

10<sup>th</sup>  
anniversary

סוגיית המחסור בתקציב מו"פ וניהולו עולה תדיר במדינת ישראל. "ישראל עלולה לאבד את מקור הכוח שלה אם לא ישנו את הגישה שעוסקת בגיוס המשאבים למו"פ וניהולו", מתריעים קברניטי המשק בתעשייה ובאקדמיה ודבר כמעט שלא נעשה. גם כתבה זו תעסוק במחסור בתקציב - בדרישה להוסיף משאבים לתחום המו"פ והאופן בו מתנהלים הדברים כשהמיקוד הפעם יהיה בנישת הננוטכנולוגיה, שמיום ליום תופסת נדבך משמעותי בעולם המדעי והתעשייתי דבי קאופמן

# עולם פוטנציאל



” וילנסקי: אני סבור, שהפוטנציאל הכלכלי שטמון בננוטכנולוגיות בישראל הוא גדול מאוד, אבל במקום לקחת בספים שיושקעו כמו שצריך באקדמיה, אנחנו מפתחים מבשורי בקרה מסורבלים שמכבידים על תהליכי הייזום”

# אחד חלקי מיליון של המילימטר

מפלאות אחרות, ואולי מהפכה רבתי בשיטות הייצור התעשייתי החלום הרוחני: "ננו-אמבולריס" - מעין רובוטים זעירים המפרקים חומרים למולקולות ובונים מהם מוצרים שונים.

הדבר הראשון המתאפשר מטכנולוגיה כזו הוא יצירת חומרים חדשים לחלוטין, בהתאם לתכונות הנקבעות מראש. ניתן, לדוגמה, ליצור חומרים החוקים פי 100 מפלדה, אך הרבה יותר קלים ממנה. לפחות תיאורטית ניתן יהיה ליצור מבנה בגודל חדר, בעל חוזק אדיר, שניתן להרימו בהינף יד.

הדבר יכול להביא להפכה בתחומים רבים, כגון בתחום התעופה. ניתן יהיה ליצור מטוס נוסעים גדול, למאות נוסעים, שמשקלו יהיה קטן ביותר. מיותר לציין איזה חיסכון בדרק יאפשר מטוס קל כזה, שגם בטיחותו תגבר משום שלא יסבול כמעט מ"עייפות מתכת". גם בתחום כלי הטייס החלליים תכניס הננוטכנולוגיה מהפכה של ממש.

האופקים הננוטכנולוגיים כה רחבים עד כי מדענים אפילו טוענים שניתן יהיה לפתח טכנולוגיות ייצור שבהן מוצרים שונים ישכפלו את עצמם: ייצור מבנים חדשים על פי סדר אטומים ומולקולות שנקבע מראש. שיטת ייצור זו אמורה להיות זולה שבעתיים משיטות הייצור הנהוגות כיום.

מתוך מילון ויקיפדיה האנציקלופדיה החופשית באינטרנט.

ננוטכנולוגיה היא טכנולוגיה חדשה העוסקת בבניית עצמים מאבני בניין בממדים של ננומטר (אחד חלקי מיליון של המילימטר), כלומר, קבוצות של מולקולות ואפילו מולקולות או אטומים בודדים, ותאפשר לבנות מערכות שלמות בגודל של מולקולות בודדות. מי שהחזיר את המושג והשלכותיו מרחיקות הלכת לתודעת הציבור (בשנת 1986) היה אריק דרקסלר, בספרו of Creation Engines The Coming Era of Nanotechnology. אך בניגוד לדעה הרווחת, הראשון שהשתמש במילה "ננוטכנולוגיה" לא היה דרקסלר אלא נוריו טאניגוצ'י מהאוניברסיטה המדעית של טוקיו (הוא השתמש במושג זה עוד ב-1974 בהקשר לעיבוד עדין ביותר של מתכת).

רבים בקהיליית המחשבים והאלקטרוניקה תוהים מהו גבול המיועור של הרכיבים האלקטרוניים. בכל שנה מתרעים מומחים אלו או אחרים כי אנו מתקרבים לקצה יכולת המיועור ויש למהר ולתפשט טכנולוגיות חדשות שיאפשרו את שיפור הביצועים. ננוטכנולוגיה אמורה לתת מענה לדרישה זו, בדרך של המשך המיועור. טכנולוגיה זו, הנקראת גם ייצור מולקולרי, נמצאת כיום בשלבי מחקר במעבדות ובמכוניס שונים.

