

# צרכי חברות בתעשייה וחוקרים בטכניון בתחום ההתקנים המשלבים הנדסה וביולוגיה

ד"ר דפנה גץ  
אליעזר שיין  
סימה ציפרפל  
אבידע שהם  
רינת קליין  
איילת רוזה

יועצת: איה כהן (מנהלת המרכז למיקרו וננו פבריקציה)  
מזמין העבודה: פרופ' ניר טסלר (ראש מרכז מיקרו-ננו-אלקטרוניקה)

**מוסד שמואל נאמן**  
למחקר מדיניות לאומית



תשתיות פיזיות | 03/23





**מוסד שמואל נאמן**  
למחקר מדיניות לאומית

# צרכי חברות בתעשייה וחוקרים בטכניון בתחום ההתקנים המשלבים הנדסה וביולוגיה

דוח מסכם

---

ד"ר דפנה גץ

אליעזר שיין, סימה ציפרפל, אבידע שהם, רינת קליין, איילת רוזה

יועצת: איה כהן (מנהלת המרכז למיקרו וננו פבריקציה)

מזמין העבודה: פרופ' ניר טסלר (ראש מרכז מיקרו-ננו-אלקטרוניקה)



מרץ, 2023

---

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב 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.ת ואינן משקפות בהכרח את  
דעת מוסד שמואל נאמן

---

## תודות

מחקר זה הוא מחקר משותף למוסד שמואל נאמן למדיניות ציבורית ולמרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון. תודה לפרופ' ניר טסלר (ראש המרכז למיקרו-ננו-אלקטרוניקה) על הזמנת מחקר זה ממוסד נאמן. תודה לטכניון ולמוסד נאמן על המימון המשותף למחקר.

מוסד שמואל נאמן מודה לפרופ' ניר טסלר ולגב' איה כהן (מנהלת המרכז למיקרו וננו פבריקציה) על שיתוף הפעולה הפורה, הייעוץ והכוונה.

## תוכן העניינים

10	תקציר	
22	1. מבוא	
22	1.1 תחום ה - Bio-Convergence כמנוע צמיחה לאומי	
23	1.2 הקמת תשתיות לאומיות לתמיכה בתחום ה-BC	
24	1.3 מטרת המחקר	
24	1.4 מתודולוגית המחקר	
27	2. ממצאי המחקר	
27	2.1 צרכי חברות בנושאי ביו-פבריקציה - סקר חברות	
33	2.2 תשתית עתידית לביו-פבריקציה - סיכום ראיונות עומק	
59	2.3 כנס בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה	
61	3. נספחים	
61	נספח א' - פרטי מחקר נוספים	
66	נספח ב' - פירוט צרכי ציוד, תהליכים וחומרים	
70	נספח ג' - דוגמאות למבנים של מרכזי מחקר משותפים לאקדמיה ולתעשייה	
82	נספח ד' - פעילות וציוד של מרכזי ביו-פבריקציה נבחרים בחו"ל	
106	נספח ה' - כנס סיעור מוחות במוסד שמואל נאמן	
109	נספח ו' - תיאור מרכז MNFU בטכניון	
110	נספח ז' - סיכומי דברים שנכתבו על ידי נציגים מהתעשייה ומהאקדמיה	

## רשימת טבלאות

36	טבלה 1: דוגמאות לצרכים מקצועיים (תהליכים, ציוד וחומרים) מתוך ראיונות העומק
61	טבלה 2: רשימת מרואיינים - חברי סגל וחוקרים מהטכניון*
63	טבלה 3: הערות של החברות בנושא מרכז לביו-פבריקציה
64	טבלה 4: רשימת חברות ומרכזים איתם עובדים חוקרים וחברות, מתוך ראיונות העומק
66	טבלה 5: תהליכים, ציוד וחומרים נדרשים במרכז לביו-פבריקציה נדרשים על ידי חברות בתעשייה

טבלה 6: תהליכים, ציוד וחומרים נדרשים במרכז לביו-פבריקציה נדרשים על ידי חוקרים באקדמיה<sup>49</sup>.....68

טבלה 7: תפקידי המרכיבים השונים במבנה הארגוני - UCRC/ו בארה"ב.....72

## רשימת איורים

איור 1: ממצאים עיקריים מתוך סקר החברות, ראיונות העומק וכנס סיעור המוחות.....12

איור 2: סיכום נושאי מדיניות לקידום תחום ה-BC בישראל.....17

איור 3: מבנה מוצע להקמת תשתית לתכנון וייצור אלמנטים נדרשים בביו-קונברג'נס.....21

איור 4: תיאור שיטות המחקר.....24

איור 5: התפלגות סקטור הפעילות של החברות המשיבות.....27

איור 6: התפלגות הדרישה לשירותי פבריקציה של החברות המשיבות.....28

איור 7: סוג העבודה הנדרש לחברות הזקוקות לשירותי פבריקציה היום או בעתיד.....29

איור 8: סקטור הפעילות של חברות הזקוקות לשירותי פבריקציה בחו"ל.....30

איור 9: התפלגות זמינות שירותי הפבריקציה.....30

איור 10: הסיבות לרכישת שירותים בחו"ל הקיימים בארץ (לפי מספר חברות).....31

איור 11: מוכנות לרכישת שירותי פבריקציה מהמרכז בטכניון.....32

איור 12: סקטור הפעילות של החברות שהשתתפו בראיונות.....34

איור 13: פקולטות ומרכזי תשתית אליהם משתייכים חוקרים וחוקרות שהשתתפו בראיונות.....34

איור 14: צרכים מקצועיים – סיכום צרכי כוח אדם להקמת תשתית למרכז לביו-פבריקציה.....39

איור 15: סיכום הצרכים של חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה בשירותי ביו-פבריקציה בארץ ליישום בתשתית עתידית לביו-פבריקציה.....41

איור 16: סיכום הקשיים והחסמים בקבלת שירותי ביו-פבריקציה בארץ מנקודת מבטם של המרואיינים.....50

איור 17: סיכום הנושאים העיקריים כחשובים לשיתוף פעולה עם המרכז בטכניון כפי שעלו בראיונות.....53

איור 18: תיאור תהליך ההתפתחות של הרעיון הטכנולוגי, מהאקדמיה לתעשייה.....55

איור 19: סיכום נושאי מדיניות כפי שהומלצו על ידי חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה...58

איור 20: דוגמאות למרכיבי מבנה ארגוני אופייני של מרכז מחקר משותף אקדמיה – תעשייה UCRC/ו בארה"ב.....72

- 74.....איור 21: תחומי המחקר העיקריים של מרכזי UCRC/ו
- 75.....איור 22: פרמטרים להתייחסויות בניתוח SWOT כהכנה להקמת מרכז מחקר UCRC/ו
- 80.....איור 23: מודל העבודה של Wyss
- 106 .....איור 24: כנס סיעור מוחות בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה
- 109 .....איור 25: תיאור מרכז MNFU

## רשימת מונחים וקיצורים

3D MEA	Three-dimensional microelectrode arrays
AFM	atomic force microscopy
BC	Bio-Convergence
Biocompatibility	Appropriate biological requirements of a biomaterial or biomaterials used in a medical device <sup>1</sup> .
Bioimaging	A noninvasive process of visualizing biological activity in a specific period <sup>2</sup> .
Bio-Hybrid Neuromorphic Electronics	Ways to process biological information and replace biological systems <sup>3</sup> .
Biological systems	A complex network which connects several biologically relevant entities <sup>4</sup> .
Biosensor	Device that measures biological or chemical reactions by generating signals proportional to the concentration of an analyte in the reaction <sup>5</sup> .
BSAC	Berkeley Sensors and Actuator Center
CCRM	Centre for Commercialization of Regenerative Medicine
Chip	The chip usually contains 1 die, not wafer. When the wafer is ready it can be sliced up to extract all the dice on it.
CMOS MEMS	CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) MEMS (micro-electro-mechanical systems) fabrication technologies and enabled micro devices of various sensors and actuators <sup>6</sup> .
Core-shell type nanoparticles	A type of biphasic materials which have an inner core structure and an outer shell made of different components <sup>7</sup> .
Die	Wafer -> <i>Slicing</i> -> Die -> <i>Packaging</i> -> Chip a small block of semiconducting material on which a given functional circuit is fabricated <sup>8</sup> .
DRIE	Deep reactive-ion etching (DRIE) is a highly anisotropic etch process used to create deep penetration, steep-sided holes, and trenches in wafers/substrates

<sup>1</sup>Anderson J.M. (2012). Polymer Science: A Comprehensive Reference. Volume 9, 2012, Pages 363-383. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00229-6>

<sup>2</sup> Malik, N., Arfin, T., & Khan, A. U. (2019). Graphene nanomaterials: chemistry and pharmaceutical perspectives. In Nanomaterials for drug delivery and therapy (pp. 373-402). William Andrew Publishing.

<sup>3</sup> Kim, K. N., Sung, M. J., Park, H. L., & Lee, T. W. (2022). Organic Synaptic Transistors for Bio-Hybrid Neuromorphic Electronics. *Advanced Electronic Materials*, 8(1)

<sup>4</sup> [Wikipedia](#), February 2023.

<sup>5</sup> Bhalla N., Jolly P., Formisano N.o, and Estrela P. (2016). *Essays Biochem.* 2016 Jun 30; 60(1): 1–8.

<sup>6</sup> Qu, H. (2016). CMOS MEMS fabrication technologies and devices. *Micromachines*, 7(1), 14.

<sup>7</sup> Nomoev, A. V. et al. (2015). Structure and mechanism of the formation of core-shell nanoparticles obtained through a one-step gas-phase synthesis by electron beam evaporation. [Beilstein journal of nanotechnology](#), 6(1), 874-880.

<sup>8</sup> Die, [Wikipedia](#), December 2022



EMA	European Medicines Agency
FDA	U.S. Food and Drug Administration
GMP	Good Manufacturing Practice. Minimum standard that a medicines manufacturer must meet in their production processes <sup>9</sup> .
GLP	Good laboratory practice. Rules and criteria for quality system concerned with the organizational process and the conditions under which non-clinical health and environmental safety studies are planned, performed, monitored, recorded, reported and archived <sup>10</sup> .
ICT	Information and communication technologies
ICT interface	The ICT interface is required to transport sensor data and to remotely access other resources <sup>11</sup> .
I/UCRC	Industrial/University Cooperative Research Centers
LOC	Lab on Chip
MEA	Microelectrode array (MEA)
Medical Device	Device used for medical purposes
Medical Diagnostics	Process of determining which disease or condition explains a person's symptoms and signs.
MEMS	Microelectromechanical systems
MEOMS	MEOMS, Micro Electro-Optical-Mechanical System or devices combining electrical, optical, and mechanical components <sup>12</sup> .
Microfluidic	Technology for manipulating small volumes of fluids to control chemical, biological, and physical processes that are relevant to sensing <sup>13</sup> .
MNFU	Micro & Nano Fabrication Unit
NEMS	Nanoelectromechanical systems
Neuromorphic Computing	The use of electronic circuits to mimic neuro-biological architectures present in the nervous system <sup>14</sup> .
OoC	Organ on chip. Systems containing engineered or natural miniature tissues grown inside microfluidic chips <sup>15</sup> .

---

<sup>9</sup> [The European Medicines Agency \(EMA\)](#), November 2022

<sup>10</sup> [The European Medicines Agency \(EMA\)](#), November 2022

<sup>11</sup> Ghorbani, Y., Zhang, S. E., Nwaila, G. T., Bourdeau, J. E., Safari, M., Hoseinie, S. H., ... & Ruuska, J. (2023). Dry laboratories—Mapping the required instrumentation and infrastructure for online monitoring, analysis, and characterization in the mineral industry. *Minerals Engineering*, 191, 107971.

<sup>12</sup> MEOMS, [Wikipedia](#), December 2022.

<sup>13</sup> Stroock, A. D. (2008). Microfluidics. In *Optical biosensors* (pp. 659-681). Elsevier.

<sup>14</sup> [Wikipedia](#), November 2022

<sup>15</sup> Leung, C. M., De Haan, P., Ronaldson-Bouchard, K., Kim, G. A., Ko, J., Rho, H. S., ... & Toh, Y. C. (2022). A guide to the organ-on-a-chip. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1), 1-29.

PDMS	Polydimethylsiloxane, also known as dimethylpolysiloxane or dimethicone, belongs to a group of polymeric organosilicon compounds that are commonly referred to as silicones <sup>16</sup> .
PMMA	Poly(methyl methacrylate). A group of materials called engineering plastics. It is a transparent thermoplastic <sup>17</sup> .
POC	Point-of-Care
Rapid Prototyping	Prototyping can be repeated numerous times along the new product design process using the test data to achieve the desired part. Rapid prototyping is a relatively new term and, in its simplest form, creating a prototype quickly to evaluate a part or some part features visually and functionally <sup>18</sup> .
RIE	Reactive-ion etching (RIE) is an etching technology used in microfabrication.
Synthetic Morphogenesis	Based on natural morphogenic systems, synthetic morphogenesis seeks to engineer, program, grow, and maintain biological systems with complex structures <sup>19</sup> .
Wearable Technologies	technology that is designed to be used while worn (e.g. smartwatches and smart glasses). Wearable electronic devices are often close to or on the surface of the skin. They detect, analyze, and transmit information <sup>20</sup> .

---

<sup>16</sup> [Wikipedia](#), November 2022.

<sup>17</sup> [Wikipedia](#), November 2022.

<sup>18</sup> <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/rapid-prototyping-techniques/>

<sup>19</sup> Teague BP, Guye P, Weiss R. Synthetic Morphogenesis. Cold Spring Harb Perspect Biol. 2016 Sep 1;8(9):a023929. doi: 10.1101/cshperspect.a023929. PMID: 27270296; PMCID: PMC5008072.

<sup>20</sup> [Wikipedia](#), December 2022

## רקע

פורום תל"מ (תשתיות לאומיות למו"פ) פרסם דוח<sup>29</sup> שבו הוצג השלב הראשון בתוכנית חומש לאומית בהיקף של 435 מיליון ₪<sup>21</sup> לקידום תחום ה-BC Bio-Convergence) כמנוע צמיחה בישראל.

על פי הדוח התוכנית תתמקד בבניית תשתיות, הכשרת ההון האנושי ופיתוח יכולות בנושאים שונים כגון התקנים ביו-הנדסיים, ביו-הדפסה, הנדסת רקמות, מיקרוביום סביבתי, ביולוגיה סינתטית ועוד, שימשו כאבני בנין טכנולוגיות בעולמות המחקר והפיתוח, וישרתו את התעשייה והאקדמיה.

בנוסף לתוכנית תל"מ, בכוונת רשות החדשנות להשקיע עוד כ-720 מיליון ₪ לקידום התחום. בהתאם, סך השקעת המדינה בתחום זה לאורך חמש השנים הקרובות צפויה למנף פעילות בהיקף קרוב ל-2 מיליארד ₪<sup>21</sup>. במסגרת התמיכה בהקמת תשתיות לאומיות לתחום ה-BC, צפוי לצאת קול קורא על ידי רשות החדשנות להקמת תשתית לאומית בנושאים הקשורים להתקנים ביו-הנדסיים.

כחלק מפיתוח התחום, קיימת חשיבות רבה באיסוף נתונים הנוגעים להיבטים שונים של הצורך בתשתיות עבור התעשייה ובכלל זאת מהו הציוד הנדרש, מהם סוגי המוצרים שעבורם נדרש השירות, אילו מיומנויות הנדסיות נצרכות ועוד.

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית בשיתוף עם המרכז למיקרו וננו אלקטרוניקה בטכניון (MNFU) בחנו בחודשים האחרונים מהם צרכי התעשייה בישראל במיקרו וננו פבריקציה להתקנים. לשם כך, נבנה מאגר של חברות בישראל העוסקות בנושאי ה-BC.

### המרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון (MNFU)

תשתית לאומית להנדסת התקני מיקרו וננו הכוללת יותר מ-700 מ"ר של חדרים נקיים עם עשרות מכונות בכל תחומי הפבריקציה (ליטוגרפיה אופטית ואלקטרוניקה, איכול יבש ורטוב, יצירת שכבות מסוגים רבים). המרכז מייצר התקנים בתחומי האלקטרוניקה וגם בתחומים רבים נוספים כגון תחומים ביולוגיים (lab on chip, microfluidics וכו'), סנסורים ועוד. במרכז עובדים 10 מהנדסי תהליך בעלי ניסיון רב (כולל ניסיון בתעשייה)<sup>22</sup>.

בדצמבר 2022 נערך **כנס לסיעור מוחות** על ידי מוסד שמואל נאמן בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה<sup>23</sup> במסגרתו נערך סיור במרכז למיקרו וננו פבריקציה על מנת לחשוף את

<sup>21</sup> מתוך אתר הרשות לחדשנות, [https://innovationisrael.org.il/press\\_release/6370](https://innovationisrael.org.il/press_release/6370)

<sup>22</sup> הרחבה על המרכז בנספח ו' [ובאתר המרכז](#).

<sup>23</sup> הרחבה על הכנס בנספח ה'.

החברות לפעילות וליכולות המרכז. חשיבות הסיור נבעה מתוך הבנה כי המרואיינים במחקר (נציגי החברות בתעשייה) לא הכירו ולא עבדו קודם עם המרכז בטכניון. חשיפת המרכז בפניהם העניקה להם הבנה עמוקה בנוגע ליכולות הגבוהות והניסיון שקיימים כבר במרכז ועונים לפחות בחלקם על הדרישות אותן הם תיארו בראיונות.

## מטרת העבודה

מטרת העבודה הנוכחית הייתה למפות את הצרכים, בהווה ובעתיד, של חברות העוסקות בנושאי ה-BC, ומעוניינות להשתמש בשירותי תשתית לפבריקציה בטכניון, כזוגמת שירותים לייצור התקנים בתחום המיקרואלקטרוניקה או ננוטכנולוגיה ליישומים ביולוגיים ורפואיים.

## מתודולוגית המחקר

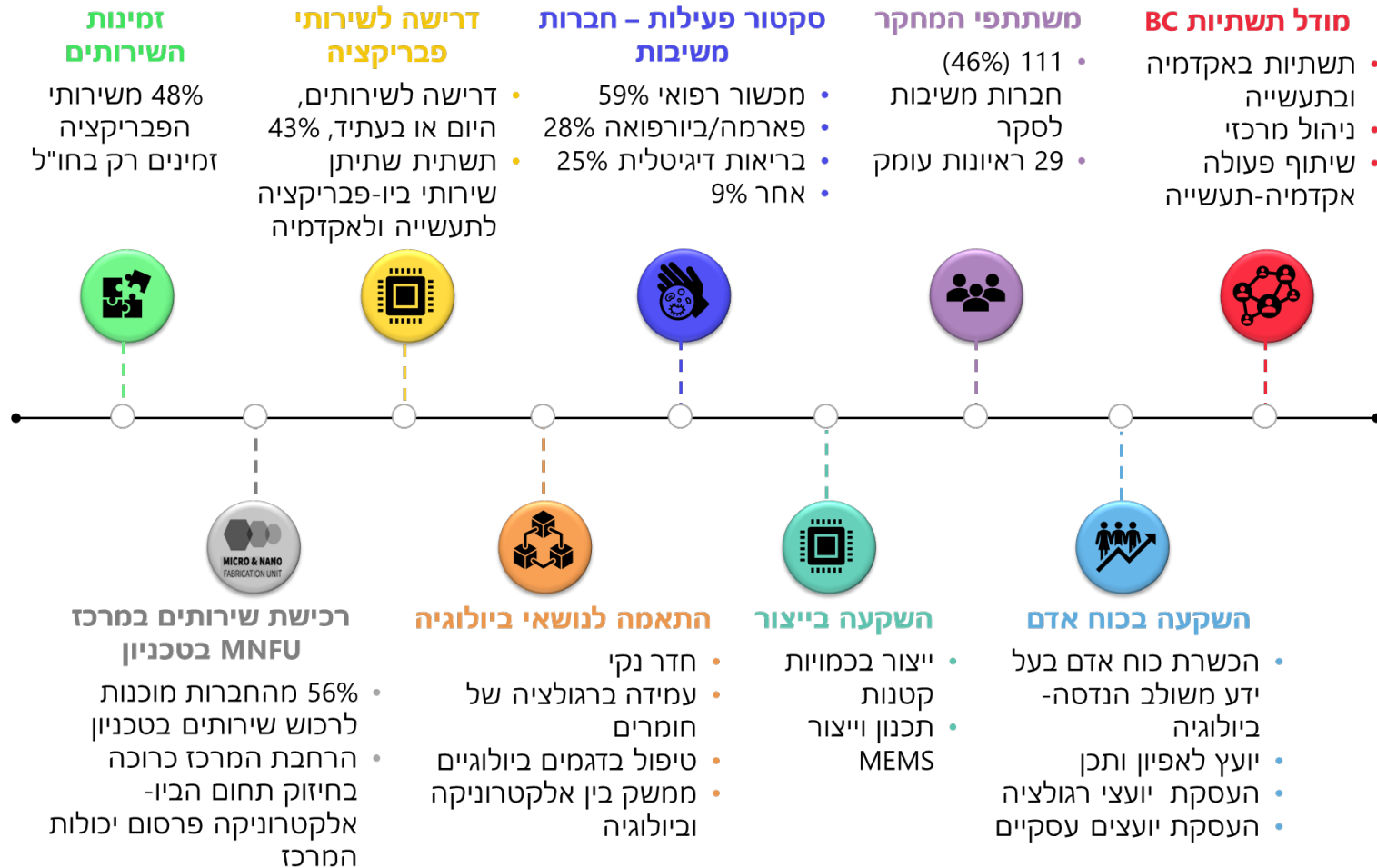
מתודולוגית המחקר כללה את המרכיבים הבאים:

1. מיפוי ציוד במרכזים המספקים שרותי ביו-פבריקציה בעולם ודוגמאות למבנים של מרכזי מחקר משותפים לאקדמיה ולתעשייה (נספחים ג' ו-ד').
  2. בניית מאגר חברות העוסקות בנושאי ביו-קונברג'נס.
  3. סקר חברות מקוון שנשלח לחברות העוסקות בתחום ה-BC.
  4. ראיונות עומק עם חברות העוסקות בתחום ה-BC ובעלי עניין מהאקדמיה ונציגים מהמגזר הפרטי והציבורי, בארץ ובח"ל.
- חשוב לציין כי, כאמור, רוב המרואיינים מהתעשייה לא הכירו את המרכז בטכניון ולא עבדו עם המרכז לפני ביצוע הסקר. לכן, מה שנאמר על ידם בראיונות התייחס לדרישות כלליות מתשתית לאומית של ביו-פבריקציה, כפי שהם רואים את הדברים לנכון, ולא ספציפית למרכז בטכניון.**
5. כנס סיעור מוחות עם נציגים מהתעשייה ומהאקדמיה.

## ממצאים עיקריים

איור 1 מתאר את הממצאים העיקריים כפי שעלו מתוך הסקר ומתוך הראיונות ומפורטים בממצאי המחקר.

איור 1: ממצאים עיקריים מתוך סקר החברות, ראיונות העומק וכנס סיעור המוחות



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Copyright Showeet.com

- ❖ הסקר נשלח ל- 240 חברות, מתוכן השיבו 111 חברות (46%).
- ❖ מעל למחצית (59%) החברות המשיבות פועלות בסקטור ה- Medical Device.
- ❖ כשליש (33%) מהחברות המשיבות זקוקות לשירותי פבריקציה כיום ועשירית (10%) מהחברות תהינה זקוקות לשירותים אלו בעתיד.
- ❖ סוגי העבודה העיקריים להם נזקקות החברות המשיבות בשירותי פבריקציה הם: ייצור סדרתי (67%), ייצור של אבטיפוס (58%) וייצור של מודולים בודדים (40%).
- ❖ מעל למחצית (68%) מהחברות הזקוקות לשירותי פבריקציה, זקוקות לשירות זה גם בארץ וגם בחו"ל או רק בחו"ל. כשני שלישי מהן פועל בסקטור המכשור הרפואי.
- ❖ 40% מהחברות הרוכשות או מתכוונות לרכוש שירותים בחו"ל השיבו כי שירותים אלו קיימים גם בארץ. עיקר הסיבות לרכישתם בחו"ל הן מחיר נמוך יותר, לוח זמנים מתאים יותר לצרכי החברה, מכשור מתקדם יותר בחו"ל וכוח אדם מיומן יותר בחו"ל. כמחצית מהחברות המשיבות דיווחו שהשירותים קיימים רק בחו"ל.
- ❖ מעל למחצית החברות המשיבות (56%) ישקלו לרכוש שירותי פבריקציה מהטכניון.

## תובנות ומסקנות

### תשתית לביו-פבריקציה בארץ

- ❖ ישנה הסכמה רחבה בין המרוויינים כי קיים צורך בתשתית שתיתן שירותי ביו-פבריקציה לחברות הזנק, חברות קטנות ובינוניות ולחוקרים באקדמיה. אין כיום בארץ מרכז לביו-פבריקציה שיכול לספק את השירות הנדרש ושכולל את כל היכולות הטכנולוגיות הנדרשות ולכן, חברות וחוקרים פונים לחו"ל. מספר חברות אליהן פנינו דיווחו, מניסיונם, השירותים בארץ הם, פעמים רבות, יקרים יותר מאותם השירותים בחו"ל ולכן השירות בארץ הוא לא תחרותי. עם זאת, יש לקחת בחשבון כי שירותים הנקנים בחו"ל גוררים הוצאות ועלויות נלוות נוספות המייקרות את השירות בחו"ל. לכן, השירותים בחו"ל הם לא בהכרח בעלי יתרון במחיר משירות דומה בארץ.
- ❖ קבלת שירותי ביו-פבריקציה בחו"ל כרוכה באתגרים שונים עמם מקבלי השירות נאלצים להתמודד, ביניהן, פשרה על פתרונות רצויים, שירותים יקרים, וריחוק גיאוגרפי שגורם לתהליכים ארוכים ויוצר עיכובים בתהליכי הפיתוח.
- ❖ תשתית לאומית לביו-פבריקציה בישראל יכולה להיות בעלת יתרונות כלכליים לחוקרים, לתעשייה ולמדינה, המתבטאים בהזלת עלויות ייצור, יעילות בהעסקת כוח אדם מיומן,

משאבים פיזיים ומחקר, וכן עשויה לתרום ולתת דחיפה לפיתוח מנוע צמיחה בהתאם לתוכנית הלאומית בנושא ה-Bio-Convergence.

- ❖ בשאלת המבנה של התשתית הלאומית הדעות של המרוויינים במחקר חלוקות. מצד אחד, ישנה העדפה (גם מצד החברות וגם מצד חברי סגל), שהשירותים אותם תיתן התשתית יהיו מרוכזים במקום אחד ומצד שני, ביזור תשתיות, כלומר, תשתית לאומית מרכזית שתקשר בין כל מרכזי המחקר והשירותים. גוף מרכזי כזה יקדם את שיתוף הפעולה ביניהם, וינהל את הקשר ואת תהליך העבודה מול הלקוח.
- ❖ מבנה אפשרי למודל כזה, הוא מודל דו-זרועי, כלומר, מצד אחד תשתית אקדמית ומצד שני תשתית תעשייתית שתכלול גם יכולות ייצור, כאשר התשתית הראשונית לפיתוח הפרויקט היא התשתית האקדמית.
- ❖ באופן כללי, תשתית מרכזית צריכה לשלב את החשיבה התעשייתית והחשיבה האקדמית ולנהל את הקשר בין האקדמיה לתעשייה.
- ❖ תשתית לניהול כלכלי (כמו קרן הון סיכון), שתפעל בצמוד למרכז ביו-פבריקציה, תוכל לתמוך בפיתוח רעיונות חדשניים ותרגומם למשמעות כלכלית-עסקית, כמו גם לבחון את ההיתכנות העסקית של הפיתוחים השונים.
- ❖ קיים יתרון למיקום הפיזי של ציוד ומכונות נדרשים בתשתית לאומית לביו-פבריקציה היכולים לשמש הן את חברי הסגל והן חברות בתעשייה. הקמה ואחזקה של מתקני ייצור ומכונות בחברות קטנות בתעשייה הינה בעייתית, מכיוון שתהליך כזה כרוך בהשקעות רבות, ברגולציה רבה ובגיוס והכשרה של כוח אדם שיוכל להשתמש ולתחזק את הציוד.

## יכולות נחוצות של ביו-פבריקציה

- ❖ עיקר הדרישה היא לתשתית ביו-פבריקציה שתיתן מענה לייצור בכמויות קטנות, כולל תכנון וייצור של MEMS, כחלק מפיתוח רעיונות של חוקרים וחברות בתחילת דרכן.
- ❖ טיפול בדגמים ביולוגיים; חומרים, מכשירים ומערכות לטיפול במערכות ביולוגיות וביו-רפואיות; מזעור ודחיסה של האלקטרוניקה; ממשק בין האלקטרוניקה לביולוגיה, כלומר, תשתית שבה יהיה ניתן לבצע את המעבר בין פיתוח סנסורים וביו-סנסורים לבין מערכת המותאמת למעבדה ואינטגרציה ביולוגית עם הסנסור; הדפסת תלת ממד; ביו-רובוטיקה.

## הכשרת כוח אדם לביו-פבריקציה

- ❖ יש לתת את הדעת על נושא הכשרות כוח אדם רלבנטי לעבודה בתשתית לביו-פבריקציה בפרט ולתעשייה בכלל. תשתית כזו צריכה להיות בעלת מומחיות בתהליכים ולתמוך בפיתוח. מצד אחד, אין לבוגרי ביולוגיה הכשרה מספיק רחבה ומולטי-דיסציפלינרית על מנת להשתלב בעולמות החישוביות וההנדסה, מצד שני, לבוגרי הנדסה (חומרים, חשמל,

מכונות וכדומה) אין את ההכשרה הביולוגית המתאימה וידע בפבריקציה משולבת אלקטרוניקה-ביולוגיה.

- ❖ על מנת לגשר על פערי הידע בנושאים הביולוגיים, יש לנקוט במספר כיוונים כגון, תוכניות להכשרת מהנדסים לתעשייה שיוצרות ממשקים בין מהנדסים לבין עולם הרפואה והביולוגיה; הרחבה של התוכניות הקיימות להנדסה כך שתינתן הכשרה ביולוגית בנוסף להכשרה ההנדסית; הרחבה של תוכניות הכשרה בביולוגיה ובהנדסה שיתאימו לתעשייה ולנושאים של אבטחת איכות ורגולציה.
- ❖ ערך מוסף להכשרת סטודנטים - עבודת סטודנטים לתארים מתקדמים במרכז מסוג זה יכולה להעניק ידע מעשי לסטודנטים ולסייע ביצירת קשרים עם התעשייה שמאוחר יותר יישמשו אותם במעבר לשוק העבודה.

## כיווני התפתחות עתידיים מוצעים למרכז בטכניון ביחס למצב הקיים

מרכז מיקרו-ננואלקטרוניקה בטכניון עונה כבר היום על חלק מהדרישות ולכן יכול להשתלב בפתרון לתשתית לביו-פבריקציה. המרכז מייצר גם אבי-טיפוס וגם סדרות קטנות, מייצר התקנים בתחום הביו כבר שנים רבות, ובעל כוח אדם קבוע ומיומן שמבצע את הפבריקציה ומכשיר משתמשים לעבודה עצמאית.

- ❖ הגדרת פעילות המרכז כמרכז לפבריקציה ולביו-פבריקציה המשלב את העקרונות של ההנדסה יחד עם הביולוגיה ומדעי החיים. יכולת כזו תרחיב את ארגז הכלים של דיסציפלינות ביוטכנולוגיות רבות.

- ❖ המרואיינים במחקר הדגישו שעל מנת שתשתית לביו-פבריקציה (כמו זה שמוצע להקמה בטכניון) יישמש כמרכז שחברות הפועלות בתחום ה-BC יפנו אליו, יש להתאים ולהרחיב את צורת העבודה כך שתתאים יותר לתעשייה, למשל, קיצור לוחות זמנים, שירות מגוון הכולל גם את נושאי הביולוגיה, הרחבה של תהליכים וחומרים המתאימים גם לנושאי הביולוגיה, שירותי אפיון ותכן לחברות קטנות, ניהול הפרויקט מההיבט הקשור לפבריקציה וצורת העבודה. **היתרון של המרכז בטכניון הוא שהמרכז, כבר היום, עובד עם חברות בתעשייה ומעניק להם שירות רחב כולל מענה לחלק גדול מהדגשים המצוינים כאן.**

- ❖ בשלב הראשון, על מנת שהמרכז בטכניון יערך כמרכז לביו-פבריקציה, על המרכז לבנות תוכנית עסקית להרחבת סל השירותים, אם על ידי המרכז עצמו או באמצעות קבלני משנה ובהשתתפות מרכזי תשתית נוספים בתוך הטכניון. צעד כזה נותן אפשרות להתרחבות בטווח הרחוק יותר ולתכנון של ההשקעה בקניית ציוד נוסף למרכז כאשר הצרכים הינם ברורים ויש כדאיות. לפיכך, לא מומלץ לקנות את כל הציוד בבת אחת או להתפרס לכל התחומים הטכנולוגיים בבת אחת, אלא בהדרגה ובהתאם לצורך.

- ❖ הרחבה של המרכז, כחלק מהמענה על הצורך בשילוב הביולוגיה, יכולה להתבטא בהוספת אגף (או אגפים) למרכז הכולל חדר נקי המותאם לצרכי הביולוגיה והרפואה.



ההרחבה תאפשר למרכז להתפתח לדור הבא של פיתוח המשלב מערכות ביולוגיות עם מערכות אלקטרוניות ומערכות ננו.

❖ היתרון של המרכז בטכניון מתבטא ביכולת לייצר כמויות קטנות, כולל ייצור התקני MEMS, בניגוד לחברות הגדולות בתעשייה. בנוסף, למרכז בטכניון יש יכולת לגמישות ולתמיכה מקצועית הנובעות מכך שהמרכז פועל בתוך מסגרת של מוסד אקדמי. יתרון כזה יכול להיות אטרקטיבי לקוחות מהאקדמיה, מהתעשייה ומבתי חולים.

❖ למרכז בטכניון יש כיום מענה חלקי לנושאי הביו-פבריקציה (כגון microfluidics, ביו-אלקטרוניקה ועוד). על מנת להרחיב את המשאב של המרכז בטכניון יש לחזק ולהרחיב תחומים אלו וכן תחומים נוספים כגון organ on chip, lab on chip biochip, וביו וננו רובוטיקה (ביולוגיה בחדרים נקיים, ידע ומומחיות, ציוד).

❖ הרחבה של יכולות קיימות במרכז כך שיהיה מענה רחב יותר לדרישות ייצור רלבנטיות של חברות בתעשייה ולעיתים גם של חוקרים באקדמיה, אם במרכז עצמו או במרכז נוסף שיעבוד עם המרכז הנוכחי, כגון, biocompatibility של ההתקן; הדירות גבוהה; כיוול מכשירים; עמידה בתקנים רפואיים הנדרשים לניסויים קליניים וחדרים נקיים ברמת סטריליזציה מתאימה.

❖ הרחבה של כוח אדם במרכז לביו-פבריקציה: מהנדסים/יועצים (כולל בתחום העסקי ובתחום התקינה) היכולים לעבוד עם חברות קטנות הנמצאות בשלבי הפיתוח ותפקידם יהיה לייעץ ולעזור באפיון ובתכן של אבי הטיפוס; מהנדסים בעלי ידע ומומחיות בביולוגיה שיכולים לתת שירותי הנדסה לביולוגים; כוח אדם שיהיה אחראי על ההדרכות והשירות. לגיוס כוח אדם מתאים לעבודה במרכז יש בסיס מאוד חזק בטכניון – הכשרה של בוגרי הנדסה, מסטרנטים ודוקטורנטים. בנוסף, **החזקה של המרכז בטכניון יכולה להתבטא בהיבטי אפיון ותכן ובייעוץ ללקוח איך נכון לעשות את הדברים.**

❖ יתרון נוסף למרכז בטכניון קשור לנושא הקניין הרוחני (IP). מספר חברות הביעו דאגה מנושא ה IP בעבודה מול מרכזים אוניברסיטאיים (נושא זה מהווה לעתים מחסום גם במרכזים בארץ וגם בחו"ל). העבודה של המרכז בטכניון היא עבודת שירות שאינה דורשת זכויות IP מהחברות המגיעות אליה. גם שירות של תמיכה בפיתוח (עזרה בחשיבה, בתכנון ובאפיון) יכול להיות מוגדר כ"שירות" ולא כ"פיתוח" כך שה IP יישאר אצל החברה המקבלת שירות זה.

❖ חשוב מאוד שהמרכז בטכניון כמרכז לביו-פבריקציה ישלב בתוכו יועצי איכות ורגולציה שישלטו בכל התהליכים. הדבר ייתן בטחון ללקוחות שנדרשים לעמוד בדרישות FDA וגופים רגולטוריים אחרים.

❖ פרסום המרכז לביו-פבריקציה, היכולות והשירותים, באמצעות אתר אינטרנט מובנה עם הפרטים הרלבנטיים של המרכז (אנשי קשר, ציוד, דוגמאות לעבודה שניתן לעשות במרכז); אנשי קשר בטכניון (מחוץ למרכז) שיוכלו להכווין לקוחות פוטנציאליים למרכז; קידום פעילות שיווקית באמצעות וובינרים, סמינרים, הרצאות וכנסים לחברות ויזמים,

אתר אינטרנטי שיספק ללקוח מידע אודות ההזמנה שלו ומעקב אחר תהליך העבודה בפועל.

