

# המקורות האקדמיים של תעשיית ההיי טק של ישראל

## הפקולטה להנדסת חשמל בטכניון

שיחה עם הפרופסורים ישראל בר דוד (י. ב-ד),

יעקב זיו (י. ז) ומשה זכאי (מ.ז.)

מנחה: פרופ' זאב תדמור (ז.ת.), יו"ר מוסד ש. נאמן למחקר מדיניות

לאומית, הטכניון חיפה

יוני 2011

## הפקולטה להנדסת חשמל בטכניון

בשנות השישים ותחילת השבעים של המאה ה 20 נפל דבר בפקולטה הזאת כאשר דור חדש הרחיב ובסס את תרומתו הבלתי נשכחת של פרופ' פרנץ אולנדורף אבי הפקולטה. שלושה מדענים-מהנדסים עברו ממעבדות מערכת הביטחון הרשות לפיתוח אמצעי לחימה (רפא"ל) לטכניון ועשו שם מהפך מהנדסת חשמל קלאסית להנדסת חשמל (אלקטרוניקה) מודרנית. אלה הם הפרופסורים: ישראל בר-דוד, יעקב זיו ומשה זכאי. שם הם הצטרפו לפרופ' ישראל צדרבאום (ז"ל) שעשה את המעבר הזה לפני כן. המהפך הזה הוא אחד מהמעיינות העשירים ביותר של תעשיית ההיי טק הישראלית והקשר הסימביוטי בין מערכת הביטחון (רפא"ל) והטכניון הוא חלק מסוד ההצלחה.

להלן תמליל שיחה שנערכה איתם ביוני 2011.



פרופסור ישראל בר-דוד



פרופסור יעקב זיו



פרופסור משה זכאי

**ז.ת.** : המטרה של הפגישה הזאת היא תיעוד היסטורי. אם מסתכלים על ההיי-טק הישראלי, שהוא בלי ספק הצלחה בינלאומית אדירה, שמבוססת על טכנולוגיות המידע והתקשורת (ICT), מוצאים שמייחסים אותו בדרך כלל, ובצדק רב, להשקעות במערכת הביטחון במשך שנים רבות ולסימביוזה שהייתה קיימת בין מערכת הביטחון לאקדמיה, שהיום קצת נעלמת, אבל אז הייתה חזקה מאוד. מזכירים גם את יחידות העילית כגון 8200 ויחידות מו"פ אחרות, שמהן יצאו הרבה מאוד יזמים. אולם,

לעיתים קרובות שוכחים את המעיין העיקרי של ההיי-טק, שהם האנשים כלומר המהנדסים והמדענים. ואם מסתכלים על התמונה כולה חוזרים תמיד לפקולטה להנדסת חשמל של שנות ה-60, שם קרה מהפך דרמטי במעבר מהנדסת חשמל קלאסית להנדסת חשמל מודרנית בגין המעבר שלכם מרפא"ל לפקולטה. פקולטה זאת הכשירה אלפים רבים של מהנדסים שהם לבת תעשיית ההיי טק הישראלית. המהפך התאפשר כי אתם מביאים אתכם את חזית הידע באותם שטחים: מדעי המידע, תקשורת, ואלקטרוניקה. כאן רואים את הסימביוזה של שני המקומות האלה. מערכת הביטחון נאלצה להיות בחזית, אם מכורח, כי לא מכרו לנו נשק ודברים אחרים, וגם בגלל הרצון להיות בקדמת השטח. זה הרקע. בשיחה זאת רציתי לתהות קצת יותר לעומק על המהפך הזה, לתעד את התקופה הזאת מתוך הזיכרון שלכם כי אתם הייתם 3 האנשים שהובלתם את זה.

לא הכנתי שאלות, ספרו קצת מה היה, איך זה התרחש, איך הפקולטה הזאת הוציאה אלפי מהנדסים לאורך השנים שהם בנו את ההיי-טק הישראלי. זו תופעה כ"כ חשובה בהיסטוריה של ישראל מבחינת ההצלחה שלה ועצם הקיום שלה ששווה לדעת בדיוק איך זה קרה. לכן רציתי שתספרו את הסיפור. יעקב, אתה רוצה להתחיל?

**י.ז.:** בעצם יש כמה שכבות. שכבה ראשונה שמשותפת לשלושתנו כאן ולפרופ' צדראבאום המנוח היא שהיינו ברפא"ל. זה לא נקרא אז עדיין רשות לפיתוח אמצעי לחימה(רפא"ל), אלא מכון 3 של חמ"ד.(חיל מדע) צריך להגיד ששם התחיל החזון הגדול, הרבה בזכות פרופ' ארנסט דוד ברגמן ז"ל, שהוא האמין עוד מראשית ימי חמ"ד ודאג לכך שתהיה הכשרה מתאימה של קאדר של מדענים ברמה של דוקטורט והתחילו בשליחת מדענים לדוקטורט בחו"ל ושלושתנו ופרופ' ישראל צדראבאום ז"ל עשינו זאת. זה הדבר הראשון והוא מאוד קרדינאלי בסיפור הזה.

**ז.ת.:** ישראל צדראבאום ז"ל גם עבר מרפא"ל?

**י.ז.:** כן, ישראל צדראבאום ז"ל עבר לטכניון כאשר היה לו כבר שם מדעי. הייתה מודעות של uplifting, של משיכה למעלה בתוך השכבה של המהנדסים הצעירים ברפא"ל אז, וזה התבטא אז בכך שלימדנו את עצמנו, קיימנו קורסים שבועיים. לקחנו ספר אחר ספר ועברנו עליו ביחד, הרצאנו לעצמנו – עוד לפני ששלחו אותנו לדוקטורט וזה בהחלט היה תהליך, מדרבן.

**מ.ז.:** מי שהתחיל בזה היה באמת ישראל צדראבאום ז"ל, שבא מחו"ל והצטרף לרפא"ל. הוא סיים את התיכון והלך לאוניברסיטה בפולין עוד לפני מלה"ע השנייה עשה שני תארים, מתמטיקה והנדסה ברוסיה הוא עשה תואר שהוא שווה ערך לדוקטורט אבל לא רצה להשתמש בזה ועשה תואר דוקטורט נוסף באנגליה. הוא נהיה ברפאל ראש הקבוצה למחשבים. המחשבים אז היו מחשבים אנלוגיים ואחר כך עברו לפתוח מחשבים דיגיטליים. עם הצטרפותו לטכניון עזר לגיוס מועמדים מוכשרים לטכניון. והמבריקים ביותר מהטכניון (הנדסת חשמל) נמשכו לרפא"ל.

**ז.ת.:** אז התארגנתם שם לבד?

**מ.ז.:** היו קבוצות. בראש הקבוצות היו אנשים שונים. צדראבאום ז"ל היה בראש קבוצת המחשבים. בראש קבוצת הרדאר – היה פישי ארבל. הוא היה טכנאי שהייתה לו הכשרה עצמית של מהנדס ונסע

ללמוד לתואר ראשון בחו"ל. היו עוד מספר קבוצות. והיו הרצאות של חברי היחידה. זה היה עוד לפני שנסענו לעשות הדוקטורט. זה בזכות מדיניותו מרחיקת הראות של פרופ' ברגמן.

**י.ז.:** כדאי להזכיר עוד את יעקב שקל, שהיה ברפא"ל שהצטיינותו החלה עוד בטכניון ותרם תרומה הן בטכניון והן ברפא"ל. הוא היה מרצה ברמה מסדר גבוה ביותר. הוא לימד רשתות ברמה סופר גבוהה (אחת הפעולות הראשונות שלי ברפא"ל הייתה להכניס את הטרנזיסטורים, בלי שראיתי קודם טרנזיסטור, רק על סמך ההרצאות של שקל).

**י.ב-ד.:** פה אני רוצה לספר מקרה שקרה לי. מיד לאחר שסיימתי את הקורס של שקל נסעתי לפיליפס בהולנד לחילופי סטודנטים. גם יעקב זיו היה שם. הייתה להם בעיה של מערכת עם אוסצילטור מנורות הספק לחשול קינגפינים בהשראה מגנטית, ומדי פעם המערכת התפוצצה ונשרפה. אף אחד לא הבין את הסיבה ובמזל אחד הטכנאים מדד שהתדירות קפצה מ-13 מגה הרץ ל-24 מגה הרץ, רגע לפני שהאירוע קרה. זה היה כשבוע אחרי שהגנו לשם ואני מסתכל על זה, ונראה לי כמו תרגיל אצל שקל. רשמתי את המטריצה הגדולה של הרשתות ומצאנו שאכן ערך עצמי אחד, כמתוכנן, ב-13 מגה הרץ, אבל היה עוד אחד ב-24!. יכולתי אם כן לייעץ למהנדסים הוותיקים, אשר לא הבינו את התיאוריה, לדאוג שההפסדים ב-24 יהיו תמיד יותר גדולים מאשר ב-13 ואז המערכת לעולם לא תקפוץ תדר. התפלאו: "מי זה הגיע מפלסטינה ופתאום..." זו הייתה העברת ידע שהתפתח במרכזים בארה"ב במלחמת העולם השנייה, הובא אלינו על ידי שקל ואנחנו ספגנו אותו כמו ספוגים.

