

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
المجمع الوطني الإسرائيلي للعلوم والآداب
THE ISRAEL ACADEMY OF SCIENCES AND HUMANITIES



הפורום לתשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח

**ועדת הבדיקה להקמת מרכז תשתיות לאומי
למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה**

ד"ר מאיר אריאל
ד"ר שמואל (מולי) בן צבי

נובמבר 2019

יום ראשון, כ"ח בתשרי, תש"פ
27 באוקטובר, 2019

**לכבוד,
יו"ר פורום תל"מ
פרופ' שמעון אולמן**

מוגש בזאת דו"ח מסכם של ועדת הבדיקה להקמת מרכז תשתיות לאומי למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה.

מסקנות הדו"ח והמלצותיו נסמכות על עבודת הוועדה באיסוף, מיפוי וניתוח של כלל פעילות המו"פ בתחום "החלל החדש" בישראל, ומשיא המלצות על הפעולות בהן יש לנקוט בכדי להפוך את מדינת ישראל לשחקנית משמעותית בשוק "החלל החדש" העולמי.

הדו"ח מציג את צרכי האקדמיה והתעשייה הישראלית, בוחן בחינה איכותית וכמותית של הכדאיות הכלכלית של הצעת סוכנות החלל להקמת מרכז תשתיות לאומי בתחום הלוויינות הזעירה, וקובע המלצות הנוגעות לתקציבו, לציוותו באנשי מפתח, לתכולותיו ולמפרט השירותים שיעניק לגופי תעשייה ואקדמיה.

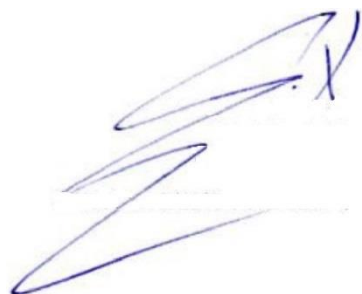
לסיכום מוצעים בדו"ח זה קריטריונים לבחירה בקול קורא של המוסד האקדמי שישים ככסניה למרכז התשתיות הלאומי.

אני מודה לנציגי גופי המו"פ השונים בישראל, התעשיות המובילות, מוסדות האקדמיה, מפא"ת וסוכנות החלל על הופעתם בדיוני הוועדה, על הצגת צרכיהם בתחום הלוויינות הזעירה, הערכותיהם ביחס לחוסרים התשתיתיים במדינה בתחום זה, ותוכניותיהם ותחזיותיהם למו"פ עתידי בתחום.

לסיום אני מבקש להודות לחברות וחברי הוועדה, פרופ' דני וייס, פרופ' קולין פרייס, מר אילן פורת והגב' דריה פודשילוב על השתתפותם בדיונים ועל תרומתם החשובה בגיבוש ההמלצות בדו"ח זה, ולציין במיוחד את עבודתם של חברי הוועדה ד"ר מאיר אריאל וד"ר שמואל (מולל) בן צבי בניתוח הממצאים ובכתיבת הדו"ח. כמו כן נתונה תודתי למרכז הוועדה מר יריב דנציגר, ולגב' אורלי בלומברג על ניהול אדמיניסטרטיבי יעיל של פעילות הוועדה.

חברי הוועדה ואנוכי מעריכים את האמון שניתן בנו ואת ההזדמנות לנסות ולתרום לקידום המחקר והפיתוח במדינת ישראל.

בתודה ובכבוד רב,



תא"ל (מיל.) פרופ' חיים אשד

יו"ר ועדת הבדיקה
תוכן העניינים

| | |
|----|---|
| 4 | 1. רקע: כלכלת החלל- מנוף לקידום טכנולוגי, מדעי וחברתי |
| 6 | 2. חלל חדש |
| 6 | 3. צרכי האקדמיה והתעשייה |
| 6 | 3.1 פעילות חלל חדש באקדמיה ובתעשייה הישראלית |
| | 3.2 הצורך בתשתית מו"פ בתעשייה ובאקדמיה להסרת חסמי הכניסה לתחום החלל החדש |
| 7 | |
| | 4. ניתוח הכדאיות הכלכלית של התוכנית לתשתית מו"פ שהוגשה ע"י סוכנות החלל הישראלית |
| 9 | |
| 9 | 4.1 הפוטנציאל המסחרי בשוק הלוויינים הזעירים העולמי |
| 11 | 4.2 מודלים למרכז תשתיות מו"פ בתחום החלל החדש |
| 12 | 5. הערכת הכדאיות הכלכלית בהקמת מרכז לתשתיות מו"פ בתחום הלוויינות הזעירה |
| 13 | 6. תכולות מרכז התשתיות הלאומי למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה |
| 13 | 6.1 מטרות המרכז |
| 14 | 6.2 שירותי מרכז התשתיות |
| 14 | 7. תקציב מרכז התשתיות |
| 14 | 7.1 הצעת סוכנות החלל הישראלית |
| 16 | 7.2 תקציב מרכז התשתיות הלאומי על פי הצעת ועדת הבדיקה |
| 17 | 8. קול קורא לבחירת המוסד האקדמי |
| 20 | 9. סיכום |

1. רקע: כלכלת החלל - מנוף לקידום טכנולוגי, מדעי וחברתי¹

תעשיית החלל נמנית על התעשיות המובילות בכלכלה העולמית בחדשנות ובקדמה טכנולוגית. מערכות חלל בכל מדינה מהוות מפתח לקיומה של חברה טכנולוגית מתקדמת ומפותחת, זאת מאחר והן מספקות תשתית המשרתת את המשק העולמי כולו, ולמעשה משמשות ככלי ליישומים רבים אחרים. המידע הנוצר בחלל או מועבר בחלל מאפשר לקיים תקשורת וכלכלה גלובאליות, לספק ביטחון, להגן על סביבת כדור הארץ ולחקור את צפונות היקום. הפעילות האנושית בחלל מציתה את הדמיון ומהווה אבן שואבת לכוח אדם מדעי וטכנולוגי איכותי. על כן חייבת מדינת ישראל להשקיע ולפעול בחלל. אם לא תעשה כן היא תיוותר מאחור. תעשיית החלל מהווה חלק מהותי מתעשיית ההיי טק. היקף הפעילות של תעשיית החלל העולמית בשנים אחרונות עומד על כ-400 מיליארד דולר. בעשור האחרון עלתה הפעילות בעולם בהיקף ניכר והתפתחה תעשיית שירותים ענפה, ובשנים האחרונות מפגין שוק החלל העולמי צמיחה יציבה של כ-6% בשנה בממוצע. תעשיית החלל הלוויינית מורכבת מארבעה מקטעים עיקריים: ייצור, שירותים, שיגור, ציוד ותשתיות קרקעיות. עיקרה של הצמיחה הוא גידול בפעילות המסחרית בתחום המוצרים, השירותים והתשתיות המסחרית ואלה מתפתחים בקצב מואץ, כאשר תחום התקשורת תופס נתח עיקרי מסך הפעילות במקטעי השירותים, הייצור, הציוד והתשתיות הקרקעיות.

מדינות רבות רואות בהשקעה לאומית מכוונת בתחום החלל קטר לקידום הכלכלה והחברה. על כן התניעו תוכניות לאומיות למחקר ופיתוח מדעי ותעשייתי בחלל בהשקעות ניכרות. ככלל, השחקנים הממשלתיים ממלאים תפקיד מרכזי בכלכלת החלל כמשקיעים, בעלים, מפעילים ולקוחות עיקריים. זאת בנוסף לקשר ההדוק ולמשק הרב שבין התשתיות והפיתוח הנדרשים עבור פרויקטים ויישומים אזרחיים, ובין אלה הנדרשים לפרויקטים ויישומים צבאיים. ככל תעשייה, נהנית גם תעשיית החלל מחוזקות ומהזדמנויות, אך במקביל עלולה לסבול מחסמים. החסמים העיקריים בפעילות החלל העולמית נעוצים בתלותה של תעשיית החלל בהשקעות ממשלתיות במו"פ, ברגולציה ובהעדפת ייצור מקומי. אלה מגבילים ייצוא ומקשים על כניסה של חברות זרות. בתנאים אלה, מתקשות חברות קטנות לשרוד לאורך זמן. על כן, השוק מאופיין במיזוגים של חברות וענף הייצור נשלט על ידי חברות גדולות, המציעות מגוון רחב של מוצרים או פתרונות מקצה לקצה. יחד עם זאת, התפתחות השוק, הרחבת מגוון השירותים וריבוי השחקנים צפויים להשפיע על חסמים אלה ולהתירם.

למדינת ישראל תוכנית חלל ותיקה בת למעלה משלושים שנה. התשתית התעשייתית הקיימת בישראל בתחום החלל פותחה ומומנה ברובה על ידי מערכת הביטחון בכדי לענות על צרכים ביטחוניים מובהקים. ההחלטה לפתח יכולת חלל ישראלית תרמה תרומה משמעותית להפיכת ישראל למדינה מתקדמת מבחינה טכנולוגית, מדעית וכלכלית. הנוכחות בחלל היא נכס אסטרטגי לאומי של מדינת ישראל שאין חולק עליו. העובדה שישראל חברה במועדון מובחר ויוקרתי של כאחת עשרה מדינות המסוגלות לפתח ולשגר בעצמן לוויינים אל החלל אינה מובנת מאליה, ומהווה לא רק נכס אסטרטגי אלא גם כזה שצופן בחובו פוטנציאל כלכלי. עד היום המפתח להצלחתה של ישראל נבע מהתמקדותה בתחומי התקשורת והתצפית שאפשרו פיתוח של יתרון איכותי בבניית לוויינים קטנים, קלי משקל, ובעלי יכולות גבוהות, במחירים נמוכים ובזמן קצר יחסית בהשוואה למדינות אחרות בעולם. יתרון זה נשחק והולך עם התפתחות מגזר "החלל החדש" וכניסתם של שחקנים גלובאליים חדשים ומעמיד בסימן שאלה את יכולת התחרותיות והעמידות של תעשיית החלל בישראל.

