

## "לייטנינג" ("LITENING")

מיכל (פוד) אלקטרואופטי לניווט מטוסי קרב ותקיפת מטרות קרקעיות

### ד"ר ישראל גרינפלד<sup>1</sup>

כתבה 47 בסדרת כתבות על היסטוריית רפאל בעריכת ד"ר ראובן אשל<sup>2</sup>

#### רקע

הרעיון לפרויקט נהגה ע"י המחבר בשנת 1985, בשלהי תקופת הפיתוח של טיל האוויר-שטח "חמודון" ("פופאיי"). עם ירידת הפעילות ב"חמודון" ועקב כך צמצום ההזמנות בתחום מבנים מוטסים, מצא עצמו ראש התחום עוסק באינטנסיביות בחיפוש אחר פרויקטים חדשים בנושאי מבנה ואלקטרו-אופטיקה. התחום היה הראשון בשטח מכניקה להתמודד עם הצורך למצוא פרויקטים חדשים ומימון עבורם. ברקע עמד המעבר ההדרגתי של רפאל לעבודה על פי עקרונות כלכליים לקראת המעבר לחברה ממשלתית. אחד הנושאים שנבחן היה פודים אלקטרו-אופטיים למטוסי קרב, בעלי יכולת צילום אווירי (Reconnaissance), כינון חימוש (Targeting), ותקיפה. התחום של פודים מוטסים היה מוכר למחבר ממיל התקשורת "חשוקה", שגרסתו כ"חשוקון" ("חמודון" אימונים) עם ראש ביות "חמודון" פותחה בתחום מבנים מוטסים, והייתה למעשה פוד אלקטרו-אופטי מוטס.

#### תיאור מערכת ה"לייטנינג"

"לייטנינג" נועד לפעול ביום ובלילה ובכל מזג אוויר לצורך ניווט, איתור וציון מטרות קרקעיות באופן עצמאי לצורך תקיפתן בחימוש אוויר-קרקע (ראה איור 1), או בשיתוף עם מטוסים אחרים וכוחות קרקע. הפוד מכיל מארז של מחושים, המאפשרים לטייס לראות תמונת וידאו של המטרות, לסרוק, לבחור את המטרות התורניות, ולציין אותן באמצעות מצוין לייזר עבור חימוש מונחה לייזר, או להעביר את נתונין לחימוש מונחה אחר. לחילופין הפוד יכול לחפש באופן אוטומטי אחר מטרות שצוינו בלייזר על ידי כוחות שיתופיים, ולתקוף אותן ע"י החימוש במטוס. בתצוגה העילית של הטייס מתקבלת תמונת וידאו רחבה, שמסייעת להטסת המטוס בגובה נמוך בלילה.



#### איור 1: שיטת הפעולה הבסיסית

לייטנינג על מטוס גריפן השבדי, נועל על מטרה שבתמונת הוידאו על צג המטוס, ומציינה לחימוש מוכון לייזר.

<sup>1</sup> בעבר ראש תחום מבנים מוטסים, יוזם הפרויקט ומנהלו וכיום מדען חוקר במכון ויצמן

<sup>2</sup> בעבר מנהל חטיבת הטילים (86-1982) וכיום ראש ענף היסטוריה של רפאל (בדימוס)