כמה שנים אחרי ששקל חזר עם דוקטורט, חזר משה עם דוקטורט, והוא התחיל ללמד אותנו את הגישה הסטטיסטית למערכות. לפני ששמעתי את הקורס שלו, זה היה בסוף שנות החמישים, לא ידעתי בדיוק מה ההבדל בין צפיפות הסתברות לצפיפות הספק. הייתי ברמה כזאת, של קודם מלחמת העולם השנייה, למרות שהייתי ראש קבוצה ברפא"ל, ובנינו כפי שהיו רגילים מהנדסים לבנות אז: מבלי לבדוק את המגבלות – ואת מה ניתן להשגה. לאט לאט חדרה החשיבה שאולי אנחנו יכולים לעשות יותר טוב. אולי לא צריך, אבל אנחנו בוחנים את הפריפריה של הידע, וכך התפתח התיאבון לדוקטורט.

**י.ז.:** דרך אגב, אחרי מלה"ע השנייה, MIT הפשיר את כל הידע שלהם מה-Radiation Laboratories – ספרים שגם הם שימשו מקור לא אכזב והיה תמצית בתוך ספר כחול, אני חושב, Principles of Radar, שהיה קל לקריאה. זה קורס למהנדסי חשמל ומכ"ם. חוץ מזה היו 20 וכמה כרכים על מכ"ם.

הדחיפה הזאת לשימוש באנליזה, שקל, והכיוון הסטטיסטי שמשה הביא איתו, זה גם דבר שעבר הלאה למהנדסים שעבדו תחתיו.

**י.ב-ד.:** משה הטיל עלי כשהגעתי בתור בחור צעיר לרפא"ל, שאני אכין הרצאות לפי הספר של Woodward, שהיה המדען הראשי של ה-Royal Radar Establishment והוא כתב ספר דק: Information Theory and Radar. אני שברתי את השיניים על הדבר הזה, זה היה עוד לפני הדוקטורט. אבל זה גרם לזה שכשהגעתי לMIT כבר קראתי הרבה מסביב, לא בדיוק הבנתי את הכול

אבל הייתי כל כך מוכן שהספיגה הלכה במהירות אדירה. וההכנה הזאת, הצימאון הזה לידע, זה נבע מאנשים כמו צדרבאום ז"ל, שקל ומשה.

**מ.ז.:** גם אנחנו היינו אוטו-דידקטיים. אני התמנתי זמן קצר אחרי שבאתי כאחראי על קבוצת המכ"ם. את התיאוריה של המכ"ם קראתי וידעתי אבל מכ"ם לא נגעתי בו. ואלה שהיו שם היו מהנדסים יותר מעשיים. יכולתי להדריך אותם עד שפשי חזר. דרך זה פיתחתי את הלימוד שלי בתהליכי רעש ובדברים כאלה. בטכניון היה עמוס נתן. הוא היה בצבא הבריטי ואח"כ בחיל הקשר, קצין. וכן התעסק גם ברשתות. תורת הרשתות הייתה במודעה, פרופ' גילמין שהיה חוקר ברשתות היה האיש הכי חשוב לדעתנו במחקר ב-MIT.

**מ.ז.:** החומר שניתן לנו בטכניון היה רקע. אנחנו למדנו משוואות מקסוול וזה נתן לנו האפשרות להתפתח. בנוסף פרופ' אולנדורף היה בטכניון. פרופ' שטרק שהיה איש זרם חזק מובהק. הוא היה מהנדס מתחנת ארם נהריים שלימד אותנו, ברמה גבוהה אם כי היה מורה גרוע אבל הוא ידע את מה שהוא לימד, זה הכול היה קלאסי, בלי ערך גבוה. בשנה הרביעית לימד אולנדורף, הוא לימד אותנו, וגם בבית ספר מקצועי, את תורת הקומוניקציה, טכניקת ההודעות, ברמה שבשביל אז הייתה גבוהה.

**י.ז.:** משה העלה הכול על הכתב, הלחץ הזה לשים דגש על רמה אנליטית ולימוד אוטו-דידקטי העלה את הרמה. יותר מזה, בזכות שקל, שהיה ראש מחלקת מחקר, הוא עודד גם כתיבת מאמרים. הוא היה כישרון לא רגיל.

**מ.ז.:** זה בא מהבוס הגדול, פרופ' ברגמן. הוא קרא כל מאמר שביקשו מאיתנו, הוא קרא ותיקן את האנגלית. סתם בתור רקע קצר, ראשי המחלקה היו אנשים צעירים שסיימו את הטכניון כמה שנים לפנינו, כמו שקל (שאקי) שאותו הזכרנו, וידידיה, פרופ' ברגמן הביא את דר' פלדנקרייז, שגמר באירופה פיזיקה. עוד כשלמד בבית ספר הרצלייה הוא תרגם ספר על גוף האדם והוא עשה דוקטורט במדידות פיזיקאליות במלה"ע השנייה הוא היה ראש כוח אדם של משהו. הביאו אותו להיות ראש המחלקה וזה לא הצליח. חזר לתל אביב, העמיד את בן גוריון על הראש.

**י.ז.:** זה היה לפני הצטרפותי לחמ"ד. ישראל ואני סיימנו את הטכניון ב-54. נשארתי בטכניון כאסיסטנט, עשיתי מאסטר. דרך אגב, את המסטר עשו במעבדות רפא"ל. היה הסכם בין הטכניון לרפא"ל. זה היה חידוש.

**מ.ז.:** לפני זה, מי שלא גמר טכניון לא נחשב מהנדס. אני זוכר את זה ואח"כ התחילו לעשות את התואר השני. אחרי שהרמטכ"ל של מלחמת השחרור היה יעקב דורי התמנה כנשיא הטכניון

**ז.ת.:** מה הביא אותך לרפאל?

**מ.ז.:** זה היה המקום הכי טוב. באו אלי ממכון וייצמן, פרופ' פקריס עסק בחיפושי נפט וחיפשו סטודנטים בריאים לעבודה. רפא"ל היה אז סגור ולא קיבל אנשים אז הלכתי לשם. עסקתי בחיפושי נפט כמה זמן. בגיאופיזיקה לא התעניינתי והייתי חוזר להסתברות.

**ז.ת.:** לקח קצת זמן עד שמצאו משהו. אבל פקריס היה זה שבנה את המחשב הראשון. כששלושתכם הגעתם לרפאל הייתם אחרי צבא?

**י.ז.:** כן.

**י. ב-ד.:** הסיפור שלי קצת שונה, כשגמרנו את הטכניון, בקורס האחרון הייתי בעתודה האקדמית הראשונה ולכן אחרי הלימודים נשארתי שלוש שנים בחיל אוויר, לפני התואר השני. באמת רציתי לספר שלחיל האוויר בבי"ס הטכני הייתה תרומה משמעותית להחדרת הידע כי בטכני לימדו וקיבלו לתחזוקה את הציוד המתקדם ביותר ששימש את בעלות הברית במלה"ע השנייה. למשל, היה שם מכשירי תקשורת SCR522 שהיה עם מערכת מאוד מסובכת. קיבלנו גם מתנה מארה"ב את ה-SM1, מכשיר המכ"ם הימי עם מחשב אנלוגי שנתן תחזית לכיוון התותח באנייה מתנדנדת, ומטוס מתקרב. זה נבנה על סמך הדו"ח של נורברט Wiener, שזכה לכינוי "The Yellow Peril", הסכנה הצהובה. כי אומרים שתחילה אף אחד לא הבין אותו והדו"ח היה כרוך בעטיפה צהובה. המחשב האנלוגי היה כולו מכני וכל המשתנים היו כפתורים וזוויות סיבוב. אני זוכר שישבנו בטכני וניסנו להבין מה קורה שם, מה הולך פה. זה לא פלא שכשהגעתי ל-MIT ושמעתי הרצאה של ווינר, כבר ידעתי פחות או יותר במה מדובר. די נדיר שדבר כזה יקרה – שלסטודנט יש כבר רקע טכני. הרבה מאוד אנשים בכירים, ביניהם גם קדרון שהזכירו קודם, היו בוגרי ביה"ס הטכני של חיל האוויר, יוסקה מעיין, וכל האחרים, כל אלה הם בוגרי ח"א. הייתי אומר שהעובדה שחיל האוויר קיבל את הציוד הרציני הזה תרמה הרבה לתחושה המעשית. משה אמר שהוא ידע מכ"ם אבל לא נגע בו. אני באתי לרפאל"ל וידעתי איך עובד המכ"ם, אבל את התיאוריה הכרתי, רק קצת וזאת הודות לקורס שמשה הטיל עלי להעביר לפי ספר של Woodward.