❖ שוק החברות בארץ כיום אינו מספיק גדול על מנת לייצר היתכנות כלכלית עצמאית לתשתית לביו-פבריקציה ונדרשת השקעה ממשלתית לפעילותו לאורך זמן. תשתית כזו יכולה להניע תהליך שבעזרתו יוכלו לקום חברות סטארט-אפ בתחומי ה-BC, עם זאת, מדובר בתהליך ארוך טווח, שעל פי ניסיונם של מרכזים/מכונים דומים בעולם תורם רבות לכלכלה וליצירת מנוע צמיחה מבוסס ועמיד לאורך שנים. דוגמא למכון כזה הוא מכון המחקר באוניברסיטת ברקלי בקליפורניה שהוקם ונתמך על ידי הממשלה במשך 22 שנים של פעילות וכיום יש לו עצמאות פיננסית כתוצאה ממתן מענה לחברות תעשייתיות<sup>24</sup>.

## נושאי מדיניות לקידום תחום ה-BC בישראל

איור 2 מציג את סיכום נושאי המדיניות לקידום תחום הביו-קונברג'נס, כפי שעלה מתוך ראיונות העומק עם נציגים מהתעשייה ומהאקדמיה ומתוך חוות דעתם והמפורטים בפרק ממצאי המחקר.

איור 2: סיכום נושאי מדיניות לקידום תחום ה-BC בישראל



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com

<sup>24</sup> לפירוט על המכון ראה נספח ג'.

# המלצות לפעולה עבור המרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון



## הרחבת סל השירותים ושימור שירותים קיימים

- ❖ רכישת ציוד ומכשור נוסף הדרוש ליישום נושאי ביו-פבריקציה. הרכישה צריכה להתבצע בהדרגה ובהתאם להתפתחות הצרכים
- ❖ שיפור ושימור יכולת הייצור בכמויות קטנות במרכז - הכרחי לאקדמיה ולחברות בתעשייה הנמצאות בשלבי הפיתוח
- ❖ הרחבת הפעילות של ייצור MEMS בכמויות קטנות
- ❖ הרחבת העבודה עם פולימרים המיועדים לשימוש רפואי והעומדים בדרישות biocompatibility
- ❖ הקמת חדר נקי / חדר ייעודי לטיפול בדגמים ביולוגיים – כמתחם נפרד אך קרוב למרכז הפבריקציה הנוכחי
- ❖ חיזוק תחום הביו-אלקטרוניקה בדגש על הממשק בין האלקטרוניקה לביולוגיה

## הרחבת היצע ההון האנושי המועסק במרכז

- ❖ העסקה של הון אנושי נוסף בעל ידע משולב בהנדסה-פבריקציה ובביולוגיה
- ❖ העסקה של איש רגולציה/איכות מומחה
- ❖ העסקת מהנדס / יועץ לניהול פרויקטים שתפקידו לתת שירותי אפיון ותכן
- ❖ השתתפות בהכשרת סטודנטים מהטכניון כאנשי ביו-פבריקציה לעבודה במרכז או בתעשייה

## שיתופי פעולה של המרכז עם מרכזים, מכונים וחברות

- ❖ בניית קשר ושיתוף פעולה עם מרכזים נוספים בטכניון
- ❖ בניית קשר ושיתוף פעולה עם מרכזים/מכונים באוניברסיטאות ובשוק הפרטי בארץ
- ❖ בניית קשר ושיתוף פעולה עם מרכזים/מכונים/חברות בחו"ל

## אופן העבודה של המרכז

- ❖ שימור ההתאמה של לוחות הזמנים בעבודה עם התעשייה
- ❖ חיבור חוקרים וחברות בתעשייה לאנשי קשר במרכזים/מכונים/חברות אחרות בארץ ובחו"ל כמשלימים למרכז
- ❖ פרסום שירותי המרכז, כולל קיום כנסים, סמינרים והרצאות לחברות ויזמים.

# מודל מומלץ להקמת תשתית ל-BC בישראל

המודל המוצע הינו מודל דו-זרועי המשלב תשתיות באקדמיה-טכניון ובתעשייה ומציע מבנה להקמת תשתית לתכנון וייצור אלמנטים נדרשים בכיו-קונברג'נס (איור 3).

## הזרוע האקדמית

התשתיות בטכניון יכללו את המרכז למיקרו ונגו פבריקציה (MNFU) ומרכזים נוספים קיימים ו/או חדשים שיעסקו בנושאי ה-BC. התשתיות בטכניון יקדמו את המחקר האקדמי בטכניון אך גם יוכלו לתמוך בתעשייה, בשלבי המו"פ הראשוניים של החברה/המוצר/הרעיון, ייצור אבי טיפוס וייצור בכמויות קטנות.

בנוסף, התשתיות באקדמיה יתנו מענה למרכזים רפואיים ויצרו שיתוף פעולה במחקר רפואי. הטכניון ממוקם בחיפה כאשר בשכנותו שלושה מרכזים רפואיים עיקריים: הקריה הרפואית רמב"ם, המרכז הרפואי בני ציון והמרכז הרפואי כרמל.

ריכוז הפעילות האקדמית בנושא ה-BC יעשה על ידי **תשתית אקדמית מרכזית** (תשתית קיימת בטכניון או תשתית חדשה שתקום לצורך זה).

## הזרוע התעשייתית

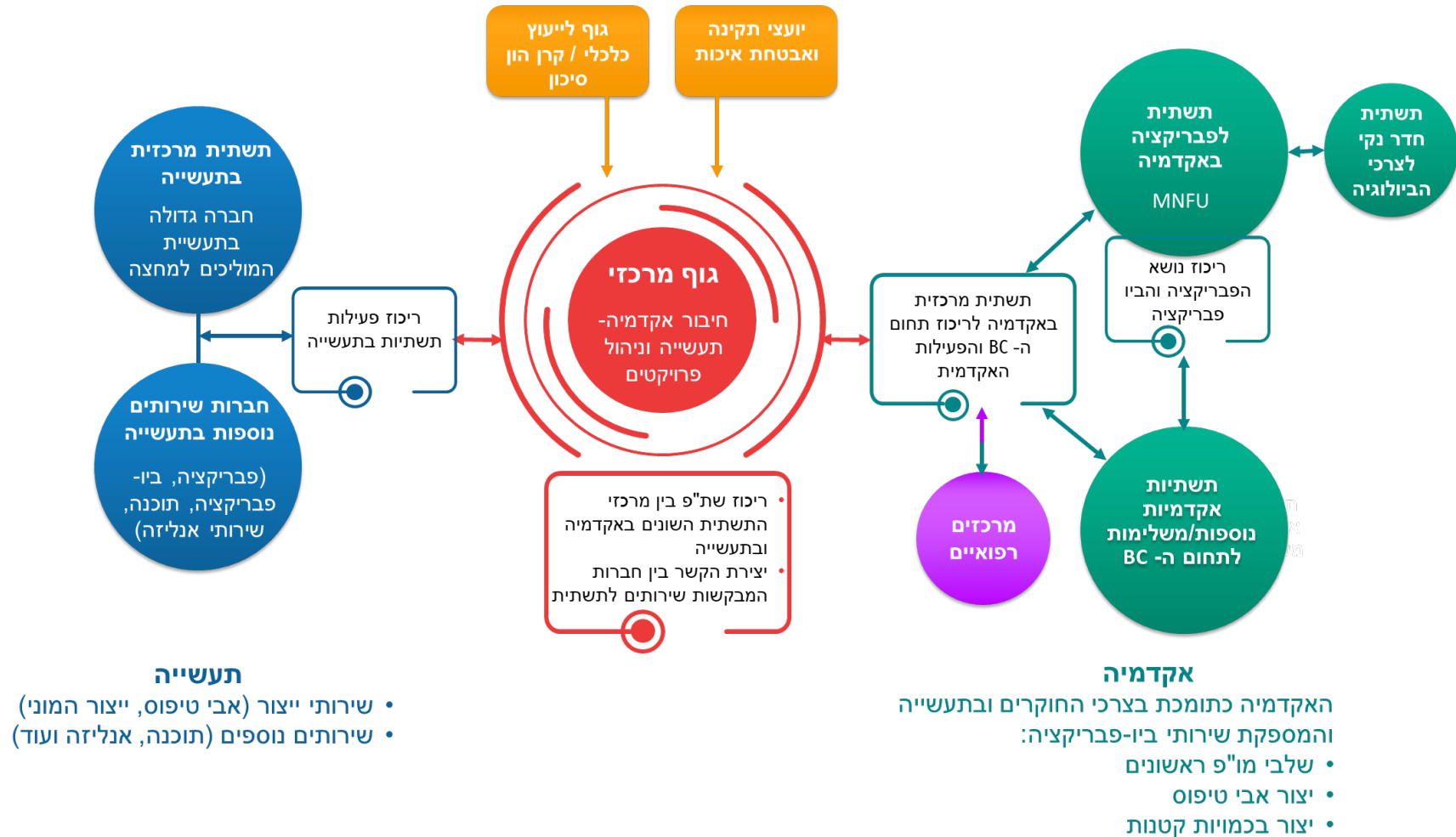
הזרוע התעשייתית תהיה מורכבת מתשתית מרכזית בתעשייה, כלומר, חברה תעשייתית גדולה העוסקת בפבריקציה / semiconductor וכן חברות נוספות היכולות לתת שירותים שונים בנושאי ה-BC, כגון שירותי ייצור (אבי טיפוס, ייצור המוני, פבריקציה, ביו-פבריקציה) ושירותים נוספים (כגון תוכנה ואנליזה). התשתיות בתעשייה יתנו, לרוב, מענה לפרויקטים שבהם הטכנולוגיות נמצאות בשלב בשלות מתקדם והדורשים ייצור בהיקפים גדולים יותר.

ריכוז הפעילות התעשייתית בנושא ה-BC יעשה על ידי **גוף מרכזי בתעשייה** (גוף קיים או גוף שיוקם למטרה זו).

## גוף מרכזי לפעילות המשולבת של האקדמיה והתעשייה

התשתיות המרכזיות, באקדמיה ובתעשייה, ינוהלו מול גוף חיצוני-מרכזי שתפקידו יתבטא בשלושה מישורים: חיבור בין האקדמיה לתעשייה, קידום שיתוף הפעולה בין מרכזי התשתית השונים ויצירת הקשר הראשוני בין חברות המבקשות שירותים לתשתית ו/או לתשתיות המתאימות, לבין השירותים המבוקשים; ייעוץ כלכלי ובדיקת היתכנות כלכלית לפרויקטים בתעשייה; ייעוץ איכות ורגולציה עבור פרויקטים הנדרשים לכך.

איור 3: מבנה מוצע להקמת תשתית לתכנון וייצור אלמנטים נדרשים בביו-קונברג'נס



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com

## 1.1 תחום ה- Bio-Convergence כמנוע צמיחה לאומי

המושג (BC) Bio-Convergence מתייחס לשילוב של מדעי החיים עם תחומי מדע והנדסה שונים כגון הנדסת חומרים, פיזיקה, מחשבים והנדסת חשמל. טכנולוגיות הנכללות בתחום זה כוללות לדוגמה, רפואה רגנרטיבית, ננו-רובוטיקה, סנסורים ביולוגיים, ביו-אלקטרוניקה, ביולוגיה סינתטית ועוד<sup>25</sup>. תחום זה הינו פורץ דרך המתפתח בקצב מואץ בתעשייה העולמית ותופס מקום חשוב ביישומים של רפואה, בטחון, אנרגיה נקייה, אקלים, חקלאות, מזון ועוד, וצפוי להיות גורם מוביל בפיתוח וייצור בתחומים אלו בשנים הקרובות.

הרשות לחדשנות רואה את ה-BC כגל הטכנולוגי הבא של המאה ה-21 וכבעל פוטנציאל להיות מנוע צמיחה כלכלי עתידי של מדינת ישראל בתחומי הבריאות והרפואה, ואף בהקשרים של פתרונות לחקלאות, מזון, אנרגיה ובטחון<sup>25</sup>. על פי הרשות לחדשנות, לישראל יש הזדמנות להפוך למובילה בתעשיית ה-BC הודות לבסיס הטכנולוגי המתקדם שלה, הכולל חוזקות בפיזיקה, הנדסה, מדע הנתונים, ומחקר מוביל במדעי החיים, והאפשרות לעשות אינטגרציה בין התחומים<sup>26</sup>.

הרשות לחדשנות הגדירה כמטרה לייצר תנאי תמיכה מימוניים שיאפשרו את צמיחתו ושגשוגו של תחום זה בישראל ואת בנייתה של תעשייה תחרותית בעלת ערך כלכלי גבוה ומובילות בינלאומית<sup>25</sup>. בהתאם לכך, בשנת 2019 אושרה התוכנית האסטרטגית לקידום תחום ה-BC והרשות החלה לתקצב פיתוחים ומחקרים פורצי דרך בתחום זה<sup>25</sup>. בשנתיים האחרונות השקיעה הרשות כ-150 מיליון ש"ח בקידום התחום<sup>27</sup>.

בתחילת 2022 השלימה ועדת תל"מ (תשתיות לאומיות למו"פ<sup>28</sup>) דוח מקיף הנוגע ליישומי וקידומו של תחום ה-BC בישראל כמנוע צמיחה לאומי עתידי<sup>29</sup>. בדומה לרשות לחדשנות, גם דוח זה מציין כי לישראל יתרונות מובנים בנושא היכולים להעניק לה מעמד מוביל בשוק התחרותי הבינלאומי ובמקביל קיים צורך משמעותי לגוון את תחום ההייטק הישראלי ולהרחיבו. על פי הדוח, התוכנית תתמקד בבניית תשתיות ופיתוח יכולות בתחומים בהם יש לישראל יתרון וחוזקה כגון התקנים ביו-הנדסיים, ביו-הדפסה, הנדסת רקמות, מיקרוביום סביבתי וביולוגיה סינתטית, שישמשו כאבני בנין טכנולוגיות בעולמות המחקר והפיתוח, וישרתו את התעשייה והאקדמיה.

בנוסף, דוח תל"מ ממליץ על צעדי מדיניות שנועדו לתמוך בפיתוח התחום וביניהם, קידום תתי-תחומי הטכנולוגיה בהם כדאי להתמקד, בניית תשתיות לאומיות, פיתוח יכולות הון אנושי המתאימות לדרישות בתעשייה, ניצול מיטבי של משאב ההון האנושי בתחומי מדעי החיים, חיזוק המחקר ועוד. במאי 2022 פורסם כי היקף ההשקעה הממשלתית הצפוי בתוכנית הלאומית לקידום ה-BC כמנוע צמיחה הינו כ-1.2 מיליארד ש"ח בחמש השנים הקרובות<sup>27</sup>.

<sup>25</sup> <https://innovationisrael.org.il/BioConvergence>

<sup>26</sup> <https://www.facebook.com/groups/BioConvergence>

<sup>27</sup> <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001411518>

<sup>28</sup> בוועדת תל"מ חברים ות"ת, מפא"ת, משרד החדשנות המדע והטכנולוגיה, רשות החדשנות ומשרד האוצר

<sup>29</sup> דו"ח ועדת תל"מ לתחום ה- Bio-Convergence . מרץ 2022.

אחד מכשלי השוק אותם זיהה הדוח הוא הצורך בתשתיות בין-תחומיות בארץ כאלה המשלבות הנדסה, ביולוגיה ותוכנה. על פי הדו"ח, התשתיות הקיימות כיום אינן מספקות את הצורך הקיים בתעשייה. כתוצאה מכך, חברות רבות נעזרות בתשתיות בחו"ל דבר הגורם איבוד זמן ומשאבים כמו גם את השארתו של הידע בחו"ל. כתוצאה מכך, המליצה הועדה על תמיכה בהקמת תשתיות לאומיות באקדמיה ובתעשייה, שיאפשרו מחקר ופיתוח בינתחומי וחיבור מובנה בין מהנדסים לביולוגים.

פורום תל"מ מציג השקעה בתוכנית לאומית לקידום תחום ה-BC, בדגש על השקעה בתשתיות במוסדות מחקר, שיאפשרו ביצוע מחקר אקדמי משותף לחוקרים בתחומי הביולוגיה וההנדסה. מרכז הכובד לאחר החומש הראשון צפוי להתמקד בשלבי הצמיחה של חברות על ידי מינוף התשתיות שהוקמו והידע שנצבר. כותבי הדו"ח הדגישו שעם התבגרות התחום ובתום חמש השנים הראשונות, מדינת ישראל תימצא בשלב בו יידרשו השקעות גדולות בדגש על השוק הפרטי להצמחת החברות שיקומו ויתפתחו בחומש הראשון.

על רקע הדו"ח שיצא לאור במרץ 2022 ועל רקע פעילות רשות החדשנות נעשתה פניה למוסד נאמן על מנת לבדוק האם יש ביקוש בתעשייה לשרותי פבריקציה ומהם השינויים הנדרשים (ציוד, חומרים, תהליכים, כוח אדם וכדומה) להרחבת הפעילות של המרכז למיקרו ונגו פבריקציה כך שתוכל לתמוך בדרישות אקדמיות ותעשייתיות בנושאי BC.

## 1.2 הקמת תשתיות לאומיות לתמיכה בתחום ה-BC

במסגרת התמיכה בהקמת תשתיות לאומיות לתחום ה-BC צפוי לצאת קול קורא על ידי רשות החדשנות להקמת תשתית לאומית שתתמוך, בין היתר, בשרותי תכנון, פיתוח וייצור של התקנים ביו-הנדסיים, בדיקות פונקציונליות, וביצירת סביבת מחקר לחברות לצד ייעוץ רגולטורי, בנושאים הקשורים להתקנים ביו-הנדסיים ובכלל זה:

- ביו-סנסורים (Biosensors)
- דימות ביולוגי (Bioimaging)
- התקנים רפואיים (Medical devices)
- דיאגנוסטיקה רפואית (Medical diagnostics)
- מערכות ביולוגיות (Biological systems)
- ממשק טכנולוגי מידע ותקשורת (ICT interface)

בנובמבר 2022, נערך וובינר מטעם הרשות לחדשנות בנושא RFI לגבי תשתיות מחקר ופיתוח של ביו התקנים (bio-devices)<sup>30</sup> לקראת הקול הקורא (RFP) הצפוי להתפרסם במהלך 2023. על פי ה-RFI ההתערבות הממשלתית תכלול: פיתוח תשתיות מו"פ אינטר-דיסציפלינריות, עידוד מצוינות במחקר BC אינטר-דיסציפלינרי, פיתוח הון אנושי מולטי-דיסציפלינרי, מדיניות ורגולציה התומכים ומאפשרים חדשנות, ומימון של מו"פ אינטר-דיסציפלינרי מתקדם. השיקולים לשלב הראשון של פיתוח התחום כוללים הקמת תשתית שתאפשר מו"פ של ביו-התקנים. מטרת התשתיות הן: תמיכה בתהליך המחקר והפיתוח של חברות הזנק, לאפשר מחקרים ייחודיים וחדשניים שייצרו את הקשר בין מערכות ביולוגיות מתקדמות להתקני הנדסה ייחודיים וחדשניים, יצירת קשרים ושותפויות אינטר-דיסציפלינריות בין מהנדסים, מדעני נתונים וביולוגים לפיתוח טכנולוגיות, תהליכים ומוצרים, יצירת מתחמי עבודה,

<sup>30</sup> <https://innovationisrael.org.il/en/opencall/national-infrastructure-bio-devices-rfi>



תשתיות מחקר וציוד חדשני שיאפשרו מחקר ופיתוח אינטר-דיסציפלינרי, הכשרה של הון אנושי, ויצירת שיתופי פעולה עם חברות ומרכזי מחקר רב-לאומיים כך שיקימו או ירחיבו את הפעילות שלהם בישראל.

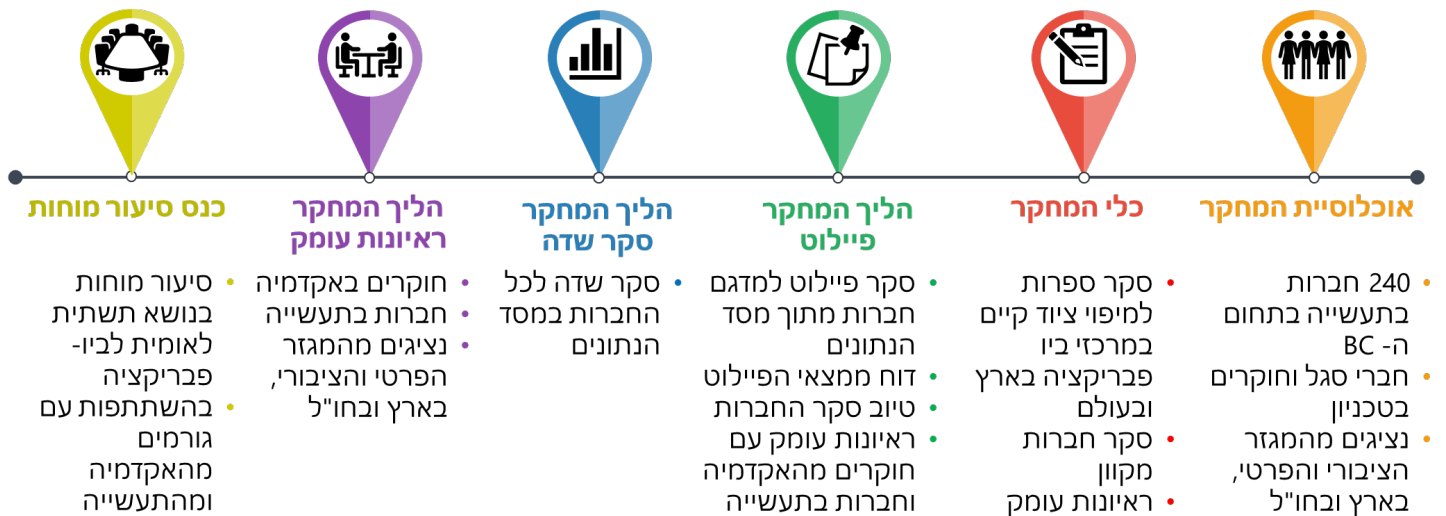
כבר היום המרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון (MNFU) מעניק שירותי ייעוץ וייצור של התקנים לחוקרים באקדמיה ולחברות בתעשייה. בשלב זה, מתמקד סגל המרכז בתחומים רבים, ביניהם אלקטרוניקה וביולוגיה. היותו מודע לכיוונים החדשניים הצפויים בעקבות התפתחות תחום ה-BC, וביחוד על רקע הצפי להוצאת הקול הקורא להקמת תשתית בתחום ההתקנים הביו-הנדסיים, קיים צורך לבחון את הדרישות בפועל של חברות בתעשייה המשלבות ביולוגיה והנדסה, בסוג של שירות כזה.

### 1.3 מטרת המחקר

מטרת המחקר הינה למפות את הצרכים, בהווה ובעתיד, של חברות העוסקות בנושאי BC, ומעוניינות להשתמש בשירותי תשתית לפבריקציה בטכניון, כדוגמת שירותים לייצור התקנים בתחום המיקרוואלקטרוניקה או ננוטכנולוגיה ליישומים ביולוגיים ורפואיים.

### 1.4 מתודולוגית המחקר

איור 4: תיאור שיטות המחקר



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showet.com

## 1.4.1 אוכלוסיית המחקר

אוכלוסיית המחקר כללה שלושה מקורות מידע:

- מאגר של 240 חברות בתעשייה העוסקות בתחום ה-BC.
- אנשי סגל וחוקרים מהטכניון העוסקים בנושא ה-BC.
- נציגים מהמגזר הציבורי והפרטי, בארץ ובחו"ל.

## 1.4.2 כלי המחקר

- סקר ספרות - סקר הספרות כלל מיפוי של ציוד קיים במרכזים המספקים שרותי ביו-פבריקציה בארץ ובעולם (פירוט המרכזים מופיע בנספח ד') וכן דוגמאות למודלים של מרכזי מו"פ בעולם המשלבים אקדמיה ותעשייה (פירוט בנספח ג').
- סקר חברות מקוון באמצעות מערכת סקרים מקוונת Lime-Survey<sup>31</sup>.
- ביצוע וניתוח ראיונות עומק.
- כנס סיעור מוחות.

## 1.4.3 הליך המחקר

### הכנה לסקר חברות

- בניית מסד נתונים של חברות העוסקות בתחום ה-BC.

מסד הנתונים הראשוני כלל איסוף רשימת חברות מתוך שני מקורות עיקריים: 155 חברות מתוך רשימה אותה קיבל פרופ' ניר טסלר מהרשות לחדשנות ורשימה של 243 חברות פעילות מתוך מאגר ה- IATI<sup>32</sup>. מתוך שתי רשימות אלו, נופו רישומים כפולים של חברות וכן חברות שנסגרו או אינן רלבנטיות למחקר זה. רשימת החברות הסופית כללה 240 חברות העוסקות בתחום ה-BC.

---

<sup>31</sup> מערכת סקרים מקוונת Lime-Survey.

<sup>32</sup> Israel Advanced Technological Industries על פי הקטגוריות Biomarkers, Biosensors and Glycomics, Disposable; Implantable; Therapeutic Devices בהתייעצות עם פרופ' ניר טסלר ופרופ' אסתי סגל. צוות המוסד נעזר גם במאגר Start Up Nation Central לראות אם החברות שאותרו פעילות כיום.

- לכל אחת מהחברות במסד הנתונים הסופי הושלמו פרטי החברות (תיאור החברה ועיסוקה ופרטי התקשרות עם אנשי קשר מהחברות, בעיקר בתפקידי CTO, VP R&D ו-CEO)<sup>33</sup>.

### סקר חברות וראיונות עומק - שלב הפיילוט

- בשלב הראשון של סקר החברות, נבנה סקר פיילוט קצר באמצעות מערכת סקרים מקוונת Lime-Survey<sup>31</sup> שמטרתו היתה לבחון האם החברות זקוקות לשירותי פבריקציה או תהיינה זקוקות לשירותים אלו בעתיד וכלל שאלות אודות תחום הפעילות של החברה, דרישות לשירותי פבריקציה בארץ ובחו"ל, הסיבות לפניה לחו"ל לרכישת שרותי פבריקציה, סוג העבודה הנדרש עבור החברה, והנכונות להיעזר בשרותי המרכז בטכניון במידת הצורך. בנוסף, החברות שהשיבו על השאלון התבקשו לציין האם תהיינה מוכנות לקיים ראיון עומק. שלב הפיילוט נערך על מנת לטייב ולדייק את השאלון.
- סקר הפיילוט נבנה בהתייעצות ובשיתוף פעולה עם פרופ' ניר טסלר (ראש מרכז מיקרו-ננו-אלקטרוניקה) ועם גב' איה כהן (מנהלת המרכז למיקרו וננו פבריקציה).
- סקר הפיילוט נשלח לאנשי הקשר ב- 16 חברות. יחד עם שליחת השאלון, נשלחה גם פנייה באימייל לנסקרים ונערכו שיחות טלפוניות על מנת לעודד מענה.
- במקביל לשליחת סקר הפיילוט וכחלק משלב הפיילוט, נערכו ראיונות עומק עם חברי סגל וחוקרים בטכניון ועם נציגי החברות בתעשייה.
- כתיבת דוח קצר המתאר את ממצאי שלב הפיילוט.

### סקר חברות וראיונות עומק - שלב השדה

- טיוב סקר החברות על פי ממצאי הסקר והראיונות בשלב הפיילוט.
- בשלב השני של סקר החברות, השאלון עודכן על פי המשוב שהתקבל בשלב הפיילוט, בהתייעצות ובשיתוף פעולה עם המרכז למיקרו וננו פבריקציה.
- שליחת סקר שדה לאנשי הקשר בכל החברות בתעשייה מתוך מסד הנתונים.
- במקביל לשליחת סקר השדה קוימו ראיונות עומק עם חברות בתעשייה, עם חברי סגל וחוקרים בטכניון ועם נציגים מהמגזר הפרטי והציבורי, בארץ ובחו"ל.

<sup>33</sup> מקורות לפרטי חברות ואנשי קשר בחברות: IATI, [IVC-Research center](#), [Start-Up Nation Central](#), [Linked-In](#), אתרי החברות, רשתות חברתיות, וכדומה.

## 2. ממצאי המחקר

### 2.1 צרכי חברות בנושאי ביו-פבריקציה - סקר חברות

סקר החברות נערך במטרה לזהות את צרכי הפבריקציה של חברות הפועלות בתחום ה-BC, לאילו שירותי פבריקציה הן נזקקות, היכן הן רוכשות שירותים אלו והאם שירותים אלו קיימים גם בארץ. בנוסף, החברות נשאלו האם הן ישקלו לרכוש שירותים מהמרכז בטכניון. להלן ממצאי הסקר:

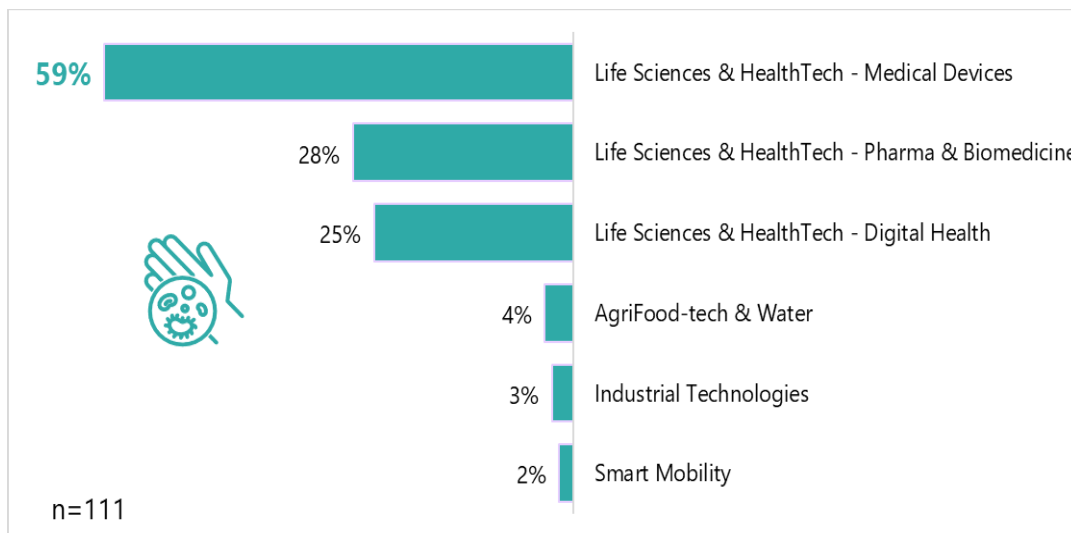
#### 2.1.1 פרטי החברות המשיבות

סקר החברות בוצע ב-2 שלבים: 1. פיילוט - הסקר נשלח למדגם של 16 חברות; 2. סקר שדה - הסקר נשלח לשאר החברות במסד הנתונים (224 חברות). סה"כ מספר החברות אליהן נשלח הסקר, 240 חברות<sup>34</sup>, מתוכן השיבו 111<sup>35</sup> חברות (46%).

#### סקטור הפעילות של החברות המשיבות

איור 5 מציג את התפלגות החברות לפי הסקטורים השונים בהן פועלות החברות המשיבות<sup>36</sup>.

איור 5: התפלגות סקטור הפעילות של החברות המשיבות



\*לכל חברה משיבה ניתנה האפשרות לבחור בסקטור פעילות אחד לפחות

<sup>34</sup> הרשימה ההתחלתית של החברות כללה 318 חברות, מתוכן נפסלו 78 חברות מהסיבות הבאות: רישום כפול של חברות, חברות שאינן פעילות יותר, חברות שאינן רלבנטיות לסקר זה.

<sup>35</sup> מתוכן, 36 חברות השיבו בטלפון ולא על גבי הסקר האינטרנטי.

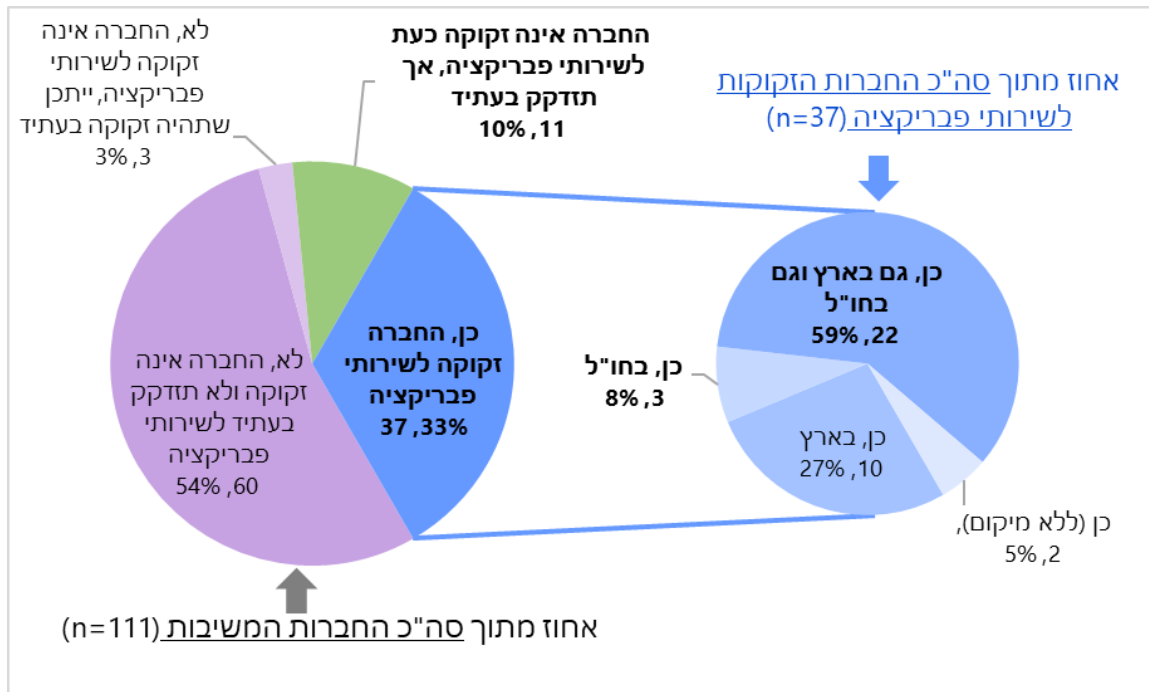
<sup>36</sup> סקטורי הפעילות נאספו מתוך מאגר המידע של [Startup Nation Central](https://www.startupnation.com/), המידע על חברות שלהן היה חסר מידע במאגר זה הובא ממאגר [ILC](https://www.ilc.gov.il/).

מעל למחצית (n=66, 59%) מהחברות המשיבות פועלות בסקטור ה-Medical Device.

## שירותי פבריקציה להן נזקקות החברות המשיבות בסקר

החברות נשאלו האם במסגרת פעילות המו"פ או הייצור החברה זקוקה, או תהיה זקוקה בעתיד, לשירותי פבריקציה, בארץ או בחו"ל (איור 6).

איור 6: התפלגות הדרישה לשירותי פבריקציה של החברות המשיבות



## פחות ממחצית החברות המשיבות (n=48, 43%) זקוקות היום לשירותי פבריקציה או תהיינה זקוקות לשירותים אלו בעתיד.

כשליש מהחברות (n=37, 33%) דיווחו כי החברה זקוקה לשירותי פבריקציה. חלק מהחברות (n=11, 10%) דיווחו כי החברה אינה זקוקה כעת לשירותי פבריקציה אך תהיה זקוקה להם בעתיד. כמו כן, רוב החברות (n=60, 54%) דיווחו כי החברה אינה זקוקה ולא תזדקק בעתיד לשירותי פבריקציה<sup>37</sup>. 3 חברות (3%) דיווחו כי אינן זקוקות כיום לשירותי פבריקציה אך יתכן ותהיינה זקוקות בעתיד.

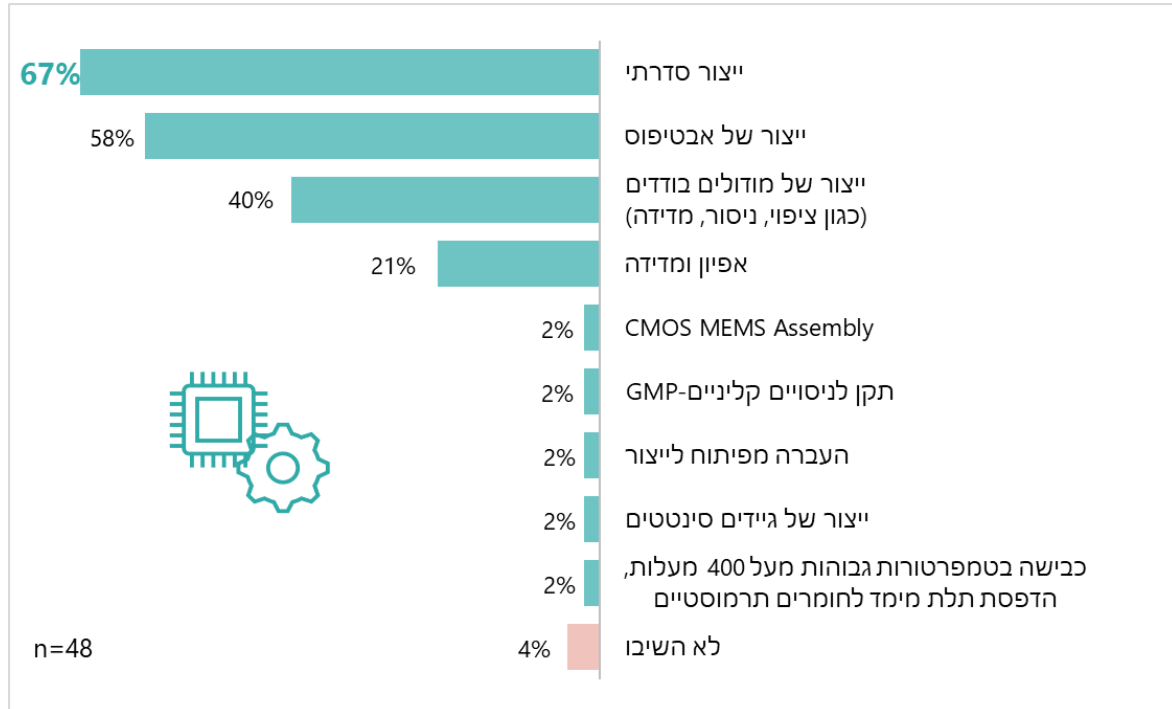
מתוך החברות הזקוקות לשירותי פבריקציה (n=37), כשני שלישי (n=25, 68%) דיווחו כי הן זקוקות לשירותי פבריקציה גם בארץ וגם בחו"ל, או רק בחו"ל.

