

25.52x26.19	1/4	88	עמוד	ספר ההיי טק הישראלי	הארץ -	28/12/2016	56551237-4
פרופ' זאב תדמור - יו"ר מוסד נאמ - 85300							

ספר ההיי-טק הישראלי / המחסור בכוח אדם טכנולוגי

88

המחסור מתגבר
דיון עומק על המחסור בכוח אדם
טכנולוגי, שחוסם את ההיי-טק
הישראלי, ועל הדרכים לפתורנו

הכשרה מדעית וטכנולוגית: להרחיב את צווארי הבקבוק

המחסור המתמשך במהנדסים, מדענים, טכנאים והנדסאים, מאיים לא רק על ההיי-טק הישראלי, אלא מהווה חסם לצמיחת המשק כולו. מצב זה מחמיר וישפיע לדעה על יכולותיה של ישראל במדע וטכנולוגיה ועל חוסנה הכלכלי והחברתי. ארבעה מומחים, החברים ב"פורום אסטרטגיית-על לישראל", מציעים מה לעשות | ריי אירית אידן, פרופ' ידין דודאי, פרופ' דב שורץ ופרופ' זאב תדמור

24.13x23.94	2/4	89	עמוד	הארץ - ספר ההיי טק הישראלי	28/12/2016	56551239-6
90פ' זאב תדמור - יו"ר מוסד נאמ - 85300						

חולשתו של החינוך המדעי והטכנולוגי

על-פי המדען הראשי במשרד הכלכלה והתעשייה, שני שלישים מהחברות בישראל דיווחו על מחסור בעובדים בעלי מיומנויות מתאימות. בכל שנה סימו כ-4,700 בוגרי הנדסה ומחשבים את לימודיהם, לעומת ביקוש של 7,000. הוקמה ועדה בין-משרדית, שציינה שמערכת החינוך העמידה רק 6,600 בוגרים עם בגרות במתמטיקה 5 יחידות בציון גבוה מ-85, אבל חלק לא מבוטל מהם בחר אח"כ במשלחי-יד אחרים (כגון משפטים וכלכלה), ועל כן אין פוטנציאל להגדלת מספר בוגרי אוניברסיטאות ומכללות באיכות מתאימה על מנת למלא את החסר. גם הלמ"ס דיווחה על גידול במספר המשרות הפנויות לבעלי משלח-יד בתחומי הנדסה, מדע וטכנולוגיות מידע מ-2013 ל-2015. בנוסף למחסור במהנדסים ומדענים דווח גם על מחסור משמעותי בהנדסאים וטכנאים.

הפוטנציאל למיצוי היכולות למטרה זאת נקבע ע"י שנתון בני ה-18. בשנת 2014 רק כמחצית מהשנתון השלים זכאות לבגרות (נתוני משרד החינוך). מתוך הזכאים לתעודת בגרות בשנתון זה, אחוז הניגשים לבחינות הבגרות במתמטיקה מוגברת היה כמ"גמתי ירידה. מבין הזכאים לבגרות, גם השילוב בין היבחנות מוגברת במתמטיקה והיבחנות מוגברת במדע וטכנולוגיה (מו"ט) נוסף (פיזיקה, כימיה, ביולוגיה, מדעי המחשב, אלקטר-ניקה) נמצא במגמת ירידה. הזכאים לתעודת בגרות ברמה מוגברת במתמטיקה ובמיוחד הנבחנים בחמש יחידות במתמטיקה ומקצוע מו"ט מוגבר נוסף הם המהווים את הפוטנציאל העתידי