**י.ז.:** אני עברתי קורס טכנאי מכ"ם בצבא, זה היה קורס מקצועי ראשון בצריפין. שמעתי שמתארגן משהו, נסעתי ליפו באוטובוס ונכנסתי. זה היה קורס אוטו-דידקטי. היה גם מומחה מדרא"פ שהיה אמור לדעת משהו, אבל גם שם למדנו בכוחות עצמנו. שם באמת השתמשנו ב-Principles of Radar, לכן כשבאתי לרפאל"ל הייתה לי כבר תעודה של טכנאי.

**ז.ת.:** הייתה לכם הרגשה של חלוציות, שבאתם לבנות משהו שונה, חדש ומתקדם?

**מ.ז.:** בהחלט, הנושא המרכזי היה סירה מנווטת מרחוק, נושא התפתח אחר כך לטילים. כך גם עם המכ"ם. פרופ' ארבל ידע הרבה על מכ"ם, מניסיון ואני החלפתי אותו. היה לי ידע תיאורטי בלבד. היה לנו מכ"ם אמריקאי, SA3, שרצו להפוך אותו למכ"ם לפריגטות שהיו אבל לא היה מכשיר לשיווי משקל שיתקן את התנודות. בקבוצה של צדרבאום ז"ל עשו מחשבים אנלוגיים, מצוינים ויפים מאוד, אנחנו עשינו את האלקטרוניקה, בסוף התברר שהתותחים הם ממלה"ע העולם הראשונה, ואי אפשר באותה מערכת לעבוד על שני תותחים שכל אחד מהם יורה אחרת ואז גם מכרו את הפריגטות וקנו אניות משחית אנגליות שכבר הייתה להם המערכת הזאת וידעו איך לטפל בה, זאת הייתה הצלה גדולה.

**י.ז.:** בתחילה לא כל דבר שפותח ברפאל"ל אומץ ע"י הצבא ומצא שימוש. היה מושג "מחסן ב": כל הדברים שלא הגיעו למימוש נקברו בו. אבל מה שכן קרה זה שכל פעם שהאמריקאים ידעו שאנחנו

מתקרבים למוצר מבצעי הם שחררו ומכרו לנו מוצר דומה. כי הם לא היו מעוניינים שנפתח יכולת עצמאית.. זה קרה כמה פעמים כך שכשמסתכלים באופן סטטיסטי איזה מערכות נוצרו ברפאל, זה הרבה פחות מהאימפקט האמתי ורוחב הנושאים שרפאל טיפל בהם.

**ז.ת.:** יש היגיון בזה, ברגע שמתקרבים, למה לא למכור?

**י.ז.:** זה האינטרס התעשייתי האמריקאי.

**מ.ז.:** הייתה לנו גם עבודה משותפת, ליעקב ולי. בא מומחה מארה"ב (הלל) עם תכניות מפורטות של טיל. על זה עבדנו עם אנשי. אתה זוכר אותו? זה היה עוד לפני הדוקטורט, המערכת הזאת שכוללת פולסים בשביל לכוון את הטיל היא כמו מקלט אבל התדרים נורא נמוכים ביחס לגלים בינוניים, אבל יש לה אותן תכונות.

**ז.ת.:** זאת הייתה תחילת העבודה על הטילים?.

**י.ז.:** המומחה מארה"ב (הלל) בא עם ידע, ועם תכניות מפורטות. על סמך זה התחילו לפתח טילי אויר אויר. זה היה בשנות החמישים. (טילי שטח פותחו לפני זה).

**י. ב.ד.:** איך הגענו לרפאל? אני הגעתי לשם 3 שנים לאחר שיעקב הצטרף, לאחר שרות כקצין קשר בחיל האוויר, בהזמנתו אותו ראש קבוצת מכ"ם פישי ארבל שמשה הזכיר. כשגמרו את הפתוחים עם הסירה, החליט פישי להקים קבוצה גדולה יחסית למכשור גרעיני לנחל שורק, למעבדות המחקר. אינני יודע למה, האם מסיבה של חיסכון כספי או מתוך רצון לפתח ידע כאן, לא קנו ציוד אמריקאי בשביל נחל שורק. הוא שמע עלי מיעקב שקל, שדיברנו עליו קודם, שאני בסדר. כי עשיתי את המסטר באותה תקופה בהנחייתו, ודווקא בנושא של רשתות שהיו בעלי עניין למכשור גרעיני.

**מ.ז.:** היו אנשים די חשובים שעבדו שם בטילים. העיסוק הכללי עבר לטילים. היה שם זאב בון ז"ל, שנפטר לפני כמה חודשים. הוא גמר את הטכניון שנה לפני, אביו היה באמריקה בתפקיד חשוב והוא נסע לאמריקה וחזר חזרה. הוא רצה לחזור ולהיכנס לרפאל. צדראום ז"ל, שהיה אז ראש המחלקה הזמני שאל אותי, הוא טוב? אמרתי: מצוין. וזה היה מספיק. הוא נכנס לקבוצה הזאת של הסירה. התחיל לפתח בעצמו טכנולוגיה של בקרה, עם חלקים בלתי ליניאריים חשובים (זיו: הוא גם השתתף בסמינרים). כל זה מצורות פשוטות מאוד אבל הוא פיתח אותן יפה מאוד וזה עבד. גם המחשב האנלוגי עבד יפה מאוד.

**י. ב.ד.:** המחשב האנלוגי הציל את השפירר. השפירר היה הפיתוח הראשון של טיל אוויר-אוויר וזה היה מבוסס על תכניות שהביא כאמור הלל מאמריקה.

**ז.ת.:** עבדתי על הפרופלנט של הטיל הזה.

**י. ב.ד.:** הלל הביא תכניות של ה-Side Winder ולפי זה בנו. אני זוכר את ההתרגשות הגדולה כשגילינו מה הייתה הבעיה שגרמה לכך שהטיל נפל בניסוי. אליעזר שן עשה סימולציה של המערכת על המחשב האנלוגי והתברר שבאיזשהו מקום אין ריסון. הייתה הצלחה אדירה של המחשב האנלוגי

כאשר הצעה לקדוח חור בין שני תאים נבדקה וזה סיפק את הרסון הכרחי. אם מדברים על השפריה, אנחנו פיתחנו את המרכיבים האלקטרוניים המבוססים על טכניקות תקשורת מתקדמות: את מרעום הקרבה וגם את המד-מרחק החטאה. זה היה חשוב מאוד להערכת ניסויים. המזעור היה הכרחי והיה צריך לעשות אנליזה קפדנית של מערכות כדי לצמצם את ההספק לשם מזעור הספקים. שנות השישים נתנו דחף אדיר לפתוח דברים מקוריים. זה כבר לא היה ידע מאמריקה: הכול היה מקורי.

**י.ז.:** אני נכנסתי לרפא"ל רק כאשר התפנה מקום.

**י. ב-ד.:** הייתי רוצה להעיר על שני כיוונים נוספים שהשפיעו על התפתחות ההיי-טק. באותה תקופה המדינה נלחמה גם נגד ציוד רוסי וגם נגד ציוד מערבי. למשל, האנגלים סיפקו ציוד מערבי לחיל האוויר הירדני, הרוסים סיפקו כמובן ציוד רוסי למצרים וציוד צרפתי הגיע גם כן נגדנו והייתה מעמסה בלתי רגילה על אמ"ן לאסוף את המודיעין האלקטרוני.

באותן שלוש ארבע שנים שהייתי ראש שטח קומוניקציה ברפא"ל, לפני שהגעתי לטכניון, הייתה התפתחות אדירה בשיתוף פעולה בינינו לבין אמ"ן, המוסד ושירות הביטחון. הכיוון השני היה האלקטרוניקה של הטילים. אז היה קשר הדוק עם מרסל דסו: הם פיתחו את הטילים עבורנו אבל הראש הקרבי היה באחריותנו. דבר נוסף היה המכשור של שדה הניסויים בפלמחים. הייתה יוזמה של משה ושל יעקב לשני מכשירים שאפתניים למדידה של מהירות הטיסה וזווית המעוף בדיוקים יותר גבוהים מאשר מכ"מ יכול לספק.