<sup>37</sup> אחת החברות פירטה כי ה"מכונות שלה קווי יצור ויכולות ייצור מגוונות כולל שלוחה בסין שמספקת מוצרים לפי דרישה. לכן לא נראה שיהיה לחברה צורך בגורם נוסף. כמובן שדבר זה יכול להשתנות בעתיד בהתאם להתפתחות הצרכים של החברה"

## סוג העבודה הנדרשת

החברות שדיווחו כי הן זקוקות לשירותי פבריקציה או תזדקקנה בעתיד (n=48) התבקשו לפרט מהו סוג העבודה הנדרש או יידרש עבור החברה (איור 7).

איור 7: סוג העבודה הנדרש לחברות הזקוקות לשירותי פבריקציה היום או בעתיד



\*לכל חברה משיבה ניתנה האפשרות לבחור בסוג עבודה אחד לפחות

כשני שליש (67%, n=32) מחברות אלו דיווחו כי סוג העבודה שהן צריכות הוא ייצור סדרתי; מעל למחצית (58%, n=28) צריכות ייצור של אבטיפוס ו-40% מהחברות (n=19) צריכות ייצור של מודולים בודדים (כגון ציפוי, ניסור, מדידה).

כמו כן, סוגים נדרשים לעבודות שפורטו הינם: אפיון ומדידה (21%), CMOS MEMS Assembly, תקן לניסויים קליניים-GMP, העברה מפיתוח לייצור, ייצור של גיידים סינטטיים<sup>38</sup> וכבישה בטמפרטורות גבוהות מעל 400 מעלות, הדפסת תלת מימד לחומרים תרמוסטיים (2% בכל סוג עבודה).

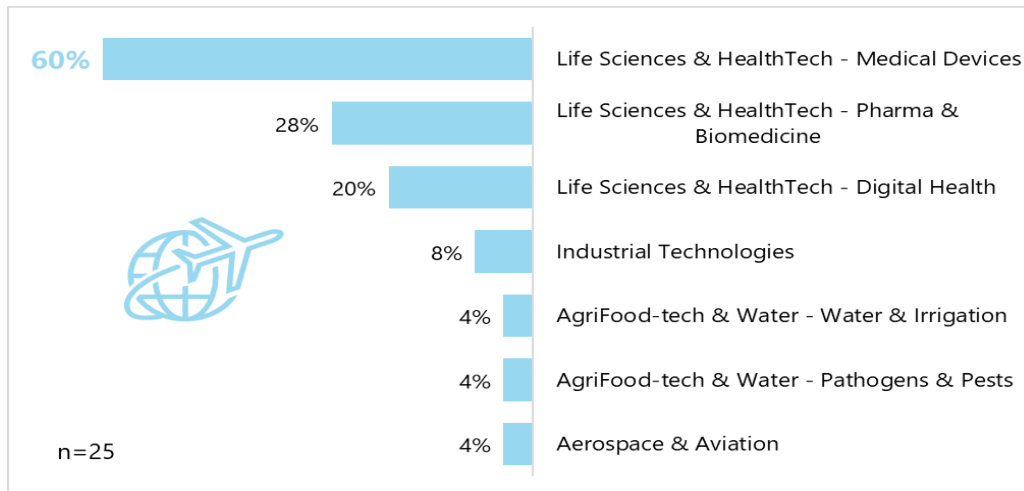
<sup>38</sup> A guide RNA (gRNA) is a piece of RNA that functions as a guide for RNA- or DNA-targeting enzymes, with which it forms complexes. Wikipedia, November 2022.

## רכישת שירותי פבריקציה בחו"ל

### ❖ סקטור הפעילות של חברות הזקוקות לשירותי פבריקציה בחו"ל

איור 8 מציג את סקטור הפעילות של חברות הזקוקות לשירותי פבריקציה בחו"ל<sup>39</sup>.

איור 8: סקטור הפעילות של חברות הזקוקות לשירותי פבריקציה בחו"ל



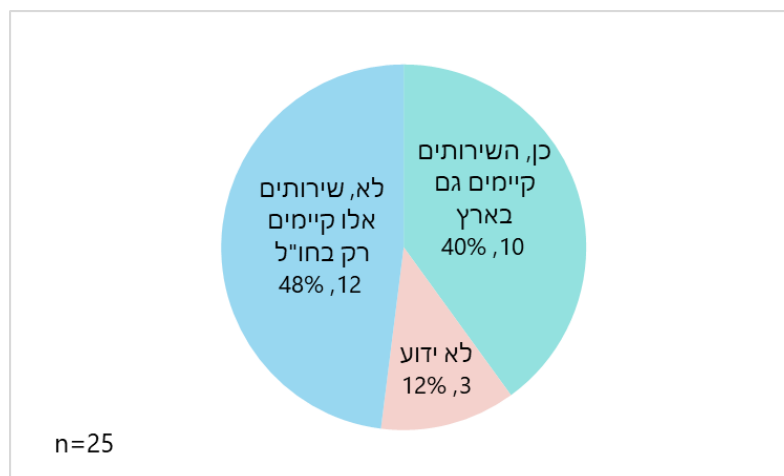
\*לכל חברה משיבה ניתנה האפשרות לבחור בסקטור פעילות אחד לפחות

כשני שליש (60%) מהחברות הזקוקות לשירותי פבריקציה רק בחו"ל או גם בארץ וגם מארץ עוסקות בסקטור המכשור הרפואי (Medical devices).

### ❖ זמינות השירותים הנרכשים מנקודת מבטן של החברות המשתתפות בסקר

חברות הרוכשות או מתכננות לרכוש שירותי פבריקציה בחו"ל (או גם בארץ וגם בחו"ל) התבקשו לציין האם שירותים אלו, או חלקם, קיימים גם בארץ (איור 9).

איור 9: התפלגות זמינות שירותי הפבריקציה



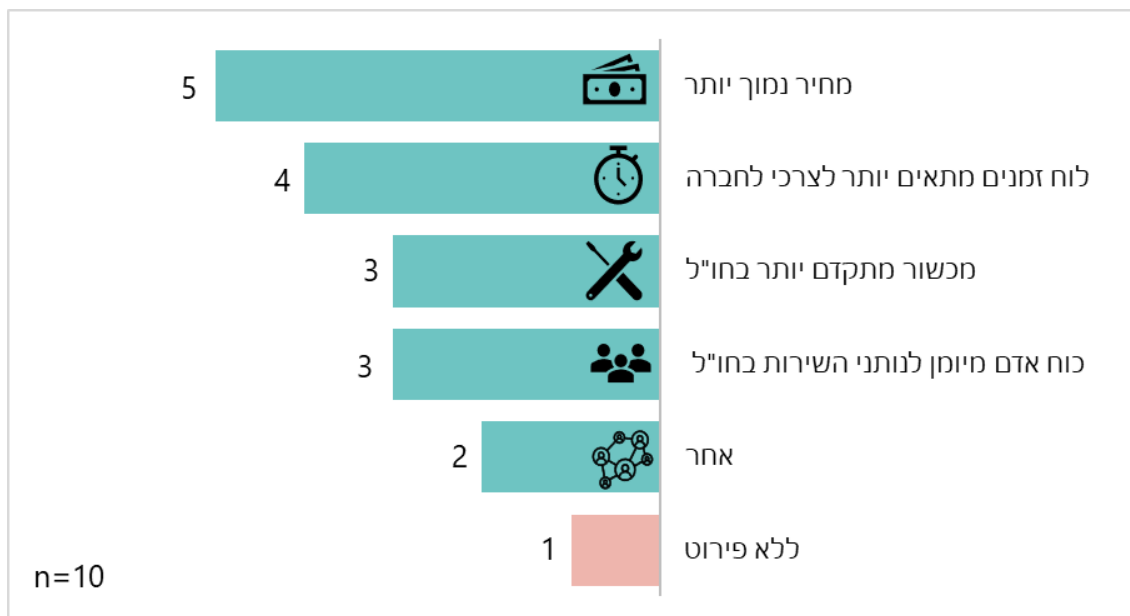
<sup>39</sup> עבור חברות שהשיבו כי הן זקוקות לשירותי פבריקציה רק בחו"ל או גם בחו"ל

כמחצית מהחברות הרוכשות או מתכננות לרכוש שירותי פבריקציה בחו"ל (או גם בארץ וגם בחו"ל) דיווחו כי שירותים אלו קיימים רק בחו"ל (n=12, 48%), 40% (n=10) דיווחו כי השירותים קיימים גם בארץ ו-12% (n=3) לא יודעים האם השירותים קיימים גם בארץ.

### ❖ סיבות לרכישת שירותים בחו"ל, הקיימים גם בארץ

מתוך החברות הרוכשות שירותי פבריקציה בארץ ובחו"ל או רק בחו"ל, 10 חברות דיווחו כי השירותים קיימים גם בארץ (איור 9); מתוכן, 9 חברות פירטו את הסיבות לרכישת השירותים בחו"ל למרות שהם קיימים גם בארץ (איור 10).

איור 10: הסיבות לרכישת שירותים בחו"ל הקיימים בארץ (לפי מספר חברות)



\*לכל חברה משיבה ניתנה האפשרות לבחור סיבה אחת לפחות

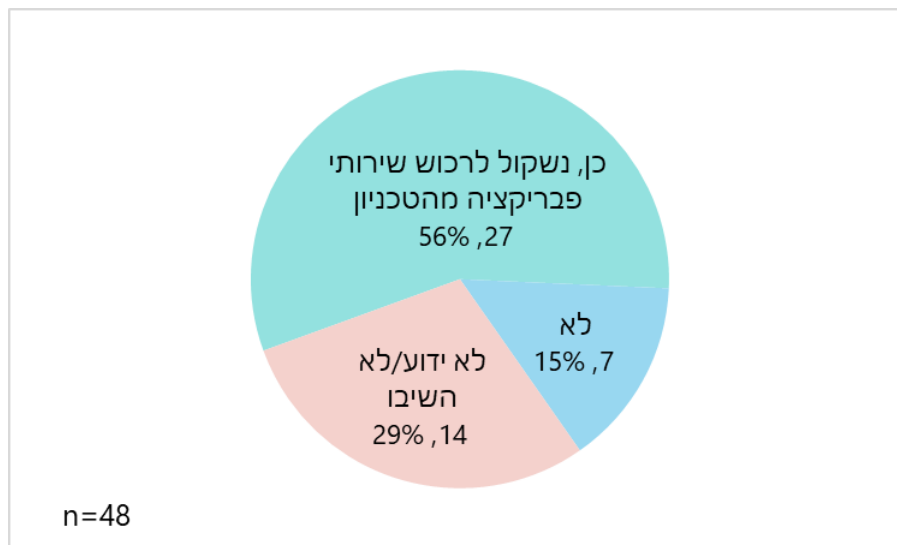
מחצית מהחברות שדיווחו כי השירותים קיימים גם בארץ (n=5, 50%) הסבירו כי הסיבה העיקרית לרכישתם בחו"ל היא מחיר נמוך יותר. 40% מחברות אלו (n=4) מדווחות כי הסיבה היא לוח זמנים המתאים יותר לצרכי החברה, וכשליש מחברות אלו (n=3) מדווחות כי הסיבה לכך היא מכשור מתקדם יותר בחו"ל או כוח אדם מיומן לנותני השירות בחו"ל.

### רכישת שירותי פבריקציה מהמרכז בטכניון

החברות שדיווחו כי הן זקוקות לשירותי פבריקציה, היום או בעתיד, נשאלו האם הן ישקלו לרכוש שירותי פבריקציה מהמרכז למיקרו ונגו פבריקציה בטכניון (איור 11).



איור 11: מוכנות לרכישת שירותי פבריקציה מהמרכז בטכניון



**מעל למחצית מחברות אלו (n=27, 56%) דיווחו כי ישקלו לרכוש את שירותי הפבריקציה מהטכניון, מעל לרבע מהחברות (n=14, 29%) לא יודעות (או לא השיבו) באם הן תרכושנה שירותים אלו מהמרכז בטכניון. רק מיעוט מהחברות (n=7, 15%) דיווחו כי הן לא תשקולנה לרכוש שירותי פבריקציה מהמרכז בטכניון.**

חלק מהחברות ציינו שהן לא מכירות את היכולות של המרכז, כגון יכולות של ייצור סדרתי, וכן עלה גם חשש מנושא חלוקת ה-IP (פירוט התשובות בנספח א', טבלה 3).

## 2.2 תשתית עתידית לביו-פבריקציה - סיכום ראיונות עומק

במסגרת המחקר נערכו סה"כ 31 ראיונות (ובהם 34 מרואיינים). מטרת הראיונות הייתה להבין לעומק את נקודת מבטם של חוקרים ואנשי תעשייה מתחומי ה-BC **על הענף בישראל וכן על היכולות והצרכים הנדרשים מתשתית עתידית לביו-פבריקציה** שתוקם בארץ.

חשוב להדגיש, כי **רובם של המרואיינים מהתעשייה לא הכירו את המרכז בטכניון ואף ולא עבדו עם המרכז ועל כן לא הכירו את יכולותיו.**

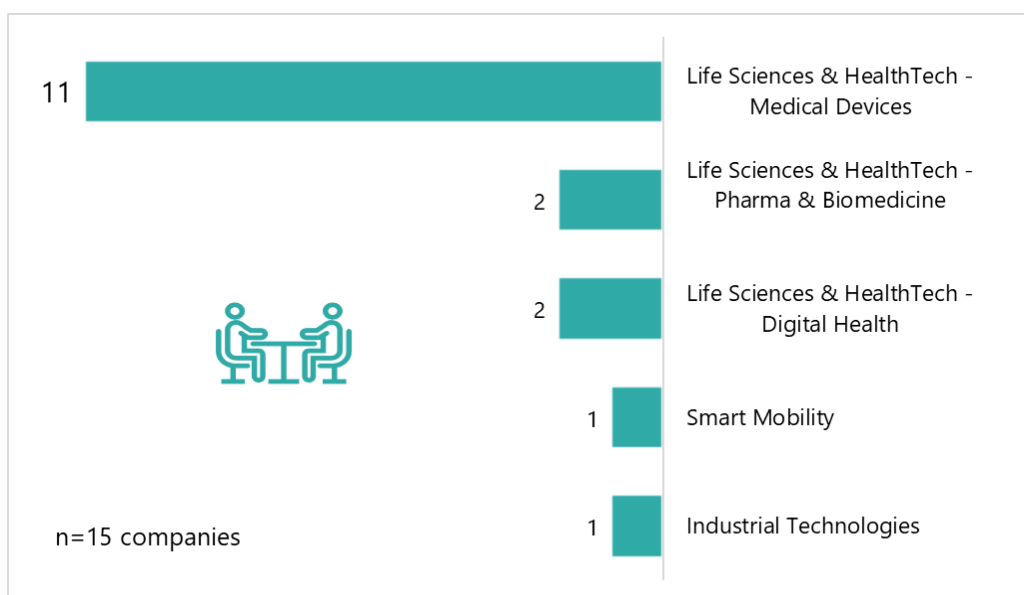
בנוסף, **השאלות בראיונות התייחסו לדרישות כלליות מתשתית לאומית לביו-פבריקציה, כפי שהמרואיינים רואים בעיני רוחם, ואינם מכוונים ספציפית למרכז בטכניון.**

➤ 15 ראיונות התקיימו עם חברות בתעשייה הפועלות בסקטורים שונים, רובן, בתחום ה Medical Device (איור 12), על מנת לגבש תמונת מצב מבחינה טכנולוגית, אל מול היכולות הקיימות או הנדרשות כיום במרכז בטכניון. בנוסף, נבדקו הסיבות לפנייה לספקים בחו"ל על פני ניצול התשתיות הקיימות בארץ, האפשרות לקבלת שירות מהמרכז בטכניון וכן דעתם לגבי תעשיית ה-BC כמנוע צמיחה בפועל.

➤ 9 ראיונות התקיימו עם חברי סגל וחוקרים מהטכניון העוסקים בנושאים של ביולוגיה/ביוטכנולוגיה והנדסה. בראיונות השתתפו, בסך הכול, 12 חברי סגל וחוקרים מהטכניון וחוקר אחד מאוניברסיטת תל אביב (איור 13). מטרת הראיונות הייתה להבין את הדרישות לביו-פבריקציה מצד המחקר האקדמי. החוקרים תיארו את נקודת מבטם אודות התפתחות התחום והדרישות בהיבטי ייצור ותכנון התקנים ביו-הנדסיים שיכולים לתמוך במחקר האקדמי. פירוט תחומי הפעילות של חברי הסגל והחוקרים נמצא בנספח א', טבלה 2.

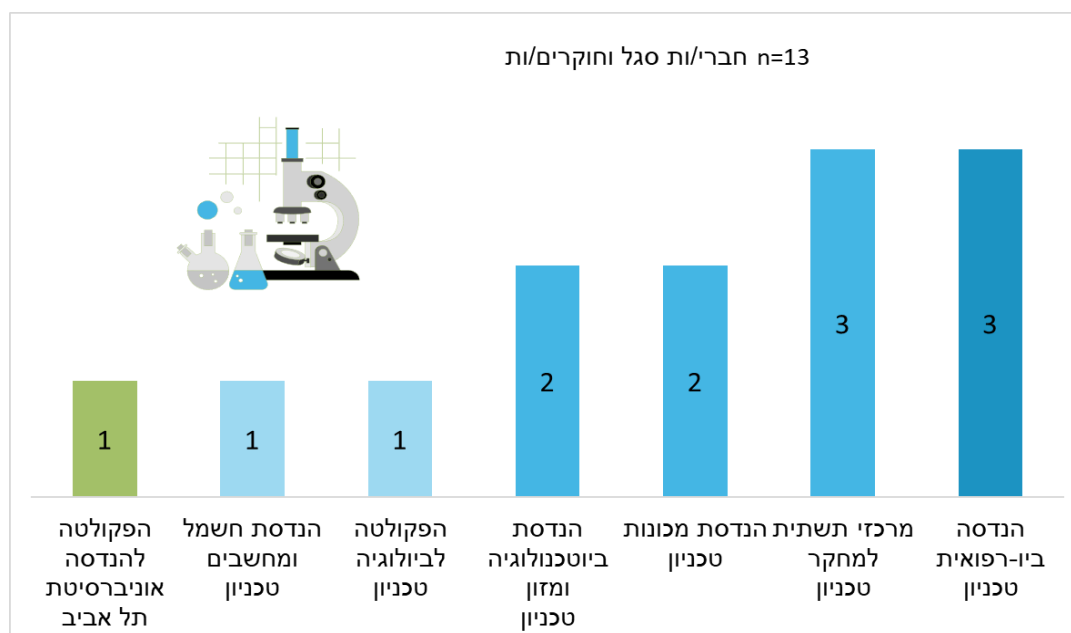
➤ 6 ראיונות התקיימו עם נציגים מהסקטור הציבורי והאקדמי בארץ וכן עם נציגים מהסקטור הפרטי בחו"ל, במטרה להבין את נקודת מבטם על תעשיית ה-BC בכלל ותחום הביו-פבריקציה בהקשר זה בפרט, וכן מה, לדעתם, נדרש לעשות בפועל על מנת לקדם אותה בארץ. מטרה נוספת הייתה להבין כיצד תעשיית הביו-פבריקציה פועלת בחו"ל.

איור 12: סקטור הפעילות של החברות שהשתתפו בראיונות



\*לכל חברה משיבה ניתנה האפשרות לבחור בסקטור פעילות אחד לפחות

איור 13: פקולטות ומרכזי תשתית אליהם משתייכים חוקרים וחוקרות שהשתתפו בראיונות



## 2.2.1 נושאים בתחום ה-BC בהם יש צפי לפריצת דרך

### משמעותית בשנים הבאות

להלן הנושאים בתחום ה-BC הצפויים לפריצת דרך בשנים הקרובות, כפי שעלו מראיונות עם חוקרים באקדמיה וחברות בתעשייה:

- שילוב הביולוגיה הסינתטית ותעשיית המוליכים למחצה - ביו-סנסורים ליישומים ביו-רפואיים ויישומי סביבה.
- synthetic morphogenesis - שליטה בהתפתחות של תאים ובכל תהליכי הדיפרנציאציה (בידול) בעזרת ביולוגיה סינתטית.
- biochip והמשק של האלקטרוניקה והביולוגיה - חיבור סנסורים לקבלת מידע בזמן אמת על תהליכים ביולוגיים. תחום זה דורש ממשקים אלקטרוניים מאוד זעירים.
- organ on chip, microfluidics - מערכות מיניאטוריות שיכולות לדמות תהליכים ביולוגיים.
- הדפסה תלת ממדית של התקני מיקרופלואידיקה (3D-Printing of Microfluidics Devices) - שימוש במדפסות תלת ממדיות להדפסה ביולוגית תלת ממדית המבוססת על מיקרופלואידיקה. הדפסה ביולוגית מיקרופלואידית זו היא טכניקה המטפלת בנוזלים בעלי מאפיינים בטווח המיקרומטר. יכולת כזו תעניק לחוקרים את היכולת לעבוד בקנה מידה קטן בהרבה מאי פעם ותאפשר ליצור רקמה אנושית. חוקרים יוכלו לשחזר את המאפיינים הביולוגיים של תאי גוף אנושיים בדיוק רב ובכך לקדם, למשל, השתלות איברים. מרכז לביו-פבריקציה יכול לתת שירות לתחום הננו מדפסות שמדפיסות התקני מיקרופלואידיקה ו-core shell<sup>40</sup> עם יכולות הדפסה מאוד מדויקות.
- בקרה אלקטרונית/אופטית לתחומי הביולוגיה (Electronics/optics control biology) ליישומים סביבתיים וביו-רפואיים<sup>41</sup>.
- מחשוב נוירומורפי (Neuromorphic computing)
- נוירומורפיה ביו-היברידי (BioHybrid neuromorphic)
- ביו רובוטיקה - שינויים בתחום הביו והננו רובוטיקה. סנסורים ו-stimulation, מערכות ביולוגיות שיכולות לשמש כרובוט. המערכות הביולוגיות אחראיות על

---

<sup>40</sup> Core-shell 3D printing "is based on the conventional micro-extrusion printing of two (or more) materials through a coaxial die, with the shell material enclosing the core material". Dr. Boštjan Vihar (2020), [Core-shell bioprinting](#), IRNAS – institute for development of advanced applied systems, Ltd.

<sup>41</sup> Optoelectronic applications that utilize living biomaterials as active controls. Such applications include bioactivated light-emitting diodes (LEDs), biological lasers, active plasmonics, nanorobotics, biological logic gates, light-harvesting antennas, molecular photonic wires, and biophotovoltaics. Zhang, Y., Wang, Z., & Chen, Y. C. (2021). Biological tunable photonics: Emerging optoelectronic applications manipulated by living biomaterials. *Progress in Quantum Electronics*, 80, 100361.

המוטוריקה והיחידות האלקטרוניות אחראיות על החישה (sensing) של הרובוטיקה הביולוגית.

➤ Wearable Technologies (חומרה לבישה) - אמצעי חישה לבישים, למשל, סנסורים עם פולימרים שיכולים לספוג זיעה. בהקשר זה יש חשיבות גם ל- flexible electronics.

## 2.2.2 צרכים מקצועיים

חלק זה מציג את הצרכים המקצועיים מתשתית עתידית לביו-פבריקציה (תהליכים, ציוד וחומרים וכן צרכי כוח אדם) כפי שעלו בראיונות העומק עם חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה ועל פי ראייתם. כאמור, **המראויינים מהתעשייה לא הכירו בעת הריאיון את המרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון ולא התייחסו למרכז ספציפית.**

### תהליכים, ציוד וחומרים

טבלה 1 מציגה דוגמאות לדרישות של תהליכים, ציוד וחומרים, כפי שעלו בראיונות העומק עם חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה והנדרשים, לפי דעתם, בתשתית עתידית לביו-פבריקציה (טבלת צרכים מלאה מופיעה בנספח א'; דוגמאות נוספות לציוד במרכזים המספקים שרותי ביו-פבריקציה בעולם מופיעים בנספח ד'). בנוסף, הטבלה מציגה את מענה הקיים היום המרכז בטכניון לצרכים אלו.

טבלה 1: דוגמאות לצרכים מקצועיים (תהליכים, ציוד וחומרים) מתוך ראיונות העומק

מענה של המרכז בטכניון <sup>42</sup>	דוגמאות לצרכים משותפים לחוקרים באקדמיה ולחברות בתעשייה
המרכז מסוגל לעבוד עם כל החומרים. איכולים עמוקים ניתן לבצע בסיליקון, יש צורך להשלים יכולות לאיכולים יבשים עמוקים בחומרים נוספים.	ייצור ציפיים בשיטת MEMS - הקמה של יכולת של ייצור MEMS בכמות קטנה (למשל, עד 100 יחידות). דוגמאות לצרכים בייצור MEMS: איכולים עמוקים, עבודה עם חומרים - סיליקון, PDMS, זכוכית, מתכות.
ישנם פולימרים שהמרכז בטכניון כבר עובד איתם, יש צורך להרחיב לפולימרים נוספים שנפוצים בתחומי הביו.	עבודה עם פולימרים המיועדים לשימוש רפואי ודרישות biocompatibility
לא קיים כרגע במרכז.	טיפול בדגמים ביולוגיים - לשם כך נדרש אזור נפרד אך קרוב לחדר הנקי שיהיה ניתן להעביר אליו לאחר הטיפול בחדר הנקי ולהמשך עבודה.
המרכז לא עוסק בתכנון רכיבים, אלא בביצוע תכן קיים.	רכיבים אנלוגיים ודיגיטליים ב die אחד (מזעור ודחיסה של האלקטרוניקה battery)

<sup>42</sup> המענה לצרכים ניתן על ידי גב' איה כהן, מנהלת המרכז בטכניון

	protection, battery management , LED , (optical sensing).
נושא זה מהווה יתרון למרכז בטכניון, המבצע תיקונים אלו, לעומת חברות ה fab הגדולות בארץ שאינן עושות זאת.	תיקון של dies חתוכים כתוצאה מתכן לא נכון.
נעשה על ידי המרכז.	עבודה עם דגמים מאוד קטנים
נעשה על ידי המרכז.	ייצור צורה על שכבות.
אין מענה מלא כי המרכז לא עוסק בתכנון רכיבים, אלא בביצוע תכן קיים.	ממשק בין האלקטרוניקה לביולוגיה - אין תשתית בישראל המספקת פתרון לצרכים כגון: תשתית שבה ניתן לעשות את המעבר בין הטכנולוגיה במעבדה (למשל, פיתוח סנסורים וביו-סנסורים אופטיים) ובין בניית מערכת שתוכל לעבוד לבחינה בסביבת מעבדה (כלומר, כל האינטגרציה מעבר לציפ ולאחר פיתוח הציפ, כגון תעלות מיקרופלואידיות).
אין כרגע מענה	rapid prototyping - יצור להתקנים. הכוונה היא למארז שעושה אינטגרציה של ההתקן המיקרו אלקטרוני עם כל התשתיות מסביב המשמשות להרכבה של הדוגמא הביולוגית, להזרמה שלה ולקריאה של הסיגנל.
יש מענה לנושא. המרכז גם עושה רכיבים כאלו. זה תלוי ב design - יש כאלו שהמרכז יודע לייצר ויש כאלו שלא	מענה לנושא של MEMS - lab on a chip ו MEOMs <sup>[3]</sup> .
אין כרגע מענה	תהליכים ובדיקות בנושא הדפסת תלת ממד, למשל, בתחום המזון.

## צרכי כוח אדם

להלן פירוט הצרכים המקצועיים הנוגעים לכוח אדם בתשתית עתידית לביו-פבריקציה (סיכום הצרכים מוצג באיור 14).

➤ ידע ומומחיות בתהליכי אפיון ותכן - גם חברות בתעשייה וגם חוקרים באקדמיה ציינו כי השלבים הקריטיים בפיתוח הם התכן ותהליך האינטגרציה, לכן, יש צורך כי בתשתית שתספק שירותי פבריקציה יהיו מהנדסי תהליך המומחים לאינטגרציה בין תהליכים, שיכולים לעזור באפיון ובתכן של פיתוח אבי הטיפוס. יצוין, כי המרכז בטכניון

<sup>[3]</sup> Micro Electro-Optical-Mechanical System - MEOMS

נותן מענה רחב בנושא זה. **במרכז בטכניון עובדים כיום 10 מהנדסי תהליך מומחים ובעלי ניסיון רב בתהליכים ובאינטגרציה בין תהליכים.**

"חסר [בישראל] ממד של תכנון עבור חברות קטנות, תכנון שיוזע להעביר את ההתקן לייצור. כל התכנון וה-design צריך להיות מאוד פרטני ושיהיה ניתן לעשות לו התאמה לייצור, החברות לא יודעות מה מתאים לייצור" (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

"שילוב רב עוצמה הוא בנייה של צוות מהנדסים שמבין היטב את יכולות ה-fab ויוכלו לתת ייעוץ ושירות טובים מאוד לסטארט-אפים"<sup>43</sup> (מתוך ראיון עם נציג מהסקטור הפרטי בחו"ל)

➤ ידע ומומחיות מקצועית ספציפית של הצוות ההנדסי, כולל ידע בביולוגיה - כאשר מדברים על תשתית לביו-פבריקציה, יש מחסור גדול במהנדסים בעלי ידע משולב של הנדסה וביולוגיה. פעמים רבות, הבעיה של שילוב הנדסה וביולוגיה נובעת מקושי בהבנה של המושגים והמונחים בהם משתמשים בשני התחומים, כלומר, הביולוגים אינם מכירים את המונחים בהם משתמשים בהנדסה ולהיפך. גם בתעשייה קיים פער בתחום הידע בביולוגיה, חברות העוסקות באלקטרוניקה ומוליכים למחצה נתקלות בבעיה כאשר צריך מהנדסים בעלי ידע בביולוגיה ולכן אינן עוסקות בתהליכים המשלבים את הביולוגיה.

הכשרה משולבת של מהנדסים בשני התחומים תשרת את התשתית וגם את התעשייה. בנוסף, מהנדסים שיכולים לתת שירות הם מהנדסי חומרים לתהליכי האפיון והמיקרוסקופיה המתקדמת, מהנדסי מכונות לתהליכים בחדר נקי, מהנדסי ביו רפואה ומהנדסי כימיה. **המרכז בטכניון יכול ליצור מומחיות משני העולמות שלא כל כך קיימת היום.**

"כאשר בונים מרכז [לביו-פבריקציה]..... מאוד חשוב הידע. הידע שהסטודנטים והחוקרים צוברים הוא גם ידע בביו ולא רק בפבריקציה..... ידע שמכיל ביולוגיה וגם מוליכים למחצה" (מתוך ראיון עם חוקר באקדמיה)

➤ יועץ לתהליכי הייצור בעל מומחיות בתכן ובאפיון פונקציונלי - קיים יתרון להעסקת איש צוות אחד לפחות בתשתית לביו-פבריקציה בעל מומחיות ו/או ניסיון רב מהתעשייה בתהליכים אלו, שישמש כיועץ עבור אנשי הביולוגיה בכל הקשור לייצור, אפיון ותכנון ההתקן. **במרכז בטכניון, כל המהנדסים משמשים כיועצים לתהליכי הפבריקציה** אך יש צורך ביועץ בתחומי התכן והאפיון הפונקציונלי.

➤ יועץ בתחום התקינה - יועצים עבור חברות וחוקרים הזקוקים לתקינה של מרכיבי המוצר/ההתקן על מנת שיוכלו לעמוד בדרישות FDA וגופים רגולטוריים אחרים.

<sup>43</sup> תרגום מאנגלית על ידי כותבי הדוח

➤ יועץ בתחום העסקי – יועצים עסקיים לבדיקת היתכנות כלכלית לפרויקטים / מוצרים בתעשייה.

➤ צוות לשירות והדרכה על ציוד - כוח אדם שיהיה אחראי על ההדרכות והשירות עבור חברות וחוקרים. **בנושא זה קיים יתרון למרכז בטכניון מאחר וצוות כזה כבר קיים היום במרכז.**

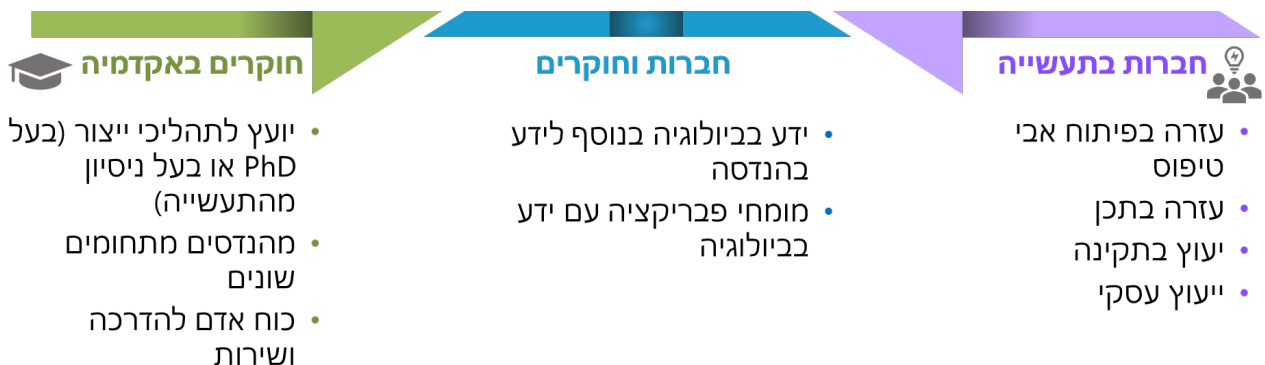
➤ הכשרת כוח אדם לתחום ה-BC - הכשרה משולבת ביולוגיה והנדסה - מצד אחד, בוגרי ביולוגיה לרוב אינם משתלבים בחברות העוסקות בנושא ה-BC, מכיוון שחסרה להם הכשרה רחבה ומולטי-דיסציפלינרית שנדרשת בעולמות החישוביות וההנדסה. מצד שני, למהנדסים אין הכשרה וידע בביולוגיה.

הכשרה של סטודנטים להנדסה לעבודה במרכז - סטודנטים שעבדו במעבדה יכולים לעבוד לאחר סיום הלימודים במרכז ולהשתלב לאחר מכן בחברות על בסיס הידע שצברו בעבודה עם התעשייה.

כוח אדם בעל השכלה של דוקטורט לעבודה בתשתית לביו-פבריקציה. יש ערך להשכלה ברמת דוקטורט זו כי זהו כוח אדם היודע ומבין כיצד מתנהל מחקר.

"לחברות בארץ יש כוונות להיכנס לתחום של הביו אבל הידע שלהן בתחום זה הוא לא גדול. אין מספיק בוגרי אוניברסיטה שעוסקים לאחר הלימודים ב-Biosense. בחברות יש מחסור באנשים בתחום" (מתוך ראיון עם חוקר באקדמיה)

איור 14: צרכים מקצועיים – סיכום צרכי כוח אדם להקמת תשתית למרכז לביו-פבריקציה



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com



### 2.2.3 הצורך בשירותי ביו-פבריקציה בארץ

מתוך ראיונות עם חברות בתעשייה ועם חוקרים באקדמיה, ועל פי ראייתם, עולה כי קיים צורך בתשתית מקומית שתיתן שירותי ביו-פבריקציה (סיכום הצורך בתשתית מקומית מוצג באיור 15).

באופן כללי, יש חוסר גדול מאוד בארץ בתשתיות ייצור לתעשיית הביוטכנולוגיה. חברות בתעשייה שצריכות ציוד מסוים ומחליטות לרכוש אותו נתקלות בקשיים עקב המורכבות הרבה הנדרשת באחזקה של הציוד והכשרת כוח אדם מתאים לעבודה על הציוד.

על הצורך לשירותי ביו-פבריקציה בחברות הסטארט-אפ תיאר אחד החוקרים בטכניון, שברשותו מעבדה העוסקת במיקרופלואידיקה. חברות רבות פנו אליו על מנת לקבל שירות מהמעבדה אך הוא נאלץ לסרב לפנייתם מכיוון שהמעבדה שלו הינה מעבדת מחקר ואינה מעבדת שירות לחברות המעוניינות בפתרונות הנדסיים.