## שלבי הפרויקט

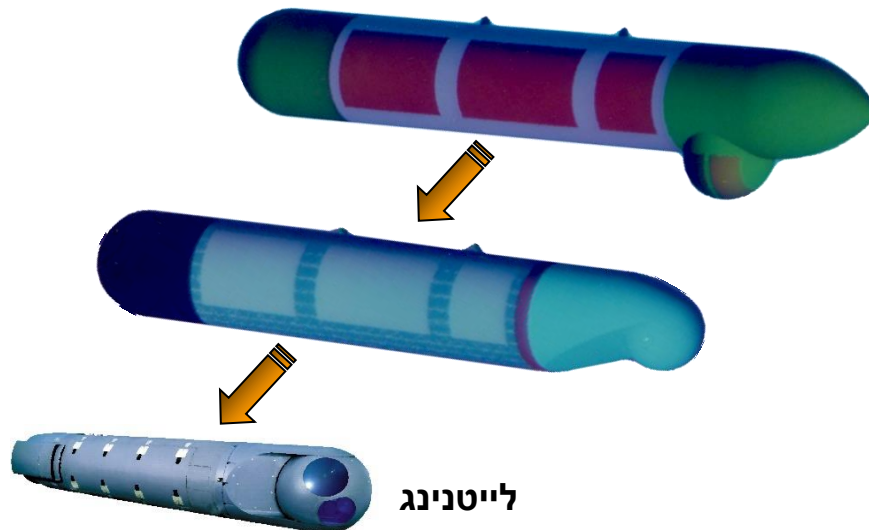
ניתן לחלק את ההיסטוריה של "לייטנינג" לשלוש תקופות: תקופת הלידה, בשנים 1985 – 1987 שבה נולד הרעיון וגובש קונספט המערכת. תקופת ההמתנה בשנים 1988 – 1992 שבה גובשה התוכנית העסקית ונעשו הניסיונות הראשונים לשיווק המערכת, ותקופת הבגרות, משנת 1993 ועד היום, שבה בוצעו פרויקט הפיתוח העיקרי והתאמתו ללקוחות הרבים וכן פיתוח דורות חדשים של המערכת. בהיותה מערכת לא טילית, הפרויקט היה במשך שנים ארוכות נטע זר בחטיבת הטילים, והתגלגל ממסגרת ארגונית אחת לשנייה עד שמצא את מקומו בשנת 1995 במנהלה עצמאית משלו בראשות **דוד זית ז"ל**. שלא כרוב הפרויקטים ברפאל, לייטנינג נולד בקבוצה של תיכון מכני ועקרונות עיצובו נעשו שם. רקע זה השפיע רבות על עיצובו וסגנונו, ובדרך הניהול שלו.

כבר בתקופת הלידה נקבעו התכונות המרכזיות שאפיינו את המוצר ואת התוכנית כולה: מוצר מוכון לדרישות השוק, כולל מגוון רחב של לקוחות ומטוסים, בעל יכולת מבצעית רחבה, גם אם לא בפסגת הביצועים, בעל ייצוריות טובה ומחיר נמוך, יכולת גידול, וארכיטקטורה הנובעת מדרישות תחזוקה (כגון מודולריות, מיעוט ציוד בדיקה ויכולת בדיקה עצמית נרחבת). מודולריות המוצר אפשרה, בהמשך הדרך, לייצר מרכיבים שלו בכל רחבי העולם, אם על ידי קבלני משנה, או על ידי השותפים הבינלאומיים של הפרויקט. התוכנית גילמה תפיסות פיתוח טכני ועסקי חובקות עולם, שחייבו עבודה בשיטות מוכרות, כולל הנדסה משולבת פיתוח-ייצור-שיווק, תיעוד טכני ותוכניתי מקיף, ועבודה עם הרבה קבלני משנה ושותפים אסטרטגיים. הצורך להתמודד עם התחרות הבינלאומית חייב מיקוד מתמיד על האטרקטיביות של המוצר, והטסת דגם מלא עובד לפני רכישה ע"י הלקוח (Fly before buy).

## הולדת הרעיון

הלייטנינג נהגה, גובש ועוצב בתחום מבנים מוטסים, התחום שהיה אחראי על המבנאות והזיוד של טיל "חמודון". הצוות המכני של התחום נחשף לתמונת המערכת המלאה של פרויקט "חמודון", והיה מעורב בפיתוח המערכת דרך התכן והביצוע של הכללתה וההכרות עם כל מערכות הטיל ומיכל התקשורת "חשוקה". פוד ה"חשוקה" נגזרתו ה"חשוקון" (טיל אימונים קשור למטוס), היו ממקורות ההשראה לפרויקט. רבים מהאנשים שעבדו על פרויקט "חמודון" לקחו חלק בפיתוח המוקדם של לייטנינג וגם בתוכנית הפיתוח המלאה לאחר מכן. חשיפת הצוות לפרויקט רב-מערכתי כ"חמודון", לטכנולוגיות והידע שפותחו במסגרתו, ולשיטת ניהול של ראשו, ד"ר יוסי לזין ז"ל, השפיעו רבות על עיצובו ופיתוחו, בהתאמות הראויות לתקופה, לשוק ולמוצר. ההתאמות היו נחוצות להתמודדות עם הסביבה העיסוקית המשתנה, ובפרט ריבוי לקוחות ומטוסים, פיתוח עסקי מוטה שוק, סבבי פיתוח מעטים וקצרים, ותיכון לעלות, ייצוריות ותחזוקתיות.

