

נספח – רפא"ל

פתיחה

ביום א', שתיים בנובמבר 1956 התחלתי לעבוד ב - אמ"ת ("אגף מחקר ותכון" של משרד הביטחון, לפני שהשם שונה ל"רשות פיתוח אמצעי לחימה" - רפא"ל). אם משהו היה אומר לי באותו היום, שאני מתחיל תקופה משמעותית ביותר בחיים שלי, שתמשך 37 שנים, כנראה שבקושי הייתי מאמין לו. גם לא חשבתי אז על כך, שדי מהר אשתכנע שזו הדרך שבה אוכל לתרום באופן מיטבי את תרומתי לביטחון המדינה ושעבודה זו תהיה אחד התמריצים לכך, שבמשך כל השנים הבאות ארגיש מחויב למסירות טוטלית לעבודתי - אפילו אם זה ידרוש פשרות מסוימות בין מסירותי למשפחה ומסירותי לעבודה ברפא"ל. למעשה, עם חלוף הזמן, ההתחייבות שלי לעבודה הפכה בעיני גם חלק מההתחייבות למשפחתי - אחרי המלחמות שנכפו עלינו ולאור מבטי המפוכח על סיכויי השלום בעתיד הנראה לעין, אמרתי לא פעם שלא אוכל להסתכל לנכדים שלי בעיניים, אם לא אתרום ככל יכולתי לביטחון של המדינה, שאותה הם "יקבלו ממני בירושה".

מובן מאליו שאמ"ת בו התחלתי לעבוד, עם 250 עובדיו, כלל לא היה דומה לרפא"ל ממנה יצאתי לגימלאות בשנת 1993, כשהיא קרבה ל- 7000 עובדים. יחד עם מכון 3 (שהפך עם הזמן למכון דוד), גם אני עברתי שינויים והתפתחויות, צברתי ניסיון, העברתי מניסיוני לדורות הבאים של חברי לעבודה, אבל כמה גישות בסיסיות ועקרונות בעבודתי, יחסי האנוש בסביבתי הקרובה ועצם ראיית רפא"ל כחלק מחיי וביתי השני, לא השתנו גם בחילופי האווירה הכללית והשינוי בקנה המידה של הארגון. אולי זה סימלי, שמהפרסים וההצטיינויות שקבלתי במשך השנים, הקרוב ביותר ללבי היה ונשאר "פרס רפא"ל על העמדת תלמידים".

בפרק זה מספרי, שאני מפריד אותו כנספח, אני מתייחס כמעט אך ורק לקורותי ולעבודתי ברפא"ל. באותן 37 השנים, שהיוו חלק משמעותי מחיי, התנהלו במקביל חיי וחיי משפחתי, כולל לידת ילדי ונכדי, ואירועים חשובים נוספים. החלטתי להפריד בין שני הקווים המקבילים מכמה טעמים:

- לו הייתי "מדלל" את הפרק הזה באירועים המקבילים כרונולוגית, היה קשה לעקוב אחרי עבודתי ברשות, שגם כך תיאורה מאוד מוגבל בגלל בעיות ההקפדה על החשאיות הנדרשת.
- בפרק זה מופיעים פרטים טכניים ואירועים שאולי לא יעניינו חלק מהקוראים.
- אפילו קורותי בשבתונים, שהם לכאורה חלק של עבודתי ברפא"ל, מוזכרים כאן בעיקר מההיבט המקצועי. החיים המשפחתיים בחו"ל שויכו למהלך הכרונולוגי של הסיפור הכללי.

ההתחלה

מכון 3 היה כל כך אפוף סודיות, שלפי ההלצה, אם עליית לאוטובוס כדי להגיע לשם לראשונה, היית אומר לנהג: "אני לא יכול להגיד לך לאן שאני צריך להגיע, אבל תעצור לי, בבקשה, בתחנה על יד זה" והנהג היה עוצר עכורך ומכריז: "איני יודע לאן אתה צריך, אבל תעבור פה את הכביש ותלך שמאלה".

בצרוף מקרים נדיר, ביום ו' שלפני התחלת עבודתי במכון 3, בילינו אצל ידידים על הכרמל והגיעה לשם חברה שלהם - אביבה ברנע. כשסיפרתי על כך שביום א' אני מתחיל לעבוד במכון, היא אמרה שבעלה - מישקה, שגם הוא מהנדס מכונות, עובד שם כבר כמה שנים. וזה היה השם הראשון של עובד במכון שהכרתי.

כשהגעתי בבוקר למכון, הפנו אותי לשטח מחקר מכניקה. ומי קיבל שם את פני? כמובן, זה שהכרתי את שמו כבר לפני יומיים - מישקה ברנע. בראש השטח עמד מויה אפשטיין ומישקה היה סגנו. אני חושב שלא היתה יכולה להיות לי כניסה טובה יותר לעבודה, מאשר השתלשלות העניינים כבר בהתחלה. גם מבחינה אישית וגם מבחינה מקצועית לא יכולתי אפילו לחלום על התחלה יותר מתאימה לי, ממה שפגשתי באותו היום במכון 3.

היחסים שלי עם מישקה התחילו מצוין מהמפגש הראשון והמשיכו, והשתפרו יותר ויותר במשך כעשרים שנות

עבודה בקרבה מידית ועוד שנים רבות כשמישקה עבר לחטיבה אחרת והיו בינינו יחסים וכבוד הדדי, הן במישור העבודה והן במישור המשפחתי. בתור דוגמה קטנה אביא שיחה שהיתה בינינו כשנתיים אחרי תחילת עבודתי: דנו באיזו בעיית עבודה ואני רציתי הכרעה של מישקה. הוא רצה שאני אחליט לבד ואז אמרתי לו: "אבל אתה הבוס!". תשובתו הקצרה היתה: "אני לא הבוס שלך, אני חבר לעבודה". סה"כ הוותק שלו בעבודה היה פי שלושה ויותר מהוותק שלי. הוא גם היה סגן ראש השטח, כשאני רק מהנדס מתחיל, אבל הוא באמת היה בעיקר חבר לעבודה. לגבי מויה, הכרנו כאשר לי היתה לגביו יראת כבוד, מהרגע שלמדתי את מה שהוא עושה ואיך שהוא עושה את זה ובעיקר מה הידע וכושר הלימוד שלו. מעניין שהיחסים האישיים בינינו התפתחו והתחממו דווקא אחרי שפרשנו מהעבודה, שנים יותר מאוחר. אבל כמו אז ועד עצם היום הזה, אני מאמין שמויה היה המהנדס הטוב ביותר שאי פעם עבד ברפא"ל (אני מוכרח לסייג את דברי בזה שפרשתי לגמלאות כבר לפני יותר מעשרים שנה, ואיני מכיר את הדור החדש במכון. אך אם צמח שם משהו המשתווה או אולי עולה על מויה, הרי זה מקרה שממש חורג מתורת הסיכויים - שבמקום עבודה אחד, יצמחו יותר ממהנדס אחד ברוך כישרונות והישגים עד כדי כך).

מכל מקום, כל אלו שהזכרתי כאן בשמותיהם: מויה, מישקה ואביבה, כבר אינם בין החיים. לי זה, כמובן, עצוב מאוד ולגבי זו אבידה אישית גדולה. אבל מה שמנחם אותי במקצת הוא ששלושתם, כל אחד בדרכו, נפטרו לאחר הישגים רבים מאוד ותרומה משמעותית מאוד למדינה ולחברה בישראל, ומה יותר מזה יכול בן אדם לאחל לעצמו? כבר בתחילת הכתיבה של הפרק הזה, על שנות עבודתי ברפא"ל, נפלתי בפח שקיוויתי להימנע ממנו - התחלתי בהתייחסות ישירה לחברים לעבודה תוך ציון שמותיהם. כנראה שגם בהמשך לא אוכל לגמרי להימנע מזה, למרות שבכתובים של חברים לעבודה, ראיתי כמה מסוכן הדבר. כנראה שאי אפשר בסקירת עבודה שנמשכה כל כך הרבה שנים ונעשתה לרוב בצוותים, לעתים של עשרות אנשים, להזכיר את כולם. קשה להעריך בדיוק מה חשיבות התרומה של כל אחד - התרומה הסגולית, ולא פחות חשוב - התרומה שלו בעיניו! ובכן, זה שדה מוקשים שאליו נכנסתי, למרות המסקנה שהסקתי כבר לפני זמן רב: אם אתה מזמין למסיבה 3 חברים, יש לך לפחות 6 - 9 נעלבים. אם תזמין 10, תרוויח 20 - 30 נעלבים וכן הלאה. אותו הדבר הוא בהזכרת אנשים שתרמו למשימות ולפרויקטים בעבודה. כנראה שעם כל רצוני להימנע מלהסתבך יהיו שמות שכן אזכיר, כי היו בין חברי לעבודה שהצטיינו באופן יוצא מן הכלל, או כאלו שהיו להם הברקות שממש אי אפשר לא להתייחס להן. בכל אופן אשתדל להימנע משגיאות שקרו לחברי. למשל, חבר שכתב על עבודתו ותרומתו הרבה לרפא"ל. הוא פירט כמה וכמה מהישגיו וכדרך אגב גם ציין כמה שמות. מאוד התפלאתי שהוא הזכיר גם את שמי: "סעדיה צייר יפה מאוד" - כשהוא דיבר על הצעות פרויקטים. לא צחקתי מזה, למרות שזה בא כאילו לסכם כמה שנים של עבודה רצינית משותפת. כולל הקמת שתי יחידות מקבילות ברשות, וכשהנהלה החליטה לאחד אותן, והציעה שנחליט בינינו מי ינהל את היחידה המשותפת, אני בחרתי להיות מהנדס המחקר הראשי ושהוא ינהל. "הציורים היפים" שלי כללו כמה הצעות של פרויקטים בהיקף גדול, שבוצעו אצלנו למען צה"ל, או שצה"ל התלבש על הרעיון וביצע את זה בעצמו.

דוגמה נוספת: מויה בספר זיכרונותיו הרחיב את הדיבור על פיתוח טיל "הלוז" (ראה להלן). מכל הצוות הגדול שעבד איתו, הוא הזכיר בשמותיהם רק שני טכנאים ומהנדס אחד. בשיחה איתו אחרי צאת הספר ציינתי שאני רואה את זה כמחמאה גדולה לעבודתי בפרויקט - כי אני פיתחתי ובניתי את ציוד העזר להרכבה, להובלה, לשידור ולשיגור - קרקעי, ימי ואווירי. מסקנתי היתה, שאם מויה לא שם לב לעבודה הרבה שהושקעה והיא הצליחה עד כדי כך, שהוא בכלל היה פטור מלחשוב על כך, ולכן לא זכר את זה בכותבו את הספר - אז כנראה שבאמת הצלחתי.

עם כניסתי לעבודה הוצבתי, כאמור, לצוות שעבד על פיתוח "הלוז" - הטיל הנהוג הראשון שפותח בישראל והוא יועד ללוחמת קרקע - קרקע, ים - ים, אוויר - קרקע. למעשה המערכת אז עוד היתה בשלבים המוקדמים של הפיתוח: תצורות שונות של מנועים רקטיים, שיטות ניהוג/ביות שונות וכו'. הטיל עוד כונה ג-26 ואחר כך ג-25, אך מאחר

ואני טיפלתי בעיקר בצידור העזר, והתצורה החיצונית נשארה דומה מאוד בפתרונות השונים, אני משתמש בתור שם המשפחה כולה, בשם - "לוז". בבואי נעשו הכנות לירידה לניסוי ירי בנגב. היתה החלטה להוריד את המכלולים הראשיים בנפרד ולהרכיב אותם בשטח הניסוי. התבקשתי להכין ארגזי הובלה מתאימים. די מהר הגעתי למסקנה שהכי מהר וזול יהיה לעשות את הארגזים מעץ - מה עוד שבמכון היתה אז נגריה מצוידת היטב.

לכאורה היתה זאת עבודה אלמנטרית, אך בעבודתי הראשונה הזו קבעתי לי כמה עקרונות יסוד, שליוו אותי אחרי כן במשך שנים. אני חושב שעד אז בכלל לא נחשפתי למושג "הנדסת אנוש" (Human Engineering). כבר בתחילת התכן הרגשתי אינטואיטיבית, שאפילו בארגז תובלה, כדי שיבטיח עבודה אמינה של הצוות המטפל, צריך למצוא פתרונות פשוטים ונוחים להפעלה, שגם יקצרו את זמן העבודה. הרגל שפיתחתי כבר אז, היה בעיני רוחי לעבור על כל שלבי ההרכבה והתפעול. עם הזמן ניסיתי גם לחנך לכך את האנשים שעבדו אתי. נהגתי לומר: "תעצום את העיניים ותעבור על כל שלבי ההרכבה (או היצור של החלק)". דרך חשיבה זאת הובילה אותי להפוך את התצורה הנהוגה של ארגז עם מכסה, לכך שהמכלול חובר לתחתית שטוחה שמילאה את כל תפקידי החוזק וכללה את ידידות הטלטול ואזני ההרמה. הארגז כולו הפך למכסה קל, ללא דרישות חוזק. היו ידידות כדי להרים אותו ולסלק אותו מעל המכלול, שנשאר עומד על התחתית עם גישה נוחה מכל הצדדים ובלי צורך לשלוף אותו מתוך ארגז עמוק. אז למדתי גם לחפש כל מיני סגרים וידידות סטנדרטיים הניתנים לרכישה מן המוכן. למהנדס מתחיל כל אלו היו תגליות חדשות. חוץ מזה, מאחר ולוח הזמנים היה קצר מאוד לקראת ניסוי שכבר נקבע, למדתי מיד את יתרונות הקשר הישיר עם בתי המלאכה ועם העובדים שהופכים את השרטוט שלי למערכת המתוכננת.

עבודתי השנייה היתה כבר הרבה יותר רצינית. תם "עידן העץ" והוטל עלי תיכון של משגר לטילים בשדה הניסויים. מישור לפני תכנון משגר בצורת שער שֶהֵטִיל מותקן בו מתחת לקורה העליונה שלו. המבנה היה כבד מאוד, ולמרות זאת הוא היה לא יציב. היה גם קושי רב להרים את הטיל מלמטה ולהשחיל את "הפטריות" (רגליות השיגור) שלו לתוך פסי המשגר המדויקים. נדרשה קבוצה של כמה אנשים שהרימו את הטיל בידיהם. לתאם ולפקד עליהם היה כמעט בלתי אפשרי. (זכור לי מקרה כשאברהם לוי הגדול והחזק, נכנס מתחת לטיל כדי לתרום להרמה בכתפיו. בגלל טעות בפיקוד, איכשהו כולם עזבו את הטיל לפני שהוא חובר למסילות. למשך כמה שניות נשארו על כתפיו של אברהם לבדו, יותר מ-400 ק"ג. היה מזל גדול שהאנשים תפשו חזרה את הטיל והציילו את גבו של אברהם ואת הטיל המוכן לשיגור).

משגר השער שלי, שהיה קל בהרבה היה יציב בכל הצירים, בגלל מסבך מרחבי משלושה צינורות ברגלים, וקורה עליונה מצינור מים בקוטר מתאים, שהחליף את המסבך האימתני הקודם. מאחר והשער הובל לשדה הניסויים כשהוא מפורק, כל רגל בתכן שלי, חוברת לקורה ע"י 3 ברגים בלבד. מכיוון שידעתי שיהיה קשה לכוון את החלקים למקומם בתנאי שדה, הכנתי חורים נוספים ובעזרת מוטות עם קונוס (או מברג גדול) אפשר היה לכוון ולהצמיד את החלקים בדיוק, כך שהכנסת הברגים למקומם היתה קלה ומהירה. אך השוני העיקרי היה בכך, שבמקום להשחיל את הטיל למסילות השיגור מתחת לשער, תכננתי קורת שיגור שאותה אפשר היה בקלות רבה להתקין על הטיל המונח על עגלה. כל חיבורי הנצרות והחשמל נעשו בנוחיות מירבית. לקורת השיגור היו שני פתחים לאונקל של מנוף הרמה - אחד במרכז הכובד של הקורה בלבד והשני, של הקורה עם טיל. מרכז הכובד היה במקום שככל ההרמה לא נתקל במבנה השער. הקורה עם הטיל חוברת בקלות וללא צורך בשום הכוונה עדינה והתחברה לשער בעזרת שני אומי גלגלון - ללא צורך במפתח או כלי יעודי אחר. גם זווית ההגבהה הדרושה לירי כוונה על ידי גלגלונים, ללא צורך בכלי עבודה. גלגלון אחד קבע את הזווית והשני ביטל את החופשים וקיבע את הזווית באופן פוזיטיבי. נכנסתי כאן לפרטים טכניים, שבוודאי שיעממו כל מי שאין לו גישה טכנית, אבל התעכבתי על זה, כי זאת היתה למעשה "עבודת התואר" הראשון שלי ברפא"ל, שהחזיק תקופה די ארוכה. קראו לי בתערוכת של יידיש ואנגלית: "לְאוֹנֶצֶ'ר מַאָכֶעֶר" (Launcher - משגר. "עושה משגרים"). אחרי כמה עבודות שאמנה בהמשך, הדפיסו עבורי כרטיסי ביקור לקשרים עם חו"ל, בהם כבר הופיע התואר: Chief Engineer - Ground Support Equipment.

בכרטיס זה זכיתי אחרי שתכננתי משגר מבצעי נייד, לזוג טילים מותקן על נ.נ. צה"לי, לשימוש בלוחמת קרקע-קרקע וקרקע - ים. משגר לניסויי ירי לזוג טילים מסיפון המשחתת "אילת", שכלל גלגלות הרמה פנימיות לכל טיל וקורת השיגור שלו (לא היתה שום אפשרות למנוף הרמה באותו האזור על המשחתת, כך שבלב ים לא היתה דרך אחרת לטעון את הטילים). פיתחתי גם משגר ימי מבצעי שאף היווה אמצעי אחסון הטיל באווירה מוגנת בתנאי הים. כמו כן גם משגר לשיגורי אויר קרקע, ממטוס דקוטה. בנוסף תכננתי גם את רכב השידור של פלגת "הלוז", אנטנות כיווניות מתקפלות וכ"ו. כל הפרויקטים האלו כללו, כמובן, גם הכנה ליצור וליווי כל שלבי היצור וההרכבה, ואימון צוותי הפעלה. אני מאמין שעל פירוט כל מיני מכלולים חדשניים בכל הנ"ל, אפשר היה להוציא ספר לימוד, או לקיים קורס תכן למהנדסי מכונות. בהשתלמות שלי ב-MIT בארה"ב, שנים יותר מאוחר (ראה בהמשך), לקחתי גם קורס בהנדסת אנוש. כעבודת גמר הקורס כתבתי על פקדים מכניים מאובטחים נגד הפעלה בשגגה. הפרופסור מאוד התלהב והציע שנפרסם Paper על הנושא הזה בספרות המקצועית. אך מועד שובי ארצה כבר התקרב והעדפתי חזרה ותרומה לטובת ביטחון המדינה על פירסום אקדמי/מקצועי, לכן וויתרתי על ההצעה.

