



להיות רואה ואינו-נראה

על התפתחות מערכות תת-אדום ברפא"ל ומפעל המ"ם

מאת גיורא שלגי, לשעבר מנכ"ל רפא"ל כתבה מספר 16 בסדרת כתבות על תולדות רפא"ל בעריכת ד"ר ראובן אשל

לגודל של קופסת סיגריות. תוך פחות משנה הצלחנו להציג פתרון שזכה ל"אור ירוק" על ידי הפרויקט, מלואה בהערה עוקצנית של רמ"ח מעט"ר במפא"ת, קובי תוך ז"ל, על חוסר הצניעות שלנו להציע ראש ביות תרמי שגם בידי האמריקנים עדיין לא קיים. אבל גם קובי היה שייך לאלה שידעו לחלום, ולמרות הערתו - נתן לנו את ברכת הדרך.

פריצת הדרך הראשונה, שבאה בעקבות הצלחת ראש הביות של פאול, הפכה לנתיב מרכזי של התפתחות מערכתית אשר העמידה את רפא"ל בחזית היכולת העולמית בתחום הטילים המונחים ופודי התקיפה.

את התודה לתפנית ההיסטורית יש לתת לצוות הנפלא של שטח אלקטרואופטיקה. נדרש לנו יום אחד כדי להירגע מההפסד, כולל ביקור ניחומים של זאב הדס שעמד אז בראש החטיבה, ולאחריו הופנו הכישרון והמוטיבציה לכיוון החדש.

תפיסת הפיתוח הטכנולוגית-מערכתית

התפיסה שליוותה את התפתחות החישה התרמית התבססה על תהליך מודרג של פיתוח טכנולוגיית גלאים שעקבה צעד אחד אחרי חזית הידע העולמי, כאשר במקביל נעשה מימוש מהיר ופורץ דרך של יישומים מערכתיים.

התוצאה - למרות פיגור טכנולוגי של דור, בהשוואה לסמן הימני האמריקני: זכינו, בהשקעה נמוכה יחסית, להקדים בדור את מימוש הטכנולוגיות במסגרת מערכות נשק, שחלקן נרכשו על ידי האמריקנים עצמם.

שכבר לא היינו זקוקים להם. לימים, כשהגיעה משלחת אמריקנית כדי לעמוד מקרוב על רמת ההקפדה שלנו על רישיונות ייצוא, הודיית להם על הביורוקרטיה שהובילה להקמת SCD, אשר הגלאים מתוצרתה משובצים במערכות שאנו מוכרים להם.

הסיפור מאחורי "ליקוי לבנה"

"ליקוי לבנה" היה פרויקט הדגל הצה"לי הראשון בתחום הדימות התרמי, אשר נועד לצי הטנקים. העיקרון המערכתי של "ליקוי לבנה" התבסס על גלאי MCT בסריקה טורית, המבוססת על ארכיטקטורה מוכרת של מערכות אמריקניות. לצורך בחירת גורם תעשייתי שיוביל את הפרויקט, ניהלה מפא"ת תחרות בין רפא"ל לאלאופ. התחרות כללה ניסוי הדגמה שהשתיים בהפסד לרפא"ל. ההפסד היה צורב בגלל המאמץ האדיר שהשקענו במטרה לצמצם פער פתיחה טכנולוגי-מערכתי, אשר עמד לטובת אלאופ עם פתיחת התחרות.

גם כאן, מעז יצא מתוק. ההפסד הוביל לפריצת דרך אסטרטגית, משום שהוא יותב את המומנטום, שאותו צברנו ב"ליקוי לבנה", לכיוון טכנולוגי-מערכתי של חישים תרמיים בעלי סריקה מקבילה, המתאימה בתוצרתה לשיבוץ בראשי ביות קטנים.

ההזדמנות לממש את האתגר ניתנה לנו כאשר פאול כץ ז"ל ביקש מאיתנו בתחילת שנות השמונים לפתח גרסת לילה לראש ביות קטן-ממד. את האתגר שהציב פאול ניתן לתאר בלשון הצירוף הבאה: "את הביצועים שאתם יודעים להכניס היום לקופסת נעליים - הכניסו

תמצית ההיסטוריה של מפעל המ"ם (התקני מצב מוצק או SCD)

הצורך בקיום יכולת עצמית בפיתוח גלאים אינפרא-אדומים זוהה בשנת 1974 במהלך פיתוח ראש הביות של טיל אוויר-אוויר פיתון-3, כאשר מצאנו את עצמנו חסומים על ידי רישיונות ייצוא אמריקניים. במשך כשנתיים רצופות אכזבות ניסינו ברפא"ל, ללא הצלחה, להניע את הפעילות בכל מקום שנראה לנו מתאים, בתעשייה או באקדמיה, עד שהגענו לפרופ' קדרון מהטכניון, שקיבל על עצמו את האתגר ותוך זמן קצר העמיד גלאי ראשון תוצרת כחול-לבן.

