



מדע וטכנולוגיה

צורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי

דו"ח שנה ג'

אגירת אנרגיה וערים חכמות

ד"ר דפנה גץ

ציפי בוכניק

ורד גלעד

סימה ציפרפל

סביבה
ואנרגיה

תכנון
ארוד טווח

תעשייה
וחדשנות

תשתיות
פיזיות

בריאות

הון
אנושי

השכלה
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה

צורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי

דו"ח שנה ג' –

אגירת אנרגיה וערים חכמות

מוגש למשרד המדע והטכנולוגיה,
המועצה הלאומית למו"פ

חוקרים:

ד"ר דפנה גץ

ציפי בוכניק

ורד גלעד

סימה ציפרפל

2019

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

5	מבוא	1
5	הקדמה.....	1.1
6	מטרת המחקר	1.2
6	מתודולוגיה.....	1.3
8	אגירת אנרגיה (Energy Storage)	2
8	סקר ספרות	2.1
18	פוטנציאל שוק אגירת האנרגיה בעולם.....	2.2
19.....	אגירת אנרגיה בישראל	2.3
19.....	תמיכה ממשלתית בתחום אגירת אנרגיה	2.4
22	תעשיית אגירת אנרגיה בישראל.....	2.5
25.....	הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום אגירת אנרגיה.....	2.6
26	פעילות מחקרית ומרכזי מחקר.....	2.7
27	חממה טכנולוגית	2.8
28.....	מדדים ביבליומטריים.....	2.9
30.....	בקשות לפטנטים	2.10
31	מענקי מחקר.....	2.11
31	כנסים.....	2.12
32.....	החוזקות והחולשות של ישראל בתחום אגירת אנרגיה	2.13
35	נספחים.....	2.14
49	מקורות.....	2.15
52	ערים חכמות	3
52	סקר ספרות בנושא ערים חכמות.....	3.1
60.....	'ערים חכמות' בישראל.....	3.2
66	הכשרת כוח אדם לתחום ערים חכמות.....	3.3
68.....	מאגד ערים חכמות.....	3.4
68.....	מדדים ביבליומטריים.....	3.5
71.....	מיפוי חברות בתחום ערים חכמות בישראל.....	3.6
74.....	סיכום ותובנות מהראיונות.....	3.7
76	נספחים.....	3.8

רשימת איורים

23	איור 1: הגידול במספר החברות בתחום אגירת אנרגיה בשנים 2010-2019 לפי סקטור
23	איור 2: גודל החברות בתחום אגירת אנרגיה לפי מספר העובדים בחברה
24	איור 3: סך גיוס ההון (במיליוני \$) של חברות בישראל בתחום אגירת אנרגיה בשנים 2008-2019
26	איור 4: מקבלי תארים מהאוניברסיטאות בתחומי אגירת אנרגיה בשנים 2012-2017
29	איור 5: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
	איור 6: השינוי במספר הפרסומים בתחום אגירת אנרגיה בישראל יחסית לעולם בשנים 2014-2018
30	
30	איור 7: דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
54	איור 8: עולמות התוכן של העיר החכמה
55	איור 9: תתי התחומים המרכזיים בעולמות התוכן של העיר החכמה
69	איור 10: השינוי במספר הפרסומים בעולם בנושא Smart City במהלך השנים 2000-2018
	איור 11: עשרת התחומים* המובילים בעולם במספר הפרסומים בנושא Smart City בשנים 2014-2018*
69	
70	איור 12: 50 המדינות המובילות במספר הפרסומים המדעיים בנושא*
71	איור 13: חברות בתחום ערים חכמות בישראל בשנים 2000-2018
72	איור 14: חברות בתחום ערים חכמות לפי סקטור
72	איור 15: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה
73	איור 16: התפלגות חברות לפי Funding Stage (2018)
73	איור 17: התפלגות חברות לפי Product Stage (2018)

רשימת טבלאות

24	טבלה 1: היקף גיוס ההון שבוצע בחברות בתחום אגירת אנרגיה
31	טבלה 2: מענקי מחקר בתחום אגירת אנרגיה
55	טבלה 3: שטחי יישום של טכנולוגיות דיגיטליות נפוצות בערים עכשוויות

1.1 הקדמה

שני העשורים האחרונים מתאפיינים בחדירה מואצת של טכנולוגיות חדשות בתחומי הרובוטיקה, התקשורת ומערכות המידע, ננו-טכנולוגיה, ביוטכנולוגיה, אנרגיה ועוד. טכנולוגיות אשר משפיעות על כל תחומי המשק השונים (בריאות, חינוך, תעשייה, חקלאות, מסחר ועוד) ומכתיבות דפוסי עבודה חדשים, מקצועות חדשים מול מקצועות שאין להם כבר ביקוש והכשרות ומיומנויות מתאימים. במגזר העסקי בישראל נשמעת לעיתים קרובות הטענה על מחסור בכוח אדם בתחומים שונים (סייבר, מחשבים, חשמל, מים, אנרגיה, סביבה, בינוי, תשתיות ועוד). העלייה הרוסית שהגיעה בשנות התשעים הגדילה את כוח העבודה הטכנולוגי והמדעי בכל תחומי המשק, אך העולים שהשתלבו ותרמו לאקדמיה ולתעשייה נמצאים היום בגיל פרישה ומדינת ישראל צריכה לבחון האם החינוך הטכנולוגי/מקצועי והחינוך האקדמי מכשירים כוח אדם מתאים על מנת לענות על צרכי השוק. גיבוש מדיניות מדע וטכנולוגיה לטווח ארוך היא משימה חשובה המבוססת על ניתוח מגמות ההתפתחות של התחומים השונים לאורך זמן, הבנת התרומה האפשרית של תחומי המדע והטכנולוגיה לכלכלה ולחברה ואיתור המחסומים המעכבים את ההתפתחויות האפשריות (המרכז הבינתחומי לחיזוי טכנולוגי, 2001).

טכנולוגיות מפציעות וכוח אדם מדעי וטכנולוגי הם נושאים שמוסד נאמן עוסק בהם יותר מעשור. לדוגמה, בשנת 2007, הוגשה עבודה בנושא "כוח אדם מדעי וטכנולוגי במדינת ישראל" שהוכנה ע"י צוות מוסד נאמן בהתאם להזמנה של תת-הועדה לנושא כוח אדם של המולמו"פ. העבודה כללה נתונים המפרטים את ההיצע של כוח אדם מדעי וטכנולוגי ותיאור שוק העבודה במדינת ישראל בתחום זה, באמצעות אינדיקטורים של שכר, אבטלה ותעסוקה עפ"י פילוחים שונים. בנוסף, הובאה סקירת ספרות שתוארה את ההיצע והביקוש לכוח אדם מדעי וטכנולוגי במדינות ה-OECD והמלצות לגבי דרכים להגדלת ההיצע של כוח אדם מדעי וטכנולוגי בישראל. בעקבות עבודה זו, בשנים 2008-2009, בוצע מחקר המשך אשר התמקד בנושאים נבחרים כגון: צמצום בריחת מוחות, תחזית להיצע בכוח אדם בהתאם לצרכים עתידיים של התעשייה, הרחבת מאגר העובדים בשוק העבודה המדעי והטכנולוגי, החינוך הטכנולוגי, שיתוף פעולה בין התעשייה לאקדמיה בישראל בהקשר של נושא כוח אדם מדעי וטכנולוגי ועוד. במהלך השנים מוסד נאמן פרסם עבודות המשך בנושא ועבודות בתחומים של טכנולוגיות מפציעות¹. כוח האדם הנדרש לתחום הבינה המלאכותית נבחן בעבודה שבוצעה בנושא במוסד נאמן ב-2018²

¹ עבודה נוספת בנושא, הוגשה למולמו"פ בשנת 2013 ועסקה במודלים ומדדים בתחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי. העבודה כללה סקירת ספרות על תחזיות טכנולוגיות בעולם, סקירה של מודלים בשימוש לצפי כוח אדם בעולם. ותמונת מצב של המודלים והתחזיות הקיימים בישראל. בוצעו גם מחקרים נוספים בתחום של "טכנולוגיות מפציעות", כאשר נושאים של כוח אדם והכשרת הון אנושי מופיעים כתת נושא. לדוגמה: "מדידת הפעילות האקדמית והכשרת כוח אדם בתחום הגנת הסייבר בישראל בשנים 2010-2013" (2016), "פעילות מו"פ, תשתיות וכוח אדם בתחום החלל האזרחי בתעשייה, באקדמיה ובמערכת החינוך בישראל" (2014).

² גץ, ד., כץ שחם, א., קליין, ר., צזנה, ר., רוזנברג, ש., שהם, א., ברזני, א., לק, ע., ציפרפל, ס. (2018). בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה-סקר חברות. מוסד שמואל נאמן.

בשנת 2017, מוסד נאמן זכה במכרז פומבי מס' 5/2016 לביצוע מחקרים מדעיים במסגרת גיבוש מדיניות לאומית כוללת בפיתוח וקידום המחקר המדעי במדינת ישראל, עבור המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח במשרד המדע והטכנולוגיה. הנושא של תחזיות לצורכי כ"א מדעי וטכנולוגי מהווה חלק ממכרז זה. בדו"ח המסכם שהוגש בסיום השנה הראשונה של הפרויקט, נסקרו תחזיות טכנולוגיות במדינות נבחרות בעולם, ובוצע תהליך של התאמת תחזיות טכנולוגיות לישראל. תהליך ההתאמה בוצע באמצעות ראיונות עם מומחים וקובעי מדיניות מתחומים שונים. מומחים אלו בחנו שורה ארוכה של טכנולוגיות עתידיות בתחומי הביוטכנולוגיה, חומרים מתקדמים, טכנולוגיות דיגיטליות ואנרגיה וסביבה. בנוסף, המומחים סיפקו המלצות שעמדו בבסיס הבחירה לנושאים שנחקרים בהרחבה. בשנה הראשונה של הפרויקט נחקרו: פוטוניקה ואגרוטק (חקלאות מדייקת). בשנה השנייה עסקנו בתחומי הדפסת תלת מימד ורפואה מותאמת אישית. בשנה זו אנו מתמקדים בשני תחומים נוספים: ערים חכמות ואגירת אנרגיה.

1.2 מטרת המחקר

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

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

1.3 מתודולוגיה

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

בשנים האחרונות גרם תהליך הגלובליזציה בכל התחומים לכך שלא כל מדינה צריכה לבצע בעצמה תהליך חיזוי מורכב וארוך, אלא יכולה להתבסס על תחזיות קיימות, תוך התאמה שלהן לתנאים והמאפיינים המיוחדים שלה.

בשנה הראשונה נעשה סקר ספרות על תחזיות טכנולוגיות – אלו טכנולוגיות יהיו משמעותיות פורצות דרך בעולם. פועל יוצא מהסקירה נבחרה רשימה מתוך מחקר של ה-OECD שריכז תחזיות טכנולוגיות של שש מדינות: קנדה, אנגליה, EU, פינלנד, גרמניה ורוסיה. במחקר זהו 70 טכנולוגיות שרוכזו לפי ארבעה תחומי על:

- Biotechnologies
- Advanced materials
- Digital technologies
- Energy and Environment

במסגרת המחקר נעשה שימוש בשיטות מחקר שונות על פי הצורך כגון:

- סקר ספרות על התחום הנבחר הכולל תחזיות טכנולוגיות, מצב התחום במדינות נבחרות בעולם מפות דרכים, נתונים כלכליים ומצב התחום בישראל.
- ראיונות עם מומחים בתחומים שיבחרו מהתעשייה ומהאקדמיה, לגבי שוק העבודה העתידי במשק. המרואיינים היו מומחים בתחום האנרגיה והסביבה, מומחה בתחום כימיה וחומרים מתקדמים, מומחה מהתעשייה ב-ICT ומומחה בנו-טכנולוגיה. בתחומים אותם נסקור בהמשך דוח זה שילבנו מדבריהם³.
- מפגש סיעור מוחות עם בכירים בתחום הפוטוניקה מכל מגזרי המשק (אקדמיה, תעשייה וממשלה)
- ראיונות עומק עם מומחים.
- סקר באמצעות הפצת שאלונים לבעלי חברות וחוקרים מהאקדמיה.

בכל שנה נבחרו שני נושאים למחקר עומק:

- בשנה א' למחקר:
 - אגרו-טק - שיין לתחום Biotechnologies
 - פוטוניקה – שיין לתחום Digital technologies
- שנה ב' למחקר:
 - הדפסת תלת ממד - שיין לתחום Advanced materials
 - רפואה מותאמת אישית וגנומיקה - שיין לתחום Biotechnologies

לשנה זו, שנה ג' למחקר - נבחרו שני הנושאים:

- אגירת אנרגיה - שיין לתחום Energy and Environment
- תחום אגירת אנרגיה שיין לתחום אנרגיות מתחדשות ואנרגיות אלטרנטיביות זהו אחד התחום המוגדרים כתחום הטכנולוגי הבא שיביא שינוי משמעותי לתעשיית האנרגיה. ככזה, פרק זה סוקר את התחום בעולם ואת הפוטנציאל להתפתחות וכן תמונת מצב בישראל בהיבט של כוח אדם ותשתיות.
- ערים חכמות – תחום מקיף הכולל בתוכו נושאים רבים (תחבורה, IOT, סנסורים, רשת חכמה ועוד).

³ רשימת המרואיינים איתם קיימו ראיונות מובאת להלן.
 - יעל מזוז- תעסוקה עתירת ידע – כ"א בתעשיית ההיי-טק וכנרת דהן גרניט – הכשרה של טכנאים והנדסאים בשוק העבודה העתידי ממשרד העבודה, הרווחה והשירותים החברתיים.
 - ד"ר אהרון האופטמן - מהיחידה לחיזוי טכנולוגי וחברתי, אוניברסיטת תל אביב.
 - פרופ' גרוסמן גרשון, מומחה בתחום האנרגיה והסביבה, פרופ' אמריטוס בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון, עמת מחקר בכיר וראש פרויקט פורום אנרגיה במוסד שמואל נאמן.
 - פרופ' אופירה אילון, חוקרת בכירה וראש תחום סביבה במוסד שמואל נאמן ופרופסור מן המניין באוניברסיטת חיפה.
 - עידן ליבס – חוקר במוסד שמואל נאמן בנושאי סביבה, ארגיה וטכנולוגיה.
 - ד"ר גילי פורטונה מומחה בכימיה וחומרים מתקדמים, עמית מחקר בכיר וראש המרכז למצוינות תעשייתית במוסד שמואל נאמן
 - משה לוינגר – סמנכ"ל פיתוח, מעבדת המחקר של יבמ – חיפה
 - פרופ' יצחק שמוליביץ' - פרופ אמריטוס - הפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון
 - פרופ' אבי שרודר – מומחה בפיתוח מערכות ננו-טכנולוגיות בפקולטה להנדסה כימית בטכניון

2 אגירת אנרגיה (Energy Storage)

2.1 סקר ספרות

2.1.1 מבוא

אגירת אנרגיה מתארת תהליכים שונים שנועדו לאגור אנרגיה ולהמיר אותה כך שיהיה ניתן להשתמש בה לצרכים השונים בנקודות זמן שונות. נושא אגירת אנרגיה חשוב לניצול יעיל של רשת החשמל ולשילוב של אנרגיות מתחדשות ליצירת חשמל, קידום תחבורה היברידית וחשמלית ועוד. האגירה יוצרת איזון בייצור החשמל ותורמת לביטחון באספקה שוטפת של חשמל. שוק מערכות אגירת האנרגיה הוערך בשווי של 340 מיליארד דולר בשנת 2018 והוא צפוי להתרחב ביותר מ-6% עד שנת 2025 (Global Market Insights Inc., 2018). במקביל להתפתחות המתמשכת של מערכות אגירת אנרגיה למשאבי אנרגיה מתחדשים. הנטייה בעולם הינה לעבור לפרויקטים המשלבים הפקת אנרגיות מתחדשות עם מתקני אגירת אנרגיה, בעיקר בסין, ארה"ב ואירופה (IEA, 2019). המיקוד המתמשך ביצור של אנרגיה מתחדשת נובע בעיקר מהגידול בצריכת האנרגיה בעולם ותופס תאוצה בשל השקעות נרחבות של הסקטור הפרטי והסקטור הציבורי בטכנולוגיות של אנרגיה מתחדשת. דוגמאות לכך הן שוק אגירת האנרגיה בסין שהוערך ביותר מ-700 מיליון דולר ב-2017, ופריסת הקיבולת המצטברת בסין צפויה לעבור את ה-4,000MW⁴ עד 2024. שוק אגירת האנרגיה בארה"ב, שהוערך ביותר מ-400 מיליון דולר בשנת 2017, צפוי לגדול אל מעבר ל-3,000MW⁶⁵ לשנה עד 2024 (Global Market Insights Inc., 2018). כמו כן, שוק אגירת האנרגיה באירופה גדל ב-2017 ב-50% לעומת 2016 (EASE, 2019).

טכנולוגיית אגירת אנרגיה הינה מערכת הקולטת אנרגיה ומאחסנת אותה לפרק זמן מסוים לפני שחרורה הלאה על פי דרישה לאספקת אנרגיה או שירותי חשמל. הטכנולוגיה הפכה לנפוצה יותר ונדרשת יותר, בעיקר בתעשיית החשמל, יחד עם הדרישה לאנרגיה נקייה ושימוש באנרגיות מתחדשות (כגון, קרינת השמש, גאות ושפל, גלי ים, רוח, ביומסה, הידרואלקטרית, גיאותרמית) והירידה בעקומת העלות של אנרגיות אלו. טכנולוגית האגירה הינה בעלת פוטנציאל כלכלי משמעותי, היות שמערכות אלו מייעלות את התשתיות ליצירת אנרגיה ומוזילות את העלויות עבור הצרכנים.

ניתן לנתח את שוק הטכנולוגיה של מערכות אגירת האנרגיה בעולם לפי סוגי הטכנולוגיה לאגירה, לפי המשתמש הסופי (בית מגורים, שירותי ציבורי) ולפי סוג היישום (רשת חשמל, תחבורה).

סוגי הטכנולוגיות השונות מבוססות על גישות של אגירת אנרגיה כימית, אנרגיה תרמית, אנרגיה מכנית, אנרגית מימן ואנרגית מים. גישות אלו מחולקות לחמש קטגוריות עיקריות (ESA, 2019):

1. **Batteries Storage** - אגירת אנרגיה בסוללה באמצעות המרה של אנרגיה כימית.
2. **Thermal Energy Storage** - אגירת אנרגיה תרמית.
3. **Mechanical Storage** - מערכות אגירת אנרגיה מכניות.
4. **Hydrogen Energy Storage** - המרה של עודפי ייצור חשמל למימן באמצעות אלקטרוליזה.
5. **Pumped Hydropower Storage** - אגירת אנרגיה הידרואלקטרית בקנה מידה גדול באמצעות מאגרי מים.

המערכות לאגירת אנרגיה עוברות מהפכה טכנולוגית מתמשכת כך שיוכלו לאגור אנרגיה ביעילות ובנחות ולהתגבר על המחסומים המסורתיים של אספקת אנרגיה רציפה. המגמות להתפתחות הטכנולוגיות בתחום נובעות מאימוץ של מערכות אגירה לרשת החשמל ולתחבורה, אימוץ של טכנולוגיות לאנרגיות מתחדשות ומהצורך לשילוב של תוכנה לניהול יעיל של מערכות האנרגיה (AESO, 2018).

נרחיב על שלוש טכנולוגיות מובילות בנושא של אגירת אנרגיה: אגירה על ידי סוללות, קבלי על ואגירה של מימן. בנוסף, נרחיב על שלושה יישומים בייצור וניהול חשמל עם שילוב של מערכות לאגירת אנרגיה (מערכות סולאריות, אנרגיה לצריכה עצמית, רכבים חשמליים וטכנולוגיות לניהול רשת):

⁴ מגה-ואט (MW) שווה ל-1,000,000 ואט; ג'יגה-ואט-שעה (GWh) שווה למיליארד ואט-שעה; קילוואט-שעה (קוט"ש) (kWh), שווה ל-1000 ואט-שעה

2.1.2 פיתוח טכנולוגי של סוללות לאגירת אנרגיה ליישומים שונים

סוללות לאגירת אנרגיה יהוו את מקור האנרגיה הזול בעולם לרכבים היברידיים וחשמליים, בתי מגורים, תחנות כוח סולאריות ועוד (פורום אנרגיה, 2019). על פי סקר של בלומברג (Bloomberg, 2019), ארה"ב מובילה היום בייצור סוללות אך לאחרונה אירופה נצמדת אליה כך שיכולת ייצור הסוללות שלה עומד על סף של צמיחה דרמטית, ועד 2023 היא צפויה לעקוף אותה.

המו"פ הטכנולוגי של הסוללות מתרכז בעיקר בהגברת היעילות של הסוללות: יכולות קיבולת האגירה של הסוללה, ביצועים טובים יותר בטמפרטורות גבוהות ופריקה עצמית נמוכה לאורך זמן, חיי סוללה ארוכים יותר, הקטנת גודל הסוללה, ושימוש בטוח בסוללה. למשל, תכנית העבודה של horizon 2020 לשנים 2018-2020 מציגה יוזמה מחקרית רחבת היקף חדשה לטכנולוגיות עתידיות של סוללות כחלק מבניית עתיד אקלימי דל פחמן. למשל, קהילה הבונה מפת דרכים לאגירה של אנרגיה אלקטרוכימית חכמה בעלת ביצועים גבוהים. האתגר בפרייקט זה הוא לשלב את המחקר האקדמי והתעשייתי וכן את קהילת החדשנות מתחומים שונים לפיתוח מפת דרכים לטווח ארוך לטכנולוגיות חדשות של אגירת אנרגיה אלקטרוכימית. תחום זה חשוב לפיתוח התעשייה האירופאית ולענות על צרכים של סקטורים רבים ויישומים כמו ניידות אלקטרונית ואגירת אנרגיה מתחדשת (horizon 2020, 2019).

דוגמאות לחידוש בתחום הסוללות בארץ: חברת StoreDot הישראלית מפתחת סוג חדש של סוללת flash למכוניות חשמלית המבוססות על תרכובות אורגניות חדשניות במקו רכיבי ליתיום טיפוסיים. החברה דורגה במקום ה-4 מבין חברות הסטארט-אפ המובילות בעולם בפיתוח סוללות (EnergyStartups, 2019).

על מנת להתמודד עם הדרישה ההולכת וגוברת לחשמל ועומס ייצור החשמל, אנו נדרשים ליכולות של אגירת אנרגיה לטווחי זמן ארוכים יותר. שיפורים אלו מתוכננים בעיקר בסוגי הסוללות הבאים:

Lithium-ion battery - סוללות ליתיום-יון הינן הדומיננטיות היום בשוק הסוללות והמגמה רק תתחזק לאור ההשקעות הגדולות שמבוצעות במפעלי ייצור ברחבי העולם, כך שסוללות אלו להפוך לטכנולוגיה השלטת ב-10 השנים הקרובות (World Economic Forum, 2019). השיפורים המתמשכים בסוללות אלו (למשל, הגדלת יכולת אגירת אנרגיה עד 8 שעות), הופכים אותן ליעילות לאספקה של חשמל מתחנות סולאריות גם בשעות הערב, שבהן קיימת דרישת שיא.

מחיר הסוללות יורד ככל שהייצור והשימוש בהן עולה, לכן הסוללות מהוות את שיטת אגירת האנרגיה המועדפת לתעשיית הרכבים החשמליים, למשל. בסוללות אלו משתמשים במגוון רחב של יישומי אגירת אנרגיה, החל מסוללות של מספר 65kWh , סוללות המיועדות לבתים ומבני מגורים עם מערכים פוטו-וולטאיים על הגג (European Commission, 2017) ועד סוללות של מגה-וואט רבים (multi-MW) לצורך אספקת שירותים נלווים לרשת החשמל. יחד עם זאת, כיום מדובר בעיקר על סוללות בעלות יכולת אגירה לטווח קצר (כ-4 שעות), יכולת שאינה מספיקה לתמיכה באגירת אנרגיה מתחדשת בהיקפים גדולים.

מספר חברות מחקר בדקו את פוטנציאל השוק של סוללות ליתיום-יון, לדוגמה, על פי Motor Intelligence נתח השוק של סוללות ליתיום-יון צפוי לגדול בצמיחה שנתית ממוצעת של 22.58% בין השנים 2020-2025 (Motor Intelligence, 2019). ב- BloombergNEF צופים שהביקוש העולמי לסוללות ליתיום-יון יעלה על 2,000GWh עד 2030 (BloombergNEF, 2019). על פי Statista, שוק סוללות הליתיום-יון צפוי להגיע ל-100.4 מיליארד דולר עד 2025 לעומת גדול השוק ב-2017 שעמד על 30.2 מיליארד דולר (Statista, 2019). ה-BCC מצא שהשוק העולמי של סוללות ליתיום הוערך ב-22.7 מיליארד דולר בשוק הסיטונאי ב-2018 וצפוי לגדול ל-47.36 מיליארד דולר ב-2023, עם צמיחה שנתית של 15.8% (BCC, 2019). השוק העולמי צפוי לגדול בעיקר כתוצאה מהגידול בתחבורה ובעיקר ממכוניות חשמליות וכן ממחשוב ומכשירים ניידים. הזינוק בביקוש למכוניות חשמליות ניזון בחלקו מהירידה בעלויות של סוללות ליתיום-יון. ליתיום וקובלט הם מרכיבים חיוניים בסוללות למכוניות חשמליות וסוללות ליתיום-יון תלויות בקובלט (מכילות 42% קובלט). הצמיחה בדרישה לסוללות נטענת הניעה את המחירים של חומרי גלם אלו והולידה חששות לגבי מחסור בקובלט וליתיום שעלולים להאט את תכנית הפעלת כלי הרכב החשמליים. בין ספטמבר 2016 ליולי 2018 היתה עלייה חסרת תקדים במחיר הקובלט ונמדדה עלייה של 150% בעוד שהיקף הייצור של קובלט לא עמד בדרישה זו. ב-2016 יותר מ-50% מהאספקה העולמית של קובלט הגיעה הרפובליקה הדמוקרטית של

קונגו והדרישה הגוברת הביאה לכניסה של שחקנים נוספים לכרייה ואספקה של קובלט (World Economic Forum, 2018; Bold Business, 2018; Reuters, 2019).

דוגמאות לכמות הקובלט הנדרשת ביישומים השונים: חברת Apple החברה מכרה ב-2017 כ-216 מיליון מכשירי אייפון. כמות זו מקבילה ליותר מ-1,030 טון מטרי (1 טון מטרי=1000 ק"ג) של קובלט. חברת Tesla מכרה יותר מ-103 אלף מכוניות ב-2017, כמות המקבילה ל-2,300 טון של קובלט. ב-2016 נמכרו כ-156 מיליון מחשבים ניידים וכ-175 מיליון טאבלטים, כמות המקבילה לכ-21 אלף טון מטרי של קובלט (Bold Business, 2018).

יחד עם הצפי לצמיחה בשימוש סוללות ליתיום-יון, בשנה האחרונה השוק הראה סימני משבר בחומרי הגלם לייצור הסוללות. מאז מארס 2018 נמדדה צניחה במחירי הקובלט כך שמתכת זו איבדה כ-70% מערכה. מספר גורמים משמעותיים עומדים מאחורי קריסה זו. הגורם המשמעותי ביותר הוא ששיעורי הצמיחה לסקטור המכוניות החשמליות פשוט לא הצליחו לעמוד בהתלהבות הראשונית. עצירה בעליית מחירי הדלק עצרה את הצמיחה במחירי הקובלט. כניסה של ספקים חדשים והגדלת כמות הקובלט המוזרם לשוק הובילה אף היא להורדת מחירים. בנוסף, חברת Tesla הצליחה להוריד את כמות הקובלט בסוללה (תוך הגדלת כמות הניקל) והובילה לדור חדש של סוללות עם כמות קטנה יותר של קובלט. למרות זאת, רבים מאמינים כי מחיר הקובלט יתאושש כמו גם הדרישה לקובלט בשנים הבאות (International banker, 2019).

מספר חברות בארץ פועלות לפיתוח של הדור הבא של סוללות ליתיום-יון, למשל, חברת UltraCharge⁵ מפתחת טכנולוגיה לשיפור סוללות ליתיום-יון באמצעות החלפת הגרפיט באנודה בחומר גל'ל בנו-צינורית (nanotube) העשוי מטיטניום דו-חמצני (Titanium dioxide). השיטה הופכת את חלקיקי הטיטניום הדו-חמצני לנו-צינורות מיקרוניים (ארוכים), תהליך העוזר להאיץ את התגובות הכימיות המתרחשות בסוללה ומאפשר טעינה מהירה, צפיפות אנרגיה משופרת והידרדרות איטית יותר של הסוללה. דוגמא נוספת היא חברת 3DBattery⁶ המפתחת טכנולוגיה לשיפור הביצועים והמחיר של סוללות ליתיום-יון הניתנות לטעינה מחדש באמצעות גמישות בצורה ובגודל, יכולות אנרגיה וחשמל גבוהים ושימוש בטוח בסוללה.

טכנולוגיית הדור הבא של סוללות ליתיום-יון הן **Solid-state Batteries** - סוללות מצב-מוצק. יש המתייחסים לסוללה זו כ"יורשת" של סוללות יון-ליתיום המסורתיות. כלומר, הסוללה פועלת באמצעות אלקטרוליט מוצק שאינו דליק (במקום אלקטרוליט נוזלי או פולימרי) המאפשר לסוללה להיות בעלת צפיפות אנרגיה גבוהה ובעלת עמידות גבוהה יותר. שיפור צפיפות האנרגיה הוא משמעותי, מה שהופך את הגרסאות המסחריות של הסוללות הללו לקטנות יותר וזולות יותר (Navigant Research, 2019).

flow batteries - סוללות זרימה מבוססות ברום שאוגרות אנרגיה אלקטרו-כימית. היתרון שיש לסוללות הזרימה על פני סוללות הליתיום-יון הוא שעל מנת להגדיל את הקיבולת מגדילים את המכלים. סוללות אלו מתאימות ליישומי אגירת אנרגיה עם דירוג הספק הנע מעשרות קילוואט לשעה לעשרות מגוואט לשעה. סוללות אלו יכולות להוות את הבחירה הכלכלית העדיפה, היות ואגירה במכלים היא קלה וחסכונית (GTM Research, 2019). השימוש בסוללות אלו מתאים ליישומי אגירה לרשת החשמל. במעבדת Laboratory for Energy & Environmental Innovations בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון⁷ עוסקים, בין היתר, בפיתוח מערכות אלקטרו-כימיות של הדור הבא כגון סוללות flow.

Aluminum-Air battery - אגירת אנרגיה באמצעות סוללת אלומיניום-אוויר. סוללה זו נחשבת כמועמדת אטרקטיבית לשמש ברכבים חשמליים בשל היכולת לצפיפות אנרגיה גבוהה. בעיות טכניות ומדעיות עדיין מונעות פיתוח בקנה מידה גדול, כמו טעינת הסוללה (Liu et al., 2017). מספר חברות ישראליות מפתחות סוללות אלומיניום-אוויר, למשל, חברת Phinergy⁸ מייצרת אנרגיה משילוב של אלומיניום, חמצן ומים כמקור חדש לאנרגיה נקיה. דוגמא נוספת היא חברת InEnSto⁹ המפתחת סוללת אלומיניום-אוויר המאפשרת

<http://www.ultra-charge.net/5>

<https://www.3dbattery.co.il/6>

<https://suss.net.technion.ac.il/7>

<http://www.phinergy.com/8>

<https://www.linkedin.com/company/inensto/9>

צפיפות אנרגיה פורצת דרך, קלה מאוד מבחינת המשקל, ידידותית לסביבה, שעלות הייצור שלה נמוכה ואורך החיים שלה גדול.

סוללות קוונטיות Quantum battery - יחד עם ההתקדמות המשמעותית בטכנולוגיות של סוללות המבוססות על עקרונות עבודה אלקטרוכימיים קלאסיים, התפתח כיוון נוסף של סוללות קוונטיות, שפעילותן נשענת על עקרונות עבודה מכניים קוונטיים. הטכנולוגיה נמצאת עדיין בשלב ההתחלתי ובעלת פוטנציאל להפוך בעתיד לטכנולוגיה דומיננטית¹⁰. כלומר, סוללות העושות שימוש במכניקת הקוונטים על מנת לשפר את היעילות להפקת אנרגיה ממאגרי הטעינה שלהן (phys.org, 2018). הסוללה קוונטית היא סוללה זעירה בגודל ננו המיועדת עבור שימושים ביישומים בקנה מידה ננו (Liu, Segal & Hanna, 2019) והיא מהווה מרכיב חשוב במכשירים קוונטיים רבים כגון מחשבים קוואנטיים. הטכנולוגיות המשמשות לבנייתן הן טכנולוגיות קיימות של מצב-מוצק (solid-state). התקנים חזקים קוונטיים לאגירת אנרגיה חיוניים למימוש סוללות עוצמתיות מהדור הבא וסוללות קוונטיות בעלות יכולת טעינה מהירה עונות על דרישה זו (Andolina et al., 2019).

מחקרים שונים ברחבי העולם מבקשים לפתח סוללה ליישומים מעשיים עם יכולת של טעינה מהירה ואגירת אנרגיה לזמן גדול יותר. במחקר שפורסם ב-2018, החוקרים הדגימו מהירות קוונטית בזמן הטעינה של סוללות קוונטיות באמצעות מודל פשוט ויישומי המנצל את חוקי המכניקה הקוונטית. המודל כולל מערך של התקני מצב-מוצק עם שתי רמות אנרגיה מובחנות. החוקרים השוו את המערכת למכשירים דומים דו-מפלסיים שכל אחד מהם פועל באופן עצמאי. הם מראים שמערך סבוך מגביר את כוח הטעינה ומפחית את זמן הטעינה יחסית לטעינה של יחידות האחסון העצמאיות, הנטענות כל אחת בנפרד ובמקביל. על פי המחקר, מודל זה אמור להוביל לפתרון של שקלול התמורות (tradeoff) בין כוח הטעינה של הסוללה הקוונטית לכוח אגירת האנרגיה שלה (Ferraro et al., 2018). לאחרונה פרסמו חוקרים מאוניברסיטת אלברטה בקנדה¹¹ פיתחו מודל (blueprint) לסוללה קוונטית חדשה שהטעינה בה לא דולפת. במחקרים קודמים, למרות שהוקדשו מאמצים רבים לעצב אסטרטגיות שימקסמו את האנרגיה המאוחסנת בסוללה הקוונטית ואת כוח הטעינה הממוצע שלה, המודלים המיקרוסקופיים התבססו בעיקר על מערכות קוונטיות סגורות. היחידוש במחקר זה היא ההבנה שבלתי נמנע שהמערכת הקוונטית תתקשר עם הסביבה הסובבת אותה ולכן תסבול מתהליכים של חוסר קוהרנטיות ושל פיזור. לתהליכים אלו השפעות מזיקות על הקוהרנטיות הקוונטית של המערכת ועל המתאמים הקוונטיים, המהווים משאבים קריטיים עבור סוללות קוונטיות. מבחינה מעשית, יש לשקול סוללה קוונטית טעונה בשלב האגירה כמערכת קוונטית פתוחה. כדי להשיג אגירת אנרגיה לאורך זמן בסוללות קוונטיות יש לתכנן סוללות קוונטיות עמידות בפני חוסר קוהרנטיות ואובדן אנרגיה לאורך זמן. המחקר מציע יתרון על סוללות קוואנטיים קודמות. המחקר מדגים באופן תיאורטי סוללה קוואנטיית אקסיטונית (excitonic) ללא הפסדי אנרגיה (loss-free excitonic quantum battery) הניתנת לטעינה על ידי עירור האלקטרונים שלה באמצעות אור. יכולתה של הסוללה לאגור אנרגיה ללא הגבלת זמן וללא דליפה של אנרגיה היא יכולת קריטית לסוללה קוונטית. באמצעות המודל החוקרים הראו שניתן לאגור אנרגיה בסוללה קוונטית החסינה בפני הפסדי אנרגיה, למרות שהוא פתוח לסביבה (Liu, Segal & Hanna, 2019).

צפי קצב הצמיחה בשוק הגלובלי בתחום הסוללות הקוונטיות בשנים 2018-2023 הוא 24.78% (Research and Markets, 2018). שחקנים מעטים בשוק כיום העוסקים בייצור ומכירות של סוללות קוונטיות. רבים מהם נמצאים בשלב המחקר. תעשיית האלקטרוניקה הצומחת והמחשוב הקוונטי יגבירו את צמיחת שוק הסוללות הקוונטיות העולמיות בתקופה זו. ארצות הברית צפויה להציג נתח שוק משמעותי בתחום זה (Research and Markets, 2018).

2.1.3 פיתוח טכנולוגי של קבלי על (Supercapacitors) לאגירת אנרגיה

טכנולוגיה חדשנית לאגירת אנרגיה שפיתוחה מואץ הודות להתקדמות בטכנולוגיות הננו-חומרים, חשמול התשתיות והתעשייה והחששות הגוברים סביב השימוש הדלק. חלק גדול מהמחקר בנושא זה מבקש לשפר את מדדי הביצועים כגון מחזורי טעינה-פריקה, התנגדות להעברת טעינה, תדירות התגובה, מזעור חומרים ועוד (Affif et al., 2019; Raza et al., 2018).

¹⁰ מתוך הראיון עם עופר גולדהירש
<https://www.ualberta.ca/index.html>¹¹

סוגים של קבלי על

קבלים בעלי שכבה כפולה חשמלית (EDLC - electric double-layer capacitor) נחשבים למקור אנרגיה בעצמות גבוהה ומשמשים להתקני תקשורת דיגיטליים ומכונות חשמליות (Afif et al., 2019).

Pseudocapacitor - סוג של קבלי על המורכבים משתי אלקטרודות המופרדות באמצעות אלקטרוליט. המחקרים בסוג זה של קבלי על מבקשים לזהות אילו תכונות של חומרים ותכונות אלקטרוכימיות יכולות להביא לצפיפות אנרגיה גבוהה בשיעורי טעינה-פריקה מהירים (Afif et al., 2019).

קבלי על היברידיים (Hybrid supercapacitor) – בקבלים אלו, במקום להשתמש בגרפן (graphene), תחמוצות מתכת (metal oxides) ופולימרים באופן נפרד, משלבים אותם על מנת לקבל מוליכות חשמלית טובה, גמישות מכנית ויציבות כימית. בשנים האחרונות המחקר התמקד בפיתוח קבלים אלקטרוכימיים היברידיים כך שיהפכו למקור החשמל העיקרי למכונות חשמליות הפועלות ללא הפרעה (Afif et al., 2019).

יתרונות וחסרונות בשימושים של קבלי על (Electronicsforu.com, 2019; Afif et al., 2019):

- היות ולא מתרחשת תגובה כימית (כמו בסוללות), משך החיים של טעינה-פריקה של קבלי העל הוא כמעט לא מוגבל.
- לקבלי העל עומת חשמל גבוהה מאשר לסוללות אבל צפיפות אנרגיה נמוכה.
- קבלי העל נטענים במהירות, מספקים כוח בזמן שיא וכוח גיבוי, בעלי צפיפות הספק גבוהה ויכולים לספק פרץ כוח גדול למשך זמן קצר, אגירה של אנרגיה ואיזון מקור כאשר משתמשים בו בקוצרי אנרגיה.
- לקבלי העל יש צורך במעט מאוד מיקום פיזי, הם קלים וקטנים, לכן זהו אחסון חסכוני ועומד בתקנים סביבתיים. חיי המדף שלהם ארוכים בהשוואה לסוללות.
- קבלי העל הם בעלי פריקה עצמית גבוהה בהשוואה לסוללות אלקטרוכימיות ואינם תומכים ביישומי זרם חילופין.
- קבלי העל משמשים ליישומים עם עומסים משתנים כמו מחשבים ניידים, מכשירי GPS, מערכות פוטו-וולטאיות ומכשירים ניידים.
- השימוש של קבלי העל מפתח ליישומים כמו ציוד בהספק נמוך, מאגר חשמל, מייצב מתחים והתקני אגירת אנרגיה זמניים למערכות קצרות אנרגיה ועוד.
- מאפייני הביצועים של קבלי העל מתאימים ליישומים הדורשים מספר גבוה של מחזורי טעינה ופריקה מהירים ולמערכות המיישמות הטמעת אנרגיה, כמו רכבים היברידיים-חשמליים, טורבינות רוח, רכבות, אלקטרוניקה צרכנית ומערכות רשת חשמל.
- שימוש בחומר פחמן פעיל מגדיל את ערך הקיבול (את היכולת של מערכת לאגור מטען חשמלי), כך שלקבלי העל יש יכולת אגירת אנרגיה גבוהה בהשוואה לקבלים וסוללות אלקטרוליטיים.

קבלי על לעומת סוללות:

ההשוואה בין קבלי על לסוללות מתחילה במחיר. אף על פי ששתי הטכנולוגיות אינן דומות לחלוטין, משתמשי הקצה מצפים כי המחיר של קבלי העל יהיה דומה למחיר של סוללת lead-acid, אך קבלי העל לא הצליחו להשיג את היתרון לגודל הנחוץ להפחתה דרסטית במחירים (IDTechEx, 2019).

באופן כללי, לסוללות יש צפיפות אנרגיה גבוהה יותר מקבלים רגילים שלהם יכולות טעינה-פריקה מהירות יותר. לקבלי העל, לעומת זאת, יעילות גבוהה באגירת אנרגיה ואורך חיים ארוך יותר, עד פי 100 מסוללות. קבלי העל אוגרים אנרגיה בשדה אלקטרי ולא כתגובה כימית כמו בסוללות, מה שמאפשר להם לטעון ולפרוק מהר יותר מאשר סוללות. תגובות כימיות יכולות ליצור בעיות, כולל הפחתה בקיבולת הסוללה במשך הזמן ולעתים חום רב מדי העלול לפרק את הסוללה ולהוביל לבריחה תרמית. אגירת אנרגיה באמצעות קבלי על פשוטה הרבה יותר. הטכנולוגיה אוגרת אנרגיה על פני השטח של האלקטרוליט, כלומר אין תגובה כימית. אנרגיה חשמלית נכנסת ונשמרת כאנרגיה חשמלית. קבלי העל יכולים לשרוד יותר ממיליון מחזורים של טעינה ופריקה. לקבלי העל התנגדות פנימית קטנה מאוד המאפשרת להם לעבוד ביעילות הקרובה ל-100%.