דו"ח המלצות ועדת החלל: קבע יעדים אסטרטגיים בפעילות החלל במדינה ובהם:

- בניית תעשייה איכותית תחרותית וברת קיימא בשווקים הקיימים והמתפתחים באמצעות חדשנות.
- שימור וחיזוק יכולות לטובת צרכים קיומיים ביטחוניים.

¹ מתוך דו"ח המלצות ועדת החלל למועצה הלאומית למחקר ולפיתוח 2015

- השתייכות למועדון איכותי עולמי מדעי, תעשייתי וכלל מערכת.
- עידוד הנוער ללימודי מדע וטכנולוגיה (הידוע בראשי התיבות STEM).
- מיצוב ישראל כספקית מובילה של שירותים בתחום החלל.
- ומיצוב ישראל כמומחית בתחומים ייחודיים דוגמת השילוב בין סייבר וחלל.

כל זאת מתוך מטרה להגיע בתוך חמש שנים (דהיינו עד 2020 על פי הדו"ח שפורסם בשנת 2015) להיקף פעילות של שלושה מיליארד דולר בשנה, ובתוך חמש שנים נוספות להכפיל היקף זה.

עוד נקבע בדוח ועדת החלל כי מימוש היעדים אפשרי באמצעות פעולות במספר מישורים:

- חיזוק המחקר המדעי והמחקר היישומי בתחום החלל.
- בניית תעשייה גלובלית מסחרית תחרותית בתחומי המערכות, הרכיבים והשירותים בהיקף עסקי.
- חיזוק התעשיות הגדולות ויצירת בסיס תעשייתי רחב על ידי עידוד הקמתן של עשרות רבות של חברות הזנק, ופרויקטים של יזמות אשר ייצרו תשתית לתעשייה מגוונת (מערך של חברות גדולות, בינוניות וקטנות).
- הפיכת התעשייה והאקדמיה בישראל למוקדי חדשנות מוכרים ומוערכים בתחום החלל בעולם.
- שילוב לימודי חלל במערכת החינוך החל מהגיל הרך בכדי להגדיל ולהנגיש את לימודי המדעים והטכנולוגיה לילדים ולנוער, במטרה לשמר ולפתח כוח אדם איכותי וטכנולוגי בטווח הרחוק.

המטרה לעיל של פעילות חלל ישראלית בהיקף של 1% מסך הפעילות העולמית (3 מיליארד דולר ב 2014 השקולים לכ- 4 מיליארד דולר כיום) לא הושגה ושוק החלל הישראלי גם ב 2019 נמצא מתחת לקו מיליארד הדולר. אחת הסיבות לסטגנציה שחוה השוק הישראלי נעוצה בשינויים המבניים המהירים שחלו בתעשיית החלל העולמית בשנים האחרונות, וביניהם התעוררות מגזר "החלל החדש" המייצר פרדיגמות מסחריות וכלכליות חדשות. פרדיגמות אלה משבשות מצד אחד את פעילותם של גופי "חלל ישן" אולם מצד שני מייצרות הזדמנויות חדשות ומהוות כר נרחב לפעילות עסקית ומדעית חדשנית לאותם גופים שימהרו לאמצן ו"להמציא את עצמם מחדש".

יחד עם זאת, לדעת הוועדה, חלק גדול מהמלצות דו"ח ועדת החלל למולמו"פ עדיין שרירות וקיימות ויש בהן כדי לעורר את תעשיית החלל האזרחית, ובכלל זה:

- עידוד שיתוף פעולה הדוק בין האקדמיה לתעשייה ככלי לעידוד חדשנות ויזמות ולפיתוח של כוח האדם הדרוש למחקר ולתעשייה.
- עידוד פרויקטים של לווייני מחקר היוצרים סינרגיה בין התעשייה לאקדמיה. פרויקטים מסוג זה מהווים מוקד משיכה ועניין לאנשי תעשייה, לחוקרים ולצעירים המעוניינים להתמקצע בתחומי המדע והטכנולוגיה.
- שימוש בתשתיות לאומיות. הקמת מעבדה ומרכז לאומי לנושאי חלל על בסיס תל"מ.
- הקמת מרכזי מחקר רב תחומיים באוניברסיטאות בשיתוף עם התעשיות ובמימון משותף של הממשלה והתעשייה.
- הקמה ותפעול שוטף של מאגר ידע על פעילות בארץ ובמדינות יעד במטרה לעודד שיתופי פעולה בארץ ובעולם, המאגר שיעמוד לרשות התעשייה והאקדמיה.

המלצות ויעדים אלה מוצאים את מקומם באופן עדכני, המותאם לשינויים שחלו בתעשיית החלל העולמית, גם בדו"ח זה כחלק מהמלצות ועדת הבדיקה להקמת מרכז תשתיות לאומי למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה. בהלימה לדו"ח ועדת החלל למו"פ, המרכז ישמש כפלטפורמה לעידוד חדשנות ויזמות ולהקמת חברות הזנק בתחום החלל. המרכז יאיץ את תהליך המחקר, הפיתוח והאינטגרציה של מוצרי חלל באמצעות הענקת תשתית ידע ומתקני פיתוח, אינטגרציה ובדיקות לחברות קטנות ובינוניות, לגופים אקדמיים ולצה"ל. המרכז יעודד

שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה ויתרום לפיתוח כוח האדם הדרוש למחקר ולתעשייה. המרכז יקים יתחזק ויתפעל באופן שוטף מאגר ידע בנושאים מגוונים של טכנולוגיות חלל, ערוצי רכש ומאגר רכיבים שצברו מורשת (heritage) חללית, ממשקים לחברות לשיגור לוויינים, טיפול בנושאים משפטיים ורגולטורים כגון תיאומי תדרים ויצוא ביטחוני, וכלה בממשקים לגיוסי הון וחיבור בין יזמים לבין שותפים אסטרטגיים וגופי השקעה בתעשיית ההון סיכון. מאגר הידע והתשתית יעמוד הן לרשות התעשייה והן לרשות האקדמיה ויהיה בעל נגישות מלאה לכל גופי החלל בישראל.

2. חלל חדש

בשנים האחרונות מתפתח במהירות תחום "החלל חדש" (New Space) המאגד חברות ומיזמי חלל המונעים מעקרונות מסחריים ומדעיים (להבדיל ממניעים פוליטיים או אסטרטגיים), פועלים באופן עצמאי ללא תלות בממשלות, ומתאפיינים בגישה מהירה, יעילה, וזולה לטכנולוגיות ולמשימות חלל. חברות "חלל חדש" מיישמות רעיונות חדשים ומתודולוגיות מתקדמות המשלבות צמצום עלויות, קיצור ניכר של מחזורי הפיתוח, וגילוי שווקים חדשים בתחום החלל.

תחום הלוויינים זעירים הינו המייצג המובהק ביותר של ה"חלל החדש" המסיט את המיקוד ממיזמים עתירי תקציב בחברות ענק ובגופי מחקר ממשלתיים, למחקרים ומיזמים מדעיים וטכנולוגיים קטנים ומהירים, הן באקדמיה והן בחברות קטנות ובינוניות. הסטנדרטיזציה בשוק רכיבי החלל החדש וחסמי הכניסה הנמוכים מייצרים תהליך של "חדשנות משבשת" (Disruptive Innovation) במהלכו מאות רבות של לוויינים זעירים נבנים ומשוגרים מידי שנה (ואלפים רבים עתידים להיות משוגרים בשנים הקרובות). תוך כדי טיפוס מעלה משתלטות חברות החלל החדש על שוק החלל ודוחקות את חברות "החלל הישן" מתחומים שהיו עד לא מכבר נחלתם הבלעדית כגון: חקר החלל העמוק, תקשורת, תצפית וחישה מרחוק.

3. צרכי האקדמיה והתעשייה

בפני הועדה הופיעו נציגים ממוסדות אקדמיים הפעילים בתחום החלל החדש: הטכניון, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן גוריון, מכון ויצמן, האוניברסיטה העברית ואוניברסיטת אריאל. כמו כן אספה הועדה מידע מ"משהב"ט/מפא"ת ומתעשיות החלל בארץ ובהן חברת אלביט-אלאו"פ, התעשייה אווירית, רפא"ל, אימאג' סאט וחברות הזנק ישראליות הפעילות בתחום.

3.1 פעילות חלל חדש באקדמיה ובתעשייה הישראלית

בשנת 1998 שוגר מיקרו-לוויין ישראלי ראשון (ויחיד עד כה) - לוויין הטכניון TechSat Gurwin2. פעילות בתחום הננו לוויינים החלה בישראל רק בשנת 2014 עם שיגור **דוכיפת 1**. מאז ועד היום שוגרו בסה"כ 6 ננו לוויינים ישראליים, ביניהם **דוכיפת 1** ו-**דוכיפת 2** ו-**BGUSAT**, שלושתם נבנו ושולבו בארץ, ונבדקו בבדיקות תנאי סביבה במתקני התעשייה האווירית. לעומת זאת לוויינים מתוצרת ספייס פארמה (המייצרת מעבדות משולבות לוויין זעיר לביצוע ניסויים במיקרו גרביטציה) ו- NSLCOMM המפתחת אנטנות חדשניות לננו לוויינים, יוצרו, שולבו ונבדקו מחוץ לגבולות המדינה עקב היעדר תשתית זמינה בארץ ועל מנת לקצר את זמן ההגעה אל השוק.