בעבודה על המערכות הרבות והמגוונות שחלקן מוזכרות רק בשמן, נתקלנו בבעיות טכניות ובעיות טכנולוגיות שממורי בטכניון ומהממונים המנוסים שלי במכון אף פעם לא שמעתי. אחת מהן היתה - הידבקות מתכות. בין סגסוגות אלומיניום, בעיקר רכות, לבין עצמן ובין סוגי פלב"ם למיניהם, גילינו בדרך הקשה, שיש תופעה של הידבקות. לפעמים כינינו את זה - ריתוך קר. מדובר על כך שכאשר חלקים מאותה סגסוגת, נעים חלק אחד לעומת השני, בהתאמה עם חופש קטן (מוט בתוך תותב, בורג בתוך אום וכדומה), הם פתאום נתפשים וכל ניסיון להיזז אותם רק מגביר את "ההידבקות". למדתי את זה בדרך הקשה: קבלתי טכנאי חדש ולאחר תהליך הקליטה המנהלי, הבאתי אותו לבית המלאכה וביקשתי ממנו להרכיב אנטנה פינתית מתקפלת. השלב הראשון הצריך להכניס לתוך קצות 2 מיבנים העשויים מצינורות אלומיניום מרותכים, חלקים מעובדים שישמשו כצירי סיבוב ונעילה באנטנה. כדי למנוע קורוזיה החלקים היו מסגסוגת זהה או קרובה. הערכתי שהעבודה תמשך לא יותר משעה (כולל קידוח חורים והכנסת פינים, כך שהחיבור יהיה פוזיטיבי). אחרי כמה שעות שמת לי לב שהטכנאי החדש עדיין לא חזר עם האנטנה שהיה עליו להרכיב. ניגשתי לבית המלאכה ובקושי האמנתי למראה עיני. החלק החרוט היה תפוש במלחציים והטכנאי, שהוריד את חולצתו וכולו נטף זיעה, ניסה בכל כוחו לסובב את המכנה המרותך שהוא השחיל על החלק החרוט. הוא הרגיש רע מאוד כשהוא חשב שבעבודתו הראשונה הוא עשה "פשלה" כל כך חמורה, אבל היה צורך לסובב את החלקים ביניהם בערך ב- 20 מעלות ושום כוח שהוא ניסה להפעיל לא היזז את זה בכלל. הוא אפילו לא שם לב שעם כל ניסיון תזוזה, החלקים נתפשים יותר חזק. בעצם בחלק של הצינור שהיה מושחל על המוט, כבר ראו מבחוץ שישנם כאילו גרגירים בין החלקים. על פני הצינור שקודם היו חלקים, נראו בליטות רבות. בדרך הקשה והמביכה למדנו שבסגסוגות קרובות של אלומיניום, כשיש התאמה טובה, גם אם השטחים הם לכאורה חלקים מאוד, הרי בקנה מידה מיקרוסקופי ישנן בליטות ושקעים. כששתי בליטות מהחלקים המותאמים נוגעות/לוחצות אחת על השנייה, הן נדבקות זו לזו - ממש כאילו רותכו יחד. כל תנועה נוספת גורמת להן להתנהג כמו כדור שלג, שאם מגלגלים אותו, הוא הולך וגדל. את אותה התופעה גילינו גם בין סוגי פלב"ם, כשעשינו בורג משיכה ואת האום שלו מאותו החומר. באותו הזמן אף אחד במכון לא הכיר את התופעה ולא הזהיר אותנו. בעצם, נפגשנו בזה גם בארה"ב. פנינו ליצרן פקקונים - Lee Plugs, שמשמשים בין היתר, בסעפות הידראוליות, כדי לאטום קדחים שהיו דרושים רק בזמן היצור. בקשנו פקקונים כאלו מפלב"ם ולא מאלומיניום, כפי שהוא יצר בכמויות ענק באופן שוטף. הפקקונים היו בצורת כוסית חיצונית שבתוכה הוכנס חלק קוני ובמכות פטיש היה מנפח את הכוסית וגורם לאטימה מלאה. פקקוני האלומיניום עברו אנודיזציה שהקשתה את פני השטח והם עברו מצוין. בפקקוני הפלב"ם, כשניסינו להכניס את החלק הקוני הוא נדבק כבר בראשית הכנסתו לכוסית ולא קיבלנו

אטימה. אחד האנשים שלנו שנסע לארה"ב ניגש לחברת Lee Plug וגילה להם, לתדהמתם, את הכשל. אבל אנחנו כבר ידענו ולימדנו אותם להימנע ממנו. בעזרת המעבדות במכון גילינו שגריז מוליבדן-די-סולפיד מונע את ההידבקות. סה"כ זה עוד משהו שממנו אפשר ללמוד את המסובכות של פיתוח מערכות עם דרישות מרחיקות לכת, שלעיתים נוגדות זו את זו. במקרה זה בחרנו חומרים קרובים, כדי למנוע קורוזיה בתנאי סביבה קשים ואז נפלנו בפח של הדבקות מתכות, שלפני כן לא שמענו עליה מאף אחד (כמו שאומרים: "ליפול מן הפח אל הפחת").

בקשר למשגר הקרקעי המבצעי אביא כמה קוריוזים:

בגלל הצורך הרחוק במשגרים לפי תוכניות הניסויים וההעברה לחיל התותחנים, נדרש יצור מהיר. בית המלאכה במכון 3 לא יכול היה לעמוד בלוח הזמנים ההכרחי. לכן הוחלט שהיצור יעשה בתעשייה האווירית. העברתי את שרטוטי העבודה והתחלתי לנסוע לתע"א כמה פעמים בשבוע כדי לפקח על התקדמות היצור. שם נתקלתי בפעם הראשונה במושג של Aircraft on Ground (AOG). זאת היתה מילת קסם בבתי המלאכה של התע"א - אם מטוס מקורקע מחכה, מפסיקים כל עבודה אחרת כדי למלא את דרישות תיקון המטוס. לגבי עבודות פנימיות בתע"א הם למדו להשתמש בביטוי הפלא הזה לקידום עבודות שונות. בתחילת דרכי שם, נאלצתי לא פעם להיכנע ל-AOG. עם קשירת הקשרים שלי בבתי המלאכה, למדתי לתמרן בין העבודות הרחופות שלהם. בעיקר למדתי לנצל את המצב כשבמחלקת יצור כלשהי הופיעו מספר עבודות AOG בו זמנית, הייתי ממריץ את ראש המחלקה לפנות להנהלה שתברר ותקבע קדימויות בין העבודות הרחופות המתחרות, ובינתיים הייתי מנצל את זמן הבריורים שהעבודה שלי תקודם מהר ככל האפשר. כך הגעתי ליום שהמשגר הראשון הושלם. נקבע שעד סוף היום הם משלימים את הצביעה הסופית ולמחרת אבוא עם נהג שיסיע את המשגר למכון. למחרת בבוקר נמסרה לי המערכת והם עוד ציינו לטובה, שהצבע כל כך מסור, שהוא נשאר בלילה וצבע את הצמיגים בשחור - כלי חדש חייב להראות חדש כולו. יצאנו לדרך, כשהמכונית בה נסעתי מלווה את המשגר מאחוריו. אחרי 30 - 20 ק"מ שמנו לב שאחד הגלגלים האחוריים במשגר מתנדנד. כמאמץ הצלחנו לעקוף את המשגר הדוהר ולעצור אותו. לתדהמתנו גילינו שאומי הגלגלים השתחררו והגלגלים כמעט התפרקו בנסיעה. הצבע היה טוב ומסור במקצועו, אבל מוסכניק הוא לא היה וחסר מעט מאוד שנשאר ללא משגר ואולי גם ללא הנהג שלו.

באותה התקופה היה פרופ' ארנס מנהל חטיבת ההנדסה בתע"א. הוא ראה את המשגר הנבנה בבית המלאכה שלהם והכריז שהוא מוכן על חשבון התע"א לתכנן ולבנות אב טיפוס של משגר יותר פשוט ויותר טוב. נתנו לו את כל הנתונים הדרושים ואחרי עבודה מאומצת הם הביאו למכון את פאר יצירתם. כבר בבדיקה ראשונית גיליתי שאפשר לשגר מהמשגר של התע"א את "הלוז" במגבלה אחת - חייבים לפרק לטיל שניים מארבעת ההגאים שלו... בנוסף לזה, המשגר היה עילי ומתקן טעינה להכנסת הטיל בין המשגר ובין מבנה הרכב היה הרכה יותר מסובך מהמשגר שאני תכננתי, עליו הונח הטיל מלמעלה בעזרת מתקן הרמה כלשהו. היה לנו במכון מחסן מס' 2, שהיה לו כינוי של "הלוקו הכי נאמן שלנו" - הוא היה קולט את כל תקלות התכן והשגיאות. ביניהם תפס המשגר של התע"א, שבגלל צורתו קיבל את הכינוי "מכבש זיתים", מקום מכובד. בעצם גם אני נאלצתי לפתח משגרים עיליים (בהם הטיל נתלה מלמטה, מתחת למשגר), אך פתרון הקושי שזה עורר, היה חלק מהתכן המערכתי. במשגרים הימיים - במשגר הניסיוני היתה, כאמור, כננת פנימית להרמת הטיל עם קורת השיגור כדי לתלותם מלמטה. במשגר המבצעי, בתצורת ארגז, עמדה לרשותי רצפה חלקה. התקנתי עליה זוג פסים ואת הטיל עם קורת השיגור שלו היו מרכיבים בנוחיות מחוץ לארגז, על גבי עגלה יעודית המותאמת לפסים שבפנים. את העגלה עם המכלול של הטיל וקורת השיגור היו דוחפים פנימה עד שפינים קוניים היו מתחילים להרים את קורת השיגור. באותו השלב התחבר בורג מושך, שהיה ממשיך לקדם את המכלול עד שהעגלה שלמטה השתחררה ונמשכה החוצה והמכלול ננעל במקומו באופן פוזיטיבי ומדויק, בהתאם לצרכי העמידה ברעידות הספינה והשיגור. גם המשגר על מטוס דקוטה היה כמובן, עילי. במקרה



בסלון בפריז עם יונתן מס ומנחם סידר. לפי סוגי הטילים ברקע זה בתחילת שנות השישים

זה השתמשתי בעגלה הידראולית של חיל האוויר, שעם מתאמים למבנה הלוח, שמשו להסעה למטוס ולתליה.

מקור ידע חשוב בשבילי, לגבי טילים, ציוד עזר ושיגור עבורם, היו הביקורים הדו-שנתיים בסלון האווירי בפריז. כבר בשלב די מוקדם של עבודתי ברשות, הצליחו לצרף אותי למשלחת חיל האוויר לסלון. בהתחלה התנאים של הנסיעות האלו היו מאוד פרימיטיביים. זה כלל טיסה במטוס תובלה נורד, שארכה 8 שעות עד נחיתה ביניים באיטליה ועוד 8 שעות לפריז, כשאנחנו ישבנו והיטלטלנו על אלונקות שניתלו מהתיקרה. עם השנים התחלנו לטוס לפריז "כמו בני אדם". מכל מקום, סיור מעמיק בין מערכות שאצלנו טרם פיתחו כמותן, היווה חומר חשוב למחשבה ולימוד. בשנים יותר מאוחרות המרצתי את המהנדסים שעבדו אתי שישעו לסלון בפריז. בהכנה לנסיעתם הייתי מדריך אותם, שבביקורים ינסו לשפר את ידיעתם לגבי - מה לעשות, אך שגם ינסו ללמוד מה לא לעשות! שהביקורת שלהם לגבי מערכות

מבצעיות שאחרים פיתחו, תראה את הפתרונות הטובים, אך גם - מה אפשר לעשות טוב יותר. המשכתי בנסיעות לפריז לאורך שנים ואחרי כן, כשעיסוקי הראשי היה בלוחמת יבשה, היה לי מזל שלסלון האווירי שארך שבוע, צרפו בשבוע אחרי זה את "סאטורי" - תערוכה דו שנתית של לוחמת יבשה, שהתקיימה בסביבות וורסאי.

כמות העבודה על המערכות, שרק לחלקן הקטן התייחסתי לעיל, ועוד במגבלות זמן, אי אפשר לבצע לבד. לכן די מהר אחרי התחלת העבודה, קבלתי לעזרתי מספר מהנדסים וטכנאים. באחד הימים פנה אלי מישקה בפליאה: "יש לך כבר קבוצה כל כך גדולה של אנשים ואתה עובד בהיקף כזה - איך זה שאין לך עדיין אפילו מינוי של ראש מדור?" מישקה דאג לזה שאקבל מינוי רשמי בהקדם. הדבר חזר על עצמו עם מינוי לראש תחום ולראש מחלקה. אני בכנות מלאה חזרתי ואמרתי שאת הסיפוק שלי אני מקבל מהעבודות שיוצאות מהקבוצה שעובדת אתי ומהצלחת המערכות המוכנות שאנו מספקים לצה"ל ולא מהתארים, שאמנם אינם מזיקים, כי הם מביאים איתם תוספת שכר, אבל בשביל הכסף לא הייתי משקיע מאמץ רב כל כך.

במקביל גם קודמתי בדרגות דירוג המחקר במהירות רבה יחסית - עד דרגה א', שנחשבה לדרגה בכירה (מקבילה לפרופסור משנה בטכניון). בוועדה לדרגות בכירות היה מישהו שהתאמץ להכשיל את הקידום שלי, אבל כמו במינויים לתפקידי ניהול קבוצות תכן, גם כאן - אף פעם לא יחסתי לזה חשיבות והשארתי את זה לטיפולם של ראשי שטח המחקר, שלא הכזיבו אותי הן בקידום לדרגה א' ואחרי כן לדרגה העליונה +, המקבילה לפרופסור, שבה שהיתי ב- 17 השנים האחרונות של עבודתי ברפא"ל.

בעצם, לגבי דרגת הכניסה בכואי לאמ"ת, כן הייתי מעורב. באותם הימים, כשההסדרות התחייבה בפני משרד הביטחון, שברפא"ל לא תהינה שביתות ורפא"ל התחייבה לקבל את הכרעות ההסדרות בכל הנוגע ליחסים עם העובדים, הקשרים של הועד שלנו עם ההנהלה היו חייבים לעבור דרך ההסדרות. מאחר ובאוניברסיטאות לומדים לתואר ראשון רק 3 שנים, הוחלט שבוגר אוניברסיטה יתקבל לרפא"ל בדרגה ה'. רק בעל תואר שני יתקבל בדרגה ד'. מאחר ובטכניון למדנו לתואר ראשון 4 שנים, נראה היה לי לא צודק שלא נקבל מיד בכניסה לעבודה דרגה ד'. לכן נכנסתי לוועד ונרתמתי להילחם על זכות זאת. מכיוון שהקשר עם ההנהלה שלנו התנהל בתיווך ההסדרות

ומאחר ובאופן מסורתי הוועד יצג את דירוג המחקר ואת הטכנאים כאחד (למרות השוני באינטרסים ובתפקידים) נראה היה לי שאין אפשרות לפעולה נורמלית של וועד כזה. אחרי שהצלחנו להשיג את דרישתנו לגבי דרגת הכניסה של בוגרי הטכניון, יזמתי את פרוק הוועד, מבלי למנות וועדת בחירות. נשארנו במשך כמה שנים ללא וועד וממש היה לנו טוב, כשבכל בעיה פנינו ישירות להנהלה, או אף למנכ"ל (רפא"ל עוד היתה מוסד לא גדול). לימים מוניה מרדור, המנכ"ל באותם הימים, החליט שלא יתכן שבמוסד ההולך ומתפתח לא יהיה וועד מייצג לקבוצת העובדים הכי חשובה. אחרי כמה ביקורים בנושא זה, מוניה הצליח למצוא מתנדבים לוועדת הבחירות ונבחר וועד לדירוג המחקר – אלא שהוא כבר קם על העקרונות אליהם שאפתי לפני פירוק הוועד הקודם: הוא היה נפרד מוועד הטכנאים ולא נזקק לתיווך ההסתדרות.

פיתוח ה"לוח" בתצורותיו השונות וציוד הקרקע עליו הייתי אחראי, דרשו ניסויי שדה רבים. ניסויי ירי של טיל כל כך גדול (יחסית) וטווחים של 20 ק"מ ויותר, לא יוכלו להתבצע במרכז הארץ. סדרות הניסויים הראשונות קוימו באזור מצפה רמון ואחרי כן הועברו עוד יותר דרומה – למישור. במצב מערכת הכבישים באותם הימים, הנסיעה היתה אורכת יותר מ-10 שעות. והיה צורך לשנע כמות גדולה של ציוד, כי כל ציוד ההסרטה המהירה והכלים למעקב על הטיל במעופו, הובאו, בגלל חוסר שדה ניסויים קבוע, בכל פעם מחדש. לכן היו מקבצים כמות ניסויים גדולה למדי והיינו יורדים לשטח לשבועיים ויותר. מחנה האוהלים שהיה מוקם, סיפק תנאים סבירים לאותם הימים – כשעל מיזוג אוויר במאהל הלוהט בקיץ, איש אפילו לא חלם. הקושי העיקרי, כאשר טלפונים ניידים היו עדיין מדע בדיוני, היה הנתק מהמשפחה לימים רבים כל כך. מה עוד שזאת היתה תקופה שלרבים מאנשינו נולדו הילדים הראשונים. רק אחרי מספר שנים של ניסויים חיברו לנו בשטח טלפון חוטי (נל"ן – טלפון מנקודה לנקודה). זאת היתה ממש חגיגה ליוצאים לניסוי וועד יותר לנשותיהם שנשארו לטפל בתינוקות. בעקיפין, השהיה והעבודה המרוכזת בתנאי המדבר, שימשו לגיבוש חברתי ולהעמקת חברויות אישיות. לגבי צוותי העבודה שעבדו אתי, זאת היתה רק תוספת ליחסי החברות וההיכרות הקרובה, בין העובדים וכל בני משפחותיהם, עליה שקדתי תמיד ובאופן שוטף. הרוח הטובה שהצלחתי להפיח ביחסים האישיים, מוצאת את ביטוייה עד עצם היום הזה – כעבור 50 – 60 שנה, כשרבים מהעובדים אתי פיתחו חברויות אישיות ומשפחתיות.

כשהתחלתי לכתוב על עבודתי ברפא"ל חשבתי שהסיפור יהיה מילולי בעיקרו. בניגוד לרבים מחברי, אף פעם לא "נרחפתי לתוך תמונות". אפילו בניסויים שאני ניהלתי ובביקורים של אנשים בעלי שם, נמנעתי מלהנציח את עצמי איתם (חוסר מבט היסטורי?). לפיכך כשפרשתי מהעבודה כמעט לא היו ברשותי צילומים. כשהתחלתי לכתוב נספח זה החלטתי לחפש ולראות מה התפרסם במשך השנים בספרות הגלויה. מצאתי כמה וכמה צילומים, בהם נראו מערכות שאני פיתחתי בעיקר מתקופת הלוח בתצורות ההפעלה השונות שלו. סרקתי את התמונות מתוך הספרים וכמובן קיבלתי תוצאות ירודות מאוד (בעיקר מכיוון שיטות הדפוס בזמן הוצאת הספרים). מאחר ורציתי לגוון את הכתיבה באיורים, ככל שדרישות החשאיות מרשות, עלה בדעתי לפנות לראובן שהוא גם אוצר מוזיאון רפא"ל וגם חבר. נעניתי בשיתוף פעולה וברצון מצויינים, למרות שמדובר בחיפוש במקורות מלפני יותר מ-50 שנה. ראובן הצליח לגייס שניים מהצלמים הוותיקים שכבר מזמן פרשו לגימלאות ועכשיו תורמים לרשות מזמנם בהתנדבות. הם התנדבו לחטט במה שניצל מארכיוני הפילמים והתמונות מאותם הימים ולסרוק עבורי צילומים רלוונטיים. אחרי מאמץ והשקעת זמן רבים, ראובן העביר לי תקליטור עם אוצר היסטורי ממש. כמובן שהחומר מלפני זמן רב כל כך היה בחלקו במצב לא טוב. כאן ניצלתי את כושר עיבוד התמונות שלי מהקריירה האמנותית ואני שמח שאני יכול להביא כאן כמה תמונות. הן מכסות בעיקר את התקופה הראשונה של עבודתי ברשות ואחרי כל כך הרבה שנים הן כבר לא מסווגות. עבודתי העיקרית בשנים הרבות אחרי כן, לא תוצג בתמונות עקב סיווג הבטחוני.