קבלי העל גם קלים משמעותית חסית לסוללות ובדרך כלל אינם מכילים כימיקלים מזיקים או מתכות רעילות. קבלי העל הינם פועלים היטב יחד עם סוללות ליתיום-יון וטכנולוגיות אגירת אנרגיה בצפיפות גבוהה אחרות. לקבלי העל צפיפות חשמל גדולה פי 60 מצפיפות הסוללות, לכן ניתן לחבר אותם במקביל ליצירת יחידות אספקת חשמל משולבות. היות והם מאזנים את העומס, קבלי העל יכולים להרחיב את חיי הסוללה ולשפר את הבטיחות שלה. במכוניות חשמליות, למשל, קבלי העל יכולים לספק את החשמל הדרוש לתאוצה, בעוד שהסוללה מספקת טווח ומטעינה מחדש את הקבל בין התנועות (Afif et al., 2019; Skeletontech.com;) (Microgrid Knowledge, 2019; IDTechEx, 2019).

בעתיד, ניתן יהיה להשתמש בקבלי העל בצירוף עם סוללות או שהם יחליפו את הסוללות במערכות האגירה (Afif et al., 2019). כיום ניתנת חשיבות דומה הן לסוללות והן לקבלי על עבור מערכות אגירת אנרגיה על ידי משרד האנרגיה של ארה"ב (U.S. Energy Department). קבלי העל משמשים ליישומים הדורשים מחזורי טעינה-פריקה מהירים מאשר לאגירת אנרגיה המתאימה למרחב מצומצם לטווח ארוך למשל, במכוניות, אוטובוסים, רכבות, מנופים ומעליות, אגירת אנרגיה לטווח קצר או לאספקת חשמל מתפרצת (Afif et al., 2019).

בראש יישומי אגירת אנרגיה משתמשים בקבלי על להגדיל את היעילות של מכוניות חשמליות היברידיות במספר דרכים. היום, מכוניות חשמליות מכבות את המנוע לחלוטין כאשר הרכב עוצר, גם אם לזמן קצר מאוד, ולאחר מכן מניעות אותו מחדש תוך שימוש באנרגיה האגורה בקבלי העל. כאשר משווים את קבלי העל לסוללות, קבלי העל מסוגלים לספק דרישות הספק כוח בשיא התאוצה באריזה קלה יותר המקזזת את הצורך במסה נוספת של סוללה. ניתן לספק כל קילו-וואט נוסף נדרש באמצעות קבל על באריזה הקלה פי 10-20 מסוללת ליתיום. בנוסף, בתנאים המנוגדים של בלימה מתחדשת, בה ניתן להפיק זרמי שיא גדולים במיוחד על ידי המנוע, קבלי העל יכולים לתפוס ולאגור בצורה יעילה יותר את האנרגיה מה שמוביל לשיפור ביעילות הכוללת של המערכת כולה (Horn et al., 2019). טכנולוגית ה- Supercapacitors, המאפשרת יצירת זרם התנעה חזק בנפח יחסית קטן, היא טכנולוגיה מתפתחת המאפשרת החלפת חלק מהמצברים ברכבים כבדים⁷¹.

למשל, חברת Maxwell Technologies¹² העולמית מציעה שורה של מודולים המבוססים על קבלי על ליישומים היברידיים של "לעצור-להניע". כמו כן החברה עיצבה תחליף לסוללה קובנציונלית לרכבים באמצעות שימוש בקבלי על המחברים על פני סוללת lead acid. תפיסה זו מפחיתה את האנרגיה הכללית שהסוללה יכולה להפיק. הסוללות מחזיקות מעמד זמן רב יותר כאשר הפריקה היא קטנה ויציבה וקבלי העל מחליקות את דרישות האנרגיה מהסוללה.

הודות ליכולת של טעינה מהירה ויציבות בטמפרטורה, קבלי העל מחליפים את הסוללות המסורתיות של מכוניות. בנוסף, קבלי העל גמישים יותר מסוללות ומהווים מגמה מתהווה בשוק לאספקת חשמל יציבה ליישומים כמו GPS, נגני מדיה ניידים, מחשבים ניידים, טלפונים ניידים וכו'. מדענים ממשכים לחפש אחר יישומים וחומרים חדשים לקבלי על. היישומים הקיימים היום כוללים את תעשיית המכוניות, מערכות תחבורה היברידיות, ייצוב רשת החשמל ומערכת הרכבות. יישום נוסף שכבר נכנס לשימוש הוא שילוב של קבלי על עם תאי דלק למיקסום אגירת אנרגיה ויכולות טעינה. לאחרונה, מדענים באוניברסיטת UCLA בארה"ב¹³ פיתחו מערכת לאגירת אנרגיה ביולוגית הנקראת קבלי על ביולוגיים הפועל באמצעות חלקיקים טעונים, או יונים, מנוזלים בגוף האדם. החוקרים מייעדים את קבלי העל הביולוגיים לשימוש כקוצבי לב והתקנים רפואיים הניתנים להשתלה. בשנים הבאות, קבלי העל כנראה ישמשו בכל מקום ביישומים שונים בתעשייה, כגון מוצרים אלקטרוניים לצרכן וקבלי על סולריים. (Afif et al., 2019; IDTechEx, 2019).

הדרישה הגוברת לפתרונות עבור אנרגיות מתחדשות מניעה את השוק. קבלי העל הם טכנולוגיה מתפתחת עבור מערכות אגירת אנרגיה שונות, מכיוון שהם בעלי צפיפות הספק גבוהה יותר מאשר סוללות וצפיפות אנרגיה גבוהה יותר מאשר קבליים מסורתיים. פנלים סולאריים PV ותאורה סולארית הם תחומים בהם יש צמיחה של שימוש בקבלי על. בנוסף, ההשפעה על הסביבה של גזי החממה מניעה את הגדלת הייצור של רכבים מבוססים על קבלי על. מבין כל התקני אגירת אנרגיה, קבלי העל גורמים לנזק הסביבתי הקטן ביותר. (IDTechEx, 2019).

<https://www.maxwell.com/>¹²

<https://uconn.edu/>¹³

בארץ, חברת PO-Celltech¹⁴ (נקראה בעבר Elbit Energy Systems) מפתחת טכנולוגיות חדישות לייצור המוני של תאי דלק בעלות נמוכה וקבלי על העומדים בתקנים הנדרשים לרכבים.

פוטנציאל שוק

מחקרי שוק מצביעים על עתיד מבטיח לטכנולוגית קבלי העל. על פי מחקר שוק שנערך על ידי Markets And Markets ב-2016, שוק קבלי על צפוי להגיע ל-2.18 מיליארד דולר עד 2022 עם שיעור צמיחה שנתי של 20.7% בין השנים 2016-2022 (Markets And Markets, 2016).

מחקר שוק נוסף של Research and Markets מ-2018 צופה שהשוק הגלובלי המוערך בכ-828 מיליון דולר ב-2017 צפוי להגיע לכ-4,984 מיליון דולר ב-2026, עם קצב צמיחה שנתי של 22.1%. בתקופה זו צפויה עליה בשימוש של קבלי על ביישומים לקצירת אנרגיה, תחבורה וקיבולת אגירת אנרגיה גבוהה (Research And Markets, 2018).

מחקר שוק שנערך ב-2019 העריך כי השוק הגלובלי של קבלי על נאמד ב-685 מיליון דולר ב-2018 וצפוי להגיע ל-2,187 מיליון דולר ב-2024 עם שיעור צמיחה שנתי של 21.8% (IDTechEx, 2019).

2.1.4 אגירת אנרגית מימן

אגירה של מימן היא סקטור צומח המשפיע על הצריכה העתידית של מימן למטרות מסחר, בעיקר לשוק הרכבים (יחידות אספקת דלק על רכבים - vehicle on-board fuel supplies) ואגירה לאספקת חשמל תקופתית. האתגר בתכנון מערכות אגירה של מימן, במיוחד ליישומים ניידים כמו כלי רכב, הוא לאגור מספיק מימן לזמן הפעלה נאות, עם משקל, טמפרטורה, לחץ ומאפיינים אחרים שהופכים את המימן למעשי ביישומים אלו (Bcc Research, 2018).

קיימות מספר שיטות לאגירת של מימן כאשר הנפוצה ביותר היא דחיסה של מימן באמצעות הפעלת לחץ בצילינדרים מפלדה. ניתן לדחוס ולאגור מימן בצילינדרים מפלדה בלחצים של עד 200 בר. הדחיסה משמשת הן לאחסון ניח והן להובלת מימן. הבעיה בשיטה זו שהצפיפות הנפחית של האנרגיה נמוכה. שיטות נוספות הן מכלים בלחץ נמוך, אגירה תת קרקעית, אגירה מבוססת אמוניה ומכלים קריוגניים (National Hydrogen Roadmap, 2018; Bcc Research, 2018).

נסקור שתי שיטות מתפתחות עתידיות לאגירת אנרגיה של מימן: נשאי מימן אורגניים נוזליים (למשל toluene) והידרידים ממתכת (Metal Hydrides).

נשאי מימן אורגניים נוזליים: באמצעות הידרוגנציה (hydrogenation - הוספת מימן) הנוזלים האורגניים מועמסים יחד עם המימן ולאחר מכן עוברים תהליך של התייבשות באמצעות חום או קטליזה. השיטה מאפשרת אגירה והובלה של מימן כנוזל בטמפרטורת הסביבה ולחץ של מעל 6% מהמשקל. לאחר ההתייבשות, ניתן להשתמש בנוזל האורגני מחדש. ה-toluene, למשל, הוא נשא הנבחן למטרת אגירה והובלה של מימן בקנה מידה גדול (National Hydrogen Roadmap, 2018).

דוגמאות לחברות בארץ העוסקות באגירה של מימן בצורה הנוזלית: חברת H2 Energy¹⁵ פיתחה שיטה לאגירה ולגידול השימוש של מימן ליישומים מסחריים או לבתים. הטכנולוגיה מתוכננת להפחית את עלות ייצור המימן עם אפס פליטה באמצעות שימוש בחומרים זולים ויעילים. החברה משתמשת בגלים אלקטרומגנטיים כדי להפריד המולקולות למימן וחמצן. לאחר ההפרדה ניתן לאגור את המימן בצורה נוזלית מה שמאפשר למשתמשים להמיר אותו באמצעות תא דלק מימן-חמצן כאשר הם צריכים חשמל. חברה נוספת היא חברת Electriq~Global¹⁶ המפתחת דלק המורכב מ-60% מים. הטכנולוגיה מחלצת מימן מדלק נוזלי עבור יצירת חשמל לרכבים חשמליים.

הידרידים ממתכת: הידרידים מתכתיים הם מתכות הנקשרות למימן ליצירת תרכובת חדשה. הם ידועים זה מכבר כנושאי מימן, אך אי התאמתם ליישומי ניידות הגבילה את השימוש בהם. הבעיות בשינוע נובעות בעיקר מדרישות טמפרטורה, משקלן של יחידות האחסון ושחרור איטי של המימן. נכון לעכשיו, הידרידי מתכות נבחנו לשימוש ביישומי נישה (National Hydrogen Roadmap, 2018). למשל, באזורים בהם התרחשו

¹⁴<https://www.linkedin.com/company/pocelltech/about/>

¹⁵<https://www.h2energynow.com/>

¹⁶<https://www.electriq.com/>

אסונות טבע, מערכת תא דלק הכוללת אגירה של מתכת הידרידית עמידה יותר בפני נזק מאשר סוללת ליתיום או מיכל מימן בלחץ. השחרור האיטי והעקבי של מימן על ידי הידרידים ממתכת מהווה יתרון נוסף כאשר יש צורך בדרישות חשמל נמוכות לאורך זמן, כמו ציוד רפואי באזורים מרוחקים. יישומים צבאיים מהווים נישה נוספת של שימוש בהידרידי מתכת. למשל, העברת דיזל לאזורי מלחמה היא בעייתית ומערכות לאגירת אנרגיה מימן מתאימות יותר (National Hydrogen Roadmap, 2018).

להלן נסקור ארבע מגמות עולמיות הנוגעות לאגירת אנרגיה, אשר בהן ניתן להרוויח מהידע המצטבר של ישראל בתחומי אנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה לאור הצפי להתפתחות משמעותית של התחום בשנים הקרובות. ארבע מגמות אלו נובעות מתוך סקירה של :

2.1.5 אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית (PV) בשילוב אגירת אנרגיה

תחנות כוח סולאריות אינן אוגרות את אור השמש, אלא לוכדות את החום הנוצר מאור השמש ומשתמשות בו כדי לחמם מאגר אחסון כגון מלח או סיליקון. מאוחר יותר, חום זה משמש לחימום מים כדי לייצר קיטור המשמש לייצור חשמל בדרכים קונבנציונליות הקיימות כיום (GET.invest, 2019). האנרגיה הסולארית עדיין רחוקה ממיצוי הפוטנציאל הרחב שלה. היצור העולמי של אנרגיה סולארית היה פחות מ-3% בסוף 2018 (Global Market Insights Inc., 2018). הירידה הדרמטית במחירן של מערכות פוטו-וולטאיות בעשור האחרון, ממחיר ממוצע של 350 דולר למגה-וואט-שעה בשנת 2009 עד למחיר ממוצע של פחות מ-50 דולר בשנת 2018, הביאה לשינוי מהותי ביותר בתחום ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות, אך מערכות אלו יהיו כדאיות רק במידה ויהיה ניתן להשתמש במערכות בתקופות שבהן התעריפים לרכישת חשמל מהרשת הינם גבוהים (למשל, בשעות הערב). כלומר, לצורך שימוש יעיל באנרגיה סולארית, יש לתמוך בה באמצעות מערכות לאגירת אנרגיה. השילוב של מערכות סולאריות ומערכות לאגירת אנרגיה ברשת החשמל יאפשר הורדת מחירים, רזרבה לכושר הייצור, ניהול עומסים ועוד (פורום אנרגיה, 2019). בארה"ב, למשל, זיהו את הפוטנציאל וקצב הגידול בהקמת מתקנים של אנרגיה מתחדשת גבוה יותר מקצב הגידול של תחנות פחם. לפי המכון לכלכלת אנרגיה וניתוח פיננסי (IEEFA), ההשקעות בטכנולוגיות של ייצור אנרגיה מתחדשת, בהובלת אנרגיה סולארית ורוח בארה"ב הגיעו בשנת 2018 ל-64.2 מיליארד דולר. תעשיות החשמל הסולארי בארה"ב הגדירו יעד לאומי של 20% אנרגיה סולארית עד 2030 (GTM Research, 2019).

הטכנולוגיה המקובלת בעולם לאגירת אנרגיה סולארית היא באמצעות סוללות ליתיום-יון. סקר מחירים שנערך על ידי בלומברג (Bloomberg, 2019) הראה שמחירי סוללת הליתיום-יון ירדו ב-85% בשנים 2010-2018 והגיעו למחיר ממוצע של 176 דולר לקוט"ש. הצפי הוא שמחיר הסוללה ירד עד לכ-94 דולר לקוט"ש עד 2024 ולכ-62 דולר לקוט"ש עד 2030. אגירת אנרגיה סולארית באמצעות סוללות יכולה להחליף את הצורך בבניית פיקרים (מתקני ייצור) חדשים ולכן גם להימנע מהקמה של תחנות שעובדות רק מספר שעות בשנה. אגירה של 4 שעות ביום בסוללות שצמודות לתחנות סולאריות יכולה לתת את המענה לכך (פורום אנרגיה, 2019). חברה Tesla יישמה את הרעיון ובנתה בשנת 2018 תחנת אגירה המבוססת על סוללת הליתיום הגדולה בעולם בדרום אוסטרליה. מאז בנייתו, מתקן זה חסך כ-40 מיליון דולר בשנה הראשונה לעבודתו ועזר לייצב ולאזן את רשת החשמל האזורית¹⁷.

טכנולוגיה פוטו-וולטאית נוספת היא אנרגיה פוטו-וולטאית אורגנית (OPV-Organic PV), כלומר, אנרגיה PV מחומרים אורגניים. הטכנולוגיה מיועדת לשמש במיוחד בבנייני מגורים. תאים אלו משתמשים בחומרים סופגים, מולקולריים או פולימריים (U.S. Energy Department, 2019). אחת השיטות להפקת אנרגיה פוטו-וולטאית מחומרים אורגניים היא באמצעות צביעת חלונות / פאנלים כך שיהפכו לקולטים⁷¹. במחקר שפורסם השנה מתארים כי החומרים האורגניים באנרגיה מבוססת צבע יכולים להתמוסס לנוזל. כאשר משיגים מטרה זו יש "דלי" של חומר מוליך אלקטרוני המוכן לשימוש על כל סוגי המשטחים. ללוח סולרי יש שלוש שכבות, שתי שכבות של אלקטרודות ושכבה אחת מוליכה למחצה. מכיוון שחומרים אורגניים מאפשרים להמיסם ניתן לחווט אותם על מנת לרתום אנרגיה. המחקר יאפשר לאנשים לייצר פאנלים סולאריים באמצעות מדפסת (או לצבוע אחד על הקיר באמצעות צבע מיוחד) באמצעות חומר קל יותר לייצור וזול יותר מסיליקון (Kafle et al., 2019; Inverse, 2019). שיטה זו תאפשר ייצור מאסיבי, זול ויעיל של אנרגיה חשמלית מאור

¹⁷<https://www.tesla.com/blog/introducing-megapack-utility-scale-energy-storage>

השמש. היעילות כיום של תאי ה-OPV נמוכה מה-PV אך הדרך המחקרית פתוחה לשיפורים רבים בתחום הכללים יעילות, צורת השימוש (למשל צביעה של חלונות או קירות) ועוד⁷¹.

2.1.6 אגירת אנרגיה במבנים ולצריכה עצמית - Residential Energy Storage

לפוטנציאל של אגירת אנרגיה למגורים ולצריכה עצמית יש מספר יתרונות (iea, 2019): הגדלת היעילות והאמינות של רשת החשמל, אופטימיזציה של זרימת החשמל ותמיכה באספקת חשמל משתנה מייצור רוח ושמש; הגדלת השימוש ברכבים הממונעים באמצעות סוללות או טכנולוגיות חשמליות אחרות (במקום שריפת הבנזין וסולר והפחתת הפליטות הנלוות והביקוש לנפט); טכנולוגיות מתקדמות המביאות להוזלת עלויות, ועלייה בהשקעות באנרגיה נקייה גלובלית. השוק הגלובלי של אגירת אנרגיה למגורים צמח מ-2.5 מיליארד דולר ב-2017 ל-3 מיליארד דולר ב-2018, עם שיעור צמיחה של 22% (BCC, 2019). השוק מונע על ידי מספר גורמים: שיטת feed-in tariff (FIT) (אנרגיה סולארית המוזנת לרשת החשמל בתעריף קבוע), שיטת net metering (קניית אנרגיה עודפת מהצרכנים על ידי חברת החשמל, חברת החשמל מקזזת את הייצור העצמי באנרגיה סולארית מצריכת החשמל מהרשת), סובסידיות ותמריצי מס, הפחתה משמעותית בעלויות סוללות ליתיום-יון המיועדות לאגירה ועלייה בתעריפי החשמל. השוק הגדול ביותר הוא של סוללת אגירה ליתיום-יון ומגמה זו אינה צפויה לרדת עד 2023. מחירי הסוללות ממשיכים לצנוח דבר שמוביל לאטרקטיביות של אגירה באמצעות סוללות של חשמל מתחדש בבתי מגורים ובבתי עסק. לכן סוללה זו ממשיכה להיות הנפוצה ביותר לשימוש של אגירת אנרגיה במבנים ותופסת כ-85% מקיבולת השימוש (iea, 2019; BCC, 2019).

שיטה נוספת לאגירת אנרגיה למגורים היא באמצעות אגירת אנרגיה תרמית: מערכות לאגירת אנרגיה תרמית מותקנות יותר ויותר בבניינים ומשמשות כמערכות אגירת אנרגיה מתקדמות. המערכות מסייעות לאזן את אספקת האנרגיה והדרישה היומית, השבועית והעונתית. לדוגמה, חברת Nostromo Energy¹⁸ מפתחת את מערכת לאגירת אנרגיה קור ללא שימוש בחומרים רעילים או נדירים. המערכת משתמשת בכוח חשמלי עודף בתקופות של עודף חשמל על מנת לאגור אנרגיה תרמית קרה בצורה של קרח, המשמשת לקירור בשעות השיא כאשר רשת החשמל נמצאת תחת לחץ הגבוה ביותר שלה לאספקת חשמל.

בעולם המורכב מרוח, מים ושמש, יש צורך באגירת חום נמוך ואגירת קור בנוסף לאגירה של חשמל. בעוד שרוב החימום לאוויר ומים, ורוב הקור עבור מיזוג אוויר יתקבלו ישירות ממשאבות חום הפועלות על חשמל, חלק מהחום והקור יגיעו גם מאגירה של חום וקור באמצעות תנורי מים חמים ביתיים או באמצעות הסקה מרכזית ומערכות קירור. השאר יגיעו ישירות מחימום סולארי או גיאותרמי. עודף חשמל יומר לחום או לקור שיאוחסנו לשימוש מאוחר יותר או ישמשו לשימוש מיידי.

2.1.7 יישומי אגירת אנרגיה עבור רכבים חשמליים

קיימות טכנולוגיות שונות ליישומי אגירת אנרגיה לרכבים חשמליים. הטכנולוגיות המובילות בעולם כיום הן: **סוללות לאגירת אנרגיה** שיהוו את מקור האנרגיה הזול בעולם לרכבים היברידיים וחשמליים ומהווים את היישום הפופולרי ביותר. הסוללה המקובלת היום לאגירת אנרגיה ברכבים חשמליים והיברידיים הינה סוללות ליתיום-יון. סוללה נוספת היא סוללת אלומיניום-אוויר, אך כפי שנכתב, סוללת אלומיניום-אוויר עדיין עומדת בפני בעיות פיתוח. טכנולוגיית אגירת אנרגיה נוספת המתפתחת בעולם, אך אין לה עדיין פעילות בישראל, היא אגירת אנרגיה באמצעות סוללה הממוקמת בתוך שלדת הרכב¹⁹. הטכנולוגיה משלבת את מערכת הסוללות כחלק מהמבנה של שלדת הרכב כך שניתן להשיג חיסכון בעלות ובמשקל בהשוואה לאגירה של סוללות קונבנציונליות²⁰.

על פי P&S Market Research שוק סוללות הליתיום-יון לשוק הרכבים צפוי להגיע ל-74.3 מיליארד דולר לעומת 24.2 מיליארד דולר, עם צמיחה שנתית ממוצעת של 15.9% בין השנים 2019-2024 (P&S Market Research, 2019).

¹⁸<http://nostromo.energy/>

¹⁹ מתוך ראיון עם עידן ליבס, מויד שמואל נאמן.

²⁰<https://arpa-e.energy.gov/?q=slick-sheet-project/multifunctional-battery-chassis-systems>

טכנולוגיה נוספת היא **אגירת אנרגיה באמצעות מימן**. הטכנולוגיה מפיקה מימן ממים באמצעות חשמל סולארי ומשמשת כדלק לתחבורה. עלות התהליך עדיין יקרה מאוד (פורום אנרגיה, 2019). חברת NrgStorEdge הישראלית מפתחת פטנט לטכנולוגיה לאגירת אנרגיה עבור כלי רכב מונעים-מימן זולים ובטוחים לשימוש עם אפס פליטה²¹. העניין באגירת אנרגיית מימן, הולך וגובר בשל קיבולת האחסון הגבוהה בהרבה שיש לו לעומת טכנולוגיות אחסון אחרות כגון סוללות. היתרון של תאי דלק מימניים להנעת רכבים חשמליים הוא שזהו תהליך יצור נקי של אנרגיה. המימן קל יחסית לשינוע ואחסון. מדברים על טכנולוגיה זו כתחליף עתידי למצברים ברכבים החשמליים. הטכנולוגיה נמצאת בניסויים אצל יצרניות רכב מובילות²¹.

טכנולוגיה נוספת היא **מערכת Flywheel** (Flywheel Energy Storage Systems - FESS) לאגירה מכנית של אנרגיה. ה- Flywheel הם מכשירים מכניים שמנצלים אנרגיה סיבובית כדי לספק חשמל מידי. המערכת משתמשת באנרגיה החשמלית הנכנסת והמאוחסנת בצורה של אנרגיה קינטית. למערכות אלו יש מספר יתרונות על פני מערכות אחסון אנרגיה כימיות, למשל, הם בעלי צפיפות אנרגיה גבוהה ועמידות משמעותית המאפשרת להם להסתובב לעתים קרובות ללא השפעה על הביצועים (esa, 2019). למערכת זו יישומים שונים, בעיקר לרכבים חשמליים. חברת chakratec הישראלית מפתחת מערכת זו כפתרון אופטימלי למערכת טעינה אקולוגית עבור רכבים חשמליים. הבעיה בטכנולוגיה זו היא עלותה הגבוהה²².

שוק הרכבים החשמליים העולמי הוערך בשווי של 82.1 מיליארד דולר ב- 2018 והוא צפוי להגיע ל- 183.7 מיליארד דולר ב- 2024, עם צמיחה שנתית ממוצעת של 14.1%. ב- 2018 הוערך כי ישנם יותר מ- 300 מיליון קטנועים חשמליים על הכביש ורובם פועלים באמצעות סוללות lead-acid. כמו כן, ב- 2018 העריכו שיותר מ- 56 מיליון קטנועים ממונעים על ידי סוללות ואופניים חשמליות נוספו לשוק (בעיקר בהודו). ההערכה היא כי מספר זה יגדל ל- 90 מיליון יחידות עד 2024. אסיה ואזור האוקיינוס השקט מובילים את שוק התחבורה החשמלית בעולם, כאשר סין מובילה מבחינת מכירות של מכוניות חשמליות / מכוניות נוסעים. עוקבים אחריהם אירופה וארה"ב (BCC, 2019).

2.1.8 טכנולוגיות לניהול רשת / ניהול עומסים דיגיטלי למיקסום יעילות השימוש במערכות לאגירת אנרגיה

על מנת להפיק יעילות גבוהה ממערכות לאגירת אנרגיה, יש לתמוך בהן באמצעות ניהול רשת האנרגיה וניהול עומסים. ברחבי ארה"ב, למשל, השימוש באנרגיה נע על עשרות מגה-וואט לשעה ויש לנהל את מערכות האגירה והדרישה לאנרגיה על מנת שהשימוש באגירה תביא להפחתת חיובי החשמל בזמני שיא בטווח הארוך. בנושא זה עדיין קיימים בעולם פערים גדולים. לישראל יש מה לתרום בנושא, היות וישראל חזקה בנושאים טכנולוגיים הקשורים למחשוב, סייבר, שימוש מבוזר משאבים ולמידת מכונה (פורום אנרגיה, 2019). האנרגיה המבוזרת (הנובעת מסוללות רבות) מהווה אתגר למערכת ניהול החשמל, שניתן לפתור באמצעות תחנת חשמל וירטואלית (Virtual Power Plants-VPP) - פתרון טכנולוגי המספק למנהל המערכת תמונה של הספקים ועומסים. עלות ההשקעה בתחנות וירטואליות נמוכה הרבה יותר מההשקעה בתשתיות פיזיות ותחנות אלו יכולות למנוע הרחבה או שדרוג של תשתיות (תחנות כוח, קווי הולכה וכו') ובניית תשתיות חדשות. מערכת ניהול כזו תבטיח טעינה של סוללות לקראת שעות שיא הביקוש בחשמל (פורום אנרגיה, 2019). כיום פרוסים בעולם 12 תחנות וירטואליות. בשנת 2018, תחנת הכוח הווירטואלית המבוססת על מענה לפי דרישה היוותה יותר מ- 60% מכלל שוק תחנות הכוח הווירטואליות. הצפי הוא שעד שנת 2024 השוק של תחנות הכוח הווירטואליות יציג צמיחה גבוהה של 33% (Research And Markets, 2019).

בישראל פועלות כיום שתי חברות העוסקות בנושא ניהול רשת: חברת mPrest מציעה פתרון לניהול של משאבי אנרגיה מבוזרים (כגון רשת של מערכים סולאריים, סוללות וטורבינות רוח) באמצעות מערכות ניהול חכמות שיכולות לפקח, לשלוט ולייעל את זרימת האנרגיה של הרשת החכמה (smart grid). מערכות אלו מתאימות, בין היתר, לשירותי חשמל וערים חכמות²³. חברת MADA Analytics הינה חברת תוכנה לניתוח נתונים לאגירת אנרגיה. החברה פיתחה תוכנת סימולציה (MEPS) הממנפת ניתוח נתונים ליצירת ערך כלכלי עצום בעת השימוש באנרגיה מתחדשת ומסחר באנרגיה. בתקופות שבהן האנרגיה המתקבלת ממקורות של

<http://www.nrgstoreedge.com/>²¹

<https://www.chakratec.com/>²²

<https://www.mprest.com/>²³

אנרגיה מתחדשת הינה עודפת, התוכנה מורה למערכת אגירת האנרגיה לייצר ולפרוק חשמל לרשת החשמל²⁴.

2.2 פוטנציאל שוק אגירת האנרגיה בעולם

שוק האנרגיה הסולארית הפך לאחת התעשיות בעלות הצמיחה המהירה ביותר בשנים האחרונות. הצמיחה של אנרגיה סולארית היה אחת מהטכנולוגיות המובילות כמענה לביקוש למערכת אחסון האנרגיה. בשנת 2016, ההשקעה העולמית בתחומים אלה היתה 113.7 מיליארד דולר, כאשר אסיה מובילה את השוק. גרמניה היא אחת המדינות המובילות בתחום אחסון אנרגיה עבור מערכת אנרגיה מתחדשת.

בשנת 2017, בוצעו ברחבי העולם, כ-1,315 פרויקטים באמצעות טכנולוגיות אחסון אנרגיה ו-14 פרויקטים עדיין בשלבי הקמה. כיום השוק מרוכז מאוד במדינות ארצות הברית, גרמניה, יפן ואוסטרליה. סוללות ליתיום יון צפויות להיות מערכות אחסון האנרגיה המהירות ביותר, הודות לעוצמתן הגבוהה ולצפיפות האנרגיה הגבוהה שלהן. בהנחה שהשקעות המו"פ בתחומים אלה ימשיכו ויגדלו, טכנולוגיות האחסון צפויות להיות יעילות יותר מבחינה כלכלית, כיום עם הדרישה לאספקת חשמל איכותית ויעילה הדורשת פיתוח תשתיות של רשת חכמה, השוק צפוי לגדול.

פוטנציאל שוק

אירופה - בשנת 2017, שוק אחסון האנרגיה גדל ב-50% לעומת 2016. השוק מונע על ידי סובסידיות מקומיות, יחד עם ביקוש חזק לאנרגיית שמש. גרמניה היא השוק הגדול ביותר עבור מערכת אחסון אנרגיה (ESS - energy storage system) באזור. מערכת אחסון אנרגיה הוא חלק בלתי נפרד ממעבר האנרגיה בגרמניה. זהו אחד השחקנים הגדולים ביותר בשוק אחסון האנרגיה. המדינות הנורדיות צפויות להעיד על ביקוש חזק למערכת אחסון אנרגיה תעשייתית ומסחרית.

אסיה - הביקוש למערכת אחסון אנרגיה באסיה מונע על ידי סין. סין רשמה מכירות שיא של למעלה מ-650,000 כלי רכב חשמליים (EVs - Electric Vehicle Symposium) בשנת 2017, לעומת 500,000 יחידות בשנת 2016. זה היווה 40% מכלל המכירה הגלובלית (Mordor Intelligence, 2019).

לפי דו"ח האגודה לאחסון אנרגיה²⁵ ו-GTM Research²⁶ השוק בארה"ב של אגירת חשמל באמצעות סוללה גדל ב-27% בשנת 2018. ההערכה היא כי בשנת 2019 מספר ההתקנות ישלש את עצמו עם כ-1,233 מגה-ואט בערך של יותר ממיליארד דולר. התחזית היא כי עד 2023, הפחתת עלויות ומדיניות ממשלתית תומכת לטכנולוגיה זו, השוק האמריקאי לאחסון סוללות יצמח ל-3.8 מיליארד דולר⁴.

טכנולוגיות אחסון אנרגיה מייצגות פוטנציאל כלכלי משמעותי עם הזדמנויות עסקיות מרחיקות לכת. יש צורך בפריצות דרך בטכנולוגיה זו כדי לייעל את הביצועים של מערכות האנרגיה ולהקל על שילוב של משאבי אנרגיה מתחדשת. בעשור האחרון חלה תאוצה טכנולוגית גדולה בסוללות מבחינת אחסון אנרגיה תרמית, שמשותפת גם בנתוני פוטנציאל. מגוון של טכנולוגיות אחסון אנרגיה נמצאות בשלבי פיתוח ראשונים, כולל סוללות רב-תכליתיות, גלגלי תנופה במהירות גבוהה, סוללות ליתיום-גופרית ומערכות אחסון מגנטיות מוליכות-אנרגיה.²⁷ הכדאיות הכלכלית של אחסון אנרגיה צפויה להיות תלויה בפיתוח נוסף של טכנולוגיות סוללות קטנות ובינוניות, כמו גם בטכנולוגיות רשת מרכזיות מבוזרות. הסוללות המתקדמות עשויות להחליף את המנוע ברכבי נוסעים ולתמוך במעבר לבתים חכמים ולמשרדים חכמים. באופן כללי, טכנולוגיית אחסון אנרגיה חדשה יכולה לקבוע היכן, מתי וכיצד משתמשים באנרגיה.

החברות הגדולות בשוק אחסון האנרגיה הן: Bosch, Sunverge Energy, Inc., Peak NRG, JLM Energy, Stem, SunPower Corporation, SolarCity Corp, Tabuchi Electric, Sonnen GmbH, ABB, Tesla, Inc., Samsung SDI Co. Ltd, Greensmith Energy, Sharp, ENGIE Storage Services NA, UGE International, Panasonic Corporation, Saft Groupe S.A, LG Chem Ltd.

²⁴<https://www.madaanalytics.com/>

²⁵ www.iea.org International Energy Agency

²⁶ <https://www.greentechmedia.com/site/sisense>

²⁷ https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/energy-storage-market?gclid=CjwKCAjwm-fkBRBBEiwA966fZA3v-m_3PIStHxkFofk_Wp-L_ExZUFXw63ZfVvYw0e5clBi5xQPpyTrBoCQtAQAvD_BwE

2.3 אגירת אנרגיה בישראל

בישראל ישנה פעילות של משרדי ממשלה (משרד האנרגיה והמשרד להגנת הסביבה), הרשות לחדשנות, רשות החשמל וחברות בתחום האנרגיה והסביבה כולל אגירת אנרגיה, ונבחנות אפשרויות של אגירה וקצירה של אנרגיה בהקשרים שונים. בין תחומי הפעילות של משרד האנרגיה, שדרוג של רשת החשמל הקיימת לרשת חכמה²⁸ (Smart Grid), שדרוג זה כרוך באתגרים משמעותיים הן בתשתית הפיזית והן בטכנולוגיות המידע. הרשת תידרש לנהל ביעילות אלפי יצרנים בעלי תפוקות משתנות, ולפתח טכנולוגיות אגירה לטווחים שונים. טכנולוגיות מידע מתקדמות יישמו לצורך איסוף וניתוח כמויות מידע גדולות בזמן אמת באמצעות מערכות שליטה ובקרה בנקודות רבות על פני הרשת.

התייחסות לנושא אגירת אנרגיה קיימת גם בדוח המשרד להגנת הסביבה מדצמבר 2016, שבחן את צריכת האנרגיה בישראל. הדוח מתאר בדיקות תיאורטיות להיתכנות היישום של **מבני מגורים מאופסי אנרגיה**²⁹ שנערכו בישראל. על פי הדוח, אחד האמצעים המשמשים לצמצום צריכת האנרגיה במבנים הוא ייצור אנרגיה מתחדשת, כלומר שימוש בטכנולוגיות המסוגלות לרתום תהליכים שאינם מתכלים מהטבע בכדי לייצר אנרגיה כגון תאים פוטו-וולטאים, שבשבות רוח, טכנולוגיות לאגירת אנרגיה ועוד³⁰. על פי הדוח במקרים בהם מדובר על ייצור אנרגיה במקומות מבודדים או עצמאיים שאינם מחוברים לרשת החשמל, יש אפשרות לאגור את האנרגיה העודפת ולהשתמש בה בזמנים בהם אין אפשרות להפיק אנרגיה, כלומר לאפשר ליצרניה להשתמש בה בשעה שהם מבקשים לעשות זאת, ללא קשר לזמן הייצור. לכן, בתכנון מבנים מאופסי אנרגיה יש לרתום את שלושת העקרונות: התכנון הפאסיבי והתייעלות המערכות האקטיביות על מנת להגיע לתכנון מיטבי ולרמות חסכון מקסימליות, וייצור אנרגיה מתחדשת המשלימה את דרישת האנרגיה במבנה לכדי איפוס.

בדצמבר 2019 פורסם בעיתון דה-מרקר³¹ כי חברת תש"ן (תשתיות נפט ואנרגיה בע"מ), שהינה בבעלות המדינה, נכנסת לתחום האנרגיות המתחדשות, תוך השקעה של 60 מיליון שקל בהקמת **שדה סולארי** לייצור 14 מגה ואט של אנרגיה סולארית במתקניה בדרום הארץ. החברה בוחנת כניסה לתחום של אגירת אנרגיה, שיאפשר שימוש באנרגיה הסולארית גם בשעות שבהן אין קרינת שמש חזקה.

במעלה גלבוץ פועלת תחנת כוח הידרו-אלקטרית עבור טכנולוגיה של **אגירה שאובה** (שאיבת מים ממאגר נמוך למאגר גבוה). תחנה זו משמשת בעיקר לאגירת אנרגיה. התחנה פועלת באמצעות שני מאגרי מים ענקיים (האחד במרומי הגלבוץ והשני בעמק בסמוך לקיבוץ רשפים) שביניהם יש הפרש גובה של 500 מטרים. המים נשאבים מהמאגר התחתון אל העליון בשעות הלילה, ומוטלים חזרה בכוח אדיר על שתי טורבינות הידרו-אלקטריות בשעות היום. הטורבינות מייצרות 300MW חשמל (2.5% מהספק החשמל המיוצר בשעות השיא בארץ כולה)^{71,32}.

2.4 תמיכה ממשלתית בתחום אגירת אנרגיה

הגופים העיקריים המעניקים תמריצים כלכליים לחברות בתחום אגירת אנרגיה הם רשות החדשנות ומשרד האנרגיה.

2.4.1 תוכניות משרד האנרגיה:

משרד האנרגיה מבין את חשיבות תחום אגירת האנרגיה בישראל ומבצע פעולות שונות לקידום התחום כגון³³:

²⁸ https://www.gov.il/he/Departments/Guides/projects_science?chapterIndex=2
²⁹ מבנים מאופסי אנרגיה: במבנים אלו כמות האנרגיה הנצרכת מן הרשת, במאזן שנתי, מתאזנת עם כמות האנרגיה המתחדשת המיוצרת בהם או בסמיכות אליהם (-R0401/DocLib4/R0401) <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib4/R0401-R0500/R0417.pdf>
³⁰ <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib4/R0401-R0500/R0417.pdf>
³¹ <https://www.themarket.com/dynamo/premium-1.8315334>
³² <http://windfarm.co.il/> אנרגיה-מתחדשת/אגירה-שאובה
³³ מתוך מצגת שהוצגה בכנס

- RFI מתקני אגירה עם אנרגיה מתחדשת וניהול
 - קמפוסים, קיבוצים, שכונות, מתקני תשתית, מבנים גדולים
 - חרום (למשל מקלטים ציבוריים)
 - שימוש במערכות סולאריות בזמן נפילת הרשת
 - שילוב כלי רכב חשמליים + סוללות של רכבים ישנים
 - ניהול ביקושים (תדר, הסטה) באמצעות אגירה
- RFI לפיתוח מפה אינטראקטיבית לעמדות טעינה לרכבים

משרד האנרגיה, רשות החדשנות ומשרד האנרגיה של ארצות הברית מפרסמים קול קורא בהיקף של 40 מיליון דולר לתקופה של חמש שנים להקמתו של מרכז מצוינות באנרגיה, הנדסה ומים המשותף לישראל וארה"ב. המרכז מוקם במטרה לקדם את הביטחון האנרגטי והפיתוח הכלכלי של ישראל וארה"ב באמצעות שיתופי פעולה במחקר ופיתוח טכנולוגיות חדשניות של חברות, מוסדות מחקר ואוניברסיטאות בישראל ובארה"ב. אחד התחומים הוא אגירת אנרגיה. במסגרת הקול קורא, על חברות מסחריות, מכוני מחקר ואוניברסיטאות מארה"ב וישראל להקים מאגד (קונסורציום) של לפחות שתי חברות או מוסדות מחקר מכל מדינה ולהגיש בקשה למענק. ממשלות ארה"ב וישראל יעניקו למרכז האנרגיה 8 מיליון דולר כל אחת בשנתיים הראשונות בתקופת ההשקה. התמיכה היא לחמש שנים, כך שסך תקציב הפרויקטים הנתמכים, תוך לקיחה בחשבון של מימון עצמי של 50% הנדרש מהזוכים, יוכל להגיע ל-80 מיליון דולר, בכפוף להקצאות הקונגרס האמריקאי והתקציב הישראלי. במסגרת הקול קורא, ארבעה מאגדים יזכו במענק, אחד בכל תחום מתחומי המחקר הבאים: אנרגיה מחצבת (בעיקר גז טבעי), אגירת אנרגיה, ביטחון פיזי וקיברנטי עבור תשתיות קריטיות, ממשקי מים ואנרגיה. המענק המקסימלי למאגד הוא בסך 10 מיליון דולר לתקופה של חמש שנים - 2 מיליון דולר לשנה (מותנה בזמינות המימון)³⁴.

ביוני 2018, פרסם משרד האנרגיה תוכנית מאושרת להקמה של המתחם הסולארי הגדול ביותר בישראל. האתר יופעל בטכנולוגיה פוטו-וולטאית ויאפשר ייצור של כ-500 מגוואט המהווים כ-20% מיעדי הממשלה לשנת 2025 כפי שנקבעו לקראת ועידת האקלים בפריז. האתר צפוי להיות מבין האתרים הסולאריים הגדולים בעולם. האתר הנבחר, בשטח כולל של כ-6,000 דונם, מצוי מדרום לאזור התעשייה של העיר דימונה. התוכנית תאפשר מערך לאגירת אנרגיה³⁵.

