אוניברסיטת תל-אביב

החלל בישראל:
משבר או הזדמנות

כנס מס' 51
3.11.2009

Israel in Space: Crisis or Opportunity
Conference #51, November 3, 2009

סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון
הסדנה הוקמה בשנת 2002 ע״י פרופסור יצחק בן ישראל, בשיתוף עם בית הספר לממשל ולמדיניות ציבורית ע״ש הרולד הרטוך והתוכנית ללימודי ביטחון, במטרה לעסוק בממשק שבין המדע והטכנולוגיה לביטחון. לשם כך, הסדנה מקיימת סדרה שנתית של כנסים לצד פעילות מחקרית. בין הנושאים בהם עוסקת הסדנה: יחסים בינלאומיים ואסטרטגיה, טילים ונשק מונחה, מדיניות חלל, רובוטים, המרחב המקוון, אנרגיה גרעינית, ביטחון פנים, יחסי הגומלין בין חברה וביטחון, מדיניות בניין הכוח, תהליכי קבלת החלטות ועוד.

Yuval Ne'eman Workshop for Science, Technology and Security
The workshop was launched in 2002 by Professor Isaac Ben-Israel in conjunction with the Harold Hartog School of Policy and Government and the Security Studies Program with the intention of exploring the link among security policy, technology and science. For this reason the workshop holds an annual series of conferences and conducts research. The workshop covers various topics such as international relations and strategy, missiles and guided weapons, robotics, space policy, cyberspace, nuclear energy, homeland security, the interplay between society and security, force build up policy and government decision-making processes.

ראש סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון: **פרופסור אלוף (מיל.) יצחק בן ישראל**

מנהלת אקדמית, סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון: **ד״ר דגנית פייקובסקי**

מנהלת סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון: **גילי דרוב – היישטיין**

חוקרים בסדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון (לפי א״ב): **ד״ר חיים אסא, פרופסור יצחק בן ישראל, ד״ר דניאל גולד, טל דקל, ד״ר משה ורד, ליאור טבנסקי, אריק יפעת, רם לוי, אביטל מויאל, ד״ר אביתר מתניה, גדי עברון, ד״ר דגנית פייקובסקי, אורי רכב.**

עריכה גרפית: מ. מונטה

הודפס בבית הדפוס של אוניברסיטת תל אביב, ישראל, 2010

© כל הזכויות שמורות. אין להעתיק, לשכפל, לצלם, לתרגם, לאחסן במאגר מידע או להפיץ נייר עמדה זה או קטעים ממנו בשום צורה ובשום אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני, ללא אישור בכתב, למעט ציטוט של מובאות מהכתוב לצורכי ביקורת או סקירה.

http://sectech.tau.ac.il/

דבר ראש סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון

למדינת ישראל סיבות רבות לגאווה בכל הנוגע לחלל. בשנת 1988 כאשר שיגרה ישראל את לוויין הניסוי הראשון אופק-1 הייתה המדינה הקטנה הראשונה (ועד כה היחידה) לעשות זאת בכוחות עצמה. מאז ועד היום השיגה מדינת ישראל הישגים רבים: 13 לווייני תקשורת תצפית ומדע שוגרו בהצלחה, בוסס כושר שיגור עצמאי למסלול נמוך (LEO) ונוצרו שיתופי פעולה עם סוכנויות חלל של מדינות אחרות כמו ארה"ב, צרפת, איטליה, הודו ועוד.

המפתח להצלחתה של ישראל, היה בהתמקדות בתחומים שאפשרו פיתוח של יתרון איכותי תוך ניצול הגורם האנושי, מערכת ההשכלה הגבוהה והתעשייה הביטחונית שבהן היה (ועדיין יש) לישראל יתרון יחסי. שיקולים אלו הובילו להקמת יכולת לבנות לוויינים קטנים קלי משקל בעלי יכולות גבוהות במחירים נמוכים ובזמן קצר יחסית בהשוואה למדינות אחרות בעולם. יתרון זה הולך ונשחק עם כניסתם של שחקנים חדשים ומעמיד בסימן שאלה את יכולת התחרותיות והעמידות של תעשיית החלל בישראל. כמו שארע לתעשיות הביטחון בשנות השמונים והתשעים, גם תעשיית החלל בישראל הגיעה למשבר המסכן את עצמאותה של ישראל בחלל: הפיתוח עונה על צרכי הביטחון שהניעו אותו והשוק הפנימי (דהיינו רכש ע"י מערכת הביטחון) הוא קטן מדי ואינו מספיק כדי להחזיק את תעשיית החלל ותשתיותיה עם הראש מעל המים. תעשיות הביטחון יצאו בזמנו מהמשבר ע"י הפיכת הידע שהצטבר אצלן, במיוחד בתחומי ההיי-טק (כלומר מחשבים ותקשורת) לידע מסחרי הנמכר בעולם כולו ומניע את הכלכלה הישראלית במקרו.

על הרקע הזה, ובמטרה לעורר דיון ציבורי בנושא החליטה סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון לקיים את הכנס "החלל בישראל: משבר או הזדמנות". אנו מקווים כי נייר זה המסכם את שנאמר בכנס יתרום לקידומן של תוכנית החלל של ישראל ותעשיית החלל הישראלית.

קריאה נעימה,

פרופסור יצחק בן ישראל

ראש סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון

תוכן עניינים

מושב ראשון: כלכלה והחלל בישראל 5

יו"ר המושב, ד"ר אורנה ברי, שותפה עצמאית ,ג'מיני קרנות ישראליות 5

ישראל בחלל - הישגים ואתגרים לעתיד, פרופסור יצחק בן-ישראל,

אוניברסיטת תל אביב 6

קידום תעשיות עתירות ידע כמנוע צמיחה מוביל בישראל,

פרופסור יוג'ין קנדל, המועצה הלאומית לכלכלה, משרד ראש הממשלה 11

טכנולוגיות החלל כמנוע הצמיחה, ד"ר אלי אופר, המדען הראשי משרד התמ"ת.....16

לוויין עמוס 1 – כחלוץ, מר עמיצור רוזנפלד, מנכ"ל MSI (Microsat-Israel) 19

מושב שני: תעשיית החלל בישראל 21

עתיד החלל בישראל בראי התעשייה, מר יוסי וייס, סמנכ"ל התעשייה האווירית,

מנהל חטיבת מערכות חלל וטילים 21

הזדמנויות ואיומים בפיתוח מערכות חלליות בישראל, מר גבי סרוסי, סמנכ"ל

ומנהל חטיבת מודיעין חזותי באלביט-אל-אופ מערכות 25

השימוש בחלל כמנוף כלכלי וככלי לצמצום פערים, מר דורון אלינב,

גילת תקשורת לוויינים 29

חוזקות וחולשות של תעשיית החלל הישראלית, ד"ר דפנה גץ,

עמיתת מחקר בכירה במוסד שמואל נאמן, הטכניון 32

לוחמה בחלל ומשגרי לוויינים, מר יאיר רמתי, סמנכ"ל לשיווק, התעשייה האווירית.....37

מושב שלישי: החלל בישראל ובעולם 43

מדע מהחלל: היבט פנימה, מחקר החוצה, תוך שאיפה אל העתיד,

ד"ר נח ברוש, אוניברסיטת תל אביב 43

שיתופי פעולה בינלאומיים בחלל כמנוף לעצמה והתעצמות,

ד"ר צבי קפלן, מנכ"ל סוכנות החלל של ישראל 46

להיות יצרן או צרכן – דילמות בקביעת מדיניות חלל,

ד"ר דגנית פייקובסקי, אוניברסיטת תל אביב 51

טכנולוגיות חלל – הווה ועתיד, פרופסור חיים אשד, משרד הביטחון.....57

מושב ראשון: כלכלה והחלל בישראל

יו"ר המושב, ד"ר אורנה ברי, שותפה עצמאית ,ג'מיני קרנות ישראליות

לרבים ברור הקשר בין מחקר ופיתוח לכלכלה. לאחרים ברור לפחות שבאמצעות ידע מייצרים אמצעים חדשים שמייעלים ומשנים את דרכי החיים שלנו. בתחום החלל בישראל פעמים רבות איננו ערים לחלוטין למידת החלחול של הידע והמיומנויות שנרכשו אל תוך הכלכלה ואל השימושים השונים הקיימים הודות לטכנולוגיה והמדע שמפותחים בתחום. לדוגמא, תחום המוליכים למחצה הרב שכבתיים. נושאים אחרים שפותחו לחלל כמו מוצרי צריכה משפיעים מהותית על חיינו. חלק מהמוצרים הטובים ביותר, כמו מזון לתינוקות, מבוססים על מזון שפותח לחלל. טיהור מים, ציפוי נגד שריטות לעדשות, נעלי ספורט, מערכות סולאריות, חיזוי מזג אוויר, חומרים חסיני אש, סנסורים ומצלמות ליישומים רפואיים, חליפות סינון למחלות ניווניות ולמצבים טראומטיים, בלוני אוויר דחוס קלים לכבאים, צמיגי חורף ללא מסמרים, הם חומרים בעלי יכולות כימיות ועמידות בטווח גבוה של טמפרטורות. כל האמור מצביע על כך שעלינו לערוך שינוי מחשבתי בכל הקשור לתרומתו של המחקר והפיתוח המדעי ולהעריכו.

ישראל בחלל - הישגים ואתגרים לעתיד, פרופסור יצחק בן-ישראל, אוניברסיטת תל אביב

תוכנית החלל הלאומית של ישראל התפתחה מהצורך הביטחוני המיוחד במודיעין אחרי הסכם השלום עם מצרים. לאחר ההסכם עמדנו בפני מצב שבו לא ניתן היה לשלוח מטוסי צילום מעבר לגבול בעקבות הסכם השלום, אך היה לנו צורך לפקח ולוודא שההסכם נאכף. בעקבות זאת, ראש הממשלה מנחם בגין, החליט על פרויקט עם לוח זמנים ועם תקציב שבסופו שוגרו לווייני "אופק".

ע"פ התיאוריה של היידי ואלווין טופלר, לכל תקופה יש כלכלה, תרבות, ואופי מלחמה משל עצמה. לתפיסתם, אנו נמצאים היום בעיצומו של הגל השלישי בו מה שקובע את חיי החברה, את הכלכלה ואת אופי המלחמות אינה רק התעשייה, אלא המידע שכל אחד מאיתנו מחזיק. לפעילות בחלל, בהיותה מבוססת בעיקר על טכנולוגיות מידע יש תפקיד חשוב בתחום זה.

בספרות הצבאית המקצועית תקופה זו מכונה Revolution in Military Affairs ה"מהפכה בעניינים צבאיים". זו תפיסה כוללת שפותחה בשני העשורים האחרונים בעיקר בארצות הברית ובישראל. המלחמה של ארה"ב בעיראק ב-2003 התנהלה על פי הדוקטרינה הזו. היא מתבססת על תפיסת לחימה ששמה דגש על חימוש מונחה מדויק, על חיישני מודיעין שמזהים היכן נמצאות המטרות ועל מערך שליטה ובקרה שמאפשר לשלוח לשם את החימוש המונחה המדויק. כל זה לא שייך לחלל באופן ישיר.

כמעט בלתי אפשרי לממש כל אחת משלוש הרגליים הללו של המהפכה בעניינים צבאיים, ללא הימצאות בחלל: ראשית, יש צורך בחיישנים מעל שדה הקרב. יתרה מכך, שדה הקרב הולך ונעשה יותר ויותר רחוק בגלל טילים שונים, לכן אין ברירה, אלא להגיע לשם עם חיישנים מהחלל. שנית, חימוש מונחה מדויק - במלחמה בעיראק עיקר החימוש המונחה מדויק בו נעשה שימוש התביית על המטרות באמצעות GPS, שיטת ניווט שמבוססת על רשת של לוויינים בחלל. שלישית,

תקשורת לוויינים מאפשרת את החיבור בין הסנסורים לחימוש. כך מצאנו את עצמנו בישראל, מתוך הצורך בפיקוח על השלום עם מצרים, מחזיקים בנכסים ויכולות בחלל שיש להם חשיבות בלתי רגילה בתפיסות הלחימה החדשות, במהפכה שבין כך וכך התחוללה בצה"ל.

מיד לאחר שיגור לווין הצילום הראשון של ישראל (אופק-3 1995), שוגר גם לווין התקשורת עמוס-1 1996. לוויני הצילום נועדו במקור להשיג מודיעין צבאי. לוויני תקשורת הם גדולים ומכילים הרבה מקום ולכן כמעט מההתחלה הם אפשרו שימוש כפול (dual use) אזרחי וצבאי.

למדינת ישראל בעיה גיאוגרפית מיוחדת והיא שאנחנו יכולים לשגר רק מערבה אל הים התיכון. אם נשגר לוויינים לכל כיוון אחר, שלבי הטיל המשגר יפלו על שכנינו וזה לא מתקבל על הדעת. לכן אנחנו משגרים רק מעל לים התיכון, מה שהפוך להיגיון כי כדור הארץ מסתובב ממערב למזרח ואנחנו משגרים לוויינים כנגד הסיבוב של כדור הארץ ומאבדים אנרגיה. איך מפצים על זה? בבניית משגרים גדולים, או בפיתוח לוויינים קלים, ואנחנו החלטנו על בניית לוויינים קלים.

מהיום שבו החל פרויקט הלוויינים, נכנסנו למאמץ טכנולוגי אדיר למזעור והקלה, תחום שאינו מוכר בעולם. הדבר מתבטא בכל תחום: למשל, המצלמה צריכה מראה שהיא בעובי של 15-20 סנטימטר כדי שתעמוד בחילופי החום והקור ללא עיוותים אופטיים. איך בונים מראה קשיחה וגדולה מספיק, שלא תתעוות ועדיין תהיה קלה? בסופו של דבר בנינו לוויינים במשקל כולל שבין 200 ל-300 ק"ג. לוויינים אלה מאוד דומים בביצועיהם ללוויינים האחרים הגדולים והכבדים יותר. ארה"ב היא היחידה בעולם שיש לה לוויינים שביצועיהם טובים יותר מהלוויינים הישראלים, אך אלה שוקלים שלושה-ארבעה טון, בין היתר משום שארה"ב לא עמדה בפני ההכרח להקטינם. כך מצאנו את עצמנו עם נכס שלא קיים בעולם ואחרים מגלים בו עניין משום שהוא הרבה יותר זול, היות ומשקל הלוויין משפיע גם על השיגור – ככל שהלוויין יותר כבד, השיגור יותר יקר. כשהעלות יורדת מתחת לרמה מסוימת נפתחים תחומים, צבאיים ואזרחיים שלא היו קיימים קודם

לשימוש בטכנולוגיה הזו. בתחום הצבאי למשל ניתן לבנות מספר לוויינים, להחזיקם במחסן ובעת הצורך לשגר לוויין ייעודי.

הראשונה שהכירה באופן מעשי ביתרונות של הלוויינים הישראלים היא צרפת, מעצמת חלל שכל היכולת האירופאית מבוססת עליה. צרפת פנתה והציעה לישראל לבנות לוויין משותף, הרי הוא לוויין "ונוס". האינטרס הצרפתי הוא הכרת טכנולוגיות המזעור הייחודיות שפותחו בישראל. לישראל אינטרסים רבים אחרים בשת"פ, אחד מהם הוא שמדינה קטנה לא יכולה מבחינה כלכלית לעמוד לבדה בעלות כל הפרויקטים בהם יש לה צורך. בפרויקט "ונוס" סוכם מראש שהוא יחולק בין שתי המדינות: ישראל תבנה את הלוויין על מערכותיו וצרפת את המצלמה. צרפת פנתה לחברות צרפתיות כדי שיבנו את המצלמה והן לא ידעו לעשות זאת על פי המפרט שהוגדר. לפיכך, צרפת יצאה במכרז עולמי ובמכרז הזה זכתה אלביט-אלאופ. כך שבסופו של דבר, הלוויין כולו נבנה בארץ.

יש לנו שיתופי פעולה לא רק בתחום הלוויינים הקטנים. בחודשים הקרובים מתוכנן שיגור של לוויין הודי שעליו יימצא טלסקופ שמזהה קרינה אולטרה סגולה. הטלסקופ נבנה באוניברסיטת תל אביב. הוא מתבונן החוצה אל החלל ולא אל כדור הארץ שממנו אי אפשר לראות את הקרינה האולטרא סגולה שבאה מהחלל החיצון. כל זה נוגע למחקר אסטרונומי.

בתחום לוויני המכ"ם מתרקם שיתוף פעולה עם נאס"א. הרעיון הוא למפות את כוכב הלכת נוגה באמצעות מצלמת מכ"מ ה-SAR שפותחה עבור לוויין ה-TECSAR, ע"י אלתא. כוכב נוגה מכוסה בד"כ בעננים ולכן שימוש במצלמת מכ"ם יאפשר קבלת תמונות ללא קשר לכיסוי העננים. צילום מהחלל באמצעות מכ"ם שמאפשר הבחנה בפרטים קטנים מצריך אנטנות ענקיות באורך של כמה קילומטרים. הרעיון של ה-SAR (Synthetic Aperture Radar), הוא לוויין שעליו מוצבת אנטנה רגילה שגודלה הוא רק כמה מטרים, אך כל פעם שהלוויין מתקדם ניתן לחבר באמצעות מחשב את האותות המתקבלים (באופן "סינתטי") וכך לקבל אנטנה וירטואלית (סינתטית) שניתן באמצעותה לראות פרטים קטנים. ישראל הייתה הראשונה בעולם לעשות זאת בלוויין שמשקלו פחות מ-300 ק"ג.

ארה"ב בנתה דבר דומה לפני כן, אך כאמור במשקל של כארבעה טון. בשלב זה עדיין לא ברור אם הפרויקט ייבחר ויזכה בתקציב. הדבר החשוב הוא שמהצד הטכנולוגי התחרות הוכרעה לטובתנו וזה לא דבר של מה בכך.

לסיכום, בשלושים השנים האחרונות פיתחנו יכולות ייחודיות וניתן להרחיב אותן מעבר למה שקיים היום. הסיבות הכלליות להשקעה לאומית בתחום החלל ברורות מאליהן. ביניהן קידום התעשייה והכלכלה, הרחבת הידע האנושי, סיפוק הסקרנות, שמירת המוחות בארץ, גאווה וכלי פוליטי.

