



## מדע וטכנולוגיה

# תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי

דו"ח סופי לשנה א'

ד"ר דפנה גץ  
ציפי בוכניק  
אושרת כץ שחם  
אליעזר שיין

סביבה  
ואנרגיה

תכנון  
ארוך טווח

תעשייה  
וחדשנות

תשתיות  
פיזיות

בריאות

הון  
אנושי

השכלה  
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה



---

---

# תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי

דו"ח סופי לשנה א'

---

---

מוגש למשרד המדע והטכנולוגיה,  
המועצה הלאומית למו"פ

חוקרים:

ד"ר דפנה גץ

ציפי בוכניק

אושרת כץ שחם

אליעזר שיין

פברואר, 2018

## תוכן עניינים

2	רשימת איורים	2
2	רשימת טבלאות	2
4	תקציר מנהלים	4
8	מטרת המחקר	1
8	מתודולוגיה	2
8	תחזיות טכנולוגיות והתאמתן לישראל	3
8	תחזיות טכנולוגיות	3.1
10	התאמת תחזיות טכנולוגיות לישראל	3.2
10	בחירת תחומים/מקצועות	3.3
11	ביצוע תחזית טכנולוגית לצורכי כוח אדם בתחומים/מקצועות נבחרים	3.4
12	פוטוניקה	4
12	סקר ספרות-פוטוניקה	4.1
25	תחזיות טכנולוגיות וצרכי כ"א בפוטוניקה	4.2
27	סיכום והמלצות	4.3
29	אגרוטק/חקלאות מדייקת	5
29	סקר ספרות חקלאות אגרוטק/חקלאות מדייקת	5.1
38	תחזיות טכנולוגיות וצרכי כ"א באגרוטק/חקלאות מדייקת	5.2
42	המלצות	5.3
44	מקורות	6
47	נספח א: התאמת טכנולוגיות מפציעות לפי ה-OECD לישראל	
67	נספח ב: סקירת תחזיות טכנולוגיות במדינות נבחרות	
81	נספח ג': סיכום סדנה בנושא תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתחום הפוטוניקה בישראל	

## רשימת איורים

---

- 9.. OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016 לפי :1 דוגמאות לטכנולוגיות מפציעות לפי  
איור 2: גידול בשוק הפוטוניקה הגלובלי, 2015-2005 לפי יישומים (במיליארדי יורו) ..... 15  
איור 3: גידול צפוי בשוק הפוטוניקה בשנים 2020-2005 (במיליארדי יורו) ..... 15  
איור 4: גידול צפוי במספר המועסקים באירופה בין השנים 2020-2005 (אלפי עובדים) ..... 21  
איור 5: גידול במספר חברות האגרוטק בישראל בשנים לפי סקטור 2017-2013: ..... 36  
איור 6: שיעור הסטודנטים לחקלאות בישראל ומספרם בשנים 1996/1997- 2016/2017 ..... 38  
איור 7: מבנה המחקר, Russia 2030: Science and Technology Foresight ..... 70  
איור 8: מודל ארבע הרמות בדו"ח '100 הזדמנויות לפינלנד ולעולם' (Kuusi & Vasamo, 2014) ..... 74

## רשימת טבלאות

---

- טבלה 1: תחומים מתפתחים בעולם הפוטוניקה שמהווים הזדמנות עבור בריטניה ..... 17  
טבלה 2: מפת דרכים לקידום תחום ההשכלה וההכשרה באירופה ..... 22  
טבלה 3: טכנולוגיות מפציעות לפי ה-OECD, והתאמתה לישראל ..... 47  
טבלה 4: 100 הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים (Radical Technologies Solutions) לפי תחומים  
מתוך הדו"ח '100 הזדמנויות לפינלנד ולעולם' ..... 77

המחקר נערך במימון ובהנחיית המועצה הלאומית למחקר ופיתוח אזרחי (המולמו"פ) במשרד המדע והטכנולוגיה.

**אנו מודים לד"ר גורי זילכה**, יועץ המולמו"פ, על הערותיו הטובות והבונות בשלב דו"ח הביניים ובשלב הטייטה הסופית שסייעו לשפר עבודה זאת.

**ברצוננו להודות לכל המרואיינים ולמשתתפי סדנת הפוטוניקה** שהקדישו מזמנם, מניסיונם ומהידע שלהם בתחומים השונים.

**תודה מיוחדת לחיים רוט וברוך גליק** שעזרו לנו להוציא את הסדנא לסיעור מוחות בנושא הפוטוניקה אל הפועל ותרמו מזמנם ומומחיתם בתחום.

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממשרד המדע והטכנולוגיה ו/או ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור. הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

## תקציר מנהלים

מטרת המחקר היא ביצוע של תחזיות צרכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי לתחומים/מקצועות נבחרים (לדוגמא: כימיה, רובוטיקה, ננו-טכנולוגיה, הגנת סייבר) לטווח קצר (10 שנים), בהתבסס על תחזיות טכנולוגיות עולמיות שהותאמו לישראל.

הרציול הוא כי עבודה זו תסייע בהרחבת ההבנה והידע בנוגע לדרישות עתידיות לכוח אדם מדעי וטכנולוגי ובהכוונה וקביעת סדר עדיפויות בהשקעות להכשרות כוח אדם במדע וטכנולוגיה בתחומים נדרשים.

### ◀ תחזיות טכנולוגיות והתאמתן לישראל

בשנים האחרונות גרם תהליך הגלובליזציה בכל התחומים לכך שלא כל מדינה צריכה לבצע בעצמה תהליך חיזוי מורכב וארוך. המדינות יכולות להתבסס על תחזיות קיימות, תוך התאמה שלהן לתנאים והמאפיינים המיוחדים של המדינה. בהתאם לכך, בדו"ח זה סקרנו תחזיות טכנולוגיות במדינות נבחרות בעולם, וביצענו תהליך של התאמת תחזיות לישראל. תהליך ההתאמה בוצע באמצעות ראיונות עם מומחים וקובעי מדיניות מתחומים שונים. מומחים אלו בחנו שורה ארוכה של טכנולוגיות עתידיות בתחומי הביוטכנולוגיה, חומרים מתקדמים, טכנולוגיות דיגיטליות ואנרגיה וסביבה, התייחסו להתאמתן של טכנולוגיות אלו לישראל, וסיפקו את ההמלצות שעמדו בבסיס הבחירה בשני הנושאים שנחקרו בהרחבה בשנה א'. יחד עם ההמלצות ומדדים נוספים כגון באלו תחומים או תעשיות יש לישראל בסיס טכנולוגי, כוח אדם מומחה, השקעות בתחום, תשתיות, תעשייה מתפתחת בעולם וכד'. על בסיס המלצות המומחים והנתונים הנוספים שנאספו נבחרו שני הנושאים לשנה א': **פוטוניקה ואגרוטק (חקלאות מדיקת)**.

במחקר נעשה שימוש בשיטות מחקר שונות על מנת לבחון את צורכי כוח אדם בשני התחומים הנבחרים על בסיס החיזוי הטכנולוגי.

- סקר ספרות על התחום הנבחר הכולל הגדרות ורקע, סקירה של תחזיות טכנולוגיות בתחום, מצב התחום בעולם – מפות דרכים ונתונים כלכליים ותמונת מצב של התחום בישראל.
- ראיונות עם מומחים ממגזרים שונים.
- מפגש סיעור מוחות.

### ◀ פוטוניקה

תחום הפוטוניקה הוא תחום מדעי וטכנולוגי המשותף להנדסת חשמל ופיזיקה ושורשי מאלקטרואופטיקה והאופטיקה, העוסק ביצירה, הגברה, העברה, גילוי, אפנון ועיבוד של חלקיקי אור - פוטונים. זהו תחום רחב מאוד של טכנולוגיות ויישומים במגוון תחומים כמו למשל תקשורת אופטית, רפואה, צבא ועוד. מסורתית עיקר היישומים הם בתחום הנראה ותת אדום אולם לאחרונה התווספו חדשים כמו טרה-הרץ פוטוניקה ומיקרוגל פוטוניקה. " (פוטוניקה, ויקיפדיה).

ערך השוק העולמי של יישומי פוטוניקה הוערך בשנת 2015 בכ-447 מיליארדי יורו. (עלייה משמעותית לעומת ערך השוק בשנת 2005, שעמד על כ-228 מיליארדי יורו). שוק זה מאופיין ברמה גוברת והולכת של תחרותיות, וחברות משקיעות סכומים ומאמצים גדולים כדי לנצל את היתרונות של הטכנולוגיה. על פי מחקרים שונים, שוק זה צפוי להמשיך ולצמוח בקצב משמעותי ולהגיע להיקפים של 760 מיליארדי דולרים בשנת 2020. תחום הפוטוניקה הוא תחום מולטיסיפלינרי וככזה הוא לוקה בבעיות האופייניות לתחומים כאלה כגון ננוטכנולוגיה, חלל, רובוטיקה וכד' – מחסור בקשרים בין אקדמיה לתעשייה, איגום משאבים ותשתיות וכן הכשרות מקצועיות אך גם הכשרות אנשי מערכות ויצירת קשר ושפה משותפת בין הדיסציפלינות השונות. מנגד לישראל יש יתרונות בולטים בתחום: מצוינות אקדמית, תעשייה ביטחונית ונוכחות תעשייתית (אזרחית) בולטת. כמו כן, בולט מספר גדול של חברות עוגן בתחום

הפוטוניקה, ובהן, אורבוטק (נסחרת ב-NASDAQ), רפאל, אפלייד מטיראלס, סינרון, אופיר אופטרוניקס, Given Imaging, סיוון טכנולוגיות מתקדמות, אלביט מערכות, Semi-Conductor Devices (SCD) ועוד. בנוסף ישנן מספר גדול (כ-300 חברות) של חברות קטנות, רובן חברות הזנק.

מסדנת סיעור מוחות שערך מוסד נאמן בהשתתפות מומחים בתחום הפוטוניקה מהאקדמיה, התעשייה הממשלה והצבא עולה כי:

- קיימת הסכמה על צמיחה צפויה בשוק הפוטוניקה הישראלי. התחומים הקלאסיים של ביטחון ואבטחה, ציוד רפואי, בקרה תעשייתית ודפוס ימשיכו לצמוח אם כי לא בקפיצות מדרגה.
- תחומים חדשים אשר עשויים לצמוח בעשור הקרוב הם: מערכות לרכבים חשמליים ואוטונומיים, מערכות לחקלאות מדייקת, ביופוטוניקס ומיקרופוטוניקה.
- לא ברורה ההשפעה של תחומי Integrated Photonics. על המשק הישראלי. המהפכה העולמית תהיה עצומה אבל מקום התעשייה הישראלית לא מובטח ללא גיבוש אסטרטגיה לאומית.

הבעיות העיקריות שעלו מסדנת סיעור המוחות היו:

- לתחום של פוטוניקה אין הכשרה יעודית באוניברסיטאות.
- קיים מחסור כללי בעובדים בתחום זה הנובע בין היתר ממחסור במוסדות המכשירים עובדים לשוק הפוטוניקה. העובדים עוברים לרוב הכשרה יעודית במקום העבודה.
- מחסור באנשי מו"פ עם הבנה מולטידיסציפלינרית. כל תחומי הצמיחה של התחום מחייבים הכשרה כזו (פיזיקה/ביולוגיה, פיזיקה/חקלאות, פיזיקה/רפואה ועוד)
- יש לחזק לימודי טכנאים/הנדסאים/מכשירנים במסגרת המכללות הטכנולוגיות בישראל
- יש לחזק משמעותית את לימודי הפיזיקה במערכת החינוך. מאמץ דומה למה שנעשה בתחום המתמטיקה.

הפתרונות שעלו:

- השקעה בהרחבת האפשרויות להכשרות בתחום הפוטוניקה - אפשרות ללימודים לתארים מתקדמים בתחום הפוטוניקה עבור בוגרים מדיסציפלינות שונות, פיתוח בפקולטות לפיזיקה מסלול ללימודי פוטוניקה לסטודנטים מפקולטות שונות, קידום פרויקטי גמר בשילוב תעשייה וסטודנטים מפקולטות שונות.
- הקמת מרכז למחקר הנדסי יישומי רב-תחומי בתחום של פוטוניקה (אלקטרו-אופטיקה). כפי שהוזכר בסקר הספרות, ממ"ג שורק ואוניברסיטת בן גוריון בנגב זכו במרכז להקמת המרכז הלאומי לפוטוניקה. יש לוודא שהמרכז יעסוק בכל תחומי ורבדי הפוטוניקה, מהרובד הנמוך ביותר (ייצור סיבים וגידול שכבות) ועד רמת הרכיבים, המוצרים והמערכות כולל יכולות הנדסיות (בדומה למכוני פוטוניקה בעולם).
- חינוך לילדים ונוער – חשוב שכדי שיהיו עתודות תלמידים יחשפו הן לפיזיקה ומתמטיקה ברמה המתאימה וגם ליישום של תחומים אלה.
- הקמת מאגר מידע – גוף שירכז את המידע על גופי מחקר, חוקרים ומרכזי מו"פ ישראלים הפעילים בתחום ובמקביל ירכז את המידע על הפעילויות הבינלאומיות ויעודד לקשרים והשתתפות בפעילויות אלה.

## ◀ אגרוטק/חקלאות מדייקת

**תעשיית האגרוטק** עוסקת בטכנולוגיות, מוצרים ופתרונות לתחומים שונים בשרשרת היצור החקלאי. שוק טכנולוגיות החקלאות והמזון נמצא בתהליך גדילה מואצת בשנים האחרונות, ככל שהעולם עומד בפני אתגרים, שעם חלקם מתמודדת ישראל מאז הקמתה. אתגרי מים ואקלים, איכות הגידולים החקלאיים ועתודות קרקע פורייה מציבים קושי בפני השאיפה לגידול מזון איכותי בכמות מספקת לאוכלוסיית העולם, שגם היא, בתורה, גדלה בקצב מהיר תוך שינויים בפריסת האוכלוסייה ובדיאטה שלה, בעיקר במדינות המתפתחות.

גודל השוק החקלאי, מוערך בכ-6.4\$ טריליון וכ-1.3 מיליארד אנשים מועסקים בתעשייה החקלאית ברחבי העולם.

**תחום הטכנולוגיות החקלאיות**, כולל קשת רחבה של נושאים שתכליתם לשפר את הביצועים החקלאיים. בשנים האחרונות גוברת המגמה של חדירת טכנולוגיות מתעשיות שונות והתאמתן לחקלאות המודרנית (כאמור, חקלאות שנדרשת גם להגדיל תפוקות, להתייעל ולצמצם השפעות סביבתיות). למשל - טכנולוגיות מתחומי הגנומיקה non-GMO (מזון שאינו מהונדס גנטית) וכן טכנולוגיות מתחום הרחפנים (drones) ואינטרנט של דברים (IOT), תחליפי חלבון ומודלים חדשים למכירה ושינוע הסחורות לצרכן.

**חקלאות מדייקת** הינה תחום רחב, המוגדר כסט של טכנולוגיות המשלבות חיישנים, טכנולוגיות מידע, שיפורים מכניים, וניהול מונחה-ידע למיקסום יבולים ע"י התחשבות בשונות המובנית של סביבות חקלאיות (Gebbers, 2010). טכנולוגיות אלו מוצעות כיום לרוב סוגי הגידולים – מגידולי שורות למיניהם ועד למטעים, ומאפשרות גמישות בהפניית משאבים כגון מים ודשן למקומות הדרושים להם, במידה הדרושה להם, ובזמן הנכון להם (variable rate approach). בכך טכנולוגיות אלו מגדילות את יעילות הניצול של מים ודשן בשדה, מגדילות את רווחיות החקלאים ומקטינות שטפי מזהמים לסביבה כגון חנקות ( $\text{NO}_3$ ) או חמצן דו-חנקני ( $\text{N}_2\text{O}$ ). ישנם לפחות שני גורמים אשר צפויים להיות קטרי צמיחה בשימוש בכלים של חקלאות מדייקת בעתיד – הגדלת הרווחיות לחקלאי והקטנת ההשפעה הסביבתית.

כיום נוטים להתייחס לחקלאות מדייקת כאל 'חקלאות חכמה'

מראיונות שערך מוסד נאמן עולה שלישראל יש מספר **יתרונות** שבזכותם היא יכולה להיות מובילה בתחום הפיתוח בחקלאות חכמה:

- ישראל היא ארץ קטנה עם מגוון סוגי אקלים, קרקעות, גידולים- כמו מעבדה. יש בה אקלים סאב-טרופי, שהוא אקלים המאפיין את רוב האזורים בעולם הסובלים מבעית מזון. במקומות כאלו פתרונות חקלאיים חדשים יכולים להיות עם אימפקט.
- ישראל היא מדינה בעלת משאבים מוגבלים (למשל אדמות ומים). הצורך לאחריות בשימוש במשאבים מכתוב מציאת פתרונות שאפשר לנסות או ליישם בישראל. (מציאות זו יכולה להסביר את הצלחת נושא המיכון החקלאי בשנות ה-60 והצלחת טכנולוגיות צבאיות ישראליות שאומצו לצרכים אזרחיים)
- החקלאות בישראל מתקדמת, הפרוטוקולים החקלאיים, השקיה, דישון וכו' הם ברמה גבוהה.
- בניגוד לאגרו-ביוטכנולוגיה ששם לוקח כ-10 שנים עד ליישום בתעשייה, בחקלאות החכמה לוחות הזמנים קצרים ואין צורך באישור FDA. מדינת ישראל הצליחה במקומות בהם הפתרון לשוק מהיר, ולכן פיתוחים יוצאים הישר לעולם.
- ישראל נחשבת למדינת הסטארט-אפ עם יש כוח אדם מיומן ומשכיל בתחום ה-ICT.

למרות יתרונות אלו, העוסקים בתחום החקלאות החכמה בישראל מתמודדים עם **אתגרים** כמו:

- ירידה במספר החקלאים בארץ (וגם בעולם).
- העדפה בקרב צעירים ללמוד תחומי היי-טק אחרים וירידה כללית בחינוך הטכנולוגי, ובתוכו הנדסה חקלאית.
- הפעילות במחקרית בתחום מתבצעת על ידי חוקרים אינדיבידואלים. אין בארץ מרכז לאומי בתחום של חקלאות מדייקת שיהווה מקום לידע, לתשתיות ולקידום הקשרים בין חוקרים מתחומים ומגזרים שונים כמו באנגליה בה יש מרכזים לאומיים, לדוגמא באוניברסיטת הרפר-אדאמס ובאוניברסיטת לינקולן, שמוקדשים רק לנושא החקלאות החכמה.
- קושי במציאת שפה משותפת בין מהנדסים עם ידע בתחום הטכנולוגי שאין להם ידע בחקלאות לבין אנשים עם השכלה בתחום האגרונומיה אך חסרים את הידע והשפה של התחום הטכנולוגי.



## המלצות

### **א. שילוב חקלאות וטכנולוגיה באקדמיה**

בנושא של חקלאות מדייקת או המהפכה הדיגיטלית שנכנסה לחקלאות ההזדמנות או האימפקט הגדול טמון באינטרדיספלינריות. היתרון של ישראל הוא בשילוב של חקלאות עם תחומי החוזק של ישראל בהייטק.

בעולם מפותח הנושא של יישום בשדה של חקלאות מדייקת, מערכות שמנצלות את הידע שנוצר באמצעות מערכות החישה ומערכות המידע, אבל זה לא קורה בישראל, כפועל יוצא של סגירת הפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון. יש מקומות בארץ שנוגעים בזה, אבל כתחום בפני עצמו- אין אף מקום בישראל שאפשר לקבל בו השכלה גלובלית כוללת.

בפקולטה לחקלאות מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית מנסים לפתח אשכול או חטיבה שיעסקו ב-smart Agriculture או ב-Precision Agriculture. לא מדובר בבניית מרכז חדש, אלא בהידוק שיתוף הפעולה בין חוקרים בתחום, אבל עדיין חסר מסלול המשלב חקלאות וטכנולוגיה. אחד המודלים האפשריים הוא מודל של לימודי בסיס במדעים ולימודים גבוהים בהנדסה.

הסגירה של מסלול הנדסה חקלאית בטכניון קרתה דווקא בתקופה שחקלאות היא נושא מדובר ויש הרבה עסקאות בתחום. הסגירה בוצעה על רקע חוסר רצון של הסטודנטים ולא על רקע הנדסי. **בהצגה נכונה יותר של תחום החקלאות החכמה אפשר להביא יותר סטודנטים.**

### **ב. תשתית של חקלאות מדייקת**

מימוש הפוטנציאל הקיים בתחום החקלאות החכמה ידרוש הקמת **תשתית לאומית של חקלאות חכמה** ובה גישה לציוד תשתיתי למחקר שקבוצות בודדות לא יכולות לגייס. בעבר היה ניסיון ליצור מרכז כזה דרך פורום תל"ם, אבל הנושא לא התקדם וגווע. מרכז כזה יכול להיות מרוכז על ידי מכון וולקני, בשיתוף פעולה עם האוניברסיטאות שיש בהן פעילות בנושא: הטכניון, אוניברסיטת חיפה, אוניברסיטת תל אביב, האוניברסיטה העברית, אוניברסיטת באר שבע (שיש לה מרכז לחקלאות בשדה בוקר) ובר אילן.

# 1 מטרת המחקר

מטרת המחקר היא ביצוע של תחזיות צרכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי לתחומים/מקצועות נבחרים (לדוגמה: כימיה, רובוטיקה, ננו-טכנולוגיה, הגנת סייבר) לטווח קצר (10 שנים), בהתבסס על תחזיות טכנולוגיות עולמיות שהותאמו לישראל.

הרציונל הוא כי עבודה זו תסייע בהרחבת ההבנה והידע בנוגע לדרישות עתידיות לכוח אדם מדעי וטכנולוגי ובהכוונה וקביעת סדר עדיפויות בהשקעות להכשרות כוח אדם במדע וטכנולוגיה בתחומים נדרשים.

## 2 מתודולוגיה

לפי ההגדרה המקובלת של ה-OECD, חיזוי הוא **תהליך שיטתי** שבו נעשה ניסיון להסתכל לעתיד **הרחוק טווח** (בדרך כלל חמש עד שלושים שנים) במדע, טכנולוגיה, כלכלה וחברה, במטרה לזהות תחומים אסטרטגים של מחקר, **טכנולוגיות גבריות מפציעות** (emerging generic technologies) שקרוב לוודאי יובילו ל**רווחים הכלכליים והחברתיים** הגדולים ביותר (Martin, 2001).

בשנים האחרונות גרם תהליך הגלובליזציה בכל התחומים לכך שלא כל מדינה צריכה לבצע בעצמה תהליך חיזוי מורכב וארוך, אלא יכולה להתבסס על תחזיות קיימות, תוך התאמה שלהן לתנאים והמאפיינים המיוחדים של המדינה. עבור המחקר המתואר בדו"ח זה סקרנו תחזיות טכנולוגיות במדינות נבחרות בעולם, וביצענו תהליך של התאמת תחזיות לישראל, כפי שמתואר בצורה מפורטת בחלק 3 להלן.

לאחר התאמת התחזיות הטכנולוגיות לישראל, בוצעו ראיונות עם מומחים שונים ועם קובעי מדיניות על מנת לקבוע אלו נושאים יחקרו בהרחבה בשנה א'. **המדדים ששימשו לבחירת הנושאים להרחבה** בחנו האם לישראל יש בסיס טכנולוגי בתחום, האם יש כוח אדם מומחה שיהווה בסיס להכשרה ולקידום התחום, האם יש השקעות בתחום במגזר העסקי ו/או ממשלתי, האם יש תשתיות קיימות בישראל, האם התחום מתפתח בעולם ומה היקפו וכד'.

**הנושאים שנבחרו לחקירה והרחבה הם – פוטוניקה ואגרוטק/חקלאות מדויקת.**

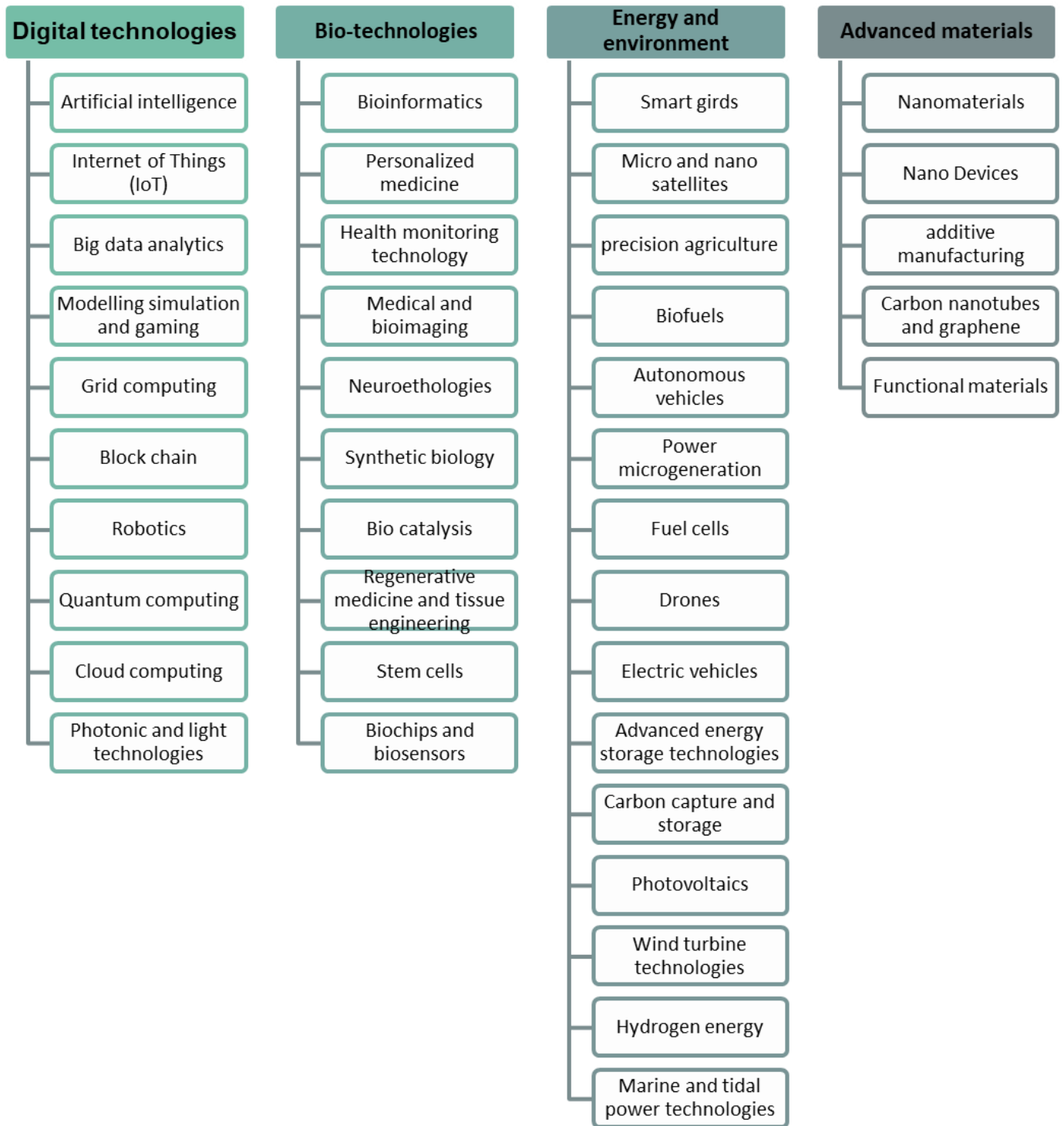
על מנת לתת תחזית טכנולוגית לצרכי כוח אדם בתחומים נבחרים אלה נעשה שימוש בשיטות מחקר שונות:

- סקר ספרות על התחום הנבחר הכולל תחזיות טכנולוגיות, מצב התחום בעולם – מפות דרכים ונתונים כלכליים, מצב התחום בישראל.
- ראיונות עם מומחים בתחום.
- מפגש לצורך סיעור מוחות.

## 3 תחזיות טכנולוגיות והתאמתן לישראל

### 3.1 תחזיות טכנולוגיות

סקרנו מספר תחזיות טכנולוגיות שהתבצעו במדינות הבאות: קנדה, אנגליה, EU, רוסיה, פינלנד, גרמניה, יפן ו-OECD (פירוט בנספח 2). לאחר סקירת התחזיות הטכנולוגיות של מדינות בחרנו להתמקד במחקר של ה-OECD (Oecd, 2016) שריכז תחזיות טכנולוגיות של שש מדינות: קנדה, אנגליה, EU, פינלנד, גרמניה ורוסיה. במחקר זה זוהו 70 טכנולוגיות בארבעה נושאים (Energy and Environment, Digital technologies, Advanced materials, Biotechnologies). טכנולוגיות אלו מוגדרות כ"טכנולוגיות מפציעות" (emerging technologies), הצפויות להתפתח ב-10-15 השנים הקרובות.



מציג 40 מתוך 70 הטכנולוגיות (הפירוט המלא בנספח א'):

מקור: Oecd, 2016

## 3.2 התאמת תחזיות טכנולוגיות לישראל

מטרת שלב זה הייתה ליצור, מרשימת הטכנולוגיות הרחבה הכוללת כ-70 טכנולוגיות המתאימות למדינות ה-OECD השונות כפי שמפורט בסעיף הקודם, רשימת טכנולוגיות המותאמת לישראל. לצורך כך ביצענו ראיונות עם מומחים בנושא שוק העבודה העתידי במשק.

**בוצע ראיון עם יעל מזוז** - תעסוקה עתירת ידע – כ"א בתעשיית ההיי-טק ו**כנרת דהן גרניט** – הכשרה של טכנאים והנדסאים בשוק העבודה העתידי ממשרד העבודה, הרווחה והשירותים החברתיים.

**בוצע ראיון עם ד"ר אהרון האופטמן** - מהיחידה לחיזוי טכנולוגי וחברתי, אוניברסיטת תל אביב.

**ביצענו ראיונות עם מומחים מהתעשייה ומהאקדמיה** בכל אחד מארבעת התחומים המפורטים בנספח 1.

קיימנו ראיונות עם מומחים שונים שעיקר עיסוקם הוא בתחומים הרלוונטיים לרשימה - תחום האנרגיה והסביבה, מומחה בתחום כימיה וחומרים מתקדמים, מומחה מהתעשייה ב-ICT ומומחה בנו-טכנולוגיה:

- **פרופ' גרוסמן גרשון**, מומחה בתחום האנרגיה והסביבה, פרופ' אמריטוס בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון, עמת מחקר בכיר וראש פרויקט פורום אנרגיה במוסד שמואל נאמן.

- **פרופ' אופירה אילון**, מרצה בכירה בחוג לניהול משאבי טבע וסביבה, באוניברסיטת חיפה, עמיתת מחקר בכירה וראשת תחום איכות סביבה במוסד שמואל נאמן,

- **עידן ליבס** עוסק בסביבה, אנרגיה וטכנולוגיה – חוקר במוסד שמואל נאמן בנושאי סביבה, ארגיה וטכנולוגיה.