תוכנית משרד האנרגיה לפיתוח משק אנרגיה נקי חותרת לקידום כלכלת אנרגיה יעילה וירוקה המבוססת על מספר יעדים אסטרטגיים: חדירת אנרגיה מתחדשת, גידול בייצור החשמל המקומי והמבוזר תוך התייעלות אנרגטית, בדגש על ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, פיתוח רשת חשמל חכמה ומנוהלת, ועידוד כניסה מסיבית של כלי רכב חשמליים המבוססים על טעינה ופריקה מנוהלת, והחלת איסור מכירת כלי רכב חדשים שאינם חשמליים החל משנת 2030. על מנת להגשים יעדים אלו נדרש לפתח יכולת אגירת אנרגיה ונדרשת הגדלת יעילות הפקת אנרגיה סולארית ואגירת אנרגיה לשימושים נייחים³⁶.

2.4.2 תוכניות רשות החדשנות:

תחום האנרגיות המתחדשות יחד עם נושא אגירת אנרגיה מהווים נדבך מרכזי בתעשיית הקלינטק ובשנים האחרונות נמצאים במגמת פיתוח מואץ בעולם ומושכים עניין רב. בדוח של הרשות לחדשנות "חדשנות בישראל תמונת מצב 2018-2019"³⁷, זיהום האוויר נחשב גורם הסיכון הסביבתי הגדול ביותר על בריאות הציבור והמשרד להגנת הסביבה מפעיל כלי תמיכה ותמריצים לעידוד טכנולוגיות קלינטק, התייעלות אנרגטית והפחתת זיהום אוויר. השווקים המרכזיים לטכנולוגיות אלו כוללים בעיקר את תחום האנרגיה, הכולל התייעלות אנרגטית, ייצור אנרגיה מתחדשת, אגירת אנרגיה וחלוקה.

³⁴ https://www.gov.il/he/departments/news/bird_050519

³⁵ https://www.gov.il/he/Departments/news/spokesperson_solar_dimona

³⁶ <https://innovationisrael.org.il/magazine-article/4192>

³⁷ [חדשנות בישראל תמונת מצב 2018-2019](#)

הרשות לחדשנות מיישמת את המרכז הטכנולוגי לאנרגיות מתחדשות - קלינטק³⁸, במסגרת מסלול מענק למו"פ. המרכז הטכנולוגי לאנרגיות מתחדשות תומך במיזמי מחקר ופיתוח החל משלבי המחקר האקדמי, במיזמים טכנולוגיים בראשית דרכם ובביצוע בדיקות וניסויים למוצרים בשלבי פיתוח, ניסוי והדגמה. המרכז מופעל על ידי זכייין מהמגזר הפרטי בשילוב עם משקיע אסטרטגי ומרכז מחקר אקדמי. פעילות המרכז מתבצעת באזור חבל איילות. המרכז הטכנולוגי תומך במיזמים בתחומים הטכנולוגיים, ביניהם, אנרגיה סולרית ואגירת אנרגיה. מסלולי התמיכה המוצעים במסגרת המענק: 1. מסלול ראשוני - מחקרים במוסדות מחקר אשר ניתן לפתחם לטכנולוגיות ומוצרים הניתנים למסחר. גובה התקציב המאושר לכל הפרויקטים במסלול זה לכל שנה לא יעלה על 2 מיליון ש"ח. 2. מסלול מתקדם - קידום פרויקטים משלב הוכחת ההיתכנות ועד לשלב שבו ניתן לגייס השקעות. היקף הפעילות יהיה של שלושה עד ששה פרויקטים חדשים בכל שנה. לחברה שהוקמה לראשונה במסגרת המרכז הטכנולוגי המענק יהיה בשיעור השתתפות של 85% מהתקציב המאושר ולא יעלה על סך של 2.125 מיליון ש"ח. לחברה שהוקמה עוד לפני תחילת פעילותה במסגרת המרכז הטכנולוגי, המענק יהיה בשיעור השתתפות של 60% מהתקציב המאושר ולא יעלה על סך של 1.5 מיליון ש"ח לפרויקט. 3. מסלול שטחי ניסוי - פעילות הכשרה והפעלה של שטחים לניסוי, הדגמה והוכחת היתכנות טכנולוגית. גובה כלל התקציב המאושר בשנה עבור כל הבקשות יעלה על 4 מיליון ש"ח.

מכרזים וקולות קוראים בתחום אגירת אנרגיה בשנתיים האחרונות:

- ביוני 2018, פרסמה רשות החדשנות הודעה על תכנית לאומית להתייעלות במשאבים וחדשנות סביבתית המיועדת לתמוך בפיתוח טכנולוגיות סביבה ובפרט בהקמת מתקני הרצה, לשיפור איכות הסביבה ולפיתוח תעשייה ישראלית עתירת ידע. טכנולוגיות אלו כוללות, בין היתר, ייצור ואגירת אנרגיה נקייה³⁹.
- ב-2019, פרסמה רשות החדשנות קול קורא לתאגידים המעוניינים להקים מעבדת חדשנות בתחומי הגנת הסביבה והקיימות במסגרת מסלול מעבדות לחדשנות טכנולוגית, מעבדות העוסקות בין היתר בתחום אגירת אנרגיה נקייה⁴⁰.
- בפברואר 2019, פרסמו הרשות לחדשנות, המשרד להגנת הסביבה ומשרד הכלכלה והתעשייה כי יתמכו בהקמת מעבדת חדשנות טכנולוגית בתחומי הגנת הסביבה והקיימות. המעבדה תקלוט ותקדם חברות הזנק בתחומי טכנולוגיות הגנת סביבה וקיימות העוסקות בין היתר בייצור ואגירת אנרגיה נקייה⁴¹.
- במאי 2019, פרסם מרכז האנרגיה ישראל-ארה"ב (משרד האנרגיה, רשות החדשנות ומשרד האנרגיה של ארצות הברית) קול קורא בהיקף של 40 מיליון דולר לתקופה של חמש שנים להקמתו של מרכז מצוינות באנרגיה, הנדסה ומים המשותף לישראל וארה"ב. מטרת הקמת המרכז היא לקדם את הביטחון האנרגטי והפיתוח הכלכלי של ישראל וארה"ב באמצעות שיתופי פעולה במחקר ופיתוח טכנולוגיות חדשניות של חברות, מוסדות מחקר ואוניברסיטאות בישראל ובארה"ב. בין התחומים בהם יעסוק המרכז הוא תחום אגירת אנרגיה. ממשלות ארה"ב וישראל יעניקו למרכז האנרגיה 8 מיליון דולר כל אחת בשנתיים הראשונות בתקופת ההשקה. התמיכה היא לחמש שנים, כך שסך תקציב הפרויקטים הנתמכים, תוך לקיחה בחשבון של מימון עצמי של 50% הנדרש מהזוכים, יוכל להגיע ל-80 מיליון דולר, בכפוף להקצאות הקונגרס האמריקאי והתקציב הישראלי. במסגרת הקול קורא, ארבעה מאגדים יזכו במענק. אחד התחומים הינו אגירת אנרגיה. המענק המקסימלי למאגד הוא בסך 10 מיליון דולר לתקופה של חמש שנים - 2 מיליון דולר לשנה⁴².
- ביולי 2019, פרסם קול קורא שלישי מטעם הרשות לחדשנות והמשרד להגנת הסביבה להגשת בקשות סיוע עבור תוכניות הרצה בתחומי הגנת הסביבה. על התוכניות ליצור אימפקט משמעותי לצמיחת החברה, כגון בהתקדמות משמעותית במוכנות המוצר למסחר ובסיוע בקידום חדירתו לשוק. אחד התחומים אליהם מיועדת התמיכה הינה בתחום ייצור ואגירת אנרגיה נקייה⁴³.

³⁸<https://innovationisrael.org.il/startup/programsrnd/cleantech>

³⁹https://innovationisrael.org.il/press_release/3790

⁴⁰<https://innovationisrael.org.il/kol-kore/4267>

⁴¹https://innovationisrael.org.il/press_release/4282

⁴²https://www.gov.il/he/Departments/news/bird_050519

⁴³<https://innovationisrael.org.il/kol-kore/4075>

- באוגוסט 2019, פרסם משרד האנרגיה מכרז לקבלת שרותי בדיקת היתכנות ותכנון ראשוני להקמה והפעלה של מתקני אגירה וניהול אנרגיה בישראל. המשרד מפרסם מכרז למימון העלויות הנדרשות להכנת בדיקת התכנות ראשונית בסך של עד 200 אלף ש"ח למציע. בדיקת ההיתכנות תציג את הטכנולוגיות הקיימות והיכולת שלהן לאגור אנרגיה, ותנתח ותבחן את המשמעות ההנדסית, הסביבתית, הרגולטוריות והכלכליות הנובעות מהקמת והפעלת מתקן האגירה בטכנולוגיות אלו, ביחס לאתר ספציפי בישראל⁴⁴.

פעילות המדינה בעיר אילת ובמועצה האזורית חבל איילות בנושא אנרגיה מתחדשת ואגירת אנרגיה:

המדינה יחד עם החברה לאנרגיה מתחדשת אילת-איילות⁴⁵ (חברה ללא מטרות רווח, שמטרתה לפתח את תחום האנרגיה המתחדשת כמנוף לפיתוח אזורי בעיר אילת ומועצה אזורית חבל איילות) פועלת בנושא אנרגיה מתחדשת ואגירה:

באוגוסט 2019 פורסם כי הועדה המחוזית לתכנון ובניה מחוז דרום החליטה על תכנית להקמת תחנת כוח סולארית למתח גבוה הכוללת אגירה. על פי התוכנית בקרוב יוקם מתקן סולארי של 32 מגה-וואט על שטח של 300 דונם סמוך לקיבוץ יוטבתה. 16 מגה-וואט ינוצלו בשעות היום ו 16 מגה-וואט נוספים ייאגרו כך שניתן יהיה להשתמש בחשמל ירוק גם בשעות הלילה.

בספטמבר 2019 פורסם כי החברה פועלת להכנסת האגירה לאזור לצורך הסטת עודפי הייצור ואספקה של 100% אנרגיה נקייה 24/7 לאזור הדרום. פרויקטי האגירה יפעלו בשני ישובים בערבה וכן במוסדות חינוך בעיר אילת. האגירה תיעשה בהיקפים שונים ובטכנולוגיות שונות, במטרה להפוך לשדה ניסויים מרתק של אגירת אנרגיה בישראל.

2.5 תעשיית אגירת אנרגיה בישראל

2.5.1 מיפוי חברות בתחום אגירת אנרגיה

בישראל פועלות 34 חברות העוסקות באגירת אנרגיה בשלושה סקטורים עיקריים שתויגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder⁴⁶ תחת התיוג: Energy-storage⁴⁷ (רשימת החברות מופיעה בנספח א'). בעשור האחרון חלה עליה במספר החברות הפועלות בתחום אגירת אנרגיה בישראל מ-9 חברות בשנת 2009 ל-34 חברות ב-2019.

הנתונים בתת פרק זה הינם עיבוד של מוסד נאמן לנתוני המאגר Startup Nation Central Finder אלא אם צוין אחרת. 26 חברות פועלות בתחום הקלינטק, כאשר 20 חברות חדשות נפתחו בתחום זה בשנים 2010-2019 (איור 2). נתון זה מעיד על גידול בתעשיית הקלינטק, תעשייה המיועדת, בין היתר, גם לפיתוח מערכות לאגירת אנרגיה. הגידול נובע מהצורך בהתמודדות עם זיהום האוויר והכנסת אנרגיה נקייה לשימושים של אנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה לתחום (ראה התמיכה של הרשות לחדשנות בנושא הקלינטק).

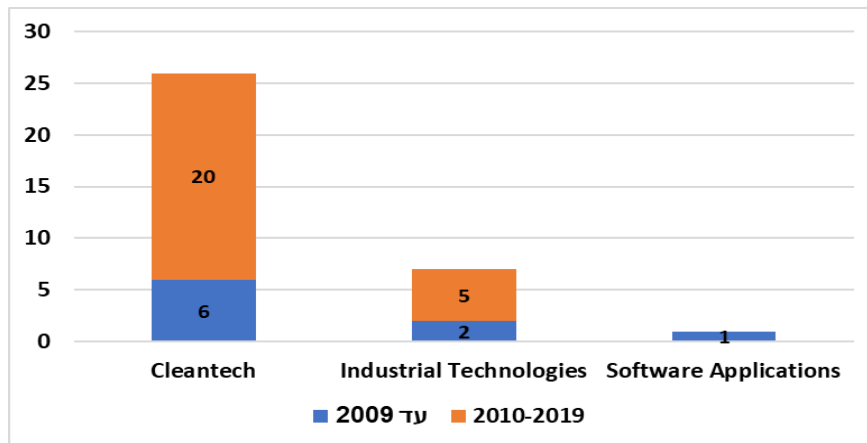
⁴⁴ https://www.gov.il/he/Departments/publications/Call_for_bids/tender_69_19

⁴⁵ <http://www.eilateilot.org/he/>

⁴⁶ <https://finder.startupnationcentral.org/>

⁴⁷ החברות המופיעות במאגר ה-Startup Nation Central Finder הן חברות בעלות תיוג של Energy-storage ומופיעות כפעילות במאגר זה, נכון לדצמבר 2019.

איור 1: הגידול במספר החברות בתחום אגירת אנרגיה בשנים 2010-2019 לפי סקטור



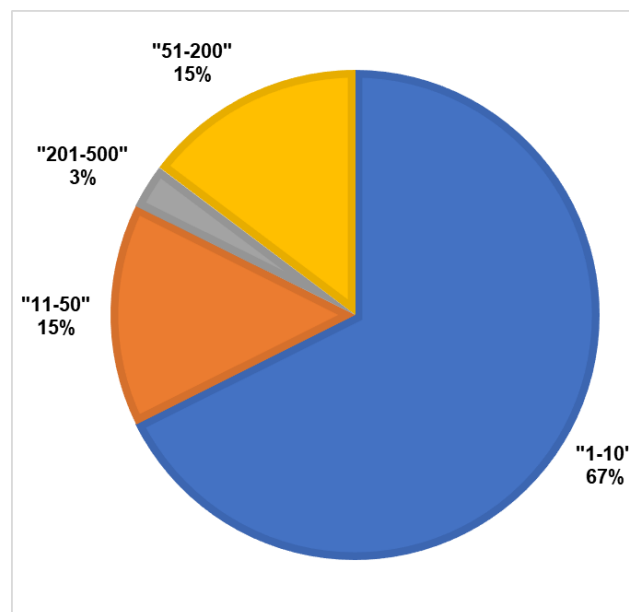
מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

שלב פיתוח המוצר: כמחצית מהחברות (41%) נמצאות בשלב Released של המוצר וכשליש מהן (32%) נמצאות בשלב המו"פ (R&D) של המוצר. שאר החברות נמצאות בשלבי Alpha ו-Beta של המוצר. לדוגמה, חברת ETV Energy נמצאת בשלב ה-Released של המוצר ומפתחת סוללת ליתיום-יון לשוק הרכב. סוללה חדשה המבוססת על קתודת מתח-גבוהה והמעבירה רמת אנרגיה ספציפית של 220-250 kg/Wh.⁴⁸

שלב המימון: כמחצית מהחברות (41%) נמצאות בשלב מימון Pre-seed או Seed. כחמישית (21%) נמצאות בשלב Revenue Financed. 15% מהחברות נמצאות בסבבי מימון A, B או C+.

גודל החברות: מתוך 34 החברות שנסקרו, 23 חברות (67%) הינן חברות קטנות עד 10 עובדים לחברה, רובן בתחום הקלינטק. 15% מהחברות הן חברות עד 50 עובדים, 14% מהחברות הן בינוניות ומונות בין 50 ל-200 עובדים ורק 3% הן חברות גדולות המעסיקות למעלה מ-500 עובדים. נתונים אלה מחזקים את העובדה כי זהו תחום מתפתח ורוב החברות הן בתחילת הדרך.

איור 2: גודל החברות בתחום אגירת אנרגיה לפי מספר העובדים בחברה



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

<http://www.etvenergy.com/>⁴⁸

2.5.2 משקיעים

נכון לנובמבר 2019, 18 חברות מתוך 34 החברות שנסקרו ממאגר Startup Nation Central Finder גיאו הון בסך כולל של 1.016 מיליארד. אך 98% מגיאו הון שייכים לחמש חברות בלבד. הלוח הבא מציג את החברות ואת הסכום שגויס (טבלה 1).

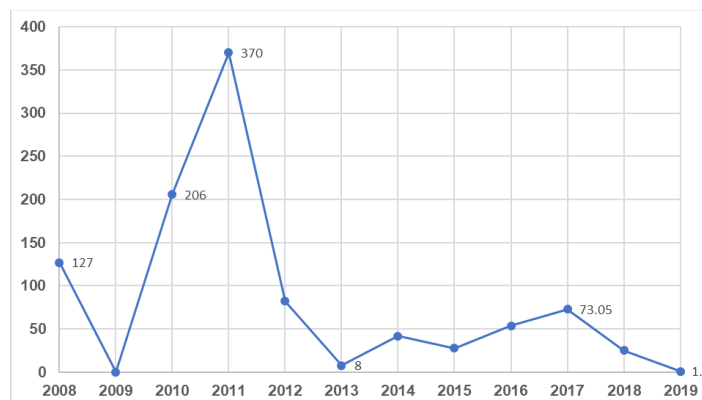
טבלה 1: היקף גיאו הון שבוצע בחברות בתחום אגירת אנרגיה

שם החברה	סכום הגיאו במיליוני דולרים (M\$)
BrightSource	771.0
StoreDot	130.0
Phinergy	50.0
mPrest	36.0
ETV Energy	12.0
סה"כ	999.0

מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder (נובמבר 2019)

בשנת 2011 היה גיאו שיא של הון. משנת 2012 חלה ירידה בגיאו הון (מתוך מאגר Startup Nation Central Finder). נכון לנובמבר 2019, סך גיאו הון בשנה זו הינו נמוך ועומד על 1.2 מיליון דולרים (איור 4). יחד עם זאת, בשנים בהן היו גיאו הון גבוהים (2010 ו-2011), כל הגיאו הכספי נעשה על ידי חברה אחת (BrightSource Industries⁴⁹), לעומת גיאו הון בשנים 2016-2018, שנעשו על-ידי חברות רבות.

איור 3: סך גיאו הון (במיליוני \$) של חברות בישראל בתחום אגירת אנרגיה בשנים 2008-2019



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder (נובמבר 2019)

החברות ישראליות משכו מימון מכ-40 משקיעים שונים, ישראלים וזרים. בין המשקיעים הישראלים נמנים משרד האנרגיה (הושקעו כ-1.5 מיליון דולר בחברות NrgStorEdge, Nostromo Energy, Mada Analytics ו-Brenmiller Energy), הרשות לחדשנות/המדען הראשי (הושקעו 2 מיליון דולר בחברות Vollspark ו-NrgStorEdge), קרן הון סיכון, חברת השקעות המפעילה חממה טכנולוגית פלטפורמת השקעות עולמית (מימון המונים). בין המשקיעים הזרים נמנים חברות השקעה, קרנות הון סיכון, חברות טכנולוגיה, אנרגיה וגז, קרן מחקר. בנוסף, היו השקעות של Horizon 2020 (הושקעו 1.55 מיליון דולר בחברות Vollspark ו-Electriq~Global) ומשרד האנרגיה בארה"ב.

2.5.3 חברות מובילות בתחום

בנובמבר 2019, שלוש חברות, מתוך 34 החברות, דורגו בין 43 חברות הסטארט-אפ המובילות בעולם: Brenmiller Energy דורגה במקום החמישי, Nostromo Energy במקום ה-23 ו-H2 Energy Now במקום ה-34 (EnergyStartups, 2019).

⁴⁹<http://www.brightsourceenergy.com/> החברה מתכננת, מפתחת ופורסת טכנולוגיה תרמית סולארית לייצור חשמל וקטור לשווקי חשמל, נפט ותעשייה ברחבי העולם

בנוסף, קיימת בישראל פעילות בתחום אגירת האנרגיה גם של חברות גדולות וותיקות:

Ormat Technologies - חברה בינלאומית בתחום האנרגיה והחשמל העוסקת בהקמה ותפעול של תחנות כוח הפועלות על אנרגיה חלופית, בעיקר אנרגיה גיאותרמית, ייצור ציוד לייצור חשמל וציוד עזר. החברה מציעה פתרונות תעשייתיים בנושא אגירת אנרגיה: הפעלת שוק של משאבי טעינה או אחסון מבוזרים, סוללות אגירה כשירות, הנדסה ואינטגרציה של מתקנים לאגירת אנרגיה⁵⁰.

שיכון ובינוי אנרגיה - חברת בת של שיכון ובינוי. החברה פועלת במספר פרויקטים לבניית תחנות לאגירת אנרגיה⁵¹. **אשלים** - פרויקט אנרגיה מתחדשת הכולל תחנת כוח תרמו-סולארית בהספק של 121 מגה-וואט. הפרויקט מוקם מכוח הסכם זיכיון עם מדינת ישראל בשיטת B.O.T (Build Operate Transfer) לתקופה של 28 שנה. התחנה משתרעת על פני שטח של 3,900 דונם ותספק חשמל לכ-60 אלף משקי בית. עד שנת 2020 התחנה מתוכננת לייצר 10% מהחשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. **שיבולים** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 12.46 מגה-וואט. **עין השלושה** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 5 מגה-וואט. **נבטים** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 18 מגה-וואט. **ברוש** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 9.632 מגה-וואט. **שחר** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 9.1 מגה-וואט. **שניאור צאלים** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) לתכנון, מימון, הקמה ותפעול של תחנת כוח סולארית בהספק של כ-120 מגה-וואט⁵².

חברת כי"ל (כימיקלים לישראל) - מתוך כלל פעילויות המו"פ של החברה, אגירת אנרגיה הוא אחד מפעילויות המו"פ שכי"ל מתמקדת בהן: המשך פיתוח פתרונות אגירת אנרגיה מבוססי ברום, עבור חברות סוללות ברום (Br-Battery) תוך שימוש במגוון תרכובות⁵².

2.5.4 האבים (hubs) בתחום אגירת אנרגיה

בנוסף לחברות העוסקות בתחום אגירת אנרגיה, פועלים בישראל גם **ארבע האבים (hubs)** שתיוגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder תחת התיוג: Energy-storage:

Johnson Controls Open Innovation - hub הממוקם בתל אביב ומציע לסטארט-אפים הזדמנות לשתף פעולה עם מיזם בשווי 30 מיליארד דולר הפועל בין היתר בתחומי ההתייעלות האנרגית ואגירת אנרגיה.

Horizon GreenTech Ventures - hub הממוקם בדימונה. נוסד על ידי תאגיד אלסטום, רותם תעשיות וגפן ביומד השקעות. ההאב ממנף מומחיות מדעית, טכנולוגית, תעשייתית ועסקית סינרגטית בין היתר בתחומים האנרגיה הירוקה ואגירת אנרגיה.

ENEL Innovation Hub - hub הממוקם בתל אביב. מציע הזדמנות עסקית ממוקדת לסטארט-אפים ישראלים להיכנס ולמלא תפקיד משמעותי בשוק האנרגיה העולמי העצום. למשל, חברת Brenmiller לאגירה של חשמל סולארי באמצעות אגירה תרמית.

Karat - hub הממוקם בחיפה. מהווה יחידת מיזם פנימית של חברת חשמל, המספקת מסגרת של שירותי השקעה ותמיכה המיועדים לפיתוח, קידום ומסחר של רעיונות חדשניים בתחומים הקשורים לאנרגיה: פתרונות בתחומי האנרגיה החשמלית הירוקה, עלויות אנרגיה נמוכות, ויעילות מערכת גבוהה יותר, במטרה לצמצם את התלות העולמית בדלקים פחמניים. למשל, חברת SSG Synergy solutions LTD הנותנת בין היתר פתרונות לאגירת אנרגיה לרשת החשמל.

2.6 הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום אגירת אנרגיה

מהראיונות וסקירת הספרות שביצענו עולה שהדיסציפלינות הנדרשות לתחום אגירת אנרגיה הם: **הנדסת חומרים**, **כימיה**, **מהנדסי כימיה**, **מהנדסי מכונות**, **הנדסת חשמל וסביבה**.

בגרף הבא מוצגים מקבלי תארים מהאוניברסיטאות בתחומים שעלו ככאלה שנחוצה בהם הכשרה לתחום אגירת אנרגיה. בשנת הלימודים 2016/17 מספר מקבלי התארים בהנדסת מכונות עמד על 1056 בוגרים

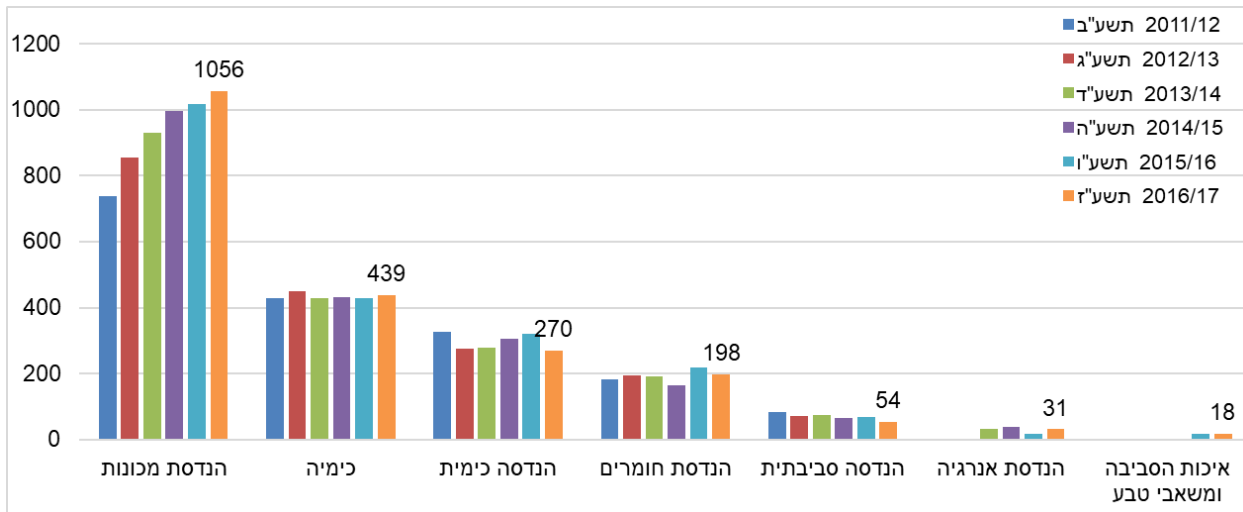
⁵⁰<https://www.ormat.com/en/renewables/storage/view/?ContentID=233>

⁵¹<https://www.shikunbinui.com/he-IL/energy>

⁵²<http://icl-group-sustainability.co.il/reports/continuous-innovation/>

בשאר המקצועות המספרים נמוכים הרבה יותר. כמו כן, ניתן לראות כי בשש השנים האחרונות מספר הבוגרים בהנדסת מכונות עלה ביותר מ-40% בעוד בשאר המקצועות המספרים קטנים בהרבה וללא שינויים משמעותיים במספר הבוגרים שנים האחרונות. מקצוע הנדסת אנרגיה הינו מקצוע חדש ונמדד בלמ"ס רק בארבע השנים האחרונות. מספר הבוגרים הממוצע לשנים אלה הוא 30 בוגרים. גם מקצוע איכות הסביבה ומשאבי טבע הינם מקצוע חדש ונמדד רק בשנתיים האחרונות. מספר הבוגרים עומד על 18 בוגרים.

איור 4: מקבלי תארים מהאוניברסיטאות בתחומי אגירת אנרגיה בשנים 2012-2017



מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני למ"ס

בחינת ההכשרות הקיימות בתחום אגירת אנרגיה באקדמיה נעשתה באמצעות סקירת אתרי האינטרנט של המוסדות האקדמיים וראיונות עם אנשי אקדמיה בתחום.

כפי שתארנו קודם לא קיימת הכשרה ממוקדת לתחום אגירת אנרגיה אלא לימודים בנושאים שונים כאשר אגירת אנרגיה מהווה חלק מתחומים אלה. את המקצועות הרחבים יותר כמו הנדסת מכונות, הנדסת חומרים, הנדסת כימיה וכימיה ניתן ללמוד בטכניון, באוניברסיטת בן גוריון, באוניברסיטת אריאל, באוניברסיטת תל אביב, באוניברסיטה העברית, במכון ויצמן וגם במכללות שונות כגון: מכללת בראודה, סמי שמעון, תל חי.

ההכשרה לתחום אנרגיה הינו מועט ביותר (איור 5). בתואר ראשון הוא מסתכם במספר קורסים מצומצם ובהיקף לימודי לתואר הלימודים הם לתואר שני בלבד. אך יש לציין כי יש מגמת גידול במספר התוכניות והקורסים – עד לפני חמש שנים לא היו כלל תוכניות הכשרה בתחום אגירת אנרגיה.

מהראיונות שביצענו עולה כי המחסור הוא בעוזרי מחקר ובמנהלי מעבדות שיכשירו את דור הסטודנטים הבא. כדי שתחום זה יפרוץ ויתפתח חסר בארץ מעבדות והכשרה מעשית לסטודנטים של תואר ראשון ושני כדי לחשוף את הסטודנטים לתחום הזה. מקצועות כמו חומרים והנדסה כימית הם מקצועות מפתח לתחום אגירת אנרגיה. מספר הסטודנטים הלומדים מקצועות אלה הבאים לענות לצרכים של תחומים רבים אחרים נמוך ביותר.

2.7 פעילות מחקרית ומרכזי מחקר

בישראל פועלים מספר מרכזי מחקר אקדמיים בתחום אגירת אנרגיה:

המרכז למחקר הנעה אלקטרוכימית בישראל⁵³ - Israel National Research center for Electrochemical propulsion (INREP). נושא האנרגיה אלקטרו-כימית באקדמיה נעשה כיום בישראל במרכז זה. מוביל מרכז הינו פרופ' דורן אורבך, אוניברסיטת בר אילן. המרכז כולל 24 קבוצות מחקר משבע אוניברסיטאות (בר אילן, הטכניון, תל אביב, בן גוריון, מכון ויצמן, אריאל והאוניברסיטה העברית). למרכז שיתופי פעולה עם גורמי חוץ ועם התעשייה. הרעיון להקמת המרכז נבע מהחזון של מדינת ישראל להסרת

<http://inrep.org.il/>⁵³

התלות העולמית בנפט. המימון למרכז מגיע ממנהלת תחליפי דלקים במשרד ראש הממשלה, מהמל"ג- ומות"ת. בין הנושאים בהם עוסק המרכז הוא נושא אגירת אנרגיה, כתמיכה באנרגיות מתחדשות (פורום אנרגיה, 2019).

תוכנית האנרגיה על שם גרנד בטכניון⁵⁴. במרכז מתבצע מחקר בנושא אגירה והמרה של אנרגיה (סוללות ותאי דלק) ובנושאים נוספים כגון דלקים חלופיים, אנרגיות מתחדשות ושימור אנרגיה. בין החוקרים המובילים במרכז בנושא אגירת אנרגיה: פרופ' יאיר עין-אלי, בין מחקריו בנושא משטחי אלומיניום באלקטרוליטים אורגניים עבור סוללות אלומיניום-אור.

המרכז לאנרגיה מתחדשת באוניברסיטת תל אביב⁵⁵ מונה מעל 300 חוקרים משבע פקולטות שונות ופועל להקמת מעבדות מתקדמות, ביו היתר, בנושא של אגירת אנרגיה בתאי דלק ובסוללות זעירות. בין החוקרים במרכז פרופ' דיאנה גולודניצקי שפעילותה המחקרית מתמקדת בסינתזה, אפיון חומרים ותופעת מעבר יונים בננומבנים של אלקטרודות ואלקטרוליטים מוצקים עבור התקני אחסון אנרגיה.

המרכז לננו טכנולוגיה וחומרים מתקדמים באוניברסיטת בר אילן⁵⁶. המרכז עוסק בפיתוח אמצעים לאנרגיה מתחדשת: תאים פוטו-וולטאיים, אגירת אנרגיה, אנרגיה סולרית תרמית ושימור אנרגיה. בין החוקרים במרכז, פרופ' דורון אורבך מהמחלקה לכימיה הפועל לפיתוח סוללות לאגירה. פרופ' אורבך זכה בפרס ראש הממשלה ע"ש סמסון לחדשנות בתחום תחליפי נפט לתחבורה בשנת 2019. פרופ' דורון אורבך זכה בפרס על תרומתו פורצת הדרך לפיתוח סוללות מסוג חדש, בהן סוללה חדשנית מבוססת מגנזיום. למחקריו פוטנציאל גדול להביא לפיתוח סוללות חדשניות להנעת מכוניות חשמליות ובכך להוות תחליף לדלק פוסילי-נוזלי⁵⁷.

המרכז הלאומי לאנרגית שמש שדה בוקר באוניברסיטת בן גוריון⁵⁸. המרכז מוקדש לביצוע מחקרים בנושא האנרגיה המתחדשת. היקף המחקר נע מקצירת אנרגיה סולארית לאגירת אנרגיה, מדעי חומרים, אופטיקה ופיזיקת שטח, כגון פוטו-וולטאיקה בריכוז גבוה, פיזיקה של תאים סולאריים בעילות גבוהה מאוד, פוטו-וולטאיקה אורגנית, אלקטרוליטים מרוכזים מאוד לקבלים-על וסוללות, אור- מטא-חומרים תגוביים ומשטחים אלקטרו-מולקולריים.

המרכז לחקר האנרגיה אוניברסיטת אריאל⁵⁹. בין הנושאים הנחקרים במרכז נחקרים נושאים של אגירת אנרגיה כימית. בין חוקרי המרכז ד"ר משה אברבוק, ראש המעבדה למערכות אגירה חשמליות.

2.8 חממה טכנולוגית

קיימות בישראל שלוש חממות טכנולוגיות שתומכות בחברות הפועלות בין היתר בנושא אגירת אנרגיה:

חממה טכנולוגית "הון הטבע"⁶⁰. החברה לאנרגיה מתחדשת אילת-אילות (חברה ללא מטרות רווח, שמטרתה לפתח את תחום האנרגיה המתחדשת כמנוף לפיתוח אזורי בעיר אילת ומועצה אזורית חבל אילות) הקימה יחד עם המדינה וחברות פרטיות את חממת "הון הטבע" - חממה טכנולוגית וקרן השקעות לאנרגיות מתחדשות. הון הטבע מתמקדת בחדשנות קלינטק. החממה עוסקת במימון מאיץ למיזמים בשלבים מוקדמים בתחום של אנרגיה מתחדשת וקלינטק. החממה מקדמת, בין היתר, את נושא אגירת האנרגיה בהיבט הטכנולוגי והרגולטיבי על מנת לאפשר אספקת חשמל סולארי לאזור בכל שעות היממה.

בחממת "הון טבע" פועלות שתי חברות בתחום אגירת אנרגיה: חברת Chakratec המפתחת מערכת לאגירת אנרגיה בגלגלי תנופה כמענה על דרישת השוק התעשייתי והמסחרי. חברת AUGWIND. חברה שהטכנולוגיה שלה משלבת מערכת אגירת אנרגיה בתצורת אוויר דחוס, אשר מספקת חשמל בהתאם לצריכה המבוקשת, ומאחסנת במיכל מוגן בפנט.

⁵⁴<https://gtep.technion.ac.il/he/>

⁵⁵<https://www.tau.ac.il/renewable-energy>

⁵⁶<https://nano.biu.ac.il/he/research-centers/energy>

⁵⁷<https://www1.biu.ac.il/index.php?id=3&pt=20&pid=3&level=2&cPath=3&type=1&news=3226>

⁵⁸<https://in.bgu.ac.il/en/solar/Pages/default.aspx>

⁵⁹<https://www.ariel.ac.il/wp/energy-research-center/>

⁶⁰<http://www.eilateil.org/he/> קפיטל-נייצר/

חממה טכנולוגית Kinrot Ventures LP⁶¹. חממת כינרות ונצ'רס הוקמה ב-1997, וב-2012 נרכשה על ידי Hatchison Water חטיבת המים של התאגיד הציבורי בהונג-קונג. החממה ממוקמת בנתניה, ומשקיעה בחברות Seed המפתחות פתרונות מתקדמים בתחומים שונים ביניהם תחום הקלינטק ואגירת אנרגיה.

חממה טכנולוגית Terralab Ventures⁶². חממת סטארט אפ הממוקמת ביוקנעם. את החממה מפעילה קרן הון הסיכון Terra שהוקמה ב-2013 על ידי אנשי תעשייה ותיקים. החממה משקיעה במיזמי Early Stage המפתחים טכנולוגיות שמשפרות את העולם ואת איכות החיים, בין היתר, בתחום אגירת אנרגיה. לדוגמא, חברת 3dbattery הפועלת במסגרת החממה, מפתחת טכנולוגיה לשיפור הביצועים והמחיר של מיקרו-סוללות ליתיום-יון נטענות לאגירת אנרגיה.

2.9 מדדים ביבליומטריים

האיור הבא מציג את 45 המדינות המובילות במספר הפרסומים המדעיים בתחום Energy storage במהלך השנים 2014-2018 (נכון לנובמבר 2019). האחוזים מציינים את שיעור הפרסומים של כל מדינה מכלל הפרסומים בעולם בנושא⁶³. סין מובילה את הדירוג עם למעלה משליש מפרסומי העולם בתחום (36%) וארה"ב במקום השני עם כחמישית מהפרסומים (19%). באיור מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל מבחינת גודל האוכלוסייה⁶⁴. ניתן לראות ששבע מדינות דומות נמצאות לפני ישראל בדירוג (סינגפור, שוודיה, שווייץ, דנמרק, בלגיה, פינלנד ונורבגיה), ארבעה מהן (סינגפור, שוודיה, שווייץ ודנמרק), מופיעות בין 20 המדינות המובילות במספר הפרסומים בתחום Energy Storage. הדרוג של ישראל בתחום נמוך והיא נמצאת במקום ה-41 עם 0.34% מפרסומי העולם בתחום. יחד עם זאת, מספר הפרסומים הישראלים עלה פי 4

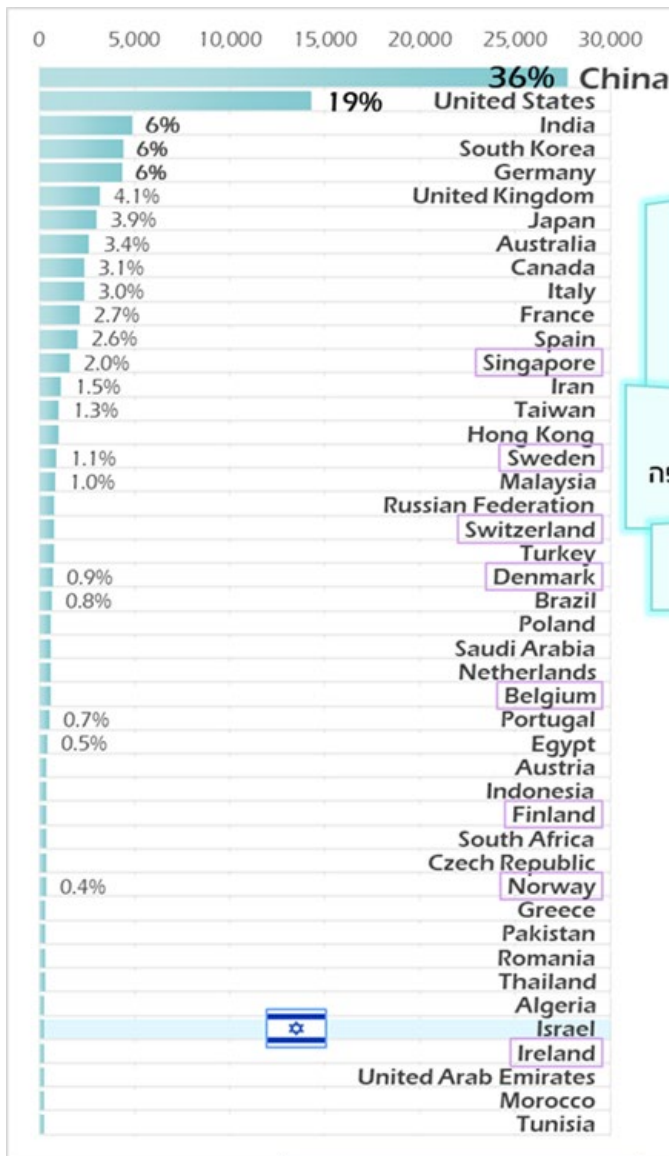
במהלך העשור החולף לאוניברסיטאות השונות בארץ יש פרסומים בשנים אלו (אוניברסיטת בר אילן, הטכניון, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן גוריון, האוניברסיטה העברית, מכון ויצמן ואוניברסיטת אריאל).

