



מרכז המחקר והמידע

ננוטכנולוגיה בישראל – מידע ונתונים

הכנסת, מרכז המחקר והמידע

קריית בן-גוריון, ירושלים 91950

טל': 02 - 6408240 / 1

פקס: 02 - 6496103

www.knesset.gov.il/mmm

כתיבה: רועי גולדשמידט

אישור: יובל וורגן, ראש צוות

עריכה: מערכת דברי הכנסת

כ"ב אלול תשע"ז

13 בספטמבר 2017

מסמך זה נכתב לבקשת חבר הכנסת רוברט אילטוב והוא מציג רקע קצר על תחום הננוטכנולוגיה (להלן גם: ננו); מידע ונתונים בנושא; תוכניות ממשלתיות ייעודיות שהופעלו בתחום; פעילות אקדמית ומחקרית ופעילות מחקר ופיתוח (להלן: מו"פ) תעשייתית בתחומי הננו ועוד.

ננוטכנולוגיה או ננו-מדע הוא שם כולל לעיסוק במחקר ובטכנולוגיה של חומרים ברמה אטומית ומולקולרית בגודל של בין 1 ל-100 ננומטר (אורכו של ננומטר הוא מיליארדית המטר). המשותף למחקר ולמו"פ בתחומים אלה איננו זיקה לדיסציפלינה אחת, אלא גודלן של היחידות הנבדקות, המאפשר ללמוד על האופן שבו אטומים מתקשרים עם אטומים אחרים והופכים לחומר. תחום הננוטכנולוגיה הוא רחב ועוסקים בו חוקרים ממגוון דיסציפלינות מדעיות ובהן: ביולוגיה, כימיה, פיזיקה, הנדסה ועוד. הבין-תחומיות (אינטרדיסציפלינריות) של התחום והזיקה שלו להבנה וניהול של תהליכים ושל חומרים הופכים את המחקר בתחום לכה שיכול לשמש תשתית לתחומים רבים ולשמש מעין "טכנולוגיה גנרית" שיכולה לייעל לא רק חומרים ומוצרים אלא גם את תהליכי הייצור עצמם.

מן המסמך עולים בין היתר הדברים האלה:

- **נוכח המלצות האקדמיה הלאומית למדעים ופורום תשתיות לאומיות למדע (תל"מ) הוחלט לכונן תוכניות לאומיות לננוטכנולוגיה.**
- **התוכנית הלאומית הראשונה לננוטכנולוגיה פעלה במשך חמש שנים בשנים 2007-2011.** מטרת התוכנית היו: להקים תשתית פיזית, מדעית וטכנולוגית בתחום הננו בשש אוניברסיטאות המחקר; לבנות כוח אדם בתחומי הננו באמצעות השבת מדענים ישראלים מובילים לישראל; להתחיל ביישום תעשייתי של הישגי המחקר האקדמי. **במסגרת התוכנית הראשונה הוחלט על הקמת שישה מרכזי ננוטכנולוגיה בשש אוניברסיטאות המחקר.** התקצוב הישיר לתוכנית הלאומית הראשונה למשך התוכנית כולה עמד על כ-217 מיליוני דולרים; התקצוב ממקורות חיצוניים (מענקי מחקר תחרותיים, מענקי מדען ועוד) עמד על כ-320 מיליוני דולרים.
- **התוכנית הלאומית השנייה לננוטכנולוגיה הייתה גם היא חמש-שנתית ופעלה בשנים 2012-2016** בתקציב ישיר של כ-180 מיליוני דולרים ובתקצוב ממקורות חיצוניים של כ-580 מיליוני דולרים. מטרת התוכנית השנייה היו שימור וטיפוח התשתית המחקרית שהוקמה במהלך התוכנית הראשונה באוניברסיטאות באמצעות השבת מדענים מובילים לישראל; המשך וחיזוק המו"פ הייעודי בנושאי ננו ופיתוח העברת הידע ליישום בתעשייה לשם ביסוס תעשייה מבוססת מדע. כחלק מן התוכנית השנייה קודמה תמיכה בפעילות מחקר על בסיס תחרותי במסגרת "ת"מים" – **תחומים טכנולוגיים ממוקדים.** קבוצות המחקר התמקדו בתחומים אלה: ננו-חומרים; ננו-פוטוניקה; ננו-רפואה; ננו-ביולוגיה ושימושים פרקטיים של ננוטכנולוגיה להדפסה על משטחים שונים.
- **על-פי דוחות הסיכום של התוכניות הלאומיות, הישגי התוכניות כללו בין השאר:** השבת 176 מדענים מובילים בתחום לארץ; השקעה בציוד ננו בהיקף של כ-150 מיליוני דולרים וגיוס 126 מפעילי ציוד וטכנאים; עריכת מחקר מתקדם ופרסום מחקרים בהיקף נרחב (נכתבו כ-14,000 מאמרים); הכשרת תלמידים לתארים מתקדמים: 2,170 דוקטורים ו-2,230 מוסמכי תואר שני ומתוכם כ-25% המועסקים בתעשייה; הקמת חברות הזנק רבות; קבלת פטנטים בהיקף ניכר ומכירתם ויצירת 1,942 שיתופי פעולה בין האקדמיה לתעשייה.
- **בסוף שנת 2016, עם תום התוכנית הלאומית השנייה, נתקבלה החלטת הוועדות לנושא הננוטכנולוגיה (הוועדה הלאומית והוועדה המייעצת הבין-לאומית) כי לא תופעל תוכנית לאומית ייעודית נוספת לנושא וכי בהתאמה יפסיקו הוועדות עצמן את פעילותן.**
- מן התשובות שנתקבלו מנציגי האוניברסיטאות, מתוכם שלושה ממנהלי מכוני הננו, עולה כי הקשיים או האתגרים שאיתם מתמודדים המרכזים הם ככלל דומים וכוללים צורך בחידוש תשתיות וציוד מחקרי מתקדם; צורך במקורות מימון לרכישת ציוד חדש לצורך החלפת ציוד שמתיישן; צורך בקליטה ושימור כוח אדם מקצועי טכני לתפעול הציוד המתקדם, ועלויות קבועות גבוהות בשל היקף כוח האדם. **כל מנהלי מכוני הננו שהשיבו על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת ציינו כי לשיטתם יש צורך בתוכנית ייעודית נוספת לננו ולתמיכה**

בתקצוב המרכזים. על פי תשובת נציג מל"ג-ות"ת שליווה את פעילותן ותקצובן של התוכניות הלאומיות, עם סיום פעילות התוכניות, הסתיים גם המעקב והדיווח השיטתי והשוטף (מדי שנה) שהיה על פעילותם.

▪ **אינדיקציות לעצמות המחקר האקדמי בתחומי הננוטכנולוגיה:**

• מאז שנת 2005 ועד שנת 2016 חל גידול משמעותי במספר הפרסומים המדעיים הישראליים בתחומי הננו, מ-90 פרסומים בלבד בשנת 2005 ועד ל-361 פרסומים בשנת 2016. סך הפרסומים הישראליים בתחומי הננוטכנולוגיה משנת 2005 ועד אמצע יולי 2017 הוא 3,064 והם צוטטו בכ-50,000 מאמרים (כ-21 ציטוטים למאמר בממוצע).

• **בשנת 2016 ישראל הייתה במקום ה-20 בעולם בחלקם היחסי של הפרסומים האקדמיים בתחומי הננוטכנולוגיה (בפילוח של פרסומים ב-10 כתבי העת המדורגים ראשונים בדירוג זה), ושיעור של כ-1.5% מכלל הפרסומים כללו חוקרים ישראלים (159 מאמרים).** גם בשנת 2005 דורגה ישראל במקום ה-20 בפילוח לפי מספר הפרסומים ב-10 כתבי העת המובילים, אך חלקה היחסי באותה עת עמד על 0.9% בלבד (30 מאמרים).

▪ **תמיכת הרשות לחדשנות שבמשרד הכלכלה (לשעבר המדע"ר) בתחומי הננוטכנולוגיה:**

• **על פי תשובת נציג רשות החדשנות על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, הרשות איננה מפעילה תוכניות מוכוונות טכנולוגיה ספציפית. חברות רבות או מיזמים בשלבי בשלות ויישום שונים משתמשים – או יכולים להשתמש – בטכנולוגיות ננו, ויכולים להיעזר בשלל מנגנוני התמיכה של רשות החדשנות.**

עם זאת, לדבריו תחום הננוטכנולוגיה מטופל גם באמצעות שני מסלולים ייעודיים:

מסלול "נופר" שמטרתו לכוון את הישגי המחקר האקדמי ליישום רלוונטי לתעשייה. תמיכה בשנת פעילות אחת, במוסד מחקר ובלייווי של החוקר על ידי חברה המכוונת את החוקר ליישום תעשייתי. 90% מימון מתקציב רשות החדשנות, ו-10% מתקציב החברה המלווה. מסלול נופר מוגבל לתחומים אלה: ביוטכנולוגיה, ננוטכנולוגיה, מים ואנרגיה.

שת"פ ננו ישראל-גרמניה: תכנית דו-לאומית בהשתתפות גורמי אקדמיה ותעשייה משתי המדינות לקידום מחקר יישומי-תעשייתי. תקציב התוכנית לשנת הפעילות הקרובה עומד על 10 מיליון אירו (5 מיליון מכל מדינה); התוכנית אמורה לכלול 4 שותפים לפרויקט (מוסד מחקר ותאגיד תעשייתי מכל מדינה). שיעור המענק לפרויקט שתעניק רשות החדשנות יעמוד על 90% מעלותו בעבור האקדמיה ועל 50% מעלותו בעבור התאגיד התעשייתי, והוא יעמוד על עד 4 מיליוני שקלים לכלל תקופת הפרויקט – בעבור הקבוצה הישראלית.

• במחקר של מוסד שמואל נאמן בנושא ננוטכנולוגיה מאפריל 2015 (להלן דוח נאמן), צוין כי בין תוכניות התמיכה של לשכת המדען הראשי במשרד הכלכלה, רלוונטיות לתחום הננו תוכניות האלו: קמיי"ן; נופר (שהוזכרה לעיל); "מגנטון"; ומאגדי מגנט"ט – הרחבה על תוכניות אלו מובאת בגוף המסמך.

• על פי הנתונים שפורסמו בדוח הוועדה המייעצת הבין-לאומית (ומ"ב), **סך ההשקעה בתמיכות ומענקים מהמדען הראשי במשרד הכלכלה למרכזי הננו בין השנים 2007-2016 עמד על כ-77 מיליוני דולרים שהם כ-300 מיליוני שקלים, כלומר כ-30 מיליוני שקלים בממוצע בשנה** (תקציב לשכת המדען הראשי בשנים עברו עמד על כ-1.5 מיליארד שקלים לשנה).

▪ **חסמים לקידום המו"פ בתחומי הננוטכנולוגיה באקדמיה ובתעשייה**

• דוח של מוסד שמואל נאמן מסמן חסמים ואתגרים בשלבים שונים ובהם: הפער שבין מחקר אקדמי למו"פ יישומי והקושי המימוני שנוצר בתוכם; מגבלות בגין הליך המסחור המוטלות על הפעילות האקדמית; שחיקת תשתיות יקרות וחדשניות; מיעוט חברות תעשייה בעלת יכולות קליטת טכנולוגיות ננו; קשיי רגולציה, בטיחות והסברה ועוד.

• על פי תשובת המינהל למחקר, פיתוח אמצעי לחימה ותשתית טכנולוגית במשרד הביטחון (להלן: מפא"ת) על לפנייתנו אפשר לציין שני חסמים עיקריים: 1. **עלויות כניסה גבוהות:** הצורך בציוד מורכב וכוח אדם מיומן להפעלתו לשם עריכת מו"פ מחייבות השקעה ראשונית גבוהה; 2. **משך פיתוח מערכת או מוצר והטמעתם, ארוכים,** ובעקבות זאת חולף זמן ארוך עד להחזר השקעה.