העברת ידע מרפא"ל לתעשייה התחילה למעשה באמצע שנות השישים. הייתה מערכת תקשורת של חיל אוויר עם דילוגי תדר, אותו אחד שקיבל את השבחים במלחמת לבנון, בהתנגשות עם הסורים. זו הייתה עבודה שלנו, היה כמעט גמור כשיעקב עבר לטכניון ואח"כ הייתה החלטה להעביר את הייצור לאלת"א. זו הייתה העברת ידע מסיבית.

כשהעבירו את אלת"א לאשדוד ונתקבלה החלטה נוספת בדרגים גבוהים לתת להם פתוח מערכות נשק חדישות. הייתה גם החלטה בנוגע לבניית מכ"ם לחיל הים, תחילה המכ"ם היה צריך להיות מפותח ברפאל ואח"כ הייתה החלטה של ספיר להעביר את זה לאלת"א. אני בדיוק חזרתי עם דוקטורט במכ"ם שקיבלתי מ-MIT, והתנדבתי לעזור להם בפיתוח המערכת. זה גרם לתקל של אינטרסים לוקליים.

**י.ז.:** יש כאן שני דברים. ראשית כל, צריך להדגיש את ההיזון החוזר הקבוע בין מערכת הביטחון והטכניון. זה לא היה חד סטרי. הקשר החזק עם אמ"ן שישראל התייחס אליו קרה משום שיום אחד היה קיצוץ עצום בתקציב ברפא"ל: לפתע היו אנשים שחיפשו עבודה ואז יצרתי קשר עם אמ"ן שהם התחילו בעצם להיפתח ולמסור עבודות. היו כמה פרויקטים גדולים. זה תרם הרבה.

**י. ב-ד.:** לתת לך דוגמה של אבסורדים שקרו: לירדנים הייתה מערכת טילים נגד מטוסים ואנחנו פיתחנו מערכת ECM, אמצעי מנע, כדי לבלבל את הטיל. הניסוי הצליח ואז קיבלנו הוראה לבנות 80 יחידות כדי לצייד חלק ממטוסי חיל האוויר, ההאנטרים. לא הייתה ברירה, לקחנו טכנאים סוג א' כדי שילחימו לייצור, אבל זו לא הייתה שיטה. אנחנו, בוגרי דוקטורטים מדעיים, לא ידענו איך לייצר, לא



ידענו מה זה רווח והפסד וזה גם לא עניין אותנו. נקראתי לעסוק בדברים שלא הבנתי בהם. משה כבר היה הדיקן ואז שאלתי אותו מה בקשר למעבר לטכניון.

**י.ז. – למ.ז.:** מתי עברת לטכניון? באיזו שנה?

**מ.ז.:** ב-65 כשחזרתי מארה"ב. פרופ' צדרבאום ז"ל גייס אותי.

**י.ז.:** כשאני באתי משה כבר היה בטכניון וכן גם פרופ' צדרבאום ז"ל. הסיבה שזרזתה את העזיבה שלי הייתה המשבר עם צרפת. כמעט עמדו לפרק את רפא"ל. עם זאת הייתה לי השאיפה לעסוק במחקר בסיסי.

**ז.ת.:** למה עברת לטכניון?

**מ.ז.:** ברפא"ל הכול נהייה יותר ויותר מעשי, זה היה מקום של טכנולוגיה מתקדמת אבל לא אוניברסיטה ואני רציתי אוניברסיטה. כששאל אותי הפרופסור שהיה הבוס שלנו, ברגמן, למה אתה רוצה לעזוב? אמרתי שאני רוצה לעסוק במחקר של מה שמתחשק לי. הוא הבין את זה מאוד, כי היה לו גם כן רקע מחקרי.

**י.ז.:** אני קיבלתי את התיאבון לעסוק במחקר אחרי שהשלמתי את הדוקטורט ב-MIT וחזרתי בעצומי של המשבר ברפא"ל. רבין לא האמין בכל הקשר עם צרפת ואמר שצריך לקנות מאמריקה מערכות מוכנות. הוא קיצץ את תקציב רפא"ל כהוגן. זה בא יחד עם החלון שנפתח לי לעולם האקדמי. ביקשתי לעבור. היה קצת לחץ. אישי לביא היה אז המנכ"ל, בסופו של דבר, לאחר שנת שבתון במעבדות בל, עברתי לטכניון ב-1970 (גם לפני זה שמשתי כמורה נספח בטכניון).

**ז.ת.:** ישראל, אתה עברת אחרון.

**י.ב.ד.:** אני לא התכונתי לעזוב את רפא"ל. אני הגעתי יותר מאוחר וגם דוקטורט עשיתי יותר מאוחר, אך הייתי מרוצה כי הייתה התפתחות מדהימה בעבודה, גם בנושא של electronic intelligence וגם בכיוון של מכשור לטילים. הרגשתי נוח ואהבתי ללכלך את הידיים בפרויקטים. אבל לא יכולתי לסבול את הסתירה שבין ההכשרה שקבלנו לניהול מדעי לבין הדרישה החדשה לניהול עסקי שלא הוכשרנו אליו ולא עניין אותנו. כשאני הייתי ראש שטח היו ארבעה שטחים, הייתי כפוף למנהל רפא"ל אך לא יכולתי להסתדר עם התכתיבים האלה. אז ישבתי בלילות וכתבתי 2-3 מאמרים, דבר שאפשר את קבלתי כפרופסור חבר בטכניון.

**י.ז.:** אני נמשכתי יותר לצד התיאורטי, מבחינת המחקר, אם כי נהניתי מעבודת הפיתוח ברפא"ל, כי היו כמה פרויקטים שגם נשאו פירות וגם העבודה עם אמ"ן מאוד הצליחה. דוגמא, סול גולומב ששימש לאחרונה כחבר בחבר הנאמנים, כתב ספר מאוד מוקדם על סדרות וזה היה הבסיס להצלחה. אני הכרתי את החומר באופן תיאורטי ונתתי הרצאות באמ"ן הייתי כבר במילואים וכתוצאה מזה בנו מכשור מאוד מתקדם במלחמת ששת הימים.

**י. ב-ד.:** נושא אחר שהיה מעניין הוא שהוחלט ברפא"ל לעשות מכשיר למדידת מרחק בעזרת לייזר. הפיזיקאי האחראי לפרויקט הכניס הזמנה ללייזר של 50 מיליוואט, ואני בתור ראש שטח מחקר נדרשתי לחתום על ההזמנה. בדקתי את העניינים וראיתי שלייזר של 10 מיליוואט הינו באופן משמעותי יותר זול מאשר לייזר של 50 מיליוואט שהיה מאוד יקר, כי הוא שימש למטרות מאוד מיוחדות. שאלתי אותו למה 10 מיליוואט לא מספיקים והוא השיב שלמען הדיוק צריך 50 מיליוואט. שאלתי אותו איך תלוי הדיוק בהספק. משלא ידע נוסחה מפורשת נדברנו שיחזור עם תשובה לאחר ברור. הוא בדק וחקר ולא מצא תוצאות מתואמות בספרות. הדבר סקרן אותי, חקרתי את הנושא וכתבתי על הקשר בין הספק לבין דיוק מדידת זמן בעזרת פוטונים. זה הקנה לי קצת היכרות בקהיליית הקומונקטורים.

**י.ז.:** זה הכניס אותך לכיוון זה.

**י. ב-ד.:** זה זיכה אותי ב-Fellowship ב-IEEE. אבל הנקודה העיקרית היא, וזה מחזיר אותנו לשנות החמישים, לתקופה ששמענו את שקל ואת זכאי, לתקופה שבה למדנו לא להסתפק בלבנות אל גם לרצות להבין מה הגבולות של האפשרויות.

**י.ז.:** תורת האינפורמציה היא בעצם תורה של גבולות. וקביעת חסמים. כלומר קביעת המכסימום הניתן להשגה. איך להשיג את זה, זו כבר הנדסה

**ז.ת.:** הוכחתם שזה המקסימום שאפשר, שאי אפשר יותר מזה.

**י.ז.:** זה הרבה יותר רחב מזה. קלוד שאנון אבי תורת האינפורמציה הראה לראשונה שאם קצב השידור שלך גדול ממשו, אף אחד לא יעזור לך. מאידך אם הקצב קצת יותר נמוך, ניתן להגשים תקשורת מהימנה.