אחד הרעיונות שנבחנו בתחילת הדרך, על פי הצעתו של **ד"ר צבי פרידמן** משטח אלקטרו-אופטיקה, איש עתיר דמיון וקסם, ובסיועם של **צבי יבין** ואחרים, היה האפשרות להתקין מטעד אלקטרואופטי על הגוף המכני של "חשוקה". מהר מאוד התבהר שפתרון כזה אינו מעשי עקב גודלו וצורתו של הפוד. הדמייתו, במערכת התיב"ם המכני, שעשתה אז את צעדיה הראשונים ברפאל, המחישה את חוסר ההתאמה של הפתרון הזה (איור 2). בחיפוש אחר פתרון חילופי, נוכחנו לדעת כי ברפאל קיימים מירב נכסי הידע הקריטיים הנחוצים לפיתוח עצמאי של פודים, לרבות מבנאות של פודים למטוסי קרב, מחושי יום ולילה זעירים, מערכות מיוצבות להכוונת קו ראייה, ומערכות ניווט, אך בראש וראשונה היכולת המערכתית. תובנה זו הבשילה והובילה אל הרעיון לנצל את המערכות והיכולות הקיימות ברפאל לתיכון פוד שמרכז הכובד שלו הוא התפיסה המערכתית ולא הטכנולוגיה, שיאגד יכולות מבצעיות שנמצאו עד אז בשוק בפודים נפרדים, וזאת בעלות נמוכה בהרבה. זהו רגע לידת הפרויקט.



**איור 2: התפתחות התצורה.** הדמיית תיב"ם של מטעד אלקטרואופטי בגחון פוד חשוקה (למעלה) ובחזית חשוקה (באמצע), ופוד לייטנינג (למטה). שלושתם מוצגים באותו קנה מידה.

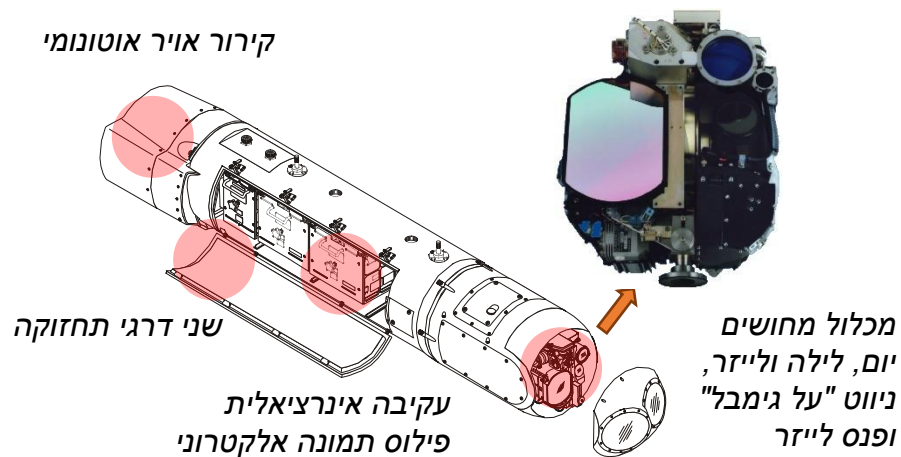
### פיתוח הקונספט המערכתי

במאי 1986 ערכנו יום עיון בנושא "קוקוס" (שמו הראשון של "לייטנינג") עבור חיל האוויר, בו השתתפו נציגים של מחלקות אמל"ח, חימוש ומבצעים. בדו"ח הטכני שיצא לרגל יום העיון הוצגה לראשונה התפיסה הכוללת של לייטנינג, שבעיקרה לא השתנתה עד היום, לרבות הדרישות המבצעיות, קונספט המערכת, הממדים, ותת-המערכות העיקריות. התפיסה החדשנית של פוד קטן ממדים ומודולרי, שיכול להתאים לכל מטוס קרב, שכל מחושיו מותקנים על פלטפורמה מיוצבת בקדמת הראש, ואשר נושא מארז מגוון של מחושים שעד אז נדרשו להם פודים נפרדים, נקבעה כבר לקראת יום עיון זה והוצגה בו. הפונקציות העיקריות נקבעו אף הן, כולל הצבעה, תצפית, גילוי, עקיבה, ניווט, ציון לייזר, מדידת טווח, גילוי ועקיבת כתר לייזר, והקלטה. כמו כן, אומצה כבר אז הגישה של פיתוח מערכתי המבוסס על טכנולוגיות ורכיבים קיימים בארץ, בניגוד לגישת הפיתוח הטכנולוגי הכולל, שרווחה אז בפרויקטים גדולים, זוהו המרכיבים הקריטיים של המערכת, כולל הפליר, הלייזר, מגלה הכתר, מערכת הגימבלים בעלת ארבעה צירי תנועה, מערכת המדידים האינרציאליים, והעוקב האלקטרו-אופטי. ביום העיון הוצג לראשונה יעד המחיר הנמוך (עלות של \$700K) שנבע מפשטותה של המערכת, שהוזה בהמשך אחד מציוני הדרך החשובים במיצובו בשוק.