⁶¹<https://hutchisonkinrot.com/>

⁶²<http://www.terralb.com/>

⁶³ פרסומים שנכתבו בשיתוף פעולה של חוקרים ממספר מדינות נספרים עבור כל אחת מהמדינות ולכן סה"כ גדול מ-100%
⁶⁴ לרשימת המדינות בנות-ההשוואה נבחרו מדינות שדומות למדינת ישראל מבחינת גודל האוכלוסייה ומספר הפרסומים. השיקולים לבחירת המדינות מפורטים בפרק "השוואת ישראל למדינות נבחרות במדדים שונים" בדו"ח שפורסם בנושא "תפוקות מו"פ בישראל: פרסומים מדעיים בהשוואה בינלאומית, 2017"

איור 5: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



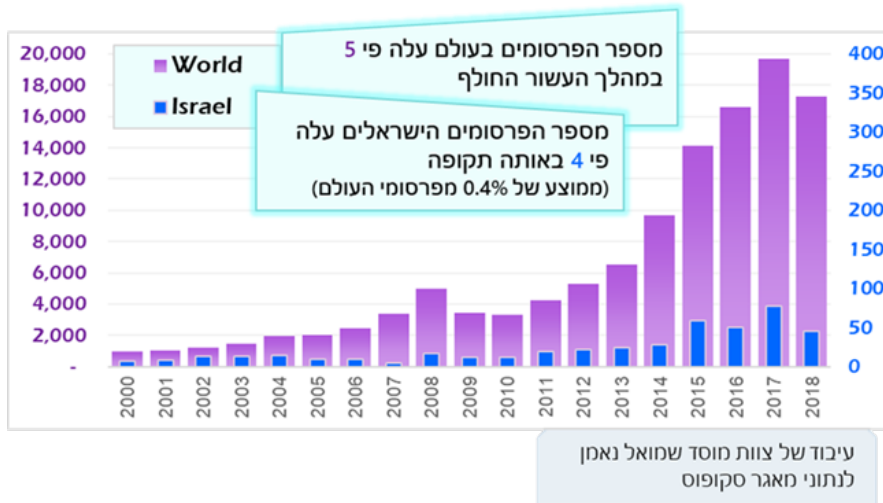
סין מובילה במספר המאמרים בשנים 2014-2018 עם 36% מכמות הפרסומים בעולם; אחריה ארה"ב עם 19%; הודו, דרום קוריאה וגרמניה: כ-6%

ישראל ממוקמת במקום ה-41 עם 0.34% מפרסומי העולם באותה תקופה

מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל

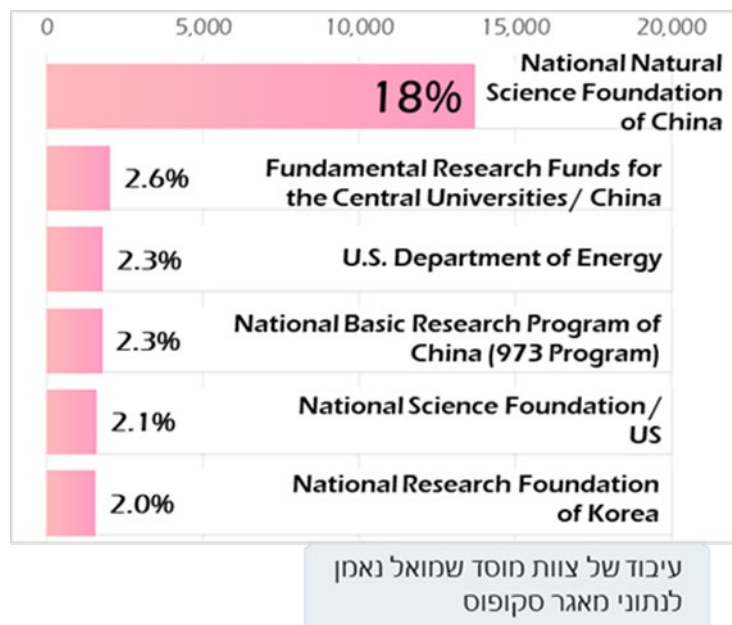
עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

איור 6: השינוי במספר הפרסומים בתחום אגירת אנרגיה בישראל יחסית לעולם בשנים 2014-2018



איור 8 מציג את דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018 (נכון לנובמבר 2019). על פי האזור מתוך שישה גופי מימון, הקרן הלאומית למדעי הטבע של סין (National Natural Science Foundation of china) מובילה עם 18% מהפרסומים.

איור 7: דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



2.10 בקשות לפטנטים

בשנים 2015-2019 הוגשו תשע בקשות לפטנטים בנושא של אגירת אנרגיה. הבקשות לפטנטים הוגשו ב-USPTO על ידי ממציאים ישראלים (פירוט הבקשות לפטנטים מופיע בנספח ג). שלוש מהבקשות הוגשו על ידי חוקרים וחמש בקשות הוגשו על ידי חברות. החברות שהגישו את הבקשות לפטנטים עוסקות בנושאים של אנרגיה מתחדשת, אנרגיה סולארית נקייה ופתרונות לאגירת אנרגיה.

2.11 מענקי מחקר

מענקי המחקר בתחום אגירת אנרגיה נסקרו בששת הגופים וניתנו לחוקרים ישראלים: ERC, BARD, GIF, BSF BIRD ו-ISF (טבלה 2).

טבלה 2: מענקי מחקר בתחום אגירת אנרגיה

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC**	2007 - 2019	5
BIRD	1988 - 2019	8
ISF	1991 - 2019	3
BSF	1997 - 2019	38
Total		54

** מענקי ERC הם חלק מ- horizon 2020

מספר המענקים הגדול ביותר בתחום בשנים האחרונות, ניתן על ידי קרן BSF, הקרן הדו-לאומית למדע ארצות הברית-ישראל התומכת בפרויקטים מחקריים שיתופיים במגוון רחב של תחומים מדעיים בסיסיים ויישומיים.

מקורות נוספים למימון מחקרים בתחומי האנרגיה:

קרן הלמזלי (*The Leona M. and Harry B. Helmsley Charitable Trust*). הקרן העניקה לטכניון מענק בסך חמישה מיליון דולר להמשך פיתוח סוללת חשמל קלה, ידידותית, בעלת תוחלת חיים ארוכה. (המענק הגיע בתיווכו של פרופ' גדעון גרייזר. החוקר הראשי: הוא יאיר עין אלי מהפקולטה למדע והנדסה של חומרים).

משרד האנרגיה⁶⁵ מדיניות התמיכה במחקר ופיתוח של משרד האנרגיה בתחומי האחריות של המשרד. ועדת האנרגיה מטעם המועצה הלאומית למחקר ופיתוח פרסמה את הדוח⁶⁶: "מחקר אנרגיה באקדמיה בישראל 2014", המציג ניתוח חשוב של מחקר האנרגיה בישראל.

רשימת מענקי המחקר שניתנו בתחום אגירת אנרגיה מופיעה בנספח.

2.12 כנסים

בתחום אגירת אנרגיה מתקיימים כנסים רבים הן בישראל והן בעולם. להלן מספר כנסים נבחרים:

כנסים ופורומים בישראל:

מוסד שמואל נאמן למחקר למדיניות לאומית מקיים **פורום אנרגיה** החל משנת 2006, פורום האנרגיה האחרון נערך ביוני 2019. מטרת פורום האנרגיה היא לקיים תשתית מקצועית בתחומי האנרגיה בישראל, ולאפשר מפגשים, רב-שיח ודיונים המעודדים קידום פרויקטים בתחום האנרגיות המתחדשות, החיסכון ושימור האנרגיה. שני פורומים עסקו בתחום של אגירת אנרגיה: פורום אנרגיה מספר 35 (משנת 2014) עסק בנושא אגירת אנרגיה בייצור חשמל⁶⁷, פורום אנרגיה מספר 47 שנערך ביוני 2019 עסק במערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש⁶⁸.

בנובמבר 2019 התקיים **כנס חדרה לאנרגיה**. בין הנושאים הנדונים בכנס: אגירת חשמל ואגירת אנרגיה תרמית⁶⁹. בין הנושאים שהוצגו: אגירת חשמל בישראל ואגירת אנרגיה תרמית.

כנסים בעולם:

כנסים רבים בנושא אגירת אנרגיה מתקיימים ברחבי העולם מתוכם נזכיר את הכנסים הבאים:

⁶⁵ https://www.gov.il/BlobFolder/guide/rd_grants/he/rd_support.pdf

⁶⁶ https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/molmop_reports_2014/he/pdf10 מחקר אנרגיה באקדמיה בישראל

⁶⁷ <https://www.neaman.org.il/EF35-Energy-Storage-Electricity-Production-HEB>

⁶⁸ <https://www.neaman.org.il/Energy-Forum>

⁶⁹ <http://www.haderaenergy.co.il>

Energy Storage Conference 2020 New Concept, NEW INSIGHTS כנס שיתקיים במרץ 2020 בדיסלדורף, גרמניה. הכנס יעסוק בנושאים כגון: יתרונות אגירת אנרגיה למערכת האנרגיה, אגירת אנרגיה ליישומים של Power-to-X ושווקים בינלאומיים לפתרונות לאגירת אנרגיה⁷⁰.

Energy Storage World For ESWF. פורום עולמי לאגירת אנרגיה נערך בנובמבר 2019 בסינגפור וכלל קורס הדרכה, יעצים וחוקרים המתמחים באגירת אנרגיה מבריטניה, צרפת, סינגפור, אינדונזיה והמלדיביים, ואנשי מקצוע מסחריים ותעשייתיים. בין הנושאים בפורום: רגולציה, טכנולוגיות אגירה, מודלים עסקיים ועוד⁷¹.

כנס **ICBEST 2020: International Conference on Batteries and Energy Storage Technology** יערך בדצמבר 2020 ברומא, איטליה. כנס עולמי על סוללות וטכנולוגיות אגירת אנרגיה⁷².

2.13 החזקות והחולשות של ישראל בתחום אגירת אנרגיה

חזקות

הפרמטרים הבאים מאפשרים לישראל את היכולת להוביל בנושא אגירת אנרגיה:

- **כוח אדם למחקר בנושא אגירת אנרגיה**, ישנם בארץ מרכזי מחקר מתקדמים העוסקים בתחום האנרגיה בכלל ובאגירת אנרגיה בפרט, כפי שפורטו במסמך. לצד מרכזי המחקר, חוקרים באוניברסיטאות עוסקים ומפרסמים מחקרים בתחום.
- **שמש כמשאב טבעי**. לפי הבנק העולמי, במדינות רבות בעולם שהן מדינות שטופות שמש, ישנה כדאיות גבוהה לשימוש השילוב של מערכות סולאריות ואגירה והחזר ההשקעה של מתקן כזה הוא 4-5 שנים⁷³. מדינת ישראל היא מדינה מוצפת שמש וניתן לנצל אותה לטובת הפקת חשמל. ישראל רוויה בקרינה סולארית, ועלות הייצור מאנרגיה סולארית נמוכה בה מעלות הייצור הקונבנציונלית⁷⁴. על פי דוח משרד האנרגיה (אוקטובר 2018)⁷⁵ בנושא "יעדי משק האנרגיה לשנת 2030", רובה המכריע של האנרגיה המתחדשת בישראל צפויה להתקבל ממערכות סולריות המבוססות על אנרגית שמש. מערכות אלו אינן מספקות אנרגיה יציבה על פני שעות היממה, דבר היוצר חסם ליישום אנרגיה מתחדשת בהיקפים מספקים. פתרון לחסם זה מבוסס על התפתחות טכנולוגית, בעיקר בתחום **אגירת האנרגיה**. לכן, יש לבחון את ההתפתחויות טכנולוגיות צפויות בתחום האגירה, רמת הנצילות של האנרגיות המתחדשות ויכולות ניהול הרשת, להרחבת היקף השימוש באנרגיות מתחדשות באמצעות פיתוח פתרונות לצרכי גיבוי משק החשמל דוגמת ייצור עצמי בחירום ופיתוח יכולת אגירה מקומית של חשמל לחירום ובחינת הכללתם של שטחים המיועדים לאגירת אנרגיה במסגרת תוכניות סטטוטוריות להקמתן של תחנות כוח (משרד האנרגיה, דוח יעדי משק האנרגיה לשנת 2030).
- **אנרגיה למגורים ולצריכה עצמית**. בישראל מלאי מבני מגורים בעלי שטחי גג פוטנציאליים משמעותי אך מנוצל באופן מזערי, וזאת על אף היתרונות הרבים הגלומים בייצור חשמל על גבי גגות, הן בהיבטים סביבתיים הן בהיבטים כלכליים וחברתיים. לניצול יתרון זה דרושים פתרונות שיאפשרו התקנת מערכות קטנות, ובפרט על גבי מבני מגורים משותפים בפריפריה⁷⁶. על מנת שיתרון זה ינוצל באופן המיטבי, פתרונות לאגירת האנרגיה משעות היום שיאפשרו צריכת אנרגיה פרטית גם בשעות הערב, בהן יש ביקוש שיא לחשמל⁷¹ (פורום אנרגיה, 2019).

⁷⁰ https://www.essexpo.com/en/Conference/Conference_2020. יישומי Power-to-X ואגירת חשמל: מספר המרות החשמל ואגירת חשמל עודף אנרגיה המשתמשים בכוח חשמל עודף

⁷¹ <https://energystorageforum.com/>

⁷² <https://waset.org/batteries-and-energy-storage-technology-conference-in-december-2020-in-rome>

⁷³ <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30349/110879-BRI-EM-Compass-Note-23-Energy-Storage-11-16-PUBLIC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁷⁴ <http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/greenbuilding/producing-energy-in-buildings/documents/solar-energy-nir-lotan.pdf>

⁷⁵ https://www.gov.il/BlobFolder/news/plan_2030/he/2030summary.pdf

⁷⁶ הרחבת ייצור האנרגיה הסולארית על גבי מבני מגורים, מכון ירושלים לחקר ישראל והמשרד להגנת הסביבה

- **פעילות מו"פ של חברות סטארט אפ לצד פעילות תעשייתית של חברות תעשייתיות ותיקות.** יתרונותיה של ישראל כתרבות Startup nation מאפשרים אקו-סיסטם של חדשנות פורצת דרך בתחום אגירת אנרגיה ליצירת סביבה הנקייה מזיהום ופליטה⁷⁷. בישראל חברות ותיקות גדולות לצד חברות סטארט-אפ העוסקות בתחומי האנרגיות המתחדשות, קלינטק, אגירת אנרגיה והתייעלות אנרגטית. חברות סטארט אפ רבות עוסקות באנרגיה נקייה ואנרגיות מתחדשות, נושא המשתלב במהותו עם נושא אגירת אנרגיה. שני תחומים אלו פועלים יחדיו כדי ליצור תועלתיות בייצור וצריכת אנרגיה. חברות אלו, העוסקות באגירת אנרגיה וקלינטק, עוסקות בתחום באופן ישיר או כחלק מאפליקציה ספציפית שלהן. לדוגמא, Enstorage העוסקת באגירה אלקטרוכימית, Chakratec העוסקת באגירת באמצעות גלגל תנופה ו- StoreDot העוסקת בסוללות טעינה מהירה מחומרים אורגניים.
- דוגמאות לפיתוח אגירה כחלק מאפליקציה ניתן לראות במו"פ התרמו-סולארי, בו עיקר המחקר והפיתוח מתמקדים בשכלול יכולות אגירה מובנית במערכת, כאשר האגירה יכולה להתבצע בדרכים מגוונות (כימי, מכני, תרמי וכו'): למשל, Energy Brenmiller שהקימה מתקן הדגמה מסחרי בסמוך לדימונה ו- BrightSource הפעילה באשלים את תחנת הכוח התרמו-סולארית הראשונה בישראל בקנה מידה מסחרי והגדולה מסוגה בעולם.
- **טכנולוגיות לניהול רשת למיקסום יעילות השימוש במערכות לאגירת אנרגיה.** בנושא זה ישנה התחלה של פעילות פיתוח תוכנה לניהול רשת. בישראל ישנה פעילות רבה של חברות הייטק וסטארט-אפים בתחומי פיתוח תוכנה, פיתוח בסיסי נתונים ו-big data, לכן גם פוטנציאל עצום להפנות יכולות אלו לפיתוח מערכות ניהול המשלבות מגוון מקורות כגון אגירה חכמה.
- **אנרגיה שאובה במעלה גלבו.** התחנה מספקת 2.5% מהספק החשמל המיוצר בשעות השיא בארץ כולה. התחנה מאפשרת קיום משק אנרגיה המבוסס בין היתר על אנרגיה ממקורות מתחדשים שאינם נשלטים ואינם יציבים⁹⁰.

חולשות

- **מחסור בכוח אדם מקצועי עוזרי מחקר / מנהלי מעבדה.**
- **מחסור בהכשרה מעשית וחשיפה לתחום-** מעבדות ניסיונות לסטודנטים של תואר ראשון ושני כדי לחשוף את הסטודנטים לתחום הזה. אין מספיק תוכניות לימודים יעודיות לתחום.
- **מספר הסטודנטים הלומדים חומרים והנדסה כימית נמוך –** מקצועות אלה הם חובה על מנת שהתחום יתפתח.
- **היקף ההשקעות בציוד נמוך -** יש שחיקה בציוד מדעי ובציוד אנלטי צריך להשקיע בלחדש ציוד בתחומי האנרגיה על מנת שהמחקר בנושא זה ימשיך להיות איכותי. בהשוואה למדינות אחרות המובילות בתחום (סין, אירופה, ארה"ב) – אנחנו לא במצב טוב והיקף ההשקעות וחידוש הציוד נמוך.
- **רגולציה ותקינה.** עיקר הכשלים מתמקדים בנושא הרגולציה והתקינה. רשות החשמל פרסמה טיוטה של מפת דרכים לפיתוח מקטע הייצור במשק החשמל⁷⁸ תוך התייחסות לנושא של אגירת אנרגיה. הטיוטה מתייחסת לצורך להתוות כיוונים לשילוב אגירת אנרגיה ברשת החשמל: שימוש באגירה למענה מהיר בשעות העומס, שימוש באגירה להחלפת הספק קונבנציונלי (שימוש באגירה כתחליף הספק קונבנציונלי מחייבת יכולת אנרגיה למספר שעות רצופות), שימוש באגירה לדחיית השקעות ברשת, וצמצום השלת מתקני אנרגיה מתחדשת בשעות בהן עומס הביקוש נמוך.
- יש להניע את שוק האנרגיה יותר לכיוון של אנרגיה ירוקה והורדת חסמים. הכשל המתמשך בשוק האנרגיה הוא במעבר לאנרגיה ירוקה. בתחום זה יש חסמים שנוצרו ע"י חברת החשמל השואפת לשמור על מעמדה המונופוליסטי ולעיתים התנגדות של ארגונים ירוקים הדואגים לרווחת האדם, הטבע והנוף. (תחנות כוח המייצרות אנרגיה בעזרת רוח פוגמות בנוף וברווחת הציפורים). תשתיות לאגירת אנרגיה שאובה פוגמים בנוף. ניתן להתמודד עם אתגרים אלה תוך פגיעה מינימאלית בסביבה⁷¹.

⁷⁷ https://www.neaman.org.il/Files/6-446_20170424122145.014.pdf
⁷⁸ מפת דרכים לפיתוח מקטע הייצור במשק החשמל 2018-2030

אגירת אנרגיה של מערכות PV קטנות במצברים בבתיים היא שיטה המתפתחת אצל יצרנים פרטיים קטנים השואפים למקסם את ערך האנרגיה שהם מיצרים. בדרך כלל לשימוש עצמי ויתכן גם למכירה לרשת. נושא זה עדיין לא מוסדר מבחינת הרגולציה בארץ. היצרנים הביתיים מוכרים כיום את האנרגיה לרשת במחיר אחיד⁷¹.

בפורום אנרגיה שנערך במוסד שמואל נאמן הומלץ לבנות רגולציה המעודדת אגירה. המצב כיום הוא שחסר הסדר במספר נושאים: יש לבנות מנגנון ורגולציה מתאימה לטיפול בסוללות שיצאו משימוש; רגולציה לטעינה ופריקה של סוללות המחוברות לרשת; רגולציה לתחנות וירטואליות הכוללת בין היתר הזנת אנרגיה לרשת, קניית חשמל בתעריף עודף ועוד; תקנות בנושא אבטחת סייבר (פורום אנרגיה, 2019). מפת הדרכים של רשות החשמל מציינת כי אגירת אנרגיה צפויה לתפוס מקום משמעותי בפיתוח היצור לאורך העשור הבא. אגירה באמצעות סוללות הינה דומיננטית וחשובה ולכן, יש להיערך למלוא ההיבטים התכנוניים, החשמליים והסביבתיים הנוגעים לשילוב נרחב של סוללות.

בפורום אנרגיה בייצור חשמל (פורום אנרגיה מספר 35, 2015) הומלץ לגבש תכנית אב למשק החשמל הישראלי גם בנושא האגירה כולל טיפול באתגרים הקשורים לאגירה כמכלול, תוך דגש על האגירה המבוזרת, באמצעות מתקני ייצור הכוללים יכולת אגירה מקומית.

• **מחסור בתמריץ כלכלי.** אין תמריצים לשימוש יעיל ומתאים לצורכי רשת החשמל ואין תמריצים כלכליים לפיתוח נושא האגירה. הפתרון הקל הינו להרחיב ולהקים רשתות חשמל קונבנציונליות נוספות ולכן יש לעודד תמיכה ממשלתית בפתרונות לאגירת אנרגיה על מנת ליצור משק יעיל של אספקה וייצור אנרגיה (פורום אנרגיה, 2019). לצרכן הפרטי אין היום עדיפות כלכלית לצרוך בעצמו את כמות החשמל הנאגרת אלא עדיף לו למכור לרשת החשמל⁷⁹.

יש לאפשר למתקנים המשלבים מערכות סולאריות ואגירה ליהנות מהטבה של Net Metering, כך שבעלי מתקנים אלו יוכלו להזין אנרגיה לרשת ולקבל קרדיט על כולה (היום בישראל עדיין לא ניתן לקבל היתר לסוללות להזין חשמל לרשת) (פורום אנרגיה, 2019).

⁷⁹ מתוך הריאיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

2.14.1 נספח א': רשימת 34 החברות בתחום אגירת אנרגיה מתוך startup nation central

name	tagline	sector	funding stage	product stage	employees
InEnSto	Innovations in Energy Storage	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
IsraZion	Nanomaterial and Colloid Products	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
UltraCharge	Lithium-ion Battery Technology	Industrial Technologies	Public	Released	"1-10"
Battery Solution International	Battery Life Extension and Refurbishment	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Spheratec Technologies	Photovoltaic Energy Production and Storage	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Enervibe	Energy Harvesting Solutions	Cleantech	Pre-Seed	R&D	"1-10"
VoltaNano	Nanotechnology-enhanced Lead-acid Batteries	Industrial Technologies	Established	Released	"51-200"
StoreDot	Organic Fast-charging Batteries	Cleantech	C+	Released	"51-200"
H2 Energy Now	Efficient Hydrogen Energy Storage System	Cleantech	Seed	Beta	"1-10"
NrgStorEdge	Safe Energy Storage for Hydrogen-powered Vehicles	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
TUBEX NRG	Bionanotechnology Solution to Extend Battery Life	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
EVChip	Battery Control System	Industrial Technologies	Seed	R&D	"1-10"
Vollspark	Smart Power Transformers for Regulating Alternative Energy Input	Cleantech	Seed	Beta	"1-10"
Chakratec	Kinetic Energy Storage	Cleantech	C+	Beta	"11-50"
Electriq~Global	Water-based Fuel	Cleantech	Revenue Financed	Alpha	"11-50"
3DBattery	Technology for 3D Batteries	Industrial Technologies	Seed	R&D	"1-10"
ETV Energy	Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"

Phinergy	Metal € "Air Batteries to Extend Device Range	Cleantech	A	Released	"11-50"
Kalisaya	Portable Energy Generator with Folding Solar Panels	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Nostromo Energy	Ice-based Energy Storage System	Cleantech	Bootstrapped	Beta	"11-50"
BrightSource Industries	Solar Thermal Technology	Cleantech	C+	Released	"51-200"
Mada Analytics	Predictive Data Analytics for Optimizing Energy Management	Industrial Technologies	Seed	Beta	"1-10"
Augwind	Compressed Air Solutions	Cleantech	Seed	Alpha	"1-10"
Electric Fuel	Standard and Custom Batteries and Chargers	Industrial Technologies	Established	Released	"51-200"
NRG Spring	Energy Storage System	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
CrystalEn Semiconductor	Single-crystal Diamond Production	Industrial Technologies	Seed	R&D	"1-10"
AHG Energy	Hybrid Solar Power Systems	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Brenmiller Energy	Thermal Energy Storage	Cleantech	Public	Released	"51-200"
BikeHive	Charging System for Bicycles and Scooters	Cleantech	Pre-Seed	Customer development	"1-10"
The Sustainable Group	Self-sustained Villages	Cleantech	Bootstrapped	R&D	"11-50"
M. Energy	Dimethyl Ether-based Fuel Cell	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
Phoenician Energy	Aluminum € "air Battery Technology for Marine Vessels	Cleantech	Bootstrapped	Alpha	"1-10"
ThermoTerra	Harnessing Energy from Humidity Fluctuation	Cleantech	Bootstrapped	R&D	"1-10"
mPrest	Monitoring and Control Software	Software Applications	B	Released	"201-500"

2.14.2 נספח ב': רשימת מענקי המחקר בתחום אגירת אנרגיה

ERC – Total – 5

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2013	Avner Rothschild	Technion	Extremely Thin Absorbers for Solar Energy Conversion and Storage	2 150 000 €
2013	David MILSTEIN	Weizmann Inst	Novel Hydrogen Storage System	150 000 €
2014	Ron Milo	Weizmann Inst	Analysis, Design and Experimental Evolution of Novel Carbon Fixation Pathways	1 999 843 €
2016	Avner Rothschild	Technion	Hydrogen production by membrane free chemical – electrochemical systems	150 000 €
2018	Michal LESKES	Weizmann Inst	Metal Ions Dynamic Nuclear Polarization: Novel Route for Probing Functional Materials with Sensitivity and Selectivity	1 700 000 €

BIRD (It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget, up to 1 M\$) - Total – 8

Only Israeli partner is mentioned

2012	Bromine Compounds Ltd	Company	Hydrogen Bromine Regenerative Fuel Cells for Smart Grid Energy Storage and Renewables	BIRD Energy
2013	EnStorage	Company	Next generation energy storage system for uninterrupted supply	BIRD Energy
2013	Bromine Compunds Ltd.	Company	Hydrogen-Halogen Regenerative Fuel Cells for Smart Grid and Renewable Energy Storage	
2014	EnStorage Israel Ltd.	Company	Next Generation Energy Storage System	
2014	Rafael Advanced Defense Systems Ltd.	Company	Turn-Key Energy Center	
2016	Technion	Company	Development of lower cost catalysts for energy storage and energy generation devices used to level intermittent renewable sources or for back-up applications.	BIRD Energy
2017	Brenmiller Energy Ltd	Company	High Temperature Storage Based CHP System	
2017	Terragenic Ltd.	Company	Safe Hydrogen Transport and Storage System	

BSF (~ 60-200,000 \$) - Total – 38

38 projects, only 15 are shown, too long to bring here but can be done if requested.

ISF (~ 300,000 NIS per year for 4 years) - Total – 54

2006	דורון אורבך בוריס מרקובסקי	BIU	חקר ופתוח חמרים ננומטריים חדשניים עבור סוללות נטענות בעלות צפיפות אנרגיה גבוהה והספק גבוה
2015	דורון אורבך	BIU	אלקטרוכימיה אל-מימית של נתרן למטרות צבירה והמרה של אנרגיה
2017	אריאל ישמח	TAU	אילוח של אטומי מתכת בsp2 : סינטזה, איפיון מבנה ותכונות אלקטרוכימיות להתקני אגירה והמרת אנרגיה

2.14.3 נספח ג: בקשות לפטנטים של ממציאים ישראלים

Title	Publication number	Inventor(s)	Applicant(s)	International classification	Application number	app auth	app year	Priority number(s)
ENERGY STORAGE APPARATUS	<u>US2017317522 (A1)</u>	BONEH RAFAEL [IL] MAROM NIR [IL] VORTMAN DAVID [IL] NITZANI NIR [IL]	NOVA LUMOS LTD [IL]	H02J7/35 H02J7/00 H02S40/38	US20171558335 8	US	2017	US201715583358 20170501 US201662330174P 20160501
Hydraulic Based Efficient Renewable Energy Storage And Regeneration System	<u>US2017279303 (A1)</u>	BAUER ABRAHAM [IL] WEISS YONA [IL] FRUEHLING YORAM [IL]	NRG SPRING LTD [IL]	H02J15/00 F03B13/18 F03B13/26 F03D9/17 F03D9/25 F03D9/28 F15B1/02 F15B1/033 F15B21/14 H02K7/18 H02S10/20	US20171561947 5	US	2017	US201715619475 20170610 US201213641277 20121129 WO20111B51831 20110427 US20100328746P 20100428
Method for Liquid Air and Gas Energy Storage	<u>US2019063265 (A1)</u>	SINATOV STANISLAV [IL]	SINATOV STANISLAV [IL] NEWPOLY GEN TECH LTD [IL]	F01K27/02 F01D15/10 F02B29/04 F02B41/10 F17C9/04 F25J1/00 H02J15/00	US20181610988 4	US	2018	US201816109884 20180823 US201762548982P 20170823
PUMPED STORAGE POWER STATION WITH ULTRA-CAPACITOR ARRAY	<u>WO2019207564 (A1)</u>	FRIDRICH RAN [IL]	ELLOMAY CAPITAL LTD [IL]	H02J9/06 F03B17/06 H02J3/28 H02J15/00	WO2019IL50309	WO	2019	US201815963102 20180426
Retrofit wireless solar charger apparatus and methods	<u>US10153657 (B1)</u>	KOIFMAN DAVID [IL]	KOIFMAN DAVID [IL]	H02J7/35 H02J7/00 H02J7/02 H02J50/10 H02J50/90 H02S10/40 H02S40/38 H05K1/18 H04B5/00 H04W4/80	US20181591396 2	US	2018	US201815913962 20180307

SOLAR LIGHT WITH WIND TURBINE GENERATOR	<u>US2018003353 (A1)</u>	IZRADEL LAZAR [IL]	IZRADEL LAZAR [IL]	F21S9/02 F03D3/00 F03D3/04 F03D3/06 F03D9/00 F21S9/03 F21S9/04 F21V15/01 F21V19/00 H02S10/12 H02S30/10 H02S40/38	US20161519629 0	US	2016	US201615196290 20160629
STORED ENERGY SYSTEM	<u>EP3155254 (A2)</u>	MESINGER JESHOA [IL]	MESINGER JESHOA [IL]	F03B17/02 F03B13/06 H02J15/00	EP20150754300	EP	2015	US201462012450P 20140616 WO2015L50485 20150510
SYSTEM AND METHOD FOR PROLONGING BATTERY LIFE IN SOLAR-POWERED POWER STATIONS	<u>US2019137574 (A1)</u>	NITZANI NIR [IL] VORTMAN DAVID [IL] MAROM NIR [IL] BONEH RAFAEL [IL]	NOVA LUMOS LTD [IL]	G01R31/392 G01R31/382 G01R31/387 H01M10/42 H01M10/44 H02J7/00 H02J7/35 H02S40/38	US20181620312 6	US	2018	US201816203126 20181128 US201715614989 20170606 US201762593291P 20171201 US201662346803P 20160607
UNDERWATER ENERGY STORAGE SYSTEM AND POWER STATION POWERED THEREWITH	<u>US2019276229 (A1)</u>	ELAZARI-VOLCANI RON [IL]	AROTHRO N LTD [IL]	B65D88/78 B65D88/02 F02C6/16 H02J15/00 H02K7/18	US20191642034 6	US	2019	US201916420346 20190523 US201715585236 20170503 US201615084558 20160330 US201414446400 20140730 US201213577254 20120805 WO2011L00157 20110215 US20100304499P 20100215

מקור הנתונים הוא Espacenet של ה-EPO . שאילתת החיפוש כללה את מספרי סיווג הפטנטים הבינלאומי (IPC):

Applicant="[IL]" AND IPC=(B60L53/00 OR B60L53/50 OR B60L53/51 OR B60L53/52 OR B60L53/53 OR B60L53/54 OR B60L53/55 OR B60L53/56 OR B60L53/80 OR F03B13/06 OR F03B13/145 OR F24S20/00 OR H02J15/00 OR H02J3/28 OR H02J15/00 OR H01M10/659 OR H02S40/38 OR Y02E10/34 OR Y02E10/46 OR Y02E10/56 OR Y02E10/76)

2.14.4 נספח ד' – סיכומי ראיונות

2.14.4.1 סיכום ראיון עם ד"ר נורית גל – סמנ"כלית חשמל ורגולציה ברשות החשמל

ב- 10/7/2019 נערך ראיון טלפוני עם ד"ר נורית גל:

היום בישראל יש בעיקר אגירה שאובה (מתקנים של שתי ברכות של מים בהפרש של גובה ושואבים את המים בשעות השפל ומורידים אותם כשצריך חשמל ואפשר לקבל תגובה מהירה וניתן לקבל תגובה מהירה לצורך בחשמל) בישראל יש אחד שעומד להתחיל לפעול ואחד בכוכב הירדן ועוד אחד שאמור להיות במנרה-עדיין לא ברור. זה בתחום האגירה השאובה

ישראל קבעה יעדים של אנרגיה מתחדשת (10%, 13% ..). בישראל האנרגיה המתחדשת זה אנרגיה סולרית. בישראל זה נראה מאוד טבעי שזה מהשמש אבל בראיה של כל העולם זה מאוד נדיר שמדינה בונה רק על שמש ושכל תמהיל היצור האנרגיה מתבסס על שני מקורות – גז ואנרגיה סולרית.

זה יוצא דופן כי כשיש הרבה אמצעים אז הם משלימים אחד את השני. למשל בקליפורניה יש גם שמש וגם רוח אז השמש יותר ביום הרוח יותר בלילה ויש איזשהו קשר בין השניים ולכן מקבלים עקום ייצור יותר נוח.

בישראל זה רק סולרי - אולי בעתיד יהיה גם מרכיב של רוח. אם מסתכלים קדימה אז ישראל צומחת להיות המובילה בעולם באחוז האנרגיה הסולרית שיש לה. כרגע אנחנו קצת גוף מפגר באנרגיה מתחדשת סיימנו שנה שעברה 3% , נגדל השנה ב-5% רק בשנה הבאה נגדל ל-10%. אנחנו גדלים לאט אבל המטרה היא תוך כמה שנים כן נגדל להיות מובילים באחוז שימוש השמש מכלל תמהיל הייצור.

סוג זה של אמצעי יש מספר בעיות מטרידות שהאגירה באה לפתור אותם.

באנרגיה סולרית - השמש זורחת בשעה מסוימת ושוקעת בסוף היום אך הביקוש לא קטן. מנהל המערכת שבמשך שעות היום היה לו אמצעי ייצור הוא יורד בבת אחת תוך מספר שעות בודדות.

נאבדים אלפי קילו וואטים. תחנות כוח הן לא גמישות – תחנות פחם לוקח להן חודש, גז היא מתניעה 8-12 שעות. תחנות הכי גמישות זה חצי שעה אבל זה די נדיר. כמו כן כיבוי והדלקה מקלקלים את התחנות.

קושי שני הוא התנודות של הייצור הסולרי – בגלל מזג אוויר (לא כמו תחנות גז). תנודות בייצור צריך לאזן.

וקושי שלישי הוא שינויים בלתי צפויים בביקושים. בניגוד לתחנות הגז שיודעות לווסת את הביקושים באנרגיה – אם התדר ירד/ עולה המערכות יודעות להגיב על מנת לשמור על התדר. ברשת חשמל חשוב לשמור על תדר קבוע. בתחנות סולרית זה בעייתי – הן מייצרות מה שיש הן לא יודעת להגיב לתדר בעולם שיש הרבה מערכות סולריות ומנעת תגובה לתדר – המערכת מאוד לא יציבה וזה יכול לגרום להרבה בעיות לעיתים למצב של עלטה גמורה.

מנינו עד כה 3 בעיות – בעיית הגמישות בשעות הערב, בעיית השינויים ביצור ובעיית חוסר היכולת להגיב לשינויים בתדר. יש עוד שתי בעיות שתיכף נראה איך האגירה פותרת אותן.

בעיה נוספת התוכנית שפרסמה רשות החשמל למשק החשמל – ישראל עושה דבר מוזר הביקוש כל הזמן גדל ולכן אנחנו מוסיפים תחנות כוח וחוז' מזה אנחנו רוצים יותר ירוקים ואנחנו אומרים לתחנות כוח תייצרו פחות ואנחנו נקים אלרגיה סולרית שבחלק מהזמן תחליף אותכם. אנחנו עושים גם וגם. ההשקעות הן השקעות עתק הרשת צריכה לחבר את כל הדברים יוצא שאנחנו עובדים כפול. גם מקימים תחנות רגילות וגם את תחנות שבחלק מהזמן ייצרו אותן. ההשקעה היא אדירה נמדדת בהרבה הרבה מליארדי שקלים והרבה מאמצים תכנונים, גם קרקע. זה מאוד היה יכול לעזור אם המתקנים הסולארים היו יודעים להחליף את התחנות הכוח. אם לא הייתי צריכה להתקין תחנת כוח. והתחנה הסולארית בגלל שהיא מייצרת רק כשיש שמש היא לא נותנת מענה לביקוש בערב צריך תחנה אחרת. האגירה הופכת מתקן סולרי כאילו לתחנת כוח שעובדת על גז.

בעיה נוספת זה שהרשת מאוד חסומות ומתקנים מתקשים להתחבר לרשת.

האגירה יכולה לפתור את חמשת הבעיות הללו:

- בעיית הגמישות שנובעת – כל המתקנים הסולרים מגיעים לשיא הייצור ב-12 בצהריים ומפסיקים לייצר כשהשמש שוקעת בשבע בערב. אבל יש לי אגירה אני לא חייבת לייצר ב-12 אני יכולה לחלק על פני השעות. חלק שייצרו ב-12 אני אוגרת ויכולה להשתמש בזה יותר מאוחר – זה פותר את בעיית הגמישות
 - שינויים/תנודות בייצור – גם פה האגירה פותרת את זה. המערכת מגיבה לשינויים בתדר באמצעות האנרגיה האגורה.
 - תגובה לתדר – גם פה מגיבים לשינויים בתדר באמצעות האנרגיה האגורה.
 - אם תהיה האגירה של השמש מנהל המערכת משתמש באגירה וזה פותר את בעיית התחנות הכוח – לא יהיה צורך בגם וגם.
 - בעיות רשת – אילת היא דוגמא טובה – המון קרקע והמון שמש אבל קשה להתחבר לרשת. יקר להביא אותה וגם כשיפתחו היא עדיין יקרה. אגירה פותרת את הבעיה מאחר היא גורמת למתקנים הסולריים להיות נשלטת (disputable). מאפשר למערכת לתת הוראות.
 - למה זה לא קרה עד היום. כי סוללות היו יקרות. היום השוק מתפתח מאוד מהר והמחירים יורדים. רוצים מאוד להכניס את זה. אנחנו צריכים לדאוג שזה יפתור את הבעיות.
 - התפקיד של הרשות זה לקבוע את הכללים איך המתקן עובד. לייצר מנגנון שיקומו מתקנים ויהיה כדאי לחברות להכניס את האגירה לשוק. אנחנו עושים מכרזים כך שזה יהיה כלכלי לציבור וגם לחברות שאמורות להכנס לשוק.
 - הרשות תאפשר בעתיד לבחור את הספק, להקים מתקנים סולריים על הגג. האגירה תגיע גם לבתים אחרי שהמחירים ירדו הטכנולוגיה צריכה להתייבב השוק צריך לצמוח – האגירה עוד לא שם.
 - מה שחסר היום זה הכללים – לפרסם עקרונות, שימועים, מכרזים אנחנו עושים את זה בשנה הקרבה. ככה אנחנו מניעים את המערכת - זה מאמץ גדול
- החסמים כרגע:

- תוכניות למתקנים סולריים לא כללו אגירה – מתחיל להיפתר
 - יש שני עולמות שדורשים טיפול – מכבי אש – לא ניתן לכבות ורעיל מאוד – חייב הסדרה ובעיה נוספת היא הגריטה – פה מדובר על היקפים גדולים וצריך למצוא מנגנון מה עושים עם כל הסוללות.
- הטכנולוגיות הולכות ומשתכללות. האגירה הידועה היא לתיום-יון אבל יש עוד מקום לפיתוח טכנולוגיות חדשות.
- חוק משק החשמל מגדיר מהי פעילות שמחייבת רישיון. אגירה הוגדרה כשירות שמחייב רישיון. אבל החוק קבע שאפשר לפטור מרישיונות. מכיוון שזה משהו המוני (מתקנים על גגות) אנחנו פוטרם מרישיונות אבל חייבים לעמוד בכללים למערכת, תקנים, מחיר.
- אנחנו לא צריכים יעוץ/מומחים. בשוק צריך סוג אחר של אנשים – בעלי הכשרה טכנית יותר.
- בשנים 2014-2016 השוק הסולרי היה די רדום. היום הוא בפריחה וזה מייצר מחסור של מתקנים, מתחזקים, בודקים שנותנים אישורים וכד'. האגירה היא חיונית לפיתוח תחום זה.
- השאלה אם המדינה צריכה להתערב או לא. לדעתי המדינה צריכה לאפשר ללמוד את התחומים האלה. רואים היום בשוק כל מיני מכונים שנותנים הכשרות לתחומים האלה. לדוגמא – ארנון מעוז תשתיות. – רואים שזה מתחיל לפרוח.
- כדאי לראיין את חברת בילטריקיס⁸⁰ – מאוד פעילים בתחום.

⁸⁰<http://www.bxe.com/investors/presentations-events.cfm>

2.14.5 סיכום ראיון עם מתיו סאס – ראש המעבדה לאנרגיה אלקטרוכימית ומים בטכניון

הראיון נערך במוסד שמואל נאמן בתאריך 4/7/2019

פרופ' משנה מתיו סאס מהפקולטה להנדסת מכונות בטכניון זכה בפרס Arches לשיתוף פעולה במחקר ולהצטיינות במדע. הפרס, בשווי 200,000 יורו, מוקיר פרויקטים משותפים לחוקרים מישראל ומגרמניה שיש בהם תרומה משמעותית לתחום המחקר המשותף. הפרס, שנוסד בשנת 2008, ניתן על ידי קרן מינרובה ומשרד החינוך והמדע הגרמני (BMBF) למדענים צעירים שבמחקריהם טמונה הבטחה גדולה. הפרס ניתן לפרופ' סאס יחד עם שותפו בגרמניה פולקר פרסר.

את תארו האקדמיים בהנדסת מכונות השלים פרופ' סאס באוניברסיטת מקגיל בקנדה (תואר ראשון) ובסטנפורד (תואר שני ושלישי). לאחר פוסט-דוקטורט ב-MIT בהנדסה כימית עשה עליה והצטרף לשורות הטכניון כחבר סגל. הוא עומד בראש המעבדה לאנרגיה אלקטרוכימית ומים ומתמקד בטכנולוגיות התפלה חדשות.

אגירת אנרגיה היא תחום מולטידיספלינרי צריך הנדסת חשמל, חומרים, כימיה, הנדסה כימית, מכונות ועוד. יש הרבה נקודות כניסה לתחום הזה. בהנדסת מכונות לומדים הרבה זרימה, מעבר חום ומסה וזה רקע חשובים לסוללות. אצלנו זה מעבדות להנדסת מכונות שיעבדו עם סוללות.

במעבדה שלי צריך אנשים מתחומים שונים – הנדסה כימית, מכונות, חומרים, סביבה – חייבים את המכלול. החוקרים משולבים במעבדה דרך תוכנית האנרגיה GTEP⁸¹. יש 50 סטודנטים משותפים בתוכנית אצלי יש 4 חוקרים מהתוכנית. זה תוכנית מולטידיספלינרי. סה"כ יש לי 11 חוקרים – 4 מתוכנית אנרגיה, 4 הנדסת מכונות, 2 הנדסה כימית ואחד מננו טכנולוגיה.

אין תוכנית או קורסים לאגירת אנרגיה. יש קורסים רלוונטים בטכניון בתואר שני ומחקר. אני מלמד – מערכות זרימה אלקטרוניות – זה קשור לבטריות/סוללות. זה קורס משותף לתואר ראשון ושני. קורס נוסף שניתן בהנדסת חומרים תואר שלי על סוללות – אלי מעביר.