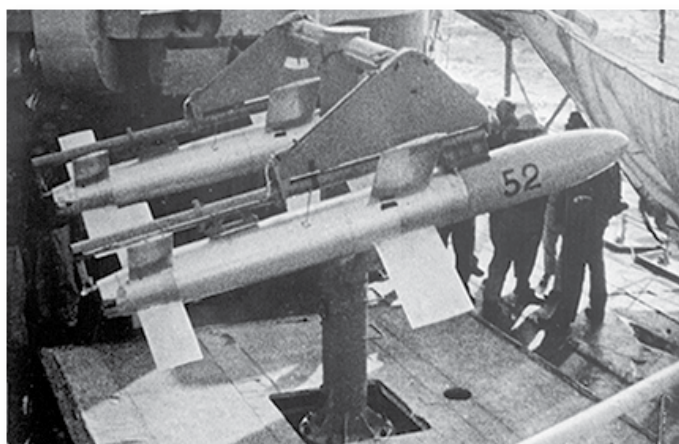
מקבץ תמונות משלבי הפיתוח והניסויים של הלוו להפעלה קרקעית, ימית ואוירית:



ניסוי ירי של הלוו. הטיל משוגר ממשגר יבשתי מבצעי כשמצידיו דגם פיתוח של המשגר הימי ו"משגר השער"



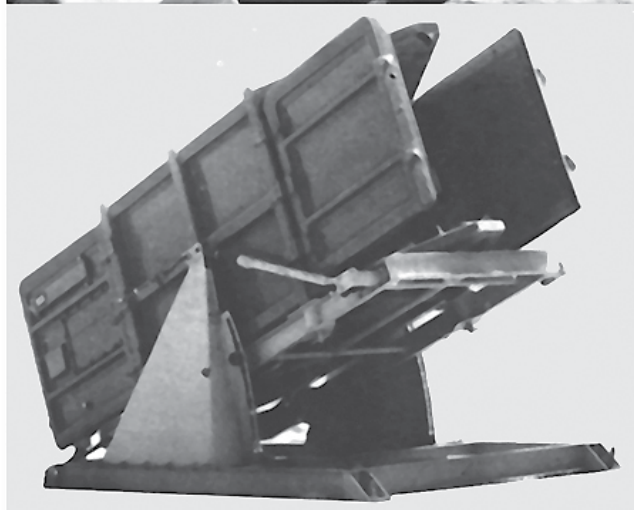
פלגת לוו פרושה בנגב



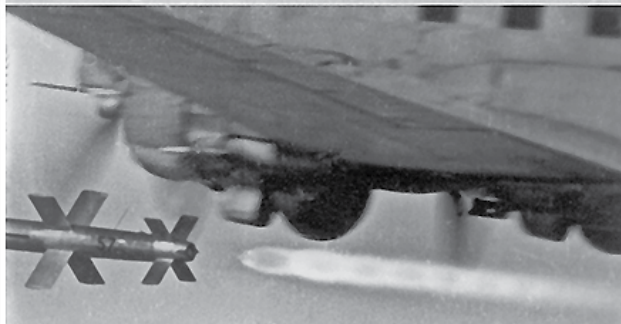
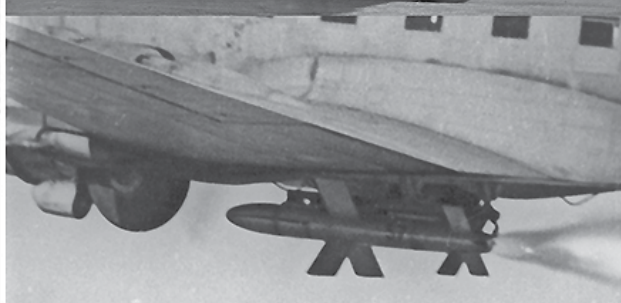
משגר לניסוי באח"י אילת



לוו ביחידת התותחנים



משגר ימי מבצעי



לז מורכב על דקוטה ומשוגר

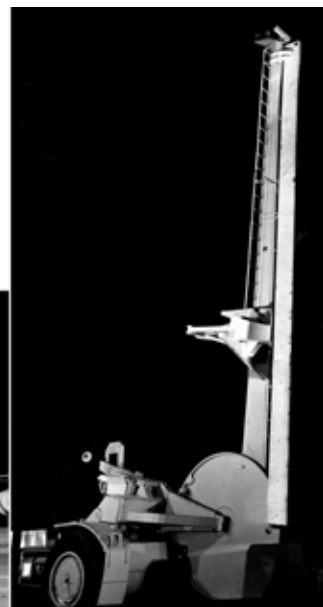


פעם אחת כן צילמו אותי - מסביר לאנשי צה"ל את פעולת המשגר הקרקעי

בהמשך עבודת הפיתוח נהייתי "מניצול הצלחה" של הקשרים שלי עם שלוש זרועות צה"ל מימי עבודתי על ציוד השיגור וציוד העזר של הלוח. המשכתי לעבוד בעזרת הצוות שלי עם חיל הים בתכן משגרים לרקטות הטעייה עבור הסטי"לים ועם חיל האוויר על נושאי פצצות ורקטות המותקנים מתחת לכנף. את נושאי חיל האוויר הצלחתי להעביר בשלב מוקדם למנחם שגם התמחה בנושא וגם הוכיח בגרות וכשרון בתכן. לגבי חיל הים – לפני שאנשי נכנסו לפרטי התכן, הצלחתי לשכנע את קציני הפרויקט של החיל, לוותר על משגר מתכוון לאחד משני כוונים קבועים מראש, בפיקוד מרחוק. מאחר והיתה להם מגבלה רצינית של משקל, הצלחתי להוכיח להם שאפשר בחיסכון ניכר במשקל ובעלות, להתקין כמות כפולה של רקטות, כשחציין מכוונות באופן קבוע לצד אחד וחציין לכוון השני. כמובן שפתרון כזה זול ואמין בהרבה ולא דורש מערכת פיקוד ובקרה.

במקביל לעבודות בהיקפים לא גדולים, קיבלנו חלק בפרויקט גדול מאוד – שבט ב'. הפעם השתתפנו גם בפיתוח מכלולים למערכת עצמה וכמובן בציוד העזר. היינו צריכים להכין ציוד לטלטול והרכבה של מקטעים גדולים וגם לפתח קורת הזקפה. בנוסף נכנסנו לענף חדש עבורנו: ציוד עזר לבית המלאכה, שעד אז לא התמחה בעיבוד גופים במימדים ובמשקלים כאלו.

בשביל לפתור את בעיית ההפעלה של הקורה הארוכה בזמן קצר ובמחיר נמוך כאפשר, הצלחנו לרכוש מעודפי הצבא בארה"ב, רכב ענק ששימש להם לפני כן בתפעול הטילים שלהם ואחרי הוצאתו מהשרות הוא נמכר לעבודות כריתת עצי ענק ביערות. השגנו את הרכב בזול והוא הגיע ארצה באונייה. אז הסתבר שבמדינת ישראל ישנו רק מנוף אחד, שמסוגל לפרוק אותו מהאונייה. זה היה המנוף הצף "שמשון". הוא תמרן בים אל האונייה, הוריד את הרכב שלנו על הסיפון שלו ואז שט ונצמד למזח כך שהרכב ירד לחוף בכוחות עצמו. לרכב המפלצתי הזה היו 4 גלגלים בקוטר של מטר בקרוב. כדי לאפשר לו לתמרן בכבישים למרות אורכו, היה היגוי גם בגלגלים הקדמיים וגם באחוריים. המעניין הוא שמנוע הדיזל שלו סה"כ הפעיל גנרטור וכל תפעול הרכב היה חשמלי. בכל גלגל היה מנוע משלו והפיקוד היה במפסקי חשמל קטנים (גם במקום הגה! למעשה: במקום הגה של הגלגלים הקדמיים והגה של הגלגלים האחוריים). במקום הילוכים היה ריאוסטט גדול (התנגדות חשמלית משתנה) וידית שצריך היה לסובב בכוון אחד או שני. למזלנו היו ב"סולל בונה" צוותים שידעו לטפל ברכבים עם הנעה חשמלית כזאת והם עשו לנו טיפול השְמָשָׁה רציני.



תמונה קטנה של מערכת גדולה

בניית ציוד העזר לבית המלאכה פתחה בפנינו אופקים חדשים מבחינת ההתמחות המקצועית שלנו וגם הכרות קרובה עם תהליכים טכנולוגיים של עיבוד גופים בדיוק גבוה, ריתוך אוטומטי ולחצנות, ולא פחות חשוב – היכרות קרובה עם המנהלים והעובדים של בתי המלאכה. עשינו מיתקני עזר לריתוך, לחריטה, לכירסום, ללחצנות ולטיפול תרמי.

לקראת סוף 1963 נסעתי מטעם רפא"ל בפעם הראשונה לארה"ב. לנסיעה היו כמה מטרות: ביקור רשמי, יחד עם מויה ומישקה, במטה נאס"א סוכנות החלל האמריקאית (תמונה בע' 426) וסיור מקצועי שלי במספר מפעלים העובדים למערכת הביטחון האמריקאית. בנוסף חיפשתי אפשרות לרכוש מחברי ניתוק חשמליים רבי פינים, להם הייתי זקוק בפרויקט בו עסקנו. בין היתר, נחתנו בארה"ב בערך בשעה שהנשיא קנדי הובא למנוחות וברחובות נראו הרבה אנשים בוכים.

בנאס"א התקבלנו מאוד יפה ע"י אנשי סגל בכירים שלהם. קיימנו דיון ממצה ועשו לנו גם כמה סיורים טכניים מעניינים. היתה לנו גם אפשרות להיווכח בכושר האירגון שלהם, כאשר במפגש הראשוני הגיע צלם שצילם אותנו עם המארחים ולקראת הפרידה קיבל כל אחד מאתנו מעטפה ובה תמונות שצולמו בבוקר (עדיין לא היה פולרואיד באותו הזמן) וכן צילום לוויין שבמרכזו ישראל – כאשר צילומי לוויין עדיין היו דבר נדיר.

הסיורים המקצועיים תרמו לי הרבה ידע חדש וחיוזוק לידע ולניסיון שצברתי בשנות עבודתי. בין המפעלים שביקרתי היתה יצרנית מערכת הטיל "הוק" (טיל קרקע אוויר שצה"ל רכש מהאמריקאים), שציוד השיגור וציוד העזר שלו עניינו אותי מאוד. על המשגר הקרקעי שלו היו 3 טילים מוכנים לשיגור. כדי לאפשר טעינה מהירה מחדש בעת לחימה, היה למערכת רכב טעינה זחלילי, שהיה טוען בפעולה אחת שלישיה חדשה של טילים. מבחינת התכן המכני עניינו אותי המשגר, מערכת הטעינה והתאום ביניהם. במקרה, זמן לא רב לפני נסיעתי לארה"ב הוצאתי רישיון נהיגה ועדיין לא היתה לי הזדמנות לנהוג. האמריקאים נתנו לי לנהוג ברכב הטעינה הזחלילי ויצא שזה היה הרכב הראשון שנהגתי אחרי קבלת הרישיון (ונסעתי יותר מדי מהר!).

לגבי הביקורים אצל היצרנים של מחברי חשמל, התעוררה עוד בזמן הכנת הביקור שאלה – איך אני אציג את עצמי ואת מה שאני עושה, כאשר אני מחפש מחברי ניתוק רבי פינים. הדבר נידון בין גורמי הביטחון וניתן לי אישור רשמי לומר שאנחנו מפתחים טילים – פשוט אי אפשר היה למצוא סיפור כיסוי כלשהו לצורך במחברים בעלי כמות כל כך גדולה של פינים. אחרי שלמדתי מה ניתן לרכוש ומה הם הפרמטרים החשובים עליהם ראוי להקפיד, חזרתי ארצה מלא מרץ להמשיך בעבודה. לא העליתי על דעתי שכמעט מיד עם שובי תחכה לי הפתעה: מסיבות ש"בפוליטיקה הגבוהה", נלקח הפרויקט הגדול מידי רפא"ל! הדבר גרם לזעזוע כללי ברשות. לנו, ביחידה שלי, היו נימוקים משלנו לצער רב נוסף, על שכניסתנו המוצלחת לעבודות במגוון כזה מבחינה מקצועית, בגדלים ובהיקפים כאלו, נקטעה באמצע.

ידועה האימרה "מאיגרה רמא לבירא עמיקתא" (מהר גבוה לבור עמוק). אצלי קרה משהו בדיוק הפוך: מהשפל אליו נקלענו, נכנסנו לפרויקט שלגבי מהווה כנראה את גולת הכותרת של עבודתי ברפא"ל. בשביל לא לפגוע במגבלות הסודיות, אני לא מתכוון להיכנס לפרטים הטכניים או המבצעיים של הפרויקט החדש (כמו שלא עשיתי גם לגבי הקודם). אשתדל רק לתאר באופן כללי את מה שאנשי ואני אישית עשינו במשך 8 השנים הבאות, כשהיחידה שלי התחילה בכמה עשרות אנשים והגיעה לקרוב ל-100 בעבודה ישירה על הפרויקט אצלי ועוד רבים מחוץ לרפא"ל. כציון מסכם לפרויקט הזה, שרוב הזמן עמדתי בראשו, אפשר לציין את העובדה שהוא זכה בפרס ביטחון ישראל ובגלל היקפו הגדול, הוחלט שהפרס לא יוענק רק אישית, כי אם לכמה גופים, ברפא"ל ובצה"ל, ששיתפו פעולה בעבודה הרב-דיסציפלינרית – הגופים צוינו בהענקת הפרס, אבל כמה אנשים ואני כמוכן ביניהם, קבלנו אותו אישית. היה קושי גדול לבחור את מקבלי הפרס באופן אישי, מבין הרבים שתרמו משמעותית לפרויקט מסובך זה.



סיכת פרס ביטחון ישראל והאישור לענוד אותה.
(הסיכה הוענקה לחתני הפרס מספר שנים אחרי קבלתו)

זה התחיל בשנת 1965 כשזוהה צורך מבצעי בעל חשיבות רבה לצה"ל. רוכזה קבוצה קטנה של נציגי כמה מוקדי ידע ברפא"ל ובמאמץ מרוכז הצלחנו להוציא חוברת קדם תיכון, שהגדירה את מטרות הפרויקט, מפרט טכני ראשוני ופערי ידע עיקריים. פערי הידע היו משמעותיים ודרשו סדרה גדולה של ניסויי היתכנות וניסויים לבחירה בין חלופות, ואח"כ עוד ניסויים לקביעת פרמטרי התכן של המערכת המבצעית. בתאום ובהתייעצות עם מוקדי ידע יחודיים, התחילה היחידה שלי בניסויים, כשגם מישקה משתתף בחשיבה. מטעמי מידור, קיימנו את הניסויים שלנו מוקדם בבוקר. הסעה מיוחדת היתה עוברת ואוספת את המשתתפים בניסוי לפני 5 בבוקר, מביאה אותנו ישר לשטח הניסוי במכון והתחלנו מיד בעבודה. לקראת השעה 8:00 היינו ממהרים להתקלח ולהחליף בגדים וכשהסעה הרגילה היתה מגיעה, אף אחד לא ידע שאנחנו כבר אחרי חצי יום עבודה, שאותו המשכנו אחר כך כרגיל. פעילות אינטנסיבית זאת נמשכה מספר חדשים, כשבכל שבוע אנו מקיימים סדרה אחת או שתיים של הניסויים. בערך באותו השלב קיבלתי את המינוי הרשמי של ראש הפרויקט. הדבר הטיל עלי עומס נוסף של קליטת אנשים ליחידה ובעיות תקציביות למיניהן - כל זה בנוסף להובלת התכן וכניסה לכל פרט ופרט, גם כשהמשימות היו רב-דיסציפלינריות וכללו פרט להנדסת מכונות גם אלקטרוניקה, פירוטכניקה, הנדסת חומרים וכו'.

כשהתחלנו בתכן מכלולים שונים, למרות התמיכה האנליטית של מוקדי ידע ברפא"ל, התברר לנו שדרושות עוד סדרות של ניסויי מעבדה וניסויי שדה - כל זה עוד לפני התחלת התכן הישיר של מכלול התצורה המבצעית של המערכת. בכל השלבים נדרשה יצירתיות רבה לביצוע הניסויים. לכמה ניסויים נעזרנו בבניין גבוה בשטח של תחנת הכוח של חברת החשמל בחיפה. מאחר והגובה לא הספיק לנו, פיתחנו מערכת ניסוי שהתבססה על רביעייה של בלונים מטאורולוגיים. גם בעבודה הרצינית כל כך, התאספו אפיזודות למיניהן. למשל: היתה לנו מסגרת אלומיניום קלה, עליה היה מורכב מיתקן הניסוי. את ארבעת הבלונים היו מנפחים בהליום אחד אחד וקושרים לפינות המסגרת. מאחר וכוח העילוי של הבלונים היה משמעותי, קבענו בשטח הניסוי 4 גלגלות מעוגנות בקרקע. 4 אנשים החזיקו חבלים שעברו בגלגלות, כדי למנוע מהמערכת "לברוח" לנו לפני שכל הבלונים מחוברים במקומם. כשהכל היה מוכן היתה ניתנת הפקודה לשחרר את החבלים והמערכת היתה מתרוממת כשהיא קשורה בכבל עגינה ובו גם חוטי חשמל. באחת הפעמים ניתנה פקודת שחרור החבלים ופתאום הסתבר שמלכיאל ליפף את החבל שהוא החזיק על אחת האצבעות שלו. כששלושה חבלים היו כבר משוחררים, המערכת התחילה להתרומם וחסר מעט מאוד שהאצבע של מלכיאל תמריא גם היא. בניסוי אחר, אחד הבלונים, אחרי שנפח בהליום, ברח מידיו של מי שהחזיק אותו.

מאחר ובאזור עברו נתיבי טיסה של מטוסים קלים, היתה סכנה שמטוס ינזק בהתנגשו בבלון. כדי למנוע סכנה כזאת החזקנו בקרבתנו רובה טעון, כדי ליירט מיד כל בלון בורח. באותו בוקר כשהבלון ברח, מישוהו מהאנשים תפס את הרובה, כוון וירה - אך החטיא. מישוהו אחר תפס את הרובה ממנו, כיוון ושוב לא פגע. הבלון התחיל להתרחק בצורה מסוכנת. לידנו עמד אחד הנהגים שלנו. הוא חטף בכעס את הרובה הפנה אותו באופן אינסטינקטיבי לכוון הבלון, ירה בו כדור אחד ופוצץ אותו. רק בגמר הירי בדקנו את כוונת הרובה והתברר שלהב הכוונת השתחרר וזו הצידה. לא היה כל סיכוי למי שכיוון את הרובה שגם יפגע.