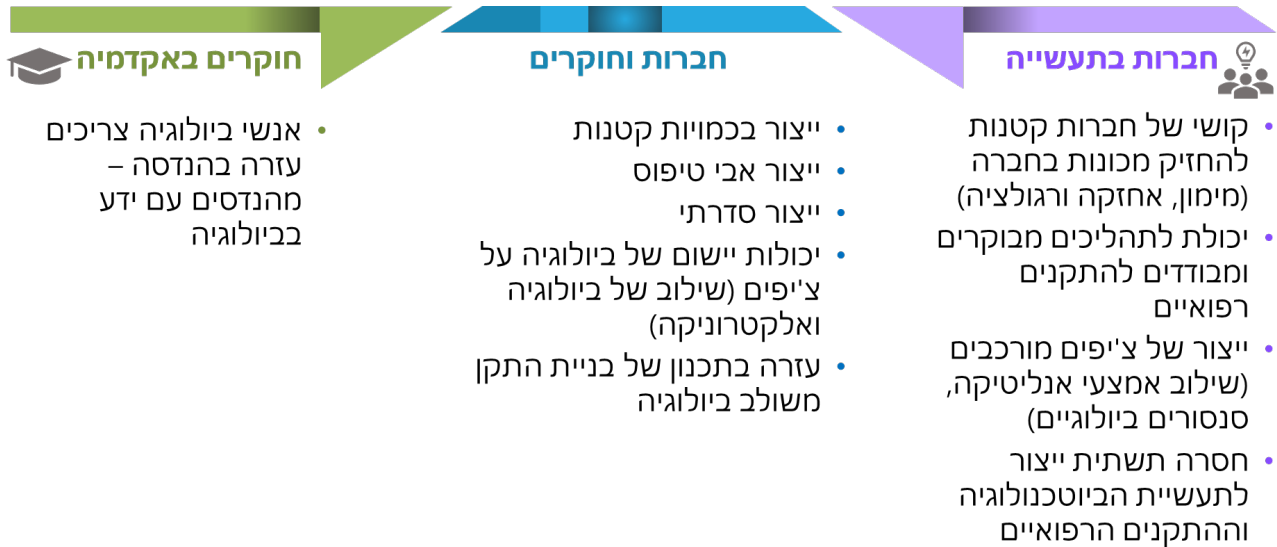
**הצרכים העיקריים שתוארו על ידי החוקרים והחברות הם ייצור בכמויות קטנות צורך אותו ממלא כבר היום המרכז בטכניון, ועזרה באפיון ובתכן בכל הקשור לייצור התקנים משולבי אלקטרוניקה וביולוגיה.**

"המטרה היא לחזק את התחום הזה [BC], לבנות ידע חדש ולחזק תעשייה חדשה.... הפוקוס הוא על חברות האלקטרוניקה והמוליכים למחצה בארץ שרוצות להיכנס לתחום הביו ולא מצליחות" (מתוך ראיון עם חוקר באקדמיה)

"מה שקיים בארץ ברמת האוניברסיטאות הוא טוב לחוקר באוניברסיטה (proof of concept ראשוני)... זה אפשר לנו להתחיל משהו ראשוני אבל די מהר נתקענו כי המכונות לא הדירות..." (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

"אני לא יודע אם הם [שם חברה בתעשייה] עובדים עם חברות קטנות ברמה של prototypes, מהניסיון שלי... מגיעים לחברות אלו כשמדברים על mass production... יכול להיות שיש פה נישה לחברות שצריכות [כמות קטנה של יחידות] בשביל בדיקות וניסויים קליניים ולפני שבכלל יוצאים לשוק" (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

איור 15: סיכום הצרכים של חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה בשירותי ביו-פבריקציה בארץ ליישום בתשתית עתידית לביו-פבריקציה



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com

## 2.2.4 קשיים וחסמים בקבלת שירותי ביו-פבריקציה בארץ והצעות ליישום בתשתית עתידית של ביו-פבריקציה

הצורך בשירותי ביו-פבריקציה באקדמיה ובתעשייה בארץ נתקל, פעמים רבות, בקשיים ובחסמים המביאים את דורשי השירות לחפש פתרונות במקומות אחרים. המרואיינים במחקר ציינו מספר בעיות בקבלת השירותים בארץ, מתוך נקודת מבטם. להלן מפורטים הנושאים העיקריים בהם המרואיינים נתקלו בקשיים ו/או בחסמים בקבלת שירותים במרכזי תשתית שונים וכן הצעות לפתרון ליישום בתשתית עתידית של ביו-פבריקציה, כפי שתיארו המרואיינים במחקר (סיכום מוצג באיור 16).

### לוחות זמנים

**קשיים וחסמים** - נושא לוח הזמנים הינו קריטי עבור חברות בתעשייה. ישנם מקרים בהם שעות הפעילות במרכזים האקדמיים השונים אינם תמיד מתאימים לצורכי החברות בתעשייה. למשל, כאשר החברות לעיתים צריכות שהייצור יתבצע בזמן מאוד קצר. מרכזים או תשתיות שאינם עובדים בשעות הלילה, למשל, יכולים להגביל את לוח הזמנים הנדרש. מסיבה זו, פעמים רבות, חברות נאלצות לפנות למקומות אחרים, למשל, מרכזים ותשתיות בחו"ל. כלומר, **תהליכים ארוכים מדי גורמים ללקוח הפוטנציאלי לפנות לקבל שירות בעיקר בחו"ל.**

"בתור חברה, אם צריך לבחור האם לשתף פעולה עם [חברת fab גדולה בחו"ל] או אוניברסיטה, יותר קל לשתף פעולה עם החברה בחו"ל, מאוד ברור מהם היעדים ומה לוחות הזמנים..." (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

## הצעות לפתרון

כדאי שתשתית עתידית של ביו-פבריקציה תפעל באוריינטציה תעשייתית, כלומר:

- עבודה של 24 שעות ביממה.
- גמישות במתן פתרונות מהירים לסוגים רבים של דרישות.
- הסברה והסכמה עם הלקוח על התהליכים שדורשים זמן עבודה ארוך (עם זאת יש להיזהר מתהליכים ארוכים מדי).



### תהליכי ייצור, ציוד והדירות

#### ❖ ייצור בכמויות קטנות

קשיים וחסמים - מצד אחד, חברות ה-fab הגדולות, בדרך כלל, לא מייצרות בכמויות קטנות ברמה של prototypes, צורך שקיים גם אצל החוקרים באקדמיה וגם אצל חברות קטנות בתחילת דרכן ובשלבי הפיתוח, אלא, הן עובדות בשיטה של mass production. מצד שני, מבחינה כלכלית, לחברות קטנות קשה מאוד להחזיק מעבדה ולייצר בחברה עצמה. עם זאת, מחקרים רבים באקדמיה ורעיונות בשלבי הפיתוח בחברות הסטארט-אפ אינם נמצאים בשלב של ייצור המוני. **המרכז בטכניון מספק שירותי פבריקציה בכמויות קטנות**, אך ישנם מקרים שבהם חוקרים באקדמיה וחברות סטארט-אפ נאלצים לחפש חברות ומכונים בחו"ל שיתנו להם את השירות.

הצעות לפתרון - הפתרון העיקרי אותו ציינו החוקרים באקדמיה וכן חברות בתעשייה הוא בהקמת מרכז לביו-פבריקציה שייתן שירות של ייצור בכמויות קטנות, 10-100 יחידות בשיטת ה-GMP שתאפשר לחברות להמשיך לאחר מכן לייצור המוני. **למרכז בטכניון יש יתרון בנושא זה מאחר וכבר היום המרכז נותן מענה בנושא ומייצר כמויות קטנות.**

"אחת הבעיות שנתקלנו בהן זו הנכונות לעבוד איתנו [בגלל כמויות הייצור] ... יש חברות שלא פונות בכלל היום לכיוון הזה [medical] כי הן יודעות שהן צריכות להתחייב לכמויות גדולות" (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

#### ❖ שילוב נושאי הביולוגיה עם האלקטרוניקה והמוליכים למחצה

קשיים וחסמים - כיום, לא ניתן לשים שכבות של ביולוגיה על הציפיים שמייצרות חברות התעשייה הגדולות בארץ.

הצעות לפתרון - קיים צורך בתשתית שתשלב בין שני התחומים, אלקטרוניקה וביולוגיה, כך שהתהליך יעשה באותו החדר/מתחם פיזי. מרכז כזה ישרת חברות שהמוצר שלהם מכיל ברובו אלקטרוניקה עם חומרה ותוכנה יחד עם אלמנטים ביולוגיים.

## ❖ ציוד ומכונות, אחזקה והדירות

### קשיים וחסמים -

➤ אחד המרואיינים הביע חשש, מתוך ניסיונו, כי המרכזים האקדמיים אינם נותנים תמיד עדיפות של שימוש בציוד הקיים לחברות<sup>44</sup> אלא מוכוונים להוות מרכז פיתוח לקבוצות האקדמיות באוניברסיטאות ולכן גם ניתנת ההעדפה לחוקרים ולסטודנטים בשימוש בציוד. לעומת זאת, **המרכז בטכניון משרת הן את החברות בתעשייה והן את החוקרים באקדמיה באותה מידה, ללא מתן עדיפות לקבוצה מסוימת.**

➤ באופן כללי, המרואיינים הביעו את החשש כי עיקר העבודה במרכזים באקדמיה מתבצעת ע"י סטודנטים בעלי רמות הכשרה שונות. על פי דעתם של מרואיינים אלו, צורת עבודה זו יכולה לגרום לבלאי מואץ של הציוד דבר הגורר תקופות ארוכות של השבתת ציוד<sup>44</sup>. לעומת זאת, ולמרות החשש שהובע בראיונות, **המרכז בטכניון מעסיק עובדים מקצועיים ומומחים לציוד ולתהליכי העבודה תוך הקפדה יתרה על תקינות הציוד.**

➤ מספר מרואיינים הביעו חשש כי יכול להיות שהציוד במרכזים האקדמיים השונים בארץ מתאים בעיקר לחוקרים באוניברסיטה או לחברות בתעשייה בשלבי פיתוח ראשוניים והעונים, לרוב, על הצורך בהוכחת היתכנות ראשונית. אבל, ישנם מקרים בהם לציוד אין התאמה מספקת לחברות בתעשייה, למשל, כאשר מדובר במכונות לא הדירות לייצור התקנים דומים אחד לשני. **עם זאת, המרכז בטכניון נותן שירות גם לחברות בתעשייה ונותן מענה רחב לצרכיהן.**

### הצעות לפתרון -

**המרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון עונה כבר היום על הקשיים והחסמים הקשורים לציוד ומכונות ושפורטו לעיל.** להלן מפורטות הצעות נוספות לפתרון לקשיים וחסמים אלו עבור תשתית עתידית לביו-פבריקציה, (לאו דווקא המרכז בטכניון) כפי שהוצגו על ידי המרואיינים:

➤ הכשרת כוח אדם מתאים לעבודה על המכונות על מנת להבטיח עבודה סדירה והימנעות מתקלות.

➤ תשתית שתוכל לייצר התקנים בהדירות גבוהה ותשתמש במערכת שמאשרת על פי Good Manufacturing Practice (GMP).

➤ מדיניות של best effort בייצור. בשלב פיתוח הרעיון או המוצר אפשר לייצר את הסדרה הראשונה בתפיסה של "quick and dirty" כאשר הלקוח משלם על ה- best effort ולא על התוצאה הסופית. תפיסה זו נובעת מכך שבטכנולוגיות חדשות צריך תחילה ללמוד את הייצור הראשוני וחברה המגיעה לתשתית של ביו-פבריקציה צריכה לדעת שכשהיא מפתחת מוצר חדש התשתית נאלצת, לעתים, לפתח טכנולוגיות ייצור שהן חדשות עבורו. טכנולוגיות אלו לא

<sup>44</sup> סיכום של ד"ר שרון לפלר מחברת Qulab Medical (נספח ב')

תמיד מצליחות בשלבים הראשונים ולכן התשלום הוא על ה- best effort. עם זאת, חשוב שתהליך הייצור עצמו יהיה עמיד לשינויים כאשר מייצרים את הסדרות הבאות.

## ❖ סטנדרטים של ייצור, עבודה לפי תקנים וחדרים נקיים

### קשיים וחסמים –

המרוויינים הביעו את החשש מאי יישום של הנושאים הבאים בתשתיות לביו-פבריקציה:

- אי מתן מענה לסטנדרטים של biocompatibility ו- toxicity של החומר.
- חשש מרמת הדירות נמוכה בחדרים נקיים. למרות החשש, **המרכז בטכניון נותן מענה לחסם זה.**
- חשש מכך שהמכשירים אינם עוברים בדיקת כיוול באופן תקופתי.
- חשש מבעיות של זיהום צולב (cross contamination) במכשיר.
- הצורך בהכשרה/הסמכה של המרכז לעבודה לפי תקנים הנדרשים להתקנים רפואיים (ISO 13485 ותקנים נוספים).

### הצעות לפתרון -

- על מנת שתשתית לביו-פבריקציה תוכל לספק שירותי ביו-פבריקציה נרחבים, התשתית נדרשת לספק גם חדרים נקיים עם רמת ניקיון מתאימה, לעבוד ולייצר לפי תקנים הנדרשים בתחום הרפואי, אישור GMP, אישורים להתאמה לניסוי קליני ואישור FDA ו- EMA, במקרים בהם אבי הטיפוס נדרשים לאישורים אלו. דרישה זו חשובה מאוד עבור חברות בתעשייה אך לעיתים גם עבור חוקרים באקדמיה. יכולות אלו יתנו לתשתית אפשרות לשת"פ עם מרכזים רפואיים ועם חברות.
- כאשר מדובר בפבריקציה של התקנים הנכנסים לגוף, קיים הצורך לעבוד עם חומרים המתאימים לנושאים של toxicity ושל biocompatibility. עם זאת, **יש לבחון את הפתרון המתאים ליישומים אלו ולבדוק באילו מקרים ושלבי פיתוח של המוצר או המחקר יישומים כאלו נדרשים.**
- כיוול תקופתי יזום של מכשירים.
- זיהום צולב – יש צורך לוודא ולבדוק את תהליך הניקוי של מכשיר על מנת להימנע מזיהום צולב בין פרויקטים שונים, בעיקר בייצור של התקנים הנכנסים לגוף (אחת החברות ציינה פתרון לנושא הזיהום הצולב בכך שהם קנו מכונה שיושבת אצל אחד הספקים שלהם ורק החברה משתמשת במכונה זו). ביצוע ניסויים ביולוגים דורש תהליך של חיטוי המכונות / מכשירים ועל כן דורש התאמות מיוחדות.
- חלק מהחברות הזכירו את נושא ההדירות ואת הצורך בתקני GMP/GLP.

➤ תשתית שתעסיק אנשי אבטחת איכות ורגולציה לייעוץ אודות התהליכים.



כוח אדם

חוקרים בטכניון וחברות בתעשייה ציינו שעל מנת לקבל שירות מתשתית עתידית של ביו-פבריקציה יש צורך שהתשתית תעסיק כוח אדם בעל מומחיות ומיומנויות מסוימות, מעבר לציוד ומכונות.

### ❖ שירותי אפיון ותכן

**קשיים וחסמים** - מספר מרואיינים הביעו חשש מכך שאין במרכזים האקדמיים מומחים/מנהלי פרויקט שיעזרו בתהליך הפיתוח. לחברות קטנות חסר מאוד כוח אדם שידע לעשות את תהליך האפיון ואת התכן, כלומר, תכנון להעברת ההתקן לייצור. פעמים רבות, חברות מגיעות עם רעיון אך לא עם ידע בתכן וייצור (למשל, איזה אמצעי בדיקה צריך? איך עושים אלקטרוכימיה? האם המכשירים הקיימים נותנים מענה או שצריך לפתח מכשור ייעודי? איזה מכשור קיים בעולם וניתן להיעזר בו?).

**הצעות לפתרון** - בניית תהליכי פבריקציה דורשים גם תמיכה בפיתוח, לכן, על מנת לתת שירות לחברות הנמצאות בשלב ה-R&D, תשתית עתידית לביו-פבריקציה צריכה להיות בעלת מומחיות בתהליכים (מומחיות שקיימת היום במרכז בטכניון) ולהעסיק מנהל פרויקט/מהנדס יועץ לתכנון מכני ועזרה בתהליך האפיון והתכן. יועץ כזה צריך להיות בעל ניסיון בעבודה ב-fab, בתהליכים ובייצור; בעל יכולת להבין את הצורך של החברות, לזהות מה חסר בהתקן, מה הדרך הנכונה לייצר אותו ומה יהיה התוצר בכל שלב. כלומר, ראייה הוליסטית של תהליך התכנון של המוצר ושל שלבי הפיתוח שלו עד לייצור מלא וגישה איטרטיבית<sup>45</sup> לניהול פרויקטים המסייעת לצוותים לספק ערך ללקוחותיהם בצורה יותר מהירה ועם פחות בעיות בייצור. תכנון נכון חוסך בעיות בייצור. **החזקה של המרכז בטכניון יכולה להתבטא בייצור ללקוח איך נכון לעשות את הדברים.**

### ❖ כוח אדם בעל מומחיות ומיומנות בהנדסה ובביולוגיה

**קשיים וחסמים** - מהנדסי תהליך ללא ידע ומיומנות בביולוגיה.

#### הצעות לפתרון –

➤ כוח אדם מומחה בשילוב הביולוגיה והאלקטרוניקה. בתשתית לביו-פבריקציה, המספקת שירותים גם בנושאים ביולוגיים ורפואיים, יש צורך ליצור ממשק של אנשים עם ידע בביולוגיה וברפואה, בנוסף לידיע בהנדסה, שיוכל לתת שירותי תכנון והנדסה לביולוגים, כולל ניהול פרויקטים. ישנו פער גדול מאוד ביכולת של אנשי ההנדסה לשרת את הביולוגיה.

➤ ניהול פרויקטים משולבי ביולוגיה ואלקטרוניקה – זוהי יכולת חשובה לתשתית של ביו-פבריקציה לאור העובדה שהממשק בין האלקטרוניקה לביולוגיה הוא קריטי לתחום ה-BC. כשלים ניהוליים וחוסר המומחיות של כוח האדם בשילוב בין הנושאים יכולים ליצור גם קושי בשילוב בין האקדמיה והתעשייה בנושאים אלו וביישום רעיונות חדשניים. הביולוגים אינם

<sup>45</sup> תהליך חזרו- היא פעולה החוזרת על עצמה במהלך פתרון של בעיה. **ויקיפדיה**, נובמבר 2022.

מבינים בפבריקציה והם צריכים את עזרתם של אנשי הפבריקציה על מנת לעשות את הממשק בין החלק של האלקטרוניקה לחלק של הביולוגיה. על מנת ליישם תהליכי ביו-פבריקציה יש צורך באנשי ביולוגיה, בעדיפות לאנשים בעלי ניסיון בעבודה בתעשייה. אדם שמנהל פרויקטים משולבי ביולוגיה צריך לדעת איך מחברים בין התחומים השונים ואיך מגשרים את המעבר בין האקדמיה לתעשייה. כלומר, מנהל הפרויקט **צריך לתת לביולוג ליווי לאורך כל התהליך עד סופו.**

➤ תמיכה בפיתוח לחברות בתעשייה - חוקרים בטכניון מעידים כי היום חברות בתחום מחפשות חבר סגל מתחומי הביולוגיה שיעזור להם אך לחברי הסגל אין את הזמן או את היכולת להתפנות לעבודה עם החברות. לכן, בתשתית לביו-פבריקציה, נדרש צוות ייעודי שיעזור לחברות אלו, כך שהן אף יוכלו לשבת במרכז בפועל לכל אורך תקופת קבלת השירות, באם יש צורך בכך (נציג מטעם החברה שישב פיזית במרכז ויעבוד עם הצוות בתשתית). הגדרת התמיכה כ"שירות" (עזרה בחשיבה, בתכנון ובאפיון) מבטלת את הבעיה שיכולה להיווצר לחברה בכל הקשור לקניין רוחני (ה- IP נשאר בחברה).

"צריך מהנדסים בתחום של bio-convergence... לא כל כך ביולוגים אלא מהנדסים שעבדו בממשק בין הנדסה לביולוגיה (bio-MEMS, microfluidics) שיוצרים לתכנון, לבנות ולהכיר את הכלים הקיימים, אבל הם גם צריכים להבין ו'לדבר' ביולוגיה" (מתוך ריאיון עם חוקר באקדמיה)

**לגיוס כוח אדם שיוכל ללוות את הלקוח בנושאי הביולוגיה יש בסיס חזק מאוד בטכניון;** הכשרה של סטודנטים ודוקטורנטים בהנדסה ביו-רפואית כוללת גם ממשקים עם נושאים חשמליים-אלקטרוניים, ביומכניקה וחומרים. יש מספר חברי וחברות סגל בטכניון (בהנדסה ביו-רפואית ובפקולטות אחרות) שעוסקים בביו-רפואה ויכולים לתת את הבסיס הזה לבוגרים שלומדים אצלם.

### ❖ מחסור בכוח אדם לקבלת שירות

קשיים וחסמים – מספר מרואיינים הביעו חשש כי צוות השירות במרכזים האקדמיים הוא מצומצם דבר המאלץ חברות שרוצות לפתח תהליך מקיף וארוך טווח להביא מהנדס מטעמם שיבצע את העבודה במרכזים אלו.

הצעות לפתרון - כוח אדם זמין ומיומן בנקודות הקריטיות בתהליך הייצור, שיהיה נוכח פיזית בנקודות הקריטיות בתהליך הייצור על מנת לאתר בזמן אמת את הבעיות המתעוררות ולתקן אותן. כוח אדם כזה יחסוך בעיות בתהליך הייצור ואת הצורך בעבודה חוזרת.

### ❖ פערי ידע הקשורים לנושאי אבטחת איכות ורגולציה

קשיים וחסמים – המרואיינים ציינו כי קיים מחסור בכוח אדם בעל ידע ומומחיות בנושאים של אבטחת איכות ורגולציה בתחום הרפואי, לא רק במרכזים הנותנים שירות אלא גם בתעשייה.

הצעות לפתרון - קיים פער גדול מאוד בין הצרכים של חברות בתחום הביו-רפואי וחברות סטארט-אפ אחרות בכוח אדם בעל מומחיות באבטחת איכות ורגולציה לבין היצע כוח האדם בשוק. היועצים

העצמאיים בתחום מציעים שירותים במחירים גבוהים מאוד. את הפער הזה ניתן לסגור באמצעות **קורסים/תארים אקדמיים מתאימים**. היום, הידע והכישורים של בוגרי מדעי החיים אינם מתאימים לנושאים אלו. היום, היועצים מגיעים מתחומים של סטטיסטיקה, מתמטיקה והנדסה אבל **אין היום תואר אקדמי ספציפי בתחום של רגולציה, למעט תכנית חדשה באוניברסיטת תל אביב**<sup>46</sup>. כמו כן, הוצע שהחברות העוסקות בתקינה ייקחו חלק בהכשרת הון אנושי מתאים.

## שת"פ בין גורמים שונים ובין מרכזים וחברות

**קשיים וחסמים** - אחת הבעיות שהעלו המרואיינים היא חוסר שיתוף הפעולה בין מרכזי הפבריקציה השונים וקבלת מידע על השירותים הניתנים במרכזים השונים מגוף מרכזי אחד או קבלת שירות מגוף מרכזי אחד. התשתיות השונות, הן באקדמיה והן בתעשייה, הינן בעלות פוטנציאל לתת שירותים משלימים תוך שיתוף פעולה.

### הצעות לפתרון -

➤ לאחרונה, הוקם מרכז ידע לאומי בהובלת משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה ה-IRCF (Israel Research Core Facilities)<sup>47</sup>, מערכת של מאגר נתונים לאומי לתיאום ושיתוף תשתיות מחקר בין כל מוסדות המחקר באקדמיה ותעשייה ההייטק בארץ. מרכז ידע זה יחבר בין כלל החוקרים לציוד מחקר ומומחים רלוונטיים בכל הארץ במטרה להעצים את שיתופי הפעולה ביניהם ולנצל בצורה מיטבית את התשתיות<sup>48</sup>. נכון לדצמבר 2022, המאגר כולל כ-800 שירותים מדעיים בכ-60 מתקני תשתית שונים (בדגש על תחומי הביו-רפואה), ובשנתיים הקרובות ימופו גם מרכזי התשתיות בתחומי מחקר נוספים (כימיה, פיזיקה, הנדסה וכו') ויונגשו היכולות הקיימות בתעשייה הישראלית בתחומים אלו.

בנוסף, יש צורך בשירות של one-stop-shop עבור חברות בתעשייה בנושאי הביו-פבריקציה כך שתהליך העבודה מול הלקוח ינוהל כולו על ידי המרכז/גוף אחד ולא ע"י הלקוח עצמו. שירות כזה חשוב על מנת לפשט את התהליך, ליצור סל שירותים גדול יותר, לקצר את לוח הזמנים ולהעלות את איכות התהליך, כלומר, לייצר תהליך שיש בו מקסימום פתרונות עבור הלקוח. פתרונות שירות ללקוח יכולים להיות מתוך מרכזים ותשתיות בארץ או בחו"ל (דוגמאות למרכזים בעולם מופיעות בנספחים ג' ו-ד').

➤ ביזור תשתיות, כמודל דו-זרועי, זרוע אחת תתמקד בתשתיות ומכוני מחקר באקדמיה וזרוע שניה תתמקד בתשתיות בתעשייה. נדרש גוף המקשר בין שני זרועות אלו לעידוד הפעילות ושיתוף הפעולה בין האקדמיה והתעשייה.

➤ הקמת שיתופי פעולה בין האקדמיה-לתעשייה בנושאי ביו-שבבים. לדוגמא, בשנת 2022 הוקם מאגד חדש בנושא של טכנולוגיות ביו צ'יפ בו משתתפים חוקרים מהאקדמיה וחברות בתעשייה

<sup>46</sup> באוקטובר 2022 הוקמה תוכנית לתואר שני ב"פיתוח ורגולציה של תרופות ומכשור רפואי" באוניברסיטת תל אביב, תוכנית מולטי-דיסציפלינרית ומשלת אקדמיה, תעשייה ומערכות בריאות. <https://med.tau.ac.il/Midrasha-MedicineDevelopandApp>

<sup>47</sup> <https://www.israel-cores.org/home>

<sup>48</sup> <https://www.gov.il/he/departments/news/most-news20221221>



לקידום תחום ה- 49BC. יצירה של שיתופי פעולה נוספים יעודדו קידום במחקר ובייצור של רעיונות חדשים.



## השירות לא ניתן בארץ

מדברי המרואיינים עולה כי, לעיתים קרובות, חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה פונים למרכזים ולחברות בחו"ל על מנת לקבל שירותי ביו-פבריקציה. להלן הקשיים והחסמים בגללם הם פונים לקבל שירות בחו"ל:

### קשיים וחסמים -

- **כיום, אין תשתית לביו-פבריקציה בארץ הנותנת מענה רחב בתחום ההתקנים המשלבים הנדסה וביולוגיה. למרכז בטכניון יש כיום מענה חלקי לנושאי הביו-פבריקציה אך יש צורך בהרחבה שתתן מענה רחב ליישומים ביולוגיים / רפואיים. חברות ה- fab הגדולות בארץ לא עוסקות בנושאים אלו, לכן, חברות וחוקרים העוסקים בנושאים ביולוגיים/רפואיים (כגון חברות העוסקות ב- medical device, נושאים של lab-on-chip או במיקרופלואידיקה-בעיקר בתחום הדיאגנוסטיקה הקלינית אך גם בתחום הפודטק) נאלצים לפנות למרכזים וחברות בחו"ל על מנת לקבל שירות. מספר חוקרים וחברות ציינו, שהם היו מעדיפים לקבל את השירות ממרכזים וחברות בארץ במידה והיה ניתן לקבל את השירות שהם צריכים (ובמידה שהשירות הוא מהיר ומתאים ללוי"ז ובמחיר שחברות הסטארט-אפ העוסקות בתחומים אלו יכולות לעמוד בו). לעבודה עם מרכזים וחברות בארץ יכולים להיות מספר יתרונות כגון קרבה גיאוגרפית וזמן תגובה מהיר יותר.**
- כאשר משלבים פבריקציה עם ביולוגיה יש צורך בחדר נקי/חדר ייעודי שהעבודה בו תעמוד בתקינה הנדרשת לצרכים רפואיים וליישומים ביולוגיים.
- אין בארץ קבוצת הנדסה חזקה שניתן להעביר לה טכנולוגיות ליישום על אפליקציות ביולוגיות והמכירה את הקבוצות הביולוגיות בארץ שעוסקות בנושאים אלו. היום הביולוגים נאלצים לפנות לחברות שמבצעות rapid prototyping שנמצאות בחו"ל. בנוסף, תהליכי ההתקשרות עם חברה בחו"ל הם מורכבים וארוכים וכך גם תהליך השירות בפועל.
- אחת הבעיות בפנייה לחברות rapid prototype בחו"ל היא, שגם אצלן הייצור הוא בכמויות גדולות והייצור בכמויות קטנות מתבצע רק אם יש כדאיות לחברה המייצרת לעשות זאת. השירותים בחו"ל מעלים קשיים של עבודה מרחוק ולכן גם מלווים בתהליכים ארוכים הנובעים מכך. תהליכי ההתקשרות עם חברה בחו"ל הם מורכבים וארוכים וכך גם תהליך השירות בפועל (רשימת חברות ומרכזים איתם עובדים חוקרים וחברות בחו"ל מוצגת בנספח א', טבלה 4). יתרה מכך, לפעמים החברות נאלצות להתפשר על מה שהחברות בחו"ל יכולות לתת.

<sup>49</sup> מאגד IGBT (Technology Biochip Generic Israel, טכנולוגיות ביו צ'יפ) - מאגד מתחום השבבים האלקטרוניים והביו-שבבים ומטרתו לפתח אבני בניין טכנולוגיות ליצירת יתרון טכנולוגי תחרותי בישראל, בתחום החישה הרציפה והמולטי סנסורית של גוף האדם (בהקשר הרפואי). [דו"ח שנתי מצב ההיי-טק 2022](#), הרשות לחדשנות.

➤ חברות שצריכות לייצר בכמויות קטנות אינן יכולות לפנות לחברות ה-fab הגדולות בארץ, מכיוון שחברות אלו מייצרות רק בכמויות גדולות. חסרה תשתית בעלת יכולות של ייצור סדרתי בקנה מידה קטן, כך שעבור חברות שצריכות להוכיח שהטכנולוגיה שלהן עובדת. **חשוב גם שתהיה אפשרות לעבור לאחר מכן לייצור בכמויות גדולות (scale up)**. חסרון זה מהווה צוואר בקבוק (ישנם בארץ תהליכים הנעשים ברמת הייצור הידני והם לרוב אינם מתאימים לצרכי החברות או שהשירותים יקרים מדי). דוגמאות לשירות עבור פונים לחו"ל: ניזופים אופטיים בסין; קווי ייצור של קטטרים באירלנד ובגרמניה; קווי ייצור המיועדים לשתלים ולשימושים רפואיים, כולל שימוש בטכנולוגיות MEMS עם ניטיוול (ניקל-טיטניום) בגרמניה; packaging עם מעטפת זכוכית ביפן.

### הצעות לפתרון -

➤ הקמת תשתית המשלבת את התהליכים של הביולוגיה המולקולרית יחד עם תהליכי האלקטרוניקה (באותו חדר/מתחם) - החשיבות למיקום אחד נובעת מנושאים של זמנים וידע: הפרדת מקומות פיזיים מורידה את האיכות, גוררת הפרדת ידע, וכאשר מפרידים ידע, כוח האדם שיודע אלקטרוניקה לא ילמד את נושא הביולוגיה ולהיפך.

➤ היקף שירותים רחב של תשתית לביו-פבריקציה כך ששירותים מסוימים יוגדרו כתהליכים סטנדרטיים מוכנים שניתן ליישם אותם בצורה מהירה בעבודה, כגון תהליך ה-backend בפבריקציה<sup>50</sup>.

➤ בנייה של קווי ייצור (בתשתית הייעודית, אצל הלקוח, או במקום ייעודי אחר) - הלקוחות מצפים מהיצרן להביא מוצר סופי. כלומר, תהליכים רבים חייבים להסתיים בשלב האריזה או בחדר נקי.

➤ מקום פיזי במרכז שבו החברות יכולות לשבת פיזית לכל אורך תקופת השירות ולעבוד עם צוות התשתית.

"הבסיס של העניין הוא שצריכה להיות מערכת תשתיתית שיוצרת לתמוך ברעיונות, אין בעיה של רעיונות. תהליך ניפוי הרעיונות למשמעות כלכלית-עסקית תלוי מאוד בתשתיות" (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

"אחת הסיבות של הקמת תשתיות כאלה, זה לייצר בארץ מכניזם של פידבק חיובי, שחברות יישארו בארץ, כמו שקרה במיקרו אלקטרוניקה" (מתוך ראיון עם חוקר באקדמיה)

<sup>50</sup> In the back-end process, the semiconductor is cut from the wafer and converted into a product. [Matsusada Precision Inc.](#) November 2022.

איור 16: סיכום הקשיים והחסמים בקבלת שירותי ביו-פבריקציה בארץ מנקודת מבטם של המרואיינים



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com Copyright

## 2.2.5 שיתוף פעולה של התעשייה עם המרכז בטכניון

למרכז בטכניון יש משאבי ציוד וכ"א נרחבים, ידע ומומחיות רבה בתחומי המיקרואלקטרוניקה והננוטכנולוגיה. בכנס בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה שנערך על ידי מוסד שמואל נאמן (ראה נספח ה') נערך סיור לחברות במרכז למיקרו וננו פבריקציה שמטרתו הייתה לחשוף את החברות (ובהם גם חלק מהמרואיינים שהתראיינו למחקר זה) ליכולות הגבוהות הקיימות כבר כעת בטכניון ושחלקן עונות על הדרישות אותן תיאר.

תחום ה- medical devices הוא תחום מצליח בארץ אך יש מקום להגדיל ולהעשיר את שיתוף הפעולה בין האקדמיה והתעשייה בנושא זה. הקושי בשילוב של נושאים אלו בין האקדמיה והתעשייה נובע כתוצאה מקשיים ניהוליים. כלומר, מעבר למומחיות מקצועית וציוד נדרש לפבריקציה יש צורך בכוח אדם בעל ידע ומומחיות בניהול פרויקטים משולבי ביולוגיה ואלקטרוניקה. חשוב שמומחה כזה יהיה איש ניהול (המכיר את נושא הביולוגיה והאלקטרוניקה) מהתעשייה שיוכל לחבר בין התחומים השונים ולנהל את המעבר מהאקדמיה לתעשייה ואת ההתממשקות בין התחומים. האקדמיה עובדת בצורה שונה מהתעשייה ומרכז אקדמי צריך גם הבנה של איך התעשייה עובדת.

לכן, נשאלת השאלה, האם להרחיב את המשאב הקיים (המרכז הנוכחי בטכניון למיקרו ונגו פבריקציה) או האם להרחיב/להקים מרכז חדש-נוסף כמשלים לפעילות המרכז הנוכחי?

להלן מפורטים הנושאים העיקריים שהעלו המרואיינים ושיכולים לתרום ולעודד את שיתוף הפעולה עם המרכז בטכניון, אם על ידי הרחבתו או היותו חלק מתשתית רחבה יותר, כפי שעלה מתוך הראיונות (סיכום מוצג באיור 17):

## הרחבת המרכז הקיים בטכניון

בנוסף לפוטנציאל הקיים בשיתוף הפעולה עם חברות מהתעשייה, פיתוח תחום הביולוגיה במרכז יכול לשרת חוקרים רבים באקדמיה ובכתי חולים. על מנת להרחיב את המשאב הקיים של המרכז בטכניון יש לחזק את תחום הביולוגיה-אלקטרוניקה ולהרחיב את התשתית לייצור של יישומי ביולוגיה בחדרים נקיים, גם מבחינת ידע וגם מבחינת ציוד.

החוקרים בטכניון הדגישו את החשיבות ביישום הביולוגיה והאלקטרוניקה באותו מקום פיזי, כך שהיעילות לא תהיה רק מבחינת קבועי הזמן אלא גם מבחינת הידע והמומחיות הנוצרים משילוב התחומים הקריטיים להצלחת הפרויקט. הביולוגיה והאלקטרוניקה הם שני עולמות נפרדים ולכן על מנת לבנות תשתית לאומית שתשפיע על התעשייה ועל הסטודנטים, צריך סטודנטים בעלי ידע משני העולמות, פבריקציה של אלקטרוניקה וביולוגיה, שיעבדו פיזית במעבדה (דוגמא לפעילות של המרכז בטכניון מופיעה בנספח ו').

**החברות שרואיינו הביעו עניין במרכז בטכניון**, ביקשו להכיר את הפעילות במרכז ולבדוק את האפשרות לשיתוף פעולה. עם זאת, הן ציינו מספר נושאים חשובים שיש לתת עליהם את הדעת בהקשר ליישום במרכז ועל מנת לקדם את שיתוף הפעולה:

- **לוח זמנים** – החברות הביעו חשש כי הן יתקלו בבעיה של לוחות זמנים לא מהירים מספיק. עם זאת, הוזכרה האפשרות לשת"פ בשלב ה-pre-clinical עבור חברות שצריכות לייצר מספר יחידות לקראת ה-clinical trials.
- **ייצור בכמויות קטנות, כולל ייצור MEMS** - היתרון בשיתוף פעולה עם המרכז עולה מתוך הצורך בייצור בכמויות קטנות (כולל ייצור MEMS) שיכול לפתוח פתח לשיתופי פעולה עם חברות סטארט-אפ בתחילת הדרך – צורך שלא מסופק על ידי חברות ה-fab הגדולות בארץ ומהווה חסם לפעילות חברות הסטארט-אפ. חסם זה מונע מחברות פוטנציאליות לפנות לתחום ה-BC.
- **ידע וציוד** – למרכז בטכניון יש ידע מקצועי ומומחיות בפבריקציה ועוסק כבר היום בשילוב נושאי האלקטרוניקה והביולוגיה. עם זאת, נראה כי יש מקום להרחבה של נושאי הביולוגיה כולל ציוד ומכונות שיתאימו לצרכי החברות וחוקרים מהאקדמיה.
- **עזרה בתכן ואפיון** - מהנדס מהמרכז שיוכל לעזור לחברות קטנות ולחוקרים מהתחום הביולוגי בתכן ובאפיון של הרעיון/ההתקן אותו הם מבקשים לקבל.

