

# אגירת אנרגיה חשמלית

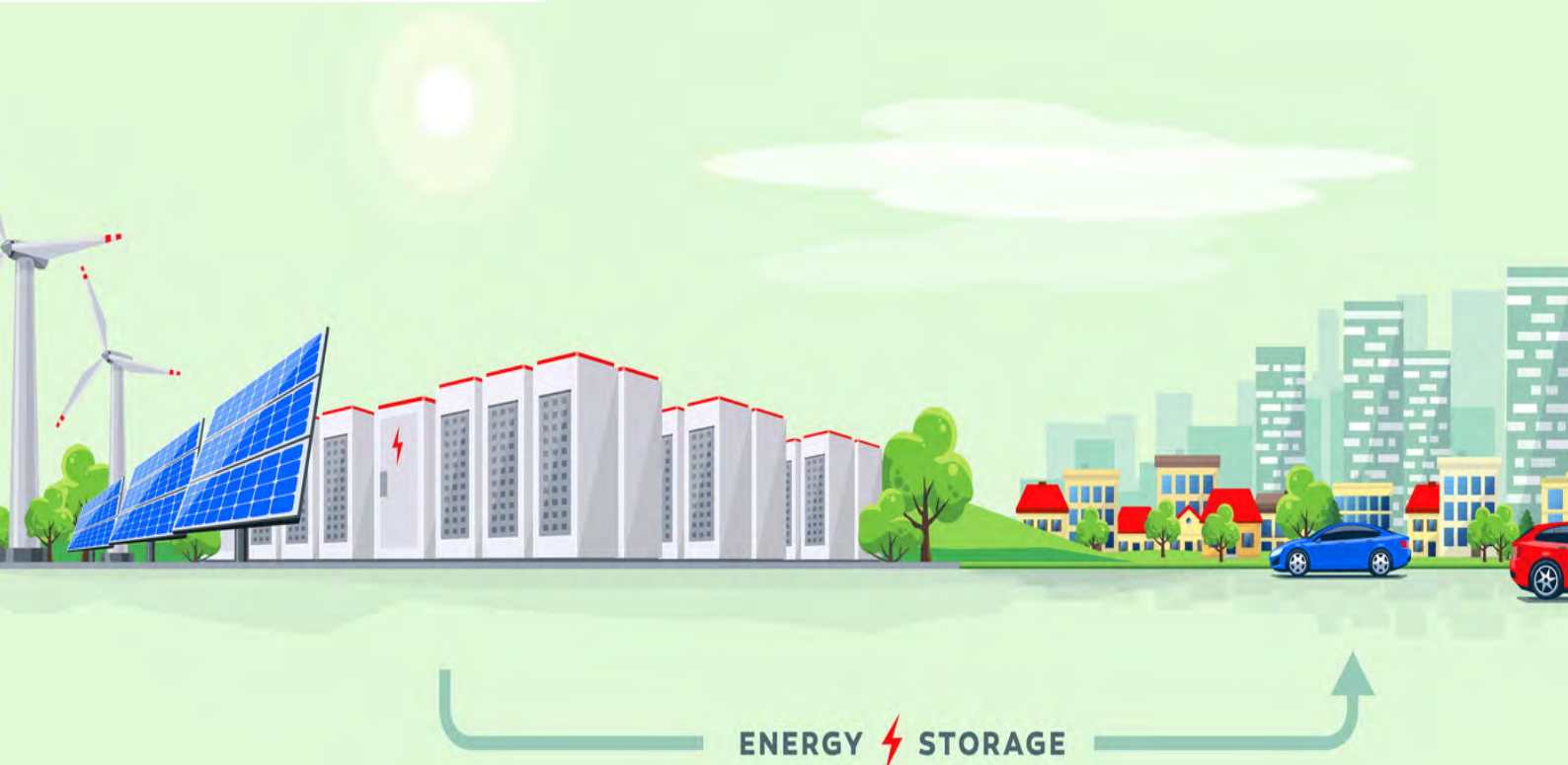
סיכום והמלצות  
דיון פורום אנרגיה 54

פרופ' גרשון גרוסמן |  
איילת רוזה

מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית



אנרגיה וסביבה | 07/23





מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית

# אגירת אנרגיה חשמלית

סיכום דיון והמלצות  
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן  
מיום 02/05/2023

---

פרופ' גרשון גרוסמן  
איילת רוה

אוגוסט, 2023

---

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים  
קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

---

## רשימת משתתפי הפורום

---

מר אברהמי משה – ראש אגף תעשייה, זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות  
פרופ' אורבך דורון – המרכז לאנרגיה וקיימות, אוניברסיטת בר-אילן  
ד"ר בורשטיין דורון – חברת סולראדג'  
מר בית-הזבדי אדי – משרד התשתיות, האנרגיה והמים, אגף שימור אנרגיה (לשעבר)  
מר בן-דוד אילן – חברת זוז פאואר  
גב' בן דניאל רויטל – כימיקלים לישראל (ICL)  
מר בן-נון ירון – יזם ומנהל טכנולוגי, חברת נוסטרומו  
פרופ' אמריטוס גוניק אהרון – אוניברסיטת בן גוריון  
פרופ' גרוסמן גרשון – ראש פורום האנרגיה, מוסד שמואל נאמן  
ד"ר וינשטוק דן – יועץ חשמל בכיר  
מר יונתן צבי – דירקטור, אגירת אנרגיה, כימיקלים לישראל, ICL  
מר שי כהן, מנכ"ל ומייסד חברת Storage Drop  
מר לוי עמנואל – חברת פינרג'  
מר ליבס עידן – חברת אגירה עידן חדש לישראל  
פרופ' נוקד מלאכי – המחלקה לכימיה, אוניברסיטת בר-אילן  
פרופ' עין-אלי יאיר – הפקולטה להנדסת חומרים, הטכניון  
ד"ר פרידמן גדעון – המדען הראשי בפועל, משרד האנרגיה  
ד"ר צבר ניר – המחלקה להנדסת מכונות וראש המרכז לחקר אנרגיה, אוניברסיטת אריאל  
גב' רוזה איילת – מידענית ועוזרת מחקר, מוסד שמואל נאמן  
מר רשף ברק - יועץ חשמל בכיר, לשעבר סמנכ"ל פיתוח בחברת "נגה"

## תוכן העניינים

2	רשימת משתתפי הפורום.....
4	תקציר מנהלים.....
6	1. הקדמה.....
7	2. רקע.....
8	3. מידע: אגירת אנרגיה חשמלית.....
19	4. דיון.....
24	5. סיכום והמלצות.....
24	נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה.....

## תקציר מנהלים

רשת החשמל, מטבע הדברים, פועלת במצב לא מתמיד, עם תנודות גם בצריכה וגם בייצור. מכאן נובעות בעיות לא-פשוטות בניהול הרשת. קיימות מספר דרכים לטפל בבעיות אלה, שהמידית ביניהן היא מנגנון בקרה של חברת החשמל המכניס לפעולה או מנטרל תחנות כוח מסוגים שונים העומדות לרשות מנהל המערכת. השימוש במנגנון זה אינו חפשי מבעיות, ביניהן יציבות התדר. אחד האמצעים המעולים והנוחים לטיפול בתנודתיות הרשת הוא אגירת אנרגיה חשמלית. במקטע ייצור החשמל מסייעת האגירה להתגבר על בעיות כגון שיאי ביקוש ("פיקים"), ייצוב תדר, רזרבה סובבת ברשת, ואמינות אספקה. במקטע ההולכה תורמת האגירה לייצוב רמות מתחים, הקלה על עומסים בקווי הולכה ועוד. גם בתחום רשת החלוקה יכולה אגירה לתרום להקטנת ביקושים, ביזור, התמודדות עם תעריפים משתנים בשעות שונות ואמינות אספקה. כאן יש מקום לאגירה מקומית, אצל הצרכן, ולא דווקא בקנה מידה של הרשת (GRID SCALE). בנוסף, יש לאגירה תפקיד חשוב בהחדרת אנרגיה ממקורות מתחדשים כגון שמש ורוח, אשר מטבעה היא בלתי-רציפה.

ישנם אמצעים שונים לאגירת אנרגיה, והדרך הנכונה מבחינת המשק היא להשתמש בתמהיל של טכנולוגיות. חלקן מתאימות רק בקנה מידה גדול, כגון אגירה שאובה, בעוד אחרות הן מודולריות, כגון סוללות, וניתן להשתמש בהן בקני מידה שונים. מכיוון שמקור האנרגיה הראשוני הוא בדרך כלל חום, הנובע משריפת דלק או קרינת שמש, יש מקום לאגירת חום שממנו יוצר חשמל בעת הצורך, לעומת ייצור חשמל ואגירתו בתור שכזה.

לאגירה מקום חשוב במשק החשמל ובתרומה לחיסכון ולהגנת הסביבה. מבחינה זו יש לראות אמצעי זה כחשוב לא פחות מאשר אנרגיה מתחדשת, וראוי לתמריצים מתאימים.

נתונים שהוצגו בפורום מציינים כי נכון ל-2020 קיימת בעולם יכולת אגירה של כ-8500 ג'יגה-וואט מותקן<sup>1</sup>. למעלה מ-90% מזה היא אגירה שאובה בכל העולם. לפי נתונים אלה קיימת הערכה כי כ-1.8% מכל תפוקת החשמל העולמית כיום מלווים באגירה. מלבד האגירה השאובה קיימות טכנולוגיות אגירת חום, גלגל תנופה (Flywheel), גרביטציה, אוויר דחוס ושיטות אלקטרוכימיות, ביניהן סוללות למיניהן. בישראל כמו בשאר העולם קיימים חסמים רבים ליישום, לא רק כלכלית, אלא גם מבחינת רגולציה. אחד הנושאים שמתמודדים איתם היום בעולם הוא: האם האגירה נופלת תחת הקטגוריה של ייצור?