ננוטכנולוגיה או ננו-מדע הוא שם כולל לעיסוק במחקר ובטכנולוגיה של חומרים ברמה אטומית ומולקולרית בגודל של בין 1 ל-100 ננומטר (אורכו של ננומטר הוא מיליארדית המטר).² המשותף למחקר ולמו"פ בתחומים אלה איננו זיקה לדיסציפלינה אחת, אלא גודלן של היחידות הנבדקות. הגודל מאפשר ללמוד על האופן שבו אטומים מתקשרים עם אטומים אחרים והופכים לחומר. התכונות הפיזיקליות, הביולוגיות והכימיות של חומרים ברמה הננומטרית יכולות להיות שונות בצורה מהותית מתכונות של אטומים בודדים. ידע ושליטה בתהליכי היווצרות חומר ברמה הננומטרית יכול לאפשר פיתוח תהליכים או חומרים מתקדמים עם תכונות חדשות שתחומי המחקר או היישום שלהם רבים ומגוונים. תחום הננוטכנולוגיה הוא רחב ועוסקים בו חוקרים ממגוון דיסציפלינות מדעיות בהם: ביולוגיה, כימיה, פיזיקה, הנדסה ועוד. הבין-תחומיות (אינטרדיסציפלינריות) של התחום והזיקה שלו להבנה ולניהול של תהליכים ושל חומרים, הופכים את המחקר בתחום זה לכזה שיכול לשמש תשתית לתחומים רבים ולהיות מעין "טכנולוגיה גנרית" העשויה לא רק לייעל חומרים ומוצרים אלא גם את תהליכי הייצור עצמם. לעיתים קרובות שיערו תחזיות כי תחום הננוטכנולוגיה יוביל למהפכה התעשייתית הבאה, אך עד כה, למרות ההתפתחויות בתחום, נראה כי אי-אפשר לדבר על מהפכה. עם זאת, הציפייה להשפעה גדולה של תחום זה על התעשייה ועל התפתחותם של תחומי תעשייה חדשים, עדיין קיימת. ההערכות בכל הקשור להשפעות האפשריות של תחום זה, לצד המשאבים הניכרים הדרושים לביצוע מחקר ומו"פ בתחום – בעיקר בשל הצורך לרכוש ציוד ומכשור מתקדם ויקר – הובילו מדינות שונות, ובהן ישראל, להקצות משאבים לא-מבוטלים למחקר ופיתוח בתחום.

1. התוכניות הלאומיות לננוטכנולוגיה

בשנת 2002 הקים נשיא האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים דאז, פרופ' יעקב זיו בתפקידו כיושב-ראש פורום תשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח (להלן: תל"ם)³ ועדת בדיקה לנושא הננוטכנולוגיה. הוועדה בראשות ד"ר דן מידן⁴ קבעה כי יש צורך לאומי מובהק בקידום הננוטכנולוגיה בישראל. היא ניסחה מטרות לאומיות, קבעה סדר עדיפויות לתוכנית שהוצעה והמליצה על הקמת ועדה לאומית לננוטכנולוגיה לשם קידום ההמלצות, יישומן וגיוס כספי תמיכה במו"פ.

בשנת 2003 בעקבות המלצות הוועדה מינה פרופ' יעקב זיו לראשונה ועדה לאומית לננוטכנולוגיה בראשות ד"ר דן מידן, בשיתוף המדען הראשי במשרד התמ"ת, מדענים וחוקרים. משימותיה של הוועדה היו:

- לקדם הקמת תעשייה מבוססת ננוטכנולוגיה בישראל באמצעות הקמת תשתית מחקרית וטכנולוגית, ובכלל זה ציוד ומעבדות מתאימות;

¹ ג' ואחרות, סקר לבחינת הקשיים בהעברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה, מוסד שמואל נאמן, אפריל 2015;

Steffi Friedrichs, "[Tapping Nanotechnology's Potential to Shape the Next Production Revolution](#)", in: *The Next Production Revolution*, OECD, 10 May 2017; The International Nano-Science and technology Advisory Board (INAB), Final Report, March 26 2017, p: 3.

² עובי שרעה של אדם ממוצע הוא כ-80,000 ננומטר; קוטר של תא דם אדום הוא כ-5,000 ננומטר. איתן אוקסנברג, "מה זה ננוטכנולוגיה?", מכון דוידסון, 27 בפברואר 2013.

³ פורום תל"ם הוקם ביוזמת האקדמיה בשנת 1997 לצורך איגום משאבים, ערכת פרויקטים ותיאום בין גופי מדע, כלכלה ומו"פ לשם פיתוח תשתיות לאומיות בתחום. בפורום חברים יו"ר ות"ת במועצה להשכלה גבוהה, המדען הראשי במשרד הכלכלה, מנכ"ל משרד המדע והטכנולוגיה, ראש מפא"ת במשרד הביטחון, סגן ראש אגף התקציבים במשרד האוצר ונציגת האקדמיה, המשמשת יו"ר הפורום – כיום פרופ' רות ארנון. ראו [באתר האקדמיה](#).

⁴ לשעבר נשיא חברת Applied Materials.



- לקדם קביעת מדיניות לאומית להקצאת משאבים לתחום הננוטכנולוגיה;
- לגייס תקציבים ציבוריים ופרטיים לתמיכה בתוכנית;
- להוביל את מימושו של התוכנית הלאומית ולכוון.

התוכנית הלאומית הראשונה לננוטכנולוגיה פעלה במשך חמש שנים בשנים 2007-2011.⁵ בשל המאפיינים הבין-תחומיים של הננוטכנולוגיה, הוחלט על הקמת שישה מרכזי ננוטכנולוגיה בשש אוניברסיטאות המחקר, כדי לבסס תשתית מדעית-טכנולוגית באוניברסיטאות. מטרת התוכנית היו:

- הקמת תשתית פיזית, מדעית וטכנולוגית בתחום הננו בשש אוניברסיטאות המחקר;
- בניית כוח אדם בתחומי הננו באמצעות השבת מדענים ישראלים מובילים לישראל;
- התחלת יישום תעשייתי של הישגי המחקר האקדמי.

לוח 1. תקציב התוכנית הלאומית הראשונה לננוטכנולוגיה (כל המרכזים), 2007-2011, במיליוני דולרים⁶

מקורות חיצוניים (מענקי מחקר תחרותיים; מענקי המדען הראשי ועוד)	סה"כ תקצוב	מימון משלים (Matching), אוניברסיטאות	תקצוב ממשלתי
322.5	217	145	72

כפי שאפשר לראות בלוח 1, התקציב הישיר של התוכנית החמש-שנתית הראשונה היה כ-217 מיליוני דולרים, מתוכם כ-72 מיליוני דולר תקצוב ממשלתי שרוכז על ידי פרום תל"ם ו-145 מיליוני דולרים מתקציבי האוניברסיטאות. עוד אפשר לראות בלוח כי שיעור המקורות החיצוניים: מענקי מחקר תחרותיים, מענקי המדען הראשי במשרד הכלכלה ועוד, היו מקור תקציב משמעותי אף יותר מהתקצוב הממשלתי-אוניברסיטאי למרכזי הננו (322.5 מיליוני דולרים לעומת 217 מיליוני דולרים). מימוש התקציב היה באחריותה של הוועדה הלאומית לננוטכנולוגיה אשר גיבשה מדיניות תמיכה והמליצה על התקצוב הדרוש ועל אופן המימון.

על פי דוח⁷ שכתבו יושב-ראש הוועדה המייעצת הבין-לאומית לננוטכנולוגיה, נשיא האקדמיה לשעבר ומרכז הוועדה, בין הישגי התוכנית הלאומית הראשונה אפשר לציין:

- השבת 88 מדענים מצטיינים מאוניברסיטאות בחו"ל, וקליטתם בקבוצות מחקר ומעבדות במרכזי הננו;
- רכישת ציוד מחקר בסיסי מודרני בהיקף של כ-100 מיליוני דולרים;
- שילוב של חוקרים מובילים ותשתיות מחקר מתקדמות הביא להישגים בין-לאומיים ולהכרה עולמית שבאה לידי ביטוי בין השאר בהשגת מענקי מחקר נרחבים ממקורות בחוץ לארץ.
- התוכנית הייתה מנוע לשיתוף פעולה אקדמי-תעשייה ובאה לידי ביטוי ביישום פטנטים, במכירת ידע ובהקמת חברות הזנק (סטארט-אפ).

התוכנית הלאומית השנייה לננוטכנולוגיה הייתה גם היא חמש שנתית ופעלה בשנים 2012-2016 בתקציב ישיר של כ-180 מיליוני דולרים.

מטרות התוכנית השנייה היו:

⁵ למעט בטכניון שבו היא החלה כבר בשנת 2005.

⁶ The International Nano-Science and technology Advisory Board (INAB), Final Report, March 26 2017, p: 31.

⁷ יהושע יורטנר ומאיר וינשטיין, "ננו-מדע וננו-טכנולוגיה בישראל 2015", [חוברת הנספחים לדוח מצב המדע 2016](#), עמ' 225-228.



- שימור וטיפוח תשתית המחקר שהוקמה במהלך התוכנית הראשונה באוניברסיטאות באמצעות השבת מדענים מובילים;
- המשך המו"פ הייעודי בנושאי ננו וחזקו ופיתוח העברת הידע ליישום בתעשייה, לביסוס תעשייה מבוססת מדע.

כחלק מן התוכנית השנייה קודמה תמיכה בפעילות מחקר על בסיס תחרותי במסגרת מה שכונה "ת"מיס" – תחומים טכנולוגיים ממוקדים. בכל מרכז מחקר נוצרה קבוצת מחקר שפעלה בתחום מובחן בשיתוף פעולה עם חוקרים ממרכזים אחרים לעריכת פרויקט מוגדר שנועד להגיע עד סוף תקופת התוכנית למצב של אב-טיפוס, חבילת טכנולוגיות או מוצר תעשייתי. הפרויקטים, שכאמור נבחרו בצורה תחרותית, התמקדו בתחומים אלה: ננו-חומרים; ננו-פוטוניקה; ננו-רפואה; ננו-ביולוגיה ושימושים פרקטיים של ננוטכנולוגיה להדפסה על משטחים שונים.

בלוח 2 להלן מוצגים נתונים על תקצוב המרכזים בתוכנית הלאומית השנייה:

לוח 2. תקציב התוכנית הלאומית השנייה לננוטכנולוגיה (כל המרכזים), 2012-2016, במיליוני דולרים⁸

מקורות חיצוניים (מענקי מחקר תחרותיים; מענקי המדען הראשי ועוד)	סה"כ תקצוב	שכר מתקציב ות"ת	מימון משלים (Matching) ת"מיס אוניברסיטאות	תקצוב ת"מיס	מימון משלים (Matching) לתשתיות, אוניברסיטאות	תקצוב תשתיות
584.5	180	30	45	30	45	30

כפי שאפשר לראות בלוח 2, התקציב הישיר של התוכנית החמש-שנתית השנייה היה כ-180 מיליוני דולרים, מחציתו תקצוב ממשלתי ומחציתו מתקציבי האוניברסיטאות. עוד אפשר לראות בלוח כי שיעור המקורות החיצוניים: מענקי מחקר תחרותיים, מענקי המדען הראשי במשרד הכלכלה ועוד, היה יותר מפי-שלושה מן ההקצאה של המדינה והאוניברסיטאות (584.5 מיליוני דולרים לעומת 180 מיליוני דולרים).

יצוין כי התוכניות הלאומיות נוהלו באמצעות מנגנון סדור: מנהלי התוכניות היו חברי פורום תל"ם: יו"ר ות"ת; המדען הראשי ברשות החדשנות, משרד הכלכלה; מנכ"ל משרד המדע; סגנית ראש אגף תקציבים במשרד האוצר; ובמשך התוכניות פעלו "ועדה לאומית לננוטכנולוגיה" (ול"ן) וכן "ועדה מייעצת בין-לאומית לננו-מדע וננו-טכנולוגיה" (ומ"ב). הוועדות עסקו בהתוויית מדיניות, הערכה ומעקב רציף אחר קיומן של התוכניות הלאומיות.