- **ד"ר גילי פורטונה** מומחה בכימיה וחומרים מתקדמים, עמית מחקר בכיר וראש המרכז למצוינות תעשייתית במוסד שמואל נאמן

- **משה לוינגר** – סמנכל פיתוח, מעבדת המחקר של יבמ – חיפה

- **פרופ' יצחק שמולביץ** - פרופ אמריטוס - הפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון

- **פרופ' אבי שרודר** – מומחה בפיתוח מערכות ננו-טכנולוגיות בפקולטה להנדסה כימית בטכניון

ריכוז המסקנות מהראיונות לגבי אילו תחזיות טכנולוגיות מתאימות לישראל מופיע בנספח 1.

## 3.3 בחירת תחומים/מקצועות

על בסיס סקר הספרות על תחזיות טכנולוגיות, הראיונות, השאלונים בחנו על פי הפרמטרים הבאים באלו תחומים או תעשיות יש לישראל יתרון: בסיס טכנולוגי, כוח אדם מומחה, השקעות בתחום, תשתיות, תעשייה מתפתחת בעולם וכד'. **על בסיס מכלול הנתונים ובהתייעצות עם גורי זילכה וחיים רוסו מהמולמו"פ. נבחרו שני תחומים לבחינה והרחבה:**

- **Photonics and light technologies:** Photonics, Lithography systems, Optical measuring systems, Quantum optics, Photonic micro- and nanomaterials Photonics and light technologies, Cheap Lidar, High performance lasers, Photonics, Nanostructured materials with special optical properties, lasers and organic light-emitting diodes based on nanoscale heterostructure (סעיף 43 ברשימת התחזיות-נספח 1)
- **Precision agriculture** (20 סעיף ברשימת התחזיות-נספח 1)

**תהליך התאמת התחזיות הגלובליות לישראל ובחירת הנושאים להעמקה והרחבה בשלב א' בוצע בהתייעצות עם המולמו"פ ואישורו.**

### 3.4 ביצוע תחזית טכנולוגית לצורכי כוח אדם בתחומים/מקצועות נבחרים

על מנת לתת תחזית טכנולוגית לצורכי כוח אדם בתחומים נבחרים אלה נעשה שימוש בשיטות מחקר שונות:

- סקר ספרות על התחום הנבחר הכולל תחזיות טכנולוגיות, מצב התחום בעולם – מפות דרכים ונתונים כלכליים ומצב התחום בישראל
- ראיונות עם מומחים בתחום האגרוטק
- ראיונות וסדנת מומחים בתחום הפוטוניקה.

לפירוט על ביצוע תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם בתחומים אלו, ראו סעיפים הבאים.

### 4.1 סקר ספרות-פוטוניקה

#### 4.1.1 רקע

תחום הפוטוניקה הינו תחום רחב ויש לו הגדרות שונות. להלן מספר דוגמאות:

"פוטוניקה (באנגלית: Photonics) הוא תחום מדעי וטכנולוגי המשותף להנדסת חשמל ופיזיקה ושורשיו מאלקטרואופטיקה והאופטיקה, העוסק ביצירה, הגברה, העברה, גילוי, אפנון ועיבוד של חלקיקי אור - פוטונים. התחום מכסה את כל היישומים הטכנולוגיים של האור לכל אורך התחום הספקטרוני החל מאולטרה סגול דרך האור הנראה ועד לתת אדום הרחוק. המונח פוטוניקה התפתח בשנות השישים והשבעים עם המצאת דיודת הלייזר והסיבים האופטיים. זהו תחום רחב מאוד של טכנולוגיות ויישומים במגוון תחומים החל מתקשורת אופטית, רפואה, צבא ועוד. מסורתית עיקר היישומים הם בתחום הנראה ותת אדום אולם לאחרונה התווספו חדשים כמו טרה-הרץ פוטוניקה ומיקרוגל פוטוניקה." (פוטוניקה, ויקיפדיה)

"פוטוניקה הוא חקר השימוש באנרגיה קורנת, כגון אור, אשר היסוד הבסיסי שלה הוא הפוטון. לדוגמא: טלפון חכם מכיל כ-20-10 התקנים פוטונים. לטכנולוגיות חדשניות כמו מסכים חכמים, פאנלים סולאריים, מצלמות, ותקשורת אופטית יש השפעה משמעותית על חיינו בזכות פיתוחים חדשנים (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, "פוטוניקה של פוטוניקה", 2017).

חשיבות התחום נובעת מהעובדה שלייזרים וקרני אור אחרות הם "מעבירים מועדפים" של מידע ואנרגיה עבור אפליקציות רבות<sup>1</sup>. למשל:

- לייזרים משמשים לריתוך, קידוח וחיתוך של מתכות, של רקמות אנושיות וחומרים אחרים;
- לקרני אור כמו לייזרים יש רוחב פס המאפשר נשיאת מידע רב יותר מאשר אותות רדיו ותדרי מיקרוגל;
- ניתוחים ספקטראליים של גזים ומוצקים מספקים זיהוי ודאי ואפשרות לכמת ריכוזים.

טכנולוגיות פוטוניקה משמשות במגוון רחב של יישומים, כולל ייצור, בריאות, ניטור סביבתי, תעופה וחלל, תקשורת, ועוד רבים אחרים<sup>2</sup>.

ברשימה להלן מפורטות חלק מהתעשיות המשתמשות במוצרים<sup>1</sup>:

**Aerospace technology** – Uses LiDAR (laser RADAR systems) and laser altimeters, imaging systems for test and analysis of aircraft, holographic heads-up displays, and optical pattern recognition systems for navigation

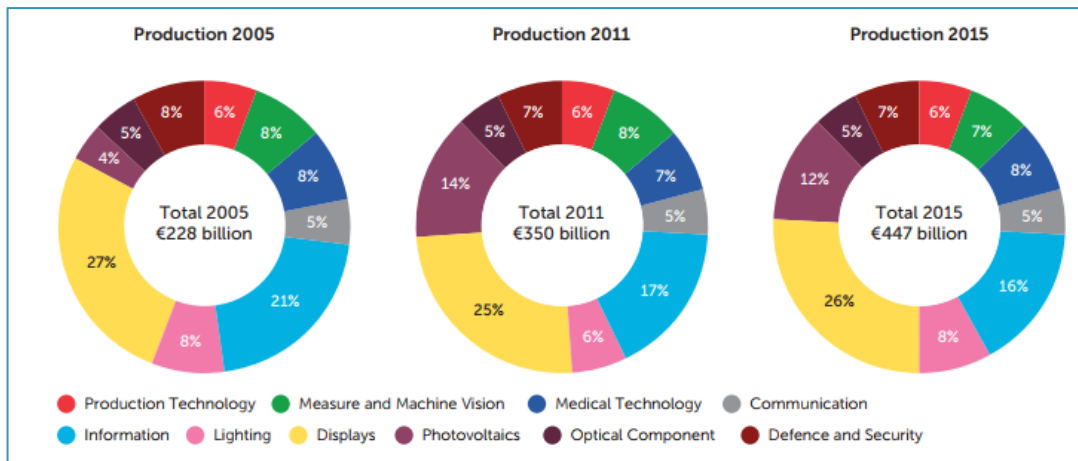
**Agriculture** – Uses satellite remote sensing to detect large-scale crop effects, scanning technology and infrared imaging to monitor food production and quality, and sensor systems for planting and irrigation

**Biomedicine** – Uses lasers for surgery, therapies such as photodynamic therapy, and in situ keratomileusis (LASIK) procedures; uses testing and analysis devices such as noninvasive glucose monitors

<sup>1</sup> ("What is Photonics? | The National Center for Photonics and Optics Education, OP-TEC," 2017)

<sup>2</sup> ("New UK Photonics centre to shine a light on healthcare | Electro Optics," 2017)

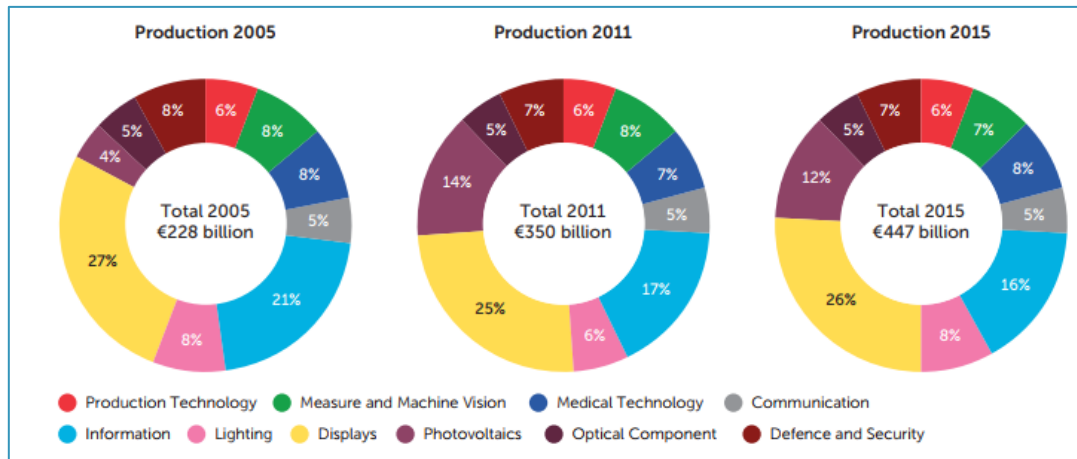




מציג את הגידול לפי יישומים בשוק הפוטוניקה הגלובלי בין השנים 2005 ל-2015:



איור 2: גידול בשוק הפוטוניקה הגלובלי, 2015-2005 לפי יישומים (במיליארדי יורו)

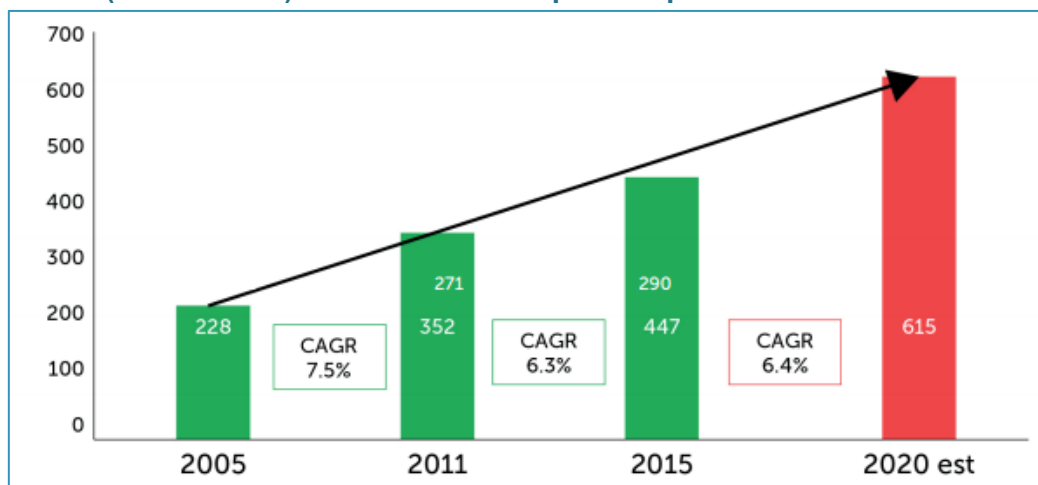


source: (Tober & Wilkens, 2017b)

אם מתייחסים גם לשירותים המתבססים על מוצרים שהם photonic-enabled (אינטרנט מהיר, רפואת לייזרים ועוד) ניתן לומר שרכיבי אופטיקה ופוטוניקה עומדים בבסיס של שוק ענק שערכו מתקרב ל-2 טריליוני דולרים בשנה (Lieberman, Krohn, & Mendez, 2017).

בדומה ל-Tober & Wilkens גם גופי מחקר נוספים מציגים נתונים דומים לגבי ערך השוק העתידי החזוי. כך למשל, לפי חברת מחקרי השוק Transparency Market Research צפויה צמיחה של 5.8% בשוק הפוטוניקה העולמי בין השנים 2014 ל-2020, שיגיע מכ- 500 מיליארדי דולרים (כ- 425 מיליארד יורו) בשנת 2014 לכ- 760 מיליארדי דולרים (כ- 640 מיליארד יורו) בשנת 2020<sup>3</sup>. לדעת חברת המחקר, רכיב הפוטוניקה שצפוי לרשום את הגידול ביותר בתקופה זו הוא wavelength division multiplexer filters<sup>4</sup>, והאפליקציות שהביקוש להן צפוי לגדול בצורה המשמעותית ביותר הן האפליקציות הרפואיות (גילוי מוקדם וניתוחים לא פולשניים)<sup>5</sup>. מחקר אירופי (Tober & Wilkens, 2017b) צופה גידול של השוק העולמי עד לרמה של 615 מיליארדי יורו בשנת 2020, כפי שניתן לראות באיור 3.

איור 3: גידול צפוי בשוק הפוטוניקה בשנים 2005-2020 (במיליארדי יורו)



<sup>3</sup> ("Rising Need for Efficient Communication Devices to Stimulate Demand for Photonics in Displays, says TMR," 2016)

<sup>4</sup> WDM – Wavelength-Division Multiplexing, ריבוב אורכי גל על גבי סיבים אופטיים, אופטימלי למרחקים גדולים

<sup>5</sup> מיוחד (<https://shushan.co.il/multiplexing-%D7%A2%D7%A9%D7%A8%D7%A9%D7%A7%D7%A9%D7%A9%D7%A8%D7%A8%D7%AA%D7%AA%D7%AA%D7%AA%D7%A7%D7%A9%D7%A9%D7%A8%D7%AA>)

<sup>5</sup> ("Global Photonics Market Set for Growth | Business | Nov 2016 | Photonics.com," n.d.)

מקור: (Tober & Wilkens, 2017b)

הנתונים להלן ממחישים את הגידול העולמי הצפוי בשוק המיקרו-פוטוניקה לפי יישומים (Gaurav, 2017):

- השוק העולמי של מעגלים משולבים פוטוניים הוערך בכ-426 מיליוני דולרים בשנת 2016. שוק זה צפוי לגדול מ-539 מיליוני דולרים בשנת 2017 ועד ל-1.8 מיליארדי דולרים בשנת 2020, קרי גידול ממוצע של כ-27.5% לשנה בין השנים 2017-2022.
- שוק התקשורת האופטית צפוי לגדול מ-320 מיליוני דולרים בשנת 2017 לכמיליארד דולר בשנת 2022, גידול ממוצע של 26.5% לשנה.
- שוק עיבוד אותות אופטיים צפוי לגדול מ-68 מיליוני דולרים בשנת 2017 ל-246 מיליוני דולרים בשנת 2022, גידול של ממוצע כ-29.3% לשנה.

## 4.1.2 מגמות עולמיות והתפתחויות טכנולוגיות

בעבודה שבוצעה בבריטניה (Photonic Leadership Group, 2015) זוהו תחומים מתפתחים בעולם הפוטוניקה שמהווים הזדמנות עבור בריטניה. טבלה 1 מציגה תחומים אלו. לא כל התחומים שזוהו כהזדמנות עבור בריטניה מהווים הזדמנות גם לישראל, אך מדובר בסקירה מקיפה של תחומים עתידיים:

### טבלה 1: תחומים מתפתחים בעולם הפוטוניקה שמהווים הזדמנות עבור בריטניה

Sector	priority area	Future UK Opportunity
Information, Data and Optical Communications	Broadband	Next Generation Broadband giving Gigabit connectivity will require fibre to within 100m of the end user; Increasing merging of wireless and wired broadband provision based on 4G development and Future 5G; Development of Radio on fibre;
	Data	Growth in Data Centres, Cloud storage, electronic trading and Financial services; Growth in Big data and data based service;
		Quantum information. Major UK opportunity at all points in supply chain;
	Components	On chip photonics integration for data centres, fibre to home, quantum computing and high capacity comms;
		High reliability components & systems for Satellite Aerospace and Undersea communications;
		Growth in use of valued added /Enabling Materials e.g. compound ;Semiconductors and Metamaterials; Silicon / III-V hydridisation;
Industrial manufacturing with lasers	Adoption	Increased use of laser based processing by UK industry; Forecasts for significant increase in utilisation of laser processes in manufacturing (e.g. automotive 5- 30%)
	Manufacturing efficiency	Laser based additive manufacturing;
		Joining of dissimilar materials;

		Short pulse materials processing;
		Surface processing /modification;
		Laser processing of composite materials e.g carbon fibre;
		Laser welding;
	Lasers and laser components	Ultra-short pulsed, high power high repetition rate lasers; Flexible lasers (e.g multi-colour, pulse / colour tuneable);
		Coatings and components for high power / high intensity laser beam; Laser arrays, multiple fibre arrays
	Beam Delivery	Beam patterning using spatial light modulators; High speed scanning systems; Fibre delivery for high power and/or IR / UV ultra-short pulses
Quality control& automation	Precision measurement to increase manuf. Efficiency; Multimodal sensors combining sensing techniques & multi/hyperspectral imaging; Combination of laser technology with online non-destructive testing;	
Photonics for Health and Life Sciences	Health	User friendly mobile point-of-care equipment using light to detect and/or monitor disease / patient condition with, high sensitivity, accuracy, reliability and speed; Improved, safer and personalized treatment (therapy and monitoring) and highly targeted therapies e.g target photo dynamic therapy; Non-invasive people centric solutions;
		Development of multiband photonic imaging methods to analyze age and life-style related diseases allowing clinician/patient to make informed decisions. Must be either label-free or use already safety- approved labels;
	Life Science	Next generation of Biophotonic tools to understand the origin of disease; Solution to efficiently developing and supplying photonics technology to the large number of subtly different (niche) life science applications, e.g. one light source for multiple instruments; Photonics tools for online process control of drug manufacture Photonics instruments for quality control and counterfeit drug protection;
	Food	Lower-cost and faster methods to control water and food safety/ quality (e.g spectroscopic techniques) ;
Lighting including solid	LED and OLED	III-V nitride materials and devices: Lower cost manufacturing processes and materials - substrates, epitaxy, devices Improved high power, high efficiency LED device structures;

state LED lighting		
		Test and Measure Instrumentation for: LED wafer/ device manufacture and luminaires / lighting systems Certification / standards enforcement;
		Enhanced Organic light-emitting materials with better efficiency, colour, stability, reproducibility; Materials and manufacturing processes; enabling OLEDs to be price-competitively;
	Light fixtures	Innovative designs of LED luminaires based on replaceable fixtures; Thermal management of packaged LEDs in luminaires Materials for effective light extraction and control from luminaires;
	Systems and control	Intelligent control of lighting systems including self-learning and integration with building control systems; Integration with PV, renewable energy sources & DC networks Integration with city wide networks; Human Centric Lighting: health benefits of controlling the lit environment;
	Visible light comms	Fast-switching LEDs, sensors, components, systems and systems integration;
Security, Sensing and Defence	Imaging	3D ground mapping and obstacle avoidance. Depth profiling for long range target interrogation; Active 2D and 3D LIDAR imaging using high repetition rate, low pulse energy lasers; Synthetic aperture LIDAR techniques for high resolution at extreme ranges;
		Larger format thermal imaging cameras operating at > 200K with reduced SWaPC (Size, Weight, Power, and Cost); Thermal imagers with minimal cooling requirements;
		Detectors for discriminative imaging with wide band spectral response and functionality (polarisation, avalanche gain and spectral response);
		Lens-less or compact imaging approaches for improved identification;
		Low light CMOS imaging arrays ( Vis and NIR);
	Hyperspectral Imaging;	
	Multi-functional systems	Broadband optical systems combining multiple sensors and laser wavebands for operation in complex environments;
	Multi-band Infrared and laser countermeasures;	

		Remote gas, liquid, solid&perimeter sensing/ characterization; Laser vibrometry for discrimination of decoys;
		Exploitation of metamaterials;
	Materials	Laser materials, optical fibre and components at eye safe wavelengths (>1.5um);
	Lasers & Sources	Development of indigenous high power multi-band IR/ MIR lasers/ band shifting;
		Microwave / TeraHertz frequency generation and detection techniques;
	Other	Integrated Photonic components for high speed communications & sensing Optical arbitrary waveform generation;
Research and Education	Science and Research	UK has a world class science and research base in at least three disruptive research fields that offer step change improvements in a range of applications: -Nanophotonics (sensing, imaging, energy generation); -Quantum optics and quantum information (computing, secure communications, imaging); -Extreme light (sensing, imaging, material characterisation and processing, advanced manufacturing);
	Education and training	Growing demand for photonics skills at all levels from management to assembly to R&D; Significant demand for photonics training for none technical staff, e.g. operations, legal manufacturing; More integrated approach linking training provision to market/industry demand for skills e.g vocational training in hi-tech 'clean' manufacturing.
	Infrastructure and facilities	Increase access for companies to University and publically funded facilities; Further increased open access to large scale facilities hosted in the UK and Europe;
		Large format optics and imaging systems for satellite imagery, science and space;

### 4.1.3 שוק העבודה העולמי בתחום הפוטוניקה, השינוי הצפוי בו, וההיערכות לקראת שינוי זה

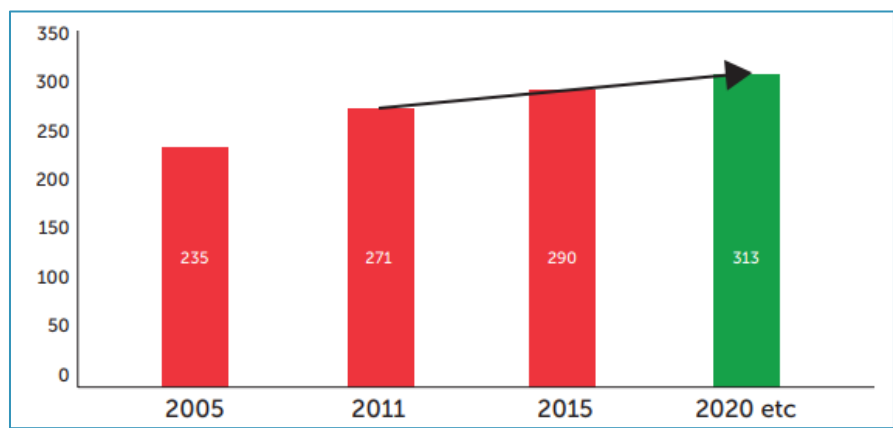
לפי דו"ח אוסטרלי (Lieberman et al., 2017), שוק הליבה של רכיבי פוטוניקה לבדו (להבדיל ממוצרי פוטוניקה, יישומים מבוססי פוטוניקה ושירותים מבוססי פוטוניקה)<sup>6</sup> (ראו Anderson, 2015)) מספק תעסוקה לכ-863,000 אנשים ב-50 מדינות. כ-3,000 חברות פועלות בשוק הליבה, ומייצרות הכנסות של כ-182 מילארדי דולרים בשנה.

בקנדה, לדוגמא, מועסקים כיום כ-20,000 עובדים בכ-400 חברות הפועלות בתחום רכיבי הליבה. חברות אלו מייצרות הכנסות של כ-4,500 מיליוני דולרים קנדיים בשנה. באירופה מועסקים כ-300,000 עובדים בכ-5,000 חברות (רובן קטנות ובינוניות). בארה"ב פועלות כ-2,442 חברות בשוק רכיבי הליבה. חברות אלו, ביחד עם החברות היפניות, אחראיות כ-80% מכלל מכירות רכיבי הפוטוניקה בעולם.

הגידול הצפוי בביקוש למוצרי פוטוניקה יביא לגידול גם בביקוש לעובדים. מוצרים ושירותים חדשים שיתבססו על רכיבי ליבה אלו יביאו לגידול בביקוש למהנדסים, אנשי יצור, מכירות ועוד.

הדו"ח האירופי של Tober & Wilkens (2017b) צופה גידול של 42,000 משרות בתחום הפוטוניקה באירופה בין השנים 2011-2020.

איור 4: גידול צפוי במספר המועסקים באירופה בין השנים 2005-2020 (אלפי עובדים)



source: (Tober & Wilkens, 2017b)

על פי הדוח, גידול זה דורש היצע של כוח עבודה מיומן בתחום הפוטוניקה, בכל רמות הפיתוח הטכנולוגי, החל ממו"פ בסיסי ועד פרויקטי פיילוט לפני העברה לייצור המוני ולכל אורך שרשרת הייצור, ממנהלים ועד עובדי רצפת ייצור. יש צורך בהשקעה ביצירת מיומנויות בתחום הפוטוניקה על מנת לאפשר את התפתחות התעשייה בתחום (European Technology Platform Photonics21, 2017). לאור זאת, האיחוד האירופי גיבש מפת דרכים לקידום תחום ההשכלה וההכשרה בתחום הפוטוניקה בבתי הספר, בציבור הרחב, במכללות לטכנאים, באוניברסיטאות ובהשתלמויות מקצועיות. להלן מפת הדרכים לקידום ההשכלה בתחום הפוטוניקה במכללות, באוניברסיטאות והכשרות מקצועיות: (Photonics21, 2013):

<sup>6</sup> דוגמאות לרכיבי פוטוניקה (כל הדוגמאות מובאות מתוך Anderson, 2015):

LEDs, lasers, detectors, image sensors, lenses, prisms, optical filters, gratings, optical fiber.

דוגמאות למוצרי פוטוניקה:

LED lamps, cameras, displays, optical scanners, markers, manufacturing and inspection systems.

דוגמאות ליישומים מבוססי פוטוניקה:

Lighting, internet & datacenters, smart phones, vision systems, TVs, medical imaging systems

דוגמאות לשירותים מבוססים פוטוניקה:

Internet, streaming video and audio (music), cloud storage services, e-commerce

טבלה 2: מפת דרכים לקידום תחום ההשכלה וההכשרה באירופה

	2014/2015	2016/2017	2018/2019	2020
Specific programs for technicians (high school; vocational training)	Involve local structures (universities, research centres, industries, especially SMEs) and clusters to define needs	Organise courses mainly targeting SME needs on a local basis; Support smart specialisation initiatives; Involve national and international structures (education and outreach-oriented networks, learned societies, etc.) to exchange best-practice and provide support to extend programs beyond the local level.	Support best initiatives to make them self-sustainable so as to guarantee stability in time.	Support spreading of best initiatives throughout Europe, where needed, while respecting local specificity.
High level education (university & PhD)	Strengthen international cooperation through Erasmus and similar initiatives, mainly at the MSc and PhD level; Support mobility both for students and teachers; Introduce summer fellowships (3months); Set standards for basic photonics modules; Strengthen cooperation with industry; Support innovation awards; Foster interdisciplinary education including photonics, and cross-fertilisation towards applications; Foster exchange of information to support contacts between students and industries	Foster group exercises on specific technological problems and challenges; Promote team work through competition on specific problems of industrial interest; Involve national and international structures (education and outreach-oriented networks, learned societies with student clubs and corporate members, etc) and industrial partners to favour contacts between students and industries.	Ensure stability and self-sustainability.	Ensure pan-European spreading of best initiatives.
Lifelong learning	Involve local structures (universities, research centres, industries, especially SMEs) and clusters to define needs	Organise courses mainly targeting SME needs on a local basis; Support smart specialisation initiatives; Involve national and international structures (education and outreach-oriented networks, learned societies, etc.) to exchange best-practice and provide support to extend programs beyond the local level.	Support best initiatives to make them self-sustainable so as to guarantee stability in time.	Support spreading of best initiatives throughout Europe, where needed, while respecting local specificity.

Source: (Photonics21, 2013)



## 4.1.4 פוטוניקה ואלקטרואופטיקה בישראל: מגמות באקדמיה ובתעשייה.

לפי ד"ר פינקלר, האופטיקה והפוטוניקה הם תת תחום של פיזיקה ותת תחום בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה, כימיה והנדסת חומרים. התקנים אופטיים משמשים בתחומים כמו ביולוגיה, אסטרונומיה, רפואה והנדסה. בגלל אופיו של התחום הוא אינו נלמד בד"כ בפקולטות לאופטיקה, אלא בפקולטות של תחומים בהם הוא תת תחום. רק בית הספר הגבוה לטכנולוגיה בירושלים (המרכז האקדמי לב) ומכללת אורט בראודה מציעים מסלולים לתואר ראשון בהנדסה אופטית. פינקלר טוען שההנדסה האופטית אינה מודגשת ואינה זוכה בישראל למקומה הראוי, ושהדבר נובע מחוסר הבנה טכנולוגית ראויה של גורמים העוסקים בקידום המדע והטכנולוגיה במנגנון הממשלתי (פינקלר, 2012).

לפי פרופ' דוד מנדלוביץ, קיים קושי להשיג בארץ מתכנן אופטי ברמה טובה למרות מרכזיות התחום. בישראל יש ידע רב בפריפריה של האופטיקה, בתחומים כמו ננו פוטוניקה ועיבוד תמונה. אחת הבעיות היא שהאופטיקה לא הוגדרה כפיזיקה (מדע) או כהנדסה. יהיה נכון, לדברי מנדלוביץ, לקבוע את האופטיקה בתואר ראשון כחלק מההנדסה, למשל כמסלול בהנדסת חשמל כמו בטכניון ובאוניברסיטת בן גוריון. בעיה נוספת היא בחוסר שיתוף פעולה של התעשייה עם האוניברסיטאות בכל הנוגע לקורסי המשך, לקורסים כאלו יכולה להיות תרומה משמעותית לפיתוח כוח אדם בתעשייה, כפי שקורה בחו"ל. מנדלוביץ טוען שהאופטיקה בארץ זוכה, שלא בצדק, לפחות אטרקטיביות, כיתות מצומצמות ופחות ממשיכים לתואר שני, למרות שחלק גדול מההצלחות המדעיות של ישראל קשורות לאופטיקה (פינקלר & רוזנבלום, 2012).

פרופ' אברהם קציר<sup>7</sup> מעריך שכ-10,000 בעלי מקצוע מועסקים בתחום האופטיקה והאלקטרואופטיקה בישראל, באקדמיה, במכוני המחקר ובכ-500 חברות, שרובן חברות הזנק. אנשי מקצוע אלו עוסקים בביו-פוטוניקה, מע' הגנה אלקטרו-אופטיות, תקשורת אופטית, התקנים אופטיים, ציוד בדיקה ובקרת איכות אופטי, אנרגיה מתחדשת ודפוס. לפי פרופ' קציר, החברה הישראלית הגדולה ביותר בתחום היא אל-אופ, שהמכירות שלה הן מעל מיליארד דולר לשנה. ישנן לפחות 15 חברות שמוכרות בסכום של מעל 100 מיליון דולר בשנה, וביניהן מובילאיי המפתחת מערכות ראייה למכוניות ורכבים אוטונומיים, התעשייה האווירית המפתחת מוצרים בתחום ההגנה, אינדיגו, המפתחת מערכות דפוס חדשניות, אורבוטק ו-applied Materials המפתחות מערכות לייזר לדיאגנוסטיקה ותיקון של מעגלים משולבים, GE Healthcare ופיליפס המפתחות מערכות בתחום הבריאות, לומניס המפתחת מערכות לייזר רפואי לניתוחים, סינרון ואלמה המפתחות מערכות לייזר לטיפולים אסתטיים, Given Imaging המפתחת גלולות הדמיה למערכת העיכול, SCD המפתחת סנסורי IR ולייזרים מתקדמים ורפאל המפתחת מערכות אלקטרו-אופטיות שונות, כולל לייזר בעוצמה גבוהה למטרות צבאיות.