ההצלחה יצרה תנופה בשני ערוצים מקבילים: רפא"ל הקימה מפעל גלאים במכון "לשם", בעוד חברת תדיראן, בתמיכת מפא"ת, הקימה מפעל גלאים בירושלים.

הכפילות הבלתי הגיונית של תשתיות יקרות הביאה את מנהלי רפא"ל ותדיראן להתניע תהליך של מיזוג, שתחילתו בדיקטוריון משותף ומנהל אחד לשני האתרים וסימום במיזוג מלא, של שותפות בין רפא"ל ואלאופ, ששילב את הטוב משני האתרים: את התשתית הפיזית שנבנתה במכון "לשם" ואת המנהיגות הטכנולוגית של מפעל הגלאים בירושלים.

התוצאה של האיחוד האיכותי הפכה את SCD לאחד המפעלים המובילים מסוגו בעולם, כאשר הגלאים מתוצרתו משובצים במערכות ישראליות בהיקפי מכירות של יותר ממיליארד דולר לשנה.

ומה קרה בינתיים עם חמשת הדגמים שעוכבו בארצות הברית? קיבלנו אותם מספר שנים לאחר

מפעל המ"ם כיום

ברוך גליק, מנכ"ל המ"ם

כיום, 35 שנים לאחר הנבטת הגלאי האינפרא-אדום הישראלי הראשון על ידי פרופ' יצחק קדרון, התבססה בגליל תעשייה מפוארת המונה 450 עובדים מסורים והמספקת אבני-בניין קריטיות לכל התעשייה האלקטרואופטית במדינת ישראל.

אבני-בניין אלו כוללות גלאים בתצורות שונות, בעלי ביצועים המתאימים לדרשות הלקוחות השונים.



בחלוף השנים, יחד עם פיתוח הגלאים בטכנולוגיית ה-InSb לתחום ה-MWIR, התרחבה קשת המשימות של המפעל: שולבו בו טכנולוגיות נוספות לצורך ייצור גלאים לתחומים ספקטראליים נוספים (כגון MCT), בעלי מספר רב של אלמנטים (בין 128 למיליון), המיועדים לקשת רחבה של יישומים: מצלמות פשוטות לחייל, ראשי ביות של טילים מתקדמים, גלאים מיוחדים לתצפיות ארוכות-טווח וקצרות-טווח. כמו-כן נבנתה תשתית לפיתוח ולייצור דיודות לייזר בהספקים שבין שבעה ואת למאות ואטים, המיועדות למערכות לייזר מתקדמות. כל אלה בפיתוח ובייצור כאן אצלנו, במדינת ישראל!

להישגים האלה הגענו בזכות העבודה המסורה של עובדי המ"ם, שהתקבצו ממוסדות שונים בארץ - ממפעל "תדיראן" בירושלים, מרפא"ל, ממפעל "טאואר", ממעבדות הטכניון, ממוסדות מחקר נוספים ומתעשיות אחרות. זאת בצד עבודה מסורה של עובדי תעשיות משלימות, כגון המפעל למקררים קריאוגניים "ריקור" בעין חרוד, ממ"ג בנחל שורק ובתי המערכות בארץ. לכך התווספה הנחיה נכונה של משרד הביטחון (בעיקר מפא"ת אופטרוניקה) ושל מועצות המנהלים השונות של המ"ם. הודות לכל אלה זכה המפעל להימנות עם הקבוצה היוקרתית של המפעלים המובילים את תעשיית הגלאים האינפרא-אדומים בעולם.

המפעל קרוי על שמו של פרופ' יצחק קדרון, שהיה ממקימי תשתית המחקר והתעשייה האלקטרואופטית בישראל.

המהפכה הבאה

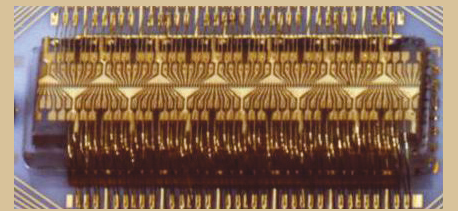
מהפכה נוספת הנמצאת מעבר לפינה מכוננת לחימוש מונחה מדויק שיעבור מסטטוס של "Silver Bullets", המיועד למשימות נבחרות, לסטטוס של תחמושת עם תפוצה רחבה.

הצורך להפוך חימוש מדויק מנגד לסטטוס של תחמושת הופך לאסטרטגי כתוצאה מובהקת של סביבות לחימה עם רגישות ציבורית גבוהה לפגיעות לוחמים ולנזק סביבתי בצד שכנגד.

התנאי לכך הוא הורדה דרסטית במחיר, שהפוטנציאל לממש אותו נמצא בפתח בזכות טכנולוגיות MEMS המאפשרות מימוש ראשי ביות תרמיים בעלות נמוכה בסדר גודל בהשוואה לתצורות המסורתיות.