ברצוני להתמקד עתה בשאלת קידום התעשייה והכלכלה. קיימים דו"חות אמריקאיים הבוחנים את התחרותיות והיקף הפעילות כל שטח בתעשייה. בדו"ח האחרון של חברת Futron הבודק את התחרותיות של מדינות בתחום החלל, ישראל הגיעה למקום ה-9. דרום קוריאה מקדימה את ישראל וכך גם קנדה, שהתעשייה שלה משולבת עם זו של ארה"ב. הלוויין ששיגרה קוריאה מתבסס על מערכות ישראליות. בתקציר שפרסמה החברה מצוין שישראל ממשיכה להיות מובילה בטכנולוגיית חלל, אך יש לה נפח מסחרי מוגבל ביותר וזה בעצם לב העניין. ישראל נמצאת במקום התשיעי לא בגלל הטכנולוגיה, אלא בגלל שהיישום המסחרי וגודל התעשייה אינם גדולים.

קשה לאמוד את השוק העולמי בחלל כיוון שצריך להגדיר מה זה חלל. לפי אחת ההגדרות השוק החללי בעולם הוא כ- 150 מיליארד דולר בשנה, ולפי הגדרה מרחיבה יותר הוא כ- 250 מיליארד דולר בשנה. בממוצע כ- 200 מיליארד דולר בשנה. זה שוק עצום. שני שליש מהשוק קשור בלווייני התקשורת ושליש נוסף כל השאר. השקעתה של ארצות הברית בחלל עומדת על 80% מסך כל ההשקעות הממשלתיות בעולם, שהם למעלה משישים מיליארד דולר בשנה. השנייה אחריה היא סוכנות החלל האירופית שמשקיעה שישה מיליארד יורו. בישראל לפי מקורות זרים, ההשקעה היא בין 60 ל-80 מיליון דולר. לא דומה בכלל למקומנו בטבלה שהזכרתי. יש מדינות קטנות באירופה שההשקעה שלהן היא כפולה משלנו.

בישראל, אי אפשר לקנות רכיבים בחוץ, ולכן צריך לעשות הכול לבד, אז ההשקעה צריכה לגדול.

במדינות השוק המשותף מושקעים כ-15 דולר לנפש בשנה אחת. 15 דולר לנפש במונחים של ישראל זה בערך 100 מיליון דולר. ביפן שדומה לנו יותר ממדינות אחרות (בגלל שאיפתה לעצמאות טכנולוגית) ההשקעה היא 20 דולר לנפש. אם ניקח השקעה של 0.1 אחוז מהתל"ג, נקבל 120 מיליון דולר. ולכן המספר שיותר מתקבל על הדעת להשקעה של מדינת ישראל בחלל הוא מינימום של 120-150 מיליון דולר בשנה.

אם השוק כולו הוא כ-200 מיליארד דולר. אחוז אחד מהשוק הוא 2 מיליארד דולר. 2-3 אחוז מהשוק הזה הם 5 מיליארד דולר. בשוק הביטחוני שהוא הרבה יותר מסובך אנחנו מוכרים כ-5 מיליארד דולר בשנה. הוא הרבה יותר מסובך משום שאין לו את השימושים האזרחיים, המדעיים, הכלכליים ואת התקשורת שזהו נתח שוק מכניס מאוד. לתקשורת המסחרית האזרחית שיש לה יותר יצרנים מאשר מספר המדינות שמייצרות חלל, ישראל מוכרת כ-10% בשוק המסחרי הבינלאומי. לכן, זה לא בעייתי להגיע ל-2-3 אחוז מההכנסות בחלל. כל שנדרש הן השקעות לא גדולות, בשביל לאפשר את הפריצה של החברות הישראליות לשוק הבינלאומי.

לסיכום, בגלל הצרכים הביטחוניים בנינו יכולת ותשתית חלל מעולה שאינה יכולה להתקיים על השוק הפנימי. בדומה למה שעשינו בהיי-טק, דרושות השקעות ממשלתיות בהיקף של כ-100 מיליון דולר בשנה כדי להפוך את תעשיית החלל למרכיב היכול למכור בעולם בהיקף של כחמישה מיליארד דולר בשנה.

קידום תעשיות עתירות ידע כמנוע צמיחה מוביל בישראל,

פרופסור יוג'ין קנדל, המועצה הלאומית לכלכלה, משרד ראש הממשלה

ההרצאה הזו תתמקד בקידום תעשיות ידע בהיבט רחב. בתפקידי במשרד ראש הממשלה השאלות הגדולות שעמן התמודדתי הן במה להשקיע? בתעשיית חלל, Bio-Tec IT והאם בכלל צריך לעשות מדיניות תעשייתית ברמת התחומים שהמדינה צריכה להשקיע בהם. מאז תקומתה, המדינה ניסתה לייצר מקומות עבודה ולקיים מדיניות כלכלית בתחום המדע והתעשייה תחת שתי הנחות בסיסיות: רוב השנים חיינו בגרעון בחשבון השוטף והייבוא היה הרבה יותר גדול מהייצוא. כל הזמן רצינו עצמאות כלכלית שהייתה אמורה להביא לנו יותר מטבע חוץ על מנת שנוכל להיות בלתי תלויים. היו שנים שהיינו בגרעון של קרוב לרבע מהתוצר הלאומי. זאת הייתה ההנחה הראשונה. משום כך, כל הזמן ניסינו לעודד יצוא ולקבל מט"ח על מנת להיות עצמאיים. שנית, חסרו לנו השקעות. רב ההשקעות בהיסטוריה של מדינת ישראל עד לא מזמן, היו השקעות שהוכוונו או הופנו על ידי המדינה, משום שלא היה פה הרבה הון. מאז, המדינה קצת התבגרה, והחל משנת 2002-2003 עברנו מגרעון בחשבון השוטף, לעודף בחשבון השוטף. אם מוסיפים לזה תנועות הון לטווח קצר אנחנו נמצאים בעודף משמעותי. אין לנו מחסור במטבע חוץ ולכן ההנחה הראשונה לא כ"כ רלוונטית. באשר להנחה השנייה, מ-2003, התחלנו מסך של חצי טריליון שקלים המושקעים אצל משקיעים מוסדיים וכסף יחסית זמין שמתוכו כ-200 מיליארד מושקעים באג"ח ומניות סחירות בשוק, כ-100 מיליארד בפיקדונות, בהשקעות בחו"ל וכדומה. ארבע שנים לאחר מכן ההשקעות עלו. השקעות של קרנות פנסיה שלנו מממנות נדל"ן ממוסקבה עד לאס וגאס, ולכן אין סיבה לחשוב שההנחה השנייה מתקיימת. אין לנו מחסור בממני השקעה, מלבד כסף פרטי שמגיע מבחוץ ומושקע במיזמים ישראלים, אך מעט מאוד מהסכומים האלה מופנה למיזמים בתעשיות עתירות ידע. במיוחד בשלבים היותר מוקדמים.

אז מה צריך לעשות? הצמיחה תגיע דווקא מענפי יצוא וענפים שהם תעשיות ידע ותעשיות מסורתיות שיש להן יתרון יחסי בעולם. צמיחה מוטת יצוא תימשך ותביא להתחזקות נוספת של המטבע המקומי. אפשר להסתכל על זה בשתי דרכים. ראשית, אלה חדשות טובות משום שהעולם רוצה למכור לישראל את הנכסים שלו תמורת שקלים במחיר נמוך מאוד. שנית, המשמעות היא שישראל הופכת להיות פחות תחרותית. בעקבות הירידה בשער החליפין עלות מהנדס בארץ דומה לעלות מהנדס בארצות הברית. לכך יש להיערך, כי אלה הנחות אחרות לגמרי לפיהן ישראל כבר איננה מדינה ענייה, אלא מדינה מבוססת עם יצוא מאוד משמעותי והרבה מאוד מטבע חוץ. המחסום שמתחיל להתברר הוא דווקא מחסום בכוח אדם היקפי שמהווה את החסם. הנתון הזה מייצר בעיה נוספת - עליית שכר שנובעת משני גורמים: מחסור כוח אדם ומהדולר שערכו ירד. מצב כזה עלול להביא לירידה בתחרותיות המשק, ולסכנה לחלק מהתעשיות בארץ, כולל תעשיות האוויר והחלל. לכן חשוב להתייחס לנושא הזה יותר ברצינות בכל הנוגע למדיניות ממשלתית. תהליכים אלה לא יסתיימו בזמן הקרוב. נגיד בנק ישראל יכול למנוע תנודתיות מסוימת לטווח קצר בתחום מסוים אך אינו בכוחו לעצור את התהליכים הללו והוא גם איננו מנסה. בכדי להתמודד עם הבעיה צריך להתמקד בפעילות עסקית שבה יש לנו יתרון יחסי וערך מוסף גבוה. לשם כך יש להשקיע בהון אנושי יותר איכותי ובכמות שווה. כלומר, למצוא מקורות חדשים להון האנושי ולהגדיל את הפריון בתעשייה ובשירותים. אחרת חלק ניכר מהתעשייה יהיה בסכנה קיומית. חלק מהמדינות המתועשות עשו את זה. לדוגמה, מהנדס בגרמניה עולה כ- 60% יותר מאשר מהנדס בארצות הברית ועדיין יש עבודה למהנדסים בגרמניה.

מה עומד בפנינו? אנחנו נמצאים בין הפטיש לסדן. מצד אחד אנחנו חייבים לעסוק בפעילות שלא תברח מאיתנו לארצות הברית, מצד שני, אנחנו צריכים לעסוק בפעילות שלא תברח מאיתנו להודו וסין, דבר שמייצר מגבלות בעלות משמעות. איננו יכולים לעסוק בפעילויות בהן עוסקות סין והודו באיכויות ביצוע דומות משום שאין לנו היכולת להתחרות במחירי המהנדסים בהודו ובסין. מצד שני אנחנו חייבים להיות יותר זולים מהמחיר שמוצע בארצות הברית. במקביל אנחנו צריכים לברור את תחומי ההשקעה על פי יתרוננו היחסי.

מאיפה מקבלים כוח אדם? השכלה גבוהה יותר טובה. אנחנו פועלים להשבת מוחות. מצד אחד השבת מוחות שהולכים לאיבוד במדינת ישראל, מוחות בעלי פוטנציאל בפריפריה שבשל מערכות חינוך לא מתאימות או לא מכוונות, מתבזבזים. יש כמה תכניות, בעיקר בתעשייה אבל אנחנו למשל מנסים לעזור בהכוונה של ילדים בעלי פוטנציאל מהפריפריה להיי-טק. לשם כך יש תוכניות גם מגזר ערבי, וגם בתחומים אחרים מלבד היי טק. באוכלוסייה החרדית יש פוטנציאל אדיר שצריך לנצל אותו. לראיה, חלק מהמתגייסים החרדים מראים הישגים גבוהים בתחומים טכנולוגים. הצד השני הוא השבת מוחות שכבר השקענו בהם והם הלכו מאיתנו. הרעיון השלישי הוא שלא נוכל לממן את הכול מכסף ממשלתי. אנחנו מאמינים שצריך להשקיע בפריפריה ובבריאות. הבעיה היא שהמקורות מאוד מוגבלים. ולכן בעולם מושלם היינו צריכים להשקיע הרבה יותר בחלל, בגלל היתרונות שלנו, אבל אז נשאלת השאלה האם להשקיע בחלל או בסל בריאות. וכאן מגיעה השאלה מאיפה יגיעו מקורות המימון. לכן, מה שעומד לנגד עינינו הוא שיש להשתמש בכסף ממשלתי שהוא מועט יחסית ולמנף אותו בכסף פרטי ולעשות זאת בצורה חכמה בכדי שנוכל להשקיע את הסכומים שנדרשים במיזמים שונים.

מדיניות תעשייתית – התפיסה הבסיסית היא שהממשלה לא צריכה לכוון השקעות. זו תפיסה מושרשת למדי לפיה לממשלה אין את היתרון היחסי בידע, בתמריצים, או בהתערבות של הדרג הפוליטי בהכוונת השקעות. מתי הממשלה תשקיע? הממשלה תשקיע אם יש טעם להתערבותה. לאמור, אם קיים חסם או כשל במבנה השוק, למשל כאשר השוק מייצר שיווי משקל לא טוב. למה הממשלה מתערבת במימון מחקר באוניברסיטאות ולא משאירה זאת לשוק הפרטי? משום שהסיכון במחקר הבסיסי הוא כה גדול וההשלכות החיוביות או ההשפעות החיצוניות של מרכז בסיסי לא ניתנות לתפיסה על ידי השוק הפרטי ולכן יש טעם לממשלה לסבסד מחקר בסיסי והשכלה גבוהה. יש מצבים דומים במחקר בסיסי, לאו דווקא ברמה של האוניברסיטה אלא ברמה אפליקטיבית. ישנם גם מצבים בהם יש צורך בתזמון ותיאום מערכתיים. יש מערכות שלמות שמכל מיני סיבות

לא מדברות אחת עם השנייה וצריך מסה קריטית של פעילות לצמיחת תחום מוגדר. כאן חשוב לשים לב לא לעסוק במדיניות תעשייתית (Industrial policy) שנכשלה בהרבה מדינות, ובו בזמן לייצר מסת קריטית של הכוונה לכיוונים רצויים שבהם יש גם פוטנציאל עסקי.

מה עושה חברה עסקית? הדירקטוריון שלה בוחר כיוונים שאליהם הוא רוצה להתפתח והיא מנסה להתפתח כיוונים הללו. לפעמים היא טועה ולפעמים לא. אם חברה יכולה לעשות זאת מדוע מדינה קטנה לא יכולה לעשות זאת? ובכן יש מספר בעיות: ראשית, חברה מתמרצת. מדינה לא יכולה לתגמל את נשיא המדינה על ההצלחה הכלכלית שלה. אנחנו יכולים לחשוב על מערכת שבה הכסף יהיה ממשלתי והחלטות בסיסיות על מטרות וביצוען יהיה פרטי. עדיין יש מקום למדניות תעשייתית כאשר המדינה הופכת ליזם. מה צריך בשביל זה? יש להיכנס לתחום, לבחון אותו, אם מתברר שטועים להפסיק ולפנות לתחום אחר. הבעיה של כל מדינה שאיננה יודעת לחתוך. אפילו בארצות הברית הקפיטליסטית הוענקו סובסידיות לקידום ענף הכוורות שהתחיל בשנות ה-30 בתקופת ה"ניו-דיל" וקיים עד היום. היום כבר לא בטוח אם אכן יש בכך צורך, אך פוליטית אי אפשר לסגת מכך. אנחנו צריכים לחשוב איך יוצרים מצב שבו פרויקטים שאינם טובים או שאין בהם עוד צורך לא ימשכו לעד. לבסוף, הממשלה יכולה להיכנס לניהול סיכונים כלל משקי. לדוגמא, כמעט 90% מההיי-טק ממוקד ב- ICT שם יש לנו יתרון יחסי, אך בעת משבר עולמי בתעשייה זו ניפגע קשה מאוד. השאלה היא האם כמשק אנחנו רוצים לפזר את תיק ההשקעות שלנו כמו כל משקיע?

בהיבט זה, תעשיית החלל היא מוטת ייצוא. השאלה היא האם היא בעלת ערך מוסף גבוה? ואם כן מהו? לכן ראשית, צריך להתבונן על תחומים בתעשיית חלל מכיוון שזו איננה הומוגנית. ישנם כמה תחומים בהם יש ערך מוסף גבוה. ראשית, מהטכנולוגיות שנוצרות בעקבות פתרון הבעיות בתעשיית חלל נותרות תובנות ונוצרים מוצרים וטכנולוגיות שיכולים לשמש גם בתעשיות אחרות ובכלל זה גם נוצר הון אנושי. שנית, ישנה השפעה ביטחונית שהיא לא עניין כלכלי, אך היא השפעה חיצונית או ערך מוסף שתעשיית החלל יכולה לספק, אם תמשיך להתקיים ברמה שהיא מתקיימת. שלישית, תעשיית החלל לא קשורה במובן הסיכון העסקי

שלה לתעשיית ה- ICT שאנחנו כ״כ טובים בה ולכן מהבחינה הזאת אנחנו למעשה מפזרים סיכונים.

בעבר הושקעו סכומים מאוד גדולים בתעשיית החלל שייצרו הון אנושי, יכולות, ידע ומוניטין. יש לנו נכס, והשאלה היא, כמו בחברות ענק, האם ממשיכים לייצר אותו או שסוגרים את המפעל. זאת לא שאלה פשוטה. כממשלה אנחנו לא יכולים להתאהב בדברים ועלינו לשאול האם התחום כדאי למדינת ישראל. מעבר לכך שכבר נעשו השקעות, יש לנו בבירור יתרונות יחסיים ברורים בתחומים מסוימים של תעשיית החלל, בהם אנו בין המובילים בעולם וקיים בסיס מחקרי אקדמי שמשלים את התעשייה הזו. מצד שני התעשייה מצריכה השקעות נרחבות כדי להתרומם ולהיות שחקן מתחרה מול מדינות אחרות או חברות גדולות. ההשקעות האלה הן בעלות סיכון גבוה גם בשל סיכונים בסיסיים של המחקר הבסיסי. הבעיה היא שמשקיע פרטי לא רואה את כל התשואה למשק. מי שמקבל את היתרונות הביטחוניים ואת פיזור הסיכונים זו המדינה ולא משקיע פרטי. זו הסיבה למדינה להשקיע בתחום הזה. השקעות ביטחוניות אי אפשר לתזמן עם השקעות פרטיות ולא צריך להסביר מדוע. הסיכון במחקר הוא מאוד גבוה וכמובן יש סיבות שתהיה פה מסה קריטית. לכן מהבחינות האלה אנחנו כן צריכים להתערב. האתגר שעומד בפנינו הוא כיצד לקחת את המשאבים היחסית מצומצמים של המדינה ולבנות מבנים פיננסיים, עסקיים שיתנו תמריצים נכונים ויביאו את ההשקעות שימריצו את התעשייה.

