיפוץ מטוסים ב-1951 על ידי אל-שווימר בעידודם המוסרי והכספי של דוד בן-גוריון ושמעון פרס. בסוף 1954 מנה המפעל כ-500 איש ועסק בשיפוץ מטוסים קלים שהשתתפו במלחמת השחרור ובהם "סטירמן", "ספיטפייר" "אוסטר" ואחרים⁽¹⁴⁾. חלק מהמטוסים הוחזר לשירות מבצעי בצה"ל ואחרים נמכרו כעודפי ציוד למדינות מתפתחות כגון בורמה. במהלך השנים נוספו לרשימת המשופצים גם מטוסים גדולים יותר לחיל האוויר ובהם: "דקוטה", "מטאור", "מוסקיטו", "מוסטנג" ו"קומנדו" (C-46).



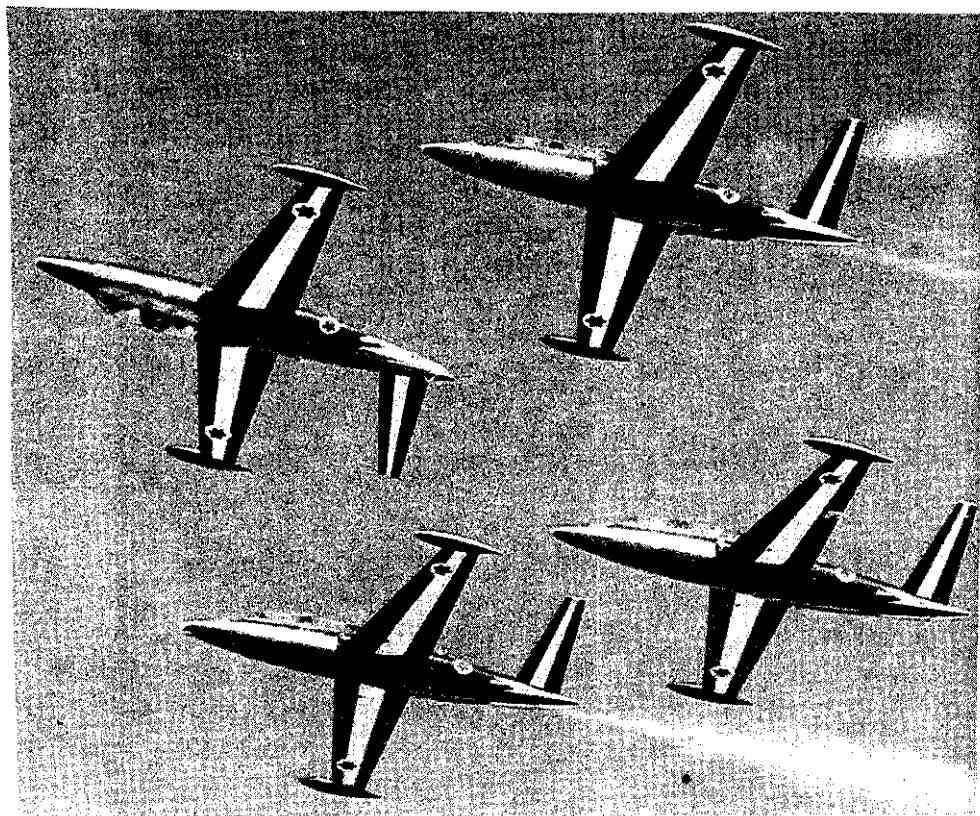
ציור מספר 14: שיפוץ מטוסי "דקוטה" ב"בדק" (1958)

יש לציין שלמרות כל המאמץ להשוות למפעל צביון נקי, איכותי ומתקדם, היו שלעגו לו גם ב-1955: כך יצא עיתון "למרחב" במאמר מתריע ב-21.12.55 בו התייחס לפעילות במפעל כאל "לופט גשפטי" (עסקי אוויר).

בשנת 1958, היא שנת סיום המחזור הראשון של בוגרי הפקולטה להנדסה אווירונאוטית, גמלה ההחלטה לא להסתפק עוד בשיפוץ מטוסים, אלא להיכנס במקביל גם לייצור ופיתוח מטוסים חדשים. ההתחלה הייתה בהקמת קו ייצור למטוס אימונים סילוני מסוג "פוגה מגיסטר" לפי ידע צרפתי. ה"בדק" שינה שמו ל"תעשייה האווירית לישראל" (תע"א).



ציור מספר 15: מפקד חיל האוויר, האלוף עזר וייצמן חותם על טופס קבלת מטוס ה"פוגה מגיסטר" הראשון לחיל האוויר (7.7.60)



ציור מספר 16: מפגן אווירי של חיל האוויר עם מטוסי הדרכה סילוניים מסוג "פוגה-מגיסטר" תוצרת התעשייה האווירית, 1965

ב-31.3.68 הפכה התעשייה האווירית מיחידת סמך של משרד הביטחון לחברה ממשלתית. החברה חולקה לשלוש חטיבות: בדק מטוסים לשיפוץ, חטיבת ייצור כלי טיס וחטיבת הנדסה. חטיבת ההנדסה, שהחלה להיכנס לתכנון ופיתוח מטוסים חדשים, התבססה על מהנדסים בוגרי הפקולטה לאווירונאוטיקה, אך נזקקה גם למנהיגות מקצועית. לצורך זה גויסו פרופסורים מהטכניון. בתחילת הדרך (1968-1971) עמד בראש החטיבה פרופ' משה ארנס ולדז'ו פרופ' ערי ז'בוטינסקי ואחריו (1971-1973) פרופ' יוסף זינגר אותו ירש כבר מנהל מבפנים (משה בלומקי). בתקופה זו תוכנן מטוס "הערבה" שנועד להיות מטוס דו-תכליתי לצורכי הובלת נוסעים ומטענים, הן בצבא והן בגופים אזרחיים. התכנית אושרה ב-1968. כבר בסוף 1969 המריא אב-טיפוס לטיסת הבכורה. מטוס ניסוי 02 התרסק בסוף 1970 בטיסתו ה-92 כתוצאה מ"פרפור"⁽¹⁵⁾, דבר שלימד על חשיבות התיכון המדעי המלא של מטוס מודרני. התקלות תוקנו ובאפריל 1972 הוענק למטוס רישוי על ידי שלטונות התעופה האמריקניים (F.A.A.).

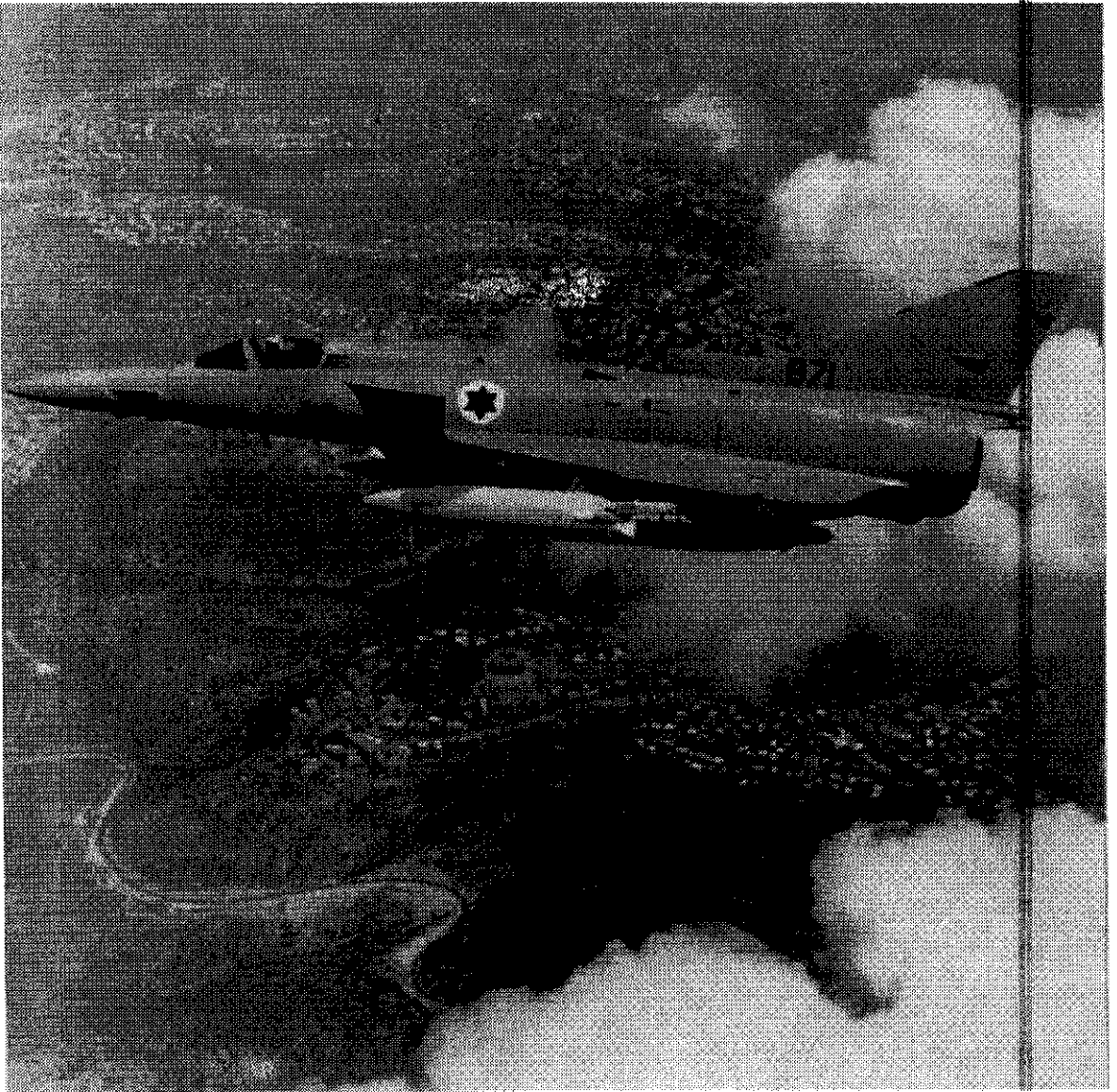


ציור מספר 17: אב-טיפוס "ערבה" מוצא מהמוסך בטקס השלמת ייצורו (1969)

בהמשך ל"ערבה" תוכננו בתעשייה האווירית מטוסי מנהלים סילוניים "קומנדור-גיט" ואחריו "ווסט-ווינד 1124". לאחרון פותחה גם גרסה צבאית לפטרול וסריקה ימית (Sea Scan), הכוללת מערכות מיוחדות כגון מכ"ם היקפי, מצלמה אווירית, מצלמת לילה ומתקני הצלה. מטוס זה הוצג לראשונה בסלון האווירי של פריז ביוני 1979.

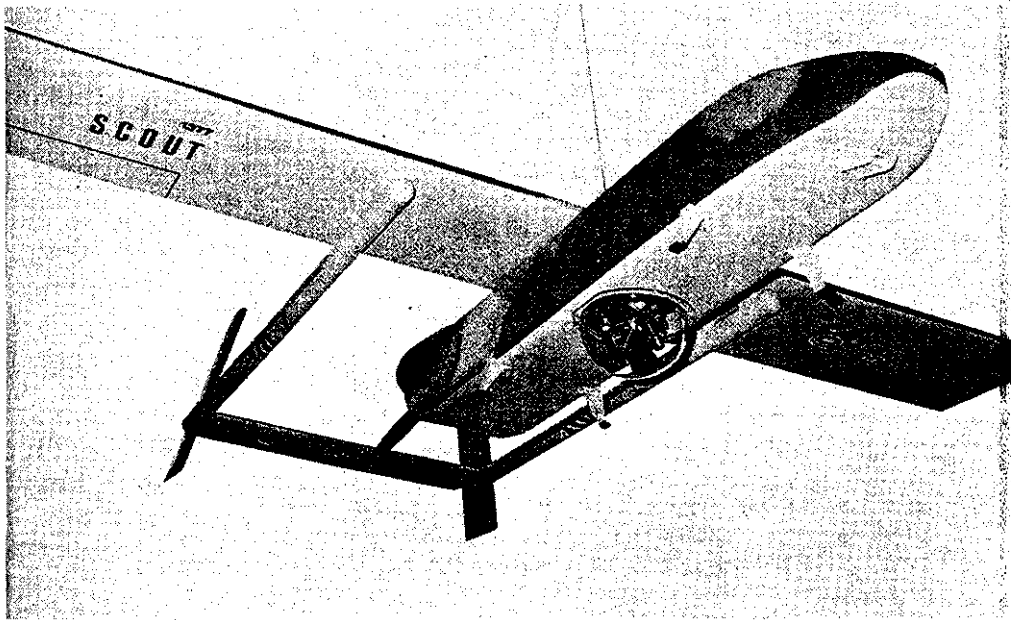
עקב האמברגו שהטיל הגנרל דה-גול ב-1967 על אספקת חמישים מטוסי מיראז' 5 שהוזמנו על ידי חיל האוויר שלנו בחברת "דאסו", נתגיסה התעשייה האווירית לייצור, שכולל ובהמשך גם פיתוח עצמי של מטוסי קרב. לצורך זה הוכפל כח אדם בתעשייה האווירית מכשבעת אלפים ב-1968 לכ-14 אלף ב-1971. תחילה שחזרו את ייצור המיראז' - גרסת "נשר". בהמשך שופרו ביצועי המטוס על ידי הוספת כנפי Canard, השתלת מנוע סילון חזק יותר (J-790) ושיפורי מכשור והתקבלה תצורת ה"כפיר". הכפיר המבצעי הראשון נמסר לחיל האוויר ביום העצמאות תשל"ה (1975).

יאמר כקוריוז שתוספת כנפי ה"קנרד" הועתקה בהמשך על ידי חברת "דאסו" (יצרנית המיראז') בתכננה את המטוס המתקדם "מיראז' 4000".



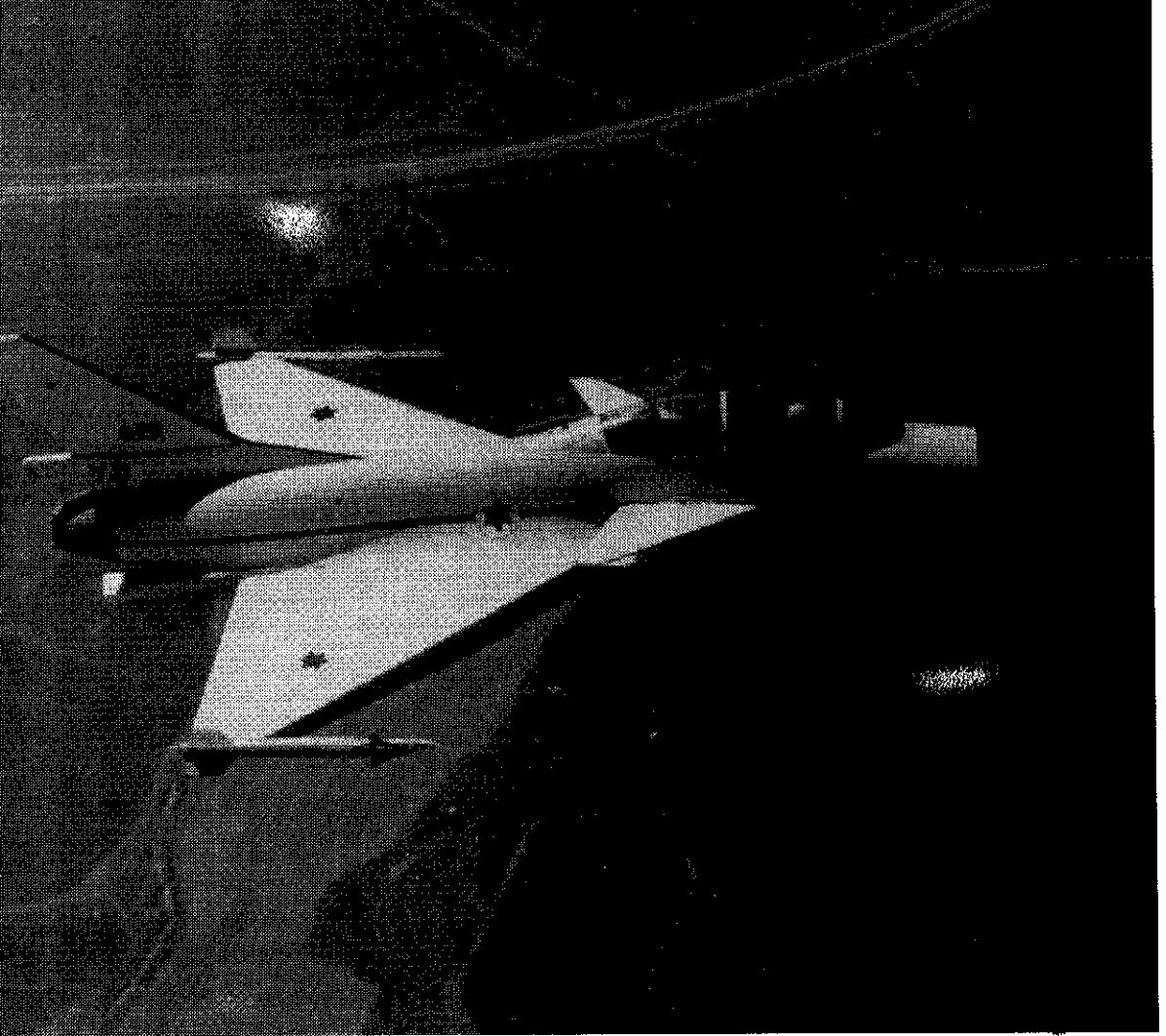
צילום מספר 18: מטוס "כפיר" 2 מתוצרת התעשייה האווירית

במקביל להכנות לתכנון מטוס הקרב הבא, תכננו בוגרי הטכניון בתעשייה האווירית מטוס זעיר ללא טייס (מזל"ט) שנועד לצורכי צילום מודיעיני. מזל"טים ראשונים מסוג Scout נכנסו לשימוש מבצעי בצה"ל בסוף שנות השבעים, אך את הילתם העיקרית קיבלו במלחמת של"ג (1982). כך הייתה ישראל המדינה הראשונה בעולם לפיתוח מזל"טים צבאיים.



ציור מספר 19: מזל"ט תצפית מדגם "סקאוט" נושא מצלמת טלוויזיה בגחוונו

גולת הכותרת, אבל גם המשבר הגדול של התעשייה האווירונאוטית בארץ, היה פרויקט ה"לביא". פרויקט זה ריכז את מיטב המפתחים בתעשייה האווירית בראשות עובדיה הררי (בוגר הפקולטה) וכן מאות קבלני משנה ברחבי הארץ ובחו"ל. הפרוייקט הופסק ב-1988 לפי החלטת ממשלה, אך התשתיות שהניח סייעו לפרוייקטים אווירונאוטיים רבים כגון "החץ", תכנית החלל, מערכות מכ"ם, לוחמה אלקטרונית ועוד.



צילום מספר 20: מטוס ה"לביא"

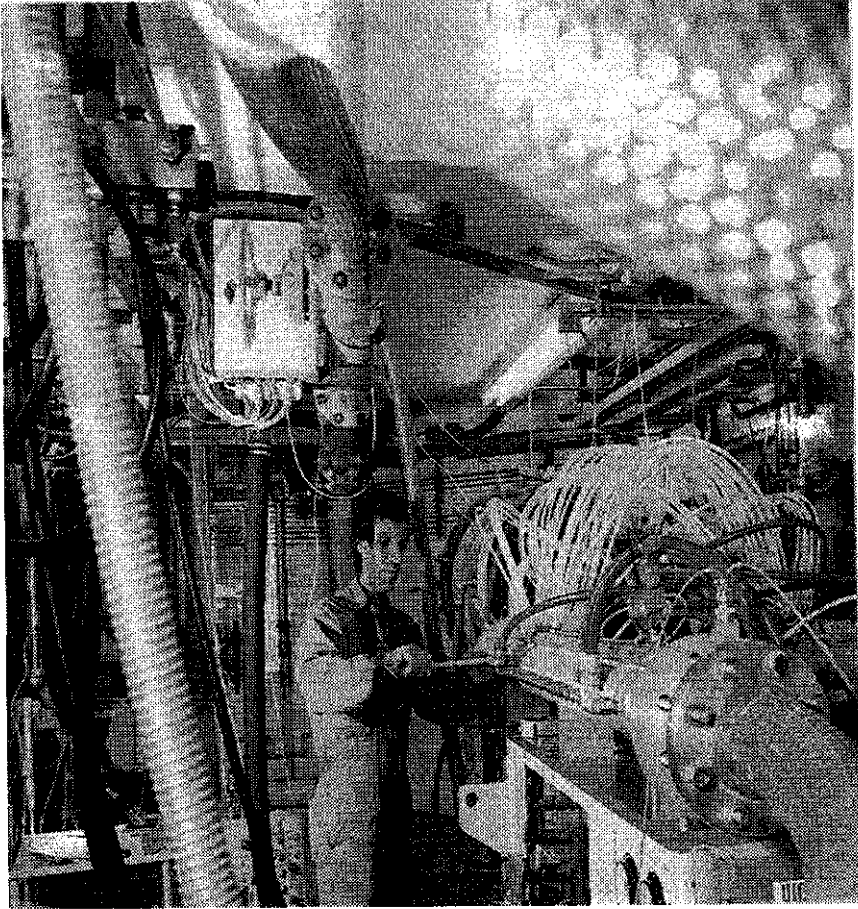
עם שוך תקופת ה"לביא" מואצת תכנית החלל בתעשייה האווירית, באלאופ, ברפא"ל ובטכניון.