יש קבוצה של חוקרים INREP⁸² שעוסקים בנושא – יש 20-25 חוקרים. הקבוצה היא דרך ISF. ראש הקבוצה הוא פרופ' דורון אורבך. יש חוקרים מהטכניון, בר אילן, אריאל.

לי יש קשר עם כיל מהתעשייה – לקח יותר משנה עד שנסגר ההסכם.

אגירת אנרגיה זה התחום הבא – אני מתעסק עם פיתוח סוללות גדולות אבל יש אגירה מסוגים שונים כמו סוללות לרכב.

בישראל יש פעילות ענפה בתחום – יש הרבה חוקרים חדשים.

לפני 5 שנים לא שום קורס היום יש כבר 3 בטכניון – במכונות שאני מעביר, בסביבה ובחומרים.

עכשיו אנחנו בשלב של צמיחה – לדעתי הכשרה יש מספיק.

יש מחסור בעוזרי מחקר / מנהלי מעבדה.

כדי להיכנס לתחום הזה חסר מעבדות ניסיונות לסטודנטים של תואר ראשון ושני כדי לחשוף את הסטודנטים לתחום הזה.

חומרים והנדסה כימית הם המקצועות שמחייבים על מנת שהתחום יתפתח.

⁸¹ <https://gtep.technion.ac.il/about/> - The Nancy and Stephen Grand Technion Energy Program (GTEP)

⁸² Israel National Research Center for Electrochemical Propulsion - מרכז מחקר בתחום תחליפי נפט לתחבורה
חלק מהפעילות כולל מחקר בתחום סוללות ליתיום. <http://inrep.org.il/%d7%90%d7%95%d7%93%d7%95%d7%aa/>

2.14.6 סיכום ראיון עם פרופ' דורון אורבך

נושא של אגירת אנרגיה מאוד חשוב יש 4 צרכים עיקריים שדורשים פתרונות של אגירת אנרגיה: הראשון הוא מובייל אלקטרוניקס- רכבים חשמליים, סוללות ליתיום-יון יש להם את הצפיפות הגבוהה ביותר. אלקטרומוביליטי כולל רכבים חשמליים אבל גם את כל האופניים והקורקינטים. בטווח הארוך אלקטרומוביליטי תלך על קומבינציה של סוללות ליתיום ודיידלינג – טכנולוגיה חדשה וחשובה מאוד.

הצורך הבא הוא כל נושא הדאונים ותעופה לא מאויישת פה צריך אנרגיה מאוד גבוהה לנושא הזה צריך סוללות ליתיום מתכתי – מספקות את האנרגיה הגבוהה ביותר. פה גם יש שימוש תאי דלק (המרת אנרגיה). יש צורך בהנדסת מימן בתאי דלק ולשחרר אותו כשצריך – זה גם פיתוח של אגירת אנרגיה.

הצורך הרביעי הוא large energy storage כלומר ברמת ה GRID – כמויות אנרגיה אדירות של אנרגיה שתומכות באנרגיה שמש/רוח מערכות חשמל מרכזיות פה צריך סוללות אחרות, סוללות נתון, סוללות מימיות לחומרים שהרבה יותר נפוצים.

בארץ יש קהילה מאוד חזקה באלקטרוכימיה – אנחנו במצב טוב מבחינת ביצועיים גם בהשוואה לענפים מדעיים אחרים בישראל. זו קהילה חזקה מאוד. כל הקהילה שעוסקת היום באנרגיה מאוגדת באיגוד INERT – שאני הראש שלו. יש לנו חוקרים מכל תחומי האנרגיה – האיגוד כולל כולל 9 קבוצות מבר אילן, 6 קבוצות מהטכניון, 5 קבוצות מתל אביב, וקבוצה מהאוניברסיטה העברית, קבוצה ממכון ויצמן, קבוצה מאריאל וקבוצה מבן גוריון ועוד היד נטויה – יש לנו עוד מועמדים

כל האנשים שקשורים בצורה זו או אחרת לאנרגיה מאוחדים אצלנו ואנחנו מייצרים מדע משמעותי מדע עם אימפקט גבוהה וגם טכנולוגיה – פטנטים, יש IP, לפי דעתי על סמך היכולות האקדמיות באנרגיה ניתן לייצר תעשיית אנרגיה ויש גם כמה סטארטאפים שמי שעובד בהם זה הבוגרים שלנו - אני ייצרתי עד עכשיו 60 דוקטורנטים וגם אחרים "ייצרו" – יש כ-150 דוקטורים בתחום. יש לא מעט אנשים באקדמיה – לי יש 5 בוגרים באקדמיה. בוגרים אלה משתלבים יפה גם בסטארט אפ גם באקדמיה במכוני מחקר וגם בתעשייה.

יש היום קורסים רלוונטים גם בטכניון גם בבר אילן – לומדים קורסים באלקטרוכימיה, מקורות כוח, מדע חומרים. מקבלים הכשרה בסיסית – אני נותן קורס לדגומא קורס במקורות כוח אלקטרוכימיים שנותן תמונה ענפה של מקורות כוח אלקטרוכימיים. הנושא הזה מכוסה על יד אלקטרוכימיה ומדע החומרים. יש גם קורסים בתארים מתקדמים. ההכשרה הכי טובה נעשית בתאגיד מחקר – עשרות דוקטורנטים וגם סטודנטים שעושים עבודות מחקר – יש עשרות חוקרים בתחום האנרגיה. בארץ יש הכשרות ולא מעט בתחום הזה. ההכשרה הכי טובה היא מחקר בתחום הזה – פוסט דוקטורנטים.

בבר אילן יש 9 קבוצות מחקר שעוסקות באנרגיה מדובר בסדר גודל של עשרות סטודנטים ולפחות 20 פוסט דוקטורנטים שעוסקים באנרגיה ועשרות תלמידי מחקר 20 קצינים בתחומים האלה. מבחינת כוח אדם הכשרה ומו"פ אין בעיה. הבעיה היא בהשקעות בארץ בתחום הזה – זה תחום שכדאי להשקיע בו. זה תחום מאוד חשוב צריך יותר השקעות והיתרון שלנו שניתן את המחקר לנתב לתעשיית כחול לבן – החלום שלי של ישראל תייצר חבילות אנרגיה מודלרית. יש היום חצי מיליארד אנשים שלא יכולים להתחבר לרשת החשמל בזמן הקרוב לעין. אפשר לקנות פנליים סולריים אבל אגירה עוד אין. את הידע שאנחנו מייצרים ניתן לתרגם למפעלים וזה לא מסובך. בהשוואה למה שקורה בארה"ב, אירופה, סין, ההשקעות בארץ נמוכות מדי. הייתי משקיע הרבה יותר – זה נושא שישראל חזקה ואנחנו טובים באופן יחסי וההכרה שלנו בעולם היא בהתאם. זה תחום שכדאי לפתח אותו ולהפוך ידע לתעשייה.

אצלנו יש שחיקה בצידוד מדעי וצידוד אנלטי צריך להשקיע בלחדש צידוד בתחומי האנרגיה על מנת שהמחקר שלנו ימשיך להיות איכותי. מבחינת תשתיות – אנחנו לא במצב טוב בהשוואה למדינות אחרות.

בעקרון קשרים בין אקדמיה לתעשייה הם טובים – לי יש קשרים עם BSF – חברת ענקית גרמנית, ציה היפנית, LG, גנרל מוטורס יש לי גם קשרים עם תעשיות בארץ – צריך לדאוג לטפח אותם. צריך להמשיך להשקיע כדי לשמור על היתרון היחסי שלנו כדי שהחברות המסחריות הגדולות ירצו וימשיכו להשקיע בנו.

2.14.7 סיכום ראיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

פרופ' גרוסמן הינו עמית מחקר בכיר במוסד שמואל נאמן, ראש פרויקט פורום אנרגיה וחבר בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון. הראיון התקיים בתאריך 14/4/2019

יש כמה סוגים של אגירת אנרגיה – אגירת חשמל, אגירת חום (כגון: דודי שמש), אגירה כימית. שני הראשונים הם הגדולים. הליתיום הוא סוללה שמשמשת לאגירת חשמל.

אגירת חשמל – מייצר חשמל על ידי תאים פוטוולטאים.

תאים פוטוולטאים – זהו סוג של חומר שמייצר חשמל. תאים אלא מייצרים חשמל רק כשיש שמש.

את החשמל הזה היינו רוצים לאגור. החסרון של העיקרי של המערכות האלה שהן לא נותנות חשמל כל הזמן. בגלל השמש לא בגלל המערכות כמובן.

אם היינו יכולים לשלב את זה עם אגירת חשמל היתה לנו מערכת שיכולה להתחרות במשך הזמן בייצור בחשמל קונבנציונלי.

באוסטרליה בזמן האחרון בנו מערכת של טסלה על בסיס סוללות לדעתי ליתיום – נכון להיום הם הכי קרובים לאספקת חשמל רציף.

ההישג הגדול בשנים האחרונות הוא ההוזלה של התאים הפוטוולטאים. זה החל כפתרון שהיה טוב למקומות נידחים. אבל בשנים האחרונות (בעשור האחרון) הסינים והגרמנים הקימו מספר גדול של מפעלים ומחירים שלהם ירד לכך שהמערכות הפוטוולטאיות בהשקעה הם כמו מערכות פונקציונליות (קטטור). ההבדל הוא שמערכות פונקציונליות נותנות חשמל כל הזמן ומערכות פוטוולטאיות רק כשיש שמש – ולכן יש צורך בהשלמה של מערכות אגירה.

חוץ ממים חמים אם רוצים לאגור חום בטמפרטורה יותר גבוה. כשאומרים קילוואט שעה של חשמל לא צריך להגיד יותר כשאומרים קילוואט שעה של חום צריך להגיד בכמה מעלות. אם רוצים לאגור חום למטרות תעשיות בטמפ' גבוהות אפשר להשתמש בכל מיני טכנולוגיות חדשות.

יש פרויקט של יצור חשמל תרמי שממשלת ישראל תומכת בו - באשלים. שם ממוקמות 2 תחנות כל אחת 120 מגה וואט.

אגירת חשמל – באה לפתור בעיה של עודף יצור ואי יכולת להשתמש באנרגיה בזמנים אחרים.

סוללות הן פתרון קלאסי לאגירה לפוטוולטאים. יש סוגים שונים של סוללות – מצבר עופרת – בעיה סביבתית ואורך שנים מוגבל – מחפשים פתרונות יעילים יותר. ברכב היברידי – יש סוללה של מיטל-ניקל. הטכנולוגיה המבטיחה היום זה סוללות ליתיום.

קיים היום מחקר בישראל בתחום – בטכניון – פרופ' יאיר עין-אלי, דיקן הפקולטה למדע והנדסה של חומרים, עובד על פיתוח הדור הבא של הסוללות. חוקר במעבדת אגירת-האנרגיה של תוכנית האנרגיה הבין יחידתית של הטכניון⁸³. פרופ' עמנואל פלד באוניברסיטת תל אביב - פרופ' עמנואל פלד הוא מדען בעל שם עולמי בתחום תאי דלק ומצברים. הוא היה בין מייסדיהן של שלוש חברות הזנק חדשניות, Chemtronics, EnStorage, ו-Honeycomb המבוססות על טכנולוגיות שפותחו במעבדתו. מבצע מחקרים בשני תחומים: בטריות ליתיום ותאי דלק⁸⁴.

קיים קנה מידה שונה של אגירה – לטלפונים – קטן; מכונות – בינוני; רשת – ענק – תחנות כוח שמייצרות ומסוגלות לאגור.

זהו נושא מאוד חשוב עבור מדינת ישראל – קיימות כבר מערכות שמייצרות חשמל מהשמש ומה שחסר זה אגירה – כיום אין יישום של אגירה בישראל. את הייצור כבר יודעים לעשות ויחסית בזול – אנחנו מדינת

⁸³ <https://www.youtube.com/watch?v=bFXV8->

[FGBk&feature=youtu.be&fbclid=IwAR3pg7gK5WM2OZr4qG6Huy7THMaVryAcU8oHGAq-saoPqwCF04Z0ZETbTfK8](https://www.youtube.com/watch?v=bFXV8-FGBk&feature=youtu.be&fbclid=IwAR3pg7gK5WM2OZr4qG6Huy7THMaVryAcU8oHGAq-saoPqwCF04Z0ZETbTfK8)

⁸⁴ <https://www.tau.ac.il/profile/peled>

שמש. זה תחום מאוד חם ויש פיתוחים אבל כל הזמן צריך ולשפר. כרגע אין יישום של קנה מידה של מדינה בישראל. ליתום הוא משאב מוגבל ויכול להיות שימצאו לו תחליפים כמו ברום לדוגמא.

ההשכלה הנדרשת למו"פ של אגירה הם כימאים, חומרים, מהנדסי כימיה, מהנדסי מכונות (אגירה תרמית). מהנדסי חשמל זרם חזק – בטכניון סגרו ושוקלים לפתוח שוב את המסלול. לימודים יש אבל אין מחקר. לפי משאני שומע שוקלים לפתח שוב.

בארץ המחקר הוא בעיקר מחקר אקדמי מבוצע במימון משרד האנרגיה, משרד המדע ורשות החדשנות. אם תהיה החלטה בקנה מידה לאומי לפתח אמצעים לאגירת חשמל צריך כוח אדם – אבל פה דרושה התחייבות של הממשלה כדי שתהיה תעסוקה לאחר מכן.

משרד האנרגיה צריך להעלות את הנושא בסדרי עדיפויות כמו – יש החלטת ממשלה שעד שנת 2020 10% מכל החשמל יהיה מיוצר מאנרגיות מתחדשות – כיום מיוצרים רק 3%.

2.14.8 סיכום ראיון עם ברק עידן ויוסי אליה – חברת אורמת

סיכום ראיון טלפוני שנערך עם ברק עידן – ראש תחום טכנולוגיות בקבוצת אגירת האנרגיה של אורמת וד"ר יוסי אליה, ראש תחום הנדסה. בתאריך 9/7/2019

30 שנה אני בתעשיית החשמל. אני מרצה באקדמיה

יוסי – 30 שנה אני בתעשיית החשמל וגם מרצה באקדמיה.

חקרתי את נושא מחסור בכוח אדם – חלק מהדוקטורט שלי עוסק במה הדרישות של מהנדסי חשמל בתעשייה. כי ראיתי שאני נתקל בבעיה קשה בלהשיג אנשים עם ידע. אין בעיה להשיג אנשים אבל צריך להשקיע בהם הרבה מאוד זמן, כסף ומשאבים כי הם לא באים מוכנים מהאקדמיה.

בחשמל בכל העולם זה מקצוע מיוחד כמו רפואה – צריך רישיון. בארץ יש חוק החשמל 1954 בו יש דרישות של מהנדס חשמל – מה מהנדס חשמל צריך ללמוד באקדמיה כדי לקבל רישיון.

בזמנו חלק ממסקנות הדוקטורט היו שיש הרבה מאוד בעיות בתעשיית החשמל סביב הרישיונות שגורמות להפסדים בכלכלה, בגדילת התעשייה. בגלל, א' – קשה להשיג רישיון, ב' – עובדים ללא רישיון ואז נגרמות הרבה ביעות/תקלות, וג' – חוק החשמל מחייב ללמוד מקצועות מיושנים ואין התאמה לזמננו – לדוגמא תחנות כוח אנרגיות מתחדשות לא מופיע במקצועות הנדרשים.

אחד המסקנות שכתבתי בזמנו בדוקטורט שצריך לחקור את תוכנית הלימודים באקדמיה ולבחון מה צריך להתאים לזמננו.

היום אפשר ללמוד זרם חזק בבאר שבע ובמכללות. בטכניון ובתל אביב נסגרו המסלולים האלה.

זה נסגר בגלל היצע וביקוש.

אני מלמד בלב בירושלים. פתחנו מגמת חשמל והם כן מאוד פתוחים בתוכנית הלימודים.

ד"ר דן וינשטוק – מומחה לפוטוולטאי ואנחנו מלמדים בחולון ובלב בירושלים ומנסים להכניס את זה לתוכנית הלימודים.

צריך לשנות את חוק החשמל – כי כרגע המקצועות האלה הם לא חובה ורק אם התלמידים רוצים הם באים ללמוד את זה.

ברק – אורמת היא בת 65 שנה ומתעסקת באנרגיה גיאותרמית. התחום הזה לא יכול להתפתח הוא מוגבל במשאבים בעולם וגם ומבחינה תחרותית בשוק הפך להיות קשה לעומת האנרגיות המתחדשות. ואורמת לא נכנסו לתחום הסולרי כיצרנים ומפתחים כמו בגיאותרמי אבל הכיוון של אגירת אנרגיה בעקבות השינויים הטכנולוגיים רכבים חשמלים וסוללות התחום הזה הפך יותר יותר רלוונטי וכלכלי ויחד עם התפתחות הטכנולוגיה של אנרגית השמש אנחנו עומדים בפתח עולם חדש שיביא לשינויים עצומים בתחום הזה ואורמת החליטו מבחינה אסטרטגית להכנס לתחום הזה של האנרגיה לא בתור יצרן של ציוד בתחום הזה אלא כמנהלי אנרגיה ולהיות ספק אנרגיה מאנרגיה אגורה (תחום הסוללות).

כרגע מדובר בעיקר על ליתיום-יון אבל יש גם טכנולוגיות חדשות אבל עדיין לא יודעים לאן העולם הולך. קנינו חברה שעוסקת בתחום הניהול עצמו. אבל לא היה לה יכולות של הקמת פרויקטים בתחום הזה. מאז שהיא נרכשה בעצם שילבנו את הניסיון של ארמת עם הטכנולוגיה שלהם לניהול אנרגיה. במקביל הקמנו מעבדה אצלנו בניהולו של יוסי שבחנת את כל הטכנולוגיות בשוק.

יוסי - נכנסו לתחום לא בגלל מדינת ישראל – אנחנו שולטים בתחום הזה בעיקר במזרח ארה"ב ולפני שנה כשהגעתי דיברתי עם חברת חשמל הם זרקו אותי מהמדרגות ובתור מהנדס חשמל כבר 30 שנה ידעתי שיפול להם האסימון וזה יכנס גם בארץ ובאמת עכשיו הם יוצאים עם מכרזים.

עידן – ברמה האסטרטגית אנחנו לא נכנסו לתחום אגירת אנרגיה כדי לשווק בישראל. לארמת אין לקוחות בישראל מסיבה היסטורית. כי אין מאגרים גיאותרמיים בישראל. גם בתחום האגירה הלכנו עם הפנים לעולם גם בגלל שבשיראל לא היה עוד פעילות וגם בגלל שבאופן היסטורי אנחנו עובדים בעולם. עכשיו אנחנו נכנסים גם לישראל. גם עם חברת חשמל וגם עם שיכון ובינוי אנחנו במגע.

התחום הזה יפרוץ בארץ כבר מתחיל. אחד המכשולים זה המוניפליזם של חברת חשמל וצריך לעשות הסדרה בתחומים האלה. אנחנו יודעים שעובדים על זה. יש מנכ"ל חדש (יוסי כהן?) לרשת הניהולית של החשמל. המטרה שלהם שיהיו אלפי יצרני חשמל במקום אחד היום. גם אלה שיש להם שדות פוטוולטאים מייצרים לעצמם.

בטווח של 20 שנה זה יהיה שונה לגמרי והוא ייצור על ידי כמעט כל אחד. חלקם מסחריים וחלקם ינצלו את הנכסים שיש להם לטובת יצור חשמל. ישמש גם את עצמם וגם כלל המדינה.

בחברה אצלנו מתעסקים בערך 50 באגירת אנרגיה. בארץ יש בערך 8-10 עובדים.

אני מאוקטובר מחפש מישהו ורק השבוע החתמתי אותו. אנחנו מחפשים מהנדסי חשמל לזרם חזק. קשה למצוא. יש הרבה אנשים טובים אבל הרמה שהם למדו והמקצועות שהם למדו הם לא רלוונטיים לתחום של אגירת אנרגיה או ניהול מערכות אנרגיה. או שלוקחים מישהו ומכשירים אותו שנתיים שלוש. מכשירים אותו inhouse - מתחיל לעבוד עם מהנדס פרויקט יותר בכיר. בגיאותרמיה זה לקח 4 שנים עד שיוכלתי לתת למישהו לנסוע לבד לשטח.

פה הדברים יותר פשוטים זה יקח אולי פחות אבל זה חייב מהנדס חשמל.

לדוגמא אנחנו עושים פרויקט לחברת חשמל מישהו צריך בסוף לחבר את הפרויקט לרשת. חייב מהנדס חשמל עם ניסיון, כישורים זה על פי החוק אבל זה גם אחריות שלנו איזה מוצר אנחנו נותנים ללקוח שלנו.

הצוואר בקבוק הוא אנשים כאלה הם מהנדסי חשמל שיש להם מחסור בידע המתאים שאנחנו צריכים. הם לא אשמים הם פשוט לא לומדים את זה באקדמיה.

יש לי המלצות ואני מיישם את זה במכללות.

קודם כל צריך לשנות את חוק החשמל ואז זה יחייב ללמד את הסטודנטים ללמד. ניסיתי ללמד באפקה בתל אביב – שם הפרופסורים האחראים לא רוצים שיכתיבו להם מבחן מה ללמד.

אם יהיה בחוק – אז לא תהיה ברירה הם יהיו חייבים וגם הרמה תהיה יותר גבוהה ולא ברמה של קורס בחירה.

בירושלים זה הולך טוב כי בראש החוג עומד פרופ' לפיזיקה צעיר ופתוח.

באגירת אנרגיה בצד אחד יש את הבטריות זה דורש מהנדס שלמד אלקטרוניקה - זה מקצוע שכל מהנדס חשמל צריך ללמוד – לא ברמה של כימיה אבל כן רקע. מהנדס חשמל עם רישיון אין לו רקע בתחום הזה. האפשרות האחרת היא להביא איש אלקטרוניקה אבל אז אין לו רקע בכלל בחשמל. אני צריך יותר איש של 80% חשמל ו-20% אלקטרוניקה.

בצד שני יש את הצד של הרשת. באגירת אנרגיה זה לא רק לתת חשמל כשצריך אלה עושים גם תיקון של הרשת. רוב האפליקציות היום עושות את זה. בשביל לעשות אלגוריתמים כאלה צריך להבין מה זה רשת מה הבעיות של הרשת וזה במוסדות טובים אנשים מבינים במוסדות פחות טובים הם לא יודעים על מה אני מדבר. אז יש גם רמות שונות למרות שזה חובה.

השימושים שלנו היום הם הרבה תיקון רשת. זה אחת התרומות הגדולות של האגירה. לא רק היכולות להשתמש אלה גם לתמוך ברשת הקיימות. זה היום הדרישה העיקרית. בארץ אנחנו עושים הנדסה ופיתוח ובארה"ב זה היישום ותחזוקה בשטח. יש עוד תחום שיש בו מחסור והוא בתחום דטה אנליטיקס. ניתוח נתונים – בגלל שאנחנו מדברים בעולם שצריך לחזות מראש וצריך להיות מוכן מראש צריך לנתח הרבה נתונים בזמן קצר. בשביל זה צריך מערכות אנליזה, אינטליגנציה מלאכותית. זה אנשים של data science. היום יש בעיה שאתה צריך להיות גם מומחה בהנדסה (כימיה – חשמל) וגם data science. זאת הבעיה בכל התחומים היום.

2.14.9 סיכום ראיון עם עידן ליבס ונעמה שפירא, מוסד שמואל נאמן

נערכו שיחות עם עידן ליבס (19.11.19) ונעמה שפירא (20.11.19). להלן סיכום הדברים שנכתב על ידי נעמה שפירא:

אתגרים בנושא אגירה:

- כלכלי
- טכנולוגי
 - העלאת צפיפות אנרגטית ביחס למשקל ונפח (רלוונטי למשל להנעה חשמלית לתעופה)
 - עוצמת הסוללה
 - יציבות תרמית (שהסוללה לא תתלקח)
 - עלות חומרי גלם וזמינותם
 - אורך חיים (דגנרציה)
 - בטיחות
- ניהול (כמו שדיברנו – solaredge)
- מחזור סוללות
- אגירה בין-עונתית – דורש פתרונות שונים מהותית מסוללות.

פתרונות שונים מגיעים מעולמות תוכן שונים ומתאימים לאפליקציות שונות (חשמל ביתי, חשמל ברמת רשת, חשמל לטווח קצר, בינוני או ארוך, חום, קור, תחבורה – כביש, ימי, אווירי וכו')

טכנולוגיות נוספות שקיימות לאגירה (לא בהכרח בישראל):

- Solid-state Battery
- קבלים – עוצמתיים אך יקרים ובעלי צפיפות אנרגיה נמוכה (משמש למשל באוטובוסים, גם בארץ, אך צריכים לטעון לעיתים קרובות).
- Flow batteries – סוללות זרימה – מתאים ליישומי רשת, יישום מודולרי, פרופ' מתי סאס מהטכניון שמתנסק עם הנושא (<https://meeng.technion.ac.il/he/members/matthew-> /suss) כאשר החומר בסוללות הוא על בסיס ברום (זה יכול להיות אלמנט חשוב – שימוש בחומרים נפוצים בישראל)
- Flywheel – חב' צ'קרטק הישראלית (<https://www.chakratec.com/>) – הבעיה העלות
- אגירה באוויר דחוס (היו כמה ניסיונות בארה"ב ובישראל)

ברמת המדיניות, עדיף להגדיר מטרות (למשל, X אגירה בשנת Y, ליישום כזה או אחר) ולתת לשוק להציג את הפתרונות.

2.14.10 סיכום ראיון עם עופר גולדהירש, הרשות לחדשנות

הראיון נערך בתאריך 30.12.2019 על ידי סימה ציפרפל ממוסד שמואל נאמן

אנרגיה שאובה – דרך לשמור אנרגיה במאגר מים גבוה, בזמן עודף באנרגיה. כיום נבנה פרויקט כזה באתר ליד בקיבוץ מעלה הגלבוה. "תעלת הימים" התימרה לתת ערך רב בגלל הפרש הגבהים בין הים התיכון לעמק הירדן.

אגירת אנרגיה של מערכות PV קטנות במצברים בבתים. שיטה המתפתחת אצל יצרנים פרטיים קטנים השואפים למקסם את ערך האנרגיה שהם מיצרים. בדרך כלל לשימוש עצמי ויתכן גם למכירה לרשת. נושא זה עדיין לא מוסדר מבחינת הרגולציה בארץ. היצרנים הביתיים מוכרים כיום את האנרגיה לרשת במחיר אחד.

החשמל. היתרון של אגירה בבתים הוא שניתן להשתמש בחשמל הנאגר במשך שעות היום לשעות הלילה כאשר מחירי החשמל יקרים יותר. (הנושא קשור לתעריפי החשמל) בדיון בנושא שינוע האנרגיה נדרש להזכיר גם את נושא הרשתות קטנות (microgrid). פתרונות המיקרוגרד מקטינים את הצורך בשינוע ומעלים את אמינות הרשת. גם בתחום זה יש חסמים רגולטוריים המונעים התפתחות מהירה.

אסור לזלזל בחסמים הרגולטוריים. נושא יצור והולכת אנרגיה הוא נושא מורכב הדורש בחינה מעמיקה של פרמטרים רבים. נדרש אולי ארגון טוב יותר של התהליכים כך שניתן יהיה לקדם את הפרויקטים בקצב מהיר וחזוי יותר.

כניסה מסיבית של שימוש ברכב חשמלי תשנה את מערך הדרישות ליצור ושינוע אנרגיה. האנרגיה הנצרכת ע"י רכב חשמלי שקולה לאנרגיה של בית אב. כשמבצעים את החישוב לצפי הביצועים הנדרש מרשת החשמל בהינתן שימוש מסיבי ברכבים חשמליים, מגיעים לכך שהרשת בתצורתה הנוכחית לא תעמוד בדרישות ההולכה ויצור אנרגיה. חלק מהפתרונות לנושא זה הם מיקרו גריד וקוגנרציה קרוב לצרכנים.

נושאים חדשים בתחום האנרגיה הנמצאים בתחילת דרכם:

סוללות קוואנטום - טכנולוגיה מתקדמת, הנמצאת כיום עדיין בחיתוליה, ותהיה המהפכה האמיתית בנושא של סוללות לאגירת אנרגיה.

Organic PV- OPV. מחומרים אורגניים. שיטה שתאפשר יצור מאסיבי, זול ויעיל של אנרגיה חשמלית מאור השמש. היעילות כיום של תאי ה OPV נמוכה מה PV אך הדרך המחקרית פתוחה לשיפורים רבים בתחום הכוללים יעילות, צורת השימוש (למשל צביעה של חלונות או קירות) ועוד.

תאי דלק מימניים להנעת רכבים חשמליים. תהליך יצור נקי של אנרגיה. מימן קל יחסית לשינוע ואחסון. מדברים על טכנולוגיה זו כתחליף עתידי למצברים ברכבים החשמליים. הטכנולוגיה נמצאת בניסויים אצל יצרניות רכב מובילות.

Supercapacitors טכנולוגיה המאפשרת יצירת זרם התנעה חזק בנפח יחסית קטן. טכנולוגיה מתפתחת המאפשרת החלפת חלק מהמצברים ברכבים כבדים. בארץ קיים מפעל מוביל בטכנולוגיה זו ליצור Supercapacitors למשאיות.

- הרשות לחדשנות. חדשנות בישראל תמונת מצב 2018-19. https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/pdf_1.pdf
- משרד האנרגיה. אוקטובר 2018. יעדי משק האנרגיה לשנת 2030. https://www.gov.il/BlobFolder/news/plan_2030/he/2030summary.pdf
- פרופ' גרשון גרוסמן, יגאל עברון. (2015). פורום אנרגיה 35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל. מוסד שמואל נאמן. <https://www.neaman.org.il/EF35-Energy-Storage-Electricity-Production-HEB>
- פרופ' גרשון גרוסמן, נעמה שפירא. (2019). פורום אנרגיה 47: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש. מוסד שמואל נאמן. <https://www.neaman.org.il/Energy-Forum-47-Combined-Photovoltaic-and-Storage-Systems-to-Produce-Electricity-From-Solar-Energy>
- A National Hydrogen Roadmap. 2018. Pathways to an economically sustainable hydrogen industry in Australia.
- AESO (2018). Dispatchable Renewables and Energy Storage.
- Afif, A., Rahman, S. M., Azad, A. T., Zaini, J., Islan, M. A., & Azad, A. K. (2019). Advanced materials and technologies for hybrid supercapacitors for energy storage—a review. *Journal of Energy Storage*, 25, 100852.
- Andolina, G. M., Keck, M., Mari, A., Giovannetti, V., & Polini, M. (2019). Quantum versus classical many-body batteries. *Physical Review B*, 99(20), 205437.
- Bcc Research. 2018. Merchant Hydrogen: Industrial Gas and Energy Markets December 2018.
- Bcc Research. 2019. Residential Energy Storage, Blockchain and Energy Sharing Systems: Technologies and Global Market, February 2019.
- Bcc Research. 2019. Lithium Batteries: Markets and Materials May 2019.
- Bcc Research. 2019. Electric Vehicles and Fuel Cell Vehicles: Global Markets to 2024, November 2019.
- European Commission (2017). Support to R&D Strategy and accompanying measures for battery-based energy storage, Roadmap for R&I and accompanying measures 2018-2027 and short-term prioritization.
- Ferraro, D., Campisi, M., Andolina, G. M., Pellegrini, V., & Polini, M. (2018). High-power collective charging of a solid-state quantum battery. *Physical review letters*, 120(11), 117702.
- GET.invest (2019). Global Market Outlook for Solar Power / 2019 - 2023
- Horizon 2020 (2019). Future and Emerging Technologies, Work Programme 2018-2020. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-fet_en.pdf
- Horn, M., MacLeod, J., Liu, M., Webb, J., & Motta, N. (2019). Supercapacitors: A new source of power for electric cars? *Economic Analysis and Policy*, 61, 93-103.
-)Kafle, T. R., Kattel, B., Yao, P., Zereshki, P., Zhao, H., & Chan, W. L. (2019). Effect of the Interfacial Energy Landscape on Photo-induced Charge Generation at the ZnPc-MoS₂ Interface. *Journal of the American Chemical Society*.
- Liu, Y., Sun, Q., Li, W., Adair, K. R., Li, J., & Sun, X. (2017). A comprehensive review on recent progress in aluminum–air batteries. *Green Energy & Environment*, 2(3), 246-277.

Liu, J., Segal, D., & Hanna, G. (2019). Loss-Free Excitonic Quantum Battery. *The Journal of Physical Chemistry C*, 123(30), 18303-18314. <https://www.ualberta.ca/science/news/2019/october/new-quantum-battery-research>

National Renewable Energy Laboratory 2014. IEEE 1547 and 2030 Standards for Distributed Energy Resources Interconnection and Interoperability with the Electricity Grid.

Raza, W., Ali, F., Raza, N., Luo, Y., Kim, K. H., Yang, J., ... & Kwon, E. E. (2018). Recent advancements in supercapacitor technology. *Nano Energy*, 52, 441-473.

Venkatesh, B. (2018, August). Thermal energy storage for homes. In *2018 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)* (pp. 36-39). IEEE.

World Economic Forum (2019). Top 10 Emerging Technologies 2019.

אתרים באינטרנט:

Bloomberg, 2019. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-03/battery-reality-there-s-nothing-better-than-lithium-ion-coming-soon>

BloombergNEF, 2019. <https://about.bnef.com/blog/will-the-real-lithium-demand-please-stand-up-challenging-the-1mt-by-2025-orthodoxy/>

Bold Business, 2018. <https://www.boldbusiness.com/energy/lithium-batteries-make-cobalt/>

EnergyStartups, 2019. (accessed on December 2019). <https://www.energystartups.org/>

<https://www.gminsights.com/>, Global Market Insights Inc., 2018

GTM Research. (accessed on December 2019). <https://www.greentechmedia.com/articles/read/europe-set-to-race-past-us-in-battery-manufacturing#gs.th60zy>

IDTechEx, 2019 SUPERCAPACITORS MARKET - GROWTH, TRENDS, AND FORECAST (2019 - 2024). <https://www.idtechex.com/en/research-report/supercapacitors-applications-players-markets-2020-2040/661>

organization, 2019. <https://www.iea.org/tcep/energyintegration/energystorage/> IEA

International banker (2019), <https://internationalbanker.com/brokerage/why-have-cobalt-prices-crashed/>

(Inverse, 2019). (accessed on December 2019). <https://www.inverse.com/article/58390-solar-power-collecting-paint-could-hit-the-sides-of-buildings>

Markets and Markets, 2016. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/supercapacitor-market-37140453.html?gclid=Cj0KCQiA89zvBRDoARIsAOIePbCpRgXPHTLd9JTpRkhSPm439soh_sfYPLw6LaUQX06_uuSqh63J4IMaAq8WEALw_wcB

Market Research, 2019. <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/automotive-lithium-ion-battery-market>

Microgrid Knowledge. (accessed on November 2019). <https://microgridknowledge.com/supercapacitor-based-energy-storage/>

Motor Intelligence, 2019. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lithium-ion-Battery->

[market?gclid=CjwKCAiAluLvBRASEiwAAbX3GbvAbukYYivRHJFIQftUxKZcIKhRXpTZQnf6gMR9XxYaWR5mYUXpRoCE5sQAvD BwE](https://www.researchandmarkets.com/research/235316/global-lithium-battery-market?gclid=CjwKCAiAluLvBRASEiwAAbX3GbvAbukYYivRHJFIQftUxKZcIKhRXpTZQnf6gMR9XxYaWR5mYUXpRoCE5sQAvD BwE)

Navigant Research, October 2019. <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/is-2020-the-year-of-solid-state-batteries-for-evs>

Navigant Research, November 2019. <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/annual-added-capacity-from-distributed-energy-storage-systems-worldwide-is-expected-to-grow-nearly-t>

Skeletontech.com. (accessed on November 2019).
<https://www.skeletontech.com/ultracapacitor-technology>

Research and Markets. (accessed on December 2019).
<https://www.researchandmarkets.com/>

Reuters, 2019. <https://www.reuters.com/article/us-cobalt-prices-electric/cobalts-price-crash-bottoming-out-stocks-to-hinder-quick-rally-idUSKCN1Q11EP>

Statista, 2019. Projected lithium ion battery market size worldwide.
<https://www.statista.com/statistics/235316/global-lithium-battery-market/>

T&D World, 2019. (accessed on December 2019). <https://www.tdworld.com/smart-utility/article/20972941/the-top-utility-regulatory-trends-in-2019>

The European Association for Storage of Energy - EASE, 2019. <http://ease-storage.eu/category/publications/emmes/>

The Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA). (accessed on December 2019). <https://ieefa.org/>

The U.S. Energy Storage Association (ESA). (accessed on November 2019).
<https://energystorage.org/>

<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/05/16/four-things-you-should-know-about-battery-storage> , The World Bank, 2019

U.S. Energy Department (accessed on December 2019).
<https://www.energy.gov/science/bes/articles/future-batteries-hybrid-supercapacitors-are-super-charged>

World Economic Forum, 2018. <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/chart-of-the-week-a-bumpy-road-ahead-for-electric-cars/>

3.1 סקר ספרות בנושא ערים חכמות

יותר ממחצית אוכלוסיית העולם מתגוררת כיום באזורים עירוניים. על פי המחלקה לעניינים כלכליים וחברתיים של האו"ם, עד שנת 2030 יהיו בעולם 41 "גלובל מגה סיטיז" ערים שמכילות 10 מיליון תושבים או יותר, ועד שנת 2050 כ-70% מאוכלוסיית העולם, או כ-6.4 מיליארד בני אדם, יתגוררו בערים (כשבעה מכל תשעה אנשים יחיו בערים). רבים מאלה יחיו בערים ישנות בנות עשרות או מאות שנים, שנבנו עבור אוכלוסיות קטנות בהרבה, עם צרכים שונים מאוד. מטרופולינים חדשים אלו הולכים וגדלים, ועלולים להפוך לאזורים גדולים, שאינם יעילים, מבזבזים משאבים יקרים כמו קרקע, מים ואנרגיה, ונוצר קושי הולך וגובר לנהל אותם לוגיסטית (בוויקיס, 2016)⁸⁵. לנוכח המשך הגידול של אוכלוסיית העולם, ערים יצטרכו להתאים את עצמן לצרכים הייחודיים של תושביהן, וכדי להתכונן לאתגר זה ערים בישראל ובכל העולם, מאמצות טכנולוגיות מבוססות רשת וניתוח מאגרי נתונים בכדי להפוך את עצמן לערים חכמות.

בשנים האחרונות מתחזק מעמדן של ערים בתוך המערכת העולמית והלאומית. נוצרות ערי ענק (Mega Cities) חזקות ומבוססות, שבהן מתרכז העושר העולמי. ערים אלו מנהלות מאגרי מידע עצומים, מובילות אסטרטגיה, טרנדים ופיתוחים טכנולוגיים ומהוות בסיס למידה עבור ערים, ממשלות ומדינות אחרות. מכיוון שערים אלו הן ערים גדולות וחזקות, הן מסוגלות למנף את נכסיהן הטכנולוגיים ואת מאגרי המידע שלהן, לפיתוח תפישת העיר החכמה וליישומה, בשיתוף הקהילה העסקית ולטובת תושבי העיר ושיפור איכות חייהם. כיום, לא קיימת כמעט עיר גדולה בעולם, שאינה משתמשת בטכנולוגיה כלשהי לניהול המתרחש בעיר, הביטחון בעיר והקשר עם תושבי העיר.

האבולוציה של העיר החכמה

ערים חכמות ודיגיטליות עוררו עניין כבר ב-1993 אבל רק ב-2008, החליטה IBM להסיט את המודל העסקי מחומרה לתוכנה ולהשיק את המותג "Smarter Planet". שנה לאחר מכן השיקה סיסקו את המיזם "Smart+ Connected Communities" ואחריהן הצטרפו חברות טכנולוגיה נוספות ביניהן, סימנס, אריקסון, וואווי, מיקרוסופט וגוגל. יב"מ וסיסקו גיבשו שוק חדש של חיישנים, מערכות תקשורת וטכנולוגיה. יב"מ התבססה על תוכנה, שירותי יעוץ כמו ניתוח ודחיסת מידע ועל יצירת תובנות ותהליכים אסטרטגיים. סיסקו לעומתה, התמחתה בהקמה ובתחזוקה של חומרה, בעיקר רשתות תשתית. שתי הגישות האלה עיצבו את תחום הערים החכמות בעשור האחרון, שבו חברות מתחרות ביניהן על תשומת הלב של עיריות ששואפות להיות בקידמה. עם זאת, לא נעשתה חשיבה מעמיקה על האופן שבו טכנולוגיה ומערכות מידע יכולות לשפר את הקיימות העירונית, להתמודד עם אתגרי עיר, שינויי אקלים ועוד. במקביל החלו חברות ייעוץ ומכונים למחקרי שוק, רבים מהם במימון יב"מ וסיסקו, לבחון ולנתח את השוק ולאפיין את הערים מתוך ראייה שתכנון נכון הינו כלי אבולוציוני ליצירת שינויים הדרגתיים ומושכלים.

⁸⁵ בוויקוס, א. (2016). ערים חכמות ירוקות – חזון של עתיד דיגיטלי לחיים אורבניים. נדלה ב-20.2.27
<https://www.telecomnews.co.il/%D7%A2%D7%A8%D7%99%D7%9D-%D7%97%D7%9B%D7%9E%D7%95%D7%AA-%D7%99%D7%A8%D7%95%D7%A7%D7%95%D7%AA-%E2%80%93%D7%97%D7%96%D7%95%D7%9F-%D7%A9%D7%9C-%D7%A2%D7%AA%D7%99%D7%93-%D7%93%D7%99%D7%92%D7%99%D7%98%D7%9C%D7%99-%D7%9C%D7%97%D7%99%D7%99%D7%9D-%D7%90%D7%95%D7%A8%D7%91%D7%A0%D7%99%D7%99%D7%9D.html>

למונח 'עיר חכמה' יש טווח הגדרות רחב, אך עיקר התפישה מתמקד בשימוש במידע ותקשורת ככלי להשגת מטרות חברתיות וכלכליות בעיר. זו תפישת ניהול עיר ששואפת להשיג שימוש יעיל במשאבי העיר ושליטה ובקרה על הפעילויות בעיר לטובת רווחת התושבים, איכות החיים שלהם ובטחונם, לצורך הגדלת היעילות והאפקטיביות של פעילות גופי העירייה והרשויות הפועלות בעיר, הגברת השגשוג והצמיחה הכלכלית ואיכות סביבה וקיימות.