לאור חשיבות תחום הפוטוניקה בישראל, וכחלק מהמאמצים לבסס תחום זה כתחום מוביל בישראל, הוקם בנובמבר 2017 איגוד תעשיות האופטרוניקה בישראל במסגרת איגוד תעשיות החדשנות ועתירות הטכנולוגיה בהתאחדות התעשיינים (לשעבר איגוד תעשיות האלקטרוניקה והתוכנה)<sup>8</sup>. מקימי האיגוד מעריכים שהעתיד של תעשיית השבבים תלוי בהתפתחות תחום המיקרו-פוטוניקה. התפתחות זו תגרום לקפיצת מדרגה בכל תחומי הפוטוניקה. חברות כמו אינטל כבר הבינו את התהליך הזה והן משקיעות סכומי עתק בנושאים כמו סיליקון פוטוניקס וטכנולוגיות אופטיות. לפי חיים רוסו, ממקימי האיגוד, המיקרו-פוטוניקה תייצר סביבה תעשיות רבות של ציוד, מכשירי בדיקה ומדידה ועוד, כמו שעשתה תעשיית השבבים. לישראל יש כיום את כל המאפיינים הדרושים כדי להצליח בתחום המתפתח: תעשייה חזקה עם חברות עוגן גדולות, חברות סטארט-אפ ואקדמיה מתקדמת בתחומי האופטיקה.

<sup>7</sup> "Photonics in Israel 2017 | International Commission for Optics," ש(2017)  
<sup>8</sup> ("הוקם איגוד תעשיות האופטרוניקה בישראל - Techttime - חדשות אלקטרוניקה והייטק", 2017)

## 4.1.5 יתרונות יחסיים של ישראל בתחום הפוטוניקה

לפי דו"ח של סוכנות החדשנות ההולנדית (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2017), לישראל יש שלוש "רגליים" עליהן היא יכולה לבסס את יתרונה בשוק הפוטוניקה העולמי: מצוינות אקדמית, תעשייה ביטחונית ונוכחות תעשייתית (אזרחית) בולטת.

**אקדמיה:** שבע אוניברסיטאות מובילות בישראל (אוניברסיטת בן גוריון, אוניברסיטת בר אילן, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת חיפה, האוניברסיטה העברית, מכון ויצמן והטכניון) מבצעות מחקר בתחום הפוטוניקה במחלקות שונות ובמכון לנו פוטוניקה (במרכז BINA בבר אילן<sup>9</sup>). מכון לב בירושלים העניק השכלה בתחום הפוטוניקה לכ-15% מכלל המהנדסים בתחום האופטיקה והפוטוניקה בישראל. המרכז למחקר גרעיני – שורק פעיל בתחום הלייזרים והחומרים האופטיים, רכיבים משולבי פוטוניקה ו-Structured Fibers.

תחומי המחקר המובילים באקדמיה בישראל הם:

- Integrated photonics;
- Quantum optics;
- Diffractive and phase optics;
- Hyperspectral imaging;
- Remote sensing;
- Opto-fluidic MEMS (Micro-ElectroMechanical Systems);
- Optical materials and fibres;
- Microscopy, optical communication and cryptography;
- Opto genetics and biomedical optics.

**תעשייה:** בישראל יש מספר של חברות עוגן בתחום הפוטוניקה, ובהן, אורבוסק (נסחרת ב-NASDAQ), רפאל, אפלייד מטיראלס, סינרון, אופיר אופטרוניקס, Given Imaging, סיוון טכנולוגיות מתקדמות, אלביט מערכות, Semi-Conductor Devices (SCD) ועוד. בנוסף ישנן מספר גדול (כ-300 חברות) של חברות קטנות, רובן חברות הזנק.

**המרכז הלאומי לפוטוניקה**<sup>10,11</sup>: ממ"ג שורק ואוניברסיטת בן גוריון בנגב זכו במכרז להקמת המרכז הלאומי לפוטוניקה בהשקעה כוללת של מעל 180 מיליון ₪. המרכז, שכלל התשתיות שבו אמורות להיות מוכנות בשנת 2018, יכלול צוות מו"פ, מהטובים ביותר בישראל בתחום של מוליכים למחצה אופטיים ולייזרי סיב, ותשתיות מתקדמות למו"פ. המרכז ייתן פתרונות לתעשייה ולאקדמיה גם יחד, כפי שמקובל במכוני Fraunhofer<sup>12</sup> בגרמניה ובמרכזים דומים בקוריאה (KANK), קנדה וארצות הברית.

המרכז הלאומי לפוטוניקה המתוכנן יכלול מערכת חדרים נקיים שבהם יתבצע גידול אפיטקסיאלי, כלומר, ייצור רכיבים אלקטרו-אופטיים ופיתוח רכיבים חדשים באמצעות הצמחת שכבות חד-גבישיות של חומרים שהם מוליכים למחצה על-גבי מצעים שונים, כמו למשל גאליום ארסניד. באמצעות התהליך הזה ניתן לייצר רכיבים בעלי תכונות חשמליות ואופטיות מיוחדות. כיום חסרות בארץ מערכות גידול כאלה שיכולות לשרת את כלל התעשייה והאקדמיה.

**צבא:** לפי אתר משרד הביטחון<sup>13</sup>, מחלקת אופטרוניקה ביחידת המחקר והפיתוח (מפא"ת) אחראית לייזום ופיתוח טכנולוגיות, רכיבים, מחושים, מדגימים ומערכות אלקטרו-אופטיות הנדרשים בטווח הרחוק לשימוש זרועות צה"ל

<sup>9</sup> <http://nano.biu.ac.il/he/research-centers/photronics>

<sup>10</sup> ("חזון המרכז הלאומי לפוטוניקה. n.d.")

<sup>11</sup> ("המרכז הישראלי לפוטוניקה מתקדמת יתן שירותי מו"פ לתעשייה ולאקדמיה בשנת 2018 - Techtme - חדשות

אלקטרוניקה והייטק. n.d.")

<sup>12</sup> <https://www.fraunhofer.de/en.html>

<sup>13</sup> ("מחקר ופיתוח צבאי. n.d.")

ומערכות הביטחון. מחלקת אופטרוניקה עוסקת בפיתוח "כחול-לבן" של טכנולוגיות ליבה בתחום האלקטרואופטיקה ופועלת לפתח מערכות מתקדמות יחד עם התעשיות הביטחוניות הגדולות, לצד פיתוח חדשני בחברות הזנק ובחברות קטנות. המחלקה עוסקת במחקר ופיתוח של מערכות מתקדמות מסוגן, המסוגלות לאסוף מודיעין איכותי ביום ובלילה, בקרקע ובאוויר, באמצעות גילוי ובאיכון אופטרוני מדייק ולזהות ירי המבוצע לעבר הכוחות בשטח, בפיתוח מערכות לייזר ליישומים רבים ומגוונים ובפיתוח מערכות להגנה על מטוסי נוסעים.

## 4.2 תחזיות טכנולוגיות וצרכי כ"א בפוטוניקה

ב-2018.1.23 נערכה סדנה בנושא תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתחום הפוטוניקה בישראל. בסדנה השתתפו 17 מומחים מהתעשייה, מהאקדמיה, מהממשלה ומהצבא.

בחלק הראשון של הסדנה התבקשו המומחים לבחור אלו תחומים עסקיים צפויים להתפתח בישראל ב-10 השנים הקרובות ולהתייחס לחשיבותו של תחום הפוטוניקה כמאיץ להתפתחות תחומים אלו. המסקנות העיקריות שעלו מחלק זה של הסדנה הן:

1. קיימת הסכמה על צמיחה צפויה בשוק הפוטוניקה הישראלי. התחומים הקלאסיים של ביטחון ואבטחה, ציוד רפואי, בקרה תעשייתית ודפוס ימשיכו לצמוח אם כי לא בקפיצות מדרגה.
2. תחומים חדשים אשר עשויים לצמוח בעשור הקרוב הם: מערכות לרכבים חשמליים ואוטונומיים, מערכות לחקלאות מדייקת, ביופוטוניקס ומיקרופוטוניקה.
3. לא ברורה ההשפעה של תחומי Integrated Photonics על המשק הישראלי. המהפכה העולמית תהיה עצומה אבל מקום התעשייה הישראלית לא מובטח ללא גיבוש אסטרטגיה לאומית.

בין נימוקי המומחים לבחירה בתחומים אלו:

### ביטחון ואבטחה:

- בצד הביטחוני האופטרוניקה נכנסת ליותר ויותר תחומים. הכניסה והחדירה למערכות סופר טכנולוגיות הוא יותר איטי וזה לא דומה לטכנולוגיית סייבר.
- עבודה בלהקות, drones, שוק הלייזרים- מחיר של רכיבים (קומפוננטות) יורד, קונספטים שנחשבו בעבר ליקרים למימוש או 'אקזוטיים' היום אנחנו מרגישים את ההשפעה הדרמטית של השוק האזרחי על התפתחותם.
- הנושא הצבאי ובטחון פנים ימשיך להתפתח. הצבאות היום עדיין מבוססים על טכנולוגיה ישנה. על כל חייל שיש לו ציוד אופטרוני יש עשרות אחרים עם ציוד מלפני 50 שנה. המפתח להצטיידות הוא בעיקר הוזלה של המערכות ופה יש פוטנציאל להוזלה שיביא בעקבותיו פוטנציאל להצטיידות.
- היום השווקים מתפתחים במקביל והשוק הצבאי יכול לעשות שימוש במוצרים אזרחיים. עדיין יש מוצרים שהצבא יצטרך שיפתחו במיוחד עבורו והדרישה רק עולה. מה הם הקצבים שכל תחום יתפתח קשר לומר.

### בקה תעשייתית ודפוס:

- תחום שבו התעשייה והאקדמיה כבר פועלות בהצלחה – בעיקר בתחום של אוטומציה, inspection (בתעשיית המוליכים למחצה), machine vision, metrology, ו-clean tech.
- חברות דפוס מתקדמות וכשהם ידעו להכתיב צרכים טכנולוגים בתחום הפוטוניקה (מקורות אור וגלאים וסנסורים) ואז זה יביא אותנו לקדמה הטכנולוגית בתחום הזה.
- היום חלק מהלייזרים מתקנים כרטיסים. אי אפשר לייצר יצור ממוזער ללא תיקונים. יש תעשייה די גדולה שעוסקת בתיקונים של רכיבים ממוזערים.

### מערכות לרכבים חשמליים ואוטונומיים ורחפנים:

- תחום הרחפנים והעבודה בנחילים מקושרים באופן אוטונומי יגדל בקצב מעריכי ויתפוס נישות חדשות.
- שני תחומים גלובליים הם רכבים אוטונומיים ורחפנים בהקשר הרחב ביותר – למעשה יש כיום דרישה גוברת לפיזור סנסורים יותר טובים ויותר זולים. לא בטוח שלמדינת ישראל יש יתרון בזה. לתעשיית הפוטוניקה

בישראל אין יתרון בסנסורים זולים. אנחנו כן טובים וייחודיים בטכנולוגיות של המון סנסורים קטנים שיודעים לתקשר אחד עם השני.

- שוק הרחפנים תופס תאוצה מטורפת בשנים האחרונות גם צבאי וגם אזרחי. יש מספר רב של סטארט-אפים לאפליקציות מדהימות. למשל monitoring בתעשיית הבניה – יש צורך בסנסורים שהם לא רק מצלמה. הדרישה היא לחיישנים מדויקים ושכל מערכת החישה והעיבוד תימצא בתוך הרחפן – זו טכנולוגיה בפני עצמה.
- רכבים אוטונומיים זקוקים לאמצעי ראיית לילה, ללייזרים ועוד. החברות הישראליות מאד פעילות בשוק בתחומים אלה.

### מערכות לחקלאות מדייקת:

- תחום זה גדל בעולם בשנים האחרונות בכ-10% וצפוי להמשיך ולצמוח. (דו"ח מקנזי)
- החקלאים פתוחים להכניס טכנולוגיות חדשות וישראל מהווה beta-site מאוד טוב. יש בישראל הרבה ידע. השאלה היא האם זה פוטוניקה או אלגוריתמיקה זה כנראה גם וגם.

### ביופוטוניקה:

- Bio-sensing יש כר מאוד נרחב (bio-photonics). בישראל יש המון מחקרים שעושים באקדמיה וגם סטארט אפים בתחום.

### מיקרופוטוניקה:

התחום של תעשיית המיקרו-פוטוניקה נמצא בתהליך צמיחה בארה"ב, גרמניה, יפן, בריטניה ומדינות נוספות. כפי שצויין לישראל יש יתרונות (חוקרים, תעשייה ופיתוח צבאי המבצעים מו"פ מתקדם) ואין שום סיבה שישראל לא תהיה בו אחד השחקנים המובילים. כבר היום אנו מובילים במערכות אלקטרו-אופטיות מתקדמות לשימושים צבאיים ואזרחיים כאחד. על מנת שישראל לא תפספס את ההזדמנות להיות חלק משוק זה, הממשלה צריכה לקדם ולהכווין לתחום זה כלומר, להגדיר ולגבש אסטרטגיה שבה יוגדרו כיווני הפיתוח והתשתיות הנדרשות כמו גם התקציבים הנדרשים להשקעה על ידי מדינת ישראל.

בחלק השני של הסדנה התבקשו המשתתפים להצביע על הפערים העיקריים בתחום ההון האנושי.

התובנות העיקריות שעלו מחלק זה של הסדנה הן:

- לתחום של פוטוניקה אין הכשרה באוניברסיטאות. אנשי הפוטוניקה הם לרוב פיזיקאים שמקבלים הכשרה במקום העבודה.
  - כיום קיים מחסור כללי בעובדים. נובע בין היתר ממחסור במוסדות המכשירים עובדים לשוק הפוטוניקה.
  - מחסור בכוח אדם בתחום הפוטוניקה צפוי לגדול בגלל הצמיחה הצפויה בשוק בעולם וגידול והתפתחות חברות ההזנק בישראל. לאחרונה השקיעה חברת ענק אמריקאית בהקמת מרכז הנדסי וייצורי בתחום האלקטרואופטיקה בישראל שישרת חברות בישראל ובאירופה. הקמה של מרכז כזה תביא לגידול משמעותי בדרישות כוח אדם בתחומים הרלוונטיים (הנדסה והרכבה)
  - יש לחזק משמעותית את לימודי הפיזיקה במערכת החינוך. מאמץ דומה למה שנעשה בתחום המתמטיקה
  - מחסור באנשי מו"פ עם הבנה מולטידיסציפלינרית. כל תחומי הצמיחה של התחום מחייבים הכשרה כזו (פיזיקה/ביולוגיה, פיזיקה/חקלאות, פיזיקה/רפואה ועוד)
  - יש לחזק לימודי טכנאים/הנדסאים/מכשירנים במסגרת המכללות הטכנולוגיות בישראל
- סיכום ומהלך הסדנה מופיע בנספח ג'.

## 4.3 סיכום והמלצות

תחום הפוטוניקה הינו תחום רחב והטכנולוגיות שלו משמשות במגוון רחב של יישומים, כולל ייצור, בריאות, ניטור סביבתי, תעופה וחלל, תקשורת, ועוד רבים אחרים. בחנו אילו טכנולוגיות מתוך 15 תחומים בהן הטכנולוגיות של תחום הפוטוניקה יכולים להשתלב, מתאימות לישראל. מפגישת סיעור המוחות שקיימנו בה השתתפו מומחים בתחום מכל המגזרים (תעשייה, אקדמיה, ממשלה וצבא) הוחלט על התחומים הבאים: חקלאות, ייצור, תחבורה, ביו-רפואה, טכנולוגיות מידע, הדפסת תלת-ממד ומטרולוגיה. תחומים אלה נבחרו מאחר ורוב התחומים הם כאלה שלישראל יש בהן פוטנציאל ויש לה כבר דריסת רגל או תחילתה של תעשייה בתחומים אלה ונראה כי אם מדיניות נכונה תחומים אלה יכולים להיות הקטר הבא של ישראל.

בשני העשורים האחרונים חלו שינויים טכנולוגיים משמעותיים בתחום הפוטוניקה ששינו את פני התעשייה, האקדמיה הצבא ואת הקשרים בין מגזרים אלה. מספר הגופים שעוסק במחקר יישומי בתחום הפוטוניקה באוניברסיטאות ירד והקשר החזק בין התעשייה הביטחונית לאקדמיה הצטמצם אף הוא. אחת הסיבות באי שיתוף פעולה היא נושא ה-IP שהפך להיות משמעותי באקדמיה ופעמים רבות הביורוקרטיה והסרבול מקשים על הקשר עם התעשייה. גם ההכשרה הבסיסית בתחום זה ירדה וכיום כמעט ולא קיימת הכשרה באוניברסיטאות. וכוח האדם המועסק בתחום זה הם לרוב פיזיקאים שמקבלים הכשרה במקום העבודה. חלק מהבעיה מתחילה כבר במערכת החינוך בה שיעור הלומדים והנחשפים לתחומי הפיזיקה ומתמטיקה ברמה המתאימה הוא נמוך מאוד. היקפי המו"פ הבסיסי והיישומי בתחום זה ירד מאד בתעשיות הביטחונית, במוסדות המחקר הממשלתיים, ובתעשיות הגדולות וכיום, החברות עוסקות בעיקר בתכן הנדסי ואינטגרציה. מנגד, מספר הסטארט-אפים שעוסקים בתחומים אלה עלה ואם בעבר חלחול הידע היה מהתעשייה הביטחונית אל האזרחים, כיום, המצב הפוך המגזר העסקי מבצע מו"פ בהיקפים משמעותיים והמגזר הביטחוני ניזון מפיתוחים אלה. מזה כ-10 שנים מורגשת נסיגה במיקום היחסי של ישראל בתחום לעומת כלל העולם – בייחוד ביחס לאירופאים. גם הסינים והדרום-קוריאניים תפסו תאוצה. הדבר ביישומים האזרחיים.

שינויים אלה משפיעים גם על איכות ועתודות כוח האדם הנדרשים למחקר ופיתוח בתחומים אלה. על מנת לענות על החסמים בתחום להלן המלצתנו:

- א. **הכשרות בתחום הפוטוניקה** - הכשרה ייעודית לתחום הפוטוניקה מתחילה בהשכלה הנדסית ומדעית בסיסית בפיזיקה, אך אנשים העוסקים בתחום זה מגיעים מדיסציפלינות שונות ומפקולטות שונות, ולרוב הסטודנטים לפיזיקה לא נחשפים לנושאי הפוטוניקה ולפוטנציאל הגלום בו. פתרונות אפשריים:
  - פיתוח לימודים לתארים מתקדמים בתחום הפוטוניקה עבור בוגרים מדיסציפלינות שונות (מחשבים, מכונות, חקלאות, ביורפואה וכד').
  - לפתוח בפקולטות לפיזיקה מסלול ללימודי פוטוניקה בו גם סטודנטים מפקולטות אחרות יוכלו להשתתף על מנת לקבל רקע ובסיס בתחום
  - לאפשר לסטודנטים מפקולטות שונות בשילוב עם התעשייה לבצע פרויקטים משותפים בתחום כחלק מתוכנית הלימודים (פרוייקטי גמר)
- ב. **הקמת מרכז למחקר הנדסי יישומי רב-תחומי בתחום של פוטוניקה (אלקטרו-אופטיקה)** - כפי שהוזכר בסקר הספרות, ממ"ג שורק ואוניברסיטת בן גוריון בנגב זכו במכרז להקמת המרכז הלאומי לפוטוניקה בהשקעה כוללת של מעל 180 מיליון ₪. לדעתנו, על מנת שמרכז כזה יצליח הוא צריך לאגד את האקדמיה, התעשייה והממשלה במחקרים מולטידיסציפלינרים על מנת לפתח ולייצר מוצרים מתקדמים בתחום הפוטוניקה והאלקטרו-אופטיקה כמו גם הכשרתם של בוגרי הנדסה רב-תחומיים המתמחים בחדשנות ומכוונים למנהיגות בכלכלה העולמית. כלומר, להוות גם זירה לשיתופי פעולה בין הגורמים הפועלים בתחום וגם לספק הכשרות על מנת לספק כוח אדם המוכשר לעסוק בתחומים אלה. (Life Long Learning). יש לוודא שהמרכז יעסוק בכל תחומי ורבדי הפוטוניקה, מהרובד הנמוך ביותר (ייצור סיבים וגידול שכבות) ועד רמת הרכיבים, המוצרים והמערכות כולל יכולות הנדסיות (בדומה למכוני פוטוניקה בעולם).

- ג. **חינוך לילדים ונוער** – חשוב שכדי שיהיו עתודות תלמידים יחשפו הן לפיזיקה ומתמטיקה ברמה המתאימה וגם ליישום של תחומים אלה. תחומים יישום רבים בפוטוניקה הם מעניינים ואטרקטיביים לילדים ואפשר בשיתוף עם התעשייה לחשוף את התלמידים לאהוב ולרצות ללמוד תחומים אלה.
- ד. **הקמת מאגר מידע** – על מנת לעודד קשרים בין המגזרים וכן לעודד פעילות ישראלית במסגרות בינלאומיות, מומלץ להגביר את המודעות לאפשרויות הקיימות בארץ ובחו"ל. רצוי להקים גוף במימון ממשלתי שירכז את המידע על גופי מחקר, חוקרים ומרכזי מו"פ ישראלים הפעילים בתחום ובמקביל ירכז את המידע על הפעילויות הבינלאומיות (כנסים, הצעות מחקר, אפשרויות למימון שיתופי פעולה, חילופי מדענים וסטודנטים וכד') ויעודד לקשרים והשתתפות בפעילויות אלה.

### 5.1 סקר ספרות חקלאות אגרוטק/חקלאות מדייקת

#### 5.1.1 מגמות עולמיות בתחום הטכנולוגיה החקלאית<sup>14</sup>

תעשיית האגרוטק עוסקת בטכנולוגיות, מוצרים ופתרונות לתחומים שונים בשרשרת היצור החקלאי. שוק טכנולוגיות החקלאות והמזון נמצא בתהליך גדילה מואצת בשנים האחרונות, ככל שהעולם עומד בפני אתגרים, שעם חלקם מתמודדת ישראל מאז הקמתה. אתגרי מים ואקלים, איכות הגידולים החקלאיים ועתודות קרקע פוריה מציבים קושי בפני השאיפה לגידול מזון איכותי בכמות מספקת לאוכלוסיית העולם, שגם היא, בתורה, גדלה בקצב מהיר תוך שינויים בפריסת האוכלוסייה ובדיאטה שלה, בעיקר במדינות המתפתחות. גודל השוק החקלאי, מוערך בכ-6.4\$ טריליון וכ-1.3 מיליארד אנשים מועסקים בתעשייה החקלאית ברחבי העולם.

תחום הטכנולוגיות החקלאיות, כולל קשת רחבה של נושאים שתכליתם לשפר את הביצועים החקלאיים. בשנים האחרונות גוברת המגמה של חדירת טכנולוגיות מתעשיות שונות והתאמתן לחקלאות המודרנית (כאמור, חקלאות שנדרשת גם להגדיל תפוקות, להתייעל ולצמצם השפעות סביבתיות). למשל - טכנולוגיות מתחומי הגנומיקה non-GMO (מזון שאינו מהונדס גנטית) וכן טכנולוגיות מתחום הרחפנים (drones) ואינטרנט של דברים (IOT), תחליפי חלבון ומודלים חדשים למכירה ושינוע הסחורות לצרכן.

מנתוני AgFunder (AgFunder, 2016) עולה כי בשנת 2010 עמדו סך ההשקעות בתחום הטכנולוגיות החקלאיות החדשניות על היקף של 400 מיליון דולר. היקפי השקעות עלו לכ-900 מיליון דולר בשנת 2013 וזינקו ל-2.4 מיליארד דולר בשנת 2014. בשנת 2015 הגיעו היקפי ההשקעה לשיא של 4.6 מיליארד דולר. בשנת 2016 הגיע היקף ההשקעות ל-3.2 מיליארד דולר.

ההשקעות בתחום כוללות השקעות בשיפור המסחר במזון (כמעט 30% מההשקעות), שיפור כזה מקצר את זמני המשלוח ומפחית אובדנים, רובוטיקה (10% מההשקעות), כלים לקבלת החלטות (9%), גידולים לביו-אנרגיה (8%), טיפול בקרקע וביבולים (5%), חומרים וכימיקלים ביולוגיים (4%) וכן גידול חלבון מקיים, קנביס ועוד.

בדו"ח Innovation Monitor שפרסמה Cleantech Group ברבעון השני של 2016 (Cleantech Group, 2016) מדווח כי אחוז העסקאות של VC (קרנות הון סיכון) בתחום החקלאות עלה בצורה המשמעותית ביותר בשש השנים האחרונות ועומד על 14.8%, לעומת קיפאון או ירידה תחומים אחרים של אנרגיה (סולרית ויעילות אנרגטית).

כאמור, סקטור הטכנולוגיות החקלאיות מתאפיין בשנות גדולה וכולל תת סקטורים כמו עיבוד יבול וגידול בע"ח לצרכי מאכל, ביו-דלקים, כימיקלים ועוד. בנוסף כולל הסקטור את אחסון התוצר, עיבודו, אריזה, שינוע ועוד, וכן צדדים הקשורים בשרותי מסחר המקשרים אל הצרכנים.

עם שינויי האקלים, המחסור במים, איבוד שטחים חקלאיים ותקופות משתנות של מזג אוויר קיצוני צפויים להוות איום על החקלאות ולשבש את אספקת התוצרת. אם מגמה זו תימשך, האיום הגדול ביותר הוא מחסור חמור במזון בקנה מידה עולמי שעלול להתפתח כבר בעשור הקרוב. תופעת לוואי נוספת היא הופעת מזיקים הנובעת מעומסי חום כבדים, ומזג אוויר לא יציב המלווה בתקופות ארוכות של טמפרטורות גבוהות. חלק מהדרכים להתמודדות עם אתגרים אלה כוללות השבחת זנים במטרה להתאימם לסביבת הגידול - פיתוחים חדשים בתחום כוללים זיהוי גנים רלוונטיים להתמודדות הצמח עם בעיות סביבתיות (כגון תנאי עקת מים), הארכת חיי הצמח תוך סבילות לבצורות, האצת קצב הצימוח בעצים ועוד.

חברת הייעוץ מקנזי (Goedde, Horil, & Sanghvi, 2015) זיהתה 24 תחומים 'חמים' עבור השקעות עתידיות בתחום האגרוטק. תחום החקלאות המדייקת הוא התחום בו צפתה החברה סיכון נמוך מצד אחד ותשואה גבוהה מהצד האחר. (Goedde et al., 2015)

<sup>14</sup> מבוסס על אילון et al., 2016

## 5.1.2 תתי-תחומים באגרוטק

סקטור טכנולוגיות החקלאות והמזון – אגרוטק, הוא אחד מפלחי השוק הגדולים והחשובים בכלכלה העולמית ומייצר כ- 8.5% מהתוצר המקומי הגולמי בעולם (AgFunder, 2015). תתי התחומים הנכללים בשוק האגרוטק הם רבים ומגוונים וכוללים, בין השאר:

- **הגנת הצומח** - מחקר, פיתוח וייצור פתרונות להגנת הצומח בפני מזיקים
- **השקיה ומים** - מחקר פיתוח וייצור מערכות השקיה, רכיבי השקיה וטיהור מים
- **זרעים** - מחקר ופיתוח זנים חדשים באמצעות טיפוח והנדסה גנטית
- **משק חי** - מחקר ופיתוח טכנולוגיות ופתרונות לניהול משק החי ולשיפור תוצריו
- **חקלאות מים** - מחקר ופיתוח טכנולוגיות, פתרונות ושיטות גידול במים ובמים מליחים
- **אגרו ICT (חקלאות מדייקת)** - פיתוח פתרונות וטכנולוגיות אופטימיזציה בשיטות הטיפול וצריכת המשאבים. כולל בתוכו חברות המפתחות ומייצרות מערכות אוטומטיזציה וניהול ושליטה מרחוק של תשומות ותפוקות חקלאיות
- **Post-harvest** - מחקר ופיתוח של פתרונות וטכנולוגיות לטיפול, שימור ואריזת תוצרת חקלאית
- **מזון** - חברות המייצרות, מעבדות ומפתחות מזון
- **דישון** - מחקר, פיתוח וייצור בתחום הדשנים
- **מיכון חקלאי** - מחקר, פיתוח וייצור מיכון חקלאי

## 5.1.3 חקלאות מדייקת

פרק זה הוכן ע"י ד"ר שי סלע, המחלקה למדעי הצומח והקרקע, אוניברסיטת קורנל, ארה"ב

חקלאות מדייקת הינה תחום רחב, המוגדר כסט של טכנולוגיות המשלבות חיישנים, טכנולוגיות מידע, שיפורים מכניים, וניהול מונחה-ידע למיקסום יבולים ע"י התחשבות בשונות המובנית של סביבות חקלאיות (Gebbers, 2010). טכנולוגיות אלו מוצעות כיום לרוב סוגי הגידולים – מגידולי שורות למיניהם ועד למטעים, ומאפשרות גמישות בהפניית משאבים כגון מים ודשן למקומות הדרושים להם, במידה הדרושה להם, ובזמן הנכון להם (variable rate approach). בכך טכנולוגיות אלו מגדילות את יעילות הניצול של מים ודשן בשדה, מגדילות את רווחיות החקלאים ומקטינות שטפי מזהמים לסביבה כגון חנקות ( $\text{NO}_3$ ) או חמצן דו-חנקני ( $\text{N}_2\text{O}$ ). ישנם לפחות שני גורמים אשר צפויים להיות קטרי צמיחה בשימוש בכלים של חקלאות מדייקת בעתיד – הגדלת הרווחיות לחקלאי והקטנת ההשפעה הסביבתית.

לחקלאות מדייקת יש ניסיון מוכח הנתמך במחקרים רבים, בהגדלת היבול והרווח לחקלאי. שימוש למשל במערכות קבלת החלטות לניהול משטר הדישון באזורים שונים בעולם מאפשר להגדיל את רווחי החקלאים (לדוגמה בארה"ב, עלייה של \$65 להקטר<sup>15</sup> ברווח במחקר<sup>16</sup> Sela et al. 2008; Melkonian et al. 2016; 2017). במדינת ניו יורק, או עלייה של \$121 להקטר במחקר שבוצע בסין (Xu, 2014). כלים נוספים, כגון שימוש בחיישנים לניטור עקת חנקן בצומח הגדילו גם הם את רווחי החקלאי (למשל במחקר במדינת מיזורי בארה"ב (Scharf, 2011), הצביעו על עלייה של \$42 להקטר).