עד לתום 2019 מתוכננים להיות משוגרים שלישיית לווייני **SAMSON** של הטכניון, לוויין אחד נוסף של ספייס פרמה ולוויין אחד של מרכז המדעים בהרצליה - **דוכיפת 3**. בשנת 2020 מיועדים לשיגור לפחות עוד 10 לוויינים זעירים מגופי חינוך ואקדמיה (מיני-קונסטלציה של 8 לווייני

תבל בתוכנית ארצית של סוכנות החלל הישראלית באמצעות מרכז המדעים הרצליה, שני לווייני מחקר מתוצרת אוניברסיטת תל אביב **TAUSAT1** ו- **TAUSAT2** בפרויקט הנתמך על ידי משהב"ט, והלוויין הזעיר **DriveSat** של הטכניון) ולוויינים זעירים נוספים מתוצרת התעשייה המקומית.

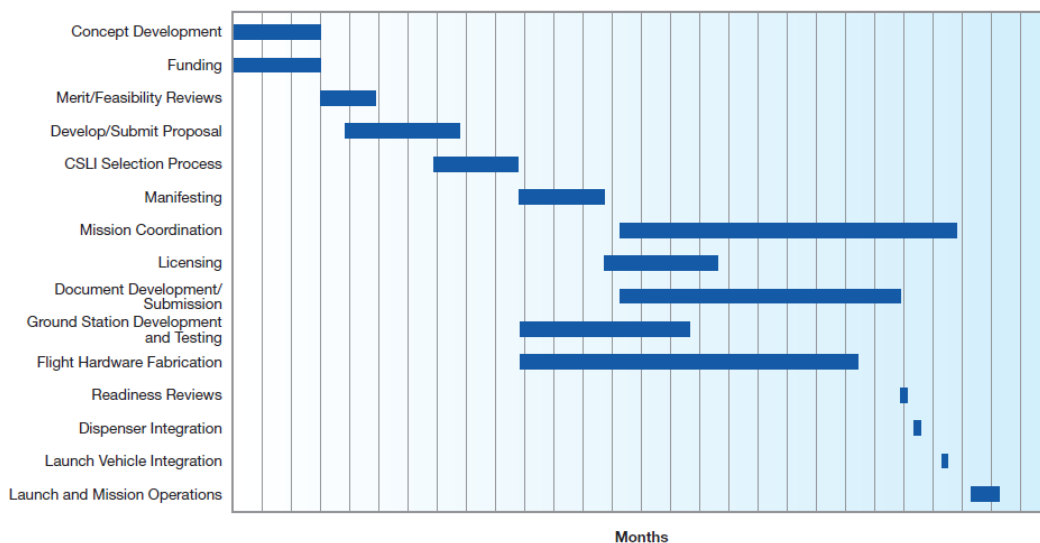
מרבית החברות הבינוניות והגדולות שהופיעו בפני הועדה הציגו תוכניות קונקרטיות בתחום החלל החדש ליצור של עשרות לוויינים זעירים (בעיקר מיקרו-לוויינים במשקלים של בין 35 ל 90 ק"ג) למטרות מסחריות וביטחוניות.

נציגי מוסדות אקדמיים הישראליים הפעילים בתחום הציגו בפני הועדה תכנית מו"פ עשירה ומגוונת ורשימת נושאי מחקר פורצי דרך בתחומי מדע וטכנולוגיה:

- תקשורת: ובפרט תקשורת אופטית בין ננו-לוויינים, תקשורת קוונטית, מערכת תקשורת גלובאלית בלתי מסונכרנת מבוססת ננו-לוויינים ומערכות לבקרת כלי טייס ופעילות אווירית.
- בינה מלאכותית: מערכות חלל מבוססות למידת מכונה, פיתוח קונסטלציות אוטונומיות לביצוע משימות מדעיות מבוזרות המבוססת על טכנולוגיות של למידת מכונה בלתי מפקחת (unsupervised machine learning), חישה מבוזרת באמצעות ננו-לוויינים בטיסת מבנה, מחקר ותכנון מודלים ומערכות בקרה ללהקים של ננו-לוויינים.
- סביבה: חישה סביבתית ושיפור מודלי אקלים, שימוש בלהקי ננו לוויינים לביצוע מדידות רב-כיווניות המאפשרות מדידה של תכונות אטמוספירות, מיפוי ברקים וחישה של ריכוזי גזים באטמוספירה העליונה.
- טכנולוגיות אלקטרואופטיות למשימות בתחומי אסטרופיזיקה: גלאים לזיהוי מקורות קרינות גמא ושימוש בננו לוויינים לפרישת מראות טלסקופ סגמנטיות.

3.2 הצורך בתשתית מו"פ בתעשייה ובאקדמיה להסרת חסמי הכניסה לתחום החלל החדש

פיתוח לוויין זעיר משימה מורכבת המערבת תחומי ידע מגוונים כגון: היכרות סביבת חלל, אנליזות תרמיות, חוזק מבנים, אמינות רכיבים, תפעול ובדיקת מערכות בתנאי וואקום, פרישת מערכות בתנאי חוסר משקל, בניית תחנת קרקע, טכנולוגיות תקשורת וטלמטריה, רישוי תדרים, חישוב מסלולים וכד'. כל פרויקט שכזה מצריך התמחות, משאבים ניכרים ועשוי לארוך מספר שנים. להלן טבלה מתוך דו"ח של NASA המציגה פרויקט פיתוח ננו לוויין אופייני, ניתן לראות שעד לשיגור מדובר בכ- 28 חודשים של פיתוח ובדיקות:



התקן הבינלאומי המגדיר את בדיקות תנאי הסביבה הקפדניות והמלאות ללוויין זעיר זהה לזה המגדיר בדיקות של לוויינים גדולים. האחידות נדרשת שכן לוויינים זעירים משוגרים בשיגור משותף עם לוויינים גדולים וזאת על מנת להקטין את מחיר השיגור. על כן מוטלת החובה על בעל הלוויין הזעיר להוכיח את אמינותו ויכולתו לעמוד בזעזועי המשגר כדי שלא יסכן את השיגור כולו. כמו כן בעת פעולתו בחלל יחוה הלוויין הזעיר את אותם תנאי סביבת חלל עוינים שחוה לוויין גדול הכוללים בין השאר טמפרטורות קיצוניות, היעדר כבידה, ופגיעת קרינה וחלקיקים כבדים.

למוסדות אקדמיים ישראלים ולחברות אזרחיות קטנות ובינוניות פעילות רבה בתחום החלל החדש, אך כל יוזמה חדשה בתחום נתקלת בחסמי כניסה ניכרים: יש צורך בידע ספציפי בתחום החלל ובמספר ניכר של דיסציפלינות הקשורות בו. כדי לפתח לשלב ולבדוק לוויין זעיר יש צורך בתשתיות בדיקה ופיתוח שעלותן גבוהה, וקשה להצדיק את הקמתן לצורך פרויקט פיתוח של לוויין זעיר בודד. הגישה לתשתיות הקיימות בחברות התעשייה הגדולות הינה מוגבלת, אם בכלל, היות ותשתית זו מיועדות בראש ובראשונה לפיתוח לוויינים גדולים. הציוד בחדרים הנקיים בחברות התעשייה הגדולות כולל בין השאר מרעדים ותאי ואקום תרמי המיועדים לבדיקת לוויינים במשקל מאות קילוגרמים ואף יותר, שאינם מתאימים בהכרח ללוויינים שמשקלם קילוגרמים בודדים. עלויות הגישה, התפעול והשימוש במתקנים אלה בארץ הינן גבוהות מאוד, ובדרך כלל תשתית זו אינה זמינה ללקוחות חוץ עקב תפוסה כמעט מלאה בפרויקטים פנימיים שלהן.

מגבלת התשתית מכבידה על הפעילות המחקרית והפרויקטאלית באוניברסיטאות ואינה מאפשרת למצות את הפוטנציאל של המחקר המדעי והטכנולוגי בתחום. מרכז תשתית מו"פ ללוויינות זעירה יוריד את הנטל, הן הכספי והן התפעולי, מהמרכזים האקדמיים בארץ ויאפשר להם לקדם נושאים פורצי דרך בתחומי מדע וטכנולוגיה בהם משמשים הלוויינים הזעירים כפלטפורמה מחקרית.

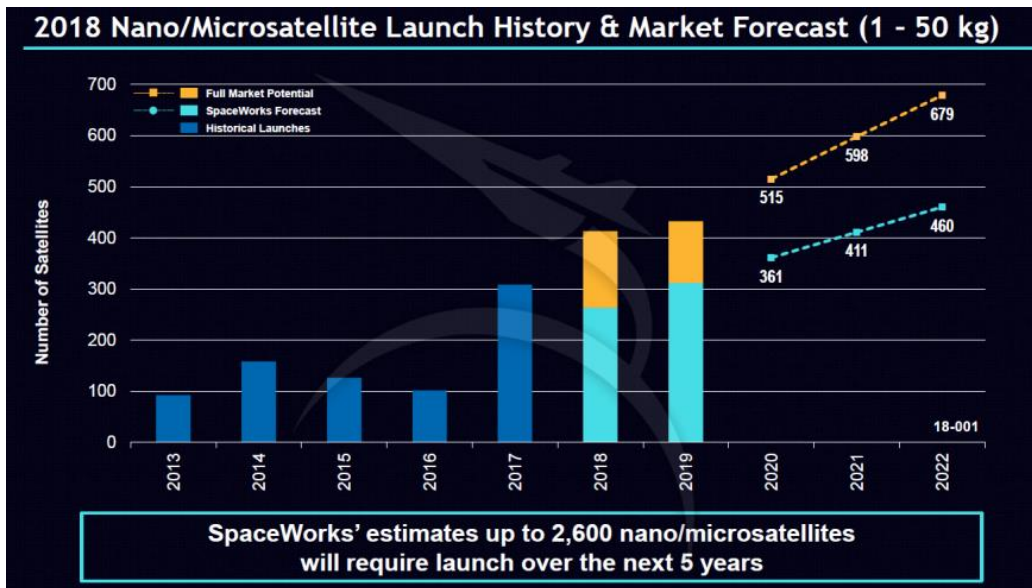
בעיית המחיר הגבוה, המחסור בידע ובניסיון, וחוסר הנגישות לתשתיות מדכאים חדשנות ומהווים חסם כניסה גם בפני חברות ההזנק. יתר על כן, גם החברות הבינוניות שהופיעו בפני הועדה ואף חלק מן החברות הגדולות ציינו את חוסר הזמינות של תשתית לבדיקות לוויינים כגורם הפוגע בהתפתחות התעשייה האזרחית בתחום.