בתחילת יום העיון ניגש אלי סא"ל דוד זית, טייס בחיל אוויר, שלא הכרתי וגם לא הוזמן ליום העיון. הוא הניח בחבטה על השולחן ערמת ספרים של NITEHAWK, המערכת האלקטרואופטית האמריקאית שאותה הטיס ובדק בארץ, ויעץ לי לקרוא אותם. שנים מאוחר יותר, סיפר לי על הפגישה הזו מנקודת ראותו: "עמד מולנו ילד (הייתי אז בן 35) והציג בפנינו מערכת יפה עם הרבה חזון, אבל קשה היה להאמין שזה רציני. למרות זאת האמנתי בנושא ואימצתי אותו." הפגישה הזו אולי מקפלת בתוכה נועזות (אולי גם תמימות), אמונה, וחוסר פורמליות. תוך זמן קצר, נוצרה ביננו חברות מיוחדת במינה וארוכת שנים, מן משיכה של ניגודים, זית – הטייס, הלוחם, הקיבוצניק, ואני – המהנדס, העירוני. זית לא רק אימץ את לייטנינג, אלא גם את רפאל, אותה העריך מעל לכל התעשיות הביטחוניות האחרות. אף כי היה טייס ומהנדס, העדיף להציג תדמית של נער פרוע, killer, מנהיג, תכונות בהן ניחן בשפע. התקרבונו זה לזה ברמה האישית, וגם תמכנו זה בזה בעיתות מצוקה אישית, אך הדבק האמיתי שחיבר ביננו היה לייטנינג: להעלות חלומות, לגלגל מספרים, לתקוע סיכות על מפת העולם. היה ברור לשנינו מה חשוב ולכן הולכים. בדרך זו התגלמו שני חזונות, הטכני והעסקי.

כדי להבין את גודל החדשנות שהוצבה בלייטנינג כבר בתחילת דרכו, צריך להתבונן בפודים שהיו קיימים אז בשוק, אשר נשלט על ידי חברות ענק אמריקאיות ואירופאיות בודדות. אף כי קונספט

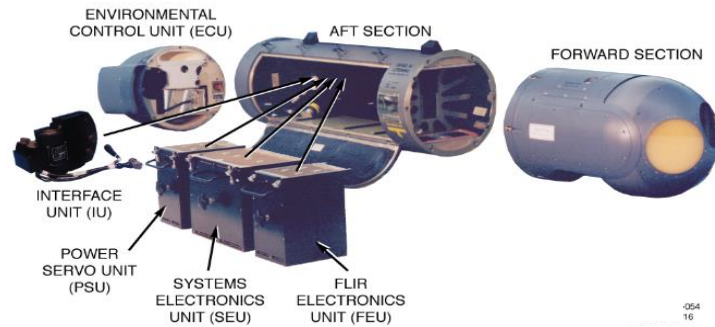
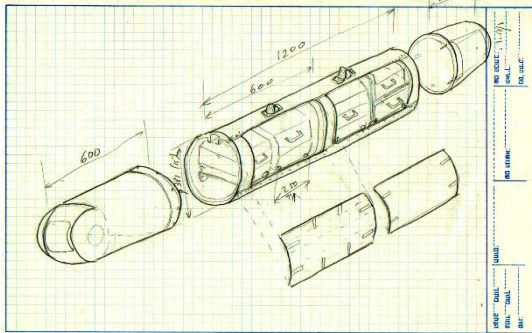
התקיפה באמצעות לייזר כבר הוכח מבצעית במלחמת וייטנאם, הפודים (לדוגמא TGP LANTIRN ו-NITEHAWK) היו מוגבלים לציון לייזר בלבד, השתמשו במערכת מראות מיוצבות מסובכת כדי להעביר את התמונה האופטית למחוש בודד (פליר, ללא מחוש טלוויזיה) שהוצב באחורי הפוד, ולא היו מודולריים. פודים נפרדים נדרשו עבור ניווט בגובה נמוך בלילה (לדוגמא LANTIRN NAV), ועבור גילוי כתם לייזר (לדוגמא PAVE PENNY). מחירי השוק לפוד תקיפה היו מעל \$3.5M. התפיסה של מארז מחושים מגוון שתומך בפונקציות של כמה פודים נפרדים, מחושים זעירים המורכבים על פלטפורמה מיוצבת, מערכת ניווט צמודה למחושים, מודולריות המאפשרת תחזוקה נוחה ויכולת גידול, ומחיר נמוך, הייתה מהפכנית במועדון המאוד אקסקלוסיבי של פודי התקיפה למטוסי קרב, והייתה הכרחית לחדירה שלנו לשווקים וללקוחות (איור 3). היא גם הקלה מאוד על התאמת הפוד למגוון רחב ביותר של מטוסים של יצרנים שונים, אחת המשימות המרכזיות של הפיתוח העיסקי של לייטנינג.