טכנולוגיות החלל כמנוע הצמיחה, ד"ר אלי אופר, המדען הראשי משרד התמ"ת

כשבוחנים במה כדאי למדינת ישראל להשקיע זו דילמה. מדינת ישראל מצטיינת בהרבה דברים, אבל איזה חלק קשור למדעי החלל ותעשיות החלל? איך קמה תעשיית ההיי-טק הישראלית? בוודאי לא מהחלטות ממשלה. יכול להיות שזה המזל הגדול שלנו. הממשלה התערבה דרך מערכת הביטחון והצרכים הביטחוניים שנקבעו עוד לפני קום המדינה לפיהם השקעה במדע וטכנולוגיה היא קריטית לקיום המדינה. כבר כמה שנים ישנם ניסיונות שהמדינה תשתלט על הזכויות היוצרים של כל מיני אנשים בתחום. תדמיינו לכם שלפני עשרים שנה היו מחליטים באוצר שהידע של מערכת הביטחון שייך למדינה וכל יזם שהולך להקים סטרט-אפ צריך להתמודד עם המדינה. במצב כזה לא הייתה קמה תעשיית היי-טק. התערבות צריכה להיות במקומות בהם היא נדרשת ולא רק בגישה הכלכלית הטהורה של כשל שוק. יזמות היא אחת התכונות האופייניות לישראלים. לכן כששוקלים האם אפשר להקים תעשיית חלל מפוארת, צריך לבחון איך מעודדים יזמים להקים תעשיות חלל אזרחיות.

לפני כמה שנים החלטנו ללכת על שינוי באסטרטגיה והגדרנו כמה תחומים כתחומים בעלי עדיפות. עד לפני 5-6 שנים כל התמיכה של המדען הראשי נעשתה בצורה נייטראלית, לפי איכות הבקשות היחסית. ברמת המאקרו אם בקשה שהוגשה הייתה יותר טובה מבקשות אחרות והיה מספיק כסף היא התקבלה. ביוטכנולוגיה לדוגמא הוא נושא שלמדתי עם עוד אנשים שבקיאים ממני בהרבה, והגענו למסקנה שקיים סיכוי נמוך שתקום תעשייה רצינית של ביוטכנולוגיה בארץ בלי איזושהי העדפה מהמדינה. נשאלת השאלה, האם ברמת המאקרו יש להעדיף תעשיית חלל? בניתוח קר של התשואה לכלכלה הישראלית ולחברה הישראלית צריך לחשוב, האם זה ראוי שאנחנו נשקיע מכספנו? ברמת המאקרו צריך להפריד את צורכי הביטחון ולראות איפה תהיה תשואה כלכלית למשק בנפרד מצורכי הביטחון.

מתוך ניתוח תהליכים שונים שקרו בכלכלה והתמקדות בשיווי המשקל שבין התעשייה הצבאית והתעשייה האזרחית עולה כי במשך השנים בכל מקום בו התעשייה האזרחית פיגרה אחר צרכי הביטחון, בכל העולם, ובוודאי בישראל, מערכת הביטחון על ענפיה תפסה פיקוד והביאה לקדמה.

ישראל נמצאת היום בצמרת עסקי החלל, בלי שום פרופורציה לגודל של המדינה. אם במהלך 15 השנים הבאות לא תקום פה תשתית טכנולוגית ועסקית חזקה בענייני החלל, נכנס לפיגור שילך ויגדל. גיבוי מדעי וטכנולוגי בעסקי החלל האזרחי הכרחי על מנת שישראל תהיה על המפה. עלינו להתייחס לאזרוח החלל בתחום הטכנולוגי, הכספי ובתחומים אחרים. ברגע שיהיו בחלל אלפי או עשרות אלפי לוויינים, אזרחיים לגמרי, גם יושקעו בו כספי ענק.

החלל לעומת הננוטכנולוגיה - התרומה של הננוטכנולוגיה נוגעת גם לחלל, אבל ננוטכנולוגיה זהו תחום תשתיתי. מאידך, החלל הוא לא ממש תשתית גורפת כמו ננוטכנולוגיה. אם בוחנים את התרומה של החלל בכל מיני טכנולוגיות, אז 2.5 אחוז מתקציב המדען הראשי מגיע לתחום החלל. האם יש אפשרות להגיע ל-10 אחוז בעסקי החלל האזרחי? זה עומד בסימן שאלה. המדינה יכולה לנתב עדיפויות וצרכים אבל לא ניתן לאלץ אנשים לעשות דברים שיש בהם סיכון גבוה. למדענים יש נטייה לעשות דברים בסיכון גבוה, זה הבסיס של המדע. אבל בתעשייה הנכונות פחותה בהרבה. בתעשייה הדגש הוא על רוח יזמית ולכן חשוב שיהיו בתעשייה אנשים שיש להם מוטיבציה לפתח תעשיית חלל אמיתית. העתיד של החלל הוא לא רק במערכת הביטחון. יתרה מכך, אסור להסתמך רק על נגזרות של מערכת הביטחון למרות שיש לה כוח פוליטי מאוד חזק ואפשרות להשיג מימון.

אם מסתכלים על המינוף המעגלי לתעשיות עתירות הידע יש להתבונן על ההשפעה התעסוקתית. לעתים, הענקת סובסידיה במקום ראוי מבחינה חברתית, לא בהכרח ייצר מינוף. זה חלק מהשיקולים שיש לבחון בתעשיות החלל, ואין הדבר מובן מאליו.

לסיכום, אין לנו תקומה ללא חדשנות ויזמות. בסופו של דבר, הבסיס בישראל הוא של חדשנות טכנולוגית ומדעית. באשר לפיזור סיכונים, הגענו לפריחה בתחום ההיי-טק משום שהייתה בו יזמות ולא בכדי, מכיוון שבקלות אפשר היה לגלוש לבינוניות. הגורל של ישראל תלוי במצוינות ולכן חשוב לדחוף את התחומים בהם יש לנו סיכוי להיות מצוינים. אני מאמין שבעסקי חלל אנחנו באמת חזקים וצריך להמשיך ולחזק את התחום.

לוויין עמוס 1 – כחלוץ, מר עמיצור רוזנפלד, מנכ"ל MSI (Microsat-Israel)

לוויין התקשורת עמוס-1 הוא פרויקט חלוצי שהשפיע על החשיבה וניהול הפרויקטים של תעשיית החלל בארץ. הפרויקט הותנע בשנת 1992 כלוויין תקשורת קטן, ששוגר בהצלחה ב-15.5.96 על גבי המשגר האירופי ה-Ariane ועבד ללא תקלות עד ה-1.7.08 אז נוקה מלקוחותיו ונמכר לחברת Intelsat שתספק באמצעותו שירותי תקשורת כנראה למשך חמש שנים נוספות.

זו הייתה הפעם ראשונה בה מנכ״ל תעשייה אווירית דאז, משה קרת, החליט להשקיע כ-200 מיליון דולר ממקורות פנימיים של החברה, לטובת פיתוח הלוויין ושיגורו מתוך ציפייה לנסות ולאזן את ההוצאות באמצעות מתן שירותים או הכנסות מהלוויין במשך 10 שנים. החברה היא זו שהשקיעה ורק קיבלה מהממשלה ערבות לביקושים. לדעתי, בראשית שנות התשעים לא היה מקרה דומה שבו חברה שהמכירות השנתיות שלה הסתכמו בכ-1.5 מיליארד דולר, החליטה להשקיע בפרויקט יחיד 200 מיליון דולר ללא ביטחון כי יהיה החזר להשקעה.

הרקע הסביבתי: עד לקבלת ההחלטה, התעשייה האווירית לא שיגרה אף לוויין מבצעי. הלוויין המבצעי הראשון, אופק-3, שוגר ב-1995. הידע שנצבר עד אז בתעשייה האווירית התבסס על לוויינות במסלול נמוך (קרוב לכדור הארץ ולא על מסלול לוויני התקשורת המרוחק מאוד - GEO). גם התשתיות שהיו אז בתעשייה האווירית התאימו ללוויינים קטנים במשקל של 200-300 ק״ג ולא ללוויין במשקל הקרוב לטון דוגמת העמוס. מעבר לכל זה, הבעיה החמורה ביותר הייתה שלא היה לקוח ללוויין עמוס-1, מפני שהחברה הייתה גם הבעלים שלו. בנוסף הייתה זו הפעם הראשונה בה החברה בנתה לוויין תקשורת ולא התמחתה בכך. תעשייה אווירית לקחה על עצמה את האחריות לייצור, להיות הבעלים ולהפעיל את הלוויין. מקרה כזה לא היה כדוגמתו.

כאשר מוניתי למנהל הפרויקט, היה ברור לי שלא אהיה פורץ דרך בתחום הטכנולוגי. התעשייה האווירית שהשקיעה 200 מיליון דולר, רצתה שהלוויין ישוגר כמה שיותר מהר, יענה על הדרישות, שמספר הלקוחות יגדל וההכנסות יגדלו. ולכן סוכם שמב"ת (מפעל החלל של התעשייה האווירית) ייצר רק את הדברים שביכולתו לייצר ולא יפתח שום דבר חדש. על כן נעזרנו במספר גדול של קבלני משנה, והרבה בדיקות סביבתיות נעשו בחו"ל, כך הקמנו תשתית לדורות הבאים. קשה היה להקים את התשתיות הללו תוך כדי תנועה, אך הייתה פה חדשנות בהיבטים רבים, בין היתר חדשנות הנדסית.

מה התרומה של עמוס? הייתה זו הפעם הראשונה שניתן היה לדבר על לוויין בפומבי. הפכנו לנציגי תעשיית החלל בארץ ופתחנו את תעשיית החלל הישראלית בפני העולם. בלווייני אופק 90% מהעבודה בוצעה בארץ, בעוד שבפרויקט עמוס היו צוותי עבודה משותפים. כתוצאה מהפרויקט נוצרו קשרים עסקיים וקשרי עבודה בין התעשייה האווירית לבין תעשיית החלל העולמית שאחר כך הלכו והתרחבו והתפתחו. באמצעות עמוס סוכנות החלל של ישראל התניעה כל מיני פעילויות עם סוכנויות זרות ובסופו של דבר הוקמה גם חברת חלל תקשורת. לאורך ארבע השנים בהן פיתחנו את עמוס אף אחד במדינה לא האמין שנצליח. למשל, הממשלה לא מיהרה להקים את חברת חלל ועל כן בשלוש השנים הראשונות בהן היה עמוס-1 במסלול הוא כביכול היה ריק מלקוחות.

לסיכום, הצלחנו בזכות הנחישות של כל צוות הפרויקט. השקענו כמיליון שעות עבודה. המזל של מב"ת הוא שרוב אנשי הפרויקט נשארו במב"ת והמשיכו גם בפרויקטי חלל אחרים וגם בלווייני התקשורת. ההצלחה הזו דירבנה את המערכת והתעשייה האווירית ועובדה היא שאחרי השיגור של עמוס שוגרו עוד עשרה או יותר מכך לוויינים צבאיים או אזרחיים שונים.

מושב שני: תעשיית החלל בישראל

עתיד החלל בישראל בראי התעשייה, מר יוסי וייס, סמנכ"ל התעשייה האווירית, מנהל חטיבת מערכות חלל וטילים

בשנת 1984 החליטה המדינה על הקמת מוקד ידע בתחום החלל וכמו בפרויקטים גדולים אחרים, היו לכך מתנגדים רבים ביותר כולל גורמים כאלה ואחרים בצה"ל שלא האמינו, לא רצו לתקצב ולא היו בטוחים שצריך תוכנית חלל. ב-1988 שוגר לוויין הניסוי הראשון, ב-1995 שוגר אופק-3, לוויין התצפית המבצעי הראשון שנתן לראשונה תפוקות לאמ"ן ולחיל האוויר. ב-1996 ביוזמת התעשייה אווירית שיגרנו את לוויין התקשורת הראשון וב-2008 שיגרנו את לוויין התצפית המכ"מי הראשון, לוויין שמאפשר לקבל תוצרים בכל תנאי מזג האוויר, יום או לילה. בשנת 2008 מכירות תעשיית החלל הישראלית עמדו על 200 מיליון דולר. במשך עשרים שנה הצבנו בחלל 12 לוויינים, כרגע משייטים בחלל 10 לוויינים תוצרת מדינת ישראל, חלקם ביוזמת מערכת הביטחון, חלקם לוויינים אזרחיים. מלבד מספר בעיות בשיגורים, הלוויינים שהגיעו למסלול תפקדו ומתפקדים היום בהצלחה מלאה. כולם, מעבר לאורך החיים שתכננו להם. עמוס-1, פעיל מעל 13 שנים; אופק-3 הלוויין הראשון תוכנן לפעול במשך 6 חודשים, בסופו של דבר הוא היה פעיל במשך חמש שנים וחצי; אופק-5, אחד הלוויינים המבצעיים תוכנן לארבע שנים, שוגר ב-2002 ועדיין פעיל היום.

לוויני ארוס הם תוצר של מיזם של התעשייה האווירית שהקימה גם את חברת אימג'סאט אינטרנשיונל בשנת 1998 וקיבלה הזמנות לפיתוח שני לוויינים: ארוס-A וארוס-B. ארוס-A הוא תעתיק של אופק-3. בלוויינות אזרחית ההיתרים שמתקבלים לרזולוציה תואמים את ההיתרים של מערכת הביטחון אבל תמיד בפער של כמה וכמה שנים. כך שאת הרזולוציה של לוויין אופק-3 (1.8 מטרים) בשנת 1995 מתירים כרזולוציה בשוק האזרחי.

עברנו כמה פריצות דרך, לקחנו סיכונים משיגורים גדולים מאוד. למשל בשיגור עמוס-3. משיקולים מסחריים כאלו ואחרים, נאלצנו לראשונה להשתמש במשגר הזניט שלראשונה שיגר מקזחסטן לוויין מסחרי. השורה התחתונה היא שכל הלוויינים שכרגע בחלל, מתפקדים. אם נסתכל לעתיד נראה שבשנים הקרובות נשגר עוד לוויינים שגולת הכותרת שבהם הוא ונוס, מיזם צרפתי ישראלי, ולוויין תקשורת מתקדם ביותר לחברת חלל, בעלות של קרוב ל-400 מיליון דולר. כך שגם הפן העסקי כלכלי של תעשיית החלל גדל. כל זה נעשה גם על בסיס שלוש תחנות קרקע שהוקמו במדינת ישראל ופועלות גם היום בתעשייה האווירית, במערכת הביטחון ובגורמים הפרטיים. משגר השביט פותח על ידי מערכת הביטחון ומשמש עד היום לשיגור הלוויינים של מערכת הביטחון מפלמחים, גם הוא מהווה פריצת דרך רצינית שהוביל מפעל מל״מ.

כסף רב ביותר מושקע בתשתיות כוח אדם ובתשתיות פיזיות. המשטר האמריקאי ITAR, (International Traffic Control) מקשה עלינו בייצור טכנולוגיות, מה שבראשית תוכנית החלל לא התקיים. בלוויני עמוס לדוגמא, עשרות רבות של מהנדסי התעשייה האווירית נסעו לארצות הברית, ישבו במפעלים אמריקאיים ואירופאים ולמדו פרט אחרי פרט את כל הידע שצריך לקבל כדי לבנות לוויינים. היום זה לא מתקבל על הדעת. במהלך השנים הושקע כסף רב, של מערכת הביטחון ושל התעשייה האווירית (כמיליארד דולר בערך נוכחי) שאיפשר לעשות הרבה מאוד פעילויות בארץ.

היכולות שלנו בסיוע סוכנות החלל הביאו להכרה בינלאומית. ונוס הוא לוויין שנבנה עבור יישומים חקלאיים גרידא, בשיתוף פעולה עם סוכנות החלל הצרפתית שמשקיעה עשרות מונים יותר כסף מאשר מדינת ישראל בתחום הלוויינים, ובחרה בסופו של דבר בלוויין ישראלי. הלוויין כולו ישראלי, הפלטפורמה היא של התעשייה האווירית והמטע״ד הוא של אלאופ. גם חלק מתחנות הקרקע הוא מתוצרת ישראלית. צרפת בונה תחנת קרקע עבור היישומים החקלאים, וגם בתחום זה רפא״ל מעורבת. בלוויין ה- TECSAR זיהינו פער ביכולות של ארצות הברית בתחום החלל. קצת חוצפה יהודית ישראלית מול ארצות הברית שמשקיעה בחלל 55 מיליארד דולר. סכום שאינו רחוק מתקציב מדינת ישראל. לארה״ב יש

לוויינים מסוגים שונים, אבל אין לה SAR טקטי, שיודע תוך זמן קצר מרגע ההוראה לצלם ולהוריד תמונות לכוחות בשטח, או למפקדים. את הפער הזה זיהינו והבנו שללא חברה אמריקאית לא נוכל לשווק לוויינים בארצות הברית. לאחר סקירת החברות אמריקאיות בחרנו בחברת נות'רופ-גרומן, אחת משלוש החברות הגדולות בתחום לוויני הריגול האמריקאים, אם לא הגדולה שבהן וחתמנו איתה על הסכם שיתוף פעולה. קיים גם הפן האזרחי: חברנו אל נאס"א, הגוף האזרחי שמתקציבו כ- 17 מיליארד דולר בשנה, במעבדות נאס"א-איימס, התבצעה תחרות על חקר החלל העמוק. לאחר מיון ראשוני, זכינו בשלבי התחרות הראשוניים והצלחנו להזיז הצידה חברות כמו בואינג ואנחנו ממשיכים במעלה התחרות. הפרויקט מוערך בחצי מיליארד דולר עבור שיגור של לוויין ישראלי למיפוי נגה בשנת 2015.

כיום, התעשייה מפרנסת ישירות בין 1500-2000 איש. אבל יותר חשוב הוא שעשרות רבות של מפעלים קטנים מתפרנסים היום מתעשיית החלל הישראלית, כך שבסך הכל כ-6,000-7,000 משפחות בארץ מתפרנסות מתעשיית החלל הישראלית. אם הכול כל כך טוב מדוע אנחנו מתריעים מזה שנה וחצי על משבר? בתוך עשרים שנה הגענו להישגים מצוינים ולמוניטין בינלאומי: לוויינים מהשורה הראשונה, תשתית וכוח אדם. בראיית התעשייה לא ניתן להמשיך ולצמוח, ותעשייה מתקיימת רק אם היא צומחת. אם התעשייה לא מגדילה את המכירות, היא דורכת במקום, כאשר המתחרים מתקדמים הפער גדל ומדובר בהליכה לאחור. בעבר היינו אחת משבע מדינות בעולם שיודעות לפתח לוויינים ומשגרים, היום אנחנו אחת מתשע. היום יש מחסור בתקציבים שמאפשרים לתעשיית החלל להמשיך ולצמוח ולממש את ההישגים שהושגו. לאחר עשרים שנה של פעילות בחלל, אין בישראל חשיבה לאומית ממשלתית סדורה; לא כולל מערכת הביטחון שדאגה ודואגת לצרכים שלה. נדרש עיסוק בשאלה מה שאיפותיה של מדינת ישראל מתעשיית החלל וכיצד בכוונתה לממש זאת.