קיימות בארץ מספר חברות הזנק שהגיעו להישגים מרשימים בתחום, אולם מספרן קטן מאוד בהשוואה למספרן של חברות הזנק ישראליות המצליחות בתחומים אחרים. ללא תשתית מו"פ נגישה, יכולותיה של מדינת ישראל ליצר מאסה קריטית של פעילות חלל חדש בארץ ולפתח מארג של חברות ופעילות בתחום הינן מוגבלות.

4. ניתוח הכדאיות הכלכלית של התוכנית לתשתית מו"פ שהוגשה על ידי סוכנות החלל הישראלית

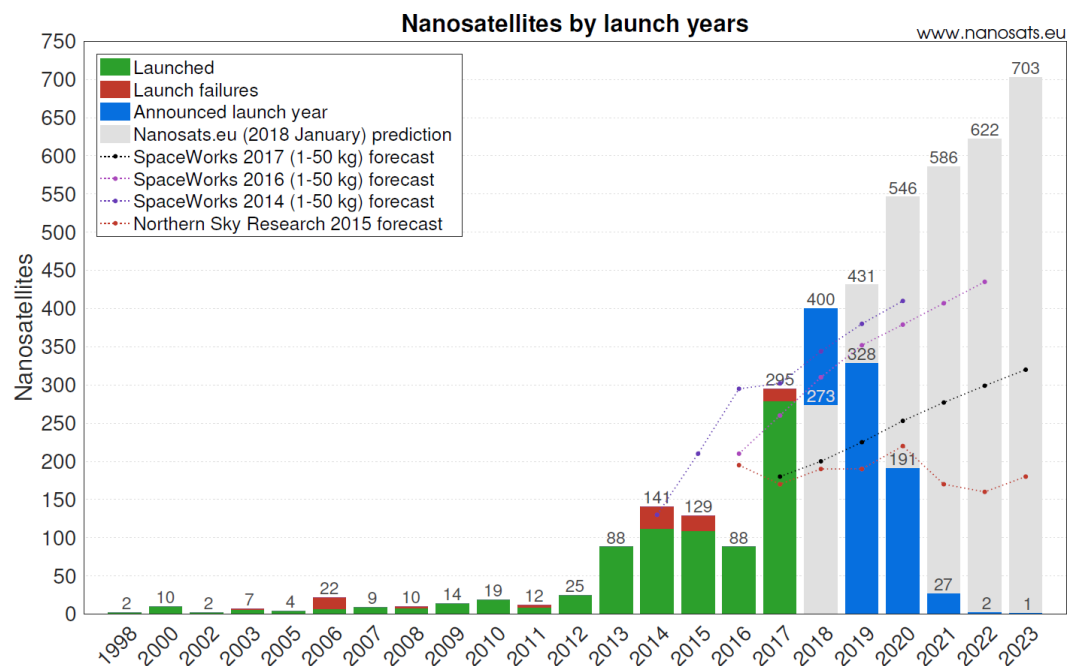
4.1 הפוטנציאל המסחרי בשוק הלוויינים הזעירים העולמי

תחום הננו-לוויינים צפוי לגדול משמעותית בשנים הקרובות. התחזית היא שבחמש השנים הקרובות ישוגרו לחלל יותר מ- 2,500 ננו לוויינים וקצב הגידול השנתי הצפוי הינו בין 12% ל-18%.



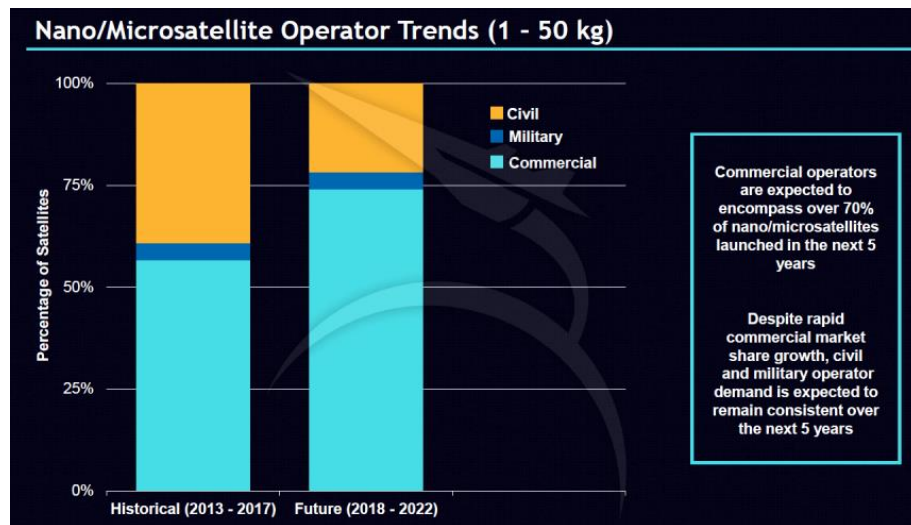
הנתונים לקוחים מסקר לוויינים זעירים ל 2018 של חברת Space Works

בעוד שבתחילת הדרך שימשו ננו לוויינים בעיקר לצרכי מחקר וחינוך ונבנו ע"י אוניברסיטאות ומוסדות חינוך, הרי שכיום בזכות התפתחות הטכנולוגיה והעמקת הידע בתחום, מרבית השימושים הינם מסחריים בתחומים כגון תקשורת, תצפית או חישה מרחוק. מיזמים אלה נכנסים אל תוך שוק מבוסס היטב מבחינה מסחרית תוך שהם נוגסים בנתח השוק הנמצא בשליטת חברות חלל ישן. הואיל והשימושים נוטים והולכים אל הכיוון המסחרי גם ההשקעות בתחום לא מאחרות להגיע ועל כן גדל מאוד גם מספר חברות ההזנק בתחום.



הנתונים לקוחים מ- www.nanosats.eu

הנתונים לקוחים מסקר לוויינים זעירים ל 2018 של חברת Space Works



הנתונים לקוחים מסקר לוויינים זעירים ל 2018 של חברת Space Works

סקר השוק של חברת Space Works² אומנם מתייחס ללוויינים במשקל של עד 50 ק"ג אולם באופן מהותי לוקח בחשבון אך ורק לוויינים זעירים "תקניים" מסוג CubeSat (שאכן עשויים עקרונית להגיע למשקלים של 50 ק"ג אולם מעשית רובם נמצאים בתחום שבין 1-12 ק"ג בלבד). גודלו של הפלח השוק שמדינת ישראל עשויה לתפוס מתוך שוק הננו-לוויינים עומד על כ-8% בדומה לחלקה של התעשייה הישראלית בתחומי טכנולוגיה עילית אחרים. **במספרים מדובר על יצור של כ- 50 ננו-לוויינים ישראלים בשנה החל משנת 2023.**

שוק החלל החדש בכללותו כולל לא רק ננו-לוויינים אלא גם מיקרו-לוויינים שאינם בתקן CubeSat (על פי הגדרה של נאס"א משקלם הוא עד 400 פאונד = 180 ק"ג, על פי הגדרות אחרות עד 50 או 100 ק"ג), ובנוסף גם תעשיות נגזרות ותומכות, כמו יצור רכיבים ומערכות חלל, שיגורים, ציוד קרקע, עיבוד ומכירת נתונים ואפליקציות המבוססות ברובן על קונסטלציות. על פי דו"ח של חברת NSR³ (חברת מחקרי שוק מן המובילות בעולם שפורסם בסוף 2018), במהלך 8 השנים הקרובות שוק המיקרו-לוויינים לבדו יניב 37 מיליארד דולר בהכנסות המצטברות משירותי ייצור ושירותי שיגור, ובמהלך תקופה זו ישוגרו 6,500 לוויינים זעירים. על פי הדו"ח, קונסטלציות הן הגורם הדומיננטי בצמיחת השוק ויהוו למעלה מ 70% מסך השיגורים. הצמיחה צפויה בכל הישומים אולם נתח ההכנסות הגדול ביותר יתקבל על ידי תחום התקשורת. הדו"ח מציין כי מודלים עסקיים חדשים פותחים זרמי הכנסות חדשים והזדמנויות בשוק הלוויינים הזעירים, בעיקר הודות לפשטות היחסית של התכנון והארכיטקטורה הזולה. אלו מאפשרים הורדת החסמים וגישה קלה יותר לתעשיית החלל.