הטכניון מסייע לתכנית בכמה מישורים:

א. הכשרת מהנדסי חלל על ידי שינויים בתכנית הלימודים של הפקולטה ושינוי שמה ל"הנדסת אווירונאוטיקה וחלל".

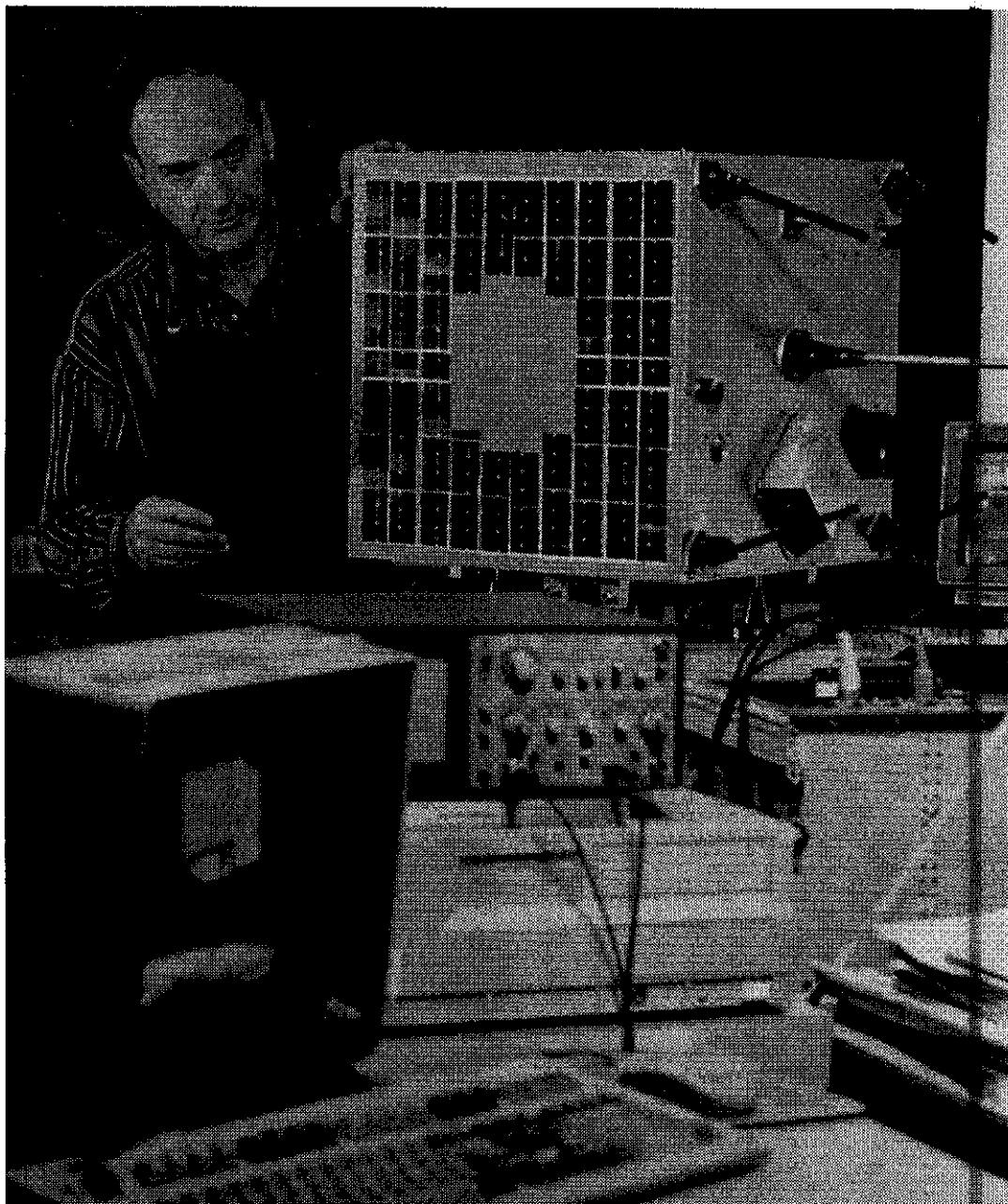
ב. הקמת והפעלת מנהרת הקשת החשמלית שמאפשרת לבצע סימולציות של חימום אווירודינמי.

ג. הקמת מכון לחקר החלל (משותף לפקולטות לפיזיקה, אווירונאוטיקה והנדסת חשמל) שבמסגרתו מפתחים ומתכננים לשגר לוויין זעיר בשם Tech-Sat.

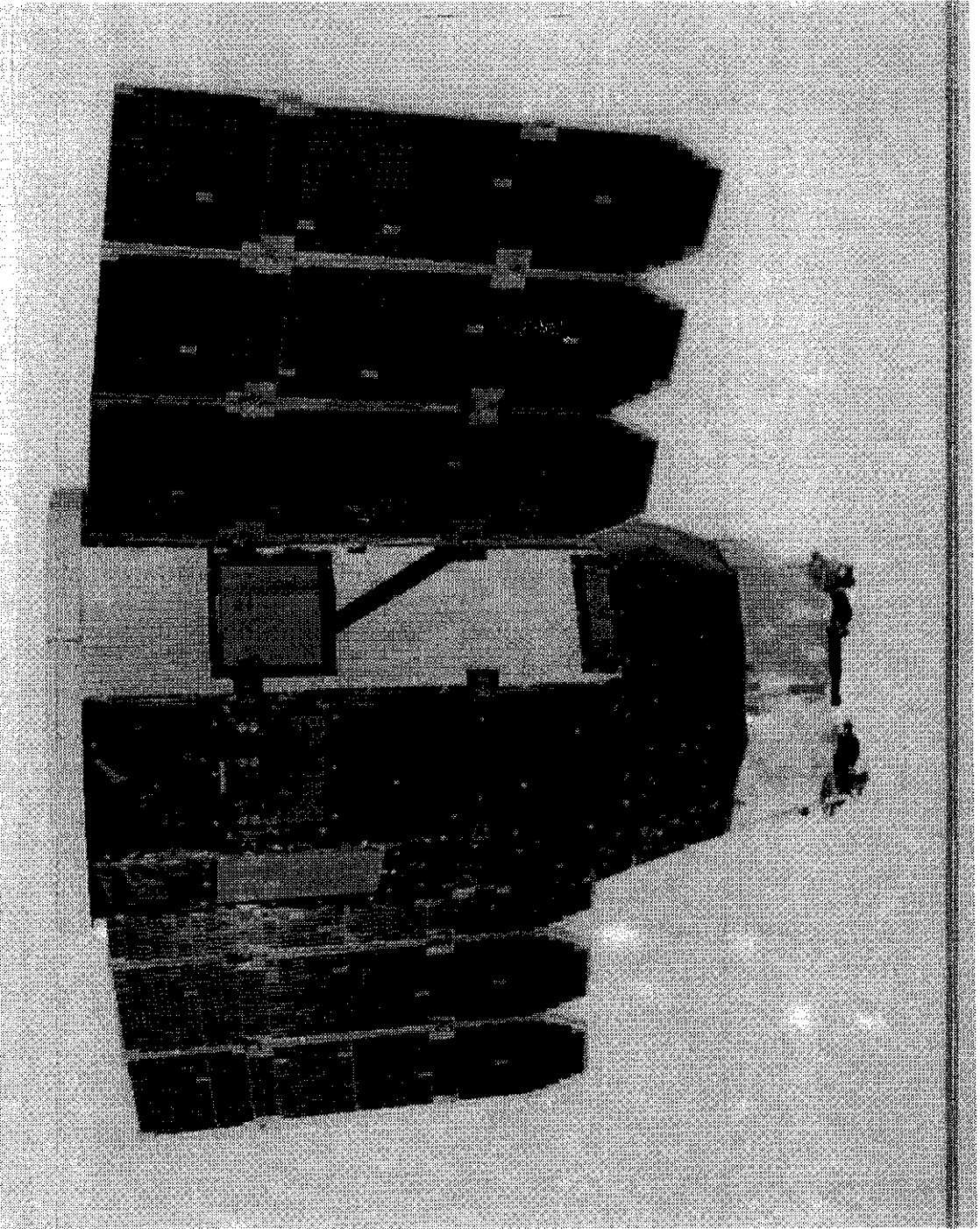


ציור מספר 21: מנהרת הקשת החשמלית בטכניון/הנדסה אווירונאוטית ביצעה סימולציה תרמית של טיל "חץ" של משגר לוויני "אופק" ונוד

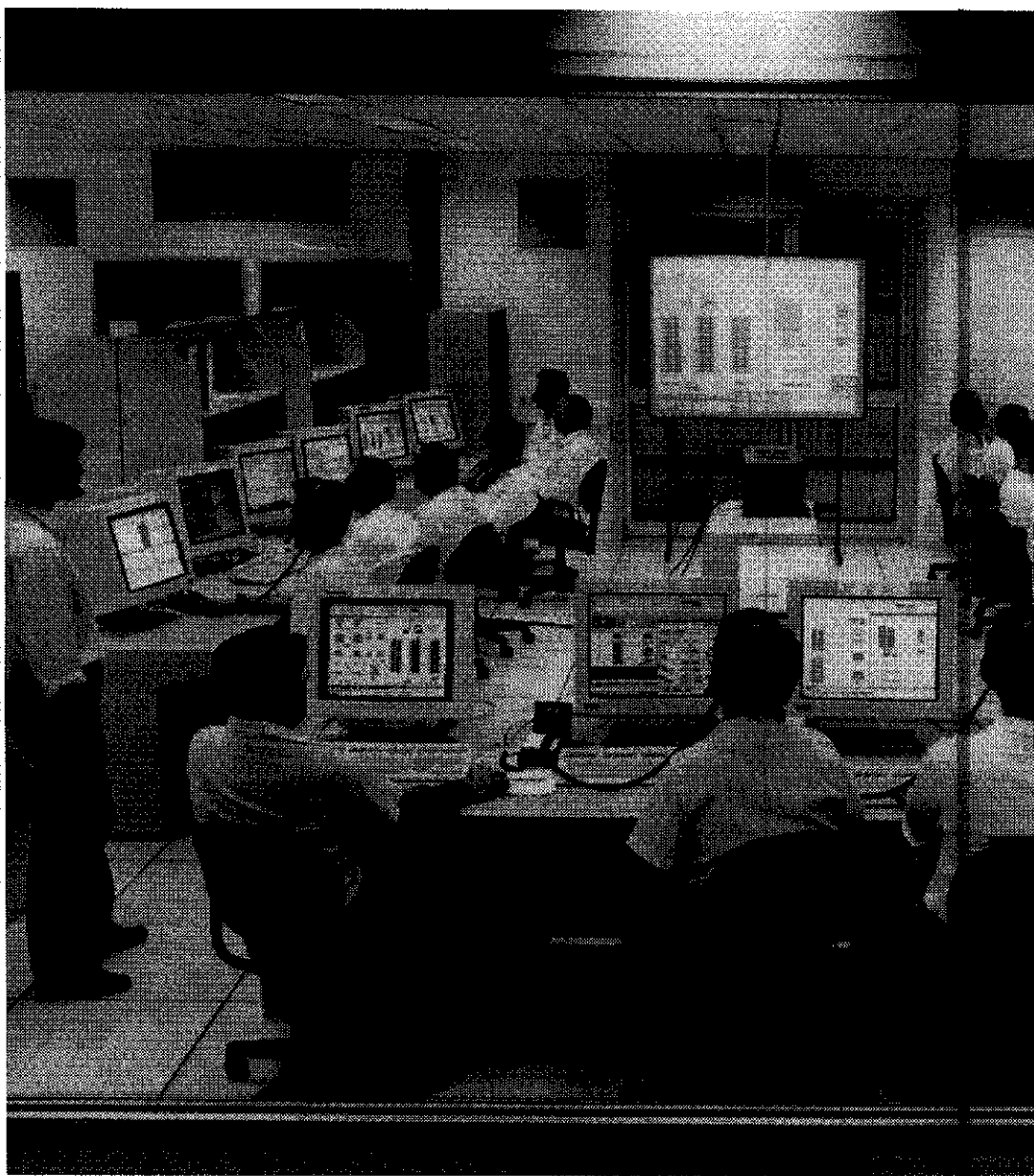
לחץ צילומי שלושת הלוויינים הישראליים :



צילום מספר 22: לוויין מחקר Tech Sat שפותח בטכניון

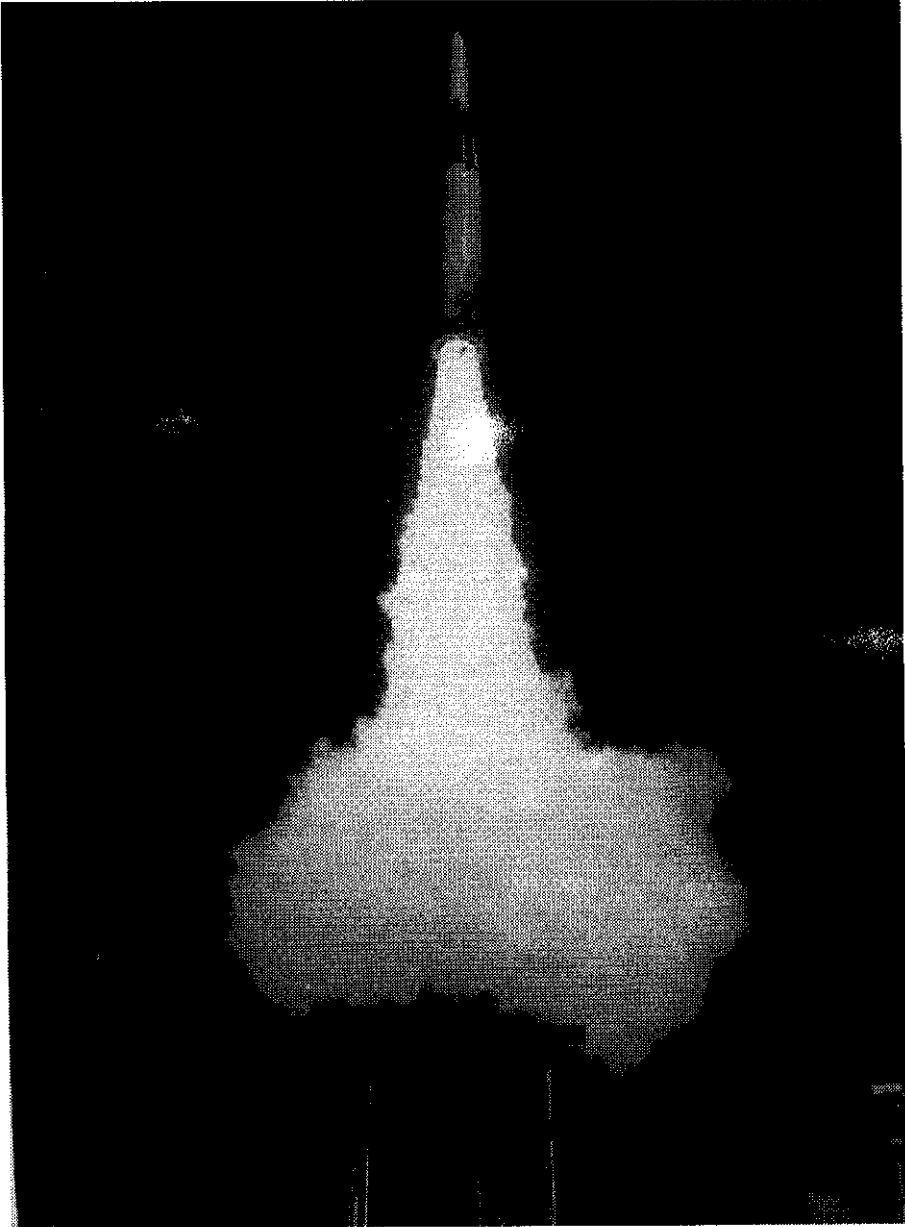


צילום מספר 23: לוויין צילום "אופק"



ציור מספר 24: חדר הבקרה של לוויין תקשורת "עמוס" במפעל מב"ת של התעשייה האווירית

פרוייקט אווירונאוטי נוסף בו עוסקת התעשייה האווירית והמבוסס אף הוא על תשתית המנחרה החמה (מנחרת הקשת) בטכניון הוא פרוייקט ה"חץ" - שהנו טיל נגד טילים בליסטיים. יוזם ומוביל הפרוייקט בשנים הראשונות היה דב רביב - בוגר הפקולטה.

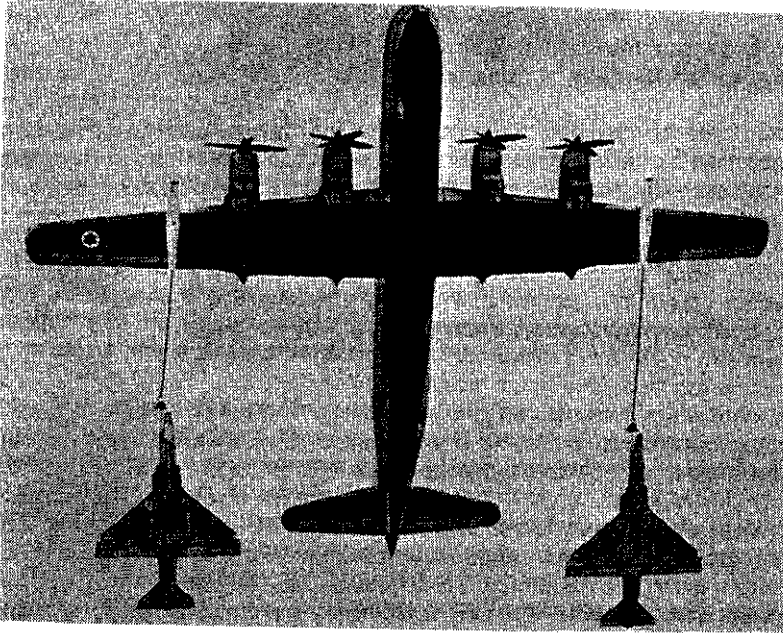


צילום מספר 25: שיגור טיל "חץ" - לייזוט טילים בליסטיים

4.4 אווירונאוטיקה בחיל האוויר

חיל האוויר הוא הקולט העיקרי של מהנדסים אווירונאוטיים שלמדו במסגרת העתודה האקדמית. מהנדסים אלה מופנים בדרך כלל ללהק ציוד של החיל והם האחראים על הרמה ההנדסית הגבוהה ברכש, במפרטי פיתוח, בפיתוח עצמי ובניסויים. נציג כאן רק שתי דוגמאות:

א. צוותי מחלקת הפיתוח בלהק ציוד הם שאפיינו ואף השתתפו בפיתוח של מטוס התדלוק באוויר מסוג "סטרטוקרוזר".

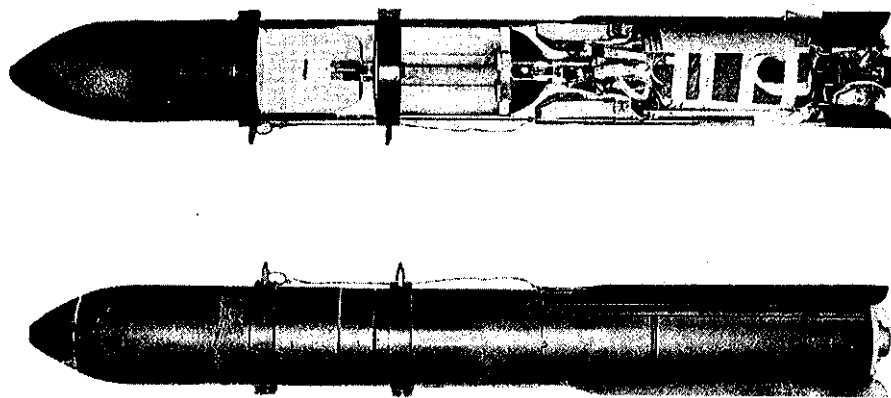


ציור מספר 26: מטוס "סטרטוקרוזר" שהוסב על ידי ח"א והתע"א לתדלוק באוויר

ב. שילוחי לוויני "אופק" של התעשייה האווירית מבוצע משדה ניסויים של יחידת ניסויי טיסה בחיל האוויר.