אם נתבונן על השקעה ממשלתית כוללת כאחוז מהתל"ג אז נגלה שהמספרים מדברים בעד עצמם: מדינת ישראל נמצאת אי שם יחד עם מדינות "מאוד

מתקדמות טכנולוגית" כמו פינלנד ושוודיה. מדינת ישראל השקיעה במו"פ בשנת 2008 כ-2.7 מיליון דולר בלבד. גם זה רק בגלל שפרויקט ונוס אילץ את המדינה להשקיע כדי ליצור איזשהו מאזן עם סוכנות החלל הצרפתית. בעולם המגמה היא להשקיע כ-10 אחוזים בשנה. לא כולל ארצות הברית. למה? ההכנסות של תעשיית החלל העולמית והצפי להכנסות בשנת 2015\2013 שמוערכות בטריליון דולר עשויות לספק תשובה. אין שום סיבה שתעשיית החלל הישראלית לא תהווה 5% מההכנסות.

כיצד תעשיית החלל משפיעה על משק אופייני? כל מקום בתעשייה הזאת מייצר עוד ארבעה מקומות למגזרים תומכים. המכירות לעובד כפולות ועולות על המכירות לעובד בתעשיית ההיי-טק. תעשיות החלל תורמות פי ארבע מתעשיות אחרות לתל"ג.. כמו כן, יש spin off טכנולוגי משמעותי ביותר מהשקעה בתעשיית חלל והיא זולגת לתעשיות טכנולוגיות אחרות ולמוסדות האקדמיים. לדוגמה, מיסיסיפי, אחת המדינות הנחשלות בארצות הברית הקימה ב-1999 מרכז חלל. ב-2005 1,600 עובדים הביאו לתפוקה של 400,000 דולר בשנה. בבריטניה שהיא לא מעצמת חלל, התפוקה היא פי ארבע בתעשיית החלל לעומת תעשיות אחרות.

בישראל, משרד הביטחון ממשיך לתרום את חלקו, סוכנות החלל מנסה להתרומם אך עד היום מקבלת תקציבים אפסיים. תעשיית החלל תוכל להביא הרבה מאוד הכנסות בחזרה ויישומים פוטנציאלים אם היה לה התקציב הדרוש.

אם היה לנו את המינוף לקחת את היכולות ולהשקיע אותן במוצרים עתידיים הפוטנציאל של תעשיית החלל הישראלית הוא כ-4 מיליארד דולר לשנה. השקענו כ-200 מיליון במיזם עמוס, השקענו מעל 10 מיליון דולר בוונוס, ובלוויינות תקשורת מתקדמת בפרויקט מסוים עוד כ-30-40 מיליון. כוחנו תש.

משבר או הזדמנות? אני עדיין חושב שזו הזדמנות. ישראל חייבת להסתכל על תעשיית החלל ברמה הלאומית ולהשקיע משאבים כדי שכולנו נוכל לצמוח קדימה ולהביא להישגים.

הזדמנויות ואיומים בפיתוח מערכות חלליות בישראל, מר גבי סרוסי, סמנכ"ל ומנהל חטיבת מודיעין חזותי באלביט-אל-אופ מערכות

הדברים שלי פחות אופטימיים מאלה שנשמעו לפני. אני סבור שאנחנו נמצאים בשעת מבחן אמיתית שבה אנחנו צריכים לקבל החלטות קשות לגבי עתיד תעשיית החלל. אני מרגיש כחוליה המקשרת בין דור הנפילים שהקים את תעשיית החלל בארץ לבין הדור הבא שאמור להמשיך ולנסות להתחרות כשווה בין שווים בעולם. אם לא נפעל בצורה הנכונה נסתפק במורשת של 25 השנים האחרונות והחלל בישראל יהיה אפיזודה חולפת. את נושא הכנס: משבר או הזדמנות אני רואה כמשבר בצורה מגמתית. בעברית למילה משבר יש משמעות כפולה: הרגילה של משבר והשנייה זו אבן הלידה שבעבר נשים שילדו נהגו לשבת עליה והיא מולידה את הדברים החדשים. לפעמים ממשברים צומחים דברים חדשים ואני מבקש לנתח את הקונטקסט של המשבר תחת המטריה הזאת.

מדינת ישראל חברה במועדון אקסקלוסיבי, הפוטנציאל הכלכלי אדיר ויש שאיפה למצוינות והישגים טכנולוגיים טובים יותר בהיבט של רזולוציה ואיכות התמונות. אלאופ כיצרנית המטע"דים האלקטרו-אופטיים בתעשיית החלל הישראלית, הראתה תמיד את הכוס המלאה: ארסנל אדיר של מצלמות חלל שפיתחנו לשוק בארץ ולשוק בחו"ל. החל מהמצלמה של אופק-3, מצלמות שהותקנו בארוס-B, מצלמת הדור הבא שבפיתוח, וכלה במצלמת ונוס שנמצאת בשלבי סיום הפיתוח, לכך יש להוסיף את המטע"ד של TAUVEX טלסקופ החלל העתיד להיות משוגר בשנה הבאה מהודו. במקביל, לקוריאה פיתחנו וייצרנו את מצלמת ה-Comsat-2, שמספקת תמונות ברזולוציה גבוהה בשחור לבן, בצבע וגם בהסתכלות לקראת היפרספקטרלי. עד היום יוצרו באלאופ 16 מצלמות חלל. כל המערכות שנכנסו למסלול עבדו בצורה תקינה וכל זה בתעשייה שהתחילה לפני 25 שנה.

מעבר לדברים הנפלאים האלה, מה המצב היום? בכל העולם יש מגמה בשוק המסחרי, לשיפור הרזולוציה בלוויינים מסחריים. אם בעבר דובר על רזולוציה של

מטר אחד כרזולוציה גבוהה היום אין זה כך. כל החברות המסחריות יודעות שהצרכנים צריכים ודורשים רזולוציה של חצי מטר. WorldView-2 ששוגר ב-8 באוקטובר השנה, מצלם ברזולוציה של 45 סנטימטר מגובה של 730 קילומטר. במחקר שערכה חברת Euroconsult שוק החישה מרחוק מוערך במיליארדי דולרים עם קצב צמיחה אדיר והשאלה היא אם אנחנו הולכים להיות חלק מהמגמה הזו.

מגמה נוספת מתוך סקר שוק אחר שמתאר את השוק בין 1997-2006 כשוק של 14.8 מיליארד דולר שהכיל כ-75 לוויינים. בשנים 2007-2016 מוערכת הכפלה בכמות הלוויינים מ-75' ל-151 לוויינים בתקציב של 16.9 מיליארד דולר. גידול של 15% בתקציב. למי שמבין את הנתונים המשמעות היא שבעתיד מחירי הלוויינים צפויים לרדת בצורה משמעותית ומי שלא ידע לעשות אותם יותר זולים, עם שיגורים יותר זולים, לא יהיה בשוק.

איך עושים את זה? אנחנו מכירים את זה מעולם הייצור הסדרתי. אנחנו מחזיקים ביד מכשיר סלולארי שעולה לנו בין 50 ל-300 דולר, כאשר אם הוא לא היה מיוצר בייצור סדרתי כל מכשיר כזה היה אמור לעלות מיליארד דולר. הרעיון הוא ליצור מסה קריטית של פעילות בתעשייה על מנת לאפשר ולהוריד את מחירי המוצרים כדי שנוכל להיות תחרותיים בעולם. לא נוכל לעשות את זה אם לא ניצור מסה קריטית של עשייה וייצור גם בתחום החלל.

אם אנחנו מסתכלים על דיאגראמת SWOT שנעשתה על ידי חברת Futron ניתן למצוא אמירות שאנחנו צועקים אותן כתעשיות והן נאמרות על ידי גורם אובייקטיבי שמכיר היטב את שוק החלל הישראלי: רמת ההשקעה מאוד נמוכה, מאוד מוגבלת, כמות הייצוא קטנה ולא מגיעה למסה הקריטית הנדרשת ומכל זה נגזרים איומים. מה שמאפיין את תחום החלל בכל התעשיות בארץ הוא קודם כל כוח אדם מאוד ייחודי, מנוסה ולא ורסטילי. היום, החברות נלחמות על כל הזדמנות בעולם ומגיעות למקומות נידחים. כל התשתיות המפוארות עולות כסף רב. על מנת לעמוד בביצועים המדהימים שהגענו אליהם דרושות תשתיות אדירות. חייבים לוודא שכל מה שנבדק על הקרקע אכן יעבוד בחלל. אנחנו מקימים היום

באלאופ תשתית אדירה, מה שנקרא מבנה החלל. לתחום החלל באלאופ, וזה נכון גם לתעשיות אחרות, יש זכות קיום רק ממכירה של מצלמות אלקטרו-אופטיות. אנחנו ניזונים אך ורק מתחום החישה מרחוק. ארצות הברית די סגורה בפנינו בהיבט האלקטרו אופטי. אירופה היא משק סגור, למעט האירוע הספוראדי של ונוס. יש מדינות שיש בהן פוטנציאל ל-G-G אך לאט לאט רואים שהן רוצות לעשות הרבה דברים בעצמן. ב-25 שנות פעילות מכרנו שתי מצלמות: אחת לקוריאה, אחת לצרפת. בשתי העסקאות הללו הצלחנו כי היינו יותר אטרקטיביים טכנולוגית ותקציבית. עשינו זאת מכיוון שהיינו צריכים לשמר את כוח האדם וקיבלנו החלטה אסטרטגית לקחת את העסקאות האלה למרות שהן היו כמעט הפסד.

לאן מובילה המציאות הזו? יש כאן תהליך ייבוש של תחום החלל במדינת ישראל, אין הזמנות חדשות והתגבור התקציבי הוא מאוד מאוד קטן. כל התשתיות המפוארות כולל אלה שמוקמות היום עלולות להפוך לבלתי שימושיות. למה זה קורה לנו? הרוב הגדול של התכניות הן תוכניות לאומיות ולא יוזמות מסחריות שבהן נמצא הכסף הגדול; למרות שיש פעילות עסקית מסחרית לא קטנה. ולכן, בלא מימון ממשלתי משמעותי ורציף ומחויבות להסכמים בינלאומיים התעשייה לא תמשיך להתקיים.

יוג'ין קנדל הזכיר בהרצאתו את התנאים בהם הממשלה מתערבת. במקרה הזה יש מרכיב של סיכון גבוה יחסית בחלק מהתכניות, אבל ישנם גם תחומים שהממשלה צריכה להשקיע בהם כי המשקיעים הפרטיים לא יעשו זאת. משקיעים פרטיים ישקיעו רק לאחר שתיווצר מסה קריטית סבירה של פעילות. בעולם בהרבה עסקאות יש מעורבות מאוד חזקה של הממשלות. בארץ זה קורה פחות, למרות שהמודעות גדלה, אך לא במידה מספקת. בשלב זה, הפעילות בארץ היא מתחת למסה הקריטית הנדרשת כדי לשמר אותה. זה נכון במיוחד לאל-אופ. אנחנו בהחלט נמצאים בפני שוקת שבורה וההישגים המפוארים בתחום החלל עלולים לרדת לטמיון וכל ניסיון לכונן אותם מחדש בעתיד יגבה מחיר בלתי אפשרי.

לסיום, מחצית הכוס המלאה: אם אנחנו חפצי חיים, הפתרון צריך לכלול תקציב ממשלתי קבוע בעל מסה קריטית על מנת שנוכל לשמר את המינימום של הצוותים שימשיכו את התהליך. מעבר לזה, אנחנו כבר נדע בעצמנו למנף זאת לאפליקציות מסחריות. הקלות משמעותיות במדיניות הפיתוח לייצוא בנושא חלל במדינת ישראל, עידוד ומעורבות ברמה הפוליטית הגבוהה ביותר במדינת ישראל (ויש לזה אח ורע בעולם), הרחבת שיתופי פעולה מדעיים (נעשית פעילות בנושא הזה), הסדרת תחומי העשייה במדינת ישראל למניעת כפילויות.

בעשרים וחמש השנים האחרונות נעשתה בישראל עבודה מדהימה. ניתן למנף את ההישגים לפיתוח עתידי כגון לווייני מזג אוויר וניתור סביבה, יבשה וים, לוויינים בעלי יכולות ראייה תרמיות לאפליקציות שונות ולוויינים היפרספקטרליים בשימוש כפול. באלאופ נצבר ניסיון אדיר במערכות אוויריות ובפענוח של האינפורמציה ההיפרספקטרלית. החתימה על הסכם בין סוכנות החלל הישראלית לבין סוכנות החלל האיטלקית בשנה שעברה היא אולי האור בקצה המנהרה.

השימוש בחלל כמנוף כלכלי וככלי לצמצום פערים, מר דורון אלינב, גילת תקשורת לוויינים

גילת תקשורת לוויינים היא בעלת ייחוד אשר לעיתים גורם לרווח ולעיתים להפסד. בעולם התקשורת, גילת משויכת לעולם החלל, ואילו בעולם החלל ההתייחסות לגילת היא כחלק מעולם התקשורת. בהרצאה זו אתייחס לשימוש בחלל כמנוף כלכלי וכללי לצמצום פערים. ההרצאה תהא בעלת אופן חיובי ואופטימי, אולי משום שגילת חברה כלכלית שצריכה להצדיק את עצמה.

אציג הצהרות עתידיות לגבי מספר הסיכונים והאי-ודאויות אשר ברובם אינם בשליטת גילת. הצהרות עתידיות אלו כוללות נושאים כגון התוכנית העסקית של גילת, ציפיות עתידיות, תוצאות אופרטיביות, תוצאות הוצאות כלכליות, לחץ תחרותי, הכנסות ורווחים, תחזיות גדילה, פיתוחים, מקורות כלכליים ושאר עניינים כלכליים. אין לראות בהצהרות אלו כמייצגות את השגת התוכניות והתוצאות של גילת. התוצאות בפועל עלולות לסטות באופן מהותי מהגדרתן בהרצאה זו, בשל הסיכונים וחוסר הוודאות הכרוכים בתחום הזה. סיכונים אפשריים הם גידול איטי יותר מאשר הצפוי בשוק התקשורת האלחוטית; קושי לזכות או לשמור על חוזים בקנה מידה גדול; עיכובים בפיתוח, ייצור ושיווק מוצרים חדשים, יישומים ושירותים, התחרות מצד חברות תקשורת אחרות ברשת, היכולת לשלוט בהוצאות, וסיכונים אחרים המפורטים בקטע של "גורמי סיכון" בדוח השנתי שלנו בטופס F-20 שהוגש ב-9 באפריל, 2008.

המידע לגבי נתונים סטטיסטיים בשוק ובתעשייה המוצג בהרצאה מבוסס על המידע הזמין עבורנו ונתפס על ידנו כמדויק. המידע מבוסס בדרך כלל על פרסומים בתעשייה ודיווחים אשר לא הונפקו למטרות ניירות ערך או ניתוח כלכלי.

יש להיזהר ולא להסתמך בצורה מופרזת על הצהרות צופנות פני עתיד אלו. גילת אינה מתחייבת לשנות או לעדכן מידע כדי לשקף אירועים או נסיבות לאחר מועד

ההסכם. זאת אומרת, מלבד האחריות הנדרשת לפי החוק, גילת אינה מניחה שום חובה לעדכן הצהרות עתידיות אלו בפומבי, או לעדכן את הסיבות אשר השפיעו באופן מהותי על התוצאות בפועל מאלו הצפויות, גם אם מידע חדש יהיה זמין בעתיד.

להלן נתונים על גילת: גילת נוסדה לפני כעשרים שנה ומעסיקה כאלף עובדים. גילת היא חברה כלכלית המתחרה בשוק תחרותי מאוד ועיקר המכירות המוחלט שלה (98%) הוא לייצוא. הכנסות החברה עומדות על כ-270 מיליון דולר לשנה. תחום ראשון שגילת היא חברה מובילה בו הוא תחום החלל, בעיקר בשני אזורים מרכזיים. להבדיל מהמתחרות של גילת אשר ממוקדות על השוק האמריקאי, השוק הגדול ביותר של גילת הוא אזורים מתפתחים עם מדינות מייצגות כמו ברזיל, רוסיה, הודו וסין. התחום השני אליו פרצה גילת בעולם הוא תקשורת בעזרת טלפונים שעוברים בלווין. גילת מגיעה לכפרים ואזורים נידחים ומתקינה בהם טלפונים נייחים וניידים לרווחת האזרחים.

הנוכחות של גילת בעולם היא גדולה: 430 רשתות, 16 משרדים ב-85 מדינות ויותר מ-750 אלף VSAT. רוב הלקוחות הם ספקי תקשורת, לאמור חברות שבבעלותן לוויינים או חברות שחוכרות לוויינים. המגמה הנוכחית בעולם היא שהתעשייה הופכת להיות utter vertically, כלומר בעלי הלוויינים, יצרני הלוויינים ובעלי הטרמינלים על הקרקע פועלים בשיתוף פעולה גובר. חלק מהשחקנים שייכים לאותה החברה וזה הופך ליתרון תחרותי. ישראל יכולה למנף או להשתמש כיתרון בעובדה שיש תעשיות ישראליות שיודעות לבנות את הלוויינים, להפעילם, לבנות ולפתח את ציוד הקרקע ולכן שיתוף פעולה בין חברות אלו יכול להביא לתוצאות חיוביות. הבעיה בארץ כרגע היא אי-הטמעת הנושא הודות לתחרות בין החברות הישראליות במקום שיתוף פעולה. אחת ממטרות הרצאה זו היא הבקשה לשיתוף פעולה ממשלתי ומסחרי ואיחוד כוחות כנגד יריבים תחרותיים מחוץ לארץ.