מגוון היישומים החזויים כולל רכיבים ננואלקטרוניים משוכללים שיאפשרו, למשל, מחשבייזעל בגודל של קוביית סוכר, חומרים בעלי חוזק פנטסטי ותכונות

# קטן, גדול

ארבעה נציגים של התעשייה, שני נציגי אקדמיה, וכמה נציגים מהממשלה וממערכת הביטחון. מתוך הסכום הוקצו כ-9 מיליון דולר לאוניברסיטאות לרכישת ציוד מחקר מתקדם. במקביל הוקם מאגר של מגנט במשרד המדען הראשי המתמקד בחומרי-ננו פונקציונלים. במאגר משתפות פעולה חברות תעשייתיות, חברות הזנק וקבוצות חוקרים בטכניון וברא"ל.

במקביל לאמצעים הממשלתיים הובילו אוניברסיטאות בישראל את נושא הפיתוח והקימו מרכזים לננוטכנולוגיה. כיום בכל אוניברסיטאות המחקר בישראל יש מרכזים לננוטכנולוגיה ולמימון פעילות המחקר בהם יזמה תל"ם, בשיתוף עם INNI, את מודל משולש המימון: "אם יש תורם פרטי שתורם כסף לאוניברסיטה למטרות פעילות בשטח הננוטכנולוגיה והאוניברסיטה מביאה סכום דומה ממקורותיה, הממשלה תתמוך בסכום זה", מסביר וילנסקי.

"הייתה הסכמה מלאה לגבי חשיבות הנושא, תוכניות העבודה והמודל, שכאמור, מכפיל פי 3 את הכסף הציבורי, אך תהליכי האישור ברמה הממשלתית היו ארוכים ומייגעים ללא רגישות לגיוס הזמן. עם זאת משרד האוצר - אגף התקציבים ומשרד המסחר והתעשייה, פעלו בעילות מופלאה. קובי הבר ואלי אופר, המדען הראשי בתמ"ת, היו ממש אופרטיביים, אולם פתאום צצו כל מיני מומחים שניסו לבנות בקרות מחשש לכסף, שיעלם, וזאת למרות שאנחנו, בוועדה, התאמנו בקרות פשוטות שיכולות להתאים לכולם. החשש היה שהעיקובים הביורוקרטיים ותהליכי הבקרה כפי שהוצעו יחבלו בקידום המחקר שגורם הומן בו כל כך קריטי.

"נוצר מצב בו תהליכי הבקרה ייצרו יותר משקל ניירות ממשקל מוצרים, ובמקום שאני אעשה את מה שאני טוב בו וזה תעשייה, מצאתי עצמי משקיע אנרגיה בריצות ובהתמודדות עם מכשולים שמעכבים את תחום הננוטכנולוגיה בישראל. אני סבור, שהפוטנציאל הכלכלי שטמון בננוטכנולוגיות בישראל הוא גדול מאוד, אבל במקום לקחת כספים שיושקעו כמו שצריך באקדמיה, אנחנו מפתחים מכשירי בקרה מסורבלים שמכבידים על תהליכי הייזום".

בשנים האחרונות קיבל תחום הננוטכנולוגיה תנופה גדולה בהשקעות, בעיקר בארה"ב שהכריזה על התחום כבעל חשיבות לאומית, וגם הקציבה לנושא יותר ממיליארד דולר בשנה. גם ישראל הכירה בנושא כחשוב, אבל הוא עדיין לא קיבל מסגרת לאומית מה שמונע את התפתחותו בצורה משמעותית.