**י. ב-ד.:** רציתי להוסיף בקשר לשאלה של איך התחיל ההיי-טק הישראלי, אני זוכר רבים מהסטודנטים שלנו בעתודה אקדמאית שהצבא גייס אותם אח"כ, ובגיל צעיר, עם תואר של B.Sc, הצטרפו ליחידות מיוחדות בין בחיל הקשר, חיל האוויר או מודיעין, ונעשו ראשי פרויקטים. זה התחיל בשנות ה-60. לעיתים קרובות מאוד קרה שאחד הבחורים הצעירים, עמד בראש פרויקט כאשר אחד מאיתנו נתן להם את הייעוץ במקצוע במסגרת שרות מילואים, או התקשרות אחרת. הדבר הזה גרם למין סימביוזה, מעגל, שהסטודנט, אחרי שהוא גמר, הלך להיות ראש אחד הפיתוחים הצבאיים, חזר ללמוד לתואר גבוה בהנחייתנו. היו עשרות עבודות מגיסטר, של סטודנטים שהיו חיילים, וכשהשתחררו התחיל להקים Start up שהוו את ההיי-טק. הדוגמאות הן רבות.

**מ.ז.:** דוגמא מובהקת, בנימין מנשה, היה במודיעין, עשה עבודת מגיסטר בהנחייתי של והמשיך הלאה. הוא היה מהראשונים שהתקבלו בסטנפורד באותה תקופה. הוא תרם תרומות מצויינות למודיעין ואח"כ הקים חברה מוצלחת שנרכשה על ידי קודק.

**י.ז.:** פה אני חייב להזכיר טעות של שנינו, של משה ושלי. הייתה מדיניות ששנינו אשמים בה, שאת התלמידים המוכשרים עודדנו לא להישאר בטכניון אלא לנסוע לחו"ל. יום אחד החלטנו שאנחנו פועלים כנגד האינטרס שלנו.

**מ.ז.:** הוועדה הראשונה שעשתה ביקורת על הטכניון אמרה שאנחנו פוגעים במו ידינו בעצמנו.

**י.ז.:** נכון, ואז ירדנו מזה. החלטנו לעצור. ואני זוכר שאמרנו את זה לסטודנט מבריק עפר זיתוני, והוא שאל: "מה, אני לא מספיק טוב כמו האחרים לנסוע לסטנפורד?"

**מ.ז.:** מצד שני, אם הסטודנט טועה בבחירת המנחה שלו, פה הוא יכול להחליף. מכל מקום מעולם לא הצטערנו על קבלת העצה.

**פרופ' י.ז.:** אם נחזור לעניין ההתחדשות. היזם של גל ההתחדשות היה צדרבאום ז"ל. נכון שאנחנו חלק מן ההתחדשות, אבל היזם שלה היה צדרבאום ז"ל. הוא משך את משה, משה משך אותי. הכוונה היא לחידוש פני הפקולטה. לגבי הפירוט שישראל נתן לגבי התרומה להיי-טק, אז יש לנו גם את העבודה עם חיילות צה"ל, שמהם יצאו אחר כך כל מיני יזמים, וגם זה שהרבה סטודנטים למדו פה. אבל הייתה מנקודת המבט שלי, מי הלך לאן, אז כל אלה שהיו ראשי פרויקטים בחיל האוויר נטו יותר אח"כ לצד הניהולי מסחרי. ובוגרי אמ"ן דווקא הלכו לצד הפיתוחי. התרומה העצומה של יחידת 8200 המפורסמת (אמ"ן) ושל היחידה הטכנית של אמ"ן, שעליה פחות מדברים, אנשים בעלי רקע דומה, הם אלה שבעצם תרמו למרבית היזמות בעוד שאנשי חיל האוויר תרמו יותר לצד הניהולי מסחרי. הסיבה היא פשוטה, אנשי חיל האוויר הזמינו בדרך כלל את הפרויקט בחוץ לארץ, ולכן היה להם מגע עם חברות גדולות ומנהלים, ואנשי אמ"ן התרכזו בפתוח בארץ..

יש תופעה אחת שכדאי לבדוק אותה. בניגוד למקומות אחרים יש בפקולטה גם עבודת גמר, שבמסגרתה גומרים פרויקט או שני פרויקטים. הפילוסופיה מאחורי זה הייתה שרוב הבוגרים יגיעו למקום שבו הם יהיו המהנדסים המובילים. לכן צריך לתת להם את הידע המוקדם כדי שיוכלו להתחיל לעבוד, בניגוד ל-MIT ששם הדגש היה על עבודת מחקר כי ההנחה הייתה שהם יפנו לאקדמיה. עד. היום זה פחות חשוב. בזמנו, הייתה לזה חשיבות, שאנשים באו והיה להם הון התחלתי. ומי היו המנחים של כוון זה? אנשי רפא"ל וגם חלק מהמרצים.

**ז.ת.:** משה, החבר שלך שמעיה בן משה שקיבל אותי לעבודה ברפא"ל אמר לי: "תראה, יש פה 2 סוגי אנשים. יש כאלה שתורמים ועובדים ויש את שותי התה. אל תהיה בין שותי התה".

**מ.ז.:** את פושקין הכרת?

**ז.ת.:** כמוכן.

**י.ז.:** זה היה טיפוס.

**ז.ת.:** היה מקורי. היה אצלו בלגן גדול אבל היה מקורי.

**י.ז.:** יש עכשיו פרק שמשה הזכיר אותו בקשר למלחמת יום כיפור.

**מ.ז.:** במלחמת ששת הימים יעקב היה הבוס ברפא"ל ואני הצטרפתי. באתי אליו אבל לא הספקנו לעשות שום דבר. במלחמת יום הכיפורים, לא גייסו אותנו, התנדבנו. כזכור לי גם ישראל רפי סיוון ז"ל. ישראל, אתה התעסקת במכ"ם.

**י. ב.ד.:** ב-SAM3.

**י.ז.:** משה ריכז את כל הפעילות. את כל הקבוצה של טכניון.

**פרופ' מ.ז.:** כל מי שהיה פעם ברפא"ל בא לשם. לא יודעים איך זה היה מאורגן אבל באנו לשם. עסקנו בפענוח נשק שלל, ובהתחלה לא ידעו מה לעשות אתנו ואז הופיעה בעיית ה-SA6 שלא הכירו בכלל. יש על זה סרט. ידעו שיש SA6.

**י.ז.:** כל הסיפור של תרומת הטכניון למאמץ של SA6. מעניין לציין שעברו רק 23 יום מרגע שלא ידעו כלום על הטיל עד שמסרו ציוד שנלחם בטיל, חסם אותו.

**מ.ז.** את הטיל הזה ראו בימי 1 במאי במצעדים. ידעו שהוא קיים. לא היה מושג איך הוא עובד. היה לסורים, והאבדות הראשונות שלנו היו משם. שרונ, המנהל האדמיניסטרטיבי של רפא"ל הביא טיל כמעט שלם, שנפל. מקבלים מעין רסק. ואז צריך לנתח את זה באלקטרוניקה. זה היה מאוד קשה. המזל היה שהטיל היה עם שפופרות. בא מישהו מאלתא, הסתכל והחליט שזה mono pulse, כלומר שיטת עקיבה קלאסית והלך, נסע בחזרה. היה שם לוח עם המון קופסאות קטנות של אלומיניום בכמות כזו שלמכ"ם זה היה יותר מדי. בכמה דברים אפשר היה עוד לשער. ביקשתי לפתוח את זה. ראינו שזה גביש, גביש זה פילטר. למה צריך מכ"ם כאלה דברים? כך גילינו שהמכ"ם הזה לא עבד על פולסים אלא על דופלר. זה היה ההתחלה. התחלנו לפענח את זה והם ישבו והוציאו מהקופסאות וקיבלנו את כל התמונה. מה שהפריע לנו זה שלא הצלחנו להבין מה הוא עושה. היה לנו טיל אמריקאי יותר מתוחכם, ה-TAO, נסעתי לבסיס חיל אוויר שיספרו לי עליו. לא היה ברור מה קורה. חיפשנו אם הוא יכול לפעול גם על מה שמתרחק ומה שמתקרב. התברר שלא, זה טיל רק למטרות מתקרבות. הוא לא היה בנוי לעקוב אחרי אלה שמסתובבים. ברגע שגילינו את זה אז יעקב התיישב לחפש איך להפריע לזה.

**י.ז.:** אני חושב שהתרומה העיקרית שלך הייתה שאתה השתכנעת שזה CW ואני התמקדתי יותר בבניית מכשיר החסימה. זה היה מאמץ גדול, של הרבה אנשים.