בחזרה לנושא ההרצאה, ביחס לשגשוג כלכלי באמצעות החלל אציג שלושה פרויקטים. הראשון, פרויקט חינוך במקסיקו שמטרתו הייתה לשלב ספרי לימוד ממוחשבים באמצעות DVD לכ-140,000 כיתות. הפרויקט הראשון נידון לכישלון,

משום שכוח ההוראה לא ידע כיצד להתמודד עם טכנולוגיה זו ולא ידע לתפעל את מערכות המחשב. בתחילת הפרויקט לא היו טלפונים בכפרים ובכיתות אלו ולכן הצוות לא יכול היה לקרוא לעזרה. כתוצאה מכך, חיברנו את הכיתות בתקשורת לוויינית. לתועלת מפרויקט זה שני היבטים. האחד, גידול דור שלם של ילדים שלא היו יכולים ללמוד בעזרת אמצעים אלו אלמלא הפרויקט, עם גישה לאינטרנט ולידע אינסופי. השני, הפרויקט יצר פתח לתעשייה שלמה של פרויקטים לאומיים סביב אספקטים שונים של חינוך, שירות, תקשורת ועוד אשר נעשים בפועל על ידי חברות מקומיות.

הפרויקט השני נעשה בהודו עבור מחוז גוג'אראט והוא חיבור האזרחים לשירותים בסיסיים בעזרת תקשורת לוויינים. שירותי וידיאו, קול ומידע בתחומים השונים של חקלאות, בריאות וחינוך. התועלת מהפרויקט הייתה בראש ובראשונה שגשוג כלכלי ויעילות כלכלית.

הפרויקט השלישי הינו דוגמא מתחום התקשורת הסלולארית והוא חיבור אזורים נידחים לרשתות סלולאריות באמצעות לווין. ישנם שלושה פתרונות לתקשורת לוויינים לחיבור עם רשת סלולארית, כיסוי מתמשך, כיסוי אזורי בשלט רחוק וכיסוי נקודתי בשלט רחוק. התועלת של פרויקט זה, היא שיפור משמעותי בדרכי התקשורת על ידי אנשים. כמו כן, יש שיפור ביעילות, במצב כלכלי, הזדמנויות ועוד.

לסיכום, לוויינים הם כיום הפתרון הכלכלי האטרקטיבי ביותר על מנת לגשר על אי שוויון וחוסר אחידות. הם מאפשרים לצמוח באזורים מתפתחים ומפותחים. ממשלות רואות בהשקעה בלוויינים הלאומיים כעדיפות חברתית וכלכלית.

חוזקות וחולשות של תעשיית החלל הישראלית, ד"ר דפנה גץ, עמיתת מחקר בכירה במוסד שמואל נאמן, הטכניון

בהרצאה זו אציג חלק מממצאי פרויקט מחקר שבוצע ע"י מוסד נאמן בטכניון. בעיקר אדון בנקודות החוזק והחולשה של תעשיית החלל הישראלית.

תעשיית החלל הישראלית היא בעלת יכולות, נכסים ונקודות חוזק בעלות משמעות אשר יכולות לאפשר לה לנצל הזדמנויות טכנולוגיות ועסקיות. אך על מנת שתעשיית החלל הישראלית תשיג את נתח השוק המתאים ליכולותיה הטכנולוגיות ותשמור את מקומה בין מעצמות החלל יש להתאים את מדיניות הממשלה לתמונה הגלובלית והמשתנה של שוק החלל. ממשלת ישראל והמגזר הפרטי יחד חייבים להיות חלק בלתי נפרד מהתהליך.

הממשלה צריכה לעדכן את הציבור הרחב, המדענים והצעירים באפשרויות הנרחבות שעיסוק בנושא החלל צפוי להביא לחברה, לכלכלה ולבני האדם. ואילו המגזר הפרטי צריך לפעול ביזמות וביצירתיות לבניית מודלים עסקיים בשיתוף המגזר הציבורי. מודלים כאלו יביאו לחלוקה בהשקעות ולפיזור סיכונים שיועילו לשני הצדדים. במסגרת זו, יש להרחיב את שיתופי הפעולה אשר קיימים כבר בישראל, ולחבר בין גופי הממשלה, תעשיית החלל, האקדמיה וגופים עסקיים נוספים על מנת לבנות את השלב הבא בתכנית החלל הלאומית של ישראל.

ציוני הדרך של תוכנית החלל הישראלית מאגדים בתוכם כשנים עשר לוויינים תוצרת ישראל, כאשר שלושה מהם לוויינים תקשורת, חמישה לוויני תצפית אלקטרו-אופטיים, לוויין מכ"ם, ושלושה לוויינים מדעיים (אופק 1,2 ולוויין הסטודנטים של הטכניון). בתעשיית החלל בישראל פועלות כ-25 חברות פעילות במעגל הראשון. החברות מייצגות את כל התעשיות הביטחוניות במעורבות שונה. החברות הרווחיות ביותר הן התעשייה האווירית וחברת גילת אשר מהמובילות בארץ ואף נכללות ברשימת 50 החברות המובילות בעולם. ההערכות לגבי המכירות של תעשיית החלל הן כ-900-800 מיליון דולר לשנה. מספר העובדים בישראל

בתעשיית החלל מוערך בין 2000-2500, והמכירות לעובד מוערכים בכ-400 אלף דולר לשנה.

שוק תעשיית החלל הישראלית מורכב ממספר חברות עיקריות, ואנסה להסביר את הקשר ביניהן ואת מוצריהן העיקריים. הראשונה, התעשייה האווירית באמצעות ארבעת המפעלים – מפעל מב"ת – חלל אשר עוסק בפיתוח לוויינים, מפעל תמ"מ – המספק מערכות ניווט ובקרה ללוויינים, מפעל מל"מ – פיתח את משגר ה"שביט" ואלתא, חברת בת של התעשייה האווירית, אשר פיתחה את מכ"ם SAR. השנייה, רפא"ל – הרשות לפיתוח אמצעי לחימה, מפתחת ומייצרת את המנוע לשלב האחרון של משגרי "שביט", והמנועים להכנסת לוויני "אופק" למסלולם. השלישית – תע"ש – התעשייה הצבאית, מפתחת את המנועים של משגר הלוויינים הישראלי, "שביט" ללוויני "אופק". הרביעית, אל-אופ – תעשיות אלקטרו-אופטיות, מפתחת מצלמות חלל. החמישית, אלישרא, מפתחת מערכות תקשורת ללוויינים ולהעברת נתונים, מערכת קרקעית מתקדמת ורכיבי תקשורת שונים.

החברה השישית היא גילת רשתות לוויין, שהיא החברה השנייה בגודלה בישראל בתחום החלל, עוסקת בפיתוח, ייצור ושיווק תחנות לוויין זעירות לתקשורת VSAT. לגילת לקוחות ב-85 מדינות בשש היבשות. בין לקוחותיה ספקי שירותים, עסקים וממשלות. חברה נוספת היא ספייסקום- חלל תקשורת, שהוקמה כמיזם משותף של התעשייה האווירית ומספר חברות ישראליות נוספות, מפעילה ומשווקת את שירותי לוויני עמוס ללקוחות בישראל ובחו"ל. אחרונה, חברת אימג'סאט (ISI), העוסקת בהפעלת לויני תצפית ומכירת שירותי צילום מלוויינים. החברה נמצאת בקשר עם 35 מדינות, לקוחותיה הגדולים הן ממשלות, אך היא עובדת גם עם חברות פרטיות.

ההשקעה של מממשלת ישראל בתחום החלל, בכל קריטריון של השוואה, קטנה מאוד בהשוואה להוצאות של מדינות אחרות החברות "במועדון החלל היוקרתי". בשנים 2007-2008 בוצע במוסד נאמן פרויקט בנושא חלל במסגרת תוכנית ה-ENS שמטרותיו היו להעריך את השפעתה של תעשיית החלל האזרחית על כלכלת

ישראל, לרכז ולנתח נתוני מפתח הקשורים לתעשיית החלל הישראלית, הגורמים המשפיעים על התפתחותה ועל תרומתה, כדי לבחון את מדיניות התמיכה הממשלתית בה. במהלך המחקר נלקחה בחשבון העובדה שתעשיית החלל האזרחית נשענת על לקוח עיקרי שהוא מערכת הביטחון, ללא התייחסות להיבטים הצבאיים והביטחוניים שמשפיעים עליה. המחקר סוכם בשישה דוחות שכללו נתונים עיקריים על הפעילות בחלל, מדדים לפעילות, מודלים עסקיים, ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל ומדיניות בתחום החלל.

כפי שציינתי, אציג את הממצאים בנושא החוזקות והחולשות של תעשיית החלל הישראלית. הממצאים המתוארים בהמשך מבוססים על תוצאות סקר של החברות המרכזיות בתעשיית החלל הישראלית, ראיונות עומק עם כ-30 מהמעורבים בתחום החלל בישראל מהתעשייה, האקדמיה וגופים ממשלתיים, סקר ספרות מקיף וניתוח איכותי וכמותי של נתוני תעשיית החלל בישראל.

נקודות החוזק של תעשיית החלל הישראלית מתבטאות בהיבטים טכנולוגיים, כלכליים וארגוניים. בהיבט הטכנולוגי, שוק החלל הוא שוק מאוד תחרותי ותעשיית החלל בארץ היא קטנה, אך בכל זאת הצליחה להחדיר לשוק מוצרים בזכות היכולת הטכנולוגית, היעילות הכלכלית והיזמות, שקיימת בישראל. בתחום הלוויינים הקטנים לצילום וחישה מרחוק, תעשיית החלל של ישראל היא מובילה. היא הצליחה לפתח יכולות גבוהות בלוויינים קטנים, שהם מהמתקדמים בעולם. עקב המגבלה הישראלית של יכולת השיגור, פותחו לוויינים במשקל נמוך בהתאם לכושר השיגור הישראלי. הלוויינים במשקל קל יותר זולים יותר. לוויינים בעלי ביצועים דומים ממדינות אחרות כגון ארה"ב או אירופה שוקלים הרבה יותר ולכן גם יקרים יותר. הכדאיות הישראלית מבחינת יחס ביצועים למחיר היא הגבוהה ביותר בעולם.

בישראל ישנה הנדסת מערכת ברמה גבוהה מאוד. יש לישראל יכולת לפתח אבי טיפול בזמן קצר, במחיר נמוך, תוך התאמה לצרכים ספציפיים ברמה הטובה ביותר. נקודת חוזק טכנולוגית נוספת הינה מערכות ההנעה המתקדמות המבוססות

על הידרזין. כמו כן, מצלמות ומכ"ם SAR לחלל מהטובים בעולם הנמצאים בחזית הטכנולוגיה.

בהיבט הארגוני, תעשיית החלל בישראל מעסיקה כוח אדם איכותי ומנוסה בעלי חשיבה טכנולוגית טובה וחדשנית. היכולת הארגונית-מערכתית טובה, יכולת ניהול פרויקטים בצורה שונה מהמקובל תוך כדי לקיחת סיכונים, גמישות מחשבתית וביצועית ועבודה "בסביבת היי-טק", סביבת עבודה טכנולוגית מתקדמת.

בהיבט הכלכלי, נקודות החוזק הן העלויות הנמוכות של פיתוח מערכות, יכולות גבוהות במחיר נמוך, מעגלים קצרים בין הלקוח לספק היוצרים קשרים ושיתופי פעולה אשר מקצרים את הזמן ומורידים בעלות. כמו כן, היזמות העסקית גבוהה, החברות הפעילות בשוק שירותיי הלוויין יוצרות מודלים עסקיים מותאמים ללקוחות בעלי מגוון חבילות של שירות, אשראי, בניית מתקנים, תמיכה והדרכה. תעשיית החלל סיימה תהליך של "התאזרחות" בהצלחה ואינה בשליטת המדינה לצרכים צבאיים בלבד, אלא מפנה את יכולותיה גם לעולם האזרחי. למרות זאת, לתעשיית החלל האזרחית אין זכות קיום ללא תמיכה של הממשלה כלקוח וכגורם בעל עניין ופיתוח של התעשייה הזאת.

נקודות החולשה של תעשיית החלל הישראלית מתבטאות בהיבטים ביטחוניים, בהיקפה הקטן של התעשייה, קשיי כוח אדם וקשיים הנובעים ממדיניות בנושאי חקר ותעשיית החלל. בהיבט הביטחוני, ישנה תלות רבה של פעילות החלל בישראל במשרד הביטחון. התלות הינה מחשבתית ותקציבית. מכיוון שהתעשייה תלויה מבחינה תקציבית במשרד הביטחון יש צורך בפעולות, שלעתים, אינן בהכרח טובות. כמו כן, ישנן מגבלות ייצוא, מגבלות שיגור והתנגשות בין שיקולים ביטחוניים וכלכליים (החלטות שנלקחו על בסיס שיקולים ביטחוניים לא תמיד יעמדו בקנה אחד עם שיקולים כלכליים).

בהיבט של היקפה הקטן של תעשיית החלל, ניתן לזהות אבדן של יתרון העלויות הנמוכות, מאחר והיקף התעשייה קטן, והייצור בישראל הוא ללוויינים בודדים על

פי דרישה. לכן, אין לישראל לוויני מדף שאפשר לבחור דגם מתוכם. כאן ישנו יתרון לחברות הבינלאומיות הגדולות, אשר להן קו ייצור לייצור לוויינים. בהיעדר ייצור סדרתי ובהיעדר רצף בהזמנות ישנו קושי בשמירת כוח אדם. הערך המוסף של תעשיית החלל בישראל הוא קטן, ואילו התלות בספקים מחו"ל הולכת וגוברת.

בהיבט של קשיי כוח אדם, ניתן לזהות היעדר המשכיות בנושא כוח אדם משום שאין פרויקטים רציפים, ישנו מחסור במנהלי פרויקטים ותנאי העבודה לא מספיק אטרקטיביים.

המדיניות בנושאי חקר ותעשיית החלל אינה מכוונת. אין תקציבים מסודרים וגדולים ויש צורך בתמיכה ממשלתית גדולה יותר. כמו כן, מערך השיווק, ההשכלה וההכשרה אינם מפותחים וטובים מספיק. קשיים נוספים הם הסתמכות יתר על יכולת האלתור והיעדר מודעות ציבורית לנושא החלל.

אם כן, מה עושים? גם אם יש היום משבר בתעשיית החלל בישראל, ישנן מספר הזדמנויות לטיפול בנושא. שוק החלל צומח ולפי התחזיות, מגמה זו תימשך. יש מקום למנף את היתרונות של ישראל בחלל ולזכות בנתח שוק גדול יותר. להפעיל יזמות ויצירתיות ביישום מודלים עסקיים שמבוססים על PPP (Public-Private Partnership) בכדי לפזר סיכונים, להתחלק בהשקעות ולזהות את ההזדמנויות המתאימות לישראל. כמו כן, ניתן להשקיע במו"פ ולהתקדם בכיוונים שונים.

לסיכום, מדינת ישראל השקיעה בתחום החלל וצברה נכסים בעלי משמעות שמשרתים אותה כיום לצורכי ביטחון ולרווחת אזרחיה. תעשיית החלל, שהתפתחה על יסוד השקעות העבר, יכולה לתרום לצמיחת כלכלת ישראל, לרווחתה ולמעמדה בעולם. התגייסותם של גורמים שונים, ממשלתיים ופרטיים, מהאקדמיה ומהתעשייה, דרושה כדי להתוות דרך לבניית השלב הבא בתוכנית החלל הלאומית. החזון צריך להיות מגובה בתכנון, בחינוך, ביזמות, בהשקעות של המגזר הממשלתי והפרטי ובמעורבות של האקדמיה והציבור הרחב.

לוחמה בחלל ומשגרי לוויינים, מר יאיר רמתי, סמנכ"ל לשיווק, התעשייה האווירית

בהרצאה אתמודד עם שני נושאים: הלוחמה בחלל ומשגרי הלוויינים.

<u>הלוחמה בחלל</u>

הלוחמה בחלל היא בעלת שני קטבים: מוטיבציות וריסונים. במידה והמוטיבציות ללוחמה בחלל היו מאוד חזקות ולא היו ריסונים, היינו מגיעים למצב של לוחמה כוללת בחלל, מצב שאינו תואם לגמרי את המצב היום. בלוחמה בחלל, האיום הוא על השחקנים הפגיעים יותר שהם המדינות המפותחות והחזקות. זאת אומרת, ככל שיש למדינה נכסים רבים יותר בחלל, כך היא יותר חשופה לבעייתיות של לוחמה בחלל.

ישנם שלושה ריסונים ללוחמה בחלל. הראשון, אמנות המגבילות מספר יישומים צבאיים בחלל. השני, עלויות גבוהות במיוחד – "מגה פרויקטים" יקרים במיוחד המחייבים החלטה לאומית ומשאבים ניכרים. השלישי, נראות (visibility) – קשה להסתיר יכולות אלה ובעיקר ניסויים בהן. במידה ומדינה לא "מותחת שרירים" ומבצעת ניסוי, היא נמצאת בבעיה מבחינת יחסי הכוחות. רוסיה וארה"ב פעילות בנושא לפחות שלושה עשורים, ולאחרונה הצטרפה אליהן גם סין. בראייה האמריקאית, חשיבות החלל היא ליבת תפיסת הביטחון האמריקאית המבוססת על יכולת פיקוד החלל שלהם, ולכן ניתן לשער מה תהיה המשמעות בפגיעה באותה יכולת, מבחינת רמת הביצוע ובעיקר מבחינת רמת הדימוי העצמי והתדמית. בתחום הלוחמה בחלל, מערך הדימויים הוא מרכזי מאוד. שרשרת הפיקוד של ארה"ב שולטת במימד החלל בתחום הצבאי על מנת להגן על האינטרסים וההשקעות הלאומיים. שילוב יכולות של כוחות לחימה בחלל ירחיבו את קצוות קשת הסכסוך.

ישנם שלושה סוגי לוויינים פוטנציאליים לתקיפה. האחד, במסלול ה-LEO (הקרוב ביותר לכדור הארץ), לווין תצפית ומודיעין, שני במסלול ה-MEO (המרוחק יותר),

לווין ניווט, ושלישי במסלול ה-GEO (מסלול המרוחק מכדור הארץ 36,000 ק"מ) לוויין תקשורת והתרעה.