"כיום באוניברסיטאות בישראל פועלות למעלה מ-250 קבוצות מחקר בנושא ננוטכנולוגיה, כשבטכניון מספר הקבוצות הגבוה ביותר. לפני מספר שנים נבדק הנושא בישראל באמצעות תל"ם, ואחת ההמלצות הייתה להתמקד בנישות מעולם הננוטכנולוגיות שישראל חזקה בהם. נעשו מאמצים ליישם את ההמלצות של תל"ם, אבל תהליך קבלת ההחלטות להקצאת משאבים היה ארוך ומיגע", אומר דן וילנסקי, ממקימי פעילות אפלייד מטיריאלס בישראל ששימש יו"ר החברה בארץ והבר הוועדה הלאומית לקידום תעשיית הננוטכנולוגיה (ISRAELI INNI NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE)

בשנת 2001, הקים פרום תל"ם, המאגד בישראל את כל הגופים העוסקים במחקר מדעי, ועדה בראשות דן מירון, או נשיא אפלייד מטיריאלס העולמית, שתגבש המלצות לממשלת ישראל בנושא הננוטכנולוגיה. הוועדה המליצה על יוזמה משותפת לממשלה, האקדמיה והתעשייה לקידום הננוטכנולוגיה בישראל. היא הגדירה כמה תחומים שבהם ישראל יכולה לבנות יכולת ייחודית ויתרון בינלאומי והמליצה על התמקדות במחקר בתחומי החומרים, הביולוגיה, האלקטרוניקה, בפיתוח תעשייתי בתחומי האלקטרוניקה, האנרגיה, הסביבה, התפלת מים, ביולוגיה ורפואה. לצורך כך הומלץ להשקיע 300 מיליון דולר על פני חמש שנים מתוך תקציבי הממשלה, האקדמיה והתעשייה.

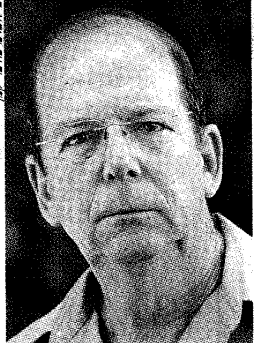
## משולש המימון

פרום תל"ם קיבל את המלצות הוועדה והחליט להקצות, בשלב ראשון, 30 מיליון דולר על פני חמש שנים למימוש המלצותיה. לשם כך הוקמה ועדה לאומית לננוטכנולוגיה בראשות דן מירון. ברובה שיתוף הפעולה בין הממשלה לאקדמיה ולתעשייה כוללת הוועדה





# עולם קטן, פוטנציאל גדול



דן וילנסקי

זה עד כדי כך בעייתי? "ישראל צריכה להבין שהעולם רץ קדימה, והמכשולים שמונחים לפתחנו רק מעכבים את העניין. האוניברסיטאות רוצות להתחיל לחקור בתחום ולפתח מוצרים, יש להם חלק מהכסף, אך התהליכים להתגעת התהליך עכבו את תחילת המרוץ. לשמחתי אומר שלפני מספר ימים הצלחנו, בכוחות משותפים של כל הגורמים, להסיר את כל המכשולים ואנו מוכנים לצאת לדרך."

מה אפשר ללמוד מהתהליך? "תהליכים כרויים מגדירים היטב את תהליכי העבודה ואת הזכויות לקבלת תמיכה ממשלתית. מעקב ע"י ועדה מקצועית עשוי למוער את הצורך במערכות בקרה מסורבלות והשקעת אנרגיה מיותרת שנדרשת, בעיקר לקידום העבודה המדעית."

מה באשר לשיתוף פעולה בין האוניברסיטאות והתעשייה, שם אין בעיות? "גם שם יש בעיות, אבל אנחנו רואים יותר התקרבות כי הם מבינים שהם חייבים לשתף פעולה. הם מבינים שרק שיתוף פעולה יביא פרסים גדולים, כמו פרס נובל. אישית אני מעדיף שאת פרס נובל יקבלו שני פרופסורים מאוניברסיטאות שונות מאשר לא לקבל בכלל פרסים בגלל אי שיתוף פעולה."