לנוכח ההתפתחויות הדרמטיות בשוק הלוויינים בתקופה האחרונה, נראה על פניו שגם תחזיתה של NSR הינה שמרנית. במהלך 2019 פורסמו תוכניות לפרישת "מגה-קונסטלציות"

² 2019 Nano-Microsatellite market forecast
<https://www.spaceworks.aero/insights/>

³ NSR-small satellites market 5th edition
<https://www.nsr.com/small-satellites-flying-high-with-37-billion-market-and-6500-satellites-to-launch-by-2027/>

של לוויינים קטנים וזעירים על ידי חברות ענק כלכליות. הבולט שבהם הוא מיזם Starlink של חברת ספייס איקס העתיד לפרוש בחלל בשנים הקרובות מגה-קונסטלציה של 12,000 לוויינים קטנים! (60 הלוויינים הראשונים כבר שוגרו בסוף מאי 2019) ליצירת רשת אינטרנט גלובאלית מן החלל. מיזמים בסדרי גודל דומה מתוכננים גם על ידי אמזון וחברת OneWeb - חברת סטארט-אפ לתקשורת אינטרנט באמצעות מיקרו-לוויינים (130 ק"ג) שגייסה סכום עתק של 1.3 מיליארד דולר מיד עם הקמתה וכבר מייצרת מאות מיקרו-לוויינים בשיתוף עם Airbus. את שוק המיקרו-לוויינים לבדו ניתן להעריך בכ 4 מיליארד דולר ובכ- 1000 מיקרו-לוויינים לשנה. כאמור חברות התעשייה הישראליות הבינוניות והגדולות שהופיעו בפני הועדה הציגו תכניות ליצור של עשרות מיקרו-לוויינים בשנה (במשקלים של בין 90-35 ק"ג). תכניות אלו לבדן ביחד עם הערכת נתח שוק ישראלי של 5%-8% מתוך השוק העולמי עשויות לייצר פוטנציאל של עשרות מיקרו-לוויינים ישראליים לשנה שיפיקו תועלת מרובה מקיומה של תשתית מו"פ לוויינות זעירה, וזאת בנוסף לפוטנציאל הקיים בתחום הננו-לוויינים לבדו.

4.2 מודלים למרכז תשתית מו"פ בתחום החלל החדש

בעולם נהוג לקדם את תחום החלל החדש באמצעות תוכניות תמיכה ממשלתיות במיזמי ננו לוויינים הן באקדמיה והן במיזמים מסחריים. קיימים בעולם מספר מרכזי בדיקה ומחקר של ננו לוויינים. המרכזים הללו מכסים את עלויות הפעלתם באמצעות מענקי מחקר ואו באמצעות גביית דמי שרות. צמיחתן של חברות מסחריות המבוססות על רעיונות ומחקרים חדשים מתאפשרת פעמים רבות הודות להגדלת הנגישות לתשתית מו"פ. חברות חדשות אלה מגדילות בעצמן את השימוש במרכז המו"פ וכפועל יוצא גדל והולך גם זרם ההכנסות במרכז המו"פ. זהו Bootstrap קלאסי של מרכז תשתיות ראשוני המייצר פעילות מו"פ שמייצרת בעצמה פעילות נוספת, וכך הלאה.

קיימים 3 מודלים עיקריים ליישום מרכזי תשתיות מו"פ בתחום החלל החדש:

1. מרכז אקדמי טהור המתמקד במחקר בלבד.
2. מרכז ממשלתי המעודד ומקדם את תחום החלל החדש.
3. שת"פ תעשייה / מחקר / ממשלה המספק שירותים לחברות ומוסדות אקדמיים בתחום.

דוגמה למרכז אקדמי: Japan: Kyushu Center for Nanosatellite Testing (CeNT)

מרכז בדיקות והדרכה לבדיקות של לוויינים זעירים הממוקם באוניברסיטת קיושו שהוקם בשנת 2010 מתוך מטרה להאיץ את תהליך הפיתוח של לוויינים זעירים. המרכז מדווח שנבדקו בו יותר מ 40 לוויינים מאז הקמתו. המרכז האיץ את פיתוח התחום ביפן ואיפשר (עד לשנת 2018) שיגור לחלל של 53 ננו-לוויינים, ורבים נוספים בשלבי פיתוח ובדיקות.

דוגמה למרכז ממשלתי: UK: Satellite Applications Catapult

חברה ללא מטרת רווח שמטרתה עידוד וקידום תחום הלוויינות בבריטניה באמצעות תוכניות חממה, תשתיות, הקמת מרכזי מצוינות וייזום של פרויקטים. המרכז הינו חלק מרשת של מרכזי מצוינות בבריטניה. המרכז הוקם ב 2013 ע"י סוכנות החלל הבריטית ורשות החדשנות הבריטית. תחת המרכז קיימת גם חברה מסחרית אליה מנותבים כל הפרויקטים המסחריים. המרכז מדווח על הישגים משמעותיים: כל לירה שטרלינג שהושקעה הניבה 6 לירות שטרלינג בהשקעות ובפעילות. פעולתו הניבה 140 פרויקטים שיתופיים ומסחריים במעורבות של 94 חברות בריטיות, מחציתן קטנות ובינוניות ו- 25 אוניברסיטאות.

דוגמה לשת"פ אקדמיה תעשייה וממשלה: US: Space Dynamics Laboratory (SDL)

חברה ללא כוונת רווח של אוניברסיטת יוטה המהווה חלק מרשת מרכזי מחקר לאומיים ומספקת שירותים בתחום החלל וננו לוווינים לכל השחקנים בתחום.

תכולת המעבדות של SDL שימשה כבסיס להצעת סוכנות החלל הישראלית. יחד עם זאת המודל הבריטי לעיל המשלב פעילות מסחרית ופעילות אקדמית, ללא הכפפת הפעילות לגוף מסחרי, הינו הקרוב ביותר למודל המוצע ע"י הוועדה בפרק 6 להלן.

5. הערכת הכדאיות הכלכלית בהקמת מרכז לאומי לתשתיות מו"פ בתחום הלוויינות הזעירה

על פי הערכת הוועדה, הקמת מרכז כזה תאפשר למדינת ישראל לתפוס 5-8% משוק המיקרו לוווינים והננו לוווינים. כאמור מדובר בשיגור של עשרות לוווינים בשנה: 50-80 מיקרו לוווינים ומספר דומה של ננו לוווינים. אם ניקח הערכה שמרנית כפי שתואר לעיל, מדובר בשוק עולמי של כחמישה מיליארד דולר והנתח של מדינת ישראל אם תוקם תשתית לאומית יגיע ל-250 400 מיליון דולר בשנה, וזאת כתוצאה מהשקעה חד פעמית של כ-25 מיליון דולר בלבד. תשואה זו אינה כוללת את הפוטנציאל להגדלת חלקה של ישראל בשוק החלל בכללותו, כתוצאה מפיתוח יישומים וטכנולוגיות על גבי פלטפורמות לוווינות זעירה אשר ישימים גם לתחומים אחרים של כלכלת החלל. ללא תשתית לאומית ובשל מחסומי הכניסה כפי שתוארו, היקף הפעילות בארץ יוכל להערכת הוועדה להגיע לכל היותר לאחוז או שניים מהשוק העולמי (ותוך הסתמכות על רכישת שירותים מחוץ לישראל).

יש להדגיש כי (1) מדובר בענף שפעילותו המסחרית האזרחית הינה בעלת שיעורי רווחיות גבוהים, (2) לפעילות הענף תרומה חיובית גם לענפים אחרים כיוון שהיא יוצרת סביבה המקלה על פעילות ענפים הנשענים על שירותים וטכנולוגיה מתחום הלוויינות. כך, לדוגמא, **יפתחו שווקים חדשים** בפני חברות המתמחות בעיבוד מידע כתוצאה משיתוף פעולה עם חברות חלל חדש המספקות שירותי תקשורת או חישה מרחוק מן החלל. דוגמא מעניינת נוספת להרחבת הפעילות המסחרית בענף שלכאורה אין לו זיקה לחלל ניתן למצוא בתחום הפארמה: פלטפורמת חלל עשויה לשמש לפיתוח ועיבוד תרופות בתנאי מיקרו כבידה (כדוגמת ספייספארמה) ועל ידי כך לייצר שווקים חדשים וייחודים יש מאין.

יצויין שצמיחת שוק החלל החדש בישראל לא תתאפשר ללא הקמת מרכז תשתיות לאומי.

הקמת מרכז תשתיות שכזה אינה כדאית לחברות תעשייה קטנות ובינוניות שכן ההחזר על ההשקעה והיקף הפעילות בחברה הבודדת לעולם לא יצדיק את הקיום הכלכלי של תשתית שכזו. גם האקדמיה אינה יכולה להקים מרכז תשתיות היות ואין לה אוריינטציה מסחרית ומרבית פעילותה הינה מחקרית בסיסית ולא דווקא יישומית. בבסיס תכנית תל"מ מתקיים הצורך להתגבר על מכשול ראשוני זה בכדי להזניק קדימה את התעשייה והאקדמיה: **איגום משאבי המדינה, האקדמיה והתעשייה לצורך עידוד והתנעת פעילות חדשה, שללא התמיכה תתקשה להתרומם לבדה, ובעזרת התמיכה תוכל לעמוד על רגליה ולקיים את עצמה בטווח הארוך.**

במצבה כיום וללא הקמת המרכז, תעשיית הלוויינים הזעירים בארץ מוגבלת בנגישותה לתשתיות ולידע. למעשה מרבית החברות הקטנות והבינוניות מעדיפות לשלוח את הלוויינים מתוצרתן לחו"ל לצרכי אינטגרציה ובדיקה ונאלצות לרכוש את הידע הנדרש לתכנון, שילוב ויצור הלוויינים בעלות גבוהה (בפני ועדת הבדיקה הוצגו לוווינים ישראלים זעירים מתוצרתן של שלוש חברות ישראליות שונות אשר נשלחו לבניה ולבדיקות בחו"ל). המשמעות היא שפיתוח של מוצרים ויישומים חדשים בתחום נדחה או שאינו מבוצע כלל מחוסר תקציב וידע. הקמת מרכז תשתית ללוויינים זעירים תאפשר גישה נוחה ובמחיר סביר לתשתיות ידע, תכנון ובדיקה של הלוויינים ובכך יתאפשר לחברות וליזמים לבחון ולקדם פרויקטים בתחום. הנגישות לתשתיות בצרוף היכולות הקיימות של היזמים בארץ ייצרו קרקע נוחה לפיתוחים חדשים וככל

שמספר היוזמות יגדל, תופנה יותר תשומת לב גם מצד גופי ההשקעה (שרובם מדירים רגליהם מתחום החלל בארץ בשלב זה) ויוזמות חדשות ייווצרו ויתמכו. בכך ייווצר מעגל המזין את עצמו של התפתחות תעשיית חלל חדש אזרחית ובת קיימא, פיתוח טכנולוגיות על בסיסן יונבטו מיזמים וחברות חדשות, הגדלת מגוון המוצרים ופיתוח מוצרים חדשים, וכפועל יוצא הגדלת היקף המכירות. התועלת הכלכלית הישירה והעקיפה מקיומה של תשתית לאומית שכזו ברורה מאליה.