**מ.ז.:** יעקב התחיל בבניית החוסם שמטרתו להסיט את הטיל באמצעות הליקופטר.

**י.ז.:** שינוי של ציוד אמריקאי. היה גם ציוד של רפא"ל פיתח לחיל אוויר ופורק לגורמיו לצורך ההתקנים החדשים.

**ז.ת.:** השתמשו בזה?

**י.ז.:** בהחלט, אגב ברפא"ל, שדרנו בתדר הטיל בזמן פתוח החוסם. מי שגילה את שידורה החסימה ראשון, הייתה אנייה רוסית.

**מ.ז.:** עצם הידיעה על דרך הפעולה של המכמים היתה חשובה, ואחר כך כעבור שנים, זה מופיע אצל זאב בון ז"ל, בספר שלו.

**י.ז.:** אם אתה רוצה משהו ויזואלי יש גם סרט יפה.

**ז.ת.:** תשלח לי.

**מ.ז.:** התחלנו לעשות ניסיונות. בינתיים גילו ראש אחר שלא נפגע ואז ד"ר צבי מאירי עבד עליו. פתחנו אותו והיות והכרנו אותו כי כבר עבדנו על גוף הטיל. ידענו מצוין מהם הכבלים החתוכים, כך שמיד יכלו להפעיל אותו תוך זמן קצר ועליו עשינו את הניסיונות.

**י.ז.:** מה שצריך להדגיש זה שהיה כל הזמן קשר סימביוטי בין רפאל לטכניון. האנשים הכירו אחד את השני וידעו עם מי לדבר.

**מ.ז.:** הייתה גם מערכת תותחים נגד מטוסים. פרופ' סיוון ז"ל עבד על זה.

**ז.ת.:** תוך כדי כל הפעילות והאינטראקציה הזאת הייתם בפקולטה והפקולטה התחילה להתרחב.

**מ.ז.:** ההתרחבות של הפקולטה התחילה עוד קודם, אחרי מלחמת ששת הימים. צדראבאום ז"ל היה הדיקן וקראתי בעיתונים שיצטרכו יותר מהנדסים, למרות שכבר אז הפקולטה הייתה במצב טוב. אז ערכנו פגישה אצל עוזיה גליל. היה לו מפעל אלביט ליד חברת החשמל. עוזיה גליל אמר שיש תוכניות להשקיע באלקטרוניקה, כך וכך, וכמה מהנדסים הם רוצים לשנה - ראינו שיש פער גדול. הוא היה טוב בכלכלה.

**ז.ת.:** האם אז הוא כבר היה עצמאי, הוא לא היה קשור לטכניון?

**י.ז.:** הוא כבר היה אז עצמאי. לא היה לו קשר לפקולטה לחשמל אף פעם, הוא היה מהנדס בפקולטה לפיזיקה. הכרנו אחד את השני דרך פרויקטים בחיל הים.

**מ.ז.:** בטכניון התחילו להתכונן לזה. גם אז כבר בטכניון אמרו לי כשבאתי שחשמל היא הפקולטה השנייה בגודלה במספר הקטטות.

**ז.ת.:** מי עוד עבר מרפא"ל?

**י.ז.:** שמואל מרחב עבר לאווירונאוטיקה, אבל יותר מאוחר.

**ז.ת.:** הפקולטה להנדסת חשמל, נחשבת עד היום לאחת מחמשת הטובות בעולם עד היום. היא פקולטה מעולה.

**מ.ז.:** אלף, אני חושב שזה נכון. אגב בכל פקולטה שקיבלה דו"ח בהערכה היה כתוב שהיא אחת מעשרת הכי טובות בעולם, אבל מוסיפים שם כל מיני הערות. בדרך כלל יש בדוחות אינפלציה בציונים. הדבר הראשון שלמדנו הוא שאמרו לנו שאנחנו טיפשים שאנחנו לא נותנים לעשות דוקטורט אצלנו. עם הזמן התברר, בגלל הרקע התיאורטי יותר שלנו, שאנחנו טובים.

**פרופסור זאב תדמור:** אנחנו עושים עכשיו במוסד נאמן עבודה על התרומה של בוגרי הטכניון לכלכלה הישראלית. הטכניון הזמין עבודה כזו. זה היה מועיל אם כל אחד מכם היה מספר על הסטודנטים שלו שהרימו תרומה חשובה לכלכלה הישראלית.

**מ.ז.:** עוזיהו גליל, האחים זיאסאפל, ינאי.

**י.ז.:** צריך לעבור על רשימת כל הבוגרים.

**י.ב.ד.:** חברת נייס וחברת גילת כולם על טהרת סטודנטים שלנו שהיו באמ"ן.

**י.ז.:** הקשר הוא דרך אמ"ן, היחידה הטכנית של אמ"ן. כל פעם שאני טס לארה"ב ונכנס לחדר המתנה של אל על אז תמיד אני פוגש שם מישהו. הם מזהים אותי.

**ז.ת.:** מה שמסתתר מאחורי מה שסיפרת לנו זו תופעה מעניינת מהרבה מאוד בחינות. היה כאן צוות של אנשים מאוד מוכשרים, אין על זה ספק. הרבה תיאורטיקנים, אין על זה ויכוח. וזה הביא תוצאות מדהימות.

**מ.ז.:** בטכניון, הפקולטה להנדסת חשמל הייתה מאוד תיאורטית.

**ז.ת.:** בגלל האופי שלה. אבל זה שהייתם מאוד תיאורטיים בנייתוחים של מעגלים, של כל מיני דברים, והגעתם לרפא"ל, שהיו שם צרכים מידיים חשובים ודחופים ואח"כ ההלוך-וחזור שהולך בין המערכת ואמ"ן זה כמעט ייחודי. זה מין צירוף מקרים שאולי לא היה קורה אם לא היו אנשים מוכשרים כמוכם שעושים את זה, ולא היו גם הנאמנות והתבונה למדינה והאינטראקציה המתמשכת הזאת עם המערכת, ואח"כ כמו קטליזטור העסק מתגלגל. חינכתם דורות של סטודנטים, פקולטה טובה מושכת אנשים טובים וכל העסק הזה התגלגל למה שנהייה.

**מ.ז.:** מיקרו אלקטרוניקה היה נושא שמי שהתחיל אותו נפטר, קדרון ז"ל.

**ז.ת.:** קדרון לא בא לטכניון מרפא"ל.

**י.ז.:** אתה היית הדיקן ואתה יצרת לו את הקשר עם משרד הביטחון. אתה זוכר?

**מ.ז.:** הוא עשה להם חיישנים. והוא הקים קבוצה.

**ז.ת.:** כשהמעבדה למיקרואלקטרוניקה שלכם על שם וולפסון נשרפה, אנחנו הזמנו צוות מיוחד מאנגליה. הם היחידים שידעו איך לנקות מעבדה מסוג זה. הלורד וולפסון בא לבקר ולראות מה קורה והוא שואל את מנהל העבודה האנגלי, "אתה ראית באיזשהו מקום כזה דבר שנשרף?" אז הוא עונה לו: כן, ב-Wolfson Laboratory באנגליה. אז זה הרגיע אותו.

**מ.ז.:** הייתה גם גברת ניצולת שואה, אתיה מיילכסון ז"ל, שתרמה, הן למחקר והן לבניין.

**ז.ת.:** בשלב זה רציתי להבין ממש את המקורות הראשונים המעיינות של ההיי טק.

**מ.ז.:** המקורות הראשונים הם במלחמת השחרור כשהיה חמ"ד. שמעיה בן משה עבד על פיתוח נפלים. גדעון איטקין יחד עם אברהם קוגן פתחו מערכת חשובה להפעלת מוקשים, כן היה ידידיה שמיר מראשוני החמ"ד.

**ז.ת.:** מתי התחילה פעילות במדעי המחשב בפקולטה להנדסת חשמל.

**י.ז.:** הפעילות במדעי המחשב החלה עוד לפני הקמת הפקולטה למדעי המחשב בראשה עמדו הפרופסורים יואלי וכצנלסון. אני זוכר שהמושג "הנדסת מחשבים" היה רעיון שנוצר בין משה ליואלי איך ליצור קשר בין שתי הפקולטות. עלה הרעיון ליצור תואר משותף שימשוך סטודנטים. ואף אחד לא ידע מה זה הנדסת מחשבים אבל זה היה חשוב לשני הדיקנים כאמצעי לשיתוף פעולה.

**מ.ז.:** כשאני באתי, היה בניין שקיים ליד פיזיקה. יש שם רצועה של בטון עם חורים של סרט טלגרף, בתוך הבטון. ושם היה מחשב אנגלי אליוט.

**י.ז.:** הנדסת מחשבים זה המצאה של משה ויואלי כאמצעי ליצור קשר בנושא.

**ז.ת.:** מדעי המחשב התחילו עם המתמטיקה שימושית.

**י.ז.:** אח"כ היה צריך למכור את מדעי המחשב לסינט ואז שלחו את צבי כוכבי והוא שכנע את הסנאט שיש דרישה בתעשייה והוא הביא מסמכים מאלרון ואלביט ומכל מיני מקומות והצליח לשכנע.