### המלצות:

1. דרושה תכנית אב לאומית המתייחסת למשק החשמל הישראלי, שתקבע מה היעד, לא רק באנרגיות מתחדשות אלא גם בנושא אגירה - לאיזו תפוקה רוצים להגיע.
2. יש לטפל באתגרים הקשורים לאגירה כמכלול, תוך דגש על האגירה המבוזרת, וזאת באמצעות מתקני ייצור הכוללים יכולת אגירה מקומית, כולל התקנת אגירה בגגות פרטיים בהם יש ייצור סולארי ( זה יאפשר הגדלת ייצור ע"י הקטנה של הקיטום וכן הסטה של אספקת חשמל סולארי לשעות הלילה).
3. יש להנהיג פרוטוקולים ותקנות כדי לקבוע עבור מתקני אגירה איך יתחברו לרשת החשמל, ולקבוע את הנצילות של המערכות כדי שאפשר יהיה להשוות בין הטכנולוגיות השונות.

<sup>1</sup> <https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage>

4. רצוי להתחיל הסדרת מתקני אגירה בהיקפים קטנים, כפי שהיה במערכות הפוטוולטאיות שחדרו בקצב הולך וגדל למשק החשמל. אין מקום להצביע על טכנולוגיה מועדפת, אך חשוב להגדיר את מגרש המשחקים בצורה גמישה ולתת לכולם להתחרות. ושהטוב (או הטובים) ינצח.
5. יש לעסוק בהזדמנויות הבין לאומיות, ואיך לקדם את החברות הישראליות לשם. יש לבדוק את האפשרויות העסקיות היכולות לשרת את הכלכלה הישראלית.

# 1. הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית, במסגרת פעילותו בתחום האנרגיה, מקיים מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום. בפורום האנרגיה מתקיים דיון ממוקד בנושאים מוגדרים, בהשתתפות צוות מומחים המוזמנים לפי הנושא. המטרה היא להתרכז בשאלות רלוונטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציג בפני מקבלי החלטות.

המפגש הודן בנושא: "אגירת אנרגיה חשמלית", התקיים ב-2 למאי 2023 באופן מקוון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה הודות למומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מהמשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות תחת "[מפגש פורום האנרגיה](#)" באתר מוסד שמואל נאמן. בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. בפני משתתפי הדיון עמדו מספר שאלות, שהוכנו מראש, כמפורט בתוכנית הפורום (נספח 1).

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי ההחלטות במטרה להביא אל סדר היום את מכלול השיקולים, האתגרים וההזדמנויות בנושא של אגירת אנרגיה חשמלית.



## 2. רקע

רשת החשמל, מטבע הדברים, פועלת במצב לא מתמיד, עם תנודות גם בצריכה וגם בייצור. מכאן נובעות בעיות לא-פשוטות בניהול הרשת. קיימות מספר דרכים לטפל בבעיות אלה, שהמידית ביניהן היא מנגנון בקרה של חברת החשמל המכניס לפעולה או מנטרל תחנות כוח מסוגים שונים העומדות לרשות מנהל המערכת. השימוש במנגנון זה אינו חפשי מבעיות, ביניהן יציבות התדר. אחד האמצעים המעולים והנוחים לטיפול בתנודתיות הרשת הוא אגירת אנרגיה חשמלית. במקטע ייצור החשמל מסייעת האגירה להתגבר על בעיות כגון שיאי ביקוש ("פיקים"), ייצוב תדר, רזרבה סובבת ברשת, ואמינות אספקה. במקטע ההולכה תורמת האגירה לייצוב רמות מתחים, הקלה על עומסים בקווי הולכה ועוד. גם בתחום רשת החלוקה יכולה אגירה לתרום להקטנת ביקושים, ביזור, התמודדות עם תעריפים משתנים בשעות שונות ואמינות אספקה. כאן יש מקום לאגירה מקומית, אצל הצרכן, ולא דווקא בקנה מידה של הרשת (GRID SCALE). בנוסף, יש לאגירה תפקיד חשוב בהחדרת אנרגיה ממקורות מתחדשים כגון שמש ורוח, אשר מטבעה היא בלתי-רציפה.

ישנם אמצעים שונים לאגירת אנרגיה, והדרך הנכונה מבחינת המשק היא להשתמש בתמהיל של טכנולוגיות. חלקן מתאימות רק בקנה מידה גדול, כגון אגירה שאובה, בעוד אחרות הן מודולריות, כגון סוללות, וניתן להשתמש בהן בקני מידה שונים. מכיוון שמקור האנרגיה הראשוני הוא בדרך כלל חום, הנובע משריפת דלק או קרינת שמש, יש מקום לאגירת חום שממנו ייצר חשמל בעת הצורך, לעומת ייצור חשמל ואגירתו בתור שכזה.

לאגירה מקום חשוב במשק החשמל ובתרומה לחיסכון ולהגנת הסביבה. מבחינה זו יש לראות אמצעי זה כחשוב לא פחות מאשר אנרגיה מתחדשת, וראוי לתמריצים מתאימים.

## 3. מידע: אגירת אנרגיה חשמלית

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג על ידי חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו על ידי הדוברים מוצגים, תחת מפגש פורום האנרגיה, באתר מוסד שמואל נאמן. מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו הסדר (ראה תוכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

### פרופ' דורון אורבך – המרכז לאנרגיה וקיימות, אוניברסיטת בר-אילן

INERC – Israel National Energy Research Consortium

במימון הקרן הלאומית למדע ומאוחר יותר ות"ת ומשרד ראש הממשלה הקמנו והפעלנו למשך 12 שנים (החל מ 2012) ארגון לאומי שכולל היום 28 קבוצות מחקר בנושאי אנרגיה מ 7 מוסדות אקדמיים בשם

INREP – Israel National Research center for Electrochemical Propulsion

שמטרתו - פיתוח טכנולוגיות אלקטרוכימיות להנעה חשמלית, כולל את כל סוגי הבטריות וכלכלת מימן. במסגרת INREP הקמנו גם קונסורציום כלכלת מימן שמוביל אותו פרופ' ליאור אלבז מאוניברסיטת בר-אילן.

בנושאי אנרגיה, הפכנו תחרות בין קבוצות מחקר לשיתוף פעולה בין מוסדי מסועף. התקציב השנתי הממוצע ב- 10 שנות הפעילות הפורמליות עמד על 11 מיליון ש"ח. INREP ממשיך להתקיים גם ללא מימון חיצוני, מאז 2021, בזכות שיתופי פעולה שנרקמו בין השותפים.

בשנה האחרונה, INREP שודרג ונקרא:

Israel National Energy Research Consortium (INERC), נוספה גם פעילות בנושאי אנרגיה סולרית. INERC כולל 33 קבוצות מחקר מהטכניון, מכון וויצמן ומאוניברסיטאות תל-אביב, אריאל, בן גוריון, העברית ובר-אילן.

במסגרת INERC אנו מפתחים סוגים רבים של סוללות נטענות להנעה חשמלית ולאגירה רחבה של אנרגיות מתחדשות. אנו מפתחים גם התקנים ליצור מימן ותאי דלק. עבודתנו כוללת שתופי פעולה נרחבים עם תעשיות מובילות בעולם (BASF, SAFT, GM, ATL, Nichia) ובארץ (חברת חשמל, כימיקלים לישראל, בז"ן) וכן עם קבוצות מחקר רבות במזרח הרחוק, אירופה, אוסטרליה, ארה"ב, קנדה, וארגנטינה).

### שיתוף פעולה מדעי עם מרוקו

יצרו איתנו קשר מדענים מרוקאים (במרוקו הוקם בהשראתנו קונסורציום אנרגיה מקביל הכולל עשרות מדענים) ונוסד שיתוף פעולה מדעי רשמי בין ישראל למרוקו שכולל את כל 33 קבוצות המחקר החברות ב INERC ועשרות מדענים מרוקאים מ-5 אוניברסיטאות שם. שיתוף הפעולה עם הקונסורציום המרוקאי כולל 4 תחומים: סוללות, מיחזור, כלכלת מימן ואנרגיה סולארית.

נחתם הסכם עם נציגות הקונסורציום האנרגיה המרוקאי (כללה משלחת של 10 מדענים בכירים) ב-29 לספטמבר 2022 באוניברסיטת בר-אילן. במרץ 2023 נערכה סדנה דו-לאומית במרקש, מרוקו, בהשתתפות משלחת של 15 מדעני אנרגיה מישראל. במסגרת השת"פ אנחנו קולטים בארץ 11 תלמידי מחקר מרוקאים מצטיינים (רובם לתואר שלישי) לתקופות מחקר של חצי שנה. חלקם כבר בישראל, מאורגנים הייטב במסגרת התוכנית. גוף מרכזי במימון השת"פ בצד המרוקאי זו חברת הפוספטים הלאומית של מרוקו, OCP, נותנת מימון בסכום של 4 מיליון דולר לשנה לצורך שיתוף הפעולה עם ישראל. הצד הישראלי גם זכה במימון מתקציבי משרד האנרגיה, וכן זכינו בתקציב נדיב מקרן אמריקאית (דרך שגרירות ארה"ב בישראל) הפעלת לסדנה דו לאומית בישראל בתחילת 2024, בהשתתפות עשרות מדענים מרוקאים.

במקביל, הקמנו באוניברסיטת בר-אילן מרכז לאנרגיה וקיימות, מה שמאפשר לקדם את נושא האנרגיה בהיבטים נוספים כמו רשתות, בינה מלאכותית, ערים חכמות ורגולציה. בנוסף לחוזקה בנושאי אנרגיה, יש לנו קבוצות חזקות ברגולציה, רשתות, וקבוצות שמתעסקות בנושאי אקולוגיה, חינוך לשמירת איכות הסביבה, מדעי כדור הארץ ואקלים. מרכז ב"א לאנרגיה וקיימות נועד להתמודד באופן הוליסטי, כולל, עם כל האספקטים של משבר האקלים הפוקד אותנו בשנים האחרונות. הצגנו את פעילותנו בנושאי אנרגיה בוועידת האקלים בשארם א' שיח' (COP27). שיתוף הפעולה ישראל-מרוקו בנושאי אנרגיה שמתפתח מאוד יפה, הוא למעשה מודל לשיתוף פולה אזורי במזרח התיכון.