עם תום התוכנית הלאומית השנייה, בסוף שנת 2016 נתקבלה החלטת הוועדות לנושא הננוטכנולוגיה (הוועדה הלאומית והוועדה המייעצת הבין-לאומית) כי לא תופעל תוכנית לאומית ייעודית נוספת לנושא וכי בהתאמה הוועדות עצמן מפסיקות את פעילותן. מתשובות הגורמים שעסקו בנושא עולה כי ההנחה המקובלת היא כי בחלוף כעשור מאז הקמת ששת מרכזי המחקר באוניברסיטאות, הם מבוססים דיים ומסוגלים לפעול בהתבסס על מנגנוני התמיכה המקובלים – גיוס משאבים חיצוניים (מענקי מחקר ותרומות) ומשאבים פנימיים – תקצוב תוך-

⁸ The International Nano-Science and technology Advisory Board (INAB), Final Report, March 26 2017, p: 31.



אוניברסיטאי, וכן להיעזר בכלים שמציעה הוועדה לתכנון ותקצוב (הות"ת) שכוללים תוכניות לקליטת מדענים, לרכישת ציוד ועוד – בהתבסס על סדרי העדיפויות של האוניברסיטאות בהגשת הבקשות לתמיכות.⁹

על פי דוח מסכם שהגישה הוועדה המייעצת הבין-לאומית, עם תום תוכנית הננו השנייה, צפוי היקף התמיכה הממשלתית השנתית לרדת ביותר ממחצית: מ-60 מיליוני דולרים במהלך התוכנית, לכ-27 מיליוני דולרים עם סופה.

מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה אל נציגי האוניברסיטאות באמצעות ועד ראשי האוניברסיטאות (ור"ה). מן התשובות שנתקבלו מנציגי האוניברסיטאות,¹⁰ ובהם שלושה ממנהלי מכוני הננו, עולה תמונה שלפיה ככלל, הקשיים או האתגרים שאיתם מתמודדים המרכזים הם דומים וכוללים בין השאר את הצורך בחידוש תשתיות וציוד מחקרי מתקדם; הצורך למצוא מקורות מימון לרכישת ציוד שמתיישן ולהחלפתו; צורך בקליטה ובשימור של כוח אדם מקצועי-טכני לתפעול הציוד המתקדם, ועלויות קבועות גבוהות בשל היקף כוח האדם. מנהלי שניים מן המכונים ציינו בתשובתם את הקשיים במימון מלגות, הפוגעים לטענתם ביכולת להתחרות על דוקטורנטים או על תלמידי פוסט-דוקטורט. **כל מנהלי מכוני הננו שהשיבו לפניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת ציינו כי לשיטתם יש צורך בתוכנית ייעודית נוספת לננו ולתמיכה בתקצוב המרכזים.**¹¹ יצוין כי על פי תשובת נציג מל"ג-ות"ת שליווה את פעילותן ותקצובן של התוכניות הלאומיות, עם סיומן של התוכניות, הסתיים גם המעקב והדיווח השיטתי והשוטף (מדי שנה) שהיה על פעילותם. לדבריו, למרות הניסיונות שנעשו ליצור מנגנון כלשהו שימשיך לעקוב אחר פעילות המרכזים, הלכה למעשה, לא הוקם מנגנון כלשהו, ולכן אין פיקוח או מעקב על פעילות המרכזים.¹² לדברי נציג רשות החדשנות, חוקרים ממרכזי הננו מצויים בקשר עם הרשות, התומכת במחקר בתחום, ובכוונת הרשות לשמור על קשר עם מרכזי הננו, ובתיאום עם ראשי המכונים לקיים אחת לשנה מפגש עדכון ולמידה על המתרחש במכונים. עם זאת, אין כוונה למעקב מובנה על השימוש בציוד שנרכש וכדומה. לדבריו, עילת הקמת המכונים הייתה הקמת תשתית למחקר מתקדם ומחקר יישומי שיתרום לתעשייה, ונושא זה מצוי בטיפול רשות החדשנות באופן שוטף ואינו דורש, לדבריו, מעקב מיוחד.¹³

נראה כי בשל ההשקעה הרבה בהקמת המרכזים ובמיסוד התשתית הלאומית בתחום, היה מקום לבחון מנגנון דיווח או מנגנון אחר שיעקוב אחר התמודדותם של המרכזים עם המעבר מתמיכה והקצאות ישירות לעצמאות מלאה.

1.1. ההישגים של התוכניות הלאומיות לננוטכנולוגיה

הדוח המסכם שהגישה הוועדה המייעצת הבין-לאומית מנתח את ההישגים של התוכניות הלאומיות לננוטכנולוגיה. יצוין כי הוועדה המייעצת קיבלה דוחות מששת מרכזי הננוטכנולוגיה בהתאם לפרמטרים שנקבעו

⁹ נינה אוסטרובסקו ואמיר גת, צוות הקצבות למחקר, ות"ת, המועצה להשכלה גבוהה, תשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 1 ביוני 2017.

¹⁰ פרופ' יובל גולן, מנהל מכון הננו, אוניברסיטת בן גוריון; פרופ' יעל חנין, מנהלת מרכז הננו, אוניברסיטת תל-אביב, פרופ' אוריאל לוי, המרכז לננו-מדע וננו-טכנולוגיה, אוניברסיטה העברית, רונית קולר, מנהלת לשכת סגן הנשיא למחקר, הטכניון. התשובות נתקבלו באמצעות דוא"ל מהגב' דבורה מרגוליס, ראש מינהל ור"ה.

¹¹ שם.

¹² אמיר גת, צוות הקצבות למחקר, ות"ת, המועצה להשכלה גבוהה, שיחת טלפון, 17 ביולי 2017.

¹³ אילן פלד, מנהל זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות, דוא"ל, 23 ביולי 2017.



על ידיה, כדי לספק מבט מפורט מחד גיסא וכוללני מאידך גיסא על הישגי התוכניות. להלן תוצג ההערכה של הוועדה המייעצת ביחס להישגי התוכנית:

▪ גיוס והחזרה של מדענים

כחלק מהתוכניות הלאומיות גויסו והושבו ארצה 176 מדענים מובילים מארצות הברית ומאירופה, על פי הפילוח הבא: בר-אילן: 29 מדענים; בן-גוריון: 36; העברית: 33 מדענים; תל אביב: 36 מדענים; מכון ויצמן: 16 מדענים; הטכניון: 26 מדענים.

▪ שדרוג תשתיות מחקר וציוד ומתקנים

ההשקעה בתשתיות, בציוד, ובכוח אדם מיומן של טכנאים להפעלתו הם קריטיים במדע מודרני בכלל ובננוטכנולוגיה בפרט. סך-הכול הושקעו בציוד בתחומי הננו, בשתי התוכניות יחד כ-150 מיליוני דולרים, ההשקעה במתקנים (לא כולל מבנים) הייתה כ-35 מיליוני דולרים. גויסו 126 מפעילי ציוד, רובם בעלי הסמכה בתחום עיסוקם (Tenured).

▪ ביצוע מחקר מתקדם

שילוב מדענים בעלי שם עם תשתיות הולמות הוביל למחקר פורה. בכלל המרכזים נכתבו כ-14,000 מאמרים, מתוכם כ-3,200 בעקבות שיתוף פעולה בין-אוניברסיטאי.

▪ הוראה אקדמית

במהלך שנות הפעילות של התוכנית הוכשרו 2,170 דוקטורים ועוד 2,230 בוגרי תואר שני (מסטר) בתחומי הננוטכנולוגיה, כ-25% מתוכם מועסקים בתעשייה.

▪ קשרי אקדמיה-תעשייה

בשנים 2002-2016 (הקמת מרכז הננוטכנולוגיה בטכניון): הוקמו 102 חברות הזנק (Startups) ומתוכן כ-10 חברות אינן פעילות; דווחו 888 פטנטים מאושרים; בתוכנית הת"מים (תחומים טכנולוגיים ממוקדים או FTA – Focal Technological Areas) הוצגו קונספטים חדשים ושיטות להעברת קניין רוחני מהאקדמיה לתעשייה; נמכרו 272 פטנטים; בוצעו 1942 שיתופי פעולה עם התעשייה; משך השימוש בציוד המתקדם במרכזים על ידי גורמים בתעשייה, היה 3 שעות ביממה בממוצע (ועוד כ-9 שעות בממוצע על ידי צוותי המרכזים עצמם).

▪ מסחור והעברת ידע

החל בשנת 2011 הועסקו בכל מרכזי הננו "יזמי בית" (Entrepreneur in Residence) כדי לשפר את תהליכי מסחור הידע. מטרתם היא לזהות הישגים מחקרניים בני-מסחור. בחלק מן המרכזים גם הופעלו מנגנוני תמיכה למיזמים עם פוטנציאל: באמצעות חברת המסחור¹⁴ של האוניברסיטה העברית ובאמצעות הקמת תוכנית "מדגרה" (במכון ויצמן).

▪ הקמת מבנים ייעודיים למרכזי הננוטכנולוגיה

בדוח מצוין כי הוועדה המייעצת ראתה בחשיבות שמייחסות האוניברסיטאות למרכזי הננו סימן לכך שבחלק ניכר מהן ישנו מבנה ייעודי למרכזי הננו: בבר-אילן ובבן-גוריון הוקצו מבנים ייעודיים למרכזי הננו; האוניברסיטה העברית הקצתה מבנה נוסף בסמוך למרכז הננו וכך גדל שטח המעבדות; באוניברסיטת תל אביב צוין כי מתוכננת

¹⁴ כלל האוניברסיטאות מעסיקות חברות ליד האוניברסיטה שתפקידן הוא מסחור של תוצרי מחקר באמצעות פטנטים, מכירה או הקמת חברות.



הקמתו של מבנה חדש בעלות של כ-30 מיליוני דולרים והוא אמור לשמש כ-120 חוקרים וטכנאים. במכון וייצמן צוין כי הוגשה בקשה להקמת מבנה חדש לפקולטה לכימיה ולמעבדת מחקר חומרים.

להלן מוצגת טבלה המסכמת נתונים ומדדים עיקריים של התוכניות הלאומיות לננוטכנולוגיה וההישגים שלהן. למרות הצגת חלק מן הנתונים האמורים לעיל, הטבלה מאפשרת מבט כוללני ויש בה נתונים רבים ברמת הפירוט ביחס לכל אחד ממרכזי הננו.

לוח 3. נתונים ומחוננים נבחרים על התוכניות הלאומיות לננו טכנולוגיה (2007-2016)¹⁵

מרכזי הננו							מדדים
סה"כ	טכניון	ויצמן	תל אביב	העברית	בן-גוריון	בר-אילן	
587	210	50	106	84	77	60	חברים במרכז ועמיתים
176	26	16	36	33	36	29	מספר מדענים חוזרים שגויסו לסגל
1,986	30	323	170	161,180	175	108	מדענים "צעירים" ופוסט-דוקטורנטים
2,170	328	194	820	406	146	276	מסיימי תואר דוקטור
3,234	580	200	740	854	435	425	מסיימי תואר שני
13,986	3,223	1,822	2,001	2,515	2,133	2,292	מספר פרסומים מדעיים
3,194		468	590	741	589	806	מספר פרסומים מדעיים מבוססי שת"פ בין-אוניברסיטאי
1,942	301	80	264	575	69	653	מספר שיתופי פעולה עם תעשייה (ישראל וח"ל)
1,871	254	36	613	682	177	109	מספר פטנטים שהוגשו (Applied)
888	164	73	329	242	59	21	מספר פטנטים מאושרים (Approved)
141	18	5	36	32	40	10	מספר "סיפורי הצלחה" (סטארט-אפים; פטנטים שנמכרו)
272	7	22	40	165	17	21	מכירות פטנטים (קניין רוחני) שנוצרו כחלק מהתוכניות
57			29	28			הערך הפיננסי של מכירות הפטנטים (מידע חלקי) במיליוני דולרים
150	50	19	20	25	17	19	השקעה בציוד ננו בסיסי (מיליוני דולרים)
34.6	13		7.9	7.9	5.2	0.6	השקעה במתקנים חדשים (מיליוני דולרים)
126	12	30	19	15	33	17	מספר הטכנאים ומפעילי מתקני ננו שגויסו
36%	37%		35%	34%		31.70%	שיעור השימוש של עובדי המוסד בציוד שעלותו מעל חצי מיליון (מתוך 24 שעות)
12.6%	17%		7%	10%		16.6%	שיעור השימוש של גורמים מחוץ למוסד בציוד שעלותו מעל חצי מיליון דולר (מתוך 24 שעות)
785.5	81	168	190	160.5	84	102	סך הערך של מענקי מחקר מישראל ומחו"ל (מיליוני דולרים)
73.3	30	1.6	10.6	13	7.1	15	תמיכה של תוכניות המדען הראשי (משרד הכלכלה: מגנט, מגנטון, נופר, קמין) מיליוני דולרים
896.5	111	170	230	174.6	93.9	117	סה"כ תמיכות שלא מהתקצוב הישיר לתוכנית (מענקי מחקר; המדען הראשי; מפא"ת; תעשייה ועוד)

¹⁵ The International Nano-Science and technology Advisory Board (INAB), Final Report, March 26 2017, p: 72.