המשך בעמ' 90

את מיטב החברות הטכנולוגיות בעולם עם מרכזי מו"פ וייצור, התורמים 45% מכלל היצוא התעשייתי. יחד עם זאת, יש לזכור שהתעשיות הללו מעסיקות רק כ-7% מכוח האדם ותורמות רק כ-13% לתמ"ג. היתרה מקורה בתעשיות מסורתיות ושירותים. כאלה הפוריות והשכר נמוכים. בלי שיפור דרמטי בפוריות לא ניתן יהיה להגיע לתמ"ג נפיש של המדינות המתקדמות ולסגור פערים סוציו-אקונומיים. את הפוריות ניתן להעלות על-ידי שדרוג כוח האדם, טכנולוגיות מתקדמות, מו"פ ושיטות ניהול מודרניות. לכן, הצרכים בכוח אדם טכנולוגי מדעי מיומן של בוגרי מכללות ואוניברסיטאות ומוסדות על-תיכוניים דו-שנתיים ושל בתי ספר להנדסאים וטכנאים, חורג מעבר לצרכי התעשייה עתירת הידע. יתרה מזאת, בשדרוג כוח האדם והכשרתו טמון פוטנציאל אדיר להכלתם במעגלי העבודה של מגזרים שנמצאים היום מחוץ להם.

בהיחלשות כלל המערך שמייצר, משמר ומקדם את היכרות המדעית והטכנולוגית של ישראל לטווח בינוני וארוך, לחינוך המדעי-טכנולוגי יש משקל מכריע. מקוצר היריעה נציג כאן בתמציתיות נקודות אחדות הנוגעות לתחום זה בלבד; איננו מתייחסים כאן לנושאים מרכזיים נוספים הכרוכים במערך האמור ושאליהם התייחסנו בשנים האחרונות באתר <https://goo.gl/5UNEdp>, ובהם המחקר המדעי-טכנולוגי באוניברסיטאות ובמכללות, הקמתם של מרכזי מו"פ זרים בארץ ובריחת ידע, חוסר הסינכרון בין כלל הגורמים המספיקים בנושאי חינוך-מדע-טכנולוגיה-תעשייה ועוד.

עטים יחלקו על הקביעה, כי לישראל הישגים יוצאי דופן בקנה מידה עולמי במדע וטכנולוגיה, ובביטוייהם בכלכלה ובביטחון. אולם במערך הלאומי שמייצר את היכולות המדעיות והטכנולוגיות מתגלים סימני שחיקה ודעיכה, הן במונחים מוחלטים והן יחסית למדינות איתן אנו מתחרים בשווקים הגלובליים ובזירה הגיאוגרפית. דעתנו היא כי ללא יוזמה לאומית נחושה, ילך המצב ויחריף, התפתחות שעוללה להעמיד את ישראל בסכנה.

התפתחויות במדע ובטכנולוגיה, ובמיוחד ביטויין בחיי המעשה, אינן מתרחשות בחטף. אחד המרכיבים המכריעים בעוצמה מדעית וטכנולוגית הוא חינוך והכשרה של מדענים, מהנדסים, הנדסאים וטכנאים, שיוכלו לבצע את פריצת הדרך הבאה בעולם תחרותי שאיננו ממתין למשתתפים, ולשמר ולהעצים את מה שכבר הושג.

בעבודה רחבת-יריעה בפורום "אסטרטגיית-על ליש" ראל", שעסק בשנים האחרונות בשלושה אשכולות עיקריים של מרכיבי חוסן לאומי (כלכלה, חברה ומשילות); חוץ וכי טחון; מדע, טכנולוגיה וחינוך), ארבע מתוך עשר התובנות העיקריות שזוהו באשכול האחרון באשר לגורמי שחיקתה של המערכת המדעית-טכנולוגית בישראל, מתייחסות לחי"נוך המדעי-טכנולוגי. אמנם כל המרכיבים של אסטרטגיית-על לאומית חייבים להידון כמכלול, בשל השלכותיהם ההדדיות. אך קוצר היריעה מצדיק התבוננויות חטופות גם במרכיבים בודדים, כפי שאנו עושים ברשימה זו. כאשר הקרקע נסדקת, עדיפה הצצה חטופה מהתעלמות. התוצאות הכושלות של תלמידי ישראל במבחני פיז"ה האחרונים, שפורסמו עם כתיבת דברים אלה, אך מדגישות את עומק הסדקים ואת התהום הפעורה מתחתן.