דוגמאות למנגנוני לחימה בחלל הם פגיעה בלווייני LEO דרך יירוט (ASAT), סנוור לוויני תצפית בלייזר (DEW- directed energy weapons) מהקרקע ומהאוויר, שיבוש ערוץ תקשורת\"חטיפה" דרך ערוצי נתונים, פיצוץ גרעיני ויצירת אפקט של פולס-אלקטרו-מגנטי (EMP). דוגמאות נוספות הן שיבוש לווייני ניווט (חסימת GPS) ושיבוש וחסימת לווייני תקשורת כולל יירוט תקשורות דרך לחימה מהחלל לכדור הארץ ולחלל (מערך שלא יושם), (Space Born Laser) SBL- לייזר רב עצמה חללי ומיירטים קינטיים חלליים (Brilliant pebbles). בארה"ב מתנהל ויכוח בין הדמוקרטיים לרפובליקנים בנושא ההשקעה ב-SBL, מאחר ויש מגמה להקטנת ההשקעות. בסוף שנות ה-90 החל פרויקט להצבת מערך כזה בעלות של מיליארדי דולרים.

להלן סקירת האירועים המרכזיים בעולם בתחום החלל לאורך ציר זמן. תחום החלל הפך לרלוונטי החל מסוף שנות החמישים. ב-1957 שוגר הספוטניק, הלוויין הרוסי הראשון. מספר חודשים לאחר מכן הצטרפה ארה"ב ושיגרה את "האקספלורר 1". ישראל הצטרפה במחצית התקופה, בשנת 1988 ושיגרה לווין ישראלי ראשון.

לאחר השיגורים הראשונים של ברה"מ וארה"ב הלוחמה בחלל עולה על הפרק. ישנן עדויות ברורות של ניסויים סובייטים בהם לוויין אחד יתקרב לאחר. רק לאחר מספר שנים הם הצליחו לבצע יירוט, פגישה של לוויין אחד באחר באותו הזמן, המקום והמהירות. באמצע שנות ה-80, כ-3 שנים לאחר הכרזת מלחמת הכוכבים של רייגן, מצליחים האמריקאים לבצע שיגור אווירי שבו הם השמידו לוויין בעזרת טיל ניסיוני בשם ASAT. כאשר האפשרויות האמריקאיות והסובייטיות ידועות והאמנות חתומות, שורר שקט בחלל. נושא הלוחמה בחלל צבר תאוצה רבה יותר רק ב-2006, כאשר נכנס מתחרה נוסף לזירה, המתחרה הסיני.

מהו תהליך היירוט של לוויין במסלול LEO? בשלב הראשון יש לגלות, לזהות ולעקוב באופן מדויק אחר המטרה על מנת לחשב מסלול וחיזוי מדויק. לאחר מכן, יש צורך במערך שליטה ובקרה על מנת לתכנן את היירוט עם תקשורת מאמצעים מרוחקים, הצבת פלטפורמות היירוט במקום ובזמן הנכון, קביעת "סל יירוט" ועוד. לבסוף, יש צורך במיירט קינטי או לוויין תקיפה, ככלי הרג שיגיע לגובה המתאים, עם כושר תמרון ראוי ודיוק פגיעה נקודתי.

ישנם מספר אתגרים מערכתיים, ראשון הוא שיגור טיפוסי – "באפלה", טרם זריחת הלוויין למערך העקיבה שמצוי מתחת לנקודת היירוט. האתגר השני, יש למזער את כמות הרסיסים ("פסולת חלל"). שלישי, תזמון מדויק של השיגור. אחרון, זווית פזילה גדולה לסנסור.

ישנם מספר פתרונות יירוט בעולם. ראשון, משגר לוויינים קרקעי רוסי שגם מיירט לוויינים, הוא קיים החל משנות ה-70. שני, הASAT, משגר אווירי אמריקאי משנות ה-80. שלישי, SM-3, מתקן שיגור ימי אמריקאי. ורביעי, משגר לוויינים קרקעי סיני, KT-1 מ-2007. הפתרונות ליירוט הם בעלי פלטפורמות שונות, של ים, יבשה, אוויר וחלל בעזרת לווייני השמדה.

השיגור הסיני שנערך ב-11 בינואר 2007, השמיד לוויין סיני FY-1C בגובה של 853 ק"מ, התברר כטעות עקב גובהו הרב. השיגור הביא עמו פגיעה בחלל אשר גרמה לרסיסים רבים וכתוצאה מכך סין ספגה ביקורת עולמית על זיבול החלל. שנה לאחר שהאמריקאים הביעו את הביקורת האומנם מוצדקת כלפי סין, הם החליטו לפעול במדיניות מיוחדת להם. ב-20 בפברואר, 2008, האמריקאים ביצעו מהלך יירוט של לוויין אמריקאי, עם טיל SM-3. האמריקאים תירצו את היירוט בכך שעל הלוויין שיצא משליטה יש מיכלי דלק הלוויין רעילים ומסוכנים שיש לנטרל. הפרשנות הנגדית לשיגור זה, היא שהאמריקאים עשו זאת כדי להבהיר לסינים ולעולם שיש להם את היכולת לבצע זאת גם מהים. בשיגור האמריקאי, ב-13

באוקטובר, 1985, עם המיירט האמריקאי ASAT, הם הראו בצורה ברורה כי ניתן ליירט ולפגוע מהאוויר במטרה באופן מדויק. הגובה של מיירט זה היה גבוה דיו, והשברים היו בהיקפים גדולים ונשארו לטווח ארוך. שליטה במידע היא חיונית למעקב אחר שברים ועצמים בחלל ולכן פותחו מכ״מי העקיבה אחר אובייקטים חלליים. מרבית המכ״מים משמשים להתראה ויירוט טק״ק ומסוגלים לעקוב גם אחר אובייקטים חלליים.

באשר לסנוור באמצעות לייזר - ישנם אתגרים מערכתיים בעצם ביצוע סנוור לוויין באמצעי נשק לייזר. יש צורך בהכוונת קרן לייזר בדיוקים גבוהים ובזוויות מתאימות. כמו כן, יש צורך בפיזור אלומה במהלך המעבר באטמוספירה ונדרשים הספקים גבוהים למערך קרקעי. הסנוור לא משפיע על לוויינים מסוג SAR (לוויני מכ״מ) ולוויני תקשורת, אך משפיע על לוויני תצפית אופטיים.

באשר ליכולות הלוחמה בחלל מחוץ לארה״ב ורוסיה, הצגתי את סין, בעלת מערך עקיבה מכ״מי ואולי אף אופטי אחר אובייקטים בחלל, מרכז פיקוד ושליטה ו-KT1 , מיירט הלוויינים הניסיוני. בנוגע לשאר העולם, יפן, הודו ואירופה בעלות מכ״מי עקיבה, יפן בעלת מיירט גובה רב ואין לנו יידע לגבי מערכות שו״ב ולוויינים בעלי כושר תמרון.

כדי להתגבר על מספר חסרונות אסטרטגיים מול האמריקאים, לאחר משבר הטילים בקובה, החליטו הרוסים לפתח מיד את נשק יום הדין (FOBS- Factional Orbit Bombardment System). נשק יום הדין, הוא גוף חללי נושא מטען גרעיני בן 1-3 מגה טון במסלול הקפה אשר ממתין להוראה מהקרקע לפגוע במטרה כלשהי על פני כדור הארץ. לאור תכונותיה, נחשבה המערכת ל״בלתי מייצבת מדינית״. היא הוכנסה ע״י הרוסים לשירות מבצעי בנובמבר 1968, והוצאה ממנו בינואר 1983 כחלק מהסכמי SALT-2.

לסיכום נושא זה, אציג מספר תחזיות הצפויות לעתיד. מס׳ בלוגים (כולל AW&ST), טוענים בעקביות כי מכ״מי AESA על גבי מטוסי קרב יאפשרו בעתיד

לפגוע בכלי טייס ובלוויינים. ריסונים כדוגמת גל המחאות על "פסולת חלל" שיצרה סין בדמות ענן שברים שנוצר מהניסוי האחרון, יגבילו את ביצוע ניסויי היירוט הללו. מאידך, האטרקטיביות של הרתעה ו"מתיחת שרירים" טכנולוגית בתחומי הלוחמה בחלל כנראה תגדל. אפשר כי מדינות דוגמת הודו, יפן, צרפת ואחרות תצטיידנה ביכולת עקיבה ואולי יירוט לוויינים. ללא ביצוע ניסוי בפועל, אין משמעות ליכולות טכנולוגיות אלו. הוכח כי למערכות יירוט טק"ק המסוגלות לפגוע בגובה רבה, דוגמת SM-3, יש גם יכולות יירוט לוויינים במסלול LEO. בהחלט ייתכן וזהו המרוץ הטכנולוגי הבא.

באשר להיבט השני, משגרי לוויינים (Accesses to Space), ישנם שלושה ווקטורים מפעילים וקשורים למשגרי הלוויינים. הראשון, מגמות עסקיות, מס' שיגורי ה-LEO ו-GEO נמצא בירידה משום שללוויינים יש אורך חיים ארוך מהצפוי. השוק נמצא בסטגנציה מסוימת וניכרת עליית מחירים משמעותית. מאידך, איחוד ספקים, קריסת מספר מתחרים, ביטול ודחייה בתוכניות חדשות. יש קושי רב בהצגת תוכנית עסקית משכנעת למשקיעים.

הווקטור השני, קשור בהיבט הבינלאומי, מאז שנות ה-90, עקב פירוק מערך הטילים האסטרטגיים (ICBM) מתפנה כושר שיגור זול בעולם. כל התוכניות למשגרים חדשים מצויות בפיגור ניכר. הניסיונות להצטרף למועדון המדיניות המשגרות נמשך. מדינה כמו איראן הצליחה ואילו מדינות כמו ברזיל וצפון קוריאה נכשלו. בנוסף מתחילים להתפתח שיתופי פעולה בינלאומיים.

הווקטור השלישי, מגמות טכנולוגיות, שיגור ימי (GEO) הצליח באופן טכני אך נכשל כלכלית (chapter 11). בתחום השיגור האווירי, יש מיזם מוצלח יחיד (PEGASUS) נתמך ממשלה, ויש עוד מס' מועט בקנה. רעיונות SSTO - single stage to orbit - גוועו בהיותם לא מספיק טובים מבחינה טכנולוגית. משגרים נוזליים זולים דוגמת SPACE X צוברים תנופה.

לסיום ברצוני להתייחס למספר אגדות ומציאות בנושא שיגור אווירי.
שיגור אווירי זול, "כמעט ואינו מצריך תשתיות" – בפועל, יש צורך במטוס שיגור ייעודי, לפחות 3-2 מטוסים מלווים, מערך בטיחות מלא, מערך טלמטריה-מלא, אמצעי תיעוד-מלאים, פתרון רגיש למזג אוויר, לנחיתות והמראות ובנוסף, תהליכי שילוב לוויין מורכבים יותר ועוד.

שימוש בשיגור אווירי חוסך שלב במשגר הלוויינים – אך בפועל לא מדויק. אומנם הגובה עוזר במקצת אנרגטית והוא עשוי להקל על הפרדת שלב ראשון. מאידך, מצריך כנפיים (Pegasus) או מצנחים מיוחדים. לשיגור ממטוס קרב אין שום יתרון, כאשר חסרונו המרכזי הוא גודל ומשקל.

שיגור אווירי אידיאלי להזרקת לוויינים קטנים- זו אגדה. אין קשר בין השניים. ה-Pegasus הוא משגר לוויינים LEO קלסי שביצועיו דומים ל"שביט". גם לרוסים וגם לסינים אין תוכניות לשגר מיקרו-לוויינים מהאוויר. והשאלה העיקרית, האם יש שוק ללוויינים קטנים שיצדיק פיתוח משגר ייעודי?

שיגור אווירי אידיאלי דווקא למדינת ישראל - אמת ויציב. ישראל מוגבלת גיאוגרפית בשיגור מערבה .כתוצאה מכך, נטיית מסלול תהיה עד כ-40 מעלות. עקב כיוון השיגור הקרקעי, ישראל סובלת מהפסד אנרגטי של כמעט50%. מגבלות בטיחותיות באזור הקרוב ומיקום פגיעת שלב 2.

שיגור אווירי מאפשר זמני תגובה קצרים (Launch On Demand) – ייתכן, אך טרם הוכח. אומנם קשה להבין מדוע דווקא השיגור האווירי מקצר זמנים, אך נקווה שיתממש בפועל. מאידך, אולי מוטב לשגר כאשר נוח ולהציב את הלוויין במסלול המתנה בגובה רב.

מושב שלישי: החלל בישראל ובעולם

מדע מהחלל: היבט פנימה, מחקר החוצה, תוך שאיפה אל העתיד, ד"ר נח ברוש, אוניברסיטת תל אביב

העיסוק במדע וחלל מורכב משולשה תחומים עיקריים: הראשון, מהחוץ אל הפנים. לאמור, לשהות בחלל ולהסתכל ממנו אל כדור הארץ. השני – הסתכלות מהפנים אל החוץ, מכדור הארץ אל החלל או ממסלול לוויני החוצה אל החלל והאפשרות לחקור גופים כמו את השמש עצמה, את כוכבי הלכת, שמשות אחרות, גלקסיות, והיקום כולו. כיווני הסתכלות אלה הם מרחביים. הכיוון השלישי מעניק לנו את האפשרות להפליג על כנפי הדמיון אל העתיד בשאיפה לטוס לכוכבים. לצערי, בישראל עדיין אין התייחסות לאומית לטיסות לכוכבי הלכת, דבר שכן קיים במעצמות החלל האחרות.

חלוצי דור החלל, ציולקובסקי, אוברת' ופון בראון שאפו לעסוק רק בחקר החלל ולא בשימוש בכלים שפיתחו למטרות צבאיות. מטרתם הייתה להשתמש בכלים שפיתחו על מנת לחקור את החלל. כיום יש שימוש בפיתוחים טכנולוגיים לרווחת המין האנושי בתחומי התקשורת, הניווט ומוצרים טכנולוגיים נגזרי חלל. פיתוחים אלו באים על מנת להקל ולייעל את חיי האנושות כיום.

סוכנויות החלל הגדולות הן נאס״א של ארה״ב ו-ESA של אירופה. כל סוכנות חלל הפיקה מסמך המפרט את התוכניות האסטרטגיות שלהן. ליעדים העיקריים המופיעים בתוכנית האסטרטגית של נאס״א יש דגש עסקי וטכנולוגי ולאו דווקא מדעי טהור, בניגוד למסמך דומה שהפיקה נאס״א לפני כעשור. בין יעדים אלה מופיע המשך הטסת המעבורות מעבר ל-2010, אולי אפילו עד 2020, השלמת תחנת החלל הבינ״ל, פיתוח תכנית מאוזנת בין מדע, חקר ואווירונאוטיקה, פיתוח כלי טיס במקום המעבורת, ושת״פ עם הסקטור הפרטי. היעד הקודם של ביסוס תכנית טיסות לירח, שתשמש לטיסות למאדים ועוד, נשקלת כיום ויתכן שתבוטל.

המסמך המכונן של סוכנות החלל השנייה בגודלה, הסוכנות האירופית, מכיל יעדים בנושאים מדעיים ופחות בטכנולוגיות עסקיות. דוגמאות לשאלות היסוד עליהן מבוססת התכנית הן מה התנאים להיווצרות כוכבי לכת ולהופעת החיים, איך פועלת מערכת השמש, מה הם חוקי היסוד של פיסיקת היקום, איך החל היקום וממה הוא מורכב. שאלת ראשית החיים ביקום עומדת בראש הרשימה של שאלות היסוד של ESA.

דרג ב׳ בתחום החלל כולל את סוכנויות החלל של סין והודו, שתי מעצמות עולות בתחום החלל אשר משקיעות רבות בתחום להעצמת היוקרה של מדינותיהן. התוכניות האסטרטגיות שלהן דומות ומתמקדות ביעדים כמו חקר החלל, חקר כדור הארץ והיקום, קידום האנושות והציביליזציה, קידום חברתי וטובת האנושות כולה, דרישות גוברות ונשנות בנושאי הבנייה הכלכלית, הביטחון הלאומי, המדע והפיתוח הטכנולוגי והחברתי ויעד נוסף אחרון הוא הגנת האינטרסים הלאומיים.

כיוון ההסתכלות הראשון הוא כאמור מהחוץ אל הפנים: חקר כדור הארץ. המדע מהחלל יכול לעזור לנו בתועלות מיידיות כגון מיפוי, ניטור מזג אוויר, אוקיאנוגרפיה, מיפוי משאבי טבע ומחצבים, ניטור אסונות ורעידות אדמה וטקטוניקה. בתחומים הללו יש תרומה נכבדה ביותר ללווייני מכ״מ בעל מפתח סינטטי, שמביאים נתונים בכל מזג אוויר. כיוון ההסתכלות השני הוא מהפנים אל החוץ: חקר מערכת השמש. התועלות הן למאות שנים ומתבטאות בהבנת תהליך ההיווצרות של מערכת השמש ובחיפוש חיים בגופים אחרים מלבד כדור הארץ. המחקרים נעשים ממסלול לוויני סביב הארץ, ע״י חלליות חולפות, חלליות מקיפות כוכבי לכת אחרים, וחלליות נוחתות ושבות ארצה עם דגימות מהקרקע. בכיוון ההסתכלות האחרון, מבט אל העתיד, אני כולל מעבר אל מעבר לגבולות מערכות השמש, שם מתחיל התווך הבין-כוכבי. כיום רק חלליות בודדות חצו גבול זה ומשדרות נתונים מעניינים שיכולים להשפיע אפילו על הבנת האקלים על כדור הארץ. אך החוקרים שוקדים כיום על מציאת דרך שתאפשר מסע אל הכוכבים, מרחק שנות-אור מאיתנו.

לכל פרויקט בחלל יש מגבלת זמן, לא ניתן לבנות פרויקט חלל היום שיימשך 50,000 שנה, משך זמן הטיסה אל הכוכבים הקרובים בעזרת מנועי הטילים של יום. גם תחום הזמן של 20 שנה אינו סביר, אך אפשרי כפי שהחללית הנמצאת כיום בדרך לפלוטו מראה.

האוכלוסייה שעדיין לא נחקרה מספיק מהחלל היא של גופים קטנים בגודל כמה מאות מטרים. פגיעה של גוף כזה בכדור הארץ אמנם לא תגרום להכחדת האנושות, אלא רק לאסון קטן יותר כגון השמדת יבשת או מדינה גדולה. כדי להתגונן מפגיעה כזו יש צורך להתרעה של עשר שנים או יותר כדי לפתח אמצעי מיגון ומיגור של הסכנה. אפשר לעשות זאת בעזרת לוויין תצפית מהחלל קטן יחסית.