מהאפיזודות הקלות, חזרה לעבודה הרצינית. עם התקדמות הפרויקט זיהינו טכנולוגיות שברפא"ל עדיין לא היה כל ניסיון איתן. אחת מהן היתה מערכות חיתוך ומערכות פיקוד בחנ"ם (חומר נפץ). פתילי חיתוך אפשר היה לרכוש בחו"ל, אבל פיתוח מערכות שחותכות החוצה, ללא נזק לכוון השני - פנימה, היה עדיין לא מוכר לנו. חוץ מזה נדרשה ממערכת החיתוך אמינות גבוהה מאוד. כדי להבטיח אותה פותחו מרכזיות שיכלו להעביר יזום חנ"ם וגם לקבל יזום ממרכזיה אחרת. ארווין ז"ל קיבל את התפקיד ללמוד את הנושא החדש ולפתח את המערכות הדרושות. מהר מאוד הוא רכש מומחיות מעמיקה במערכות פירוטכניות כאלו. הוא תכנן ובנה עבור הפרויקט את המערכת הדרושה בתצורה המבצעית וגם הפך להיות מוקד ידע ארצי בנידון. ברפא"ל עצמה ארווין פיתח במשך השנים עוד מערכות פירוטכניות לכמות גדולה של פרויקטים.

בתוך הפרויקט נזקקנו, בכל שלבי הפיתוח ובמערכת המבצעית, לאלקטרוניקה בהיקפים גדולים ובלוח זמנים, שיתאים ללוח הזמנים הצפוף של הפרויקט. ראינו שלא נוכל לקבל את הדרוש מיחידות אלקטרוניקה אחרות, כקבלני משנה שלנו. לכן הקמנו יחידת אלקטרוניקה אינטגרלית, כחלק מצוות הפרויקט. במסגרת פיתוח המערכת המבצעית היו האלקטרונאים שלנו כנראה הראשונים בארץ, שהשתמשו במעגל מודפס רב שיכבתי בעל 6 שכבות (ב- 2 או 3 השתמשו כבר לפנינו).

בבית המלאכה של המכון הזמנו כמות גדולה של גופים יצוקים מאלומיניום. כדי לענות על המפרט הדרוש לנו, הסתבר שיציקה רגילה לא תענה על הצורך. מישוהו מאנשי בית המלאכה הכיר בעבר ברוסיה את מה שזכה לכינוי "כבישה חמה". למעשה זאת היתה יציקה תחת לחץ, כי לתוך תבנית הכבישה יצקו אלומיניום במצב נוזלי וכבשו בלחץ גבוה, לקבלת יציקה בעלת תכונות מיוחדות. בזמן מאוד קצר סיפק לנו בית המלאכה את כל הכמות הדרושה. בנוסף לנ"ל היינו זקוקים לאריזה של גופים רבים לעמידה בתנאי סביבה קשים של הלמים ורעידות, אך האריזה היתה צריכה להתפרק בבת אחת, ברגע הדרוש. מצאנו שהמתאים ביותר, בכל המגבלות הקיימות, יהיה השימוש בקצף פוליאוריתן. גייסנו עזרה של מומחה מהטכניון ופיתחנו את טכנולוגיות היציקה של החומר לקבלת תצורות מדויקות, בעלות משקל סגולי וחוזק לפי דרישותינו.

מאחר והיינו בקשרים רצופים עם יחידות שונות של צה"ל, ידענו על כל מיני קשיים טכניים שמופיעים אצלם. קרו די הרבה מקרים שבעזרת הידע המיוחד שצברנו, הצלחנו לפתור להם בזמן קצר בעיות "כואבות". כך קרה כשמהיחידה שהיתה אחראית להצנחת ג'יפים לכוחות צה"ל, הפושטים מעבר לקווי האויב, נודע לנו שהכנת ג'יפ להצנחה לוקחת שעות רבות ובתרגילי הצנחה יוצא מכלל שימוש אחוז משמעותי של הג'יפים, בגלל התרסקות מהלם הפגיעה בקרקע. החלטנו לנסות לפתור להם את הבעיה. התחלנו מניסיון להבין מה לא טוב בשיטה הנהוגה אצלם. השיטה היתה מבוססת על העמדת הג'יפ על לוח הצנחה, אליו היו מחוברים כמה מצנחים. כדי לבלום את ההלם בפגיעה בקרקע הוכנסו בין הג'יפ והמשטח קופסאות קרטון מלאות בקליפות של בוטנים - (נא לא לצחוק מזה!); כי קליפות בוטנים דחוסות מסוגלות לספוג אנרגיה כראוי. ז"א - אם עכברים לא חיסלו את מחסן הקליפות, מה שכבר קרה בעבר, ואם לפני ההצנחה עבר הרס"ר עם כידון וחורר חורים מתאימים בכל קופסה, כדי שהיא לא תתפוצץ בזמן האימפקט, וכדי שהאוויר יצא בקצב הנכון, וקליפות הבוטנים יוכלו לשכך את ההלם - אם הכל

פעל כראוי, הצנחת הג'יפ היתה אמורה להצליח. הג'יפ חובר ללוח ההצנחה בחגורות מצנח יעודיות שנמתחו בזמן ההכנה להצנחה. כדי להבין את הכישלונות הרבים בהצנחות, הזמנו תרגיל של הצנחת מספר ג'יפים והגענו לאירוע עם מסריטים במצלמות מהירות. פיענוח הסרטים גילה לנו שעם דחיפת הג'יפים מהמטוס, כמה וכמה מקופסאות הבוטנים נשמטות מתחת לג'יפ. קרו גם מקרים, שהחורים שנעשו בעזרת הכידון לא היו מספיקים לשחרר את הלחץ והקופסאות התפוצצו לפני שהספיקו לשכך את ההלם. בפעם הראשונה הוצגו בפני היחידה המצניחה, הסיבות לאחוזי הגבוה של הכישלונות. אנחנו ניצלנו את הידע שצברנו בקצף פוליאוריתן ובזמן קצר פיתחנו שלושה גושים צורתיים עליהם העלו את הג'יפ, שהתיישב באופן יציב בשקעים שהוכנו לפי צורת שטחי המגע. במקום קופסאות בוטנים רבות והרכה רצועות חיבור, היו עכשיו 3 גושים ומספר מזערי של רצועות. בניסויים מוסרטים ובתוצאות של הצנחות ממטוס, הוכחנו שהפיתוח שלנו נותן פתרון אמין, פשוט ומהיר להצנחת ג'יפים. הפתרון אומץ ע"י צה"ל. אני חושב שעכשיו יש לצבא מסוקים גדולים מספיק שיכולים להעביר ג'יפים למקום הדרוש ואין יותר צורך בהצנחה, אך לפרויקטון צדדי זה היתה תועלת נוספת: צדוק שעבד על הנושא, מצא עניין בבלימת הלם ע"י חומרים סופגי אנרגיה. לכן הוא העמיק את המחקר וכיסה גם את ההיבטים התיאורטיים של חומרי הבלימה, וכיסס על זה את עבודת הדוקטורט שלו. וכך, במקביל להיותו מתכנן בחדר עליון, הוא זכה גם בהכרה אקדמית.

הגיעה שנת 1967 ואחרי יום העצמאות שלנו עבדול נאצר, נשיא מצרים, סגר את מיצרי טירן בפני שייט ישראלי. כבר לפני כן ישראל הכריזה שסגירת המצרים תהיה עילה למלחמה (Casus Belli). התחילו "ימי ההמתנה" שהובילו למלחמת ששת הימים. היה ידוע לצה"ל שהצבא המצרי, המצויד בנשק רוסי, גם פועל לפי דוקטרינות הלחימה הרוסיות. זה העמיד את צה"ל בפני איומים שלא הכרנו קודם. ח"א זיהה צורך דחוף בחימוש, שלגביו אנחנו כבר צברנו בפרויקט שלנו ידע בכל ההיבטים הרלוונטיים. החלטנו להיענות לדרישת החרום ולהיכנס מידית לפיתוח המערכת. חלק מאנשי הפסיקו זמנית את עבודתם על הפרויקט הראשי ונרתמנו למשימה הדחופה. במשך פחות מחודשיים, בעבודה יומיומית רצופה משמונה בבוקר ועד חצות (ולפעמים אף יותר), עשינו את התכן, יצור אבי טיפוס, ניסויי פרמטרים באזור הניסויים שלנו במכון ובמקביל גם ניסויי תחום טיסה ותחום שחרור בחיל האוויר. לקראת תחילת הקרבות של מלחמת ששת הימים, הצלחנו לספק לצה"ל כמות ראשונית של החימוש הזה, מוכן להפעלה מבצעית.

יצוין שאחרי המלחמה, ח"א דרש סדרות נוספות של ניסויים ותהליך פיתוח מסורתי, מסודר וממוסמך. הוקמה קבוצה פרויקטית ומה שפיתחנו והכנו במשך כחודשיים לשימוש מבצעי, דרש בפרוצדורות המסורתיות עוד כשנתיים עבודה. בין היתר, בפיתוח החרום נזקקנו לאיזה שהוא רכיב סטנדרטי, המיוצר בארצות הברית. הכנו את הניירת הדרושה, שלחנו משהו לנתב"ג שמסר לדיילת אל-על את המעטפה עבור משלחת הקניות של משרד הביטחון בניו יורק. הם באו לשדה התעופה וקבלו את המעטפה לידיהם ובצעו את רכישת הרכיבים בו ביום. מאחר וזאת היתה חבילה קטנה ויחסית לא כבדה, היא הובאה לטיסת אל-על החוזרת ארצה והדיילים הביאו את זה לנתב"ג. השליח שלנו קיבל את המשלוח במקום והביא את זה לשימוש מדי על ידינו.

כשקיבלנו את זה תוך יומיים, הכרזתי שאני לא רוצה מלחמות, אבל הייתי רוצה שלגבי אנשי הרכש, האפסנאים ודומיהם יהיה תמיד "מצב מלחמה" - כדי שלא נצטרך לחכות לכל רכש מחו"ל במשך שבועות רבים, כשבחרים אפשר להשלים את זה ביומיים.

בשלב די מוקדם הסתבר לנו שמאחר ואנחנו חלק של פרויקט גדול מאוד וניסויים של כל המערכת יהיו יותר מדי יקרים ואי אפשר יהיה לבצע אותם, עלינו לפתח שני סוגי גופים מוטסים, אחד גדול ואחד יותר קטן, שישמשו לניסויים שלנו בעזרת חיל האוויר. כמו כל גוף מוטס ומוטל ממטוס, גם תת-הפרויקטים האלה דרשו ניסויי תחום

טיסה וניסויי תחום שיחורור, שחיל האוויר דורש ובצדק, כדי לא לסכן טייסים ומטוסים. עבדנו לפי כל דרישות חיל האוויר ובהצלחה, אבל היקף העבודה הכולל שלנו גדל והוכפל. בגופי הניסוי שלנו נדרשו מערכות פיקוד אלקטרוניות וטלמטריה, לשידור הפרמטרים החשובים לקרקע, בזמן המעוף. מערכות אלו שהיו חייבות לעבור הרבה בדיקות אלקטרוניות דרשו גם עמידה בתנאי סביבה של רעידות ושינויי טמפרטורה. מכל זה עלות המערכות האלקטרוניות האלו נהיתה גבוהה. התגבשה דרישה להפריד אותן, לקראת סוף המסלול, מהגוף המוטס ולהצניח אותן, תוך ניסיון להנציל אותן לשימוש חוזר. הגישה שלי היתה נגד זה. אני פשוט שאלתי אם משהו יאשר לי להשתמש בניסוי מבצעי, ביחידת אלקטרוניקה שבזמן הרכבתה נפלה מהשולחן לריצפה? למרות שדעתי זאת התקבלה, בכל אופן אנשי המנהלה שרואה את הכל בעיקר מהיבט התקציבים, חדרו מהמחירים הגבוהים של היחידות ונאלצנו לפתח מערכת הצנחה. מערכת כזאת שמצניחה גופים שעשויים לנוע במהירות של 2.5 מאך (פי 2.5 ממהירות הקול) לא היו מוכרות לנו (או בכלל בארץ). מבחינה טכנית זה היה בשבילנו אתגר מעניין. נדרשה הצנחה בשלושה שלבים: בהתחלה הפלטה של לוח לא גדול שמתחיל את ההאטה ובהשהיה שולף מצנח קטן שממשיך בהאטה ומפעיל מצנח גדול שמבטיח את מהירות הנפילה הדרושה. הפיתרון המוצלח שהשגנו נתן לנו סיפוק רב, למרות שבסוף הוכח שגישתי הבסיסית היתה נכונה, ואף פעם, למיטב זיכרוני, לא השתמשנו באלקטרוניקה מונצלת.

ברצוני לציין שתוך פיתוח וניסויי המערכות שלנו, קבלנו סיוע, לפעמים מאנשים מחוץ לפרויקט שלנו, שהעלו פתרונות מבריקים. כשהיינו זקוקים למנוע רקטי, אנשי מחלקת ההנעה מצאו אפשרות שנשתמש במנוע קיים שכבר עבר פיתוח מלא. אך כשנדרש לנו גם הספק יותר גדול, הועלתה המחשבה של פיתוח מנוע חדש, שהיה כרוך הן בעלות גבוהה והן במשך זמן ארוך. משהו מאנשי ההנעה הציע וגם ביצע, שימוש של מנוע וחצי (אותו מנוע מוכח שבו השתמשנו, שלהודף שלו צורף חצי אורך נוסף של אותה תצורה). הכנת מעטפת באורך וחצי, הגנת החיבור בין גושי ההודף, והתאמת פייה מתאימה, היוו חלק קטן מאוד מהיקף הפיתוח של מנוע חדש.

באחד הניסויים המוטסים הראשונים שלנו, גילינו שדְּשִׁי האטה שהפעלנו, תולשים את מוטות העצירה שלהם (בגלל עוצמת התאוצה הפתאומית). אשר ס' שהיה אחד ממהנדסי האווירונאוטיקה הטובים שלנו, העלה הצעה של פתרון מכני מפליא בפשטותו, שלא רק פתר את בעיית התלישה, כי אם גם הביא יתרונות נוספים. במקום המוטות המקופלים שלנו שהיו מורכבים משני חלקים מחוברים ע"י מיסבים, למעבר ממצב מקופל למצב פתוח, אשר הציע מוט מכופף בצורת פרסה, שפתיחת הדש מישרת אותו. פעולה זאת דורשת אנרגיה ומאטה את פתיחת הדש באופן מבוקר – מה שמנוע תאוצות גדולות בעצירת התנועה. הפיתרון של אשר הוכיח את עצמו מצוין ולימד אותנו להעריך ולקבל רעיונות גם מאנשים ממקצועות אחרים.

בעיה נוספת, נפתרה באופן מבריק ע"י איש יחידת הניסויים, אלישיב ז"ל, שאותו אני זוכר ביראת כבוד עד עצם היום הזה. היינו זקוקים להטלת גופים ממוטס בגובה רב במהירות מסוימת, כוון מדויק ומעל נקודה מסוימת. הסתבר שבאותם הימים, לפני שפותח ה-GPS, הטייס שלט במהירות, בגובה ובקו הטיסה. לא היתה לו ידיעה על מקומו המדויק לאורך קו הטיסה. אלישיב שמומחיותו היתה אילתור ופתרון בעיות בכל התנאים, הכריז שהוא יעביר לטייס בדיוק רב את רגע שחרור הגוף. בצחוק קראנו למערכת שהוא התבסס עליה: "המכ"ם של אלישיב". זה היה מורכב סה"כ מ-4 מוטות אוהל שקובעו באדמה. ביניהם נמתחו שני חבלים מקבילים למסלול טיסת המוטס. באמצע אחד החבלים הרוחביים נקשר חוט עם אבן בתור משקולת.

על החבל השני הוא קשר 3 חוטים עם משקולות, במקום ובמרווחים מחושבים מראש. כל זה כוון כך שהמטוס יִרָאָה בתוך תחום החוטים. אלישיב התמקם במרחק מסוים מהחוט הבודד שהיווה חלק מהכוונת שלו. כשדמות המוטס נגעה בקו החוט הראשון מהשלושה, אלישיב נתן התראה לטייס. בחוט השני הוא התחיל בספירה לאחור וכשדמות המוטס נגעה בחוט השלישי, הוא נתן פקודת הטלה. הפיתרון היה פרימיטיבי ביותר, אבל התוצאה בשטח היתה מספיק מדויקת לכל צרכינו.

התקדמנו בפיתוח כל המכלולים: המכניים, האלקטרוניים והפירוטכניים גם של המערכת המבצעית וגם של מערכות הניסויים. קידום העבודה ותאום בין כל מפתחי המכלולים והיצור שלהם, ועמידה במועדי הניסויים שנבעו מראש, התחילה להיות כל כך מסובכת שאי אפשר היה לשלוט בה, אלא בעזרת תכנית PERT שהלכה וגדלה, והסתעפה עד שהתיאור הגרפי שלה תפס שטח "בגודל של סדין" (השאלה שנשאלה היתה אם זה סדין בודד או זוגי). נאלצתי לקלוט עוזר מנהלי שתפקידו העיקרי היה עידכון ה- PERT ותאום עם מפתחי המכלולים, היצרנים וחדרי ההרכבה. אחד היתרונות של ניהול הפרויקט המסובך בעזרת התוכנה הגראפית, שעזר לנו ואינו מודגש בספרות המקצועית, נבע מהעובדה שברוב קבוצות העבודה סבלנו ממחסור בכוח אדם. הכרת הקווים הקריטיים בהמשך העבודה, איפשרה לנו למצוא את הפשרות הנכונות בהעברת אנשים מתחום לחוץ אחד לתחום לחוץ שני, כדי למנוע תקלות ופיגורים רציניים בהמשך הדרך - אלו כמובן בעיות של עניים... על עבודתנו עם כמות קטנה מדי של אנשים, התבטא פעם בנצי נווה, כשהיה מנהל רפא"ל. הוא אמר שכאשר בבוא היום יודע בעולם מה שהצלחנו לעשות, זה יעורר התפעלות רבה, אבל אם יודע עם כמה אנשים עשינו את זה - אף אחד בכלל לא יאמין לנו. בארצות הברית, בפרויקטים בהיקף כזה, היו מעסיקים כנראה צוותים פי שלושה או ארבעה יותר גדולים.

מאחר ובצענו ניסויים רבים, ובפרויקט עסקו כמה וכמה קבוצות פנימיות וכן יחידות נוספות ברשות ומחוצה לה, והיה צורך בדווח תקופתי לצה"ל ולמנהלה שהיתה מזרימה לנו את התקציבים הדרושים, התחילה להתאסף כמות גדולה מאוד של דוחות טכניים ומנהליים. כדי לאפשר בסיס מידע עם גישה נוחה לכל השותפים במלאכה, החלטתי להכין כל כמה זמן חוברת של "סיכום דוחות הפרויקט". החוברת כללה שני מדורים ראשיים: דוחות יוצאים (שמקורם במסגרת הפרויקט אצלנו) ודוחות נכנסים. 3 או 4 (?) סיכומי דוחות כאלו, שזכו לכינוי "התנ"ך שלנו", כיסו את ניירת הפרויקט, שלקראת סיומו נדרשו עבודה כ- 2 מ' של מדף, בחדר הכספת של חטיבת אווירומכניקה.