#### **הקמת מרכז אנרגיה לאומי - שת"פ של אוניברסיטת בר-אילן והטכניון:**

הפעילות המשותפת שלנו ב-INREP וב-INERC, הובילה לשיתוף פעולה בין מוסדי פורה מאד. **הקונסורציום הלאומי שלנו כולל 33 חוקרים מ-7 אוניברסיטאות** ובהמשך נוסף עוד קבוצות. יש בארץ כ-50 קבוצות אנרגיה שיכולות להיות תחת המטרייה הזאת. **שת"פ של בר-אילן והטכניון, במאמץ מול משרד האנרגיה, הוביל ליצירת קול קורא להקמת מרכז אנרגיה לאומי.** אנחנו ניגשנו למכרז והגשנו הצעת מחקר מאוד מקיפה וזכינו. **התקציב שניתן הוא מאה מיליון שקלים ל-5 שנים כדי להקים מרכז אנרגיה לאומי שיקלוט את כל הקבוצות בארץ.** כדי לתקף את העניין שמדובר במהלך לאומי יש בתקציב המתוכנן הקצאה של כ-50 מיליון ש"ח שמיועדת לתקצוב מחקרים במסגרת שיתופי פעולה לאומיים. יש כאן מהלך אסטרטגי מאוד חשוב שאנו בונים אותו שהוא למעשה ממשק בין תעשייה, ממשל ואקדמיה.

**שני המוסדות חתמו על חוזה מוסכם מול משרד האנרגיה, והחלו להקים תשתיות לאומיות במסגרת מרכז האנרגיה, על פי תוכנית מוסכמת.**

#### **משבר האקלים ונושא האנרגיה:**

משבר האקלים מחייב שינוי דרסטי של משקי האנרגיה העולמיים: חייבים לעבור לשימוש מאסיבי באנרגיות מתחדשות, במקום שריפת דלקים. מי שיכול להוביל, זה לא הממשלה ולא התעשייה, אלא האקדמיה, שכן נדרש פיתוח יעיל של טכנולוגיות אגירת אנרגיה חדשניות ויציבות ביותר, המתאימות להיקף שימוש גבוה מאד. ממשלת ישראל עושה פחות ממשלות מערביות אחרות בנושא משבר האקלים כרגע. לא מהממשלה תצמח ישועה והאקדמיה היא זו שצריכה להציג פתרונות טכניים ראויים. במסגרת המרכז שאנו מקימים, יש מועדון חברות ששותפות בו: חברת החשמל, בתי הזיקוק, כימיקלים לישראל וחברות שמשקיעות בתחום האנרגיה כמו דוראל, טבע, ותצטרפנה חברות נוספות בהמשך. **המטרה היא לעודד משקיעים להשקיע במחקרים בנושא אגירת אנרגיה.**

בהנחה שלא תהיה ברירה ונצטרך להפעיל משק אנרגיה לאומי נקי מפליטות פחמן (לייצר בישראל מה שנקרא חשמל ירוק), יידרש מעבר לכלכלה של אנרגיות מתחדשות, נצטרך ליישם אגירת אנרגיה בהיקפים גבוהים מאד. יש לנו תוכנית אסטרטגית איך להגיע למטרה הזו. ניתן להציג לממשלה תוכנית סדורה כיצד אנו משיגים את היעדים הנדרשים תוך פחות משני עשורים. זה כולל הקמת תעשיות אנרגיה ישראליות חדשות. אנו עובדים בנושאי רגולציה ברמה הלאומית, כי צריך להקצות שטחים נרחבים לשדות סולריים ולמתקני אגירה). יש גם עבודה רצינית בנושאי כלכלת מימן ויש לנו לכך שותפים מצוינים בארץ. אנחנו גם מרושתים היטב מבחינה בינלאומית. בכל ההתארגנות הזאת יש לנו מועצה בינלאומית שכוללת מדעני אנרגיה מובילים ברמה עולמית מגרמניה, צרפת, ארה"ב, וקנדה.

אנו חותרים לעשייה לאומית פורייה בהתאמת משק האנרגיה הישראלי לאתגרי העתיד. יש למדינת ישראל קהילת אנרגיה בעלת פוטנציאל גדול מאוד והאקדמיה היא זו שצריכה להיות הקטר שיוביל את ההתמודדות עם משבר האקלים שהוא בעצם משבר אנרגיה, על ידי הצגת פתרונות טכניים יעילים להמרה וצבירה של אנרגיה.

**מר משה אברהמי, ראש אגף תעשייה, זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות**  
אפשרויות התמיכה וכווני פעולה של הרשות לחדשנות בנושא אגירת אנרגיה חשמלית

היינו בקשר מתמשך עם פרופ' עין אלי ליוזמה להקמה של מאגד בתחום של אגירה של אנרגיה חשמלית, ומכאן החיבור שלנו לפורום. המטרה שלנו במפגש הזה היא לעודד יוזמות לפרויקטי מו"פ פורצי דרך, המבוססים על שת"פ והעברת ידע בין האקדמיה לתעשייה. הדגש במצגת הוא על הכוונה למסלולי תמיכה רלוונטיים ועל מיקוד בתחום ה-ClimaTech.

כמה מילים על אסטרטגיית הרשות לחדשנות: היעד המרכזי של הרשות הוא לחזק את החדשנות הישראלית מתוך כוונה לאפשר יתרון תחרותי לתעשייה הישראלית מול חו"ל. אנו עושים זאת באמצעות שני וקטורים מרכזיים:

1. תמיכה ישירה באמצעות מענקים, הן למגישים מהאקדמיה והן מהתעשייה
2. פעילות מאפשרת-הסרת חסמים רגולטוריים ואחרים ותמיכה בתשתיות מחקר ופיתוח

תחומי המיקוד של רשות החדשנות (הכוונת התעשייה והקצאת משאבים): הם ב-4 תחומים:

Artificial Intelligence (AI)\*

\* Bio – Convergence - פרויקטים בתחום מדעי החיים שמשותפים דיסיפלינות שונות

\* Quantum – בשנתיים האחרונות הושקעו משאבים לא מבוטלים של הרשות בנושא, כשהאחרון בהם היה הקמה של מאגד בנושא של מחשוב קוונטי

\* Climate-Tech - לנושא של טכנולוגיות בתחום משבר האקלים ניתן דגש רב בשנה הנוכחית

החטיבה שלנו -חטיבת תשתיות חדשנות, שמה לה ליעד נוסף, להצביע על מכלול טכנולוגיות מפציעות שבהן יש לתעשייה הישראלית יכולת להוביל, דרך תמיכה במאגדי מגנט והקמת תשתיות מתאימות כדי לקדם את אותן

טכנולוגיות במדינה. עם כל האסטרטגיה שנבנתה בשנה האחרונה, אנו מנסים גם להתמודד עם תנאים משתנים ויש לנו כעת התמודדות עם אתגרים עכשוויים – משבר עולמי ומשבר מקומי שמחייבים התאמה של האסטרטגיה שלנו, מה שמוביל בהכרח לסלקטיביות יותר גבוהה באישור של בקשות והסטת משאבים לאזורים שהם היום במצוקה קשה מאוד.

### מסלולי תמיכה – חטיבת תשתיות:

למסלולי התמיכה יש מכנה משותף אחד - כולם תומכים בפיתוח של טכנולוגיות ולא בפיתוח של מוצר. יש לנו מסלול של תשתיות מו"פ – המסלול הזה תומך בהקמה של תשתיות מו"פ ומתן שירותי מו"פ לתעשייה אתמקד בשני מסלולים: מסלול מחקר משותף - מאגדי מגנ"ט ומסלול מסחור ידע

**מסלול מחקר משותף** - מאגדי מגנ"ט – תוכנית המאגדים הינה התארגנות של חברות מהתעשייה הישראלית וקבוצות מחקר אקדמיות להגשמת חזון משותף לפיתוח עצמי של טכנולוגיות גרניות חדשות ופורצות דרך, בתחומים בעלי חשיבות בשוק העולמי, שלתעשייה הישראלית יש או עשוי להיות יתרון יחסי בהם.

יש לנו היום שלושה סוגים שונים של מאגדים:

\***מאגד רגיל** – שהוא סביב נושא טכנולוגי רחב, הוא כולל מספר רחב של משתתפים מהאקדמיה ומהתעשייה, היקפי תמיכה נדיבים של 66% לתעשייה ו-80% לאקדמיה כשאת היתרה התעשייה משלימה לאקדמיה.

\***מאגדון** – מאגד קטן - ממוקד סביב מטרה טכנולוגית משותפת וכולל הרכב מצומצם של חברות שמסתייעות בחוקרים מהאקדמיה לקידום המטרות שלהם.

\***מאגד אקדמי** - ממוקד קבוצות אקדמיה סביב אותו נושא עם יעדים יישומיים. בונה ידע בתחומים בהם התעשייה עדיין לא בשלה לקחת חלק פעיל במו"פ עצמו. מהווה פלטפורמה למאגד תעשייה.

### מאגדי מגנ"ט – לאן אנו מכוונים?

יש מספר קריטריונים לאישור יוזמות והצעות להקמת מאגד:

1. טכנולוגיה פורצת דרך – נרצה לראות טכנולוגיה פורצת דרך גם בהשוואה למה שנעשה בעולם.
2. גרניות – לטובת תעשייה רחבה יותר/פיתוח טרום מוצרי
3. בסיס אקדמי-מחקרי קיים-שישרת את הפיתוח
4. כוון פעולה מחקרי ידוע – תוכנית פעולה מוגדרת
5. שת"פ פוטנציאלי עמוק ורחב בין המשתתפים במאגד
6. אפקט כלכלי – על החברות המשתתפות ועל הכלכלה הישראלית

תהליך הייזום, אישור וביצוע מאגד – מבוסס על שלושה שלבים שונים ומדורגים:

1. יזום

2. הצדקה ומתאר על/כללי

3. תכנית עבודה מפורטת ותקצוב

4. ביצוע

### \*מסלול מסחור ידע (+ יבוא ידע)

זהו שת"פ בין קבוצת מחקר אקדמית לבין חברה תעשייתית ישראלית לצורך ביצוע הוכחת התכנות טכנולוגית של הישגי המחקר האקדמי והתאמתו לחברה

מסלול שמאפשר העברת ידע (שכבר קיים באקדמיה) לתעשייה שמתעניינת בו

המטרה: לאפשר לחברה לקבל החלטה על פיתוח מוצר תעשייתי או על אי-יכולת/כדאיות להיכנס לתהליך. משך המסלול הוא עד שנתיים ושיעור המענק הוא 55% או 66% לחברה ו100% לאקדמיה. תקציב הפרויקט הוא עד 3.4 מיליון שקלים.