לוגיקה זו תקפה גם בכל הנוגע לאקדמיה. תשתית מו"פ ללוויינות זעירה שתהיה זמינה, אך בלתי כפופה למוסד אקדמי ספציפי, תאפשר ביצוע מחקרים חדשניים ללא הסתמכות על תשתיות בחו"ל. התשתית תמשוך מדענים ממדינות בהן היא חסרה ותאפשר התפתחות מוקדי מחקר בכל מוסדות המחקר האקדמיים בארץ. מרכז תשתיות שכזה יאפשר לחוקרים ממגוון דיסציפלינות לתכנן ולבצע ניסויים בתחומי חלל ללא צורך בגישה מוקדמת לידע בתחום הלוויינות (הידע הטכנולוגי יסופק על ידי המרכז) ולהתמקד בתחום העניין המדעי בלבד. התשתית תאפשר לאקדמיה לחזק את מעמדה בחזית העולמית בתחום החלל ע"י מחקר ומימוש רעיונות יישומיים חדשניים ופורצי דרך, לקדם קשרים בינלאומיים עם מוסדות אקדמיים דומים בעולם, לטפח כוח אדם איכותי ומקצועי בתחום, לשלב באקדמיה ובתעשייה, ולמנוע בריחת מוחות מן הארץ. גם כאן ברורה מאליה התועלת העצומה לכלכלה ולחברה ולתדמיתה של מדינת ישראל (ולתדמית היוקרתית של מדינה מובילה בתחום החלל קיים ערך כלכלי נוסף בפני עצמו).

כדאיות כלכלית נוספת מתקיימת גם מן הזווית הביטחונית. תחום הלוויינים הינו תחום מפקח שאינו מאפשר ביצוע בדיקות ללוויינים ביטחוניים בחו"ל. היות והתשתית הקיימת משועבדת רובה ככולה ללוויינים גדולים, קשה לקדם באמצעותה יוזמות בתחום הלוויינים הזעירים. קיום תשתית בדיקה אזרחית תקל על כניסת חברות קטנות למעגל החברות המתחרות על תקציב משרד הביטחון ותוריד את עלויות הפיתוח של לוויינים זעירים לתחום הביטחוני. קיימת תוכנית רחבת היקף במפא"ת/משהב"ט בנושא זה. במסגרתה כל נושא ההיתכנות הטכנולוגית, הוכחת מנגנונים ותתי מערכות, וניטור סביבת חלל יבוצע על גבי ננו-לוויינים בפיתוח המוסדות האקדמיים בעבור מערכת הביטחון. תכנית זו יצאה לא מכבר לדרך במרכז ננו-לוויינים באוניברסיטת תל אביב.

על פי הניתוח לעיל קיים בהחלט פוטנציאל בשוק הלוויינות הזעירה שיאפשר הפעלת מרכז תשתיות למו"פ באיזון כלכלי ואף ברווח. יתר על כן למרכז כזה קיימים אפיקי הכנסה פוטנציאליים נוספים מהרחבת השירותים שיספק מעבר לבדיקות תנאי סביבה. לפיכך המרכז לא רק שיאפשר הפעילות בתחום על ידי יצירת אקוסיסטם שהינו נגיש לחברות ישראליות ולאקדמיה אלא שגם יוזיל פעילויות כאלו ויאץ אותן.

6. תכולות מרכז התשתיות הלאומי למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה

6.1 מטרות המרכז

הועדה ממליצה על הקמת מרכז תשתיות לאומי למו"פ לוויינות מיקרו וננו שמטרותיו להלן:

- מתן שירותי תכן, אינטגרציה ובדיקות לוויינים זעירים.
- תמיכה בהנבטת רעיונות טכנולוגיים בחברות קטנות ובינוניות.
- קיצור תהליכי ביגור מערכת ואף פיתוח תשתית BUS גנרי כחול-לבן.
- האצת מחזורי הפיתוח באמצעות שיתוף מורשת טכנולוגית בחלל (Space Heritage) – דהיינו שימוש בתת מערכות בהן נצבר ניסיון בחלל בחברות ישראליות אחרות. שימוש חוזר של חברה ישראלית אחת במורשת חללית של חברה ישראלית אחרת תגדיל את האמינות

של המוצר אותו מפתחת, תקצר את זמן הפיתוח ועל כן תוזיל אותו ותהפוך אותו לתחרותי יותר.

- סיוע ליזמים, לחברות ולאקדמיה בערוצי רכש ושיגור, ובטיפול בנושאים משפטיים ורגולטוריים.
- פלטפורמה לפיתוח התעשייה ולהקמת חברות חלל חדש "יש מאין" – חברות שהקמתן לא היתה מתאפשרת ללא קיומו של מרכז ידע ותשתיות לאומי.
- הרחבת הנגישות והעמקת הידע באקדמיה תרחיב את מעגל העוסקים בחלל: עידוד מחקרים וניסויים בטכנולוגיות תקשורת ועיבוד אותות, אסטרונומיה, סביבה ומדעי כדור הארץ, מחקרים ביולוגיים ורפואיים וכד'.
- הכשרת מדענים ומהנדסים לתחום החלל, תמיכה בקורסים אקדמיים ומעשיים, תמיכה בפרויקטי גמר, מאסטר ודוקטורט.
- מבט צופה פני עתיד – גמישות ויכולות גידול מתאימות בשוק דינמי המשתנה במהירות.

6.2 שירותי מרכז התשתיות

- מרכז התשתיות הלאומי יכלול בתוכו מרכז ידע בליווינות ננו ומיקרו שיאפשר הפצת ומכירת ידע טכנולוגי, ייעץ לחברות בנושאי פיתוח ויקשר בין לבין מומחים בתחום.
- שירותי סימולציה ותכן הנדסי של לוויינים זעירים בדיסציפלינות שונות: מסלולים, מכני-תרמי, בקרת לוויין, תקשורת, ניתוחי קרינה.
- שירותי פיתוח תוכנה: פיתוח דרייברים ותוכנה מוטסת וקרקעית.
- שירותי אינטגרציה של כלל הלוויין, שילובים של מרכב ותתי מערכות, שילוב מטע"ד המסופק על ידי הלקוח.
- המרכז ישמש כגוף רכש חללי אשר ירכז רכש רכיבים ותת מערכות משותפות למספר פרויקטים, יגבש הסכמי מסגרת ויוזיל את המחר על בסיס כמות גדולה.
- תשתיות לבדיקות פונקציונאליות ומעבדה היברידית, סימולטור שמש, שולחן אוויר וסימולטור שדה מגנטי.
- תשתית מלאה לבדיקות תנאי סביבה של לוויינים זעירים וקטנים: חדרים נקיים, ואקום תרמי והרעדה, הגזה, drop tower, בדיקות אקוסטיות, תאימות אלמ"ג, הרכבות ובדיקות אלקטרוניות.
- תמיכה בשיגור, קשר עם ברוקרים ו launch aggregators.
- שירותי תחנת קרקע: תחנת קרקע למטרות פיתוח ושילובים, תחנת קרקע להפעלת הלוויין בחלל בעבור החברה המפתחת, עמדות פתוחות לתפעול מרחוק על ידי המשתמש.
- ממשק בנושאי פיתוח עסקי: איתור הזדמנויות עסקיות, סיוע לחברות הזנק בגיוס כספים, ובחיבור עם משקיעים פוטנציאליים ועם שותפים אסטרטגיים.
- סיוע בנושאים רגולטוריים: תיאומי תדרים מול גופי תקשורת בינלאומיים (ITU, IARU) עמידה באמנות חלל בינלאומיות ותקנות בטיחות בחלל, תקנות יבוא, מכסים ומסלולי פטור, ממשק לנושאי יצוא בטחוני - אפ"י.