לביצוע ניסויי ההטלה של גופי הניסוי שהוזכרו למעלה, נזקקנו למטוס קרב/הפצצה הגדול ביותר שהיה בידי ח"א באותו הזמן. היה זה "הוטר" מתוצרת צרפת, שבניגוד לשאר המטוסים שנשאו את החימוש מתחת לכנפיים, אצלו הפצצות היו תלויות על מעלית, שהיתה מושכת אותן לתוך תא גדול בבטן המטוס. התא היה נסגר ע"י שתי דלתות. במשימת הפצצה רגילה היו הדלתות נפתחות, המעלית היתה יורדת, הפצצות היו מוטלות, המעלית היתה שבה למקומה והדלתות היו נסגרות וננעלות. גוף הניסוי הגדול שלנו היה בתחום המשקלים המותר, אבל הוא היה ארוך מדי ולא יכול היה להיכנס לתא הפצצות. אחרי דיונים ממצים, קיבלנו אישור לבנות מתאם בין המעלית והגוף המוטס שלנו, כך שבזמן הטיסה הגוף יהיה בולט כולו מתחת למטוס ודלתות התא תשאנה פתוחות כל הזמן. לכך ולהטלת הגוף המוטס שלנו, נדרשו התאמות במערכת החשמל של המטוס. בתאום עם ח"א נעשו השינויים הדרושים, הם נבדקו ע"י החיל ואושרו. כמו כן הוכנו הפקודות הדרושות לקיום הניסויים. מבחינת בטיחות הטיס והמטוס, נקבע שאין לנחות עם הגוף התלוי מתחת למטוס. ואז, באחד הניסויים הראשונים, המטוס המריא עם הגוף התלוי מתחתיו ופתאום נדלקה בתא הטיס נורית אזהרה אדומה. במקרה כזה, בדרך כלל הטיס חוזר ונוחת בהקדם האפשרי. גם הטיס שלנו הסתובב לחזור, אבל היתה לו ההוראה הבטיחותית לא לנחות עם הגוף התלוי תחת מטוסו. הבעיה הייתה חמורה, כי הגוף הכיל מערכות פירוטכניות עם חנ"ם. הדבר הועלה מידית לדרגי פיקוד בכירים בח"א. יצאה פקודה לטיס להמשיך לפי תוכנית הניסוי, להטיל את הגוף בשדה הניסויים ורק אחרי זה לחזור ולנחות, כשבבסיס ולאורך מסלול הנחיתה ננקטו אמצעי חרום. למזלנו, המטוס נחת בשלום ובחקר התקלה התברר, שנורית האזהרה נדלקה בגלל הטיסה עם דלתות של תא הפצצות במצב פתוח - מה ששינויי המערכת החשמלית היו אמורים למנוע.

בזה לא נגמרו "הצרות" שגרמנו לחיל האוויר. בסוג מסוים של הניסויים שלנו היינו זקוקים למסוק בגובה רב. בדרישת הניסוי ובכל הדיונים, אנחנו כתבנו ואמרנו שהניסוי יתבצע בגובה 3000 מ'. אצל אנשי חיל האוויר הגובה

תמיד נמדד ב"רגל". הם איכשהו במשך כל הדיונים וההכנות תרגמו לעצמם את הגובה ל- 3000 רגל, שזה בקרוב 1000 מ' (כנראה חשבו שאנו טועים בביטוי). הגענו לשדה הניסויים והמסוק שהוקצה לנו נחת לידנו. הרכבנו עליו את המערכת שלנו והתחלנו בתדריך הסופי לטייסים. רק אז התבררה אי ההבנה. אז גם נודע לנו שרום הטיסה של מסוק מוגבל בכך שאם המנוע שלו מפסיק פתאום לפעול, הרוטור שלו מסתובב ומהווה מעין מצנח שמאט את ירידת המסוק. ללא פעולת המנוע הממסרת של הנעת הרוטור לא מקבלת את השימון הנדרש ואז זמן הפעולה שלה מוגבל וקצר למדי. זמן הפעולה הזה הוא שמגביל את גובה הטיסה, כדי שבמקרה של תקלה במנוע יהיה סיכוי גבוה לצוות לא להתרסק, בגלל כשל הממסרת. הניסוי שהיה חשוב לנו, עמד בסימן שאלה. הטייסים הסכימו לקבל הכרעה של מפקד חיל האוויר. הצלחנו להתקשר והסתבר שהוא הלך לקולנוע. חיכינו כמה שעות ואחרי ברור ממושך, מפקד החיל אישר את הניסוי בגובה הדרוש לנו. ההמראה וביצוע הניסוי נעשו במתח רב הן של צוות האוויר והן של האנשים שלנו שהיו במסוק. לרגע עוד חשבו שהאנשים יקבלו מצנחים, אבל לצנוח ממסוק מנמיך במהירות כשהרוטור מסתובב מעליך אינו נותן שום תקווה הגיונית. הניסוי ההוא היה ניסוי טכני חשוב וניסוי עצבים חמור של כל מי שהיה במסוק ורק קצת פחות מזה, של כל הצוות על הקרקע.

לגופי הניסוי שלנו נתנו בדרך כלל שמות קוד מתחילת פיתוחם. כנראה שבאותם הימים עדיין לא היה פיקוח ממוחשב מרכזי על שמות קוד. ירדנו לניסוי בנגב עם מודעות מלאה שהתקשורת האלחוטית אינה מוגנת. לכן כמובן קבענו שמות קוד והשתמשנו בהם בכל המסרים. לא ראינו שום צורך להסוות את השם של הגוף עצמו, שהיה הרי שם קוד מראשיתו ולא רמז על שום דבר. מובן שבשלבים שונים של הניסוי הוזכר בתקשורת האלחוטית השם הזה כמה וכמה פעמים. לפתע התפרץ לשטח הניסוי ג'יפ עם אנשי ביטחון נרגזים: "אתם יודעים מה שאתם עושים? שם הצופן הזה הוא שם קוד מבצעי לתקיפה!". באמת לא ידענו שיכולנו לגרום למלחמה... בהמשך הקפדתי לתאם מראש עם הביטחון, שמות קוד בהם עמדנו להשתמש.

קצת מההווי שמאחורי ימי עבודה בנסויים "מצאת החמה עד צאת הנשמה":



השכמה אחרי לילה שירד בטרם הצבנו את האוהלים



מגיעים מהשדה לאכול צהרים. הדיגלונים המונפים שמשו לסימון מקום נפילת גופי ניסוי בשטח. ציון כמה אנשים מהקבוצה שהתקבצה במקרה: לשמאלי, אילנה-מהנדסת אירונאוטיקה. לשמאלה, אהרונצ'יק דונגי ז"ל-ראש מערך הניסויים. לידו עוזי. מימיני, מישקה ברנע ז"ל. לידו אשר-איש המבצעים (אחד מ-5 החלוצים שהגנבנו באניה בעלותי ארצה!). הקיצוני בצד שמאל של התמונה, אלישיב שחם ז"ל-האיש הכל יכול בתנאי מדבר והאגדה עוד בחייו. לפני, מניף את הדגלון בגאווה, מלכיאל.



"כרעם ביום בהיר" - שבר ענן מעל המחנה. בחוץ רטוב, באוהל מוצף



"מציג את המעיל הארוך שזיכה אותי בקשר בשם הקוד "בעל השמלה".

הודות לתוצאות הניסויים הרבים שביצענו, הצלחנו לגבש את המפרט הסופי של המערכת המבצעית ומרכז הכובד עבר לתכן הסופי של המכלולים ולהכנת ציוד העזר שנדרש לכל שלבי היצור, ההרכבה והאיחסון המבצעי. העבודה התקדמה במקביל בתכן המכני, בפירוטכניקה ובאלקטרוניקה, כולל זיורד היחידות והחיווט. כל הרכיבים עברו הכנה ליצור עם דוקומנטציה מלאה. את הגוף הראשי החלטנו ליצר בתעשייה האווירית, מכיוון שלהם היה ניסיון מצטבר במבנים בגודל דומה ובטכניקות היצור הדרושות. רכיבים אחרים נמסרו למפעלים מתמחים שונים.



אך בעיקר עסקנו בדברים רציניים - בודק את הריתמה לאחר ניסוי הצנחה

הפיקוח והתיאום של היצור היו משימה רבת היקף. הגוף שלנו דרש איזון דינמי. בתכן הכנו לזה בתי משקולות ומשקולות עופרת הניתנות להעברה ממקום למקום. מה שחסר לנו, ולא היה קיים בארץ, זו מכונת איזון דינמי מתאימה למימדים ולמשקל כפי שהצטרכנו. אחרי חיפוש בספרות רכשנו מכונה כזאת בחו"ל וצוות מהפרייקט יצא לאשר את הרכישה וללמוד את עקרונות ההפעלה.

במקביל עשינו הכנות לבדיקות הסביבה שהגוף שלנו יצטרך לעבור. במכון היו תאי לחץ ותאים לבדיקות בטמפרטורות גבוהות ונמוכות, שהתאימו למימדים שנדרשו. לא היה לנו מרעד למשקל של הגוף שלנו. אחרי בדיקה הסתבר לנו שבארץ בכלל אין מרעד במימדים הדרושים, אך בתעשייה האווירית היה זוג מרעדים זהים שניתן, בעזרת תוכנה ומתאם מיוחד, להרעיד את הגוף שלנו על שניהם יחד בלי חריגה ממגבלות הביצועים שלהם. כנראה שאנחנו היינו הראשונים בארץ להרעיד גוף על שני מרעדים מתואמים. כמוכן שעשינו גם ניסויי הרכבה והתאמה למערכת הגדולה שהיינו חלק ממנה.

בשלבי ההכנה ליצור, היצור עצמו וניסויי הוכחת הכושר של המערכת שלנו, התפנה לנו חלק מצוות הפיתוח אותו יכולנו להעמיד לרשות "עבודות מזדמנות" דחופות, שעזרו לפתור בעיות מבצעיות של צה"ל. זאת בהתבסס על הניסיון הרב שהצטבר אצלנו.

כדוגמה יכול לשמש פרויקט "צדדי" כזה שקיבל את הכינוי "סער": בזמן מלחמת ההתשה, אחרי מלחמת ששת הימים, הרוסים התחילו לספק למצרים טילי קרקע-אוויר שהיוו סיכון למטוסינו. ח"א הוציא דרישות לכל מיני אמצעים נגד הסיכון. באחד ההיבטים אנחנו יכולנו לתת תשובה מהירה. היה ידוע וניתן להשגה מין כדור שכוונה "עדשת לונברג". זה היה כדור בנוי משכבות קל-קר בצפיפויות שונות, שהיווה משיב מכ"ם טוב מאוד. כדור כזה, בקוטר של כ-30 ס"מ, השיב הר מכ"ם שנתן שטח חתך דומה לזה ואף גדול משטח החתך המכ"ם של מטוס. עדשת לונברג כזאת שהיתה מקדימה את המטוס וטסה במסלול דומה למסלולו, יכלה למשוך אליה טילים שכוונו אל המטוס. והדבר לא רק הגן רגעית על המטוס, אלא גם רוקן את משגרי הטילים של האויב ועד שהוא טען אותם מחדש, היה חלון זמן בו מטוסינו יכלו לפעול בביטחון יחסי.

לנו היו גופי מצרר ששמשו בפרויקטים שונים בעבר והיו בעלי אישור של תחום טיסה ותחום שיחרור של חיל האוויר. מימדיהם היו כאלו שיוכלו לכלול בתוך כיפתם הקדמית עדשת לונברג כנדרש. במקביל, לחיל האוויר היו טילי אוויר-קרקע ישנים בשם "בולפפ", שכבר הוצאו מהסדר. לטילים האלה היה מגוון רקטי נוזלי, שהיה כבר

פג תוקף די הרבה שנים. כל עוד הטיל היה בסדר"כ, היו מבצעים ניסויים להארכת תוקף השמישות שלהם. אח"כ הפסיקו את זה. לאחר בדיקת ביצועי המנועים האלה, החלטנו שגופי המצרר שלנו, מונעים ע"י מנועי "בולפפ", יכולים לתת ביצועים מתאימים למשימה של הטעית טילי קרקע אוויר.

צה"ל עשה ניסויים והשמיש את המנועים הישנים ואנחנו, בעבודה נמרצת תיכננו ובנינו מערכות "סער", תוך התאמתן למנועי "בולפפ" ועדשות לונברג. אחרי מספר קטן של ניסויי שדה, סיפקנו את המערכות לחיל האוויר. החיל השתמש בכל הכמות של גופי ה"סער" בפעילות מבצעית, אלא שנתגלתה טעות שהם עשו: הם לא דאגו לנוהלי איסוף נתונים להערכת יעילות המערכת. בתחקירים שלאחר השימוש המבצעי, הופיעו שתי גרסאות מנוגדות. היו טייסים שדיווחו שהם שיגרו את ה"סער" וכל הטילים שנורו נגדם, ממש רצו אליו והתפוצצו. היו טייסים, שלהם נראה שהם שיגרו "סער" ולא היתה לו שום השפעה על הטילים ששוגרו נגדם והם נאלצו לבצע את התירגולות ולאחוז בכל האמצעים, כדי להימנע מפגיעה.

"סער" היה פרויקט מישנה בגודל בינוני. במקרי חרום נענינו גם לדרישות מידיות קטנות. באחד המקרים מצאנו פתרון לבעיה שהטרידה את צה"ל ותוך פחות מ-48 שעות עשינו תכן, בנינו את המערכת, ניסינו אותה ומסרנו אותה לכוח הלוחם.

היו גם בעיות שהובאו אלינו ע"י אנשים שלנו, ששרתו במילואים וזיהו אותן. לא את כולן פתרנו סופית, כי היינו עסוקים מאוד בנושא הפרויקט הגדול שלנו. אך בדקנו נושאים מגוונים. למשל, השקענו מאמץ לתכנן שינוי ברנ"ט (רומה רימון נגד טנקים), שיאפשר לירות אותו מרובה בעזרת כל כדור - בלי ההכרח להשתמש בכדור בליסטי ללא קלע. מישוהו הציע והשקיע עבודה ב"מרגמה רב קנית" לירי רנ"טים בפיקוד מרחוק. השקענו גם עבודה בהפיכה של הרנ"ט לרנ"א (רומה רימון נגד אנשים). הופעת מקלע רימונים תקני בידי צה"ל, הפסיקה את נסיונות הפיתוח האלה אצלנו.

הגיע הזמן להכין את העברת הפרויקט הגדול שלנו לידי צה"ל. הכנו סדרה של השתלמויות, נכתבו מערכי שיעורים ונקבעו אנשים מהפרויקט שידריכו את אנשי הצבא. במקביל נדרשה כתיבת ספר המערכת שיסביר את העקרונות שלה, יציין את מהלך ניסויי הפיתוח ותוצאותיהם ויפרט את בעיות האיחסון והתחזוקה ואת פרמטרי ההפעלה המבצעית. בדרך כלל נעזרים במקרים כאלה באנשי כתיבה טכנית שזה מקצועם. אני החלטתי להימנע מהמאמץ של הכנת החומר הבסיסי והנתונים הדרושים ואח"כ ליווי הכתיבה וסבבי התיקונים שידרשו. במקום זה החלטתי לכתוב את הספר עב-הכרס בעצמי. 4 חודשי הכתיבה השלימו את שמונה השנים שהקדשתי לפרויקט הזה. אני חושב שזה דבר נדיר למדי שמישהו ישתתף בקדם הפרויקט, ינהל את ניסויי ההיתכנות, את התכן ואת הניסויים למיניהם, את ההכנה ליצור ואת היצור, ואחר כך גם את ההעברה לצה"ל ואף יכתוב את ספר המערכת. בדרך כלל זה דורש אנשים מדיסציפלינות שונות ואולי גם עם מבנה אישיות שונה. אני עמדתי בתפקיד המסובך הזה מתחילתו עד סופו, אך זה דרש מאמץ כזה, שמנכ"ל רפא"ל אמר לי אחרי המסירה לצה"ל, שאני מוכרח לצאת ל"מילוי מצברים" מחדש. באותו הזמן מלאו כבר 17 שנים מאז שסיימתי את הטכניון.

החלטתי "למלא את המצברים" לא על ידי חופשת מנוחה, כי אם על ידי לימודים מתקדמים ואם כבר - אז במקום הטוב ביותר מבחינת הרמה האקדמית. ביקשתי ואישרו לי לימודים בארה"ב ב-MIT שבבוסטון, במרכז הבינלאומי שלהם ללימודים מתקדמים (Center of Advanced Engineering Study). למרות שכר הלימוד הגבוה במיוחד, אישרו לי את זה למשך שתי שנות לימוד (שהינו בחו"ל 20 חודש כדי לפגוע הכי פחות בלימודים של הילדים). בחודש יולי 1973 הזמין אותי זאב בונן, מנכ"ל הרשות, לארוחת פרידה אישית ועם כל המשפחה יצאנו לדרך.

קורות התקופה הזאת באופן כללי מפורטות בתיאור של קורותי. כאן אתייחס בעיקר לצד המקצועי. הקדמתי לבוא לאוניברסיטה לקורס ריענון במתמטיקה ואח"כ החלטתי לחלק את נושאי הלימוד לשלושה חלקים: חזרה והעמקה של מה שלמדתי בטכניון, מקצועות חדשים שלא נלמדו בזמני בטכניון, ובראשם מחשבים, ופסיכולוגיה, ומקצועות נוספים הקשורים לניהול מחקר ופיתוח, ותעשייה. למרות שיכולתי לקחת קורסים כשומע חופשי, החלטתי את כל הלימודים לעשות באופן מלא כסטודנט מהמנין. באופן כזה חברתי הרבה יותר נקודות משנדרש לקבלת תואר שני. אך כבר בהתחלה החלטתי לא לעשות תואר, כי זה היה מכריח אותי לעבוד עם מנחה, שהיה מתעל אותי לבחור מקצועות רלוונטיים לתואר. אני העדפתי לבחור מקצועות שלדעתי יתרמו מקסימום להמשך עבודתי ברפא"ל. ברצוני לציין עוד, שלפי הנהלים, אנשים שלומדים על חשבון הרשות חייבים לדווח להנהלת הרשות על פרטי לימודיהם בכל סמסטר. מילאתי את חובתי זאת באדיקות וגם ביקשתי הנחיות לגבי בחירת מקצועות לימוד בהמשך, אם יש להנהלה תוכניות לגבי המשך עבודתי. לדאבוני לא קבלתי תגובה כלשהי.

השקעתי בלימודים מאמץ גדול מאוד ולא פעם יצאתי לאוניברסיטה בבוקר וחזרתי הביתה רק בחצות. המאמץ נשא פרי וניצלתי את רמת הקורסים הגבוהה של MIT ככל האפשר. גם הציונים שקיבלתי היו בהתאם. היו כמה עבודות שכתבתי, שהיו מבוססות על ניסיון עבודתי ברפא"ל והציונים הגבוהים שקבלתי בהם ממש שימחו אותי. למשל: כתבתי עבודה ממצה על ניהול פרויקטים כמו"פ, תוך השוואה בין מבנה מטריצי לבין מבנה פרויקטי. הצגתי את עמדתי שבמציאות יש (וצריכה להיות) מחזוריות בין שתי השיטות האלה באירגון קבוצות העבודה. את העבודה שלי בהנדסת אנוש כבר הזכרתי בפרק אחר.