5. סיוע לצה"ל בבניית ביצורים והנדסת קרקע

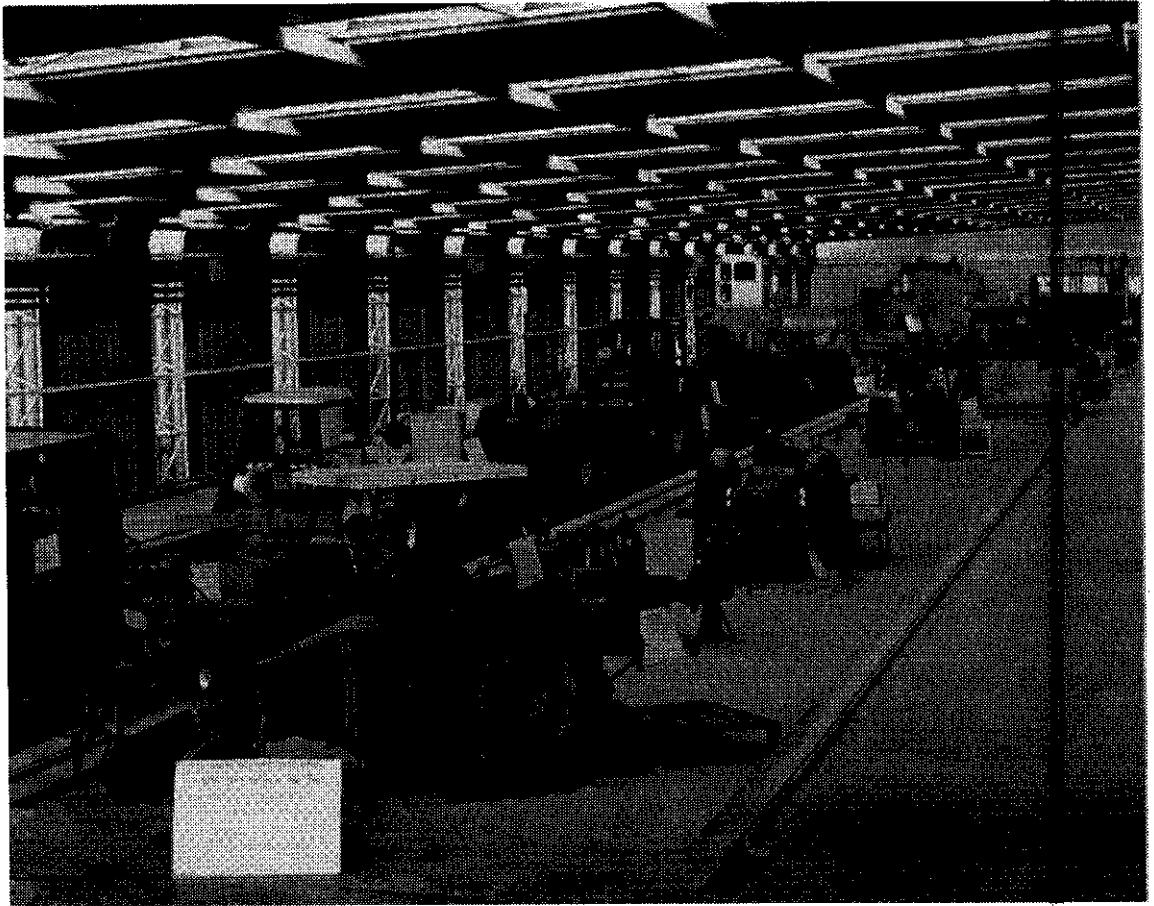
עד מלחמת ששת הימים היו הביצורים בזירתנו פשוטים עד זניחים, הן בצה"ל והן בארצות ערב: חיילים שכבו בשוחות גלויות ומטוסים חנו בשדות תעופה ללא כל מגן. עובדה זו נוצלה היטב על ידי חיל האוויר שלנו במהלך פתיחה מבריק במלחמת ששת הימים: מטוסי האויב הופצו בעודם על הקרקע והמראתם נמנעה הודות לפיצוח המסלולים על ידי פצצות חדירה מיוחדות שפותחו בתעשייה הצבאית.



ציור מספר 27: פצצות פיצוח מסלולים (פפ"ם) מתוצרת תע"ש אשר שימשו את חיל האוויר במלחמת ששת הימים (1967)

ההצלחה הגדולה במלחמת ששת הימים חשפה את הצורך הדחוף בביצורים ובהתגברות על מכשולים. הידע לכך נמצא בטכניון בפקולטות להנדסה אזרחית (פרופ' עמוס קומורניק ופרופ' חנוך יגרמן) ובפקולטה להנדסה חקלאית (פרופ' דן וולף) ובוגרים רבים. מעורבות חשובה הייתה גם למבדקה לחומרי בניין ולמבדקה לקרקע ודרכים מתד-גיסא ושל המרכז למיכון חקלאי מאידך-גיסא. להלן דוגמאות לפרוייקטים שנעזרו בטכניון⁽¹⁶⁾:

- **שנות השישים :** הקמת דירים תת-קרקעיים למטוסי חיל אוויר.
- **שנות השבעים :** בניית שדה תעופה "עציון" בסיני.
- שיפור עבירות כלי רכב בביצות "בלוזה" בסיני על ידי דרכים צפות.
- הקמת ביצורי קו בר-לב לאורך תעלת סואץ.
- **שנות השמונים :** בניית מפקדת פיקוד צפון (פרוייקט תת קרקעי).
- הקמת שדות תעופה "עובדה" ו"נבטים" בנגב.
- פיתוח רכב קרבי משוריין (רק"ם) לסילוק מוקשים (פרוייקטי "מגוב", "נכרי" ואחרים).
- פיתוח הנעה הידרוסטטית ומתלה הידרו-דינמי לטנק ה"מרכבה".
- פיתוח ערכת התחפרות מהירה ממוכנת.
- **שנות התשעים :** פינוי מוקשים בקרקעות קשות כמו רמת הגולן.
- שימוש שוטף במעבדת מכונה-קרקע עבור צה"ל.



ציור מספר 28: מעבדת מכונה-קרקע על שם האלוף יקותיאל אדם ז"ל בפקולטה להנדסה
חקלאית בטכניון

6. מיגון וחדירת שריון

תפקיד השריון במלחמת השחרור היה שולי וכדי להגן מפניו הסתפקו בבקבוקי "מולוטוב" כפי שתואר לעיל.

הצעדים הראשונים לחדירת שריון היו בהבנה של פיתוח מטענים חלולים. הנושא נחקר בימי החמ"ד בקבוצת מכון וייצמן על ידי הפרופסורים בלאוגונד וצינמון ויושמה במכון 3 (קורדני) על ידי מתלקת הנשק בראשות גינקה רטנר. האחרון גם הרצה בטכניון את המקצוע "נשק ותחמושת".

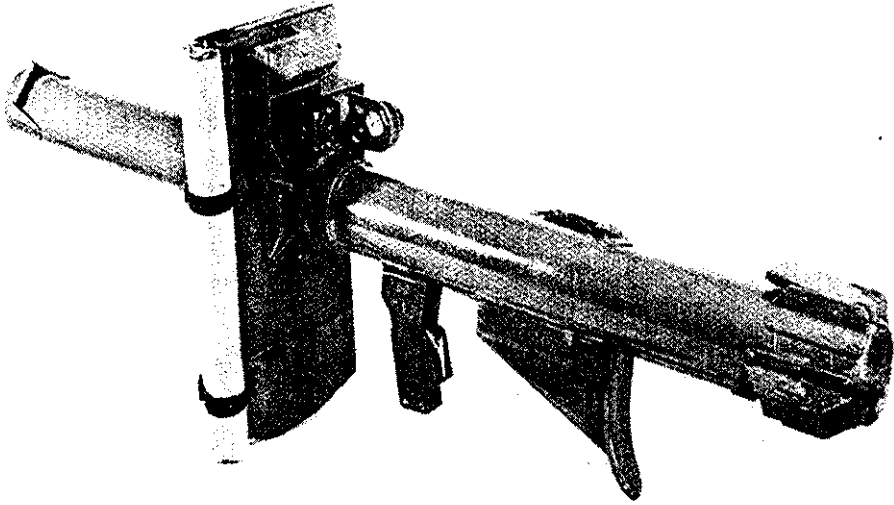
המוצר המקורי הראשון היה רימון רובה נגד טנקים (ררני"ט) שנכנס למבצעות בצה"ל ב-1954 במקביל לתת-מקלע "עוזי". שניהם הופיעו בתמונת שער של ירחון "במחנה" של אותה שנה.

עומק החדירה של הררני"ט הספיק לפגיעה במשוריינים, אך היה קטן מדי מכדי לחדור שריון של טנקים.

בשנות החמישים המשיכו אותם צוותים בפיתוח אמצעים נגד טנקים (ני"ט). תחילה יצרו בתע"ש את ה"בזוקה" לפי תכנון זר ומ-1956 עברו ל"סופר בזוקה" מפיתוח מרפא"ל שחדר כ-40 ס"מ פלדת שריון. על מוצר זה ניתן "פרס ביטחון ישראל" הראשון (1959) וזכו בו גינקה רטנר מרפא"ל ומיכאל שור מתע"ש (לימים מנהלה)⁽¹⁷⁾.

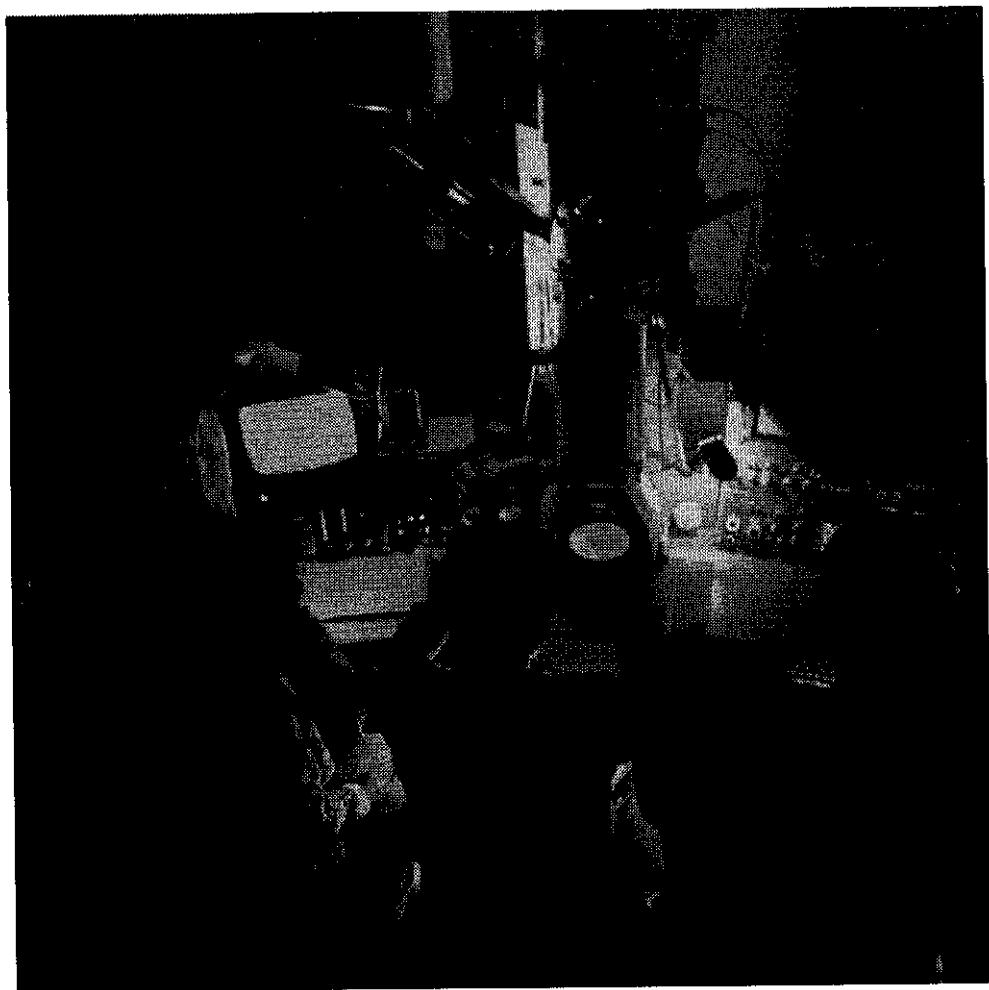


ציור מספר 29: רובה רימון נגד טנקים (רנ"ט) מפיתוח חיל המדע על שער ירחון
 "במחנה" 1954 - בצד תת מקלע "עוזי"



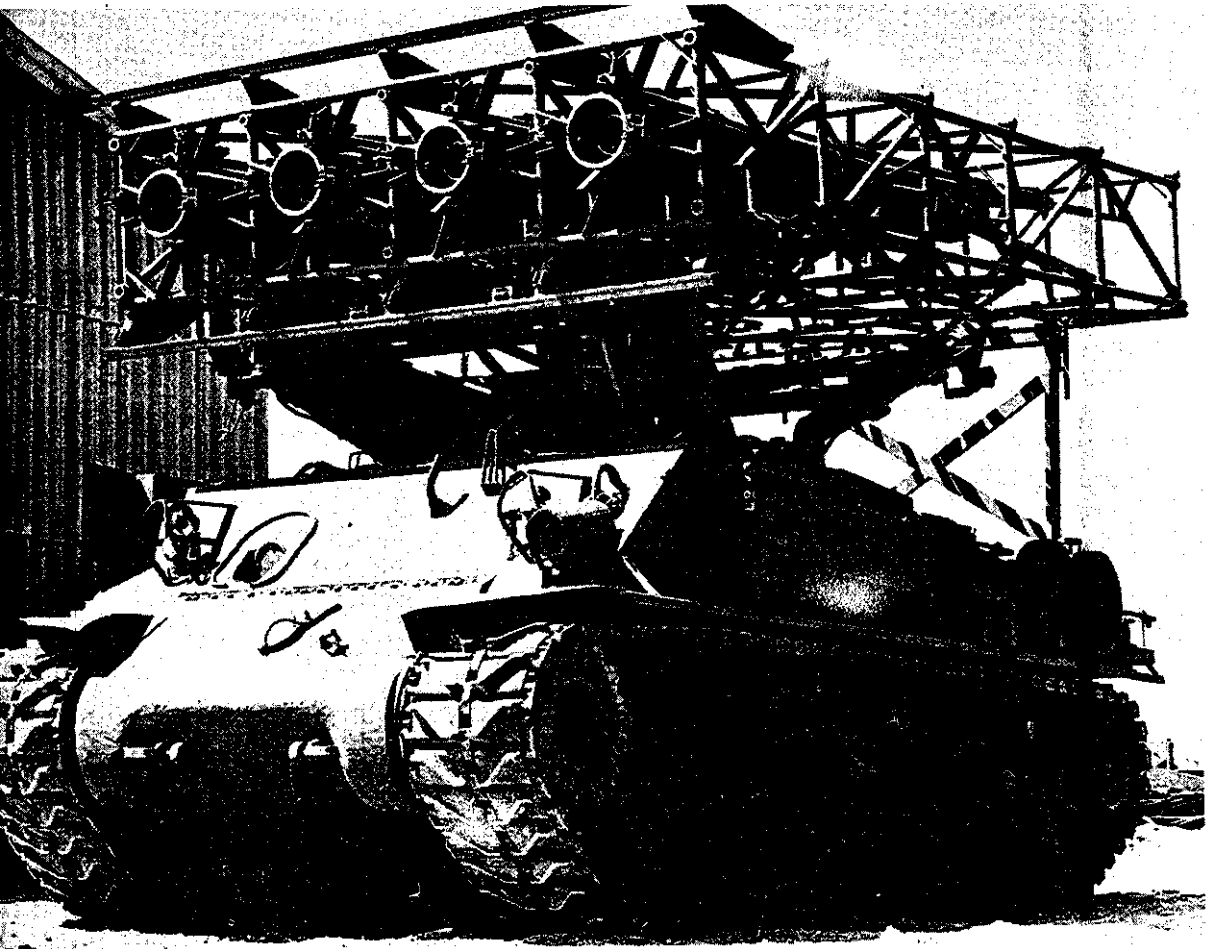
ציור מספר 30 : "סופר בזוקה" 82 מ"מ פותח בחמ"ד ויוצר בתע"ש מ-1956

במקביל לשיפור כושר החדירה בעולם הוגדל גם עובי שריון הטנקים וחדירות המטען החלול קלאסי (5 קטרים) מתותח תקני (105 מ"מ) כבר לא הספיקה. התשובה ניתנה על ידי התע"ש בפיתוח פגזי תת-קליבר המאיצים חץ טיטניום. בראש צוות הפיתוח עמד מנהל המעבדה המרכזית של תע"ש, מר מקוב, שנעזר באפיון הפלדה על ידי מכון המתכות של הטכניון שלראשונה השתמש לצורך כך במיקרוסקופ האלקטרוני של הפקולטה לחומרים.



ציור מספר 31: המיקרוסקופ האלקטרוני הראשון בטכניון

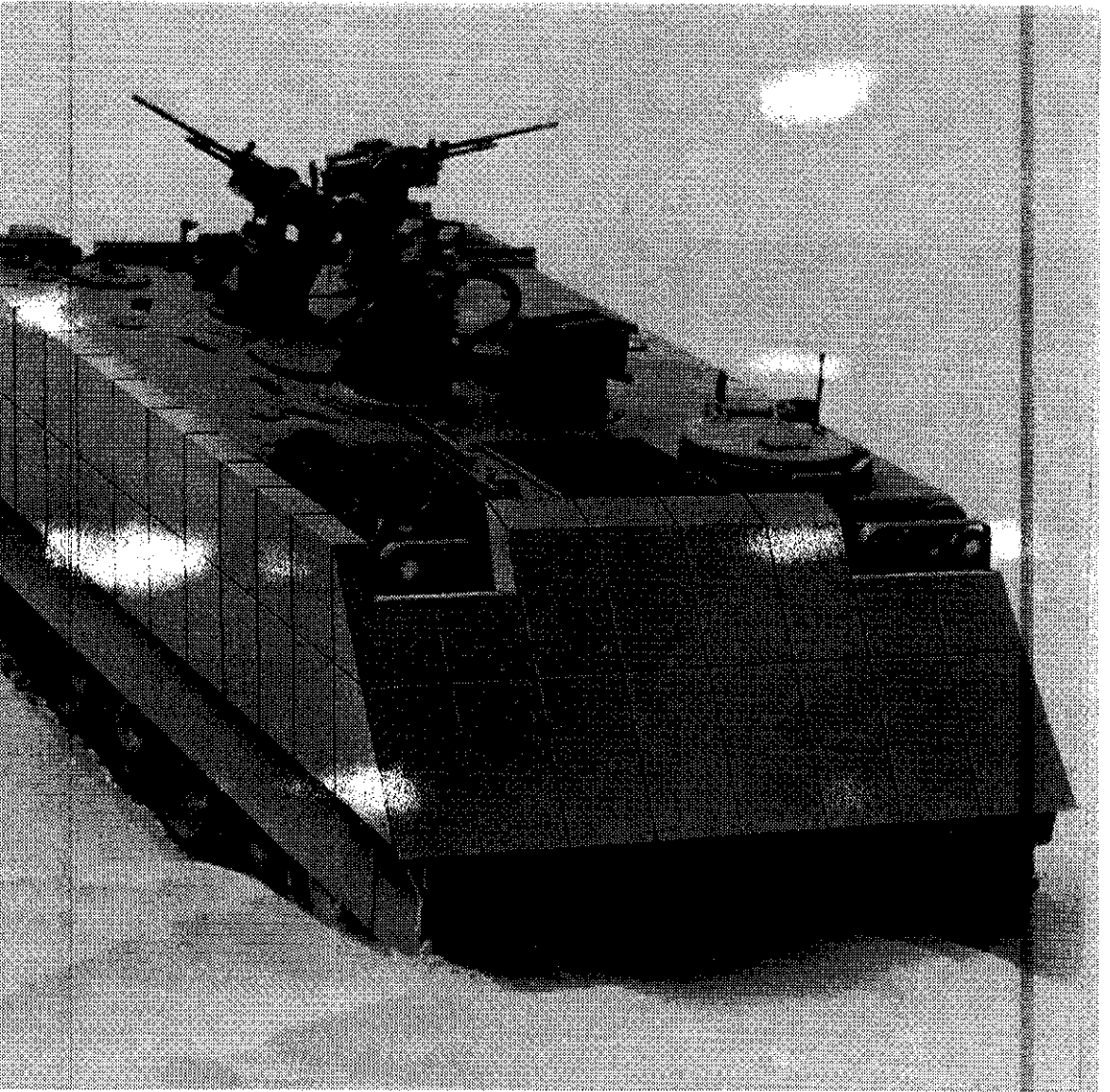
השריון שנותר דק יחסית בטנק הוא הסיפון העליון (בגלל מגבלות משקל). "עקב אכילס" זה נוצל על ידי צוות משותף של רפא"ל ותע"ש לפיתוח רקטות ארטילריות בשנות השבעים: רפא"ל פיתחה את ראש המצרר עם פצצונות נגד טנקים, ותע"ש פיתחה את המשגר רב הקנים ואת רקטת ההאצה. רקטות אלה שימשו את חיל התותחנים של צה"ל במלחמת של"ג לא רק נגד טנקים, אלא גם כנגד מערכות מכ"ם למיניהן וזאת בהצלחה רבה. בשני הגופים נוהל הפרוייקט על ידי בוגרי הטכניון בהנדסה אווירונאוטית והם נעזרו במנהרות הרוח שם.



ציור מספר 32: משגר ורקטות ארטילריות מפיתוח משותף תע"ד ורפא"ל

במקביל למאמצי הדירת השריון, היה גם צורך לשפר את המיגון של הטנקים שלנו. לעיבוי השריון יש גבול מעשי מחמת משקל הטנק. בשנות השבעים נפתח אפוא עידן השריון המתוחכם. לצורך זה היה צורך בהבנה מעמיקה של תופעת התדירה של קליעים לשריון. תופעה זו נחקרת רבות בעולם הן באקדמיה והן בצבא, אך הפתרונות נשמרים בדרך כלל בסוד. החוקרים המובילים בנושא בארץ הם פרופ' סול בודנר בטכניון, ד"ר יהודה פרתום ברפא"ל וד"ר משה רביד בצה"ל.

בסיועם פותח ברפא"ל מיגון ריאקטיבי המגן על טנקים על ידי "עטיפתם" בקסטות סנדוויץ' שחומר נפץ במרכזן. החני"ם שניזום על ידי פגיעת מטענים הורס את אפקט המטענים החלולים ומגן על הטנק. טנקי "פטון" ראשוניים מסוג זה השתתפו במלחמת של"ג והצילו חיים של חיילים רבים. בהמשך מוגנו בצורה דומה כלים נוספים.