פוטנציאל אדיר

בשנות ה-90 של המאה ה-20 חברו יחד שלושה גורמים שפתחו בפני ישראל חלון הזדמנויות להפוך למעצמת היי-טק. האחד היה הטכנולוגיות הביטחוניות, תוצרי השקעות ארוכות טווח כטיפול מצוינות, בהכשרת כוח אדם מעולה ובמוקדי ידע, אשר בשלו והגיעו לחזית הטכנולוגית העולמית. הואץ תהליך של העברת ידע לתעשיות עתירות-ידע יזמיות, בין היתר באמצעות מהנדסים ומדענים שנשאו את היכולות, הניסיון והידע המצטבר. הגורם השני היה העלייה מארצות חבר העמים. בתוך כחמש שנים הוכפל מספר המהנדסים והמדענים בישראל, והפכנו לאחת הארצות העשירות ביותר בכוח אדם טכנולוגי-מדעי יחסית לאוכלוסייתה. גורם שלישי היה התנעת תהליך שלום, שהמריץ את פתיחת שווקי העולם. כל אלה, ביחד עם מדיניות ממשלתית של עידוד מו"פ והנחת הבסיס לתעשיית הון-סיכון, הביאו זרם של השקעות.

בנסיבות אלה זכתה התעשייה הישראלית המתקדמת להוקרה עולמית. הישגים ישראליים בתחום הביטחון, הנתפסים בעולם כצירוף של נחישות, כישרון ויכולת טכנולוגית, סייעו לקידום הצלחתן של תעשיות ההיי-טק. היזמות, התעוזה, יכולת האלתור על בסיס ידע והעקשנות, גם הן חלק בלתי נפרד מן ההצלחה הישראלית. תרומה מכרעת הייתה לאוניברסיטאות, שהכשירו מהנדסים ומדענים ברמה של הטובות באוניברסיטאות העולם. התוצאה הייתה שהתעשיות עתירות-הידע הפכו לקטר שמשך קדימה את התעשייה והכלה הישראלית.

קשה להגזים בחשיבותן של התעשיות הללו לכלכלה הישראלית ולחדשנותה ותדמיתה. מעמד זה הביא ארצה

כיצד להתמודד עם המחסור במורים למדעים?

קיים מחסור באוכלוסיית מורים המסוגלת ומחויבת להוביל בהתמדה את לימודי המתמטיקה, המדעים והטכנולוגיה ברמה גבוהה (אזור). חינוכי ליצור תכניות עידוד ומשיכה, שתבאנה לביסוס מעמד המורה ותנאיו, ולטיפוח מנהיגות משכילה ומחויבת לשיפור דרמטי בהוראת המתמטיקה, המדעים והטכנולוגיה.

לקט מסל הפתרונות מכיל תמריצים לשילוב בהוראה של בוגרי מקצועות מדעיים והנדסיים לאחר השתלמות בהוראה (כגון אנשי היי-טק וגמלאים); הכפלת השכר לכלל המורים המעולים במתמטיקה, מדעים וטכנולוגיה, בחוזה אישי; כ"א נוסף בכתה כמנחים וטכנאים מעבדה; טיפוח מעמד יוקרתי של "מורים חוקרים" העוסקים במחקר יום בשבוע ובשנת השבתון באחד ממוסדות המחקר בישראל, כחלק ממשרתם התקנית; גמישות ניהולית למנהלי בתי הספר בבחירתם את המורים המלמדים מדעים, והגמשת הגדרת משרת המורה; פיתוח עבודת צוות בקרב המורים כך שסגל ההוראה יתעצם על-ידי שת"פ של חבריו, הן מבחינה מקצועית והן מבחינת תחושת השייכות והמטרה.