בשנים האחרונות היו לנו לא מעט מאמצים להקים מיזמים ופרויקטים משמעותיים בתחום של אנרגיה, בעיקר בתחום של אגירת אנרגיה ואגירת אנרגיה מימנית. לצערי לא הצלחנו. מאוד מקווים שמפגש כזה יוכל להוליד יוזמות ופרויקטים עתידיים שיוכלו להיות ממומנות על ידי הרשות לחדשנות.

### פרופ' יאיר עין-אלי, הפקולטה להנדסת חומרים, הטכניון

טכנולוגיות עמידות וזולות של סוללות לאגירת אנרגיה כחלופה לסוללות על בסיס טכנולוגיית ליתיום-יון כאשר אנו מדברים על אחסון אנרגיה צריך להסתכל על הבטריות באופן כללי ואם אנו מסוגלים לעמוד במחירים ובקיימות של החומרים, וגם על התהליכים שמשמשים אותנו לבניית סוללה. אנו מדברים גם על היכולת שלנו להבטיח בטיחות של סוללה. כאשר אנו מדברים על אחסון, אנו מדברים על טווחים של 20 עד 25 שנים ולכן הסוללה צריכה להיות עמידה במשך כל הזמן הזה. לאחר מכן מבקשים שתהיה כמובן בת-מיחזור; אם היא לא תהיה בת-מיחזור נהיה בבעיה וגם העלויות יגדלו. צריך לקחת בחשבון גם את יכולות הביצוע הנדרשות של הסוללה עצמה.

### טכנולוגיות של סוללות לאגירת אנרגיה:

אנו מדברים כרגע על סוללות:

#### Na-ion

**Water based metal-air (Zn, Fe)** – תמיסות מימיות. בתוכן כוללים מתכות אוויר, של אבץ אוויר או ברזל אוויר

## Water based Intercalation compounds/Halogen Electrodes

**RedOx Flow** – אם המחיר הוא נכון המחיר של ליתיום יון ממתכת הוא עדיין מחיר עצום ואסטרונמי וצריך לחפש חלופות כגון ברזל, סיליקון, אלומיניום, קלציום, סודיום ומגנזיום. המחיר הוא מחיר נמוך מאוד והיכולת שלהם מבחינת העברת אנרגיה היא גבוהה מאוד. היכולת של החומרים הללו לאגור אנרגיה היא מאוד מרשימה והרעיון הוא לבוא עם חלופה שתהיה זולה, כי המחיר של סוללה לאגירת אנרגיה חייב להיות נמוך.

עלות של חומרים: מברזל לליתיום יון:

Iron– 100\$

I Metallic Calcium – 100\$

Calcium Fluorspar – 300\$

Metallic Potassium – 600\$

Metallurgical Silicon - 2700\$

Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 6500\$

### ייזום מאגד סוללות

הרעיון הוא להקים מאגד אקדמי חדש בתחום של טכנולוגיות סוללות חדשות שיתבסס על חומרים בני - קיימא כמו קלציום, פוטסיום וסיליקון.

המאגד מבקש לפתח טכנולוגיות וחומרים לסוללות זולות נטענות בעלי עמידות ארוכה (מספר מחזורים של 8000 ומעלה), הניתנות למיחזור מלא ובעלות נמוכה.

נכון להיום, טכנולוגיית ליתיום-יון הינה הטכנולוגיה היחידה שיכולה לתת מענה לצורכי אגירת אנרגיה בת קיימא (מספרי מחזורים ואנרגיה) אולם בשל הביקוש מרקייע השחקים לסוללות מסוג זה בשוק הרכבים החשמליים, עלות האנרגיה של סוללות ליתיום יון עומד כיום על 100 דולר לקילו-וואט שעה. המחיר מגיע בישראל אף למעלה מ-200\$ לקוט"ש. ברמות מחיר שכאלה, מחיר אגירת האנרגיה הינו גבוה מדי.

### טכנולוגיות המטרה:

1. סוללות נטענות על בסיס אנודות, (זולות מאוד) אבץ וברזל (ישנה חלוקה ל-3 טכנולוגיות):

א. טכנולוגיות על בסיס קתודת אוויר- טכנולוגיות מתכת אוויר נטענות על בסיס תמיסות מימיות: המערכות הבאות בחשבון כאן הן: סוללות אבץ- אוויר וברזל- אוויר

ב. טכנולוגיות המבוססות על אינטרקלציה של יונים לתוך קתודת תרכובות של מתכות מעבר זולות (תחמוצות או פוספאטים של מתכות מעבר כגון ברזל ומגן) בתמיסות מימיות

ג. טכנולוגיות המבוססות על אנודה מתכתית וקתודה של הלוגן זמין, למשל מערכת נטענת של אבץ-ברום

2. סוללות נטענת על בסיס מערכות נתרן (סודיום) יון נטענות המבוססות על אנודות פחמניות זולות וקתודות אינטרקלציה המבוססות על תרכובות של מתכות מעבר זולות (תחמוצות או פוספאטים של מתכות מעבר כגון ברזל ומנגן)

3. תאים נטענים על בסיס קתודות אורגניות ואנודות שכבה כפולה בתמיסות מימיות, ו/או תאי זרימה המבוססים על חימצור של צורונים אורגנים (למשל קווינון-הידרוקווינון). בתאים כאלה, הצורונים הפעילים הינם פולימרים ו/או קומפלקסים של מתכות מעבר זולות בתמיסה מימית. הדגש הוא על הפיכות המערכת, המחיר האטרקטיבי שלה והידידותיות לסביבה.

### הפערים הטכנולוגיים:

א. בתאים המבוססים על תמיסות מימיות קיים אתגר של קורוזיה של אוספי הזרם ורכיבים מתכתיים (האנודה) בתא, בעיקר בתמיסות המכילות הלוגנים ו/או מלחי הלוגנים ו/או סביבה חוממצית או בסיסית מאוד.

ב. עמידות חומרי הקתודה והאלקטרוליטים לאורך מספר רב של מחזורים היא גם פער המאתגר את הטכנולוגיות המפותחות, ומענה לעניין יינתן כחלק מתוכנית הפיתוח ופעילות המאגד.

ג. תהליכי שיקוע אחידים ובהפיכות גבוהה בשימוש באנודות מתכניות מסוג אבץ וברזל

ד. עבור סוללות נתרן-יון, קיים פער משמעותי בהימצאות חומרי גלם המסוגלים לארח יוני נתרן באופן הפוך, ולפיכך הן חומרים אנודים והן חומרים קתודיים חייבים להיות מפותחים או לעבור השבחה תוך כדי פעילות המאגד

ה. עבור כל המערכות יש צורך בפיתוח אלקטרוליטים זולים מאוד, יציבים לאורך זמן ובעלי חתימה סביבתית מינימלית בייצורם, או חלילה במקרה של כשל/דליפה

ו. עבור כל הטכנולוגיות שתפותחנה במאגד, יש צורך בהדגמה ו/או פיתוח מארזים וקווי הולכה עמידים ל-25 שנים.

### מה יש לישראל להציע ברמה הלאומית והגלובלית:

\*חוזק אקדמי שלא קיים באופן יחסי בשום מדינה

\*מובילות מדעית טכנולוגית ברמה גלובלית

\*תשתית מדעית ופיתוחית עמוקה ואיתנה

\*שת"פ הדוק בין כל מוסדות האקדמיה

**מה חסר:** תעשיות שמוכנות להוביל מאגד כזה. כדי להוביל מאגד ידע כזה, נצטרך לשת"פ של התעשייה. אני פונה לחברי הפורום שסייעו לקדם את הנושא, כך שנוכל להוביל פיילוט בתחום.



## ד"ר דן וינשטוק וברק רשף – יועצים לתחומי האנרגיה

מתקני אגירה לטובת חשמל כשר כצעד ראשון למתקני אגירה stand alone במרחב האורבני

### חשמל כשר:

בשנות ה-50 פסק הרב אברהם ישעיהו קרליץ כי אין להשתמש בחשמל בשבת משום שייצורו נעשה על ידי יהודים וכרוך בחילול שבת. לפסיקה זו נשמעים בעיקר חרדים ליטאים ובמידה פחותה יותר חרדים חסידיים, חרדים מזרחיים וחרד"לים. חשמל כשר נפוץ בבני ברק, ירושלים, בית שמש, אלעד, אשדוד, ערד וריכוזי חרדים נוספים.

### הפתרון הנוכחי לחשמל כשר ומגבלותיו:

כיום החשמל הכשר מתבסס על גנרטורי דיזל שכונתיים המזינים רשת חלוקה מקבילה לרשת חברת החשמל. הפתרון הנוכחי יקר מאוד, כרוך במטרדי רעש, ריח וזיהום אוויר, לא בטיחותי ונותן פתרון מוגבל (נתיך של 10 אמפר)

### יישום אגירת אנרגיה לטובת חשמל כשר:

הרעיון הוא להקים מתקני אגירה מבוססי מצברים (יכולים להיות מאוחסנים במכולות או במבנים ייעודיים), האוגרים אנרגיה לפני כניסת השבת. סמוך לכניסת שבת מתבצע ניתוק מרשת חברת החשמל והאנרגיה מגיעה ממתקן האגירה. לאחר יציאת השבת מבוצע חיבור מחדש לרשת חברת החשמל. במהלך ימי החול מנוצל מתקן האגירה לטובת עבודה מול הרשת במסגרת אסדרות שונות שקורמות עור וגידים כעת.

### דוגמאות לפרויקטים של חשמל כשר בהם אנו מעורבים כיועצים:

**צפון בני ברק** - במסגרת הקמה של שכונה חדשה בצפון בני ברק (הכוללת כ-3000 יחידות דיור), יוקם מתקן אגירה של 120 מגה-וואט שעה לפחות (כנראה שיותר).

אנו מעורבים בפרויקט כיועצים טכניים, קיים תיאום הדוק מול מינהלת חשמל כשר בחברת החשמל בכל הנוגע למיתוגים הנדרשים (ניתוק מתקן האנרגיה מהרשת בשבת וחיבורו מחדש במוצאי שבת)

**מושב תפרח** - מושב חרדי סמוך לשדרות. המושב כולל 400 בתי אב וישיבה גדולה.

הפרויקט בתפרח כולל מתקן PV גדול ומתקן אגירה. בשבת המושב יוזן ממתקן האגירה וממתקן ה-PV בלבד, ללא צריכת אנרגיה מהרשת.