כמה חודשים אחרי התחלת לימודי ב-MIT, ביום כיפור ישבתי ולמדתי את שפת תיכנות המחשבים פורטרן ולפתע צילצל הטלפון. על הקו היה אחד הקרובים האמריקאים שלנו, עם שאלה: "מה זה? התחלתם עוד מלחמה?". כמובן פתחנו את הטלוויזיה ונפלנו מיד לתוך חווית מלחמת יוה"כ. מרחוק ועם מידע חלקי לפי מקורות חו"ל, זה נראה עוד יותר גרוע מהמציאות. כמה סטודנטים, בעלי תפקידי פיקוד בצה"ל, מיהרו לתפוש מטוס בהקדם האפשרי ולשוב ארצה. אני טלפנתי לרפא"ל לשאול אם לחזור ונאמר לי שלא. בבוסטון כמובן לא היו אזעקות ומידע מפורט על האבדות גם כן לא הגיע – אך חוסר המידע ועוד "דיווח מאוזן" – קרי, הודעות שכללו את כל השקרים של הערבים, הפכו את אותם הימים לקשים מאוד. באחד הימים קיבלתי טלפון מהמכון עם בקשה לבדוק משהו אצל יצרן, לגבי הזמנה דחופה. זה היה בדיוק לאחר שהודיעו בטלוויזיה שהערבים הצליחו לפגוע בבתי הזיקוק במפרץ והם עולים באש. ניצלתי את השיחה הטלפונית ושאלתי את בן שיחי על נכונות הידיעה. הוא סיפר לי שלפני כמחצית השעה הוא עבר על יד בתי הזיקוק ולא היו שם לא אש ולא עשן. נזכרתי במשהו דומה במלחמת ששת הימים כשהערבים הודיעו על פגיעה בבתי הזיקוק ואז יצא לי בעצמי לעבור שם וראיתי את השקר התעמולתי כמו עיני. אבל כשאתה נמצא רחוק, כל ידיעה כזאת מוסיפה למתח ולחרדה. עם כל התוצאות האיומות וההישג של היפוך המגמה והניצחון במלחמה למרות הכל, תקופת המלחמה עברה והמשכתי בלימודים האינטנסיביים.

לסיכום חווית הלימודים ב-MIT אני יכול לקבוע שזאת היתה תקופת לימודים מרוכזת ומנוצלת היטב, בגלל הרמה המצויינת של המרצים, תוכניות הלימודים הטובות וכל מה שיכול לעזור ולתרום ללימודים – כמו ספריות רבות, כשאחת מהן פעילה 24 שעות ביממה, במשך 364 ימים בשנה (סגור רק בכריסטמס). בין היתר למדתי שם, לראשונה בחיי, מחשבים. כראוי למוסד חינוכי רציני, התחלנו מהבנת החישוב הדיגיטלי, הכרנו את שפת המכונה ורק אחרי זה הגענו בשלבים לתיכנות מחשב אמיתי – עדיין עם כרטיסים מנוקבים. למדתי שפה יעודית לסימולציות ובצענו תרגילים מעניינים. הכנתי תוכנה כדי להוכיח שתרגיל מסוים בספר סטטיסטיקה חדש שגוי. בבית ספר Sloan לניהול, לקחתי מספר קורסים מעניינים בפסיכולוגיה תעשייתית – החל ביסודות וכלה בניתוח מקרים ידועים, כמו מתקפת הנפל במפרץ החזירים (תקיפה צבאית כושלת נגד קובה, שכל העולם התפלא איך היא קבלה אישור מהממשל של קנדי, שריכוז צוות מקצועי ברמה הגבוהה ביותר), כמו בעיית שרות כושים בצי ארה"ב (אדמירל



"חפיו" מבצעי

בתום הלימודים חזרתי ארצה ולמכון. כשבאתי להנהלה לבדוק אם הכינו לי תפקיד, נחלתי אכזבה. כמו לרוב מהנדסי המכונות החוזרים מהשתלמות הציעו גם לי, להקים ולנהל יחידה לזווד אלקטרוני. עם כל הכרתי בחשיבות הנושא, זה נראה לי אתגר טכני קטן בהרבה מאוד ממה שאני רציתי לקחת על עצמי. בינתיים גיליתי את המאמץ הגדול של פאול כץ ז"ל למכור לצה"ל את הרעיון של טיל נ"ט מתבית. הוא הכין דגם ראשוני ומצגות טכניות ומבצעיות והופיע בכל מיני פורומים צה"ליים במאמץ שיכנוע ושיווק. התלהבתי מהצעתו,

אבל כבר מן הרגע הראשון התחלתי להתריע שאם הוא יצליח למכור את הרעיון שלו, יקבל מימון ויתקדם, ואף יגמור בהצלחה את פיתוח הטיל – הוא יהיה במרחק של כמה שנות עבודה מלספק מערכת נשק. ללא זביל אחסון ושיגור וללא משגר כלשהו, הטיל שלו גם אם יהיה המוצלח ביותר, לא יוכל לשמש את צה"ל. התחלתי להרגיש כמו קאטו הזקן בסנאט של רומא (שהיה מסיים את כל נאומיו בהכרזה: "מלבד זאת אני סבור שיש להרוס את קרתגו") וכמוהו הטפתי בכל פורום רלוונטי, להתחלת פיתוח ציוד העזר והשיגור, במקביל לפיתוח ולניסויי הטיל. כנראה שהנידנוד שלי הצליח והתחילה פעילות. התחילו לפתח את הזביל (בכמה שזכור לי – ע"י אנשי פרויקט הטיל). אני הכנתי את הסקיצות הראשונות ותיכנון עקרוני של משגר על גבי נגמ"ש צה"לי – M113 ("זלדה") שבהמשך פותח ויוצר ע"י המחלקה שלנו ונקלט בצה"ל תחת השם "חפיו" (ראה להלן).

אבל מתוך היכרותי עם פגיעות הנגמ"ש הבנוי מאלומיניום (נהגתי לטעון שאם ירו עלי, אני לא רק לא אסתתר בתוך ה"זלדה" כי אם גם לא מאחוריה – בניסויי חדירה שעשינו, נוכחנו בחדירות המיגון שלה וראינו שפגיעות נק"ל חודרות לפעמים את שתי הדפנות כאחת). לפיכך חשבתי לנכון להכין לטיל המתקדם כל כך, גם מערכת שיגור מתקדמת ובעיקר – מוגנת. זה כמובן הוביל לפיתוח המשגר על תובת טנק.

השגנו מחיל החימוש, בעזרתו של רפול (אלוף רפאל איתן), את התובה הראשונה של טנק ה"מרכבה" והתחלתי לפתח על גביה משגר מוגן לכמות טילים משמעותית. השם שנקבע לפרויקט היה "מכולה". עקב הסטטיסטיקה של פגיעות בטנקים בשדה הקרב, שהוכיחה שרוב הפגיעות הן בחלק העליון של הטנק, שמתי לעצמי מגבלת תכן, שהטילים יהיו מאוחסנים כולם בתוך התובה, מתחת למישור טבעת הצריח. זה הכתיב תצורה עם זרוע אוטומטית שיודעת לשלוף אחד אחד את הטילים עם זביליהם מתוך מקום אחסונם בתובה, להגביה את הטיל כך שראש הביות יוכל לנעול על מטרה שנתגלתה ע"י כוונת ה"מכולה". לבסוף הזרוע היתה צריכה לסלק את הזביל הריק, לקראת סבב פעולה חדש. כשהזרוע לא היתה בפעולה, היא היתה מונחת באופן שטוח, צמודה לסיפון. הטילים בזביליהם היו מורכבים בחלק האחורי של התובה (נפח גדול וריק בתצורה של ה"מרכבה") על תוף מסתובב, המותקן לרוחב התובה. הזבילים היו מסודרים בתוף בשתי שכבות. בנוסף לפעולות האוטומטיות של הזרוע במילוי תפקידיה נדרש גם תאום כינון בין הטיל שעל הזרוע ובין הכוונת המותאמת לפעולת יום ולילה של ה"מכולה". באותה תקופה, הפעלת הזרוע בתפקידיה השונים והתאום בינה ובין הכוונת, כבר לא היו משהו שבגדר מדע בדיוני. בניתוחים הראשוניים הוגדר שהמערכת תזדקק ל- 5 מיקרופרוססורים – דבר שכבר לא היה חידוש גדול, או בעל עלות גבוהה במיוחד. קציני הפרויקט מטעם צה"ל, שליוו את הפרויקט התלהבו מהרעיון ומהתכן הראשוני, אבל חששו מהתגובות בדרגים הגבוהים של הצבא, שבאותו הזמן עדיין לא נחשף כמעט למיחשוב ואוטומציה. כדי להעלות את סיכויי האישור ומימון הפיתוח, הם ביקשו מאתנו בשום אופן לא להזכיר את המילים מחשבים, או מיקרופרוססורים.

הוסכם שבכל הפורומים הצבאיים ובדוחות שיכתבו למענם, המונח יהיה: "יחידות לוגיקה אלקטרונית" - בימינו גם אנשי צה"ל היו מסתכלים על זה כעל בדיחה. אז זה יכול היה לעשות את ההבדל בין אישור לחיסול הפרויקט. שלב הפיתוח הראשוני ובנית דגם על גבי התובה, להדגמת התנועות העיקריות של הזרוע ופיתוח מכלולי תפעול ראשוניים להוכחת היתכנות, דרשו גיוס צוות הולך וגדל של מהנדסים וטכנאים בהנדסת מכונות, הידראוליקה, אלקטרוניקה וכו'. התחלתי להקים יחידה חדשה שטפלה באותו שלב רק בלוחמת יבשה. במקביל התחיל דן בהקמת יחידה מקבילה, שטיפלה ב"חפיז" הבנוי על נגמ"ש - שבכל זאת היה פיתרון יותר זול ובעל תקופת פיתוח והצטיידות יותר קצרה. דן התחיל גם לעסוק בפיתרון יעודי נגד המיתחמים המבוצרים הסוריים המכונים "פיתות", בתצורה של נגמ"ש בעל מיגון מתקדם עם שתי רקטות גדולות המותאמות לחדירת הסוללה של הפיתה, כך שהפירצה תהיה מספיקה לחדירת הנגמ"ש לתוך חצר הפיתה. גם דן התחיל לגייס צוות. ההנהלה זיהתה את הכפילות שמתחילה להיווצר ובהיגיון בריא החליטה שראוי לאחד את שתי היחידות ליחידה אחת חזקה, שתטפל בכל נושאי לוחמת יבשה. הפניה היתה בו זמנית לדן ואל, שאנחנו נחליט בינינו מי ינהל את היחידה החדשה. ללא כל היסוס הצעתי שדן יקבל את תפקיד ראש היחידה ויטפל באדמיניסטרציה ובקשרי חוץ - בעיקר עם צה"ל. אני, בתור מהנדס מחקר ראשי, שמחתי לעסוק בפיתוח מערכות הנשק ללוחמת יבשה, שמספרן הלך וגדל, בעיקר ע"י ידי זיהוי צרכים והצעת רעיונות חדשים לצה"ל. למעשה, גם בפרויקט הרב שנתי הגדול שניהלתי בעבר, והייתי אחראי בו גם לצד האדמיניסטרטיבי וגם לכוח האדם, אף פעם לא זנחתי את קירבתי לתכן. למרות כמה קבוצות שעבדו אצלי במקביל, אני עדיין ירדתי לפרטי פרטים של התכן, תרמתי רעיונות ופתרונות, ואישרתי בחתימתי את כל השרטוטים שהלכו ליצור ואת כל הדוחות הטכניים - לא רציתי לוותר על זה גם בשלב זה. חלוקת התפקידים שלי עם דן עברה חלק מאוד, כשכל אחד מטפל במה שקרוב לליבו.

במקביל לשינוי המבנה שלנו, המשכנו בפיתוח ובשיווק של ה"מכולה". כללית, סיכויי הפרויקט קטנו. רפול התמנה לרמטכ"ל ולמרות שהוא תמך לפני כן בפרויקט והוא היה זה שהעביר אלינו את תובת ה"מרכבה", הוא שינה את



האורחים מסתכלים כלפי מעלה-לזרוע ה"מכולה".
ליד קוטי-האלוף אמנון רשף, מפקד כוחות השריון



האלוף קוטי (יקותיאל) אדם, סגן הרמטכ"ל מגיע לביקור בפרויקט "מכולה".
לידו בנצי נוה, מנכ"ל רפא"ל. (הוילון מטעמי מידור ביטחוני).

דעתו ונתן הוראה, שאפילו במסדרון המוביל ללשכתו, לא תוזכר ה"מכולה". בין היתר התקדמנו עד אז כבר עד כדי כך, שאת פיתוח מיכלול התוף המאחסן את הטילים בתובה, הוצאנו למפעל חוץ בעל ניסיון רב במערכות אוטומטיות. בגלל הרוח החדשה שהתחילה לנשוב בצה"ל, הצטמצם לגמרי הסיכוי שנצליח להשלים פרויקט בהיקף כזה. לאור זה הציע דן שננסה למכור לצבא פתרון הרבה יותר פשוט, בתקווה שאותו אפשר יהיה "למכור" לצבא. הוגדרה תצורה שאחרי כן קבלה את השם "פרא". גם זה היה פתרון בנוי על תובת טנק. מחוברת לטבעת הצריח היתה מחסנית לאחסון ולירי טילים. במצב מקופל היא היתה מונחת ממישור הסיפון ולמעלה. לשיגור טילים היא הוזקפה עוד יותר גבוה, לזווית הדרושה לירי. מבחינה מבצעית הפיתרון הגדיל את צלילית הטנק וכל הטילים עם ראשי הנפץ והמנועים הרקטיים שלהם נמצאו באזור הפגיע יותר – מעל גובה טבעת הצריח. הם גם היו מוגנים לא מכל הצדדים ובמיגון ברמה נמוכה יותר ממה שהיו בבטן התובה. מבחינה טכנית לא היה צורך לתאם בזמן ההפעלה בין הכוונת ומחסנית הטילים בצידוד, כי הם היו מורכבים על אותו הגוף המצטדר והסתובבו ביחד, אך בהגבהה היה צורך בתאום מבוקר. זה היה פתרון נחות בהרבה מהפיתרון שה"מכולה" הציעה, אך לעומתו היו לו סיכויי שיווק טובים יותר ולכן הוא קודם והגיע להשלמת הפיתוח, ליצור ולהעברה לצה"ל. צה"ל הצליח לשמר על סודיות מוחלטת של ה"פרא" במשך יותר מ-20 שנה ורק לאחרונה הוא הוצג ופורסם בעיתונות.

אחרי הפסקת העבודה על ה"מכולה" ולדאבוני לא לפני כן, מצאתי פתרון חדש, שכינתי "מכולה 2". בפיתרון הזה מוקמו הטילים בתאים אנכיים בחלק האחורי של התובה (אורך הטיל התאים לגובה התובה מבלי לבלוט ממנה). התאים סודרו בשתי שורות רדיאליות לרוחב התובה. מרכז הדריוסים היה בציר הסיבוב של זרוע השיגור. כמות הטילים בבטן הטנק גדלה משמעותית ונחסך מבנה התוף והצורך בתפעול אוטומטי שלו. לזרוע התווספה עוד דרגת חופש – הצורך להאריך אותה, במעבר משליפת טילים מהשורה הראשונה לשליפה מהשורה השנייה. היתה זאת תוספת לא משמעותית, כי שני האורכים היו קבועים מראש.

היתרונות לעומת ה"פרא" בלטו עוד הרבה יותר וההבדל בהיקף הפיתוח הצטמצם במידה רבה. אבל התיזמון הוא תמיד בעל חשיבות מכרעת – וגם במקרה זה: "מכולה 2" אחרה את המועד ואיבדה את ההזדמנות שלה וצה"ל הפסיד מערכת משופרת בהרבה ברוב הפרמטרים.

השקענו מאמץ רב בהשלמת הפיתוח ובנית האב טיפוס של הנגמ"ש נגד פיתות סוריות, כולל ניסויי הרקטות וניסויי המערכת השלמה. בין היתר, הרקטות היו מוגנות וצמודות לתובה והן היו נפרשות ומקבלות זווית הגבהה כנדרש, רק לקראת הירי. לנגמ"ש היה גג מוגן שהיה מתרומם סביב ציר רוחבי, כדי לאפשר ללוחמים לקפוץ מהכלי אחורה ולהסתער, כשהגג המורם מסתיר אותם מהגזרה הקדמית ומגן עליהם בזמן הירידה. הנגמ"ש הוכיח את יעילות מילוי תפקידיו, אבל צה"ל לא הצטייד בו.

היחידה ללוחמת יבשה היתה בקשר רציף עם יחידות השדה וזיהתה עוד ועוד צרכים דחופים. במיוחד בלט הצורך בנגמ"שי (נגמ"ש – נושא גייסות משורין) לחימה מוגנים ברמה גבוהה. ה"זלדה" שהיתה הנגמ"ש העיקרי של צה"ל, פותח ע"י האמריקאים בעיקר כרכב תובלה קרבי ולא כרכב לחימה. המיגון שלו, כאמור, לא היה מספיק אפילו נגד אש מנשק קל. ברפא"ל אמנם פיתחו תוספות לשיפור משמעותי של מיגונו, אבל גם אחרי זה הוא היה רחוק מאוד מרמת המיגון של תובת טנק – שגם עבורה פותחו ברפא"ל תוספות מיגון ששיפרו את מיגונה לרמות גבוהות מאוד. בצה"ל ראו במבנה ה"מרכבה", שבה המנוע נמצא מלפנים, עוד שיפור משמעותי בהגנה על הצוות. אישית הסתייגתי מזה. אני דגלתי במיגון התובה עצמה, שתגן על הצוות וגם על המנוע – כי צוות שהמנוע הגן עליו, אך הוא עצמו נפגע, הופך למטרה נייחת שסיכויי שרידותה קטנים ביותר. אבל חרטום התובה בטנק מרכבה היה בעל מיגון וגיאומטריה טובים מאשר בשאר הטנקים, גם עבורו פותחו ברפא"ל מערכות מיגון נוסף משמעותי. העובדה שהצבת המנוע מלפנים, איפשרה תא לחימה מרווח מאחור וגם אפשרה דלת אחורית, דרכה צוות הלוחמים

יוכל לפרוק מהטנק במהירות, בלי לעלות לגובה וכשהוא מוסתר ומוגן ע"י התובה כולה, הפכה בעיני את תובת ה"מרכבה" לבסיס אידיאלי לפיתוח נגמ"ש קרבי מוגן. כדי להפוך את הנגמ"ש לכלי לוחם דרשה הגישה שלנו לצייד אותו במערכות תצפית וירי אפקטיביות, כשאנשי הצוות מפעילים אותם ממושביהם בתא הלחימה, ללא צורך לפתוח את גג הצריח ולבלוט החוצה. עמדות תצפית ועמדות נשק כאלה היו אצלנו בשלבי פיתוח וכללו מספר מהנדסים מוכשרים ובראשם יענקל'ה. כתוצאה מכל אלו עשיתי תכן ראשוני והכנתי שרטוטים כלליים של נגמ"ש לוחם ומוגן ככל האפשר, עבור צה"ל, שבהמשך קיבל את הכינוי "אכזרית". ניצלנו את העובדה שברשותנו עוד היתה תובת המרכבה (ששימשה קודם לכן ל"מכולה") ובנינו דגם ראשוני מעץ. מאמצי השיווק שלנו הביאו לכמה תוצאות:

- צה"ל קיבל את הגדרת הצורך והתכן העקרוני לפי תפישתנו.
- הם החליטו שהפיתוח יעשה ע"י חיל החימוש ואנחנו נהיה קבלני המשנה שלהם לפיתוח עמדות התצפית והירי.
- הנגמ"ש יפותח על תובת "טירן" (טנק מתוצרת סובייטית, שכמות גדולה מסוגו נפלה לידי צה"ל, כשלל ממלחמות ששת הימים ויום כיפור).