לסיום נוסף עוד, כי בשל חיוניותו של החינוך המדעי-טכנולוגי לחוסנה ועמידה של החברה בישראל, ולהבטחת חסינות סבירה וחיונית משינויים פוליטיים קצרי-טווח, דרושה לדעתנו הקמה של מנהלת לפרויקט הירום לאומי לפיתוח וביסוס החינוך המתמטי, המדעי והמדעי-טכנולוגי, אשר תהיה אוטונומית, ותעבוד בתיאום עם רה"מ, שר החינוך, האקדמיה, מערכת החינוך והתעשייה המתקדמת.

איור 4.1. תוספת הביקוש למורים במקצועות נבחרים משנת 2012 לשנת 2019 (מקור: עיבוד מוסד נאמן לתנוני למ"ס).

מקצוע	מספר המורים בשנת 2012	מספר המורים בשנת 2019	תוספת הביקוש משנת 2012 לשנת 2019	תוספת הביקוש %
מתמטיקה	4739	6484	1745	37%
אנגלית	4087	5313	1226	30%
פיזיקה	725	1036	311	43%
ביולוגיה	1153	1717	564	49%
כימיה	542	771	229	42%

24.81x24.05	3/4	90 עמוד	הארץ - ספר ההיי טק הישראלי	28/12/2016	56551240-8
90 פ' זאב תדמור - יו"ר מוסד נאמ - 85300					

יש בשילובם גם מענה לאותם בני נוער שחסרון החינוך הזה מעצים עבורם את ההזרה של מדעי הטבע והטכנולוגיה. במ"קביל, יש ליצור תוכנית היכרות עם מדע וטכנולוגיה המכוונת לאלה שאינם בוחרים בפן זה של התרבות האנושית כעתידם.

נסיגה בשיעור הלומדים במסלול ההכשרה הטכנולוגי-מקצועי

שיעור זה נמוך בישראל יחסית לאירופה (ראה איור). הד"ר מהווה חסם לצמיחת המשק, מבחינת הצורך בטכנאים, הנדסאים, וגם של מהנדסים הנובעים מנתיב זה. היחס הציבורי בישראל לחינוך טכנולוגי-מקצועי פוגם בחיבתו הרבה. אך עולם התוכן של המקצועות הטכנולוגיים-מקצועיים התחדש והתקדם לכלי היכר: תלמידי החינוך הטכנולוגי והמקצועי יכולים לעסוק כיום במגוון נושאים מרתק ומתקדם החל מרובוטיקה, תוכנה וחשמל וכלה ברכב, בניה ואדריכלות. אחת הסיבות להידרדרותו של החינוך המקצועי נעוצה בתחושה שהוא מקבע את ההפליה העדתית ע"י "הסללה". כלומר, הפניית ילדי הפריפריה הגיאוגרפית והעירונית למסלולים מקצועיים לעומת ילדי המרכז למסלול העיוני. סיבה נוספת הייתה העלות הגבוהה יחסית של החינוך המקצועי.

איך מתמודדים עם הבעיה?

שוב, לקט מדגמי של פתרונות אפשריים: ביסוס החינוך הטכנולוגי-מקצועי כמסלול לגיימי יוקרתי, המקביל לחינוך העיוני, עם אפשרות למסלולי הכשרה מקצועיים למצטיינים המאפשרים תעודת מקצוע רלוונטית לצד תעודת בגרות, כך שיווצר רובר איכותי של מסיימי המסלול. מדובר במכלול צעדים משלימים: יצירת אפשרות לניידות רוחבית; אופציה ללימודי המשך בטכנאות והנדסאות ו/או נגישות ללימודים בהנדסה באוניברסיטאות, ללא דרישות נוספות מעבר לבגרות טכנולוגית ברמה טובה; סמיכות לפארקים תעשייתיים ואימוץ על-ידי חברות גדולות לחניכת תלמידים וקליטת בוגרים; המ"שך פריסה של מרכזים טכנולוגיים ברחבי הארץ, שתאפשר חשיפה לציוד עדכני; שילוב פרקטיקה בתעשייה (יום בשבוע, בשכר). וברמה המערכתית-ארגונית - ריכוז כל הלימודים במסלול הטכנולוגי-מקצועי באחריות משרד החינוך.