**ישיבת פוניבז** - (ספינת הדגל של הישיבות הליטאיות). במקום מתוכנן מתקן אגירה של 17 מגה-וואט שעה שיספק חשמל לכ-1000 תלמידי הישיבה. אתגר מיוחד קיים בהקמת מתקן אגירה באזור אורבני כה צפוף, נשקלת התקנה תת-קרקעית.

### פרויקט חשמל כשר - יתרונות וחסרונות:

**יתרונות** - "נוהל מיתוג שבת" פשוט- פתיחת מפסק (בכניסה לשכונה מותקן מפסק בקו המזין את השכונה)

**סרונות** - האגירה מותקנת בצורה מבוזזת בשכונה. יכולים גם להיווצר תקלות במתקן האגירה- האם במצב כזה ניתן להתחבר מחדש לרשת? זה מעלה סוגיות הלכתיות ורגולטוריות.

במשך השבוע מתקן האגירה מחובר לרשת ולמעשה מתפקד כמתקן אגירה stand alone ברשת החלוקה לטובת מנהל המערכת.

פרויקט חשמל כשר בני ברק - מעלה מורכבויות נוספות, מי יבצע את המיתוג הזה. לקראת סוף השבת האגירה קרובה למצב שבו היא פרקה את האנרגיה ואז כל הגוש הזה צריך להסתנכרן חזרה לרשת בשכונה. את גודל האגירה הנחוץ מחשבים לפי צריכה ממוצעת של בית אב (בערך 40-60 קילוואט שעה) בסוף שבוע הזה. אם יש 3,000 יחידות דיור אנחנו מגיעים לקיבולת של 180 מגה-וואט שעה שדרושה בסוף השבוע להזין את כל השכונה.

#### **סיכום:**

מתקני אגירה לטובת חשמל כשר מתוכננים בימים אלו בישראל בהיקף ישובי שלם, שכונתי, (בני ברק, לוד) או מוסדי, וזאת בנוסף למתקני אגירה רבים ברמת בית משותף או יחידת דיור בודדת.

אנו סבורים כי המגזר החרדי עתיד להיות הקטר של רכבת מתקני האגירה בישראל... איפה שאר הקרונות?

### **שי כהן, מנכ"ל ומייסד חברת Storage Drop**

מערכות קירור יעילות וידידותיות לסביבה למערכות HVAC

החברה הקימה מתקן לאגירת חשמל בנמל אשדוד.

אנו משתמשים באוויר הדחוס כדי להניע מים במעגל סגור ולייצר חשמל בטורבינת מים - יש לנו מיכלי אוויר שאנו אוגרים בתוכם את האוויר הדחוס. זו בעצם מערכת לייצור חשמל. בימים אלו אנו מחברים את הגנרטורים לעמדת טעינה ועושים ממש ניסוי של טעינת רכב חשמלי במערכת הזו.

לאחר הפעלה של שנה ראינו שאנו מאוד יעילים בתהליך דחיסת אוויר שלנו (תהליך קוויזי-איזותרמי). אנו צורכים הרבה פחות אנרגיה ממדחסים רגילים שנמצאים בשוק, ולכן התחלנו גם לעשות עסקאות של אספקת אוויר דחוס למפעלים. (אנו לקראת חתימה על עסקה גדולה עם תאגיד מזון גדול לאספקת אוויר דחוס למפעל). כאשר אנו מספקים אוויר דחוס, נקי משמן, עם צריכה אנרגטית נמוכה יותר בהשוואה למדחסים רגילים.

#### **פיתוח של מערכת קירור**

אני מעוניין לשתף אתכם בפיתוח שלנו שעוד לא ראה אור - במערכת קירור מאוד ייחודית. כאשר קיבלנו הרבה מאוד ביטחון בדחיסת אוויר על ידי מים, החלטנו לייצר מערכת קירור נקייה וחדשנית.

בכך אנו פותרים שתי בעיות:

1. את בעיית עלות החשמל של מערכת קירור רגילה. במערכת קירור רגילה, עלות החשמל היא כ-94%

מכלל ההוצאות

2. פתרון בעיה סביבתית - אמצעי הקירור שקיימים היום בשוק מגבירים את התחממות הגלובלית. הצורך לעבור לאמצעי קירור ידידותיים לסביבה הוא כורח המציאות.

פיתחנו מערכת שעושה דחיסה של פחמן דו חמצני בצורה אופקית (בניגוד לדחיסה של מים שאנו דוחסים בצורה אנכית). לא טרוויאלי שמים ידחסו פחמן דו חמצני כמו אוויר, ואחרי הרבה ניסיונות קיבלנו ביטחון בדחיסה של הגז הזה.

מערך קירור רגיל בתעשייה כולל 4 מרכיבים עיקריים: מאייד, מעבה, מדחס ושסתום התפשטות. אנחנו בעצם מציעים מערכת דומה, כאשר המאייד הוא אותו מאייד, המעבה הוא אותו מעבה, אבל אנו מציעים מדחס מצומד. והסיבה שבחרנו לעשות זאת, כי רצינו לבחון תהליך מיזוג אוויר עם פחמן דו חמצני, שזה קרר שכל חברות המזגנים התרחקו ממנו. משתמשים בקרר הזה לקירור תעשייתי, ולמיזוג אוויר לא בא בחשבון, כי כדי להפוך אותו מנוזל לגז, צריך לעבוד בלחצים שהם פי 10 ממה שמקובל היום. (אנחנו מדברים על 80-40 בר) ולכן עשינו חישוב אם זה הגיוני להשתמש בפחמן דו חמצני.

#### עלות של המערכת:

מערכת קירור רגילה - נשלם לאורך 20 שנה, 3.5 מיליון דולר לעומת העלות של המערכת שלנו -2 מיליון דולר. לבקש משי להשלים

### ד"ר ניר צבר – המחלקה להנדסת מכונות וראש המרכז לחקר אנרגיה באוניברסיטת אריאל

SMES=Superconducting Magnetic Energy Storage

ברצוני להציג את הטכנולוגיה הבאה שלא רבים מכירים אותה: זו טכנולוגיה של מוליכי-על. במוליכי-על, ברגע שיורדים בטמפרטורה ומגיעים לטמפרטורה קריטית, מתקבל שינוי של החומר והוא הופך להיות מוליך-על כשההתנגדות החשמלית שלו הופכת להיות אפס, וסביב האפקט הזה עושים הרבה יישומים.

**SMES technology** – הרעיון הוא לאגור את האנרגיה החשמלית כזרם חשמלי שיורד בתוך סליל.

הטמפרטורה של הסליל צריכה להיות מאוד נמוכה.

ה-SMES – מיועדים לספק הספקים מאוד גבוהים, בדרך כלל בפרקי זמן קצרים.

יכולים לפרוק את הזרם שאנו אוגרים בתוך הסליל מהר מאוד. זה נועד כדי לשמור על איכות המתח בקווים.

#### לסיכום:

זו טכנולוגיה מתפתחת, נועדה לייצב את מתח הרשת ולפצות על כל מיני הפרעות שיש לנו ברשת. המערכות הקיימות כיום מיועדות בעיקר לייצוב הספק, בקרת תדר וטיפול בתנודות בעומסים. התחום של מוליכי-על הוא מאוד רחב ויש לו הרבה יישומים. לפיכך, תעשיית מוליכי-העל מתקדמת הן בהיבט של שיפור ביצועים (תנאים המקיימים על-מוליכות, ייצוריות, ועוד) והן בהיבט של עלויות ייצור. לאחרונה מוצאים יותר ויותר פרסומים המעידים על התאמת הטכנולוגיה גם עבור אגירת אנרגיה יומית, כלומר, טעינה ופריקה של מספר שעות. ככל

שטכנולוגיית מוליכי-העל תתקדם יתאפשרו יותר ויותר יישומי אגירת אנרגיה באמצעות SMES. לטכנולוגיה יש פוטנציאל לצפיפות אנרגיה גבוהה, יחסית לטכנולוגיות אגירת אנרגיה חשמלית אחרות, ולכן ייתכן מאוד שהיא תהווה תחליף אטרקטיבי לסוללות למיניהן.

## 4. דיון

לאחר מצגות המשתתפים התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג, ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. הדיון התמקד בשאלות:

- מהן השיטות הרלבנטיות לאגירת אנרגיה חשמלית?
- מה יכולה וצריכה לעשות הממשלה לקידום הנושא? (האם צריך לתמוך כלכלית?)
- מה ידוע על אגירת אנרגיה בייצור חשמל ומה ניתן ללמוד מכך לגבי ישראל?
- יתרונות וחסרונות למול אגירה בסוללות
- האם קיימים אתגרים טכנולוגיים בתחום הדורשים שת"פ רב משתתפים לצורך הגדרת ופיתוח מענה?
- באילו טכנולוגיות לאגירה חשמלית יש פוטנציאל לתעשייה ישראלית לבסס מעמד כמובילה עולמית?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה, לאחר שעברו ביקורת על ידי אומריהם.

**אילן בן דוד** – היזם וסמנכ"ל הטכנולוגיות של חברת ZOOZ POWER: אנחנו מבצעים אגירת אנרגיה לטווח קצר מבוססת גלגלי תנופה שהאפליקציה העיקרית היא תמיכה במטענים אולטרה מהירים לרכבים חשמליים. בזכרון יעקב יש תחנה עם מתקן שלנו.

מציע לעשות שימוש לאגירת אנרגיה בטכנולוגיית מרכב לרשת החשמל - V2G – Vehicle to Grid. טכנולוגיה זו מאפשרת לדחוף את הכוח חזרה מסוללת רכב חשמלי לרשת החשמל. ניתן לטעון או לפרוק את הרכב החשמלי על סמך כמות האנרגיה שכבר מנוצלת בקרבת מקום.

שוק הרכבים החשמליים הוא שוק של מאגר אנרגיה אדיר במקום להתקין עוד סוללות בעתיות או אמצעי אגירה. אם נשתמש בתשתית הזו המטען יהיה קצת יותר יקר, אבל זו תשתית של טעינה מבוזרת שבכל מקרה נצטרך להתקין אותה.