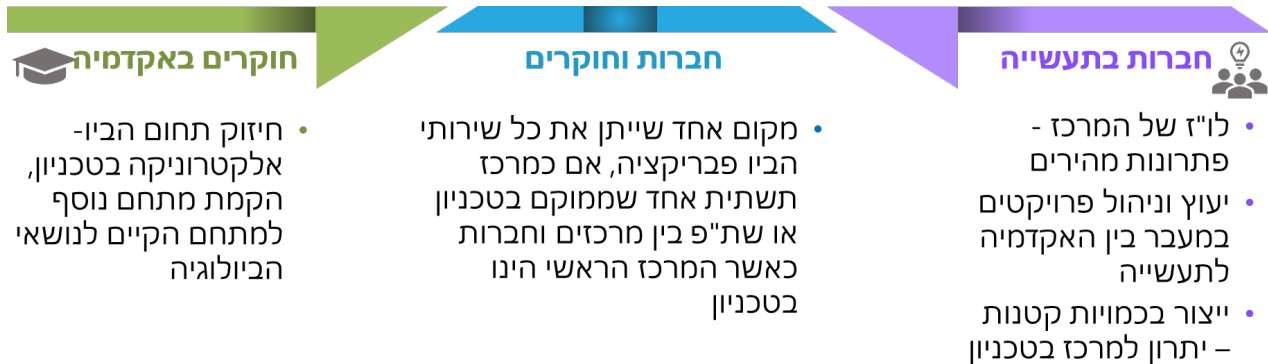
- חומרים המשמשים לייצור ההתקן – כבר היום, המרכז בטכניון עובד עם חומרים רבים כגון סיליקון, זכוכית, PDMS ומתכות. עם זאת, נדרשת התאמה/הרחבה של סוגי חומרים. בנוסף, בחלק מהחברות ההתקנים נכנסים לגוף ולכן נדרשת עבודה עם פולימרים בעלי תכונות של Bio compatibility.
- עמידה בתקנים - בחלק מהחברות נדרשת עבודה לפי תקנים הנדרשים בתחום הרפואי.
- כיוול מכשירים - כיוול תקופתי יזום.
- זיהום צולב – יש לוודא שלא יהיה זיהום צולב (cross contamination) במכשיר כאשר בעבודה על פרויקטים שונים.

### המרכז בטכניון כחלק מתשתית רחבה ל- BC

מתוך הראיונות עלו מספר אפשרויות בהן, המרכז בטכניון יפעל בשיתוף פעולה עם מרכזים/מכונים נוספים כאשר לטכניון יש יתרון עצום בארץ בנושא היכולות ההנדסיות לצד היכולות בעולם הרפואה. להלן תיאור האפשרויות:

- מרכז נוסף שיוקם בצמוד למרכז הקיים בטכניון (MNFU). על מנת להרחיב את הפעילות בנושאים הביולוגיים ניתן להקים מרכז/אגף משלים למרכז הקיים. הרעיון הוא ששני המרכזים יעבדו ביניהם בשיתוף פעולה כ"פס ייצור", כלומר, התקן שיוצא ממרכז MNFU יעבור למרכז החדש להמשך עבודה. למרכז העתידי יהיה ממשק חזק מאוד עם מרכז ה- MNFU והתכנון שלו ייגזר גם מהשותפות איתו.
- תשתית לאומית מרכזית - שיתוף פעולה ואינטגרציה בין מרכזים שונים/אוניברסיטאות/מכונים/חברות (בארץ ובחו"ל). כלומר, ליצור מבנה של hub (תשתית לאומית מרכזית) בישראל לשיתוף משאבים וליצירת חיבורים. ה- hub ייבנה סביב תשתיות קיימות או חדשות. במרכז כזה יהיו מומחים בהנדסת מערכת והם יוכלו לכוון את העבודה, איזה חלק בייצור יעשה במרכז בטכניון ואיזה חלק יעשה במקומות אחרים. מבחינת תשתיות, נדרשת תשתית בסיסית של חדר נקי בסיסי, ביולוגיה והנדסה, שבו ניתן יהיה לנהל את נושא הכנסת החומרים הביולוגיים לחדר נקי (דוגמאות למבנים של מרכזי מחקר משותפים לאקדמיה ולתעשייה מופיעות בנספח ג').
- הקמה של גוף ניהולי – גוף שירכז את הפעילות של האקדמיה והתעשייה ויקדם את שיתוף הפעולה ביניהם, יספק ניהול פרויקטים, ייעוץ כלכלי וייעוץ לדרישות תקינה ורגולציה. במקרה זה, המרכז בטכניון יהיה חלק מקונסורציום.

איור 17: סיכום הנושאים העיקריים כחשובים לשיתוף פעולה עם המרכז בטכניון כפי שעלו בראיונות



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com

## 2.2.6 מדיניות ברמת המדינה

בתחומי הפיזיקה והאלקטרוניקה מתקיים שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה, שיתוף פעולה שהביא את ישראל למובילות בהייטק. על מנת למנף את תחום ה-BC יש צורך ליצור שיתוף פעולה כזה גם בין תחומי הביולוגיה/כימיה והאלקטרוניקה/מוליכים למחצה. בנוסף, על מנת למנף את התחום, יש צורך בהקמת מרכז לביו-פבריקציה לייצור של התקנים משולבי ביולוגיה.

חוקרים וחברות בישראל נעזרים בשירותים של חברות ומרכזים בחו"ל על מנת לייצר בכמויות קטנות וייצור של אבי טיפוס. אבל, צורת עבודה זו גוררת בעיות שונות: 1. פתרונות לא מתאימים, כלומר, גם במקומות אלו לא תמיד ניתן לייצר את מה שצריכים בכמויות קטנות ונאלצים להתפשר על פתרונות אחרים פחות מתאימים; 2. השירותים הם מאוד יקרים וחברות קטנות מתחילות לא תמיד יכולות לעמוד בעלויות; 3. העבודה מרחוק כרוכה בתהליכים ארוכים ולא קלים לביצוע.

המצב כיום הוא שלמרות שמדינת ישראל היא מדינת הייטק/סטארט-אפ מובילה, היא לא הפכה גם ליצרנית מובילה. הסיבות לכך הן:

- הייצור בארץ יקר.
- התעשיות המסורתיות מתקשות לעבור ליישום תהליכים של Industry 4.0, הן מימונית והן מנטלית.
- ישנו חוסר גדול בכוח אדם מקצועי בתחום הייצור.
- שוק מקומי קטן.
- קיים בארץ עידוד ממשלתי של יזמות, פיתוח וחדשנות אך ללא התניה לייצור בארץ.

על מנת לפתור בעיות אלו ניתן לבצע מספר פעולות ברמת המדינה כגון הקמת תשתית לאומית לביו-פבריקציה, השקעה בייצור ובכוח אדם ויצירת פתרונות כלכליים למינוף התחום.

## הקמת תשתית לאומית לביו-פבריקציה בישראל

המרוויינים נשאלו על הקמת תשתית לאומית לביו-פבריקציה בישראל, על המבנה של תשתית כזו ועל הפעילות שלה.

### ❖ מבנה התשתית

ישנן גישות שונות למבנה התשתית הלאומית לביו-פבריקציה:

➤ על פי גישה אחת, יש להקים תשתית אחת שתרכז את כל שירותי הביו-פבריקציה במקום אחד, תתמוך בפיתוח ותיתן שירות לתעשייה, בעיקר לחברות קטנות, אך גם לאקדמיה.

התשתית תדאג ליצירת מפגשים תקופתיים בין צרכנים (רופאים/בתי חולים/יזמים, חברות) לנותני השירות, עריכה של כנסים וובינרים בתחום.

➤ על פי גישה אחרת, תשתית מבוזרת בעלת גוף ראשי (hub) שיחבר גופים שונים (אקדמיה, מכוני מחקר ישראלים או בינ"ל, בתי חולים, חברות גדולות בתעשייה, מרכזים סמי-תעשייתיים, יזמים וכדומה), שיציעו את התשתיות שלהם לתעשייה ויעודדו את הפיתוח של התחום. התשתית תיתן שירותי מחקר ופיתוח לאקדמיה ולתעשייה, תהיה בעלת אוריינטציה אקדמית אבל עם דגש חזק יותר על שירות לתעשייה, כלומר, התשתית תספק מומחים שיתנו שירות לחברות הסטארט-אפ ויוכלו לספק תשובות למגוון די רחב של דברים בנושאים הנוגעים ל-BC. בנוסף, הגוף הראשי ינהל את האינטגרציה בין צרכי החברות בתחילת דרכן ובין הממשק המתאים להן לפנות אליו לייצור.

אחת הגישות לתשתית מבוזרת היא ליצור מודל דו-זרועי, מכון מחקר אקדמי ומכון מחקר תעשייתי עם גוף המקשר בין האקדמיה והתעשייה.

מבחינה פיזית, התשתית תהיה מורכבת ממרכזים וחברות הנמצאים במקומות שונים, עם זאת, הלקוח יקבל את השירות במקום אחד. קיים יתרון בקרבה של תשתית הייצור לאקדמיה, מכיוון שככל שהייצור יהיה קרוב אל האקדמיה כך סיכויי ההפריה ההדדית וההצלחה הם גדולים יותר והתועלת תהיה הדדית (תעשייה ואקדמיה), עם זאת, ה-hub לא יהיה מנוהל על ידי האקדמיה.

➤ ישנה הסכמה רווחת על פיה, תשתית כזו, בכל מבנה, נדרשת לנהל את הניהול האדמיניסטרטיבי ואת הנושא המשפטי הקשור לפרויקטים להם היא נותנת שירות וגם לספק טכנאים ומהנדסים מומחים שיתנו את השירות המקצועי המבוקש.

➤ טיפוח ופיתוח הקשר ושיתוף הפעולה של אקדמיה ותעשייה יקדם את קידומה ופיתוחה של תשתית לביו-פבריקציה.

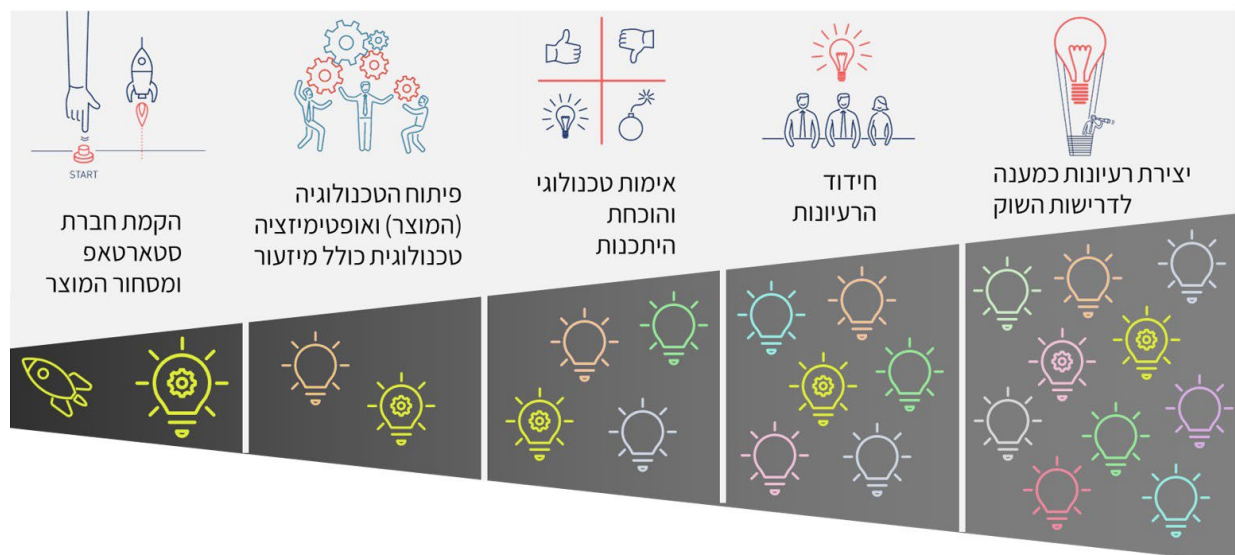
## ❖ יתרונות בהקמת תשתית לאומית לביו-פבריקציה

ישנם מספר יתרונות הנובעים מהקמת תשתית לאומית לביו-פבריקציה בישראל:

תחום ה-BC יהפוך למנוע צמיחה - אין מנוע צמיחה ללא ייצור, לכן, אם מבקשים להפוך את תחום ה-BC למנוע צמיחה בישראל יש להקים מערכת תשתיתית שיודעת לתמוך ברעיונות ובפיתוח ולקיים תהליך של ניפוי הרעיונות למשמעות כלכלית-עסקית (אזור 18).

"תהליך ניפוי הרעיונות למשמעות כלכלית-עסקית תלוי מאוד בתשתיות כי הרעיון יכול לעשות כבת דרך מסוימת או בעולם האלקטרוניקה-חשמל-פיזיקה או בעולם הביולוגיה-ביוכימיה. המקום שבו [עולמות אלו] נפגשים זה המקום של התשתיות כי צריך לברר את הקונספטים ביחד" (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

איור 18: תיאור תהליך ההתפתחות של הרעיון הטכנולוגי, מהאקדמיה לתעשייה



מקור: מוסד שמואל נאמן; עיצוב: אלה ברזני, מוסד שמואל נאמן

➤ יתרון כלכלי לחוקרים ולחברות שפועלים בישראל המתבטא בהוזלת עלויות ייצור, כוח אדם, משאבים פיזיים ומשאבי מחקר. חברות סטארט-אפ בינוניות רוכשות, לעיתים, ציוד שישב בחברה, צעד הכרוך בעלויות כספיות גדולות. מלבד העלויות הכספיות רכישה של ציוד כרוכה בצורך בתחזוקה והכשרת כוח אדם שידע לעבוד עם המכשיר ולכן יש יתרון לציוד שישב במרכז שירות ולא בחברות עצמן. סיבות אלו מביאות לעתים חברות מתחילות להעתיק את פעילותן לחו"ל.

➤ קרבה גיאוגרפית - מעבר להוזלת עלויות, לקרבה הגיאוגרפית יש משמעות חשובה לחברות ולחוקרים בעלי הרעיון המדעי, במיוחד בפרויקטים התחלתיים. האינטראקציה היומיומית בין הייצור לפיתוח חשובה להעלאת ההפריה ההדדית מרמת הרעיונות לרמת התעשייה.



"יש משמעות למרחק הגיאוגרפי במיוחד בפרויקטים התחלתיים. ככל שזה קרוב יותר למדען או לסטארט-אפ שממנו הדברים יוצאים, כך האינטראקציה היומיומית בין התיעוש לאסוציאציה חשוב יותר" (מתוך ראיון עם חברה בתעשייה)

- יתרון אסטרטגי - מבחינה אסטרטגית מרכז כזה יוכל להתחרות על מענקי מחקר (גרנטים) אירופאים כישות עצמאית, לא כנותן שירות בלבד.

## ❖ השקעה בייצור

- יכולות של תכנון וייצור ברמת המדינה - אין מספיק יוזמות בתחום ה-BC מכיוון שיזמים לא יודעים שזה אפשרי לפעול בתחום הזה בארץ ולכן לא יציעו רעיונות ופתרונות מתחום זה. ליכולות ייצור כאלו ברמת המדינה יש את הפוטנציאל לפתח את התעשייה והביו-רפואה, גם בטווח הארוך, וליצור "רעב" ותמריץ אצל יזמים להיכנס לתחום זה.

"צריך שלחברות קטנות שאין להם את כל התשתיות, תהיה מעין מעבדה שתספק את כל השירותים הללו... אולי ברמה הלאומית זה משהו שכן צריך לאפשר" (מתוך ראיון עם חוקר באקדמיה)

- הקמה של תעשייה יצרנית וייצור של התקנים ביולוגיים - יש חוסר מאוד גדול בתשתיות לתעשיית הביוטכנולוגיה בעיקר בנושא של ייצור.
- ליצור יכולות של ייצור בכמויות קטנות. ישנם מקומות בחו"ל המייצרים בכמויות קטנות אך הייצור בחו"ל והמרחק הגיאוגרפי הנובע מכך גורר בעיות, במיוחד בפרויקטים התחלתיים.
- פעילות ממשלתית להגדלת הייצור בארץ, כך שסך כמות ייצור מסוימת הנעשית על ידי חברות ישראליות תיעשה בארץ. לשם כך יש צורך ביכולות ייצור מתאימות.
- הקמת קונסורציום עתידי להגדרה ופיתוח של טכנולוגיות ייצור שיקדמו את הפיתוח מחד ובמקביל יאפשרו הקמת חברות הזנק.
- חממות ממשלתיות – שילוב מפעלים ספציפיים קרובים גאוגרפית לחממות כפתרון ייצור ראשוני או ניהול פרויקטים של ייצור.

צריך ליצור יכולת של ייצור בכמויות קטנות למשל, בתחום תאי הגזע, החלבונים הם תעשיית ענק של מיליארדי דולרים שתלויה ב scale .... [החוקר] לא יכול להגיע לא לאיכות GMP ולא לכמות שנדרשת לניסויים קליניים ב facility שהוא בתוך המעבדה. יש מעט מאוד מעבדות בעולם, בישראל אולי 2-3 אקדמיות, שיכולות לעשות את זה אך לא מספיק טוב מכיוון שנדרשת דיסציפלינה נוספת - שיוזעת לקחת גם מהתיעוש- שזו צורת חשיבה וגם מהביולוגיה או מהאקדמיה, וזה כמעט שלא קיים בארץ" (מתוך ראיון עם חברה מהתעשייה).

"צריך לקיים "שילוש קדוש" – גורם ממשלתי מממן, הצרכים (החברות) והטכנולוגיה (היצרנים). אם המדינה לא תיצור ייצור איכותי ומתקדם טכנולוגית התעשייה תזלוג לחו"ל. זה ישפיע גם על תעשיית ההייטק מבוססת הטכנולוגיה - גם היא לא תהיה קיימת כי היא לא תעביר רק את הייצור לחו"ל אלא גם את המו"פ כי המו"פ צריך להיות ליד הייצור"<sup>51</sup> (מתוך ראיון עם חברה מהתעשייה).

## ❖ השקעה בכוח אדם

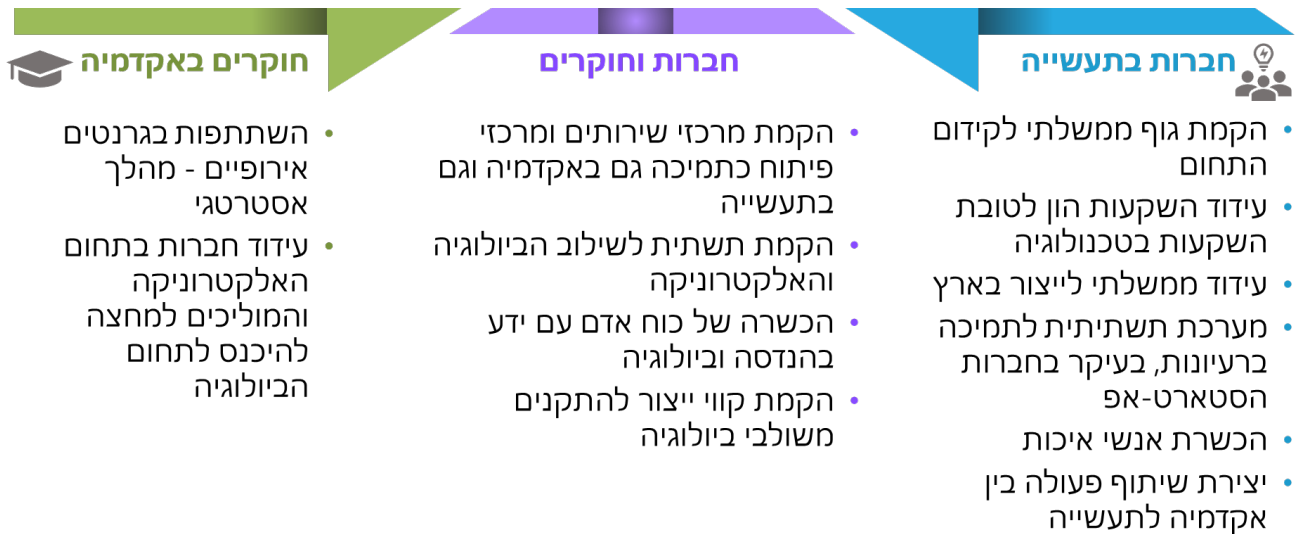
- עידוד גופי הסמכה כמו מכון התקנים להכשרת אנשי אבטחת איכות ורגולציה.
- הרחבת ההכשרות של מהנדסים והנדסאים לתעשייה יצרנית.
- הכשרת בוגרים שיוכלו להשתלב בתעשיית ה-BC - בוגרים שיהיו בעלי ידע גם בביולוגיה וגם בהנדסה. כיום, תארים בתחומי הנדסה מסוימים (כגון חשמל ואלקטרוניקה) אינם נותנים הכשרה בנושאי הביולוגיה. אחת האפשרויות להרחבת ההכשרה היא באמצעות פרויקטים מהתעשייה עם האקדמיה. בנוסף, בוגרי הנדסת חומרים העובדים כמהנדסי תהליך לא מכירים את התחום הרפואי ואת החיבור של הביולוגיה להנדסת חומרים – יש צורך להכניס את הביולוגיה ללימודי הנדסת החומרים.

## ❖ פתרונות כלכליים

- מימון ממשלתי בהקמת קווי ייצור בארץ.
- על מנת שלא תהיה זליגה של ייצור של חברות סטרטאפ לחו"ל, יש צורך בהגדרת קריטריונים ממשלתיים לפיהם אחוז כלשהו מהייצור יתבצע בישראל.
- חוקי מיסוי – שינוי חוק עידוד השקעות הון לטובת השקעות בטכנולוגיה.
- שיתופי פעולה עם קרנות הון סיכון ובנקים להשקעות – הגדרת אחוז השקעה בטכנולוגיות ייצור מתקדמות.
- אם מדובר בתשתית אחת או בתשתית מבוזרת, ישנה תועלת בהקמת גוף להערכה כלכלית (כגון קרן הון סיכון) שיפעל בצמוד לתשתית לביו-פבריקציה. תפקידו של מרכז קרן הון סיכון יהיה להעריך האם לרעיון מסוים קיים סיכוי מסחרי, כלומר, האם ניתן לתרגם את הרעיון לייצור בסדר גודל תעשייתי במחיר משתלם. תהליך ניפוי רעיונות למשמעות כלכלית-עסקית, למסחור, תלוי מאוד בתשתיות הייצור. גוף כזה יהיה גוף עצמאי המתממשק עם התעשייה, עם האקדמיה, עם הממשלה, עם צרכי המימון וינהל את ההתפתחות של הרעיונות למוצרים.

<sup>51</sup> סיכום של ד"ר שרון לפלר מחברת Qulab Medical (נספח ב')

איור 19: סיכום נושאי מדיניות כפי שהומלצו על ידי חברות בתעשייה וחוקרים באקדמיה



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לממצאי המחקר, © Showeet.com

## 2.2.7 נגישות למידע של המרכז בטכניון

חלק מהחברות ציינו שהם לא היו מודעים לקיומו ולפעילותו של מרכז המיקרו והננו פבריקציה בטכניון וכן לא תמיד ברור למי עליהם לפנות בנושאי פבריקציה.

לכן, כדאי להרחיב את דרכי ההתקשרות עם המרכז והמידע על פעילותו ויכולותיו על מנת שחברות יכירו את המרכז למיקרו וננו פבריקציה ויוכלו לפנות למרכז בעת הצורך:

- אתר אינטרנט מובנה עם פירוט ודוגמאות של הפעילויות והיכולות של המרכז המאפשר מעקב אחר פרויקטים בביצוע.
- הצגת אנשי הקשר ואת פרטי ההתקשרות אליהם יש לפנות, הן באתר המרכז והן באתר הטכניון כחלק מרשימת מרכזים הפועלים בטכניון.
- אנשי קשר בטכניון (אך מחוץ למרכז) שיוכלו לכוון לקוחות למרכז בהתאם לרלבנטיות.
- על מנת לקדם את המודעות למרכז ולפעילותו, כדאי לקיים וובינרים, הרצאות וכנסים לחברות, יזמים, סטודנטים ומתעניינים אחרים בנושאים הרלבנטיים, כך שהמרכז יציג את היכולות שלו וימשוך יזמים וסטרטאפים להגיע למרכז.

## 2.3 כנס בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה

כנס לסיעור מוחות בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה נערך במוסד שמואל נאמן בתאריך 29 לדצמבר 2022 (נספח ה').

בכנס השתתפו 21 משתתפים: נציגי חברות מהתעשייה, חברי סגל מהטכניון, מרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון.

התובנות המרכזיות שהוצעו בכנס הן:

- צרכי האקדמיה שונים מצרכי התעשייה בכל הקשור לייצור של ביו-התקנים
  - ישנה התעניינות רבה בקרב חוקרים מהטכניון באפשרות להקים תשתית לביו-התקנים.
  - הומלץ לגשת לקול הקורא כשותפות של אקדמיה ותעשייה שכן, על פי הנאמר בכנס, זה המודל שהרשות לחדשנות מחפשת כיום.
  - תשתית לביו-התקנים צריכה לשלב את החשיבה התעשייתית והחשיבה האקדמית ולנהל את הקשר בין האקדמיה לתעשייה.
  - מרכז כזה ייתן ערך מוסף רב בנוגע לנושא ההכשרות שכן סטודנטים יעבדו על פרויקטים תעשייתיים ויצרו קשר עם התעשייה.
- הנציגים מהאקדמיה הדגישו את הנקודות הבאות החשובות ליישום בתשתית של BC:
- חיזוק נושאי ה-BC בטכניון (ביולוגיה סינתטית, מיקרופלואידיקה, ייצור MEMS).
  - הצורך בחדרים נקיים.
  - שילוב של נושאי הביולוגיה וההנדסה - ההתקנים המיוצרים במרכז צריכים להיות משולבים עם הביולוגיה (ממשק אלקטרוניקה לביולוגיה ברמת ההתקן).
- הנציגים מהתעשייה הדגישו את הנקודות הבאות החשובות ליישום בתשתית של BC:
- תשתית ל-BC: יצירה של מודל דו זרועי – מצד אחד תשתית אקדמית ומצד שני תשתית תעשייתית שתכלול גם מפעלי ייצור, כאשר התשתית הראשונית לפיתוח הפרויקט היא התשתית האקדמית.
  - תשתית מרכזית שתפעל כ- one stop shop יחד עם הוצאת עבודה למיקור חוץ (outsourcing) ושיתוף פעולה עם גורמים נוספים.
  - המרכז בטכניון כקבלן משנה – הצרכים למרכז יתבהרו מתוך הרעיונות שיגיעו למרכז.
  - צריכה להיות מעורבות חזקה לתעשיות הגדולות בתשתית כזו ולכן צריך חברה גדולה מהתעשייה שתיכנס לנושא הייצור על מנת לאפשר את הפעילות של חברות קטנות.

- מרכז ל-BC צריך לשלב את החשיבה התעשייתית והחשיבה האקדמית – ולנהל את הקשר בין האקדמיה לתעשייה – לצורך כך דרוש מנהל פרויקט בעל הכשרה מתאימה.
- לא ניתן במרכזים באוניברסיטאות לעשות ייצור מעבר להיתכנות של אבי טיפוס, וזה לא מספיק על מנת לענות על צרכי התעשייה לטווח הארוך (אבל מספיק לשלב המו"פ).
- יש צורך ביכולת ייצור בכמויות קטנות וייצור של MEMS גם במרכז אוניברסיטאי לפני המעבר לייצור מסחרי. דבר זה חשוב ביותר לגמר תהליך הפיתוח.
- יכולות של CMOS כנראה לא יהיו במרכז האוניברסיטאי, בגלל מורכבות הנושא.
- לסטרטאפים אין תמיד את היכולות להבין לאילו מהרעיונות יש היתכנות מסחרית, לכן חשוב מאוד שלמרכזים האקדמיים תהיה אוריינטציה לתעשייה ולתת שירותים לתעשייה וכולל גם אנשים המומחים ב-Business Development.
- יש צורך בצוות במרכז לביו-פבריקציה שיתמוך בחברות קטנות במגוון תחומים: אלקטרוניקה, תוכנה, ניהול, פבריקציה, אלקטרוניקה וביולוגיה, תמיכה באפיון ובתכנון שעל פיו ניתן לייצר אב-טיפוס למטרות בדיקות ראשוניות.
- יש צורך באנשי מקצוע מומחים במרכז כזה, בעלי מומחיות לא רק בתפעול המכשירים אלא גם בתהליכים ובעלי יכולת לתרגם את הרעיון לשפת הפבריקציה, כלומר, הסטרטאפים צריכים את העזרה של "איך לבצע את הדברים".
- מרכז הביו-פבריקציה צריך לכלול גם אנשים בעלי מומחיות בתחומי הרגולציה ואבטחת האיכות על מנת לתת מענה מיטבי לחברות.
- ישנן חברות סטארט-אפ שחייבות שנושא איכות הייצור יתקיים על מנת שיוכלו להביא את הרעיון לניסויים בבעלי חיים, כלומר הם צריכים שה proof of concept וייצור בכמות ביניים יעשה במקום אחד תחת תנאי ייצור נאותים (GMP/GCP המתאימים). חברות אחרות צריכות ייצור בכמויות קטנות עם איכות לקראת clinical trials – צורך בתשתית של חדר נקי.
- חסרים אנשי רגולציה לחברות הסטארט-אפ.
- נושא ה IP חשוב – וצריך להישאר אצל החברות.
- לחברות שצריכות ייצור בכמויות קטנות קשה מאוד לעבוד מול fab בחו"ל ובארץ אין אפשרות מתאימה לייצור כזה.
- נדרשת הכשרה מולטי-דיסציפלינרית של סטודנטים, הנדסה וביולוגיה, אך גם ניהול ויזמות, על מנת שההכשרה תהיה מותאמת לצרכי התעשייה. בנוסף, יש צורך בהכשרה של אנשי רגולציה.
- לתעשייה קשה מאוד להביא סטודנטים שיעבדו בחברות, הפתרון הוא שהסטודנטים יעשו סטאז' בחברות אלו.

## 3. נספחים

### נספח א' - פרטי מחקר נוספים

טבלה 2: רשימת מרואיינים - חברי סגל וחוקרים מהטכניון\*

שם המרואיין	פקולטה**	תפקיד
פרופ' מורן ברקוביץ	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון; <a href="#">מעבדה למיקרופלואידיקה</a>	חבר סגל
פרופ' ראמז דניאל	הפקולטה להנדסה ביו-רפואית, הטכניון; <a href="#">מעבדה לביולוגיה סינתטית וביו-אלקטרוניקה</a> נושאי מחקר: עקרונות של תכנון מעגלים ביולוגיים במערכות חיים (שערים לוגיים, תכנון אנלוגי, מתנדבים, זיכרונות) מידול מערכות ביולוגיות על-ידי רכיבים חשמליים יישומים בתעשייה פיתוח חיישנים ביולוגיים חכמים לזיהוי רעלים, יצור אנרגיה חשמלית על-ידי חיידקים מהונדסים גנטית פיתוח מערכות הנדסיות משלבות ביולוגיה סינתטית ואלקטרוניקה	חבר סגל
פרופ' אסתי סגל	הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, הטכניון; מעבדת <a href="#">functional nanomaterials</a> נושאי מחקר: תכנון, סינתזה ואפיון של ננו חומרים פונקציונליים ויישומם כחיישנים ביולוגיים ונשאים להובלת תרופות, פיתוח של חומרים לאריזות מזון "חכמות".	חברת סגל
פרופ' שולמית לכנברג	הפקולטה להנדסה ביו-רפואית טכניון, הטכניון; <a href="#">מעבדה להנדסת רקמות ותאי גזע</a> נושאי המחקר: התמיינות תאי גזע לכיוון יצירת מערך כלי דם התארגנות תאי גזע בתלת-ממד ליצירת רקמות מורכבות שימוש בפולימרים מתכלים כפיגומים להתארגנות תאים, התמיינות ויצירת רקמות הדפסת רקמות בתלת מימד	חברת סגל
ד"ר עילם ילון	הפקולטה להנדסת חשמל ומחשבים, הטכניון;	חבר סגל

	<a href="#">מעבדת מחקר Electron device physics &amp; Energy in electronics</a> תחומי מחקר: מיקרואלקטרוניקה וננו- אלקטרוניקה	
חבר סגל	הפקולטה להנדסה ביו-רפואית, הטכניון; <a href="#">מעבדת Bioelectric and Biomechanical interfaces</a> נושאי מחקר: פיתוח שיטות לסטימולציה ביו-חשמלית, אל-חוטית, ברזולוציה תת-תאית בתרבית וברקמה. יישום חומרים פוטו-וולטאיים מבוססי סיליקון לסטימולציה ביו-חשמלית ברמת הננו והמיקרו. שימוש בננו-חומרים מגנטיים לסטימולציה ביו-מכנית וביו-חשמלית של תאים ורקמות.	ד"ר מנחם (חמי) רוטנברג
חבר סגל	הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, הטכניון; <a href="#">מעבדת Biophysical Systems Toward Artificial Living Matter</a>	ד"ר מיכאל לוי
חבר סגל	הפקולטה לביולוגיה, הטכניון; <a href="#">מעבדת Information Processing in Neuronal Networks</a> תחומי עניין: ביולוגיה חישובית, ביולוגיה מערכתית, בקרת גנים, גנטיקה, זיכרון ולמידה, נירוביולוגיה של ההתנהגות, נירופיזיולוגיה, רשתות נוירונים	ד"ר שגיא לוי
חברת סגל	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון: תחומי מחקר: Microelectromechanical Systems (MEMS) Bio-microsystems Mechanobiology Cryo-electron tomography Microfabrication Microfluidics Soft lithography	פרופ' ליה אנגל
ראש התשתית	מרכז התשתיות במדעי החיים וההנדסה, הטכניון; <a href="#">The Life Science and Engineering (LS&amp;E) Infrastructure Center</a>	ד"ר מעין דובשני-עשת
ראש התשתית	מרכז תשתית ביו רפואי, הטכניון; <a href="#">The Biomedical Core Facility (BCF)</a>	ד"ר עפר שנקר
ראש המרכז	<a href="#">מרכז לפרוטאומיקה בטכניון</a> תחומי עניין: אימונונולוגיה, ביוכימיה, ביולוגיה מערכתית, ביולוגיה של התא, ביולוגיה של מערכות, ביולוגיה של תאים, ביופיזיקה, ביו-פיסיקה, סרטן	פרופ' אמריטוס אריה אדמון

\* מרואיינים שאינם מהטכניון לא צוינו בטבלה זו.

\*\* תחומי העניין ונושאי המחקר מתוך דף החוקר בטכניון

טבלה 3: הערות של החברות בנושא מרכז לביו-פבריקציה

טבלה 3 מציגה את ההערות שרשמו המשיבים בסקר ואת תשובתם לגבי רכישת שירותי פבריקציה מהמרכז בטכניון.

הערות לנושא מרכז ביו-פבריקציה (טקסט חופשי)	האם ישקלו לרכוש שירותי פבריקציה מהמרכז בטכניון?
"לא ברור מה יכולות הייצור הסידרתיות של מרכז המיקרו וננו פבריקציה בטכניון, ולכן עניתי לא יודע"	לא יודע
"הבעיה עם הטכניון היא ההתקשרות - תחת דרישות ה IP שלהם"	לא
"אנחנו מפתחים חיישנים אלקטרוכימיים מבוססי טרנזיסטורים"	לא
"אשמח לקבל סקירה רחבה יותר על השירותים שאתם מציעים"	כן
"קיים פער מסוים בארץ בשירותי עיבוד שבבי לצורכי אב טיפוס (כמויות קטנות, שיבוב פלסטיק). יש מיעוט קבלנים, המחירים לא תחרותיים ואין מודעות גבוהה לשירות. ולכן אנו נאלצים לשלוח עבודות לחו"ל (לסין) וגם לייצר חלק מהמודלים אצלנו במיתקן"	כן
"We are looking for a rigid Organ and Lab on a chip in a scale of 50-100 per unit"	כן
"אנו משתמשים ומתכננים פתרונות מיקרופלואידיקה עבור צרכינו - עובדים עם פולימרים ועם זכוכית. נשמח לשמוע על פתרונות בתחום הזכוכית"	כן
"אנו עובדים עם הטכניון אבל עובדים עם עוד חברה בגרמניה ועוד אחת בקוריאה בעלות יכולות גבוהות מאשר בטכניון"	כן
"יש חשיבות בייצור בארץ כי החומר אסטרטגי"	כן



טבלה 4: רשימת חברות ומרכזים איתם עובדים חוקרים וחברות, מתוך ראיונות העומק

שם המרכז / החברה	תיאור המרכז / החברה
- <u>MIT Lincoln Laboratory</u> ארה"ב	IT Lincoln Laboratory researches and develops a broad array of advanced technologies to meet critical national security needs. They focus on building operational prototypes and design systems
<u>Potomac</u> - ארה"ב	Potomac is helping its clients develop miniature products and bring them to market. Utilizing a broad range of technologies, Potomac can micromachine most materials such as polymers, metals, ceramics, and glass with feature sizes that cannot be achieved using conventional processes.
- <u>Northwestern University</u> ארה"ב	The company seeks to understand and exploit interesting characteristics of 'soft' materials, such as polymers, liquid crystals, and biological tissues, and hybrid combinations of them with unusual classes of inorganic micro/nanomaterials - ribbons, wires, membranes, tubes or related. Their aim is to control and induce novel electronic and photonic responses in these materials, and to develop new 'soft lithographic' and biomimetic approaches for patterning them and guiding their growth. Their Our current research focuses on soft materials for conformal electronics, nanophotonic structures, microfluidic devices, and microelectromechanical systems, all lately with an emphasis on bio-inspired and bio-integrated technologies.
<u>CCRM</u> - טורונטו, קנדה	CCRM supports the commercialization of regenerative medicine-based technologies, and cell and gene therapies, with strategic funding, dedicated infrastructure and specialized business and scientific expertise
<u>chip shop</u> - גרמניה	The company, founded in 2002, is a spin-off of the Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering and the Application Center for Microtechnology Jena. Specialists from microfluidics, precision engineering, polymer microtechnology, medical technology, chemistry, biology, and diagnostics form a multi-disciplinary team to develop and manufacture "lab-on-a-chip" systems primarily in polymers. Using industrial manufacturing techniques allows for a seamless transition from development stage via small batch production up to mass fabrication.