¹⁶ לא התקבל הסבר לפער החריג בין הנתון הגבוה של מוסד זה לבין נתוני המוסדות האחרים.



2. תוכניות לימודים אקדמיות בתחומי הננוטכנולוגיה

מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה אל המועצה להשכלה גבוהה בבקשה למידע ונתונים בהיבטים שונים הקשורים לנושאי ננוטכנולוגיה, ובהם קיומן של תוכניות לימודים בנושא. על פי תשובת נציגי מל"ג-ות"ת, "האוניברסיטאות מפעילות תכניות לימודים ייעודיות בהתמחות בננוטכנולוגיה לתלמידי מוסמך בלבד. במסלולים לתואר שני בננוטכנולוגיה לומדים הסטודנטים מקצועות בתחומי פיזיקה, כימיה, מדעי החיים וכדומה. כמו כן, בתכניות הלימודים מקבלים הסטודנטים ידע והכשרה לגבי טכנולוגיות הננו וחומרי הננו המתקדמים. ברוב מסלולי הלימוד קיימת אפשרות לבחור תחום התמחות מסוים, לצורך העמקת הידע. כך, התלמידים יכולים ללמוד לעומק את אפשרויות היישום של טכנולוגיות הננוטכנולוגיה בתחומי הרפואה, הביוטכנולוגיה החומרים ועוד. חובות התואר כוללות קורסים פרונטאליים, הגשה של פרויקטים מעשיים, שימוש במכשור המתקדם הקיים כיום בענף, הגשת עבודת מחקר (תזה) ועוד".¹⁷

על פי תשובת נציגי מל"ג – ות"ת, תוכניות לימודים ממוקדות לתואר שני בנושא ננוטכנולוגיה מופעלות בארבע אוניברסיטאות כמפורט להלן:

- **האוניברסיטה העברית** – מסלול התמחות בנו-מדע וננוטכנולוגיה, הנלמד במסגרת תואר שני בכימיה, תואר שני בפיזיקה או תואר שני בפיזיקה יישומית.
- **הטכניון** – תוכנית רב-תחומית המשלבת ידע ממגוון רחב של תחומי לימוד, ובהם לימודי הנדסת מכונות, לימודי הנדסת חשמל, לימודי פיזיקה, הנדסת חומרים, לימודי ביולוגיה, רפואה ועוד.
- **אוניברסיטת תל אביב** – מסלול לימודים לתואר שני ב"תכנית חומרים וננוטכנולוגיות"; התכנית נלמדת באחד מבתי הספר האלה: רפואה, פיזיקה, כימיה, הנדסה או מדעי החיים.
- **אוניברסיטת בר-אילן** – מסלול לימודים לתואר שני בפיזיקה, לתואר שני בכימיה או לתואר שני בביולוגיה, ומסלול המשך ייעודי לננוטכנולוגיה.

מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה גם אל ועד ראשי האוניברסיטאות (ור"ה) בבקשה למידע בנושא שבו עוסק מסמך זה. על פי תשובת פרופ' יובל גולן, מנהל מכון הננוטכנולוגיה באוניברסיטת בן-גוריון, שנתקבלה באמצעות ור"ה, **באוניברסיטת בן-גוריון יש תוכנית אקדמית לתואר ראשון בננוטכנולוגיה: תוכנית משולבת לתואר ראשון בננוטכנולוגיה המנוהלת על ידי המחלקה לכימיה (מדעי הטבע) והמחלקה להנדסה כימית (מדעי ההנדסה)**. על פי תשובת מנהל מכון הננוטכנולוגיה, התוכנית זוכה להצלחה גדולה ויותר מ-50% מבוגריה ממשיכים לתארים מתקדמים.¹⁸

לדברי נציגי מל"ג-ות"ת, על פי המידע שברשות המל"ג, כאמור לעיל יש תוכניות לימודים מובחנות רק בתואר שני, וייתכן שהפער בין תשובת אוניברסיטת בן-גוריון לתשובת מל"ג נובע מהגדרת המסלול כתוכנית לימודים נפרדת.

¹⁷ נינה אוסטרוז'קו ואמיר גת, צוות הקצבות למחקר, ות"ת, המועצה להשכלה גבוהה, תשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 1 ביוני 2017.

¹⁸ פרופ' יובל גולן, מנהל מכון הננו, אוניברסיטת בן גוריון, 30 במרס 2017. התשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת נתקבלה מגב' דבורה מרגוליס, ראש מינהל ועד ראשי האוניברסיטאות (ור"ה).



עוד ציין נציג מלי"ג, כי כפי שאפשר לראות בנתונים שפורסמו בדוח הוועדה המייעצת (ראו לעיל), גם במוסדות שבהם אין תוכנית לימודים מובחנת בננוטכנולוגיה (בן-גוריון, מכון ויצמן), ישנם תלמידים רבים הלומדים במחלקה מסוימת (כימיה, הנדסה, פיזיקה ועוד) המכניס את עבודת המסטר שלהם במרכזי הננו ובתחומי ננוטכנולוגיה.

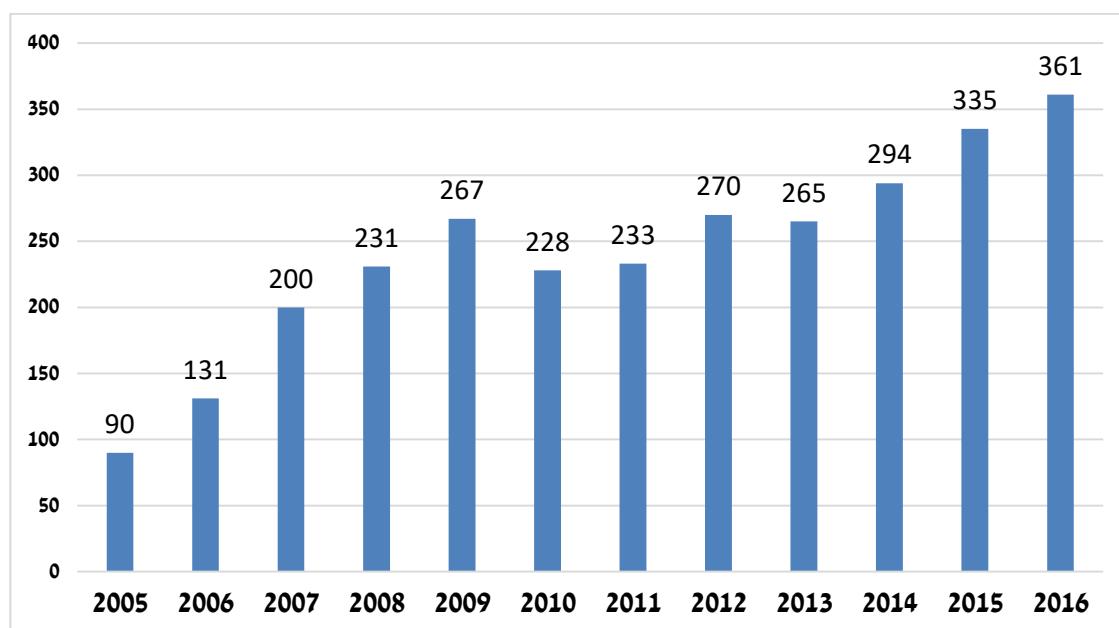
בכל הקשור לתוכניות לימודים לדוקטורט, לדברי נציג מלי"ג-ות"ת, אכן לימודי דוקטורט בתחומי הננו נערכים באוניברסיטאות המחקר, כפי שאפשר לראות בנתוני דוח הוועדה המייעצת, אך אלה אינם מוגדרים על ידי המלי"ג כתוכניות לימודים, כיוון שהם בנויים בעיקר מהוראה יחידנית ולא מתוכנית לימודים נרחבת ומובנית ("תלמיד-מנחה" ולא "כיתה" או "מגמה").¹⁹

לדברי פרופ' גולן ממכון הננו באוניברסיטת בן-גוריון, יש באוניברסיטה **תוכנית לדוקטורט בין-תחומי בננוטכנולוגיה**; גולן ציין כי קיומה של תוכנית זו מותנה במציאת מקורות חיצוניים למימון המלגות וכי היעדר מקורות מימון פנימיים, גורם לבריחת סטודנטים מוכשרים.²⁰

2.1. נתונים על פרסומים אקדמיים בתחומי הננוטכנולוגיה

להלן מוצגים בקצרה נתונים ביחס לפרסומים אקדמיים בתחומי הננוטכנולוגיה. מקובל לראות בנתונים מסוג זה, אינדיקציות להיקפי הפעילות בתחום ורמת המצוינות המדעית.

תרשים 1. מספר הפרסומים הישראליים בתחום הננוטכנולוגיה, 2005-2016²¹



כפי שאפשר לראות בתרשים 1, משנת 2005 ועד שנת 2016 חל גידול משמעותי במספר הפרסומים המדעיים הישראליים בתחומי הננו, מ-90 פרסומים בלבד בשנת 2005 עד 361 פרסומים בשנת 2016.

¹⁹ ראו למשל [באתר הטכניון](#);