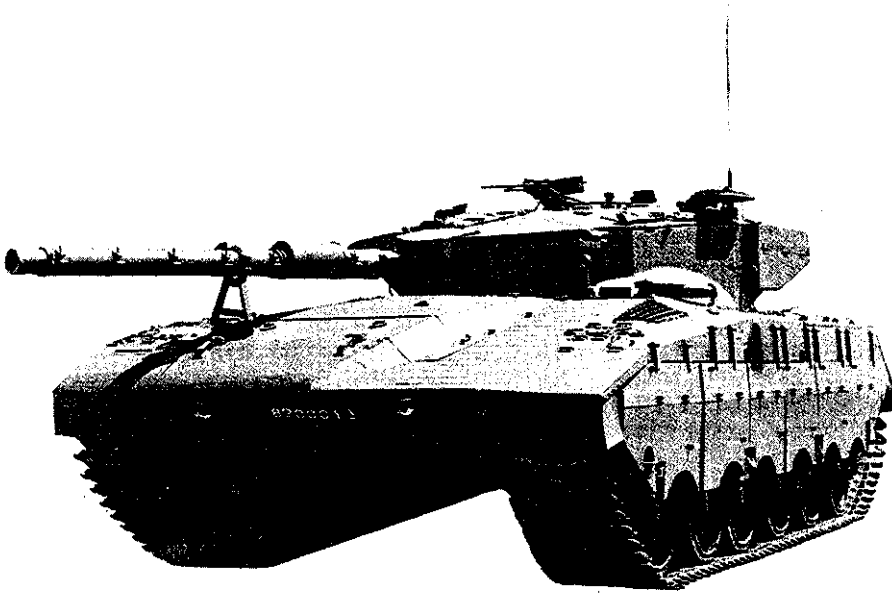
צילום מספר 33: רכב קרבי משוריין עם מיגון קסטות ריאקטיביות

דוגמה אחרת למיגון היא מיגון פסיבי המשמש באפקטים גאומטריים-דינמיים מתקדמים. הוא פותח תחילה עבור המרינס האמריקני ונגזרות מתקדמות שלו משמשות את כוחותינו בלבנון. גם מיגון זה מבוסס על מחקרים רבים שבוצעו ברפא"ל בשיתוף האקדמיה בארץ ובחו"ל.



ציור מספר 34: מיגון פסיבי לנושא גייסות משוריין

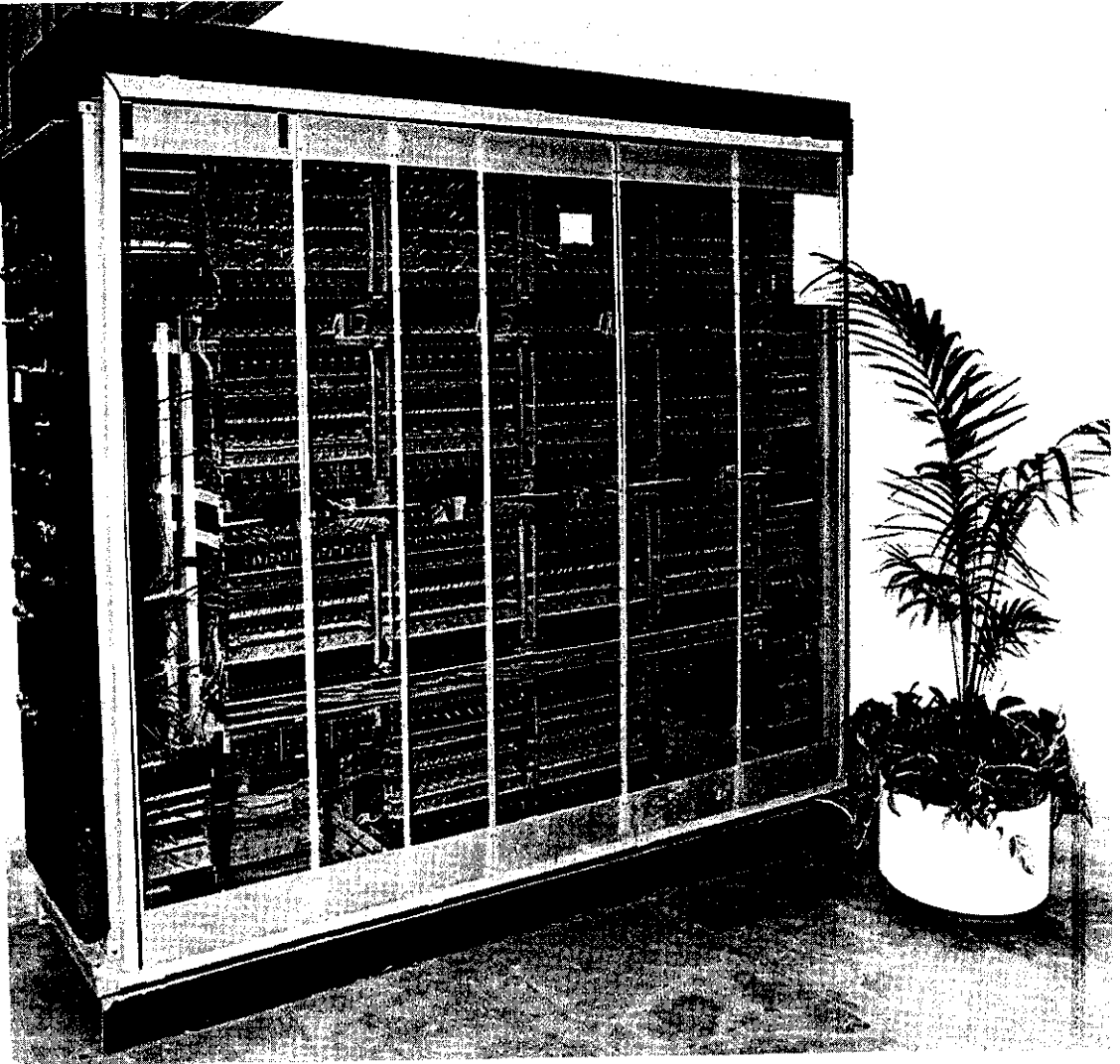
גולת הכותרת של מיגון כוחותינו המשוריינים הוא כמובן טנק ה"מרכבה" שפותח על דורותיו השונים על ידי צוות בראשות האלוף (מיל) ישראל טל. בפיתוח ה"מרכבה" השתתפו תעשיות רבות ובהן תע"ש (תותח) תעשייה אווירית/שה"ל (מרכב) אלאופ (כוונת), אלביט (מחשב ירי) רפא"ל (מיגון), אורדן (צריח), מוטורולה (תקשורת) ועוד. רוב הצוותים בתעשיות הנ"ל הם בוגרי הטכניון.



ציור מספר 35: טנק "מרכבה"

7. מחשוב מדעי וצבאי

עידן המחשוב בארץ נפתח ב-1954 כאשר מכון וייצמן פיתח את מחשב ה"וייצק". כושר החישוב שלו היה אמנם הרבה פחות ממחשב אישי כיום אך הוא קידם מאוד את חמתמטיקה השימושית בארץ⁽¹⁸⁾.



ציור מספר 36: "וייצק" המחשב האלקטרוני הראשון בארץ שפותח ב-1954 במכון וייצמן

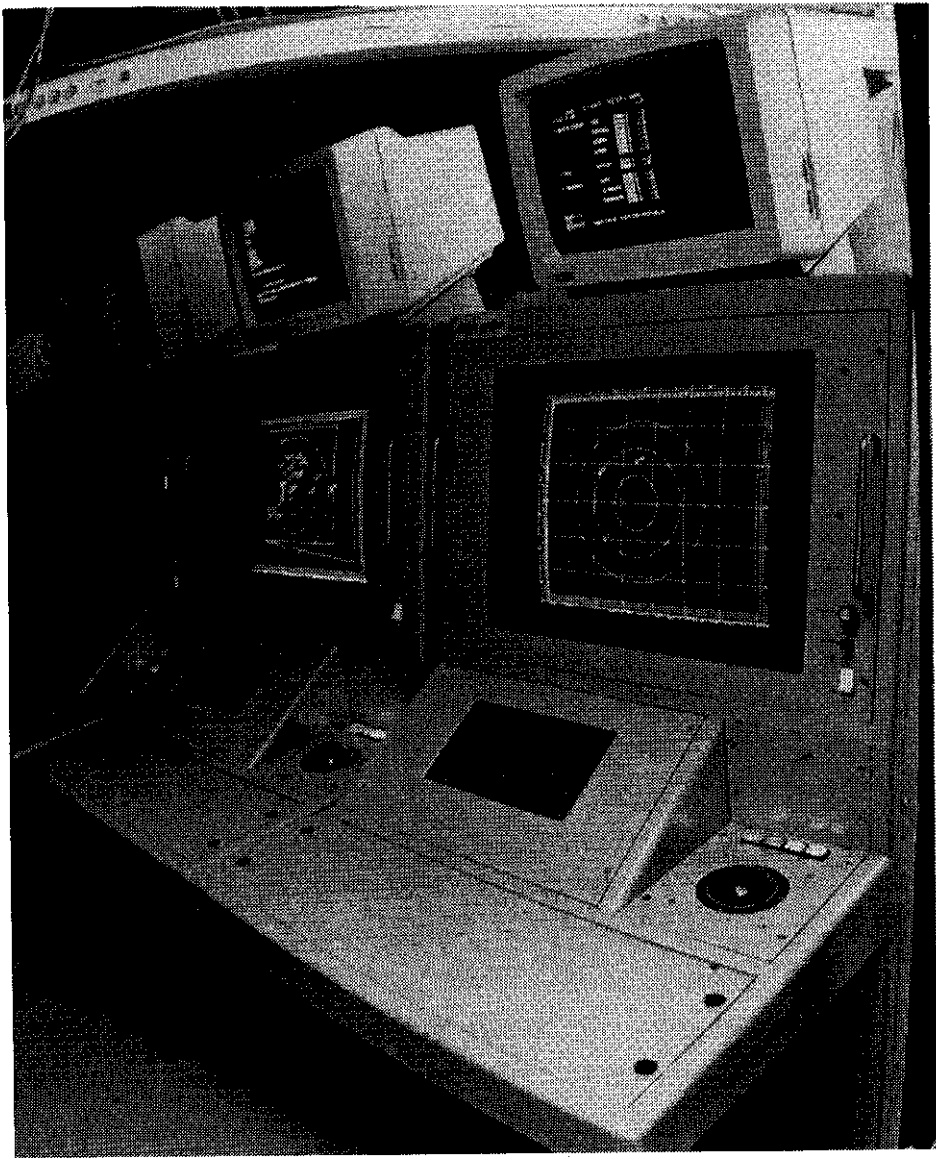
במקביל פותח ברפא"ל מחשב אנלוגי ששימש החל מ-1956 לחישובי מסלולים ותמרונים של טילים שפיתחה.



ציור מספר 37: מחשב אנלוגי מפיתוח רפא"ל (1956)

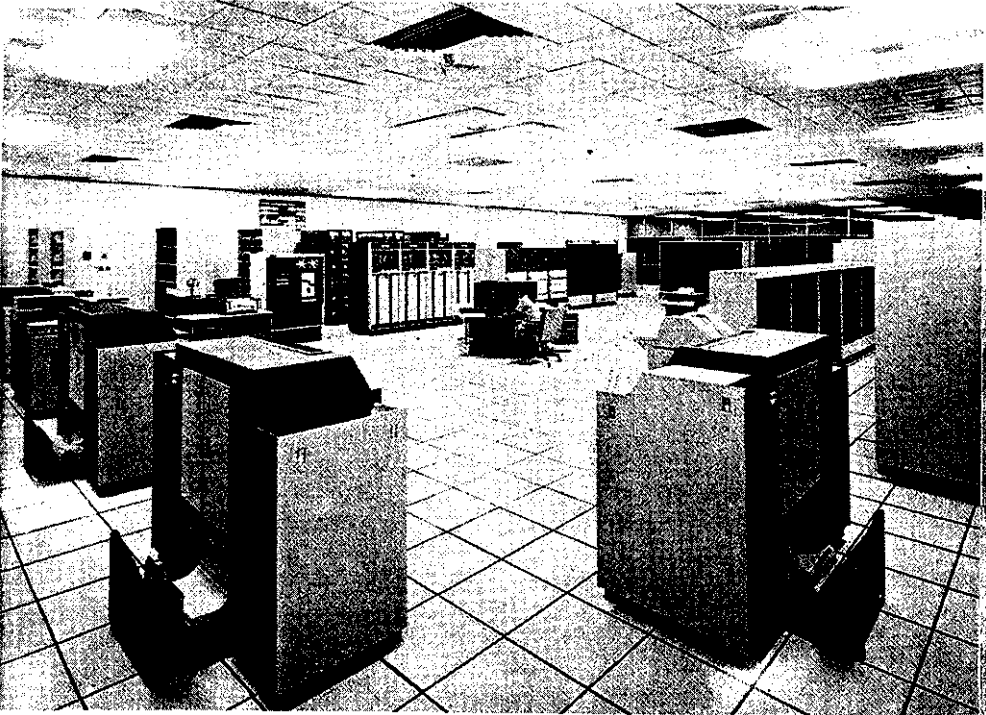
בעקבות ההצלחות הראשונות של חישובים מדעיים וביטחוניים במכון וייצמן וברפא"ל, והחליטה מערכת הביטחון ב-1959 להקים מרכז מחשבים ראשי למערכת (ממר"ם), שהתבסס על מחשב קנוי תוצרת חברת "פילקוו", ארה"ב. במרכז זה, שהסתייע במתמטיקאים שימושיים מהאוניברסיטאות, גדל והתחזק כל הדור הראשון של אנשי מחשבים בארץ.

במהלך שנות השישים פרשו מרפא"ל מספר אנשי מפתח בשטח המחשבים ובהם פרופ' אלכסנדר שני ז"ל ורפי מור ז"ל שחברו לעוזיה גליל מהפקולטה לפיזיקה בטכניון ויחד הקימו את חברת "אלרון" ליישומי אלקטרוניקה ובמסגרתה חברת בת לאלקטרוניקה ביטחונית בשם "אלביט". חברה זו התמחתה בבניית מחשבי ירי לכל זרועות צה"ל ובהם: מחשבי ההפצה של מטוסי ה"כפיר", מערכת בקרת אש לתותחנות טנקים ומערכות אימונים לחיל הים.



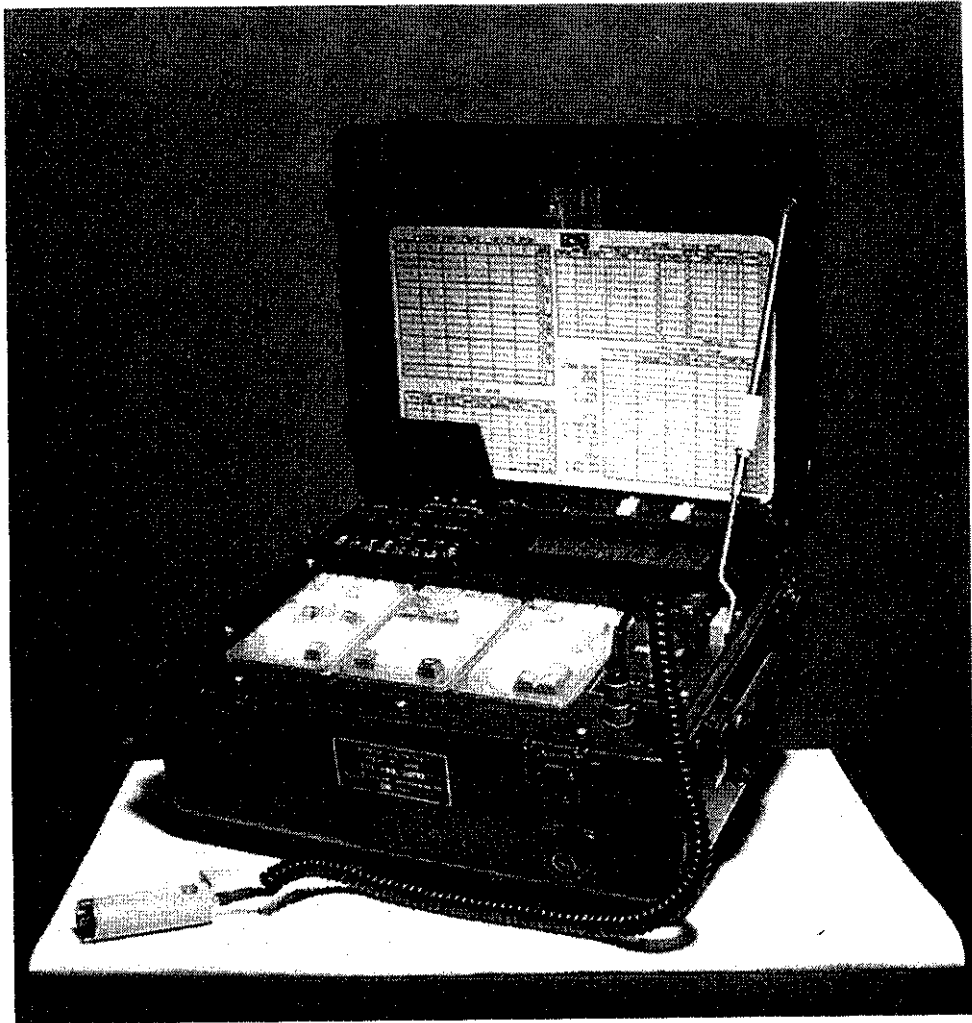
ציור מספר 38: סימולטור אימונים לחיל הים תוצרת "אלביט"

לקראת סוף שנות השישים גדל הצורך בחישובים בכל התעשיות הביטחוניות, הממרי"ם לא הספיק וכל תעשייה בנתה לעצמה מרכז חישוב המבוסס על מחשב קנוי. תע"א הלכה בעקבות הטכניון למחשב מרכזי מתוצרת IBM ואילו רפא"ל התקשרה מ-1969 ועד 1990 עם חברת קונטרול דאטא (CDC).

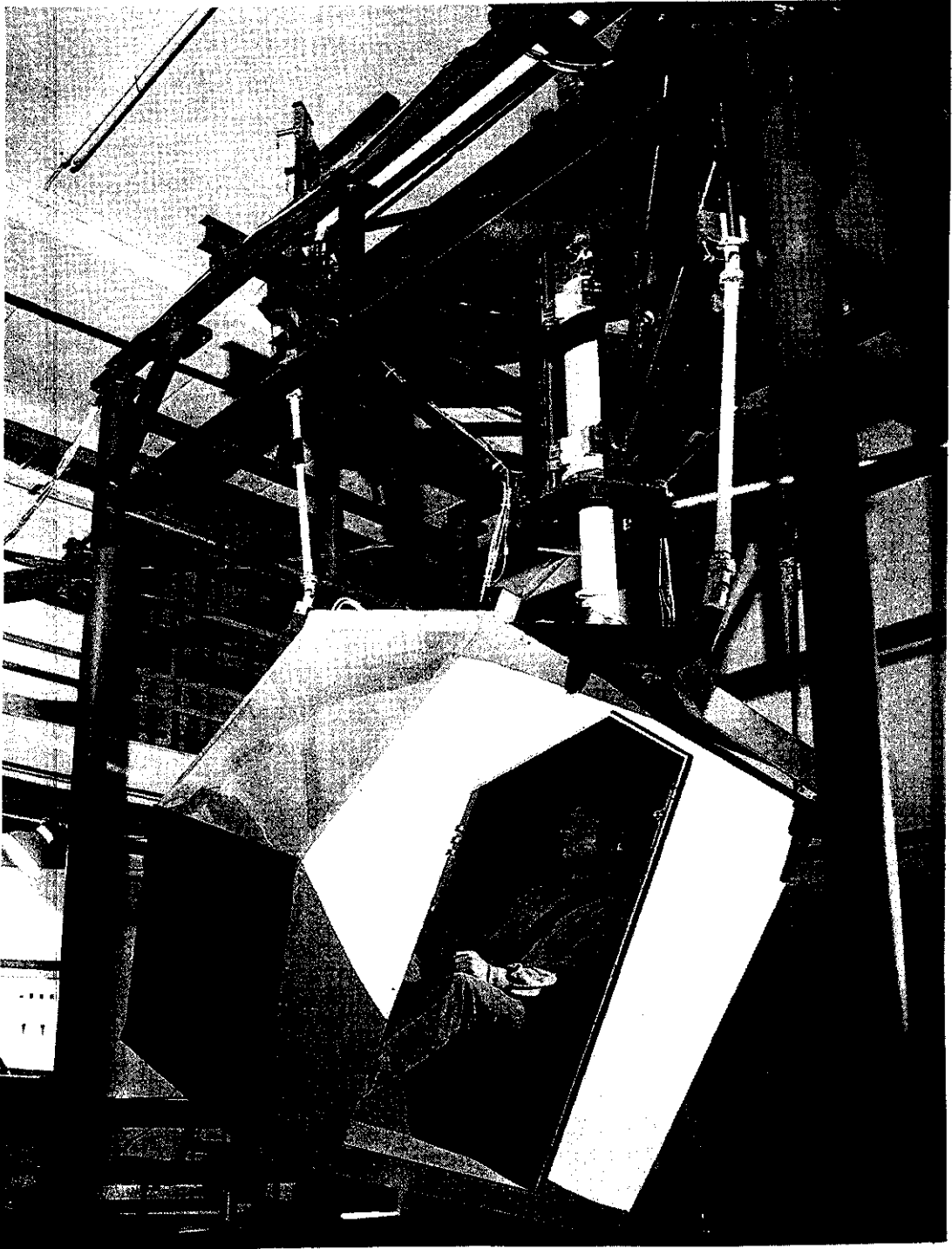


ציור מספר 39: מרכז הישוב של רפא"ל - מבוסס על מחשב CDC

במקביל ליישום המקצוע בתעשייה הביטחונית המשיכה האקדמיה במחקרים תאורטיים, כך נוצרה הפריה בין תאוריה ליישום, וישראל הוכרה בעולם כחלוצה בשדה המחשבים. בעיקר בלטו⁽¹⁹⁾: הפרופסורים מיכאל רבין ואלי שמיר מהאוניברסיטה העברית, הפרופסורים שמעון אבן ועזריה פז מהטכניון וכיום ד"ר אמיר פנואלי ממכון וייצמן. ההכרה הבין-לאומית באה לידי ביטוי בעריכת כנסים בין-לאומיים למחשבים בארץ כבר ב-1963 וב-1970. ב-1969 נוצרה בטכניון יחידה אקדמית וב-1971 החלו לימודי תואר ראשון במדעי המחשב. בעקבות הטכניון החלו לימודי מדע המחשב גם בכל יתר אוניברסיטאות המתקר בארץ. ב-1980 התרחבה החוראה גם להנדסת מחשבים וכוללת מאז גם נושאים כגון שפות, בסיס מידע, גרפיקה ממוחשבת ומחשבים אישיים. הביקוש למקצוע הולך וגדל, הפקולטות גדלות וכיום בוגריהן תופסים משרות בכירות וחשובות בתעשיות הביטחון וההיי-טק בארץ. מבין המחשבים הצבאיים שפותחו בשנות השבעים ניתן להזכיר את: "דוד" - מחשב התותחנים הראשון בעולם, מחשבי הפצצה לחיל אוויר וסימולטורים רבים. חלק מהסימולטורים מומש תחילה בטכניון במעבדה של פרופ' שמואל מרתב בפקולטה לאווירונאוטיקה.