תיאור המרכז / החברה	שם המרכז / החברה
<p>thinXXS Microtechnology develops and produces disposable microfluidic devices from plastics for the diagnostic, pharmaceutical, analytical, and medical industries. They developed customer specific solutions for applications in immunology, clinical chemistry, DNA analytic or cell-based research.</p>	<p>thinxxs – גרמניה</p>
<p>The location in Zurich is one of IBM's 12 global research labs. The mission of the Zurich Lab, in addition to pursuing cutting-edge research for tomorrow's information technology, is to cultivate close relationships with academic and industrial partners, be one of the premier places to work for world-class researchers, to promote women in IT and science. A new facility for collaborative nano-scale research was opened on the IBM Zurich campus in 2011. The Binnig and Rohrer Nanotechnology Center (top right) is part of a strategic partnership in nanosciences with ETH Zurich</p>	<p>IBM Research - ציריך, שווייץ</p>
<p>A-Line is the Industry Standard for chemical plants, water treatment plants, pipeline companies, and other industries. 1,000's are in use every day by maintenance technicians. From their equipment the mechanic receives a visual picture of how the shafts are positioned and what it will take to move the shafts into proper alignment.</p>	<p>חברת <u>A-line</u> - ארה"ב</p>
<p>Sanmina designs, manufactures, and repairs some of the most complex and innovative optical, electronic, and mechanical products in the world. Sanmina provides end-to-end design, manufacturing, and logistics solutions, support to Original Equipment Manufacturers (OEMs) primarily in the industrial, medical, defense and aerospace, automotive, communications networks and cloud solutions sectors.</p>	<p><u>Sanmina Medical</u> - מעלות, ישראל</p>
<p>The Wyss Institute at Harvard University is a research and development engine for disruptive innovation. They have 8 enabling Platforms and Initiatives: Bioinspired Therapeutics &amp; D Organ Engineering, 3Diagnostics, Molecular Robotics, Diagnostics Accelerator, Predictive BioAnalytics, Immuno-Materials, Synthetic Biology, Living Cellular Devices</p>	<p><u>WYSS institute</u> - הרווארד, בוסטון ארה"ב</p>

## נספח ב' - פירוט צרכי ציוד, תהליכים וחומרים

הפרטים אודות הציוד, התהליכים והחומרים נאספו מתוך ראיונות עם חברות בתעשייה, כולל סיכומים שנכתבו על ידי גב' איה כהן מנהלת המרכז למיקרו וננו פבריקציה וד"ר שרון לפלר מחברת Qulab<sup>52</sup> Medical (טבלה 5); ומתוך ראיונות עם חוקרים באקדמיה, כולל סיכומים של פרופ' ראמז דניאל, פרופ' ליה אנגל וד"ר מנחם רוטנברג<sup>53</sup> מהטכניון (טבלה 6).

טבלה 5: תהליכים, ציוד וחומרים נדרשים במרכז לביו-פבריקציה נדרשים על ידי חברות בתעשייה<sup>54</sup>

חברות בתעשייה
IC fabrication, like foundry
MEMS - micro needle fabrication, std MEMS
Microfluidic channels in glass
PMMA technology like ALIDE - adhesion & patterning
Manual sensor placement in the die (requires acquiring sensors or asking the customer to buy)
3D patterning within SiO2 (like Louwers Hanique - SLE = selective laser induced etching)
Glass bonding
Laser milling for SiO2, Laser milling, including transparent materials
SiO2 deep dry etch
Oxide etch Under Layer
Piezoelectric material deposition
Nitinol <sup>55</sup> deposition
Oxide release
Anti-reflective
Metal dry etch thick layers
Deposition/coating on large 3D products

<sup>52</sup> רשימת ציוד מהמסמך של ד"ר שרון לפלר מחברת Qulab Medical (נספח ב')

<sup>53</sup> The lab is focused on the interface between materials and biology. They develop new materials and methods that allow for bioelectrical and biomechanical leadless modulation of cells and tissues at all scales using light and magnetic fields.

<sup>54</sup> מתוך ראיונות העומק

<sup>55</sup> ניטינול - סגסוגת מלאכותית של ניקל וטיטניום. הייחודיות של המתכת: 1. מאוד. 2. בעלת 2 מצבים מטלורגיים ייחודיים - סופר אלסטיות ומרטנזיטית-ניתן לצרוב לה צורה ואז כשהיא משנה את הצורה היא מתפקדת כמתכת עם זיכרון).

Masking and activation of large products
Deposition of long threads
Medical polymers (such as perylene)
Accurate rigid material molding
Accurate 3D printing
Deep accurate patterning of bulk materials
TSV
Assembly & packaging
Laser wf bonding
CMOS -MEMS
E-beam high performance nanolithography
DWL direct laser lithography system
PECVD deposition tools for thick oxide passivation and for CNTs
ALD/PEALD with versatile precursors
Thin film deposition including graphene
An DRIE/RIE tool combined with sputtering tool to allow deposition of metals without breaking vacuum
Vapor HF tool
Metal ICP etch
Xenon Difluoride - Dry Vapor Etch
Doping CVD tools
Laser cutting tool
3D printers for prototyping
Additional equipment for bio:
Chemical analytic tools
Imaging tools scanners and microscopes
Laser scanning microscopes
Microfluidics design and manufacturing tools
Sequencing tools
Glovebox facility
Biological hoods different classes
ציוד שיתמוך בוויפרים עד 200 mm מ"מ
צ'יפ שנועד למשימות של קריסטליזציה בטכנולוגיה של droplets
סנסורים ביולוגיים (פתרון של transistor FET הוא בעייתי)
צ'יפים שניתן לשלב בהם אמצעי אנליטיקה (חיישנים שמודדים פרמטרים כגון pH, לקטוז, CO2 וכו')

ציפ בעל עמידות לקרינה ועמידות לזוויברציות
ציפ בעל יכולת פיזית להתחבר לחיישן
מיקרופלואיד דרך פילטרים מיקרוביאליים (ייצור התקן ללא עבודה רטובה)
יכולות של ננו פבריקציה בצורה של continues (לציפויים)
יכולות בציפויים ננומטרים (למשל ציפוי הידרופובי [זוחה מים])
הקטנה של קפסולות שנכנסות לגוף עם אלמנטים דיגיטליים ואנלוגיים בציפ אחד (מזעור ודחיסה של האלקטרוניקה battery protection, battery management , LED , optical sensing).
עבודה עם דגמים מאוד קטנים
חיתוך ב- nitinol ומעבר ל MEMS
ייצור צורה על שכבות
קווי ייצור של קטטרים
טכנולוגיות המשמשות לציפויים של חוטים בשיטת roll to roll (ציפוי של משטחים מאוד ארוכים).
ציפ בעל תכונות של שקיפות (פתרונות כגון זכוכית פולימרים מסוג (פוליקארבונט, PMMA, TOPAS)
פולימרים קשיחים (למשל PC, PMMA וכו')
ציפוי bio compatible המתאים לשימושים רפואיים (למשל, פולימר לשימוש רפואי כמו Perylene)

טבלה 6: תהליכים, ציוד וחומרים נדרשים במרכז לביו-פבריקציה נדרשים על ידי חוקרים באקדמיה<sup>54</sup>

חוקרים/ות באקדמיה
Microfabrication (clean room)
DNA assembles
micro-fluidics
VLSI
Computation tools
Laser cutting and milling (Device fab)
PCB printer (Device fab)
Parylene deposition equipment (Device fab)
3D Bioprinters (Device fab)
3D printers (Workshop)
Electromagnets station (Workshop)
Environmental SEM (for wet specimen imaging) (EM)
Digital multimeter (Electrical characterization)

Patch clamp (Electrical characterization)
Microelectrode array (Electrical characterization)
Stereo microscope (Electrical characterization)
Optical mapping system (Electrical characterization)
Tensile Force Tester (Mechanical characterization)
Nanoindenter (Mechanical characterization)
High end 3D printer for prototyping
Laser cutter
Plasma etcher - for treating surfaces before bonding microfluidics to glass or applying protein
Oven - for baking PDMS for microfluidics
Silhouette blade cutter - for making custom wells for cell culture
Alveole Primo protein micropatterning system - lithography outside of a cleanroom
Sterilization station - a biohood where researchers sterilize microfabricated devices before bringing them to their labs for cell culture, etc. (should have sterile ziploc bags for transporting devices)
Printed electronics/flexboard electronics (הדפסה של דיו עם חלקי מתכת ואח"כ lift off)
דיספנסר שיוצר טיפות בנפחים של פיקוליטר על מנת לעשות arrays על הציפים.
מכשירי מדידה שונים למדידת הפעילות החשמלית של התמיסה (פוטנציומטרים) – נדרש מחשק bioelectric interface בין ההתקנים לבין הביוניקה.
אופטיקה המאפשרת לבצע סימולציה חשמלית ומגנטית
ליטוגרפיה על משטח רטוב
התקנים אופטו-אלקטרוניים ל droplets
מיקרוסקופית אלקטרוניים על דוגמאות חיות (תאים, רקמות)
תהליכי שטיפה אוטומטיים לעבודה ב wet bench
תהליכי DRIE של סיליקון
נוירונים על אלקטרודות גדולות של זהב
פבריקציה ביולוגית (לשים אלמנטים ביולוגיים, חיידקים או אלמנטים בודדים, על ממברסטורים)
מחשק bioelectric interface בין ההתקנים לבין הביוניקה.

## נספח ג' - דוגמאות למבנים של מרכזי מחקר משותפים לאקדמיה ולתעשייה

במדינות רבות בעולם פועלים מרכזי מחקר המשותפים לאקדמיה ולתעשייה (Cooperative Research Centers), שחלקם אף מתוקצבים, לפחות בשנים הראשונות להקמתם, על ידי הממשלה. מרכזים אלו מוקמים פעמים רבות כחלק ממדיניות ממשלתית מכוונת שמטרתה, בין היתר, לעודד חדשנות ומעבר ידע בין האקדמיה לתעשייה, ולהגביר את יכולת התחרות של התעשייה המקומית<sup>56</sup>.

המרכזים יכולים לפעול בתוך האוניברסיטאות כחלק מהאקדמיה, או כגופים ללא מטרות רווח המעסיקים מדענים שלא בתוך האוניברסיטה.

שלושה מניעים עיקריים הוצעו<sup>57</sup> לפעילותם של השותפים השונים במרכזי מחקר המשותפים לאקדמיה-ולתעשייה:

- מענה על צורך מחקרי מולטי-דיסציפלינרי
- הבנה של המגזר העסקי בחשיבות פיתוח ערוצים חיצוניים נוספים ליצירת חדשנות
- כלי מדיניות ממשלתי לקידום פיתוח של מדע וטכנולוגיה

להלן ארבע דוגמאות של מרכזי מחקר המשותפים לאקדמיה ולתעשייה בארה"ב (מרכזי UCRC, [מכון המחקר באוניברסיטת ברקלי](#), [Wyss Institute](#), [Research Triangle Park](#)):

---

<sup>56</sup> <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4388-9>

A cooperative research center (CRC) is an organization or unit within a larger organization that performs research and also has an explicit mission (and related activities) to promote, directly or indirectly, cross-sector collaboration, knowledge, and technology transfer, and ultimately innovation. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4388-9>

<sup>57</sup> <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4388-9>

## 1. ארה"ב - I/UCRC – Industrial/University Cooperative Research Centers

בארה"ב פועלת מזה כ-40 שנה תכנית ביוזמת ובמימון ה-National Science Foundation שמטרתה לסייע ביצירת מרכזי מחקר משותפים לאקדמיה ולתעשייה. מרכזים אלו הנקראים I/UCRC (Industrial/University Cooperative Research Centers) <sup>58</sup> פועלים הן לעידוד חדשנות ותחרותיות של חברות בארה"ב והן להקניית כישורי תעשייה רלוונטיים ועדכניים לבוגרי האוניברסיטאות (בהקשר זה יצוין כי בוגרים שעבדו במרכזי המחקר המשותפים לאקדמיה ולתעשייה קיבלו פעמים רבות הצעות עבודה מהשותפים התעשייתיים <sup>59</sup>).

מחקרי הערכה הראו כי במהלך עשרות שנות פעילות התכנית נוסדו כ-200 מרכזים במעל 180 אוניברסיטאות ברחבי ארה"ב, ובהשתתפות של כ-3500 חברות תעשייתיות. בעשור האחרון מעל 7000 סטודנטים שהוכשרו במרכזים אלו סיימו את לימודיהם האקדמיים ויצאו לשוק העבודה <sup>60</sup>. בשנים האחרונות נוסדו קרוב ל-70 חברות spinoff כתוצאה מפעילות התוכנית. על פי ההערכות, על כל \$1 השקעה מצד החברות השותפות במרכזים, הן קיבלו גישה למחקר בשווי של כ-\$40. כמו כן, חסכון החברות המשתתפות על הוצאות המחקר נאמד במאות מיליוני דולרים <sup>61</sup>. באופן כללי הוגדרו שלוש מטרות עיקריות לעבודתם של מרכזי ה-I/UCRC ובהם:

- ביצוע מחקר מדעי והנדסי בעל רלוונטיות לתעשייה
- הכשרת בוגרים בעלי נקודת מבט רחבה עם אוריינטציה תעשייתית
- האצת העברת ידע וטכנולוגיה בין האקדמיה והתעשייה

בנוסף, לאחר השלב שבו המרכזים מקבלים מימון (על ידי הממשלה והשותפים מהתעשייה), מצופה שהמרכזים יוכלו לעמוד בכוחות עצמם מבחינה פיננסית, כך שהמימון יתבצע מתוך השותפים בתעשייה בלבד, כל זאת לאחר תקופה של 10 שנים <sup>62</sup>. כיום פועלים באוניברסיטאות ברחבי ארה"ב קרוב ל-90 מרכזי מחקר מסוג I/UCRC, מתוכם כתריסר בתחומי הבריאות והביוטכנולוגיה <sup>63</sup>.

הניסיון המצטבר בהקמת מרכזי ה-I/UCRC הוביל למספר עקרונות מנחים שתוארו בספרות <sup>64</sup>. מבנה ארגוני אופייני למרכז מסוג זה כולל, לבד ממנהל המרכז, גם ועדות מייעצות מהתעשייה ומהאקדמיה. בנוסף, מחולקים צוותי המרכז לפרויקטים על פי נושאי מחקר שונים (איור 20). את הפרויקטים מובילים חוקרים ראשיים, בד"כ אנשי סגל או פוסט-דוקטורנטים כאשר את המחקר בפועל יכולים לבצע סטודנטים הלומדים לתארים מתקדמים כחלק מהתזה. לעיתים מתקיים גם שיתוף פעולה בהפעלת

<sup>58</sup> <https://iucrc.nsf.gov/about/>

<sup>59</sup> <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4388-9>

<sup>60</sup> [https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1655104](https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1655104)

<sup>61</sup> [https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1655104](https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1655104)

<sup>62</sup> Gray, Denis & Walters, S.. (1998). Managing the Industry/University Cooperative Research Center: A Guide for Directors and Other Stakeholders

<sup>63</sup> [+https://iucrc.nsf.gov/centers/?uni=&sta=&prifoc=&prifoc=0&foc=3+6](https://iucrc.nsf.gov/centers/?uni=&sta=&prifoc=&prifoc=0&foc=3+6)

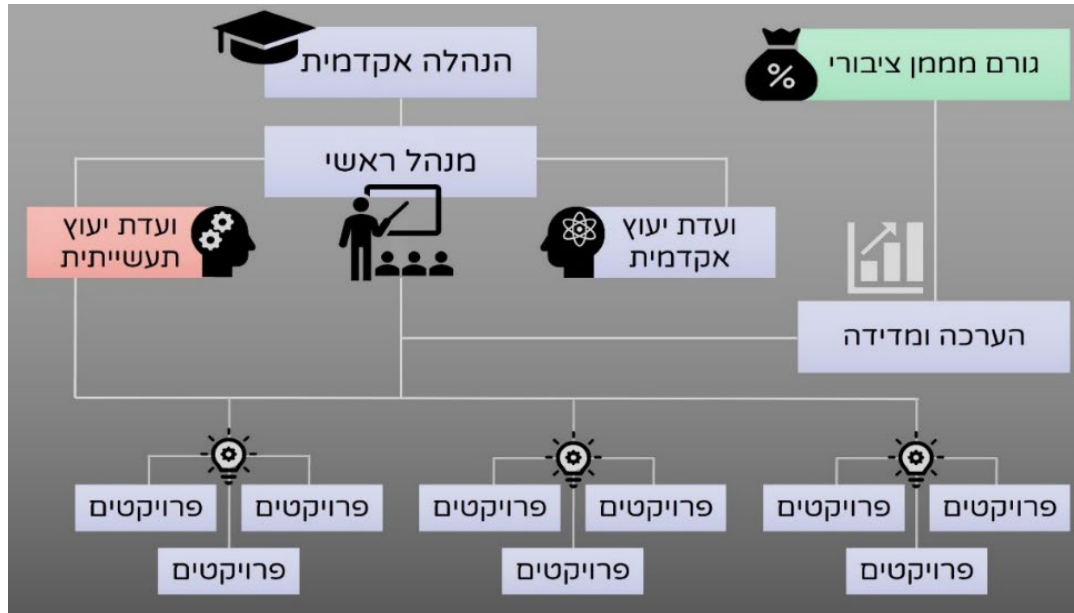
<sup>64</sup> ראו לדוגמא:

[https://books.google.co.il/books/about/Managing\\_the\\_Industry\\_university\\_Coopera.html?id=p7\\_aAAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.co.il/books/about/Managing_the_Industry_university_Coopera.html?id=p7_aAAAAAMAAJ&redir_esc=y)



הציוד ובעבודה בפועל במעבדה בין אנשי התעשייה והאקדמיה. על פי רוב, המרכז יהיה פרוס במספר קמפוסים על בסיס שיתוף פעולה של כמה אוניברסיטאות, אך יהיה קמפוס אחד שיוגדר כמוביל.<sup>65</sup>

איור 20: דוגמאות למרכיבי מבנה ארגוני אופייני של מרכז מחקר משותף אקדמיה – תעשייה I/UCRC בארה"ב



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן על בסיס: Gray, Denis & Walters, S.. (1998). Managing the Industry/University Cooperative Research Center: A Guide for Directors and Other Stakeholders

תפקידי המרכיבים השונים במבנה הארגוני מופיעים בתמצית ב<sup>66</sup>:

טבלה 7: תפקידי המרכיבים השונים במבנה הארגוני - I/UCRC בארה"ב

חלק בארגון	עיקרי התפקיד
ועדה מייעצת מהתעשייה ומשרדי ממשלה בעלי ענין בתחום הנחקר	מורכבת מנציגי התעשייה של חברות השותפות במרכז וממליצות בנושאי מדיניות ומחקר. נציגי התעשייה הם בדרך כלל מנהלים ממחלקות המו"פ, הנדסה, ייצור וכו' הבקיאים בפרויקטי המחקר של המרכז ומסוגלים לחוות דעה מנקודת מבט של התעשייה. בנוסף בוועדה המייעצת יכולים להיות חברים מרשויות ממשלתיות להן יש ענין בתחום המחקר. <sup>67</sup>

<sup>65</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=s\\_XnAJ1G3E8](https://www.youtube.com/watch?v=s_XnAJ1G3E8)

<sup>66</sup>

[https://books.google.co.il/books/about/Managing\\_the\\_Industry\\_university\\_Coopera.html?id=p7\\_aAAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.co.il/books/about/Managing_the_Industry_university_Coopera.html?id=p7_aAAAAAMAAJ&redir_esc=y)

<sup>67</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=s\\_XnAJ1G3E8](https://www.youtube.com/watch?v=s_XnAJ1G3E8)

חלק בארגון	עיקרי התפקיד
ועדה מייעצת מהאקדמיה	מייעצת בנושאי תפעול ומחקר אל מול האקדמיה. כוללת דיקנים ואנשי אדמיניסטרציה מהאקדמיה. הוועדה פעילה בד"כ בשלבי התכנון המוקדמים ובמקרים חריגים של שינוי מדיניות אך ככל שהמרכז עצמאי יותר יש בה פחות צורך.
מנהל מרכז	הפונקציה החשובה להצלחת המרכז. מבין תפקידיו ניהול ואדמיניסטרציה של הפעולות הפנימיות וגיוס חברות תעשייתיות למרכז. למנהל המרכז לעיתים מסייע Industry Liaison Officer שאחראי על קידום ושימור הקשר עם התעשייה וגיוס שותפים חדשים מהתעשייה <sup>68</sup> .
הערכה ומדידה	מעריך חיצוני (בד"כ איש סגל) שבוחן ומעריך את התהליכים והתוצאות של פעילות המרכז.
פרויקטי מחקר	פרויקטים מולטי-דיסציפלינריים רלוונטים לתעשייה, היוצרים ערך מוסף לשותפים באמצעות יצירת שיתוף פעולה בין חוקרים מהאקדמיה ומהתעשייה. מספר פרויקטי מחקר השייכים לאותו תחום מאורגנים יחד בחלוקה לתחומי מחקר שונים (אך עם גמישות האופיינית למחקר האקדמי).

## מעורבות התעשייה

השותפות התעשייתית במרכזי I/UCRC נתפסת כחלק בלתי נפרד מפעילות הארגון. שותפות זאת מסייעת, בין היתר, להצביע על פערי ידע בתעשייה בהם יש צורך במחקר ולהתוות מדיניות בהתאם. במרכזי ה I/UCRC החברות בתעשייה מצטרפות כחברות בארגון (members) וממנות חלק מפעילות המרכז. למעשה, עיקר המימון של המרכזים מגיע מתשלום דמי החבר ואף הסיוע של ה NSF עשוי להיות מותנה בגיוס כספים על בסיס זה. בתמורה לדמי החבר התעשיות נהנות, כאמור, משותפות בהחלטות הנוגעות למדיניות ולמחקר, וכן מתוצרי המחקר כדוגמת גישה לתוצאות טרם פרסומן<sup>69 70</sup>.

<sup>68</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=s\\_XnAJ1G3E8](https://www.youtube.com/watch?v=s_XnAJ1G3E8)

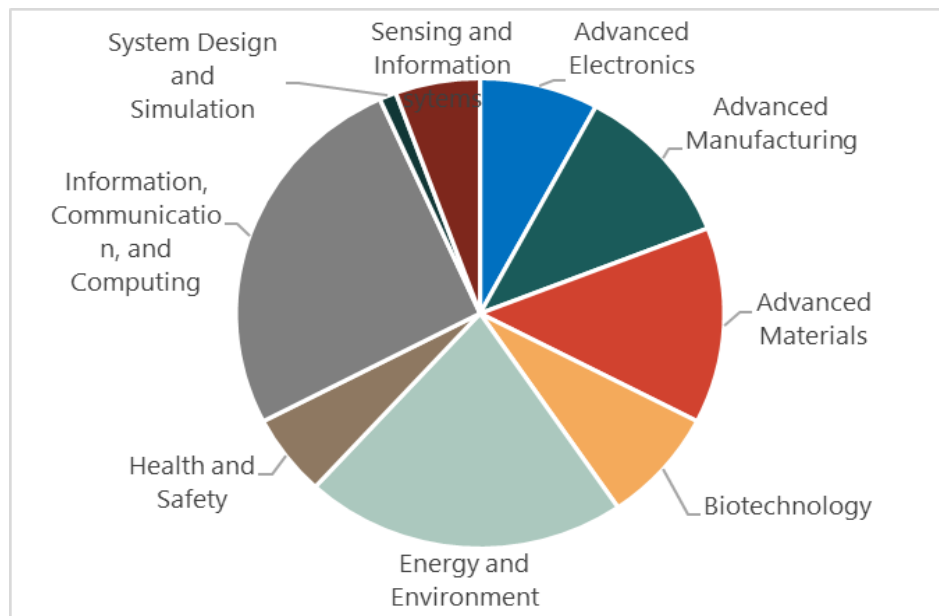
<sup>69</sup>

[https://books.google.co.il/books/about/Managing\\_the\\_Industry\\_university\\_Coopera.html?id=p7\\_aAAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.co.il/books/about/Managing_the_Industry_university_Coopera.html?id=p7_aAAAAAMAAJ&redir_esc=y)

<sup>70</sup> <https://iucrc.nsf.gov/industry/joining-a-center/membership-agreement/#main-content>

יתרונות נוספים עבור החברות הם גישה להון אנושי איכותי לו ניתן להקנות כישורים רלוונטיים ולגייסו לחברות לאחר מכן, תהליך de-risking (הורדת רמת הסיכון) של המחקר, חסכון בעלויות המחקר, יצירת רשת קשרים (networking) וגישה לקניין רוחני<sup>71</sup>.

איור 21: תחומי המחקר העיקריים של מרכז UCRC/



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ה-NSF<sup>72</sup>

## תכנון נדרש בבניית UCRC/

על פי הניסיון המצטבר בהקמת מרכזי ה-UCRC/ יש לבצע בחינה של מספר היבטים טרם החלטה על הקמת מרכז מסוג זה. שלבי התכנון כוללים שאלות כגון בדיקת יכולת לבצע מחקר מולטי-דיסציפלינרי בהתאמה לצרכי התעשייה על ידי חברי סגל באקדמיה, האם סגל המרכז המיועד הינו בעל התכונות המתאימות, האם יש להם קשרים בתעשייה, מהם התחומים בהם יש למקד את המחקר, האם המוסד האקדמי מסוגל לתמוך בהקמת המרכז מבחינת התשתיות הקיימות וההון האנושי, האם המרכז יוכל להתמקד בתחומי מחקר בהם יש מספיק חברות המתעניינות ועוד.

<sup>71</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=s\\_XnAJ1G3E8](https://www.youtube.com/watch?v=s_XnAJ1G3E8)

<sup>72</sup> Retrieved Oct. 2022 =<https://iucrc.nsf.gov/centers/?uni=&sta=&prifoc=&prifoc=1&foc>

בנוסף מומלץ לבצע ניתוח SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) על פי המפורט להלן:

איור 22: פרמטרים להתייחסויות בניתוח SWOT כהכנה להקמת מרכז מחקר UCRC/

<p><b>חוזקות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• חוזקות מדעיות של המוסד האקדמי והכרה לאומית ביכולותיו</li> <li>• יכולות ארגוניות</li> <li>• רצון מצד הנהלת המוסד לקדם קשרי אקדמיה - תעשייה</li> </ul>	<p><b>חולשות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• קשיים אדמיניסטרטיביים המגבילים את חברי הסגל מלהשתתף בפעילות עם התעשייה</li> <li>• חסר בידע / ציוד עבור תחומי מחקר נדרשים</li> </ul>
<p><b>הזדמנויות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• טכנולוגיות מפתח הנדרשות מטעם התעשייה שמתאימות ליכולות המדעיות באוניברסיטה</li> <li>• רגולציות ממשלתיות המאיצות את הצורך במחקר חדשני</li> <li>• תשתיות חדשניות באוניברסיטה העונות על הצורך התעשייתי</li> </ul>	<p><b>סיכונים</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• מכונים מתחרים באוניברסיטאות אחרות</li> <li>• חקיקה או נהלים שעשויים להגביל את הפעילות</li> </ul>

מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן ל 73

## 2. מכון המחקר באוניברסיטת ברקלי, קליפורניה, ארה"ב – Berkeley Sensor and Actuator Center (BSAC)

באוניברסיטת קליפורניה ברקלי פועל מזה עשרות שנים מכון מחקר משותף לאקדמיה ולתעשייה העוסק, בין היתר, בתחום ה MEMS-Micro Electronic Mechanical Systems. המרכז נוסד בשנת 1986 כחלק מתוכנית ה- UCRC. בשנת 2008 (לאחר 22 שנים) נפסקה התמיכה הממשלתית בו והוא הפך עצמאי פיננסית בזכות תמיכתן של החברות התעשייתיות המשתתפות בו. לחברות התעשייתיות גישה מלאה לכל תוצרי המחקר של המרכז טרם פרסומם או מסחורם<sup>74</sup>.

73

[https://books.google.co.il/books/about/Managing\\_the\\_Industry\\_university\\_Coopera.html?id=p7\\_aAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.co.il/books/about/Managing_the_Industry_university_Coopera.html?id=p7_aAAAAMAAJ&redir_esc=y)

<https://bsac.berkeley.edu/about-bsac> 74

עד כה, מעל 1,000 פרסומים יצאו מהמרכז ובכלל זאת כ-160 עבודות דוקטורט<sup>75</sup>. צוות המרכז כולל מעל עשרה אנשי סגל אקדמי, ומעל 100 פוסט-דוקטורנטים ותלמידים לתארים מתקדמים המבצעים מחקר, וכן יותר מעשרים מנחים מהתעשייה<sup>76</sup>.

המרכז משתף פעולה עם אוניברסיטאות אחרות ועם מכוני מחקר נוספים באוניברסיטה עצמה. הוא מתמקד במגוון נושאים ובהם, הרלוונטיים לסקירה זאת<sup>77</sup>:

- BioMEMS, Bio and Biometric Sensors
- Micro-Fluidics
- Nano Structures and Electro-Mechanical-Bio Interfaces

מטרותיו של המרכז הוגדרו באופן הבא<sup>78</sup>:

1. יצירת מנהיגות מחקרית באמצעות שילוב של חוקרים מובילים בתחומם עם אנשי תעשייה בולטים בתחומי השוק העתידי.
2. הכשרת הדור הבא של מובילים טכנולוגיים בתחום המיקרו-מערכות
3. הבטחת הרלוונטיות לתעשייה
4. וקיצור משך הזמן למסחור על ידי שיתוף פעולה אינטנסיבי עם השותפים מהתעשייה.

השותפים התעשייתיים משלמים דמי חבר<sup>79</sup> ובתמורה מקבלים גישה לחוקרים מובילים בתחומם, אפשרות לבחון תגליות טרם פרסומן, והשתתפות בקביעת החלטות הנוגעות למדיניות המחקר של המרכז. בנוסף, השותפים יכולים לקבל רישיון לשימוש בהמצאות (באופן בלעדי או לא בלעדי)<sup>80</sup> וכן לשלוח אנשי תעשייה למרכז כעמיתי מחקר (ראו להלן). קשרי העבודה הנוצרים בין החוקרים במרכז ובמיוחד בין הסטודנטים לתארים מתקדמים לבין התעשייה הם בדרך כלל ארוכי טווח ומובילים פעמים רבות לגיוס עובדים מבין הבוגרים. כתוצאה מהתגליות המחקריות אף הוקמו חברות סטארט אפ וכן נפתחו מחלקות חדשות בקרב החברות השותפות<sup>81</sup>.

<sup>75</sup> <https://vcresearch.berkeley.edu/research-unit/berkeley-sensor-actuator-center>

<sup>76</sup> <https://bsac.berkeley.edu/about-bsac>

<sup>77</sup> <https://bsac.berkeley.edu/about-bsac>

<sup>78</sup> <http://www2-bsac.eecs.berkeley.edu/pub/file/BSACbrochure.pdf>

<sup>79</sup> Collaboration Membership = \$150K/ Year

Regular Membership = \$70K/Year

<sup>80</sup> פירוט מלא אודות מדיניות הפטנטים מופיעה בקישור להלן: <https://bsac.berkeley.edu/membership/bsac-ip-patent-policy>

<sup>81</sup> <http://www2-bsac.eecs.berkeley.edu/pub/file/BSACbrochure.pdf>

## 82 Visiting Industrial Fellow

במסגרת פעילות המרכז קיימת אפשרות להצטרף כעמית מהתעשייה למחקר האקדמי במשך שנה אחת. כחלק ממעמד זה, יכול העמית לבצע מחקר במעבדות, וכן ליזום או להצטרף לפעילות המחקרית הקיימת בקמפוס. מבין היתרונות הגלומים באפשרות זאת:

- גישה מתמדת לחוקרים ויועצים
- סיוע אדמיניסטרטיבי ולוגיסטי (כולל משרד וחיבור לרשת האינטרנט האוניברסיטאית)
- השתתפות במחקר קיים או חדש בהתאם לצורך
- גישה למעבדות המחקר באוניברסיטה
- השתתפות בסמינרים
- השתתפות בקורסים (ללא קבלת קרדיט אקדמי)

לדברי אחד ממנהלי העבר של BASC ניתן לתאר את יצירת החדשנות בתוכנית I/UCRC במודל לפיו תקציבים קטנים יחסית מהתעשייה יחד עם יכולות מחקריות משמעותיות באוניברסיטה מובילים להצעות מחקר חדשניות שממומנות בתורן בתקציבים גדולים על ידי הממשלה. בכך מתאפשרת המשך יצירת החדשנות וההתפתחות. במובן זה התאגדות החברות התעשייתיות לביצוע מחקר משותף עם האוניברסיטה, מאפשרת זרימת ידע ורעיונות לגבי הנדרש בשוק, ויצירת ערך מתקציבים קטנים יחסית אותם משקיעה באופן התחלתי התעשייה. בנוסף, העבודה כקונסורציום חושפת חברות להרבה מאד תחומי מחקר שעשויים להיות רלוונטים לפעילותן<sup>83</sup>.

### 3. <sup>84</sup>Research Triangle Park (RTP), צפון קרוליינה, ארה"ב

פארק מחקר ופיתוח הגדול ביותר בצפון אמריקה, מנוהל על ידי Research Triangle Foundation (RTF) בצפון קרוליינה – ארגון ללא כוונת רווח. הפארק נוסד בשנת 1959 כתוצאה משיתוף פעולה בין מוסדות ממשלתיים מקומיים, אוניברסיטאות וחברות. מטרותיו: להקל על שיתוף הפעולה בין האוניברסיטאות באזור, לקדם שיתוף פעולה בין אוניברסיטאות לתעשייה וליצור השפעה כלכלית בצפון קרוליינה. בפארק יותר מ-300 חברות ו-65,000 עובדים.

כמו כן, בפארק רשתות ותשתיות שתומכות בסוגים שונים של חברות, למשל, נמצא אחד ממרכזי הפיתוח והמחקר הגדולים ביותר העוסק בתחום הביוטכנולוגיה והפארמה ([GlaxoSmithKline](https://www.gsk.com/))<sup>85</sup>, [Council of Entrepreneurial Development to the North Carolina \(CED\)](https://www.cednc.org/) (המועצה לפיתוח יזמות), מרכז לביוטכנולוגיה, [RTI International](https://www.rti-international.com/) (מוסד מחקר ללא כוונת רווח הפועל לשיפור מצב האדם –

<sup>82</sup> <https://bsac.berkeley.edu/membership/visiting-industrial-fellow-program>

<sup>83</sup> <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2013/EECS-2013-26.pdf>

<sup>84</sup> <https://www.rtp.org/>

<sup>85</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Research\\_Triangle\\_Park](https://en.wikipedia.org/wiki/Research_Triangle_Park)

בריאות, פודטק, סביבה וכו'). האזור מקדם אשכולות תעשייה הכולל חברות ורשתות פעילות המשתפות ביניהן פעולה, כולל שיתוף פעולה עם האוניברסיטאות כחלק מקהילה מדעית וטכנולוגית.

בין החברות הפועלות באזור, פועלות חברות בתחומים של ביוטכנולוגיה, מדעי החיים, טכנולוגיות ירוקות ונקיות, IT, חברות לשירותים כלכליים, וציוד וחומרים מתקדמים.

במחקרים שנערכו על פעילות הפארק, נמצא שההצלחה של הפארק מגיעה מתוך החינוך היזמי, כלומר, חינוך יזמי המבוסס על מערכת המעודדת חדשנות אזורית והמחזקת את יכולת החדשנות של החברות וגם את ביצועיהן. לכן, חינוך ליזמות ארגונית חייב לכלול מנהיגות יזמית, מדיניות ממוקדת סטודנטים, התקשרות עם הקהילה ומבנה אוטונומי מבוסס של תוכניות ליזמות<sup>86</sup>. בשונה מהדרך המסורתית להשקעות, ה-RTP משך יותר השקעות תאגידיות מאשר השקעות של הון-סיכון מסורתיות. כלומר, תאגידים מחפשים טכנולוגיות רלבנטיות אסטרטגיות מבטיחות להשקעה ורוכשות יזמויות מוצלחות, כאשר החברה הרוכשת מכירה בכך שערך הנכסים שנרכשו יקר יותר בהשאת היזמות מאשר פירוקה.

בין הפעילויות התומכות במשקיעים ויזמים ניתן למצוא את הדברים הבאים:

## חלל עבודה משותף

ה-RTF מפעיל סניף מרכזי שעל מנת לחבר ולשתף פעולה וכן לתכנן את המהלכים הבאים להצלחה ומהווה מקום חשוב לצעד הבא עבור המפתחים והיזמים. המקום כולל חללים לעבודה משותפת חינוכיים עם כל האמצעים הדרושים לעבודה מבחינה טכנולוגית ולנוחות העבודה.

### Council for Entrepreneurial Development (CED)

המועצה לפיתוח יזמות, המשמשת כעמוד התווך של היזמות ב-RTP. ארגון התמיכה הארגוני הגדול ביותר בארצות הברית, עם יותר מ-5,000 חברים המייצגים יותר מ-1,100 חברות ומאז 2010 פועלת עם ה-RTF. CED מבוססת על קהילה פרטית ועסקית ליזמות ופועלת כרשת המסייעת ליזמים לבנות ולהצמיח עסקים מצליחים על ידי כך שהיא מספקת משאבי חינוך והכשרה, חונכות ויצירת הון ליזמים מבוססי טכנולוגיה בעלי פוטנציאל גבוה (כולל כנסים, סדנאות ליזמים ומנטורינג).

## שיתוף פעולה עם האקדמיה

הפארק ממוקם במיקום מרכזי יחסית ל-3 אוניברסיטאות מחקר עיקריות: [North Carolina State](#), [University of North Carolina at Chapel Hill](#) ו-[Duke University](#), [University](#) כוח עבודה של מהנדסים, מדענים, מנהלים וטכנאים שיעבדו בפארק, כולל תוכניות לעידוד יזמות של סטודנטים.

<sup>86</sup> Choi, J. I., & Markham, S. (2019). Creating a corporate entrepreneurial ecosystem: The case of entrepreneurship education in the RTP, USA. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(3), 62.