**פרופ' זאב תדמור:** תודה רבה לכם

**פרופ' יעקב זיו:** היה נעים להיזכר.

## תולדות חיים קצר

### פרופסור ישראל בר-דוד

ישראל בר-דוד נולד בשנת 1930 בשימלאו, רומניה, עלה ארצה בשנת 1944, עבד במסגרת נוער עובד ולומד במכונאות רכב (7-1945), שרת במשטרת הישובים ובחטיבת גולני (8-1947); קבל חנוך כטכנאי רדיו בקורס הראשון של חיל האוויר (9-1948) וכמהנדס חשמל בטכניון: תואר ראשון ב 1954 ותואר שני ב 1958. היה קצין קשר בחיל האוויר (57-1954), התקבל לטכניון ב 1957, עבר לרפא"ל ב 1958, במסגרתה למד לדוקטורט במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (64-1962) חזר לטכניון ב 1972, פרש למעמד פרופ' אמריטוס ב 1998 והקים ב 1999 עם קבוצת עמיתים את חברת "פרגון תקשרת בע"מ".

ברפא"ל עסק בפתוח מכשור עבור מחקר בנחל שורק ועבור שדה הניסויים הבליסטיים. לאחר שובו מהדוקטורט נהל את שטח מחקר תקשרת. עם עוברו לטכניון הקים את המעבדה לתקשורת ונבחר לקתדרה בהנדסת חשמל ע"ש סופר. נושאי המחקר שלו כוללים תורת האינפורמציה, תקשורת סטטיסטית וארכיטקטורה של מגברים יעילים. הוא נבחר כעמית אגוד מהנדסי החשמל והאלקטרוניקה (הבין לאומי) בזכות תרומותיו לתורה הסטטיסטית של התקשרת האופטית. רבים מבין הסטודנטים שלו לתארים גבוהים נמנים עם בכירי האקדמיה ותעשיית המו"פ. בר-דוד יעץ לחברות מו"פ. בארץ לחברות: אלטא, אלישרא, כור, מוטורולה, נייס, תעש, תדירן, טלרד, ובחו"ל לחברות:

Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Holland (1954); Raytheon Company, Wayland Massachusetts (1965); Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California (1972); Linkabit Corporation, San Diego, California (1975-1985); Lucent Bell Labs, Holmdel, N.J. (1977, 1986-98), Utrecht, Holland (1994), Swindon, UK (1997-1998); RPI, Troy, N.Y. (1977); ETH, Zurich, Switzerland (1980, 1984, 1994-96, 1998); UCSD, La Jolla (1987, 1988)

זכה לפרסי הצטיינות מחברת פיליפס בהולנד וממעבדות "בל" בארה"ב וכן לציון מאמרים מצטיינים רבים מבין עשרות פרסומיו. רשומים על שמו יותר מעשרה פטנטים, חלקם לזכות מעבדות "בל" והאחרונות לזכות חברת "פרגון" אשר מממשת אבי-טיפוס של מגברים מקוריים בעלי לינאריות משופרת ונצילות גבוהה.



## פרופסור יעקב זיו

**יעקב זיו** (נולד ב-27 בנובמבר 1931 בטבריה) הוא מדען מחשב ישראלי, שפיתח, יחד עם אברהם למפל, את אלגוריתם למפל-זיו לדחיסת נתונים. זיו משמש כפרופסור בטכניון שבחיפה, ובעבר שימש כנשיא האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים. הוא זכה פעמיים בפרס ביטחון ישראל ובשנת תשנ"ג זכה בפרס ישראל במדעים מדויקים. זיו קיבל תואר ראשון בשנת 1954 ותואר שני בשנת 1957, שניהם בהנדסת חשמל מהטכניון. את הדוקטורט השלים זיו במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס בשנת 1962. בשנים 1955–1959 עבד זיו ברשות לפיתוח אמצעי לחימה, שם עסק במחקר ופיתוח של מערכות תקשורת. בשנת 1962, עם שובו מלימודי הדוקטורט בארצות הברית, שב לרשות לפיתוח אמצעי לחימה, שם שימש כראש המחלקה לתקשורת. בשנים 1968–1970 עסק זיו במחקר במעבדות בל בארצות הברית, שאליהן שב שלוש פעמים בין השנים 1977 ו-1992 כמדען אורח. בשנת 1970 הצטרף זיו לסגל הטכניון, ושם שימש, בין היתר, כדיקן הפקולטה להנדסת חשמל וכמשנה לנשיא לעניינים אקדמיים. נושאי המחקר שלו כוללים דחיסת נתונים, תורת האינפורמציה ותקשורת סטטיסטית. בשנת 1981 נבחר כחבר באקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, ואף שימש כנשיאה בשנים 1996–2004. בשנת 1998 נבחר כחבר זר של האקדמיה האמריקאית לאמנויות ולמדעים ובשנת 2004 לחבר באקדמיה הלאומית למדעים של ארצות הברית. כמו כן, זיו הוא חבר החברה הפילוסופית האמריקאית. במאי 2009 הוענק לו תואר דוקטור לשם כבוד מאוניברסיטת תל אביב, על הישגיו בהנדסת חשמל ובתורת האינפורמציה, על חלקו בהפיכת ישראל למובילה עולמית בתחום התקשורת, כהוקרה על מנהיגותו בקרב קהילת המדענים הישראלית, ועל פועלו לחיזוק ביטחון ישראל ולפיתוח ההשכלה הגבוהה בישראל. ביוני 2009 זכה בפרס חזית הידע ( Frontiers of Knowledge) של קרן BBVA הספרדית, על "המצאותיו פורצות הדרך בתחום דחיסת המידע ותורת האינפורמציה". סכום הפרס (400 אלף אירו) שני בגודלו רק לפרס נובל. (מקור ויקיפדיה)

## פרופסור משה זכאי

משה זכאי נולד בסוקולקה שבפולין, לרחל וחיים-אליעזר זקהיים. ב-1936 עלה עם משפחתו לארץ ישראל, למד בגימנסיה ביאליק, חיפה. בעודו תלמיד הצטרף לארגון ההגנה ועם סיום לימודי התיכון שרת במשטרת היישובים העבריים. במלחמת השחרור שרת בחיל הקשר. סיים לימודי תואר ראשון בהנדסת חשמל בטכניון בשנת 1951. בין השנים 1952-1954 עבד כמהנדס מחקר ברשות לפיתוח אמצעי לחימה, ולאחר מכן התמנה לראש מדור פתוח מערכות מכ"ם. ב-1956 החל לימודי דוקטורט בהנדסת חשמל באוניברסיטת אילינוי, אותו קיבל ב-1958. בתום לימודי הדוקטורט שב לישראל ועמד בשנים 1958-1963 בראש קבוצת התקשורת ברשות לפיתוח אמצעי לחימה. בשנים 1963-1964 שהה כפרופסור אורח באוניברסיטת קליפורניה בברקלי. ב-1965 מונה לפרופסור חבר בטכניון, ב-1969 מונה לפרופסור מן המניין. ב-1970 הופקד על הקתדרה לקומוניקציה על שם ויליאם פונדילר. ב-1985 מונה לפרופסור מחקר בטכניון. בשנים 1970-1973 כיהן כדיקן הפקולטה להנדסת חשמל, בשנים 1976-1978 שימש כמשנה לנשיא לעניינים אקדמיים. ב-1998 יצא לגמלאות כפרופסור מחקר אמריטוס. משה זכאי נשוי לשולמית (מיתה) לבית בריסקמן ולהם שלושה ילדים, שנים עשר נכדים וחמישה נינים.

**פרסים וחברויות:** 1973 נבחר כעמית האגודה הבינלאומית להנדסת חשמל ואלקטרוניקה. 1988 נבחר כעמית האגודה לסטטיסטיקה מתמטית. 1989 נבחר כחבר חוץ של האקדמיה הלאומית האמריקאית להנדסה. 1993 נבחר כחבר האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים. 1993 פרס האגודה הבינלאומית להנדסת חשמל ואלקטרוניקה בשטח תורת הבקרה. 1994 פרס רוטשילד להנדסה. (מקור ויקיפדיה).

## פרופסור ישראל צדרבאום (ז"ל)

ישראל צדרבאום ז"ל נולד בוורשה בפולין בשנת 1910. הוא קבל את התואר M.Sc. במתימטיקה מאוניברסיטת וורשה. הוא עלה ארצה בשנת 1948 והצטרף לחמ"ד (שהפך לרפא"ל) בשנת 1950 והתמנה לראש קבוצת מחשבים. הוא הצטרף לטכניון לפקולטה להנדסת חשמל בשנת 1963 ושירת כדיקן משנת 1965 ועד 1969. פרופסור צדרבאום נפטר בשנת 2006.