ציור מספר 40: "דוד" מחשב ירי ארטיכלרי ראשון בעולם מתוצרת רפא"ל



צילום מספר 41: סימולטור לאימון טייסים בטכניון

בין התשתיות שהכינה התעשייה האווירית לקראת עידן ה"לביא" בשנות השמונים היה מערך תיב"ם. המערכות שנמכרו בתחילת שנות השמונים בשוק לא ענו על צורכי הפרוייקט ולכן הוחלט לפתח מערכת עצמית.

למרות שהנושא טרם נלמד בטכניון, הקדימו הצרכים התעשייתיים את האקדמיה. מאז התחפך המצב והאקדמיה בפקולטות ההנדסיות מקדמת את החידושים במרץ לטובת הכלל.



ציור מספר 42: מערך תיב"ם מתוצרת עצמית בתעשייה האווירית
(תיב"ם - תיכון וייצור בעזרת מחשב)

8. אלקטרוניקה ותקשורת

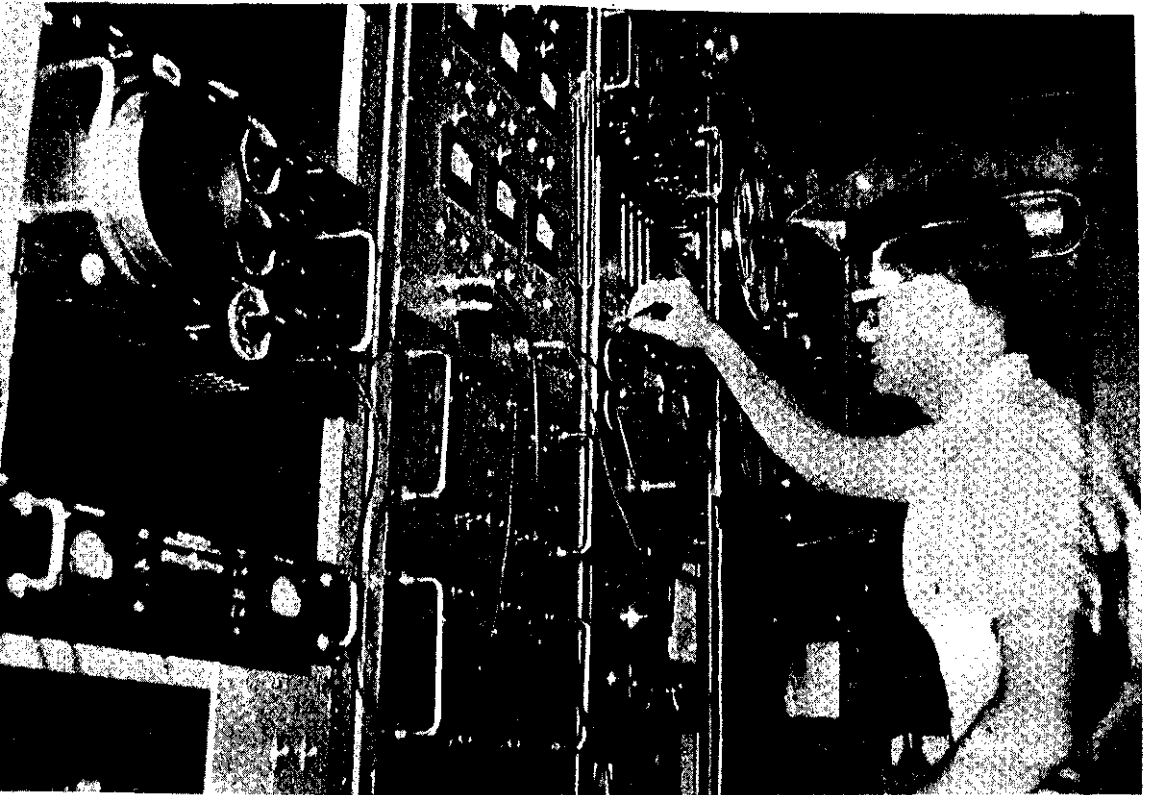
בשנות הארבעים היה ענף האלקטרוניקה בתחילת דרכו הצבאית והאקדמית. הפרופ' אולנדורף בטכניון היה זה שהניח את היסודות והעמיד דור של תלמידים בסוף שנות הארבעים, ובהם ממקימי החמ"ד⁽²⁰⁾: יונתן מס, שמואל מרחב, ידידיה שמיר, יעקב שקל, אליעזר גון ועוד. תלמידים אחרים ובהם ישעיהו לביא הקימו את חיל הקשר, המודיעין האלקטרוני ושאר פעילויות אלקטרוניות בצה"ל. הגישה של אולנדורף והמוסדות להשכלה גבוהה בכלל, הייתה לצייד את התלמידים בכלים שיאפשרו להם השתלטות עצמית על הטכנולוגיות המתפתחות מהר⁽²¹⁾. כך, למשל, לימד פרופ' אולנדורף פיזיקה של טרנזיסטורים כבר ב-1950.

היישום לא אחר לבוא: כבר במלחמת השחרור תכננו תלמידיו רכב נהוג מרחוק שנועד להוביל חבית נפץ אל בית הנגיזה בחיפה. האב-טיפוס עבד יפה, אך לא נזקקו לו מבצעות וחיפה שוחררה בפסח תש"ת. הרכב מוצג היום במוזיאון רפא"ל. פיתוח אחר שהגיע למבצעות ב-1954, הן ספינות חבלה נהוגות מרחוק. זו הייתה תחילת הדרך לטילים מסוג "לוז".

יעקב זיו (לימים פרופ' לאלקטרוניקה בטכניון וחתן פרס ישראל) תכנן כבר באמצע שנות החמישים מערכות שידור-קליטה טרנזיסטוריות לניהוג ה"לוז" ולצורך הטלמטריה שלו.



ציור מספר 43: "כלב ים" - סירת חבלה נהוגה מרחוק באלחוט, פותחה בחמ"ד ב-1954 ושימשה לתקיפת כלי שיט על ידי חיל הים

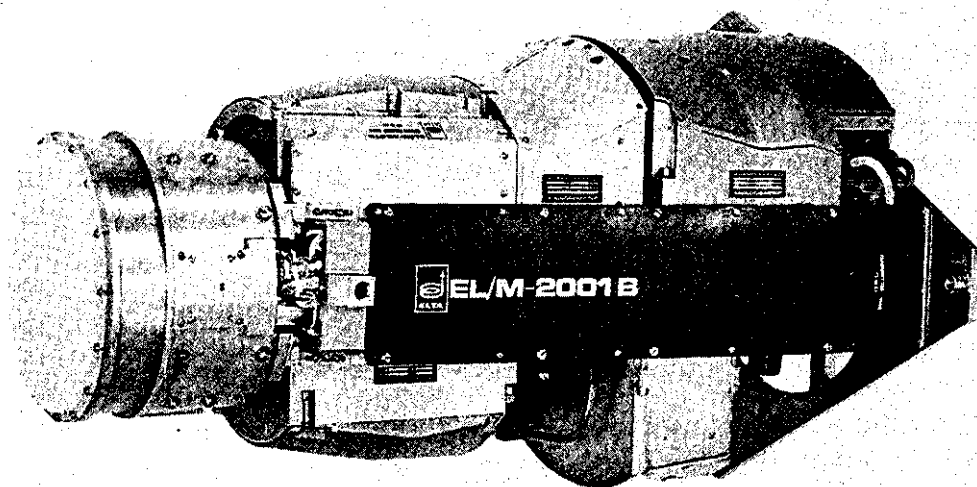


ציור מספר 44: תחנת טלמטריה שפותחה באמצע שנות החמישים באגף מחקר ותיכון (לימים רפא"ל) לצורכי ניסויי שדה של טיל קרקע-קרקע "לוז"

יש לציין כי חלק מבכירי רפא"ל באלקטרוניקה חזרו לאקדמיה במהלך שנות השישים והשבעים ומשמשים חוקרים ומחנכים בכירים בפקולטה לחשמל של הטכניון. בין החוזרים נמנים הפרופסורים: משה זכאי, יעקב זיו, ישראל בר-דוד, אליעזר שן ועוד, מה שמוכיח כי הקרבה הגאוגרפית תורמת רבות לקשרים ההדדיים. לימים פיתח פרופ' יעקב זיו יחד עם פרופ' למפל את אלגוריתם התקשורת הידוע על שמו וכך תרמו לעולם התקשורת בעולם כולו.

פריחת ענף האלקטרוניקה בתעשייה האווירית החלה עם יסוד מפעל אלתי"א בשנות השישים. חברה זו, שגם היא מבוססת ברובה על בוגרי הטכניון, פיתחה את מערכות המכ"ם לכל המטוסים של התעשייה האווירית, וכן מכ"מים קרקעיים ומכ"ם ימי שהוכיח את יעילותו הגדולה בהפעלת טילי "גבריא"ל" במלחמת יום כיפור.

יש לציין שהדחיפה לפיתוח מכ"ם בארץ ניתנה עקב האמינות הנמוכה של מכ"ם "סירנו" של מטוס המיראז' ואחר כך כמובן על ידי האמברגו הצרפתי.



צילום מספר 45: מכ"ם מטוס ה"כפיר" שפותח על ידי חברת אלתי"א בשנות השבעים

פיתוח מערכות מכ"ם שהחל כחיקוי, הפך ברבות הימים את מפעל אלת"א לאחד מהמובילים בעולם. בין המכ"מים הצבאיים המתוחכמים שפותחו בשנות השמונים יש להזכיר את מכ"ם החיפוש וההנחיה של מערכת "ברק" נגד טילי ים-ים, את המכ"ם המתקדם של "הלביא" ואת מכ"ם החיפוש וההנחיה של טיל "חץ".

עם סיום פיתוח מטוס המנהלים Westwind ב-1976, בדקה התעשייה האווירית דרכים לפילוח השוק. בדרך זו נולדה הגרסה הצבאית של המטוס לפטרול וסריקה ימית. ורסיה זו כוללת מערכת מכ"ם לסריקה היקפית (360°) ומערכת קשר מיוחדת.

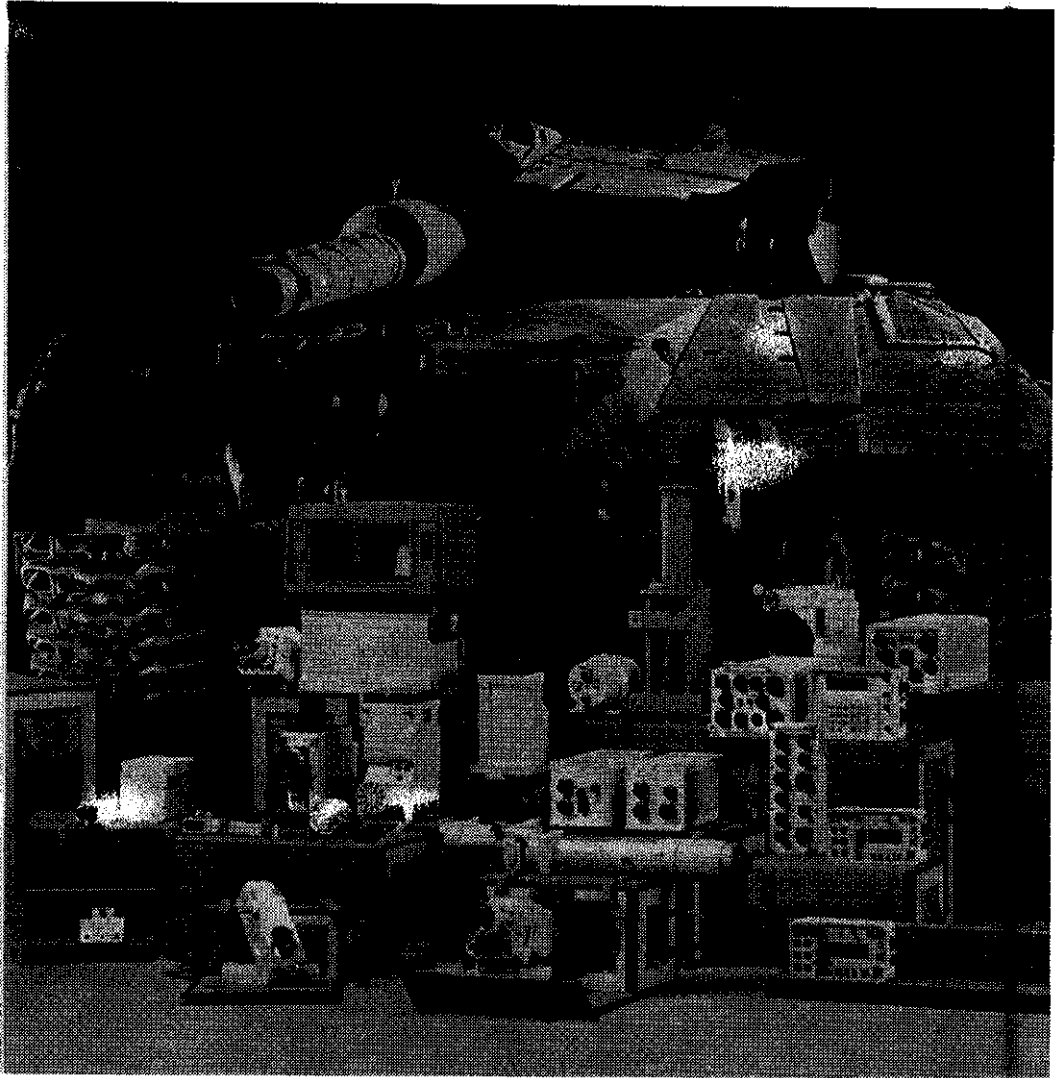


ציור מספר 46: ורסיה צבאית של מטוס "ווסטווינד" לצורכי פטרול וסריקה כולל מערכות מכ"ם ותקשורת מיוחדת תוצרת אלת"א, 1981

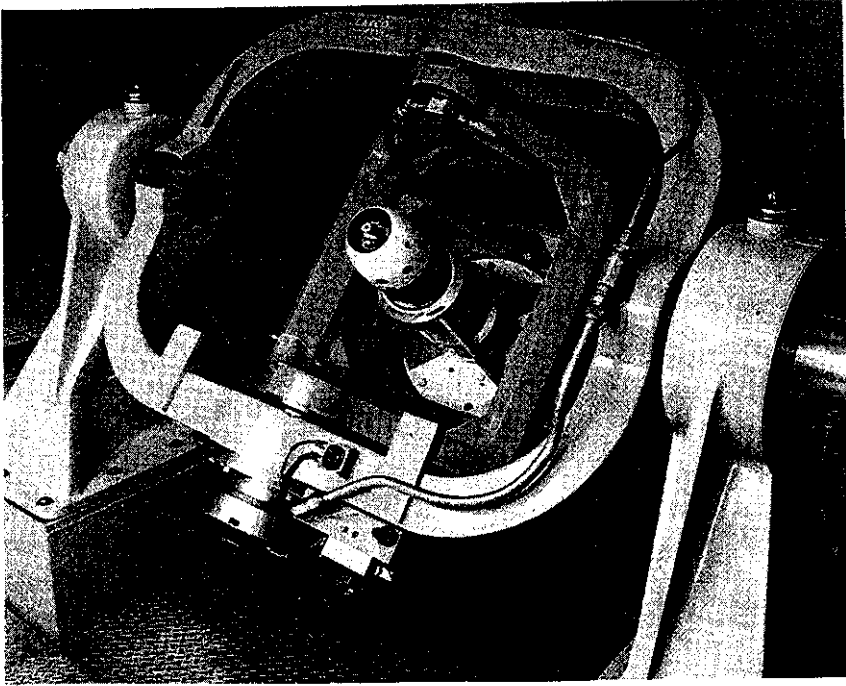
9. אלקטרו-אופטיקה

ראשיתה של התעשייה האופטית בישראל הוא בהקמה של מפעל מכשירי גולדברג על ידי פרופ' עימנואל גולדברג ב-1937. בסמוך לו הוקם ב-1962 מפעל אופטי בשם מכשירי רחובות⁽²³⁾. אל האחרון הצטרף ב-1966 פרופ' ג'ו יפה ממכון ויצמן ומונה כמנהל⁽²⁴⁾. שני המפעלים עסקו בעיקר במכשירים אופטו-מכניים. ב-1979 אוחדו שני המפעלים תחת השם "אל-אופ" ואכן הגבירו את פיתוח המוצרים האלקטרו-אופטיים למגוון שימושים. מאז הלך וגבר החלק הביטחוני במוצרי החברה וכיום היא נחשבת לחברה ביטחונית (פרטית) לכל דבר. התרומה הבולטת ביותר בשנות השבעים והשמונים הייתה מערכת בקרת אש לטנקים על דורותיה שסופקה לצה"ל בכמויות גדולות. מחשב המערכת פותח על ידי חברת אלביט.

מוקד האלקטרואופטיקה השני במדינה קם בשנות השישים ברפא"ל. תחילת דרכו קשורה בפיתוח טילי אוויר-אוויר המבוססים על ביות אינפרא-אדום (טילי חום). פיתוח טילים אלה כבר הוזכר בפרק על אווירונאוטיקה וכאן נתרכז בראשי הביות. שני הדורות הראשונים (שפריר 1 ושפריר 2) השתמשו בחיישני סולפיד העופרת (Pb S) שאינם דורשים קירור, אך ביצועיהם מוגבלים לביות על מנוע המטוס, כלומר מאחור⁽²⁵⁾. לשם כך נדרשו "רדיפות כלב" (Dog Fights) ארוכות. הביצועים הדינמיים של ראשים אלה נחקרו רבות בסיוע פרופסורים מהטכניון ובפרט פרופ' אליעזר שן (חשמל) ופרופ' יוסף שנער (אווירונאוטיקה) שחקר גם את בעיות הגלגול המושרה. טידי שפריר 1 הפילו מטוסים ראשונים במלחמת ששת הימים; טילי שפריר 2 הפילו יותר ממאה מטוסי אויב במלחמת יום כיפור.