שיתופי פעולה בינלאומיים בחלל כמנוף לעצמה והתעצמות,

ד"ר צבי קפלן, מנכ"ל סוכנות החלל של ישראל

בהרצאה אסקור את ההיסטוריה הקצרה של החלל מתוך מגמה ללמוד על העתיד ושיתופי פעולה בינלאומיים בחלל המתבצעים על ידי התעשיות והאוניברסיטאות. אסקור את פרויקט ונוס, שיתוף פעולה צרפתי-ישראלי ופרויקטים עתידיים עם איטליה (שם זמני-פרויקט ליאונרדו) ושיתופי פעולה עם נאס״א.

כיבוש החלל הינו תחום חדש יחסית בפעילות האנושית. רק לפני כשבעים שנה נבנו הרקטות הראשונות המאפשרות שיגור לחלל. לפני כחמישים שנה שוגר הלוויין הראשון לחלל ואילו רק לפני ארבעים שנה צעד האדם את צעדיו הראשונים על הירח. למרות זאת הניסיון המצטבר עד כה בתחום זה מראה, כי חקר החלל וניצולו הוא מכשיר חיוני להגנה על החיים בכדור הארץ. כמו כן הוא אמצעי מוביל להכרת היקום, כדור הארץ וסביבתנו הקרובה, בהתפתחויות קצרות הטווח והארוכות טווח, מנוף לקידום טכנולוגי, מפתח לקיומה של חברה מודרנית וכלכלה מפותחת המבוססת על ידע ומוקד משיכה לכוח אדם מדעי וטכנולוגי איכותי. לחלל יש אינטראקציה ומשוב חוזר עם טכנולוגיות אחרות והוא חלק בסיסי במערך המחשוב, התקשוב, והתקשורת בעיקר לדור הצעיר אך גם לקהילה הכללית. בראייה לאחור, מתחילת המלחמה הקרה, ניתן לראות דפוס חוזר בנושא ההשקעה בחלל אשר מונע ממגמות פוליטיות ומדיניות.

לאחרונה התרחשו שלושה אירועים. האחד, שוגר הטיל Ares-1 המיועד לשאת את צוות הטיל האמריקאי לירח. שני, ועידת אירופה להתוויית אסטרטגיה לתגליות (explorations). והשלישי, הכרזת ראש סוכנות החלל הרוסית, אנטולי פרמינוב, שרוסיה תפתח טיל גרעיני למאדים.

בנוגע ללקחים מהתפתחות שוק החלל על יישומיו, החלל התבסס כמרכיב משמעותי בכלכלת הידע במיוחד בתחומי המחשוב, התקשורת, הניווט ותצפיות כדור הארץ. ה״מתכון״ השולט בהתפתחות החלל הוא שילוב של שלושה דברים. האחד, החלטה

מדינית אסטרטגית מונעת מרצון ליוקרה עולמית ולאומית ודחף פוליטי של הדרג המדיני ברקע ההחלטה. שני, מענה לצורך ביטחוני-צבאי ולאחר מכן דינאמיקה של תהליכים לאזרוח הטכנולוגיה. שלישי, גרעין של מחקר בסיסי איכותי עם פריצות דרך מדעיות וטכנולוגיות.

מבחינה מעשית, המלחמה הקרה הביאה להשקעות עתק בפיתוח תצפיות כדור הארץ, תקשורת וניווט בהשקעה של עשרות מיליארדי דולרים. את ההישגים מהשקעות אלו ניווטו ליישומים אזרחים. כיום, החלל האזרחי עשיר באפליקציות רבות. לדוגמה, חגורת לווייני התקשורת במסלול הגיאו נעשית צפופה יותר בגלל ההתפתחות האדירה בתקשורת.

בנושא עוצמת התמיכה הממשלתית בחלל בעולם, היקף הפעילות הכלכלי של העולם עומד על כרבע טריליון דולר כאשר שליש מתקציב זה עומד על שימושי חלל כאשר רובם תקשורת וניווט. קצת יותר מביליון דולר מושקע בחלל נטו, כולל משגרים, לוויינים, חלליות מחקר, מקטעי קרקע ועוד.

התובנה העיקרית לגבי מקומו של החלל במדינת ישראל היא כי העיסוק בחלל הוא מרכיב אסטרטגי, ביטחוני, פוליטי ותעשייתי מעבר למשמעות הכלכלית. ישראל נכנסה לפעילות בשלב מאוחר באופן יחסי והגיעה להובלה בתחום ולמצוינות. הפעילות בחלל כרוכה בעלויות גבוהות ומתבצעות בהשקעה לאומית ובשיתופי פעולה בין מדינות, תעשיות ומכוני מחקר, אך מינוף היכולות הטכנולוגיות עשוי לסייע בשיפור המעמד הגיאו-פוליטי על ידי שיתופי פעולה ארוכי טווח בין מדינות.

הסביבה הפנימית של ישראל מורכבת מחוזקות וחולשות. החוזקה הישראלית העיקרית היא התשתית האנושית והפיזית בתחומי נישה אשר נטועה במקדם תעשיות הביטחון וההיי-טק. לישראל עוצמה חזקה של יכולת פיתוח בחלל בתצפיות כדור הארץ ובלווייני תקשורת. החולשות של ישראל הן במחסור במכירות ובמקורות מימון ממשלתיים לאורך זמן כמקובל במדינות המובילות. קיימת אי יכולת להשקיע במחקר ופיתוח מתקדם בהיקף הנדרש. המעמד הגיאופוליטי של

ישראל מקשה על שיתופי פעולה בענף ויש צורך במשאבים רבים לתפעול המערך הקיים.

גם בסביבה החיצונית יש לישראל חוזקות וחולשות. החוזקה הישראלית היא בעיקרה מוצרים מובילים ותחרותיים באיכותם ובמחירם. החולשות הקיימות הן נחיתות מול תחום מועדף עתיר השקעות ממשלתיות אצל המתחרים, השוק העולמי קטן ולא מפותח דיו בתחום ההתמחות הישראלית ואי השייכות של ישראל לגוש האירופי.

למדינת ישראל שלושה יעדים אסטרטגיים בתחום האזרחי. יעד ראשון, מיצוב מדינת ישראל כמובילה מדעית טכנולוגית בתחום החלל. יעד שני, הרחבת מעגל שיתופי הפעולה הבילטראליים והבינלאומיים בתחום החלל. יעד שלישי, פיתוח תחומי פעולה בהם יש למדינת ישראל יתרון יחסי בעיקר בתחומי החישה מרחוק וכן בפיתוח טכנולוגיות למיקרו-לוויינים והאמצעים לשיגורם. מטרתם של יעדים אלה להגיע להיקף מכירות שנתי של ביליון דולר בתעשיית החלל בשנת 2013.

היתרונות האפשריים של שיתוף פעולה בין מדינתי הם הקטנת הנטל הכלכלי, מתן ביטוי ליתרונות יחסיים, סינרגיה בתרבות העבודה, הזדמנויות עסקיות והשלכה כל יחסי החוץ בין המדינות השותפות. סל"ה מתמקדת בטיפוח שיתופי פעולה בינלאומיים על בסיס יתרונה היחסי הבולט של מדינת ישראל.
שיתופי הפעולה הבינלאומיים הבולטים הם שיתוף פעולה מדעי-טכנולוגי בתחנת החלל. במקור תקציב התוכנית עמד על 40 ביליון אך במציאות כנראה יעבור את ה100 ביליון. שני שיתופי פעולה במסגרת האיחוד האירופי וסוכנות החלל האירופית הם תוכנית גליליאו, פרויקט הניווט האירופי ו-GMES (Global Monitoring Environmental and Security), פרויקט הביטחון הסביבתי האירופי.

ברצוני לסקור מספר פרויקטים בהם ישראל משתפת פעולה:

TAUVEX: זו תוכנית לשיגור טלסקופ ישראלי לביצוע משימות מדעיות לחקר החלל על גבי לווין הודי. מחצית מתגליות המדע באות מתצפיות לחלל

ומהאסטרופיזיקה. את תחום ה-UV לא ניתן לחקור מכדור הארץ מכיוון שיש תחרות בין טלסקופים קרקעיים וטלסקופים מהחלל. ישנה ראייה אופטימית שתהליך שיתוף הפעולה עם ממשלת הודו ייתן פירות. בהערת אגב, ההפרעות הגדולות ביותר בשיתופי הפעולה מגיעות מהתחום הפוליטי ולא הטכנולוגי.

פרויקט ונוס: פרויקט ונוס הוא שיתוף פעולה צרפתי-ישראלי לפיתוח לוויין תצפית למשימה מדעית ולמשימה טכנולוגית. כאן צרפת רואה את המדע כגשר בין מדינות גם אם אין הסכמה פוליטית ביניהן. ההזדמנויות הקיימות בשת"פ זה הן עצם שיתוף הפעולה עם CNES – סוכנות החלל של צרפת שמובילה בתוכניות חלל של אירופה, יש כאן פוטנציאל לשיווק מטע"די לוויינים, ביסוס פלטפורמות של מיקרו לוויין ליישומים עתידיים, קידום טכנולוגיות ישראליות, בסיס נתונים חיוני וייחודי למדינת ישראל והאזור והתנעה בחסות סל"ה של תוכנית מחקר ופיתוח אזרחית בתחום החלל. פרויקט ונוס מזרים לתוכנית החלל תקציב שאינו מגיע ממשרד הביטחון אלא ממשרדי ממשלה אחרים.

דוגמה נוספת, ישראל חיפשה במשך שנים רבות שותף לתחום מערכת ההיפר-ספקטראלית לוויינית, מדעית ומסחרית ולבסוף מצאה את איטליה. אחת הסיבות לחיוניות הנושא ההיפר-ספקטראלי היא שמערכת הביטחון עסוקה בתחום הזה במשך שנים, והערכת המצב היא שאין אפשרות תקציבית מבחינת מערכת הביטחון לקיים את הפרויקט. מבחינה טכנולוגית, ההיפר זה אנליזה כימית או קריסטלוגרפית מהחלל כאשר במקום 12 צבעים יש מאות צבעים. אחד הנושאים האתגריים בלוויין כזה זה שכמות המידע היא אדירה גם עם המחשוב הקיים היום בחלל. אתגר שני הוא בעובדה שאנו לא יכולים להשתמש בפילטרים ויש צורך באלמנט ניפוץ. אלמנט הניפוץ הוא סוג של מנסרה הפורסת את כל הספקטרום, כאשר המעבר בין רב צבעי להיפר צבעי הוא באיכות המידע. האפליקציות האפשריות בתחום האטרקטיבי ביותר, הן בתחום החקלאות המדויקת. יש אפשרות למיפוי אזורי חקלאות בהיבט סוגי הקרקע והגידולים, מצב השדות בהיבטי מחלות, יובש, עודף מים ועוד. כמו כן, ניתר לנטר גופי מים, לזהות זיהומי אוויר וקרקע ופיתוח אורבני ותשתיות.

תכולת שיתוף הפעולה עם איטליה מביא לפיתוח ומימוש לוויין ישראלי-איטלקי לשימושים אזרחיים, פיתוח מצלמה מוטסת היפר-ספקטראלית בתחום התרמי ושילוב המצלמה בתחום התרמי על גבי לוויין נוסף, כתוכנית המשך.

הבעיה בשיתופי פעולה היא איך לאזן, ואיך להחזיק את שני השותפים מאושרים כל הזמן. למדנו הרבה מפרויקט ונוס בו היה חוסר איזון בתקציב הפרויקט. ישראל השקיעה יותר מאשר הצרפתים. בשת"פ עם איטליה אנחנו מקווים לבנות תוכנית קצת יותר מאוזנת אבל בהיקף מאוד גדול של ההשקעה של שתי המדינות, בתקווה מעל 150 מיליון יורו.

הנושא האחרון שאני מבקש להתייחס אליו הוא משימת MUSAR למיפוי כוכב נוגה, שת"פ עם חברה אמריקאי שמתחרה כרגע בתחרות של נאס"א. בפרויקט הזה שותפות התעשייה האווירית ומפעל אלתא יחד עם אוניברסיטת בן גוריון. המטרה היא לשלוח מטע"ד SAR שיאפשר צילום מכ"ם של פני השטח של כוכב נוגה. אם נזכה בתחרות מדובר על פרויקט בתקציב של 400 מיליון דולר.

לסיכום, נבנה בישראל בסיס משאבים ויכולות המאפשר לאמץ את העיסוק בחלל כנושא בעדיפות לאומית. כלומר, העיסוק בחלל יעצים את ההרתעה וישפר את הביטחון בהיבט הרחב. העיסוק בחלל יביא להזנקה כלכלית ולהובלה עולמית בתחומי נישה כתצפיות כדור הארץ ולוויינים קטנים לשימושים מגוונים לרבות תקשורת וביטחון סביבתי. כמו כן, יגדיל את הפער האיכות וההישגים בתחום המדעי. הנושא המשמעותי ביותר בסיכום הוא עצם שיתופי פעולה בינלאומיים על בסיס הטכנולוגיות שפותחו בארץ על מנת לקדם את ישראל במעמד הגיאו-פוליטי.

להיות יצרן או צרכן – דילמות בקביעת מדיניות חלל[1],

ד"ר דגנית פייקובסקי, אוניברסיטת תל אביב

הדילמה לה נדרשים מקבלי החלטות ומעצבי מדיניות ברחבי העולם בתחום החלל היא האם לפתח תוכנית חלל באופן עצמאי או שמא לקנות תוצרת מוכנה ממדינות אחרות. במילים אחרות, האם להיות יצרן או צרכן?

הנחת היסוד המקובלת היא שהמדינות שבוחרות בפיתוח העצמאי הן מדינות בעלות אמצעים כלכליים, המוגדרות כמפותחות, אשר בבעלותן תשתית מדעית וטכנולוגית גבוהה, או שהן בעלות צורכי ביטחון רבים. מנגד, המדינות שבוחרות להסתמך על אחרים, הן מדינות שלרשותן לא עומדים אמצעים כלכליים מספקים, הן מתפתחות, אין להן צורכי ביטחון בעלי משמעות, או שהן נעדרות את התשתית המדעית והטכנולוגית המספקת.

בפועל המצב הקיים לא תמיד עומד בקנה אחד עם ההנחות שהוצגו זה עתה. מבדיקה של למעלה משלושים מדינות בעלות תשתית כלשהי בחלל בדמות תוכנית חלל מסודרת וכיו"ב עולה תמונה שונה. המדינות המתקדמות או העשירות ביותר הן לא בהכרח אלה הנמצאות בראש הפירמידה של המדינות המשקיעות את מיטב כספן בבנייתה ופיתוחה של תשתית לאומית בחלל. כך למשל, הודו, שבה התל"ג לנפש נמוך מאוד משקיעה מאמץ ניכר בתוכנית חלל לאומית ואף הכריזה על שאיפתה לשגר בני אדם לחלל. השאלה המתבקשת היא מה מניע את הודו שהרי אין לתוכנית מהסוג הזה הגיון כלכלי. גם סין שכבר הוכיחה את יכולתה בשיגור בני אדם לחלל מעוררת שאלה זו.

שוויץ ושוודיה מעוררות אף הן תהייה. לשתיהן תקציב חלל דומה העומד על כ-100 מיליון דולר בשנה, אך מבחינת ההישגים והיכולות מדורגים השוודים גבוה יותר מעמיתיהם השוויצרים. מדוע? ובכן, לכל אחת מהמדינות הללו יש מדיניות שונה,

[1] הרצאה זו מבוססת על מחקרה של דגנית פייקובסקי לתואר שלישי בהנחייתם של פרופסור בן ישראל ופרופסור יוסי שיין בחוג למדע המדינה באוניברסיטת תל-אביב.

הפוכה אם תרצו. שוודיה מקיימת תוכנית לאומית ובמקביל חברה בסוכנות החלל האירופאית, בעוד שווייץ לא מקיימת תוכנית לאומית ומשקיעה את כספה בסוכנות החלל האירופאית. ממה נובע אפוא הפער בין הרצונות הללו?

לתפיסתי, יש לבחון את הנושא באמצעות מודל ה"מועדון האקסקלוסיבי". בדיוק כשם שבני אדם מצטרפים למועדונים יוקרתיים, גם מדינות אשר מחליטות בסופו של דבר על פיתוחה של תשתית לאומית כדוגמת תוכנית חלל, עושות זאת משיקולים דומים.

למרות שאין ארגון בינלאומי בשם "מועדון החלל", יש לו ממשות. המדינות החברות במועדון מייחסות לו חשיבות והביטוי "מדינה X הצטרפה למועדון החלל" שגור גם הוא בפיהם של רבים והפך לחלק בלתי נפרד מהפוליטיקה העולמית של החלל. החברות במועדון מביאה לידי ביטוי שילוב בין צרכים חומריים, כלכליים וביטחוניים, לבין צרכים חברתיים ופסיכולוגיים או פנים מדינתיים שלא מבוססים על רציונל כלכלי טהור, אלא על רציונאל פוליטי ודיפלומטי.

תוכנית חלל לאומית היא מסר של עוצמה פוליטית שמועבר כלפי חוץ אך גם כלפי פנים. לא מדובר רק בהרתעה כלפי אויבים ויריבים, אלא במסר של מסוגלות לחברים ולידידים. רבות מהמדינות הפעילות בתחום החלל, המדינות הבינוניות והקטנות מבקשות לשלוח מסר דווקא לחברות שלהן, המדינות הגדולות יותר כמו ארצות הברית. תוכנית חלל מהווה סמל ועדות לרצון להתקדם ובמקביל ליכולת לעשות כן.

בכדי לבחון כיצד מקבלי החלטות מתמודדים עם הדילמה שהוצגה בהתחלה, אציג מספר מקרי מבחן. ראשית אשווה בין בריטניה לצרפת, שתי מדינות הדומות האחת לשנייה במגוון מרכיבים דמוגרפיים ובמרכיבים מדיניים והיסטוריים נוספים דוגמת היותן שתי מעצמות עבר שירדו מגדולתן, דמוקרטיות, חברות במועצת הביטחון, בארגון ה-8G ולבסוף אף בכושרן הגרעיני. עם זאת, בתחום החלל הן מקיימות מדיניות חלל שונה בתכלית. בעוד צרפת משקיעה כשלושה מיליארד דולר בשנה בפעילות בחלל, בריטניה משקיעה כעשירית מהסכום הזה.