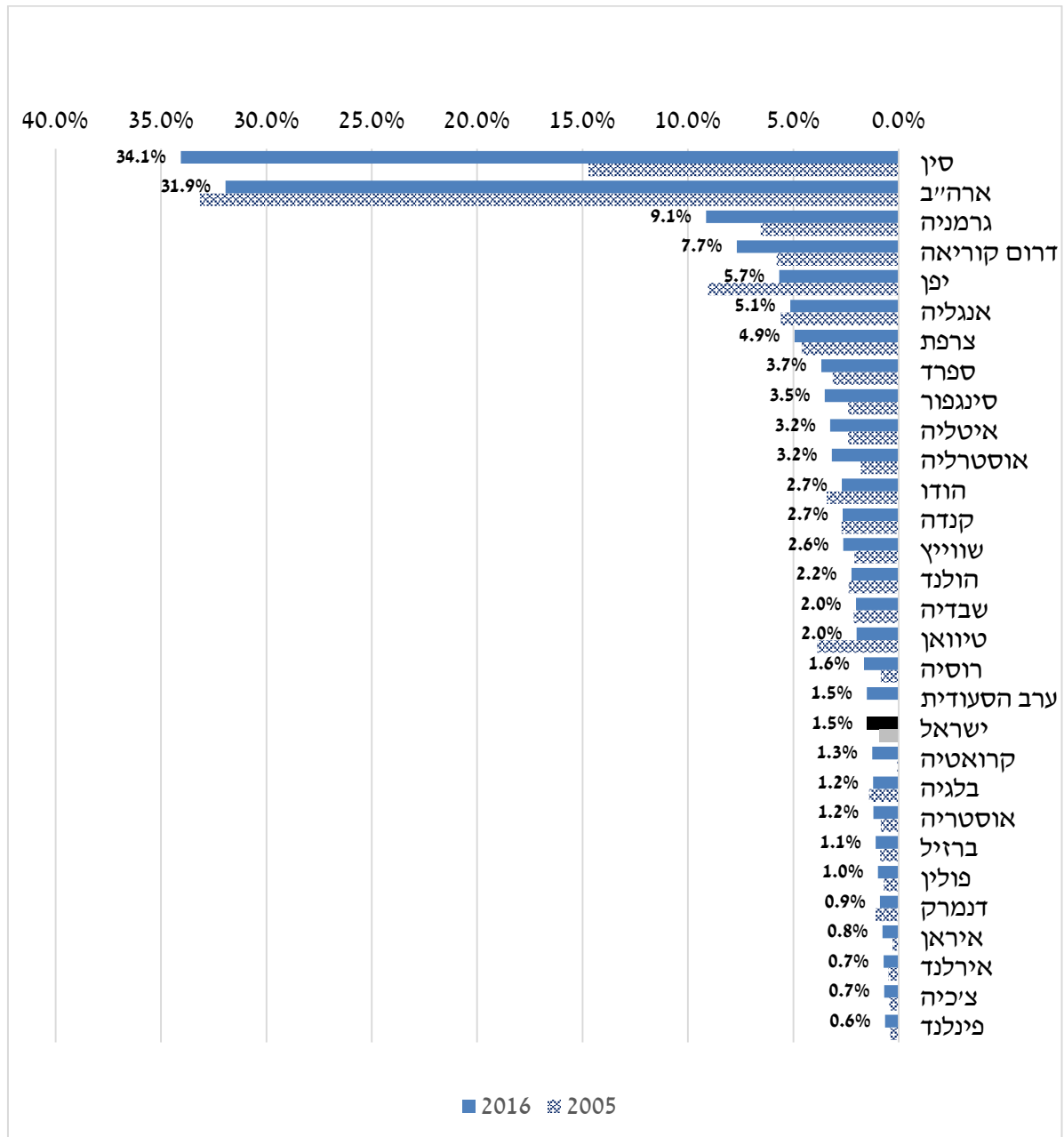
²⁰ פרופ' יובל גולן, מנהל מכון הננו, אוניברסיטת בן גוריון, 30 במרס 2017. התשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת נתקבלה באמצעות גב' דבורה מרגוליס, ראש מינהל ועד ראשי האוניברסיטאות (ור"ה).

²¹ על פי נתוני Web of Science בתת-התחום "Nanoscience & Nanotechnology" בחיפוש ב-Core Collection. מאמרים בכתבי עת ופרסומים בעקבות כנסים (Conference proceedings) תאריך כניסה: 24 ביולי 2017.



סך הפרסומים הישראליים בתחומי הננוטכנולוגיה משנת 2005 ועד אמצע יולי 2017 הוא 3,064 והם צוטטו בכ- 50,000 מאמרים (כ-21 ציטוטים למאמר בממוצע).²²

תרשים 2. דירוג 30 המדינות המובילות בשיעור הפרסומים ב-10 כתבי העת המובילים בתחום הננוטכנולוגיה, 2005 ו-2016²³



כפי שאפשר לראות בתרשים 2, בשנת 2016 ישראל הייתה במקום ה-20 בעולם בחלקם היחסי של הפרסומים האקדמיים בתחומי הננוטכנולוגיה (בפילוח של פרסומים ב-10 כתבי העת המדורגים ראשונים בדירוג זה), ושיעור של כ-1.5% מכלל הפרסומים כללו חוקרים ישראלים (159 מאמרים). גם בשנת 2005 דורגה ישראל במקום ה-20,

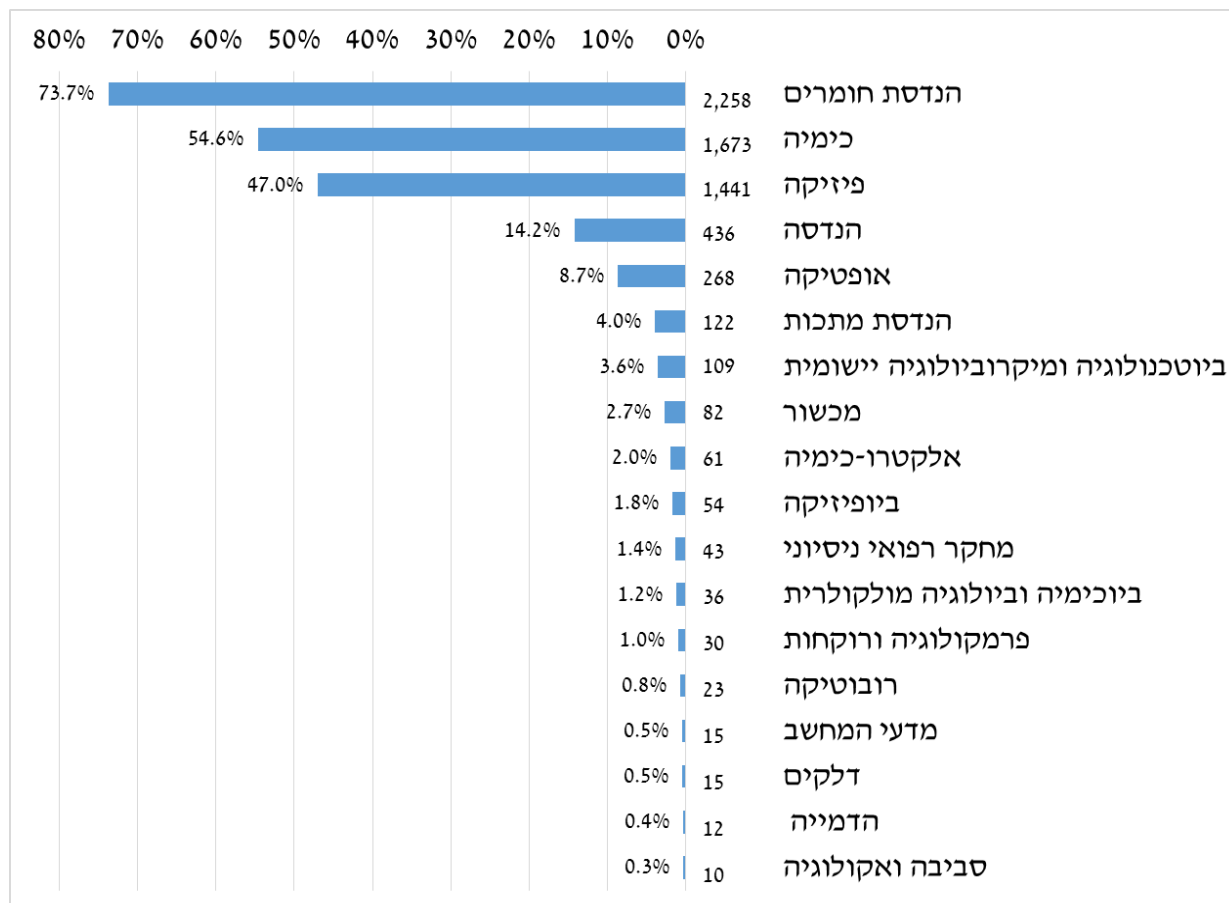
²² שם, מספר המאמרים ללא ציטוט עצמי; מספר הציטוטים למאמר, כולל ציטוט עצמי.

²³ על פי נתוני Web of Science עבור תת-התחום "Nanoscience & Nanotechnology" בחיפוש ב-Core Collection. תאריך כניסה: 19 ביולי 2017.



בפילוח לפי מספר הפרסומים ב-10 כתבי העת המובילים, אך חלקה היחסי באותה עת עמד על 0.9% בלבד (30 מאמרים). יש להדגיש כי הנתונים שבתרשים אינם מביאים בחשבון את גודלה היחסי של המדינה, מספר מוסדות המחקר והלומדים בהם. כפי שאפשר לראות בתרשים, סין וארצות הברית לבדן הן חלק הארי מכלל הפרסומים בתחום – יחד הן כ-66% מכלל הפרסומים בשנת 2016 (3,651 מאמרים עם חוקרים מסיין; ו-3,424 מאמרים עם חוקרים מארצות הברית). כפי שאפשר לראות, הגידול הדרמטי ביותר בהיקף הפרסומים היה של חוקרים מסיין.

תרשים 3. שיעור הפרסומים הישראלים בנוטכנולוגיה על פי תת תחום המחקר, 2005-2017²⁴



בתרשים 3, המבוסס על נתונים שהובאו ב-Web of Science, מוצג מספר הפרסומים בפילוח לפי תחומי המחקר (Research Areas) שבתוך הנושא "ננו-מדע וננו-טכנולוגיה" והוא כולל 18 תחומים שבהם היו 10 פרסומים או יותר במשך התקופה המוצגת (2005-2017).²⁵ האיור מספק אינדיקציה ביחס לעצימות הפעילות מחקרית בתת-הדיסציפלינות של תחום הננוטכנולוגיה.

3. מענקי מו"פ בתחומי הננוטכנולוגיה

מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה אל רשות החדשנות (לשעבר לשכת המדען הראשי) במשרד הכלכלה בבקשה למידע על תמיכות ומענקים בתחומי הננוטכנולוגיה ולמידע נוסף בנושא. יצוין כי נציג הרשות שהשיב לפנייתנו ריכוז

²⁴ על פי נתוני Web of Science עבור תת-תחום "Nanoscience & Nanotechnology" בחיפוש ב-Core Collection. תאריך כניסה: 19 ביולי 2017.

²⁵ שישה תתי-תחומים נוספים שאינם מוצגים באיור שבכל אחד מהם פורסמו במהלך השנים 4-8 מאמרים הם: חישה מרחוק; טוקסיקולוגיה, טלקומוניקציה, מערכות שליטה אוטומטיות, גיאוכימיה וגיאופיזיקה, רדיולוגיה רפואה גרעינית והדמייה רפואית.



את הפעילות של המשרד בניהול והפיקוח על התוכניות הלאומיות בתחום הננו, כנציג המדען הראשי במשרד הכלכלה שהיה חבר בפורום תל"ם.²⁶

על פי תשובת נציג רשות החדשנות, ככלל, הרשות איננה מפעילה תוכניות מכוונות טכנולוגיה ספציפית. חברות רבות או מיזמים בשלבי בשלות ויישום שונים, משתמשים – או יכולים להשתמש – בטכנולוגיות ננו, ויכולים להיעזר בשלל מנגנוני התמיכה של רשות החדשנות (שאינם דווקא ממוקדי ננוטכנולוגיה, כאמור לעיל, ושיוצגו בקצרה בהמשך). עם זאת, לדבריו, תחום הננוטכנולוגיה מטופל גם באמצעות שני מסלולים ייעודיים:

- **מסלול "נופר" שמטרתו לכוון את הישגי המחקר האקדמי ליישום רלוונטי לתעשייה.** משך התמיכה במסלול זה הוא שנת פעילות אחת והוא נערך במוסד מחקר תוך ליווי של החוקר על ידי חברה מלווה העוסקת בהכוונת החוקר ליישום תעשייתי. 90% ממימון הפרויקט במשך שנת הפעילות הוא מתקציב רשות החדשנות, ו-10% הנותרים מתקציב החברה המלווה. מסלול נופר מוגבל לתחומים אלה: ביוטכנולוגיה, ננוטכנולוגיה, מים ואנרגיה.

- **שיתוף פעולה בתחום הננו ישראל-גרמניה:** תכנית דו-לאומית בהשתתפות גופי אקדמיה ותעשייה משתי המדינות לקידום מחקר יישומי-תעשייתי. תקציב התוכנית לשנת הפעילות הקרובה עומד על 10 מיליון אירו (5 מיליון אירו מכל מדינה); יעד התקצוב לשנים הבאות הוא לשלש את התקציב לכ-30 מיליון יורו. על פי כללי התוכנית, היא אמורה לכלול ארבעה שותפים לפרויקט (מוסד מחקר ותאגיד תעשייתי מכל מדינה), שיעור המענק לפרויקט שתעניק רשות החדשנות יעמוד על 90% מעלותו בעבור האקדמיה ועל 50% מעלותו בעבור התאגיד התעשייתי, והוא יעמוד על עד 4 מיליון שקלים לכלל תקופת הפרויקט בעבור הקבוצה הישראלית.²⁷ לדברי נציג רשות החדשנות, ההחלטה על מיסודו של השת"פ ישראל-גרמניה בתחום הננו נועד כדי לתעל את הישגי המחקר האקדמי בתחום הננו ליישומים תעשייתיים.