מבחינה סטטיסטית, יש כל כך הרבה רכבים, אחוז מסוים שלהם מחובר. אלו מערכות שבאזורים מאוכלסים יכולים לתת המון יתרונות. בעיר כמו חיפה שהבעיה קיימת, יישום של זה יפתור את הבעיה.

**ברק רשף** – כדוגמה לנושא שהזכיר אילן בן דוד, אציין כי אני נוסע במכונית חשמלית שתומכת ב V2L (אספקת חשמל מהמכונית למכשיר הצורך חשמל, זה השלב לפני V2G (חיבור סוללת המכונית לרשת החשמל עם אפשרות של טעינה ופריקה לרשת). אזכיר מקרה שבו חזרתי הביתה והייתה לי הפסקת חשמל, חיברתי את הרכב למחצית מהצרכנים בבית וקיבלתי במשך כמה שעות אספקת חשמל מהרכב למקררים, מזגנים, אמצעי תאורה. היום שבו המכונית תהיה מסונכרנת לרשת ותדע לעבוד בסנכרון עם הרשת הוא לא רחוק.

**פרופ' דרון אורבך** – כשמדברים על כזו כמות של צריכת אנרגיה, צריך לתת מקום לכולם. אין מקום למונופוליסטים. כשמדברים על משק האנרגיה – כאחד שמחובר לחברת חשמל שהיא חברה במועדון החברות במרכז האנרגיה שלנו, עם כל הכבוד לביזור של החשמל צריך להיות גם ריכוזיות. מדובר פה בהמון סיכונים והבטחות שווא. צריך מערכת מרכזית שתדאג לאגירה ברמה הלאומית. בנוסף לכל האפשרויות שהן מבורכות

ברמה הפרטנית חייבת להיות מערכת אגירה לאומית לצורך ייצור חשמל לאומי. מערכות האגירה האלה יחייבו ארגון גג ואי אפשר שיהיה ייצור של חשמל לאומי ברמה ירוקה על ידי מערכות מבזרות שתלויות ברצון או הטוב או במצבם של עשרות אלפי צרכנים. חייבים לתת מקום למערכת ריכוזית שמנוהלת כמו שצריך ומקבלת את הגיבוי הטכנולוגי המתאים.

**פרופ' גרשון גרוסמן** – מי מעוניין לענות על השאלה: באילו טכנולוגיות לאגירה חשמלית יש פוטנציאל לתעשייה ישראלית לבסס מעמד כמובילה עולמית?

**פרופ' דורון אורבך** – אני רוצה להציע מבנה שעם ממשל ראוי אפשר לממש אותו.

הטכנולוגיות הטובות ביותר לאגירת אנרגיה הן סוללות ליתיום נטענות שכוללות קתודה מסוג ליתיום ברזל-פוספאט וגרפין. אלו סוללות טובות ביותר מכל הבחינות, הן אמינות ויכול לתת עליהן ערבות ל-20 שנה. ניתן לייצר את הסוללות בארץ. יש את חברת הכימיקלים המרכזית (כי"ל) בישראל ומרבצי פוספטים שיכולים לספק את הפוספטים הרלוונטיים. כי"ל יכולה להשתדרג כך שתוכל לייצר את הכמות שאנו צריכים. מאחר וכרגע אם מדברים על חצי טרה-וואט שעה של אגירת אנרגיה יומית מדובר על סדרי גודל של עשרות אלפי טונות של ליתיום שאת זה ישראל יכולה להשיג היום. זה לא דבר שיזעזע היום את השוק העולמי. יש כיום חלון הזדמנויות שאפשר להשיג אותו בחלון סביר. ברגע שיש לנו מלאי אסטרטגי שמתאים לחצי טרה וואט-שעה של אגירה, אפשר לבנות תעשייה לאומית, צעד אחרי צעד. יש לנו את חברת כי"ל שיודעת לעשות את זה, עכשיו הם מקימים מפעל כזה בארה"ב בהשקעה של 400 מיליון דולר ונשאלת השאלה למה שלא יקימו מפעל כזה בארץ עם השקעה מתאימה ומוצדקת? במקביל, יש פה לא מעט חברות סטארט אפ – קהילת האנרגיה בישראל ייצרה מאות דוקטורי שמומחים באנרגיה. יש לנו כוח אדם מצוין שיכול להריץ תעשייה כחול לבן של בטריות. יש תעשיית סטארט-אפ שניתן לשדרג אותה למגה-וואט שעה, גיגה-וואט שעה וכך הלאה. צריך להבין שזה צורך אסטרטגי; אף אחד לא יספק לנו סוללות ברמה הזו. תוך שנים ספורות, כמו שמשבר האקלים ילך ויעמיק, כך גם בתחום הזה, מדינות יתכנסו לתוך עצמן, כמו סין שתתכנס לתוך עצמה, היא גם לא תוכל לספק את הצרכים שלה עצמה לאור משבר האקלים המתגבר והצורך לעבור לאנרגיה ירוקה; וכן החשיבות של תעשייה כחול לבן כצורך אסטרטגי. אנחנו מספיק קטנים כדי לדאוג לעצמנו ברמה אסטרטגית מלאה מבלי לזעזע את העולם.

במקביל, הטכנולוגיה הבאה בתור הטובה היא טכנולוגיית נתרן-יון ועל זה אנחנו עובדים פה בארץ. לזה צריך להוסיף גם את כלכלת מימן שגם היא מתפתחת ולמעשה ברמה המדעית-טכנולוגית יש לנו פתרון לצורכי אגירת אנרגיה בהיקפים גדולים, לפי דעתי גם ברמה העולמית ולא רק הארצית.

אפשר לבנות כלכלות שמבוססות על יסודות שהזמינות שלהן טובה, כמו נתרן ומנגן וברזל ושגם המחירים שלהם סבירים. בגלל זה הקמנו מרכז לאומי לאנרגיה כדי לדחוף מהלך אסטרטגי כזה למדינת ישראל.

**פרופ' גרשון גרוסמן** – מתקשר אולי לשאלה אחרת שנשאלה: מה יכולה וצריכה לעשות הממשלה לקידום הנושא? (האם צריך לתמוך כלכלית?)

**פרופ' דורון אורבך** – צריך לקבוע אסטרטגיה ויעדים ברורים מבחינת משק האנרגיה – עד כמה אנו רוצים לנהל משק אנרגיה ירוק וצריך קודם כל לקבוע לוחות זמנים ולהבין שהכל צריך להיות כחול לבן. תיתכן תמיכה לאומית, אבל יש פה הרבה משקיעים, מתגלגל המון כסף בשוק ואפשר לתעל זאת להשקעות רווחיות בתחום האנרגיה.

בכל העולם משקיעים באנרגיה ובטכנולוגיות והממשלה לא צריכה להכניס את היד לכיס ולממן את הכל. הממשלה צריכה ליצור את ההתחלה ואת היוזמה הראשונית.

**ברק רשף** – באותה עבודה שהוזכרה על ידי אילן בן-דוד קודם, שנעשתה על ידי ועל ידי ד"ר נורית גל – "מפת דרכים לאגירה", ניתחנו למעשה את צרכי המשק מבחינת אגירה בשנים הקרובות והסתמן שבעשור הקרוב, כדי להגיע ליעד של 30% אנרגיות מתחדשות – יהיה צורך בסדר גודל של 4,000-5,000 מגה-וואט של אגירה. **מסכים עם דברי פרופ' אורבך שצריך לגוון את הטכנולוגיות וצריך לגוון גם את הביזוריות – אי אפשר לסמוך רק על מערכות מבוצרות שמתנהלות בצורה אקראית, אלא חייבים להקים גם מערכות מרכזיות כמו אגירה שאובה, או אגירה מערכתית שמנהל אותה מנהל המערכת.** התהליך הנכון הוא, שאחרי שמנהל המערכת קובע את היעדים הרגולטור צריך לשחרר מכרזים: יש מרכז לאגירה מערכתית שתקוע כבר הרבה זמן ולא מתקדם. הרגולטור חייב לתמוך במהלכים האלה, כי אחרת יכול להגיע שלב שגם יכולת הקליטה של אנרגיה מתחדשת תיבלם. אנחנו כבר קרובים לשלב הזה; בעונות מעבר כאשר עקומת הביקוש הארצי יורדת ועולה הנתח היחסי של האנרגיות המתחדשות, אנחנו מגיעים לכמעט 50% בייצור אנרגיות מתחדשות, והאינרציה של המערכת יורדת וכל תקלה מסכנת את היציבות שלה; אם לא ישלבו גם מערכות אגירה אז נגיע לשלב שמנהל המערכת יגיד שהוא לא מוכן לשלב יותר אנרגיות מתחדשות כי זה פוגע ביציבות המערכת.

**פרופ' יאיר עין אלי** – אני קצת אחלוק על דעתו של מורי ורבי, דורון אורבך, כי אני חושב שיש מקום תחת השמש לכל טכנולוגיות האגירה. יש מגוון ומנעד רחב של טכנולוגיות בתחום הסוללות ולהישען על טכנולוגיה של ליתיום פוספאט זה לא נכון כי הסינים מובילים עלינו ובגדול. **אני חושב שטכנולוגיות של ליתיום לא צריכה להיות במערכות של אגירת אנרגיה ממקורות בר-קיימא, זו צריכה להיות טכנולוגיה על בסיס אלקטרוליט מימי, על חומרים מצויים וזולים, כך שהעלות תהיה פחות ממחיר של 20 דולר לקילוואט שעה.** כיום המערכת של ליתיום יון, יכולה להגיע ל-200 דולר לקילוואט שעה. לכן צריך להגיע לחומרים זמינים ולהתגבר על הבעיות. ללכת לטכנולוגיה שמבוססת על ליתיום זה לא נכון, כי התפקיד של ליתיום זה לא במערכות נייחות וניחות ורובנו באקדמיה מבינים את זה. דורון-תקן אותי אם אני טועה.

**פרופ' דורון אורבך** – אין ספק שצריך לתת מקום לכולם, אני מסתכל כרגע על ישראל ועל טכנולוגיות שיכול לתת להם סרטיפיקציה. עם כל הכבוד לטכנולוגיות המימיות, מדובר על עשרות שנים של פיתוח. כשמדברים על חצי טרהוואט שעה מדברים על כמויות אדירות, על בניינים, גורדי שחקים ומבנים מלאים בבטריות ואנו לא נוכל להחליף אותם, כל שנה שנתיים. מדובר במערכות שיש להן סרטיפיקציה 20 שנה, זה תנאי מינימלי. בזמן הזה נוכל לפתח טכנולוגיות מיחזור, אין עדיין טכנולוגיות מיחזור מספיק יעילות, תוך עשור נוכל לפתח טכנולוגיות מספיק יעילות.