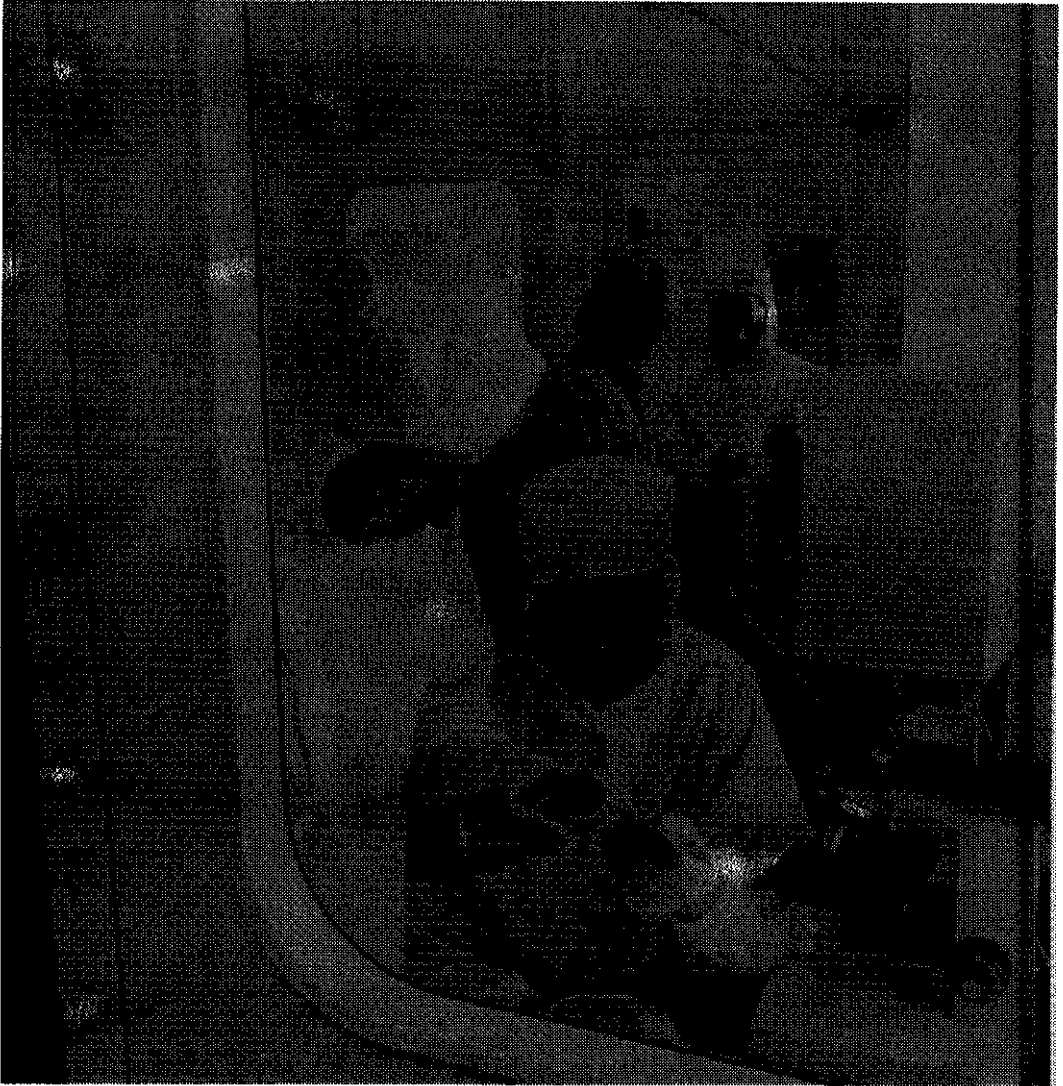


ציור מספר 47: מערכת בקרת אש מתוצרת אל-אופ ואלביט מותאמת לטנקי "המרכבה"



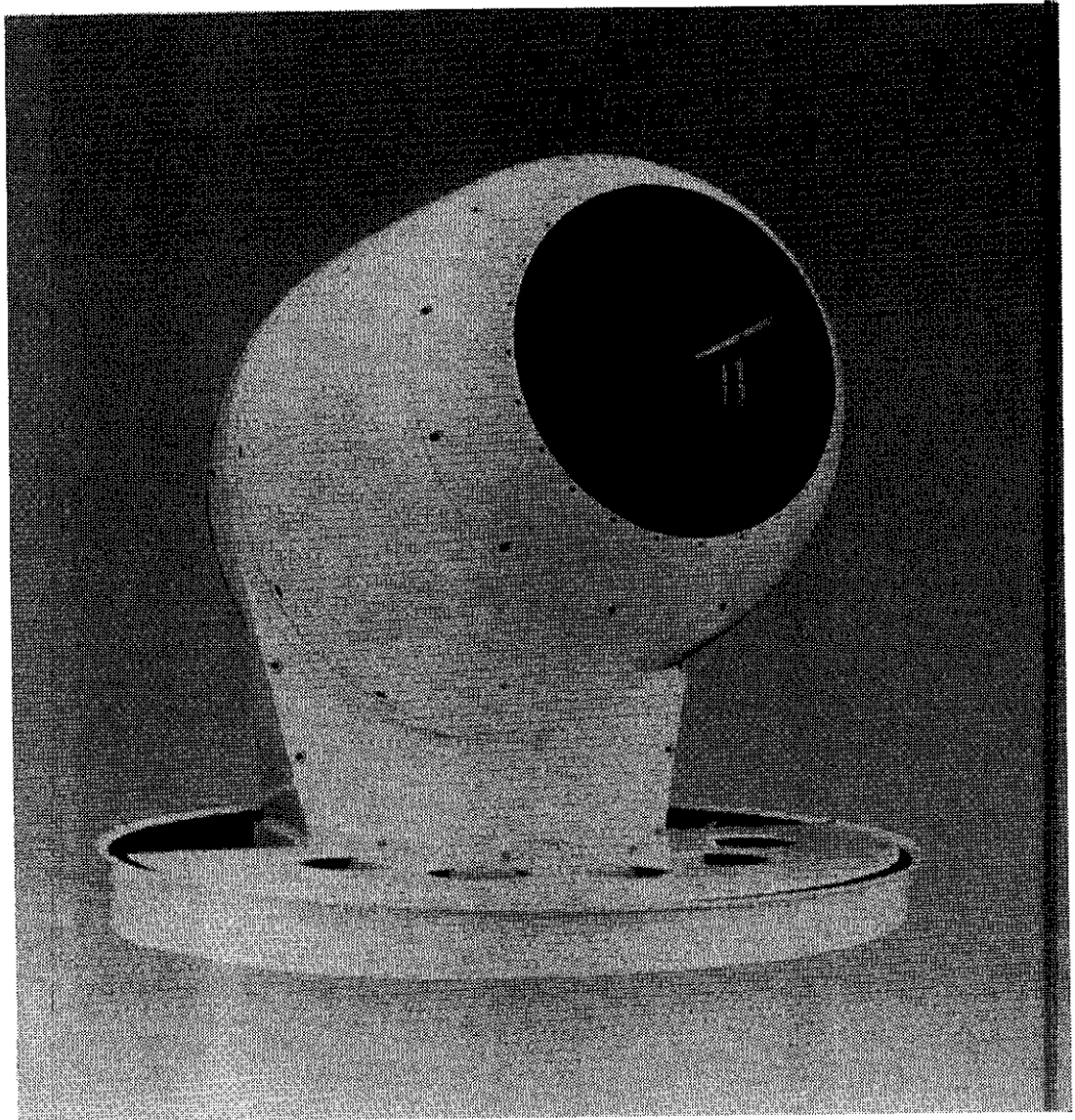
צילום מספר 48: בזיקת התגובה הזדינמית של ראש ביות טיל שפריר 2 על שולחן טייס ברפא"ל (1964)

שיפור נוסף בטילי אוויר-אוויר דרש פיתוח חיישנים רגישים יותר ממשפחת אינדיום-אנטימוניד (In-Sb). חיישנים מקוררים מסוג זה מסוגלים להתביית גם על גוף המטוס ולכן מאפשרים תקיפתו מכל כיוון (All Aspect Missile). אלא שחיישנים מתקדמים אלה לא היה ניתן לרכוש. כאן נכנס לתמונה פרופ' יצחק קדרון ז"ל מהפקולטה לחשמל בטכניון. ב-1976 יזם פרופ' קדרון את הקמת המרכז למיקרו-אלקטרוניקה של הפקולטה לחשמל לצורך פיתוח חיישני In-Sb לטיילי רפא"ל. אליו הצטרפו הפרופסורים⁽²⁶⁾ יוסף שפיר, אדיר בר-לב, שלמה מרגלית, דני לוברנל, ובהמשך השנים גם הפרופסורים יעל נמירובסקי, משה זכאי וברוך פישר שניחלו את המרכז לאחר פטירתו של פרופ' קדרון ז"ל.

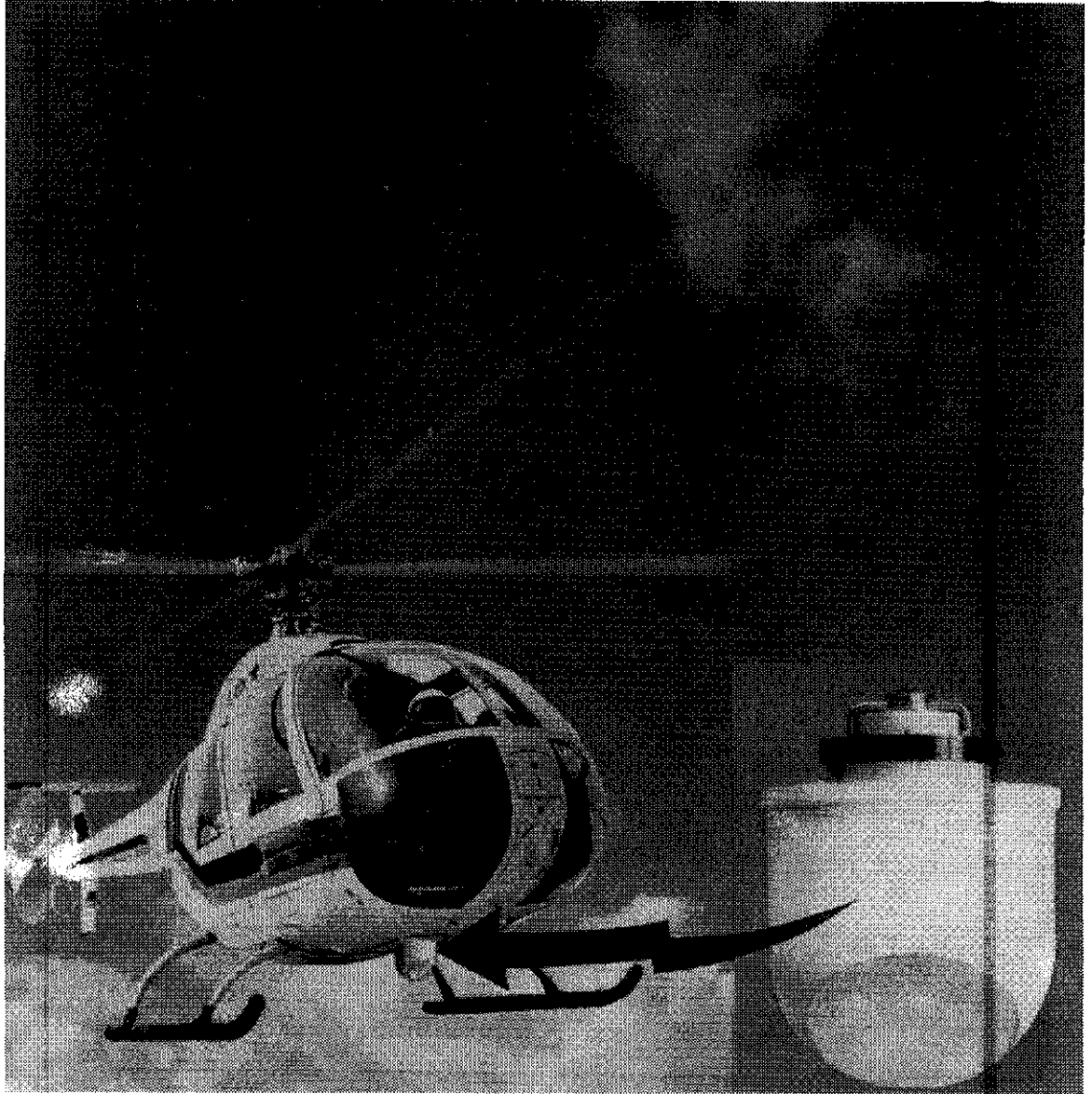


ציור מספר 49: חדר נקי במרכז למיקרואלקטרוניקה בטכניון

המרכז למיקרואלקטרוניקה פיתח בשנות השמונים גם חיישני כספית-קדמיום - טלדיין (MCT) לתחום האינפרא-אדום הרחוק (8-12 מיקרון) המתאימים לראיית לילה. פיתוח זה יושם לשורה של משקפות תרמיות במוצרי אלאופ, רפא"ל וחברות הבנות שלהם: התקני מצב מוצק (המ"מ) ואופגל. להלן דוגמאות:



ציור מספר 50: מצלמה תרמית לראיית לילה מספינות חיל הים



ציור מספר 51: מסוק עם ציוד לראיית לילה תוצרת "אופגל" / רפא"ל

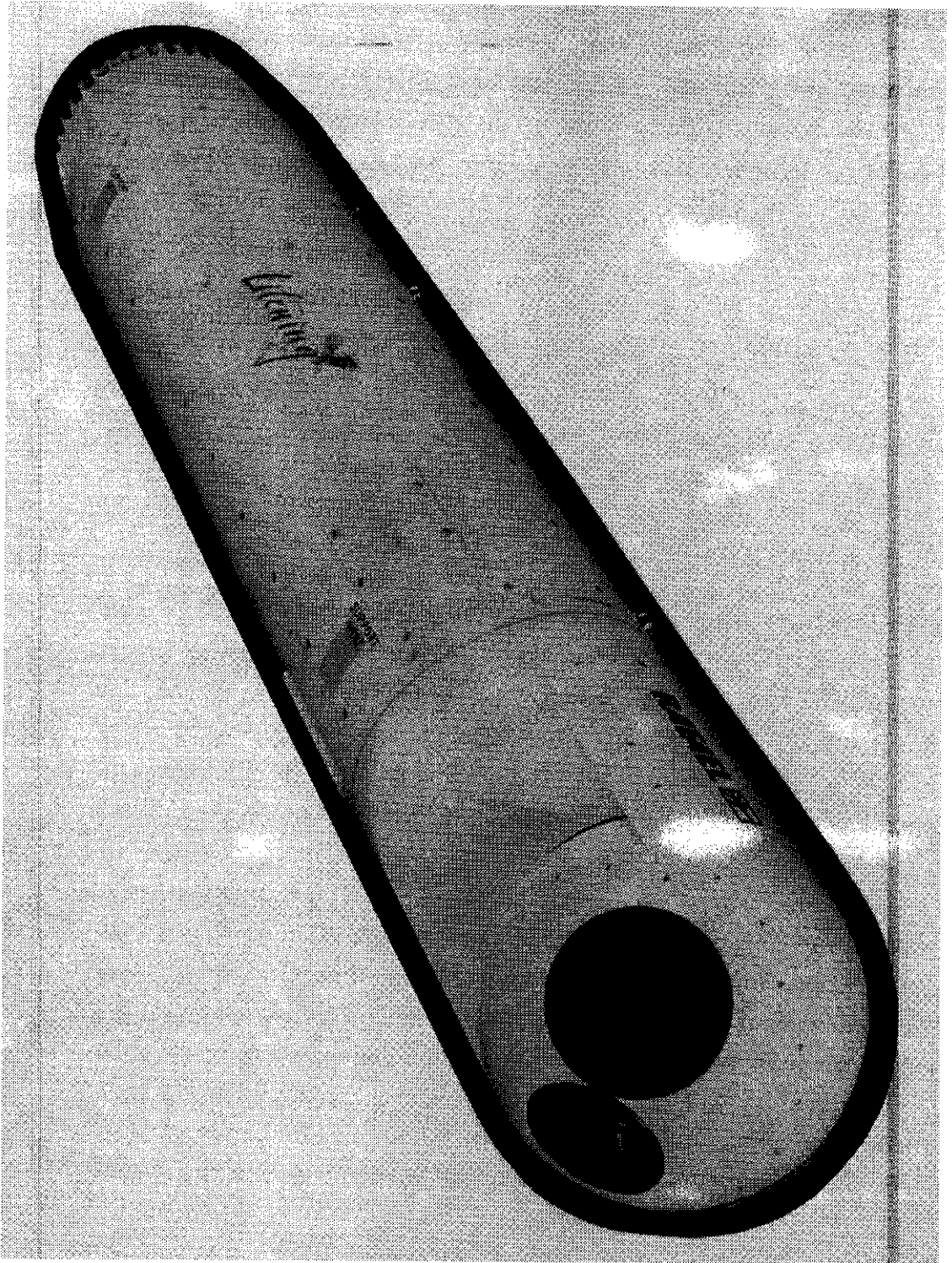
השימוש הנרחב בחיישנים אלקטרואופטיים בשדה הקרב יצר אחרי מלחמת יום כיפור את הצורך במעבדה לאומית למדידה ואבולוציה של מדידות אלקטרואופטיות בספקטרום רחב: החל מהאולטרא-סגול, דרך התחום הנראה וכלה באינפרא-אדום. ביוזמת נשיא הטכניון דאז, אלוף (מיל') עמוס חורב, ולפי המלצות צוות שמינה לכך, הוקמה ב-1976 במסגרת מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, יחידה למחקר ופיתוח אלקטרו-אופטי⁽²⁷⁾. בין המקימים: פרופ' סטיב ליפסון, פרופ' אורי אופנהיים, ד"ר אדם דביר וד"ר עמי בן-שלוס כולם מהפקולטה לפיזיקה. עשרות אנשי היחידה מקדישים מאז את כל זמנם לטובת הביטחון. בין לקוחותיה נמצאים כל זרועות צה"ל ורוב תעשיות הביטחון, אך מפאת סיווג הנושאים לא ניתן לפרטם כאן.

בשנות התשעים הורחב השימוש בטכניקות עיבוד תמונה. בוגרי הטכניון בפקולטה לחשמל מתמחים בדיסיפלינה זו וגם נעזרים בצוות הטכניון בראשות פרופ' שוקי זאבי. בין המוצרים המשתמשים הרבה באלקטרו-אופטיקה בשילוב עיבוד תמונה נמצא "הלייטנינג". זהו פוד מוטס תוצרת רפא"ל לצורכי ניווט ובקרת אש של מטוסי חיל האוויר.

שיתוף הפעולה בין האקדמיה לתעשיות האלקטרו-אופטיות מתבטא גם בשטחים נוספים:

- א. מורים נספחים מהתעשייה (לדוגמא ד"ר משה אורון וד"ר אביגדור זיידמן - אלאופ).
- ב. הפעלת מעבדות מחקר [28] (לדוגמא מכון המתכות ומכון הקירמיקה בטכניון).
- ג. מחקרים (לדוגמא: מחקרים בפיזיקה אור באוניברסיטת בר-אילן ובאופטיקה אדפטיבית במכון וייצמן).
- ד. הקמת קונסורציה משותפים במסגרת תכנית מגני"ט של משרד התעשייה [29]:

שם הקונסורציות	שותפים באקדמיה	שותפים בתעשייה
קונסולר - פיתוח יחידות להפקת חשמל בתהליכים תרמיים, פוטו-וולטאיים ומאגית אנרגית שמש.	מכון וייצמן אוניברסיטת תל-אביב אוניברסיטת בן-גוריון	אורמת, חץ הכסף, רותם מל"ס\ התעשייה האוירית
לש"ד - לייזרים שאובי דיודות	הטכניון אוניברסיטת בן-גוריון אוניברסיטת בר-אילן	המ"מ, אלאופ, אור-זיו, תעשיות לייזר, אורבוסק, LBT, ממ"ג



ציור מספר 52: "לייטנינג" - פוד מוטס תוצרת רפא"ל לצורכי ניווט ובקרת אש למטוסים

10. יישום טכנולוגיות צבאיות בתחומים אזרחיים

החל מאמצע שנות השמונים ירד בארץ תקציב הביטחון ובאופן טבעי חיפשו התעשיות והאקדמיה כיוונים משלימים לעיסוקם. אחד מכיוונים אלה הנו הפניית הטכנולוגיות הצבאיות שפותחו לשימושים אזרחיים. יש לציין שמגמה זו קיימת בכל העולם והטכנולוגיות שזוכות לכן לתשומת לב מרובה הן טכנולוגיות דו-שימושיות (Dual Use) ובהן⁽³⁰⁾:

- * חומרים מתקדמים ועיצובם
- * חישנים ומיכנוטרוניקה
- * מיקרו-אלקטרוניקה
- * אלקטרואופטיקה
- * מחשבים ותכנה
- * קומוניקציה
- * הנדסה רפואית
- * אווירונאוטיקה וחלל

מסתבר כי הטכנולוגיות הדו-שימושיות הן הלב של התעשייה עתירת הידע (High-Tech.) ולכן לא ייפלא שזו:

- א. קמה בסמיכות גאוגרפית למכונים להשכלה גבוהה⁽³¹⁾.
- ב. נשענת על מומחים יוצאי תעשיות הביטחון.
- ג. משגשגת כלכלית.

להלן דוגמאות ליישום טכנולוגיות צבאיות שפותחו באקדמיה ובמכוני מחקר - לשימושים אזרחיים:

הנדסה כימית וחומרים

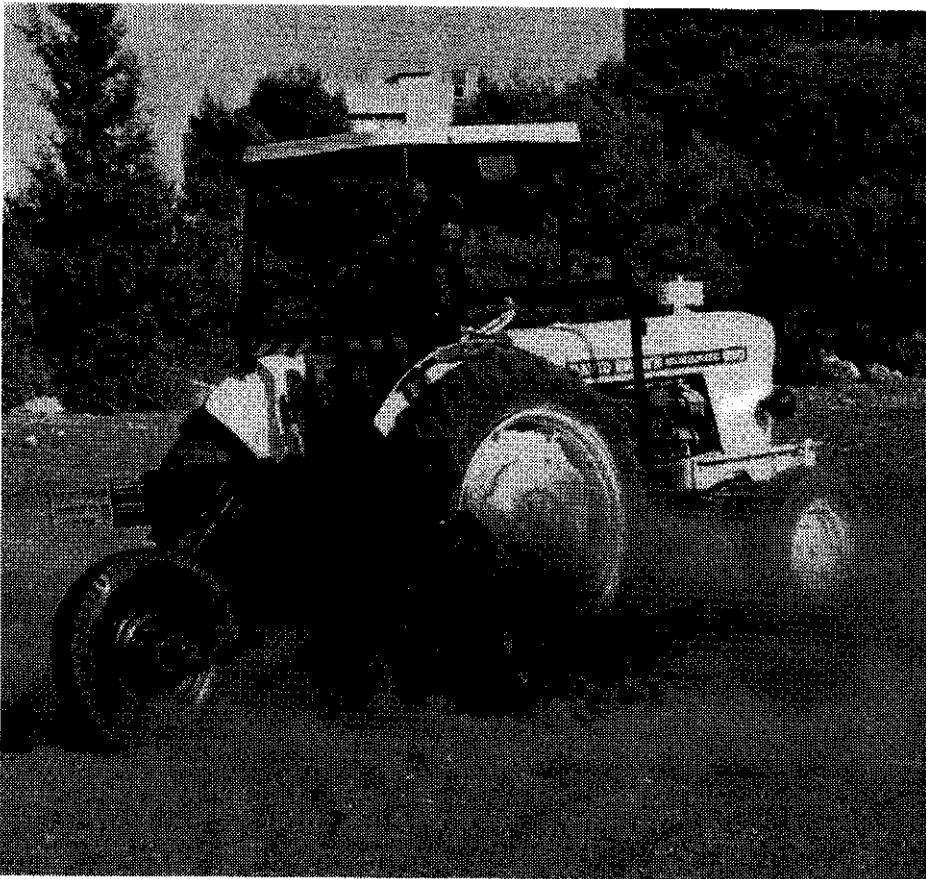
בתקופת חיל המדע (1948-1952) הוקם בין היתר מכון 5 ברחובות ליד מכון זיו. מכון זה בראשות פרופ' דוסטרובסקי עסק בסקרים גאולוגיים לחיפוש חומרים אסטרטגיים בנגב. הממצאים האסטרטגיים (נפט, מתכות אסטרטגיות וכדומה) היו מאכזבים והממצאים העיקריים היו פוספטים. הממצאים והזיכיונות הועברו אפוא לרשות אזרחית וכך הוקמה בשנות החמישים חברת כימיקלים לישראל (כ"ל)⁽³²⁾.