ההחלטה השלישית שלהם היתה לדעתי שגויה מההתחלה, כי התובה היתה ברמת מיגון נמוכה ובגלל המנוע האחורי לא היתה אפשרות לפתח יציאה אחורה. הם החליטו על כוון הפיתוח שלהם בעיקר בגלל המחשבה של חיסכון בעלויות בגלל ניצול התובות שהיו זמינות ללא תשלום. התכן התחיל לפי הרעיון הבסיסי שלהם ודי מהר הסתבר שמה"טירן" נשארו לשימושם רק הרצפה והמזקו"ם (מערכת זחלים, קפיצים ומרכובים). מרבית התובה נבנתה מחדש מטעמי שיפור המיגון, מרחב תא הלחימה ובעיקר יצירת אפשרות לפתח יציאה אחורי. אפשרות היציאה אחורה דרשה שינוי גדול שכלל החלפת המנוע למנוע בעל מימדים קטנים יותר. אנחנו, כאמור, פיתחנו את עמדות התצפית והירי לפי כל הדרישות, אך התוצאה הסופית היתה רחוקה מתכן ה"אכזרית" שאני היצעתי. אחד מאבי הטיפוס של חיל החימוש, אפילו לא הצליח להתגבר על שיפוע הדרך העולה לירושלים. (איני זוכר איך בסוף הם התגברו על בעיית ההספק והמומנט, כדי שה"אכזרית" שלהם תוכל להיות כלי לחימה יעיל). גם בצורתה זו ה"אכזרית" עדיפה בהרבה מה"זלדה" ולוחמים רבים חייבים לה את הצלת חייהם, אבל כעבור מספר שנות שימוש מבצעי גם צה"ל הגיע למסקנה שנגמ"ש לוחם ומוגן ברמה גבוהה כאפשר, יש לפתח על בסיס תובת טנק ה"מרכבה". באחור של שנים צה"ל חזר לתפישת הבסיסית שלי ופיתח את ה"נמר" (נגמ"ש "מרכבה"). איני נוהג כך בדרך כלל, אבל התבקש שאכריז: "אמרתי לכם!".

עד כאן הזכרתי רק את עיסוקי הישירים, אך היו לי גם עיסוקים נוספים. אחד מהם היה השתתפות בסקרי תיכון של פרויקטים רבים ומגוונים. הוענקה לי שותפות סוד ברמה גבוהה, כך שיוכלו להזמין אותי לסקרי תיכון בכל פרויקטי הרשות - בחטיבה שלנו ובחטיבות האחרות. לפעמים הוזמנתי ליעוץ גם בתעשייה האווירית ובצה"ל. אך תרומתי העיקרית היתה לפרויקטים במכון, שלחלקם נרתמתי ותרמתי גם מעבר לסקרי התיכון. למשל, בפרויקט "ריצוף" בדקתי והצעתי פתרונות לחיבור המערכת לסוגי הטנקים שבשימוש צה"ל. בכל הדגמים פרט ל"מרכבה", הפתרון היה פתרון טכני פשוט למדי. ב"מרכבה" לא נראה היה פיתרון אפשרי מכיוון של"ריצוף" לא היה מקום גיאומטרי מספיק מאחורי ירכתי הטנק, בין זווית השחרור של המזקו"ם מאחור ובין קנה התותח בירי לאחור. ישבתי על חיפוש פתרון יצירתי מספר ימים, עד הרגע המרגש, כשמצאתי פתרון שעמד בכל המיגבלות. (משום מה, מבין כל הפרויקטים שהזכרתי כדי לתאר במקצת את עבודתי ברשות ושלגביהם אני עדיין זוכר את מרבית הפרטים, בפתרון שלי להתקנת "ריצוף" על המרכבה אני כרגע לא מצליח להיזכר. אילו הייתי צריך עכשיו לפתור את הבעיה, הייתי צריך "לשבור את הראש" מחדש).

עקב שותפות הסוד הנרחבת הוטלה עלי גם השתתפות בוועדות דירוג עליונות בדירוג המחקר ובדירוג ההנדסאים.

חלקן אף ישבו בתל אביב, כך שההשתתפות בהן כללה גם נסיעות ודרשה זמן ניכר. ההשתתפות השבועית שלי במפגשי הסגל הבכיר של הרשות, תרמה להרחבת הקשרים ולהעברת ידע מקצועי בין פרויקטים ובין היחידות השונות-דברים שתורמו הרבה לקידום הרמה המקצועית ועזרו רבות, כאשר עדיין לא היו מאגרי מידע ממוחשבים ברפא"ל. כמה וכמה פעמים התבקשתי להרצות בפני קבוצות סטודנטים מהטכניון, במאמצי גיוס של טובים שבהם לרשות. בקליטת עובדים ליחידות ולפרויקטים שאני עמדתי בראשם, הייתי מקדיש הרבה תשומת לב וזמן, ומראיין בעצמי את המהנדסים, השרטטים והטכנאים המועמדים, מבחינה מקצועית. עם הזמן רכשתי מיומנות בכך וזה עזר לי בגילוי הידע והפוטנציאל של המועמדים וגם את מידת התאמתם לרוח היחידות שהובלתי. מעניין לציין שבבחירת המועמדים היו לי הצלחות רבות, אבל לעתים היו הפתעות לא רק לי, כי אם בעיקר למהנדסים הצעירים בעצמם: אני התרשמתי מהידע שהם צברו עד אז ומהפרויקטים שהם הגישו בטכניון. בעבודה הייתי זקוק לכושר התכן שלהם ולידע האנליטי הדרוש בשבילו. אחרי התנסות בעבודה, הסתבר להם וגם לי, שהתכן הוא לא הנקודה החזקה שלהם ולא שאיפתם העיקרית. במקרים כאלו היינו נפרדים ברוח טובה וחלק מהם המשיכו הלאה ואפילו הצליחו טוב מאוד בתפקידים מנהליים. היו גם כאלה שכאשר גילו את נטייתם האמיתית, שבו לטכניון, למדו מנהל עסקים ו"החליפו את מקצועם". רובם מצאו את עתידם במכון, אך אחד מהם עבר לתעשייה האווירית ולימים היה מנהל אחד המפעלים שם. גם מבין האנשים שנשארו אצלי והוכיחו את עצמם, היו שבמקביל לעבודתם עשו תואר שני ואף שלישי. בדרך כלל היו אלו אנשים מצוינים, שאחרי זמן נוסף היה ממש חבל שימשיכו לעבוד אצלי, כי הם הגיעו לרמה ולבגרות שיכלו לתרום בהקמת יחידות חדשות ובהובלת פרויקטים. בהתחלת שנות השמונים היו כבר כמה וכמה מהמהנדסים שאני קלטתי לרשות מיד לאחר שסיימו את לימודיהם בטכניון, והגיעו למעמד בכיר. כשהייתי באחד השבתונים באוניברסיטת סטנפורד, הגיעה אלי הודעה מרגשת, שזכיתי ב"פרס רפא"ל על העמדת תלמידים" - שחניכי לשעבר דאגו שאקבל. במקום שאסע במיוחד מארה"ב לקבלת הפרס, התכבדו בזה במקומי עמית וליאת - ילדי, שבאותו הזמן כבר היו עובדי רפא"ל בעצמם. באותה התקופה הם היו עדיין "ילדי של סעדיה". בימים אלו, כשהם כבר ותיקים ובעלי הישגים רבים משלהם ברפא"ל, אני שומע בגאווה את התואר החדש שלי: "אבא של עמית" או "אבא של ליאת".



כפי שהיזכרתי בטקסט הכרונולוגי, בשנת 1983 יצאתי לשבתון באוניברסיטת סטנפורד, בקליפורניה. אם בפעם הראשונה עברתי רצוף 17 שנים לפני שיצאתי ל-MIT, הפעם הרשיתי לעצמי לצאת אחרי 8 שנים בלבד. היו לי התלבטויות בקשר לבחירת המקום. מה שהכריע, היתה ההמלצה של מויה, שעשה שם תואר שני ושלישי. הגדרתו היתה ש"סאוניברסיטת סטנפורד היא המקום הקרוב ביותר לגן עדן" - ואני חושב שהוא צדק. גורם נוסף לבחירתי היתה הזמנה שקיבלתי מאחד הפרופסורים, שהציע לי לעבוד איתו בהדרכת פרויקטים של סטודנטים לתואר שני. התקבלתי שם בתור Visiting Scholar וביליתי שם שנה פורייה מאוד. מחלקת התכנן של הפקולטה להנדסת מכונות (Design Division) שבה עבדתי, היתה מנוהלת ע"י קבוצה של פרופסורים רציניים מאוד, שעסקו בין היתר גם בחקר דרכי ההוראה של הנדסת מכונות. למדתי מהם די הרבה, אבל בהיבטים רבים קיבלתי חיזוק לגישה האינטואיטיבית שלי. מבחינה מקצועית, כאשר הכנתי הרצאות לסטודנטים, היתה זאת פעם ראשונה שניתחתי והוצאתי מסקנות מעבודת התכנן שלי ומפתרונות יצירתיים שמצאתי. מאחר והרצאותי היו מבוססות על העולם האמיתי ועל מערכות מוכחות שבניתי (ולא על תרגילים אקדמיים), ההרצאות שלי התקבלו בהתלהבות ע"י הסטודנטים ואנשי הסגל, שלפעמים באו לשמוע אותי. בין היתר, כשרק הגעתי, מצאתי את הפרופסור שלי - פיל ברקן (Phil Barkan), עסוק בניסיון להכין תרגיל לסטודנטים. הוא ראה ב-MIT שאחד הפרופסורים נתן לתלמידיו לחקור כל מיני פרמטרים והשפעותיהם, בעזרת מטוס/חץ מנייר. לזה צריך היה לשגר את המטוס במהירות קבועה בכל פעם. מצאתי אותו מחפש פתרונות בעזרת גומיות ולא האמנתי שהוא יצליח להגיע לפתרון אמין. מאחר וזה היה לקראת סוף השבוע, הבטחתי לו שאנסה ביום ב' להביא לו פתרון עובד. מאחר וגיליתי לו קודם שאני מפקפק בהצלחת השימוש בגומיות, הוא שאל אותי במה אני רוצה להשתמש. הפתעתי אותו כשגיליתי לו שאני עומד להשתמש בפחית בירה. את העיקרון הדגמתי לו כשהחזקתי בקצה של סרט נייר כשעל הקצה השני, שנמצא על השולחן שמתי משקולת כלשהי. במכת יד על אמצע הסרט, המשקולת נשארה במקומה, למרות שהנייר נשלף מתחתיה (היד שהכתיב בניצב לפני הנייר, הקנתה לנייר מהירות גבוהה שלקראת סוף המהלך שאפה לכיפליים ממהירות היד). בדרך מהאוניברסיטה קניתי מספרים, טייפ ודבק נייר וגם נכנסתי לסופרמרקט והשגתי כמה קופסאות קרטון. מהקרטון בניתי מבנה שאיפשר להזיז את פחית הבירה, שנפלה ופגעה בסרט. בסרט היה חריץ לאורכו שבו הובל מטוס הנייר שקיבל את המהירות הדרושה. הכל הלך לפי התוכנית שלי ובסוף כמעט ונכשלתי: בניתי את הפיתרון שלי על כך ששקיות דגני הבוקר הן מנייר חזק עד כדי כך, שאפילו לא הצלחתי לקרוע אותו בידי. הייתי בטוח שהחזק הזה יהיה מספיק כדי להעיף את מטוס הנייר עם רזרבה ענקית של שרידות. והנה, כשכל המערכת היתה מוכנה סרט המשגר התחיל להיקרע כמעט בכל שיגור! לרגע די נבהלתי, כי כבר היה יום א'. אך בו במקום הבנתי את השגיאה שלי: התאוצה שהסרט מפעיל כשהוא מתחיל להזיז את המטוס מאפס מהירות היא גבוהה מאוד. כדי לשכך את ההלם הראשוני נדרשה לי גמישות ולא חוזק. אם אקטין את התאוצה בתחילת התנועה, אח"כ העומס מזערי. החלפתי את הנייר החזק בסתם פלסטיק משקית "ניילון" וביום שני באתי לפרופסור, הזזתי את השולחן שלו למקום מרוחק בחדר, שמתי עליו את המשגר שלי וכוונתי לאחד הספרים בכוונת שלי. כמה פעמים ששיגרנו את מטוס הנייר, תמיד הוא פגע באותו הספר. ההתלהבות היתה גדולה וברקן הזמין את כל אנשי צוות הפקולטה לראות את "הפלא". חבל רק שהפיתרון שלי דרש כמה שעות עבודה בקרטון והוא לא רצה להטיל עבודה כזאת, על הסטודנטים, לביצוע ניסויים בפרויקט קטן של ראשית שנת הלימודים. הוא החליט לוותר על המחקר הפרמטרי של מטוסי הנייר. בינתיים המשגר המופעל ע"י פחית בירה, הקנה לי מעמד מועדף בחדר צוות הפקולטה.

הפרויקטים בהם הדרכת כמה קבוצות סטודנטים היו יותר רציניים. פרופ' ברקן היה במשך חופשת הקיץ מסתובב בין מפעלים רציניים ובתי חולים ומשיג מהם הגדרות של בעיות טכניות שהעסיקו אותם ומימן עבור הפיתרון והוכחתו. גיוון הפרויקטים היה רב: מפיתוח תפסן רובוטי (מין כף יד), מיתקני עזר לתעשיית לוחיות סיליקון

בהייטק, פתרון בעיות בתעשיית הרכב ועד פיתרון להעברת משותק בארבעת הגפיים, ללא עזרת אדם בהרמה, מהמיטה לתוך אמבטיה וחזרה. מאחר ושנת הלימודים היתה מחולקת לשלושה טרימסטרים, הראשון הוקדש לאיסוף מידע, הכנת קדם תיכון ובחירת פיתרון מכמה חלופות. השני לניסויי היתכנות ותיכון מפורט והשלישי ליצור המערכת וניסויי הוכחה. אני חושב שלסטודנטים זה היה קורס אידיאלי לקראת עבודה רצינית אחרי סיום התואר. עבורי זה היה ניהול פרויקטים מגוונים, עם סטודנטים מוכשרים, וללא לחץ של מזמין תובעני ומגבלות תקציב וכוח אדם. עשיתי מה שאהבתי וכנחת וגם הצלחתי להוציא מסקנות בעלות ערך בשביל עבודתי בעתיד. במקביל לעבודה הפרויקטית עם הסטודנטים, שרובם היו בעלי רמה גבוהה, זיהיתי גם ליקויים בלימודיהם לתואר הראשון. היו בוגרי הנדסת מכונות שלא היה להם שום מושג בשרטוט טכני. ממש אי אפשר היה למצוא איתם שפה משותפת בענייני תכן (פרופ' קורט לוי בטכניון, היה אומר די בצדק: "המתמטיקה היא המחשבה של המהנדס והשרטוט הוא השפה שלו"). הכנתי הרצאה כדי להקנות לסטודנטים מושגי יסוד של מבטים בשרטוט ולימדתי אותם להתבטא בסקיצות יד. חלק מהם למד מטלורגיה, אך לאף אחד לא היה מושג בבחירת חומרים עבור ביצוע הפרויקטים שהם הכינו. הכנתי להם מצגת על הנתכים הכי שימושיים של פלדה, אלומיניום ופל"ם (פלדה בלתי מחלידה - "נירוסטה") - כמה חומרים בכל קטגוריה, והדרכתי אותם באיזה מקרים לחפש נתכים מיוחדים ואיך למצוא אותם. השקעתי די הרבה מאמץ, אך זה עזר להם בדרכם להיות מהנדסי פיתוח וגם גרם לי סיפוק. במקביל שמעתי גם הרצאות מעניינות ומחכימות ממרצי חוץ, שהופיעו בפורום שהתקיים בכל יום שישי. בנוסף לכל אלה, די מהר קיבלתי את המפתחות לבתי המלאכה של הפקולטה והצלחתי גם לעסוק, בזמני הפנוי המועט, בתחביב הפיסול שלי. אנשי הסגל עודדו אותי לכך, כדי שהסטודנטים יחשפו לעוד פן של עבודה במתכת ובעץ. הם אפילו הכתירו אותי בתואר נוסף, של Resident Sculptor.

חזרתי מהשבתון ישר לתפקידי ביחידה ללוחמת יבשה. חיכו לי עבודות שוטפות, זיהוי צרכים בצה"ל והעלאת רעיונות/הצעות פיתוח חדשות. בתוך המחלקה שלנו ליוויתי את כל צוותי העבודה הפרויקטיים. נכנסתי לפרטי התכן ותרמתי להם מניסיוני המצטבר. אם איני טועה בתאריכים, התחלנו כבר אז לטפל בפנימי שדות מוקשים ואחרי כן ניכנסנו לתכן ולניסויים של מערכת "חולץ נעליים". הכנתי סקיצות מפורטות להצעה לרכב אימון בשדה למפעילי "מדרס" - כדי שלא יצטרכו להסתובב בחוץ עם "חפיז" או "פרא" שעדיין היו בגדר סוד מבצעי. גם במקביל לנושאים הישירים של לוחמת יבשה, היו מופיעים צרכים שונים שתאמו את הניסיון שלנו/שלי. למשל: נדרשה בדיקה בשדה הניסויים של השלב האחרון במעוף רקטה (הפעלת מרעום גובה, או משהו אחר). במקום ההכרח להשתמש בשרותי כלי טיס, הוחלט באחת מעמדות הניסויים בשדמה להקים מגדל גובה וממנו לשגר את הרקטות בזווית מתאימה כלפי מטה. לקחנו על עצמנו את הפרויקט. ראשית קנינו בזול מסולל בונה עמוד של עגורן גבוה, שיצא אצלם מכלל שימוש. הרכישה כללה הרכבה בשטח על ידי צוות מקצועי שלהם. לביצוע ניסויים תכננו מעלית ועליה מתקן שיגור שניתן לכוון את זווית הירי שלו. הרקטה הורכבה על המשגר כשהמעלית למטה והועלתה לראש המגדל שם המשגר ננעל לקראת הירי. מבחינה בטיחותית הגדרנו לעצמנו דרישה תכנונית, לפיה חיבורי החשמל של המשגר והרקטה יהיו מקוצרים כל זמן העלייה. רק כשהמשגר ינעל במקומו, יפתח הקצר והמחבר יתחבר לשקע ניתוק, שגם הוא מקוצר עד התחברות התקע. השקענו הרבה יצירתיות בתכן של המחברים האלו, אבל קיבלנו מערכת עם מרב הבטיחות, נגד הפלטת רקטה שלא לפי פקודה מפורשת. בין היתר, המגדל היה גבוה מאוד (לא זכור לי כמה עשרות מטרים), כך שבכל רוח מצויה החלק העליון שלו היה מתנדנד באמפליטודה משמעותית. בשביל להגיע למעלה היה סולם אינטגרלי לכל גובהו ששלושה מוטות וקשתות נותנים בטחון נגד נפילה של מי שמטפס או יורד בסולם. מובן שכל מי שיש לו שמץ של פחד גבהים לא היה מעז אפילו להתחיל בטיפוס. החלטנו לייסד "מיסדר אמיצים" ושמנו בראש המיגדל מחברת מיוחדת ועט. רק מי שטיפס

והתמקם בראש המיגדל, הוסיף את חתימתו והפך לחבר המיסדר.