לעשורים הבאים, אנו צריכים טכנולוגיות שיכולות להחזיק מעמד 20 שנה. הטכנולוגיה היחידה שאני מוכן לתת לה סרטיפיקציה לעוד 20 שנה, זו הטכנולוגיה שהזכרתי. אם נצטרך להחליף כל שנתיים טכנולוגיות, נצא מופסדים. יש להקים במדינת ישראל מערכת של אגירת אנרגיה שמבוססת על הטכנולוגיה הטובה ביותר.

**פרופ' יאיר עין אלי** – בתור איש מחקר, על מה היית שם את הז'טונים ל-5 שנים הבאות?

**פרופ' דורון אורבך** – בתחום המחקר אנו בראש אחד. ישראל מספיק קטנה, אבל ברמה עולמית אין מספיק ליתיום, בקושי יספיק להנעה חשמלית. ישראל יכולה להיות חלוצה עולמית ברמה הטכנולוגית מדעית בתחום של טכנולוגיות חדשניות בנושא אנרגיה.

משה אברהמי – רציתי לדבר על המעורבות הממשלתית. המנדט של רשות החדשנות יחסית מוגבל. צורך לאומי מבחינתנו הוא לא סיבה להשקיע ולתת מענקים לפיתוחים שעונים רק על צורך לאומי. הקריטריון המרכזי הוא אם אפשר לתרגם את זה לתעשייה כדי לעשות מזה ייצוא. אבל יש לנו כלי שהוא יחסית חדש שאמור לתת מענה לצרכים מקומיים ולאומיים וגם לפתח תעשייה שהיא תעשייה מוטת ייצוא. זה כלי שמאפשר לבחון טכנולוגיות בשלבים יחסים מתקדמים שלהם. מדובר במיזמים מתואמים, במקרים בהם יש התלכדות של אינטרסים של כמה משרדים ממשלתיים (כמו רשות החדשנות, משרד האנרגיה). מגדירים איזה תרחיש בו רוצים לקבל מענה מהתעשייה ויוצאים בקולות קוראים, מעין מכרז לקבוצות שמגישות ונותנות מענה, לדוגמא, פרויקט חשמל כשר בבני ברק וכדומה. זה לא יכול להחליף פיתוח ארוך טווח של מוסדות אקדמיים, אבל הוא בהחלט יכול לקחת חברות שנמצאות בשלבים המתקדמים של הפיתוחים שלהן, ולתת להן מגרש משחקים בו הן יכולות להוכיח טכנולוגיות ובד בבד לענות על צורך לאומי.

**ד"ר גדעון פרידמן** – רוצה להזכיר בהקשר הזה גם טכנולוגיות נוספות מעבר לטכנולוגיות של אגירת חשמל, שיש להן משמעות לא קטנה בעיניי. למעשה יותר ממחצית מהאנרגיה בעולם משמשת לחום בכל מיני תהליכים ויש אכן יתרונות באגירה גם של חום שיאפשר בעצם גם לנצל עליות וירידות ביכולת לספק את האנרגיה וזה מאפיין את האנרגיה המתחדשת. לגבי אגירת ליתיום אני רוצה להעיר, זה נראה לי רעיון לא טוב כי אנו יודעים שהטכנולוגיות מתקדמות בקצב מאוד מהיר, כך שאני מעריך שב-10 שנים הקרובות, העולם לא יתכנס למצוקת ליתיום חריפה ובעוד 10 שנים ייתכן ויכנסו טכנולוגיות חדשות, כגון סודיום, או אלקטרוליטים מיימיים. חושב שכן צריך להשתמש יותר ויותר באגירה. כמות האגירה היא פחות ממה שיכלה להיות. מקווה שנראה את זה מתקדם בקצב יותר מהיר.

**פרופ' אמריטוס אהרון גוניק** – הייתי מרצה למדעי הניהול באוניברסיטת בן גוריון וראש החוג ללימודי לוגיסטיקה ופרייקטים במכללת ספיר. בשנים האחרונות עוסק בנושאים של איכות הסביבה וקיימות.

מערכת לאגירת אנרגיה היא מערכת תלוית, תלויה במערכת האנרגיה שאנחנו מפתחים. 45% מהאנרגיה העולמית הולכת על דלק, ו-80% מהצרכנים הם מהתחבורה. היום בעולם תחבורה חשמלית היא בסביבות אחוז אחד, כשנגיע ל-30%-40% לא יהיה מספיק ליתיום אפילו למצברים ניידים ואם כן יהיה מספיק זה יהיה מאוד יקר. אם אנחנו רוצים להפחית את השימוש בדלק, נהיה חייבים לעבור לתחבורה חשמלית ומאחר ואנחנו נהיה חייבים לספק ליתיום לרכבים חשמליים, למעשה סגרנו את האופציה לאגירת אנרגיה מסוג אחר.

גלובלית יש מדינות שהגיעו ל-30% אנרגיה ירוקה ואנחנו בקושי ל-6%, קרוב ל-10% מאנרגית החשמל אבל חשמל אצלנו זה בערך 45% מסך תצרוכת האנרגיה. מי שהגיע ל-30% הם במקרה הטוב משתמשים באנרגיה סולארית כ-10% והסיבה מאוד פשוטה, אנרגיית רוח מספקת כ-4500 שעות בשנה, אנרגיה פוסילית כ-6500 שעות בשנה, אנרגיה סולארית כ-1750 שעות בשנה ולכן נגזר מכך שחייבים אגירה. לדעתי כשהתצרוכת של אנרגיה סולארית תגדל הבעיה הגדולה לא תהיה אגירה אלא קטימה, לכן אני חושב שאם מדברים על אגירה או קטימת אנרגיה אסור להתבסס על ליתיום או על כל טכנולוגיה אחרת שהיא זולה אלא לחפש כיוון אחר ולא לחפש אלטרנטיבה שתהיה מבוססת על אנרגיה סולארית, מאחר והיא תמיד תהיה יותר יקרה בגלל בעיות האגירה שלה (זה קורה בכל מקום וגם אצלנו) ולכן חלופה מתאימה יכולה להיות ייצור אנרגיה הידרואלקטרית בים התיכון וים המלח (כ"ל מתנגדים לזה כמובן) אנרגיה מסוג זה לא תלויה באגירה וחייבים



לעשות משהו בנידון. אני מדבר על הספק של 2000 מגה וואט לעשר שעות. בנוסף, חייבים לעבור בהקדם האפשרי לאנרגיית רוח- הגיבוי לאנרגיית רוח יהיו תחנות כוח פיקריות מעבר ל4000 שעות. לפי החשבון שלי, אם 100% מהתחבורה בישראל תעבוד על חשמל, זה הספק של 4000 מגה וואט שזה 16000 מגה וואט שעות סולאריות וזה מחייב קיטום, מצברים שמסוגלים לקטום. נצטרך להשתמש במצברים של המכונות וחייבים למצוא את המנגנון איך לנצל את הבטריות האלה.

**פרופ' דורון אורבך** – הפתרון שהצעתי, רלוונטי אך ורק לישראל ולא ברמה הגלובלית.

כשמסקלים את האלמנטים הבאים: צפיפות אנרגיה, מה היעילות האנרגטית פר מחזור, מספר המחזורים, חיי הסוללה אז הטכנולוגיה שהצבעתי עליה היא הטובה ביותר והיא גם תישאר הטובה ביותר כל עוד חוקי הטבע יישארו כפי שאנו מכירים אותם. אנו מפתחים טכנולוגיות חדשות והן יתקרבו לזה בוודאי. אבל אני חושב שיכולה להיות טכנולוגיה שתשיג את מה שהטכנולוגיה שהצעתי משיגה. ברמה העולמית אי אפשר לקנות את הליתיום אבל ברמה הישראלית כן מציע לשקול את הנושא של ליתיום, כי הפתרון הזה יכול לספק יתרון אסטרטגי למדינת ישראל הקטנה אולי אפילו לעשרות רבות של שנים וזה לא דבר של מה בכך.

**פרופ' אהרון גוניק** – ברגע שהמחיר של ליתיום יהיה יקר יקרה מה שקרה אצלנו עם הגז, ברגע שמתייקר המדינה מנסה לייצא אותו ואותו דבר יקרה עם הליתיום.

**פרופ' דורון אורבך** – אין לנו ליתיום בארץ, אני מדבר על תוכנית לאומית שבה מקימים מערכת אגירה לאומית שיכולה לספק צרכים לעשרות השנים הבאות ושמים יד על מלאי אסטרטגי של ליתיום והוא כולו ילך למלאי של סוללות מתאימות והוא יהיה נכס אסטרטגי כמו חומרים אחרים שישראל שמה עליהם יד והם נכסים אסטרטגיים. ליתיום זה חומר אסטרטגי שאפשר להשיג אותו היום יחסית בזול וישראל הקטנה יכולה היום לשים יד על עסקאות לא רעות כרגע בלי לייצר רעש עולמי ובלי לזעזע את השוק העולמי. ואחר כך לבנות תעשיית אנרגיה שתייצר את המצברים היעילים ביותר ולא יהיו לנו מצברים יותר יעילים מהמצברים שהזכרתי ומוכן ומגיע לי קצת קרדיט בנידון. אני לא חושב שיש טכנולוגיה שאנו לא נותנים לה סיכוי.