לימים הוקמה בכ"ל יחידת המחקר תמ"י (תעשיות מחצבי ישראל) וב-1975-1979 היא נוהלה על ידי פרופ' אפרים קהת. דווקא הוא היה זה שכיוון את מתקריה ממדעים טהורים

ליישומיים⁽³³⁾. כך, למשל, סייעו שם בפיתוח התהליך ה"ק"ר של ייצור אשלג בים המלח וכן מחצית מפיתוח תהליכי הפקת הדשנים והברום. דוגמה אחרת לתהליך כימי דו-שימושי קשורה בדמותו של פרופ' דב כץ המנוח. פרופ' כץ שימש עד סוף שנות השישים כראש מחלקת הכימיה של רפא"ל ואישית התמחה בפיתוח פרופלנטים ודבקים. בטכניון המשיך להתמחות בפולימרים ובאחרית ימיו פיתח דבק עצמות במסגרת חברת SBPM מקבוצת "דיימוטק" שליד הטכניון.

הנדסת מכונות וקרקע

כמתואר לעיל פותחה בטכניון במימון מערכת הביטחון מעבדת מכונה-קרקע. במעבדה זו נחקרו בין היתר שיטות מהירות לחפירת קומות למוקשים. בשנות השמונים הסב פרופ' דן וולף מהפקולטה להנדסה חקלאית את חופר גומות המוקשים לחופר גומות לשתילת עצים. מוצר זה מצא לו שוק נרחב בברזיל וכתוצאה גם מיוצר שם ברשיון.



ציור מספר 53: חופר גומות לשתילת עצים שפותח בפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון ומיוצא לברזיל

חיישנים

אחד החיישנים החשובים בטילי אוויר-אוויר הוא מרעום הקרבה. מרעום זה מבוסס על אחת משתי טכנולוגיות: חיישנים אלקטרו-מגנטיים (מעין מכ"ם זעיר לטווח קצר) או חיישני לייזר (ליד"ר).

מסתבר כי שתי הטכנולוגיות מתאימות לשילוב במכוניות לצורך שמירת מרחק ומניעת התנגשויות ברכב מלפנים. רפא"ל ותעשייה נוספת בארץ כבר עוסקות בנושא מול תעשיית הרכב בגרמניה ואלו פרופ' היימן, מהפקולטה למדעי המחשב בטכניון, עובד על שילוב המערכת בבקרת השיוט של רכבים אמריקניים.

מיקרו אלקטרוניקה

מתוך דוגמאות רבות יצוין כאן הקונסורציום לגליום-ארסניד שמפתח רכיבים ששימושם המקורי היה צבאי, אך שימושו כיום בעיקר למעגלים לוגיים מהירים בשוק האזרחי.

אלקרואופטיקה

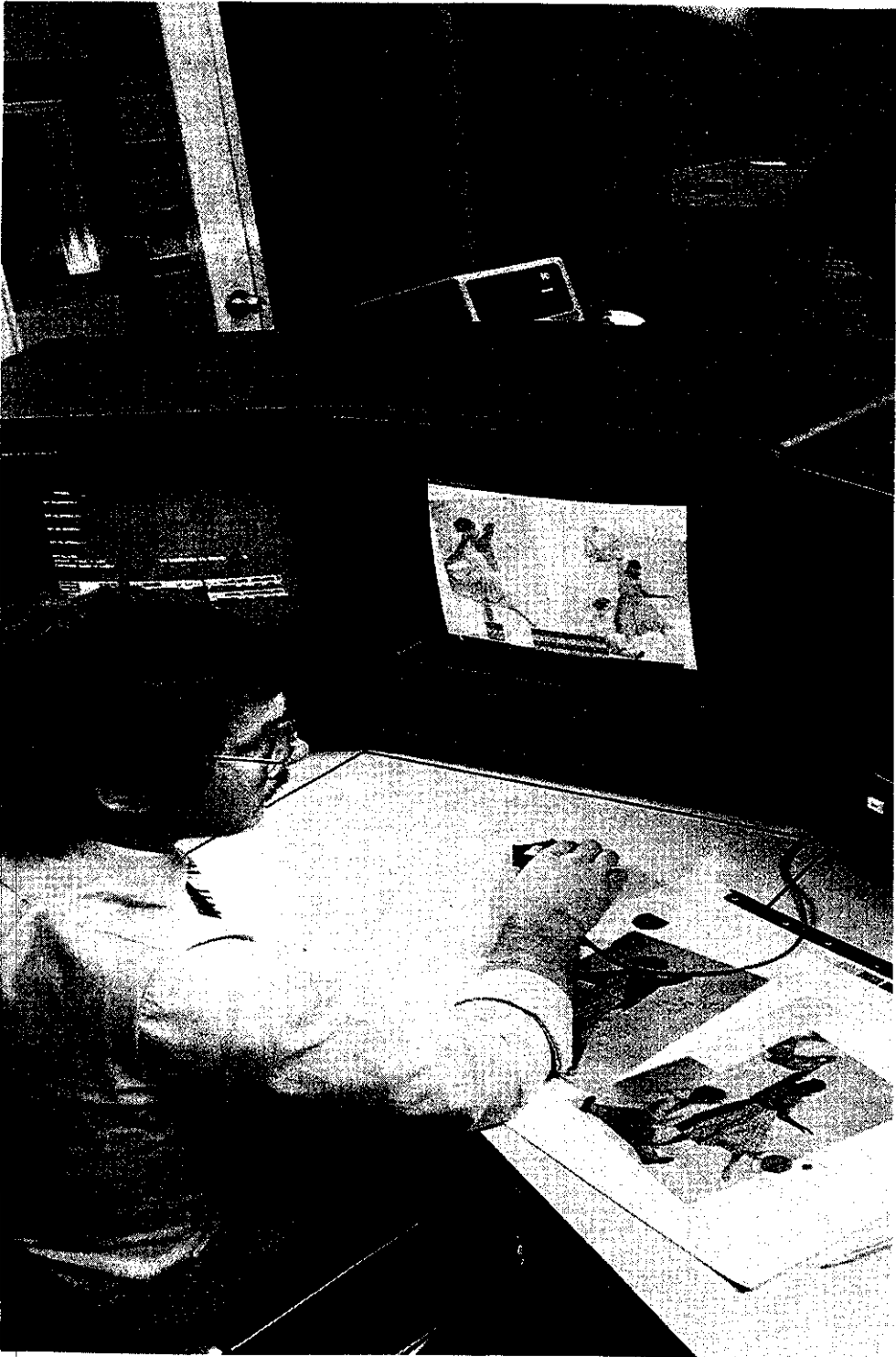
הדוגמה הבולטת הראשונה בתחום זה בארץ היא הקמת חברת "סייטקס" על ידי אפי ארזי בשנות השבעים. אפי ארזי היה מפתח ציוד אלקטרואופטי במכון וייצמן ובפארק התעשייתי שלידו. בין היתר פיתח עבור משרד הביטחון ציוד אופטי מדויק עבור שדות הניסויים של רפא"ל וחיל האוויר. בחברת "סאיטס" השכיל להיכנס לתחום הדפוס הממוחשב ועיבוד התמונה. החברה נחשבת מאז בין המובילות בעולם בתחומה.

דוגמה אחרת בתחום האלקטרואופטי היא חברת "אופטומיק" שהוקמה במקור בפארק התעשיות בטכניון על ידי ד"ר עודד עמיחי יוצא רפא"ל. ד"ר עמיחי עמד בראש פרויקט לייזר רב-עצמה לצרכים צבאיים ברפא"ל ובחברתו הוא מנצל טכנולוגיה דומה לצורכי תכנון מכונות ריתוך ייחודיות.

מחשבים ותכנה

הדוגמה הראשונה בתחום המחשבים הייתה בחברת "אלביט" מקבוצת "אלרון" (עוזיה גליל). קבוצה זו שהוקמה ב-1967, ניסתה כבר בשנות השבעים לבנות מחשבים אישיים על בסיס הידע הביטחוני שאגרה. למרבה הצער לא היה השוק בשל לחידוש שהפך ללהיט רק 15 שנה אחר כך.

דוגמה אחרת היא בתחום הקריפטוגרפיה (הצפנה): ד"ר עדי שמיר ממכון וייצמן וד"ר אלי בוחם מהטכניון ניצלו את הידע שלהם בקריפטוגרפיה לצורכי ניתוב ערוצי אינטרנט⁽³⁴⁾. בזכות יוצאי מערכת הביטחון מחד-גיסא והרמה המדעית הגבוהה של מדע מחשבים בארץ מאידך גיסא, הפכה ישראל למעצמת תכנה שבה מאוגדים לא פחות מ-450 בתי תכנה המגלגלים מחזור שנתי של 1.2 ביליון דולר⁽³⁵⁾ (36).



צילום מספר 54: עיבוד תמונה בחברת "סייטקס"

תקשורת

תחום התקשורת הוא אחד התחומים המשגשגים בהיי-טק ויחד עם מחשבים הוא נקרא לעתים תחום התקשוב. מכלל הדוגמאות של המרת טכנולוגיית תקשורת צבאית ליישום אזרחי יוצג כאן היישום הייחודי של חברת "גאוטק" (Geotec).

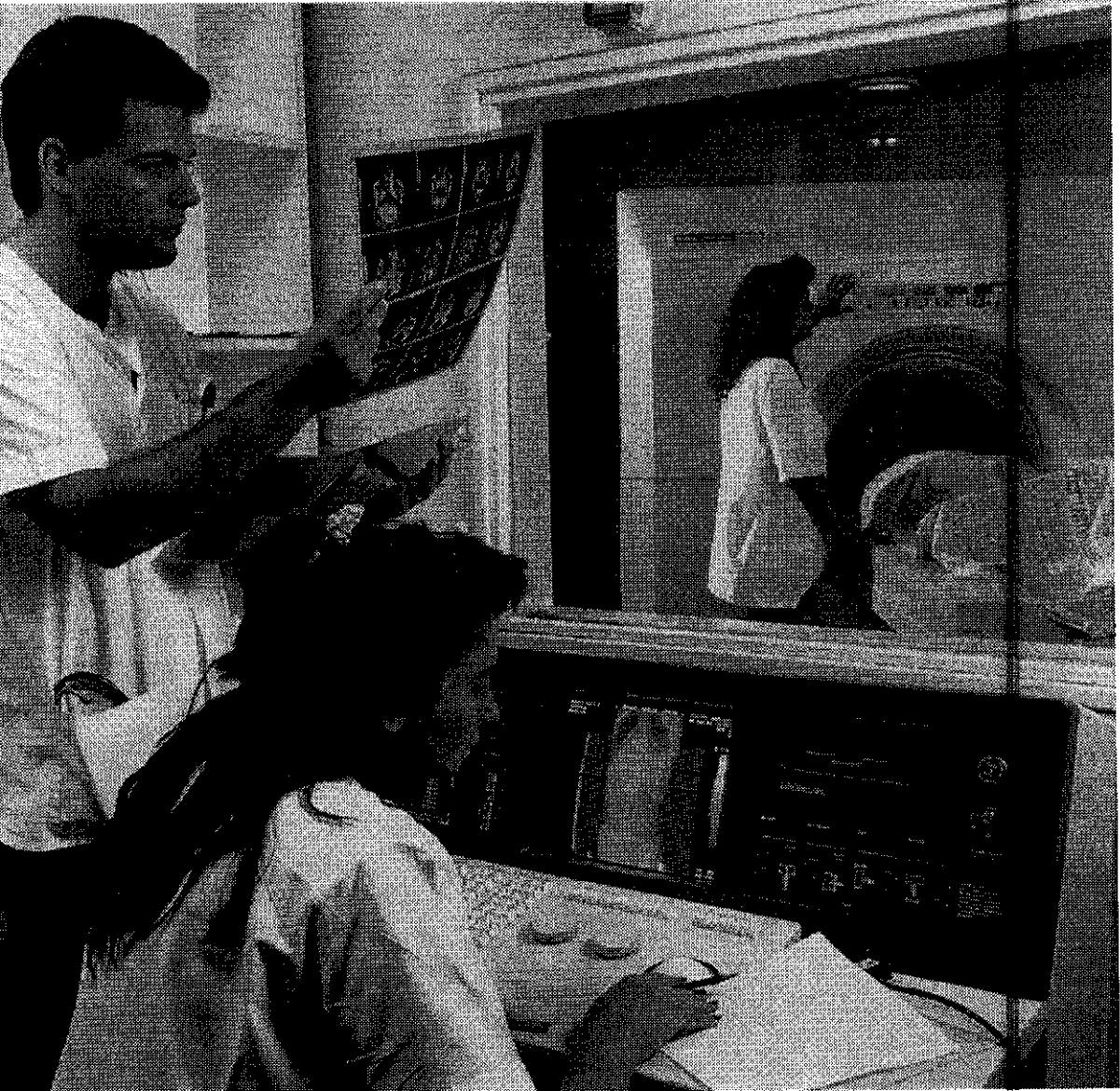
ברפא"ל פותחו במשך שנים ערוצי תקשורת תסינים. אחת הטכנולוגיות המתקדמות בחסינות תקשורת הנה דילוגי תדר מהירים. טכנולוגיה זו נוצלה על ידי "גאוטק" על מנת לפתח עבורה ברפא"ל ערוצי תקשורת ייחודיים המנצלים את תדרי הרישוי שלה בצורה המאפשרת העברת 7 שיחות בקו בו-זמנית. טכנולוגיה זו היא שגרמה למניות "גאוטק" לזנק בבורסה ב-95.



ציור מספר 55: מערכת טלפון תאי חסוי - תוצרת "גאוטק"

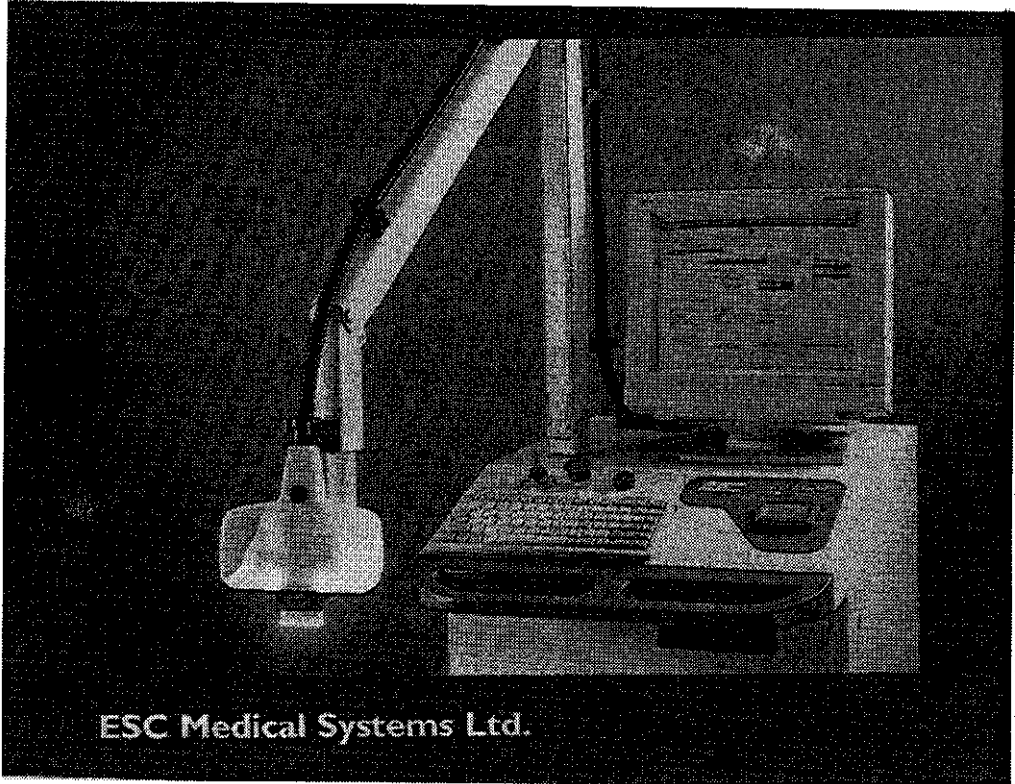
הנדסה רפואית

הסיפור הקלסי בתחום זה הוא כמונן חברת "אלסינט". חברה זו מקבוצת "אלרון", הוקמה ב-1969 על בסיס יוצאי מערכת הביטחון מתד-גיסא והטכניון מאידך-גיסא. בסיס הטכנולוגיה שלהם הוא בדיקות ללא הרס. אלא שהפעם במקום הודפים, חני"ס ומתכות בודקים בני אדם. מעניין שעד היום יש היזון טכנולוגיות חדדי בין שני השימושים.



ציור מספר 56: מכשיר דיאגנוסטי מסוג CT תוצרת חברת "אלסינט"

אחת מחברות ההיי-טק המשגשגות כיום בארץ הנה חברת ESC לטכנולוגיה רפואית. בראש חברה זו עומד ד"ר שמעון אקהויז, יוצא רפא"ל, שעובד על ציוד אופטי לטיפול בוורידים וכדומה, לפי פטנטים שונים שחלקם מקורם ביחידה למו"פ אלקטרואופטי בטכניון.



ציור מספר 57: מכשיר לטיפול בוורידים תוצרת חברת "ESC"

11. חיזוי טכנולוגי

באוניברסיטת תל-אביב קיימת יחידה בין-תחומית לחיזוי טכנולוגי. יחידה זו הוקמה בשנות השבעים על ידי פרופ' ברוך (בוקי) רוז וכיום מנוהלת על ידי פרופ' סמילנסקי. ביחידה זו מבוצעות עבודות הן עבור המגזר הביטחוני והן עבור המגזר האזרחי. בין היתר מסייעת יחידה זו בהגדרת הטכנולוגיות המועדפות לטיפול בסקטור הביטחוני והן כוללות:

- * חומרים מתקדמים
 - * מיקרו-אלקטרוניקה וזיוד אלקטרוני
 - * חיישנים ועיבוד אותות
 - * אלקטרואופטיקה ועיבוד תמונה
 - * תקשוב
 - * מקורות אנרגיה
- במקביל קבעה ועדת ה-13 של משרד המדע ב-1994 חמישה תחומים אזרחיים לטיפול מועדף.

- * חומרים - כולל על-מוליכות, חומרים מורכבים וקומלקסיים.
 - * מיקרו-אלקטרוניקה - כולל מיקרו וננו-מכניקה
 - * אלקטרואופטיקה - כולל חיישנים וקווי תמסורת
 - * מידע ותקשוב - כולל אופטו-אלקטרוניקה
 - * ביו-טכנולוגיה - כולל מחשבים מולקולריים
- מעניין לציין שארבעה מתוך חמישה אלה כלולים גם ברשימה הביטחונית!

12. סיכום

עוד טרם קום המדינה השכילה הנהגת היישוב היהודי בארץ-ישראל, ובעיקר בן-גוריון, להכיר בחשיבות התרומה המדעית לביטחון בעולם בכלל ובמדינת היהודים בפרט. ואכן כבר בימים ההם נרתמו לעשייה הביטחונית בכל האוניברסיטאות דאז: פרופ' יוחנן רטנר בטכניון בחיפה, פרופ' ארנסט דוד ברגמן במכון וייצמן ברחובות ופרופ' רקח ואחרים באוניברסיטה העברית בירושלים. אלה סחפו בהתלהבות היצירה מדענים רבים נוספים, אך בעיקר השכילו לרתום סטודנטים מצטיינים.

עם קום המדינה השכיל צה"ל לדחות גיוסם של סטודנטים מצטיינים ובעלי פוטנציאל מנהיגות וכך גדל במשך חמישים שנה דור של העתודה האקדמית שרישומה בצה"ל ניכר בעיקר במקצועות ההנדסה, המדעים והרפואה. בשנות השמונים אף נוספה לני"ל מסגרת עלית בדמות לימודי "תלפיות". מההשקעה בהכשרה של העתודה האקדמית נהנה קודם כל צה"ל, אך במידה רבה גם תעשיות הביטחון.