השוק הפרטי כבר בשל להשקעות בננוטכנולוגיות, האם זה עדיין לא מוקדם מדי? "ישנן חברות מוצלחות שמוכרות במיליונים. אני מציע לתעשייה להיכנס לדיאלוג בשלב מוקדם עם חוקרים וחברות בתחומי הרפואה, חומרים, מים וכדומה. ולקרנות ההון סיכון אני מציע שיקדמו את מסלול השקעות הסיד (SBED) בתחום. חייבים לזכור שגם בתעשיית הסמיקונדקטור לא ראו בהתחלה את הפוטנציאל הטמון בטכנולוגיה ובסופו של דבר הגיעה התעשייה להצלחה מסחררת בתחום. כך אני צופה גם לגבי תעשיית הננוטכנולוגיות. יש בישראל פיתוחים מצוינים רבים שעוד נשמע עליהם וכדאי שנתחיל להשקיע בהם יותר, כי אחרת זה לא יקרה. חוקרים שאין להם תקציבים ומימון ייקחו את הרגליים שלהם וייצאו מפה. יפתחו את הפיתוחים שלהם במקום אחר בעולם, ותבל".

**כשהאקדמיה סתחרבת לתעשייה**  
פרופ' רשף טנאי, ראש המחלקה לחומרים ופני שטח במכון ויצמן וראש המחקר למדעי הננו ע"ש קימל במכון ויצמן, יום את חברת ApNano Materials על בסיס טכנולוגיה שפיתח באקדמיה. "היקף הננו בעולם הוא אדיר. כמות המאמרים שיוצאים בתחום היא עצומה. אני יושב ב-5 כורדים שקשורים בננו, ובכלל העולם התחום מתפתח בקצב. ישראל תופסת חלק קטן, אבל משמעותי וחשוב לקדם את הנושא כדי שלא נפספס", הוא אומר.

לדבריו, ב-15'10 השנים האחרונות התחום דוהר קדימה. "אני דחפתי את הנושא של ננו חומרים ויצרתי תת ענף חדש שנקרא ננו צינוריות וננו כדורים. החלתתי ב-1992 בפרסום סדרת מאמרים, אבל הנושא קיבל דחיפה משמעותית בשנת 2000 כשהרבה קבוצות התחילו להיכנס לתחום. במשך השנים הצלחנו להראות שיש הרבה אפליקציות בפוטנציאל. "האפליקציה הראשונה הייתה על תכונות לוביקציה-שימון, שנובעות מהעובדה שנגנו כדורים הם מעין ננו מביסים, זו הייתה ההיפתוח הראשונה וראינו שזה עובד. מדובר על חומר שיכול לשמש כמשמן בתוסף לדלק, לגריו או לשכבות שמחליקות בעצמן והאפליקציות בתחום הן רחבות. אין למעשה משמנים ברמה כזו, לא באיכות ולא בתכנון. אין חומרי סיכה יבשים שיכולים לספק סיכה כמו החומר הזה."

ומה שיש היום בעולם הסיכה לא מפיק? "מה שקיים היום מצוין, אבל החומרים הקיימים הם בעלי אפקטים סביבתיים. הרבר המרכזי שהצלחנו להדגים זה טכנולוגיות חדשניות בזכות החומרים. בשנה האחרונה הרגמנו על טכנולוגיות רפואיות רבות, כמו חוטים אוטרטורנטים משופרים - אנחנו מצפים את החוטים בחומרים שלנו, שכבת מתכת שבתוכה יש את הננו חלקיקים והם מורידים את החיכוך. לטכנולוגיה פוטנציאל גדול ויש לה השלכות על הרבה יישומים רפואיים."

יש הרבה פניות מהתעשייה לשיתוף פעולה ביישומים השונים? "למרות שאני באקדמיה אני מקבל פניות רבות מרופאים ואנשים מהתעשייה. מבינים שנגנו חומרים יכולים להיות מאוד חזקים ויכולים לשמש כחומרי מיגון וכדומה. חשוב לי להדגיש, שבנגנו חומרים ישראל נחשבת משפיעה מאוד. הבעיות לא פשוטות, לפחות לא בתחום שלי - סינטיזת חומרים, ובעתיד יצטרכו מאות ואלפי טונות בשנה. היום אנחנו במצב שזה לא טריוויאלי לייצר טון חומר, בעיקר לא כשבינים אנחנו מייצרים כ-20 גרם. זה מאוד מורכב."