שילוב הבלתי-משתתפים

תושבי פריפריה, חרדים, מיעוטים, וחלק מאוכלוסיית הנשים, אינם מעורבים במדע, הנדסה ומו"פ. מצב זה מחמיר וישפיע לרעה על יכולותיה של ישראל במדע וטכנולוגיה, על חוסנה, על רווחתם ועתידם הכלכלי של ה"בלתי-משתתפים" ועל הפערים החברתיים.

לפי ההערכה הבינונית של הלמ"ס, בשנת 2059 האוכלוסיה תגיע ל-15.6 מיליון נפש, מתוכם 50% יהודים ואחרים (בלי החרדים), 27% חרדים ו-23% ערבים. כלומר, האוכלוסיה לוייה בכללותה תוכל, האוכלוסייה היהודית (בלי חרדים) תגדל רק ב-50%, האוכלוסייה החרדית תגדל ב-46%, והערבית ב-134%. מכאן ברור הצורך החיוני בשינוי.

רבים הטוענים שאין מענה מספק של בוגרים לצרכי התעשייה, שלא יהיה כזה במחצית המאה, ועל אחת כמה וכמה לא יהיה מע"נה לכוון האדם נדרש לחדשנות בתעשייה. אף בשל כך מתבקשת ההצבעה על מאגרי היכולות במגזרים "הבלתי משתתפים".

לסל הפתרונות ניתן להתייחס בשני רבדים: האחד - פתרונות כלליים, והשני - בנפרד לכל אחת מהאוכלוסיות ה"בלתי מש"תתפות". למשל, למגזר החרדי התנגדות אידאולוגית ללימודי מדעים ("חדש אסור מן התורה"). לעומת זאת, במגזר הערבי מזוהה דחף ללימודי מדעים וטכנולוגיה, אבל מחסומים חבר-

מדענים, תעשיינים, רופאים, מנהיגים קהילתיים, אמנים, ספור"טאים ועוד, תוך הדגשת החשיבות להגשמה האישית והחברתית.

■ מענקים למסיימי בגרות במתמטיקה + אנגלית + מקצוע מדעי מוגבר (5 יחידות). למשל, שנת לימודים חינוך במכללות ואוניברסיטאות במקצועות מדעיים והנדסיים, או מענק אישי. אימוץ בתי ספר עיוניים/טכנולוגיים על-ידי האוניברסיטה טאות, וסיוע בהוראה עיונית ומדעית ובחשיפה לחזיתות המדע והטכנולוגיה.

אלה הן דוגמאות ספורות לפתרונות מסגרתיים. במקביל ניתן להצביע גם על פתרונות תכניים. ביניהם:

רב-תחומיות - הצגת חומרי לימוד מדיסציפלינות שונות במשולב, תוך הדגשת התמונה הכוללת וסינרגיזם. היכרות עם עולם גלובלי ושימוש מסייע בפלטפורמה דמוית אוניברסיטה ברשת כבר בשלבים מוקדמים של התהליך החינוכי.

שילוב מדעי האדם - הטמעת ההכרה שמדעי הרוח והחברה הם כלי חיוני להבנת העולם ולחשיבה מורכבת וביקורתית.

לסטודנטים במקצועות מדע וטכנולוגיה. אכן, גם בקרב בוגרי תואר ראשון, ברוב מקצועות המדע והטכנולוגיה, חלה ירידה.

הנתונים הללו ואחרים מצביעים על שתי מסקנות: האחת, שיש להעלות את אחוז מקבלי הבגרות במתמטיקה ומדעים שרמתם גבוהה, ושנית, שיש למצוא דרכים לשתף את המאגר הגדול של צעירים וצעירות שלא ניגשים לבגרות (בעיקר מה"מגזר החרדי, הערבי והפריפריאלי).