בנוסף לתרומות ישירות של מאות חברי סגל אקדמי מתד-גיסא ורבבות בוגרי הנדסה ומדעים באוניברסיטאות מאידך גיסא תרמו האוניברסיטאות לביטחון גם בשירותי מעבדה, תקינה, ימי עיון וכדומה כמפורט בטבלה דלהלן:

סוגי תרומות של האקדמיה לתעשייה ולביטחון

ייצור והעברת ידע חדש

מחקרים מוזמנים
פסנטים (זכות שימוש)
חממות טכנולוגיות
פיתוח טכנולוגיות
קונסורציה

הקניית ידע

תואר I, II, III
לימודי חוץ (קורסים)
ימי עיון
ארגון כנסים מדעיים
ארגון אגודות מקצועיות

שירותים לתעשייה

מבדקות
שירותי מעבדה
תקינה
מינוח עברי
תאגידים

מעבר מומחים

ימי ייעוץ, ועדות ודירקטוריונים
שבתונים בארץ
הקמת חברות בנות
ייזום מפעלים חדשים
ניהול ועבודה בתעשייה
מדענים ראשיים וכו' במשרדי ממשלה

מעניין שהתרומות היו גדולות בכל התקופות, אך הדגש המקצועי השתנה מתקופה לתקופה כפי שנסקרו בדו"ח זה:

- בשנות הארבעים - כימיה - פיתוח חומרי נפץ והדף.
- בשנות החמישים - מכניקה - פיתוח מערכות נשק ותחמושת.
- בשנות השישים - אווירונאוטיקה - פיתוח טילים ומטוסים.
- בשנות השבעים - חומרים - מיגון וחדירה של שריון ובטון.
- בשנות השמונים - אלקטרוניקה ותקשורת.
- בשנות התשעים - אלקטרואופטיקה ומחשוב.

התרומות הרבות של המדע אכן הצעידו את תעשיות הביטחון הישראליות לרמה בין-לאומית גבוהה ובכמה שטחים ביטחוניים, כגון טילים טקטיים, מיגון ולוחמה אלקטרונית, פרצה ישראל למקומות ראשונים בעולם, דבר שאפשר ליצוא הביטחוני לשגשג. שנות התשעים מתאפיינות בצמצום היקף התעשייה הביטחונית ומעבר אנשים וטכנולוגיות משימושים צבאיים לאזרחיים. מעבר זה יחד עם המשך שגשוג מדעי באקדמיה הם שאפשרו לתעשיית ההיי-טק הישראלית לפרוץ לשווקים הבין-לאומיים במהירות. כדי ששגשוג זה יתמיד גם בשנות האלפיים, חייבים לטפח ביתר שאת את המו"פ התשתיתי באוניברסיטאות ולקזז על ידי כך את הירידה המתמשכת של השקעות במו"פ הביטחוני⁽³⁷⁾.

מראי מקום

1. התעשייה הביטחונית בישראל - מאת יוסף עברון, הוצאת משרד הביטחון, 1980.
2. ידע אישי: ג'נקה רטנר ז"ל הנו החותן של כותב הסקירה.
3. "שורשי חיל המדע בארגון ההגנה בשנים 1945-1948": תיזה של אפרים איזנפלד בהדרכת פרופ' יהודה ואלך, אוניברסיטת תל-אביב, 1984.
4. דוד בן גוריון, "בהילחם עם", עמודים 15-16.
5. פרופ' יוחנן רטנר, "חיי ואני", הוצאת שוקן 1978, עמ' 348.
6. מוניה מרדור, "רפא"ל בנתיבי המחקר והפיתוח לביטחון ישראל", הוצאת משרד הביטחון, 1981.
7. אפרים איזנפלד, "שורשי החמ"ד בהגנה", עמ' 45.
8. דוד בן-גוריון, יומן המלחמה, עמ' 127.
9. "שורשי החמ"ד בהגנה", עמ' 49.
10. "שורשי החמ"ד בהגנה", עמ' 96.
11. ד"ר ראובן אשל, "מוקדים לאומיים בטכניון", מוסד הטכניון למו"פ, 1997.
12. A. Sherman, "Into the 21st Century", Technion 1986.
13. דן רוזן, ראש פרויקט פיתון 3, הרצאה בכנס תעופה וחלל, פברואר 1998.
14. יוסף עברון, "התעשייה הביטחונית בישראל", עמ' 378.
15. "התעשייה הביטחונית בישראל", עמ' 419.
16. ד"ר ראובן אשל, "מוקדים לאומיים בטכניון", עמודים 54, 62.
17. ד"ר ראובן אשל, ידע אישי.
18. "עושים עתיד - 250 מחקרים מדעיים שבוצעו במכון וייצמן למדע ב-50 שנותיה הראשונות של מדינת ישראל", מאת יבשם עזגד, מכון וייצמן, 1997.
19. ראיון עם פרופ' עזריה פז, דיקן הפקולטה למדעי המתשב בטכניון, 6.1.98.
20. ראיון עם פרופסור משה זכאי, הפקולטה לחשמל בטכניון, 2.1.98.
21. ראיון עם הפרופסורים יהושע זאבי (דיקן) ישראל בר - דוד ומשה סודי מהפקולטה להנדסת חשמל בטכניון, 6.1.98.
22. תכנית מגני"ט 1997, פרסום לשכת המדען הראשי במשרד התעשייה והמסחר, 1997.
23. מכתב ד"ר משה אורון, מדען ראשי של אל-אופ, 25.12.97.

24. מכתב פרופ' דוד מירלמן, סגן נשיא ליישומים טכנולוגיים, מכון וייצמן, 28.1.98.
25. דן רוזן, "פיתוח טילי אוויר-אוויר ברפא"ל", הרצאה בכנס תעופה פברואר, 1998.
26. ד"ר ראובן אשל, "מוקדים לאומיים בטכניון", עמ' 149, מאי 1997.
27. ד"ר ראובן אשל, מוקדים לאומיים בטכניון, עמ' 84, מאי 1997.
28. ד"ר משה אורון, מדען ראשי אל-אופ, מכתב מ-25.12.97.
29. תכנית מגנ"ט, 1997 - חוברת משרד התמ"ס, 1997.
30. ד"ר ראובן אשל, "תקציבי מחקר ופיתוח אזרחיים בישראל, סטטוס והמלצות", מוסד נאמן, יולי 1997.
31. פרופ' דן שפר ואמיר וידר, "מרכזי ידע ומיקום תעשיות עתירות ידע", מוסד נאמן, מרץ 1993.
32. "שורשי החמ"ד בהגנה", אוניברסיטת תל-אביב, 1984.
33. ראיון עם פרופ' אפרים קחת, הפקולטה להנדסה כימית בטכניון, 10.12.97.
34. ראיון עם פרופסור עזריה פז, דיקן הפקולטה למדעי המחשב בטכניון, 6.1.98.
35. Israel's Software Industry 1996-1997 - פרסום של איגוד תעשיות התכנה.
36. פרופ' ש' מיטל, "יזמות תעשייתית בישראל", הוצאת עתרת, 1996, עמ' 178.
37. פרופ' זאב תדמור, "תשתית מו"פ בישראל", הרצאה במועדון ה-100 של בוגרי הטכניון, יולי 1997.

אינדקס שמות מוסדות וחברות

<u>עמודים</u>	<u>שם המוסד או החברה</u>
9	אגף חמדע
10,14,55	אגף מחקר ותיכון במערכת הבטחון (לימים רפא"ל)
66	אוניברסיטת בן-גוריון
66	אוניברסיטת בר-אילן
66,76	אוניברסיטת תל-אביב
64,65	אופגל
68	אופטומיק
47	אורדן
66	אורבוסק
66	אור-זיו
66	אורמת
75	אי.אס.סי. (ESC)
50	איי.בי.אם. (IBM)
29,47,60,61,64,66	אלאופ
47,49,50,60,61,70	אלביט
66	אל.בי.טי. (LBT)
74	אלסינט
74,49,70,	אלרון
57,58	אלת"א
68	אס.בי.פי.אם. (SBPM)
11,22,23	בדק מטוסים (לימים התעשייה האווירית)
39,40	במחנה (עיתון חיילי ישראל)
72,73	גיאוטק (GEOTEC)
1	גמנסיה הרצליה
25,27	דאסו (DASSAULT)
68	דיימוטק
3,4,5,6,7,10,51	האוניברסיטה העברית
4,6	ההגנה
64,66	הטכניון - ראה טכניון
11,12,14,22,23,24,25	התקני מצב מוצק (המ"מ)
29,33,34,35,47,50,54	התעשייה האווירית לישראל (תע"א)
57,58	
3,4,8,9,10,36,39,41,43	התעשייה הצבאית (תע"ש)
47	

<u>עמוד</u>	<u>שם המוסד או החברה (המשד)</u>
11,22,23,24,25,26,35	חיל האויר
36,37,65,66,70	
3	חיל החימוש
14,49,55,64	חיל הים
55	חיל הקשר
43	חיל התותחנים
3,6,8,9,10,14,39,40,41	חמ"ד (חיל המדע, לימים אמ"ת ואח"כ רפא"ל)
55,68	
66	תף הכסף
3,6,9,10,11,12,13,15,29	טכניון
30,31,37,38,39,41,42	
44,50,51,54,55,60,62	
65,66,68,74,75	
65	יחידה למו"פ אלקטרואופטי
68	כימיקלים לישראל (כ"ל)
23	למרחב (עיתון יומי)
37	מבדקה לחמרי בנין
37	מבדקה לקרקע ודרכים
33	מב"ת
47	מוטורולה (MOTOROLA)
65	מוסד הטכניון למחקר ופיתוח
60	מכשירי גולדברג
60	מכשירי רחובות
49,50	ממר"ם
9	מועצה מדעית
6	מחלקה מדעית
10	מחצבי ישראל
10,68	מכון 1,2,3,4,5 (מכונים של חמ"ד)
10	מכון דוד (קודם מכון 3)
41,66	מכון המתכות
66	מכון הקרמיקה
9	מכון התקנים
6,9,39,48,49,60,66,70	מכון ויצמן
3,6,10,68	מכון זיו
66	מל"ס/תעשייה אוירית
66	ממ"ג
10,11,12,24,68,74,77	מערכת הבטחון
37,49,69	מרכז למיכון חקלאי
62,63,64,68	מרכז למיקרו-אלקטרוניקה
76	משרד המדע

שם המוסד או החברה (המשד)עמוד

50,51	(CONTROL DATA CORPERATION - CDC)	סי.די.סי.
74	(COMPUTERIZED TOMOGRAPHY - CT)	סי.טי.
70,71		סייטקס
77		עתודה אקדמאית
24		פ.א.א. (FAA)
49		פילקו (PHILCO)
37		פיקוד צפון
6,11,22,36,37,44,49,55		צה"ל
60,65,77		
10		קול ישראל
66		קונסורציום לייזרים שאובי דיודות (לש"ד)
66		קונסורציום קונסולר
66		רותם
11,12,14,17,18,20,29		רפא"ל (רשות לפיתוח אמצעי לחימה)
39,43,44,47,49,50,51,		
55,56,60,61,62,65,66		
68,70,72,75		
77		תלפיות
68		תעשיות מחצבי ישראל (תמ"י)
ראה התעשייה האוירית		תע"א
ראה התעשייה הצבאית		תע"ש
8,9		תעש-חוץ
66		תעשיות לייזר

אינדקס שמות מוצרים

<u>עמוד</u>	<u>תאור המוצר</u>	<u>שם המוצר</u>
22 30,32 70	מטוס סיור קל לווין צילום רשת מידע עולמית	אוסטר אופק אינטרנט
39 2,9,39 60,61 15,18,58	רקטה נגד טנקים בקבוק תבערה נגד טנקים ציוד לחכוונת תותח הטנק למטרה טיל הגנה מפני טילי ים-ים	בזוקה בקבוק "מולוטוב" בקרת אש לטנקים ברק
14,57	טיל ים-ים	גבראל
4,5,9 51 22	מרגמה כבדה מחשב ירי לתותחנים מטוס הובלה קל, תוצרת ארה"ב	דווידקה דוד דקוטה
25,58 48	מטוס מנהלים סילוני שהוסב גם לשימוש צבאי המחשב האלקטרוני הראשון בארץ	ווסטווין WESTWIND וייצק
6 68 62,64,65 27,30,34,58	ביצורי יישובים לצורך שתילת עצים חישנים לצורך ביות טילים או ראית לילה טיל נגד טילים בליסטיים	חומה ומגדל חופה גומות חיישני חום חץ
10 29,31 56 72	חומר נפץ לווין מחקר זעיר מערך מדידות באלחוט רשת מקומית סלולרית	טן טכסאט (TECH-SAT) טלמטריה טלפון תאי
3,4 55 13,25,26,49,57	תחמושת לרובים ואקדחים סירת חבלה נהוגה מרחוק מטוס קרב	כדורים כלב-ים כפיר
27,28,54,58 7,9,10 14,55,56 68 65,66	מטוס קרב מתקדם נשק יורה אש טיל קרקע-קרקע ממנו פותח ה"גבראל" מכ"ם לייזר פוד מוטס לצרכי נווט ובקרת אש	לביא לחביור לז ליד"ר (LIDAR) לייטנינג LIGHTNING

<u>עמוד</u>	<u>פרוט המוצר</u>	<u>שם המוצר (המשד)</u>
37	מתקן לסילוק מוקשים	מגוב
55	קומינט	מודיעין אלקטרוני
7,9	מטעדים נגד אדם או רכב	מוקשים
3	נשק להטלת רימונים	מדוכה
22	מטוס קרב קל	מוסטנג
22	מטוס קל	מוסקיטו
27	מטוס זעיר ללא טייס	מזל"ט
49	מחשב דימוי	מחשב אנלוגי
51	מחשב מוטס להכוונת חימוש	מחשב הפצה
70	מחשב שולחני לשימוש אישי	מחשב אישי
22	מטוס קרב סילוני בריטי	מטאור
9	משגרים עבור פגזי נ"ט מסוג "פיאט"	מטילי פיאט
39	מטען חודר שריון	מטען חלול
46	מיגון המשתמש בתכונות חומר וגאומטריה	מיגון פסיבי
44,45	מיגון המרסק מטען חלול ע"י חנ"ם	מיגון ראקטיבי
25,27,57	מטוס קרב צרפתי	מיראז'
57	מגלה כוון ומרחק	מכ"ם
58	מכ"ם להנחית טילים	מכ"ם חיפוש והנחיה
57	מכ"ם לשימוש חיל הים	מכ"ם ימי
58	מכ"ם לצרכי מודיעין	מכ"ם סריקה
57	מכ"ם לשימוש חילות השדה	מכ"ם קרקעי
75	טיפול אסטתי	מכשיר טיפול בוורידים
7	מנגנוני חבלה	מנגנונים
12	מועים עבור מטוסי קרב	מועיי סילון
1	רימון שנורה מרובה	מנחמיה
64	מצלמה לראית לילה בתחום האינפראאדום	מצלמה תרמית
9,10	מנגנוני הצתה למרעומים וכדומה	מצתים
3	מרגמה בקוטר 2"	מרגמה 2"
3	3" " "	מרגמה 3"
7,8,9	6" " "	מרגמה 6"
37,47	טנק מערכה	מרכבה
7,9	מנגנון להפעלת פצצות	מרעומים
37	מתקן לסילוק מוקשים	נכרי
25	מטוס מיראז' תוצרת התא"א	נשר

<u>עמוד</u>	<u>תאור המוצר</u>	<u>שם המוצר (המשד)</u>
39,41	רקטה נגד טנקים	סופר- בזוקה
22	מטוס סיוור קל	סטירמן
3	תת-מקלע מפיתוח אנגלי	סטן
35	מטוס הובלה ותידלוק אווירי	סטרטוקרוזר
19	טייל אוויר-אוויר אמריקאי	סיידווינדר SIDEWINDER
53	דימוי דינמי לתא טייס	סימולטור לאימון טייסים
57	מכ"ם צרפתי של מטוס המיראז'	סיראנו (SIRANO)
22	מטוס קרב קל	ספיטפייר (SPITFIRE)
27	מזל"ט	סקאוט (SCOUT)
3,4,39,40	תת-מקלע מפיתוח מקומי	עוזי
33	לוחין תקשורת	עמוס
24,25	מטוס הובלה דו-תכליטי	ערבה
21	מטוס קרב-הפצצה אמריקאי	פ-15 (F-15)
3	הרבה צרות מעט נחת	פגז HZMN
23,24	מטוס הדרכה סילוני	פוגה מגיטר
15,17	טייל אוויר-קרקע בעל דיוק נקודתי	פופאי (POPEYE)
44	טנק מערכה אמריקאי	פטון (PATON)
15,19,20	טייל אוויר-אוויר דור שלישי	פיתון 3 PYTHON
15,19,20,21	טייל אוויר-אוויר דור רביעי	פיתון 4 "
36	פצצות פיצוח מסלולים	פפ"ם
7,9	פצצות המוטלות ממטוסים	פצצות אוויר
55	למטרות מודיעין או חבלה	רכב נהוג מרחוק
3	רימוני רסק	רימונים
9	רימוני מיסוך	רימוני עשן
43	רקטות בליסטיות בשימוש חיל התותחנים	רקטות ארטילריות
37,45	רכב קרבי משורין	רק"ם
39,40	רימון רובה נגד טנקים	רנז"ט
22	מטוס הובלה	קומנדו COMMANDO
25	מטוס מנהלים	קומנדר-גיט COMM. JET
15,16	רקטה בליסטית	שביט 2
62	דימוי דינמי לתנועת טיל או מטוס סביב מ.כ.	שולחן טייס
15,19,20,60	טייל אוויר-אוויר דור ראשון	שפירר 1
15,19,20,60,62	טייל אוויר-אוויר דור שני	שפירר 2
10	חומר נפץ רגיש	שדית
42	מערך תיכון וייצור בעזרת מחשב	תיב"ם

אינדקס שמות אישים

<u>עמודים</u>	<u>שם</u>
4	אבידר יוסף
11	אביר דוד
51	אבן שמעון
38	אדם יקותיאל
55	אולגדורף פרץ
65	אופנהיים אורי
66,79	אורון משה
79	איזנפלד אפריים
2,3	איליוף
10	אלכסנדר
14	אפשטיין משה (מויה)
70	ארזי אפי
11,19,24	ארנס משה
79	אשל ראובן
10	באומן יעקב
44	בודנר סול
70	בוהם אלי
24	בלומקין משה
4	בן-גור מנתם
6,8,11,16,22,77,79	בן-גוריון דוד
4	בן-זאב יחיאל
10	בן-טור
65	בן-שלום עמי
3,6,9,10,11,77	ברגמן דוד-ארנסט
3	ברגמן פליקס
57,79	בר-דוד ישראל
62	בר-לב אדיר
6	ברמן (בראור) אברהם
2	ברעם יחזקאל (חציקו)
19	גוטמן שאול
3,10	גולדברג ששה
60	גולדברג עמנואל
11	גולדסטיין סדני
55	גון אליעזר
6	גור (גרוזובסקי) שלמה

<u>עמוד</u>	<u>שם (המשד)</u>
12	גל-אור בנימן
49,70	גליל עוזיה
19	גלמן משה
3	גל עוזי
19	גני אלון
65	דביר אדם
6	דה-שליט עמוס
10	דוסטרובסקי ישראל
9,11	דורי יעקב
14	דיין משה
6	הברשיים
3,9	היימן הוגו
68	היימן מיכה
27	הררי עובדיה
37,68	וולף דן
79	וידר אמיר
2,10	וייצמן חיים
2	וייצמן משה
23	וייצמן עזר
65,79	זאבי יהושע
24	ז'בוטינסקי ערי
10	זוהרי דני
55,57	זיו יעקב
66	זיידמן אביגדור
11,12,24	זינגר יוסף
62,79	זכאי משה
7	זרחי משה
4,6	חורב עמוס
11,14	חנין מאיר
47	טל ישראל (טליק)
37	יגרמן חנוך
4	ידין יגאל
60	יפה ג'י
6	יקוטיאלי גדעון
19,68	כץ דב

<u>עמוד</u>	<u>שם (המשך)</u>
55	לביא ישעיהו
62	לוברנל דני
4,5	לייבוביץ דוד
65	ליפסון סטיב
57	למפל
15	מאירי יעקב
15	מאירי צבי
7	מגנס
49	מור רפי
6	מושקוב פנחס
79	מיטל שלמה
79	מירלמן דוד
55	מס יונתן
41	מקוב
62	מרגלית שלמה
16,79	מרדור מוניה
12,52,55	מרחב שמואל
15	נוה בן-ציון
62	נמירובסקי יעל
4,5	סוחנובר אליהו
15	סיגל אשר
79	סידי משה
1,3,4	סלבין חיים
76	סמבורסקי שמואל
	סמילנסקי
79	עברון יוסף
79	עזגד יבשם
70	עמיחי עודד
51,79	פז עזריה
62	פישר ברוך
51	פנואלי אמיר
10	פרומן
44	פרתום יהודה
11,16,22	פרס שמעון

<u>עמוד</u>	<u>שם (המשד)</u>
62	קדרון יצחק
68,79	קהת אפרים
11,14	קוגן אברהם
37	קומורניק עמוס
2	קוריין
3	קלוגאי
4,6,7	קציר (קצ'לסקי) אהרון
16	צור צבי
34	רביב דב
44	רביד משה
51	רבין מיכאל
79	רוזן דן
11	רום יוסף
76	רז ברוך (בוקי)
2,7,39,79	רטנר ג'ינקה (אבגני)
6,7,8,77,79	רטנר יוחנן
10	ריינר מרכוס
7	רכטר יעקב
6,9,77	רקת יואל
22	שווימר אל
3	שויגר (שמגר)
39	שור מיכאל
51	שמיר אלי
55	שמיר ידידיה
70	שמי עדי
57,60	שן אליעזר
49,60	שני אלכסנדר
19	שנער יוסף
62	שפיר יוסף
1	שפר ג'רי
79	שפר דני
55	שקל יעקב
79	תדמור זאב
6	תלמי יגאל
12,19	תמנת יעקב