לעיר החכמה מטרות נוספות כמו חיסכון בהוצאות, ניצול משאבים מייטבי ואספקת שירותים טובים יותר לתושבים. על אף היתרונות הרבים שגלומים בעיר החכמה, קיימים אתגרים וסיכונים לפרטיות התושבים שמתגוררים בהן. בעיר החכמה קיים איום פוטנציאלי גדול על הפרטיות מבחינת האופן שבו ערים חכמות אוספות נתונים פרטיים, מעבדות נתונים גדולים שנלקחו מאזרחים, מאחסנות את הנתונים בענן ועוד. הטכנולוגיות מאפשרות מעקב תמידי אחר התושב ואפשרויות לשימושים שונים במידע שנאסף. בנוסף, ערים חכמות עוסקות כבר היום בהכוונת התנהגות תושבים: שינוי הרגלי צריכת אנרגיה ומים לטובת הגברת קיימות, שינוי הרגלי חניה, נהיגה ונסיעה לטובת הפחתת עומסי תנועה או שינוי הדרך בה לומדים צעירי העיר וצורכי חינוך. יש לשים לב שלא יעשה שימוש במידע שיכול לפגוע באינטרסים של האנשים ולפעול שלא לטובתם.

החזון של הערים החכמות הינו של ערים, שהדיגיטיזציה והטכנולוגיות החדשות בהן יוטמעו על מנת לייעל את תהליכי הניהול של העיר ומערכתיה, במטרה לשפר את איכות החיים של התושבים שחיים בה. ערים שיותקנו בהן מצלמות וחיישנים - מפחי אשפה, חניות וכבישים ועד פארקים ציבוריים, שימוש במים ותאורת רחוב, שיינטרו את ההרגלים והצרכים של התושבים למטרות שונות כגון: ביטחון, תחבורה, חיסכון באנרגיה ועוד. בנוסף, שירותים רבים יהפכו לאפליקציות שיאפשרו דיווח לעירייה, רישום לגנים ולבתי ספר ועוד.

מקובל למנות שלושה שלבים באבולוציה של ערים חכמות בעולם, שבעיקרם מתארים מעבר מהתרכזות בטכנולוגיה להתרכזות בתושבי הערים.

הטכנולוגיה שבעבר נתפשה כלב העיסוק בעיר החכמה, נתפשת כיום כמאפשרת שיפור איכות החיים של התושבים:

עיר חכמה 1.0 (Technology Driven): ערים שמבקשות למקסם את השימוש בטכנולוגיה לטובת מינוף כלכלי והגברת יעילות ושליטה במתרחש בעיר. הובלת שינוי מסוג זה נעשתה לרוב על-ידי ספקיות ענק מעולם הטכנולוגיה והטלקום ולא הרשויות המוניציפליות.

עיר חכמה 2.0 (Technology Enabled City-Led): הובלת שינוי על-ידי הרשות המוניציפלית ויצירה של פתרונות טכנולוגיים בעיר חכמה כאמצעי לשיפור חיי התושבים.

עיר חכמה 3.0 (Citizen Co-Creation): שלב זה תופס תאוצה כיום כשערים חכמות מובילות בעולם כדוגמת וינה, ברצלונה, מדיין בקולומביה ועוד, מאמצות מודלים ליצירה משותפת עם תושביהן. מדובר ביוזמות של יצירת והטמעת פתרונות טכנולוגיים לטובת התושבים, שמתחילות מהתושבים ועולות למעלה, תוך מתן דגש למימד הקהילתי, לשיוויון והכלה חברתית ולכלכלה מקומית⁸⁶.

בערים חכמות ניתן למצוא מאות מייזמים מסוגים שונים, באמצעים טכנולוגיים שונים ובנושאים שונים, החל מפרישת מצלמות וחיישנים בעיר למטרות ניטור שונות כמו תחבורה, ביטחון, חיסכון באנרגיה

⁸⁶ הרשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים. (2018). מדריך הגנת הפרטיות לעיר החכמה.

וקיימות, דרך אפליקציות ופלטפורמות שמטרתן לעודד תיירות או צמיחת תעסוקה מקומית ועד פלטפורמות שמטרתן לעודד שיתוף במידע עירוני, כלי רכב, ציוד וכדו'. במסגרת עבודה בנושא ערים חכמות שבוצעה ב-2018 על-ידי הרשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים, בוצע מיפוי של המיזמים והנושאים הרבים שבהם עוסקות ערים חכמות בעולם ובישראל שעל בסיסה הוגדרו שישה עולמות, תוכן מובהקים שבהן מתמקדות ערים חכמות: חינוך, תחבורה, סביבה וקיימות, ביטחון ואבטחה, שירותים עירוניים וכלכלה. תחת כל אחד מעולמות תוכן אלה נכללות קטגוריות של תחומים רבים על בסיס מידת הנפוצות שלהם בערים מובילות בעולם (איור 9).

איור 8: עולמות התוכן של העיר החכמה



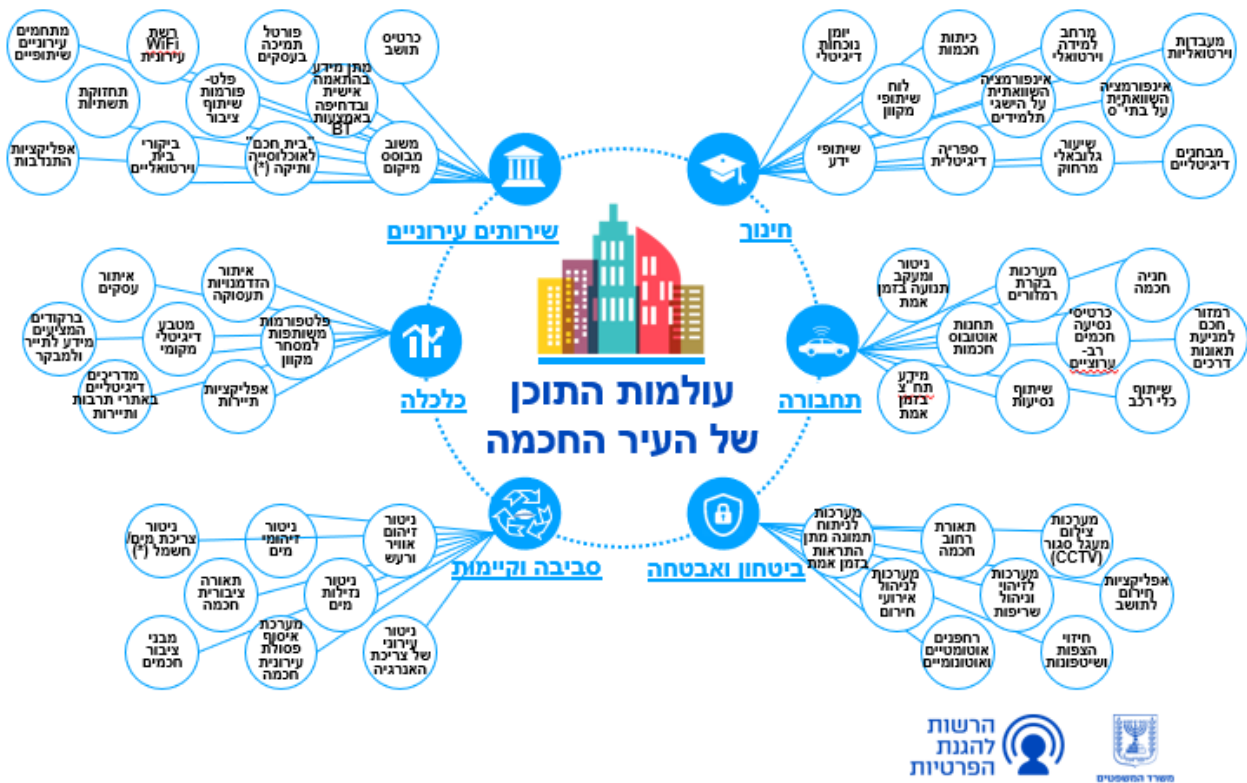
המקור לאיור: מחקר סיכונים לפרטיות בעיר החכמה 2018,

היצירה נערכה בידי הרשות להגנת הפרטיות, משרד המשפטים, אין לעשות בה כל שימוש, לשכפל, להעתיק, לצלם, או להעביר לאחר מבלי לקבל את הסכמת משרד המשפטים מראש ובכתב. הזכות המוסרית ביצירה שמורה למשרד המשפטים

עבור כל אחד מעולמות התוכן שהוגדרו והתחומים המאוגדים תחתם, בוצעה סקירה מעמיקה של תתי תחומים ומיזמים בולטים בערים חכמות. שש עולמות התוכן של העיר החכמה ב-2018 כללו 54 תתי תחומים מרכזיים (איור 10) התחומים ותתי התחומים נמצאים במגמת שינוי כל הזמן. לכן שני האזורים הבאים נותנים תמונת מצב של העיר החכמה

נכון ל-2018.

איור 9: תתי התחומים המרכזיים בעולמות התוכן של העיר החכמה



המקור לאיור: מחקר סיכונים לפרטיות בעיר החכמה 2018,

היצירה נערכה בידי הרשות להגנת הפרטיות, משרד המשפטים, אין לעשות בה כל שימוש, לשכפל, להעתיק, לצלם, או להעבירה לאחר מבלי לקבל את הסכמת משרד המשפטים מראש ובכתב. הזכות המוסרית ביצירה שמורה למשרד המשפטים

מחקרים הראו שהמחקר והפיתוח בהקשר של ערים חכמות התמקד עד כה בטכנולוגיה יותר מאשר בצרכי התושבים. צריך להימנע ממצב שבו יתרונותיה של העיר החכמה ישרתו רק את מי שכבר נהנים מגישה לאינטרנט ולטכנולוגיות מתקדמות, דבר שיגדיל את הפער הטכנולוגי עוד יותר, בנוסף לפערים סוציו-אקונומיים אחרים ולכן חשובה ביותר הגישה להשכלה ולמידע⁸⁷.

תהליכי הדיגיטציה משפיעים על כל עיר בצורה שונה. השונות מושפעת מפרופיל התושבים, מצורכייהם ומאורח החיים בעיר. לכן ההטמעה של מיזמים דיגיטליים מחייבת היכרות של קובעי המדיניות ושל המתכננים עם מושגי יסוד בתחום

הדיגיטלי, וכן הבנת ההזדמנויות כמו גם הסיכונים שכרוכים במהפכה הטכנולוגית⁸⁸.

הטכנולוגיות בעיר הדיגיטלית מבוססות על מערכות המזרימות מידע דרך רשת תקשורת ועל מערכות לקבלת החלטות הפועלות על פי מידע זה. טכנולוגיות עכשוויות בעיר כללות מגוון רחב מאוד של מערכות, החל ביישומים לחיסכון במים, דרך מערכות מידע לניהול מידע הנדסי ותכנוני וכלה ביישומים לתושבים בטלפון החכם.

בטבלה שלהלן, מוצגות קטגוריות של מערכות טכנולוגיות הנפוצות בערים כיום.

⁸⁷ ובר, מ.א. (2018). ערים חכמות הופכות אשפה למשאב. הידען.

⁸⁸ חתוקה, ט., טוך, ע., בירנהק, מ., צור, ה. (2018). העיר בעידן הדיגיטלי: תכנון, טכנולוגיה, פרטיות ואי שיוויון. אוניברסיטת תל אביב

טבלה 3: שטחי יישום של טכנולוגיות דיגיטליות נפוצות בערים עכשוויות

תחום	יישומים טכנולוגיים	דוגמאות
תחבורה ותנועה	שיפור אמצעי תחבורה שונים והקטנת העלות שלהם.	יישומים לארגון תחבורה ציבורית, לארגון הסעות בין תושבים (ride sharing), לניהול משאבים כגון חנייה וכבישים וכו'.
רחובות ובניינים חכמים	העשרה של הסביבה הפיזית בטכנולוגיה במטרה להפוך אותה לייעילה, לאפקטיבית ולזולה יותר.	ניהול תאורת רחוב, עמדות תצוגה בעיר, מערכות לניהול בנייני מגורים.
סביבה, מים ופסולת	ייעול הטיפול במשאבים בסיסיים בעיר כגון מים וטיפול בפסולת – הן בחיסכון בהקצאת המשאבים הן בזיהוי של זיהומים ושל מפגעים ובטיפול בהם.	השקיה דיגיטלית, חלוקת מים, זיהוי נזילות ממערכות להובלת מים, טיפול במי קולחים, זיהוי זיהומים במים ובאדמה, זיהוי כמות הפסולת בפחים, ניהול של מערך פינוי פסולת, בקרה על זיהומים תעשייתיים.
אנרגיה	ייעול של מערכות ייצור, הולכת אנרגיה והשימוש בה וניהולן של מערכות אלו.	ניתוח ובקרה של רשתות חשמל, ייצור אנרגיית שמש ואחסונה, מערכות לניהול פאנלים סולריים במרקם העירוני, ניהול צריכת חשמל של צרכנים פרטיים ועסקיים.
טיפול במצבי חירום	שימוש בטכנולוגיה כדי לשפר ולהגיב טוב יותר למצבי חירום שונים.	מערכות לאיתור ולטיפול במצבי מצוקה, לניהול כוח אדם המגיב למצב ולזיהוי אוטומטי של רעידות אדמה, של שיטפונות, ושל מצבי חירום נוספים.
אבטחה ומעקב	מעקב ואבטחה של אזורים רחבים.	פריסה של מצלמות מעקב וחיישנים שונים, ניתוח אוטומטי של וידאו.
ממשק עם תושבים ובנים לבין עצמם	מערכות המאפשרות תקשורת ואינטראקציה בין הרשות לבין התושבים או בין התושבים לבין עצמם.	מערכות שונות כגון רשתות חברתיות עירוניות, שיתוף הציבור בתכנון עירוני, מעקב אחר פעולות תושבים ברשתות החברתיות.

מקור: חתוקה ואחרים (2018).

המאפיין של החברות הפרטיות בתחום הטכנולוגי הוא הצורך והאינטרס להשתלב בזירה העירונית, שמתבטא בהפעלת לחצים על השלטון המקומי ליישום ולהטמעה של הטכנולוגיה שלהן. החיבור בין המגזר הפרטי לשלטון המקומי משפיע על תהליך העבודה ומעורר קונפליקטים וסוגיות מורכבות. אחד המאפיינים המרכזיים של התהליך, הוא פנייה ישירה של החברות הפרטיות לראשי רשויות במטרה לקדם את האינטרס העסקי שלהן. לרוב, החברות כגופים מסחריים מעוניינות לקדם פרויקטים בעיר. המעורבות של חברות פרטיות בחזון היא מודל עבודה חדש עבור העיר, שעד היום הגדירה את החזון בעצמה באמצעות אנשי מקצוע שבחנו את האינטרס הציבוריילא באמצעות חברות פרטיות שיש להן אינטרס מסחרי.

בכל הערים ניכר חוסר המוכנות לעידן הדיגיטלי. במקרים רבים היוזמות מגיעות מהחברות הפרטיות, והדמויות המובילות את סדר היום הם ראש העירייה, המנמ"ר (מנהל מערכות מידע ראשי) וראשי אגפים רלוונטיים. מעטות הן הרשויות אשר הקימו צוות ייעודי לבחינה הוליסטית ורוחבית של המיזמים הדיגיטליים, הכולל אנשי מקצוע אשר עשויים להעריך את ההשפעה של המיזמים על העיר מפרספקטיבה כלכלית, תכנונית וחברתית. תהליכי דיגיטציה יוצרים הזדמנויות רבות ומגוונות, אולם רשויות רבות מתקשות לערוך תיעדוף ביניהן. התיעדוף של הפרויקטים הדיגיטליים מושפע משלושה ממדים עיקריים: הגדרת מטרות, תקציב, סיכון כלכלי-חברתי וקנה המידה של הפרויקט. ערים רבות מנסות פרויקטים בקנה מידה קטן, אך מתקשות ליישם את הפרויקטים בקנה מידה עירוני.

היעדר חזון שיש לו מטרות ברורות מקשה על העיר לתעדף את רצונותיה ולתעל את היוזמות של החברות להגיב לצרכים הספציפיים של העיר. הערכת פרויקטים מושכלת כוללת בחינה של התשואה הכללית של המיזם, בחינה כלכלית (כמה עולה?), בחינה חברתית (מי עשוי להרוויח מכך?) ובחינה לאורך זמן (שלב היישום וההיתכנות לאורך זמן).

מייזמים טכנולוגיים בערים חכמות בעולם

המייזמים הטכנולוגיים שמבוצעים במסגרת ערים חכמות הם רבים ומגוונים וחולשים על תחומים רבים. כל עיר בוחרת את המייזמים בהם היא מעוניינת להשקיע תוך לקיחה בחשבון של פרמטרים שונים, סדרי עדיפויות ותקציבים שייחודיים לעיר. להלן נביא מספר דוגמאות של מייזמים שבוצעו בערים חכמות בעולם.

הדור הבא של רשתות דור 5 אלחוטיות, האינטרנט של הדברים (IoT) והבינה המלאכותית (AI) כל אלה בונים יחד פוטנציאל לפתרון בעיות, החל בגודש תנועה, דרך בטיחות הציבור ושירותי בריאות וכלה בקיימות סביבתית.

בסן דייגו למשל, העירייה פורסת רשת IoT חכמה בשילוב עם אינטל וחברות אחרות, על מנת לטייב את התעבורה והחניה ולשפר את ניהול האנרגיה בעיר. עם השלמת הפרויקט, תכלול הרשת 3,200 צומתי חיישנים חכמים, שיהפכו את הרמזורים בעיר להתקנים מחוברים ובעלי יכולת ראייה. במקביל לפריסת רשת ה-5G עסקים, ארגונים ומשרדים ממשלתיים יתקינו מיליארדי חיישנים והתקנים וכאשר אלה יחוברו זה לזה, הם יוכלו לבצע משימה משותפת, הודות לגישה ליכולות מחשוב ואנליטיקה בענן המחשוב, ולקבל החלטות קריטיות בזמן אמת לגבי בקרת התנועה, ניצול אנרגיה ומשאבים אחרים, ולתת מענה בשעת חירום. ערים משתמשות בתשתית דיגיטלית גם לצורך יעול וניצול התשתית הפיזית הקיימת. לדוגמה, ניהול תעבורה יעיל יותר, מחלקות תחבורה עירוניות משתמשות בחיישנים והתקנים על מנת כדי לטייב את זרם התנועה, לספק תובנות המאפשרות פעולה בתשתית התחבורה ולשנע בני אדם מנקודה לנקודה ביעילות רבה יותר (שארמה, 2019)⁸⁹.

ערים קיימות יכולות לקדם קיימות באמצעות הפחתת הפסולת שנוצרת בהן, ושימוש בסוגי הפסולת הנותרים בתור משאבים, כך שפסולת מתהליך אחד תשמש חומר גלם באחר. יש מייזמים מעניינים שמיישמים את הגישה הזו, כמו מערכת שהוקמה בציריך להפקת אנרגיה מאשפה על ידי שריפתה בתהליך נקי. חלק מהמערכות האלה, למשל זו שפועלת בפאלם ביץ' שבפלורידה, לוכדות יותר מ-95% מהמתכות שבאפר השמנוני שנותר לאחר שריפת האשפה כדי להעביר אותן לשימוש מועיל. יישובים כפריים כמו יונדה שבגרמניה מפיקים ביו-גז מזבל בקר וחזירים. כמות הגז המופקת מספקת אנרגיה לחלק ניכר מבתי התושבים, כגז לחימום או בצורת חשמל.

קבוצת חוקרים באוניברסיטת אוסטין בטקסס הראתה שמפעל מלט בניו בראונפולס, יכול לשרוף טבליות דלק שעשויות מפלסטיק שאינו ניתן למחזור במקום להשתמש בפחם, ועל ידי כך להימנע מפליטת פחמן דו חמצני ומהנזקים הכרוכים בכריית הפחם. אפילו מהאשפה שמושלכת באתרי הטמנה אפשר להפיק תועלת. ערים יכולות ללכוד את גז המתאן שעולה מהאשפה, ובגז שנלכד אפשר להפעיל גנרטורים ולחולל חשמל. באתרי הטמנת האשפה של ונקובר לוכדים את המתאן הנפלט מהאשפה, ובחום שנוצר בשריפתו משתמשים לחימום חממות סמוכות שבהן מגדלים עגבניות. מתאן הוא גז חממה חזק שלוכד יותר חום מאשר כמות שווה של פחמן דו-חמצני, אך זה אינו פתרון מלא, מפני שחלק מהגז בכל זאת דולף לסביבה. משום כך החלה ונקובר, שקיבלה על עצמה את המחויבות להיות העיר הירוקה בעולם, לחלק לתושבים מכלים נפרדים לאשפה רגילה ולפסולת אורגנית (שאריות מזון, ענפים וגזם מגינות). העירייה מצפה מהתושבים שישתמשו בהם כיאות ושולחת פקחים לוודא שהאשפה שמפנים

⁸⁹ שארמה, ס. (2019). הפתרון לבעיית הצפיפות בערים טמון בבינה המלאכותית. דה מרקר. <https://www.themarket.com/technation/1.6995112>

שירותי האיסוף הופרדה כנדרש. מהפסולת האורגנית מפיקה העיר מתאן ומוצקים היכולים לשמש לדישון הקרקע. הפתרונות האלה פותרים כמה בעיות בעת ובעונה אחת: הם חוסכים הוצאות על אנרגיה, שלולא כן היה צריך לקנות ממקורות חיצוניים, הם מפחיתים את הצורך באתרים יקרים להטמנת אשפה והם מונעים שימוש מיותר בקרקע ואת הנזק הנגרם לה בתוך כך ובנוסף, הם מועילים לחקלאות.

העיר אוסטיין משתמשת בדרך דומה בבוצה המופקת מהשפכים העירוניים. הבוצה מועברת למתקני עיכול אנארוביים להפקת ביוגז. העיר מוכרת את הגז או משתמשת בו באתר הפקתו כמקור לחום. את המוצקים הנותרים הופכת העיר לדשן מבוקש הקרוי Dillo Dirt (על שם הארמדילו החי באזור). העיר מרוויחה כסף ממכירת הדשן, וההכנסות האלה מכסות חלק מעלויות טיהור מי השפכים. הנוהג ליצור קומפוסט ביתי אמנם הולך ונפוץ בקרב התושבים וזו מגמה רצויה בהחלט, אבל כשעושים זאת לא נכון, התוצאה היא דווקא פליטת מתאן מוגברת. באוסטיין הגיוני יותר שהתושבים ישתמשו בטוחני אשפה לטיחנת שאריות ויזרימו את הפסולת הזאת לביוב כדי לאפשר לאמצעי האיסוף התעשייתיים במפעל טיהור השפכים העירוני לעשות את עבודתו של הקומפוסטר ביתר יעילות.

גם בחום הנפלט לסביבה טמונות הזדמנויות גדולות. לא קל לנצל אותו מפני שקשה להמיר טמפרטורות נמוכות לחשמל. יש מי שמפתחים חומרים מתקדמים שיהיו מסוגלים בעתיד להמיר חום לחשמל ביתר יעילות. אפשר להתחיל לנצל את מי השפכים החמים שמוזרמים ממכונות כביסה, מכיורים וממקלחות. בסנדווייקה, פרבר של אוסלו, מותקנים לאורך צינורות השפכים העירוניים מחלפי חום גדולים האוספים חום המשמש לחימום עשרות בניינים סמוכים או להפשרת מדרכות וכבישים; ואילו בקיץ, הפעלה של משאבות חום מאפשרת להשתמש בתשתית הזאת לצינון אותם הבניינים. הרעיון מצא חן בעיני ונקובר כל כך עד שהעיר החליטה לעשות דבר דומה, והשתמשה במי שפכים לחימום מאות בניינים ואת הכפר האולימפי.

ישום הרעיון הזה מרחיק לכת עוד יותר בפארק התעשייתי קאלונדבורג סימביוסיס שבדנמרק. קאלונדבורג הוא דוגמה מובילה לסגירת מעגלי אנרגיה. הפארק כולל שבע חברות ומתקנים מוניציפליים- בעיקר מתקני חשמל, מים, שפכים ופסולת מוצקה- המחברים ביניהם כך שכל מתקן בפארק משתמש בתוצרי לוואי של מתקנים אחרים. כבלים תעלות וצינורות מובילים קיטור, גז, חשמל, מים וחומרי פסולת הלוך וחזור כדי לשפר את היעילות הכוללת ולהפחית את סך כל חומרי הפסולת, ובכלל זה את כמות הפחמן הדו-חמצני הנפלטת לסביבה. לדוגמה, מי השפכים מבית הזיקוק לנפט זורמים לתחנת הכוח, שם הם משמשים לניקוי וייצוב האפר שנוצר בשריפת פחם. בית הזיקוק גם מזרים את הקיטור שנוצר בו למפעל של חברת התרופות נובו נורדיסק, המשתמשת בחום לייצור כמחצית אספקת האינסולין העולמית באמצעות חיידקים ושמרים. הפארק כולו נראה כמו אורגניזם תעשייתי חי, ופליטת המזהמים בו נותרה יציבה או אף פחתה על אף צמיחתו הכלכלית.

"ערים חכמות" נשענות על רישות המרחב כולו בחיישנים ועל מחשוב זול, בתוספת למידת מכונה ובינה מלאכותית. השילוב הזה מאפשר לזהות אזורי אי-יעילות ולהתאים את הפעילויות לתנאים המשתנים תוך הפעלה אוטומטית של ציוד מסוגים שונים, דבר שיפחית את כמויות הפסולת ואת עלויות התפעול. בפארק התעשייתי קאלונדבורג סימביוסיס שבדנמרק מתאמות ביניהן חברות את ההעברה של אנרגיה, מים וחומרים שונים. חומרי פסולת או תוצרי לוואי של מתקן אחד נמכרים כחומרי גלם לאחרים. כך

נוצרות הכנסות, מצטמצמות עלויות סילוק הפסולת וחומרי הגלם, ופוחתת ההשפעה השלילית על הסביבה. כ- 30 חומרים, החל במי שפכים וחום שנפלט בתהליכי הייצור ועד אתנול, עוברים בין המפעלים בפארק ומשמשים לייצור אנזימים, אינסולין, ביוגז, גבס לבנייה ומוצרים אחרים.

ערים חכמות תלויות מאוד בכמויות גדולות של נתונים הנאספים מרשת חיישנים נרחבת, ובאלגוריתמים מתקדמים המאפשרים להפיק מהנתונים תובנות שלאורן אפשר לקבל החלטות. רשתות מידע נחוצות להעברת ניתוחי מידע אלו לציוד בכל רחבי העיר. היישום נעשה באמצעות פריסת אמצעי מדידה חכמים שעוקבים בדרגת דיוק גבוהה, כל שעות היממה, אחר השימוש בחשמל, בגז טבעי ובמים בבתי מגורים ועל ידי ציוד תעשייתי. חיישנים לניטור התנועה בדרכים, למעקב אחר איכות האוויר ולאיתור דליפות צפויים אף הם להשתלב בתמונה.

הקונסורציום של רחוב פקאן באוסטין אוסף נתונים ממאות בתים כדי ללמוד כיצד יכולה הגישה לנתונים האלה לעזור לצרכנים לשנות את התנהגותם בדרכים שיפחיתו את הצריכה הביתית ויחסכו להם עלויות. ערים כמו פיניקס ובסיסם צבאיים כמו פורט קרסון בקולורדו התחייבו להגיע לעצמאות כצרכני אנרגיה ומים ולאפס את מאזן הפסולת שהם מייצרים. השגת המטרות השאפתניות האלה תצריך שילוב של הרבה מאוד נתונים.

תחבורה משופרת עשויה לתת לתושבי הערים הזדמנות ראשונה להיווכח באורח מוחשי ביתרונותיה של עיר חכמה בשל שימוש בדלק נקי, שיפור יעילות אמצעי התחבורה, קיצור מרחקי ומשכי הנסיעה, הסעת יותר נוסעים בבת אחת והפחתת מספר הנסיעות. חוקרים במרכז לחקר התחבורה באוניברסיטת טקסס באוסטין הראו באמצעות מודלים מתקדמים שכלי רכב אוטונומיים משותפים יכולים להפחית במידה ניכרת את מספר המכוניות הנחוצות בעיר, וכן את פליטת המזהמים.

תשתיות חכמות יותר הן ללא ספק המפתח לפתרון בעיות בסיסיות כמו דליפות מצינורות מים. זיהוי הדליפות יכול להיות פשוט אם אמצעי מדידה שיהיו פזורים לאורך כל מערכת המים יעקבו אחר זרימת המים ויראו בדיוק על מקומן והיקפן של דליפות. חוקרים בברמינגהם שבאנגליה פיתחו מערכת עם חיישני לחץ זעירים המשתמשים במעט אנרגיה ומבצעים בדיקות תכופות לזיהוי דליפות ברשתות מים. זהו שיפור של ממש לעומת השיטה הישנה שהיתה מותנית בכך שמישהו יתקשר ויתלונן שסילון מים פורץ מהכביש. ייתכן שבעתיד גם ישלחו רובוטים חכמים לתקן את הבעיות לאורך הצינורות. חיישנים רגישים ויעילים יאפשרו לנו גם למצוא ולחזות דליפות גז טבעי, ולתקן אותן לפני שייגרמו תאונות. דליפות גז אינן רק בזבז של משאב יקר ונזק לסביבה, אלא גם סכנה, שתוצאותיה מגיעות לפעמים לכותרות העיתונים כשמתרחשים פיצוצים באזורים עירוניים בעלי תשתיות מיושנות.

חווית התלת ממד העירונית

בשנים האחרונות מפתחת דאסו סיסטמס (Dassault Systèmes), מערך פתרונות שנקרא 3DEXPERIENCE, שמטרתו ליצור מודלים וירטואליים והוליסטיים של ערים. הפלטפורמה מטפלת בתחומים כמו ארכיטקטורה, תשתית, תכנון או משאבים ותושבים, באמצעות יכולות וירטואליזציה, סימולציה ושיתופיות.

מסורתית, תכנון ערים שואף להשיג סטנדרטיזציה בטענה שבנייה ותכנון סיסטמטי של כבישים, רחובות או צמתים באופן זהה, מוביל להוזלת עלויות ומקל על תהליכי בנייה, הרחבה ותיקון של המרחב העירוני. אבל, ממש כפי שהרפואה הגיעה למסקנה שטיפול רפואי הוא אינדיבידואלי משום שאין שני בני אדם זהים, כך בדאסו סיסטמס מאמינים שאין שתי ערים זהות. במקום זאת, יש להתייחס לערים כאל רקמה חיה, בה כל אלמנט וכל תושב הינם חלק ממכלול ועל כן שינויים סביבתיים לא יכולים להתבצע בלי לבחון את השפעתם על היישות הסביבתית כולה.

אחת הדרכים הטובות ביותר להבנת המכלול של העיר, היא באמצעות הדמיית תלת ממד. מודל תלת ממדי של עיר מאפשר איחוד רציף ומדויק של מספר מקורות מידע, מאפשר ניתוח אלמנטים חיוניים כמו תנועת כלי רכב והולכי רגל, ריכוזי אשפה, רעש, זיהום אוויר ועוד. כשהמידע נאסף ומוצג בתלת ממד, קל יותר לנתח ולהבין אותו. יצירת מערכת אחת מאוחדת המדמה את העיר על כל רבדיה, תאפשר לגופים שונים להתחבר אליה בכדי לשאוב את המידע הנחוץ להם, ובמקביל תאפשר שקיפות ושיתופיות בין כל הגורמים המעורבים.

האינטרנט של הדברים (IoT) יכול להיות הגורם המאחד את כל אלו, כאשר חיישנים רבים יהיו פזורים ברחבי העיר, ביניהם כאלה הבוחנים חום, זיהום אוויר או רעש, או מצלמות שעוקבות אחר התנועה של כלי רכב. את המידע המועבר מחיישנים שמודדים ומחשבים את רמת הציבילים במקומות שונים בעיר, ניתן להמחיש בצורה ויזואלית על גבי הדמיות תלת ממדיות של העיר. כך, רעש המגיע משדה תעופה יכול להשפיע על בניינים חדשים הנבנים בשכונה מסוימת אם אינו מחושב נכון. בהתאם ניתן לבחון את אותו הנושא גם בתלות לחומרים מהם מורכב הבניין. כך למשל, זכוכית תבודד פחות מבטון.

3.2 'ערים חכמות' בישראל

מדינת ישראל קבעה יעד לפיו כל רשות מקומית בישראל תהיה חכמה ובעלת תשתיות לפלטפורמות דיגיטליות, בין אם היא עיר, מועצה מקומית או מועצה אזורית. טכנולוגיות רבות מתחילות להיות מיושמות בערים במדינת ישראל. בשנים האחרונות קיימים יותר ויותר מייזמים בתחום ערים חכמות שנכנסים לערים בישראל (תל אביב יפו, ירושלים, חיפה, רמת גן, ראשן לציון, כפר סבא, אשדוד, אילת ועוד). בהמשך למגמת צמיחה זו, החליטה הממשלה על קידום התפישה של עיר חכמה והטילה את הובלת התחום בהיבט הדיגיטלי על המשרד לשיוויון חברתי וישראל דיגיטלית ועל משרד הפנים (החלטת ממשלה 2733 מה-11.6.2017). בהמשך, משרד הכלכלה, משרד הפנים והמשרד לשוויון חברתי, בשיתוף אוניברסיטת ת"א, קריית עתידים ומרכז פרס לשלום ולחדשנות, יצאו ב-2018 עם תוכנית לאומית חדשה לקידום טכנולוגיות בתחום ערים חכמות. 'CITYZOOM' ערים חכמות בישראל⁹⁰.

<https://www.peres-center.org/foundation/projects/entrepreneurship/cityzoom/>⁹⁰

CITYZOOM קמה בהמשך לקהילות נוספות שקמו שהיוו סיפורי הצלחה כמו 'אקומושן' (תחבורה חכמה) וקהילות טכנולוגיות בנייה. ייחודה של התכנית שלראשונה נעשה שילוב בין מגזרי (ממשלה, אקדמיה, חברות טכנולוגיה ומגזר שלישי) עם מדיניות ברורה שתביא ליצירת אקלים תוסס לערים חכמות בישראל. קהילה שתנגיש לרשויות בישראל ובעולם חברות סטארטאפ שיכולות לפתור בעיות במרחב העירוני. התוכנית תכלול:

- מיפוי צרכי רשויות מקומיות בארץ ובעולם, הקמת דאטא בייס לשיתוף פעולה למציאת פתרונות יחד עם החברות הרב לאומיות היושבות בישראל.
- תוכנית עידוד רשויות מקומיות להחדרת סטארטאפים לעבודה השוטפת של העירייה, הכשרות מנהלים ברשויות וביצוע פיילוטם לבדיקת מוצרים חדשים.
- עידוד יזמים טכנולוגים להטמעת מוצרים ברשויות בישראל בטרם יציאתם לשוק העולמי, יצירת ערי ניסוי בדגש על פריפריה גיאוגרפית וחברתית.
- הקמת פורום אקדמי מחקרי בין אוניברסיטאי בהובלת המכון לחקר שלטון מקומי באוניברסיטת תל אביב שיעודד חוקרים לעסוק בפתרונות עירוניים. הפורום החל בשיתוף פעולה ייחודי עם אוניברסיטת סטנפורד.

במסגרת התוכנית יוקם מאגר מידע של בעיות וצרכים עירוניים אליו תוכל לפנות כל רשות מקומית ולחפש סטארטאפים טכנולוגיים. המאגר יתעדכן גם מערים מובילות בעולם (שיקגו, לונדון, ניו יורק וברצלונה) וגם ממחקרים אקדמיים מובילים. היוזמה תפעל להגדלת מספר החברות הישראליות בתחומים של מערכות ניהול עיר מבוססות ביג דאטא, הגנה על תשתיות עירוניות ממתקפות סייבר, תשתיות WIFI, מערכות ניטור לשעת חירום, תחבורה וחניה חכמה, שירותים לתושב, פתרונות לגיל השלישי ועד חקלאות מדייקת לשטחים ציבוריים. במטרה להגדיל את היצע החברות העוסקות בתחום ולספק מענה טכנולוגי וחדשני לאתגרי הרשויות המקומיות- בקשר עם התושב, בשירותים מקוונים, שיפור פני העיר, תחבורה וחניה, רווחה ועוד. המגזר היזמי אינו מכיר מספיק טוב את הרשויות המקומיות בישראל וקיים כאן פוטנציאל פיתוח כלכלי גם לחברות וליזמים וגם לרשויות המקומיות, יחד עם הזדמנות לצמצום פערים ואי שוויון.

תחום ערים חכמות בישראל עדיין לא מימש את הפוטנציאל הגלום בו, הסיבות נעוצות בעובדה כי הרשויות המקומיות בישראל מהוות שוק קטן מדי לייזמי טכנולוגיה, אך גם בשל ריבוי הרשויות המקומיות (255) והקושי ליישם מדיניות ארוכת טווח בנושאים מוניציפאליים הקשורים למשרדי ממשלה רבים. חוסר נגישות ועודף בירוקרטיה מביאים לכך שטכנולוגיות "בורחות" מישראל. שינוי תקנות הבנייה והשקעה ביעילות אנרגטית הם למשל שתי דרכי פעולה שראשי ערים רבים אמרו שביכולתם ליישם מהר יותר מהממשלות הלאומיות.

אוניברסיטת ת"א חנכה את יוזמת ערים חכמות בשיתוף אוניברסיטת סטנפורד, ואת מכון שמלצר לתחבורה חכמה.

פורום ערים חכמות⁹¹ הוקם באוניברסיטת תל אביב במטרה לבחון את ההיבטים השונים, הטכנולוגיים והחברתיים, של ערים חכמות. הפורום מהווה מוקד של מחקר וחוקרים באוניברסיטה

⁹¹ https://urban.tau.ac.il/news/Forum_2018-06-17

העוסקים בנושאים אלו במגזר האזרחי, הפרטי והציבורי. הפורום הוא חלק מהפעילות בנושאי העיר שקיימת באוניברסיטת תל אביב: מרכז העיר—המרכז לחקר ערים ועירוניות, המכון לשלטון מקומי והמכון לתחבורה חכמה על שם שמלצר. הפורום יתכנס כשלוש עד ארבע פעמים בשנה, כאשר בכל פגישה יתמקד הדיון בהיבט מסוים של ערים חכמות ובסוף כל מפגש יפורסם נייר עמדה. המפגש הראשון של הפורום הוקדש לנושא יחסי מרכז פריפריה.

המיזם הלאומי 265 לפיתוח ושיתוף ידע לקידום דיגיטציה ברשויות המקומיות⁹² - המיזם מתבצע בשיתוף פעולה של משרד הפנים באמצעות מפעם עמק יזרעאל והמשרד לשוויון חברתי- מטה ישראל דיגיטלית. מטרת המיזם להרחיב ולהנגיש שירותים דיגיטליים לתושבי הרשויות המקומיות וכן לצמצם פערים בין הרשויות המקומיות באמצעות כלים דיגיטליים. המיזם עוסק בהקמת מערך תשתיתי, מקצועי ואובייקטיבי (ממלכתי, ללא כוונת רווח), המספק לרשויות המקומיות תשתית ידע, פלטפורמה להיוועצות ותמיכה בתהליך הטרנספורמציה הדיגיטלית, ומסייע להן בפיתוח וקידום השירות הדיגיטלי לתושב. הצירים המרכזיים של הפרויקט הם:

מתווים מקצועיים - מסמכים מנחים המגדירים מהי רשות דיגיטלית, פורטים את דרכי הפעולה, ממפים כלים טכנולוגיים רלוונטיים וכוללים הנחיות מומלצות.

שיתוף בידע- בניית פלטפורמה דיגיטלית ללמידת עמיתים, שיתוף בניסיון המקצועי בין הרשויות, גישה למאגר הסקירות הנושאות וכלי עבודה נוספים.

מאגר פרויקטים ברשויות- מאגר המתאר פרויקטים דיגיטליים ברשויות במטרה ללמוד מניסיונם של אחרים ולחבר בין המתווים המקצועיים ופרויקטים הלכה למעשה.

מדריך לערים חכמות- מסמך המתאר מה כוללת "עיר חכמה" במגוון תחומי החיים, תוך הדגמה באמצעות דוגמאות מיטביות מהארץ והעולם. העקרונות עליהם מתבסס הפרויקט:

- דיאלוג ושיתוף מלא של הרשויות בכל שלבי התהליך מאיתור הצרכים, הגדרת סדרי העדיפויות ועד לתיקוף והטמעת התוצרים.
- התוצרים התמקדו בשלב הראשון במתן מענה לצרכים הבסיסיים ביותר של רשויות, ובהמשך התהליך פיתוח תוצרים המותאמים לצרכים.
- מושם דגש רב על שיתוף בידע בין רשויות וסיוע הדדי בין רשויות בעלות אתגרים דומים.
- מתן כלים אופרטיביים- מבחן התוצאה של הפרויקט הוא במתן כלים אופרטיביים שיסייעו לבעלי התפקידים ברשות להוביל תהליכים לקידום הדיגיטציה.
- הדרכה והטמעה- התוצרים נכתבים ומופצים מתוך הבנה שיש צורך בתהליכי הדרכה והטמעה ברשויות. יצירת מנגנוני הדרכה והטמעה כחלק ממהלך שלם של עבודה.

מדד הבינתחומי לערים חכמות ומקיימות בישראל⁹³

המרכז הבינתחומי הרצליה, בהובלת בית הספר לקיימות, פיתח כלי מדידה ישראלי ראשון לערים חכמות ומקיימות, אשר מאפשר לראשונה להעריך את העשייה העירונית הישראלית בתחום ערים

⁹² <https://www.265.org.il/>

⁹³ <https://smartcities.co.il>

חכמות. מטרת המדד לאפשר לרשויות ולתושבים להעריך את מידת התקדמותן בהיבטים של חדשנות עירונית, קיימות, ממשל פתוח ושיתופי, חינוך ופיתוח כלכלי ועוד. המדד הוא מהבודדים בעולם שבוחן את השילוב של ניהול, אסטרטגיה וקיימות עירונית תוך בחינת התאמתן של ערים לעולם של חדשנות וטכנולוגיה והתייחסות ליעדי הפיתוח הגלובליים של האו"ם. עפ"י נתוני המדד: תל אביב נמצאת במקום הראשון במדד הבינתחומי לערים חכמות ומקיימות. מיד אחריה, אילת וירושלים, כשלשתיהן ציון זהה. אחריהן בערים המובילות הגיעו אשדוד, רעננה, נתניה ובאר שבע.