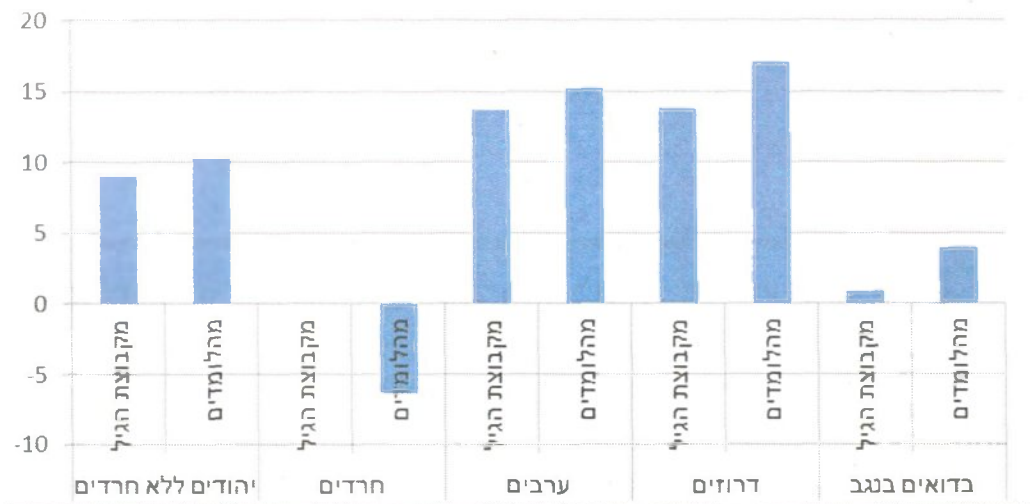
אז מה ניתן לעשות?

הנה דגימה מלקט הפתרונות האפשריים:

■ רצף חינוך מדעי טכנולוגי מושגי ורב-שלבי, החל מגן היל-דים ועד לסיום התיכון, בית הספר המקצועי, ומסלולי הכשרה טכנולוגיים בצבא.

■ שיתוף הסביבה המשפחתית, על-ידי בניית תכנית הסברה רח"ב (ברשת ובמדיה) על חשיבות המדע וטכנולוגיה, בהשתתפות