#### 4. <sup>87</sup>Wyss Institute at Harvard University, בוסטון, מסצ'וסטס, ארה"ב

מוסד לפיתוח טכנולוגיות ביולוגיות חדשניות, שינוי שירותי הבריאות והסביבה על ידי פיתוח טכנולוגיות חדשניות המחקות את הטבע ותרגומם למוצרים מסחריים באמצעות יצירת סטארט-אפים ושותפויות ארגוניות.

הטכנולוגיות שעליהן עובדים במרכז מפותחות באמצעות שותפויות אסטרטגיות עם התעשייה, הממשלה, קרנות, משקיעים ופילנתרופיה. טכנולוגיות אלו מובאות לשוק במהירות באמצעות הסכמי רישוי (licensing) ויצירה של סטארט-אפים חדשים. מאז הקמתם, בשנת 2009, הושקו יותר מ-1,000 פטנטים, יותר מ-100 הסכמי רישוי וכ-55 סטארט-אפים.<sup>88</sup>

הטכנולוגיות שעובדים עליהן במרכז: sustainability, MedTech, therapeutics, diagnostics.

המרכז מעסיק מדענים, מהנדסים, רופאים וחברי צוות טכנולוגיה נוספים, בעלי ניסיון בפיתוח מוצרים תעשייתיים עובדים יחד ועם מומחים בפיתוח עסקי, קניין רוחני ויזמות כדי לפתח טכנולוגיות חדשות ולהוריד את הסיכון שלהן, ליצירת הדרך המוצלחת ביותר למסחר.

הסגל, הצוות, העמיתים והסטודנטים פועלים בתחומי מיקוד טכנולוגיים ומשתפים פעולה גם עם שותפים חיצוניים אקדמיים ותעשייתיים על מנת לקדם הבשלה של טכנולוגיות ומוצרים.

המכון מספק תמיכה במעורבות האסטרטגית, צוות לפיתוח עסקי, צוות לטכנולוגיה מתקדמת, תמיכה במחקר ומנטורינג.

### מודל העבודה

המרכז משתמש במודל ייחודי של תרגום המחקר הטכנולוגי (technology translation) בתוך האקדמיה. מטרת הטכנולוגיות הנוצרות במעבדות המחקר של Wyss הן להיות מדויקות יותר ובעלות סיכון נמוך יותר מבחינה טכנית ומסחרית. פעולות אלו נעשות באמצעות צוותים לפיתוח עסקי וטכנולוגי מתקדם.

טכנולוגיות משבשות<sup>89</sup> (disruptive technologies) בעלות פוטנציאל בעולם האמיתי מקודמות בשיטה של "משפך חדשנות טכנולוגית" (Technology Innovation Funnel), כלומר, מיפוי מרמת הרעיון דרך הפחתת סיכונים ולבסוף מסחר בשיתוף פעולה עם משתמשי קצה, רופאים, סוכנויות רגולציה ושותפים תעשייתיים שתורמים תובנות להתפתחות הרעיון לישות ברת קיימא. טכנולוגיות שעוברות בהצלחה דרך המשפך נרשמות לחברות מבוססות או לסטארט-אפים חדשים שיוצאים מהמכון.

ההבשלה של הטכנולוגיות נעשית באמצעות פרויקטי אימות (Validation Project) ובאמצעות פרויקטי המרכז (Institute Projects): ב- Validation Projects מזהים טכנולוגיות בעלות יישום פוטנציאלי בעל השפעה רבה, שהתקדמו בהצלחה ועומדות בקריטריונים טכניים, פיתוח מוצר וקניין רוחני המוגדרים

<sup>87</sup> <https://wyss.harvard.edu/>

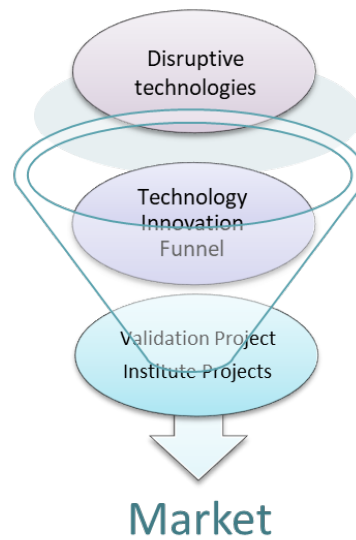
<sup>88</sup> <https://wyss.harvard.edu/about/>

<sup>89</sup> Disruptive technology - an innovation that significantly alters the way that consumers, industries, or businesses operate.



מראש. בפרויקטים אלה, הטכנולוגיות מפותחות עוד יותר טכנולוגית כך שיהיו בעלות סיכון קטן יותר בעוד ששילוב המומחיות העסקית מאפשרת לאמת עוד יותר את השימות ופוטנציאל השוק של הטכנולוגיה תוך הקפדה על ציר זמן קפדני עם אבני דרך ספציפיות. ב- Institute Projects תומכים בטכנולוגיות שנחשבות פחות מסוכנות ושצוותי הפיתוח קיבלו עליהן פידבק ממשקיעים ושותפים עסקיים, המזהים איך כדאי לקדם את הטכנולוגיות מבחינה טכנית ומסחרית על מנת להבטיח הצלחה מסחרית בטווח הקרוב.

איור 23: מודל העבודה של Wyss



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן ל-<sup>90</sup>

## שותפויות של המרכז<sup>91</sup>

בריתות אסטרטגיות - משקיעי הון סיכון, תאגידים, קרנות ופילנתרופים בעלי חשיבה קדימה המביאים מומחיות ופרספקטיבה שעוזרות להנחות את מאמצי פיתוח המוצרים של המכון ואת התוכניות העסקיות המתפתחות.

שותפויות תעשייתיות – המרכז יוצר שותפויות עם שותפים מהתעשייה בעלי מומחיות גבוהה בשוק, עומק טכנולוגי ועניין מסחרי בעיקר בסקטור תעשייתי המשלים את היכולות הייחודיות של המרכז ונותן ערך מוסף לחדשנות הטכנולוגית שלו. השותפויות אותן יוצר המכון:

שיתופי פעולה מחקריים – המרכז בונה רשתות עבודה (network) עם חוקרים וקלינאים אקדמיים גם בהרווארד וגם ברחבי העולם כדי להתמודד עם אתגרים מדעיים וקליניים על ידי פיתוח חידושים פורצי דרך והבאתם לשוק.

<sup>90</sup> <https://wyss.harvard.edu/about/>

<sup>91</sup> <https://wyss.harvard.edu/collaboration/>

סטארט-אפים – המרכז יוצר ומטפח צוותים חזקים המורכבים ממדענים ומהנדסים יזמים המעוניינים להשיק את הטכנולוגיות שלהם לעולם.

## נספח ד' - פעילות וציוד של מרכזי ביו-פבריקציה נבחרים בחו"ל

מרכזי הפבריקציה הנסקרים בנספח זה הינם:

1. IMEC (Belgium)
2. [IBM Research Zurich - Binnig and Rohrer Nanotechnology Center](#) (Switzerland)
3. [CIME Grenoble](#) (France)
4. [The Southampton Nanofabrication Centre](#) (UK)
5. [The Biofabrication and Tissue Engineering Facility at Karolinska Institutet \(Biofab\)](#) (Sweden)
6. [Queen Mary University of London](#) (UK) - Blizard Institute - Faculty of Medicine and Dentistry - CREATE Lab
7. [Politécnico de Leiria - CDRSP – Center for Rapid and Sustainable Product Development - The Biofabrication Lab](#) (Portugal)
8. [LIONIX INTERNATIONAL](#) (The Netherlands)
9. [INL – International Iberian Nanotechnology Laboratory](#) (Portugal)
10. [MiQro Innovation Collaboration Center](#) (Canada)
11. [The Stanford Nanofabrication Facility \(SNF\)](#) (USA)

### 1. IMEC (Belgium)

Imec employs more than 4,000 highly skilled researchers. They make use of world-class infrastructure, including more than 12,000 square meters of 200mm and 300mm cleanroom capacity containing the most advanced collection of microchip processing tools in the world, and state-of-the-art (bio, wireless, imaging, ...) labs.

#### Infrastructure

2 State-of-the-art cleanrooms

300mm cleanroom

Delivering world-leading R&D on the next-generation technology nodes with our global partners.

All necessary 300mm equipment to allow advanced sub-7nm CMOS R&D. Class 1,000.  
Operational 24/7

Advanced Lithography centered around ASML scanner equipment:

- EUV – Extreme ultraviolet lithography
- DSA: Directed Self Assembly
- State-of-the-art etch, implant, clean, metrology, deposition, ... equipment from leading-edge OEMs
- Ballroom type of cleanroom

Total area: 7,200m<sup>2</sup>, 3,200m<sup>2</sup>. Extended with 4,000m<sup>2</sup> in 2016

Process monitoring, cycle time improvement, quality control

#### 200mm cleanroom

Development on demand for products for which heterogeneous integration is needed

Flexible platform to fabricate prototypes: process steps that are not available off-the-shelf in a foundry

Low-volume production

Silicon pilot line with a 130nm TLM CMOS baseline process on 200mm wafers

Processing on Si and on alternative substrates such as III-V materials, organic semiconductors, SiGe ...

3D-IC and 3D-WLP stacking IC baseline flows:

- Die-to-die bonding,
- Die-to-wafer
- Wafer-to wafer-bonding

All processes for heterogeneous integration:

- Bonding
- Grinding
- Thick Cu plating
- Deep Si etch
- Litho with back-to-front alignment

GaN-on-Si capabilities to process power devices

Bay & chase type of cleanroom

5,200m<sup>2</sup> of which 1,750m<sup>2</sup> in class 1 area

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface and bioassay characterization	Packaging
High-NA EUV lithography – Extreme ultraviolet lithography - ASML NXE:3400B	Directed self-assembly (DSA)	High temperature SiN (LPCVD) Extremely low loss waveguide (<0.1 dB down to 2 dB/m)		Contact angle (CA) measurements	
EUV mask		Low temperature SiN (PECVD) Wide wavelength range (405 nm up to 2500 nm)		Cyclic voltammetry (CV)	
<a href="#">193nm ASML DUV stepper (65nm line resolution)</a>				Grazing angle Fourier transform infrared spectroscopy (GA-FTIR)	
<a href="#">248nm ASML DUV stepper (150nm line resolution)</a>				Quartz crystal microbalance (QCM)	
<a href="#">365nm ASML I-line stepper (350nm line resolution)</a>				Surface plasmon resonance (SPR)	
<a href="#">EVG Hercules 300/200mm nano-imprint track (40nm line resolution)</a>				Confocal laser scanning microscopy (CLSM)	
				Fluorescence labeling.	
				Nanoparticle characterization	
				Ultraviolet (UV) spectroscopy	
				Qnano® tool	
				Dynamic light scattering (DLS)	
				Zeta potential measurements	
				Thermo-gravimetric analysis (TGA)	
				Dark field microscopy (DFM)	
				Dot blot analysis	

## 2. IBM Research Zurich - Binnig and Rohrer Nanotechnology Center (Switzerland)

The Binnig and Rohrer Nanotechnology Center is a state-of-the-art exploratory cleanroom fabrication facility combined with noise-free labs. These facilities support world-class exploratory research aimed at nanotechnology applications. Both near-term and long-term projects are being pursued.

The facility is the centerpiece of a 10-year strategic partnership in nanoscience between IBM Research, ETH Zurich and EMPA, where scientists can research novel nanoscale structures and devices to advance energy and information technologies.

The Nanotechnology Center includes class 100 (ISO 5) to class 10,000 (ISO 7) cleanroom facilities, including lithography for pattern definition; wet processing for substrate cleaning and wet chemical etching; thin-film deposition of metals and insulators; dry etching for material removal using reactive gases; thermal processing for oxidation and annealing; vapor phase deposition; backend processes such as plating, lapping/polishing, dicing and bonding; and polymer waveguide processing for optical interconnects.

Processes, most of which will be semiconductor-based (wafer sizes up to 200mm), will be conducted on materials similar to those used in standard semiconductor technology, such as silicon, metals, ins

### CLEANROOM STRUCTURE AND CONDITIONS

The cleanroom is designed in a bay-chase layout, where individual cleanroom bays are surrounded by a service area. The wafer processing and handling takes place inside the cleanroom bays, while the service area or grey room houses auxiliary equipment and is used to connect the tools to all necessary media (electricity, water, gases, ventilation, etc.).

The quality of a cleanroom is measured by its cleanroom class and ranges from class 100 (ISO 5) to class 10 000 (ISO 7) for the individual sectors. A cleanroom class of 100 means that a maximum of 100 particles bigger than 0.5 micron size is allowed in a volume of 1 cubic foot air. This particle count is typically 4 to 5 orders of magnitude lower than in the normal environment. The low particle count in a cleanroom is achieved by the use of particle filters and a suitable air flow.

Temperature and relative humidity in the cleanroom have to be controlled to 20° - 22° C and 45 %, respectively, to ensure process stability, for example for the processing of photo resists.

- Total size: 950 m<sup>2</sup>
- Cleanroom classification: Class 100 (ISO 5) to Class 10 000 (ISO 7)
- Maximum air intake: 40 000 m<sup>3</sup> /h
- Temperature control: 20°-22°C (+/- 1°C)
- Humidity control: 45 % (+/- 5 %)

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
Optical lithography	Wet benches with various chemicals	Thin film deposition - Evaporation	Optical microscopes	Lapping / Polishing tool
Mask Aligner for optical contact printing	HF vapor phase etcher	Thin film deposition - Sputtering	Scanning electron microscope (SEM)	Chemical Mechanical Polishing (CMP)
Direct Laser Writer	Reactive Ion Etching (fluorine-based chemistry)	Atomic Layer Deposition (ALD)	Focus Ion Beam (FIB) tool	Wafer Dicer
Resist Coaters, Hotplates, Developer, Ovens	ICP etching (chlorine-based chemistry: Cl <sub>2</sub> , HBr)	Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)	Ellipsometer	Bonders (wire bonder, die bonder, wafer bonder)
	Ion Beam Etching	Oxidation furnace (dry and wet oxidation of Si)	Atomic Force Microscope (AFM)	
	Silicon Deep Trench Etching using the "BoschProcess"	Rapid Thermal Annealer (RTA)		
		Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD)		
		Carbon Deposition - PECVD for CNT growth		
		Electroplating setups		
		Carbon Deposition - Graphene growth tool		

### 3. CIME Grenoble (France)

CIME Nanotech is a joint center for education and research in microelectronics and nanotechnologies, part of Université Grenoble Alpes and Grenoble Institute of Technology (Grenoble INP).

[Interuniversity Centre for Micro Electronics and Nanotechnologies - Micro and Nano Manufacturing:](#)

Covering an area of 750 m<sup>2</sup>, the CIME-Nanotech clean room brings together all of the technological means intended for the manufacture of integrated electronic devices on silicon and for carrying out micro- and nanotechnology operations.

Originally created to promote the teaching of microelectronics in initial training, it constantly adapts to the evolution of micro- and nanotechnologies, by providing training courses and research laboratories with means and equipment. of the highest quality.

The clean room opens up to manufacturers by allowing them to access its infrastructures so that they can validate innovative equipment and processes.

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization
Single-sided EVG, 2 and 4 inches.	<u>ICP-RIE reactive ion etching</u> : available gases: SF <sub>6</sub> , CHF <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , BCl <sub>3</sub> . Possible engravings: Si, SiO <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , resin, III-V materials.	PECVD reactor: plasma-assisted chemical vapor deposition reactor. Possible deposits: silicon oxide and nitride.	2 mechanical profilometers
Single-sided, 2-inch MJB3.	<u>Deep reactive ion etching</u>	LPCVD reactors: vacuum chemical vapor deposition reactor. Possible deposits: If polycrystalline, Silicon Nitride.	1 spectroscopic ellipsometer 400-850nm
MA6 2 and 4 inches, double sided.	Wetbench (cleaning, wet etching)	Sputtering different metallic, magnetic and dielectric targets.	A non-contact Rsquare measurement (induction)
<u>MA8-BA8 (Mask Aligner-Back side Aligner 8")</u>	<u>chemical etchings</u>	<u>ALD – Atomic layer Deposition</u>	two Atomic Force Microscopes
For each photolithography station: spinner, heating plate, developer, rinsing tank with resistivity control, centrifuges.	<u>Implantation ionique - Dopage</u>	PVD – Physical Vapor Deposition	
	<u>Ion Beam Etching</u>	Phosphorus diffusion and activation-diffusion annealing	
	<u>HF vapor - gas phase etching by anhydrous HF</u>	Rapid annealing furnace	



#### 4. The Southampton Nanofabrication Centre (UK)

The **Southampton Nanofabrication Centre** is a state-of-the-art facility for microfabrication and high-spec nanofabrication, as well as a wide range of characterization capabilities, housed in a purpose built, 820m<sup>2</sup> cleanroom in the Mountbatten Complex at the University of Southampton.

The Southampton Nanofabrication Centre provides a service for fabrication, characterization, and collaborative research both internal to the University of Southampton and to the broader community in the UK and the EU.

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
<a href="#">Electron Beam Lithography - Jeol JBX 9300 e-beam writing system</a>	<a href="#">Deep Reactive Ion Etching (DRIE) - Advanced Silicon Etch (ASE) Technology</a>	<a href="#">Atomic layer deposition - OPT FlexAI RPX</a>	<a href="#">Focussed Ion Beam - Zeiss NVision 40 FIB System</a>	<a href="#">EVG 520 TB - bonder</a>
<a href="#">Focused Ion Beam - Zeiss NVision 40 CrossBeam FIB System</a>	<a href="#">Reactive Ion Etching (RIE) - Ionfab 300 plus</a>	<a href="#">OPT Plasmalab System 100 PECVD: amorphous silicon deposition</a>	<a href="#">He Ion Microscope - Zeiss Orion helium ion microscope</a>	<a href="#">Scriber - Mitsuboshi Diamond MS300A-CE</a>
<a href="#">SUSS Microtech</a>	<a href="#">Inductively Coupled Plasma Etching (ICP) -Plasmalab System 100</a>	<a href="#">OPT Plasmalab System 100 liquid source PECVD: nitride &amp; oxide deposition</a>	<a href="#">FESEM - A Jeol JSM 7500F field emission scanning electron microscope</a>	<a href="#">Dicing Saw - Loadpoint Microace Series 3</a>
<a href="#">EVG6200 Infinity - robotic mask aligner</a>	<a href="#">Ion Beam Etching (IBE) - Plasmalab 80 plus</a>	<a href="#">OPT Nanofab 1000 agile : nanotube &amp; wire deposition</a>	<a href="#">Zeiss EVO SEM (scanning electron microscope)</a>	<a href="#">Bonder - Innovative Microelectronic Production Systems 4524 Ball Bonder</a>
<a href="#">EVG 620 TB - double sided mask aligner</a>	<a href="#">DSE - Deep Silicon Etcher - STS LPX Pegasus</a>	<a href="#">Tempress LPCVD Poly Furnace</a>	<a href="#">Woolham M-2000 spectroscopic ellipsometer</a>	
<a href="#">EVG 620 TB - rapid prototyping</a>	<a href="#">UV Ozone Cleaner</a>	<a href="#">Tempress LPCVD Nitride Furnace</a>	<a href="#">X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) - The Thermo Scientific™ Theta Probe</a>	
<a href="#">EVG 620 T - single side mask aligner</a>	<a href="#">Oxygen Plasma Etching Systems</a>	<a href="#">Tempress Anneal Furnaces</a>	<a href="#">scanning probe microscopy (SPM)</a>	
<a href="#">EVG 150 - robotic resist processing station</a>	<a href="#">Wet Etch Room</a>	<a href="#">Jipelec Jetfirst 200 Rapid Thermal Annealers</a>	<a href="#">Electrical and RF Characterization</a>	
<a href="#">EVG 510 - laminate thick film resist station</a>		<a href="#">ASM Epsilon Epitaxy System</a>		

## 5. The Biofabrication and Tissue Engineering Facility at Karolinska Institutet (Biofab) (Sweden)

The Biofabrication and Tissue Engineering Facility at Karolinska Institutet (Biofab) offers a diverse range of Micro and Nanostructuring techniques for cell-based applications in the fields of life-science and medicine.

At BioFab, we aim to bridge the gap between engineering and biology at Karolinska Institutet and provide common grounds with respect to suitable material of use of modular design and tunable structures for biomedical purposes.

### Services

- Consultation about the proper choice of material and design with respect to the biological application
- 3D CAD design
- Nanofabrication via cleanroom processing
- Surface energy patterning (tuning hydrophilicity and hydrophobicity)

### Prices

Price for the in-house tool equipment: 1500 SEK/hour

Facility support: additional 1500 SEK/hour, or on collaborative bases.

For off-campus tools, prices are calculated based on each project.

Lithography	Material Deposition and Annealing	Surface and bioassay characterization	Packaging
Spin-coater	Oven	Contact angle goniometer	Polymer Speed mixer
Soft lithography	CNC micro Milling	Scanning electron microscopy (SEM)	Collimated UV light
Nano reaction injection molding (NanoRIM)		Atomic force microscopy (AFM)	
Soft lithography		Profilometer	
Electron beam lithography			
Nanoimprint lithography			
Photolithography (mask aligner)			

## 6. Queen Mary University of London (UK) - Blizard Institute - Faculty of Medicine and Dentistry - CREATE Lab

The [CRoss-InstitutE Advanced Tissue Engineering \(CREATE\)](#) Lab is a new core facility dedicated to bio-fabrication of advanced 3D tissues and microfluidic devices. It houses state-of-the-art equipment for 3D bio-printing, microfabrication, and device analysis. The aim of the CREATE Lab is to support the development of next-generation 3D tissues and disease models for use in biomedical research and regenerative medicine.

As a cross-faculty initiative, the CREATE Lab was established through the Queen Mary Strategic Facilities Investment Fund and support from the Barts Charity. It is open to all Queen Mary researchers and external partners, with a view to promoting cutting-edge interdisciplinary research.

### Training

Facility staff will provide all necessary training and technical support for users to operate the 3D printing and microfabrication equipment. This includes formal training sessions, one-on-one support, and training manuals and documentation.

### Project development

The CREATE Lab team can also assist with new project development, including biomaterial selection, construct design, and optimisation of bio-fabrication processes. In addition, we can advise and consult on the technical aspects and costings for research proposals involving bio-fabrication technologies.

### Cell culture facilities

The CREATE Lab includes dedicated cell culture facilities for users to maintain and propagate cells to be used in their 3D bio-printing and microfluidic applications.

Lithography	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface and bioassay characterization
Spin coater (SPIN150i, SPS)	Plasma oxidizer (Zepto, Henniker)	<b>3D Discovery bio-printing system (regenHU)</b> - The 3D Discovery Biosafety system is an advanced 3D printer enclosed within a class II biosafety cabinet. The system can be configured with up to 4 print heads, including syringe based extrusion, micro-valve droplet	Optical profilometer (Profilm 3D, Filmetrics)

Lithography	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface and bioassay characterization
		dispensing, and thermopolymer extrusion. The system also provides temperature control for print heads and the printing platform, as well as a UV tool for photo-crosslinking and curing.	
UV masking system (KUB-6, Kloe)			<b>Two-colour fluorescence and phase contrast image analysis</b> - for automated detection of defined cellular phenotypes
Hot plates			<b>Robotic capillary tool</b> - for isolation and downstream processing.

## 7. Politécnico de Leiria - CDRSP – Center for Rapid and Sustainable Product Development - The Biofabrication Lab (Portugal)

The mission of the [Centre for Rapid and Sustainable Product Development \(Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado de Produto – CDRSP\)](#) of the Polytechnic Institute of Leiria (IPLeiria) is to contribute to scientific and technological development, leading to new products, materials and processes that are more fitted, more effective and more efficient, contributing to a generation of added value to the industry and promoting the conscience of the importance and of the role of the rapid and sustainable product development in the society. In order to accomplish this mission, the CDRSP-IPLeiria leads scientific and technological research and promotes dissemination, training and consultancy actions in strategic areas of product development.

The aim of the strategic research programme is to consolidate and reinforce the national and international position of the CDRSP-IPLeiria as a leading research group in the field of Multiscale Direct Digital Manufacturing based on Additive Manufacturing, moving towards the fully integrated concept of added-value manufacturing. This is possible due to the multidisciplinary nature of the CDRSP Research Team, comprising researchers from different scientific backgrounds. The main Scientific Research Areas of CDRSP-IPLeiria lays on Additive Manufacturing, having a focus on 60% of applied research and 40% of basic research. To do so, the development of Additive Manufacturing is supported by 3 core interconnected scientific pillars: (i) Geometry and topology/Computer simulation (ii) Advanced materials; and (iii) Novel manufacturing processes.

The [Biofabrication Lab](#) has state-of-the art systems that produce scaffolds for tissue engineering applications. The existing equipment are additive manufacturing systems enabling to process a wide range of materials (polymers, polymer/ceramics and polymer/metals) in a layer-by-layer fashion.

Lithography	Printing
Bioextrusion system (home-made) - Bioextrusion-based Additive Manufacturing, destined to produce mono and multi-material scaffolds containing or not cells and growth factors for Tissue Engineering applications. The fabrication of these scaffolds is made through the extrusion of one or more materials (synthetic and natural biopolymers, bioceramics and polymer/ceramic biocomposites) through a layer-by-layer manufacturing process.	Fab@Home - a low-cost 3D printer system that produces three-dimensional objects, layer by layer using any material than can be squeezed through a syringe and holds its shape.
Dual-Bioextruder (home made) enables to process several materials, namely biopolymers of synthetic/natural origin, bioceramics and biocomposites, for the production of multi-material scaffolds with functional gradients. In addition, it allows the production of hydrogel-based bioactive 3D structures for cell encapsulation and drug delivery systems.	
Multimaterial Stereo-thermal-lithography - The Micro-Stereo-Thermal-Lithography Multi-Material ( $\mu$ STLG multi-material) was developed in order to overcome the limitations of conventional stereolithography, such as the production of multi-material functionally graded components. Optical and thermal effects are simultaneously used in this process to locally induce a phase change in the liquid resin.	
Electrospinning system (home-made)	

## 8. LIONIX INTERNATIONAL (The Netherlands)

[LioniX International](#) is a leading global provider of customized microsystem solutions specializing in integrated photonics and customized MEMS devices.

### BIOMEMS

BioMEMS is the field in which MEMS are utilized for biomedical or biological applications, both for R&D and for commercial use. BioMEMS overlaps with other fields in microtechnology such as Lab-on-a-Chip, microfluidics optofluidics and Biosensors. BioMEMS find their use in for example:

- Point of care Diagnostics
- Drug screening and Customized drugs

- Organ on a chip (OOC)
- Genomics
- Microarrays for DNA sequencing
- Drug delivery
- Analysis
- Cell culturing
- Microsurgery and endoscopy

LioniX International develops and produces customized BioMEMS based on **glass and silicon microtechnology**. Examples of chips we have been working on are:

- Optical biosensors
- Electrochemical sensors
- Microneedles
- PCR chips
- DNA sequencing chips
- Cell counters

The LioniX International team is made up of around 60 engineers, project leads and professionals.

LioniX photonic integrated circuit design (PIC design) are a core part of the client development support package. LioniX supply expertise and facilities for the design of photonic integrated circuits as well as simulation, production, testing and characterization.

LioniX International PIC design services include: Specification scoping/architecture design, PIC layout design and mask design, Photonic simulation, Electronics design, Software design, PIC packaging and assembly design.

**\*\*\*There is no detail of equipment on the company's website, therefore a mapping of capabilities was done**

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
<a href="#">photolithography</a>	<a href="#">Deep reactive ion etching</a>	<a href="#">LPCVD Silicon Nitride (Si3N4)</a>		<a href="#">dicing</a>
Proximity and contact lithography	<a href="#">Chemical etching</a>	SiRN Low stress silicon nitride		<a href="#">Packaging Service (CPS)</a>
Stepper process for high lithography resolution		Polysilicon		

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
e-beam lithography for very small feature size and high resolution		<u>TEOS Silicon Dioxide SiO<sub>2</sub></u>		
		PECVD silicon nitride SixNy		
		PECVD silicon dioxide SiO <sub>2</sub>		
		Borophosphosilicate glass BPSG		
		<u>RF magneton sputtering</u>		
		<u>dry and wet thermal oxide deposition</u>		

## 9. INL – International Iberian Nanotechnology Laboratory (Portugal)

INL is a worldwide hub for the deployment of Nanotechnology. The INL was founded by the governments of Portugal and Spain under an international legal framework to perform interdisciplinary research deploy and articulate nanotechnology for the benefit of society.

The Research and Technology activities are focused on six clusters: Health, Food, Energy, Environment, ICT and Future Emerging Technologies, which complement each other and provide a base for interdisciplinary interactions.

The INL user facilities allow access not only to their infrastructure and systems but also to microsystems and nanotechnology experts and their knowledge with considerable flexibility. Access is open to both **internal and external users**.

The user facilities provide support throughout all research and development chain in cleanroom processes:

- device modelling and design
- process integration and device fabrication
- packaging
- testing
- advanced microscopy and spectroscopy
- X-ray diffraction and scattering techniques
- photonics
- bioimaging and magnetic resonance imaging

Another impacting factor is the heterogeneous set of techniques available under the same roof leading to competitive integration of different technologies and rapid prototyping thus paving the way to methods and devices with performances out of reach of a given single technology.

The facilities are organized in four clusters:

- NANOPHOTONICS & BIOIMAGING
- ADVANCED ELECTRON MICROSCOPY
- SAXs AND XRD TECHNIQUES
- MICRO AND NANOFABRICATION
- Available technologies include:
  - Advanced Si micromachining
  - MEMS and NEMS
  - Processes for spintronics, sensors and hybrid devices, microfluidics



- Techniques involving graphene, carbon nanotubes (CNTs) and 2D electronics
- Thin-film silicon electronics
- Nanostructuring methods for solar cells and other devices
- Fabrication of flexible substrate systems
- Laser microstructuring, interconnects and packaging

The Laboratory is planned for 200 scientists, about 100 PhD students, and supporting technical and administrative staff. The INL campus is set in a 38,000 m<sup>2</sup> area of land in one of the best parts of Braga, close to the Gualtar campus of Minho University.

To have access to INL user facilities, external users must first submit their application by filling in the request form. All users must request license and complete training before they are allowed to use any INL equipment. All users will be billed according to the number of hours used in each equipment, based on INL current table of prices (available upon request). If assistance is required, costs with personnel will also be charged. All users will be billed for the total number of hours booked unless the user cancels it more than one day in advance. The users will not be billed for a reservation if the equipment is down.

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging, and Back-End Processes
E-beam lithography tool (Vistec 5200 ES 100 kV)	Broad Beam ion milling with SIMS end point detect (Nordiko 7500)	Multitarget Singulus sputtering tool for magnetic multilayers (Timaris MTM)	High resolution SEM (NanoSEM, FEI)	Chemical mechanical Planarization (Logitech ORBIS)
Direct write laser lithography (Heidelberg DWL 2000)	Fluorine based reactive ion etch system for oxides / nitrides (SPTS APS)	Multitarget confocal sputtering tool (Kenosistec)	Contact profilometer (KLA TENCOR P-16+)	Dicing saw (Disco DAD 3500)
Mask aligner (Karl Suss MA BA model)	Chlorine based reactive ion etch systems for metals (SPTS ICP)	Metallization Singulus sputtering tool for Al, TiW(N) and Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Timaris FTM)	Resistivity mapper (AITCO)	Wire Bonder / Aluminum Wedge, Pick and Place (TPT HB)

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging, and Back-End Processes
Optical resist track (Karls Suss Gamma Cluster)	Silicon Deep reactive ion etching system (SPTS Pegasus)	EasyTube 3000 Graphene CVD furnace system	Optical profilometer/ellipsometer (OPM hyperion with confocal sensor / Oceon Optics NanoCalc XR)	Wire Bonder / Gold ball bond (TPT HB)
E-beam resist track (Karls Suss Gamma Cluster)	Plasma asher (PVA TEPLA M360)	SPTS MPX CVD system for oxides, oxi:nitrides and a-Si:H deposition	Climate chamber (Weiss WKL, -70C to 180 C, 10 to 98% rel hum)	CNC – High speed milling system (FlexiCAM )
Multiple ovens, including vapor priming	TMAH / KOH Si etch tanks (AMMT GmbH)	PECVD (800°C) systems for CNT and carbon layers deposition tool (MicroSys 400 from Roth & Rau Microsystems)	Compact scanning bench top probe microscope (Nanosurf Flex AFM)	3D printers (Makerbot and bQ WITBOX)
Coater and hotplates for substrates up to 300 mm (SCS/EMS)	Multiple fume hoods and wet benches for chemical processes (Quimipol)	Thin film silicon CVD system (hotwire and radio-frequency assisted, doped and intrinsic Si layers)	Manual and motorized optical microscopes for AOI	Advanced desktop research printer (LP50 Roth & Rau B.V.)
	Oxide vapor etch release system (SPTS/PRIMAXX uEtch)	Cu Electroplating (AMMT GmbH)	Optical microsystem analyzer for MEMS (in-plane, out-of-plane and topography; Polytec MSA 500)	Plotter/cutter Silhouette Cameo 12" (Fabriprint)
	XeF2 isotropic Si etch system (Xactic X4)		Laser scanning vibrometer for MEMS (Polytec UHF-120, 1.2 GHz)	
	Super critical CO2 point dryer (Tousimis)		Multiple automated wafer probers for electrical testing and others	

## 10. MiQro Innovation Collaboration Center (Canada)

The [MiQro Innovation Collaboration Center](#) (C2MI) was created thanks to funding of \$218 million granted by the Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE) (\$94.9 million), Industry Canada (\$82.95 million), private partners (IBM and Teledyne DALSA) and the University of Sherbrooke as part of Canada's Knowledge Infrastructure Program.

The MiQro purpose is to accelerate the development and commercialization of components essential to digital technologies by promoting a collaborative ecosystem, a team of academic and industrial experts as well as a world-class infrastructure.

Equipped with a fleet of analytical equipment specialized in the characterization of electronic materials, the C2MI offers the opportunity to all industries using and integrating microelectronics components to benefit from the expertise and know-how developed at the center over the years by our partners.

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
<a href="#">MASKLESS DIRECT IMAGING SYSTEM (DW-3000)</a>	<a href="#">Primaxx fxP (VHF)</a>	<a href="#">SPT MICRO AVP-8200 LSN</a>	<a href="#">NANOMETRICS UNIFIRE 7900C</a>	<a href="#">STEALTH DICING</a>
<a href="#">AXCELIS TECHNOLOGIES 200PC</a> - Deep UV Irradiator	<a href="#">Xactix CVE (XeF 2 )</a>	<a href="#">SPTS VERSALIS FXP APM200</a>	<a href="#">MCBAIN DDR2000 SWIR</a> - Infra-Red Monitoring of the alignment/lateral dimension and defects inside bonded wafer stacks	<a href="#">ELECTRONIC SRL LEONARDO 300LO</a> - Dry stripping and stripping processes
<a href="#">ASML PAS5500 / 200B</a> - Aligner and multi-step imaging	<a href="#">PRIMAXX FXP</a> - Anhydrous VHF etch of sacrificial oxide in Monarch 25 module and XeF2 etch of a sacrificial silicon	<a href="#">SPT AVP-9200 OXIDE</a> Vertical Furnace for Wet/Dry Silicon Oxide Thin Film Growth and Hydrogen Annealing	<a href="#">N-K TECHNOLOGY INC</a> - Pattern Recognition Thin Film Metrology Tool.	<a href="#">STRASBAUGH STB P300 6EH</a> - Polishing silicon, silicon dioxide, copper and tungsten on 200 mm wafers
<a href="#">TEL TOKYO CLEANTRACK ACT-8</a> - Distributor and developer of photoresist	<a href="#">SPTS VERSALIS FXP ISOPOD MODULE</a> - Dry etch cluster tool	<a href="#">IELD ENGINEERING – YES PBV200 VERTACURE</a> - Anneal/Bake/Cure under controlled temperature and sub-atmospheric pressure	<a href="#">RUDOLPH F30-B30-E30</a> - Automated frontside, edge and backside inspection in the visible range for 200mm wafer, and for 200 mm diced and stretched wafer on film frame.	<a href="#">EVG GEMINI 200/3</a> - Fully-automated wafer bonding for 200 mm wafers

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
	<a href="#">SPTS VERSALIS FXP APS MODULE</a> - Dry etch cluster tool	<a href="#">YIELD ENGINEERING</a> – YES PBV200 <a href="#">VERTACOAT</a> - Vapour deposition of FOTS SAM, HMDS and formic acid vapour		<a href="#">NADATECH DP4200S/INX</a> - Sort, align, flip and transfer wafers between SMIFs and open cassettes
	<a href="#">SPTS VERSALIS FXP ICP MODULE</a> - Dry etch cluster tool	<a href="#">SPT MICRO AVP-8200 LSN</a> – Low Pressure Chemical Vapour Deposition of LSN thin film		<a href="#">SVS JIKJI-77</a> - Filling the vias passing through the silicon wafer with copper and Au-Sn
	<a href="#">SPTS VERSALIS RAPIER MODULE</a> - Plasma-enhanced Chemical Vapour Deposition of amorphous Silicon, Silicon Nitride, Tetraethylorthosilicate (TEOS)	<a href="#">SPTS VERSALIS FXP APM200</a> - Plasma-enhanced chemical vapor deposition of amorphous silicon, silicon nitride, tetraethylorthosilicate (TEOS)		<a href="#">TORAY FLIPCHIP BONDER</a> - Automated high precision multi-chip die bonder for positioning and attaching small electronic components on printed circuit board or substrate.
	<a href="#">AKRION GAMA ALKALI BENCH</a> - Provide wet-chemical wafer cleaning, surface preparation, and etch	<a href="#">SPT AVP-9200 OXIDE</a> – Vertical furnace for wet/dry silicon oxide thin film growth, and hydrogen anneal		<a href="#">DISCO DFD 6362</a> - Cut wafer at various chip size
	<a href="#">AKRION GAMA ACID BENCH</a> - Provide wet-chemical wafer cleaning, surface preparation, and etch	<a href="#">SPT MICRO AVP-8200 TEOS</a> - Vertical furnace for low pressure chemical vapour deposition of TEOS thin film		<a href="#">STEALTH DICER DISCO DFL7340</a> - Silicon wafer laser dicing.