### על תרומותיו של פרופ' צדרבאום ז"ל לרפא"ל ולטכניון

דברים שנאמרו ע"י מ.ז. באירוע שנערך בפקולטה להנדסת חשמל לכבוד פרופסור ישראל צדרבאום ז"ל

24.10.2001

הייתה לי הזכות לעבוד במחיצתו של פרופ' צדרבאום ז"ל הן ברפא"ל והן בטכניון ורציתי לספר על כמה מתרומותיו בשתי מסגרות אלו. מאחר שמדובר בתקופה שתחילתה לפני חמישים שנה מן הראוי להקדים כמה מילים על הרקע. הפקולטה להנדסת חשמל נוסדה באמצע שנות השלושים ובמנהיגותו של פרופ' אולנדורף, הכשירה מהנדסי חשמל (כולל אלקטרוניקה) ברמה אקדמית ממדרגה ראשונה כאשר באותה תקופה לא נראה כל אפשרות תעסוקה עבורם. עם תחילת מלחמת השחרור חל מהפך – הוקם חיל המדע (החמ"ד) ונוצר צורך במהנדסי אלקטרוניקה מעולם ומנוסים. היו אז מהנדסי אלקטרוניקה מעולים מבחינת הידע הבסיסי אלא שחסר להם הן הניסיון ההנדסי והן הידע הקשור בתמורות העצומות שחלו בעת מלחמת העולם השנייה ולאחר מכן (מיקרוגלים, בקרה, מכל"מ, מחשבים אנלוגיים וספרתיים ועוד).

אחת החוויות המקצועיות המרשימות ביותר שחוויתי הייתה בעת שהצטרפתי למחלקה לאלקטרוניקה של החמ"ד (שאז כבר נקרא אגף המחקר והתכנון). חוויה זו הייתה הפגישה עם קבוצת אנשים מבריקים (רובם המכריע בוגרי הטכניון) שנטלה על עצמה לסגור את הפער בידיע המקצועי שלהם ולקדם את עצמם עד לחזית המקצוע הן מבחינה עיונית והן מבחינה יישומית. בין האנשים הבולטים ביותר שהנהיגו את המחלקה היה פרופ' צדרבאום ז"ל.

שלא כרוב חברי המחלקה קיבל פרופ' צדרבאום ז"ל את הכשרתו המקצועית עוד לפני מלחמת העולם השנייה, עלה ארצה בשלהי מלחמת השחרור והצטרף לחמ"ד ב-1950. כאשר הצטרפתי ב-1952 כבר היה פרופ' צדרבאום ז"ל ראש תחום המחשבים – אחד מארבעת התחומים של המחלקה ועל פעילותו זו אדבר אחר-כך. כן בלט כאישיות בכירה מובילה ורבת השפעה במחלקה. בכדי לסגור את הפער שהזכרתי לעיל הייתה בחמ"ד מסורת נפלאה של לימוד מתקדם. ברוב ימות השבוע היה מתחיל יום העבודה בהרצאה של אחד מחברי המחלקה ברמה שלאחר מכן הסתבר לי שהייתה זו רמה גבוהה של לימודי מוסמכים. פרופ' צדרבאום ז"ל היה בין הבולטים ביותר בתכנית השתלמויות זו.

כפי שכבר הזכרתי עמד אז פרופ' צדרבאום ז"ל בראש התחום שעסק בפתוח מחשבים למערכות נשק. אני מניח שאינני מגלה סודות צבאיים, אם אספר שבקבוצתו עסקו בין היתר בפתוח מחשב שיעבד נתונים לצורך איכון מקורות ירי, פתוח מחשב לבקרת ירי אש עבור חיל הים. כן עסקו בתחום בפתוח מחשבים גדולים יותר הנדרשים לפתוח מערכות טילים וזאת למרות מגבלות תקציביות כבדות. בשנות החמישים פיתחה הקבוצה מחשב אנלוגי כללי ששימש את פרויקט פתוח הטילים. אזכיר כאן גם את תרומתו של דר' שני ז"ל לפיתוח זה; מאוחר יותר בשנות השישים פיתח פרופ' שמואל מרחב ז"ל מהדורה מתקדמת יותר שהחליפה את הדור הראשון.

במקביל עסקה הקבוצה של פרופ' צדרבאום ז"ל בפתוח מחשבים דיגיטליים וחקרה אפשרויות של פתוח ציוד דיגיטלי הם לסיוע למחקר בטחוני והן למערכות נשק. בין הרעיונות שנבדקו היה שימוש באינטגרטורים דיגיטליים לבניית מחשב מסוג הדומה למחשבים אנלוגיים (digital differential analyzer); אם אינני טועה לא הגיע הרעיון הזה לכדי

מימוש. תכנון מקורי של מחשב אחר הגיע לכדי מימוש, היה זה ה-Sabrac. מחשב זה שנכנס לפעולה ב-1961 ואף שהיה איטי (כפל לקח כ-10mSec) אפשר לבצע חישובים כגון תכנון מערכות אופטיות וזאת במקום לנסוע למחשב הגדול במרכז מערכת הבחטחון. הסברק ברפא"ל והוייצק במכון וייצמן היו המחשבים הראשונים שפותחו בישראל.

כל אותה עת המשיך פרופ' צדרבאום ז"ל גם במחקר אישי מעמיק שעליו ידבר פרופ' למפל. אומר רק שהיה הראשון בישראל אחרי מלחמת העולם השנייה שהישגיו המדעים נודעו לתהילה בטובות שבמחלקות להנדסת חשמל בעולם.

רבים מאנשי המחלקה (ואני בתוכם) ראו בו מורה דרך מעין "גורו" שהשפיע רבות על התפתחותם המדעית.

מכן אנו עוברים לפרק הבא בחייו של פרופ' צדרבאום ז"ל והוא פעילותו בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון.

כאמור המריאה הפקולטה להנדסת חשמל באמצע שנות השלושים והגיעה להישגים מצוינים. לקראת שנות השישים נכרו גם סימני חולשה בפקולטה. אף שכבר אז הצטרפו לפקולטה מספר חברי סגל ממדרגה ראשונה שתחום מחקרם היו הנושאים החדשניים, היה צורך בדמות מובילה שתוליך את הפקולטה לקראת האתגרים שעמדו בפניה, ואכן למטרה זו הזמינה הנהלת הטכניון את פרופ' צדרבאום ז"ל להצטרף לפקולטה להנדסת חשמל. הצטרפותו ב-1963 מסמנת ציון דרך חשוב בהתפתחות הפקולטה לקראת התקופה הנוכחית.

מאז הצטרפותו ובמיוחד בתקופת כהונתו כדיקן מ-1965 עד 1969 תרם לפתוח ללא תקדים של הפקולטה. במבט כולל אפשר להגיד שתרומתו העיקרית הייתה בכך שהוא הקנה לחברי הסגל את ההכרה בחשיבות המחקר הניסיוני והעיוני וקבע מטרות ומסגרות בפקולטה ברמה המקובלת במיטב האוניברסיטאות בעולם.

בין היתר התרכז בגיוס סגל חדש, בתקופת כהונתו הצטרפו לפקולטה יותר חברי סגל מאשר בתקופת כהונתם של כל אחד מהדיקנים שבאו אחריו. הוקמה המעבדה הספרתית והוכנסו שיפורים, כולל חידוש ציוד במעבדות אחרות כגון מכשור, בקרה, הנע חשמלי, אלקטרוניקה ועוד.

לימודי מוסמכים הורחבו ואורגנו במסגרת שקיימת עד עצם היום הזה.

שופר שיתוף הפעולה בין הסטודנטים וחברי הסגל ואף הוקמה ועדה שטיפלה בנושא. לאחר מלחמת ששת הימים התברר הצורך הדחוף בהגדלת מספר בוגרי הפקולטה ובעקבות זאת יזם בניה של חדרי כיתות, מעבדות ומשרדים.

בתבונתו, בארך רוחו ובחוש ההומור שלו פתר לא מעט בעיות אישיות קשות.

לסיכום, כשאנו מסתכלים היום על הרמה וההישגים של תעשיית הידע הישראלית ושואלים למקורותיו, ברור שהעשורים הראשונים אחרי מלחמת השחרור היו מכריעים ביותר ותרומת הטכניון רפא"ל בשנים אלה אפשרה את ההתפתחות והשגשוג שאנו רואים היום. לפרופ' צדרבאום ז"ל הייתה זכות ראשונים הן בהבאת המחלקה האלקטרונית ברפא"ל והן בהבאת הפקולטה להנדסת חשמל לחזית המקצוע. בטוחני שתצטרפו אלי בהכרת תודה, הערכה והוקרה לפרופ' צדרבאום ז"ל.