7. תקציב מרכז התשתיות

7.1 הצעת סוכנות החלל הישראלית

ההערכה התקציבית הבסיסית להקמת המרכז ולתפעולו במהלך 5 השנים הראשונות, כפי שהוגשה על ידי סוכנות החלל, עומדת על כ- 88.5 מיליון ₪ וכוללת ציוד תשתית בעלות של 62 מיליון ₪ ותפעול, שירות וייעוץ בעלות של 16.5 מיליון ₪ עפ"י הפירוט הבא:

1. חדר נקי 500 מ"ר + חדרי נלווים 14M + 9M ₪
 2. ציוד לבדיקת תקשורת ואנטנות 5M ₪
 3. צב"ד לבדיקות לוויין שלם 2M ₪
 4. תא ואקום לבדיקות לוויין שלם
 5. תא ואקום להגזת מכלולים
 6. סימולטור שמש
 7. מרעד לבדיקת לוויין שלם (עד 100 ק"ג)
 8. תא לבדיקות אקוסטיות
 9. Drop Tower 0.25M ₪
 10. מעבדה לבדיקות תאימות אלקטרומגנטית 0.25M ₪
 11. מעבדה להרכבות ובדיקת אלקטרוניקה 0.3M ₪
 12. מחשבים ותוכנות סימולציה 0.7M ₪
 13. תחנת קרקע 0.25M ₪
 14. תנור לבדיקת תנאי סביבה 0.25M ₪
 15. תשתיות 5M ₪
- סה"כ 62 מיליון ש"ח**

עלויות כח אדם

סה"כ צוות של 16 איש לפי עלות שכר ממוצעת של 30K ₪. על פי הצעת סוכנות החלל קליטת האנשים תעשה במדורג לפי המדרג הבא :

| שנה | כ"א | סה"כ שכר ₪ |
|-----|-----|------------|
| 1 | 2 | .72M |
| 2 | 4 | 1.44M |
| 3 | 8 | 2.88M |
| 4 | 16 | 5.76M |
| 5 | 16 | 5.76M |

סה"כ 16.5 מיליון ₪ ל – 5 שנים.

הצוות יכול מנהל מדעי וטכנולוגי וסגל ומהנדסים וטכנאים, אך גם מומחים "שעתיים" לנושאים נקודתיים, מומחים לטיפול ברכש ונושאים רגולטוריים וכן צוות תחזוקה ואדמיניסטרציה שיתבסס על סגל המוסד המארח. על פי הערכת ועדת הבדיקה תתיכן בהחלט האצת תהליך קליטת העובדים בתלות בביקוש שיווצר מצד חברות תעשייה ואקדמיה.

סה"כ כ"א וציוד על פי הצעת סוכנות החלל: 78.5 מיליון ש"ח ל 5 שנים.

החל מהשנה הרביעית יפעל המרכז בתפוקה מלאה כאשר ביכולתו לטפל בו זמנית בשלושה עד ארבעה לוויינים. בהנחה כי השלמת בדיקות של לוויין תארך כ – 4 שבועות, סה"כ כמות הלוויינים שהמרכז יוכל לבדוק בשנה יעמוד על כ 30 עד 40 לוויינים.

הערכת עלות תפעולו השוטף של המרכז החל מן השנה השישית מבוססת על מרכזים אחרים בעולם. עלות התפעול מורכבת מעלות כוח האדם בסך 5.76 מיליון ₪ ועוד כ 1.5 מיליון ₪ עלות תחזוקת הציוד ופחת. בהנחה כי עלות ייעוץ ובדיקת לוויין תעמוד על כ - 185,000 ₪, כדי להגיע

לאיזון כלכלי נדרש לבדוק בשנה 40 לוויינים שייצרו סך הכנסות של 7.4 מיליון ₪. סכום זה כאמור יכסה את כלל הוצאות המרכז.

7.2 תקציב מרכז התשתיות הלאומי על פי הצעת ועדת הבדיקה

כהשלמה להצעת סוכנות החלל, ולאחר שהועדה בדקה לעומק את צרכי התעשייה והאקדמיה, מוצע כאמור על ידי הוועדה לכלול במרכז הלאומי לא רק את התשתיות לבדיקות תנאי הסביבה אלא את כלל הציוד התשתיתי המשותף לכל לווין זעיר או לכל מחקר מדעי וטכנולוגי מבוסס לווין זעיר, ובכלל זה כ"א וציוד לסיוע בתהליך הפיתוח (כגון כלי סימולציה ותוכנות לתכנון מכני, תרמודינמי ומסלולים). כמו כן ישמש המרכז כגוף המתמחה בנושאי רכש חללי, פלטפורמה לפיתוח עסקי, וסיוע בנושאים רגולטוריים. מרבית הציוד וכ"א נכללו ממילא בהצעת סוכנות החלל. הוועדה הוסיפה לעלות הנ"ל עלות ציוד לבדיקת מיקרו לוויינים עד 100 ק"ג והרחבת תחנת הקרקע לתמיכה גם בתדרי S ו X ולמתן שירותי תפעול הלוויינים בחלל (סה"כ כ 12 מיליון ₪) וכן 10% בצ"מ שישמשו גם כמרווח בטחון לציוד נוסף שיידרש בהתאם להתפתחות השוק.

סה"כ תקציב מרכז התשתיות הלאומי ל 5 שנים כ- 100 מיליון ₪.

יש לציין כי תוספת התשתית שתידרש על מנת לאפשר טיפול במספר גדול יותר של לוויינים (למשל 80 לוויינים שחציים ננו-לוויינים וחציים מיקרו-לוויינים) לא תדרוש רכש משמעותי של ציוד ואף תהפוך את המרכז לרווחי עוד יותר. ניתן להניח כי רכש של מרעד נוסף ותא ואקום נוסף, שניהם ייעודיים לטיפול בננו-לוויינים במשקל של עד 6 ק"ג ואשר עלותם נמוכה יחסית ועומדת על כ 1-2 מיליון ₪ בלבד ליחידה, תספק מענה מלא להגדלת התפוקה.

על המרכז לגבות דמי שימוש, הוגנים ותחרותיים בהשוואה למרכזים דומים בחו"ל. תקציב המרכז יגיע מתוכנית תל"מ בשנים הראשונות ולאחר מכן מדמי השימוש וממכירת ידע שייצבר במרכז במשך הזמן.

על פי התחזית בפרק 4 לעיל קיים פוטנציאל של 50 ננו-לוויינים ישראליים לשנה וזאת בנוסף לעשרות מיקרו-לוויינים. תחזית זו מבססת את ההנחה כי **המרכז לתשתיות מו"פ בתחום הלוויינות הזעירה יוכל להתקיים אך ורק מגביית דמי שימוש מן החברות הישראליות.**

8. קול קורא לבחירת המוסד האקדמי

לצורך בחירת המוסד האקדמי שישמש כאכסניה למרכז התשתיות הלאומי למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה, יפורסם קול קורא על פי המתווה המוצע הבא :

תנאי סף למוסד המציע

המציע הינו מוסד מוכר להשכלה גבוהה, כמשמעותו בחוק המועצה להשכלה גבוהה, התשי"ח-1958.

המציע עומד בדרישות תקנה 6(א) לתקנות חובת המכרזים, התשנ"ג-1993 ובכלל זה מחזיק בכל האישורים הנדרשים לפי חוק עסקאות גופים ציבוריים, התשל"ו-1976 (אכיפת ניהול חשבונות ותשלום חובות מס), כשהם תקפים.

אין מניעה, לפי כל דין ו/או הסכם שהמזמין צד לו, להשתתפותו של המזמין במכרז ואין, לפי שיקול דעתו הבלעדי והמוחלט של המזמין, אפשרות כלשהי לקיומו של ניגוד עניינים, ישיר או עקיף, בין ענייני המזמין ו/או בעלי השליטה בו ו/או נושאי המשרה שלו ו/או הפועלים מטעמו, לבין ענייני המזמין ו/או מתן השירותים.

במועד הגשת ההצעה, המזמין אינו בעל חובות אגרה שנתית ברשות התאגידים לשנים שקדמו לשנה בה מוגשת ההצעה. בנוסף, המזמין אינו חברה מפרת חוק ואינו עומד בפני התראה קודם רישום כחברה מפרת חוק.

תנאי סף לתשתית מטעם המוסד המזמין

המוסד יעמיד לרשות המרכז ללא עלות מבנה בשטח של 700 מ"ר לפחות, מתוכם 500 מ"ר לפחות ישמשו להקמת חדר נקי (ברמת ניקיון ISO7 על פי תקן אמריקאי פדרלי 209E השקולה לעד 10,000 חלקיקים בגודל של מעל חצי מיקרון ביחידת רגל מעוקב), ו-200 מ"ר לפחות שטח משרדים. ההצעה תכלול בתוכה גם את עלות תחזוקת המבנה.

תנאי סף למנהל המרכז מטעם המזמין

המזמין נדרש להציע מנהל למרכז התשתיות העומד בדרישות הבאות:

- בעל תואר אקדמי שני לפחות במקצועות המדעים או בהנדסה.
- בעל ניסיון, בחמש השנים האחרונות, בניהול פרויקט פיתוח בנושאי חלל.

תנאי סף לאנשי מפתח בצוות

המזמין נדרש להציע אנשי מפתח בצוות המרכז (לכל הפחות 8 ולכל היותר 14), העומדים בכל אחת משתי הדרישות הבאות:

- בעלי תואר אקדמי במקצועות המדעים או בהנדסה.
- בעלי ניסיון, בחמש השנים האחרונות, בביצוע עבודה בתחום הנדסת מערכות לווייניות.

ניסיונו של כל אחד מאנשי המפתח יכלול עיסוק באחד לפחות מ 5 מהתחומים הבאים:

- מכניקה של מערכות חלל,
- תקשורת לוויינים,
- מערכות חשמל,
- תוכנה מוטסת וקרקעית,
- הנדסת מעכת של מערכות חלל,
- קרינה,
- הנדסת מערכת ואינטגרציה של מערכות חלל,
- מסלולים.

כמו כן נדרש מומחה, או מספר מומחים במשרה חלקית או שעתית, בעלי ניסיון בנושאים הבאים:

- תיאומי תדרים מול משרד התקשורת ומול גופים בינלאומיים (ITU),
- נושאי יבוא ויצוא של מערכות חלל, מכסים, יבוא זמני ותנאים לפטור מתשלום מכסים,
- יצוא בטחוני של לוויינים (אפ"י),
- רכש של רכיבי חלל,
- נושאים מסחריים, פיתוח עסקי וגיוסי כספים בתחום החלל,
- ניסיון בפיתוח אקו-סיסטם התומך בהקמת חברות הזנק.