במחקר של מוסד שמואל נאמן בנושא ננוטכנולוגיה מאפריל 2015, צוין כי בין תוכניות התמיכה של לשכת המדען הראשי במשרד הכלכלה, רלוונטיות לתחום הננו התוכניות: קמ"ן; נופר (שאזכרה לעיל); "מגנטון"; ומאגדי מגנ"ט.

- **תוכנית קמ"ן** (קידום מחקר יישומי נבחר) נועדה לעודד ביצוע מחקר יישומי באקדמיה ולהביא את המחקר האקדמי לשלב יישומי שאמור לעניין גורמים עסקיים להשקיע בהמשך פיתוחו; היקף התמיכה הוא של 85%-90% ועד סכום מרבי של 400 אלף שקלים לשנה (משך התוכנית שנה-שנתיים עם אפשרות הארכה בחלק מן המקרים ובהיקף מענק מופחת)²⁸;

- **תוכנית מגנטון** נועדה להעברת טכנולוגיה ממחקר אקדמי ליישום תעשייתי באמצעות ביצוע מו"פ להוכחת היתכנות המעבר מהמצאה מדעית למוצר תעשייתי. השתתפות בתוכנית דורשת קיומו של שיתוף פעולה בין מוסד אקדמי לבין חברה תעשייתית. שיעור התקצוב הוא עד 66% והיקפו לא יעלה על 3.4 מיליון שקלים לשני הגופים לכלל התקופה.²⁹

²⁶ אילן פלד, מנהל זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות, דוא"ל ושיחת טלפון, 8 במאי 2017.

²⁷ אתר רשות החדשנות, "כללי תוכנית שת"פ ננו-ישראל גרמניה", תאריך פרסום: 16 בינואר 2017.

²⁸ אתר משרד הכלכלה והתעשייה, [מסלול קמ"ן](#), עודכן ב-13 ביולי, 2017.

²⁹ אתר משרד הכלכלה והתעשייה, [מגנטון](#), 2016.



▪ **תוכנית מאגדי מגנ"ט** נועדה לסייע ביצירת מאגדים (Clusters), דהיינו קבוצות המחוברות כמה תאגידי עסקיים ומוסדות מחקר יחד לשם פיתוח טכנולוגיות תשתיות. שיעור המענק הוא עד 66% לחברה ו-100% למוסד המחקר. על פי תשובת נציג הרשות לחדשנות, ועל פי המחקר של מוסד שמואל נאמן בנושא, מאז שנת 2002 פעלו שלושה מאגדים בתחומי הננוטכנולוגיה. האחרון שבהם הוא NES (Nanotubes Empowerment solutions) שהחל לפעול בשנת 2009. המאגד כולל 13 חברות תעשייה ו-7 מוסדות אקדמיים ועוסק בפיתוח השימוש בננו צינוריות מפחמן ליישומים שונים.³⁰

אשר לשאלה מהו היקף התקציב שהוקצה על ידי רשות החדשנות (וטרם הקמתה), על ידי לשכת המדען הראשי במשרד הכלכלה) לחברות ומיזמים בתחומי הננו, השיב נציג הרשות, כי בשל הרב-תחומיות של נושא הננו, אין הוא יכול לספק נתונים מדויקים ביחס להיקף התמיכה. עם זאת, לדבריו, המדובר במענקים ותוכניות תמיכה בהיקף כולל של עשרות מיליוני דולרים.

כפי שאפשר לראות בנתונים שפורסמו בדוח הוועדה המייעצת הבין-לאומית (ומ"ב), **סך ההשקעה בתמיכות ובמענקים שהועברו בידי המדען הראשי במשרד הכלכלה למרכזי הננו בשנים 2007-2016 עמד על כ-77 מיליוני דולרים – כ-300 מיליוני שקלים, כלומר כ-30 מיליוני שקלים במוצע בשנה.**³¹ עם זאת, כאמור לעיל קשה לדעת אילו הקצאות נוספות הופנו לחברות שעושות שימוש בטכנולוגיות ננו כחלק מתהליכי ייצור או פיתוח מוצרים בתחומים אחרים. לשם דוגמה, חברה העוסקת בפיתוח זכוכית לרכב עשויה להשתמש בטכנולוגיות ננו, אף כי בפילוח המקובל תחום עיסוקה הוא תעשיית זכוכית והיא מקוטלגת כ"תעשייה מסורתית".

על פי המחקר של מוסד שמואל נאמן, היקף השימוש במסלולי התמיכה של המדען הראשי שמטרתם עידוד העברת מחקר בסיסי ליישומי ומחקר יישומי לתעשייה נמוך יחסית להיקף הפעילות בתחום הננו, כפי שזו באה לידי ביטוי במספר רב של חוקרים במרכזי הננו ובמספר רב של פרסומים אקדמיים. על האמור בדוח זה הגיב נציג הרשות לחדשנות וטען כי עברו שנים אחדות מאז ניסוח הדוח וכי המצב השתנה, ככל הנראה בשל התבגרות המחקר בתחום. עם זאת, בתשובתו צוין כי הרשות מעוניינת להמשיך ולקדם את המעבר ממחקר אקדמי לפן היישומי, ולכן הוחלט על פרויקט שיתוף הפעולה ישראל-גרמניה בתחום הננו.

מינהלת איסרד (ISERD) היא מינהלת הפועלת תחת רשות החדשנות ועוסקת בניהול תוכניות המסגרת של האיחוד האירופי לתמיכה במו"פ ותוכניות דו-לאומיות אירופיות נוספות, מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה אל המינהלת בבקשה למידע על זכויות במענקי מחקר בתחומי הננוטכנולוגיה. בלוח 4 להלן מוצגים נתוני איסרד בכל הקשור לשתי תוכניות המסגרת האחרונות – FP7 ו-Horizon 2020.

³⁰ ג' ואחרות, סקר לבחינת הקשיים בהעברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה, מוסד שמואל נאמן, אפריל 2015 עמ' 65.

³¹ תקציב לשכת המדען הראשי בשנים עברו עמד על כ-1.5 מיליארד שקלים לשנה.



לוח 4. נתוני הגשות זכיות במענקי מחקר של תוכניות מסגרת של האיחוד האירופי בתחומי הננו³²

התוכנית	FP7	Horizon2020
תקופת התוכנית	2013-2007	2020-2014
מספר הגשות בתחומי הננו (NMP)	395	357
מספר זכיות בתחומי הננו (NMP)	142	67
שיעור זכיה	36%	19%
ערך כולל של פרויקטים עם שותף ישראלי (מהאקדמיה, מהתעשייה או מגופים אחרים)	563 מיליון אירו	302.6 מיליון אירו
ערך כולל של פרויקטים עם שותף ישראלי מהתעשייה	317 מיליון אירו	103.1 מיליון אירו

כפי שאפשר לראות בלוח 4, בתוכנית המסגרת הנוכחית, הורייזן 2020, שיעור הזכיה של משתתפים ישראלים נמוך מזה של התוכנית הקודמת (FP7). עם זאת, שיעורי הזכיה של הישראלים בתחומי הננו (19%), גבוהים משיעור הזכיה הממוצע של כלל המדינות בכלל התוכניות (13%). לדברי נציגת איסרד, הירידה בשיעורי הזכיה נובעת משינויים במאפייני התוכניות בהם: תחרות גדולה יותר בין המגוישים והמדינות; קיצוצים רוחביים והכבדה על ההשתתפות ישראל בחלק מן התוכניות; מיקוד בסוגיות אירופאיות בעיצוב התוכניות ועוד. מנתונים שפרסמה הנציבות האירופית עולה כי הירידה בשיעורי הזכיה היא תופעה כללית.³³ עוד יצוין כי מתוך כלל הזכיות של משתתפים ישראלים, שיעור הזכיה שלהם בתחומי הננו עומד על 8.7%.

כפי שאפשר לראות בלוח, הערך הכולל של פרויקטים בתחומי הננו שבהם נטל חלק שותף ישראלי (אחד או יותר) עד כה (התוכנית ממשיכה עד 2020) הוא יותר מ-300 מיליוני אירו, ומתוכם כשליש הם פרויקטים שלהם שותפים גורמי תעשייה מישראל. יצוין כי נתוני ההגשות מתייחסים רק למגוישים שעברו את שני שלבי ההגשה ואינם כוללים את המגוישים שנפסלו לאחר השלב הראשון.

לוח 5. פילוח הגשות זכיות בתחומי הננו בהורייזן 2020 לפי תחומים³⁴

תת התחום	הגשות	זכיות	סך מענקים
ננוטכנולוגיה	225	46	10.2 מיליון אירו
חומרים מתקדמים	23	10	5.4 מיליון אירו
ביוטכנולוגיה	29	5	0.8 מיליון אירו
ייצור ועיבוד מתקדם	80	6	4 מיליון אירו

בלוח 5 מוצגות ההגשות והזכיות בתחומים הקשורים לננוטכנולוגיה לפי סקטורים, שכן תוכנית הורייזן 2020 בנויה במתכונת שונה מהתוכנית הקודמת ואין בה תוכנית אחת לתחומי הננו כמו בתוכנית הקודמת. כפי שאפשר לראות בלוח, מרב ההגשות והזכיות הן בתוכנית ננוטכנולוגיה ולסקטורים האחרים יש נפח קטן יותר.

³² הנתונים התקבלו מהגב' טוני לוי, מנהלת מידע ודיגיטל, איסרד, רשות החדשנות, דוא"ל, 26 ביולי 2017.

³³ European Commission, Horizon 2020 the EU Framework Programme for Research and Innovation, "[Horizon 2020 Statistics](#)", Accessed: 12 September 2017.

³⁴ ש.ם.



יצוין כי מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה כמה פעמים אל נציגת משרד המדע והטכנולוגיה בבקשה למידע – מדגמי או מפורט – על תמיכות במחקרים בתחומי הננוטכנולוגיה, אך לא זכה במענה לפנייתו.

4. פעילות משרד הביטחון בתחומי הננו

מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה גם אל המינהל למחקר, פיתוח אמצעי לחימה ותשתית טכנולוגית שבמשרד הביטחון (מפא"ת), בבקשה למידע על פעילות המינהל במו"פ בתחומי הננו, למרות מיקוד עוסק במו"פ אזרחי ולא במו"פ צבאי, אשר מטבעו נעשה בדרך כלל בצורה פומבית וגלויה פחות. על פי תשובת מפא"ת, טכנולוגיות ננו אכן משמשות את מפא"ת בעיקר בתחום החומרים ויש שונות במשך שנות הפעילות כך שישנם תחומים שבהם פועלים פרויקטים כבר 15 שנים. לדוגמה, בתחומי חיזוק חומרי מבנה ומיגון מתכתיים בטכנולוגיות ננו; ולעומת זאת תחומים צעירים יותר כמו הדפסה תלת-ממדית; מערכות חלל; מטא-חומרים ועוד שהפעילות בהם החלה לפני כשלוש שנים. כמו כן, הפרויקטים האמורים מבוצעים על ידי גורמים שונים: באקדמיה, בתעשייה הביטחונית ובשיתופי פעולה שונים; כמובן, קיימת גם שונות ברמת הבשלות הטכנולוגית של טכנולוגיות שונות.³⁵

5. מידע על תעשיית הננוטכנולוגיה בישראל

מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה אל הרשות לחדשנות, אל הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ואל התאחדות התעשיינים בבקשה לקבל מידע על תעשיית הננוטכנולוגיה בישראל. עם זאת, המידע המצוי ברשותנו הוא חלקי למדי, דבר הנובע כפי הנראה קודם-כול מאופיו הרב-תחומי של העיסוק בננוטכנולוגיה. כאמור לעיל, לצד חברות ותעשיות שהעיסוק בננוטכנולוגיה יכול להיות גרעין העיסוק שלהן, ישנן חברות רבות העשויות להשתמש בטכנולוגיות מתחומי הננו לשם שיפור של מוצר או של תהליכי הייצור שלו: כך למשל חברות תעשייה בתחומי המצברים; המחצבים; הפרמצבטיקה ועוד. מכאן כי המידע ביחס לשימוש בתהליכי ננו או לזיקה של החברה והתעשייה לתחום עשוי להיות קשה לפילוח.