המדד מציב בלב המושג "עיר חכמה" את פיתוח המדיניות ואת גיבוש התהליכים החכמים, ולא את עצם השימוש בטכנולוגיה. לפי תפישה זו, העיר נמדדת לפי האופן שבו היא עושה שימוש בטכנולוגיה, ובערכים שהיא מצליחה לממש בזכותה. הטכנולוגיה היא רק כלי. המדד אמור להיות כלי שיתפתח וישתפר עם הזמן במקביל לניסיון שייצבר בשטח.

מאז ומתמיד בוצעו מדידות השוואתיות של ערים ומדינות, במטרה לעודד את כלכלתן או לתרום למוניטין שלהן בתחומי תעסוקה, כלכלה וחדשנות. מדד "ערים חכמות- דירוג ערים בינוניות באירופה" נערך ב-2007 ביוזמת אוניברסיטת וינה (TUWIEN) בשיתוף אוניברסיטאות לובליאנה ודלפט וסקר 70 ערים בינוניות באירופה, לפי שישה מאפיינים: כלכלה חכמה, תחבורה חכמה, משילות חכמה, אנשים חכמים ומגורים חכמים. המדד נועד לייצר האחדה ושיוויוניות שיאפשרו את מדידת הייחוד, פוטנציאל הצמיחה והפיתוח והחולשות והחוזקות בערים. למעשה המדד בחן את המצב הקיים בתחומים שונים ורק שלושה פרמטרים מ-74 נגעו בחדשנות וטכנולוגיה. במקביל ארגונים ממשלתיים וגלובליים מודדים קיימות עירונית בעשור האחרון כגון: תקני השכונות המקיימות של LEED, תקן ISO לערים מקיימות וחכמות, שעוסקים בעיקר בתחומי קיימות סביבה ולא בתועלות שחדשנות וטכנולוגיה יכולות להביא לקיימות, חוסן וניהול עירוני.

המדד הבינתחומי חותר ליצור איזון נכון בין טכנולוגיה וסביבה, בין תועלות כלכליות לערכים חברתיים וסביבתיים ובין מצב קיים השונה בין עיר לעיר, לבין הפוטנציאל של תהליכי חדשנות, אסטרטגיות דינאמיות וחכמות ושימוש נכון ומותאם בטכנולוגיות ומערכות מידע לשיפור איכות חיים, חוסן וקיימות עירונית. המדד מחייב את הרשות לבנות אסטרטגיה המבוססת על אתגרים הייחודיים לה ובוחן את המענה לאתגרים אלו באמצעות שילוב של חדשנות תהליכית, שותפות בין בעלי עניין ומערכות מידע וטכנולוגיה. המדד הבינתחומי לערים חכמות הוא כלי עבודה שאמור לסייע לעיר להיות חכמה יותר ומקיימת יותר.

המדד בנוי כהליך סדור, החל מאסטרטגיה (מה אנחנו רוצים לפתור ואיך), דרך ניהול (באיזה כלים נשתמש על מנת לספק מענה לאתגרים ואיך נוודא שזה קורה) וכלה בפעולות עצמן (בתחומי תשתיות, שרותים וקיימות מרחבית). המדד לא נועד להשוות בין רשויות, אלא להוביל כל רשת קדימה. המדד מכוון לערכים ואיכות יותר מאשר לשיפור רמת הטכנולוגיה או הרחבת השימוש בה. לכן, טכנולוגיה שלא מביאה ערך תנוקד נמוך מטכנולוגיה שמשפרת מצב קיים או מסייעת לעמוד ביעדים עירוניים. המדד מכוון את הרשויות לחשיבה מחוץ לקופסה כדי לתת מענה לאתגרים מקומיים כשהתוצאה לא תמיד טכנולוגית, לפעמים היא תהליך חכם של תכנון, הכשרה, הטמעה או רגולציה.

מרכיבי המדד: המדד מורכב מארבע חלקים, שעוקבים אחרי תהליכי החשיבה, התכנון והביצוע של פעולות ותהליכים עירוניים חכמים.

1. אסטרטגיה עירונית לעיר חכמה ומקיימת- חלק זה מודד את אופן ניהול התהליך באופן כולל, תוך בחינת קיומן של תוכניות פעולה סדורות, משותפות ובעלות שקיפות.
2. ניהול עירוני חכם ומבוסס מידע- חלק זה בוחן את אופן הניהול וקבלת ההחלטות בעיר באמצעות כלי עבודה דיגיטליים, מערכות מידע ואמצעי ניהול ושיתוף דיגיטליים, כשלב הכרחי במימוש עירוניות חכמה אמיתית.
3. בינוי, קיימות ותשתיות חכמות- חלק זה בוחן את אופן התכנון, הניהול והתפעול של בינוי תשתיות ושירותים בעיר ואת מידת התאמתם לשיפור קיימות, שירות, חוסן ושיווינות.
4. חדשנות, חינוך וכלכלה מקומית.

נמצא כי תחומי הפעילות המובילים של העיריות בנושאי טכנולוגיות לעיר חכמה, הם בטחון אישי, תחבורה ואנרגיה. הרשויות המתקדמות ביותר השתמשו במערכות מידע לבחון יעילות של פתרונות עירוניים. כמו כן, ל-100% מהערים שדורגו יש צוות ייעודי לקידום ויישום עיר חכמה. ב-75% מהן הוא ממוקם תחת המנמ"ר (מנהל מערכת מידע) העירוני. בכל הערים ישנה השקעה במערכות מידע גאוגרפיות (GIS) ובמרביתן יש שימוש בכלי זה גם מעבר ליישומי תכנון ובניה.

בעוד שבכלל הרשויות שנמדדו ישנה השקעה באיסוף מידע לטובת הניהול העירוני ובחלק מהרשויות המידע מהווה כלי עבודה משמעותי, רק 25% מהרשויות הכינו אסטרטגיית מידע שכללה ניתוח של סוגי המידע הנדרש, אופן האיסוף והעיבוד והדרך לשמור על המידע ועל פרטיות.

רק 50% מהרשויות הכינו ואישרו אסטרטגיית עיר חכמה. כמו כן, מרבית הערים שהכינו תוכנית אסטרטגית לעיר חכמה שיתפו מחלקות עירוניות רבות בתהליך, אולם רשויות מעטות (25%) שיתפו את הציבור ובעלי עניין עירוניים בהכנה או בקרה על התוכנית ומרכיביה. 80% מהערים הגיעו להישגים גבוהים בדיגיטציה עירונית, דוגמת אתר אינטרנט יעיל, אפשרות לביצוע פעולות באתר, במובייל ואמצעים דיגיטליים אחרים וכיוב' והשקיעו בכך משאבים רבים.

בערים רבות שנמדדו יש תהליכי שיתוף ציבור דיגיטליים ורבות מהן ביצעו הליך מסוג זה בשנה-שנתיים האחרונות. אולם, מעטות הרשויות שיש להן אסטרטגיה ברורה של איך ומתי לערוך שיתוף ציבור כזה וכיצד לוודא שיש גם שיתוף של כלל הציבור בעיר, גם בקרב אלה שאינם פעילים דיגיטליים. בהיבט השקיפות לציבור, 80% מהרשויות הציגו מידע רב לציבור, אך רק מעטות הציגו לציבור מידע פתוח ובר-ניתוח, דוגמת טבלאות אקסל או נתונים גולמיים על זיהום אוויר.

20% מהרשויות השקיעו בהקמת מרכזי חדשנות או האבים לסטארט-אפים, אולם רק מעטות שמו דגש על הפוטנציאל של הסטארט-אפים לפעול לשיפור אתגרים עירוניים של העיר עצמה. כל הערים השקיעו בחינוך לייזמות וחדשנות, אך רק מעטות מהרשויות פעלו לקידום חדשנות כמענה לאתגרים של העיר. עם זאת, במרבית הרשויות ישנן אסטרטגיות לחיזוק יזמות וייזמים בעיר, ובמחציתן ישנה השקעה בכלים דיגיטליים לחיזוק העסקים בעיר.

המדד הדיגיטלי של הרשות המקומית – מדר"ם - המדר"ם הוא כלי המודד את רמת הבגרות הדיגיטלית של רשות מקומית. כלומר, את המוכנות הארגונית ואת רמת השימוש וההטמעה של טכנולוגיות דיגיטליות בתהליכים הארגוניים, הפנימיים והחיצוניים, של הרשות מול כל סוגי לקוחותיה: תושבים, בעלי עסקים, תיירים ועוד. המדד מאפשר לכל רשות לבחון את מצבה העכשווי על פני ציר

מדידה אחיד, יחסית לעצמה ויחסית לרשויות מקומיות אחרות, וכן להכיר ולהבין את השלבים הנדרשים ממנה להתקדמות דיגיטלית⁹⁴.

המדד כלל קבוצה של ערים, הפעילות בתחום "ערים חכמות", אשר העמידו עצמן למדידה, על מנת לקבל הערכה ומשוב.

צוותי בלומברג i-teams

התוכנית של קרן בלומברג נהגתה ע"י מייקל בלומברג שכיהן כראש עיריית ניו יורק ונוכח שעיריית עסקאות כמעט אך ורק בשוטף ובכיבוי שרפות ולא מצליחות לפנות זמן ומשאבים לחשיבה אסטרטגית ארוכת טווח וליצירת תוכניות חדשניות להובלת שינוי בערים. קרן בלומברג, הקרן הפילנתרופית של מייקל בלומברג, לשעבר ראש עיריית ניו יורק, מתמקדת בחמישה תחומים בהם ניתן לייצר השפעה מתמשכת על איכות חייהם של אנשים בכל רחבי העולם - חינוך, סביבה, אומנות, בריאות הציבור וחדשנות בממשל. קרן בלומברג השיקה ב-2011 את הפיילוט של צוותי החדשנות בחמש ערים ברחבי ארצות הברית למשך שלוש שנים. ב-2014, לאחר הוכחות רבות להצלחת התוכנית, היא התרחבה לכלול 14 ערים נוספות בארצות הברית ובישראל, כולל ירושלים ותל אביב. ב-2017 התוכנית שוב התרחבה לכלול שבע ערים נוספות, כולל באר-שבע בישראל.

צוות חדשנות עירונית ירושלים שנוסד וממומן על ידי קרן בלומברג משמש כצוות ייעוץ-מחקר עבור ראש העיר ופועל לפתרון סוגיות עירוניות מורכבות בתחומים שנבחרו: נוער בסיכון, עידוד הזדמנויות עסקיות, מרחב ציבורי יצירתי, חינוך ובניית קהילות פעילות. לצוות מעמד היברידי פנימי-חיצוני אשר עוזר לו להתגבר על חסמים ביורוקרטיים ולגשר בין אגפים וארגונים לטובת הכלל. עבודת הצוות מבוססת על מחקר ונתונים, בניית תהליכים קצרים בעלי השפעה מירבית וחדשנות בתוך הקיים. הצוות עובד לשינוי הדרך שבה נבנים תהליכי חשיבה ותכנון חדשניים בעבודה השוטפת של העירייה בכל הרמות. הרשת הבינלאומית של צוותי החדשנות של בלומברג, המונה 25 צוותים ברחבי העולם, מאפשרת ללמוד מהצלחות וכישלונות בערים אחרות ולהתוודע לנעשה בצוותים אחרים בעולם.

צוות החדשנות של עיריית תל אביב-יפו, באמצעות מענק שקיבלה העירייה מקרן בלומברג הפילנתרופית וכחלק מרשת בינלאומית של צוותי חדשנות (i-teams) בערים. הצוות מיעץ להנהלת העירייה ופועל בשיתוף עם יחידות העירייה השונות וקבוצות תושבים במטרה ליזום ולפתח פתרונות לאתגרים משמעותיים בתל אביב-יפו. הצוות עובד על פי שיטת החדשנות של קרן בלומברג ובאמצעות כלים הנסמכים על עיבוד נתונים ומתודולוגיות מעולם העיצוב. בשנת עבודתו הראשונה עוסק הצוות בהפחתת יוקר המחייה למשפחות בעיר בתחום החינוך והטיפול בילדים ובשיפור איכות החיים בשכונת נווה שאנן.

פורסם שעיריית באר שבע קיבלה מימון בסך 500,000 דולר לכל שנה במשך שנתיים, על מנת לגייס צוותי חדשנות שיעבדו בשיתוף עם אגפי ויחידות העירייה.

<https://www.265.org.il/database/%d7%94%d7%9e%d7%93%d7%93-%d7%94%d7%93%d7%99%d7%92%d7%99%d7%98%d7%9c%d7%99-%d7%a9%d7%9c-%d7%94%d7%a8%d7%a9%d7%95%d7%aa-%d7%94%d7%9e%d7%a7%d7%95%d7%9e%d7%99%d7%aa-%d7%9e%d7%93%d7%a8%d7%9d/>

3.3 הכשרת כוח אדם לתחום ערים חכמות

ארבע המוסדות בישראל שמלמדים את תחום הערים החכמות הם: אוניברסיטת בר אילן, המרכז הבינתחומי בהרצליה, הטכניון ואוניברסיטת ת"א.

באוניברסיטת תל אביב- קורס ערים חכמות- הקורס ניתן במסגרת פעילות המרכז לחקר העיר והעירוניות באוניברסיטת תל אביב, "מרכז העיר". הקורס ניתן לראשונה ב-2018 ויערך שוב בקיץ 2019 ומיועד לסטודנטים מחו"ל, אך פתוח גם לסטודנטים מאוניברסיטת תל אביב⁹⁵.

במהלך הסמינר, יערך שיח על ערים חכמות תוך התייחסות לנושאים השונים, מגמות ותהליכים ויבחן המקום של המתכנן ומרחב ההשפעה שלו בהנתן הטכנולוגיות החדשות והמידע הזמין כתוצאה מהשימוש בהן.

באוניברסיטת בר אילן- הקורס פתוח לסטודנטים לתואר ראשון החל משנה ב' ולסטודנטים לתארים מתקדמים בבית הספר למינהל עסקים. מטרת הקורס היא להקנות לסטודנטים ידע, הכרות וכלים לבחינה של מורכבויות ואתגרי העיר במאה ה-21 בעולם המפותח והמתפתח כאחד, וזאת תוך בחינה ביקורתית של המרכיבים, הכלים והמאפיינים של ערים חכמות, ותוך התנסות מבוקרת של איתור לוקאלי של אתגרים, בעיות והצעות למענה בהתאם לסוגי ומאפייני עיור מגוונים. הקורס נערך במתכונת של סדנה, הכוללת הרצאות נושאיות, דיון ביקורתי והצגת מקרי מבחן.

קורס המשך שבמרכזו אפיון ופיתוח מתקדמים של מיזמים בערים והישובים במרחב.

קורס ערים חכמות בטכניון נלמד בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים במסגרת תואר שני בתכנון ערים ואזורים.

ובמסגרת **בית הספר לקיימות במרכז הבינתחומי.**

מכללת יוצרים ערים חכמות בישראל⁹⁶

מכללת "יוצרים ערים חכמות בישראל" הוקמה כדי לקדם את הידע המקצועי הנדרש לפיתוח ערים חכמות.

במסגרת המכללה מפתחים מגוון קורסים, סדנאות והשתלמויות לעובדי רשויות המקומיות וייזמים השואפים לפתח טכנולוגיות ומתודולוגיות חדשות להתנהלות של רשויות מקומיות.

תוכנית "מאצים דיגיטליים בשלטון המקומי"- התוכנית נועדה לקידום הדיגיטציה ברשויות המקומיות בישראל, ומתקיימת בשיתוף פעולה בין מטה ישראל דיגיטלית במשרד לשיוויון חברתי ומשרד הפנים באמצעות מפעם עמק יזרעאל. מטרת התוכנית הינה הכשרה של מובילי שינוי המקדמים חדשות דיגיטלית ברשויות המקומיות, משפרים תהליכי עבודה ושירותים באמצעות טכנולוגיה, ומהווים חלק מקהילה היוצרת את תהליך הטרנספורמציה הדיגיטלית בישראל. קול קורא לרשויות המקומיות⁹⁷.

עקרונות התוכנית:

⁹⁵ https://urban.tau.ac.il/sites/urban.tau.ac.il/files/TAU-SmartCities-SummerCourse-2019-Description_0.pdf

⁹⁶ <https://www.smartcityisrael.co.il/%d7%90%d7%95%d7%93%d7%95%d7%aa-%d7%99%d7%95%d7%a6%d7%a8%d7%99%d7%9d-%d7%a2%d7%a8%d7%99%d7%9d-%d7%97%d7%9b%d7%9e%d7%95%d7%aa-%d7%91%d7%99%d7%a9%d7%a8%d7%90%d7%9c/>

⁹⁷ <https://www.meitzimdigitalim.com/kolkore>

1. המשתתפים יכירו את תהליך העבודה לקידום דיגיטציה ויישום כלים טכנולוגיים ברשות, וירכשו מיומנויות וידע הדרושים להובלת תהליך השינוי ברשות.
 2. המשתתפים יובילו ויבצעו תהליך ליצירת שירות דיגיטלי חדש ברשות המקומית החל מהמפגש הראשון.
 3. המשתתפים יהיו חלק מקהילה מקצועית של מאיצים דיגיטליים ברשויות המקומיות בישראל, וישתפו בידע ובניסיון שהם רוכשים במיזם הלאומי 265.
- נושאים עיקריים בתוכנית:

- מהי טרנספורמציה דיגיטלית ושימושי הדיגיטציה בעבודה השוטפת ובמתן שירות לתושב.
 - הטכנולוגיה הדיגיטלית כפלטפורמה לשינוי ארגוני משמעותי.
 - הובלת שינוי ארגוני ברשות המקומית- המאיץ הדיגיטלי כגורם מניע ומתכלל.
 - מסע לקוח ותפיסת עיצוב השירות.
 - בשלות דיגיטלית ברשות המקומית: המדר"ם-המדד הדיגיטלי ברשויות המקומיות ומיפוי השירותים הדיגיטליים ברשות.
 - היכרות עם תהליכים לקידום השירות הדיגיטלי ברשויות המקומיות ובארגונים שונים.
 - תכנון וביצוע פרויקט צוותי: שירות דיגיטלי חדש ברשות המקומית.
- תנאי סף להשתתפות בהכשרה:

- הגשת מועמדות קבוצתית בלבד (צוות המונה שני נציגים או שלושה מאותה רשות) מקרב עובדי השלטון המקומי. כשכל אחד מהם עונה על לפחות אחד משלושת התנאים הבאים:
 - בעל תפקיד בכיר (כגון: ראש מינהל, מנהל אגף, מנהל מחלקה, מדור, יחידה).
 - בעל תפקיד שבמסגרת תפקידו מנהל קשר עם התושב (כגון: מנהל שירות, מנהל מוקד 106, דובר).
 - בעל תפקיד עם זיקה לעולם הדיגיטלי (כגון מנמ"ר, מנהל שירותים דיגיטליים, מנהל יחידה לתכנון אסטרטגי).
- על הרשות להקים ועדת היגוי לליווי ופיתוח התחום הדיגיטלי לאחר קבלת המועמדים לתוכנית.

3.4 מאגד ערים חכמות

עמידות ערים במקרי אסון DIRECT- פלטפורמה גנרית לניהול ארועי אסון בערים⁹⁸

המאגד הוקם בשנת 2017. מטרת המאגד היא לפתח אוסף של טכנולוגיות גנריות לאיסוף ועיבוד יעיל של כלל המידע העירוני, שיאפשרו פיתוח עתידי של כלי אימון וקבלת החלטות, ובכלל זה פיתוח יכולות הדמיה של תרחישי אסון והערכת התנהגות של התושבים באמצעות מודלים של התפשטות אסון, הצגה של המידע המצרפי הקיים והרצת תרחישי פינוי והתמודדות.

המאגד יכלול טכנולוגיות בנושאים הבאים: פיתוח מודלים לחיזוי התפשטות של אירועי האסון ומידול התפתחותם טרם התממשותם ובמהלכם; פיתוח טכנולוגיות הדמיה לתרחישי האסון; פיתוח אלגוריתמים לתיעודף ותיגוף של נכסים ואוכלוסייה ליעול הקצאת המשאבים; פיתוח מודלים לתכנון מהיר/מידי של תוכניות פינוי.

3.5 מדדים ביבליומטריים

פרסומים בתחום ערים חכמות

במסגרת חלק זה של העבודה ערכנו מיפוי של פרסומים, שעוסקים בתחום ערים חכמות. את התפתחות תחום ערים חכמות, ניתן לראות גם באמצעות הגידול במספר הפרסומים בנושא⁹⁹.

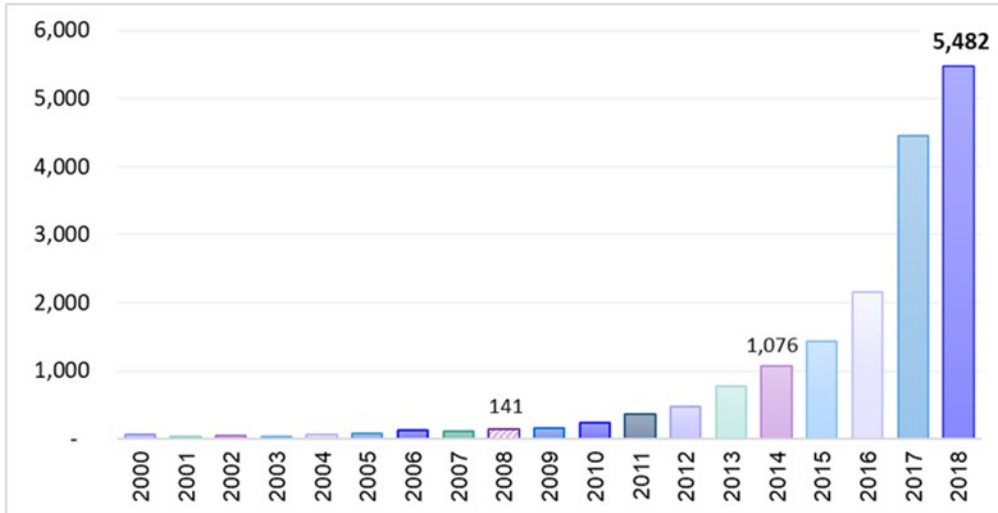
הגרף הבא מציג את השינוי במספר הפרסומים בעולם בנושא Smart City במהלך השנים 2000-2018. במהלך חמש השנים האחרונות (2014-2018) מספר הפרסומים בעולם בתחום זה עלה פי 7. לעומת זאת מספר הפרסומים בישראל נמוך מאוד בתחום זה ועמד על 6 פרסומים ב-2014 ו-12 בלבד ב-2018.

⁹⁸ <https://innovationisrael.org.il/content/%D7%9E%D7%A4%D7%92%D7%A9-%D7%94%D7%AA%D7%A0%D7%A2%D7%94-%D7%9C%D7%9E%D7%90%D7%92%D7%93-%D7%A2%D7%A8%D7%99%D7%9D-%D7%97%D7%9B%D7%9E%D7%95%D7%AA>

⁹⁹ הגרפים הינם עיבוד של מוסד נאמן לנתוני מאגר סקופוס. חיפוש הפרסומים נערך במאגר Scopus תוך שימוש במונחים: smart city" OR "smart cities" OR "digital city" OR "digital cities" OR "intelligent city" OR "intelligent cities" OR "knowledge city" OR "knowledge cities" OR "sustainable city" OR "sustainable cities" OR "green city" OR "green cities"

הגדרת השאלתה מתבססת על המאמר: Ingwersen, P., & Serrano-López, A. E. (2018). Smart city research 1990–2016. *Scientometrics*, 117(2), 1205-1236.

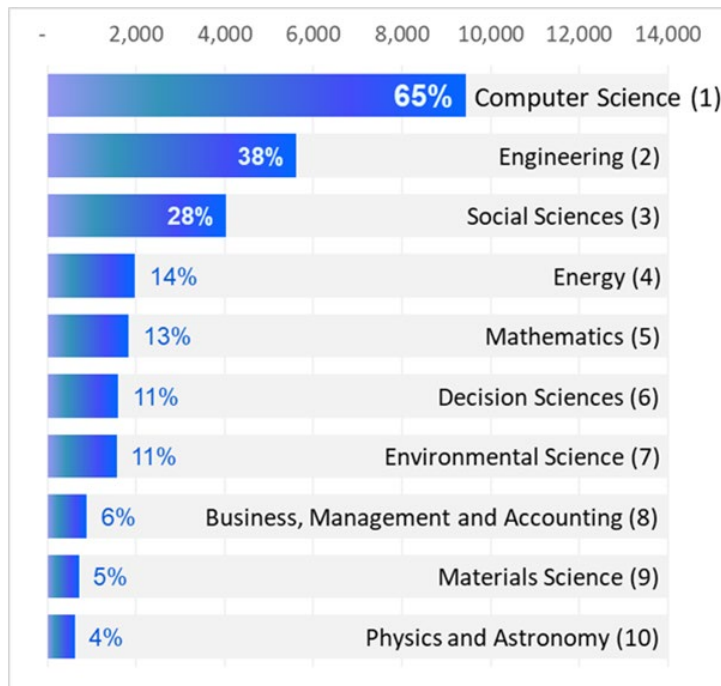
איור 10: השינוי במספר הפרסומים בעולם בנושא Smart City במהלך השנים 2000-2018



* יתכן שהנתונים לשנת 2018 אינם סופיים במאגר Scopus (החיפוש התבצע ביוני 2019)

הגרף הבא מציג את עשרת התחומים* המובילים בעולם במספר הפרסומים בנושא Smart City במהלך השנים 2014-2018. האחוזים מציינים את שיעור הפרסומים בתחום מכלל פרסומי העולם בנושא Smart City בתקופה שנבדקה. קטגוריית מדעי המחשב מובילה את הדירוג עם 65% מהפרסומים העוסקים בנושא, אחריה קטגוריית הנדסה עם 38% מהפרסומים. חלק ניכר מהחוקרים בתחום פועל במסגרת מחלקות של Information Engineering בפקולטות למדעי המחשב, הנדסה, תעשייה וניהול, הנדסה אזרחית ועוד. למעלה מרבע מהפרסומים קשורים לקטגוריית מדעי החברה.

איור 11: עשרת התחומים* המובילים בעולם במספר הפרסומים בנושא Smart City בשנים 2014-2018*

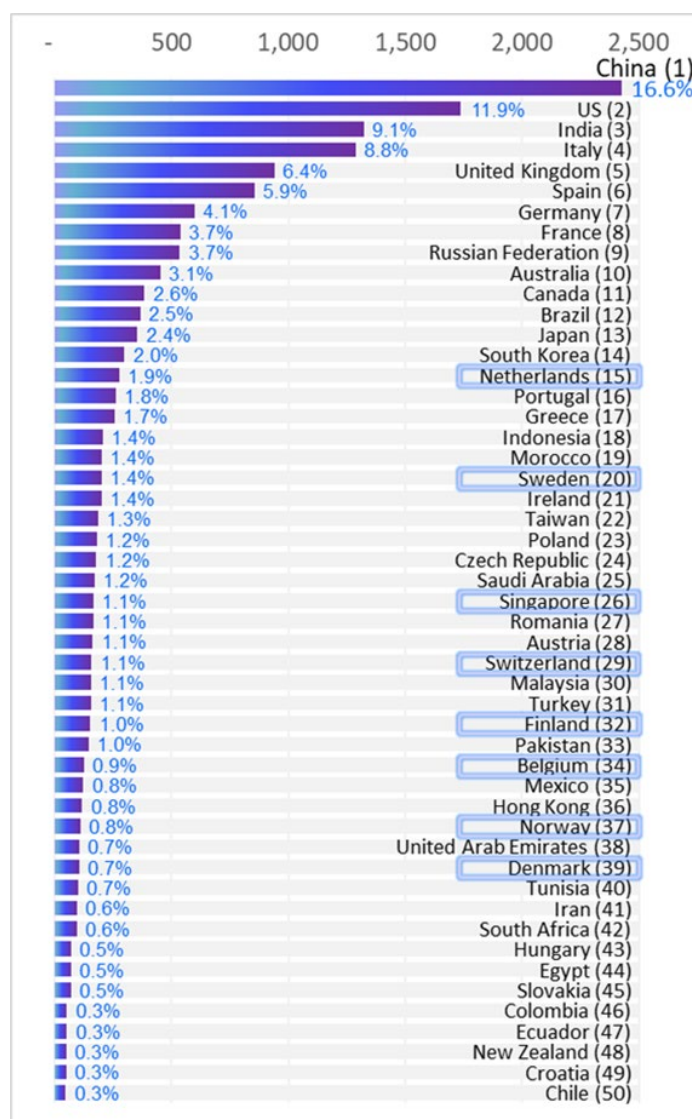


* במאגר Scopus התחומים נקבעים עפ"י הנושא של כתב-העת בו פורסם המאמר. מאמרים שמתפרסמים בכתבי-עת ששוויו למספר תחומים נספרים עבור כל אחד מהתחומים, ולכן סכום האחוזים גדול מ-100%

הגרף הבא מציג את 50 המדינות המובילות במספר הפרסומים בנושא Smart City במהלך השנים 2014-2018. האחוזים מציינים את שיעור הפרסומים של כל מדינה מכלל הפרסומים בעולם בנושא זה בתקופה שבדקה**. ניתן לראות שסין מובילה את הדירוג עם 16.6% מפרסומי העולם בתחום. ארה"ב במקום השני עם 11.9%, הודו – 9.1%, איטליה- 8.8%. הדרוג של ישראל בתחום מאוד נמוך. היא איננה מדורגת בין 50 המדינות המובילות במספר הפרסומים בתחום. לישראל 37 מאמרים שמהווים 0.25% מפרסומי העולם בתחום זה.

בגרף מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל מבחינת גודל האוכלוסייה***. ניתן לראות שהולנד, שוודיה, סינגפור ושווייץ נמצאות במקומות 15-30 של המדינות המובילות במספר הפרסומים בתחום Smart cities, וספינלנד, בלגיה, נורבגיה ודנמרק מופיעות במקומות 32-40.

איור 12: 50 המדינות המובילות במספר הפרסומים המדעיים בנושא*



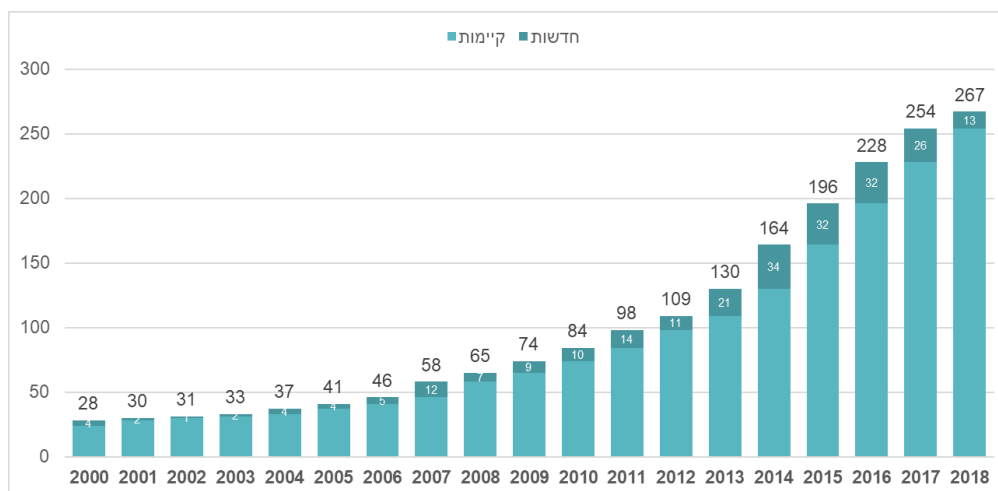
* יתכן שהנתונים לשנת 2018 אינם סופיים במאגר Scopus (החיפוש התבצע ביוני 2019)
 ** פרסומים שנכתבו בשיתוף פעולה של חוקרים ממספר מדינות נספרים עבור כל אחת מהמדינות ולכן סכום האחוזים גדול מ-100%
 *** לרשימת המדינות בנות-השוואה נבחרו מדינות שדומות לישראל מבחינת גודל האוכלוסייה ומספר הפרסומים.

בישראל פורסמו 37 מאמרים בנושא ערים חכמות בשנים 2014-2018 על-ידי חוקרים מאוניברסיטאות, מכללות, מכונים וחברות: 14 מהחוקרים מגיעים מהטכניון (הנדסת תעשייה וניהול, מדעי המחשב, ארכיטקטורה ובינוי ערים), 4 מאוניברסיטת בן גוריון בנגב, 4 מאוניברסיטת תל-אביב (המחלקה לגאוגרפיה, סביבה, המעבדה לתכנון ערים), 2 מאוניברסיטת חיפה ואחד מכל אחד מהמוסדות והמכונים הבאים: מהמכון הגאולוגי (ביולוגיה), מהמכללה הטכנולוגית בירושלים (המחלקה למדעי המחשב), מאוניברסיטת אריאל, מהאוניברסיטה הפתוחה (מדעי המחשב), ממכון וייצמן למדע, ממכללת אלקסאמי, מכללת הגליל המערבי, מחברת Ethernity Networks, 4 מאמרים פורסמו על-ידי חוקרים מחברת IBM, 1 מרפאל.

3.6 מיפוי חברות בתחום ערים חכמות בישראל

נכון לחודש מאי 2019, פעלו בישראל 267 חברות שתויגו במאגר ה-¹⁰⁰ Startup Nation Central FINDER תגית Smart cities. ניתן לראות שהחל מ-2007 חל גידול מסוים במספר החברות החדשות שקמו בתחום מידי שנה. ובשנים 2014-2017 הוקמו בממוצע כ-27 חברות שעוסקות בתחום מידי שנה (רשימת החברות מופיעה בנספח).

איור 13: חברות בתחום ערים חכמות בישראל בשנים 2000-2018

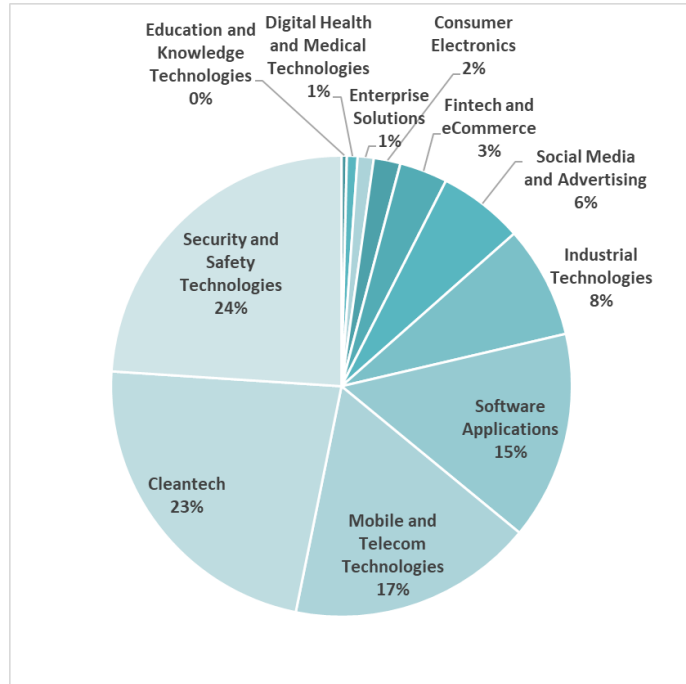


עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central FINDER

השיעור הגדול ביותר של החברות שעוסקות בנושא ערים חכמות בישראל, עוסקות ב-Security and Safety technologies -24% וב-Cleantech -23%. 17% ב-Mobile and Telecom Technologies ו-15% ביישומי תוכנה.

¹⁰⁰ קישור לאתר: <https://finder.startupnationcentral.org>

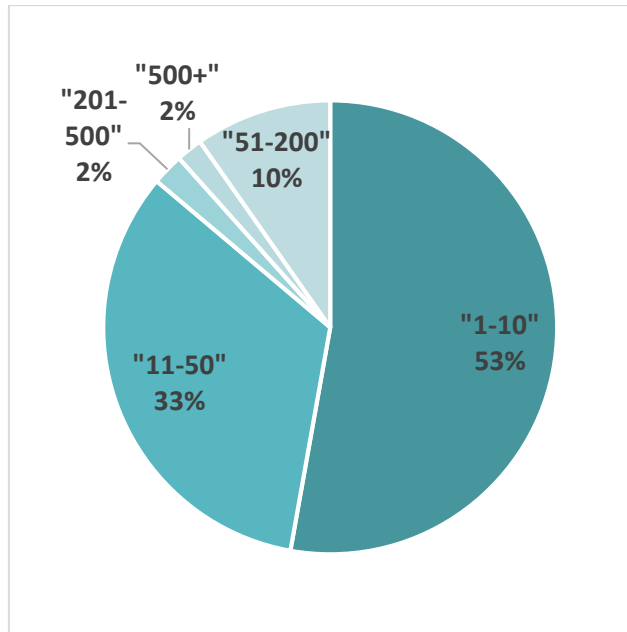
איור 14: חברות בתחום ערים חכמות לפי סקטור



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

רוב החברות 86%, הן חברות קטנות שיש בהן עד 50 עובדים (ברוב החברות (53%) עובדים עד עשרה עובדים). 10% מהחברות בינוניות ומונות בין 51 ל-200 עובדים ורק 4% הן חברות גדולות המעסיקות למעלה מ-200 עובדים. נתונים אלה מחזקים את העובדה כי זהו תחום מתפתח ורוב החברות הן בתחילת הדרך.

איור 15: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה

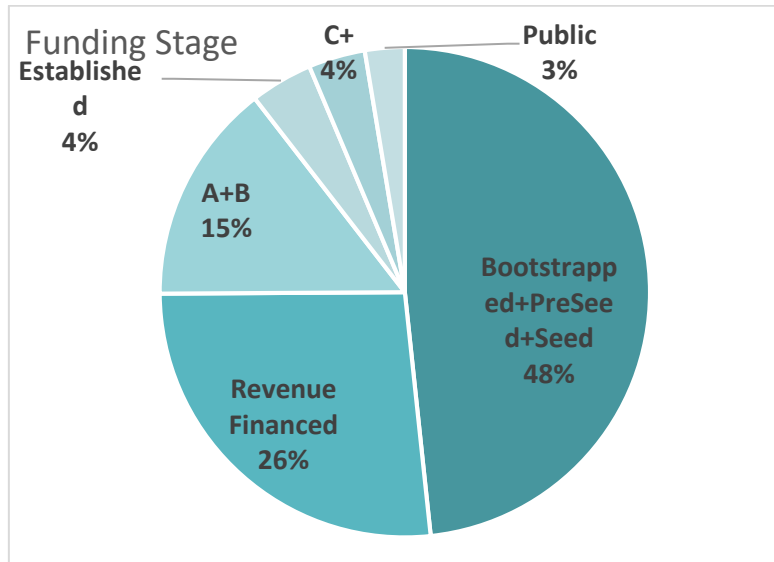


מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

מטבע הדברים חלק גדול מהחברות נמצא בשלבים התחלתיים. האיור הבא מציג את התפלגות החברות לפי Funding Stage ולפי Product Stage.

מבחינת שלב המימון: 48% מהחברות בתחום נמצאות בשלבים ההתחלתיים של Bootstrapped, Pre-Seed ו-Seed. 22% נמצאים בסבבי גיוס שונים B+A (15%) ו-C (4%). 26% נמצאים בשלב Revenue Financed, דבר שיכול להצביע גם על קיומן של חברות בוגרות יותר.

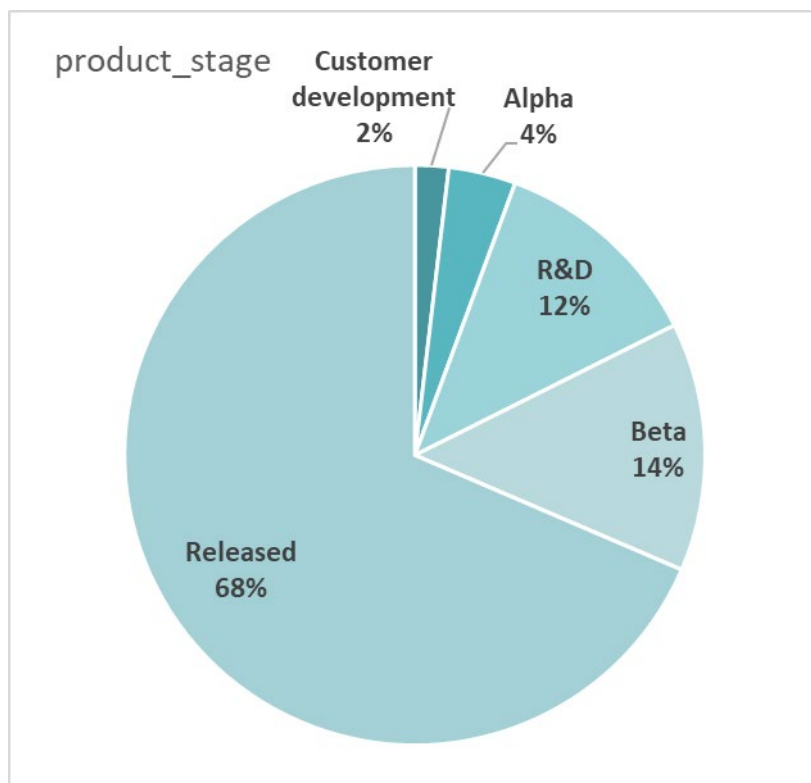
איור 16: התפלגות חברות לפי Funding Stage (2018)



עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

מבחינת שלב המוצר. 68% המוצר release.

איור 17: התפלגות חברות לפי Product Stage (2018)



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

3.7 סיכום ותובנות מהראיונות

במסגרת המחקר נערכו שלושה ראיונות:

1. אקדמיה – פרופ' פנינה פלאוט - פקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון, ועמיתת מחקר בכירה במרכז לחקר העיר והאזור בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון.
2. ממשלה – עוז שנהב - מנהל מחלקת חדשנות ופיתוח מדיניות ברשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים.
3. עסקי – אדריכל רפי רייש - (מומחה לערים חכמות). ניהל את הפרויקט דניאל רענני, בוגר בית הספר לקיימות בבינתחומי ובעל חברה לייעוץ בתחום ערים חכמות¹⁰¹.

סיכומי הראיונות מופיעים בנספח 4.2 לעבודה זו.

כפי שעולה מסקר הספרות החזון של הערים החכמות הינו של ערים, שהדיגיטיזציה והטכנולוגיות החדשות בהן יוטמעו על מנת לייעל את תהליכי הניהול של העיר ומערכתה, במטרה לשפר את איכות החיים של התושבים שחיים בה.