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Surface characterization	Packaging
	<a href="#">AKRION GAMA CLEANING BENCH</a> - Provide wet-chemical wafer cleaning, surface preparation, and etch	<a href="#">SPT AVP-8200 ISDP</a> - Vertical furnace for low pressure chemical vapour deposition of ISDP thin film		
	<a href="#">ULVAC ENVIRO 1XA</a> - Single wafer advanced polymer asher	<a href="#">SPTS VERSALIS FXP APM200</a> - Plasma-enhanced chemical vapor deposition of amorphous silicon, silicon nitride, tetraethylorthosilicate (TEOS)		
		<a href="#">SPT MICRO AVP-8200 TEOS</a> - Vertical furnace for low pressure chemical vapour deposition of TEOS thin film		
		<a href="#">SPT AVP-8200 ISDP</a> - Vertical furnace for low pressure chemical vapour deposition of ISDP thin film		
		<a href="#">SPT MICRO AVP-9200</a> - Vertical furnace for wet/dry silicon oxide thin film growth, and hydrogen anneal		
		<a href="#">YES PBV200</a> - Anneal/Bake/Cure under controlled temperature and sub-atmospheric pressure		
		<a href="#">YES PBV200HV</a> - Anneal/Bake under controlled temperature and high vacuum conditions		

## 11. The Stanford Nanofabrication Facility (SNF) (USA)

[The Stanford Nanofabrication Facility](#) serves academic, industrial, and governmental researchers across the U.S. and around the globe. SNF includes a 10,000 sq ft cleanroom housing tools for device fabrication, satellite labs supporting Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD), new Experimental Fabrication methods (ExFab) and the new electronics shop for Systems Prototyping (SPF). SNF supports researchers in applications ranging from medicine and biology to fundamental physics and astronomy. SNF welcomes researchers from all disciplines wishing to explore uses of micro- and nano- fabrication.

**The Cleanroom.** This space forms the core of SNF, housing equipment traditionally used to support fabrication of electronics, but goes beyond conventional silicon today. The equipment housed in the cleanroom are those that support particle-sensitive process and require specialized gas and chemical handling .

**The ExFab.** The Experimental Fabrication labs are collection of lab spaces named for our favorite California beaches. ExFab tools support fast-turnaround processing, heterogeneous integration, and direct-patterning methods.

**The MOCVD Lab.** The "Metallo- Organic Chemical Vapor Deposition" (MOCVD) Lab occupies 1 kft<sup>2</sup> of space in the Allen Annex building. The instruments here are used to deposit thin films of III-V materials with application in wide bandgap devices, LEDs, and devices for extreme environments.

**The Electronics Shop (SPF).** Also known as SPF (Systems Prototyping Facility), users of this space can build boards and systems, from design to assembly, DIY or as a service.

### Types of Lab-membership

Internal Labmembers are students, employees and other researchers with appointments at Stanford or SLAC.

External Labmembers are researchers who employed by or have appointments with organizations other than Stanford or SLAC.

Processing services: While the vast majority of researchers perform their own work, there are options for processing services. Subject to limited availability, academic researchers from other institutions can arrange for process support with SNF staff. For most processing services, we recommend checking with our independent consultants who may be available for processing services.

### Lab User Guide

Each piece of equipment has its own page full of useful info, and if the users are not sure which type or piece of equipment they need, there are some more curated ways to go about scoping out projects by processing techniques. Some other features include being able to search for tools based on materials you would like to use, links from equipment pages to cool projects

that have been done using that equipment (and vice versa), and each tool page has a training section to help make it clear how to get started using it.

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface characterization	Packaging, End and Back-Processes, 3D printing
<a href="#">EV Group Contact Aligner</a>	<a href="#">AMAT P5000 Etcher</a>	<a href="#">Tylanfga - Furnace Annealing</a>	<a href="#">Fujifilm Dimatix Ink Jet Printer</a>	<a href="#">AFM-Asylum</a>	<a href="#">EV Group Wafer Bonder</a>
<a href="#">Karl Suss MA-6 Contact Aligner 1</a>	<a href="#">Gasonics Aura Asher</a>	<a href="#">Aw610 I - Rapid Thermal Annealing</a>	<a href="#">Optomec Printer</a>	<a href="#">Alphastep 500 Profilometer</a>	<a href="#">Finetech Lambda</a>
<a href="#">Karl Suss MA-6 Contact Aligner 2</a>	<a href="#">Lam Research TCP 9400 Poly Etcher</a>	<a href="#">Aw610 r - Rapid Thermal Annealing</a>	<a href="#">Voltera</a>	<a href="#">Biologic SP-300</a>	<a href="#">Karl Suss Wafer Bonder</a>
<a href="#">ASML PAS 5500/60 i-line Stepper</a>	<a href="#">Matrix Plasma Resist Strip</a>	<a href="#">Tylan9 - Furnace Annealing</a>		<a href="#">CytoViva HSI</a>	<a href="#">Critical Point Dryer</a>
<a href="#">EVG 101 Spray Coater</a>	<a href="#">MRC Reactive Ion Etcher</a>	<a href="#">Thermco1 - Furnace Annealing</a>		<a href="#">Flexus 2320 Stress Tester</a>	<a href="#">Epilog Fusion M2 Laser Cutter</a>
<a href="#">Ex Fab Develop Wet Bench</a>	<a href="#">Oxford Dielectric Etcher</a>	<a href="#">Thermco3 - Furnace Annealing</a>		<a href="#">Jasco UV-Vis-NIR</a>	<a href="#">Minitech-GX Micromill</a>
<a href="#">Headway 3 Manual Resist Spinner</a>	<a href="#">Oxford III-V etcher</a>	<a href="#">Thermco4 - Furnace Annealing</a>		<a href="#">Keyence Digital Microscope VHX-6000</a>	<a href="#">GnP POLI-400L - Wafer Polishing</a>
<a href="#">Headway Manual Resist Spinner</a>	<a href="#">Plasma Therm Versaline LL ICP Deep Silicon Etcher</a>	<a href="#">Thermolyne - Furnace</a>		<a href="#">Lakeshore Hall Measurement System</a>	<a href="#">DISCO Wafer Saw</a>
<a href="#">Heidelberg MLA 150</a>	<a href="#">Plasma Therm Versaline LL ICP Dielectric Etcher</a>	<a href="#">Savannah- Atomic Layer Deposition (ALD) - Thermal ALD</a>		<a href="#">LEI1500 Contactless Sheet Resistance Mapping</a>	

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface characterization	Packaging, End and Back-Processes, 3D printing
<a href="#">Heidelberg MLA 150 - 2</a>	<a href="#">Plasma Therm Versaline LL ICP Metal Etcher</a>	<a href="#">MVD</a> - Atomic Layer Deposition (ALD) - Thermal ALD		<a href="#">Malvern Dynamic Light Scattering (DLS) Zetasizer</a>	
<a href="#">Laurell Manual Resist Spinner</a>	<a href="#">Plasmaetch PE-50</a>	<a href="#">Fiji 3</a> - Atomic Layer Deposition (ALD) - Plasma Enhanced (PE) ALD		<a href="#">micromanipulator6000 IV-CV probe station</a>	
<a href="#">Mask Scrubber</a>	<a href="#">Plasmaetch PE-50</a>	<a href="#">Fiji 1</a> - Atomic Layer Deposition (ALD) - Plasma Enhanced (PE) ALD		<a href="#">Nanospec 210XP - Reflectometry</a>	
<a href="#">Micro Mist Coater PDR-04</a>	<a href="#">STS Deep RIE Etcher</a>	<a href="#">Fiji 2</a> - Atomic Layer Deposition (ALD) - Plasma Enhanced (PE) ALD		<a href="#">Nanospec 3 - Reflectometry</a>	
<a href="#">SVG Develop Track 1</a>	<a href="#">Technics Asher</a>	<a href="#">Epi2</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD)		<a href="#">Prometrix Resistivity Mapping System</a>	
<a href="#">SVG Develop Track 2</a>	<a href="#">SPTS uetch vapor etch - Vapor Etching</a>	<a href="#">First Nano carbon nanotube CVD furnace</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) - Carbon Nanotube CVD Growth		<a href="#">Reflectance Spectrometer Filmetrics F40</a>	
<a href="#">SVG Resist Coat Track 1</a>	<a href="#">Xactix Xenon Difluoride Etcher - Vapor Etching</a>	<a href="#">Aixtron Black Magic graphene CVD furnace</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) - Graphene CVD Growth th		<a href="#">Sensofar S-neox - Interferometry</a>	
<a href="#">SVG Resist Coat Track 2</a>	<a href="#">Wet Bench Clean res-hotphos - Silicon Nitride Wet Etching</a>	<a href="#">PlasmaTherm Versaline HDP CVD System</a> - Plasma Enhanced (PE) CVD - Deposited Amorphous Silicon (PECVD)		<a href="#">Sinton Lifetime Tester</a>	
<a href="#">Ultraviolet Photoresist Cure</a>	<a href="#">Wet Bench Clean res-hf - Wet</a>	<a href="#">Teos2</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) - Low		<a href="#">SPF Measurement Bench</a>	



Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface characterization	Packaging, End and Back-Processes, 3D printing
	Etching > Silicon Oxide Wet Etching	Pressure (LP) CVD - Deposited Oxide (LPCVD)			
<a href="#">Wet Bench Miscellaneous</a>	<a href="#">Wet Bench CMOS Metal (wbclean3)</a> - Aluminum and Titanium and Tungsten Wet Etching	<a href="#">ThermcoLTO</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) - Low Pressure (LP) CVD - Deposited Oxide (LPCVD)		<a href="#">Tencor P2 Profilometer</a>	
Ovens Various	<a href="#">Wet Bench Flexcorr 1, 2, 3, 4</a> - Wet Etching > Acid or Base Wet Etching	<a href="#">ThermcoNitride</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) > Low Pressure (LP) CVD > Deposited Nitride (LPCVD)		<a href="#">Woollam - Ellipsometry</a>	
		<a href="#">ThermcoPoly1</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) > Low Pressure (LP) CVD > Deposited Amorphous Silicon (LPCVD)			
		<a href="#">ThermcoPoly2</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) > Low Pressure (LP) CVD > Deposited Amorphous Silicon (LPCVD)			
		<a href="#">TylanBPSG</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) > Low Pressure (LP) CVD >			

Lithography	Etching	Material Deposition and Annealing	Printing	Surface characterization	Packaging, End and Back-Processes, 3D printing
		Deposited Oxide (LPCVD)			
		<a href="#">Aix-ccs</a> -Chemical Vapor Deposition (CVD) > Metal-Organic (MO) CVD			
		<a href="#">Aix200</a> - Chemical Vapor Deposition (CVD) > Metal-Organic (MO) CVD			
		<a href="#">AJA Evaporator</a> - Physical Vapor Deposition (PVD) > Evaporation			
		<a href="#">AJA2 Evaporator</a> - Physical Vapor Deposition (PVD) > Evaporation			
		<a href="#">Hummer V Sputter Coater</a> -Physical Vapor Deposition (PVD) > Sputtering			
		<a href="#">Innotec Evaporator</a> -Physical Vapor Deposition (PVD) > Evaporation			
		<a href="#">Intlvac Evaporation</a> -Physical Vapor Deposition (PVD) > Evaporation			
		<a href="#">Lesker Sputter</a> - Physical Vapor Deposition (PVD) > Sputtering			
		<a href="#">Lesker2 Sputter</a> - Physical Vapor Deposition (PVD) > Sputtering			

# נספח ה' - כנס סיעור מוחות במוסד שמואל נאמן

איור 24: כנס סיעור מוחות בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה

## כנס סיעור מוחות בנושא תשתית לאומית לביו-פבריקציה



מועד הכנס: יום חמישי 29/12/2022

מקום: מוסד שמואל נאמן בטכניון



כחלק מפיתוח התחום המשלב ביולוגיה והנדסה (Bio-convergence) כמנוע צמיחה כלכלי בישראל, קיימת חשיבות רבה באיסוף נתונים הנוגעים להיבטים שונים של הצורך בתשתיות עבור התעשייה ובכלל זאת מהו הציווד הנדרש, מהם סוגי המוצרים שעבורם נדרש השירות, אילו מיומנויות הנדסיות נצרכות ועוד.

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית בשיתוף עם המרכז למיקרו ונגו פבריקציה בטכניון (MNFU) בוחנים צרכים ספציפיים של התעשייה בישראל במיקרו ונגו פבריקציה להתקנים בתחום הביולוגיה והרפואה.

מטרת המחקר היא למפות את הצורך, בהווה ובעתיד, של חברות העוסקות בנושאים המשלבים ביולוגיה ורפואה עם הנדסה ומדעי המחשב, בשירותי תשתית לאומית לפבריקציה בטכניון, כדוגמת שירותים לייצור התקנים בתחום המיקרואלקטרוניקה או ננוטכנולוגיה ליישומים ביולוגיים ורפואיים.

שרון לפלר / QULAB Medical	10:25-10:45	ביו-פבריקציה נקודת מבט של התעשייה
	10:45-11:05	הפסקה קצרה של 20 דקות
דין פתוח	11:05-13:30	בדיון הפתוח יוקצה זמן של כ- 15 דקות לעשרה אנשים להביע את דעתם בנושא
הפסקת צהרים	13:30-14:30	ארוחת צהרים קלה
ביקור ב-MNFU	14:30-16:00	ביקור במרכז למיקרו ונגו פבריקציה בטכניון

08:30-09:00	התכנסות והכרות, כיבוד קל
דברי פתיחה	פרופ' עירד יבנה - מנכ"ל ד"ר דפנה גץ / מוסד שמואל נאמן
09:15-09:35	דו"ח תל"מ בנושא Bio-Convergence הטכניון
09:35-09:55	ביו-פבריקציה נקודת מבט אקדמית
09:55-10:05	תיאור היחידה למיקרו ונגו פבריקציה בטכניון
10:05-10:25	ביו-פבריקציה נקודת מבט של התעשייה



בברכה ולהתראות,  
מארגני הכנס / צוות מוסד שמואל נאמן

שם המשתתף	תפקיד / תואר	חברה / ארגון
עדי ברעם	סמנכ"ל טכנולוגיות	Maradin - MEMS Fabless Company
רועי ברק	מוביל פיתוח האלקטרוניקה	ClearCut Medical
פרופ' מורן ברקוביץ'	<b>Fluidic Technologies lab</b>	טכניון - פקולטה להנדסת מכונות
ולדימיר גלוקמן	CTO & Co-Founder	BactoByte
פרופ' גרשון גרוסמן	פרופסור אמריטוס בעבר דיקן הפקולטה להנדסת מכונות	טכניון - פקולטה להנדסת מכונות עמית בכיר - מוסד שמואל נאמן
פרופ' ראמד דניאל	<b>מעבדה לביולוגיה סינתטית וביואלקטרוניקה</b>	טכניון - פקולטה להנדסה ביו-רפואית
אייל הלטמן	סמנכ"ל שיווק ופיתוח עסקי	Sensomedical
שי ירקוני	CEO & Co-Founder	Collect Biotherapeutics
איה כהן	מהנדסת מעבדה ראשית של מרכז מיקרו ננו פבריקציה	טכניון - מרכז למיקרו-ננו פבריקציה
פרופ' שולמית לבנברג	<b>מעבדה להנדסת רקמות ותאי גזע</b> סגנית דיקן לפיתוח אסטרטגי	טכניון - פקולטה להנדסה ביו-רפואית
שרון לפלר	VP R&D & Co-Founder	QULAB Medical
פרופ' עמית מלר	<b>מעבדה לביו-ננו-טכנולוגיה</b> סגן דיקן לגיוס סגל	טכניון - פקולטה להנדסה ביו-רפואית
רני מנדלוביץ'	סמנכ"ל מו"פ	Nano Retina
מתן נפתלי	מנכ"ל	Maradin - MEMS Fabless Company
פרופ' אסתי סגל	<b>Functional Nanomaterials lab</b>	טכניון - פקולטה לביוטכנולוגיה ומזון
טובי סיון	CEO	Virtual Ports
גל עטרות	CTO	MEDX
ד"ר מנחם (חמי) רוטנברג	<b>מעבדה לממשקים ביו-חשמליים וביו-מכניים</b>	טכניון - פקולטה להנדסה ביו-רפואית
פרופ' יואב שכטמן	<b>מעבדה לביו-ננו-אופטיקה</b> אחראי מסלול משולב להנדסה ביו-רפואית ופיזיקה	טכניון - פקולטה להנדסה ביו-רפואית
ואדים שמוקלר	CTO & Co-Founder	Sanoculis
דוד שם-טוב	מוביל חדשנות ומחקר ישומי	טכניון - מוסד הטכניון למו"פ
פרופ' ג'וזואה שניטמן	<b>מעבדה לזורמים ביולוגיים</b>	טכניון - פקולטה להנדסה ביו-רפואית
צוות הפרויקט		מוסד שמואל נאמן בטכניון

## שאלות למשתתפי הכנס במוסד שמואל נאמן בתאריך 29/12/2022

### תיאור התשתית להתקנים ביו הנדסיים – שאלות למשתתפים

כחלק מפיתוח התחום המשלב ביולוגיה והנדסה הידוע במונח ביו-קונברג'נס (Bio-convergence) כמנוע צמיחה כלכלי בישראל, קיימת חשיבות רבה באיסוף נתונים הנוגעים להיבטים שונים של הצורך בתשתיות עבור התעשייה ובכלל זאת מהו הציוד הנדרש, מהם סוגי המוצרים שעבורם נדרש השירות, אילו מיומנויות הנדסיות נצרכות ועוד.

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית בשיתוף עם המרכז למיקרו ונגו פבריקציה בטכניון (MNFU) בוחנים צרכים ספציפיים של התעשייה בישראל במיקרו ונגו פבריקציה להתקנים בתחום הביולוגיה והרפואה.

מטרת המחקר היא למפות את הצורך, בהווה ובעתיד, של חברות העוסקות בנושאים המשלבים ביולוגיה ורפואה עם הנדסה ומדעי המחשב, בשירותי תשתית לאומית לפבריקציה בטכניון, כדוגמת שירותים לייצור התקנים בתחום המיקרואלקטרוניקה או ננוטכנולוגיה ליישומים ביולוגיים ורפואיים.

#### להלן הנושאים בהם נרצה להתמקד בכנס

1. האם לדעתכם יש צורך להקים בארץ מרכז תשתית שיתמוך בחברות קטנות הן בשלב הפיתוח והן בשלב בניית אבי טיפוס וייצור בכמות קטנה, ועד כמה למיטב ידיעתכם אכן קיים צורך בתעשייה בישראל בסוג כזה של תשתית.
2. האם מרכז כזה יוכל לדעתכם לממן את עצמו בטווח של 5 שנים בהתחשב בצרכי השוק.
3. מהן תשתיות המעבדה, חדרים נקיים, ציוד ומיומנויות הון אנושי הנדרשות ביותר להקמת מרכז מסוג זה.
4. האם התשתית צריכה לעמוד בתקינה או בסטנדרטים מקובלים
5. מרשימת התחומים הבאים מה הם התחומים שבהם מומלץ להתמקד

#### *MEMS, MEOMS*

##### *Microfluidics*

A microfluidic chip embedded with measurement electrodes

Bio-Sensors

Biosensors for Environmental Sensing and Medical Diagnostics

Bio-MEMS

Integration between electronics and biology

Nano Photonics

Microphysiological Systems - MPS

Organ-on-chips (OOCs); Developing organ-on-chip module

Tissue Chip for Drug Screening

Miniaturized fluid channels molded into glass, silicon, or polymer.

Lab on chip (LOC);

Fabrication techniques for making economical integrated MEMS/NEMS in large quantities.

##### *Synthetic Biology*

Three-dimensional microelectrode array technologies (3D MEA)

Micro Chemistry Lab for handheld chemical analysis system that combines sample handling, separation, and detection.


Tissue-electronics hybrids and composites



## נספח ו' - תיאור מרכז MNFU בטכניון


להלן תיאור המרכז למיקרו וננו פבריקציה בטכניון<sup>92</sup>:

איור 25: תיאור מרכז MNFU



**MICRO & NANO  
FABRICATION UNIT**

### Micro & Nano Fabrication Unit (MNFU) Technion



**TECHNION**  
Israel Institute  
of Technology

MNFU is a national infrastructure for micro & nano device engineering, encompassing more than 700m<sup>2</sup> of Class 100 & Class 1000 cleanroom with a team of 10 highly experienced process engineers, from all process departments with experience both in the industry and the academy.  
*We are here to help you succeed!*

#### Tools

**Exposer (Lithography)**

- Mask aligners
- Maskless Exposer tools
- Lithography Hoods
- E-beam Nanolithography exposer

**Film Creation**

- E-beam evaporators
- Thermal evaporators
- Sputter
- ALD
- PECVD – oxide & nitride
- LPCVD & Diffusion Furnaces
- RTA
- MVD

**Pattern Transfer (Etch)**

- RIE
- Si DRIE (Bosch)
- ICP Chlorine Chemistry
- Plasma Cleaners
- Wet Etch Hoods

**Characterization**

- SEM
- AFM
- Optical Microscopes
- Surface Profilers
- And more..

**Assembly**


- Dicer
- Bonder

#### Our Advantages

- Compatibility with a wide range of substrate materials and sample sizes
- Fabrication capabilities for deposition and patterning of a variety of materials
- Various working options:
  - Single processes of fabrication or inspection
  - Prototyping
  - Small scale production
  - Independent work in the clean room
- Easy access to work with us, no IP issues, high flexibility to customer needs

#### Capabilities – Just a Taste

- Traditional Microelectronics
  - All processes tools – layer formation, lithography, etch, inspection
  - Mask fabrication
- Nanotechnology
  - Nano gratings
  - Waveguides
- Biomed
  - Microfluidics
  - Bio Sensors for Diagnostics
  - Lab on Chip
- Material Science
  - Special depositions
  - One stop shop for characterization



Contact us for more details:    Yana Milyutin    077-8872767    yanam@technion.ac.il

<sup>92</sup> נכתב על ידי גב' איה כהן, מנהלת המרכז, להרחבה באתר המרכז.

# נספח ז' - סיכומי דברים שנכתבו על ידי נציגים מהתעשייה ומהאקדמיה

1. דוגמא לפעילות בתחום ה-BC בטכניון

הצעה זו נכתבה על ידי פרופ' עמית מלר מהפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון וצוות המעבדה לביו-נו-טכנולוגיה.

## Towards a Technion Bio-Convergence Institute

Prof. Amit Meller  
Faculty of Biomedical Engineering  
Technion - IIT  
Haifa, IL  
[www.meller-lab.net](http://www.meller-lab.net)

SiN. 10 nm Au 400 nm

Nanopore

4 nm

TECHNION Israel Institute of Technology

Meller Lab TECHNION

מוסד שמואל נאמן  
29.12.2022

BME

# תקציר מהמסקנות והמלצות דו"ח ועדת הבדיקה לתחום הביו-קונברג'נס<sup>1</sup>

**ביו-קונברג'נס:** הגל הטכנולוגי הבא של המאה ה-21 המוגדר כשילוב של ידע וטכנולוגיה בתחומי הביולוגיה עם ידע בהנדסה ותוכנה.

**המלצת תחומי מיקוד:** הוועדה ממליצה בשלב ראשון לכוון את התוכנית בעיקר (אך לא רק) לתחום הבריאות שבו לישראל יש יתרונות תחרותיים ומוכילות עולמית.<sup>1</sup>

## תשתיות באקדמיה:

הוועדה ממליצה על הקמת מרכזי תשתיות מוסדיים ובין מוסדיים. מטרת תוכנית זו היא מתן מימון לתשתיות ציוד וכוח אדם מקצועי בתחומי הביולוגיה משולבת ההנדסה והתוכנה, אשר יאפשרו מתן שירותים והנגשת ציוד חיוני לחוקרים באקדמיה, בבתי חולים ובתעשייה.

## דוגמאות למרכזים אפשריים ואף מומלצים:

- התקנים ביו-הנדסיים
- הדפסה ביולוגית (הנדסת רקמות והדפסת מזון)
- ביולוגיה סינטטית וביולוגיה מבנית
- מיקרוביום סביבתי ומטבולומיקה
- טרנסטיקה ורפואה מדייקת

## פיתוח הון אנושי בינתחומי:

הכנת תוכניות לימוד לתואר ראשון ולתארים מתקדמים, המכוונים להנחלת ידע הנדסי בסיסי ורלבנטי לסטודנטים בתחומי מדעי החיים והרפואה, וחשיפה של סטודנטים בתחומי ההנדסה לידע ביו-רפואי בסיסי.

מלגות לתאר ראשון ולתארים גבוהים.

## תשתיות באקדמיה:

4 מרכזי תשתיות מוסדיים: ביולוגיה סינטטית, התקנים ביו-הנדסיים, הדפסה ביולוגית, ביולוגיה מבנית- CryoEM.

### ייעוץ עם גורמים מחו"ל

- 1) IMEC מכון, CTO, אילון שפלינגר
- 2) מכון פרנהופר, גרמניה
- 3) WYSS Institute, Harvard, פרופ דון אינגבר





# Bio-chip, bio-convergence activities @ Technion

Names list (partial)

- Shulamit Levenberg (BME)
- Yossi Shamai (BME)
- Nati Korin (BME)
- Josue Sznitman (BME)
- Lior Gepstein (MED)
- Oren Capsi (MED)
- Amit Meller (BME)
- Yoav Shechtman (BME)
- Daniel Ramez (BME)
- Roei Amit (BTE)
- Esti Segal (BTE)
- Havazelet Bianco-Peled (CE)
- Assaf Zinger (CE)
- Avi Schroeder (CE)
- Hossam Haick (CE)
- Alex Leshansky (CS)
- Hemi Rotenberg (BME)
- Yoram Gotfroid (MED)
- ...

(Some examples)

Meller Lab

Haick Lab

Levenberg Lab

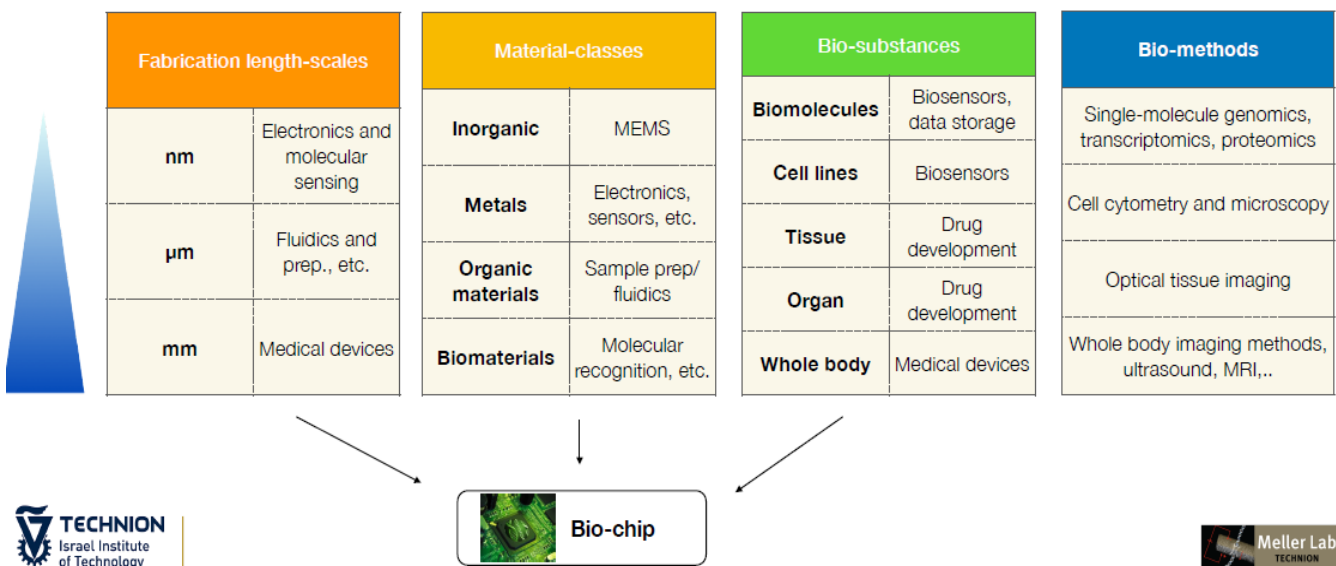
TECHNION | Human Health Initiative

Meller Lab  
TECHNION

3

Meller slides 291222 - January 3, 202

Bio-chips fabrication / prototyping involve *multi-scales, multi-material classes and diverse biological materials/methods*



4

Meller slides 291222 - January 3, 202

## Technion Bio-Convergence Institute



### מסקנות ראשוניות + אקשן אייטמס

1. להקים גוף מוביל לתהליך הטכניוני בהשתתפות כל הגורמים הרלוונטיים, ובהובלה של אנשי בריאות האדם.
2. לבצע חשיבה מערכתית אסטרטגית על נושא הביו-קונברגנס כמנוע צמיחה בטכניון.
3. לעבוד בראייה ארוכת טווח עם פוקוס על הצמחה של דורות של מדענים/מהנדסים במימשק הביו-הנדסי.
4. לייצר תשתיות פבריקציה תוך ניתוח והבנה של הצרכים המיוחדים של המחקר הביו-קונברגנס.
5. ליצור ערוצי תקשורת ושת"פ עם מרחב גדול של תעשיות ביו-רפואיות, תוך ניצול הנסיון הקיים אצל שותפים בתחום.
6. לחזק את הקשר הפנים טכניוני והזיקה בין החוקרים בפקולטות של מדעי החיים עם ההנדסות ה"קשות" ובמיוחד חשמל/מחשבים.

מקור: פרופ' עמית מלר מהפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון וצוות המעבדה לביו-ננו-טכנולוגיה

## 2. סיכום דרישות, נכתב על ידי ד"ר שרון לפלר מחברת Qulab Medical

הקמת תשתית לסיוע לחברות בתחומי הפבריקציה השונים.

בהמשך לשיחה שהתקיימה לגבי התשתית הנחוצה למתן תמיכה בחברות מוכוונות ביו-קונברגנס ופבריקציה.

כפי שאני רואה זאת, ומתוך היכרותי עם מספר מרכזי ננו בארץ, המרכזים האוניברסיטאיים מוכוונים בראש ובראשונה להוות מרכז פיתוח לקבוצות האקדמאיות בתוך האוניברסיטאות. כאשר עיקר העבודה לראייתי מתבצעת ע"י סטודנטים שעוברים הכשרה מסוימת (לפעמים בסיסית ביותר). כמוכן שעבודה זו היא חיונית לצורך הכשרת הסטודנטים בתהליכי הפיתוח השונים ואפשרות לפיתוח מהיר ונוח ע"י היחידות האקדמאיות. יש לציין שעבודה של סטודנטים בעלי רמות הכשרה שונות גורמת ברוב המקרים לבלאי מואץ של הציוד מה שגורר תקופות השבתת ציוד לא מבטלות. ברוב מרכזי הננו ישנו צוות קטן יחסית שתפקידו לתפעל ולטפל בציוד (בעלי הכשרה משתנה). בנוסף ישנם גם מקרים שמועסקים במרכזים סטודנטים בשכר למטרות תחזוקה שותפת ולעיתים גם בהדרכה על ציוד. מאחר וצוותי המרכזים הינם מצומצמים ואמונים בעיקר על תחזוקה והכשרות לא נותר כוח אדם למענה מתאים לחברות. לא אחת קיבלנו תשובה שאין באפשרות הצוות במרכזים השונים לקחת עבודה נוספת

עקב מחסור בכוח אדם. מצב זה מאלץ חברות שרוצות לפתח תהליך מקיף וארוך טווח להביא מהנדס מטעמם שיבצע את העבודה במרכז לטובת החברה עם סיוע של צוות המקום. בנוסף לא תמיד ישנה עדיפות בהזמנת ציוד לחברות וניתנת העדפה לסטודנטים או צוות המקום. מבחינת ציוד ישנה כמובן שונות בין המרכזים השונים אך עד לאחרונה היה מאתגר לאתר ציוד לעבודה על וויפר "4 ומעלה מכיוון שרוב הציוד הוותיק מיועד לעבודה ב"3 מאחר ויש צורך שכל שרשרת הפבריקציה בציוד תהיה זהה. לא אחת נאלצים לחתוך פרוסות קטנות מוויפרים גדולים על מנת להתאימם לציוד הקיים.

מרכז פיתוח שיכול לשרת ולתמוך בחברות בתחום הפבריקציה חייב להיות באוריינטציה המתאימה משמע, לתת שירותי פיתוח ע"י צוות מקצועי וציוד מתאים המיועד למטרה זו.

מרכז זה חייב להיות מופרד מיחידות שנועדו לתת מענה לחוקרים (באמצעות סטודנטים) לצרכי אקדמיה. כמובן שניתן יהיה לתת שירותי פיתוח לאקדמיה אך ע"י הצוות המקצועי ובסטנדרטים של המרכז או ע"י סטודנטים לתארים מתקדמים העושים את הכשרתם/מחקרם במרכז. כנותן שירות ומוביל בתהליכי פיתוח מרכז זה יצטרך לכלול צוות תחזוקה, תפעול, ניהול הפיתוח וניהול הפרויקטים. זאת בשונה מהמצב קיום בו הצוות משמש גם לתחזוקה, תפעול, הכשרה ופיתוח ולרוב במקביל.

המרכז ישמש כמרכז פיתוח חיצוני לחברות ללא מעורבות ישירה של עובדי החברות השונות בתהליכי הפיתוח, אלא רק ע"י הצוות הייעודי של המרכז. מרכז זה יוכל לתת שירותי פיתוח גם לחברות מחו"ל במחיר לא מסובסד.

בתכנון תהליכי הפיתוח צריך שינתן דגש על תהליכים פנימיים שמפותחים/פותחו במרכז (IP) ו knowhow) לצורך פיתוח האב טיפוס/מוצר מול תהליכים והגדרות מוצר/אב טיפוס של הלקוח. המרכז אמור לשאוף להשתמש בידע הפנימי של תהליכי הייצור על מנת לספק את דרישת החברות. יתכן כמובן גם מודל של פיתוח משותף או במקרים יותר נדירים העברת ידע למרכז ע"י החברות לצורך הפיתוח.

בנוסף מרכז כזה רצוי שיוכל לספק שירותי יעוץ בפיתוח תכנון תהליך, תכנון מסכות, סימולציה, אנליזה, בדיקת איכות העברת טכנולוגיה מפיתוח לייצור, ובמשק לנותני שירות מקצועיים חיצוניים. כמובן שמרכז זה יצטרך לעמוד בתקני יצור בין לאומיים יתכן שאף בתקן ליצור מכשירים רפואיים לייצור אצוות קטנות של מכשור רפואי, במידה ומדובר על פרויקטים של ביו-קונברג'נס לדוגמא.

ציוד:

ככלל רצוי ציוד שיתמוך בוויפרים עד 200mm במידת האפשר.

- מעבר לציוד הסטנדרטי של פוטוליוטוגרפיה איכול דפוזיציה ואנליזה

CMOS -MEMS

רשימה חלקית ביותר של ציוד נוסף רצוי

- E-beam high performance nanolithography
- DWL direct laser lithography system
- PECVD deposition tools for thick oxide passivation and for CNTs
- ALD/PEALD with versatile precursors
- Thin film deposition including graphene
- An DRIE/RIE tool combined with sputtering tool to allow deposition of metals without breaking vacuum

- Vapor HF tool
- Metal ICP etch
- Xenon Difluoride - Dry Vapor Etch
- Doping CVD tools
- Laser cutting tool
- D 3printers for prototyping

Additional equipment for bio:

- Chemical analytic tools
- Imaging tools scanners and microscopes
- Laser scanning microscopes
- Microfluidics design and manufacturing tools
- Sequencing tools Basic
- Bio laboratory equipment
- Glovebox facility
- Biological hoods different classes

להערכת הקמת מרכז כמתואר ידרוש תקציבים רבים שווה ערך להקמה של שניים עד שלושה מרכזי ננו אוניברסיטאיים. זאת מאחר ורמת הציוד רמת והצוות וכמותו יהיו גדולים בהרבה מהקיים במרכזים כיום. כמובן שההכנסות יהיו יותר גבוהות מהמקובל במרכזי הננו הקיימים מאחר ורוב הלקוחות הינם לקוחות חיצוניים.

לאור העלות הגבוהה של הקמת מרכז כזה ותפעולו ישנה אלטרנטיבה להקמת מרכז שבו יהיה ציוד בסיס בעיקר לצרכי תכנון ואנליזה. מרכז זה יגשר על הפער בין החברות למרכזי פיתוח עולמיים, חברות מסחריות, ונותני שירותים.

המרכז יציע שירותי פיתוח וניהול פיתוח כולל מעבר לפיתוח במרכזי פיתוח בחו"ל תכנון פרויקט. במרכז יועסקו אנשי מקצוע שיסייעו משלב הגדרת המוצר, מציאת טכנולוגיית יצור מתאימה, תכנון פיתוח לאב טיפוס, הכנת תכן ראשוני, הוצאה לייצור, תמיכה באפיון, בדיקה של התוצרים והכנת סקר לקראת המשך פיתוח. מרכז זה יענה על צורך קריטי בתעשייה בעיקר בחברות סטארט-אפ שעדיין אינם מכירות ומקושרות למרכזי פיתוח תעשייה ונותני שירותים. המרכז אף יוכל לקצר תהליכים רגולטוריים וחוזיים בין החברות למרכזי הפיתוח ונותני השירותים השונים ע"י חוזה התקשרות לפיתוח עם המרכז בארץ.



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,  
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

תשתיות פיזיות