### איור 3: ראשוניות בשוק הפודים למטוסי קרב.

חידושים טכנולוגיים אחדים בלייטנינג, שאומצו ברבות הזמן בחלקם גם על ידי המתחרים.

לקראת סוף שנת 1986 בנינו דגם של לייטנינג בקנה מידה מלא, שתוכנן על ידי **מוטי צימרמן** על בסיס מתווה שהכין המחבר, והוא מבטא את עקרונות העיצוב המודולרי של לייטנינג (איור 4), ובמיוחד מבנה הראש בעל ארבעת הגימבלים, קופסאות האלקטרוניקה, והמזגן. ארכיטקטורה זו, על ממדיה הראשיים, נותרה בעינה ב"לייטנינג", והביאה ליתרון התחזוקתי של הפוד ולהערכה הרבה לתכונותיו בשוק האמריקאי בפרט ובשוק העולמי בכלל.



#### איור 4: עקרונות העיצוב המודולרי.

המתווה (משמאל), הדגם הראשון (מימין), והגרסה המבצעית של חברת נורתרופ (למטה).

#### בדיקת היתכנות

במהלך המחצית השנייה של 1986, עשינו ניסיונות רבים לעניין את חיל האוויר, אך ללא הצלחה. בפגישות עם רמ"ח מבצעים ועם רמ"ח אמל"ח, אל"מ יצחק גת, נאמר לנו כי נושא הפעולה בלילה נמצא במקום מרכזי בחיל האוויר, אך ניתנת עדיפות לרכישת מערכות מן המדף, ולמעשה כבר הוחלט לרכוש את פוד התקיפה LANTIRN מחברת מרטין מריאטה (לימים לוקהיד-מרטין) אותו כינו "יצירת מופת הנדסית". לימים, בתפקידו כמנכ"ל רפאל, היה איציק גת תומך חשוב ועקבי של התוכנית, אך באותה העת אנשי חיל האוויר הטילו ספק בהערכות שלנו לפיתוח וייצור לייטנינג, וטענו לפקטור  $2^3$ , כלומר המחיר יהיה כפול, זמן הביצוע כפול, והביצועים מחצית ביחס להערכות שלנו. מצב עניינים זה הביא לשינוי כיוון, כפי שבא לידי ביטוי בתוכנית הרב-שנתית (תר"ש) שהכין המחבר והופצה בפברואר 1987. בתר"ש זה הוצגה תוכנית פיתוח מלאה הבנויה בשלבים שניתן לממנם כל אחד בנפרד, כולל בבדיקת היתכנות, בניית אב-טיפוס, וביצוע ניסויי הדגמה. התכנון של משך התוכנית והיקפה התקציבי תאמו במידה רבה את הביצוע בפועל שנים אחדות מאוחר יותר. אחד הפרקים המעניינים בתר"ש כלל הצגת חלופות פתרון זולות יותר למוצר עבור לקוחות הקו השני, רעיונות שחזרנו לבחון גם בהמשך.