על חומר ועל רוח

הרוח הארגונית שהובילה לפריצת הדרך ברפא"ל הייתה רוח ערכית מונעת שליחות, ולא רוח עסקית מונעת כסף. אין שום עוררין על הצורך להצליח עסקית - נקודת הכשל נמצאת בעובדה שפער הזמן בין הקפיצה הנחשבונית הראשונה של אנשי הרוח עד לקטיף הפירות על ידי אנשי העסקים יכול לעמוד על עשר שנים ויותר - זמן מספיק כדי לשכוח את מקור ההצלחה ולחשוב בטעות שגם את הרוח ניתן לנהל כעסק. יצחק קדרון מהווה דוגמה מובהקת למי שייצג רוח ערכית שבלעדיה לא היינו מגיעים לאן שהגענו!



סיפורו האישי של פרופסור יצחק קדרון ז"ל

יגאל און

קדרון וצוות מעבדת המיקרואלקטרוניקה שניהל בטכניון ההצלחה בפיתוח הגלאי לטיל אוויר-אוויר "פיתון 3". הפלת מטוס אויב בשנת 1979 בטיל עם גלאי שיוצר במעבדתו של פרופ' קדרון אישרה את המציאות של המוצר והביאה לזכייתו של קדרון בפרס ביטחון ישראל יחד עם צוות המפתחים מרפא"ל.

שאלות מעשיות של אמינות, יציבות הביצועים ופשטות המוצר העסיקו את פרופ' קדרון אשר טען בתוקף "אני מהנדס". בזאת התכוון לכך שתפיסתו הבטיחית למחקר יישומי נשענת על הכשרתו וניסיונו כמהנדס.

בשנת 1982 יצא פרופ' קדרון לשנת שבתון קצרה באוניברסיטת פרטוריה בדרום אפריקה. עם שובו מהשבתון התגלה בגופו סרטן המעי הגס, שכבר התפשט. בשנת 1986 נפטר פרופ' קדרון והוא בן 54 בלבד. הוא נטמן בבית העלמין של קיבוץ רמת יוחנן.

טרם פטירתו הצליח פרופ' קדרון לגייס את הכספים להקמתו של מבנה המרכז החדש למיקרואלקטרוניקה בטכניון, מרכז הקרוי כיום על שמו. מעבדות חברת SCS במכון "לשם" נקראות אף הן על שמו, מתוך הוקרה לתרומתו בפיתוח טכנולוגיית הגלאים בישראל.

במסגרת "צבא ההצלה" הפלשתינאי, את קיבוץ רמת יוחנן, ויצחק השתתף בהגנתו. עם הקמת צה"ל התגייס יצחק, והוא בן 16 בלבד, והוצב בחיל האוויר. בבסיס רמת-דוד למד טכנאות רדיו, ואחר-כך היה מדרוך בבית הספר הטכני של חיל האוויר. למד לתואר ראשון בטכניון, סיים את לימודיו בהצטיינות והתקבל ללימודי תואר שני באוניברסיטת דלפט (Delft) בהולנד. בגמר לימודיו החל לעבוד כמהנדס אלקטרוניקה בחברה הדנית Disa מקופנהגן, חברה שפיתחה "אנומוטרים" - חישנים למדידת מהירות אוויר.

בשנת 1961 קיבל יצחק קדרון משרת מרצה לאלקטרוניקה בטכניון. לאחר שהשלים את הדוקטורט וניהל את מעבדת האלקטרוניקה בטכניון, יצא עם משפחתו לשבתון במינסוטה, ארה"ב. במהלך השבתון הוא נחשף להתפתחות המהירה אשר חלה בתחום המיקרואלקטרוניקה.

בשנת 1969 הוטלה על פרופ' קדרון המשימה להקים מרכז ללימודי מיקרואלקטרוניקה בטכניון. הוא ריכז שבינו צוות חוקרים ועובדי מעבדה ואיפשר לסטודנטים בפקולטה לחשמל לבחור בהנדסת מיקרואלקטרוניקה כמגמה מובילה לעתידם המקצועי.

במחצית השנייה של שנות השבעים, כשהחל המאמץ לפיתוח גלאי לתחום הספקטראלי 12-מיקרומטר, כבר נרשמה לזכותם של פרופ'



יצחק (איזי) קאָנר נולד למשפחה אורתודוקסית שגרה באנטוורפן. ערב פרוץ מלחמת העולם השנייה, בהיותו בן שבע, התייתם מאביו. בגיל עשר נקרע מאימו, כשהובלה בידי הנאצים לכיליון במחנה אושוויץ. בתום המלחמה עלה ארצה והצטרף לחברת הנוער הבוגר שלמדה בבית ספר תיכון בקיבוץ רמת יוחנן. באפריל 1948 תקף הגדוד הדרוזי, שפעל