מנוף שני להטמעה של טכנולוגיות חקלאות מדייקת הינו היכולת של טכנולוגיות חקלאות מדייקת להקטין זליגת מזהמים שונים ממקורות חקלאיים לסביבה. חקלאים היום מבינים כי הנושא הסביבתי אינו ניתן להפרדה מתפעול אופטימלי של השדה. מדינות רבות עיגנו תקנות בנושא השימוש בנטריינטים בחקלאות (עם דגש על חנקן וזרחן) ושמות דגש על ניטור מוקפד של איכות מקורות מים. בנוסף, חברות ענק בתחום קמעונות המזון

<sup>15</sup> הקטר = 10 דונם

<sup>16</sup> S. Sela, H.M. van Es, B.N. Moebius-Clune, R. Marjerison, J.J. Melkonian, D. Moebius-Clune, R. Schindelbeck, and S. Gomes (2016), Adapt-N Outperforms Grower-Selected Nitrogen Rates in Northeast and Midwest USA Strip Trials. Agron. J., 108(4), 1726-1734. doi: 10.2134/agronj2015.0606

S. Sela, H.M. van Es, B.N. Moebius-Clune, R. Marjerison, D. Moebius-Clune, R. Schindelbeck, K. Severson, and E. Young (2017), Dynamic model improves agronomic and environmental outcomes for Corn N management over static approach. J. Environ. Qual. 46:311-319. doi:10.2134/jeq2016.05.0182







מערכות קו-נוע מאפשרות להשקות במנות השקיה משתנות לאורך הקו – (Variable rate approach). בהקשר הזה ישנן כמה שיטות לדייק את כמות המים המושקית ע"י המערכת בהתאם לצרכים בשדה, כגון חיישני אינפרה-אדום המותקנים על הקו, המודדים את טמפרטורת חופת הצומח אשר קשורה לעקת המים בצומח, ומעדכנים בהתאם את מרשם ההשקיה בזמן. סוג נוסף של חיישנים, אשר מחירים ירד בשנים האחרונות, הוא חיישני תכולת רטיבות אלחוטיים. חיבור מערך של חיישנים כאלו לקו-נוע מאפשר לדייק תוך כדי תנועה את כמות המים הדרושה בכול אזור בשדה (Dong, 2013). היתרון במערכות כאלו להגדלת ניצולת המים ברור, אך השימוש במערכות כאלו צפוי לגדול בעתיד אך ורק אם השימוש בהם יהיה פשוט מבחינת החקלאי. מחקרים (McCarthy, 2011) מצאו כי ישנם חקלאים רבים אשר רכשו מערכות המותאמות להשקיה במנות משתנות, אך כעבור כמה שנים חזרו להשתמש במערכת בצורה "מסורתית", של מנת השקיה קבועה לאורך הקו. הסיבה לכך היא האתגר ביצירת תזמוני ומרשמי השקיה מפורטים, המנצלים את יכולות מערכות ההשקיה הקיימות. יש צורך ביצירת פתרונות לחקלאים המפשטים עבודה עם מערכות השקיה, כולל יצירת מרשמי השקיה מדויקים ודינאמיים ממערך של חיישנים שונים. סוג נפוץ נוסף של מערכות השקיה אשר ניתן לשפר את יעילותם באמצעות טכנולוגיות חקלאות מדייקת הוא השקיה בשוחות. השקיה בשוחות מבוססת על קו מים מרכזי – לרוב צינור או תעלה פתוחה – אשר יש לו סיפונים או צינורות המזרימים מים ישירות לשוחות בין השורות. השוחות מוצפות ומתמלאות בקצב שתלוי בספיקת המים ובתכונות החידור של הקרקע. מערכות השקיה כאלו קשה להתאים למנות מים שונות בשדה, אך עדיין ניתן לשפר את יעילותן, למשל באמצעות מודלים הידרולוגיים המחשבים את שינוי תכולת הרטיבות בקרקע לאורך השוחה (Koech, 2014) (Gillies, 2015).

**עבודה עם מערכות כאלו מציבה אתגרים רבים, אך השימוש הנפוץ בהן מציב פוטנציאל רב לפיתוח מערכות אוטומציה המייעלות אותן.**

## יישומי רובטיקה בחקלאות

התחום האחרון בסקירה קצרה זו אשר צפוי לגדול בשנים הקרובות, הינו השימוש ברובוטים בחקלאות (Pedersen, 2006). רובוטים הם כלים אוטונומיים אשר יפעלו על פי תכנית סדורה, יסיירו בין השורות ויכולו לבצע פעולות אשר היום דורשות שעות עבודה רבות, כמו זריעה מדויקת (Haibo, 2015) או קטיף (Bac, 2014) כלים כאלו כבר קיימים ומוצעים לשימוש מסחרי, ובאפשרותם לחסוך שעות עבודה המוקדשות להכשרת עובדים ובעיות של תחלופה גבוהה של כוח אדם. בין הגורמים הצפויים לתמוך בעלייה בשימוש בכלים אלו:

א. עליה בגודל החוות – ישנה מגמה עולמית בה גודל החוות הממוצע עולה בהדרגה. ארה"ב למשל, בעיצומו של שינוי מבני בענף החקלאות בו חוות בגודל בינוני וקטן נרכשות על ידי חוות גדולות יותר, כאשר הגודל הממוצע של חווה הוכפל ב-25 שנה האחרונות, וחצי מהחוות הינן כעת בשטח הגדול מ-450 הקטר (MacDonald, 2013). לכלי חקלאות מדייקת יתרון גדול בניטור שטחים רחבים, וחוות גדולות יכולות לרוב לעמוד בהוצאות ההתחלתיות והשוטפות של שימוש בכלים אלו. לכן, שינוי מבני מתמשך זה יתרום להגדלה בהטמעת טכנולוגיות חקלאות מדייקת כגון רובוטים לחקלאות.

ב. עלייה ביכולות עיבוד התמונה, והשימוש שלה בחקלאות. שיטות עיבוד תמונה שונות קיימות משמשות בהצלחה להפרדה בזמן אמת בין הגידול לעשבים שונים (Zhang, 2012)(Tellaech, 2008), או לזיהוי מחלות צמחים (Camargo, 2009). יתכן וייקח זמן להגיע לכך, אך בעתיד יתכנו מערכות אוטונומיות המשלבות כלים קרקעיים ואוויריים, אשר מותקן עליהם מערך חיישנים כולל לניטור עקות מים, נוטריינטים ומחלות. מערכות אלו יוכלו לבצע בנוסף פעולות בסיסיות כמו ריסוס נקודתי של עשבים (טכנולוגיה הקיימת כבר בשימוש מסחרי), מתן דשן ברמה הנאותה לכל מקום, ויספקו מיפוי כולל של מצב השדה בזמן אמת ישירות לחקלאי.

**חזון זה כולל אתגרים רבים, החל מאינטגרציה בין חיישנים, פיתוח כלי עיבוד התמונה או החישה מרחוק, ועד לבעיות של התקדמות ועבירות הכלים בשדה (Papadakis, 2013) אך יש הזדמנות היום לפיתוח הטכנולוגיה שתביא אותנו לשם בעתיד.**

בישראל התפתחו תשתיות לחקלאות במשך שנים של התמודדות עם אתגרים מקומיים הכוללים מחסור במשאבי קרקע ומזג אויר צחיח בחלק מאזורי המדינה. מרבית התוצר בסקטור זה הינו מגידולים חקלאיים – הן לצריכה מקומית והן לייצוא – בעוד שחלקו של ייצוא טכנולוגיות וציוד חקלאי מתקדמים נותר קטן באופן יחסי. אף על פי כן, בשנים האחרונות ניכרת בהיקפי הפעילות בתחומי הטכנולוגיה החקלאית הישראלית, המופנית גם לייצוא. זאת, היות ויותר ויותר מדינות בעולם מתמודדות עם אתגרים דומים בחקלאות, ובשל כך פונות לחיפוש אחר פתרונות אשר כבר פותחו וישמו בישראל.

עם השנים, כתוצאה מפיתוח לחקלאות המקומית, פותחה תעשיית מערכות השקיה, טפטפות, בקרי השקיה ממוחשבים ועוד, פיתוחים שאפשרו הקמת מספר ניכר של מפעלי תעשייה ויצוא משמעותי. חלק ממפעלים אלו פועל כיום בשיתוף עם חברות ענק בהודו ובסין.

היתרונות היחסיים של התעשייה החקלאית בישראל כוללים חקלאות מבוססת ומתקדמת טכנולוגית, אקלים מגוון (ארבעה אזורים אקלים שונים), מיתוג בינ"ל חזק של הובלה בתחום המים, אקדמיה מפותחת ומתקדמת (בתחומים משיקים), סביבה עסקית מוכוונת יזמות ואקו-סיסטם תעשייתי תומך (תעשיות ביטחוניות, היי טק).

הידע והחדשנות החקלאית בישראל ניזונים בעיקרם מפיתוחים מחקריים באקדמיה ובמכוני המחקר החקלאיים, הכוללים את מכון וולקני המשויך למשרד החקלאות ופיתוח הכפר, ושמונה מרכזי מו"פ אזוריים. עם זאת, נראה כי מעבר הידע מתחום המחקר לכדי יישום מסחרי לוקה בחסר, ובשל סיבות שונות לא תמיד מגיע לכדי מימוש.

חלקה של הממשלה בתמיכה בתעשייה החקלאית בא לידי ביטוי בעיקר במתן מענקי מו"פ באמצעות מגוון מסלולים, הן דרך לשכת המדען הראשי במשרד הכלכלה והן דרך משרד החקלאות ופיתוח הכפר. מסלולים אלו כוללים, בין היתר, מאגדים, תכניות העברת ידע מהאקדמיה לתעשייה וחממות טכנולוגיות.

על פי הערכות שונות<sup>18</sup>, בישראל פעילות מספר מאות חברות בתחומי האגרוטק השונים, שהינן בשלבי בגרות שונים ופרוסות לרוחב שלל תתי-תחומים. אף על פי שמספר חברות ההזנק (סטרטאפ) בתחום האגרוטק אינו גדול באופן יחסי, ניכרת לאחרונה מגמה של עניין גובר בתחום ובהתאם עלייה במספר היזמויות הנמצאות בשלבי הקמה ראשוניים. הימצאותם של מספר הולך וגדל של גופי מימון הון סיכון וחממות טכנולוגיות המתמחים ומתמקדים בתחום האגרוטק, מהווה אינדיקציה נוספת למגמה זו. יתרה מכך, היקף הפעילות של חברות רב-לאומיות וקרנות בינלאומיות בתחומי החקלאות בישראל נמצא בעליה, דבר הבא לידי ביטוי בקיומם של מרכזי פיתוח מקומיים, בביצוע השקעות ובעסקאות מיזוג ורכישה של חברות ישראליות. כל אלו מצביעים על כך שבישראל ישנה ה"מסה הקריטית" של ידע, יכולת והניסיון הדרושים להתפתחותה של סביבה יזמית פורייה בתחום האגרוטק.

התפתחות תחום האגרוטק הישראלי משקף את היתרונות של ישראל בתחום:

- בישראל ניסיון רב שנים בהתמודדות עם מחסור במשאבים וישנן טכנולוגיות חדשניות שהתפתחו כתוצאה מכך, אם לפתרון בעיות המים בחקלאות (ניהול נכון של משק המים, יעילות, מחזור לחקלאות), שימוש באנרגיות מתחדשות ועוד.
- בישראל כמות פטנטים גדולה מאוד בתחום Biological enhancement וכן בנושא הגנה על הצומח.
- יש בישראל יתרון בשילוב של כוחות מתחומים ורקעים שונים כגון: IT, הנדסה, חקלאות ועוד.

<sup>17</sup> הרקע מבוסס על אילון et al., 2016

<sup>18</sup> ש' לדוגמא, במסמך ישראל כמרכז חדשנות גלובלי בתחומי האגריטק- דו"ח לוועדה למינוף המו"פ החקלאי בישראל של המכון הישראלי למדיניות מדע טכנולוגיה וחדשנות והמועצה הלאומית למחקר ופיתוח מ-2012, מצוינות "258 חברות בתחומי החקלאות השונים"

- לישראל יתרון יחסי במפגש בין חקלאות ישראלית ממותגת חיובית, היי טק ממותג היטב ומפותח ואף מתווספים היתרונות של תעשיות ביטחוניות מצליחות.

החסמים שזוהו כאיומים שעשויים להשפיע על התפתחות התחום:

- כיום חסר הון אנושי בתחום, הפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון נסגרה, אין דרישה של סטודנטים לתואר ראשון בהנדסה חקלאית בין היתר, כתוצאה של מיתוג שלילי של תחום החקלאות.
- בנוסף, ישנם מיעוט חוקרים באקדמיה הרואים בתחום זה יעד, ואין מסלולי תמיכה מתאימים שיאפשרו לחוקרים לתעדף תחום זה על פני מחקרים אקדמיים טהורים.
- קיים אתגר מיוחד במחקר במעבר לשלב היישום המסחרי (גימלון, scaling up) – חסרים מקורות למימון המשך. כנראה, כתוצאה, בין היתר, מקושי בהגדרת השוק.
- יש קושי בקשר אקדמיה-תעשייה – Technology transfer, (Tech Transfer) ואף באופן ממוקד יותר – בין האוניברסיטאות לבין המדען הראשי, מה שמוביל לבעיה ב-Deal flow.
- על אף הזינוק בהשקעות באגרוטק בעולם, עדיין מזוהה חוסר וכשל שוק בהשקעות ה-Seed.
- חסם ייחודי קשור בהטמעת הטכנולוגיה אצל החקלאי, מידת פתיחות הלקוחות לתוכנות חדשות.
- קושי לחברות קטנות, בעיקר כאלה המתבססות על תוכנה בגיבוש המודל העסקי, תקף.
- מחזור הפיתוח של המוצר תלוי באופן מובנה בסוג הגידול ומחזורי הגידול, דבר שמכתיב קצב פיתוח איטי יחסית להייטק.

## האקוסיסטם בתחום האגרו-טק בישראל.

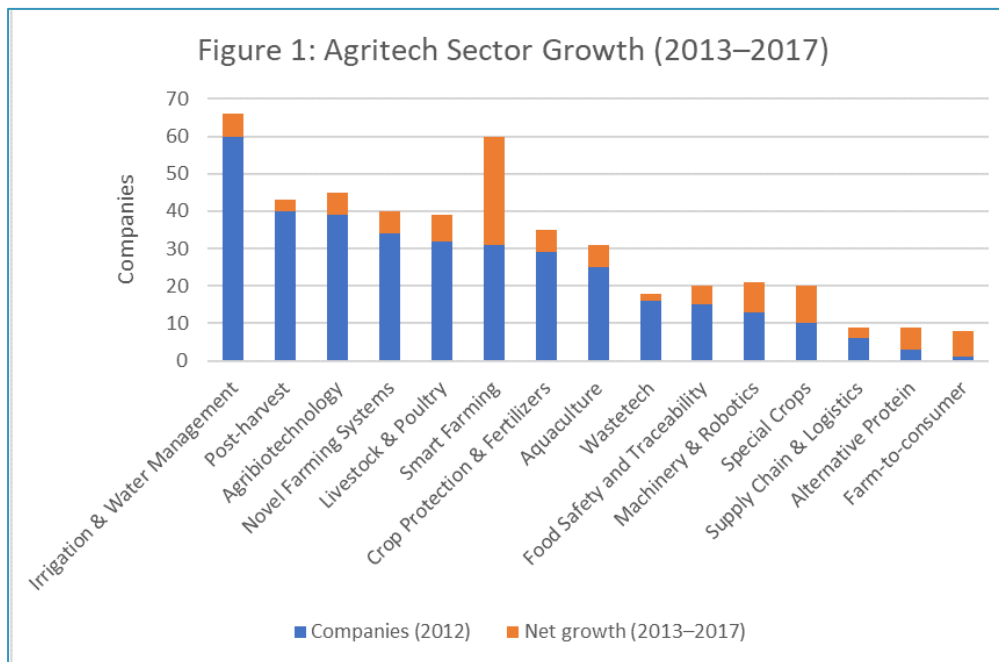
פיתוח יכולות חדשנות, שימור הערך הנגזר מיכולות אלו ותרגומן לצרכי הכלכלה והחברה, אינם תלויים באופן בלעדי בפריצת דרך טכנולוגית או יזמות מוצלחת. תהליכים אלו הם פרי יכולתה של מערכת החדשנות לחבר את כלל המרכיבים לכדי מערכת של יצירת ערך בת קיימא, התומכת במעגלי התפתחות מתמשכים של יצירת ערך, תפיסתו ותרגומו לקידום של יעדים לאומיים מוגדרים (בקרמן & ממו, 2012).

בארץ שותפים רבים למערכת החדשנות המגזר הממשלתי, האקדמיה, התעשייה והמגזר השלישי. במגזר הממשלתי שותפים: משרד החקלאות, משרד החוץ, משרד הכלכלה, המכון הוולקני ומשרד מדע. באקדמיה השיתוף נעשה על ידי ה-TTOs (בקרמן & ממו, 2012).

### תעשייה

לפי נתוני חברת Startup Nation Central (Startup Nation Central, 2017) בשנת 2017 פעלו בישראל כ-460 חברות בתחום האגריטק, 25% מהן נוסדו במהלך 5 השנים האחרונות ו-50% במהלך 10 השנים האחרונות. החברות הוותיקות ביותר במשק בתחום זה נוסדו לפני קום מדינת ישראל וחלקן עוסקות בהשקיה וניהול מים. התחום שבו חל הגידול הגדול ביותר במספר החברות החדשות בשנים 2013-2017 הוא 'Smart Farming'. 29 חברות חדשות נפתחו בתחום זה ב-5 השנים האחרונות, נתון המהווה 94% גידול לעומת תחילת התקופה. האיור הבא מדגים את הגידול במספר החברות בין השנים 2017 ל-2013:

**איור 5: גידול במספר חברות האגרוטק בישראל בשנים לפי סקטור 2013-2017:**



מקור: (Start-Up Nation Central, 2017)

**משקיעים**

עם העלייה במספר החברות חלה באופן טבעי גם עלייה בהיקף הפעילות. בשנת 2014 היו כ-70 מיליון דולר לעומת שנת 2017 בה עלתה ההשקעה לכ-130 מיליון דולר. זינוק של כ-50%.

בארבע השנים האחרונות משכו החברות הישראליות מימון מכ-120 משקיעים שונים, חצי מהם ישראלים וחצי מהם זרים. מעל לשלושה רבעים מהמשקיעים הם קרנות הון סיכון ואינקובטורים. מודל האינקובציה בישראל הוא ייחודי בכך שחברות הון סיכון משקיעות במקביל לקבלת מענקים מרשות החדשנות. מענקי רשות החדשנות מחייבים תשלום תמלוגים מרווחי החברה (במידה והחברה מגיע לשלב בו היא רווחית). (Start-Up Nation Central, 2017).

**הסקטור הממשלתי**

הגופים העיקריים המעניקים תמריצים כלכליים לחברות בתחום האגרוטק הם רשות החדשנות ומשרד החקלאות. תכניות רשות החדשנות הרלוונטיות לחברות בתחום (בהתאם לשלב בו הן נמצאות וגורמים נוספים) הן: קרן המו"פ, תכנית מו"פ עסקי בחקלאות (בשיתוף משרד החקלאות), תכנית החממות הטכנולוגיות, תכניות מגנט (נופר, קמין, מגנטון, מאגדים).

משרד החקלאות מעניק סיוע לחברות בתחום האגרוטק באמצעות הקמת מוקדי ידע כחלק מיישום המלצות הועדה הבין-משרדית למינוף המו"פ החקלאי משנת 2012<sup>19</sup>. בנוסף מפעיל משרד החקלאות את תכנית 'ניצן' למימון מחקרים יישומיים בתחומי החקלאות ואת תכנית 'ניצן מורחב' (תיבת נוח) למימון מחקרים יישומיים בתחומי החקלאות התומכים בתעשיית המזון.

גופים נוספים המסייעים לחברות בתחום האגרוטק הם התכנית לקידום טכנולוגיות מים ואנרגיה מתחדשת (Israel NewTech) ומכון הייצוא.

**אקדמיה ומכוני מחקר**

<sup>19</sup> <http://www.pmo.gov.il/Secretary/sederyom/Documents/915B.pdf>

## • פעילות מחקרית:

לפי בקרמן וממו (2012) בשש מהאוניברסיטאות בארץ מתקיים מחקר הקשור לתחומי החקלאות: האוניברסיטה העברית, מכון ויצמן, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בר אילן, הטכניון ואוניברסיטת בן גוריון. בפקולטה לחקלאות ברחובות של האוניברסיטה העברית יש קרוב ל 90 חוקרים וחברי סגל. בשאר האוניברסיטאות ישנם חברי סגל בודדים במחלקות השונות לביולוגיה/כימיה/הנדסה וכו' אשר עוסקים במחקר חקלאי. לפי אסיף (2016), הפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית היא המובילה בארץ במחקר חקלאי, אך מחקרים פורצי דרך בתחומי הגנת הצמח והמזון נעשים גם באוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן גוריון ומכון ויצמן. הפקולטה להנדסה חקלאית שהייתה קיימת בטכניון נסגרה בשנת 2002 כאשר אוחדה עם הפקולטה להנדסה אזרחית.

מכון המחקר המשמעותי ביותר בתחום החקלאות הוא מינהל המחקר החקלאי במשרד החקלאות- מכון וולקני. מכון זה הוא המוסד הגדול ביותר בישראל העוסק במחקר חקלאי ונמנה עם הידועים מסוגו בעולם. תפקידיו העיקריים הם לסייע לחקלאי ישראל בפתרון בעיות שונות, לבצע מחקר ופיתוח בנושאים חדשים ומבטיחים בחקלאות ובמדעי המזון ולתכנן, לארגן וליישם מחקר חקלאי בישראל. חוקרי מינהל המחקר החקלאי מלמדים במוסדות להשכלה גבוהה ובקורסים מתקדמים לחקלאות המיועדים למשתתפים מהארץ ומחו"ל ומנחים סטודנטים בעבודותיהם לתארים גבוהים. רבים מהחידושים שפותחו במינהל המחקר החקלאי מיושמים כבר ברמה המסחרית בארץ ובעולם. היישום מתבטא במיוחד בתחומים הבאים: גידולים מוגנים (חממות), השקיה, חקלאות באזורים צחיחים, טיפול בתוצרת לאחר הקטיף, הגנת הצומח, מיכון, זנבים חדשים של פירות, ירקות וצמחי נו<sup>20</sup>

## • הכשרה

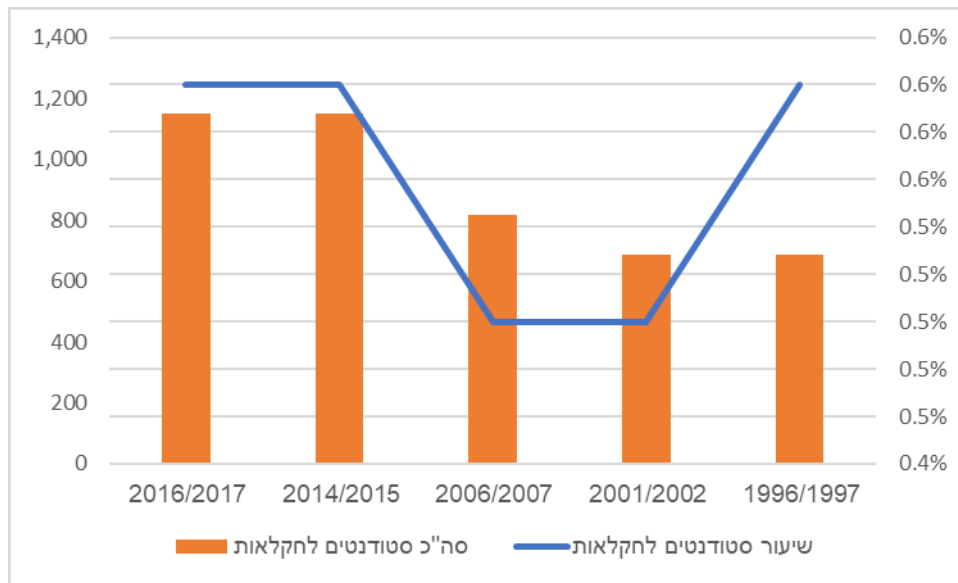
בקרמן וממו (2012) מדווחים שעל-פי נתוני ות"ת משנת 2008, הפקולטה לחקלאות באוניברסיטה העברית היא האוניברסיטה היחידה שמכשירה כוח אדם אקדמי בתחום המחקר החקלאי. מספר הסטודנטים עומד על כ-803 (כ-301 סטודנטים לתואר ראשון (מהם 49 בשנה א'), 353 סטודנטים לתואר שני וכ-229 סטודנטים לתואר שלישי). מספר מקבלי התארים בשנה עומד על כ-209 סטודנטים לתואר ראשון (יחס הבוגרים לסטודנטים עומד על 26%), 82 לתואר שני (יחס הבוגרים לסטודנטים עומד על 26%) ו-29 לתואר שלישי (יחס הבוגרים לסטודנטים עומד על 13%). בממוצע כ-55% מבוגרי התואר הראשון ממשיכים לתואר שני ו-50% מבוגרי תואר שני ממשיכים לדוקטורט. נתונים אלו אינם כוללים את מסלולי ההכשרה בתחומים משלימים או נוספים לתחום (כגון כימיה וביולוגיה). כמו כן הנתונים לא כוללים את הכשרת כוח האדם בתחומים בהם ישנה השתלבות בשנים האחרונות בתעשייה כגון ביואינפורמטיקה, ICT, אנרגיה ועוד.

נתוניהם של בקרמן וממו (2012) תואמים את הנתונים שמצאה אסיף (2016). לפי אסיף (2016), בשנת הלימודים 2014/15 למדו את מקצועות החקלאות כ-1,000 סטודנטים, כולם באוניברסיטאות ו-90% מהם באוניברסיטה העברית. גם אסיף מצאה שיעור גבוה במיוחד של סטודנטים שממשיכים לתואר שלישי- כ-19% מכלל הסטודנטים (ביחס למוצע של כ-8% מכלל הסטודנטים שממשיכים לתואר שלישי בשאר המקצועות).

לפי נתוני מל"ג (המועצה להשכלה גבוהה, 2017), שיעור הסטודנטים לתואר ראשון בחקלאות מכלל הסטודנטים בישראל נע בעשור האחרון מ-0.5% מכלל הסטודנטים ועד 0.6% מכלל הסטודנטים. מספרם הכולל של הסטודנטים לחקלאות לתואר ראשון עלה מ-607 בשנת הלימודים 1996/1997 ל-817 בשנת הלימודים 2007/2008 ול-1,150 בשנת הלימודים 2016/2017:

<sup>20</sup> אתר מינהל המחקר החקלאי- מכון וולקני, <http://www.agri.gov.il/he/pages/1023.aspx>

## איור 6: שיעור הסטודנטים לחקלאות בישראל ומספרם בשנים 1996/1997 - 2016/2017



מקור: המועצה להשכלה גבוהה (2017)

בשנת 2017 הסטודנטים לתואר שני בחקלאות היוו כ-1.5% מכלל הסטודנטים לתואר שני באוניברסיטאות, ומספרם עמד על כ-585 סטודנטים.

## 5.2 תחזיות טכנולוגיות וצרכי כ"א באגרוטק/חקלאות מדייקת

חלק זה של המחקר הוא תולדה של ראיונות עומק עם שישה מומחים בתחום האגרוטק. עם חלק מהמומחים נפגשנו פנים אל פנים ועם אחרים ביצענו ראיון טלפוני. המומחים אותם ראיינו הם:

דר' ויקטור אלחנתי, הנדסה חקלאית, הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, מכון וולקני, פרופ' שמעון גפשטיין, נשיא המכללה האקדמית כנרת, פרופ' מאשה ניב, סגן דיקן למחקר הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית (רחובות), קלמן קאופמן, יזם, מרכז כנרת לחדשנות ויזמות בתחום ה-AGRO-TECH, מנש (מנשה) שלום, מנכ"ל צמח מפעלים ומשקי עמק הירדן, פרופ' יצחק שמולביץ, פרופ אמריטוס - הפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון.

הראיונות היו ראיונות פתוחים שבמהלכם התבקשו המראיינים להתייחס ל:

- תחום התמחותם ופעילות המוסד/חברה בהם הם עובדים;
  - טכנולוגיות בהם צפוי לישראל יתרון יחסי ב-10-15 השנים הקרובות;
  - כ"א מדעי וטכנולוגי שיידרש בתחום ב-10-15 השנים הקרובות.
- להלן ריכוז הנושאים העיקריים שעלו בראיונות, וההמלצות העולות מהם.

### 5.2.1 חקלאות מדייקת/חקלאות חכמה

חקלאות מדייקת היא נושא שעלה לפני כ-15 שנה בארה"ב. מובילות את זה תעשיות גדולות כמו John Deere. כל מרכזי John Deere באזור אייזה, דביוק, מולין הם מרכזים גדולים של תכנון מכונות חקלאיות שנכנסו לנושא מערכות מידע. הפיתוח המואץ שעשו ב-John Deere של מכונות גדולות, קומביינים וכו' כבר הפסיק לייצר רווחים. רווחי החברה מגיעים היום מפיתוח טכנולוגיות ויישומם (לפעמים החברה מיישמת בעצמה אצל חקלאים).



החקלאות המדייקת רוצה **למקסם את התפוקה ליחידה**. באמצעים הקיימים היום אפשר להקטין את היחידה החקלאית אליה מתייחסים עד לרמה של סנטימטרים ספורים של קרקע או פרה אחת.

חקלאות מדייקת הוא תחום מולטידיסציפלינרי. התחום משלב טכנולוגיות מתקדמות של אופטיקה, חישה מרחוק, תקשורת ומערכות מידע עם העשייה החקלאית בשטח. אנשי חקלאות מדייקת לא מובילים מחקר בסיסי, אלא לוקחים מה שפותח ברפואה, צבא וכו' ומתרגמים לנושא החקלאי. בישראל חסר מוסד אקדמי שקושר בין אלו. מה שקיים כיום באקדמיה זה קישור בין טכנולוגיה לנושאים הקשורים לחקלאות בעקיפין, כמו סביבה, מערכות עירוניות וכו', אבל לא חקלאות פר אקסלנס.

בשנים האחרונות עוברים לקרוא לחקלאות מדייקת 'חקלאות חכמה' (Smart Agriculture), כי לחקלאות מדייקת קונוטציה ספציפית של טיפול בשונות המרחבית בשדה. אבל זה לא רק זה, אלא גם מערכות מידע וחיישנים, ביצוע פעולות בצורה יעילה מתוך מידע שבא ממערכות חכמות.

### דוגמאות לחוקרים בישראל בתחום החקלאות המדייקת בתחום הטכנולוגיה, החקלאות או שניהם:

- פרופ' מקסים שושני<sup>21</sup> (הטכניון), איש חישה מרחוק, עוסק במערכות סביבתיות- חורש טבעי, יערות, אקולוגיה וסביבה. השתתף במחקרים משותפים עם מכון וולקני, אבל רק כנספח לפעילות המרכזית שלו.
- פרופ' רפי לינקר<sup>22</sup> (טכניון): איש אוטומציה, בקרה ומיכון. עסק בחקלאות ועכשיו בפקולטה להנדסה אזרחית. עוסק בתחומי החקלאות, אבל לא במערכות תקשורת וחישה מרחוק.
- ד"ר אנה ברוק<sup>23</sup> (אוניברסיטת חיפה), מגיעה מנושא הסביבה, ועוסקת גם בתחום החקלאות וחישה מרחוק בלבד.
- פרופ' מנחם מושליון<sup>24</sup> (הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית).