בעקבות התר"ש, החליט ענף ראיית לילה במפא"ת אופטרוניקה להשתתף במימון בבדיקת היתכנות. הבדיקה החלה בקיץ 1987 והסתיימה באפריל 1988. ההגדרה המבצעית נעשתה ידי דוד זית שהגיע לרפאל באותו הזמן, לאחר 'שאימץ' את לייטנינג עוד בהיותו טייס בחיל האוויר. הנדסת המערכת רוכזה על ידי ד"ר עמיקם צור, פיזיקאי רחב אופקים שעבד בתחום מבנים מוטסים. הבדיקה סוכמה בדו"ח רחב היקף, שאישר את היתכנות המערכת.

#### אחרית דבר

גם לאחר בבדיקת היתכנות, תוכנית לייטנינג לא הצליחה להמריא במשך כארבע שנים, בהן המשיכו להתקדם חלומות ותוכניות. ביוני 1989 הוציא דוד זית תוכנית עיסקית מפורטת, עם חזון מכירות שנראה אז דמיוני (320 פודים), אך בדיעבד המציאות עלתה על כל דמיון. בסופו של דבר, התוכנית יצאה לדרכה באמצע שנת 1992 בעקבות תוכניות חדשות של חיל האוויר לרכש פודים, ובזכות נכונות רפאל ומשרד הביטחון לממן את פיתוח לייטנינג. במקביל, חיל האוויר הגרמני ליווה את הפרויקט כבעל עניין במערכת ובהמשך עוד מדינות רבות.

מאמץ הפיתוח הנמרץ אותו הוביל המחבר עם מהנדסי המערכת אלי טור, אלי אילתי ועוד רבים וטובים שהצטרפו עם הזמן, ובתמיכה נאמנה של ראש החטיבה גיורא שלגי וראש ההנדסה ירמי כץ (לייטנינג החל לטוס בחיל האוויר כבר בתחילת 1994), והפיתוח העסקי חובק העולם בהובלתו של דוד זית, הביאו את לייטנינג למעמד המכובד של תוכנית פודי התקיפה המובילה בעולם, ולקו מוצר חשוב ברפאל, בעל נגזרות



כמפורט להלן, עם רווחיות גבוהה, שמעסיק אנשים רבים ברפאל ובחברות נוספות בישראל ובחו"ל. בין עשרות המטוסים הרבים עליהם הותקן לייטנינג ניתן למנות את: F-4, F-18, F-15, F-16, טורנדו, יורופייטר, גריפן, AMX, AV-8B, B-52, ועוד. השם Litening עם שגיאת כתיב מכוונת, טבע המחבר כראשי תיבות של **Laser Infrared Targeting and Navigating**, היום מותג מוכר, שנמצא כבר בפיתוח ושיווק הדור החמישי.

המחבר המשיך לעבוד בנושאי המערכת של לייטנינג גם לאחר שעזב את רפאל ב-1997 ועד לאחרונה, באמצעות החברה הפרטית שלו inVenture. הוא סייע באופן צמוד לנורתרופ במערכת השיווק המוצלחת לחיל האוויר של המשמר הלאומי, ולצייס עבור חיל האוויר הגרמני, שני לקוחות מרכזיים וקריטיים, שלאחריהם זכתה רפאל בתוכניות רבות נוספות וייצרה פודים רבים (איור 5). הוא עבד גם על פיתוח גרסאות עתידיות מתקדמות של לייטנינג, בשיתוף עם רפאל ומפא"ת, וגם עם נורתרופ. בשנת 1999 יזם בשיתוף עם רפאל וצייס, את הפיתוח של מערכת הצילום האווירי "רקהלייט", בה הוא רשום בפטנט כממציא ביחד עם **צבי יבין וברנד אול** מחברת "צייס", וליווה את הפיתוח ונגזרותיו במשך שנים רבות. לסיכום מציין **ישראל גרינפלד**: "אני יכול לומר בלב שלם כי לייטנינג הוא פרויקט חיי, וכי רפאל על אנשיה הנפלאים והתרבות המקצועית המפירה והיזמית היא ביתי השני".



איור 5: טקס גלילת הפוד האלף באוקטובר 2010.

#### נגזרות הפרויקט

- א. "טופלייט" - מטעד למסוקים ולמל"טים
- ב. "רקהלייט" - מערכת צילום אווירי הכוללת פוד המבוסס על "לייטנינג", מערכת תקשורת, ותחנה קרקעית לעיבוד התמונה