מה קורה ברמה האקדמית בתחום? "ברמה האקדמית יש צורך במחקר, לכן נוצר פרויקט תל"ם שאמור לתמוך באקדמיה, בייצור משאבים ויכולות שיאפשרו לישראל להיות תחרותית. הממשלה הבטיחה ואני מקווה שתקיים, לפתח תשתיות שתאמו לפיתוח התחום. כרגע זה נעשה בצורה איטית, למרות שיש צורך במוצרים. הממשלה חייבת להבין שאנחנו בתחרות עם שאר העולם ואנחנו צריכים להתפתח כדי לעמוד בחזית. אנחנו לא יכולים לעמוד, כמו רגמניה יפן או ארה"ב, בחזית אבל אנחנו יכולים לקחת תחומים מסוימים ולפתח אותם. במכון ויצמן יש לנו את כל התנאים והמשאבים להתקדם, אבל אנחנו צריכים תמיכה בעוד דברים, כדי לחזק את היכולות, ואם מחלקים את המשאבים שקיבלנו על כמה קבוצות מחקר זו לא הוצאה גדולה. אני לא אומר שצריך לפזר כספים, אבל גם לא לרכז פרויקטים בחוסר תקציב. הברורים צריכים להיבנות בצורה רציונלית."

**טנאי: הממשלה הבטיחה ואני מקווה שתקיים, לפתח תשתיות שיתאמו לפיתוח התחום. כרגע זה נעשה בצורה איטית, למרות שיש צורך במוצרים. הממשלה חייבת להבין שאנחנו בתחרות עם שאר העולם ואנחנו צריכים להתפתח כדי לעמוד בחזית"**

כיום ההשקעות בציוד לעולם הננוטכנולוגיות מגיעות לכ-100 מיליון דולר. התקציב השנתי עומד על יותר מ-30 מיליון דולר והם מוענקים לכ-250 חוקרים בתחום (נכון לשנת 2005). כשליש מהחוקרים הישראלים משתתפים בתוכניות בתחום ננוטכנולוגיה, במסגרת תוכנית המר"פ האירופית FP6, ויש להם שיתופי פעולה רבים עם חוקרים מארה"ב והמזרח הרחוק. בשנים האחרונות הוקמו מספר מרכזי מחקר בננוטכנולוגיה וננוטכנולוגיה ליד האוניברסיטאות בהשקעות נכבדות, כששליש מהן מגיע מהממשלה.

בישראל קיימות מעל 50 חברות ננוטכנולוגיות, רובן הן חברות הונק שמפתחות מוצרים המבוססים על טכנולוגיות ננו. השקעות פרטיות בחברות אלה לשנת 2005 מסתכמות בכ-76 מיליון דולר. בנוסף, יש מספר חברות רב-לאומיות שמקיימות פעילות ננו בישראל. לאור חשיבות הנושא, מוסד שמואל נאמן בטכניון, שהקים ומנהל את מרכז המידע של מאגד מגנט'ש בנושא ננו חומרים (NFM), הגיש הצעה להשתתפות בפרויקט Nanodistrict במסגרת תוכנית מחקר אירופית בשם PRIME, בה הוא חבר. לדברי ד"ר רפנה גץ, חוקרת במוסד שמואל נאמן בטכניון שעומדת בראש הפרויקט, "הפרויקט הציב לו למטרה לפנות את הפעילות של ננוטכנולוגיה באקדמיה ובתעשייה בארצות אירופה ובעולם ולחקור את התפתחות תעשיית הננוטכנולוגיה ואת הקשרים בתוך התעשייה ועם האקדמיה. הקבוצה אמורה לבחון, בין השאר, את תפקידן של חברות הונק ושל חברות גדולות בתעשיית הננו ולחקור את שיקולי בחירת המיקום של מפעלים רב לאומיים העוסקים בתחום". לדבריה בנוסף, מוסד שמואל נאמן נעדר לבחון את הפעילות של המכון לננוטכנולוגיה ע"ש ראסל כרי, הנמצא בטכניון, ולהעריך את התוצאות וההשפעות של פעילות החוקרים במסגרת המכון. לטענתה, יש לישראל היכולת להפוך את הננוטכנולוגיה למנוע צמיחה למחקר לתעשייה ולכלכלה בישראל.

# כמה פוטנציאל יש ביננו?