### דוגמאות לחברות בתחום החקלאות המדייקת בישראל:

- **Taranis**<sup>25</sup>: המלצות להדברה והגנת הצומח באמצעות מטאורולוגיה ותמונות לוויין ברזולוציות גבוהות לקבלת מידע מקומי ומדויק. בחברה זו יש שילוב של אנשי תקשורת שאינם חקלאים עם אגרונומיים. במקרה הזה השילוב מוצלח, אבל זה לא תמיד כך בכל החברות.
- **Manna Irrigation**<sup>26</sup>: חברה בת של **Rivulis**<sup>27</sup>, מערכות המלצה להשקיה לחקלאים בהתבסס על לוויינים ומדידות קרקע.
- **Phytech**<sup>28</sup>: חיישנים לחממות וגידולים אחרים בהתבסס על פלטפורמות לוויינים בשילוב חיישנים קבועים מראש על הקרקע להמלצה על פעילות כמו השקיה ודישון. החידוש הוא לא במערכות הנדסיות ומכניות, אלא אינטגרציה של מערכות לקבלת החלטות.
- **Farm Dog**<sup>29</sup>: איסוף מידע אינטנסיבי בבתי צמיחה ובשדה, על מנת לעזור לחקלאים לקבל החלטות בהתבסס על מידע מלוויינים וחיישנים מפוזרים.

### דוגמא לשימוש בטכנולוגיה מתחום הראייה הממוחשבת בחקלאות:

בצמח הבננה אין זרעים, והריבוי נעשה על ידי שתילת שלוחה של בננה קודמת. מפעל תרבות רה"ן בראש הנקרה<sup>30</sup> מספק 15% משתלי הבננות בעולם. אבל הכנת השלוחות ע"י חיתוך הצמח היא עתירת עבודה ידנית,

<sup>21</sup>

<http://cee.technion.ac.il/CivilEng/Templates/ShowPage.asp?DBID=1&TMID=139&LNGID=2&FID=166&PID=0&IID=382>

<sup>22</sup>

<http://cee.technion.ac.il/CivilEng/Templates/ShowPage.asp?DBID=1&TMID=139&LNGID=2&FID=166&PID=0&IID=334>

<sup>23</sup>

[/https://sites.hevra.haifa.ac.il/abrook](https://sites.hevra.haifa.ac.il/abrook)

<sup>24</sup>

[/http://departments.agri.huji.ac.il/plantscience/people/Menachem\\_Moshelion](http://departments.agri.huji.ac.il/plantscience/people/Menachem_Moshelion)

<sup>25</sup>

[/http://www.taranis.ag](http://www.taranis.ag)

<sup>26</sup>

[/https://manna-irrigation.com](https://manna-irrigation.com)

<sup>27</sup>

[/http://rivulis.com](http://rivulis.com)

<sup>28</sup>

[/https://www.phytech.com](https://www.phytech.com)

<sup>29</sup>

[/https://farmdog.ag](https://farmdog.ag)

<sup>30</sup>

[http://www.raham.co.il/?page\\_id=454&lang=he](http://www.raham.co.il/?page_id=454&lang=he)

ולכן הייצור הועבר להודו ודרום אמריקה. מיכון ורובוטיקה יכולים להחזיר את המפעלים לארץ. ראייה ממוחשבת יכולה להחליף את הראייה האנושית שנדרשה עד עכשיו בשביל חיתוך הצמח.

## 5.2.2 היתרונות והאתגרים של ישראל בתחום חקלאות מדייקת/חקלאות חכמה

לישראל יש מספר יתרונות שבזכותם היא יכולה להיות מובילה בתחום הפיתוח בחקלאות חכמה:

- ישראל היא ארץ קטנה עם מגוון סוגי אקלים, קרקעות, גידולים- כמו מעבדה. יש בה אקלים סאב-טרופי, שהוא אקלים המאפיין את רוב האזורים בעולם הסובלים מבעית מזון. במקומות כאלו פתרונות חקלאיים חדשים יכולים להיות עם אימפקט.
- ישראל היא מדינה בעלת משאבים מוגבלים (למשל אדמות ומים). הצורך לאחריות בשימוש במשאבים מכתוב מציאת פתרונות שאפשר לנסות או ליישם בישראל. (מציאות זו יכולה להסביר את הצלחת נושא המיכון החקלאי בשנות ה-60 והצלחת טכנולוגיות צבאיות ישראליות שאומצו לצרכים אזרחיים)
- החקלאות בישראל מתקדמת, הפרוטוקולים החקלאיים, השקיה, דישון וכו' הם ברמה גבוהה.
- בניגוד לאגרו-ביוטכנולוגיה ששם לוקח כ-10 שנים עד ליישום בתעשייה, בחקלאות החכמה לוחות הזמנים קצרים ואין צורך באישור FDA. מדינת ישראל הצליחה במקומות בהם הפתרון לשוק מהיר, ולכן פיתוחים יוצאים הישר לעולם.

שילוב של יתרונות אלה עם Smart Agriculture הוא שילוב ייחודי. יש בישראל את כל הקצוות שאפשר לקשור כדי לקבל 'חבילת חקלאות חכמה' אבל היום הרכיבים מפוזרים ומתבססים על חוקרים אינדיבידואלים. אין בארץ מרכזים של חקלאות מדייקת כמו באנגליה למשל, שם יש מרכזים לאומיים, כמו באוניברסיטת הרפר-אדאמס<sup>31</sup> ובאוניברסיטת לינקולן<sup>32</sup>, שמוקדשים רק לנושא החקלאות החכמה.

החל מינואר 2018 החל לפעול מאגד Phenomics (אותו מובילה חברת 'הזרע'). היה קשה לשכנע את רשות החדשנות בשילוב הטכנולוגיה והחקלאות כי רוב האנשים הקובעים הם או מתחום הטכנולוגיה או מתחום החקלאות. בפגישות עבודה אפשר לראות שאנשי הטכנולוגיה מעלים דברים שהם יפים מבחינה טכנולוגית, אבל לא יישומיים לנושאי חקלאות. אם היה מרכז של חקלאות מדייקת או חקלאות חכמה לא צריך היה לבזבז זמן רב בכל פעם שמתחילים פרויקט חדש.

היום כשמנסים למצוא אנשים שיעבדו בתחום של חקלאות מדייקת יש אנשים בשני קצוות: מהנדסים טובים עם ידע בתחום הטכנולוגי בלי ידע בחקלאות או אנשים עם חוש טכני והשכלה באגרונומיה שצריך להשלים להם את התחום הטכנולוגי. בחברות רואים את זה בצורה חד משמעית- מנסים לפתח משהו חדשני, אבל הידע הוא אגרונומי בלבד, לא טכנולוגי, החברות נאבקות לפתח.

## 5.2.3 הכשרת כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתחום החקלאות המדייקת/חקלאות חכמה

### הטכניון

סקירה היסטורית, ותכניות בתחום ההנדסה החקלאית שלא צלחו בטכניון:

- בשנות ה-50 וה-60 הייתה פריחה של נושא ההנדסה החקלאית בטכניון (ובישראל). באותה תקופה היה לובי חקלאי חזק, האוריינטציה הייתה התיישבותית, והייתה הבנה כללית שיש צורך בכ"א חקלאי איכותי שיוכל למצוא פתרונות איכותיים להתמודדות עם תנאי קרקע ומים מוגבלים. באותה תקופה אירופה הייתה סגורה בפני ישראלים, אך בארה"ב הם היו ב'טופ'. אין הרבה תכניות מחקר שארה"ב עשתה עם מדינה זרה כמו במסגרת BARD<sup>33</sup>, כל זה משתי פקולטות שהיו בארץ, אחת אגרונומית (הפקולטה לחקלאות ברחובות)

<sup>31</sup> [/https://www.harper-adams.ac.uk](https://www.harper-adams.ac.uk)

<sup>32</sup> [/http://agrifoodtech.blogs.lincoln.ac.uk](http://agrifoodtech.blogs.lincoln.ac.uk)

<sup>33</sup> BARD - Binational Agriculture Research & Development Fund

- אחת הנדסית (הנדסה חקלאית בטכניון). זה היה מחולל ידע מצוין, הביא משתלמים, מסטרנטים, דוקטורנטים ופוסט דוקטורנטים מארה"ב. היחסים הביולוגיים עם אירופה ואפריקה נבעו מהבסיס החקלאי.
- עם הזמן חלה ירידה במספר החקלאים בארץ (וגם בעולם). הנוער פנה לתחומי היי-טק אחרים, וחלה ירידה כללית בחינוך הטכנולוגי, ובתוכו בהנדסה חקלאית.
- בשנת 2002 היה מיזוג בטכניון שהביא את הנישה החקלאית לתוך האזרחית. זה החייה את הנדסה אזרחית ויצר שלוש יחידות: (1) הנדסת בניין, מבנים וניהול הבנייה, (2) גיאודזיה ותחבורה, (3) סביבה, מים וחקלאות. כיום אין הרבה ביקוש לתחום של הנדסת מים. השנה נרשמו לתכנית של מים בהנדסה אזרחית 5 סטודנטים לעומת 30 סטודנטים לפני 10 שנים.
- גם תכנית 'אבטחת איכות בביו-תהליכים' שנפתחה בשלב מסוים כאלטרנטיבה להנדסה חקלאית ביחד עם הפקולטה למזון וביוטכנולוגיה לא הצליחה. במסלול למדו כימיה, ביולוגיה ופיזיקה ועשו פרויקטים באבטחת איכות בקו אוטומטי בטבע ובתעשיות מתקדמות. היום התעשייה רוויה, אבל אז לא היו אנשים עם מומחיות לטפל באופן מערכת. התכנית הזו נסגרה בגלל קושי באחזקת תכנית אינטרדיסציפלינריות בטכניון, וגם בגלל שנוצר ביקוש לביוטכנולוגיה, והסטודנטים העדיפים תחום זה על פני תהליכים.
- **בסה"כ מדובר על שלוש תכניות/מסלולים שלא רשמו הצלחות: הנדסה חקלאית שהתאחדה עם הנדסה אזרחית בשנת 2002, תחום מים וחקלאות בתוך הפקולטה להנדסה אזרחית שסובל מחוסר ביקוש והתכנית 'אבטחת איכות בביו-תהליכים' שנסגרה.**

### הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית ברחובות.

כרגע אין בפקולטה לחקלאות שילוב עם הנדסה וטכנולוגיות מידע ותקשורת (ICT). שיתופי הפעולה הקיימים כרגע עם הפקולטה להנדסה בגבעת רם הם לא מובנים ובהיקפים קטנים. עם זאת, לאחרונה מורגשת דרישה אשר מגיעה מהשטח לפתח שילוב כזה. בזמן האחרון התקבלו לפקולטה חוקרים חדשים שיש להם הכשרה בתחומי חישוב ועיבוד מידע (סה"כ מדובר בשבעה חוקרים בפקולטה עם רקע כזה (רובם צעירים) מתוך כ-90 חוקרים (לא כולל קלינאים בתחום הווטרינריה)).

בפקולטה רואים חשיבות לשילוב של הנדסה עם חקלאות, ולכן כרגע מנסים לפתח אשכול או חטיבה שיעסקו ב-Smart Agriculture או ב-Precision Agriculture, חקלאות עם אלמנטים חישוביים בתחומים כמו Imaging, מידול, עיבוד מידע וטכנולוגיות נוספות של Big-Data ו-Data Sciences. באשכול יתקיים חיבור בין האנשים האוספים מידע לאנשים המעבדים מידע. מלבד החוקרים שהוזכרו יש בפקולטה גם פיזיקאים שנותנים פאן שמתקרב יותר להנדסה, אבל החיבור הזה צריך להיות יותר חזק ויותר ממוקד. לא מדובר בבניית מרכז חדש, אלא בהידוק שיתוף הפעולה.

### מכללת כנרת:

מסלול הנדסה חקלאית במכללת כנרת ומגעים לשת"פ עם אוניברסיטת חיפה:

- במכללת כנרת יש תואר בהנדסת תעשיות מים<sup>34</sup> (לא חקלאות), והבוגרים 'נחטפים' לכל תעשיות המים-טיהור שפכים ומי קלחין, טפטפות, חקלאות קרקע ומים ועוד. התכנית פועלת מזה כ-10 שנים, זו המחלקה הגדולה והמצליחה במכללה, עם 40 בוגרים המסיימים מידי שנה. זה הבסיס לרצון לפתוח במכללה גם מסלול להנדסה חקלאית. למכללת כנרת יש הסכם עם מכון וולקני לפתוח תואר בנושא הנדסה חקלאית (השת"פ עם מכון וולקני הוא שת"פ אקדמי והסטודנטים יבצעו פרויקטים בתעשייה במשך שנה שלמה). מכיוון שיש קושי בפתיחת תואר חדש במל"ג, הרעיון הוא לפתוח מסלול של הנדסה חקלאית בתוך התואר הקיים בהנדסת תעשיות מים. במסלול זה כל הסטודנטים ילמדו במשך 3 שנים את אותם הדברים, ובשנה הרביעית כל אחד יבחר במסלול שלו. בנוסף יש גם אישור לתכנית לתואר שני, ועכשיו חושבים באיזה כיוון יהיה המאסטר. כרגע לא ברור כמה סטודנטים יבקשו ללמוד במסלול מים ואגרוטק (אולי 15 סטודנטים). לתואר שני כנראה יהיה יותר ביקוש, כי זה מיועד לאנשים עם רקע בהנדסה שיבואו מעל הארץ. (בהקשר של מיעוט הביקוש למסלול כדאי לזכור שגם במסלול אנרגיה, גז ונפט של מכללת כנרת, שהוא המסלול היחיד שקיבל אישור מהמל"ג בתחום הגז, עדיין מתקשים להביא סטודנטים למרות גילויי הגז, כי הגז עדיין לא נמצא בכל התעשייה. בנושא האגרוטק המצב כנראה דומה).

<sup>34</sup> <http://www.kinneret.ac.il/Web/StudyTopics/KinneretBA/EngineeringSchool/WaterIndustryBSc/About/Default.aspx>

- אוניברסיטת חיפה, במסגרת התכנית להפיכתה לאוניברסיטה רב קמפוסית, רצתה לפתוח תכנית בחקלאות (כמדע, לא כהנדסה). לחיפה יש פקולטה לחקלאות ימית. שר החקלאות, שתומך בהקמת פקולטה לחקלאות בצפון כבר אישר לאוניברסיטת חיפה שטח במטה אשר ליד הים. לפי פרופ' גפשטיין אין מקום במדינת ישראל לפקולטה נוספת לחקלאות. הפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית ברחובות ממלאה את כל צרכי המשק בכוח אדם מדעי. מה שכן נדרש זו הנדסה חקלאית או 'אגרוטק'. באוניברסיטת חיפה אין תכנית מל"ג לתואר ראשון במדעים. פרופ' גפשטיין סבור שיהיה קל ונכון יותר לפתוח את התואר הראשון בהנדסת מים עם המסלול המתוכנן לחקלאות כתואר משותף לאוניברסיטת חיפה ולמכללת כנרת ובשיתוף מכון וולקני, ובנוסף תואר שני בהנדסה חקלאית או אגרוטק ובעתיד תואר שלישי משותף למכללה ולאוניברסיטה. החזון הזה נותן אפשרות לבנייה איטית, בלי להשקיע מיד בהתחלה את הסכומים הנדרשים לפתיחת פקולטה חדשה.

### **דוגמא לשיתוף פעולה בין התעשייה לאקדמיה: מרכז כנרת לחדשנות ויזמות בתחום ה-AGRO-TECH<sup>35</sup>**

המרכז הוא קואליציה אזורית המורכבת מצמח מפעלים ומשקי עמק הירדן, המכללה האקדמית כנרת, מועצה אזורית עמק הירדן ובית החולים פדה-פוריה.

הרעיון הוא להקים את המרכז סביב המכללה (האקדמיה), בניגוד למיג"ל (שקם כמכון מחקר שלא קשור לאקדמיה, ורק אח"כ יצר קשר עם מכללת תל חי). כל חברי מכון וולקני שותפים, והמטרה היא לעניין חברות מהעולם לעשות את המו"פ שלהם בישראל. בחצי שנה גויסו 15 חברות, ובהן חברת מטרו, רשת הסופרמרקטים השלישית בגודלה באירופה, ועוד חברות רבות עומדות בתור. המרכז יכול לספק אפשרות תעסוקה לסטודנטים, אפשרויות מחקר לחברי הסגל בבית הספר להנדסה במכללה ולתרום לפיתוח הפריפריה.

בין החברות שגויסו גם פלקס שיכולה לתת מענה לחברות שיצטרפו פיתוח בתחום האלקטרוניקה, ורפאל שמתמחים בתחום של חישה מרחוק וראייה ממוחשבת.

את המרכז יזם קלמן קאופמן.

## **5.3 המלצות**

### **א. שילוב חקלאות וטכנולוגיה באקדמיה**

בנושא של חקלאות מדייקת או המהפכה הדיגיטלית שנכנסה לחקלאות ההזדמנות או האימפקט הגדול טמון באינטרדיסציפלינריות. היתרון של ישראל הוא בשילוב של חקלאות עם תחומי החוזק של ישראל בהייטק. זה דורש שני גורמים, שכיום קשה להם למצוא שפה משותפת, מה שמפיל רעיונות טובים וגורם להם לא לצאת לפועל<sup>36</sup>.

בעולם מפותח הנושא של יישום בשדה של חקלאות מדייקת, מערכות שמנצלות את הידע שנוצר באמצעות מערכות החישה ומערכות המידע, אבל זה לא קורה בישראל, כפועל יוצא של סגירת הפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון. יש מקומות בארץ שנוגעים בזה, אבל כתחום בפני עצמו- אין אף מקום בישראל שאפשר לקבל בו השכלה גלובלית כוללת.

**חסר מסלול המשלב חקלאות וטכנולוגיה.** קשה לדעת אם נדרשת פקולטה או מסלול או מה הדרך לתת את ההכשרה. זה דומה במידה מסוימת לנושא של ביו-רפואה. פעם לא הייתה בטכניון פקולטה הנדסה ביו-רפואית, רק תואר שני. ואז הקימו את הפקולטה כמשלבת את שני הכיוונים, טכנולוגיה ורפואה.

**מרכז חקלאות חכמה ישלב בין אנשי טכנולוגיה שרוצים להתמחות בחקלאות, או אנשי חקלאות שרוצים לשלב טכנולוגיה בהשכלה שלהם.**

<sup>35</sup> <http://www.agrotech.org.il>

<sup>36</sup> לדוגמא: יש יוזמה של תעשיות ביטחוניות (אלביט, אופגל ועוד), לפתח מערכות לטובת החקלאים המבוססות על חיישנים. אבל קשה למצוא שפה משותפת בין הקבוצות. היוזמה יוצאת לפועל באמצעות אנשי מכון וולקני וחוקרים מאוניברסיטת באר שבע אוניברסיטת חיפה שיועדים 'לתרגם' מדרישות חקלאיות לשפה טכנולוגית.

אחד המודלים האפשריים הוא מודל של לימודי בסיס במדעים ולימודים גבוהים בהנדסה. כל התעשיות שמתעסקות עם חומרים טבעיים ירוויחו מהמודל. מדובר בתכנית שאליה יגיעו מהנדסים מכל מיני תחומים: כימיה, ביו-רפואה, מכונות, תעשייה וניהול וכו', אנשים שיש להם תואר הנדסי או מדעי, והם יוכשרו לנושא בין דיסיפלינרי. הרעיון הוא לדלג על התואר הראשון, כל תואר הנדסי או מדעי יכול להיות מקובל לצורך העניין, ולתת השלמות מדעיות/הנדסיות לטובת מהנדסים שמכירים חומרים טבעיים וגם יודעים לעסוק בהנדסה. התכנית המתקדמת צריכה להיות צמודה לפקולטה או לתכנית (כמו מערכות אוטונומיות או הנדסת רכב (שנסגרה) בטכניון).

בפקולטה לחקלאות מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית מנסים לפתח אשכול או חטיבה שיעסקו ב- smart Agriculture או Precision Agriculture. לא מדובר בבניית מרכז חדש, אלא בהידוק שיתוף הפעולה בין חוקרים בתחום.

צריך להיות זהיר בנושא ההכשרה ולזכור שהטכניון סגרו את נושא ההנדסה החקלאית עקב חוסר ביקוש. עם זאת בינתיים חלה עלייה קלה בביקוש ללימודי חקלאות. בפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית ברחובות הייתה ירידה גדולה בכמות הלומדים לפני 10 שנים, והיום יש התעוררות של כאלו שרוצים ללמוד ולעבוד בתחום. חברות בעולם מחפשות פיתוחים בביולוגיה ובהיי טק בתחום החקלאות והמזון.

הסגירה של מסלול הנדסה חקלאית בטכניון קרתה דווקא בתקופה שחקלאות היא נושא מדובר ויש הרבה עסקאות בתחום. הסגירה בוצעה על רקע חוסר רצון של הסטודנטים ולא על רקע הנדסי. **בהצגה נכונה יותר של תחום החקלאות החכמה אפשר להביא יותר סטודנטים.**

#### **ב. תשתית של חקלאות חכמה**

ישראל צריכה ליצור **תשתית לאומית של חקלאות חכמה** ובה גישה לציוד תשתיתי למחקר שקבוצות בודדות לא יכולות לגייס. בעבר היה ניסיון ליצור מרכז כזה דרך פורום תל"ם, אבל הנושא לא התקדם וגווע. מרכז כזה יכול להיות מרוכז על ידי מכון וולקני, בשיתוף פעולה עם האוניברסיטאות שיש בהן פעילות בנושא: הטכניון, אוניברסיטת חיפה, אוניברסיטת תל אביב, האוניברסיטה העברית, אוניברסיטת באר שבע (שיש לה מרכז לחקלאות בשדה בוקר) ובר אילן.

### מקורות לסקר ספרות פוטוניקה

- הוקם איגוד תעשיות האופטרוניקה בישראל - Techtme - חדשות אלקטרוניקה והייטק. (2017). Retrieved November 12, 2017, from <http://techtme.co.il/2017/10/01/optronics>
- המרכז הישראלי לפוטוניקה מתקדמת יתן שירותי מו"פ לתעשייה ולאקדמיה בשנת 2018 - Techtme - חדשות אלקטרוניקה והייטק. (n.d.). Retrieved November 12, 2017, from <http://techtme.co.il/2017/05/08/photronics>
- חזון המרכז הלאומי לפוטוניקה. (n.d.). Retrieved November 12, 2017, from <http://soreq.gov.il/mmq/Pages.aspx>
- מערכת אתר משרד הביטחון. (2014). מחקר ופיתוח צבאי. Retrieved November 12, 2017, from [http://www.mod.gov.il/Defence-and-Security/Pages/research\\_and\\_development.aspx](http://www.mod.gov.il/Defence-and-Security/Pages/research_and_development.aspx)
- פוטוניקה. (2016, אוקטובר 23). ויקיפדיה, האנציקלופדיה החופשית. אוצר 12:17, נובמבר 26, 2017 מתוך <https://he.wikipedia.org/w/index.php?title=%D7%A4%D7%95%D7%98%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%94&oldid=19494203>
- פינקלר, ר. (2012). חשיבות פורום מקצועי בפוטוניקה, מקומו וחזונו של החוג להנדסה אופטית. חשמל ואנשים, 41, 26–28. Retrieved from [http://www.seeei.org.il/prdFiles/2866\\_desc2.pdf](http://www.seeei.org.il/prdFiles/2866_desc2.pdf)
- פינקלר, ר., & רוזנבלום, מ. (2012). השילוב בין הטכנולוגיה והמודל העסקי הנכון, זו הנוסחה הנכונה להצלחה. חשמל ואנשים, 41, 10–14. Retrieved from [http://www.seeei.org.il/prdFiles/2865\\_desc2.pdf](http://www.seeei.org.il/prdFiles/2865_desc2.pdf)
- Anderson, S. G. (2015). SPIE Industry Update. Photonics West, 619–625. Retrieved from <file:///C:/Users/oshrat/Downloads/Industry Profile by SPIE Aug 2015.pdf>
- EAC- Euro Asia Consulting PartG. (2015). Political Steering Processes in Asia Aimed at the Photonics Industry. Retrieved from [http://www.photonics21.org/download/Photonics-EAC-Asiastudy\\_Executive-Report\\_Web.pdf](http://www.photonics21.org/download/Photonics-EAC-Asiastudy_Executive-Report_Web.pdf)
- European Technology Platform Photonics21. (2017). Jobs and Growth in Europe – Realizing the Potential of Photonics. Retrieved from <http://www.photonics21.org/img/PPP-Impact-report.pdf>
- Gaurav, S. G. (2017). Silicon Photonics: Technologies and Global Markets.
- Global Photonics Market Set for Growth | Business | Nov 2016 | Photonics.com. (n.d.). Retrieved November 9, 2017, from <https://www.photonics.com/Article.aspx?AID=61327>
- Lieberman, R., Krohn, D., & Mendez, A. (2017). Global Opportunities for the Photonics Industry in South Australia for the Department of State Development Lighting the Way. Retrieved from <https://statedevelopment.sa.gov.au/upload/publications/lighting-the-way.pdf>
- New UK Photonics centre to shine a light on healthcare | Electro Optics. (2017). Retrieved November 2, 2017, from <https://www.electrooptics.com/news/analysis-opinion/new-uk-photonics-centre-shine-light-healthcare>

Photonic Leadership Group. (2015). UK Photonics Future Growth Opportunity Roadmap. Retrieved from <https://photonicsuk.org/wp-content/uploads/2015/06/uk-photonics-future-growth1.pdf>

Photonics21. (2013). Towards 2020 – Photonics driving economic growth in Europe. Retrieved from [www.photonics21.org](http://www.photonics21.org)

Photonics in Israel 2017 | International Commission for Optics. (2017). Retrieved November 9, 2017, from <http://e-ico.org/node/380>

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2017). Overview HTSM Global Challenges, Smart Solutions. Retrieved from <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/04/april%202016%20IA%20Special%20HTSM%20WEBversie.pdf>

Rising Need for Efficient Communication Devices to Stimulate Demand for Photonics in Displays, says TMR. (2016). Retrieved from <https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/photonics-industry.htm>

Tober, U., & Wilkens, M. (2017a). Market Research Study, Photonixs 2017 KPI Measuring. Retrieved from [http://www.photonics21.org/download/Brochures/Market-Research-Report\\_Photonics21\\_Internet.pdf](http://www.photonics21.org/download/Brochures/Market-Research-Report_Photonics21_Internet.pdf)

Tober, U., & Wilkens, M. (2017b). Market Research Study Photonics 2017- Key Funding (Vol. 1). Retrieved from [http://www.photonics21.org/download/Brochures/Photonics21\\_Market-Research-Report\\_charts-second-edition.pdf](http://www.photonics21.org/download/Brochures/Photonics21_Market-Research-Report_charts-second-edition.pdf)

What is Photonics? | The National Center for Photonics and Optics Education, OP-TEC. (2017). Retrieved October 26, 2017, from <http://www.op-tec.org/what-is-photonics>

## מקורות לסקר ספרות אגרוטק/חקלאות מדייקת

אילון, א., פרוינד קורן, ש., ליבס, ע., & זרביב ציון, מ. (2016). תעשיית הטכנולוגיות החקלאיות החדשניות בישראל. חיפה.