מהראיונות עולים מספר כשלים ותובנות:

- חסרה חשיבה אסטרטגית עירונית לעיר חכמה, ואין מספיק כוח אדם בתכנון אסטרטגי העירוני במקומות שמקבלים החלטות.
- עיריות שמחות לקחת חלק ולהיחשב לערים חכמות, אך חסרה הבנה ברשויות המקומיות איזה שינויים ומהלכים הם צריכים לעשות כדי להתמודד עם אתגרי המאה ה-21 שהם בעיקר: אי ודאות ניהולית, משבר תשתיות, משבר דיור וכו'. יש לשנות את התפיסה שמגדירה עיר חכמה כעיר עם טכנולוגיה לתפיסה שעיר חכמה זה קודם כל תפיסה אסטרטגית וניהולית אחרת.
- הגופים שעוסקים כיום ביישום ערים חכמות הן חברות שבעיקר עוסקות בפיתוח מערכות טכנולוגיות. ככאלה האינטרס שלהם הוא להטמיע את הטכנולוגיה ולא חשיבה על הצרכים והאמצעים הכלכליים של עיר.
- הטמעת מערכות טכנולוגיות יוצרת דרישה למשאבים וכוח אדם. לדוגמא, בעיריות שהתקינו מצלמות בעיר או אפליקציה לדווח תקלות יש צורך בכ"א שיסתכל במצלמות, יקבל את הדיווחים ויגיב בהתאם. כיום, כמעט ולא קיימת הגדרת תפקיד או חשיבה לטיפול ומענה במידע המתקבל ונצבר.
- הטמעת הטכנולוגיות השונות יצרה מאגרי מידע רגישים הכוללים מידע על התושבים והעיר ולכן לעיריות יש צורך בתפקיד שלא קיים היום של קצין אבטחת מידע. נכון להיום אין באף עירייה קצין אבטחת מידע. יש מעט עיריות שקבעו מדיניות אבטחת מידע ברשות, בעוד שיש הרבה אתגרים ובעיות בתחום הזה.
- על מנת שעיר תוכל להיות עיר חכמה היא צריכה מנמ"ר (מנהל מערכות מידע) ואיש חדשנות שבודק מה מתאים לעיר ומה לא. במדינת ישראל יש ערים שאין את החדשן רק את המנמ"ר וזה לא מספיק. התפקיד של איש חדשנות זה לבוא לעיר לבדוק לאן היא רוצה להתפתח, לאן העולם הולך ולקבוע מדיניות.
- יש צורך לייצר צוותי חדשנות ברשויות המקומיות. אדם אחד או שניים שינהלו את תהליכי החדשנות בכל עירייה. יש כיום הכשרה של קרן בלומברג, שמכשירה צוותי חדשנות ייעודיים שפועלים בכפוף לראש העיר. תפקיד הצוות לטפל באתגרים עירוניים, בד"כ רב מחלקתיים, ולייצר להם תהליכי עבודה ופתרונות. כיום יש צוותים כאלה בת"א, ירושלים ובאר שבע. אך

¹⁰¹ <https://www.thesuits.net/>

הבעיה היא דווקא ברשויות קטנות שבהן יש אתגרים גדולים ומשאבים מצומצמים. יש צורך בצוות כזה בכל רשות, גם אם הוא מורכב מאדם אחד שמנהל את החדשנות העירונית וידע לחשוב לא רק על הרובד הטכנולוגי אלא גם על הרובד העירוני.

- הטמעת הטכנולוגיות השונות יצרה מאגרי מידע גדולים, הכוללים נתונים שונים ומגוונים. נוצרה בעיה של הטיפול ב-Big Data. חסר החיבור/הממשק בין הטכנולוגיה והמידע שהוא מייצר לבין האפשרויות וצרכי היישום. נתונים של תחום אחד יכולים לשמש לתחום אחר או לקבלת החלטות. הטיפול בנתונים הוא תחום שאינו מוסדר כלל. המדינה מטפלת בנושא בהיבט המשפטי אבל יש צורך לטפל בזה גם בהיבט הציבורי.

- ארבע המוסדות בישראל שמלמדים את תחום הערים החכמות הם: אוניברסיטת בר אילן, המרכז הבינתחומי בהרצליה, הטכניון ואוניברסיטת ת"א. יש כיום בארץ בעיקר הכשרה למסלולים דיגיטליים של הנושא, אבל יש צורך גם בדברים אחרים, כי דיגיטלי בלבד דן את הרשויות להתמקד בטכנולוגיה. הכשרה יכולה להתקיים בפקולטות: תכנון ערים, תעשייה וניהול, מנהל עסקים והיא צריכה לכלול: קיימות ותכנון, מדיניות ציבורית וייזמות וחדשנות. צריך להבין בכל הרבדים. צריך לפתוח תוכניות בין-יחידתיות בנושא ערים חכמות.

3.8.1 נספח א': רשימת חברות בתחום ערים חכמות בישראל, לפי סקטור

(64 חברות): Security and Safety Technologies

Waycare Technologies - AI-driven Mobility Platform for Smart Cities
 Hardenite - Innovative DevSecOps Solution for Linux-based Products.
 Wist Network - Identity Authentication and Management
 Crania - Micro-mobility Safety Solutions
 VDOO - Security for the Internet of Things
 Toref - Smart Sensors for Firearms
 Salamandra Zone - Air Treatment and Purification
 Cylus - Railway Cybersecurity Solutions
 Carbyne - Real-time Emergency Communication Platform
 Faception - Facial Personality Analytics
 1702ai - Automated Video Surveillance Solution for Threat Detection
 Qognify - Security and Safety Risk Mitigation
 SecuriThings - IoT Cybersecurity Solutions
 NowForce - Emergency Response Software
 Vectoraic - UAV-based Blockchain Technology for the Automotive Industry
 TRAIS Solutions - AI-based Reconnaissance Tracing Technology
 Licompass Tech - Safe City System and App
 LidrTech - Parental Control App
 UNIQA Systems - Artificial Intelligence for Planning and Decision-making
 GABRIEL - Active Shooter Solution for Public Spaces
 BriefCam - Video Surveillance
 NanoLock Security - Connected Edge Device Protection
 InfiniDome - GPS Anti-jamming Protection
 D-Fend Solutions - Counter-drone Security System
 SayVU - Emergency Smart Connectivity for Personal and Public Safety
 Firmitas Cyber Solutions - Cybersecurity for Mission-critical Connected Systems
 Mantissa - Mini Radar for Advanced Security Applications
 Axon Vision - AI Vision and Anomaly Detection
 Salient Eye - Smartphone Personal Security System
 SkySaver - Personal Rescue Device
 Repo Cyber - Anonymous Reporting Application
 Perytons - IoT Cybersecurity and Protocol Analysis Solutions
 eVigilo - Emergency Notification Solutions
 ShieldIOT - IoT Security
 AnyVision - Recognition and Authentication Solutions
 Comroads - Dash Cam Sharing Platform
 i4drive - Software-based Driver Safety and Driving Analytics
 Foresight Automotive - Detection Technology for Driver Assistance Systems
 Energy Re-Connect - Power over Ethernet Platform
 AbiliSense - Smart Listening Technology for IoT Devices
 Nexar - AI Driving App for Road Safety and Event Recording
 VikiSense - Multifactor Biometric Authentication for Physical and Financial Security
 Diskin Advanced Technologies - Automated Intelligence-driven Offensive Defense
 EasySec Solutions - Cybersecurity and Policy Management
 Blueguard - IoT Technology for Safeguarding Children
 Safer Place - Road Safety and Parking Enforcement Solutions
 Magos Systems - Perimeter Security Radars

RISCO Group - Global Security Solutions
 ESC BAZ - Observation and Surveillance Systems
 HTS - Identification and Tracking of Vehicles and Cargo
 Agent Video Intelligence - Comprehensive Video Analytics Solutions
 Video-inform - Cognitive Vision Solutions
 ARTsys360 - Micro-radar Sensors
 Safe City in a Box - Security Platform for Smart Cities
 Convexum - Private Airspace Protection from Drones
 Valerann - Autonomous Traffic Control and Monitoring System
 Ottopia - Teleoperation Platform for the Safety of Autonomous Vehicles
 Innovya Traceless Biometrics - Traceless Biometric Authentication Technology
 Octopus Systems - Command and Control Security Software
 viisights - Video Intelligence Platform for Security and Surveillance
 NeoPeach - Intelligent Parking System
 Cypire - Simulation Platforms for Training Cyber-security Professionals
 iXDen - Cyber Security for IoT Devices
 Intelligent Smart Ideas - Crosswalk Safety System
 Webus - Taxi-sharing App

: (62 חברות) CleanTech

GreenQ - Optimization and Monitoring of Waste Collection
 Watergen - Extracting Drinking Water from the Air
 Be Electric Drive - Electric Scooters and Motorbikes
 Menolinx Systems - Efficient Lighting for Smart Grids and Smart Cities
 WINT Water Intelligence - Water Management and Control Solutions
 Driivz - Electric Vehicle Plug-in Charging Solution
 RadGreen - Smart Environmental Monitoring System
 Kando - Wastewater Management Solutions
 HydroSpin - Hydroelectric Power for Smart Water Monitoring
 Vortex Energy - Energy Optimization for Heating and Air Conditioning Systems
 MTR Wireless Communications - Smart Grid Wireless Control Solutions
 3GSolar Photovoltaics - Energy Solution for Wireless and IoT Devices
 Soapy Care - Independent IoT Hygiene Station
 PowerSines - Energy Efficiency and Voltage Optimization
 Pollight - Wireless Building Automation System
 Nortex Technologies - Smart Grid Solutions for Utilities Management
 Sol Chip - Solar Battery and IoT Communication Platform
 Ocean Brick System - Brick System for Underwater Construction
 SolView - Online System for Solar Potential Estimation
 Enervibe - Energy Harvesting Solutions
 WATA Solution - Water Monitoring Solution for Developing Nations
 Vintec Knowledge - Energy-saving Technologies
 DST Cleantech - Solar Solutions and LED-based Illumination Devices
 BrighTap - Smart Water Meter for Water Consumption Awareness
 GreenVision Systems - Hyperspectral Imaging Technology and Systems
 Kite Bricks - High-strength Concrete Bricks for Construction
 SmartGreen - Energy Management and Optimization
 Utilight - Printing Technology Enabling Efficient Solar-cell Conversion
 Metrolight - LED and IoT Solutions
 Soltell Systems - Industrial IoT Platform for Managing Photovoltaic Systems
 Yamit - Filtration and Water Treatment
 Bright Innovations - Comprehensive Platform for Smart City Applications
 Sowillo Energy - Creating Smart Thermosolar Systems

Juganu - Indoor, Outdoor, and Industrial LED Lighting
 Gngry - Smart Grid for Appliances and EV Charging Solutions
 Lishtot - Rapid Detection of Contaminants in Drinking Water
 H2 Energy Now - Efficient Hydrogen Energy Storage System
 GenCell - Fuel-cell-based Power Solutions
 Tamuz Electronics - Energy Systems and Backup Technologies
 Stream Control - Electronic Controller for Water Network Pressure Management
 IOSight - Data Management for Water and Energy Infrastructure Facilities
 Peak-Dynamics - Smart Water Network Management
 Moon Solar Light - Solar Street Lighting and Related Safety Products
 Sologic - Renewable Energy Systems
 Eta-Bar - Offline Power Supply for IoT Devices
 Woosh Water Systems - Network of Public Water Stations
 GreenBin - Smart Management System for Urban Waste Bins
 Biomonitech - Early-warning System for Drinking Water Contamination
 RosenProtest Green IT - Social Network to Promote Recycling Bins
 Emnotation - Smart Climate Forecasting
 GreenOn - Incentivizing Environmentally Friendly Transportation
 BreezoMeter - Real-time Air Quality and Pollen Data
 PVpredict - Photovoltaic Performance, Fault, and Yield Prediction
 Greener Israel - Smart Bin for Waste Management
 Aquarius Spectrum - Water Network Monitoring and Leak Detection
 Grid4C - Smart Grid Predictive Analytics Solution
 Jether Energy - Power Generation and Demand Prediction
 CRMC - Systems for Monitoring Municipal Waste Removal
 TaKaDu - Event Management Solutions for Water Utilities
 Bike Place - Parking & Charging Platform for Micro Mobility Vehicles
 Catom Energy - Energy Management Systems
 SolidRun - Embedded Computing and Network Solutions

:(חברות 46) Mobile and Telecom Technologies

Zencity - Data-Driven Decision Making for Local Government
 Shimeba - Indoor Navigation System
 Ceragon Networks - Wireless Backhaul Solutions
 Moovit - Live Transport App with Maps
 Siklu Communications - 5G Wireless Solutions
 Friendly Technologies - IoT Device Management
 CymbloT - Large-scale IoT Network Management Solutions
 Shareloc - GPS-based Business Intelligence Platform
 Surf Communication Solutions - Video Monitoring and Surveillance Solutions
 Gett - Global Ridesharing Solution
 Mobilicom - 4G Mobile Wireless Networks for Mission-critical Apps
 OriginGPS - GNSS and Antenna Solutions
 otonomo - Cloud-based Services for Autonomous and Connected Cars
 Celeno Communications - Advanced Wi-Fi Solutions
 BrightCodes - Remote Digital Content Scanning Solution
 Telit Wireless Solutions - Wireless M2M Solutions
 RADWIN - Wireless Broadband Solutions
 ACiiST Smart Networks - Networks for Smart Cities
 Miltel Communications - RF Telemetry for Meters and Smart Cities
 Mobicar- Road Services App
 ECI Telecom - Network Infrastructure and Management Solutions
 Slyde - Transportation Management Platform for Schools

SerVision - Video Recording and Transmission Systems
 GoNet Systems - Broadband Wi-Fi Solutions
 Telicomm - Wireless Video Connectivity for Smart Cities
 Parkam - Navigation System to Locate Available Parking Spots
 Alvarion Technologies - Autonomous Wi-Fi Solutions
 Intellicon - Intelligent Traffic Signal Control
 Waze - Community-based Traffic and Navigation App
 Efofus - Data Tracking for Public Transportation
 hoopo - Geolocation for Low-power IoT
 LiTECUBE.io - Mobile Connectivity Platform for Untethered Blockchain Frameworks
 MyClubz - Digital ID Card Management System
 WaveIP - Broadband Wireless Networks
 Neragon Networks - Compact Wireless Communication Devices
 sPARK Parking Technologies - Urban Parking Solutions
 Pink Park - Urban Parking Solution with IoT Technology
 Spaceek - Real-time Parking Solution
 Road Protect - Administrative Management Solutions
 Cellint - Real-time Cellular Data Analytics for Smart Cities
 RePark Social Parking - Parking Space Rental Service
 Bikeable - Navigation App for Cycling
 Cellopark Technologies - Advanced Parking Management System
 HITO Systems - Professional Compliance and Regulatory Software
 Creomagic - Wireless Communication Solutions
 RouteValet - Route Planning for Multiple Modes of Transit

:(חברות 39) Software Applications

CitySquare - Customized Urban Renewal Platform
 White Raven - Automotive Visual Positioning
 Automation Technologies Group - Management Information Systems and Solutions
 Axilion Smart Mobility - Smart, Car-connected Traffic Signals
 Spatial Logic - AI-based Visual Positioning System
 CityGraph Access - Transportation Accessibility Tool
 Mobile Physics - Environmental Condition Measurement
 My Tower - Smart Community with Connected Buildings
 Wiselight Technologies - Parking Solutions for Smart Cities
 IPgallery - Holistic Smart City Services
 TransWay - Ticket Management System
 Anagog - On-device Artificial-intelligence Solutions
 SENSE - Data-mining Software
 GroupTo - Group Travel App Creator
 Cheetah Labs - Real-time Urban Labs
 Trucknet Enterprise - Transport Optimization Using Smart Freight Exchange
 Mappo - Literary Geo-content Platform
 Parkom - Comprehensive Parking Management System
 Wheelshare - Wheelchair Docking Stations
 Teporto - AI-powered Routing System for Commuter Shuttles
 Clicksoft - Property Tax Discount Request System
 UMo Urban Mobility - AI for Sustainable Transportation in Smart Cities
 NortecView - Geospatial Field Data Capture
 Tondo - Connected Lighting Solutions for Smart Cities
 Haystack Magic - Tracking Physical Assets with the Mobile Sharing Economy
 GeoSim - HD 3D City Modeling
 IonTerra - Visual Analysis for Autonomous Driving

GIS WIZ- Solutions for Geographic Database Creation
TimeLord - Comprehensive Management System for Activities and Events
CityShob Software - IoT Data Gathering and Analysis from Urban Assets
Optibus - Public Transit Optimization Software
UrbanGym - Outdoor Fitness for Smart Cities
BeNear - Personal Guardian Mobile App
Mixed.Place - Augmented and Mixed Reality Infrastructure
Emelai - Digital Solutions for Habit Formation
Seamless Vision - Autonomous Navigation in Urban Areas
Cortica - Next-generation AI Technology
mPrest - Monitoring and Control Software
P-Pulse - Mapping the Internet of People

: (חברות 21) Industrial Technologies

ElectReon - Wireless Electric Power System for Public Transportation
Moving Life - Folding Mobility Scooter
Roadix Urban Transportation - Self-centering Portable Electric Scooter
Telematics Wireless - Wireless Communication Equipment for Municipal Systems
Mobility Insight - Smart Urban Traffic Management Technology
NovaSens - Solutions for Smart Cities
NoTraffic - Traffic Management Platform
Ayyeka - Remote Infrastructure Monitoring
Gaash Lighting - Indoor and Outdoor Lighting Manufacturer
CommonSense Robotics - On-demand Grocery Delivery Solution
TreGo - Versatile Cargo Attachment for Bikes
Roadcode - Pothole Repair
RIDOR - Foldable Tricycle
D-Led - LED Illumination and Control Systems Developer
Databin - Monitoring Solution for Waste Disposal Bins
AIRLIFT One - Electric VTOL Air Taxi for Transporting People and Goods
Lidror BioPark - Disabled Parking Fraud Prevention
Virtual Extension - Wireless Smart Lighting Control Systems
Eltam Ein Hashofet - Advanced Lighting System Design and Manufacturing
Mobix Wireless Solutions - Advanced Metering Infrastructure and Smart Grid Solutions
Silentium - Active Noise Reduction Equipment

: (חברות 16) Social Media and Advertising

Webus - Taxi-sharing App
Uvilaj - Collaborative Mapping for Smart Communities
Parsempo - Self service Platform for Digital Screen Networks
CTconnect - Advanced Communication Solutions for Smart Cities
Darimpo - Apartment Building Maintenance Platform
Juno Lab - Ride-sharing Platform
Eyfo - Database of Free Services
Foodonet - Mobile App for Reducing Food Waste
Sidekix - Navigation App for Urban Pedestrians
Okiano - Online Community Marketplace
Angels Mobile - Social App for Giving and Receiving Help
Via - Transit on Demand
ShareRoute - Personalized Ride-sharing Platform
Musketeer - Social Safety Network Mobile App
Sodyo - Interactive Scanning Technology
Quay Express - Intercity Delivery Service

: (9 חברות) Fintech and eCommerce

VOOM Insurance - Telematics-based Insurtech Platform for Specialized Mobility Products
PARX - Parking Management Solutions
Supersmart - Shopping Basket Statistics Engine
DOV-E - Mobile Payment Solutions
TankU - Mobile Payments for Fleets and Private Motorists
On Track Innovations - Cashless Payment Solutions
Pango - Mobile Parking Tool
HopOn - Mobile Payment for Public Transportation
Tugger - Car Towing Insurance

: (5 חברות) Consumer Electronics

SolidRun - Embedded Computing and Network Solutions
Yotta Green - Smart Home system, presenting new services based on Data and AI technology
Step-Hear - Accessibility Solutions for People with Disabilities
DeviceTone - Ready-to-run IoT Software
Cloud-Wise - In-vehicle Road Safety Communication

: (3 חברות) Enterprise Solutions

Pixtier Maps - 3D-mapping Software
Moovex - Transportation Management and Optimization Platform
TriDiNetworks - Cloud Platform for Wireless M2M and IoT Networks

: (2 חברות) Digital Health and Medical Technologies

RightHear - Navigation Solution for People with Vision Impairment
Vitalitix - Connecting Seniors to a Support System

: (חברה אחת) Education and Knowledge Technologies

Wandering - Location-based Learning Platform

3.8.2 נספח ב': סיכום ראיון עם האדריכל רפי רייש. (מומחה לערים חכמות). ניהל את הפרויקט דניאל רענני, בוגר בית הספר לקיימות בבינתחומי.

מראיונות: ציפי בוכניק וורד גלעד

הנושא של ערים חכמות מתנהל בשני מהלכים מקבילים:

1. רובד טכנולוגי טהור-כל מה שקשור ל-IOT, חיישנים, Data.
2. רובד בתחומי הניהול, תכנון, קיימות.

מה זה ערים חכמות?

לפי השוק: שימוש בטכנולוגיה לניהול עירוני לבין ניהול ערים צמצום אי ודאות, כלים אחרים וכדו'.

כוח האדם שנמצא היום מוכוון לפתרונות ופחות במענה לאתגרים.

השוק היום החל מחברות ענק שבעיקר נמצאים שם גופים שעוסקים בפיתוח מערכות טכנולוגיות תקשוביות כמו CISCO, חברות שעוסקות בביטחון למשל, חברות שעוסקות במצלמות- החל מהגופים האזרחיים של אלביט וכלה בחברות שמאפיינות מערכות ומוכרות ציוד לטכנולוגיות של עיר ללא אלימות. חברת Logic שנמכרה פעלה בעבר. הרבה מאוד חברות הזנק, ישראל דיגיטלית משפיעה. הרבה אקסלרטורים וגופים עירוניים בעיקר האקסלרטורים בהרצליה ותל אביב. זה הרובד הטכנולוגי הראשון.

לגבי הרובד השני, יש מעט מאוד הבנה ברשויות המקומיות איזה שינויים ומהלכים הם צריכים לעשות כדי לאפשר להנהלת העיר להתנהל עם אתגרי המאה ה-21 שהם בעיקר: אי ודאות ניהולית, משבר תשתיות, משבר דיור וכו'.

המטולטלת נעה כל הזמן בין שני הרבדים, בעיקר עפ"י אינטרס החברות.

מה המעמד של ישראל בעולם בתחום?

רפי הוביל ב-2018 הקמת מדד ישראלי לערים חכמות, יחד עם המרכז הבינתחומי. פנו ל-37 רשויות מקומיות שישתתפו. הפנייה היתה לשני סוגי רשויות. האחד פורום 15 שמובילה בהרבה דברים ולכן צריכה להוביל מהלך כזה והסוג השני אלה ערים שפורסם שעוסקות בערים חכמות.

השיבו 27 רשויות שהן מעוניינות, בסופו של דבר השלימו את המהלך 20 רשויות. זה אומר ששבע רשויות הבינו שהם לא בתחום ערים חכמות.

יש אתר למדד והסברים על המדד. <https://smartcities.co.il/> מדד IDC לערים חכמות ומקיימות.

כ-15 רשויות עומדות בסקאלה של ערים שעוסקות בערים חכמות. המדד בדק שיש אסטרטגיה ושיש יישום עפ"י אסטרטגיה. עיריית תל אביב עושה הכי הרבה בתחום.

ערים פעילות: תל אביב, אילת, נתניה, אילת, באר שבע, כפר סבא עושה מאוד חכם דברים מעניינים.

במדד יש 4 תחומי עשייה: רובד אסטרטגי- האם יש תוכנית פעולה שבוחנת אתגרים עירוניים ומנסה לבנות אסטרטגיה של חדשנות לאתגרים שלה. רובד שני שירותים דיגיטליים וניהול מבוסס מידע, השלישי רובד של תשתיות חכמות או מענה חדשני לאתגרי תשתית ושירות, הרביעי שימוש בכלים דיגיטליים שמספרים את הכלכלה העירונית.

המדד לקח את כל המדדים שקיימים היום בעולם ובחן אותם באופן ביקורתי. המטרה היתה לא רק למדוד שימוש טכנולוגי, לא רק חדשנות או רק קיימות, או פוטנציאל לכלכלה חדשנית ברשויות.

בפועל, חלק ניכר מהרשויות נוסע לכנסים בברצלונה, בגני התערוכה של מרכז השרות המקומי, קורא מאמרים בעיתונים ומקבל החלטות וזה מייצר אתגרים חדשים. מטמיעים מערכות טכנולוגיות שמצריכות משאבים וכוח אדם. בירושלים יש שלושה מוקדים: ביטחון, שרותי תחבורה ומוקד השגרה 106. צריך כ"א שישתכל למצלמות בכל מוקד ומערך שמגיב.

קצין אבטחת מידע אין באף עירייה. יש מעט עיריות שקבעו מדיניות אבטחת מידע ברשות. יש הרבה אתגרים ובעיות.

החברה של רפי- חלק ניכר מעבודתם זה לרשויות בנושא של חדשנות עירונית בשני רבדים: תהליכים רגולטוריים- משלבים את עולם התשתיות החכמות מתוך ראייה של 10-3 שנים קדימה. לדוגמה מקום עם אתגרים עירוניים מאוד משמעותיים בחדרה שנקרע רובע הים. החברה בנתה אסטרטגיות עם מדדים ברורים ליצירת קהילות, ראיית פני עתיד מבחינת ניהול ועוד- כל הרובד האסטרטגי ללא בחירת הטכנולוגיות. מגדירים את הדרישות הטכנולוגיות, משתמשים במה קיים היום אבל מייצרים רובד רגולטורי ורובד מרחבי. אין הרבה תוכניות כאלה בעולם. בדרך כלל בוחרים טכנולוגיה עכשווית, זורקים דברים פנימה ורואים מה קורה.

הטענה שעיר חכמה זה לא טכנולוגיה, זה קודם כל תפיסה אסטרטגית וניהולית אחרת, שיש בה רובד מרחבי. למשל, אם אתה קובע טכנולוגיה מסוימת אך לא יכול לאפשר אותה מבחינת אחוזי בניה שימושי יעודי בעלויות וכו', אז אתה מדבר באוויר. שיטות אנרגיה חכמות שבהן הרובד הרגולטורי והרובד המרחבי זה 80% מהעבודה. שם הגדירו אסטרטגיות בתחום האנרגיה ותמהיל פתרונות רלבנטי ואת ההיררכיה ביניהם. מידע הוא כלי לתיקוף פתרונות וקביעה מה הפתרון הנכון ביותר ואולי צריך לשנות את הרגולציה. מזמיני העבודות הן עיריות, משרד השיכון. זה דורש מנהיגות. באופקים שכונה שמכפילה את התושבים בעיר. כרגע בשלבי שיווק. רואים פערים ומייצרים פתרונות טכנולוגיים ואחרים.

יעוץ לעיר חכמה יש כ-10 חברות בישראל. לאף אחת אין הבנה של תהליכים רגולטורים כי כולם מגיעים מרקע של חברות טכנולוגיה. ויש גם חברות יעוץ כלכלי, בישראל בעיקר דלויט אבל בעולם יש יותר. בעולם יש נגישות לנתונים והם עושים לא מעט. EY, PDC ועוד.

השאלה האם צריך להגדיר מקצוע של יועץ או מנהל עיר חכמה? יש צורך בתקופת מעבר ביועצים. לדעתו של רפי, אנשים שיצאו מחברות טכנולוגיה, הם לא האנשים המתאימים בשביל להיות יועצים בנושא עיר חכמה לרשויות. אם מדברים על רובד מסוים של טרנספורמציה דיגיטלית של תהליכים עירוניים – איך לשפר את היכולת הדיגיטלית של רשויות?, איך לעסוק בסייבר? איך לשפר את השירות? פה היכולת של אנשים של ארגון ושיטות ואנשים שעוסקים בדיגיטציה מתאימים. אבל עיר חכמה זה רובד הרבה יותר מורכב מזה. כמו שרפי מעיד על עצמו שהוא עושה גם במערכות דיגיטליות, אנרגיה, מים וביטחון וכו'. הקורס שלו מטרתו להנחיל הבנה של השפה בקרב מתכננים ובקרב מי שהולך לעבוד ברשויות. במקום להיות במצב של מישהו שמתלהב מזה שהוא מכיר את הטכנולוגיה ולמד IOT, או מנהל מערכות המחשוב בעירייה שהיה אחראי על רכש של מחשבים ותוכנות ועכשיו אחראי גם על חדשנות, הרובד הנכון הוא להכשיר אנשים שאמורים לעסוק בתפר בין אסטרטגיה לביצוע את הכלים להחליט האם מה שמציע להם המנמר מתאים לבעיות שלהם, איך אני מטמיע חדשנות בתוך המהלכים האלה. בטכניון סיימו ארבעה מחזורים את הקורס, רואים את הבוגרים של הקורס שעובדים ברשויות המקומיות, שידועים לראות התלהבויות יתר של רשויות מפתרונות ולא תפיסה רחבה. רפי העביר כבר 5 קורסים במרכז השלטון המקומי לעובדים של רשויות מקומיות.

יש קורס בבין תחומי שרפי לימד בו. קורס חובה בתואר ראשון בקיימות. קורס ערים חכמות בבית ספר לקיימות. היה קורס שרפי לימד שנתיים בבר אילן ורצו שיעשה קורס בתואר שני למדיניות ציבורית. יש קורס במסגרת תואר שני בלימודי סביבה בפורטר, שמעבירה אורלי רונן. אלה 4 המוסדות שמלמדים ערים חכמות: בר אילן, הבינתחומי, הטכניון ואוניברסיטת ת"א.

כל העניין של הסייבר ואבטחת מידע, אין בכלל הכשרה וזה קריטי להכשיר מנמרים לעניין זה או לייצר מקצוע חדש של קצין אבטחת מידע או מנמרים בעלי ידע בנושא. זה נושא קריטי.

רפי מאמין בצורך לייצר צוותי חדשנות ברשויות המקומיות. אם לכל עירייה. יש צורך באדם אחד או שניים שינהלו את תהליכי החדשנות בכל עירייה.

צוותי בלומברג- צוותים במימון קרן בלומברג, שמטרתם לשנתיים שלוש להיות צוות חדשנות ייעודי בתוך העירייה, בכפוף לראש העיר. תפקידו לטפל באתגרים עירוניים, בד"כ רב מחלקתיים, ולייצר להם תהליכי עבודה ופתרונות. היו צוותים כאלה בת"א, ירושלים ובאר שבע. בתל אביב הפסיקו. בד"כ צריך את זה דווקא ברשויות קטנות שבהן יש אתגרים גדולים ומשאבים מצומצמים. החברה של רפי ממליצים

שיהיה צוות כזה בכל רשות, גם אם הוא מורכב מאדם אחד שמנהל את החדשנות העירונית, שלא עושים בשוטף אבל יודע לתכנן. פה צריך לייצר גם הכשרה למהלך. בלומברג עשה נטוורקינג. לא בהכרח טכנולוגיה, זה אפילו בלי טכנולוגיה. זה לחשוב מחוץ לקופסא. בארץ בעיקר כיום יש פתרונות, החל מפתרונות מקומיים. לייצר הכשרה לכוח אדם קיים. כיום המדינה מממנת הכשרות למסלולים דיגיטליים של הנושא, אבל יש צורך גם בדברים אחרים, כי דיגיטלי בלבד דן את הרשויות להתמכר לטכנולוגיה.

יכול להתקיים בפקולטות: תכנון ערים, תעשייה וניהול, מנהל עסקים. רפי בנה טיוטה לתואר שני בערים חכמות לבינתחומי, שלפיה שלישי קימות ותכנון, שלישי מדיניות ציבורית ושלישי יזמות וחדשנות. צריך להבין בכל הרבדים. זה רב תחומי ולא חד תחומי.

3.8.3 נספח ג': סיכום ראיון עם עוז שנהב – מנהל מחלקת חדשנות ופיתוח מדיניות ברשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים

בישראל יש פערים גדולים בין הערים - עיר כמו תל אביב שהיא מאוד מתקדמת וערים/רשויות שאין להן אפילו אתר אינטרנט. יש ערים שאתה עדיין משלם ארנונה בפתק - נתיבות, קלנסואה.

תל אביב היא מהערים המובילות בעולם בתחום ערים חכמות. - מה שחכם בתל אביב זה שהעירייה עושה הכל למען התושב - נותנים שרות לתושבים - יעיל, זריז המחשבה היא לרווחת התושבים.

לדעתי ערים חכמות מזהות צרכים ויודעות לזקק אותן ולהגיד "בצורך הזה אני רוצה לטפל".

סוג אחר של "ערים חכמות" - זה ערים שקונות מה שמוכרים להן. לדוגמא פתח תקוה קונה סנסורים ומרשתת את כל העיר אבל אין לזה כל שימוש.

בשביל להתקדם באמת העיר צריכה להישען על המנמ"ר (מנהל מערכות מידע) ועל איש חדשנות שבדוק מה מתאים לעיר ומה לא. במדינת ישראל יש ערים שאין את החדשן רק את המנמ"ר.

לכפר סבא ולנתניה מנהל אגף החדשנות יש איש חדשנות מאוד דומיננטי והוא זה שמחליט במה העיר משקיעה.

מה זה חדשנות - הייתי קורא לזה התחדשות - לקחת ישן ולחדש. זה שונה מיזמות שזה להמציא משהו חדש. בהרבה מובנים חדשנות מיישמת יזמות.

איש החדשנות אמור להסתכל על הבעיות ולפתור אותן בעזרת חדשנות. (לדוגמא אם יש בעיה בגינה ציבורית - אלימות - איש החדשנות צריך להעלות את הבעיה ומנמר צריך לתת פתרון וליישם את זה.)

דוגמא נוספת התחזית היא כי בעוד חמש שנים תהיה תחבורה חשמלית רחבה - אני רוצה טעינה בכל רחוב - צריך כבר עכשיו לתכנן את הפתרון.

בת"א, נתניה כפר סבא - יש תהליכים של קביעת מדיניות.

הכישורים הנדרשים לאיש חדשנות - סקרנות וראיה מערכתית

אין אחידות בין האנשים שעוסקים בתחום הזה.

מקצוע החדשנות לא מטופל - אם אפשר היה להטמיע איש חדשנות בכל עיר זה יכול לשפר מאוד את התהליכים.

התפקיד של איש חדשנות זה לבוא לעיר לבדוק לאן היא רוצה להתפתח, לאן העולם הולך ולקבוע מדיניות - זה דבר שחסר בערים בארץ

בנתניה איש החדשנות הוא הסגן של המנמ"ר - הם זיהו אותו כאיש עם הכישורים להיות איש חדשנות.

ממליץ לדבר עם אנשים מישראל דיגיטלית- הגוף הזה עתיר תקציבים ומשפיע לחיי תושבי מדינת ישראל

בנוי משלוחות ממליץ לכם לדבר עם - דרור מרגלית - סגן לערים חכמות.

https://www.gov.il/he/departments/people/dror_margalit

משפיע מאוד – מרכז הכשרות של מובילים/מאיצים דיגיטליים ברשויות.

גם אתר 265 – מרכז את כל הפרויקטים ברשויות המקומיות <https://www.265.org.il/>

איש חדשנות בכל עיר זה פתרון לקידום נושא הערים החכמות – הוא צריך להיות חדשן, איש מחקר, איש שיש לו קשרים ויודע לעשות התקשרויות (הבנה בפרטיות, חוזים וכד')

בתל אביב יש עו"ד שעוסק רק בנושא של הגנת הפרטיות – הכל עובר קודם כל דרכו

מה שישראל דיגיטלית עושים זה נכון – הם עושים הכשרות למאיצים/מובילים דיגיטלים לאנשים שיוצאים מתוך הרשויות ואז חוזרים ליישם. – יש שני קורסים כאלה.

יש מקום לעשות עוד – לא נעשה מספיק

חברות/אנשים לפנות אליהם

- מלג"מ – חברת גביה מוניציפלי – שתי חברות בת:

○ פנגו

○ Afkon¹⁰²

- רותם אסטרטגיות - <https://www.rotem-strategy.com/>

- אוניברסיטת תל אביב – טלי חתוקה ומיכאל ברינאק – מחקר על ערים חכמות¹⁰³

3.8.4 נספח ד'- סיכום ראיון עם פנינה פלאוט

פרופסור חבר מן המניין בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון, ועמיתת מחקר בכירה במרכז לחקר העיר והאזור בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון (משנת 2000 ועד היום). ראש המרכז לחקר העיר והאזור בטכניון (2006-2008).

ערים חכמות זה קונספט שאוהבים להתהדר בו. מה שקורה היום הנושא הוא בעיקר מוכל על ידי טכנולוגיה. חברות שמייצגות טכנולוגיה – סנסור כזה או אחר, פתרונות תחבורה ... "דוחפות לעיר".

ובדרך כלל עיריות שמחות לקחת את זה, אבל עם הרבה מהטכנולוגיות לא באמת יודעים מה לעשות.

חסרה חשיבה אסטרטגית עירונית ואין מספיק כוח אדם בתכנון אסטרטגי העירוני במקומות שמקבלים החלטות לייצר חשיבה אסטרטגית לעיר חכמה. יש תכנון עירוני שעובד כמו שהוא ויש כל מיני ניסיונות לדחוף כל מיני טכנולוגיות.

יש עיריות שמתמצאות בזה – לדוגמא ת"א. ת"א דיגיטלי – זה מיושם מאוד יפה – אבל זה לא פורץ מעבר לזה.

אין חשיבה כללית אסטרטגית. זה מובל ע"י טכנולוגיות.

הסיפור השני זה מה עושים עם כל המידע. כל הסיפור של ערים חכמות זה Big Data . מיכל ענק של נתונים.

מצד אחד זה יושב אצל הגופים הפרטיים (פלאפון, מצלמות...) והם נאגרים בכל מיני מקומות.

צריך לפתח מודלים של ציבורי-פרטי. זה חשוב מאוד ואת זה אין לנו. לגוף הציבורי אין כוח וידע מה לעשות עם זה לכן צריך ראייה אסטרטגית וגם מה לעשות עם זה.

¹⁰² <http://www.afcon.co.il/activity/%D7%9E%D7%91%D7%A0%D7%99%D7%9D-%D7%95%D7%AA%D7%A9%D7%AA%D7%99%D7%95%D7%AA%D7%98%D7%A2%D7%99%D7%A0%D7%AA-%D7%A8%D7%9B%D7%91%D7%99%D7%9D/>

¹⁰³ <http://lud.tau.ac.il/wp-content/uploads/2018/11/%D7%94%D7%A2%D7%99%D7%A8-%D7%91%D7%A2%D7%99%D7%93%D7%9F-%D7%94%D7%93%D7%99%D7%92%D7%99%D7%98%D7%9C%D7%99-%D7%AA%D7%9B%D7%A0%D7%95%D7%9F-%D7%98%D7%9B%D7%A0%D7%95%D7%9C%D7%95%D7%92%D7%99%D7%94-%D7%A4%D7%A8%D7%98%D7%99%D7%95%D7%AA-%D7%95%D7%90%D7%99-%D7%A9%D7%95%D7%95%D7%99%D7%95%D7%9F.pdf>

צריך לפתח סוג של חשיבה – נתונים זה סוג של תשתית וכך צריך להתייחס לזה.
חסרה הכשרה של כוח אדם ואנשים שמבינים ב"עיר". זה עולם חדש שנפתח ומואץ ויש בזה גם היבט של אתיקה וסודיות.

ההכשרות שצריך – ניתוח Big Data – זה יושם בתעשייה
ניהול במחשבים – זה אנשים שלא מבינים בעיר.

לפתוח תוכניות בין-יחידתיות בנושא ערים חכמות – זה מאפשר לייצר סינרגיה.
צריך להיות שילוב בין ארכיטקט שיש לו נטיה להתעסק עם נתונים וצריך לדעת מה אפשר לקבל מהם.
יש פה גם עניין של אי שוויון – זה תחום מאוד יקר – צריך אנשי מקצוע ורמה גבוהה.
צריך להתחיל לחשוב על פלטפורמות שונות לנושא הזה – מי מקבל את הנתונים ומי מנתח אותם.
לעיר חכמה יש שלושה שותפים: עיר, אקדמיה ויזמים

עיר צריכה להגדיר מה חסר לה – לא התפקיד שלה לבנות – זה צריך לתת לשוק הפרטי
שוק חדש של יועצים לערים חכמות

חשיבה של שת"פ ציבורי-פרטי – זה המקום שהממשלה יכולה להשפיע. צריך לחשוב על יצירת
פלטפורמות של שת"פ.

צריך לאתר איפה יש נתונים ומי השחקנים ולמפות את האקוסיסטמה.
חשוב להבין מה יש – מה הנתונים שקיימים ומה אפשר לקבל מהם.
רכב אוטונומי + עיר+ השפעה – מדיניות עירונית
גם בעולם התחום הזה מיושם בצורות שונות
בוסטון – מוטה תושבים דיגיטלי

ברצלונה – אתר ניסוי לטכנולוגיה זה לא שיש לה ראייה – אני כעיר רוצה לפתוח פתח לניסויים עירוניים.
החברות מספקות פלטפורמות לעשות ניסויים. מצוין עבור היזמים. – אתרים לניסוי של רכב אוטונומי
חברות טכנולוגיות : IBM; סיסקו

וינה – היא יותר ראייה אסטרטגית אפשר לדבר עליה בראיה יותר רחבה. וגם הפתרון שלהם הוא לא
משולב. לא מגיע לרמה של הנתונים

נתונים של תחום אחד יכולים לשמש לתחום אחר ולקבלת החלטות.
הטיפול ב Big Data לא פתור בשום מקום בעולם. EU – ברמה של מדינות.
מעבדה לחדשנות בבר-אילן – יותר פרויקטלים
אוניברסיטת ת"א – מכון לתחבורה חכמה
חסר החיבור – הממשק - טכנולוגיה יש – זו הבעיה של העולם החדש

התחום לא מוסדר בכלל, המדינה כן צריכה להיכנס לזה – לא רק בהיבט המשפטי. צריך להבין מה
הבעיה בצד הציבורי.

יש כאן כשל שוק וצריכה להיות הסדרה של המדינה. הפרלמנט האירופי מנסה לעשות את זה. רק
עכשיו מתחילים להתעורר ולהבין שיש בעיה.

לאור זה שיש טכנולוגיות יש מקום לפתח את התחום ואנחנו יכולים להיות מובילים - הטכניון יכול להיות
מוביל עולמי

יש קורסים בנושא ערים חכמות אבל לא תוכנית ספציפיות

יש ביקוש וזה פותח אופקים חדשים לשני הצדדים. אנשים שעוסקים במודלים בטכנולוגיה אין להם שום
ראיה לתחום של תכנון עירוני.

מדע וטכנולוגיה



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 3200003
www.neaman.org.il