עוד יצוין כי על פי דוח של ועדת מומחים של ה-OECD לנושא "אינדיקטורים למדע וטכנולוגיה" משנת 2017, בישראל, כמו במדינות נוספות, אין איסוף שיטתי של אינדיקטורים בנושא ננוטכנולוגיה וביוטכנולוגיה. בין האינדיקטורים המוגדרים של ה-OECD בנושא זה: מספר חברות פעילות בתחום הננו; הוצאה למו"פ בתחום הננו במגזר העסקי והוצאה למו"פ, בביצוע עצמי, במגזר הממשלתי ובהשכלה הגבוהה. בישראל, כאמור לעיל, לא נערך מעולם איסוף נתונים אלה. מידע זה נאסף במדינות שונות אך גם בבריטניה, ניו-זילנד, הולנד ומדינות נוספות הוא לא נאסף.³⁶

לדברי אילן פלד מהרשות לחדשנות, תעשיית ננו קיימת רק בתחום השבבים וזו קיימת בישראל בעיקר דרך אינטל וחברות העוסקות בבקרת תהליכי ייצור. עם זאת, לדבריו יותר ויותר חברות מטמיעות רכיבים מבוססי ננוטכנולוגיה במוצריהן וחשיבותו של התחום נובעת מאפשרות החדירה והשדרוג שלו לשלל תחומים טכנולוגיים.

³⁵ הדס דולב, עוזר ראש מפא"ת לתפקידים מיוחדים, מכתב תשובת המנהל למחקר ופיתוח אמל"ח ותשתית טכנולוגית על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 13 באוגוסט 2017. נתקבל מעו"ד רות בר, עוזרת שר הביטחון, 29 באוגוסט 2017.

³⁶ OECD, Working Party of National Experts on Science and Technology Indicators, "Current status and future options for the OECD Key Indicators on Biotechnology and Nanotechnology", 15 March 2017.



מרכז המחקר והמידע של הכנסת פנה אל הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, בין היתר נוכח זאת שבסקר מו"פ שהיא עורכת נכללת שאלה בדבר השימוש בטכנולוגיות ננו. עם זאת נציג הלשכה השיב כי אי-אפשר לספק נתונים על בסיס סקר זה, שכן הנתונים על ננוטכנולוגיה בסקר הם חלקיים ובלתי מייצגים.³⁷

כחלק מפעילות התוכניות הלאומיות לננוטכנולוגיה הוקם מאגר מידע שבו מרוכזים שמות החברות הפעילות בתחום הננו, בפילוח לפי תתי-תחומים ושמות החוקרים הפעילים באקדמיה בתחום זה. עם זאת, המאגר עודכן לאחרונה לפני כשנתיים ומאז לא נבדק או עודכן. לדברי נציג רשות החדשנות, הרשות מעוניינת לעדכן את המאגר אך בשל נסיבות הקשורות למעבר לדפוס הפעילות במסגרת הרשות לחדשנות טרם עודכן כאמור.³⁸ מבדיקה שערכנו ביחס לחלק מן החברות שבמאגר, עולה כי חלק מאתרי החברות כבר אינם פעילים או שהמידע בהם איננו מעודכן מזה זמן רב. סביר אפוא להניח כי זה מעיד על כך שחלק מן החברות כבר אינן פעילות. בפרסום שנערך על ידי הוועדה הלאומית לננוטכנולוגיה (ול"ן) בסוף יולי 2017 מצוין כי מתוך כ-120 חברות הזנק (סטארט-אפ) שנשפרו כ"סיפורי הצלחה" נותרו כיום כ-60 חברות. למרות חוסר הבהירות בכל הקשור למידת החפיפה בין החברות במאגר לאלו שב"סיפורי הצלחה", נראה כי זו אינדיקציה נוספת לשינויים במספר החברות הפעילות ולמידת העדכניות של המאגר.

מפאת ריבוי החברות והיעדר מידע נוסף עליהן (גודלן, מחזור הכספים שלהן וכדומה) המידע לא יוצג להלן, אך אפשר לאתר התוכנית הלאומית לננוטכנולוגיה.³⁹ עם זאת, כדי לתת אינדיקציה לריבוי התחומים, נציין כי על פי הפילוח הבסיסי ישנם חמישה תחומים עיקריים (ננוטכנולוגיה יישומית; תקשורת ואלקטרוניקה; סביבה ותשתיות; בריאות; תעשייה) ופילוח המשנה כולל עוד כשלושה עד חמישה תתי-תחומים לכל תחום (למשל תחום האלקטרוניקה והתקשורת כולל: רכיבים אלקטרוניים; רכיבים אופטיים; מדידה ובחינה אופטית; חלקיקים; ופולימרים).

סך הכול במאגר המידע של התוכנית הלאומית רשומות כ-140 חברות הפועלות בזיקה לתחומי הננוטכנולוגיה. יצוין כי המאגר כולל חברות בגדלים שונים, החל בחברות תעשייה גדולות (לדוגמה "מכתשים", "אינטל" ו"רפא"ל") וכלה בחברות הזנק קטנות.

6. סוגיות עקרוניות בפיתוח תחום הננוטכנולוגיה

באפריל 2015 פרסם מוסד שמואל נאמן מחקר שכותרתו: "סקר לבחינת הקשיים בהעברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה"⁴⁰. במחקר סומנו אתגרים וחסמים ספציפיים לקידום המסחור של טכנולוגיות ננו בתעשייה ואלה יוצגו להלן בקצרה.⁴¹

על פי המחקר האמור אפשר לסמן כמה חסמים וקשיים עיקריים בתהליך העברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה, כפי שאפשר לראות באיור 1.

³⁷ אביתר קירשברג, ראש תחום מדע וטכנולוגיה, אגף עסקים וכלכלה, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, דוא"ל, 28 באוגוסט 2017.

³⁸ אילן פלד, מנהל זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות, דוא"ל, 23 ביולי 2017. פלד ציין בתשובתו כי הוא מקווה שריענון נתוני המאגר ייערך עד סוף שנת 2017.

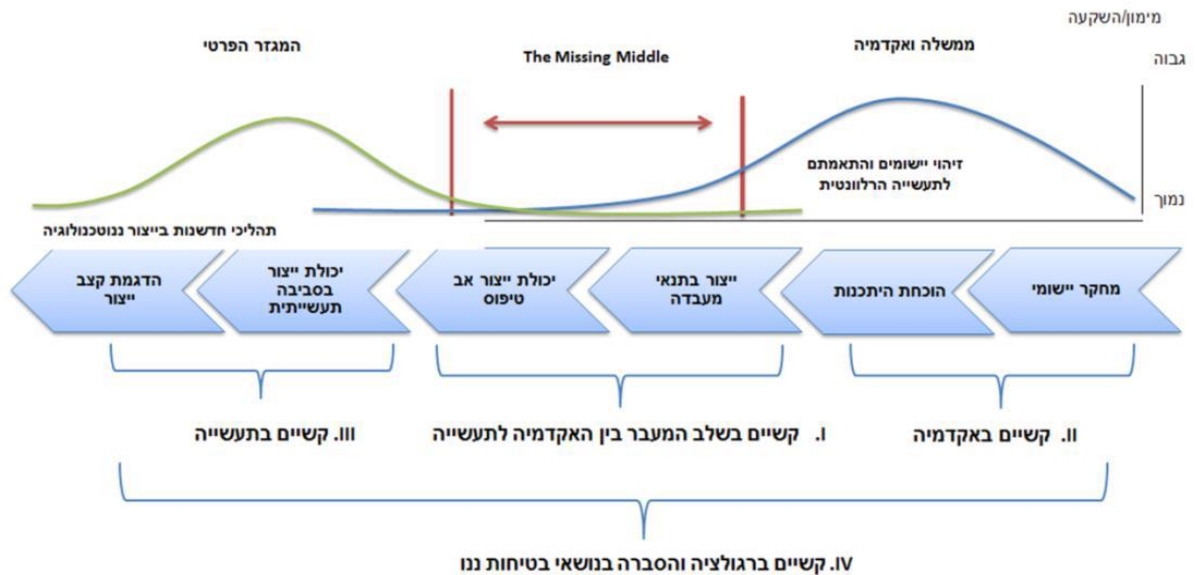
³⁹ Israel National Nanotechnology Initiative, "Database". Accessed: 19 July, 2017.

⁴⁰ בעקבות מכרז של הוועדה הלאומית לננוטכנולוגיה לעריכת מחקר בנושא, שהתקיים באפריל 2014.

⁴¹ גץ ואחרות, "סקר לבחינת הקשיים בהעברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה", מוסד שמואל נאמן, אפריל 2015.



איור 1. קשיים בהעברת ננוטכנולוגיה מהאקדמיה לתעשייה⁴²



על פי תשובת מפא"ת שאיננה מתייחסת במפורש לשלב שבו באים לידי ביטוי החסמים, אפשר לציין שני חסמים עיקריים לביצוע מו"פ בתחומי הננוטכנולוגיה: 1. **עלויות כניסה גבוהות**: הצורך בציוד מורכב וכוח אדם מיומן להפעלתו לשם מו"פ מחייבות השקעה ראשונית גבוהה; 2. **משך הפיתוח וההטמעה במערכת או במוצר, ארוכים** ובשל כך חולף פרק זמן ארוך עד להחזר השקעה.⁴³

על פי תשובת נציג חברת אינטל לפנייתנו, לצד הפוטנציאל לשיתוף פעולה של החברה עם תעשייה מקומית או גופים באקדמיה, ישנן מגבלות ובהן, לטענתו, מעט מדי מחקר טכנולוגי-יישומי בתחומי העניין של אינטל ותשתיות הלוקות בחסר.⁴⁴

▪ קשיים בשלבי המו"פ באקדמיה

הפער בין מחקר אקדמי למו"פ יישומי: במחקר אקדמי ובמו"פ מסחרי מושמים דגשים שונים. מחקר אקדמי מונע מסקרנות אינטלקטואלית, ולעומתו מו"פ יישומי עסוק בפיתוח יישום ספציפי לכדי מוצר. הדגשים השונים והמתח בין הצבת יעדים שונים אלה גורמים לכך שלפי דוח נאמן חלק מן החוקרים העוסקים במחקר בתחומי הננו אינם מעוניינים לעסוק במחקר בעל אופי יישומי-מסחרי. נוסף על כך, הליכי המסחר מגבילים את אפשרותם של החוקרים לפרסם מאמרים שהם מדד מקובל לבחינת הצלחתו של חוקר וקידומו. עוד נטען בדוח כי ככלל התכונות המאפיינות יזם שונות התכונות המאפיינות חוקר, וקשה למצוא אנשים המשלבים מצוינות בשני התחומים.

⁴² גץ ואחרות, "סקר לבחינת הקשיים בהעברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה", מוסד שמואל נאמן, אפריל 2015, עמ' 3.

⁴³ שם.

⁴⁴ רפאל גרסון, מנהל קשרי ממשל, אינטל ישראל, תשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 22 באוגוסט 2017.

במאמר מוסגר יצוין כי הפרספקטיבה של דוח נאמן ממוקדת בהיבט של מו"פ והעברת ידע לתעשייה ולכן הדוח מניח כי זהו יעד מרכזי. חוקרים מן האקדמיה יכולים לטעון כי יש ערך למחקר האקדמי גם ללא זיקה ישירה לשאלת יישומו בתעשייה.⁴⁵

היבט נוסף הוא **טענות של חוקרים ביחס לחברות המסחור** של המוסדות עצמם.⁴⁶ בין השאר, הועלו טענות על מחסור בכוח אדם, זמן תגובה ארוך, צורך בדחיפה של הנושא מצד החוקר בשל ריבוי הנושאים והפטנטים שמטופלים על ידי גופי המסחור ועוד.