Retrieved from <http://milkeninnovationcenter.org/wp-content/uploads/2016/10/107-HB-F-W-Sheri.pdf>

בקרמן, ל., & ממו, ב. (2012). ישראל כמרכז חדשנות גלובלי בתחומי האגרוטק- דו"ח לוועדה למינוף המו"פ החלקאי בישראל. Retrieved from <http://most.gov.il/Molmop/Reports/Documents/ישראל/ישראל כמרכז חדשנות-אגרוטק.PDF>

המועצה להשכלה גבוהה. (2017). לקט נתונים לקראת פתיחת שנת הלימודים האקדמית תשע"ח – Retrieved from <http://che.org.il/wp-content/uploads/2017/10/%D7%94%D7%95%D7%93%D7%A2%D7%94-%D7%9C%D7%A2%D7%99%D7%AA%D7%95%D7%A0%D7%95%D7%AA-%D7%AA%D7%A9%D7%A2%D7%97.pdf>

AgFunder. (2016). Agtech investing report Year Review 2016. Retrieved from <file:///C:/Users/oshrat/Downloads/AgFunder-Agtech-Investing-Report-2016.pdf>

.Cleantech Group. (2016). CTG Insights

Goedde, L., Horil, M., & Sanghvi, S. (2015). Pursuing the global opportunity in food and agribusiness. McKinsey Quarterly. Retrieved from [http://www.mckinsey.com/insights/Food\\_Agriculture/Pursuing\\_the\\_global\\_opportunity\\_in\\_food\\_and\\_agribusiness?cid=other-eml-alt-mip-mck-oth-1507](http://www.mckinsey.com/insights/Food_Agriculture/Pursuing_the_global_opportunity_in_food_and_agribusiness?cid=other-eml-alt-mip-mck-oth-1507)

Start-Up Nation Central. (2017). Agritech Report 2017. Retrieved from [http://mlp.startupnationcentral.org/rs/663-SRH-472/images/Agritech\\_Report\\_2017.pdf?mkt\\_tok=eyJpIjoiTIRjMk5ESXIZVEkxTVRJdyIsInQiOiJrVjEYSiVTV3FmbINUdIBXdEVzYIZ0UzVWTjFLd3dcL0cyWkc1XC9rVGxYSU9JaTBjMFBpdzkrV2pjZFtdVNDcWdUNmh4aThXRXFgaWljWGpxUGVcL1BGUytiQ3NQ](http://mlp.startupnationcentral.org/rs/663-SRH-472/images/Agritech_Report_2017.pdf?mkt_tok=eyJpIjoiTIRjMk5ESXIZVEkxTVRJdyIsInQiOiJrVjEYSiVTV3FmbINUdIBXdEVzYIZ0UzVWTjFLd3dcL0cyWkc1XC9rVGxYSU9JaTBjMFBpdzkrV2pjZFtdVNDcWdUNmh4aThXRXFgaWljWGpxUGVcL1BGUytiQ3NQ)

Startup Nation Central. (2017). AgriTech Map. <http://lp.startupnationcentral.org/agri-map/>



## נספח א: התאמת טכנולוגיות מפציעות לפי ה-OECD לישראל

מראיינים: פרופ' גרשון גרוסמן, פרופ' אופירה איילון, עידן ליבס, ד"ר גילי פורטונה, ד"ר אהרון האופטמן, פרופ' אבי שרודר  
 ענו על שאלון: משה לוינגר (סמנכל פיתוח, מעבדת המחקר של יבמ – חיפה)

### טבלה 3: טכנולוגיות מפציעות לפי ה-OECD, והתאמתה לישראל

	<b>Biotechnologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
1	Epigenetics, Epigenomics, Artificial cell Genomics, Proteomics and epigenetics, Comparative genomics and proteomics techniques, creation of human genome databases <sup>37</sup>				
2	Sequencing patient DNA and personalised medicine, Routine and complete DNA sequencing, RNA technologies, Metabolomics, Nucleic acids Full-genome DNA sequencing, Analysis of human proteome, Transcriptional and epigenetic profiles <sup>37</sup>				

<sup>37</sup> אחד מ-12 תחומים שהוגדרו ע"י חברת McKinsey כטכנולוגיות משבשות (Disruptive Technologies), בעלות פוטנציאל לשנות את השוק עד שנת 2025 (Manyika et al., 2013)

	<b>Biotechnologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
3	Synthetic biology, Synthetic biology bioproduction systems, Metabolic and forward engineering, Genetically modified organisms, Artificial memory devices (DNA memory) bioengineering, Biosynthetic processes to produce biologically active compounds <sup>37</sup>	קיים בישראל, אם המדינה תחליט לקדם את מדעי החיים, יעשו בתחום זה יותר (גילי פורטונה)			
4	<b>Biomolecular computers</b>				
5	<b>Bioinformatics</b>	10 (אבי שרודר). יש מחסור באנשים ביישומים של חקלאות ורפואה.			
6	Production of synthetic membrane proteins, Companion diagnostics, Personalised medicine, Stratified and tailored medicine, Molecular diagnostics, Promising drug candidates				
7	<b>cell cultivation:</b> (Stem) cell cultivation, Biomedical cellular technologies				
8	<b>Slowing ageing processes</b>				
9	<b>Tissue engineering:</b> Regenerative medicine and tissue engineering, Prosthetics and body implants, Human tissue and organ regeneration techniques, Tissue equivalents and	נושא חשוב ומתפתח. לישראל אין יתרון יחסי, אבל לנושא יש פוטנציאל. (גילי פורטונה)	שילוב של חומרים וביוטכנולוגיה (גילי פורטונה)		

	<b>Biotechnologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
	artificial human organs, immunological technology				
10	<b>Lab-on-a-chip:</b> Lab-on-a-chip technologies, Biochips and biosensors	10 (אבי שרודר)			
11	<b>Medical and bio-imaging:</b> Combination of molecular diagnosis and imaging applications, Small portable magnetic resonance imaging scanner, Medical and bioimaging, Metamaterials and software to process and transfer high-resolution images	10 (אבי שרודר)			
12	<b>Human enhancement:</b> Performance-enhancing pharmaceuticals				
13	<b>E-Health:</b> Health monitoring beyond the clinical setting, Mobile diagnostic applications, "Quantified self", Continuously monitored personal health, Self-care based on personalized healthcare	10 (אבי שרודר)			
14	<b>Neuroscience technologies:</b> Neuroscience technologies, Neurostimulation, Modelling human behavior, Interfaces for neuronal photostimulation	נושא שנכון לישראל ומתפתח בישראל (עובדים על הנושא במכון ויצמן. הקופקסון וגם האזילק הם דוגמאות). (גילי פורטונה)			

	<b>Biotechnologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
		נושא בו אין לישראל יתרון על האמריקאים (אבי שרודר)			
15	<b>Bionics:</b> Bionics, Organic electronics, High-tech prostheses, Computeraided surgery, Connection between artificial body parts and nerve cells, Biobots, Robotic legs, Exoskeleton, sensitive robotfingers and hands				
16	<b>Brain-computer interface:</b> Brain-computer interface, Brain mapping, Brain-inspired technologies, Brain implants	יש מרכז מוח בישראל, יש מחויבות, מתאים לישראל ומתפתח בישראל (גילי פורטונה) 10 (אבי שרודר)	מולטי דיסיפלינרי, שילוב בין ביו טכנולוגיה, ננו טכנולוגיה ומדעי המחשב (גם מתמטיקה) (גילי פורטונה)		
17	<b>Artificial life systems:</b> Artificial life systems, including artificial cell elements and chimeric cells				
18	<b>Sensor technologies:</b> Sensor technologies, High-sensitivity sensors for physical and physiological parameters				
19	<b>Food Biotechnology:</b> Nutrigenomics, Functional food, Food fortifying, Nutraceuticals and medical foods, Innovative food Local or functional food, In-vitro meat, Meat-like plant proteins,	10 (אבי שרודר)			

	<b>Biotechnologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
	Functional therapeutic food products, biologically active additives, food protein technologies				
20	<b>Agricultural Biotechnology:</b> Agricultural biofactories, Genetically modified crops, <b>Precision agriculture</b> , Agricultural technologies, Biofactories, Bioresource centres and biocollections, forestry biotechnologies	<p>נושא חקלאות מדייקת הוא משמעותי. במוסד נאמן נעשה מחקר עבור משרד החקלאות על איך הידע החקלאי שנצבר בישראל יעזור לכל העולם. יש גם חממה trendlines - בנושא- (<a href="http://trendlines.com/agtech">http://trendlines.com/agtech</a>).</p> <p>בטכניון אין היום הנדסה חקלאית, ואחת ההמלצות היא לגייס כ"א לנושא זה. אנשי החקלאות הם בעצם אנשי מחשבים. היום החקלאות היא מחלקה בתוך הנדסת סביבה. (אופירה איילון)</p> <p>חשיבות הנושא תגדל לאור בעיה המזון בעולם (גילי פורטונה)</p> <p>10 (אבי שרודר)</p>			
21	<b>Marine Biotechnology:</b> Sustainable resource management and harvesting (forest and fish resources), Fisheries/aquaculture, Aquabioculture	<p>יש צורך בעולם. אין פעילות גדולה בנושא בישראל (יש באוניברסיטת חיפה), אבל כדאי. (גילי פורטונה)</p> <p>10 (אבי שרודר)</p>			
22	<b>Industrial biotechnology:</b> Bioproduction of raw materials, New biocatalysts Drugs based on genetically	<p>משמעותי בתסריט של התמקדות בייצור ובתעשייה. (גילי פורטונה)</p> <p>1, אין יתרון לייצור בארץ (אבי שרודר)</p>			

	<b>Biotechnologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
	modified organisms, Drugs that prevent dementia, Industrial biotechnology, Industrial enzymes and biocatalysts				

	<b>Advanced Materials</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/ חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
23	<b>Nanotechnologies:</b> Nanodevices and nanosensors, Nanotechnology for energy, Nanoelectronics, Nanorobots (nanobots) in health promotion, Nanoradio				
24	<b>Nanomaterials:</b> Nanomaterials, Nanostructured materials with form memory effects and "self-healing" materials, Biocompatible nanomaterials				
25	<b>Carbon nanotubes and graphene:</b> Graphene could replace Indium, Graphene and related new technologies, Carbon nanotube yarn or thread, Electronic elements based on graphene, Fullerene, carbon nanotubes, quantum dots				
26	<b>Polymers:</b> Intelligent polymers (plastic electronics), New-generation polymers (e.g. optoelectronics), Monomers for biodegradable polymers, superconducting materials				
27	<b>Functional materials:</b> Functional materials, Smart (multifunctional) and biometric materials, Hybrid materials, biomimetic materials and medical materials	חיוני מאוד (גילי פורטונה)			

	<b>Advanced Materials</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/ חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
28	Heat resistant ceramic materials to increase energy efficiency, Nanostructured composite and ceramic materials and coatings with special thermal properties				
29	<b>Light and high-strength materials:</b> Lightweight construction, Fibre-composite materials, Building and construction materials, Functional materials and coatings, new types of light and high-strength materials	חיוני (גילי פורטונה)			
30	<b>3D printing*:</b> Construction of 3D-printed homes, Rapid prototyping and rapid manufacturing (3D printing), Bioprinting, personal fabrication, Additive technologies	סיכוי נמוך לפריצה. מתאים בעיקר לתחום של ייצור מתקדם** (עידן ליבס)  כיום הדפסת תלת מימד עדיין בהיקפים קטנים יחסית לייצור קונבנציונלי. אם שיעור המוצרים שמודפסים בתלת מימד יעלה			התחום מבטיח ואף ישנן מספר חברות ישראליות מובילות – גם בשלות וגם בשלבי seed – האתגר בתחום זה הוא מציאת אפליקציות בהן יש ערך מסחרי לטכנולוגיה. להערכתי (אם) אלו ימצאו, הן יובלו ע"י התקדמות בתחום החומרים והביולוגיה. (עידן ליבס)  ה-3DP נחשב לתחום הכי גדול לפני 3 שנים. היום הטכנולוגיה משמשת בעיקר לאבי טיפוס ולא לייצור המוני הצפי הוא ששוק ה-3DP יגדל עד 2030, כשיעברו לייצור המוני. אם זה אכן יתממש, זה יהיה תחום שאי אפשר לא להיות בו, אבל זה קשור לרצון לבצע ייצור בישראל. הבעיה כרגע היא בחומרים ('אבקות'), ולכן כוח



	Advanced Materials	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/ חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
					האדם הדרוש הוא בתחום החומרים. (גילי פורטונה)  כיום הדפסת תלת מימד עדיין בהיקפים קטנים יחסית לייצור קונבנציונלי. אם שיעור המוצרים שמודפסים בתלת מימד יעלה, ידרשו מהנדסים חדשים, שידעו לתכנן בהתאם לשיטות הייצור החדשות (אהרון האופטמן)
31	Flexible touchscreens, Augmented reality, haptic screens	לא רלוונטי לישראל (עידן ליבס)			בתחום זה יש ידע וניסיון ישראליים בטכנולוגיות חישה במרחב (למרות שכל החברות המובילות נרכשו ע"י MNCs). ישנן גם חברות רבות המספקות פתרונות לתחומי ייצור המסכים. בנוסף, בכיוון אחר לגמרי – יש מגמה צומחת של יוצרי תוכן חדשניים בישראל, כאשר תוכן מקורי וייחודי הוא אחד האתגרים המרכזיים (העולמיים) של תחומי ה-VR ו-AR. (עידן ליבס)

\* **3D printing** לא מציג פוטנציאל 'מטורף' בניגוד להייפ. הבעיה היא לא טכנולוגית אלא כלכלית ובעיה של אימוץ הטכנולוגיה על ידי משתמשים. חברה גדולה שעוסקת בנושא, חצי ישראלית וחצי אמריקאית היא Startsys (<http://www.stratasys.com>). כרגע החברה במשבר. (עידן ליבס)

\*\* **ייצור מתקדם**: הדפסת תלת מימד וגם נושא IOT יכול להיות בנושא של ייצור מתקדם לתעשיות מסורתיות יש לטכנולוגיות אלו ערך מוסף, והן עשויות להיות טכנולוגיות משבשות. אפשר לציין את תחום הבנייה שבו מתפתח construction-tech. מכיוון שהייצור בארץ אינו בקנה מידה

גדול, חברות ישראליות שמפתחות טכנולוגיות בתחום זה מתחילות ישר בחו"ל, ואם הן מצליחות הן גלובליות מהרגע הראשון. בכל נושא שהוא מוטה ייצור, מתמקדים בישראל יותר בטכנולוגיות תומכות ייצור. (עידן ליבס)

	Digital technologies	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
32	<b>Supercomputing:</b> Quantum information technology, Multi-core processors (CPUs), In-memory databases, High-performance computing, Processors that take quantum phenomena into account, New data storage technologies, Supercomputing, Predictive supercomputer-modelling systems	בגלל שקיים מרכז פיתוח של אינטל צריך להשקיע בזה (גילי פורטונה)  5 (משה לוינגר)	מהנדסי חומרים ואלקטרוניקה (גילי פורטונה)  EE and CS, physics (משה לוינגר)	Quantum Computing (משה לוינגר)	
33	<b>Cloud computing</b> <sup>38</sup> : Cloud computing, Grid computing, Cloud solutions, Grid algorithms and software for distributed solutions	נושא שיהיה משמעותי בעולם, לא בטוח שבישראל (גילי פורטונה)  10 (משה לוינגר)	CS+EE		
34	<b>E-learning:</b> E-learning, Future education and learning, Schools in the cloud	8 (משה לוינגר)	CS + education (משה לוינגר)	visualization, machine learning (ml) (משה לוינגר)	Machine learning, data scientists (משה לוינגר)

<sup>38</sup> אחד מ-12 תחומים שהוגדרו ע"י חברת McKinsey טכנולוגיות משבשות (Disruptive Technologies) בעלות פוטנציאל לשנות את השוק עד שנת 2025 (Manyika et al., 2013)

	Digital technologies	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
35	<b>Next generation networks:</b> Next generation networks, Emergence of single management environments, High-speed data transfer	נושא נחוץ, לא ברור שדווקא בישראל (גילי פורטונה).  8 (משה לוינגר)	CS+EE (משה לוינגר)		
36	<b>Internet of Things:</b> The Internet of "moving" Things, Intelligent networks, <b>Internet of Things (industry 4.0)</b> , <b>Internet for robots</b> , Intelligent sensor networks and ubiquitous computing, Machine-to-machine interaction technologies (M2M) <sup>38</sup>	הדבר הגדול שאי אפשר לא להיות בו. (בא ביחד עם Machine Learning) (גילי פורטונה)  8 (משה לוינגר)	אלקטרוניקה, מחשבים, חשמל (עידן ליבס)  CS+EE + machinery (משה לוינגר)	Machine Learning, data science (משה לוינגר)	תחום זה (המייצר באז אינסופי...) הינו סינרגי לגמרי ל-ICT ולכן באופן טבעי מתאים לידע והניסיון הישראליים. רלוונטי גם לאפליקציות צבאיות, למרות שלא שמעתי הרבה על היבט כזה של IoT. לגבי ההיבט התעשייתי, ניכר כי האתגר הישראלי יהיה לחבר בין אנשי המחשבים/תקשורת/אלקטרוניקה עם המציאות והצרכים של השוק התעשייתי, לאור כך שמגזר זה לא דומיננטי במשק הישראלי (עידן ליבס)  Machine Learning, data science (משה לוינגר)

	<b>Digital technologies</b>	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
37	<b>Wearables:</b> Clothes with embedded electronic devices and sensors (“wearables”), Spray-on textiles, Robo-tailoring, smart interactive textiles	6 (משה לוינגר)	CS+EE + machinery (משה לוינגר)	Machine Learning, data science (משה לוינגר)	Machine Learning, data science (משה לוינגר)
38	<b>Finance:</b> Microfinance and crowd funding, Time banks, Electronic money	5 (משה לוינגר)	CS+ finance	Machine Learning, data science (משה לוינגר)	Machine Learning, data science (משה לוינגר)
39	Gamification , “Games for Health”				
40	<b>Big data:</b> Big data, Open data, Data processing and analysis	תחום שאין מנוס מלעסוק בו (גילי פורטונה) 10 (משה לוינגר)	CS+ math	Machine Learning, data science (משה לוינגר)	Machine Learning, data science (משה לוינגר)
41	<b>Searching and decision-making:</b> Models and data in decision-making, Searching and decision-making	8 (משה לוינגר)	CS+ math+ EE	Machine Learning, Artificial Intelligence (משה לוינגר)	Machine Learning, Artificial Intelligence (משה לוינגר)
42	<b>Computer modelling of materials and processes:</b> Visual analytics, Predictive analytics, Simulation of material properties, Simulation and mapping of brain, Predictive analytics based on self-organising data, Simulation and modelling, Predictive	8 (משה לוינגר)	CS+ EE+ chemistry (משה לוינגר)	Machine Learning, Chemistry (משה לוינגר)	Machine Learning, Chemistry (משה לוינגר)

	Digital technologies	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
	modelling, Computer modelling of materials and processes				
43	<b>Photonics and light technologies:</b> Photonics, Lithography systems, Optical measuring systems, Quantum optics, Photonic micro- and nanomaterials Photonics and light technologies, Cheap Lidar, High performance lasers, Photonics, Nanostructured materials with special optical properties, lasers and organic light-emitting diodes based on nanoscale heterostructure	8 (משה לוינגר)	EE+ physics (משה לוינגר)		Physics (משה לוינגר)
44	<b>Cyber-security:</b> The end of privacy, New cryptography and biometric methods, Privacy-enhancing technologies, Digital forensics, Capturing and content searching of personal life, Secure communication, Surveillance, Information security	סופר חשוב! (גילי פורטונה) ב-5-10 השנים הקרובות יהיה ביקוש גדול לעובדים בתחום הסייבר ( במובן הרחב- הגנת תשתיות פיזיות, הגנת רכבים מקושרים ועוד) (אהרון האופטמן)	EE+CS	Machine Learning, Data Science, Artificial Intelligence (משה לוינגר)	Machine Learning, Data Science, Artificial Intelligence (משה לוינגר)
		10 (משה לוינגר)			

	Digital technologies	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
45	<b>Biometrics:</b> Pattern recognition and pattern search services, Biometrics	8 (משה לוינגר)	EE+CS	Machine Learning, Data Science, Artificial Intelligence, Image Processing (משה לוינגר)	Machine Learning, Data Science, Artificial Intelligence, image processing (משה לוינגר)
46	<b>Artificial Intelligence<sup>38</sup>:</b> Artificial Intelligence, Algorithms and software for machine learning, <b>digital devices with replication and/ or self-healing properties</b>	מתאים לישראל (עידן ליבס) הנושאים האלו חשובים לישראל. זה העתיד של הייצור, גם לא בישראל (גילי פורטונה) 8 (משה לוינגר)	מחשבים, מתמטיקה, פיזיקה ומדעי החברה (פילוסופיה, פסיכולוגיה, בלשנות) CS (משה לוינגר)	Artificial intelligence, Machine Learning (משה לוינגר)	יש מחסור בחוקרים, בעיקר בתחום היישומי. אין מספיק יזמות בתחום. Artificial intelligence, Machine Learning (משה לוינגר)
47	<b>Robotics<sup>38</sup>:</b> Robotics for traditional and for undersea resource acquisition or on the farm, Service engineering, Service and swarm robotics, Robot assistants freely travelling and interacting with people, Nano- and microrobotics systems	6 (משה לוינגר)	CS+ EE+ machinery	Artificial intelligence, Machine Learning (משה לוינגר)	Artificial intelligence, Machine Learning (משה לוינגר)

	Energy and environment	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
48	<b>Smart grids:</b> Smart grids <sup>39</sup> , overlay-grids, super-grids, Future smart cities, Smart networks, long-distance transfer technologies for electric energy and fuel, new-generation power electronics	יש צורך 10 (גרשון גרוסמן) מתאים לישראל (עידן ליבס)	מהנדסי חשמל-זרם חזק, מהנדסי מחשבים (גרשון גרוסמן) מחשבים, אלקטרוניקה, חשמל (ברמת ה'ברזלים') (עידן ליבס)		מונים חכמים – משרד האנרגיה מעוניין לקדם את הטכנולוגיה הזו (חברת חשמל פחות)
49	<b>Decentralised energy systems</b> <sup>40</sup> : Decentralised energy systems, Microenergy harvesting, Microgeneration, New-generation microprocessor devices for use in power engineering	רלוונטי אבל לא רואה פה פריצה או מחסור – בעיקר פוליטיקה (גרשון גרוסמן) לתחום יש פוטנציאל מבחינת ישראל (עידן ליבס)			יצור מבוזר של חשמל. שימוש בחום השיורי מיצור חשמל (גרשון גרוסמן).
50	<b>Energy storage</b> <sup>41,42</sup> : Electrochemical storage and conversion technologies, Rapidly charging light batteries, supercapacitors, Advanced batteries, Electrical and thermal energy storage	חשוב מאוד (גילי פורטונה)	כימיה, הנדסה כימית, מכונות (גרשון גרוסמן) כמיה, מכונות (אלקטרומכניקה), חשמל, מחשוב (עידן ליבס)		אבי ברנמילר מנכ"ל סולל (טכנולוגיות טרמוסולריות) הקים את ברנמילר אנרגיה שעושה אגירת אנרגיה. אופירה איילון עשתה עבודה על אנרגיות מתחדשות וציינה

<sup>39</sup> רשת חכמה קשורה לבתים ומכשירים שמנטרים ומנוהלים אנרגטית. הכיוון של ייצור מבוזר משנה ארכיטקטורה של רשת החשמל ויכול לאפשר מסחר בחשמל. יש בישראל חברות בתחום אנרגיות מתחדשות (אינטגרלי לרשתות חכמות), שמוסיפות שכבה של מידע. ישראל טובה בנושא תקשורת. זה יכול לפרוץ בעולם השלישי (שם אין בעיה של תשתיות קיימות, "קפיצות טכנולוגיות") - יתרון לישראל. אבל נושא שנראה שמרוב הייפ ומעט תוצאות בשטח כבר מאבד מומנטום... למרות שיש כמה חברות ישראליות בתחומים אלו (בסקופים שונים, לרוב בהיבטים מוגבלים בהיקפם של רשת חכמה) יש קושי לאור חוסר בניסיון מעשי ויישום של התחום בישראל. כמו כן, התחום מערב הנדסת חשמל, שלהבנתו גם הולכת ומאבדת כוח אדם (לפחות בהיבטים של רשת החשמל, לא חשמל במובנים של מיקרו אלקטרוניקה וכו'). (עידן ליבס)

<sup>40</sup> תחום שבו ישנן הרבה חברות קטנות, וכמה בודדות שהצליחו באמת לפרוץ. לתחום יש פוטנציאל מבחינת ישראל, מאחר והוא משלב דיספלינות שונות – תוכנה, פיזיקה, כימיה, חשמל ועוד – ולכן מתכתב היטב עם יתרונות ישראליים. ישנם מספר ארגונים בישראל העוסקים בתחומים אלו, כולל פרויקטי הדגמה ומסלולי תמיכה ממשלתיים. יש פוטנציאל ייצוא גדול, בעיקר לעולם שלישי (אבל לא רק), כמו גם לאפליקציות צבאיות. (עידן ליבס)

<sup>41</sup> תחום שמושך הכי הרבה עניין בעולם האנרגיה, ללא ספק. ישנן כמה וכמה חברות ישראליות בשלבים שונים העוסקות בתחום, שמערב מחקר ידע וטכנולוגיות מעולמות שונים ומגוונים. החברות סובלות מחוסר אימוץ של הפתרונות שלהן במשק האנרגיה המקומי, אך קיימים פה פתרונות וחוקרים שהינם מובילים ברמה העולמית.

<sup>42</sup> אחד מ-12 טכנולוגיות שהוגדרו ע"י חברת McKinsey כטכנולוגיות משבשות (Disruptive Technologies) בעלות פוטנציאל לשנות את השוק עד שנת 2025 (Manyika et al., 2013)

	Energy and environment	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
					שאבן הנגף הוא נושא אגירת אנרגיה. (אופירה איילון) בטריות, אגירת חום (גרשון גרוסמן)
51	<b>Wireless power transfer</b>	לא נראה מתאים בשלב זה לישראל (גרשון גרוסמן)	-	-	טכנולוגיה יותר עתידית (גרשון גרוסמן)
52	<b>Sustainable Mobility:</b> Electric and hybrid vehicles, power-to-liquid technologies for the mobility sector, Post-carbon society, carbon dioxide reuse, Self-driving car, Intelligent low-carbon road vehicles	לא בונים ולא מפתחים מכונות בישראל – לא נראה רלוונטי בשלב זה (גרשון גרוסמן)	מהנדסי כימיה (גרשון גרוסמן)		
53	<b>Autonomous and semiautonomous vehicles</b> <sup>42,43</sup> : Autonomous and semiautonomous vehicles, Connected mobility, carto-car-communication, car-to-X-communication, smart mobility, Advanced autonomous systems, future mobility Automation of passenger vehicle traffic, vactrains, magnetic or superconductor-based levitation, Smart transport and new control systems, systems to increase the environmental neutrality and energy-efficiency of vehicles	רלוונטי (אופירה איילון). אפשרי בישראל כמו בכל מדינה אחרת (גרשון גרוסמן) בישראל בעיקר עיבוד תמונה לסיגנלים (עידן ליבס) התחומים האלו (52+53) באים ביחד. אלה התחומים בהם עוסקות מובילאיי, אינטל וווייז. ישראל מובילה בתחום תקשורת רכב (גילי פורטונה)	אלקטרוניקה, פיזיקה, מחשבים, חשמל, תקשורת, בקרה (עידן ליבס)		

<sup>43</sup> יש מרכזי פיתוח של GM ו-FORD בתחום הרכב בישראל. החברות הגלובליות מקימות מרכזי פיתוח או מחפשות חברות לקנייה.



	Energy and environment	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
54	<b>Unconventional flying concepts:</b> Drones Minisatellites, Drones, quadcopters, on-demand personal aviation, Micro-nano-and pico-satellites	כמו במדינות אחרות (גרשון גרוסמן)	רחפנים- רלוונטי לכל נושא. לשילוח, ללוגיסטיקה, לסביבה... (אופירה איילון) לא צפוי מחסור, יש הכשרה מספקת (גרשון גרוסמן)		
55	<b>Fuel cells</b>		מהנדסי כימיה וכימאים (גרשון גרוסמן)		מערכות ייצור חשמל אלקטרוכימיות (גרשון גרוסמן) יש חברות שמתעסקות בזה בארץ לא קונספט חדש. לא התממש עד היום. בחלל משתמשים בזה (גרשון גרוסמן) קשה להתחרות ברכב חשמלי. ניצולת נמוכה (עידן ליבס)
56	<b>Hydrogen<sup>42</sup>:</b> "Hydrogen Society", Inexpensive storage of hydrogen in nanostructures, Hydrogen production and safe storage, hydrogen for power generation				
57	<b>Recycling technologies</b>	הבעיה לא כ"א אלא פוליטיקה (גרשון גרוסמן)	מכונות, כימיה		בישראל מפגרים ביישום. בתחום מחזור שפכים יש חברות ישראליות מתקדמות, אבל שלא בשפכים החברות

	Energy and environment	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
					שיש אינן מתקדמות. (עידן ליבס)
58	<b>Energy Efficiency:</b> Energy efficiency measures, Low energy consumption buildings, novel light sources and smart lighting systems		הנדסה וארכיטקטורה (גרסומן)	אזרחית (גרשון)	בניה חכמה וחסכונית- נושא גדול- יש שאלה של כדאיות
59	Carbon dioxide capture and storage, metal organic frameworks	לא נראה מתאים לישראל (גרשון גרוסמן)-	-	-	-
60	<b>Low- and medium-power nuclear reactors:</b> Small nuclear reactors, Nuclear fission, Closed nuclear fuel cycle, low- and medium-power nuclear reactors	לא נראה מתאים לישראל (גרשון גרוסמן)-	הנדסה גרעינית	-	יש בארץ למטרות צבאיות ולא ליצור לחסכון באנרגיה.
61	<b>Nuclear fusion</b>	יש שאומרים שבשנת 2040 זו תהיה האנרגיה החשובה ביותר. התסריט של ישראל	-	-	-
62	<b>Nuclear fission</b>	כמדינת פיתוח אולי צריך לחשוב על התחום הזה. כרגע אין פיתוח בישראל (גילי פורטונה)	-	-	-
63	<b>Bioenergy:</b> Bioenergy, Biofuels, biorefineries, biocatalysts, biomass, biogas, bioethanol and biohydrogen The production of biofuels using enzymes, bacteria or algae Bioenergy and “negative emissions” Technologies for		אזרחית, כימיה		- שימוש בפסולת חקלאית לייצור ביוגז (פרויקט נפ"ח) – היה לא יעיל ונסגר - טיפול בשפכים

	Energy and environment	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
	energy biomass production and biomass processing				
64	<b>Solar energy technologies</b> <sup>42</sup> : High-efficiency solar cells Photovoltaics, solar thermal power generation Efficient and light solar panels, artificial leaf and synthetic fuel, solar heat, Solar energy technologies	לא מתאים לישראל <sup>44</sup> (גרשון גרוסמן) מובילים בתחום טרמו-סולרי, אבל זה תחום חלש (עידן ליבס) הכיוון שכדאי לעבוד עליו: הגדלת ניצולת פאנלים. (גילי פורטונה)	פיזיקאים וכימאים (גרשון גרוסמן). מלבד חשמל ואלקטרוניקה: בתחום טרמו-סולרי: כימיה (בנושא אגירה), מכונות (אגירת חום, טרמודינמיקה) בתחום פוטוולטאי: כימיה (עידן ליבס)		
65	Marine and tidal power New hydroelectricity technologies <sup>42</sup>	לא מתאים לישראל (גרשון גרוסמן)	-	-	-
66	<b>Wind energy technologies</b> <sup>42</sup> : Flying wind power and other new ways to produce wind energy, Wind energy technologies	עבור ישראל פחות רלוונטי (גרשון גרוסמן) לא מתאים לישראל (גילי פורטונה)			יש מוטיבציה לייצר אנרגיה מהרוח. יש היום תמריצים לא רציני – לא עבור ישראל
67	<b>Energy harvesting</b> : Piezoelectric energy sources, harvesting of kinetic energy				
68	Long-term storage of heat, High-performance natural gas heat and power units		מהנדסי מכונות		איך אוגרים חום זה לא נושא חדש

<sup>44</sup> High-efficiency solar cells Photovoltaics - היה פתרון יקר ויעילות נמוכה הרבה שנים ולא השתמשו בזה בצורה רחבה רק במקומות שלא הייתה ברירה. בשנים האחרונות המחיר ירד וזה הפך ליותר כדאי.

ייצור טרמי – קולט את חום המש ומייצר קיטור – טכנולוגיה עם עלויות יקרות – לממשלת ישראל יש תוכניות לבנות שתי תחנות כאלה עד היום לא יצא לפועל. לפוטו וולטאי – יש עתיד אבל לא צריך כוח אדם מיוחד.

	Energy and environment	אנא דרג בין 1-10 האם רלוונטי לישראל	איזה כוח אדם נדרש לפיתוח הטכנולוגיה (לדוגמא: מהנדסי חשמל/כימיה/מים/חומרים)	כישורים חדשים נדרשים (לדוגמא: עיבוד תמונה, אינטליגנציה מלאכותית)	באיזה מקצועות/כישורים צפוי מחסור
					אין התקדמויות גדולות (גרשון גרוסמן)
69	Deep processing of oil and gas condensate, associated petroleum gas				
70	Monitoring the state of environment, long-term weather forecasts, remote monitoring systems				

לפי פרופ' אבי שרודר ישנם שלושה תחומים שכדאי לישראל למקד בהם השקעות עתידיות: רפואת מבוגרים, מזון וחקלאות וחיזוק הממשק בין כלים מתמטיים לצרכים ביולוגים.

לגבי תחום החקלאות (אגריטק), ישראל יכולה להיות מובילה בנושא זה. יש בישראל מציאות של בצורת, וזה מתאים גם לאזורים בסין, רוסיה, הודו ואפריקה. ישנם בוגרי ביוטכנולוגיה וביולוגיה שיכולים להיות מופנים לתחום הזה. היום מי שמוביל את התחום זה החקלאים עצמם. אין דור המשך למחקר שהיה נעשה פעם באוניברסיטאות. גם באוניברסיטאות בהם יש חקלאות (כמו אונ' ת"א ומכון ויצמן), היישומים הם בתחומים אחרים, כמו תחום הבריאות, ואין הרבה מחקר ממש בתחום החקלאות. הטכניון יכול להיות שותף לנושא ולפתוח שוב פקולטה להנדסה חקלאית.

**קנדה (Policy Horizons Canada, 2013)<sup>45</sup>**

**כללי:**

בדו"ח זה זוהו ארבעה תחומים 'מחוללי שינוי' ונבחנה השפעתם הצפויה על נושאים כמו ייצור, שירותים, משאבי טבע, חקלאות, אנרגיה, תחבורה, בריאות ועוד. כמו כן נבחנה ההשפעה שעשויה להיות לתחומים אלו על מדיניות והאם הנחות העומדות בבסיס המדיניות הקיימת כיום צריכות להשתנות לאור ההתפתחות הצפויה בתחומים אלו.