מקורו של הפער העצום אינו טמון בהיעדר משאבים או יכולות מצד הבריטים, אלא בהיעדר עניין ונחישות פוליטיים, שהרי בשנות ה-50 וה-60 של המאה ה-20, הייתה בריטניה המדינה המובילה באירופה מבחינה טכנולוגית בכלל ובתחום החלל בפרט, אך

עם השנים החליטה במודע לצמצם את תוכנית החלל שלה בשיעור ניכר. לא הצרכים החומריים מבחינים בין צרפת לבריטניה, כי אם הצרכים הפסיכולוגיים והחברתיים.

בשנות החמישים והשישים נדרשה צרפת להתמודד עם איום בפלישה סובייטית לאירופה ועם איום פסיכולוגי מצד שכנתה ממזרח – גרמניה, שכבשה את שטחה פעמיים בטווח של כעשרים שנה. צרפת נדרשה לשקם את כלכלתה שנפגעה אחרי התבוסה והחורבן של מלחמת העולם השנייה. בהיבט הבינלאומי צרפת הוכתה בחזיתות שונות, היא ירדה מגדולתה, ניהלה כושלים באלג'יר, בהודו-סין ובוייטנאם. הצרכים החברתיים של הרפובליקה הצרפתית באותה תקופה הוכתבו על ידי הרצון העז לשקם את מעמדה הבינלאומי של המדינה. מאז ומתמיד, התבסס האתוס הצרפתי על דימוי עצמי גבוה שראה בצרפת כאחת המדינות המובילות באירופה וכמנהיגת אירופה המערבית. לצד כל אלה התקיימו צרכים פנימיים בוערים ביותר להחזרת האמון של האזרחים בכוחה של המדינה אחרי שתי תבוסות קשות במלחמות העולם. מנהיגי צרפת ובראשם הנשיא שארל דה-גול, ראו בהשקעות והישגים במדע וטכנולוגיה ובכלל זה בתוכנית החלל כלי להתמודד עם צרכים אלה ולהשיג הישגים אלקטוראליים במישור הביתי.

צרפת הפכה את תוכנית החלל שלה לסמל של עוצמה בתוך משוואת העוצמה הגלובלית שלה. אך לא היה זה רק חלל. באותה העת פיתחה צרפת גם תוכנית גרעין לצד תוכניות טילים ומשגרים אל החלל. כל אלה השתלבו במסר שביקשה להעביר על היותה שווה בין גדולים.

צרפת ביקשה לחזק את מעמדה כמעצמה עצמאית ביחס לארצות הברית ולברית המועצות; היה זה מסר לאויביה, אך גם לידידיה. לשם כך, נותבו משאבים רבים לפרויקטים שיועדו להפוך את צרפת למדינה המובילה באירופה.

בנובמבר 1965 נשאו מאמציה פרי כאשר הפכה למדינה השלישית שהצליחה לבנות לווין ולשגרו באופן עצמאי. תזמון השיגור לא היה מקרי. השיגור אירע זמן קצר לפני שארצות הברית שיגרה לווין צרפתי על אחד ממשגריה לחלל. מבחינתם של הצרפתים השיגור העצמאי, ללא תלות באמריקאים היה עניין של גאווה לאומית. בנוסף, כשלושה

שבועות לאחר השיגור המוצלח התקיימו בחירות ארציות בהן זכה דה-גול שוב באמון הציבור.

בהשוואה לצרפת בריטניה נקטה בגישה שונה. האתוס הלאומי הבריטי לאחר מלחמת העולם השנייה היה שונה בתכלית מזה הצרפתי. בריטניה הייתה שותפה מלאה לניצחון כמשחררת ולא כמשוחררת. היא ראתה את עצמה כמעצמה עולמית ומסיבה זו בין היתר פנתה לפתח תוכניות גרעין וחלל. כעשור לאחר המלחמה חלחלה ההכרה בבריטניה שאיננה עוד אימפריה או מעצמה עולמית, הדימוי העצמי שלהם, נטול רגשי הנחיתות, אפשר לבריטים להשלים עם מעמדם החדש, לאמץ גישה פרגמאטית לפיה עדיף לשת"פ ולהסתמך על בעלת בריתם ארה"ב ולמעשה לוותר על החלל כיעד שיש לכבוש אותו. נוסף על כך, המנטאליות הלאומית הבריטית ששמה דגש גדול יותר על פיתוח מאשר על ייצור באה במקרה הזה לידי ביטוי. בריטניה היא המדינה הראשונה שהשיגה והוכיחה יכולות לשיגור לוויין לחלל וחזרה בה.

הצמד השני אליו אתייחס הוא קנדה ואוסטרליה. גם פה אנחנו עדים למצב דומה בו יש דמיון רב בין שתי המדינות במגוון רב של פרמטרים לרבות הצרכים החומריים שלהן, וכמו במקרה הקודם, גם כאן נקטה כל אחת מהמדינות במדיניות חלל שונה. לשתי המדינות היה ועודנו עניין להשתמש בטכנולוגיות חלל לטובת ניהול המדינה ומשאביה, אך בעוד שקנדה החליטה כבר בשנות ה-60 על פיתוחה של תכנית חלל לאומית, אוסטרליה החליטה כמעט באותה תקופה, לא לעשות מאמץ לאומי לפיתוח תוכנית חלל. אוסטרליה בדומה לקנדה, הוזמנה להשתתף בתוכניות החלל האמריקאיות והאירופאיות, אך סירבה להשקיע בכך ממשאביה. הייתה זו בחירה מודעת של הדרג המדיני.

ההשוואה בין שתי המדינות מעלה כי מאפייניה הפנימיים של קנדה וצרכיה הלאומיים והגיאו-אסטרטגיים הם שדחפו אותה להשקיע בתוכנית חלל לאומית: החברה הקנדית היא הטרוגנית וסובלת מפיצול זהויות. השטח הגדול והאוכלוסייה המפוזרת יחד עם התנאים הגיאוגרפיים הבעייתיים של קנדה בסמוך לקוטב הצפוני מקשים על קיומה של תקשורת יעילה עם צפון המדינה. ההנהגה הקנדית ראתה בלווייני תקשורת כלי להגיע לכל חלקי האוכלוסייה, לחזק את ריבונותה ואת הזהות הקנדית הלאומית על פני הזהויות האתניות. יתרה מכך, הקרבה הגיאוגרפית והאסטרטגית של קנדה לארצות

הברית אמנם מאפשרת לה ליהנות מהתשתית האמריקאית, אך גם מהווה איום תרבותי פנימי על קנדה שמעוניינת לשמור על זהותה העצמאית. תוכנית חלל לאומית בעלת מימד נראות גבוהה מסייעת לה לבדל את עצמה ולחזק את מעמדה העצמאי וזהותה הלאומית.

תוכנית החלל של קנדה מיועדת במידה רבה לענות על הצרכים הללו החומריים והחברתיים כלפי פנים ולכפי חוץ. דוגמה לכך ניתן למצוא בדו"ח צ'פמן משנת 1967 שבמידה רבה הכתיב את המדיניות הקנדית משנות השישים, כי "תוכנית חלל חיונית לשמירת המארג של המבנה הלאומי בקנדה". ע"פ הדו"ח תוכנית חלל תסייע במניעת בריחת מוחות לארצות הברית, בחיזוק התרבות הקנדית ואף תהווה אמצעי מקשר לאוכלוסייה המגוונת והמפוזרת.

קנדה שמה דגש על פרויקטים חזותיים במטרה לספק השראה לאוכלוסיה, לחזק את הזהות ואת הגאווה הלאומית. לדוגמה, קנדה היא המדינה היחידה שאיננה מעצמה ומחזיקה כוח אסטרונאוטים קבוע שפועל לצד ובשיתוף עם נאס"א קרוב לשלושים שנים. גיוס האסטרונאוטים נעשה במתכונת של תחרות לאומית בכדי להגדיל את המודעות אליה ולעורר את הציבור הקנדי. פרויקט נוסף הוא זרוע החלל שפיתחה קנדה ומכונה CANADARM. הזרוע משולבת בתוכנית המעבורת של נאס"א ובתחנת החלל הבינלאומית והיא נושאת את שמה וסמלה של קנדה בחלל. עד עצם היום הזה נחשבת זרוע החלל הקנדית לכלי שיווקי מוצלח ביותר ונתפס על ידי הקנדים כסמל לאומי.

אוסטרליה לעומת קנדה העדיפה להיות צרכנית ולא יצרנית של טכנולוגיות חלל. גם לאוסטרליה צרכים חומריים לשימוש בחלל מעצם היותה מדינה גדולה עם אוכלוסייה קטנה ומפוזרת, אך תנאי האקלים השונים בה מאפשרים פתרונות נוספים מעבר לאלו של הקנדים. בנוסף מעצם טבעה החברה האוסטרלית היא מאוד הומוגנית. בניגוד לקנדה, היא אינה סובלת מקונפליקטים פנימיים או בעיות זהות משמעותיות. גם הריחוק הגיאוגרפי ממרכז הכובד הפוליטי משחק תפקיד חשוב ביותר משום שהוא משרה תחושת בידוד שמאפשרת לאוסטרלים לא "לשחק את המשחק" שמדינות רבות, ביניהן קנדה, חשות כי הן חייבות לקחת בו חלק. אוסטרליה נוקטת במדיניות מאוד פרגמאטית שדומה במידה רבה לזו הבריטית.

אם נחזור לדילמה שהצבתי בתחילת הדברים "לעשות או לקנות", ניתן לראות שצרכים חומריים לבדם אינם מספקים ונדרשת מאסה קריטית של צרכים חומריים, חברתיים (בינלאומיים) ופוליטיים (פנימיים) שיניבו רווח פוליטי פנימי או חיצוני כלשהו בכדי לשכנע את קברניטי המדינה לתמוך במיזם זה או אחר. באמצעות תוכנית חלל לאומית המדינות שעושות כן מעוניינות להעביר מסר של שוות בין גדולים, המיועד לידידים לא פחות מאשר ליריבים ומסר של יכולת והערכה עצמית לקהל מבית.

לסיכום, בבואנו לנתח את מדיניות החלל של מדינה נתונה, להבין או לצפות מה היא תעשה, עלינו לבדוק את הרכב התנאים הגיאו-פוליטיים של המדינה, לבחון מהם האיומים הפנימיים והחיצוניים כאחד, ולנסות ולזהות האם למדינה זו יש שאיפות גדולות באשר למקומה במערכת הבינלאומית. בכלל זה, חשוב מאוד לא לזלזל באתוס הלאומי ובתרבות הפוליטית של אותה מדינה. על בסיס המסקנות הללו ניתן למנף את תוכנית החלל של ישראל ולקדם שיתופי פעולה בינלאומיים תוך הצגתה של ישראל כמדינה שכדאי לשתף עמה פעולה.

טכנולוגיות חלל – הווה ועתיד, פרופסור חיים אשד, משרד הביטחון

נושא ההרצאה הוא טכנולוגיות פורצות דרך בשנים הקרובות ולאו דווקא בעתיד הרחוק. בעידן החלל שהוא כבן חמישים הושגו מספר הישגים גדולים בזמן קצר. אחד ההישגים לדוגמא הוא יכולת התקשורת הדיגיטלית מהחלל בפס רחב אשר משרת חברות רבות ובלעדיו לא יתכנו חיים מודרניים. לעומת זאת ומאז סיום המלחמה הקרה, מלבד ההישגים בתוכנית אפולו, החשיבה המהפכנית בנושא החלל נעצרה. גבולות רבים לא נחצו ורעיונות רבים נשארו על הנייר בגלל מספר בעיות מצומצם. המרכזית בהן היא העובדה שעלות ייצור של קילוגרם חומרה לחלל עולה עשרות אלפי דולרים עקב תהליך ההכשרה והבדיקות המורחבות של עמידה בתנאי חלל. בנוסף לכך, שיגור כל קילוגרם לחלל עולה גם הוא עשרות אלפי דולרים, דבר שאינו מתקבל על הדעת. לאחרונה ישנן חברות אשר מנסות לפרוץ את מחסום השיגור הזול כדוגמת חברת ספייס איקס שהיא חברה פרטית. המערכות המשוגרות לחלל הן ברובן כבדות עקב הצורך לתמוך במרכיבי הלוויינים בבדיקות שעל פני כדור הארץ, והתוצאה היא שקוטר הטלסקופים בחלל, שהוא מה שקובע את כמות האור אינו עולה על מטרים בודדים וגודל האנטנות הנפרשות בחלל הקובע את הרגישות והוא אינו עולה על עשרות מטרים.

ישנה חשיבה פורצת דרך אשר אציג אותה בשני התחומים האלה. יש צורך במהפכה אמיתית על מנת לאפשר את ההגעה לחלל במחיר זול. על מנת לקיים בחלל פעילות רציפה, יש להוריד את משקל החומרה לחלל ואת מחיר השיגור לקילוגרם. האפשרות לבנות ולשגר לחלל לוויינים קטנים במחיר של מאות אלפי דולרים תהיה פריצת הדרך הגדולה ביותר.

קיימים שני סוגי פתרונות. האחד, לוויינים קטנים כמו מיקרו לוויינים ששוקלים בין 10-100 קילו, ננו-לוויינים ששוקלים בין 1-10 קילו, פיקו-לוויינים ששוקלים בין 0.1-1 קילו, פמטו-לוויינים ששוקלים בין 10-100 גרם ואטו-לוויינים ששוקלים בין גרם ל-10 גרם. לישראל יש מספר יכולות בנישות ייחודיות אשר מסוגלות לבצע מהפך בקנה מידה עולמי. זאת אומרת, בתחום הננו-חומרים ישראל מאוד

מתקדמת ומסיבים אלו יהיה ניתן לבנות מרכיבים שונים בעלי משקל מאוד קל. בתחום המבנים, במסלול בחלל ישנה תופעה של חוסר משקל בניגוד למצב בבדיקות על פני הקרקע. לכן, כאשר אנו מרכיבים חלק כלשהו בלוויין על-פני כדור הארץ עלינו לוודא לגוף התומך בו שמשקלו בהתאם למשקל אותו מרכיב ולכן גם גורם להגדלה משמעותית במשקל הלוויין. פתרון חילופי הוא להרכיב את הלוויין ממודולים נפרדים כאשר לכל אחד יש מערכת בקרת מצב ותקשורת משלו ולשגר כל מודול בנפרד ואז להשתמש בתוכנה חכמה שתשלוט על כל מרכיבי הלוויין. בצורה זו לא נצטרך לבנות גופים תומכים על מנת לתמוך במשקל המרכיבים השונים של הלוויין בחלל. יתרון נוסף לצורת עבודה כזו הוא נושא התקלות בפעילות הלוויין. כיום, כאשר יש תקלה בלוויין, המשמעות היא שעלות הלוויין הולכת לאיבוד וחייבים להחליף אותו בלוויין אחר. בשיטה שהצגתי, במידה ויש צורך להחליף מודול מחליפים רק את החלק שאינו תקין. ניתן גם ליצור נחילים של לוויינים שיהוו תחליף ללוויין גדול. ישנן כמובן מגבלות ללוויינים קטנים הנובעות מהמימדים הקטנים, בעיות כגון קוטר העדשה וגודל האנטנה אך יש דרכים להתגברות על בעיות אלו. ניתן להשתמש בטכנולוגיות המתקדמות שפותחו בישראל ללוויינים זעירים ואולטרא זעירים.

החזרה ללוויינים קטנים החלה לפני כ-10 שנים בהם. משקל הלוויינים גדל ממאות קילוגרמים לטונות וגם משקל הלוויין ומחירו עלו פלאים.

ברצוני להציג שלוש דוגמאות לכיוונים פורצי דרך ללוויינים קלי משקל. דוגמא ראשונה, לוויין ה-snap-1 של אוניברסיטת SURREY , אשר הוכיח לראשונה את הטיסה במבנה. הרעיון הוא להצמיד לוויין זעיר ללוויין גדול אחר לצורכי פיקוח עליו. דוגמא שנייה, היא לויין MOST, לוויין micro variability and oscillations of stars אשר פותח על ידי אוניברסיטת טורונטו. הלוויין שוקל פחות מ-50 קילוגרם ושוגר בהצלחה רבה ב-2003. זהו הטלסקופ האסטרונומי הכי קטן בעולם בעל דיוק רב. ועלותו הייתה פחות מ-6 מיליון דולר. דוגמא שלישית היא לוויין TUBSAT של אוניברסיטת ברלין שגם השימוש בו נפוץ כיום בעולם.לכן החזון שאליו יש לשאוף הוא לוויינים קטנים בעלות נמוכה.

בישראל פרויקטים אלו מתבצעים יחד עם אינס״א, Israeli nano satellite association, האגודה הישראלית לננו לוויינים. ישראל היא מובילה כיום בתחום הלווינות הקטנה. כרגע ניתן לראות לדוגמא את לוויין הטקסאט, שהוא אמנם מיקרו לוויין, אך מאוד מצליח וראשון מסוגן.

לסיכום נושא הלוויינים הקטנים, אדגים מייקרו צ׳יפ, מיקרו מעבד זעיר, אשר צורך 300 מיקרו וואט, ופועל ב-4 מגה הרץ. ניתן לעשות משימות רבות עם לוויינים קטנים. לדוגמא, במידה וישראל תחליט לקחת את ההובלה בנושא ניתן להשתמש בסנסורי שמש, אשר כיום הם מסיביים ולמזער אותם. ישראל מובילה בעולם במזעור במספר נישות שונות וניתן לנצל זאת לטובת המגמה שתיארתי בתחום הלווינות הזעירה.

הטרנד העולמי כיום הוא חלל מפוצל, זאת אומרת שניתן לייצר functional (module) FMF לוויין שלם בגודל כף יד הכולל מערכות, אנטנות, תאים סולאריים, תקשורת, power converter, מפצלים, beam splitters, וחיישנים. במידה ונחבר מספר מודולים כאלה, נוכל לבנות מהר ובזול כמות רבה של לוויינים בצורות שונות.

בדרפ״א מפתחים כיום את F-6 - future, fast, flexible, free, flying, fractionated, space craft, לוויין מפוצל שמורכב מתת מערכות. לסיכום, ישראל יכולה להוביל בתחום הזה, זהו קטר שמוביל טכנולוגית, כלכלית ומדעית בדומה להובלה שלנו בעולם המיני לוויינים.