למען הסר ספק, ניסיונם של מנהל הפרויקט ואנשי המפתח אינו חייב להיות מתקופת עבודתם במסגרת הגוף המציע.

בנוסף יעסיק המרכז לפחות איש אדמיניסטרציה אחד שתפקידו ניהול יומיומי של המרכז בהיבטים אדמיניסטרטיביים שוטפים.

מסמכים נדרשים

להצעה יש לצרף:

- טופס הגשה מלא וחתום.
- קורות חיים ומסמכים המעידים על הכשרתו וניסיונו של מנהל הפרויקט מטעם המציע, לצורך הוכחת העמידה בתנאי הסף לעיל.
- קורות חיים ומסמכים המעידים על הכשרתם וניסיונם של אנשי המפתח בצוות הפרויקט מטעם המציע, כנדרש בתנאי הסף לעיל.
- הצעה מפורטת לבניית המרכז. הצעה זו תכלול את:
 - תיאור המרכז ומטרותיו.
 - פירוט מלא של השירותים שיספק המרכז הן לתעשייה והן לאקדמיה.
 - ניתוח השוק וההזדמנות העסקית.
 - לוח זמנים משוער להקמת המרכז, לצידו, לחתימת חוזה תעסוקה עם צוות המרכז ולתחילת הפעלת המרכז באופן מלא.
 - ניתוח סיכונים ראשוני ותוכנית ההתמודדות עימם, היבטי קניין רוחני, חסמי כניסה וחופש פעולה מול גופים בינלאומיים מתחרים.
 - ניתוח התרומה של המרכז לפיתוח וקידום המחקר המדעי, לעידוד יזמות ולקידום התעשייה.

ההצעה המפורטת יכולה להיות מוגשת בעברית או באנגלית, ואורכה לא יעלה על 20 עמודים (לא כולל נספחים).

מסמכים נוספים

- העתק תעודת התאגדות (לפי העניין וסוג התאגדותו המשפטית של המציע) מאושר/ים על ידי עו"ד, לצורך הוכחת העמידה בתנאי הסף לעיל. אם המציע הוא עמותה, עליו להעביר אישור ניהול תקין מטעם רשם העמותות, תקף למועד הגשת הצעה. אם המציע הוא חברה בע"מ הפועלת תחת מוסד אקדמי המציע יציג נסח חברה עדכני מרשות התאגידים, הניתן להפקה דרך אתר האינטרנט שכתובתו: Taagidim.justice.gov.il בלחיצה על הכותרת "הפקת נסח חברה" – לצורך הוכחת העמידה בתנאי הסף לעיל.
- אישורים לפי חוק עסקאות גופים ציבוריים, בדבר ניהול פנקסי חשבונות ורשומות, כשהוא תקף, להוכחת העמידה בתנאי הסף לעיל.
- ערבות בנקאית או לחלופין הוראת קיזוז (לגבי מוסדות להשכלה גבוהה המתוקצבים ע"י הות"ת), להבטחת קיום תנאי המכרז, לצורך הוכחת עמידה בתנאי הסף המפורט לעיל. הערבות תהיה בלתי-מותנית וברת-חילוט, או לחלופין הוראת קיזוז (לגבי מוסדות להשכלה גבוהה המתוקצבים ע"י הות"ת, או חברות ממשלתיות), על סך של 5% מגובה

התקציב על שם המציע שתהא בתוקף עד לתאריך הנקוב בתוכנית הפעלת המרכז ובהתאם לסכום ועל-פי הנוסח האמור שם. ערבות / הוראת קיזוז זו תוחזר למציעים שלא יזכו במכרז. המציע שיזכה במכרז, יחליף ערבות זו בערבות לביצוע החוזה כנדרש להלן. **הצעה שתכלול ערבות אשר אינה עומדת בדרישה של סכום הערבות /או תוקף /או נוסח תואם, תיפסל על הסף.**

- תצהיר בדבר היעדר הרשעות לפי חוק עובדים זרים וחוק שכר מינימום חתום ע"י עו"ד.
- ההתחייבות ואישור המציע לקיום החקיקה בתחום העסקת עובדים חתומה ע"י עו"ד.
- התחייבות לשמירת סודיות ולמניעת ניגוד עניינים.
- הצהרה על שימוש בתוכנות מקוריות.
- אישור עו"ד או רו"ח על היות החתומים בשמו על מסמכי המכרז רשאים לחייב את המציע בחתימתם.
- רשימת הפרטים בהצעת המציע, שהמציע מעוניין שיהיו חסויים במידה ויזכה.
- מסמכי המכרז כשהם חתומים. יש לחתום על כל מסמכי המכרז והחוזה בראשי תיבות בתחתית כל עמוד כהוכחה לקריאת המסמכים והבנתם. בנוסף, טופס הגשת ההצעה והחוזה ייחתמו גם ע"י מורשי חתימה מטעם המציע, בצירוף חותמת רשמית של המציע.

הצעה תקציבית

המציע יגיש הצעה תקציבית מפורטת להפעלת המרכז ובה יפרט את כלל עלויות הפעלת המרכז באופן מלא במשך 5 שנים. על המציע לכלול את כל הוצאותיו לצורך ביצוע מלא ושלם של כל הפעילות שיידרש לבצע במסגרת קול קורא זה ולצורך אספקת התפוקות הנדרשות בו. בכלל זה פרוט מלא של עלויות רכש והתקנת הציוד, פחת והשבחת ציוד, הוצאות תפעול ותחזוקה שוטפות, הוצאות כ"א - הוצאות שכר אנשי הצוות הקבועים והעסקת מומחים שעתיים לצורך מתן מענה לשאלות מו"פ נקודתיות. הוצאות אלה כוללות גם את הוצאות נסיעתם, הוצאות בגין חופשה, מחלה, עלויות ציוד משרדי, תוכנה, עלות שכירה ואחזקה של האתרים והמשרדים ומקומות האחסון הנדרשים לצורך ביצוע פרויקט זה. **תקציב המרכז לא יחרוג מן המסגרת התקציב המקסימאלית המוקצית לטובת הקמת המרכז בקול קורא זה.**

דירוג המוסד המציע

בדירוג ההצעות יילקחו בחשבון הפרמטרים הבאים:

- (1) עמידה בכל תנאי הסף ובכלל זה איכות המבנה המוצע, מידת התאמתו לתקני תעשייה להקמת חדר נקי, איכות תוכנית הבניה וההתקנה ההנדסית של הציוד התשתיתי, ואיכות תוכנית התחזוקה הרב שנתית.
- (2) חוזקו של המוסד בתחומי טכנולוגיה המשיקים לתחום החלל בכלל ובתחום הלוויינות בפרט, ומידת מחוייבותו למו"פ בתחום זה.
- (3) ניתוח פוטנציאל תרומת המרכז, על פי הצעת המוסד המציע, לקידום המחקר והפיתוח המדעי בתחום הלוויינות הזעירה, לעידוד יזמות ולקידום חברות תעשייה.
- (4) בנוסף לעמידה בתנאי הסף יערך ראיון לצורך התרשמות מיכולותיהם ומניסיונם המוכח של מנהל המרכז ושל אנשי המפתח, בתחומים הנדרשים להצלחת המרכז.

9. סיכום

לאחר שוועדת הבדיקה בחנה את תחום הלוויינות הזעירה לעומקו, ראינה וחקרה את עמדתם של נציגי האוניברסיטאות, נציגי חברות התעשייה בתחום החלל ונציגי משרד הביטחון-מפא"ת, ולאחר שהציגה באופן מפורט את תוכנו של דו"ח זה בפני נציגי אגף התקציבים באוצר ונציגי הרשות לחדשנות, ממליצה הוועדה כדלקמן:

להקים מרכז תשתיות לאומי למחקר ולפיתוח בתחום הלוויינות הזעירה. המרכז יאפשר לתכנן, לייצר, לשלב ולבדוק ננו-לוויינים ומיקרו-לוויינים בתוך גבולות מדינת ישראל, ללא תלות בתשתית הקיימת בתעשיות הביטחוניות.

הועדה ממליצה כי מרכז תשתיות למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה יוקם בסמיכות לאחד המוסדות האקדמיים, אולם ישרת את כלל הצרכנים בארץ ויהיה נגיש באופן מלא לכלל האוניברסיטאות וחברות התעשייה. המרכז לא יהיה בשליטת האוניברסיטה, ועובדיו לא יהיו כפופים לאוניברסיטה המשמשת לו אכסניה. שירותי המרכז יינתנו למשתמשים במחיר תחרותי לשירותים דומים בחו"ל.

הועדה התוותה קוים כלליים למפרט השירותים ותחומי התוכן שיכללו במרכז התשתיות הלאומי, וכן את מבנה המרכז, את תקציבו ואת מנגנון התפעול שלו, כל זאת מתוך ראייה של השגת תועלת כלכלית מקסימאלית.

הועדה ממליצה ומפרטת את הפרמטרים לדירוג ובחירת המוסד האקדמי בסמיכות אליו יוקם מרכז התשתיות הלאומי, ואת תהליך בחירת המוסד בקול קורא.

הועדה קובעת כי מרכז התשתיות לאומי למו"פ בתחום הלוויינות הזעירה ישמש לא רק כמאיץ כלכלי אלא גם חינוכי, מדעי וחברתי. הקמת התשתית בארץ תיצור מעגל משוב חיובי: ככל שתגדל הפעילות כן יגדלו העניין, המודעות והרצון בקיום פעילות נוספת עד לקיום תעשייה תחרותית שתמשיך ותפתח את עצמה. איגום משאבים לאומי בתיאום בין-משרדי יאפשר להביא את מדינת ישראל לשורה אחת עם המדינות המובילות בעולם בתחום החלל החדש.