הגיעה שנת 1987. מלאו כבר 31 שנה לעבודתי האינטנסיבית ברפא"ל. במקביל מלאו כבר 46 שנים מתחילת עבודתי כנער צעיר בגטו וילנה. לא הרגשתי עייפות מיוחדת או שחיקה בעבודה, אבל כשהתאפשר לי, ניצלתי את העובדה שהצטברו לזכותי מספיק חודשי שבתון ולפי הנהלים אפשר היה לצאת לשבתון נוסף אחרי 3 שנות עבודה מהחזרה משבתון קודם, ויצאתי עוד פעם לסטנפורד. נתקבלתי שם בזרועות פתוחות. הפעילות שלי שם היתה דומה מאוד לזו שבשבתון הראשון שלי בסטנפורד. הפעם אפילו קיבלו אותי בתואר: Visiting Professor. מובן שהחזרה לאותו התפקיד בסטנפורד וללא בעיות ההתאקלמות באזור, גרמו לכך שיכולנו להנות עוד יותר "מהמקום הקרוב ביותר לגן עדן". גם תרומתי לפקולטה היתה מהירה ומשמעותית.

אחרי שנה חזרתי לרפא"ל וקיבלתי מנוי חדש, שוב ביחידה ללוחמת יבשה, אך התמניתי ל"עמית מחקר". זה מינוי אישי, שהיה נדיר מאוד ברשות ואפשר כנראה להגדיר אותו כ"מישרת אמון". מאחר והכירו את היכולות שלי ואת מסירותי לעבודה, קיבלתי מההנהלה כיסוי תקציבי אישי והייתי יכול לעסוק במה שנראה לי חשוב ליחידה ולצה"ל, מבלי שפרויקט כלשהו יצטרך לכסות את עלות השכר שלי.

התקופה היתה אינטנסיבית מאוד וטיפלתי בהרבה נושאים ופרויקטים. בכל זאת ניצלתי גם את חופש הפעולה שהוענק לי והכנתי הצעה מפורטת למערכת שלא היתה קשורה ישירות לעבודות היחידה שלנו: הצעתי רעיון למזל"ט זעיר, לתפעול בדרג של פלוגת חי"ר. ביססתי את ההצעה על מצנח כנף קטן, מונע בעזרת מנוע עם מדחף. בזמן השבתון הקודם שלי, הצלחתי לארגן לעצמי ביקור אצל בעל מפעל גדול למצנחים, שבמקורו היה טייס קרבי בצי ארה"ב ולמד הנדסה אחרי כן. בנוסף, הוא היה גם יהודי טוב. הוא עשה לי הדגמה של המזל"טון שהוא פיתח, שהצטיין בכך שבמצב מקופל הוא היווה חבילה קטנה וקלת משקל. אחת מאפשרויות השיגור שלו היתה בהצבתו על מכסה המנוע של ג'יפ וכשהג'יפ הגיע למהירות של 30 קמ"ש, צריך היה פשוט לבלום אותו והמזל"טון המשיך ונסק. אפשר היה להמריא גם ממשטח משורי לא גדול. בהצעתי טיפלתי במעקב ובקביעת המקום ממנו המזל"טון מצלם – זה היה שנים לפני פיתוח השימוש ב-GPS בצורה ממוזערת. ההצעה שלי התבססה על שימוש בכוונת טרמית ובמד – טווח ליזר. חוץ מהכנת ההצעה שלי בחוברת, התחלתי גם במאמצי שווק הרעיון ברפא"ל ובצה"ל. מסקנתי העצובה במידה מסוימת,



היתה שלמימוש מערכת יחסית חדשנית, צריך "משוגע לדבר" ואני לא הייתי מספיק משוגע לנושא זה, מבין כל הנושאים שטיפלתי בהם. לכן ההצעה לא התקבלה בצה"ל, למרות שאיסוף מודיעין "מעבר לרכס" בזמן הלחימה ע"י מסגרות לחימה מצומצמות הוכר כחשוב. עברו שנים לא מעטות עד שהשימוש במזל"טים ניכנס לצה"ל והוכיח את חשיבותו. רק אחרי זה פיתחו מזל"טון קטן להפעלה בפלוגת חי"ר, כפי שהצעתי שנים לפני כן.

בהתקרב "מלחמת המידבר" (Desert Storm) של האמריקאים נגד עיראק, בשנת 1991, כשסדאם חוסיין איים על ישראל, הופיעה דרישת חרום מצה"ל, להכניס שינוי מסוים בפרויקט הגדול שהושלם בראשית 18 שנים לפני כן. אירגנו צוות מוותיקי הפרויקט והתחלנו במבצע די מסובך, שדרש עבודה רבה ולפי דרישות צה"ל היה מאוד מוגבל בזמן. המאמץ שלנו הוכתר בהצלחה וזכה בהכרה שהתבטאה גם בפרס רפא"ל על ביצוע

משימה למופת בשעת חירום, שניתן לכל אנשי הצוות שהיה אחראי לעבודת החרום (בעת הענקת הפרס, כנראה הייתי המבוגר בין מקבלי פרס רפא"ל על ביצוע משימה, אי פעם – כי הייתי כבר בן 63). סיפוק גדול היה לי מעצם המפגש עם הפרויקט שלי אחרי תקופה ארוכה למדי, כשגיליתי שכל המערכת נשמרה כמו ביום מסירתה לצה"ל (פרט לטיפת קורוזיה על חלק חיצוני מצופה קרמיום – משהו שולי שהבליט כמה כל השאר היה עשוי ומאוחסן נכון). לדאבוני, כמה ימים לפני גמר פרויקט החרום, קרתה לנו תאונת דרכים בדרך מהתעשייה האווירית, ובשלב האחרון הזה שכבתי בבית חולים עם 5 צלעות שבורות, ואפילו לא הייתי מסוגל לנשום במסכת הגז, שהיינו מצווים לשים בכל אזעקה, בגלל הטילים שסדאם חוסיין שילח בישראל.

יותר מאוחר צורפתי למשלחת מצומצמת של קציני חיל החימוש, שהוזמנה כאורחת של החיל המקביל בצבא הגרמני. קיימנו איתם דיונים רציניים על הניסיון של צה"ל בנושאים מבצעיים וטכניים, שלהם היה לגביהם ידע רק מאימונים ותמרינים, ולצה"ל ניסיון מצטבר רב מלחימה בשדה הקרב. אחד הנושאים המרכזיים היה פינוי שדות מוקשים ובזה אני כבר רכשתי ידע משמעותי מעבודתנו על "חולץ נעליים". הגרמנים קבלו אותנו בכבוד רב ובהתלהבות. ביום לפני האחרון היה לנו מפגש במטכ"ל הגרמני בבון וגם שם הגנרלים שלהם קפצו לדום והצדיעו לנו. ביום האחרון אחד הקצינים הצעירים שלנו הסיע אותי מבון לשדה התעופה בפרנקפורט. במשך כל ימי הדיונים לא היה לי זמן לחשוב על משמעות הסיוור הזה לגבי, אבל בזמן הנסיעה במכונית פתאום "נפל לי האסימון". שאלתי את הקצין שהסיע אותי לדעתו – כמה עשירות שנייה הייתי נשאר בחיים אילו הייתי נכנס למטכ"ל הגרמני בשנת 1941? אני חושב שבשבילי, בתור ניצול שואה לא יכלה להיות סגירת מעגל יותר סמלית מהביקור במטכ"ל הגרמני.

הלך והתקרב מועד פרישתי לגימלאות. המעבר מעבודה כל כך אינטנסיבית במשך כל כך הרבה שנים, ישירות לגימלאות נראה היה לי מעבר חד מדי. לכן החלטתי לנצל את חדשי השבתון שהיו עדיין לרשותי ולצאת בפעם האחרונה לסטנפורד. זמן מה לפני היציאה המתוכננת עוד השתתפתי בצוות שהכין הצעה לקראת עיסקה גדולה עם לקוח מחו"ל. הלקוח היה מאוד קפדן והציב דרישות רבות מאוד לגבי ההצעה. כדי למלא את הדרישות בזמן הקצוב, עברנו יום יום מ- 8:00 בבוקר עד חצות. התוצאה היתה כמות חוברות, לכיסוי כל היבטי הפרויקט המוצע, שדרשה מדף באורך קרוב למטר. אסיים את התקופה הזאת באפיזודה: באותם הימים קיבלתי הפרעות בקצב הלב (אקסטרה סיסטולות). ניגשתי לרופאה, שגילתה שהפרעות הקצב באמת מופיעות בתכיפות רבה. היא שלחה אותי לעשות קרדיוגרמה שגם בה הופיעו כמה מחזורי קצב מופרע. כשחזרתי אליה עם התוצאה שאלתי אותה: "האם זה מסוכן? כי ב-15 ביוני זה יפסק". היא הסתכלה עלי כלא מאמינה, לכן הסברתי לה שאני עובד בימים אלו קשה ביותר, על נושא שחייב להיגמר עד אותו התאריך ואני בטוח שעם ירידת המתח הפרעות הקצב תחלופנה. היא הבטיחה לי שזה לא מסוכן ואפילו אימתה את דעתה בהתייעצות עם קרדילוג. אני המשכתי במאמץ המרוכז. גמרנו את כל הדרוש עד למועד הנקוב ובאמת, מיד אחרי זה, הלב שלי נרגע וחזר לפעול בסדר גמור.

יצאנו לסטנפורד ואפילו הצלחנו טלפונית לקנות חזרה רהיטים וכלי בית שלנו, שבזמנו מכרנו לשבתוניסט אחר והם עברו מאיש רפא"ל אחד למישנהו. כך שהגענו למקום מוכר לנו כשהכל מוכן לקליטתנו, ומחכה לי עבודה מוגדרת ומוערכת. גם השנה הזאת עברה באופן מוצלח והיתה ממש קצרה בעינינו.

חזרנו הביתה ואני באתי לרפא"ל – 37 שנים אחרי התחלת עבודתי ברשות ומספר שבועות לפני יום הולדתי ה-65. הגעתי והכרזתי שהיתה לרשות שנה שלמה כדי ללמוד להסתדר בלעדי ולי היתה שנה כדי להסתגל לחיות שלא כאיש רפא"ל, ואני מבקש לפרוש לגמלאות. קבלתי תשובה שלילית והתבקשתי להמשיך לעבוד עד יום ההולדת ה-65. ההתעקשות נראתה משונה בעיני והתחלתי לנסות לברר את הסיבה האמיתית. משיחה עם איש משאבי אנוש

נודע לי פתאום שיש סעיף בתקשי"ר שקובע, שמי שפרש ממקום עבודתו לפני גיל 65 (ולא חשוב כמה שבועות או כמה ימים לפני יום ההולדת), לא יוכל לשמש כיועץ בשכר. לשמע הנימוק הזה פרצתי בצחוק: "האם מישו חושב שאחרי שנים רבות כל כך של עבודה נמרצת, אני אחיה מוכן ליעץ למישהו בשכר? – אם יהיה משהו חשוב, ובעיקר חשוב לצה"ל, שאוכל לתרום לו מהידע שלי, לא אהסס להתנדב לעשות זאת, אבל אחרי 37 שנות עבודה ברפא"ל ו-52 שנים מאז שהתחלתי לעבוד כדי לעזור בפרנסת המשפחה, אני מתכוון ליעץ בשכר. מה עוד שאני עומד לקבל פנסיה רפא"לית "נדיבה". אחרי הכרזתי זאת אושרה פרישתי ויצאתי לגמלאות בערך 3 שבועות לפני יום ההולדת שלי.

מיד אחרי פרישתי מהעבודה עוד הוזמנתי לעבור בדיקת פוליגרף, כדי ששותפות הסוד שלי ברמה הגבוהה תשמר – נוהל מקובל לאחר שבתון בחו"ל. אחרי כן הוזמנתי כמה וכמה פעמים ליעוץ בנושאים בהם רכשתי ניסיון בשנות עבודתי. נעניתי ברצון ובאיתי, אך כמה פעמים היו גם נסיונות לגייס אותי כמתנדב לפרויקטים שונים, בצורה קבועה של מספר ימים בשבוע. לזה לא הסכמתי ובעיקר מהסיבה שבאותו הזמן רפא"ל התחילה לעבוד יותר ויותר למטרות שיווק בחו"ל. עמדתי היתה שלטובת פרויקטים עבור צה"ל הייתי שוקל להתנדב. לפרויקטים שעיקר תכליתם היא רווח כספי לרשות, לא רציתי לוותר על החופש שלאחר הפרישה. במשך השנים עוד הוזמנתי לברור כל מיני דברים מהעבר, כמו בדיקה של מקרים שבהם אנשים טענו: "סעדיה אמר, או קבע כך". נקראתי מספר פעמים גם לסייע לכותבים של ההיסטוריה של פרויקטים בהם הייתי מעורב. פעם אחת גם הוזמנתי למסיבה של יחידה שזכתה בפרס ביטחון ישראל ורצתה השתתפות של כמה זוכים בעבר.

חוץ מהמקרים הנ"ל היתה לי הרגשה שהרשות מנסה להתנתק מוותיקיה. הדבר הודגש בעיני כאשר הוזמנתי פעמיים למסיבות בתע"א. בפעם השנייה אף הוענק לי מגן של "יקיר התעשייה האווירית". במשך השנים תרמתי במידה מסוימת לתע"א, אבל אין לזה שום השוואה לתרומתי לרפא"ל, והנה התע"א מזמינה אותי ורפא"ל לא. החלטתי לפנות למנכ"ל שאז היה גיורא שלגי – פחות או יותר בן הדור שלי ברשות. הבעתי את דעתי שמוסד מחקר לא יכול להתקדם, אלא אם הוא בונה את יסודותיו על הניסיון שנצבר בעבר ודואג לקשר בין דור הוותיקים ובין ממשיכי דרכם הצעירים. קבלתי מגיורא תשובה, שהוא חושב על כך בדיוק כמוני, אבל תפקיד השמירה על הרצף, חל על ראשי החטיבות. מאחר וראשות חטיבה היא בדרך כלל קדנציה לא ארוכה, אין לדעתי שום הגיון למסור את התפקיד הרב שנתי, לבעלי תפקידים מתחלפים. תפקיד שמירת הרצף חייב להיות מוטל על הנהלת הרשות. אחרי שהבנתי את השקפתו של גיורא, ירדתי מהנושא.

אישית אני לא מרגיש נתק מרפא"ל בגלל העובדה שעמית וליאת – ילדי, הם כבר וותיקים ומוערכים ברשות, ודרכם אני יכול ללוות את המשך ההתפתחויות. כללית, אני מחזיק בדעתי שרפא"ל (עכשיו כבר רפאל בע"מ) עושה שגיאה בהיבט של רצף הדורות והעברת הידע ובעיקר – רוח ומסורת רפא"ל.

מקבץ של מספר תמונות הווי:

במשך השנים יצא לי להשתתף באירועים רבים מאוד ברפא"ל. לא נשארו בידי תמונות שהנציחו את זה. לאחרונה קיבלתי תמונות משנת 1977 כאשר זאב בונן העביר את תפקיד מנכ"ל רפא"ל לבנצי נוה, שבגלל זה עזב את ראשות החטיבה שלנו.



תורו של בנצי הגיע



זאב נושא את דבריו



ראובן מקפל את נאומו. אני מברך ומגיש לבנצי מתנת פרידה מהחטיבה. בנצי מודה ומניף את המתנה בשמחה.



ב- 1966 תכננתי שעון שמש, כמתנת רפא"ל למכון אחר

אפילו הנספח על עבודתי ברפא"ל

ימי הכתיבה של פרק זה היו לי ימים מרגשים של היזכרות בתקופות עבודה ללא לאות, ימי חברות ומאמץ משותף עם אנשים רבים וטובים, הקרובים ללבי עד עצם היום הזה. הכתיבה היתה גם מין מבט מסכם על תקופה שמהווה חלק משמעותי של חיי, שבו עשיתי ככל יכולתי כדי לתרום לביטחון המדינה. אני רואה בזה מעין תשלום חוב למדינה בה נולדתי מחדש ונחמה מסויימת על כך שאני מוריש לצאצאי מדינה במצב שעליהם עוד יהיה לעמול קשות כדי להביא אותה למה שעליו חלמנו כשנלחמנו על תקומתה.

בסיימי את כתיבת הפרק, יש לי גם הרגשה קצת משונה: בגלל מגבלות הסודיות, נמנעתי מלכתוב ישירות, על עבודתי המשמעותיות ביותר. לכן ההיבט הזה חסר ו"מדולל" מאוד. הייתי יכול גם להרחיב ולהוסיף הרבה מאוד על פרטי תכן ופתרונות יצירתיים שהצלחתי לממש במשך שנות עבודתי והם חרוטים בזיכרוני למרות הזמן הרב שחלף - אבל מאחר וקהל היעד של הכתיבה שלי איננו דווקא של אנשים עם רקע טכני, העדפתי לתאר אפיזודות שעשויות לעניין גם קהל רחב יותר. הכנסתי גם קצת מהרקע הכללי בארץ ובאזור, באותם הימים שכבר התרחקנו מהם בשנים רבות. עדיין אני חושב שיהיו אנשים שיחליטו בכלל לוותר על קריאת הנספח הזה, או לקרוא אותו "בדילוגים". הוא בכוונה מופיע כנספח, כך שזה לא אמור להפריע לקוראים את הטקסט הכרונולוגי.

מתחילת הכתיבה רציתי להמנע מציון שמות חברי לעבודה, בגלל רגשותיהם של אלו שלא הוזכרו. הצלחתי לעמוד בזה באופן חלקי בלבד ואני מבקש מראש את סליחתם של אלה שקיפחתי. לו הייתי מזכיר את כולם, כפי שאמנם מגיע להם, היה פרק זה הופך בעצמו לספר עב כרס.

כרגע עלה בדעתי עוד "בונוס" בו זכיתי עקב עיסוקי בפרויקטים שעמדו בזמנו ברומה של העשייה הביטחונית בארץ. בגלל החשיבות של חלק מהם יצא לי עם הזמן לפגוש רבים ממנהיגי המדינה והצבא. החל בלוי אשכול, שמעון פרס, גולדה מאיר, משה דיין, יצחק רבין, מנחם בגין - בתפקידיהם השונים, כמה מרמטכ"לי צה"ל בזמן שרותם ורבים מהקצינים הבכירים. אף פעם לא יחסתי לזה חשיבות אישית רבה מדי ולא חיפשתי, למשל, הזדמנויות להצטלם איתם. אבל להבין ישירות את גישתם וללמוד מכמה מהם על דרך החשיבה של אנשים בעמדות ההכרעה הבכירות ביותר, כשחלקם אף חכמים ומנוסים מאוד, היתה פריווילגיה משמעותית והזדמנות ללמוד ולהבין.



Visitors from the Israeli Space Program are from left to right; Mr. Saadia Bahat, Mr. Moshe Avni, Mr. Moshe Barnea, Mr. Y. Lavi, and from NASA Wallops Station Mr. Abe Spinak, Chief of Range Engineering Division.
(משה אבני זה מויה; י.לביא זה יעשי שלימים היה מנכ"ל רפא"ל)