**מתודולוגיה:**

נערכו ראיונות עם כ-90 מומחים מתחומים שונים.

**תחומים:**

זוהו 4 תחומים 'מחוללי שינוי' (Change Drivers)

1. Emerging Biotechnologies:
  - Synthetic Biology
  - Bioinformatics
  - Tissue Engineering
2. Emerging Nanotechnologies:
  - Nanomaterials/Nanodevices and Nanosensors
  - Nanotechnology For Energy
3. Emerging Neuroscience Technologies
4. Neurostimulation/Brain-Computer Interface/Emerging Digital Technologies
  - Artificial Intelligence
  - Robotics

**האיחוד האירופי (EC (European Commission), 2014)<sup>46</sup>**

**מתודולוגיה**

לצורך הפרויקט גייסו היועץ המדעי הראשי ויושב הראש של לשכת יועצי המדיניות האירופית (Bureau of European Policy Advisers-BEPA) רשת של 230 מומחים בתחום התחזיות המדעיות והטכנולוגיות. המומחים פיתחו את התחזיות, והשתתפו בשישה ימי עיון בנושאים:

- What's in it for Society?
- How will we access and use resources in 2030?
- What and how will we produce and consume in 2030?
- Where will we live in 2030?
- How will we interact in 2030 How healthy will we be in 2030?
- How will we participate in society in 2030?

**תחומים:**

זוהו שבעה תחומים:

1. Digital Enabling Technologies
  - Cloud Computing

<sup>45</sup> [http://www.horizons.gc.ca/sites/default/files/Publication-alt-format/pdf\\_version\\_0239\\_6698kb-45pages.pdf](http://www.horizons.gc.ca/sites/default/files/Publication-alt-format/pdf_version_0239_6698kb-45pages.pdf)  
<sup>46</sup> <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/looking-future-digital-technologies>

- High Performance Computing
  - Text and Data Mining
  - Advanced Autonomous Systems
  - Models and Data In Decision-making
  - Cyber-Security
  - Iot
  - Brain-Inspired Technologies
  - Big Data
2. Health and Biotech
    - Personalised Medicine
    - Regenerative Medicine and Tissue Engineering
    - Prosthetics and Body Implants
    - Human Enhancement
    - Synthetic Biology
    - DNA Fingerprinting and Personal Genomes
  3. Food and Nutrition
    - Agricultural Science
    - Precision Agriculture
    - Fisheries/Aquaculture
    - Innovative Food
  4. Environment and Energy
    - Recycling
    - Post-Carbon Society
    - Science for The Energy Transition
    - Carbon Dioxide Reuse
    - Carbon Dioxide Capture and Storage Technologies
    - 'Hydrogen Society'
  5. Society and Wellbeing
    - Social Sciences and Humanities
    - Social Innovation
    - Behavioural Science
    - Media and Culture
    - Future Education and Learning
    - Future Smart Cities
    - Future Mobility
  6. Physical Science and Manufacturing/ Enabling Technologies
    - Graphene and Related New Materials
    - Nano-Electronics

- Nanomaterials
- Photonics and Light Technologies
- 3D Printing
- Sustainable Consumption and Production
- Marine Science

## 7. Aeronautics and Space Applications

- Space Based Services
- Space Technologies
- Asteroid Mining
- Deep Space Travel
- Drones

<sup>47</sup>(Gokhberg, 2014) רוסיה

### כללי:

מטרת המחקר הייתה לזהות את תחומי המדע והטכנולוגיה המבטיחים ביותר ברוסיה, שיש להם יכולת לשחק תפקיד חשוב במציאת פתרונות לנושאי חברה וכלכלה שונים ובמימוש היתרון התחרותי של המדינה. במסגרת התחזית נבחנו אתגרים גלובליים קיימים, ההזדמנויות והאיומים שמביאים איומים אלו, שווקי חדשנות עתידית, מוצרים וטכנולוגיות המגלמים חדשנות רדיקלית ותחומי מחקר בשבעה תחומי עדיפות: טכנולוגיות מידע ותקשורת, ביוטכנולוגיה, רפואה ובריאות, חומרים חדשים ונווטכנולוגיה, ניהול הסביבה, מערכות תחבורה וחלל ויעילות וחסכון אנרגטי.

### מתודולוגיה

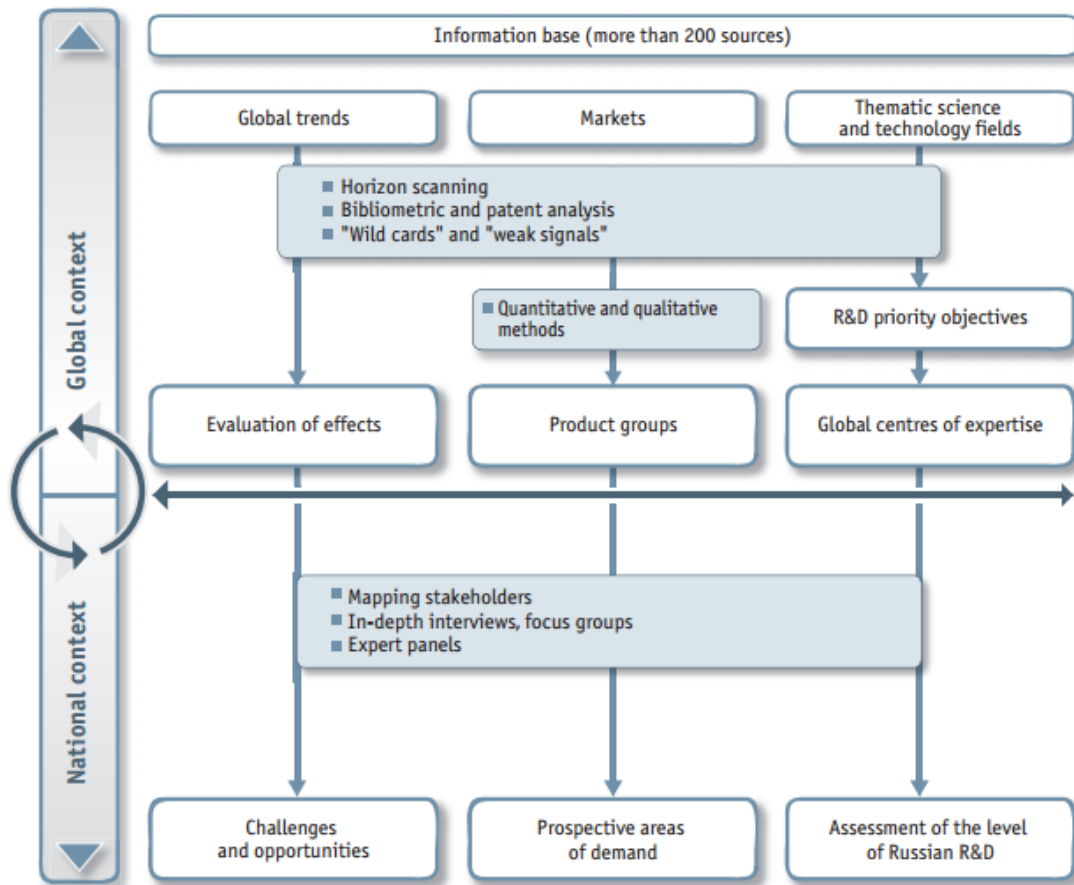
כאמור, מעל 2,000 מומחים (מעל 200 ארגונים) השתתפו בתהליך התחזית. מומחים רוסיים בתחומי מדע וטכנולוגיה ספציפיים נבחרו לפי מדדים אובייקטיביים כמו ציטוטים, פטנטים, הובלה בכנסים בינלאומיים וניהול מרכזי מחקר מובילים. נציגי חברות, מרכזי הנדסה, ארגוני שיווק והפצת מוצרים ושירותים חדשניים הוזמנו גם הם בתור מומחים. בנוסף הוזמנו גם מומחים בינלאומיים כולל חברים בארגונים בינלאומיים, נציגי אוניברסיטאות ומרכזי מחקר מובילים ועוד. אל אלו הצטרפה קבוצה של מומחים בתחום המתודולוגיה מהעולם, כדי לגבש את מתודולוגיית המחקר ולאמת את תוצאותיו. תוצאות המחקר נדונו –ביותר מ-20 כנסים בנושאים שונים.

האיור הבא מציג את המבנה הארגוני של המחקר, הנחשב למעמיק ומקיף מהמקובל בתחום זה:

47

[https://lsts.hse.ru/data/2016/01/21/1138059644/Prognoz2030\\_%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82\\_%D0%B7%D0%B0%D1%89.pdf](https://lsts.hse.ru/data/2016/01/21/1138059644/Prognoz2030_%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82_%D0%B7%D0%B0%D1%89.pdf)

**איור 7: מבנה המחקר, Russia 2030: Science and Technology Foresight**



Source: NRU HSE.

מקור: Russia 2030: science and Technology Foresight

**תחומים:**

1. Information and Communication Technology
  - Computer Architecture and Systems
  - Telecommunication technologies
  - Data Processing and Analysis Technology
  - Element Base, Electronic Devices, robotics
  - Predictive Modelling, prospective Systems Functioning
  - Information Security
  - Algorithm and Software
  
2. Biotechnology
  - Scientific and Methodological Basis for Biotechnology Research
  - Industrial Biotechnology
  - Agricultural Biotechnology
  - Food Biotechnology
  - Forestry Biotechnology
  - Aquabioculture



3. Medicine and Health Care
  - Promising Drug Candidates
  - Molecular Diagnostics
  - Molecular Profiling and Identification of Molecular and Cellular Pathogenesis Mechanism.
  - Biomedical Cellular technologies
  - Biodegradable and Composite Medical Materials
  - Bio-electrodynamics and Radiation Medicine.
  - Creation of human genome Database.
  
4. New Materials and Nanotechnologies
  - Construction and Functional Materials
  - Hybrid Materials, Convergent Technologies, Bio-mimetic Materials and Medical Materials
  - Computer Modeling of Materials and Processes
  - Diagnostics of Materials
  
5. Environmental Management
  - Saving the Environment and environment Safety
  - Monitoring the State of Environment, Assessing and Forecasting Natural and Man-made emergencies
  - Mineral Prospecting and Integrated Development of Mineral and Hydrocarbon Resources.
  - Research and development of oceanic, arctic and Antarctic Resources
  
6. Transport and Space Systems
  - Development of an Integrated Transport space
  - Increasing Safety and Environmental Neutrality of Transport Systems
  - Prospective Transport and Space Systems
  
7. Energy Efficiency and Energy Saving
  - Efficient Prospecting and Extraction of Fossil Fuels
  - Efficient and Environmentally neutral Heat and Power Engineering .
  - Safe Nuclear Power Engineering
  - Efficient Use of renewable Energy sources
  - Prospective Bioenergy
  - Deep processing of Organic fuels
  - Efficient storage of Electric and thermal Energy
  - Hydrogen Power
  - Efficient Transportation of Fuel and energy
  - Smart Energy Systems of the Future
  - Efficient Energy Consumption
  - Modeling Prospective Power Generation Technologies and Systems

- Development of an advanced Electronic Component Base of Power Engineering
- New Materials and Catalysts for Power engineering of the future

#### אנגליה (UK Government Office for Science, 2012)<sup>48</sup>

##### כללי

דו"ח זה משנת 2012 הוא עדכון לדו"ח שיצא בשנת 2010, שבו הוצגו 53 טכנולוגיות עתידיות מבטיחות. למרות הזמן הקצר שעבר, חל במהלך שנתיים אלו שינוי הן בטכנולוגיה והן במצב החברתי והפוליטי שחייב עדכון ושינוי דגשים עבור חלק מהטכנולוגיות שבדו"ח הקודם.

##### מתודולוגיה

הדו"ח המעודכן לשנת 2012 נבנה באמצעות סדרה של ראיונות מובנים עם 15 אנשי אקדמיה מובילים ו-26 מומחי תעשייה על 53 תחומי הטכנולוגיה שאותרו בשנת 2010. המומחים נשאלו אילו טכנולוגיות מעניינות או התפתחויות אחרות התרחשו לאחרונה, או עשויים להתרחש במהלך עשר השנים הבאות, שעשויות לייצר הזדמנות לצמיחה בעשור הבא. השאלות האלו הופנו גם ל-180 המומחים שהשתתפו בהכנת הדו"ח הראשון (שפורסם בשנת 2010) באמצעות סקר.

##### תחומים:

- Biotechnological and pharmaceutical sector
  - Genes and Cells
    - Genomics, proteomics and epigenetics
    - Nucleic acids
    - Synthetic biology
    - Stratified and tailored medicine
    - Stem cells
    - Regenerative medicine and tissue engineering
  - Sensors and Computing
    - Lab-on-a-chip
    - Medical and Bioimaging
    - Performance-enhancing pharmaceuticals
    - e-Health
    - Modelling human behavior
    - Brain-computer interface
  - Production
    - Agricultural technologies
    - Industrial biotechnology
- Materials and nanotechnology
  - Advanced Materials
    - Nanotechnologies
    - Nanomaterials
    - Carbon nanotubes and graphene
    - Intelligent polymers ('plastic electronics')
    - Metal organic frameworks
  - Applications

[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/288562/12-1157-technology-48-innovation-futures-uk-growth-opportunities-2012-refresh.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/288562/12-1157-technology-48-innovation-futures-uk-growth-opportunities-2012-refresh.pdf)

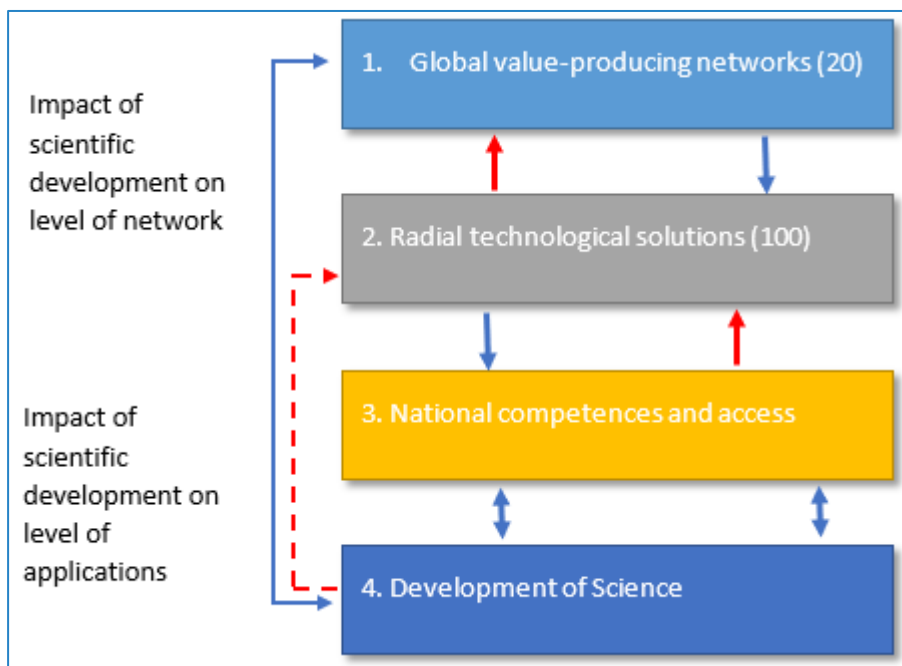
- Smart (multifunctional) and biometric materials
  - Smart interactive textiles
  - Active packaging
  - Metamaterials
  - Building and construction materials
  - 3D printing and personal fabrication
  
- Digital and networks
  - E-Infrastructure
    - Complexity
    - Supercomputing
    - Cloud computing
    - Next generation networks
    - Intelligent sensor networks and ubiquitous computing
  - Analytical Tools
    - Searching and decision-making
    - Simulation and modelling
  - Processors, Interfaces and Sensors
    - New computing technologies
    - Photonics
    - Secure communication
    - Biometrics
    - Surveillance
    - Service and swarm robotics
    - Bioinspired sensors
    - Bioinspired sensors
  
- Energy and low-carbon technologies
  - Infrastructure
    - Smart grids
    - Microgeneration
    - Advanced batteries
  - Cars and Beyond
    - Intelligent low-carbon road vehicles
    - Fuel cells
    - Hydrogen
  - Resource Efficiency
    - Recycling
    - Carbon capture and storage
  - Energy Technologies
    - Nuclear fission
    - Nuclear fusion
    - Bioenergy
    - Solar energy
    - Marine and tidal power
    - Wind energy

המחקר שהוזמן ע"י 'ועדת העתיד' של הפרלמנט הפיני. מבנה המחקר והמתודולוגיה שלו שונה במקצת מזה של המדינות האחרות שנסקרו במסמך זה. המחקר מתבסס על מודל ובו ארבע רמות:

- עשרים global Value-Producing Networks מתוך נקודת המבט של פינלנד כמדינה מערבית מפותחת;
- מאה פתרונות טכנולוגיים רדיקלים (Radical Technologies Solutions);
- רמת המוכנות והגישה (access) הלאומית של פינלנד;
- התפתחות המדע.

איור 8 מציג את המודל באופן סכמטי.

איור 8: מודל ארבע הרמות בדו"ח '100 הזדמנויות לפינלנד ולעולם' (Kuusi & Vasamo, 2014)



כפי שמצוין בהמשך, המועמדים לרשימת 100 הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים נאספו באמצעות מיקור המונים באמצעות 600 אנשים שנרשמו לדפי שיחה בפייסבוק. אנשים אלו גם סיפקו כ-1,000 קישורים למקורות אינטרנט הקשורים לפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים. את 100 הפתרונות עצמם בחרו שלושה מומחים בתחום ההתפתחות הטכנולוגית (שני עתידנים ונציג 'ועדת העתיד' הפינית), שבחנו את כל הפתרונות המוצעים באופן שיטתי באמצעות סט של מדדים קבועים.

מומחים אלו (שגם כתבו את הדו"ח), הגדירו 20 Global Value-producing Networks (GVPN) המשלבים מגה-טרנדים עולמיים, שינויי צריכה משתנים והזדמנויות טכנולוגיות.

הציון שקיבל כל אחד מהפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים מורכב ממכפלת שני משתנים:

- פוטנציאל הפתרון בהקשר של ה- Value-Producing Networks (מ-0 עד 20)
- רמת מוכנות התשומות הנדרשות, קרי שקלול של רמת הבשלות של הפתרון, שיעור גידול השוק השנתי הממוצע החזוי, העניין המדעי, היקף נתיבי המו"פ העצמאיים והידע (know-how) והגישה לשווקים (access) הפיניים.

<sup>49</sup> [https://www.eduskunta.fi/FI/tietoaeduskunnasta/julkaisut/Documents/tuvj\\_11+2014.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/tietoaeduskunnasta/julkaisut/Documents/tuvj_11+2014.pdf)

יש לציין שכותבי הדו"ח ביצעו את החישוב הנ"ל פעם נוספת ללא הפרמטרים של הידע והגישה הפנייים (אלמנט 3 במודל), וקיבלו דרוג "עולמי" השונה מהדירוג הפני. כך למשל הפתרון של Extremely dense processors into account ב'דרוג הפני'.  
that take quantum phenomena into account נמצא במקום הראשון ב'דרוג העולמי' אך רק במקום החמישי

## מתודולוגיה

1. המועמדים לרשימת 100 הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים (Radical Technological Solutions (RTS)) נמצאו בדרך של מיקור המונים. מיקור המונים התבצע בעזרת דפי שיחה בפייסבוק. בקיץ 2014 כ-600 אנשים נרשמו לדפי שיחה אלו. ראוי לציין שמיקור המונים זה הניב גם כ-1,000 מקורות האינטרנט המציגים את חשיבות הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים ששולבו גם הם בדו"ח הסופי.

2. הבחירה הסופית של 100 הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים (RTS) בוצעה על ידי שלושה חוקרים מומחים בהתפתחות טכנולוגית ('עתידינים'), שניים מהם הם גם כותבי הדו"ח ואחר יועץ לוועדה הממשלתית הפינית. לחוקרים אלו ניסיון רב בתחום הערכת התפתחויות טכנולוגיות. באופן כללי פתרון טכנולוגי רדיקלי אינו מתייחס לטכנולוגיה ספציפית, אלא למקבץ של טכנולוגיות שמטרתן מציאת פתרון לבעיה מסוימת. דרישת המינימום לצורך קבלת פתרון טכנולוגי רדיקלי לרשימה הייתה שהפתרון הטכנולוגי יבשיל לפחות באופן חלקי לשימוש עד שנת 2020, ושניתן להניח שהפתרון יגיע לשימוש נרחב עד לשנת 2030. בנוסף נדרש שהעקרונות המדעיים שבבסיס הפתרון פורסמו כבר בכתב עת מדעי הדורש הערכת עמיתים.

3. מחברי הדו"ח הגדירו 20 Global Value-producing Networks (GVPN) (הערה: מקביל לבעיות חברתיות עולמיות) המשלבים מגה-טרנדים עולמיים, שינויים בצריכה והזדמנויות טכנולוגיות. ה-GVPN נבחרו מתוך נקודת מבט של מדינה מערבית מפותחת. ברשימה נעשה ניסיון לכלול את מקורות הערך המוסף החשובים ביותר עבור מדינה כמו פינלנד בתקופה 2014-2030.

4. ההערכה השיטתית של הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים מבוססת על אינדיקטורים המפורטים להלן. האינדיקטורים קשורים לפעילות מו"פ באוניברסיטאות ובמגזר העסקי, ובגישה לשווקים חדשים של פתרונות טכנולוגיים רדיקליים:

- **רמת הבשלות של הפתרון** מוערכת על סקאלה שבין 1 ל-4. הערך 1 ניתן כאשר הפתרון נראה אפשרי בהתבסס על פרסום מדעי. 2 ניתן כאשר קיים אב טיפוס במוסד מחקרי. 3 כאשר למספר מוסדות עצמאיים ומתוקצבים יש אבי טיפוס, והם משקיעים בהמשך הפיתוח. הערך 4 (המקסימלי) ניתן כאשר קיימות מספר גרסאות של הפתרון בשוק, והשוק גדל כך שיש כדאיות כלכלית בהשקעה נוספת בפתרון. **שיעור גידול השוק השנתי הממוצע** לשנים 2014-2030 מחולק לשתי קטגוריות: גידול של 5%-15% (קצב גידול מהיר) ומעל 15% (פריצת דרך). פריצת דרך משמעותה שגודל השוק בשנת 2030 יהיה לפחות פי 8 מגודלו בשנת 2014. פתרון שקצב גידול השוק שלו מוערך בפחות מ-5% לא יכול להיכנס לרשימת הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים.
- **העניין המדעי** מוערך על סולם הנע בין 0 ל-2. הערך 1 ניתן למחקר מדעי נפוץ המשיק לפתרון ומקדם את התפתחותו. הערך 2 ניתן כאשר מתבצע מחקר רב בנושא הפתרון.
- **היקף נתיבי המו"פ העצמאיים** נמדד על סולם בין 0 ל-1, כאשר הערך 1 ניתן כאשר פיתוח מוצרים הקשורים לפתרון נהיה נפוץ בשווקים המסחריים או במגזר הציבורי, או מתבצע בידי חובבים וקהילות משתמשים.
- **הידע (know-how) הפיני** מוערך על סולם בין 0 ל-1. הערך 1 ניתן כאשר ישנו ידע מופ"י משמעותי, או מחקר משמעותי בתחומים הקשורים לפתרון בפינלנד.
- **הגישה (access) הפינית** מוערכת על סולם בין 0 ל-3. הערך 1 ניתן כאשר יש קשר ברור לבסיס לקוחות עולמי שיכולים להשתמש בפתרון הנבחן בתחום פעילות. הערך 2 ניתן אם אופיו של הקשר הוא כזה שהפתרון הנבחן יכול להיטמע במוצרים הנמכרים כיום או הקשורים ישירות למוצרים הנמכרים היום. הערך 3 ניתן אם בנוסף לתנאים שהוזכרו עד כה הפוזיציה הפינית בכלל נתח השוק היא חזקה.

▪ **הפוטנציאל של כל פתרון טכנולוגי רדיקלי** הוערך בנפרד בכל אחד מ-20 ה-Value-Producing Networks על סולם שבין 0 ל-20. הערך 1 ניתן אם פתרון מוצלח יכול לייצר ערך מוסף מסוים מנקודת מבט של Value-Producing Network. הערך 3 ניתן אם הערך המוסף יכול להיות משמעותי במקרה של הצלחה, כלומר להוסיף למאזן של פינלנד עשרות מיליוני יורו, או להשפיע השפעה משמעותית על חיי היום יום של אזרחי המדינה. הערך 5 ניתן אם הפוטנציאל של הערך המוסף מוערך במאות מיליוני יורו, או שהשפעתו על חיי היום יום נרחבת ומשמעותית. הערך 10 ניתן אם הערך המוסף נמדד במיליארדי יורו, או שהפתרון הכרחי להתפתחות ה-Value-Producing Network.

5. רמת ההבטחה המצרפית של פתרון טכנולוגי רדיקלי מחושבת תחילה לפי סיכום הפוטנציאל שלו בהקשר של ה-Value-Producing Networks וסיכום רמת מוכנות התשומות הנדרשות ואז על ידי הכפלת שני ערכים אלו זה בזה. רמת הבשלות מקבלת משקל כפול בחישוב רמת מוכנות התשומות בהשוואה לרמת העניין המדעי, היקף נתיבי המו"פ העצמאיים, והידע והגישה הפינים.

להלן רשימת 20 ה-Value-Producing Network:

1. Automation of passenger vehicle traffic
2. Automation of commodity transport
3. Manufacturing close to customers
4. Virtualisation of retail trade and services
5. Local or functional food
6. Distance presence and remote control of tools
7. Individualisation of learning and guidance
8. Self-care based and personalized healthcare
9. New capabilities for those who have lost their functional health
10. Equipment that increases awareness of the environment
11. Functional materials and new material technologies
12. Functional added value of intelligent goods
13. Sustainable energy technologies
14. Raw materials from untapped areas of the Earth and space
15. Participatory forms of entertainment, culture and influence
16. National defence and antiterrorism
17. Functionalization of spaces and structures
18. Operation models for self-organising communities
19. Virtualisation of identities and social structures
20. Democracy, freedom and social cohesion

להלן רשימת 100 הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים (Radical Technologies Solutions) לפי תחומים (הכוכביות מציינות לאיזה אחוזון שייך הפתרון מבחינת הדרוג, ארבע כוכביות לאחוזון העליון (מקומות 1-25) וכוכבית אחת לאחוזון התחתון (מקומות 85-100):

**טבלה 4: 100 הפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים (Radical Technologies Solutions) לפי תחומים מתוך הדו"ח '100 הזדמנויות לפינלנד ולעולם'**

מס"ד בדו"ח*	פתרונות טכנולוגיים רדיקליים (Radical Technological Solutions)
	<b>Control of metabolism of human beings and other organisms</b>
2.1	Routine and complete DNA sequencing ****
2.2	Biochips and biosensors able to diagnose cheaply and rapidly diseases, physiological states and genetic features of organisms ****
2.3	Small portable magnetic resonance imaging scanner *
2.4	Drugs based on genetically modified organisms ***
2.5	Nanorobots (nanobots) in the health promotion *
2.6	Longer life time and slower aging processes **
2.7	Continuously monitored personal health ****
2.8	Brain implants that restore or develop brain functions **
2.9	Drugs that prevent dementia ****
2.10	Repairing and regrowing of human organs, (stem) cell cultivation **
2.11	Synthetic cartilage in human joints *
	<b>Social Innovations</b>
2.12	Schools in the cloud ****
2.13	Freely organizing remote work and organizations that form on the Internet ****
2.14	Human recognition systems ***
2.15	Emotion management in robots and automatic recognition of emotions ***
2.16	Capturing and content searching of personal life ***
2.17	Automatic speech recognition and translation ***
2.18	Crowdfunding and micro finance **
2.19	Open data and big data ****
2.20	Gamification ****
	<b>Human – machine interface technologies</b>
2.21	Interfaces reacting on movements ***
2.22	Glasses of augmented reality ****
2.23	Interfaces based on feeling of touch****
2.24	Large haptic screens***
2.25	Digital mirror **

2.26	Thoughts monitored from brain and action based on them **
2.27	Flexible and transparent screens using cheap materials
	<b>Algorithms and Systemic Solutions based on the Information technology</b>
2.28	Cloud computing ****
2.29	Grid computing ***
2.30	Pattern recognition and pattern search services ***
2.31	Effortless 3D imaging of parts ***
2.32	Real-time 3D modeling of the environment ****
2.33	Self-organizing virtual world from the 3D data of the Internet *
2.34	Predictive analytics based on self-organizing data **
2.35	Universal memory based on new materials and solutions **
2.36	Simulation and mapping of brain ***
2.37	Quantum computers *
	<b>Measurement and picturing</b>
2.38	Cheap Lidar ***
2.39	Lenseless camera and image construction based on data analysis ***
2.40	“Material Radar”****
2.41	Cheap gas sensors ***
2.42	Very sensitive camera sensors based on nanocarbons **
2.43	Printed cheap biosensors ****
2.44	Graphene based terahertz devices ***
	<b>Moving and Transportation</b>
2.45	Self-driving car ****
2.46	1 or 2 wheeled vehicles for personal or good traffic ***
2.47	Quadcopters ***
2.48	On-demand personal aviation services *
2.49	Vactrains *
2.50	Magnetic or superconductor based levitation *
2.51	CubeSat and other minisatellites **
2.52	Light continuously flying equipments ***
	<b>Robotics</b>
2.53	Modular robotics ****
2.54	A walking robot with hands ****
2.55	The cyber insect *
2.56	3D printing of goods ****
2.57	3D printing of buildings **



2.58	3D and 4D printing of material **
2.59	3D printing of organs *
2.60	Robotic surgery and other cutting of biological objects **
2.61	Sensitive robot fingers and hands capable of remote work ***
2.62	Robo-tailoring *
	<b>Imitation of the nature and cyborgs</b>
2.63	Nanosurfaces that convert air moisture to water *
2.64	Biobots *
2.65	Artificial muscles **
2.66	Artificial, self-renewing skin *
2.67	DNA memory *
2.68	Artificial cell and simulating life on cell level ***
2.69	In-vitro meat and meat-like plant protein *
2.70	Robotic legs and the exoskeleton that reinforces movement ****
	<b>Key enabling materials and industrial raw materials</b>
2.71	Genetically modified organisms as producers of multi-use materials ***
2.72	Extremely dense processors that take quantum phenomena into account ****
2.73	New building materials that replace reinforced concrete *
2.74	Antibacterial and other dirt repellent materials and surfaces ****
2.75	Carbon nanotube yarn or thread **
2.76	Nanocarbons in salt or bacteria removal and other separation techniques based on nanocarbons *
2.77	Nanocarbon as a reinforcement or as functional surface **
2.78	Cellulose nanofiber and microfiber ****
2.79	Materials that levitate on nanolevel *
2.80	Ultralight and strong materials ***
2.81	Spray-on textiles **
	<b>Energy technology</b>
2.82	Rapidly cheapening solar energy ****
2.83	Efficient and light solar panels **
2.84	Artificial leaf and synthetic fuel from the sun light and carbon dioxide *
2.85	The production of biofuels using enzymes, bacteria or algae **
2.86	Flying wind power and other new ways to produce wind energy**
2.87	Piezoelectrical energy sources, harvesting of kinetic energy **
2.88	Serial production of small nuclear reactors, fission and fusion *
2.89	Rapidly charging light batteries and supercapacitors ****

2.90	Massive storage of energy in high capacity batteries ***
2.91	Solar heat and long-term storage of heat ***
2.92	Inexpensive storage of hydrogen in nanostructures *
2.93	Wireless electricity transmission (magnetism) for electric cars and other electrical devices **
2.94	High-performance lasers, wireless power transfer, laser weapons *
	<b>Messaging technology and protocols</b>
2.95	Nanoradio *
2.96	LED "radio" *
2.97	Wireless transmission 2.5 terabytes per second (vortex beam)***
2.98	Multi-channel communication and software-based controlling of information networks **
2.99	Electronic money, time banks ****
2.100	Internet for robots **

\*המספר הסידורי בדו"ח מציין את מספר הפרק העוסק בפתרונות הטכנולוגיים הרדיקליים (פרק 2) ומספר סידורי של הפתרון מ 1 עד 100.