**ד"ר דן ויינשטוק** – אני לא מבין דבר באלקטרו כימיה של המצברים ואין לי מושג איזו טכנולוגיה טובה יותר היום ואיזו תנצח. אני רוצה להצביע על עוד שיקולים מלבד המחיר שהוא שיקול חשוב מאוד בהתקנות באזורים אורבניים. כאשר מתקן אגירה נמצא אי שם ליד מתקן קרקעי סולארי או רוח, אז השיקולים של השטח הם לא משמעותיים, מתקני אגירה תופסים שטח יחסית קטן לעומת מתקנים סולאריים. לעומת זאת כשאנו מדברים על מתקנים בשטחים אורבניים (חשמל כשר לחרדים זו רק דוגמא) שם יש שיקולים מאוד חשובים:

1. **תפיסת השטח**, שהמשמעות של זה- צפיפות אנרגיה. יש טכנולוגיה שאולי תהיה קצת יותר יקרה אבל מצד שני הרבה יותר טובה מבחינת צפיפות האנרגיה שלה, תהיה לה מקדמה מאוד רצינית וברור כולם ששטח זה לא הצד החזק של ישראל בה הצפיפות באזורים האורבניים רק תלך ותגדל.
2. **בטיחות** – ברור ששום טכנולוגיה שהיא מסוכנת לא תוכל לתפוס תאוצה. אם יסתבר שיש טכנולוגיה שהיא בטוחה מאוד, אז גם אם תהיה קצת יותר יקרה מטכנולוגיות אחרות, זה יתן לה מקדם מאוד גדול. טכנולוגיה שתדע לעמוד בתקנים המאוד נוקשים של נציבות הכבאות וההצלה, יהיה לה יתרון מאוד גדול.

## 5. סיכום והמלצות

נתונים שהוצגו בפורום מציינים כי נכון ל-2020 קיימת בעולם יכולת אגירה של כ-8500 ג'יגה-וואט מותקן<sup>2</sup>. למעלה מ-90% מזה היא אגירה שאובה בכל העולם. לפי נתונים אלה קיימת הערכה כי כ-1.8% מכל תפוקת החשמל העולמית כיום מלווים באגירה. מלבד האגירה השאובה קיימות טכנולוגיות אגירת חום, גלגל תנופה (Flywheel), גרביטציה, אוויר דחוס ושיטות אלקטרוכימיות, ביניהן סוללות למיניהן. בישראל כמו בשאר העולם קיימים חסמים רבים ליישום, לא רק כלכלית, אלא גם מבחינת רגולציה. אחד הנושאים שמתמודדים איתם היום בעולם הוא: האם האגירה נופלת תחת הקטגוריה של ייצור?

### המלצות:

דרושה תכנית אב לאומית המתייחסת למשק החשמל הישראלי, שתקבע מה היעד, לא רק באנרגיות מתחדשות אלא גם בנושא אגירה - לאיזו תפוקה רוצים להגיע.

1. יש לטפל באתגרים הקשורים לאגירה כמכלול, תוך דגש על האגירה המבוזרת, וזאת באמצעות מתקני ייצור הכוללים יכולת אגירה מקומית, כולל התקנת אגירה בגגות פרטיים בהם יש ייצור סולארי (זה יאפשר הגדלת ייצור ע"י הקטנה של הקיטום וכן הסטה של אספקת חשמל סולארי לשעות הלילה).
2. יש להנהיג פרוטוקולים ותקנות כדי לקבוע עבור מתקני אגירה איך יתחברו לרשת החשמל, ולקבוע את הנצילות של המערכות כדי שאפשר יהיה להשוות בין הטכנולוגיות השונות.
3. רצוי להתחיל הסדרת מתקני אגירה בהיקפים קטנים, כפי שהיה במערכות הפוטו-וולטאיות שחדרו בקצב הולך וגדל למשק החשמל. אין מקום להצביע על טכנולוגיה מועדפת, אך חשוב להגדיר את מגרש המשחקים בצורה גמישה ולתת לכולם להתחרות. ושהטוב (או הטובים) ינצח.
4. יש לעסוק בהזדמנויות הבין לאומיות, ואיך לקדם את החברות הישראליות לשם. יש לבדוק את האפשרויות העסקיות היכולות לשרת את הכלכלה הישראלית.

<sup>2</sup> <https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage>

# נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה

13:00 פתיחה – פרופ' גרשון גרוסמן

13: 20 פרופ' דורון אורבך – המרכז לאנרגיה וקיימות, אוניברסיטת בר-אילן

## INERC – Israel National Energy Research Consortium

13:30 מר משה אברהמי, ראש אגף תעשייה, זירת תשתיות טכנולוגיות, רשות החדשנות

### אפשרויות התמיכה וכווני פעולה של הרשות לחדשנות בנושא אגירת אנרגיה חשמלית

13:40 פרופ' יאיר עין-אלי, הפקולטה להנדסת חומרים, הטכניון

טכנולוגיות עמידות וזולות של סוללות לאגירת אנרגיה כחלופה לסוללות על בסיס טכנולוגיית ליתיום-

יין

13:50 ד"ר דן וינשטוק וברק רשף, יועצים לתחומי האנרגיה

### מתקני אגירה לטובת חשמל כשר כצעד ראשון למתקני אגירה stand alone במרחב האורבני

14:00 מר שי כהן, Storage Drop

### מערכות קירור יעילות וידידותיות לסביבה למערכות HVAC

14:10 ד"ר ניר צבר, המחלקה להנדסת מכונות וראש המרכז לחקר אנרגיה, אוניברסיטת אריאל

### SMES=Superconducting Magnetic Energy Storage

14:30 דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות:

- מהן השיטות הרלבנטיות לאגירת אנרגיה חשמלית?
- מה יכולה וצריכה לעשות הממשלה לקידום הנושא? (האם צריך לתמוך כלכלית?)
- מה ידוע על אגירת אנרגיה בייצור חשמל ומה ניתן ללמוד מכך לגבי ישראל?
- יתרונות וחסרונות למול אגירה בסוללות
- האם קיימים אתגרים טכנולוגיים בתחום הדורשים שת"פ רב משתתפים לצורך הגדרת ופיתוח מענה?
- באילו טכנולוגיות לאגירה חשמלית יש פוטנציאל לתעשייה ישראלית לבסס מעמד כמובילה עולמית?

## מפגשי פורום האנרגיה של מוסד נאמן ([www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il))

פורום האנרגיה ה-53: בנייה ירוקה בישראל	2023
פורום האנרגיה ה-52: תחנת כוח גרעינית בישראל	2022
פורום האנרגיה ה-51: אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי	2021
פורום האנרגיה ה-50: דו-שימוש בקרקע חקלאית לייצור חשמל פוטו-וולטאי	
פורום האנרגיה ה-49: שילוב מימן במשק האנרגיה	
פורום האנרגיה ה-48: אנרגיה בעיר חכמה	2020
פורום האנרגיה ה-47: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש	2019
פורום האנרגיה ה-46: הפקת אנרגיה מפסולת	
פורום האנרגיה ה-45: חסמים וזרזים להקמת מתקני ייצור חשמל פרטיים בישראל	2018
פורום האנרגיה ה-44: שיקולים סביבתיים, כלכליים וביטחוניים במיקום אסדת הטיפול בגז ממאגר לווייתן	
פורום האנרגיה ה-43: הסרת הבידוד האנרגטי מעל ישראל	
פורום האנרגיה ה-42: היבטים פסיכולוגיים והתנהגותיים של חיסכון באנרגיה	
פורום האנרגיה ה-41: רכב היברידי וחשמלי	2017
פורום האנרגיה ה-40: גז טבעי לתחבורה בישראל	
פורום האנרגיה ה-39: מיקרו-גרید ורשת חשמל חכמה בעידן של ייצור מבוזר ואנרגיות מתחדשות	
פורום האנרגיה ה-38: צעדים ליישום לאחר אישור מתווה הגז בישראל	2016
פורום האנרגיה ה-37: ביטחון באספקת אנרגיה בישראל	
פורום האנרגיה ה-36: התייעלות אנרגטית בישראל: שדרוג מערכות	
פורום האנרגיה ה-35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל	2015
פורום האנרגיה ה-34: ייצור משולב של חום וחשמל	
פורום האנרגיה ה-33: הרפורמה במשק החשמל בישראל	
פורום האנרגיה ה-32: ניצול מיטבי של הגז הטבעי המקומי, לרבות סוגיית הייצוא	2014
פורום האנרגיה ה-31: ביומסה לאנרגיה בישראל	
פורום האנרגיה ה-30: חשמל מאנרגיה סולארית בישראל	2013
פורום האנרגיה ה-29: עיר חכמה	
פורום האנרגיה ה-28: תחבורה יבשתית בת קיימא: היבטי אנרגיה וסביבה	
פורום האנרגיה ה-27: רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל	
פורום האנרגיה ה-26: ניצול פצלי שמן בישראל	2012
פורום האנרגיה ה-25: משק האנרגיה בישראל – חזון 2028	
פורום האנרגיה ה-24: אנרגית שמש לבנייני מגורים בישראל	
פורום האנרגיה ה-23: ניצול אנרגיית הרוח בישראל	2011
פורום האנרגיה ה-22: תחנת כוח גרעינית בישראל	
פורום האנרגיה ה-21: שיפוץ אנרגטי של בניינים	
פורום האנרגיה ה-20: מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי	
פורום האנרגיה ה-19: חיסכון באנרגיה במערכות תאורה	2010
פורום האנרגיה ה-18: מיזוג אוויר סולארי בישראל	
פורום האנרגיה ה-17: השלכות חדירת גז טבעי למשק האנרגיה של ישראל	
פורום האנרגיה ה-16: רשת חשמל חכמה	
פורום האנרגיה ה-15: התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל	2009
פורום האנרגיה ה-14: רכב חשמלי והיברידי	
פורום האנרגיה ה-13: תחנות כוח סולאריות בישראל	
פורום האנרגיה ה-12: אנרגיה במשק המים	2008
פורום האנרגיה ה-11: בנייה חסכונית באנרגיה	
פורום האנרגיה ה-10: השפעות בריאותיות וסביבתיות של השימוש בגז טבעי בישראל	
פורום האנרגיה ה-9: מקומה של ישראל בשוק הביו-אתנול העולמי	
פורום האנרגיה ה-8: ניהול ביקושים ואספקה	2007
פורום האנרגיה ה-7: ביו-דלקים להפקת אנרגיה	
פורום האנרגיה ה-6: חיסכון במערכות מיזוג אוויר	
פורום האנרגיה ה-5: צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל	
פורום האנרגיה ה-4: אנרגיית השמש להפקת חום	
פורום האנרגיה ה-3: הפקת אנרגיה מפסולת	2006
פורום האנרגיה ה-2: מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קו-גנרציה)	
פורום האנרגיה ה-1: חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות	



neaman.org.il

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

אנרגיה וסביבה