השינוי בשיעור זכאות לבגרות בין 2009 ל-2014, לפי מגזרים



דרוש טיפול תשתיתי

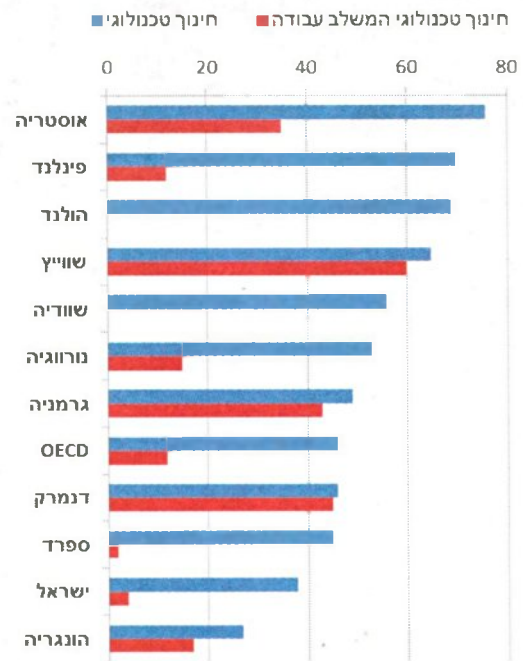


ניכר כי האתגר התשתיתי של מחסור בכוח אדם מיומן מהווה חסם מרכזי לצמיחה הן של חברות הזנק והן של החברות המבוססות יותר, ומגביל מאוד אפשרות של גידול משמעותי בפעילות בתחום. אחת הסיבות לכך היא הצניחה התלולה במספר הבוגרים בתחומי מדעי המחשב, המתמטיקה והסטטיסטיקה החל משנת 2005 ובשנים הבאות אחריה - משיא של כ-3,000 בוגרים בשנת 2004 לשפל של כ-1,600 בוגרים בשנת 2008. למרות התאוששות מסוימת בשנים האחרונות, עד היום, מספר הבוגרים במדעי המחשב לא הצליח לחזור להיקפים של שנות ה-2000 המוקדמות. מחסור זה מתבטא גם בממד הפורום הכלכלי העולמי, שממקם את ישראל רק במקום ה-17 בקלות שבה ניתן להשיג כוח אדם מיומן. מחסור זה בכוח אדם הוא אחד ההסברים לכך שתעשיית ההיי-טק בישראל אינה פורצת את תקרת הזכוכית שאליה היא הגיעה, וזאת למרות מגמה חיובית בסך הכל בשנים האחרונות הן עבור חברות הזנק והן עבור חברות בוגרות יותר. אתגר מסוג זה מחייב טיפול תשתיתי ומתמשך שאת פירותיו נראה רק בטווח הבינוני-ארוך. לכן חובה עלינו להציבו כיעד לאומי ולקדם את הפתרונות לו עוד היום.

אבי חסון, יו"ר רשות החדשנות

8.27x23.72	4/4	91	עמוד	הארץ - ספר ההיי טק הישראלי	28/12/2016	56551238-5
פרופ' זאב תדמור - יו"ר מוסד נאמן - 85300						

שיעור הלומדים בחינוך הטכנולוגי והמקצועי וניסיון מקצועי, נתוני 2011



מקור: Education at a Glance 2013 OECD indicators (מסוד נאמן).

תיים והפליה מונעים השתלבות מלאה. את כלל סלי הפתרונות בשני הרבדים הללו ניתן למצוא ב-<https://goo.gl/5UNEdp>. נציג בחטף רק דוגמא למענה אפשרי בפריפריה. בירוחם כ-120 תלמידים במחזור. השקעה משותפת של הרשות המקומית ומספר משוגעים לדבר, כולל ראש המועצה, מיכאל ביטון, ד"ר רחל קנור, המורה לפסיקה ומנהלת מרכז המדעים, אחד מאתנו, פרופ' דב שורץ, שכיהן כמשנה למנהל המרכז למחקר גרעיני בדימונה והמדען הראשי של הוועדה לאנרגיה אטומית, ואחרים, הביאה ב-15 השנה האחרונות לעליה בנבחנים ברמה מוגברת בפסיקה מ-0% ל-15%, ובכימיה מ-0% ל-8%.

בתחום החינוך הבלתי-פורמלי חלה מהפיכה של ממש: ירוחם יצרה תכנית עירונית ברובוטיקה מהגן עד ל"ב והקימה נבחרות המככבות בתחרויות בארץ ובהר"ל. כיום כשליש מתלמידי ירוחם לומדים רובוטיקה. הוברר כי הרובוטיקה יכולה, באמצעות עבודת חקר של התלמיד, למשוך ילדים למדעים. הפעולות הנדרשות באקו-סיסטם דמוי-ירוחם הן: מחוייבות והשקעה של הרשות המקומית באמצעות גיוס מורים מובילים וחוזים אישיים; מרכז מדעים כמוביל תכנית מדעים יישובית במסגרת החינוך הפורמלי והבלתי-פורמלי; שיתוף פעולה עם התעשיות המובילות באזור, באמצעות חונכים; למידת חקר; פתיחת מרכז למידת חקר עירוני; הדרכת תלמידים על-ידי תלמידים מתקדמים; טיפוח תכניות אטרקטיביות לתלמידים המעודדות למידה חווייתית ואקטיבית; שיתוף המשפחה בחוויה. ניתן להציע פיילוטים דומים באזורים אחרים, תוך התאמת התכנית לאקו-סיסטם הפרטני.

ד"ר אירית אידן (רפא"ל), פרופ' ירון דודאי (מכון ויצמן למדע), פרופ' דב שורץ (אוניברסיטת מישיגן) ולשעבר המדען הראשי של הוועדה לאנרגיה אטומית (פרופ' זאב תדמור יו"ר מוסד נאמן). הטכניון | חברים ב"פרום אסטרטגית-על לישראל" (<https://goo.gl/LwmfPpl>)