שחיקה וחינוך תשתיות ננו. כאמור לעיל, תשתיות ננו הן חדשניות ומורכבות יחסית ולפיכך עלותן הפיננסית גבוהה. במשך התוכניות הלאומיות היו משאבים מוגדרים יחסית לנושא התשתיות, אך עם תום התוכניות יהיה צורך למצוא מנגנוני מימון אחרים. על פי הדוח, מנהלי מרכזי הננו ציינו כי הם עסוקים רבות בשאלה כיצד יתמודדו עם חידוש התשתיות בהיעדר תוכנית לאומית ואפיק מימוני ברור. עם זאת, לדברי נציג הרשות לחדשנות, בתקופת קיומן של התוכניות הלאומיות נדרשו המוסדות להפריש כספים לקרן תחזוקה וזו נועדה לשמש מקור למימון להמשך תחזוקת הציוד. משאבי הקרן אמורים להספיק לשלוש שנים לאחר תום התוכנית.⁴⁷ נוסף על כך, נציגי מל"ג-ות"ת ציינו בתשובתם כי כחלק מהתוכנית הרב-שנתית של מערכת ההשכלה הגבוהה מצוי נושא שיפור תשתיות המחקר, ולכן סביר כי מרכזי הננו יוכלו להתמודד על מקורות תקציביים אחרים למימון תשתיות.⁴⁸

▪ קשיים בשלב המעבר בין האקדמיה לתעשייה

על פי דוח נאמן, שלב המעבר שבו הסתיים כביכול המחקר האקדמי אך טרם הושלם המחקר היישומי – מוזמן קשיים ספציפיים בהם: חסר בתהליך מובנה ומנגנונים להעברת ידע; חסר בהשקעות ומימון ועוד. דווקא הרב-תחומיות של הנוטכנולוגיה גורמת למצב בו אין בהכרח שוק יעד או תחום ספציפי לפיתוח ולכן החלטה ביחס למיקוד של טכנולוגיה לכיוונים מסוימים דורשת הכוונה ושיקולים שאינם אקדמיים-מדעיים בעיקרם. בנוסף, נטען כי הדיאלוג בין האקדמיה לתעשייה בישראל איננו מפותח דיו ולכן אין מיצוי של פתרונות מן האקדמיה בתעשייה.

כאמור, סוגיית הקושי המימוני נובעת משלב שבו המחקר האקדמי הסתיים, אך רמת הבשלות של הטכנולוגיה והתאמתה לתחום ספציפי כך שתעודד השקעה של התעשייה – נמוכה, ולכן נוצר חסם המעכב קידום מיזמים או טכנולוגיות. עוד נטען בדוח, כי תחום הננו נתפס כחדשני ועתיר סיכון ולכן המוכנות של התעשייה להשקיע בחדשנות, איננה גבוהה.

▪ קשיים בשלבי התעשייה

על פי דוח מוסד שמואל נאמן קיימות בישראל מעט חברות גדולות וממוקדות חדשנות שערוכות לקליטה של טכנולוגיות ננו, (למעט התעשייה הביטחונית), ולכן אפיק המסחור העיקרי הוא חברות הזנק (סטארט-אפ). עוד צוין

⁴⁵ פרופ' גולן מאוניברסיטת בן גוריון ציין בתשובתו למשל, כי ייתכן שיש מקום לבחון את קיומה של תוכנית לאומית בנושאים שעוסקת במחקר בסיסי בתחום, ולא במחקר יישומי.

⁴⁶ Technology Transfer Office – TTO

⁴⁷ אילן פלד, מנהל זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות, דוא"ל, 23 ביולי 2017.

⁴⁸ נינה אוסטרובסקו ואמיר גת, צוות הקצבות למחקר, ות"ת, המועצה להשכלה גבוהה, תשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 1 ביוני 2017.



כי לחברות ביטחוניות יש הבשלות הגבוהה ביותר להעברת טכנולוגיות ננו ליישום בשל צרכים ספציפיים הנובעים ממצב ביטחוני, הסתכלות לטווח ארוך ותקציב ייעודי – אך אלה מתאפיינות במחקר המבוצע בתוך החברות עצמן.

בתשובה שנתקבלה ממפא"ת צוין כי בניגוד לתחומים אחרים, עיקר הצורך והמובילות מצויים בעולם האזרחי ולכן למעט ביחס לצרכים צבאיים ספציפיים (חומרים למיגון, יכולות בתדרי רדיו - RF שנגזרות ממטא-חומרים), צפוי כי הכיוון של מעבר טכנולוגיות בהקשר לתחומי הננו יהיה מן האזרחי לצבאי ולא אזרוח של טכנולוגיות צבאיות כמו בתחומים אחרים.⁴⁹ על פי הדוח, כיום טכנולוגיות ננו מציעות שיפור בתהליכים אך לא מוצרים חדשים לחלוטין או טכנולוגיות מהפכניות ולכן הרווח הצפוי בתחום בשנים הקרובות לא צפוי להיות בקנה מידה גדול מאוד. בתשובת מפא"ת צוין גם כי אין להתייחס לננו-טכנולוגיה כתחום טכנולוגי עצמאי אלא כאל יכולת המאפשרת (Enabler) לטכנולוגיות שונות להשתמש ב"ארגז הכלים" הננוטכנולוגי.⁵⁰ עם זאת, לטכנולוגיות ננו יש פוטנציאל משמעותי לקדם תעשיות מסורתיות, אך אלה אינן מתאפיינות בנטייה טבעית לאמץ חדשנות וחסימי הכניסה של תחום הננו, בשל הצורך בציוד יקר ובשל סוגיות בטיחות ננו, המגבילים כיום את היקפי האימוץ של טכנולוגיות אלה.

▪ רגולציה והסברה ביחס לביטחונות ננו

על פי דוח מוסד שמואל נאמן, יש מחסור בידע בקרב כלל הגורמים: המדענים, היזמים, התעשייה והציבור ביחס לביטחונות בתחום הננו. אין מידע מקיף מספיק וארוך טווח בנושא, הן ביחס להיחשפות עובדים כחלק מתהליך הייצור והן ביחס לצריכה ולשימוש במוצרי מזון, רפואה ועוד. היעדר תקינה ורגולציה בנושאי ביטחונות ננו מוסיפים אי-ודאות ומגבילים את התפתחות התעשייה ויש אף הרואים בהם חסם המשפיע על המוכנות של משקיעים להשקיע בשלב הביניים שבין האקדמיה לפיתוח התעשייתי. נוסף על כך, נטען כי המודעות של הציבור למושג ננוטכנולוגיה נמוכה ותפיסת הסיכון שלו של מוצרים בתחום גבוהה, ואינה מובחנת מספיק בהתאם לסוג המוצרים. לפי דוח נאמן, משרד הבריאות נטל חלק בתוכנית המסגרת השביעית למו"פ של האיחוד האירופי, במחקר בנושא ביטחונות ננו ויישום בטוח של חדשנות בתחום הננו-מדע וננוטכנולוגיה.

6.1. פתרונות אפשריים לקשיים של מו"פ בתחום הננו⁵¹

בדוח נאמן מוצגות גם הצעות לפתרונות אפשריים לקשיים שהדוח מציין, להלן הם יוצגו בקצרה:

ביחס לקושי במעבר בין מו"פ אקדמי ליישום בתעשייה, מוצעים כלים שונים ובהם ארגון כנסים או פורומים משותפים תעשייה-אקדמיה; השתלמויות ממוקדות בנושא העברת ידע וביקורים של אנשי אקדמיה בתעשייה. עוד מוצגת האפשרות להקים גוף שיעסוק בגישור על הפער-אקדמיה תעשייה, יכיר את טכנולוגיות הננו ויעסוק במציאת יישומים ותעשייה רלבנטית להם.

אשר לפערי הבשלות שבין מחקר אקדמי ויישום תעשייתי, בדוח מוצעת הקמת מכון מחקר יישומי בשיתוף מהנדסים וחוקרים שתפקידם לגשר את שלב הביניים שבין האקדמיה לתעשייה ולהעלות את רמת המו"פ עד שיהיה

⁴⁹ הדס דולב, עוזר ראש מפא"ת לתפק"מ, מכתב תשובת המנהל למחקר ופיתוח אמל"ח ותשתית טכנולוגית לפניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 13 באוגוסט 2017, נתקבל באמצעות עו"ד רות בר, עוזרת שר הביטחון, 29 באוגוסט 2017.

⁵⁰ שם.

⁵¹ גץ ואחרות, "סקר לבחינת הקשיים בהעברת טכנולוגיות ננו מהאקדמיה לתעשייה", מוסד שמואל נאמן, אפריל 2015.



בה די כדי להפוך את המחקרים מתאימים לבחינה ולהשקעה תעשייתית. לטענת מחברי הדוח מכוני מחקר יישומיים הם מודל הקיים בעולם. המודל הגרמני למשל נקרא "מכוני פראונהופר". מחברי דוח נאמן מציינים כי על שולחנה של הממשלה מונחת הצעת החלטה על הקמת מכון כזה. יצוין כי לדברי נציגי ות"ת-מ"ג, אין כיום כוונה להקים מכון כזה.⁵²

בתשובת מפא"ת צוין כי במדינות שונות בעולם פועלות מעבדות לאומיות שעוסקות בהבשלת יכולות מן האקדמיה עד שיהיו מוכנות לשילוב מסחרי. כך הן מגשרות על הפער בין שלב המחקר האקדמי לשלב היישום בתעשייה.⁵³

בכל הקשור לקשיים בשלבי המו"פ באקדמיה, מוצע כי האקדמיה תעביר לחוקרים ולחברות המסחור של המוסדות מסר ולפיו יש חשיבות וערך למסחור וליישום המחקר האקדמי, למשל באמצעות הכללת פרמטרים כאלה בתהליכי קידום החוקרים. עוד מוצע לשתף "מלווים עסקיים" בתהליכי המו"פ כדי שיסייעו לחוקרים העוסקים במו"פ יישומי בהכוונת המחקר.

בכל הקשור לקשיים בשלבי התעשייה, בדוח נאמן מוצע למצוא כלים ותוכניות שיאפשרו לתעשייה ללמוד על ההזדמנויות ועל הערך הגלום בתחום הננו כמנוע צמיחה להגברת התחרותיות והרווחיות; לבחון מתן הטבות (מענקים או הטבות מס) לחברות המפתחות במסגרת זמן מוגבל ומוגדר פתרונות יישומיים או מוצרים בתחומי הננו, בכפוף לאבני דרך שיוגדרו; הקמת תוכנית ננו לתעשייה המסורתית, לשם חיזוק היתרון התחרותי דווקא בחברות שאינן עתירות מו"פ; הגדלת החשיפה לתחום הננו ושיתופי פעולה עם גופים גדולים ועם חברות רב-לאומיות.

בכל הקשור לקושי הרגולטיבי והבטיחותי, מציעים מחברי הדוח להעלות מודעות לתחום הננו בקרב הקהל הרחב; לפעול מול גופי תקינה ורגולציה בעולם העוסקים בנושא זה בהיבטי ננו ולהפעיל מנגנון ייעוץ והכוונה של רשויות ומפעלים בנושאי ננו.

⁵² נינה אוסטרובסקו ואמיר גת, צוות הקצבות למחקר, ות"ת, המועצה להשכלה גבוהה, תשובה על פניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 1 ביוני 2017.

⁵³ הדס דולב, עוזר ראש מפא"ת לתפק"מ, מכתב תשובת המנהל למחקר ופיתוח אמל"ח ותשתית טכנולוגית לפניית מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 13 באוגוסט 2017, נתקבל באמצעות עו"ד רות בר, עוזרת שר הביטחון, 29 באוגוסט 2017.