## מקורות

EC (European Commission). (2014). Preparing the Commission for Future Opportunities – Foresight Fiches: “Global Trends to 2030”.

Gokhberg, L. (2014). Russia 2030: Science and Technology Foresight,. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, National Research University Higher School of Economics.

Kuusi, O., & Vasamo, A.-L. (2014). 100 opportunities for Finland and the world: Radical Technology Inquirer (RTI) for anticipation/ evaluation of technological breakthroughs. Helsinki.

Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs. (2013). Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Insitute, (May), 163. Retrieved from [http://www.mckinsey.com/insights/business\\_technology/disruptive\\_technologies%5Cnhttp://www.chrysalixvc.com/pdfs/mckinsey\\_may2013.pdf](http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/disruptive_technologies%5Cnhttp://www.chrysalixvc.com/pdfs/mckinsey_may2013.pdf)

Oecd. (2016). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016. Paris. [https://doi.org/10.1787/sti\\_in\\_outlook-2016-6-en](https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-6-en)

Policy Horizons Canada. (2013). METASCAN 3-Emerging Technologies: A Foresight Study Exploring How Emerging Technologies Will Shape the Economy and Society and the Challenges and Opportunities They Will Create,. Ottawa.

Sudakov, D., Luksha, P., Strietska-Ilina, O., Gregg, C., Hofmann, C., & Khachatryan, L. (2016). Skills Technology Foresight Guide. Geneva.

UK Government Office for Science. (2012). Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s – 2012 Refresh. London.

## נספח ג': סיכום סדנה בנושא תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתחום הפוטוניקה בישראל

23/1/2018

**מוסד נאמן:** ציפי בוכניק, אושרת כץ שחם, אליעזר שיין

**מנחה הסדנה:** חיים רוטו

**משתתפים:**

המכון הביולוגי	אייל	אגסי
רשות החדשנות	אריק	בר חיים
מנכ"ל SCD לשעבר	ברוך	גליק
Jerusalem Business Networking Forum	משה (ג'ו)	ואן זוהרן
אל-אופ	בועז	וייזר
מרכז פוטוניקה שורק	רפי	לביא
		לינדנבאום
רשות החדשנות	נילי	מינצר
אוניברסיטת בן גוריון	גבי	סרוסי
התאגדות מהנדסי החשמל והאלקטרוניקה בישראל	רמי	פינקלר
מפא"ת	גל	קלמני
רפאל	ניר	קרפל
משרד הבטחון	שי	חזנברג
רשות החדשנות	איתמר	שושן
SCD	איתי	שטריכמן
מרכז פוטוניקה שורק	אריאל	שר
	שמואל	בליט

**ברוך גליק – מצגת**

**חיים רוטו – פתיחת דיון – בחרנו 15 תחומים עסקיים:**

בסוף המטרה שלנו להגיע לתובנות לצרכי כוח אדם בתחום הפוטוניקה. צרכי כוח אדם גם בכמות וגם באיכות. לאן הדגשים והטכנולוגיות יובילו אותנו? בשלב הראשון אנחנו רוצים לאפיין מפה של תחומים עסקיים והמשתתפים מתבקשים לחוות את דעתם - אלו תחומים יתפתחו משמעותית בישראל בעשור הקרוב.

1. Aerospace technology
2. Agriculture
3. Biomedicine
4. Construction
5. Engineering, microtechnology, and nanotechnology

Alternate Energy / Green Solutions	.6
Environmental technology	.7
Geographic information systems and global positioning	.8
Information technology	.9
Chemical technology	.10
Transportation	.11
Homeland security and military	.12
Manufacturing	.13
Biotechnology	.14
Solid State Lighting	.15

**ג'ו ואן זוארן** – מיקרו אלקטרוניקה זה תחום מאוד גדול, וכיום פוטוניקה מפותחת על מצע בשם פוטוניקה על סיליקון. התחומים של התעשייה ושל תעשיית הביטחון. תחומים נוספים שאני רוצה להציע: printing, industrial, biphotonic, meteorology.

יש הבדלים בין שוק לטכנולוגיות. ישראל חזקה ברמה של ליבה טכנולוגית (core-technology). ישראל נכנסת לתחומים בהן יש לה יתרון ב core-technology וצריך לשמור על יתרון זה.

**גל קלמני** – שלושה נושאים להוסיף הם: manufacturing, תחבורה ו- smart cities.

בצד הביטחוני אני חושב שהאופטרוניקה נכנסת ליותר ויותר תחומים. הכניסה והחדירה למערכות סופר טכנולוגיות הוא יותר איטי וזה לא דומה לטכנולוגיית סייבר. אם מסתכלים על מגמות שוק – שני תחומים גלובליים הם רכבים אוטונומיים ורחפנים בהקשר הרחב ביותר – למעשה יש כיום דרישה גוברת לפיזור סנסורים יותר טובים ויותר זולים. לא בטוח שלמדינת ישראל יש יתרון בזה. לתעשיית הפוטוניקה בישראל אין יתרון בסנסורים זולים. אנחנו כן טובים וייחודיים בטכנולוגיות של המון סנסורים קטנים שיודעים לתקשר אחד עם השני.

תחומים אחרים זה אולי העולם של free space, optical communication, last mile שהדרישה היא בעיקר מהשוק האזרחי, אבל אולי נושאים אלו גם יכנסו לשוק הביטחוני.

**שי רוזנברג** – עבודה בלהקות – drones שוק הלייזרים- מחיר של רכיבים (קומפוננטות) יורד, קונספטים שחשבנו בעבר שמאוד יקר לממשם ושהם מאוד אקזוטיים היום אנחנו מרגישים את ההשפעה הדרמטית של השוק האזרחי על התפתחותם

Green Energy Solution – נכון שסין עושה אבל יש חברה שכן מפתחת.

בנושא זה יש הרבה תתי תחומים. בדרך כלל נושאים אלו יפותחו כמענה לדרישות בשוק האזרחי ואז יעברו לשוק הביטחוני.

תחומים אחרים: Communication, Fintech, Cryptocurrency - - תחומים אלה דורשים משאבים גם בצד של העיבוד לא רק בתחום ה-VR.

**ברוך גליק** – השוק הצבאי יעבור מהפכה בכך שהמפתחים ישתמשו בדברים שיקרו בשוק האזרחי. המהפכה לדעתי תקרה בחקלאות וב-biomedicine. אני רוצה שהתעשייה הישראלית תספק מוצרים לתעשייה העולמית. יש לנו יכולות בחישה, בעיבוד אותות ומידע כמו גם ביכולות משמעותיות בתקשורת ומכאן זה יזרום ויחדור לכל העולם. זה לא רק שיש תעשיות מובילות בארץ כי בישראל פועלות תעשיות שהן מובילות בעולם. כמו תעשיית הרכבים האוטונומיים – אנחנו בישראל לא מפתחים את הרכבים אבל כן נותנים פתרונות טכנולוגיים לפלטפורמות רכב.

**חיים רוסו** – אחת הצורות שהתעשייה מתפתחת בארץ זה דרך מרכזי פיתוח של חברות רב לאומיות שמוקמות כאן וזה חלק ממנגנוני הצמיחה בישראל. היום 50% מהמו"פ נעשה על ידי חברות אלה. אחת השאלות שכדאי לשאול את עצמנו האם יגיעו חברות ויקימו מרכזים בתחומים אלה.

ברוך יש לי שאלה אליך, בהנחה שהולכת ומתפתחת מהפכה כזאת עולם סביב אינטרנט ופוטוניקס סילקון פוטוניקס האם אתה רואה את התעשייה הישראלית משתלבת בתעשייה העולמית והיא יכולה להיות שחקנית יצרנית בשוק הזה ולא רק משתמשת?

**ברוך גליק** – כן, אני מאוד מאמין בזה. רק חושב שצריך לבנות את זה נכון. מה הן הקומפוננטות שצריך? בחישה אין סיבה שזה לא יקרה. צריך לעשות את זה נכון ולפתח רכיבים שיתבססו על FAB-ים קיימים בעולם – אחרי בדיקה.

**רפי לביא** – יש דוח של חברת מקנזי שצופה מגמות לשנת – 2025 והוא מדווח על 12 טכנולוגיות מובילות, מתוכם שש טכנולוגיות הקשורות באופן ישיר לפוטוניקה.

דבר נוסף שקורה בחודשים האחרונים. חברת מלנקוס החליטה לצאת מתחום הסיליקון פוטוניקס והיא מפטרת 100 איש.

לגבי תחומים: inspection (צב"ד), דפוס דיגיטלי- אנחנו מובילים וכנראה נמשיך להוביל, חקלאות – יש לנו חקלאים מצוינים ואם נשלב בינם לבין אופטיקאים – חייב לצאת משהו.

שוק טכנולוגיית המידע - Information זה באז וגם אם נשתלב בו רק בשוליים בטוח שזה יתרום לצמיחה בישראל. תעשיות ישראליות מעורבות גם בתעשיית הרכב האוטונומי.

**גבי סרוסי** – האני מאמין שלי שהרבה טכנולוגיות הגיעו מהעולם הביטחוני. העולם הביטחוני מגיע עם דרישות מפתחים פתרונות שנגזרות גם לשוק האזרחי. השוק האזרחי מוריד את המחירים ואז העולם הביטחוני משתמש גם – יש אינטראקציה של הולך חזור בין השוק הביטחוני לשוק האזרחי.

אני חושב שישראל יכולה להיות קטר לטכנולוגיות הבאות:

- VR (virtual reality), AR (augmented reality) אנחנו מובילים תחום שעלה בין השנים 2010-2014 ואז ירד. עכשיו לדעתי הוא מתחיל לעלות. אלה טכנולוגיות שילכו גם לשוק אזרחי וגם לשוק ביטחוני ויכול להיכנס להרבה תחומים למשל gaming – שוק אדיר – בישראל חברות כמו לומינס ואלביט – יוכלו להשתלב ותחום זה יפרוץ קדימה.
- עולם ה-display מסכים שמבוססים על quantum dots – בישראל יש הרבה ידע – לא תעשייה אבל כן פיתוח. לישראל יש ידע וטכנולוגיה
- עולם התקשורת היה הייפ גדול בשנות ה-2000 והתנפץ – אבל הדרישה לרוחב פס גדול רק עולה. תחום זה יעלה בשוק הישראלי, במקומו יכול להתפתח wi-fi אופטי. אנחנו צופים שכל המוצרים – IOT יהיו מחוברים בניהם ולכן ידרש רוחב פס גדול. כבר היום מתחילים לפתח ויש חברות ישראליות כמו wi-max - מפתחים לעיר שלמה. כל אחד יהיה מחובר לתקשורת – התקשורת האלקטרו-מגנטית תקרוס והאופטית תפרוץ.
- Bio-sensing יש כר מאוד נרחב (bio-photronics) בישראל יש המון מחקרים שעושים באקדמיה וגם סטארט אפים בתחום.
- תחבורה – יש המון חברות בישראל, אני מלווה כמה כאלה גם מהרכב החוצה (סנסורים לרכב אוטונומי) וגם לרכב פנימה (לדוגמה מוניטורינג 24 שעות) - זה תחום שיפרוץ – יהיו הרבה סטארט-אפים אבל בסופו של דבר התחום יתכנס ואני מעריך שיהיו 2 טכנולוגיות שישלטו וכל השאר יתאחדו או ימותו.
- רחפניים – שוק זה תופס תאוצה מטורפת בשנים האחרונות גם צבאי וגם אזרחי. יש מספר רב של סטארט-אפים לאפליקציות מדהימות. למשל monitoring בתעשיית הבניה – יש צורך בסנסורים שהם לא רק מצלמה. הדרישה היא לחיישנים מדויקים ושכל מערכת החישה והעיבוד תימצא בתוך הרחפן – זו טכנולוגיה בפני עצמה.

**אריאל שר** – מנקודת מבט צרה:

- Printing – אני מסתכל מנקודת ראות צרה ולא יודע לגבי גודל השווקים. בתחושה שלנו חברות דפוס מתקדמות וכשהם ידעו להכתיב צרכים טכנולוגיים בתחום הפוטוניקה (מקורות אור וגלאים וסנסורים) ואז זה יביא אותנו לקדמה הטכנולוגית בתחום הזה
- Solid state lightning – מי שמכתיב זה כנראה תאורת הרחוב בסין. הסינים שעשו תאורת רחוב זולה פשוטה אבל יש צרכים יותר מתוחכמים שאפשר לפתח בתחום הזה ושם יש לנו מקום.

**אליעזר שייך** – מטרולוגיה – בישראל 35% מהשוק העולמי למטרולוגיה. זה שוק צומח. תחום נוסף הוא bio-medicine – ישראל יכולה לתמוך בתחומים אלה. אלה שני שווקים שישראל יכולה לתמוך בהם. אבל אני יודע שיש מחסור בפיזיקאים כדי שזה יתפתח.

**חיים רוסי** – אני רוצה להעיר שני דברים, כל הזמן מהדהדת השאלה הזאת האם נכון שסיליקון פוטוניקס כמו גם מיקרופוטוניקס הם תחומים שהולכים לצמח, ואם כן איפה ישראל נמצאת במשחק הזה. אני כל הזמן מסתכל על איפה היינו בתעשיית המיקרו אלקטרוניקה – אנחנו לא שחקנים גדולים אנחנו לא יצרנים גדולים אבל כן יש לנו חברות Fabless וכן הקמנו מרכזי מו"פ וכמו כן אנחנו מאוד חזקים בinspection. אז אולי כן אפשר ללמוד ולהעתיק מהמודל הזה ולהשליך על פוטוניקה. אין שום סיבה שחברות כמו KLA, AMAT, נובה, שהן כל כך חזקות בתחום המיקרואלקטרוניקה – 35% מהשוק – למה שלא יהיו לנו חברות כאלה גם בתחום הזה. פה אנחנו מדברים לא על דולר / מוצר אלא על מיליון דולר / מוצר שהוא למעשה מערכת. ויש לנו חוזק בתחומים האלה שבהגדרה הם רבי-תחומים או מולטידיספלינריים.

נושא נוסף שרציתי שתתייחסו הוא האבחנה בין פיתוח לייצור. זה רלוונטי לשאלת כוח האדם. בשלב זה אין ייצור בישראל אבל אם אנחנו חושבים שיהיה יש לתת את הדעת לשאלה הזו גם.

**איתמר שושן** – איפה ניתן לראות את המהפכה הבאה שתבוא? אם מסתכלים אחורה רואים איך הטכנולוגיה השפיעה על החיים. מחשב אישי, אינטרנט, תקשורת. מהפכות מסדר גודל כזה אני רואה בשני תחומים – רחפנים ורכבים אוטונומיים – זה ישנה את האופן שבו אנחנו חיים, סוחרים ומתקשרים – זה עם זה - זה בהיבט היישומים. בהיבט הטכנולוגי לדעתי כל הטכנולוגיות שהצגתם ראויות פרט אולי לתאורה וכימיה.

**נילי מיינצר** – מרכז הכובד יכול להתפתח רק בתחומים שאנחנו חזקים בהם היום. אני מכירה את תחום מיקרו/ננו טכנולוגיה שיכול להתפתח לכל המשבצות, כולל הייצור. התעשייה המסורתית שואפת לחדשנות ואם יהיה מרכז מספיק גדול ומספיק פתוח שיעזור להעביר לייצור – זה יכול לעזור לייצור להיות משהו רציני בשנים הקרובות.

גם תחומים של רכב אוטונומי ופולטיקה יתפתחו. בביו רפואה, הרופאים רק מחכים שיעזרו להם לקפוץ מדרגה ולפתור בעיות.

**איתי שטרייכמן** – הנושא הצבאי ובטחון פנים ימשיך להתפתח. הצבאות היום עדיין מבוססים על טכנולוגיה ישנה. על כל חייל שיש לו ציוד אופטרוני יש עשרות אחרים עם ציוד מלפני 50 שנה. המפתח להצטיידות הוא בעיקר הוזלה של המערכות ופה יש פוטנציאל להוזלה שיביא בעקבותיו פוטנציאל להצטיידות. דבר שני שעסקנו בו בשנתיים האחרונות ב-SCD שהוא מאוד באוריינטציה ביטחונית הוא נושא הרחפנים. ראינו שיש דרישה גדולה בעולם לשימוש ברחפנים בחקלאות. המוצרים שלנו, עם שינויים מאוד קטנים ואפילו בלי שינויים כלל, יכולים לתת פתרונות מעשיים לשוק האזרחי. זאת לאור העובדה שבישראל התחום האופטי/אלקטרו אופטי מאוד חזק – שמעתי שאנחנו מהווים 10%. אנחנו צריכים לממש את הכלים, הטכנולוגיה וכוח האדם שיש לנו. דבר שהוא קרוב יותר לנו ב-SCD מפתחים לא רק סנסורים אלא גם הדמיה יותר חכמה (אלגוריתמים חכמים) וגם פה יש שרשרת שלמה של חברות שיש להן ידע שלם שניתן לגזור לתעשייה האזרחית – לכן, כדאי לפעול באופן אקטיבי. יש לנו כוח בארץ שכדאי לממש אותו.

**רמי פינקלר** – אני חושב שתחזית לחמש שנים אפשר אבל עשר זה כבר קשה. יודע מי יהיו הצרכנים אבל מי יהיו השחקנים שיעשו פיתוח טכנולוגי בתחום הפוטוניקה שבעצם יתרמו משמעותית או מאסיבית שיצרכו כוח אדם הם תלויים יותר בקשרים בינלאומיים.

בתחום הרכב אני בטוח שנהיה שם כי יש פה פיתוח של חברות רב לאומיות והן יתנו את הטון. וגם smart grid הרחוב פס שנדרש לכל מיני דברים הוא גדול מאוד ולכן מחייב רחוב פס אופטי ולתחום הזה תהיה דרישה בתעשיית התקשורת.

**חיים לינדנבאום** – אני אספר למה אני נחשף ברשות החדשנות. לייזרים לשימושים כאלה ואחרים, קראתי לזה מטרולוגיה, אבל היום חלק מהלייזרים מתקנים כרטיסים. אי אפשר לייצר יצור ממוזער ללא תיקונים. יש תעשייה די גדולה שעוסקת בתיקונים של רכיבים ממוזערים. הנושא השני שאני חושב שהוא די גדול זה ננו חלקים שמושמים טכנולוגית בעולם הפוטוניקה יש לזה שימושים רבים. יש תעשיות שנכנסו לתחומים האלה יחד עם אוניברסיטאות.

**אריק בר חיים** – תחבורה, 100 חברות זה אומר שאנחנו בפתחה של מהפכה.

Information technology ו-IOT יש חברות קטנות וזה תחום שילך ויתפוס תאוצה גם בלי השקעות. יש פוטנציאל גם ב-bio-medicine וגם ב-bio technology. אבל פה תידרש השקעה אילו תחומים שצריכים השקעה גדולה אך יש גם פוטנציאל כי על בריאות משלמים.

**ניר קרפל** – אם פעם האבא היה חוזר עם רובה והילד היה מתלהב היום האבא חוזר רואה את הרחפן של הילד ומתלהב. יש פה היפוך – אם פעם הצבאי היה מחלחל לאזרחי היום זה התהפך. אני לא רואה הלך חזור, זמני הפיתוח מתקצרים מאוד וזה מפריע לעשות פיתוח מאסיבי.

בוגרי האוניברסיטאות ושוק העבודה מאוד משתנה, היום בוגר שמגיע לחברה כבר אין את הזמנים שיצא משם גם לפנסיה. יש שינויים גדולים צריך להיערך לזה גם מקומות העבודה וגם ההכשרות. הכשרה של כוח אדם צריכה להשתנות. תחומים נוספים שאני מזהה, זה חקלאות-אולי החקלאים מבוגרים אבל הם כן פתוחים להכניס טכנולוגיות חדשות ואנחנו מהווים beta-site מאוד טוב. יש פה הרבה ידע וגם פה השאלה היא האם זה פוטוניקה או אלגוריתמיקה זה כנראה גם וגם. ב AR יש גם הרבה חברות ואני חושב שזה רלוונטי.

לגבי ייצור ואינטגרציה. מאוד קשה לנו כי בשנים האחרונות אין עובדים. זה לא אופייני רק לתחום הפוטוניקה. זה נכון לכל התחומים בכלל לא רק לפוטוניקה אצלנו מרגישים את זה מאוד חזק – חסרים אנשי אינטגרציה טובים שרואים את כל התמונה.

**אייל אגסי** – צריך להפריד בין טכנולוגיה ליישומים. באקדמיה מתעסקים בעיקר בלייזרים ו-MMC – יש לזה גם דיסציפלינות אחרות כמו חומרים, כימיה, מדעי המחשב אופטיקה, בקרה וביולוגיה. מהניסיון שלי שתוף עם מדעים מדויקים והנדסה הולך טוב עם שאר התחומים פחות. לדוגמה עם ביולוגים הולך פחות טוב. בארץ הצד של פיזיקה ואופטרוניקה יותר חזק. גם התעשייה של כימאים זה יותר טוב אבל עדיין יש בעיה עם נושאים ביולוגיים. לדעתי הכל יתכנס בסופו של דבר ל AI. תחום הסביבה – משרד מאוד חלש והאנשים לא טכנולוגיים. בחקלאות אותה בעיה אצלנו אין כל כך צורך אנחנו מדינה קטנה תחום מבטיח אבל לא נראה לי שיתפתח בישראל.

**בועז וייזר** – הופתעתי שלא הזכירו את התחום של האנרגיה מתחדשת/חלופית. המטריצה שהצגתם היא לדעתי דו ממדית. אבל יש תחומים שחוצים תחומים. לדוגמה בחיפוש גז – יש נושא פוטוניקה, חיפושים תת-מימיים – זה תחום שאפשר לחבר מספר תחומים. אנחנו פה כי לא צריך את המחקרים ואנחנו רואים שזה תחום צומח.

לגבי האזרחי והצבאי – היום השווקים מתפתחים במקביל והצבאי יכול לעשות שימוש במוצרים אזרחיים אבל עדיין יש מוצרים שהצבא יצטרך שיפתחו במיוחד עבורו והדרישה רק עולה. מה הם הקצבים שכל תחום יתפתח קשר לומר.

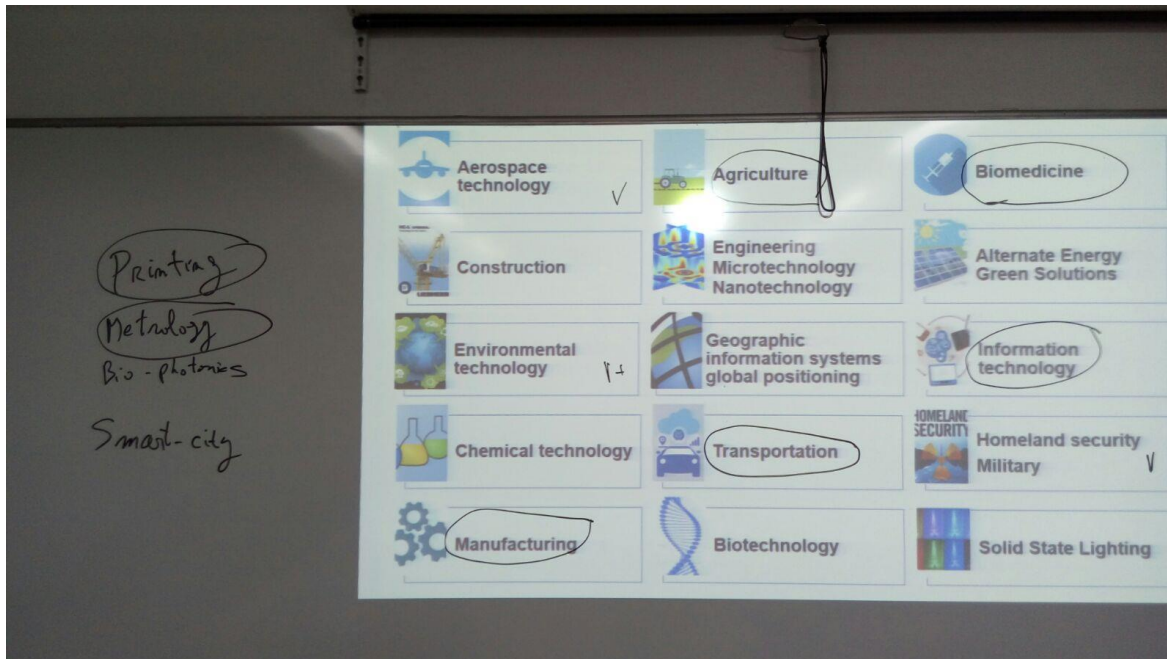
אני רוצה להוסיף למה שנאמר שקשה למצוא אינטרגרטורים ומכשירנים והקושי השני הוא הנושא המערכת. אם בעבר היו אנשים שהיו רק אנשי מכונות הם נשארו אנשי מכונות היום יש מעברים של כוח אדם שלא תמיד נראים טבעיים. פעם היה מהנדס אופטי היום נהיה מהנדס מערכת. גם קצב הקידום משתנה. פוטוניקה זה תחום מולטידיסציפלינרי וצריך אנשים שידעו כמה שיותר נושאים, זה יעזור מאוד לחדשנות ולפיתוח.

תחום נוסף הוא האתגר של החיבור לאקדמיה. הצורך להבין מה הכיוונים שמתפתחים ומה אפשר לעשות.

**שי רוזנברג** – חסרה קוביה של סימן שאלה שמייצג את הלא נודע, כמו שלפני עשר שנים לא יכולנו לצפות מה יקרה בטכנולוגיה.

## הפסקה

**חיים רוסו** – אחרי השלב הראשון ניסינו להגיע לסיכום של התחומים המובילים לדעתי אפשר להתכנס לתחומים הבאים: חקלאות, יצור, תחבורה, ביו-רפואה, טכנולוגיות מידע, הדפסת תלת ממד ומטרולוגיה. – תחומים שסימנו כבעלי פוטנציאל (סומנו בעיגולים) ה-V מסמן שיש כבר היום פעילות אבל זה לא ישתנה. לדעתי זה מבטא את הדברים שנאמרו בחלק הראשון. אני מבקש שתתנו התייחסות איזה מקורות כוח אדם אנחנו חושבים שנצטרך להגדיל. נציין שלתחום של פוטוניקה אין הכשרה באוניברסיטאות. אלא הכשרה של פיזיקאים ואז הם מקבלים הכשרה במקום העבודה. אשמח לשמוע את התייחסות לגבי סוג הצרכים איפה הדגשים צריכים להיות ומה צריך להציף כדי שיקרה מה שהנחנו בשלב הקודם.



**נילי מיינצר** – היום אין כמעט בתי ספר מקצועיים בארץ. זה צריך להיות דגש ראשון. בחיפה היה בית ספר על יד הטכניון והוא הפך לסוג של מכללה - חסר לנו מכשירנים ועובדי יצור. יש בטכניון לימודים אינטרדיספלינריים – לדוגמה חומרים לומדים עם פיזיקה וגם בכימיה. אפשר להעתיק את המודל הזה.

**חיים רוסו** – זה נקודה מאוד מהותית - זה תפיסה חדשה של מקצועות מולטידיספלינריות – קומבינציות שנדרשות כדי לפתח את התחומים האלה. זה לא לימודים רבים.

**שי רוזנברג** – גם אלאופ וגם רפאל ציינו את המחסור באנשים מולטידיספלינריים. גם במקוון ויצמן לא מוצאים הנדסאים ולא מהנדסי מעבדה.

**רמי פינקלר** – זה בכל התחומים זה לא ספציפי לפוטוניקה.

**אריק בר חיים** – אנשים לא באים לעבודה בייצור בגלל ובעיקר משכורות נמוכות – השכר המשולם לעובדים בייצור נמוך.

**ניר קרפל** – שילוב של פיזיקה ואלגוריתמיקה, פיזיקה ותקשוב, ביולוגיה ומחשוב. יש פיזיקאים ויש מצד שני מדעי המחשב. יש פיזיקאים שמתכננים מע' אופטיות ומוצאים תמונה מכאן האלגוריתמיקאי לוקח את זה הלאה אך אין ממשק ביניהם. אין מספיק הכרה ביניהם.

**רמי פינקלר** – לא יודע כמה אנשים מכירים את מערכת ההשכלה - סטודנט שלומד הנדסה עושה 160 נקודות ומזה 69% מתמטיקה ופיזיקה אז כמות השעות שעוד אפשר לתת לו על מנת לקבל תוספת מולטידיספלינרית היא מוגבלת.







קצת לגבי הבעייתיות אין כמעט לימוד אלקטרואופטיקה באוניברסיטאות בישראל. במכון לב יש מסלול, יש ירידה במספר ועכשיו במכללת בראודה מתארגנים – "הרימו דגל". (ג'ו ואן זוארן – עולה פי ארבע מאשר להכשיר מדעי המחשב)

רוב המכשירנים מגיעים מהצבא.

כולם מבינים ששוק העבודה הולך להשתנות וברור לכולם שאנשים יחליפו מקצועות או ישדרגו למקצועות או תחומים אחרים דומים. מקצועות הופכים ל- LLL (Life-Long Learning) – היום יש צורך לעשות שדרוגים. אם זה יתפתח ויתבסס יכולה להיות פריצת דרך. ישבתי עם ראש ות"ת לפני חודש והיא רואה שהאוניברסיטאות יקחו את זה לאקדמאים. והיא חושבת שאוניברסיטאות צריכות לראות את עצמן כאחראיות על זה לאקדמאים רלוונטי. באוניברסיטה ההכשרה לא תגמר בגיל 24-25 אלא תימשך הלאה.

נושא נוסף הוא בעולם הייצור – חברות רב לאומיות באות לישראל להקים מרכזי מו"פ. נושא שהתפתח בשנה האחרונה חברת ייצור אמריקאית גדולה מקימה בחיפה מרכז לייצור אלקטרואופטי כאשר היא תתמקד בייצור מערכת LIDAR למכוניות. הם יצטרכו כ"א לקווי הייצור וזו חדשה מעניינית שיכולה לתת דחיפה. כולם רוצים לעשות פיתוח ולא ייצור. לדעתי אם באמת רוצים לפתח את התחום אז לפתח פה ייצור זה התחלה מעניינת.

# מדע וטכנולוגיה



מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889  
קרית הטכניון, חיפה 3200003  
[www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)